РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ

ЗАЩИТА БЛОКОВ ГЕНЕРАТОР–ТРАНСФОРМАТОР И ГЕНЕРАТОР–АВТОТРАНСФОРМАТОР

5

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

gost.e-ecolog.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 2

Глава первая. **Схемы защит блоков генератор—трансформатор и генератор—автотрансформатор, выполненные на постоянном оперативном токе** 3

А. Принципы выполнения схем 3

Б. Особенности выполнения схем защиты (рис. 1—22) 11

Глава вторая. **Схемы защит блоков генератор—трансформатор, выполненные на переменном оперативном токе** 42

А. Принципы выполнения схем 42

Б. Особенности выполнения схем защиты (рис. 29—31) 42

Глава третья. **Расчет защит блоков генератор—трансформатор и генератор—автотрансформатор** 49

А. Общие положения 49

Б. Дифференциальная токовая защита блоков или трансформаторов (автотрансформаторов) блоков, выполненная с реле типа РНТ-562 (РНТ-563) . . . 49

В. Дифференциальная токовая защита блоков или трансформаторов (автотрансформаторов) блоков, выполненная с реле типа ДЗТ-1 57

Г. Дифференциальная токовая защита блоков или трансформаторов (автотрансформаторов) блоков, выполненная с реле типа ДЗТ-3 68

Д. Продольная дифференциальная токовая защита генераторов 78

Е. Односистемная поперечная дифференциальная токовая защита генераторов 79

Ж. Дифференциальная токовая защита вторичной обмотки добавочных трансформаторов 79

З. Максимальная токовая защита добавочных трансформаторов, выполненная в реле типа МЗТ-1 . . 79

И. Защита от замыканий на землю на стороне генераторного напряжения блоков 81

К. Направленная или ненаправленная токовая защита обратной последовательности с устройствами типов соответственно РМОП-1 или РТФ-1 84

Л. Токовая защита обратной последовательности с двумя токовыми элементами с независимой характеристикой выдержки времени, один из которых действует на отключение, а другой на сигнал, с устройством типа РТ-2 86

М. Токовая защита обратной последовательности, содержащая элемент, действующий на отключение, с зависимой характеристикой выдержки времени 88

Н. Токовая защита обратной последовательности с трехступенчатой характеристикой выдержки времени с действием на отключение, выполненная устройством типа РТ-2, дополненным реле ЭТ-520 89

О. Максимальная токовая защита с пуском напряжения 89

П. Максимальная токовая защита трансформаторов блоков от внешних многофазных коротких замыканий 90

Р. Токовая защита нулевой последовательности трансформаторов (автотрансформаторов) блоков от внешних замыканий на землю в сети с большим током замыкания на землю 90

С. Защита от повышения напряжения гидрогенераторов 90

Т. Защита от симметричной перегрузки блоков . . . 90

Приложение I. Расчет продольной дифференциальной токовой защиты генератора, выполненной по специальной схеме, обеспечивающей отстройку от токов при разрывах во вторичных цепях трансформаторов тока при токе срабатывания, меньшем номинального 91

Приложение II. Выполнение действующей на сигнал селективной защиты от замыкания на землю на стороне генераторного напряжения блоков генератор—трансформатор при работе нескольких генераторов на одну обмотку повышающего трансформатора . . 96

Приложение III. Режимы работы автотрансформаторов, определяющие выполнение защиты от перегрузки . . 98

Приложение IV. Соотношения, характеризующие защиту от замыканий на землю в одной точке цепи возбуждения гидрогенераторов, выполненную по схеме рис. 21 99

Приложение V. Сравнение чувствительности различных вариантов выполнения защиты от внешних коротких замыканий на землю в сети с большим током замыкания на землю для случаев, когда трансформаторы блоков станции могут работать как с заземленной, так и с незаземленной нейтралью 101

Приложение VI. Выявление расчетных режимов для определения необходимого числа используемых витков тормозной обмотки насыщающегося трансформатора реле типа ДЗТ-1 в дифференциальной защите блока или трансформатора (автотрансформатора) блока 102

Приложение VII. Выявление расчетных режимов для определения необходимого числа используемых витков тормозных обмоток насыщающегося трансформатора реле типа ДЗТ-3 в дифференциальной защите блока или трансформатора (автотрансформатора) блока 105

РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ

ВЫПУСК 5

ЗАЩИТА БЛОКОВ ГЕНЕРАТОР—ТРАНСФОРМАТОР И ГЕНЕРАТОР—АВТОТРАНСФОРМАТОР

(СОСТАВЛЕНО ВСЕСОЮЗНЫМ ГОСУДАРСТВЕННЫМ ПРОЕКТНЫМ ИНСТИТУТОМ «ТЕПЛОЭЛЕКТРОПРОЕКТ»)

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1963 ЛЕНИНГРАД

ЭЭ-5-3
УДК 621.316.925
Темплан 1964 г. № 145

В данном выпуске Руководящих указаний по релейной защите рассмотрены схемы защит блоков генератор — трансформатор и генератор — автотрансформатор и способы расчета этих защит.

В окончательной редакции учтены директивные материалы Союзглавэнерго, отзывы энергетических систем и проектных организаций, а также решения, принятые на специально созванных Техническим Управлением МЭС, МОНТОЭП и Комиссией дальних передач при ЭНИН АН СССР совещаниях под председательством А. М. Федосеева и Е. Д. Зейлидзона (в декабре 1957 г. и марте 1960 г.) представителей энергосистем и других организаций.

Схемы даны на постоянном и переменном оперативном токе.

В схемах использовано как выпускаемое промышленностью оборудование, так и намечаемое к выпуску в ближайшее время.

Схемы защит блоков с гидрогенераторами составлены на основании работы «Руководящие указания по релейной защите блоков гидрогенератор — трансформатор (задание Теплоэлектропроекту)», 1958 г., выполненной Ленинградским отделением Гидроэнергопроекта (сектор релейной защиты и автоматики, нач. сектора Ю. М. Успенский, зам. нач. сектора П. А. Фомин).

При составлении Руководящих указаний использовались также разработки ВНИИЭ, Института электротехники АН УССР и других организаций.

Данный выпуск Руководящих указаний разработан институтом «Теплоэлектропроект» (гл. электрик А. Б. Крикунчик) — группой типовых работ Отдела релейной защиты, автоматики, телемеханики и устойчивости (ОРЗАТУ): гл. инженер проекта А. Б. Чернин, руководители групп Т. Н. Дороднова, Б. Я. Смелянская, Э. П. Смирнов, А. Н. Кожин под общим руководством А. М. Федосеева.

В процессе разработки данного выпуска Руководящих указаний в обсуждении и принятии решений по отдельным вопросам в ОРЗАТУ ТЭП принимали участие работники сектора релейной защиты и автоматики (нач. сектора В. М. Ермоленко, гл. инженер проекта Н. Е. Рибель) и релейной лаборатории (руководитель лаборатории С. Я. Петров).

Подготовка выпуска к печати произведена тем же отделом, входящим в настоящее время в институт «Энергосетьпроект».

Много ценных соображений и рекомендаций по данному выпуску дали отдельные работники ряда организаций: Е. Д. Зейлидзон (Союзглавэнерго), Н. В. Виноградов и В. А. Семенов (Мосэнерго), О. Л. Рывкин (Ленэнерго), В. И. Дорофеев и М. И. Песочин (Днепроэнерго), Е. С. Габа (Донбассэнерго), Б. А. Хомутов (Новосибирскэнерго), Ф. Ф. Дерюгин (Челябэнерго), В. Н. Блинова (ОДУ Урала), М. И. Царев (ВНИИЭ), М. А. Беркович и А. Б. Барзам (ОДУ ЕЭС), В. А. Сатаров и Н. С. Кобякова (Мосэнергопроект) и др.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Последнее издание Руководящих указаний по релейной защите (ч. II и III — типовые примеры схем и расчетов), выпущенное в 1948 г. в качестве дополнения к директивной части Руководящих указаний 1945 г., в настоящее время устарело и не соответствует действующим директивным материалам по релейной защите [разд. III «Защита и автоматика» Правил устройства электроустановок (ПУЭ) издания 1957 г., решения, эксплуатационные и противоаварийные циркуляры].

Практика проектирования и эксплуатации релейной защиты в последние годы показала, что содержащиеся в Правилах устройства электроустановок общие указания недостаточны для унификации и распространения наиболее передовых решений. В частности, отсутствуют конкретные примеры рекомендуемых схем, что приводит к чрезмерному и необоснованному разнообразию исполнения устройств релейной защиты, в том числе и неоправданно сложных.

Руководящие указания по релейной защите подготовлены институтом «Теплоэлектропроект» и утверждены Главэнергопроектом Министерства строительства электростанций и Главным энергетическим управлением при Госплане СССР (Союзглавэнерго).

Настоящие Руководящие указания в основном соответствуют разд. III «Защита и автоматика» ПУЭ издания 1957 г. и директивным материалам. Однако не исключена возможность временных расхождений между Руководящими указаниями и этими документами, которые будут изданы в дальнейшем. В таких случаях обязательными явятся Правила и директивные материалы.

Руководящие указания являются рекомендуемыми материалами, которым должны следовать как проектные, так и эксплуатирующие организации с целью максимального применения типовых решений, удешевления и ускорения строительства электроустановок, внедрения в эксплуатацию наиболее совершенных и проверенных опытом решений. Отступления от соответствующих решений, приведенных в Руководящих указаниях, допускаются в тех случаях, когда это обосновано конкретными местными условиями, а также для ранее запроектированных, монтируемых или действующих устройств, если эти отступления не ведут к серьезным эксплуатационным недостаткам и не противоречат принципиальному направлению Руководящих указаний.

Руководящие указания по релейной защите, в ы п. 5.
Защита блоков генератор—трансформатор и генератор—автотрансформатор, 114 с. с черт.

* * *

Редакторы *Т. Н. Дороднова* и *Э. П. Смирнов* Техн. редактор *Ларионов Г. Е.*

Сдано в пр-во 11/XI 1963 г. Подписано к печати 27/I 1964 г.
Формат бумаги 60×92¹/₈ 14 п. л. 21,5 уч.-изд. л.
Т-00837 Тираж 13 000 экз. Цена 1 р. 08 к. Заказ 604.

Московская типография № 10 Главполиграфпрома Государственного комитета Совета Министров СССР по печати.
Шлюзовая наб., 10.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

СХЕМЫ ЗАЩИТ БЛОКОВ ГЕНЕРАТОР — ТРАНСФОРМАТОР И ГЕНЕРАТОР — АВТОТРАНСФОРМАТОР, ВЫПОЛНЕННЫЕ НА ПОСТОЯННОМ ОПЕРАТИВНОМ ТОКЕ

В настоящей главе рассмотрены типовые схемы релейной защиты блоков генератор — трансформатор тепловых станций (рис. 1—13) и гидроэлектрических станций (рис. 14—19).

Схемы рис. 1 и 4—6 даны для турбогенераторов мощностью более 5 до 30 *Мвт* включительно, схемы рис. 2 и 7 — для турбогенераторов мощностью более 30 до 100 *Мвт*, схемы рис. 3 и 9 — для турбогенераторов мощностью 100 *Мвт* и схемы рис. 8, 10 и 11 — для турбогенераторов мощностью более 30 до 100 *Мвт* включительно.

Схемы, приведенные для турбогенераторов мощностью до 100 *Мвт* включительно, распространяются на генераторы как с неформированным охлаждением, так и с форсированным охлаждением ротора.

Схемы рис. 12 и 13 защит блоков тепловых станций даны для мощных турбогенераторов 150—300 *Мвт* с форсированным охлаждением ротора и статора.

Схемы рис. 16 и 17 даны для гидрогенераторов мощностью более 5 до 30 *Мвт* включительно, а схемы рис. 14, 15, 18 и 19 — для гидрогенераторов мощностью более 30 *Мвт* до 100 *Мвт* включительно.

Схемы рис. 1—4, 12 и 13—17 даны для блоков генератор — двухобмоточный трансформатор, схемы рис. 5—9 — для блоков генератор — трехобмоточный трансформатор и схемы рис. 10, 11, 18 и 19 — для блоков генератор — автотрансформатор.

Схемы рис. 5—9 и 19 даны для случая наличия встроенного устройства для регулирования напряжения под нагрузкой.

В схемах рис. 10, 11 и 18 для регулирования напряжения под нагрузкой предусмотрен добавочный трансформатор.

Схемы рис. 14—19 для блоков гидроэлектрических станций даны в предположении отсутствия постоянного дежурного персонала.

В приведенных схемах релейная защита выполнена в основном в соответствии с Правилами устройства электроустановок.

А. ПРИНЦИПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ СХЕМ

I. Общие положения

1. В схемах рис. 1—19 на блоках генератор—трансформатор (автотрансформатор) предусмотрены следующие защиты:

а) от многофазных коротких замыканий в обмотке статора генератора и на его выводах:

при наличии выключателя между генератором и трансформатором (рис. 6—11, 16, 18 и 19) — отдельная продольная дифференциальная токовая защита генератора;

при отсутствии выключателя между генератором и трансформатором в схемах рис. 1, 2 и 4 — общая продольная дифференциальная токовая защита блока, в схемах рис. 5, 12, 14, 15 и 17 — одновременно общая защита блока и отдельная защита генератора, а в схемах рис. 3 и 13 — отдельная дифференциальная токовая защита генератора;

б) от коротких замыканий между витками одной фазы в обмотке статора генератора — односистемная поперечная дифференциальная токовая защита (при наличии выведенных параллельных ветвей обмоток и их соединения в звезду);

в) от всех видов коротких замыканий в обмотках трансформатора (автотрансформатора) и на его выводах — отдельная продольная дифференциальная токовая защита трансформатора (автотрансформатора) или общая продольная дифференциальная токовая защита блока;

г) от многофазных коротких замыканий в обмотках добавочного трансформатора — максимальная токовая защита с торможением;

д) от многофазных коротких замыканий во вторичной обмотке добавочного трансформатора и на выводах этой обмотки — продольная дифференциальная токовая защита указанной обмотки;

е) от замыканий на землю на стороне генераторного напряжения — защита напряжения нулевой последовательности;

ж) от замыканий внутри кожуха трансформатора (автотрансформатора) и добавочного трансформатора и от понижения уровня масла — газовая защита трансформатора (автотрансформатора) и газовая защита добавочного трансформатора;

з) от перегрузок генератора токами обратной последовательности (превышающими длительно допустимый в соответствии с ПТЭ) для генераторов мощностью более 30 *Мвт* — токовая защита обратной последовательности (рис. 2—4, 7—15, 18 и 19);

и) от внешних многофазных коротких замыканий, а также для резервирования защит по п. 1,а—1,д и 1,ж — токовая защита обратной последовательности в сочетании с максимальной токовой защитой с минимальным пуском напряжения или максимальная токовая защита с комбинированным пуском напряжения и без пуска напряжения;

к) от внешних коротких замыканий на землю в сети с большим током замыкания на землю для трансформатора, работающего с *заземленной нейтралью,— токовая защита* нулевой последовательности, а для автотрансформатора — направленная токовая защита нулевой последовательности;

л) от симметричных перегрузок — максимальная токовая защита с использованием тока одной фазы, а на гидрогенераторах также устройство автоматической разгрузки;

м) от замыканий на землю в двух точках цепи ротора турбогенератора — токовая защита с четырехплечим мостом;

н) от замыканий на землю в одной точке цепи ротора гидрогенератора — защита с наложением напряжения от постороннего источника; следует отметить, что применение защиты от замыкания на землю в одной точке цепи ротора может оказаться целесообразным и для мощных турбогенераторов с форсированным охлаждением; указанный вопрос нуждается в особом рассмотрении;

о) от повышения напряжения в обмотках статора гидрогенератора — защита напряжения с использованием одного междуфазного напряжения.

Отдельная продольная дифференциальная защита генератора (по п. 1,а) и защита от коротких замыканий между витками одной фазы обмотки статора (по п. 1,б) действуют на отключение соответствующих выключателей и на устройство автоматического гашения поля (АГП), а на гидрогенераторах (рис. 14—19) — также на остановку турбины и на введение в действие автоматического противопожарного устройства.

Общая продольная дифференциальная защита блока (пп. 1,а и 1,в), отдельная продольная дифференциальная защита трансформатора (автотрансформатора) (по п. 1,в), газовая защита трансформатора (автотрансформатора) (по п. 1,ж) и защиты добавочного трансформатора (по пп. 1,г, 1,д и 1,ж) действуют на отключение всех выключателей блока и АГП, а на блоках с гидрогенераторами (рис. 14—19) — также на остановку турбины.

Кроме того, защиты по п. 1,ж выполнены таким образом, что имеется возможность перевода их действия на сигнал.

Защита от внешних многофазных коротких замыканий (по п. 1,и) в схемах рис. 1—13, 15, 16, 18 и 19 действует, как правило, на отключение выключателей соответствующих сторон блока, а при резервировании ею основных защит блока — на отключение всех выключателей блока и АГП (на блоках с гидрогенераторами — также на остановку турбины). Рассматриваемая защита (по п. 1,и) в схемах для блоков ГЭС с двухобмоточным трансформатором при отсутствии выключателя в цепи ответвления на собственные нужды (рис. 14) и при отсутствии такого ответвления (рис. 17) действует на отключение выключателя блока и АГП. В указанных случаях в зависимости от режима работы гидростанции (наличие резерва мощности и др.) допускается действие защиты по п. 1,и также и на остановку турбины.

Защита от внешних коротких замыканий на землю (по п. 1,к) в схемах рис. 1, 2, 5—8 и 16 действует только на отключение выключателей своей стороны, а в схемах рис. 3, 9—13, 15, 18 и 19 — с первой выдержкой времени на отключение выключателя своей стороны и со второй — на отключение всего блока (см. ниже § XI). В схемах для блоков ГЭС с двухобмоточным трансформатором при отсутствии выключателя в цепи ответвления на собственные нужды (рис. 14) и при отсутствии такого ответвления (рис. 17) защита по п. 1,к действует на отключение выключателя блока и АГП.

Защита от повышения напряжения гидрогенератора (по п. 1,о) действует на отключение гидрогенератора (на отключение соответствующих выключателей и АГП); в зависимости от режима работы станции (наличие резерва мощности и др.) допускается действие этой защиты также на остановку турбины.

Защита от перегрузок генератора токами обратной последовательности (по п. 1,з) действует на сигнал и на отключение (§ IX).

Защита от симметричных перегрузок (по п. 1,л) предусмотрена для действия:

на сигнал в схемах для блоков с турбогенераторами;

на сигнал, разгрузку и отключение в схемах для блоков с гидрогенераторами.

Защиты от замыканий на землю в двух точках цепи ротора турбогенератора (по п. 1,м) и в одной точке цепи ротора гидрогенератора (по п. 1,н) действуют на сигнал или на отключение.

Защита от замыканий на землю на стороне генераторного напряжения (по п. 1,е) действует на сигнал.

2. Защиты от повреждений цепей ротора турбогенератора (по п. 1,м) и гидрогенератора (по п. 1,н) в схемах рис. 1—19 не показаны. Схема защиты турбогенератора от замыканий на землю в двух точках цепи ротора приведена в работе «Руководящие указания по релейной защите. Выпуск 1. Защита генераторов, работающих на сборные шины» (Госэнергоиздат, 1961 г.). Схемы защиты гидрогенератора от замыканий на землю в одной точке цепи ротора приведены на рис. 21 и 22.

3. В схемах рис. 10—13, 18 и 19 показаны цепи, связывающие защиту блоков с устройствами резервирования отказа выключателей на сторонах 220 и 110 *кв*.

При этом предполагается, что устройство резервирования отказа выключателей, установленное на стороне напряжения станции со сборными шинами, выполнено действующим:

а) при коротких замыканиях в блоке генератор — трансформатор с отказом выключателя рассматриваемой стороны (а также на отходящих от шин линиях с отказом выключателя поврежденной линии) — на отключение всех выключателей, примыкающих к данной системе шин;

б) при коротких замыканиях на шинах с отказом выключателя блока на данной стороне — на отключение всех выключателей блока и АГП.

В схемах рис. 11 и 19, в которых на стороне 220 *кв* шины выполнены по схеме четырехугольника, предполагается, что устройство резервирования отказа выключателей на этой стороне выполнено действующим при коротких замыканиях на элементе с отказом одного из его выключателей на отключение другого элемента, примыкающего к стороне четырехугольника с отказавшим выключателем.

Кроме указанного, в схемах рис. 10—13, 18 и 19 устройство резервирования выполняет функцию ликвидации коротких замыканий в зонах между выключателями и выносными трансформаторами тока.

В схемах рис. 1—9 и 14—17 цепи, связывающие защиту блока с устройством резервирования отказа выключателей, не показаны в предположении, что на сторонах 220 и 110 *кв* указанное устройство или выполнено упрощенным, действующим только при коротких замыканиях на линиях, или отсутствует [1].

4. При выполнении защиты с двумя трансформаторами тока последние предусматриваются установленными в фазах *A* и *C* в предположении, что такое же включение принято и для других элементов установки.

5. В приведенных схемах предполагается использование трансформаторов тока с вторичным номинальным током 5 *а* (в схемах рис. 1—11 и 14—19 на всех сторонах, а в схемах рис. 12 и 13 — на стороне низшего напряжения) и с вторичным номинальным током *1а* (в схемах рис. 12 и 13 на стороне 220 *кв*).

II. Продольная дифференциальная токовая защита генератора от внутренних коротких замыканий

1. В приведенных схемах дифференциальная токовая защита генератора предусмотрена при наличии выключателя между генератором и трансформатором (рис. 6—11, 16, 18 и 19), а также в следующих случаях при отсутствии указанного выключателя:

а) на турбогенераторах мощностью 100 *Мвт* и более (рис. 3, 12 и 13);

б) на турбогенераторах мощностью менее 100 *Мвт* при токе срабатывания общей дифференциальной защиты блока, большем 1,5 $I_{ном}$ (рис. 5);

в) на гидрогенераторах в целях возможности выполнения защиты с током срабатывания, меньшим номинального (см. ниже п. 3), а также в целях обеспечения тушения пожара при повреждении в генераторе (рис. 14, 15 и 17).

2. Защита выполняется с реле тока с насыщающимися трансформаторами типа РНТ-562. Насыщающиеся трансформаторы реле РНТ-562 обеспечивают снижение токов небаланса в реле, возникающих во время переходного процесса при внешних коротких замыканиях. Кроме того, в схеме рис. 13 они используются для компенсации неравенства вторичных токов, подводимых к защите.

3. Ток срабатывания дифференциальной защиты генераторов принимается меньшим номинального для:

а) турбогенераторов мощностью 100 *Мвт* и более;

б) гидрогенераторов мощностью более 5 *Мвт* (ввиду относительно больших сопротивлений и малых токов при внутренних коротких замыканиях в гидрогенераторах).

Следует отметить, что желательно выполнять защиту с током срабатывания, меньшим номинального, и на турбогенераторах мощностью менее 100 *Мвт*, предусматривая при этом отдельную дифференциальную защиту генератора и при токе срабатывания общей дифференциальной защиты блока, меньшем 1,5 $I_{ном}$. Указанное в особенности относится к генераторам, не имеющим выведенных параллельных ветвей обмотки статора и не оборудованным односистемной поперечной дифференциальной защитой.

Устройство контроля исправности вторичных цепей трансформатора тока защиты предусматривается на турбогенераторах и гидрогенераторах мощностью 100 *Мвт* и более; при этом в связи с выполнением дифференциальной защиты для генераторов мощностью 100 *Мвт* и более с током срабатывания, меньшим номинального, реле РНТ-562 защиты должны включаться по специальной схеме, предназначенной для этого случая (рис. 3, 9—13, 18 и 19 и приложение I).

---

[1] См. работу «Руководящие указания по релейной защите. Устройства резервирования отказа выключателей 35—330 *кв*», Энергосетьпроект, 1963.

4. В схемах рис. 5—8 и 14—17 дифференциальная защита генератора предусмотрена в трехфазном трехрелейном исполнении в связи со следующим:

а) Во избежание режима работы генератора с замыканием на землю одной фазы, когда непосредственно перед этим в месте повреждения проходил ток двойного короткого замыкания на землю (рис. 5—8, 15 и 16). При двухфазном двухрелейном исполнении защиты указанный режим может возникнуть при двойном коротком замыкании на землю такого вида, когда одно место повреждения находится в генераторе, в фазе, в которой отсутствует трансформатор тока, а второе — в ответвлении на собственные нужды, после отключения второго места повреждения защитой ответвления.

б) Для осуществления тушения пожара гидрогенераторов после отключения двойных коротких замыканий на землю (рис. 14—17).

В схемах рис. 3, 9—13, 18 и 19 дифференциальная токовая защита генератора, выполненная с устройством контроля исправности вторичных цепей ее трансформаторов тока, предусмотрена также в трехфазном трехрелейном исполнении.

Следует отметить, что в указанных схемах (рис. 3, 9—13, 18 и 19), как показано в приложении I, может быть принято трехфазное двухрелейное исполнение защиты. Однако защита в трехрелейном исполнении отличается большей надежностью действия, а также в ряде случаев несколько большей чувствительностью при двойных коротких замыканиях на землю.

5. Для снижения тока небаланса в реле защиты следует предусматривать выравнивание сопротивлений плеч защиты соответствующим подбором сечений кабелей вторичных цепей.

III. Общая продольная дифференциальная токовая защита блока генератор — трансформатор и отдельная продольная дифференциальная токовая защита трансформатора блока от внутренних повреждений

1. В приведенных схемах общая дифференциальная защита блока предусмотрена при отсутствии выключателя между генератором и трансформатором (схемы рис. 1, 2, 4, 5, 12, 14, 15 и 17). В схемах рис. 3 и 13, также не имеющих выключателя между генератором и трансформатором, предусмотрены отдельные дифференциальные защиты генератора и трансформатора; указанное принято в связи с тем, что общая дифференциальная защита блока в рассматриваемом случае имела бы сниженную надежность в связи с необходимостью присоединения к ее трансформаторам тока со стороны нейтрали генератора также резервной защиты, выполненной в виде токовой защиты обратной последовательности, характеризуемой относительно большим потреблением.

При наличии выключателя между генератором и трансформатором предусматриваются отдельные дифференциальные защиты генератора и трансформатора (рис. 6—11, 16, 18 и 19).

2. Рассматриваемые схемы даны для случаев выполнения защиты с реле тока с насыщающимися трансформаторами типа РНТ-562 (рис. 3, 4, 7, 8, 10, 14, 15, 17 и 18) и РНТ-563 (рис. 12 и 13), а также с реле тока с насыщающимися трансформаторами и тормозной характеристикой типа ДЗТ-1 (рис. 1, 2, 5, 6, 9 и 16) и типа ДЗТ-3 (рис. 11 и 19).

При применении для рассматриваемых дифференциальных защит трансформаторов тока с вторичным током 1 *а* взамен реле РНТ-562 и ДЗТ-3 должны быть использованы соответственно РНТ-563 и ДЗТ-3/2. Промышленностью намечается выпуск реле по типу ДЗТ-1 для случая, когда вторичный ток трансформаторов тока, используемых для защиты, равен 1 *а*.

3. Насыщающиеся трансформаторы реле РНТ-562, РНТ-563, ДЗТ-1 и ДЗТ-3 обеспечивают снижение токов в реле, обусловленных бросками тока намагничивания, а также токов небаланса в реле, возникающих во время переходного процесса при внешних коротких замыканиях. Кроме того, они используются для компенсации неравенства вторичных токов, подводимых к защите.

4. Рассматриваемые дифференциальные защиты предусматриваются с реле ДЗТ-1 и ДЗТ-3 в случаях, когда вследствие больших токов небаланса в реле при внешних коротких замыканиях защита с РНТ-562 не обеспечивает требуемой чувствительности, а при принятом выполнении защиты обеспечивается необходимое торможение при внешних коротких замыканиях и требуемая чувствительность защиты.

Необходимость в использовании этих реле может возникнуть в первую очередь:

а) для блоков, имеющих ответвление на собственные нужды, при наличии на нем выключателя, из-за больших токов при внешних коротких замыканиях на ответвлении (рис. 1, 2, 5, 6, 9 и 16).

б) при присоединении блока к мощной системе через два выключателя из-за больших перетоков через них мощности короткого замыкания (рис. 11 и 19); следует, однако, отметить, что при объединении трансформаторов тока защиты, установленных в цепях этих выключателей, в распределительном устройстве (а не на щите управления), в ряде случаев в указанных условиях даже при мощной системе оказывается возможным выполнение дифференциальной защиты без торможения.

Реле ДЗТ-3 предусматривается в случаях, когда торможение требуется для отстройки от токов небаланса в реле при коротких замыканиях в двух или более точках, а применение реле ДЗТ-1 обеспечивает необходимое торможение не при всех внешних коротких замыканиях (рис. 11 и 19).

5. В приведенных схемах включение реле РНТ-562 и ДЗТ-1 для блоков с двухобмоточными трансформаторами показано в предположении использования выравнивающих обмоток для обеих сторон дифференциальной защиты.

Для блоков с трехобмоточным трансформатором и автотрансформатором включение реле РНТ-562 и ДЗТ-1 показано условно в предположении, что трансформаторы тока со стороны генераторного напряжения присоединяются к дифференциальным обмоткам насыщающихся трансформаторов реле.

Принципиальные схемы внутренних соединений реле ДЗТ-1 и ДЗТ-3 даны на рис. 23.

Принципиальные схемы внутренних соединений и схемы включения реле РНТ-562 и РНТ-563 даны на рис. 24.

6. В целях повышения чувствительности к коротким замыканиям между двумя фазами на сторонах высших напряжений трансформатора в режимах, когда питание со стороны систем мало или отсутствует, общая дифференциальная защита блока и отдельная дифференциальная защита трансформатора выполняются трехрелейными.

7. Трансформаторы тока общей дифференциальной защиты блока и дифференциальной защиты повышающего трансформатора, предусматриваемые в цепи ответвления к собственным нуждам, устанавливаются:

а) в цепи ответвления к трансформатору собственных нужд—за выключателем ответвления (рис 25,*а*) в целях обеспечения ликвидации короткого замыкания в зоне между выключателем и трансформаторами тока (точка K_1) быстродействующей дифференциальной защитой блока; при установке трансформаторов тока до выключателя (рис. 25,*б*) короткое замыкание в зоне между выключателем и трансформаторами тока (точка K_2), являющееся практически повреждением вблизи генератора, ликвидировалось бы медленно действующей защитой от внешних коротких замыканий;

б) в цепи ответвления к реактированной линии собственных нужд — до выключателя ответвления (рис. 25,*в*), а не за ним (рис. 25,*г*), так как в последнем случае при коротком замыкании в точке K_2 возможно отключение всего блока от его дифференциальной защиты; поскольку это повреждение находится за реактором и потому допустима его ликвидация медленно действующей защитой линии, отключение всего блока при этом является нежелательным; при этом защита линии собственных нужд выполнена действующей с двумя выдержками времени — с меньшей на отключение линии собственных нужд, а с большей для ликвидации короткого замыкания в зоне между трансформаторами тока дифференциальной защиты и указанным выключателем, непосредственно на выходные промежуточные реле защиты блока, минуя выходные промежуточные реле защиты линии собственных нужд.

8. Общая дифференциальная защита блока и отдельная дифференциальная защита трансформатора выполняются с тремя трансформаторами тока со стороны генераторного напряжения в следующих случаях:

для блоков с мощными турбогенераторами с форсированным охлаждением ротора и статора в целях повышения надежности действия защиты (рис. 12 и 13);

при отсутствии отдельной дифференциальной защиты генератора во избежание режима работы генератора с замыканием на землю одной фазы, когда непосредственно перед этим в месте повреждения проходил ток двойного короткого замыкания на землю (рис. 1, 2 и 4);

когда двухфазное исполнение защиты со стороны генераторного напряжения не обеспечивает экономии трансформаторов тока (рис. 14 и 17).

В остальных случаях рассматриваемые защиты в целях экономии трансформаторов тока со стороны генераторного напряжения выполняются двухфазными (рис. 3, 5—11, 15, 16, 18 и 19).

9. Следует отметить, что при выполнении рассматриваемых защит при помощи реле с торможением и присоединении тормозных обмоток к трансформаторам тока в цепи ответвления к собственным нуждам представляется возможным эти трансформаторы тока выбирать в соответствии с номинальным током ответвления и присоединять их только к тормозной обмотке реле (не присоединяя к дифференциальной цепи); при этом число витков тормозной обмотки выбирается таким образом, чтобы в случае повреждения в цепи ответвления к собственным нуждам торможение было достаточным при рабочей намагничивающей силе, обусловленной полным током повреждения.

В отдельных случаях использование трансформаторов тока цепи ответвления к собственным нуждам, выбранных в соответствии с номинальным током ответвления, для дифференциальной защиты блока и дифференциальной защиты трансформатора возможно и при выполнении последних с реле типов РНТ-562 и РНТ-563.

IV. Односистемная поперечная дифференциальная токовая защита от коротких замыканий между витками одной фазы в обмотке статора (при наличии выведенных параллельных ветвей обмотки и их соединении в звезду)

1. В качестве защиты от коротких замыканий между витками одной фазы в обмотке статора для генераторов с выведенными параллельными ветвями предусматривается односистемная поперечная дифференциальная токовая защита, действующая без замедления, присоединенная к трансформатору тока, установленному в соединении между нейтралями параллельных ветвей обмотки статора (рис. 2, 3, 8—13, 15, 18 и 19).

В целях повышения надежности действия реле тока защиты присоединяется к трансформатору тока через фильтр, предотвращающий попадание в реле высших гармоник (реле типа ЭТ-521/ф).

2. Рассматриваемая защита может действовать при замыканиях на землю в двух точках цепи возбуждения из-за возникновения при этом искажения результирующего магнитного потока, обусловливающего неравенство токов параллельных ветвей обмотки статора. В связи с этим в схемах для блоков с турбогенераторами в целях предотвращения нежелательных действий рассматриваемой защиты на отключение генератора (блока) при кратковременных преходящих замыканиях на землю в двух точках цепи возбуждения предусматривается перевод рассматриваемой защиты на действие с выдержкой времени порядка 0,5—1 *сек* при появлении замыкания на землю в одной точке цепи возбуждения. В схемах для блоков с гидрогенераторами, длительная работа которых с замыканием на землю в одной точке цепи возбуждения не рекомендуется, указанный перевод защиты на действие с выдержкой времени не предусматривается.

3. При применении односистемной поперечной дифференциальной защиты трансформаторы тока продольной дифференциальной защиты, установленные со стороны нейтрали генератора, должны иметь две первичные обмотки (за исключением схемы рис. 13 — см. описание схемы). При этом используются стандартные трансформаторы тока шинного типа, первичные обмотки которых выполняются в виде двух изолированных друг от друга пакетов шин, каждый из которых рассчитывается на длительное прохождение тока, равного половине номинального тока генератора.

Изоляция между пакетами шин выбирается из условия механической прочности, так как напряжение между ними практически равно нулю.

V. Защита напряжения нулевой последовательности от замыканий на землю на стороне генераторного напряжения

1. Защита от замыканий на землю на стороне генераторного напряжения выполняется в виде защиты напряжения нулевой последовательности и предусматривается в приведенных схемах с действием на сигнал с выдержкой времени.

Следует отметить, что ввиду относительно большого тока срабатывания дифференциальных защит от повреждений в генераторе (в особенности для генераторов большой мощности) и учитывая, что в большинстве практических случаев много фазные короткие замыкания в статоре генератора сопровождаются замыканием на землю и появлением составляющих нулевой последовательности, в некоторых случаях может оказаться целесообразным выполнение защиты от замыканий на землю на стороне генераторного напряжения с действием на отключение. В первую очередь указанное относится к гидростанциям, учитывая наличие на них резерва мощности и др.

В схемах рис. 15, 18 и 19 предусмотрена установка дугогасящей катушки со стороны нейтрали генератора в предположении, что емкостный ток замыкания на землю на стороне генераторного напряжения равен или более 5 *а*.

Защита выполняется с помощью реле типа ЭН-526/60Д-М, присоединенного к разомкнутому треугольнику обмотки пятистержневого трансформатора напряжения.

В схемах предусмотрен вольтметр, предназначенный для ориентировочного выявления места замыкания на землю и для периодического замера напряжения небаланса в нормальном рабочем режиме.

На блоках с выключателем в цепи генератора указанная защита присоединяется к трансформатору напряжения, установленному в цепи обмотки низшего напряжения трансформатора блока, в целях обеспечения сигнализации замыканий на землю на стороне низшего напряжения при отключенном выключателе в цепи генератора (рис. 6—11, 16, 18 и 19); при этом вольтметр с кнопкой, необходимый для ориентировочного определения места расположения возникшего в обмотке генератора замыкания на землю, присоединяется либо к трансформатору напряжения в цепи генератора (рис. 6—11 и 16), либо к вторичной обмотке дугогасящей катушки, если она имеется (рис. 18 и 19). Последнее также относится к схеме рис. 15.

Вопрос выполнения селективной защиты от замыканий на землю на стороне генераторного напряжения укрупненного блока гидрогенераторы — трансформатор, действующей на сигнал, рассматривается в приложении II.

VI. Газовая защита от внутренних повреждений трансформатора блока и добавочного трансформатора для регулирования напряжения под нагрузкой

Защита выполнена таким образом, что имеется возможность перевода действия отключающего контакта на сигнал.

VII. Максимальная токовая защита с торможением от многофазных коротких замыканий в первичной обмотке добавочного трансформатора для регулирования напряжения под нагрузкой

Защита выполнена с реле тока с тормозной характеристикой типа МЗТ-1.

Рабочие обмотки этих реле присоединены к трансформаторам тока, встроенным во втулки добавочного трансформатора со стороны выводов первичной обмотки, а тормозные обмотки — к трансформаторам тока, встроенным во втулки автотрансформатора со стороны выводов к нейтрали (т. е. к трансформаторам тока цепи, в которую включена вторичная обмотка добавочного трансформатора).

Принципиальная схема внутренних соединений реле МЗТ-1 дана на рис. 23.

VIII. Продольная дифференциальная токовая защита вторичной обмотки добавочного трансформатора для регулирования напряжения под нагрузкой

1. Защита предусматривается в связи с тем, что дифференциальная защита автотрансформатора не реагирует на короткие замыкания во вторичной обмотке добавочного трансформатора, а максимальная токовая защита с торможением первичной обмотки добавочного трансформатора (§ VII) не может быть выполнена обеспечивающей требуемую чувствительность к указанным коротким замыканиям.

2. Защита выполняется с реле тока типа РНТ-562.

IX. Защита от перегрузок генератора токами обратной последовательности

В приведенных схемах защита от перегрузок генератора токами обратной последовательности предусмотрена на генераторах мощностью более 30 *Мвт* (рис. 2, 3, 7—15, 18 и 19).

В качестве защиты от перегрузок токами обратной последовательности, могущими привести к повреждению генератора, целесообразно применение защиты с зависимой характеристикой соответствующей кривой $t_{доп}=f(I_2)$ (рис. 26), с действием на отключение, в сочетании с чувствительной токовой защитой обратной последовательности с независимой выдержкой времени, действующей на сигнал. Указанное относится в первую очередь к мощным турбогенераторам с форсированным охлаждением ротора и статора и к генераторам гидроэлектрических станций без постоянного дежурного персонала.

В приведенных схемах защита от перегрузок токами обратной последовательности выполнена следующим образом:

а) В схемах рис. 12 и 13 для турбогенераторов мощностью 150 *Мвт* и более защита выполнена с использованием устройств типов РТФ-2 и РТФ-3, намечаемых к выпуску промышленностью и имеющих параметры, соответствующие тепловым характеристикам турбогенераторов. Чувствительное реле устройства типа РТФ-2 осуществляет защиту от перегрузок с независимой выдержкой времени с действием на сигнал, а устройство типа РТФ-3 — защиту с зависимой выдержкой времени с действием на отключение; кроме того, устройство РТФ-2 содержит реле тока с большим током срабатывания, которое исполь.зуется для осуществления токовой защиты обратной последовательности от внешних коротких замыканий (§ X).

б) В схемах рис. 2, 3, 7—11 для турбогенераторов мощностью более 30 до 100 *Мвт* включительно защита осуществляется:

чувствительной токовой защитой обратной последовательности с током срабатывания порядка 0,1 $I_{ном}$ с независимой выдержкой времени, действующей на сигнал при появлении токов обратной последовательности, превышающих длительно допустимый;

токовой защитой от внешних несимметричных коротких замыканий (разд. А, § I, п. 1,и) с независимой выдержкой времени, действующей на отключение; при этом указанная защита имеет ток срабатывания, соответствующий по кривой $t_{доп}=f(I_2)$ ориентировочному времени, в течение которого режим, обусловливающий недопустимый для генератора ток обратной последовательности, может быть ликвидирован персоналом.

Обе рассматриваемые защиты выполняются с помощью одного устройства РТ-2 (§ X).

в) В схемах рис. 18 и 19 для гидрогенераторов мощностью более 30 *Мвт* защита принята аналогичной таковой в схемах рис. 12 и 13 и показана условно ввиду несоответствия параметров устройств РТФ-2 и РТФ-3 тепловым характеристикам гидрогенераторов.

г) В схемах рис. 14 и 15 для гидрогенераторов мощностью более 30 *Мвт* защита выполнена со ступенчатой характеристикой выдержки времени, соответствующей ориентировочной кривой $t_{доп}=f(I_2)$, данной заводом-изготовителем и показанной на рис. 27.

Указанное принято впредь до выпуска промышленностью для гидрогенераторов реле с зависимой характеристикой.

Защита содержит три ступени, которые выполняются с помощью устройства типа РТ-2 (1-я и 3-я ступени) и дополнительного реле тока ЭТ-520 (2-я ступень). Как показывают расчеты, присоединение к фильтру устройства РТ-2 реле ЭТ-520 с минимальной уставкой 2—3 *а* практически не ухудшает параметры фильтра.

Примерные параметры отдельных ступеней защиты показаны на рис. 27 и приняты таким образом, чтобы ступенчатая характеристика защиты по возможности больше соответствовала кривой $t_{доп}=f(I_2)$.

Первая ступень защиты, помимо действия на отключение, выполнена также действующей на сигнал в целях обеспечения возможности принятия персоналом мер по ликвидации перегрузки генератора токами обратной последовательности.

X. Токовая защита обратной последовательности и максимальная токовая защита с пуском и без пуска напряжения от внешних многофазных коротких замыканий

1. Защита от внешних многофазных коротких замыканий (на шинах и отходящих линиях) выполняет также функцию резервирования основных защит блока.

В рассматриваемых схемах принято выполнение защиты по одному из следующих вариантов:

а) токовая защита обратной последовательности в сочетании с максимальной токовой защитой с минимальным пуском напряжения; последняя предназначена для действия при симметричных коротких замыканиях (рис. 2—4, 7—15, 18 и 19).

б) максимальная токовая защита с комбинированным пуском напряжения (*по предложению Мосэнерго*) — *рис.* 1, 5, 6, 16 и 17;

в) максимальная токовая защита (без пуска напряжения) — рис. 5, 7 и 8.

2. Достоинство токовой защиты обратной последовательности заключается в том, что ее применение позволяет совместить в общем оборудовании защиту от перегрузок токами обратной последовательности и защиту от внешних коротких замыканий (§ IX), что и осуществлено в схемах рис. 2, 3, 7—15, 18 и 19. При этом в схемах рис. 2, 3 и 7—11 для блоков с турбогенераторами мощностью более 30 *Мвт* до 100 *Мвт* включительно и рис. 14 и 15 для блоков с гидрогенераторами мощностью более 30 *Мвт* защита со стороны генератора осуществляется с помощью устройства РТ-2, в котором для этого используется реле тока с бо́льшим током срабатывания.

В схеме рис. 4 для блока с турбогенератором мощностью от 5 *Мвт* до 30 *Мвт*, на которой специальная защита от перегрузок токами обратной последовательности не предусматривается, в качестве варианта защиты от внешних коротких замыканий предусмотрена токовая защита обратной последовательности, *выполненная при помощи устройства фильтр*-реле тока обратной последовательности типа РТФ-1, состоящего из фильтра и одного реле тока.

В схемах рис. 12 и 13 для блоков с мощными турбогенераторами с форсированным охлаждением статора и ротора, на которых предусмотрена защита от перегрузок токами обратной последовательности с зависимой выдержкой времени, защита от внешних коротких замыканий осуществляется с помощью устройства РТФ-2, в котором для этого используется реле тока с большим током срабатывания (§ IX).

В схемах рис. 18 и 19 для блока с гидрогенераторами мощностью более 30 *Мвт*, на которых также предусмотрена защита от перегрузок токами обратной последовательности с зависимой выдержкой времени, токовая защита обратной последовательности со стороны генераторов выполнена аналогично таковой в схемах рис. 12 и 13 и ввиду отсутствия соответствующего заводского оборудования для указанных генераторов показана условно (§ IX).

В схемах для блоков мощностью более 30 *Мвт* с трехобмоточными трансформаторами и автотрансформаторами с трехсторонним питанием (рис. 9—11, 18 и 19) токовая защита обратной последовательности устанавливается на стороне генераторного напряжения и на стороне высшего или среднего напряжений. При этом в схемах рис. 9, 10 и 19, в которых на сторонах как высшего, так и среднего напряжений предусмотрены сборные шины, токовая защита обратной последовательности, установленная на стороне высшего напряжения, выполнена для обеспечения селективного действия при внешних коротких замыканиях направленной при помощи устройства РМОП-1. Это устройство содержит один токовый пусковой орган и орган направления мощности обратной последовательности. В схемах рис. 11 и 19, в которых на стороне высшего напряжения шины выполнены четырехугольником, а на стороне среднего напряжения предусмотрены сборные шины, токовая защита обратной последовательности установлена на стороне среднего напряжения и выполнена ненаправленной при помощи устройства РТФ-1.

Токовая защита обратной последовательности в приведенных схемах дополняется приставками для действия при симметричных коротких замыканиях в виде максимальных токовых защит с минимальным пуском напряжения, выполненных каждая с помощью одного реле тока, включенного на фазный ток, и одного реле напряжения, включенного на междуфазное напряжение.

Указанные защиты выполняются с учетом целесообразности резервирования отключения трехфазных коротких замыканий в цепях блока и на шинах высших напряжений станции. В связи с этим в схемах для блоков с двухобмоточными трансформаторами и с трехобмоточными трансформаторами при отсутствии питания со стороны среднего напряжения (рис. 2—4, 7, 8 и 12—15) они устанавливаются на стороне генераторного напряжения с присоединением реле напряжения к трансформатору напряжения указанной стороны в предположении, что при этом обеспечивается требуемая чувстви-

тельность к трехфазным коротким замыканиям на шинах высшего напряжения. Выполненная таким образом защита может не обеспечивать требуемую чувствительность к трехфазным коротким замыканиям на линиях, отходящих от шин станции, что считается допустимым ввиду малой вероятности таких повреждений, сопровождающихся отказом в действии защит или выключателей.

В схемах с трехобмоточными трансформаторами и автотрансформаторами с трехсторонним питанием приставки для действия при трехфазных коротких замыканиях устанавливаются на всех трех сторонах, за исключением сторон с шинами, выполненными по схеме четырехугольника (рис. 9—11, 18 и 19).

Приставки для действия при симметричных коротких замыканиях в схемах для блоков с трехсторонним питанием в целях упрощения не снабжены органом направления мощности, и поэтому в указанных схемах внешние симметричные короткие замыкания, сопровождающиеся отказом в действии выключателя или основной защиты, могут ликвидироваться неселективно.

3. В схемах рис. 1, 5, 6, 16 и 17 для блоков с генераторами мощностью от 5 *Мвт* до 30 *Мвт* включительно принята максимальная токовая защита с комбинированным пуском *напряжения, выполненная с использованием устройства фильтр*-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1 для действия при несимметричных повреждениях и минимального реле напряжения, включенного на междуфазное напряжение, для действия при симметричных повреждениях.

Выбор места включения реле тока и реле напряжения защиты производится с учетом целесообразности обеспечения ею требуемой чувствительности при несимметричных коротких замыканиях как в цепях блока, так и на линиях, отходящих от шин станции, а при симметричных коротких замыканиях — в цепях блока и на шинах высших напряжений станции. В соответствии с этим на блоках с двухобмоточными и с трехобмоточными трансформаторами при отсутствии питания со стороны среднего напряжения (рис. 1, 5, 16 и 17) реле тока защиты установлены на стороне генераторного напряжения, устройство фильтр-реле напряжения обратной последовательности присоединено к трансформатору напряжения, либо стороны высшего напряжения (рис. 1), либо стороны генераторного напряжения (рис. 5, 16, 17) в зависимости от сопротивлений станции и системы, а минимальное реле напряжения во всех указанных схемах присоединено к трансформатору напряжения стороны генераторного напряжения в предположении, что при этом обеспечивается требуемая чувствительность к трехфазным коротким замыканиям на шинах высшего напряжения. Выполненная таким образом защита может не обеспечивать требуемую чувствительность к трехфазным коротким замыканиям на линиях, отходящих от шин станции, аналогично приставке для действия при симметричных коротких замыканиях, дополняющей токовую защиту обратной последовательности.

В схеме рис. 6 с трехобмоточным трансформатором с трехсторонним питанием защита установлена на всех трех сторонах.

Максимальная токовая защита с комбинированным пуском напряжения, установленная на стороне генераторного напряжения, выполнена с тремя реле тока.

Установка трех реле тока, а не двух предусмотрена в целях повышения чувствительности защиты к замыканиям между двумя фазами за трансформатором с соединением Y/Δ-11.

4. В схемах рис. 5, 7 и 8 для блоков с трехобмоточными трансформаторами при отсутствии питания со стороны среднего напряжения 35 *кв* резервная защита, установленная на стороне 35 *кв*, выполнена в виде максимальной токовой защиты без пуска напряжения; при этом предполагается, что на указанную защиту не возлагается функция разделения систем шин при повреждениях. Разделение систем шин осуществляется защитой шин и защитой, установленной на шиносоединительном выключателе.

5. Схемы выполнены в предположении, что на стороне низшего напряжения трансформаторов напряжения, от которых питаются пусковые органы защит, взамен предохранителей установлены автоматы, при срабатывании которых в случае коротких замыканий в цепях напряжения от блок-контактов подается сигнал о неисправности этих цепей.

Трансформаторы напряжения стороны генераторного напряжения во всех схемах, за исключением схем с мощными гурбогенераторами (рис. 12 и 13), со стороны высшего напряжения оборудованы предохранителями. При этом контроль исправности предохранителей осуществляется;

в схемах рис. 14—19 для блоков с гидрогенераторами при помощи минимального реле напряжения с $U_{с.з}=0{,}7\ U_{ном}$, входящего в резервную защиту, а в схемах рис. 16 и 17, кроме того, устройства фильтр-реле напряжения обратной последовательности той же защиты;

в схемах рис. 5 и 6 для блоков с турбогенераторами при помощи устройства фильтр-реле напряжения обратной последовательности, входящего в резервную защиту.

В схемах рис. 1—4 и 7—11 для блоков с турбогенераторами, в которых от рассматриваемых трансформаторов напряжения из защитных устройств питаются только минимальные реле напряжения с $U_{с.з}=(0{,}5—0{,}6)\ U_{ном}$, не обеспечивающие надежного действия при перегорании предохранителей, предполагается, что контроль исправности предохранителей осуществляется устройством форсировки возбуждения генератора.

Контроль исправности предохранителей, установленных на стороне высшего напряжения трансформаторов напряжения 35 *кв*, осуществляется центральным устройством.

На трансформаторах напряжения 110—220 *кв* и трансформаторах напряжения, установленных на стороне генераторного напряжения мощных блоков с турбогенераторами с форсированным охлаждением статора и ротора (рис. 12 и 13), предохранители отсутствуют; в связи с этим на указанных трансформаторах контроль исправности цепей напряжения не предусматривается [1].

XI. Токовая защита нулевой последовательности от внешних коротких замыканий на землю в сети с большим током замыкания на землю

1. Защита предназначена для резервирования отключения коротких замыканий на землю на сторонах трансформатора, примыкающих к сетям с большим током замыкания на землю, и выполнена с помощью одного реле тока и одного реле времени.

2. В схемах рис. 1—3, 5—9 и 12—17 для блоков с трансформаторами защита присоединена к трансформатору тока, встроенному со стороны нейтрали силового трансформатора; при отсутствии в нейтрали трансформаторов тока могут быть использованы трансформаторы тока, включенные по схеме *фильтра тока нулевой последовательности*, установленные со стороны 110—220 *кв*, или специально устанавливаемый в цепи заземления нейтрали низковольтный трансформатор тока для наружной установки.

В схемах рис. 10, 11, 18 и 19 для блоков с автотрансформаторами защита присоединяется к трансформаторам тока, встроенным со сторон 110 и 220 *кв* автотрансформатора.

3. В приведенных схемах защита выполнена следующим образом.

а) В схемах рис. 14 и 17 для блоков с двухобмоточным трансформатором гидроэлектрических станций при отсутствии выключателя в цепи ответвления на собственные нужды (рис. 14) и при отсутствии такого ответвления (рис. 17) защита действует *на отключение всего блока*.

б) В схемах рис. 1, 2 и 5—8 для блоков турбогенератор — трансформатор и в схеме рис. 16 для блока с гидрогенератором при наличии выключателя в цепи ответвления на собственные нужды рассматриваемая защита действует только на отключение выключателя своей стороны. При этом предполагается, что резервирование основных защит трансформатора блока при коротких замыканиях на землю на сторонах, примыкающих к сетям с большим током замыкания на землю, осуществляется резервной защитой от многофазных коротких замыканий, установленной на стороне генераторного напряжения.

в) В остальных схемах (рис. 3, 9—13, 15, 18 и 19) рассматриваемая защита от внешних коротких замыканий на землю обеспечивает также функции резервирования основных защит блока при коротких замыканиях на землю на сторонах блока, примыкающих к сетям с большим током замыкания на землю, и выполнена действующей с двумя выдержками времени: с первой — на отключение выключателя своей стороны, со второй — на отключение всего блока. Такое выполнение защиты принято в предположении недостаточной чувствительности к замыканиям на землю на сторонах 110 и 220 *кв* резервной защиты от многофазных коротких замыканий, установленной на стороне генераторного напряжения.

4. Схемы рис. 10, 11, 18 и 19 для блоков с автотрансформаторами даны для случаев, когда вторые ступени токовых

[1] Подробнее см. «Руководящие указания по релейной защите. Вып. 3. Защита шин 6—220 *кв* станций и подстанций».

защит нулевой последовательности концов линий 110 и 220 *кв*, противоположных по отношению к данной станции, по условию чувствительности не могут быть отстроены от повреждений на шинах смежного напряжения станции вследствие малых сопротивлений автотрансформаторов. Поэтому для предотвращения неселективного отключения линий смежной стороны защитами противоположных концов при наиболее вероятных повреждениях — при коротких замыканиях на землю — чувствительная токовая защита нулевой последовательности, которая согласовывается с третьими ступенями защит, присоединенных к шинам элементов, дополнена токовой отсечкой нулевой последовательности, которая согласовывается с первыми ступенями защит указанных элементов. В целях охвата рассматриваемой отсечкой соединений выводов автотрансформатора с шинами данной стороны она, так же как и чувствительная токовая защита нулевой последовательности, выполнена с двумя выдержками времени и действует с меньшей выдержкой времени на отключение выключателя своей стороны, а с большей — на выходные промежуточные реле защиты автотрансформатора.

При выборе бо́льших выдержек времени чувствительной защиты и токовой отсечки нулевой последовательности ступень выдержки времени можно принимать сниженной, так как согласуемые выдержки времени осуществляются при помощи общих реле времени.

Следует отметить, что при осуществлении указанного мероприятия для обеспечения селективности действия вторых ступеней защит от коротких замыканий на землю линий смежной стороны выдержки времени последних требуется отстроить от большей выдержки времени отсечки, установленной на автотрансформаторе. В случаях, когда это приводит к чрезмерному увеличению выдержек времени защит линий, допустимо производить согласование только с меньшей выдержкой времени отсечки.

Указанные защиты выполняются направленными на обеих сторонах автотрансформатора для возможности применения схем в условиях, характеризующихся резкими колебаниями режимов работы системы, в целях повышения чувствительности отсечек обеих сторон автотрансформатора.

В связи с относительной сложностью рассматриваемой защиты в каждом конкретном случае следует выяснить возможность неучета отдельных условий, принятых в приведенных схемах. Например, в случаях, когда вторые ступени защит от коротких замыканий на землю противоположных концов линий 110 или 220 *кв* по условию чувствительности могут быть отстроены от повреждений на шинах смежной стороны напряжения станции, на указанной стороне отсечка от замыканий на землю исключается из схемы; в случаях, когда отсечка практически во всех режимах обеспечивает требуемую чувствительность, чувствительную защиту от замыканий на землю следует выполнять с одной выдержкой времени, действующей на отключение выключателя своей стороны.

Следует также отметить, что вторые ступени дистанционных защит противоположных концов линий 110 и 220 *кв* по условию чувствительности также могут оказаться неотстроенными от повреждений на шинах смежного напряжения станции. Для предотвращения неселективного действия указанных защит линий защиты автотрансформаторов от внешних многофазных коротких замыканий должны выполняться двухступенчатыми (по аналогии с защитами от внешних коротких замыканий на землю); при этом в ряде случаев может потребоваться выполнение защиты автотрансформаторов от внешних многофазных коротких замыканий в виде двухступенчатых дистанционных защит. Такое выполнение защит может оказаться целесообразным в особо ответственных случаях.

В приведенных схемах двухступенчатое выполнение защит от внешних многофазных коротких замыканий в целях упрощения не предусматривается (§ X).

5. Защита от внешних коротких замыканий на землю в сетях с большим током замыкания на землю в приведенных схемах рис. 1—3, 5—9 и 12—17 показана для случаев, когда на трансформаторах блоков данной станции режим работы с незаземленной нейтралью не допускается. Особенности релейной защиты в случаях, когда трансформаторы данной станции могут работать частично с заземленной и частично с незаземленной нейтралью, показаны на рис. 20 (см. описание схемы рис. 20).

XII. Защита от симметричных перегрузок

1. Максимальная токовая защита от симметричных перегрузок выполнена с использованием тока одной фазы и действует на сигнал с выдержкой времени.

2. Защита установлена:

а) на блоках с двухобмоточным трансформатором — со стороны генератора (рис. 1—4, 12, 13 и 14—17);

б) на блоках с трехобмоточным трансформатором при отсутствии питания с одной из сторон — со стороны генератора и со стороны, где питание отсутствует (рис. 5, 7 и 8);

в) на блоках с трехобмоточным трансформатором при наличии трехстороннего питания — со всех трех сторон (рис. 6 и 9);

г) на автотрансформаторах с трехсторонним питанием — со стороны генератора, со стороны высшего напряжения 220 *кв* и со стороны выводов обмотки автотрансформатора к нейтрали (приложение III). Последнее необходимо для сигнализации перегрузок части обмотки автотрансформатора между выводами 110 *кв* и нейтралью (рис. 10, 11, 18 и 19).

Кроме того, на блоках с автотрансформаторами с трехсторонним питанием на стороне высшего напряжения устанавливается защита для сигнализации перегрузок в режиме, когда на стороне низшего напряжения ток отсутствует. Указанное необходимо ввиду снижения в этом режиме пропускной способности автотрансформатора. Защита выполняется с помощью реле тока с уставкой, соответствующей допустимой для рассматриваемого режима нагрузке, и вводится в действие, когда ток в генераторе блока снижается до значения тока срабатывания реле тока с размыкающим контактом, установленного в цепи генератора (рис. 10, 11, 18, 19 и приложение III).

3. На блоках гидрогенератор — трансформатор в связи с отсутствием на станции постоянного дежурного персонала на стороне генератора дополнительно к максимальной токовой защите, действующей на сигнал, предусматривается устройство автоматической разгрузки (рис. 14—19), разработанное ОАТН. Гидроэнергопроекта (в настоящее время Энергосетьпроекта).

Указанное устройство в случае, когда разгрузка оказывается неэффективной, действует на отключение генератора через реле времени.

4. Для защит от симметричных перегрузок, установленных со всех сторон трансформатора блока, предусмотрено общее реле времени.

XIII. Максимальная защита напряжения от повышения напряжения

Защита гидрогенераторов блоков от повышения напряжения выполняется в виде максимальной защиты напряжения с выдержкой времени (рис. 14—19). Напряжение срабатывания принимается порядка (1,5—1,7) $U_{ном}$, выдержка времени — порядка 0,5 *сек*.

XIV. Защита от замыканий на землю в одной точке цепи возбуждения гидрогенераторов

1. Защита выполнена в двух вариантах: с использованием принципа наложения на постоянный ток цепи возбуждения переменного (рис. 21) и постоянного (рис. 22) тока от постороннего источника. В качестве последнего для обеспечения действия защиты на остановленном генераторе используется напряжение трансформатора собственных нужд станции.

2. Схемы рис. 21 и 22 предназначены для гидрогенераторов с электромашинным возбуждением.

Схемы защиты от замыканий на землю в одной точке цепи возбуждения генераторов с ионным возбуждением подлежат отдельному рассмотрению.

3. В зависимости от режима работы станции (наличие резерва мощности и др.) защита предусматривается с действием на сигнал или на отключение.

4. Недостатком схемы с наложением переменного тока является ограничение ее чувствительности емкостью цепи возбуждения по отношению к земле ($C_в \approx 0{,}5$ *мкф*).

Недостатком схемы с наложением постоянного тока является различная чувствительность при замыканиях на землю на разноименных полюсах обмотки возбуждения.

В связи с указанным при $C_в \leqslant 0{,}5$ *мкф* целесообразно применение схемы по рис. 21 с наложением переменного тока, а при $C_в > 0{,}5$ *мкф* — по рис. 22 с наложением постоянного тока.

5. Схемы рис. 21 и 22 даны применительно к случаю, когда цепи возбуждения параллельно работающих генерато-

ров электрически не связаны между собой системой группового регулирования.

6. Соотношения, характеризующие защиту по схеме рис. 21, приведены в приложении IV.

XV. Расстановка указательных реле, отключающих устройств и испытательных блоков

1. В выходных цепях каждой из защит предусматриваются сериесные указательные реле, сигнализирующие действие этих защит.

От контактов указательных реле подается сигнал «Указатель реле не поднят».

Следует отметить, что в целях упрощения для всех защит, выполненных с двумя выдержками времени, предусмотрено действие на выходные промежуточные реле защиты блока с большей выдержкой времени через общее указательное реле.

Кроме того, указательные реле предусмотрены в цепи ускорения действия защиты от внешних коротких замыканий после включения выключателя стороны среднего напряжения (от устройств АПВ и при дистанционном включении).

Для обеспечения надежной работы сериесных указательных реле в случае одновременного действия нескольких защит на выходные промежуточные реле (например, дифференциальной и газовой) в схемах предусмотрено добавочное сопротивление, включенное параллельно обмоткам выходных промежуточных реле.

В приведенных схемах типы указательных реле даны для случая, когда напряжение оперативного постоянного тока равно 220 *в*.

2. В схемах предусмотрена возможность перевода действия отключающего контакта газовой защиты на сигнал с помощью переключающего устройства.

3. Отключающие устройства для выведения защиты эксплуатационным персоналом предусмотрены:

а) в цепях дифференциальных защит и максимальной токовой защиты с торможением первичной обмотки добавочного трансформатора — для выведения из действия при неисправностях их цепей;

б) в цепях максимальной токовой защиты с пуском напряжения и направленных токовых защит — для выведения из действия при неисправностях цепей напряжения;

в) в схеме резервной защиты блока от замыканий на землю для случаев, когда трансформаторы станции могут работать как с заземленной, так и с незаземленной нейтралью (рис. 20);

г) в цепи отключения обходного выключателя от защит трансформатора (автотрансформатора), а также в цепи подачи импульса на выходное промежуточное реле защиты блока от защиты на обходном выключателе;

д) в цепи отключения турбогенератора при потере возбуждения (цепь от АГП) (§ XVI).

4. Переключающие устройства установлены:

а) в цепи газовой защиты — для возможности перевода ее действия на сигнал;

б) в цепи поперечной дифференциальной токовой защиты турбогенераторов — для возможности перевода ее на действие с выдержкой времени при появлении замыкания на землю в одной точке цепи возбуждения.

5. В выходных цепях остальных защит, а также в цепях отключения от выходных промежуточных реле должны быть предусмотрены разъемные зажимы.

6. В рассматриваемых схемах испытательные блоки предусмотрены в плечах дифференциальных защит, а также максимальной токовой защиты с торможением добавочного трансформатора.

Следует, однако, отметить, что ряд энергосистем считает достаточным предусматривать в цепях указанных защит блока генератор — двухобмоточный трансформатор при отсутствии выключателя в цепи ответвления на собственные нужды (рис. 14) и при отсутствии такого ответвления (рис. 17) и защит добавочного трансформатора (рис. 10, 11, 18 и 19) только разъемные зажимы. Поэтому установка испытательных блоков в подобных случаях не является обязательной.

XVI. Дополнительные указания по выполнению схем защиты блоков генератор — трансформатор и генератор — автотрансформатор

1. В приведенных схемах защиты блоков, оборудованных газовой защитой, в качестве выходных промежуточных реле предусмотрены реле типа РП-255, сериесные удерживающие обмотки которых предусматриваются в цепях отключения масляных выключателей 6—220 *кв*, а также воздушных выключателей 35 *кв* с трехфазным приводом; при этом обеспечивается надежное отключение этих выключателей при кратковременных замыканиях контактов газовых реле.

В цепях отключения воздушных выключателей 110—220 *кв* с пофазным приводом сериесные удерживающие обмотки выходных промежуточных реле защит не используются, так как при наличии в цепи отключения этих обмоток могло бы иметь место повреждение соленоидов отключения при отказе одного из трех параллельно включенных блок-контактов выключателя вследствие длительного прохождения тока. При этом предполагается, что удерживание отключающего импульса осуществляется с помощью блок-контакта электромагнита отключения, а предотвращение повреждения соленоида достигается разрывом цепи самоудерживания контактами специально предусмотренного для этой цели промежуточного реле с задержкой на отпадание порядка 5 *сек*.

Принципиальная схема внутренних соединений реле РП-255 приведена на рис. 23.

2. В схемах защит блоков тепловых станций (рис. 1—13) предусмотрена возможность отключения генератора при потере возбуждения, вызванной случайным действием устройства АГП — для тех случаев, когда недопустима длительная работа генератора без возбуждения (если генератор имеет составной ротор или ротор с проволочными бандажами), а также когда система не может покрывать дефицит реактивной мощности, вызванный потерей возбуждения рассматриваемого генератора.

Для гидрогенераторов режим работы при потере возбуждения нежелателен, и потому в схемах рис. 14—19 предусмотрено отключение генератора в указанном режиме (в отличие от схем для блоков тепловых станций в цепи отключения выключателя от АГП отсутствует отключающее устройство).

3. В схемах защит блоков с гидрогенераторами (рис. 14—19) предусматривается подача импульса на гашение поля возбудителя при отключении выключателя в целях подготовки схемы к операции самосинхронизации.

4. В случаях, когда предусматривается возможность замены выключателя сторон высшего и среднего напряжений блока обходным выключателем, схемы защиты блоков отличаются следующими особенностями (рис. 3, 5—10, 12 и 13):

а) В целях сохранения в действии дифференциальной защиты блока или трансформатора (автотрансформатора) в режиме работы блока через обходной выключатель она переключается в этом режиме от трансформаторов тока, установленных в цепи заменяемого выключателя, к трансформаторам тока, встроенным во втулки трансформатора (автотрансформатора), при помощи испытательных блоков.

б) В приведенных схемах в целях обеспечения действия защит блока при внутренних повреждениях на отключение обходного выключателя (при замене им выключателя блока) предусмотрена подача отключающего импульса к указанному выключателю через отключающее устройство от контакта выходного промежуточного реле защиты блока.

в) В схемах рис. 3, 5—10 в целях обеспечения селективного резервирования при наиболее вероятных повреждениях — коротких замыканиях на землю — в режиме работы трансформатора на стороне с большим током замыкания на землю через обходной выключатель предусмотрена подача отключающего импульса к указанному выключателю от резервных защит от коротких замыканий на землю.

В схемах рис. 3, 5, 7 и 8 резервирование внешних многофазных коротких замыканий в рассматриваемом режиме осуществляется резервной защитой, установленной на стороне генераторного напряжения, действующей при этом в схемах рис. 5, 7 и 8 на отключение всего блока, а в схеме рис. 3 — действующей с первой выдержкой времени на отключение обходного выключателя.

В схемах рис. 6, 9 и 10 для обеспечения резервирования при внешних многофазных коротких замыканиях резервная защита от указанных повреждений, установленная на стороне с обходной системой шин, присоединяется к трансформаторам тока, встроенным во втулки силового трансформатора (автотрансформатора), а также предусмотрена подача отключающего импульса от этой защиты к обходному выключателю.

Такое выполнение защиты в схемах рис. 6, 9 и 10 связано с предположением, что резервная защита, установленная на стороне генераторного напряжения, не обладает достаточной чувствительностью к внешним многофазным коротким замыканиям.

В схемах рис. 12 и 13 предусмотрена подача отключающего импульса к обходному выключателю от резервных защит как от замыканий на землю, так и от многофазных коротких замыканий.

г) В дополнение к защитам блока в режиме замены одного из выключателей обходным с помощью отключающего устройства вводится защита, установленная на обходном выключателе. Это предусмотрено для обеспечения отключения без выдержки времени коротких замыканий в зоне между трансформаторами тока, к которым присоединена защита, установленная на обходном выключателе, и трансформаторами тока, на которые переключается в рассматриваемом режиме дифференциальная защита трансформатора (п. 4,а).

5. При выполнении защит блоков гидроэлектрических станций в соответствии с § I, разд. А учитывалось, что:

а) при внешних повреждениях, а также при симметричных и несимметричных перегрузках остановка турбины нежелательна;

б) при повреждении в гидрогенераторе для ограничения размеров повреждения и обеспечения быстрой ликвидации пожара должна быть остановлена турбина и автоматически включено устройство тушения пожара;

в) при повреждении в трансформаторе (автотрансформаторе) блока допустимо остановить турбины, поскольку повторное включение трансформатора после отключения повреждения производится только после осмотра оборудования и выявления причины повреждения.

В связи с этим ряд защит блоков гидроэлектрических станций, а именно: дифференциальная защита блока, дифференциальная защита трансформатора (автотрансформатора), продольная и поперечная дифференциальные защиты генератора, газовая защита, дифференциальная защита и максимальная токовая защита с торможением добавочного трансформатора действуют не только на отключение соответствующих выключателей и АГП, но и подают импульс на реле остановки турбины (рис. 14—19).

Указанное относится также к действию со второй выдержкой времени резервных защит (рис. 15, 16, 18 и 19) и защит от симметричных и несимметричных перегрузок генератора (рис. 15 и 16). При действии резервных защит (рис. 14 и 17) и защит от симметричных и несимметричных перегрузок с одной выдержкой времени (рис. 14 и 17—19) импульс на остановку турбины от них не предусматривается.

Продольная и поперечная токовые дифференциальные защиты генератора действуют также на устройство автоматического тушения пожара (рис. 14—19).

Исходя из указанного, в схемах защиты блоков гидрогенератор — трансформатор предусмотрены три вида выходных промежуточных реле, действующих соответственно:

а) на отключение всех выключателей блока, АГП и на остановку турбины (рис. 14—19);

б) на отключение выключателя генератора и АГП (рис. 16, 18 и 19) или на отключение всех выключателей блока и АГП (рис. 14, 15 и 17), а также на устройство автоматического тушения пожара и на остановку турбины;

в) на отключение выключателя генератора и АГП (рис. 16, 18 и 19) или на отключение всех выключателей блока и АГП (рис. 14, 15 и 17).

6. В схемах рис. 5, 13, 14, 15 и 17 предполагается, что амперметры цепи генератора могут быть присоединены через промежуточные трансформаторы к тем же трансформаторам тока, установленным со стороны нейтрали генератора, что и защита от внешних коротких замыканий; указанное позволит персоналу обнаруживать повреждения в генераторе при подъеме напряжения с нуля.

В тех случаях, когда в схемах рис. 5, 14, 15 и 17 нагрузка на трансформаторы тока при этом превышает допустимую с точки зрения правильной работы общей дифференциальной защиты блока, возможно вместо последней предусмотреть дифференциальную защиту трансформатора (подобно рис. 3).

Б. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ СХЕМ ЗАЩИТЫ

(рис. 1—22)

Схема защиты блока турбогенератор — трансформатор 121—242/6,3—10,5 *кв* мощностью более 5 *Мвт* до 30 *Мвт* включительно (рис. 1).

1. Схема дана для случая, когда на стороне 110—220 *кв* установлены воздушный выключатель и выносные трансформаторы тока.

2. Дифференциальная защита блока выполнена с реле ДЗТ-1 (*11РТТ—13РТТ*), имеющим одну тормозную обмотку, присоединенную к трансформаторам тока в цепи ответвления к собственным нуждам в предположении, что при отстройке от токов небаланса при внешних коротких замыканиях на ответвлении к собственным нуждам имеет место недопустимое загрубление защиты, выполненной без торможения.

3. Для резервирования основных защит блока при многофазных коротких замыканиях и резервирования отключения многофазных коротких замыканий на шинах 110—220 *кв* и на отходящих от этих шин элементах предусмотрена максимальная токовая защита (реле тока *16РТ—18РТ*) с комбинированным пуском напряжения. Пуск напряжения защиты состоит из устройства фильтр-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1 (*21РНФ*) для действия при несимметричных повреждениях и минимального реле напряжения (*20РН*), включенного на междуфазное напряжение, для действия при симметричных повреждениях. Размыкающий контакт устройства фильтр-реле включен в цепь обмотки минимального реле напряжения.

Реле тока защиты присоединены к трансформаторам тока, установленным со стороны выводов обмотки генератора к нейтрали.

Защита выполнена с тремя реле тока в целях повышения чувствительности к коротким замыканиям между двумя фазами на стороне 110—220 *кв*.

Устройство фильтр-реле напряжения обратной последовательности *21РНФ* в данной схеме присоединяется к трансформаторам напряжения шин 110—220 *кв* в предположении, что это необходимо для обеспечения требуемой чувствительности защиты к коротким замыканиям на отходящих от шин 110—220 *кв* элементах и что при этом обеспечивается также требуемая чувствительность к коротким замыканиям на стороне низшего напряжения защищаемого блока. В связи с этим для обеспечения действия защиты при коротких замыканиях в цепях блока после отключения выключателя *1В* в схеме предусмотрено шунтирование ее органа напряжения. Для надежного предотвращения сброса выдержки времени после отключения выключателя *1В* при действии защиты в случае коротких замыканий в цепях блока следует использовать для целей шунтирования не блок-контакт выключателя *1В*, а контакт реле положения «включено» (РПВ), поскольку его обмотка шунтируется контактом реле защиты и поэтому оно срабатывает раньше отключения выключателя.

Для сохранения питания собственных нужд при повреждениях на линиях, отходящих от шин 110—220 *кв*, сопровождающихся отказом в действии выключателя или защиты, рассматриваемая защита выполняется с двумя выдержками времени (реле 26РВ): с первой выдержкой времени она действует на отключение выключателя стороны 110—220 *кв*, а со второй — на отключение всех выключателей блока и АГП.

4. В схеме на стороне 110—220 *кв* предусмотрена защита от внешних коротких замыканий на землю на шинах 110—220 *кв* и отходящих от них элементах, выполненная в виде токовой защиты нулевой последовательности (реле тока *14РТ* и реле времени *23РВ*).

5. Защита напряжения нулевой последовательности от замыканий на землю на стороне генераторного напряжения выполнена с реле *19РН* и *24РВ*.

6. Защита от симметричных перегрузок выполнена с помощью реле тока *15РТ* и реле времени *25РВ*.

Схема защиты блока турбогенератор — трансформатор 121—242/6,3—10,5 *кв* мощностью более 30 *Мвт* до 100 *Мвт* (рис. 2).

1. Схема дана для случая установки на стороне 110—220 *кв* воздушного выключателя и использования для целей защиты трансформаторов тока, встроенных во втулки 110—220 *кв* силовых трансформаторов.

При таком выполнении схемы соединения блока со сборными шинами 110—220 *кв* входят в зону действия защиты последних. В связи с этим рассматриваемая схема целесообразна для случая, когда указанные соединения имеют малую протяженность и поэтому повреждения в них менее вероятны.

2. Дифференциальная защита блока выполнена в данной схеме с реле ДЗТ-1 (*12РТТ—14РТТ*) аналогично тому, как это выполнено в схеме рис. 1.

3. Предусмотренная в схеме односистемная поперечная дифференциальная токовая защита генератора выполнена с реле тока *18РТФ* и реле времени *28РВ*. Защита переводится на действие с выдержкой времени при появлении замыкания на землю в одной точке цепи возбуждения.

4. Защита от внешних многофазных коротких замыканий выполнена в виде токовой защиты обратной последовательности с использованием реле типа РТ-2 (*19РТФ*). Защита снабжена приставкой для действия при симметричных корот-

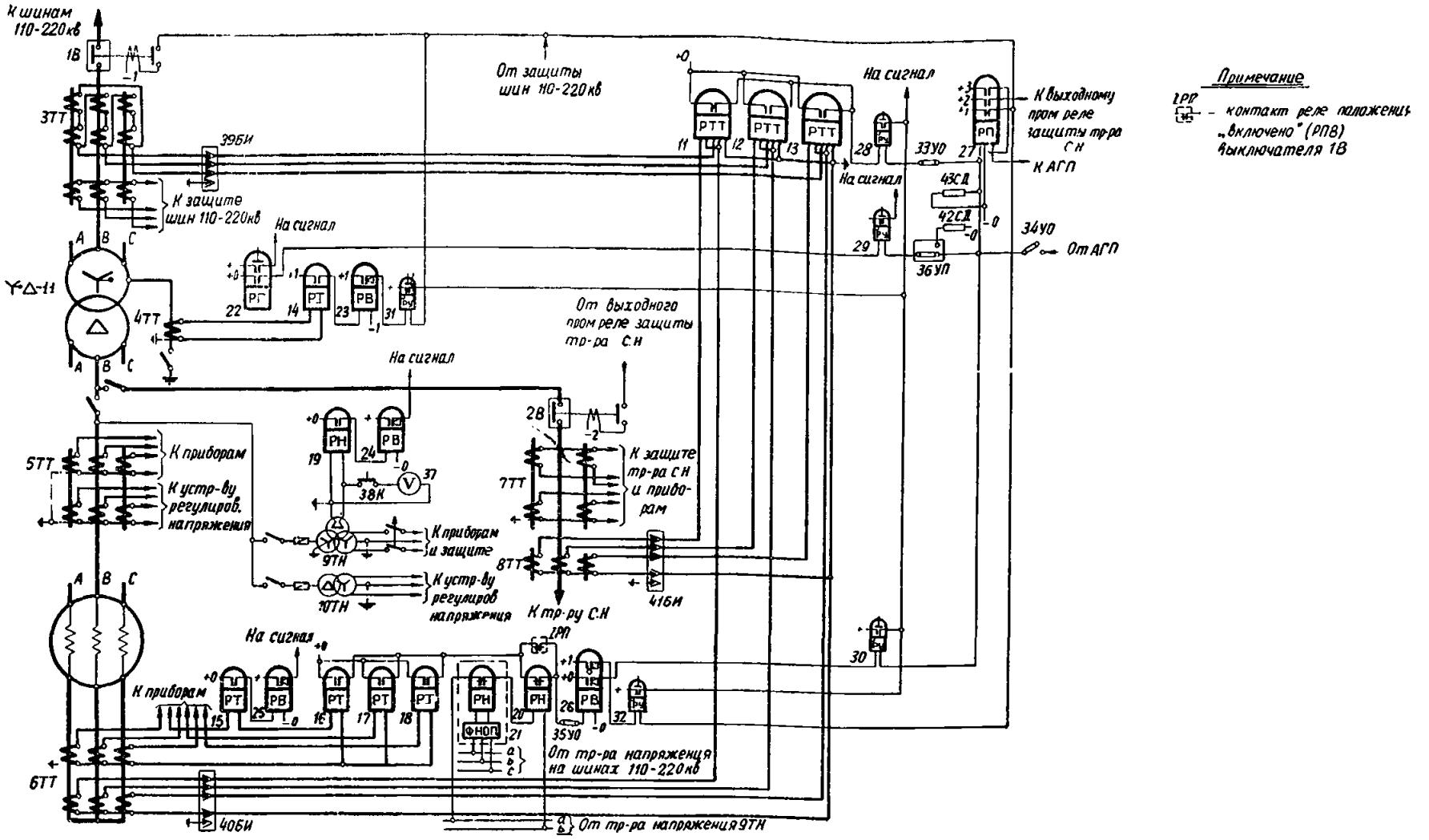


Рис. 1. Схема защиты блока турбогенератор—трансформатор 121—242/6,3—10,5 *кв* мощностью более 5 *Мвт* до 30 *Мвт* включительно.

1В, *2В* — выключатели; *3ТТ*, *5ТТ—8ТТ* — трансформаторы тока; *4ТТ* — трансформатор тока (встроенный); *9ТН*, *10ТН* — трансформаторы напряжения; *11РТТ—13РТТ* — реле тока с торможением типа ДЗТ-1; *14РТ—18РТ* — реле тока типа ЭТ-521; *19РН* — реле напряжения типа ЭН-526/60Д-М; *20РН* — реле напряжения типа ЭН-529/160; *21РНФ* — фильтр-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1; *22РГ* — реле газовое; *23РВ* — реле времени типа ЭВ-134; *24РВ*, *25РВ* — реле времени типа ЭВ-133; *26РВ* — реле времени типа ЭВ-132; *27РП* — реле промежуточное типа РП-255; *28РУ—30РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; *31РУ*, *32РУ* — реле указательные типа РУ-21/1; *33УО—35УО* — устройства отключающие типа НКР-2; *36УП* — устройство переключающее типа НКР-2; *37V* — вольтметр; *38К* — кнопка; *39БИ* — блок испытательный типа БИ-4; *40БИ*, *41БИ* — блоки испытательные типа БИ-6; *42СД*, *43СД* — сопротивления добавочные 4 500 *ом* типа ПЭ-50; *1РП* — контакт реле положения *включено* (РПВ) выключателя *1В*.

ких замыканиях с использованием тока одной фазы и одного междуфазного напряжения (реле *17РТ* и *21РН*) от трансформатора напряжения стороны генераторного напряжения (*10ТН*) аналогично тому, как это сделано в схеме рис. 1.

Защита по аналогии с резервной защитой от многофазных коротких замыканий в схеме рис. 1 выполнена с двумя выдержками времени (*24РВ*).

5. В схеме на стороне 110—220 *кв* предусмотрена токовая защита нулевой последовательности от внешних коротких замыканий на землю (реле *15РТ* и *23РВ*) и защита напряжения нулевой последовательности от замыканий на землю на стороне генераторного напряжения (реле *20РН* и *25РВ*), выполненные аналогично таковым в схеме рис. 1.

6. Защита от симметричных перегрузок выполнена с реле тока *16РТ* и реле времени *26РВ* и от перегрузок токами обратной последовательности — с использованием устройства *19РТФ*.

7. В целях повышения надежности защиты от внешних многофазных коротких замыканий измерительные приборы, питаемые от тех же трансформаторов тока, что и защита, присоединяются через промежуточные трансформаторы тока; при этом предполагается, что нагрузка на трансформаторы тока *6ТТ* не превышает допустимую. В противном случае для измерительных приборов должны предусматриваться отдельные трансформаторы тока.

Схема защиты блока турбогенератор — трансформатор 121—242/10,5 *кв* мощностью 100 *Мвт* (рис. 3).

1. Схема дана для случая, когда:

а) на стороне 110—220 *кв* установлен масляный выключатель с трансформаторами тока, встроенными в его втулки;

б) предусмотрена возможность замены выключателя стороны 110—220 *кв* обходным выключателем;

в) в цепи ответвления к трансформатору собственных нужд на стороне генераторного напряжения не предусмотрен выключатель.

2. В схеме предусмотрены отдельные продольные дифференциальные защиты генератора и трансформатора.

Отдельная дифференциальная защита генератора предусмотрена в соответствии с указанным в разд. А, § II, п. 1.

В схеме предусмотрена отдельная дифференциальная защита трансформатора, а не общая дифференциальная защита блока, поскольку последняя в рассматриваемом случае имела бы сниженную надежность в связи с необходимостью присоединения к трансформаторам тока *8ТТ* со стороны нейтрали генератора также и токовой защиты обратной последовательности, характеризуемой относительно большим потреблением.

3. Дифференциальная токовая защита трансформатора выполнена с реле РНТ-562 (*14РТН—16РТН*). Для указанной защиты в цепи ответвления к собственным нуждам предусмотрены трансформаторы тока *11ТТ* в предположении, что при отстройке ее по току срабатывания от коротких замыканий за трансформатором собственных нужд не обеспечивается требуемая чувствительность защиты.

В режиме работы блока на шины 110—220 *кв* через обходной выключатель дифференциальная защита трансформатора переключается от трансформаторов тока *2ТТ*, установленных в цепи заменяемого выключателя, на трансформаторы тока *4ТТ*, встроенные во втулки силового трансформатора, с помощью испытательных блоков *54БИ* и *55БИ*.

Для экономии трансформатора тока в цепи ответвления на собственные нужды дифференциальная защита трансформатора со стороны генераторного напряжения выполнена двухфазной (в соответствии с разд. А, § III).

4. Продольная дифференциальная токовая защита генератора выполнена с реле РНТ-562 (*17РТН—19РТН*) с током срабатывания, меньшим номинального, и с устройством контроля исправности вторичных цепей ее трансформаторов тока (реле *20РТ*), предусматриваемым на генераторах мощностью 100 *Мвт* и более (разд. А, § II). В связи с этим защита включена по специальной схеме (разд. А, § II, п. 3 и приложение I).

5. Предусмотренная в схеме односистемная поперечная дифференциальная токовая защита генератора выполнена

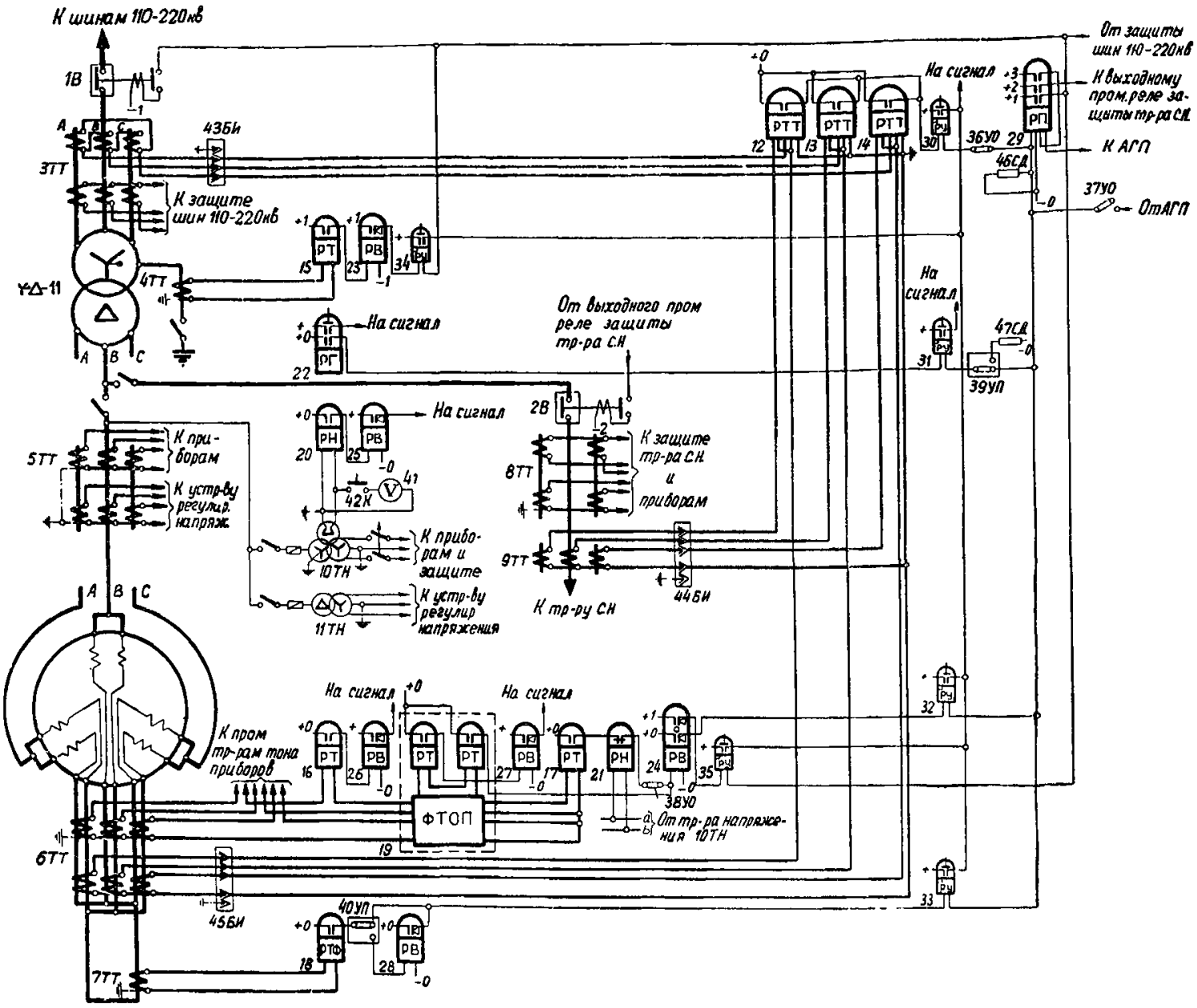


Рис. 2. Схема защиты блока турбогенератор—трансформатор 121—242/6,3—10,5 *кв* мощностью более 30 *Мвт* до 100 *Мвт*.

1В, 2В — выключатели; *3ТТ, 4ТТ* — трансформаторы тока (встроенные); *5ТТ—9ТТ* — трансформаторы тока; *10ТН, 11ТН* — трансформаторы напряжения; *12РТТ—14РТТ* — реле тока с торможением типа ДЗТ-1; *15РТ—17РТ* — реле тока типа ЭТ-521; *18РТФ* — реле тока типа ЭТ-521/Ф; *19РТФ* — фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТ-2; *20РН* — реле напряжения типа ЭН-526/60Д-М; *21РН* — реле напряжения типа ЭН-529/160; *22РГ* — реле газовое; *23РВ* — реле времени типа ЭВ-134; *24РВ* — реле времени типа ЭВ-132; *25РВ—27РВ* — реле времени типа ЭВ-133; *28РВ* — реле времени типа ЭВ-124; *29РП* — реле промежуточное типа РП-255; *30РУ—33РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; *34РУ, 35РУ* — реле указательные типа РУ-21/1; *36УО—38УО* — устройства отключающие типа НКР-2; *39УП, 40УП* — устройства переключающие типа НКР-2; *41V* — вольтметр; *42К* — кнопка; *43БИ* — блок испытательный типа БИ-4; *44БИ, 45БИ* — блоки испытательные типа БИ-6; *46СД, 47СД* — сопротивления добавочные 4 500 *ом* типа ПЭ-50.

аналогично таковой в схеме рис. 2 (реле *25РТФ* и *34РВ*).

6. Защита блока от внешних многофазных коротких замыканий выполнена в виде токовой защиты обратной последовательности с приставкой для действия при симметричных коротких замыканиях аналогично таковой в схеме рис. 2 (реле *24РТФ, 23РТ, 27РН* и *33РВ*) с тем отличием, что в данной схеме в целях сохранения питания собственных нужд станции при внешнем повреждении в режиме, когда выключатель *1В* на стороне 110—220 *кв* заменен обходным, рассматриваемая защита выполнена с возможностью действия с первой выдержкой времени также и на обходной выключатель (через промежуточное реле *36РП* и отключающее устройство *45УО*).

7. Предусмотренная на стороне 110—220 *кв* защита от внешних коротких замыканий на землю выполнена с реле *21РТ* и *32РВ*. Защита действует с двумя выдержками времени: с первой — на отключение выключателя стороны 110—220 *кв* (*1В* или обходного) через промежуточное реле *36РП* и со второй — на отключение всего блока.

Действие рассматриваемой защиты на отключение всего блока предусмотрено в предположении, что при коротком замыкании на землю двух фаз на стороне высшего напряжения трансформатора реле с бо́льшим током срабатывания, входящее в устройство *24РТФ* защиты обратной последовательности, может оказаться нечувствительным.

8. Защита от симметричных перегрузок выполнена с реле тока *22РТ* и реле времени *30РВ*, а от перегрузок токами обратной последовательности — с использованием устройства *24РТФ*.

9. Измерительные приборы, питаемые от тех же трансформаторов тока, что и защита от внешних многофазных коротких замыканий, присоединяются через промежуточные трансформаторы тока аналогично тому, как это сделано в схеме рис. 2.

Схема защиты блока турбогенератор — трансформатор 38,5/6,3 *кз* мощностью более 5 *Мзт* до 30 *Мзт* включительно (обмотка статора генератора соединена в треугольник) (рис. 4).

1. Схема дана для случая, когда на стороне 35 *кв* установлен масляный выключатель с трансформаторами тока, встроенными в его втулки.

2. Дифференциальная защита блока выполнена с реле РНТ-562 (*11РТН—13РТН*).

Соединение в треугольник трансформаторов тока *6ТТ* дифференциальной защиты принято для ликвидации сдвига по фазе ее вторичных токов.

3. Защита блока от внешних многофазных коротких замыканий выполнена в виде токовой защиты обратной последовательности (*16РТФ*) с использованием устройства фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТФ-1, содержащего фильтр и одно реле тока, и приставки для действия при симметричных коротких замыканиях, аналогичной таковой в схеме рис. 2 (*15РТ* и *18РН*).

4. Защита от симметричных перегрузок выполнена с помощью реле *14РТ* и *21РВ*.

Схема защиты блока турбогенератор — трансформатор 121—242/38,5/6,3—10,5 *кз* мощностью более 5 *Мзт* до 30 *Мвт* включительно без выключателя в цепи генератора при отсутствии питания со стороны среднего напряжения (рис. 5).

1. Схема дана для случая, когда:

а) на сторонах 110—220 и 35 *кв* установлены воздушные выключатели и выносные трансформаторы тока;

б) предусмотрена возможность замены выключателя стороны 110—220 *кв* обходным выключателем.

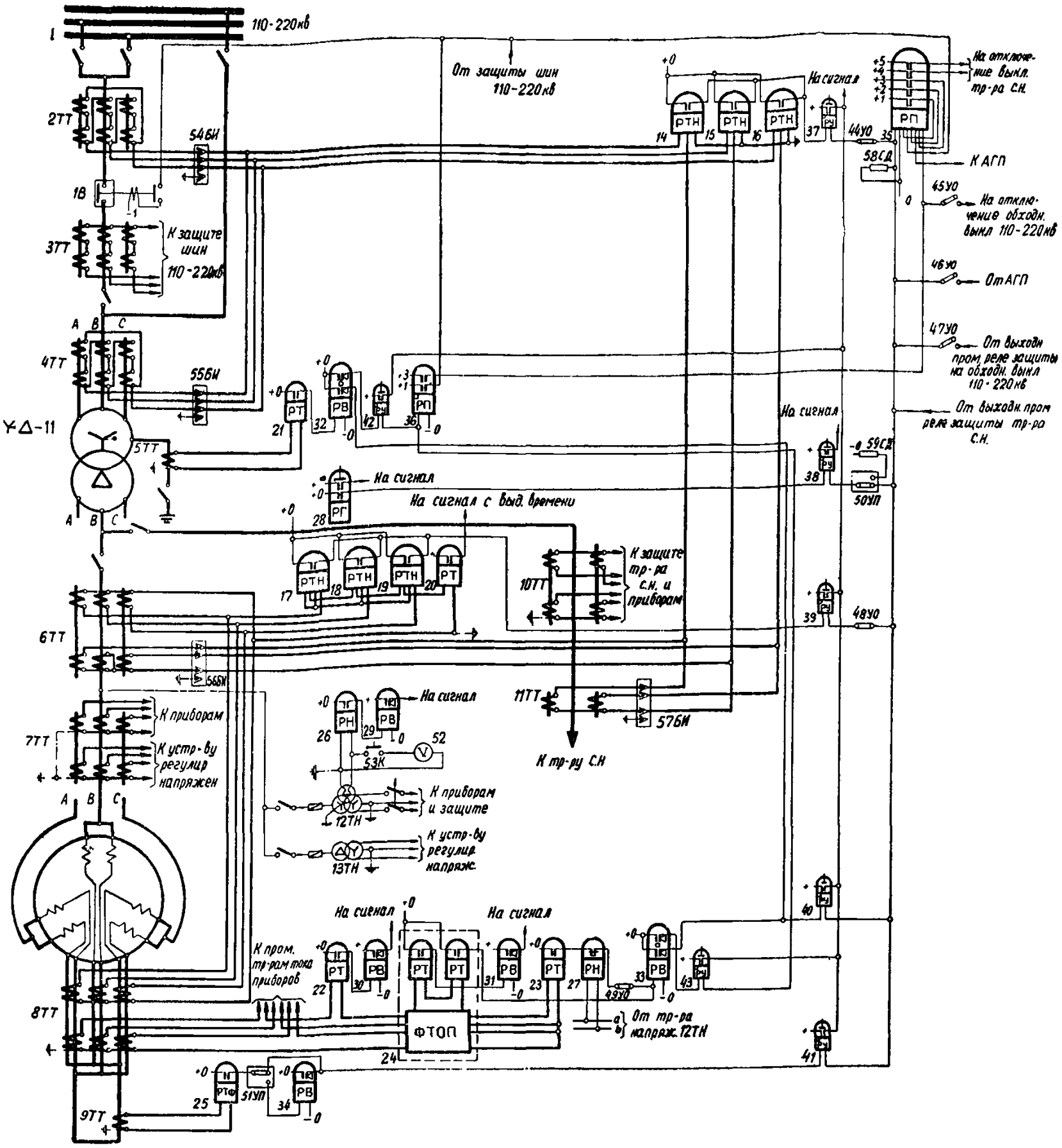


Рис. 3. Схема защиты блока турбогенератор—трансформатор 121—242/10,5 *кв* мощностью 100 *Мвт*.

1В — выключатель; *2ТТ—5ТТ* — трансформаторы тока (встроенные); *6ТТ—11ТТ* — трансформаторы тока; *12ТН*, *13ТН* — трансформаторы напряжения; *14РТН—19РТН* — реле тока с насыщающимися трансформаторами типа РНТ-562; *20РТ* — реле тока типа ЭТ-521/2; *21РТ—23РТ* — реле тока типа ЭТ-521; *24РТФ* — фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТ-2; *25РТФ* — реле тока типа ЭТ-521/Ф; *26РН* — реле напряжения типа ЭН-526/60Д-М; *27РН* — реле напряжения типа ЭН-529/160; *28РГ* — реле газовое; *29РВ—31РВ* — реле времени типа ЭВ-133; *32РВ*, *33РВ* — реле времени типа ЭВ-132; *34РВ* — реле времени типа ЭВ-124; *35РП* — реле промежуточное типа РП-255; *36РП* — реле промежуточное типа РП-24; *37РУ—41РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; *42РУ*, *43РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,015; *44УО—49УО* — устройства отключающие типа НКР-2; *50УП*, *51УП* — устройства переключающие типа НКР-2; *52V* — вольтметр; *53К* — кнопка; *54БИ—57БИ* — блоки испытательные типа БИ-4; *58СД*, *59СД* — сопротивления добавочные 4 500 *ом* типа ПЭ-50.

2. В схеме предусмотрены общая дифференциальная защита блока и отдельная дифференциальная защита генератора в предположении, что общая дифференциальная защита блока имеет ток срабатывания, больший 1,5 $I_{ном}$ (в соответствии с разд. А, § II, п. 1).

Общая дифференциальная защита блока выполнена с реле ДЗТ-1 (*15РТТ—17РТТ*), имеющими одну тормозную обмотку, присоединенную к трансформаторам тока, установленным в цепи ответвления к собственным нуждам. При этом предполагается, что при отстройке от токов небаланса при внешних коротких замыканиях на ответвлении к собственным нуждам имеет место недопустимое загрубление защиты, выполненной без торможения, а также что при включении тормозной обмотки на сумму токов трансформаторов тока, установленных в цепи ответвления и в цепи генератора (как в схеме рис. 6), защита оказывается менее чувствительной, чем при принятом в схеме способе включения тормозной обмотки.

Для экономии трансформаторов тока в цепи ответвления на собственные нужды общая дифференциальная защита блока со стороны генераторного напряжения предусматривается в двухфазном исполнении (в соответствии с разд. А, § III).

В режиме работы блока на шины 110—220 *кв* через обходной выключатель дифференциальная защита блока переключается от трансформаторов тока *4ТТ* к трансформаторам тока *6ТТ* аналогично тому, как это предусмотрено в схеме рис. 3.

Дифференциальная защита генератора в данной схеме выполняется с реле РНТ-562 (*18РТН—20РТН*).

3. В рассматриваемой схеме со стороны, где питание отсутствует (со стороны 35 *кв*), установлена максимальная то-

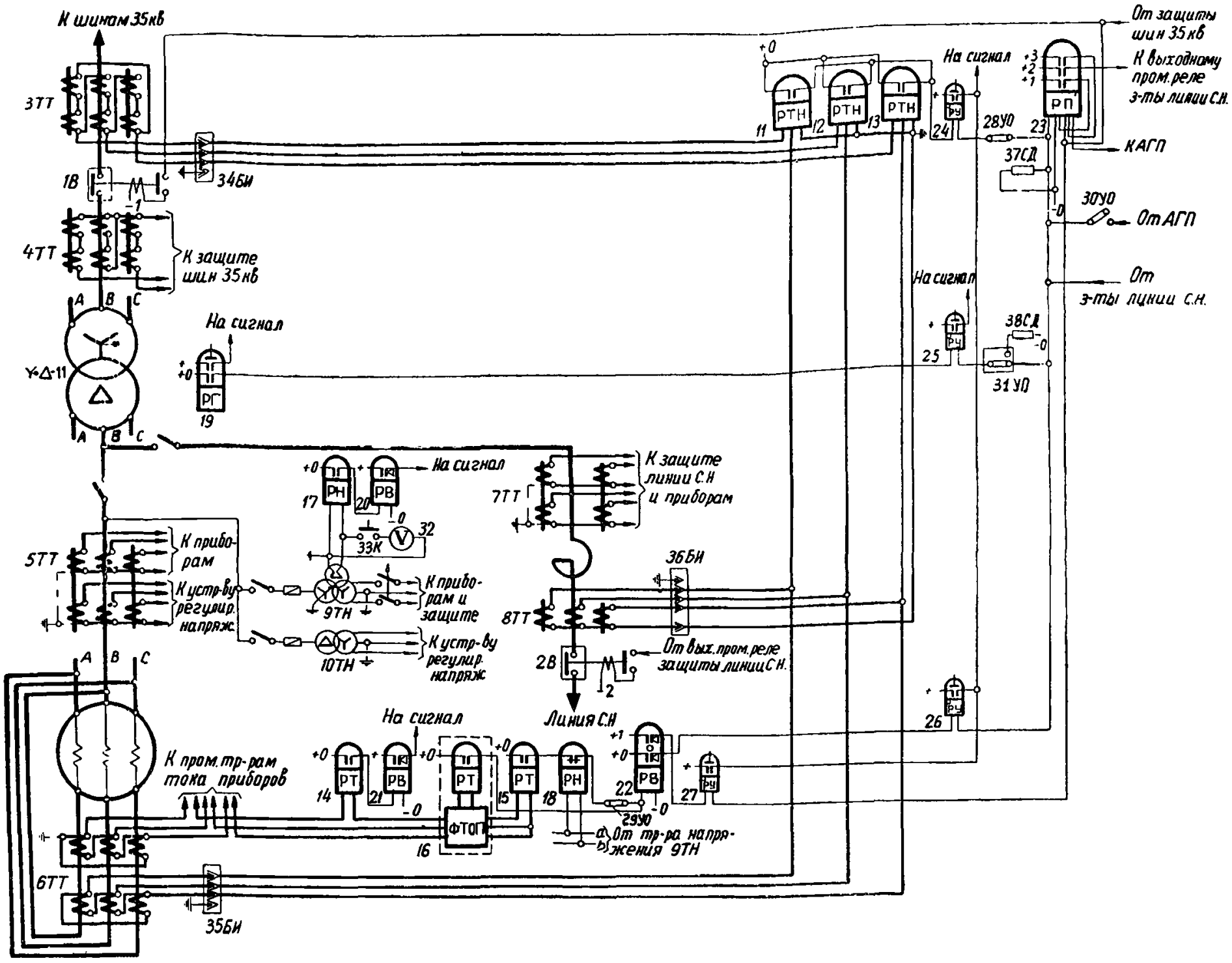


Рис. 4. Схема защиты блока турбогенератор—трансформатор 38,5/6,3 кв мощностью более 5 Мвт до 30 Мвт включительно (обмотка статора генератора соединена в треугольник).

1В, 2В — выключатели; *3ТТ, 4ТТ* — трансформаторы тока (встроенные); *5ТТ—8ТТ* — трансфоматоры тока; *9ТН, 10ТН* — трансформаторы напряжения; *11РТН—13РТН* — реле тока с насыщающимися трансформаторами типа РНТ-562; *14РТ, 15РТ* — реле тока типа ЭТ-521; *16РТФ* — фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТФ-1; *17РН* — реле напряжения типа ЭН-526/60Д-М; *18РН* — реле напряжения типа ЭН-529/160; *19РГ* — реле газовое; *20РВ, 21РВ* — реле времени типа ЭВ-133; *22РВ* — реле времени типа ЭВ-132; *23РП* — реле промежуточное типа РП-255; *24РУ—26РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; *27РУ* — реле указательное типа РУ-21/1; *28УО—30УО* — устройства отключающие типа НКР-2; *31УП* — устройство переключающее типа НКР-2; *32V* — вольтметр; *33К* — кнопка; *34БИ, 35БИ* — блоки испытательные типа БИ-4; *36БИ* — блок испытательный типа БИ-6; *37СД—38СД* — сопротивления добавочные 4 500 *ом* типа ПЭ-50.

ковая защита, предназначенная для резервирования отключения многофазных коротких замыканий на шинах 35 *кв* и на элементах, отходящих от этих шин, а также для отключения коротких замыканий в зоне между выключателем и выносными трансформаторами тока стороны 35 *кв* (реле *23РТ*, *24РТ* и *35РВ*). Для обеспечения последнего защита выполняется с двумя выдержками времени: с первой выдержкой времени, большей выдержек времени резервных защит стороны 35 *кв*, она действует на отключение выключателя стороны 35 *кв*, а со второй — на отключение всех выключателей блока и АГП.

Максимальная токовая защита предусмотрена в предположении, что ею обеспечивается требуемая чувствительность.

Со стороны основного питания установлена максимальная токовая защита с комбинированным пуском напряжения (реле *25РТ—27РТ*, *29РНФ*, *30РН* и *37РВ*), выполненная аналогично такой же защите в схеме рис. 1, со следующими особенностями:

а) С первой выдержкой времени, большей выдержки времени защиты, установленной на стороне 35 *кв*, защита действует на отключение выключателя 110—220 *кв*, а со второй — на отключение всех выключателей блока и АГП.

б) Реле тока защиты включаются в плечо дифференциальной защиты блока генератор — трансформатор.

в) Устройство фильтр-реле напряжения обратной последовательности *29РНФ* присоединяется в данной схеме к трансформатору напряжения стороны генераторного напряжения *13ТН* в предположении, что при этом обеспечивается требуемая чувствительность к коротким замыканиям на отходящих от шин 110—220 *кв* элементах.

4. Схема выполнена для случая, когда предусмотрено АПВ шин стороны 35 *кв* путем включения выключателя блока на стороне 35 *кв*. Запуск АПВ производится от несоответствия положения выключателя и ключа управления.

В связи с этим в схеме предусмотрено запрещение действия АПВ выключателя *2В* при действии защит от внутренних повреждений блока при помощи контакта одного из выходных промежуточных реле защит блока.

В схеме предусмотрено ускорение действия максимальной токовой защиты, установленной на стороне 35 *кв*, после включения выключателя стороны 35 *кв*, осуществляемое при помощи контакта без замедления реле времени (*35РВ*); при этом предполагается, что рассматриваемая защита отстроена по току срабатывания от возможного броска пускового тока после АПВ.

5. На стороне 110—220 *кв* блока предусмотрена защита от внешних коротких замыканий на землю, выполненная аналогично таковой в схеме рис. 1 (реле *28РТ* и *36РВ*) с тем отличием, что в данной схеме в целях обеспечения резерви-

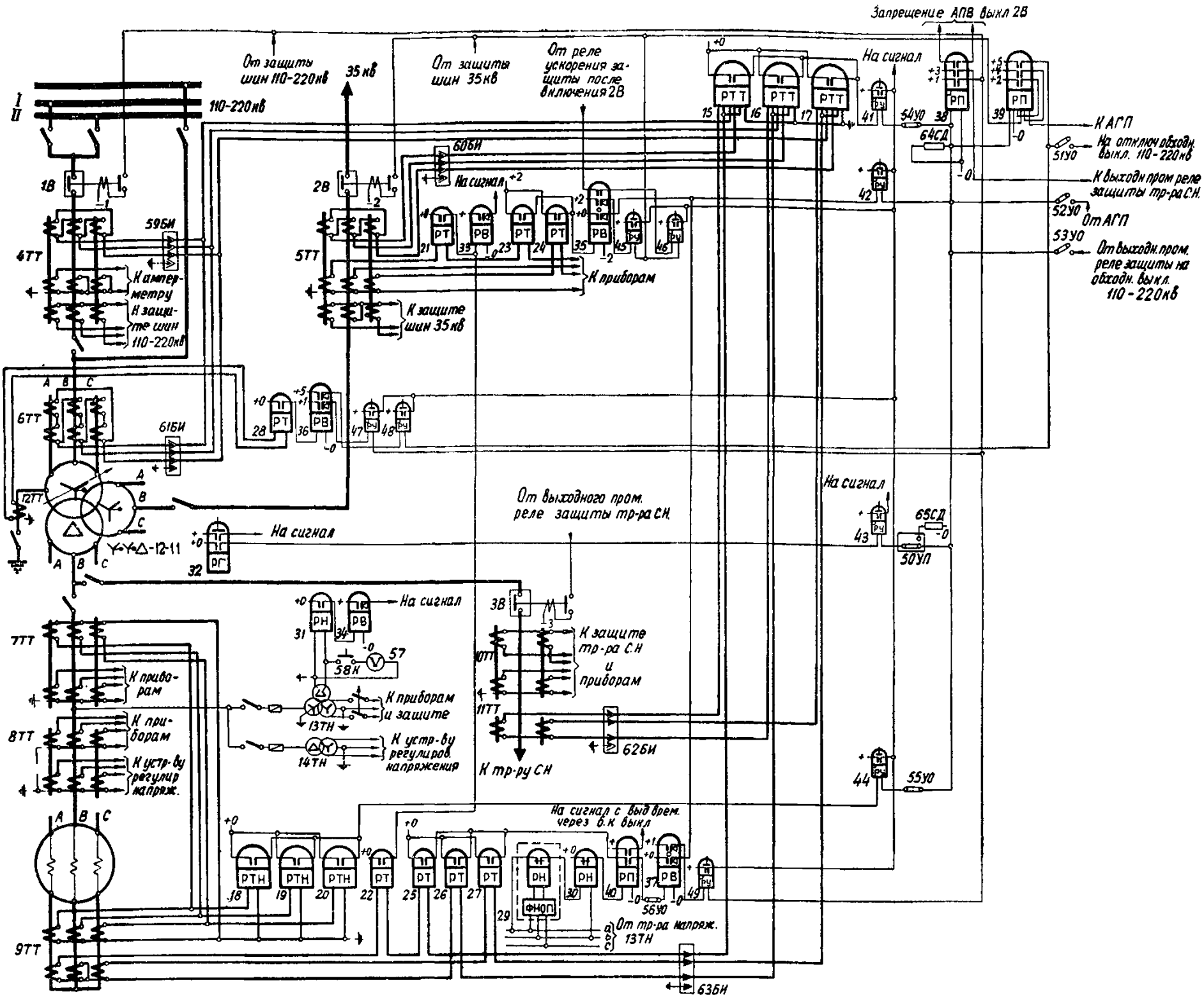


Рис. 5. Схема защиты блока турбогенератор—трансформатор 121—242/38,5/6,3—10,5 *кв* мощностью более 5 *Мвт* до 30 *Мвт* включительно без выключателя в цепи генератора при отсутствии питания со стороны среднего напряжения.

1В—3В — выключатели; *4ТТ, 5ТТ, 7ТТ—11ТТ* — трансформаторы тока; *6ТТ, 12ТТ* — трансформаторы тока (встроенные); *13ТН, 14ТН* — трансформаторы напряжения; *15РТТ—17РТТ* — реле тока с торможением типа ДЗТ-1; *18РТН—20РТН* — реле тока с насыщающимися трансформаторами типа РНТ-562; *21РТ—28РТ* — реле тока типа ЭТ-521; *29РНФ* — фильтр-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1; *30РН* — реле напряжения типа ЭН-529/160; *31РН* — реле напряжения типа ЭН-526/60Д-М; *32РГ* — реле газовое; *33РВ, 34РВ* — реле времени типа ЭВ-133; *35РВ—37РВ* — реле времени типа ЭВ-132; *38РП* — реле промежуточное типа РП-24; *39РП* — реле промежуточное типа РП-255; *40РП* — реле промежуточное типа РП-23; *41РУ—44РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; *45РУ—49РУ* — реле указательные типа РУ-21/1; *50УП* — устройство переключающее типа НКР-2; *51УО—56УО* — устройства отключающие типа НКР-2; *57V* — вольтметр; *58К* — кнопка; *59БИ—63БИ* — блоки испытательные типа БИ-4; *64СД* — сопротивление добавочное 10 000 *ом* типа ПЭ-50; *65СД* — сопротивление добавочное 4 500 *ом* типа ПЭ-50.

ровання отключения коротких замыканий на землю в сети 110—220 *кв* в режиме работы блока на шины 110—220 *кв* через обходной выключатель предусмотрена подача отключающего импульса от рассматриваемой защиты к обходному выключателю через отключающее устройство *51УО* с помощью временно замыкающего контакта реле времени *36РВ* типа ЭВ-132, который используется в качестве второго упорного контакта и имеет ту же выдержку времени.

6. Защиты от симметричных перегрузок установлены на стороне, где питание отсутствует (на стороне, 35 *кв* — реле *21РТ*), и на стороне генераторного напряжения (реле *22РТ*). Защиты действуют на общее реле времени *33РВ*.

Схема защиты блока турбогенератор — трансформатор 121—242/38,5/6,3—10,5 *кв* мощностью более 5 *Мвт* до 30 *Мвт* включительно с выключателем в цепи генератора, с трехсторонним питанием (рис. 6).

1. Схема дана для случая, когда:

а) на сторонах 110—220 и 35 *кв* установлены масляные выключатели с трансформаторами тока, встроенными в их втулки;

б) предусмотрена возможность замены выключателя стороны 110—220 *кв* обходным выключателем.

2. В схеме предусмотрена дифференциальная защита трансформатора, выполненная с реле ДЗТ-1 (*19РТТ—21РТТ*), имеющими одну тормозную обмотку, включенную на сумму токов трансформаторов тока, установленных в цепи генератора и цепи ответвления на собственные нужды. При этом предполагается, что при отстройке от токов небаланса при внешних коротких замыканиях на ответвлении к собственным нуждам имеет место недопустимое загрубление защиты, выполненной без торможения, а также что при включении тормозной обмотки только на ток трансформатора тока ответвления защита оказывается более грубой, чем при принятом в схеме способе включения тормозной обмотки, из-за необходимости отстройки от токов небаланса при внешних коротких замыканиях на стороне 35 *кв* или в генераторе.

Для экономии трансформатора тока в цепи ответвления на собственные нужды дифференциальная защита трансформатора со стороны генераторного напряжения выполняется с использованием трансформаторов тока в двух фазах (в соответствии с разд. А, § III).

В режиме работы блока на шины 110—220 *кв* через обходной выключатель дифференциальная защита блока переключается от трансформаторов тока *5ТТ* к трансформаторам

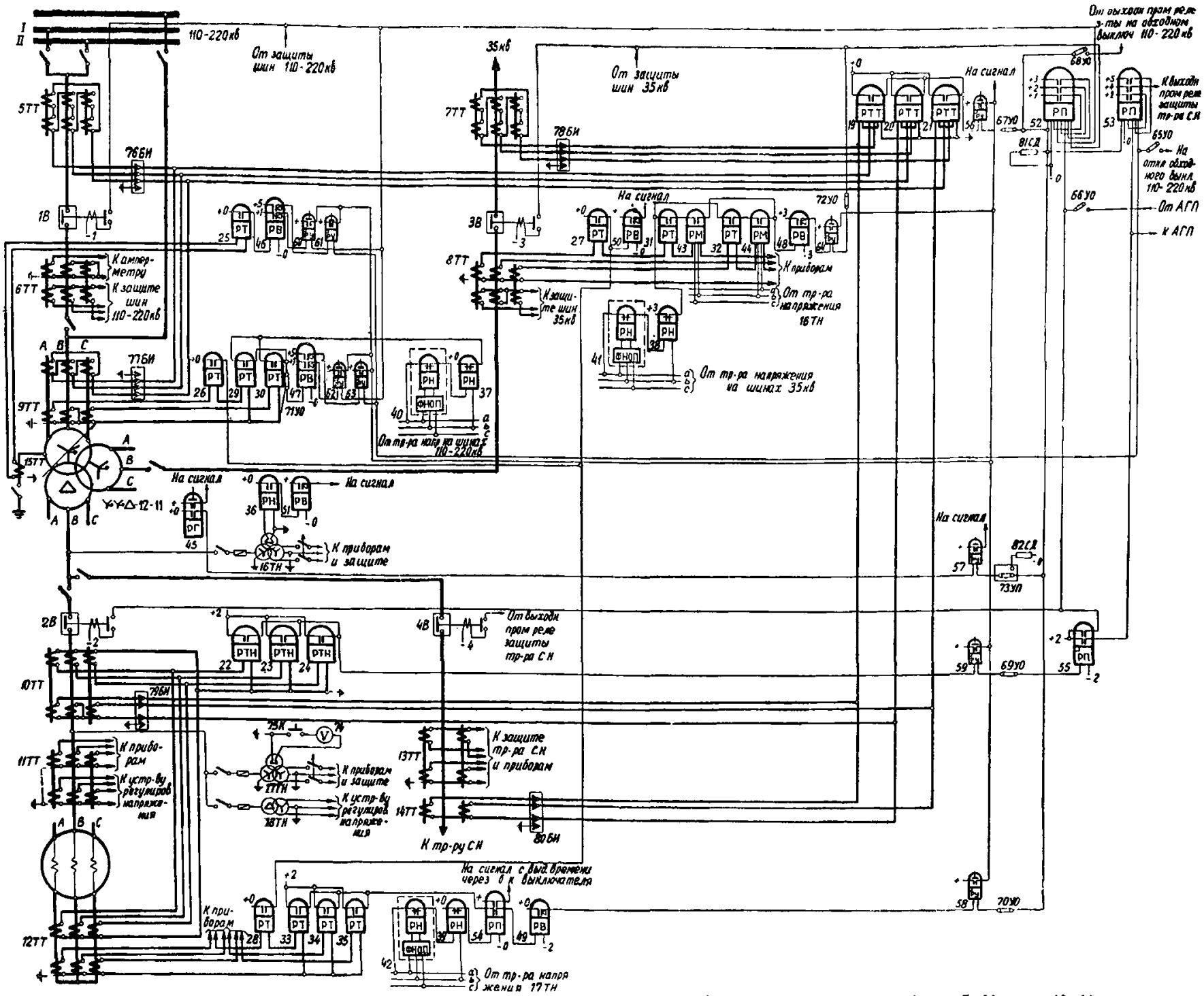


Рис. 6. Схема защиты блока турбогенератор — трансформатор 121—242/38,5/6,3—10,5 *кв* мощностью более 5 *Мвт* до 30 *Мвт* включительно с выключателем в цепи генератора, с трехсторонним питанием.

1В—4В — выключатели; *5ТТ—9ТТ, 15ТТ* — трансформаторы тока (встроенные); *10ТТ—14ТТ* — трансформаторы тока; *16ТН—18ТН* — трансформаторы напряжения; *19РТТ—21РТТ* — реле тока с торможением типа ДЗТ-1; *22РТН—24РТН* — реле тока с насыщающимися трансформаторами типа РНТ-562; *25РТ—35РТ* — реле тока типа ЭТ-521; *36РН* — реле напряжения типа ЭН-526/60Д-М; *37РН—39РН* — реле напряжения типа ЭН-529/160; *40РНФ—42РНФ* — фильтр-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1; *43РМ, 44РМ* — реле мощности типа РБМ-171; *45РГ* — реле газовое; *46РВ, 47РВ* — реле времени типа ЭВ-132; *48РВ, 49РВ* — реле времени типа ЭВ-134; *50РВ, 51РВ* — реле времени типа ЭВ-133; *52РП, 53РП* — реле промежуточные типа РП-255; *54РП* — реле промежуточное типа РП-23; *55РП* — реле промежуточное типа РП-24; *56РУ—58РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; *59РУ* — реле указательное типа РУ-21/0,015; *60РУ—64РУ* — реле указательные типа РУ-21/1; *65УО—72УО* — устройства отключающие типа НКР-2; *73УП* — устройство переключающее типа НКР-2; *74V* — вольтметр; *75К* — кнопка; *76БИ—80БИ* — блоки испытательные типа БИ-4; *81СД* — сопротивление добавочное 10 000 *ом* типа ПЭ-50; *82СД* — сопротивление добавочное 4 500 *ом* типа ПЭ-50.

тока *9ТТ* аналогично тому, как это предусмотрено в схеме рис. 3.

3. Предусмотренная в схеме дифференциальная защита генератора выполнена с реле РНТ-562 (*22РТН—24РТН*).

4. В рассматриваемой схеме предусмотрены защиты от внешних многофазных коротких замыканий, выполненные в виде максимальной токовой защиты с комбинированным пуском напряжения. Защиты устанавливаются на всех трех сторонах блока.

Защиты, установленные на сторонах 110—220 и 35 *кв* (реле *29РТ, 30РТ, 40РНФ* и *37РН*; *43РМ, 44РМ, 31РТ, 32РТ, 41РНФ* и *38РН*), предназначены для резервирования отключений повреждений на соответствующих шинах и линиях и действуют на отключение каждая только своего выключателя. Защита, установленная на стороне 35 *кв*, выполнена направленной в предположении, что выдержки времени резервных защит сети 35 *кв* меньше, чем сети 110—220 *кв*. Цепи напряжения к реле направления мощности подводятся от трансформатора напряжения, установленного в цепи генераторного напряжения (*16ТН*), что устраняет мертвую зону защиты при повреждениях на шинах 35 *кв*. Реле направления мощности включены по 60-градусной схеме.

В целях повышения чувствительности защит сторон 110—220 и 35 *кв* к коротким замыканиям в сети соответствующей стороны органы напряжения защит питаются от трансформаторов напряжения, установленных на шинах своей стороны.

Защиты сторон 110—220 и 35 *кв* предусматриваются в двухфазном исполнении.

Защита, установленная на стороне генераторного напряжения (реле *33РТ—35РТ, 42РНФ* и *39РН*), предназначена для резервирования основных защит блока и действует на отключение всех выключателей блока и АГП. Рассматриваемая защита для повышения чувствительности к коротким замыканиям на сторонах высших напряжений трансформатора блока выполняется с помощью трех реле тока; орган напряжения защиты питается от трансформатора напряжения, установленного в цепи генератора (*17ТН*).

Установка защиты от внешних многофазных коротких замыканий в рассматриваемой схеме со всех трех сторон обусловлена тем, что при установке максимальной токовой защиты с комбинированным пуском напряжения, предназначенной для резервирования отключений коротких замыканий в сетях 110—220 и 35 *кв*, только с одной из сторон высших напряжений станции может не обеспечиваться требуемая чувствительность реле напряжения защиты одновременно как к повреждениям в сети 110—220 *кв*, так и к повреждениям в сети 35 *кв*.

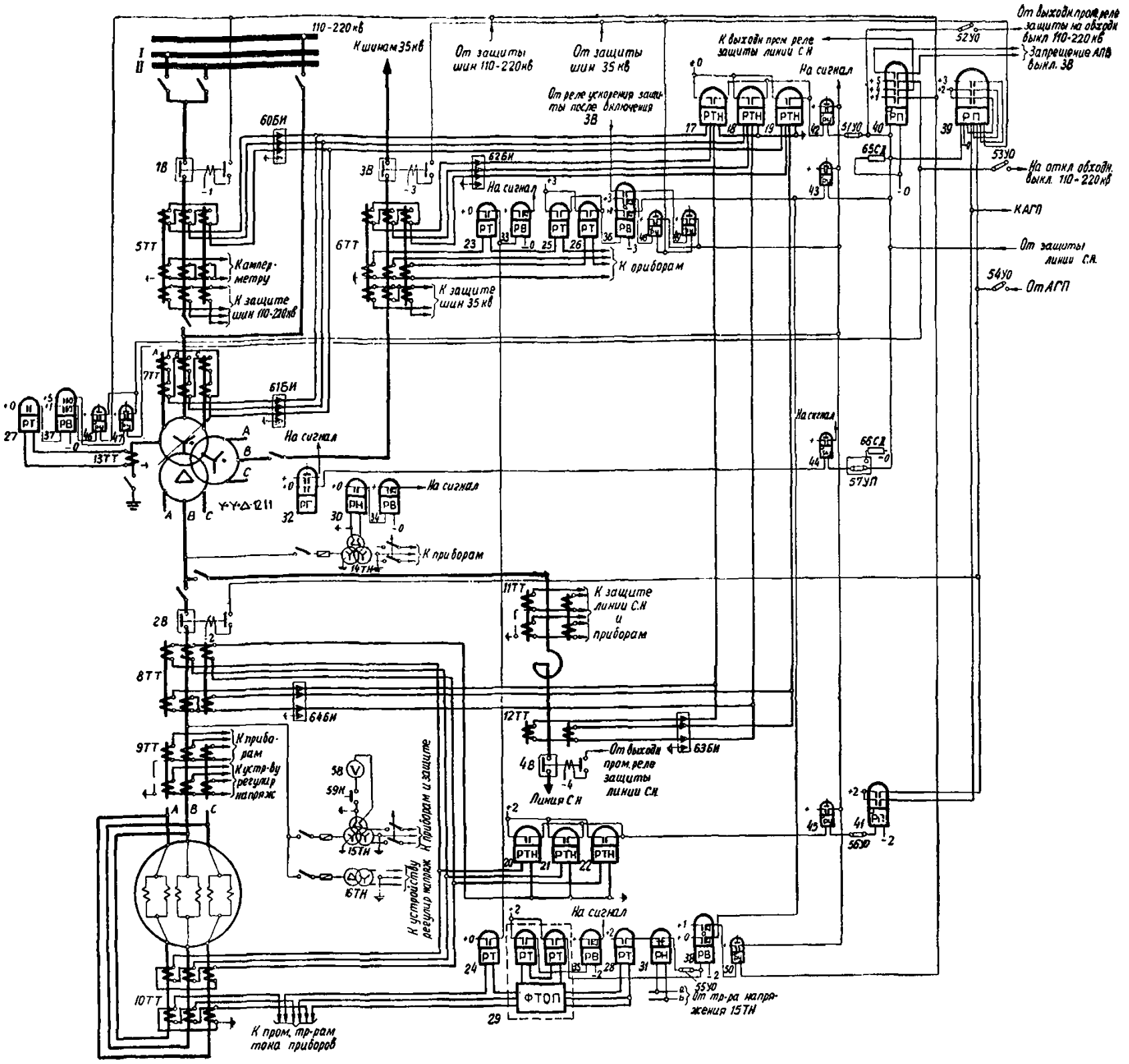


Рис. 7. Схема защиты блока турбогенератор — трансформатор 121—242/38,5/6,3 *кв* мощностью более 30 *Мвт* до 100 *Мвт* с выключателем в цепи генератора при отсутствии питания со стороны среднего напряжения (обмотка статора генератора соединена в треугольник).

1В—4В — выключатели; *5ТТ, 6ТТ, 8ТТ—12ТТ* — трансформаторы тока; *7ТТ, 13ТТ* — трансформаторы тока (встроенные); *14ТН—16ТН* — трансформаторы напряжения; *17РТН—22РТН* — реле тока с насыщающимися трансформаторами типа РНТ-562; *23РТ—28РТ* — реле тока типа ЭТ-521; *29РТФ* — фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТ-2; *30РН* — реле напряжения типа ЭН-526/60Д-М; *31РН* — реле напряжения типа ЭН-529/160; *32РГ* — реле газовое; *33РВ—35РВ* — реле времени типа ЭВ-133; *36РВ—38РВ* — реле времени типа ЭВ-132; *39РП* — реле промежуточное типа РП-255; *40РП, 41РП* — реле промежуточные типа РП-24; *42РУ—44РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; *45РУ* — реле указательное типа РУ-21/0,015; *46РУ—50РУ* — реле указательные типа РУ-21/1; *51УО—56УО* — устройства отключающие типа НКР-2; *57УП* — устройство переключающее типа НКР-2; *58V* — вольтметр; *59К* — кнопка; *60БИ—64БИ* — блоки испытательные типа БИ-4; *65СД* — сопротивление добавочное 10 000 *ом* типа ПЭ-50; *66СД* — сопротивление добавочное 4 500 *ом* типа ПЭ-50.

Выполнение схемы без резервной защиты на стороне 110—220 *кв* и с резервированием отключения коротких замыканий в сети 110—220 *кв* с помощью защиты, установленной со стороны генераторного напряжения (при выполнении последней с двумя выдержками времени), нежелательно, поскольку при этом в режиме, когда выключатель цепи генератора отключен, возможно неселективное действие защит линий 35 *кв* при коротких замыканиях в сети 110—220 *кв*.

В данной схеме для обеспечения резервирования многофазных коротких замыканий на шинах 110—220 *кв* и отходящих от этих шин элементах в режиме работы трансформатора на стороне 110—220 *кв* через обходной выключатель резервная защита от многофазных коротких замыканий, установленная на стороне 110—220 *кв*, присоединяется к трансформаторам тока, встроенным во втулки силового трансформатора, а также предусмотрена подача отключающего импульса к обходному выключателю 110—220 *кв* от рассматриваемой защиты с помощью временно замыкающего контакта реле времени, имеющего ту же выдержку времени, что и упорный контакт (*47РВ*). Такое выполнение защиты принято в предположении, что резервная защита, установленная на стороне генераторного напряжения, не обладает достаточной чувствительностью к внешним многофазным коротким замыканиям на стороне 110—220 *кв*.

Следует отметить, что при принятом в данной схеме выполнении защиты в режиме работы на стороне 110—220 *кв* через обходной выключатель в случае резервирования внешних многофазных коротких замыканий на стороне 110—220 *кв* отключается выключатель только этой стороны, а не весь блок (как в схеме рис. 5).

5. В схеме на стороне 110—220 *кв* предусмотрена защита от внешних коротких замыканий на землю (реле *25РТ* и *46РВ*), выполненная так же, как аналогичная защита в схеме рис. 5.

6. Защиты от симметричных перегрузок в данной схеме предусматриваются на всех трех сторонах (*26РТ—28РТ*). Защиты действуют на общее реле времени *50РВ*.

Схема защиты блока турбогенератор — трансформатор 121—242/38,5/6,3 *кв* мощностью более 30 *Мвт* до 100 *Мвт* с выключателем в цепи генератора при отсутствии питания со стороны среднего напряжения (обмотка статора генератора соединена в треугольник) (рис. 7).

1. Схема дана для случая, когда:

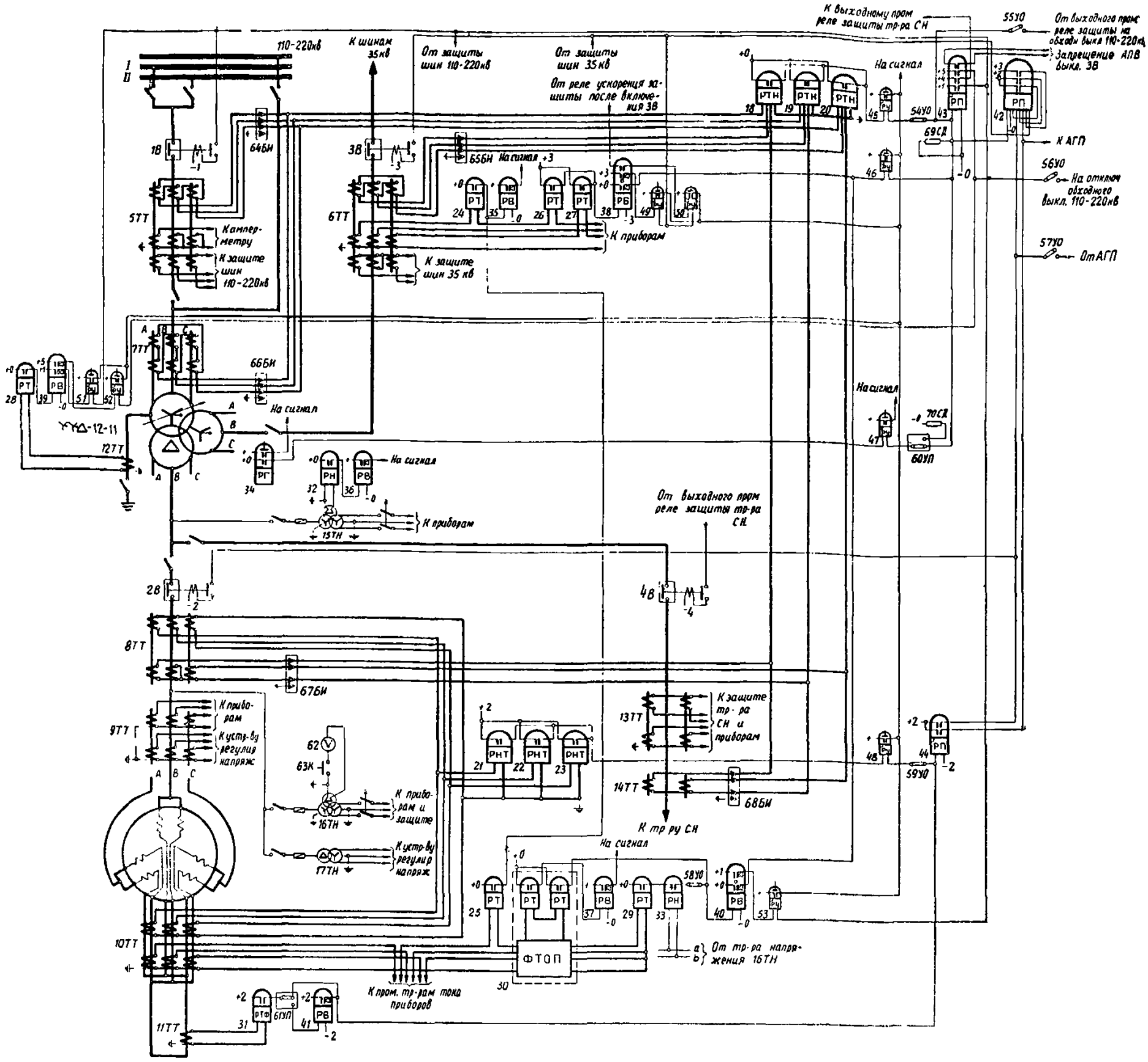


Рис. 8. Схема защиты блока турбогенератор — трансформатор 121—242/38,5/6,3—10,5 *кв* мощностью более 30 *Мвт* до 100 *Мвт* включительно с выключателем в цепи генератора при отсутствии питания со стороны среднего напряжения.

1В—4В — выключатели; *5ТТ*, *6ТТ*, *8ТТ—11ТТ*, *13ТТ*, *14ТТ* — трансформаторы тока; *7ТТ*, *12ТТ* — трансформаторы тока (встроенные); *15ТН—17ТН* — трансформаторы напряжения; *18РТН—23РТН* — реле тока с насыщающимися трансформаторами типа РНТ-562; *24РТ—29РТ* — реле тока типа ЭТ-521; *30РТФ* — фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТ-2; *31РТФ* — реле тока типа ЭТ-521/Ф; *32РН* — реле напряжения типа ЭН-526/60Д-М; *33РН* — реле напряжения типа ЭН-529/160; *34РГ* — реле газовое; *35РВ—37РВ* — реле времени типа ЭВ-133; *38РВ—40РВ* — реле времени типа ЭВ-132; *41РВ* — реле времени типа ЭВ-124; *42РП* — реле промежуточное типа РП-255; *43РП*, *44РП* — реле промежуточное типа РП-24; *45РУ—48РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; *49РУ—53РУ* — реле указательные типа РУ-21/1; *54УО—59УО* — устройства отключающие типа НКР-2; *60УП*, *61УП* — устройства переключающие типа НКР-2; *62V* — вольтметр; *63К* — кнопка; *64БИ—68БИ* — блоки испытательные типа БИ-4; *69СД* — сопротивление добавочное 10 000 *ом* типа ПЭ-50; *70СД* — сопротивление добавочное 4 500 *ом* типа ПЭ-50 (реле указательное типа РУ-21/0,0025 в цепи поперечной дифзащиты и добавочное сопротивление 4 000 *ом* типа ПЭ-50 к реле *44РП* — на схеме не показаны).

а) на сторонах 110—220 и 35 *кв* установлены воздушные выключатели и выносные трансформаторы тока;

б) предусмотрена возможность замены выключателя стороны 110—220 *кв* обходным выключателем.

2. В схеме предусмотрена дифференциальная защита трансформатора, выполненная с реле РНТ-562 (*17РТН—19РТН*) в предположении, что при этом обеспечивается требуемая чувствительность.

Для экономии трансформаторов тока на ответвлении к собственным нуждам дифференциальная защита трансформатора со стороны генераторного напряжения выполнена с использованием трансформаторов тока в двух фазах (в соответствии с разд. А, § III).

В режиме работы блока на шины 110—220 *кв* через обходной выключатель дифференциальная защита трансформатора переключается от трансформаторов тока *5ТТ* к трансформатораам тока *7ТТ* аналогично тому, как это предусмотрено в схеме рис. 3.

3. Предусмотренная в схеме дифференциальная защита генератора выполняется с реле РНТ-562 (*20РТН—22РТН*).

Соединение в треугольник трансформаторов тока *10ТТ*, используемых для рассматриваемой защиты, принято для ликвидации сдвига по фазе ее вторичных токов.

4. В рассматриваемой схеме со стороны, где питание отсутствует (со стороны 35 *кв*), установлена максимальная токовая защита (реле *25РТ*, *26РТ* и *36РВ*), выполненная аналогично такой же защите в схеме рис. 5.

На стороне генераторного напряжения установлена токовая защита обратной последовательности с реле РТ-2 (*29РТФ*), дополненная приставкой для действия при симметричных коротких замыканиях (реле *28РТ* и *31РН*) и выполненная аналогичной такой же защите в схеме рис. 2.

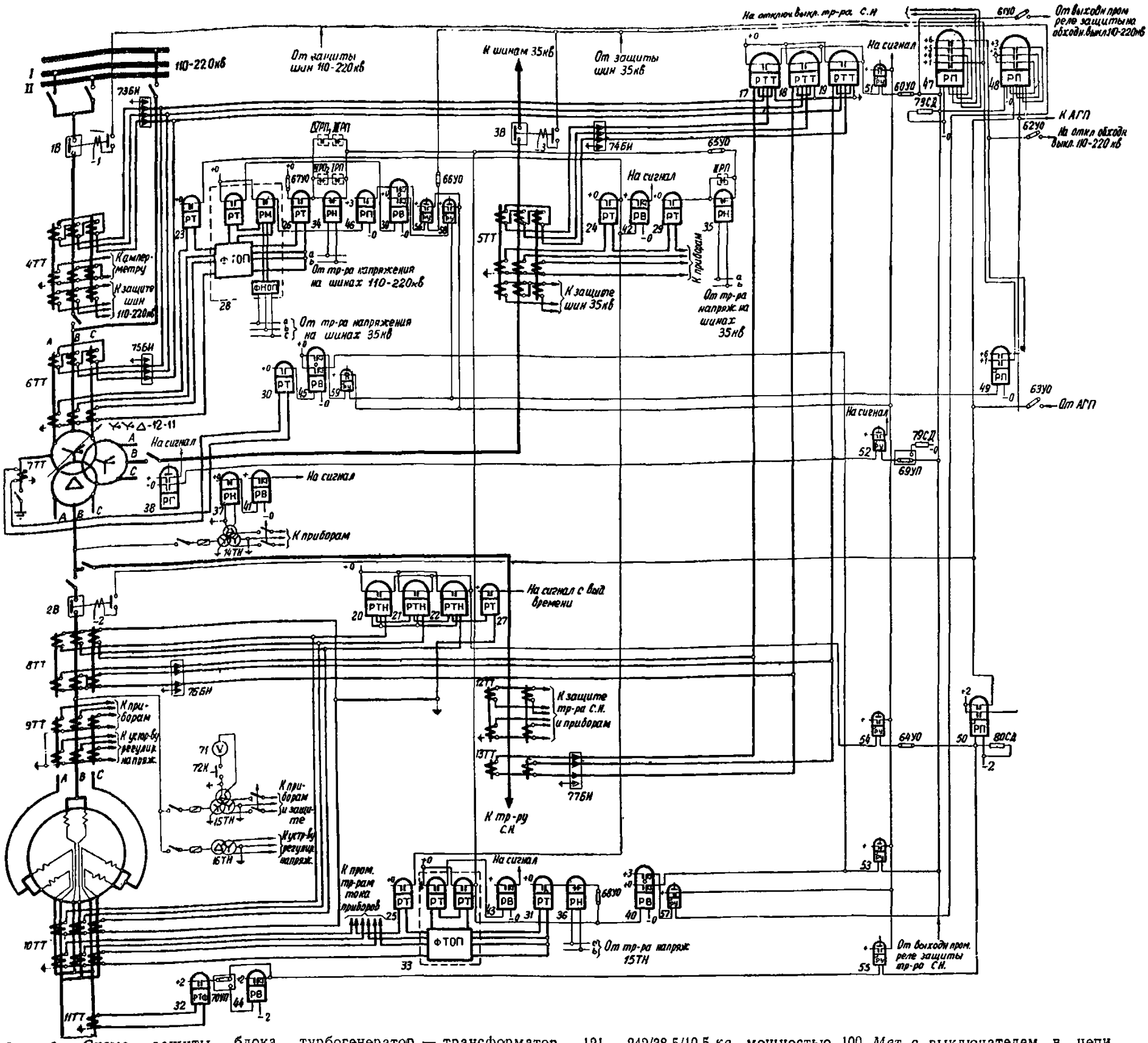


Рис. 9. Схема защиты блока турбогенератор — трансформатор 121 — 242/38,5/10,5 *кв* мощностью 100 *Мвт* с выключателем в цепи генератора, с трехсторонним питанием.

1В—3В — выключатели; *4TT*, *5TT*, *8TT—13TT* — трансформаторы тока; *6TT*, *7TT* — трансформаторы тока (встроенные); *14TH—16TH* — трансформаторы напряжения; *17РТТ—19РТТ* — реле тока с торможением типа ДЗТ-1; *20РТН—22РТН* — реле тока с насыщающимися трансформаторами типа РНТ-562; *23РТ—26РТ*, *29РТ—31РТ* — реле тока типа ЭТ-521; *27РТ* — реле тока типа ЭТ-521/2; *28РТМФ* — фильтр-реле тока и мощности обратной последовательности типа РМОП-1; *32РТФ* — реле тока типа ЭТ-521/Ф; *33РТФ* — фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТ-2; *34РН—36РН* — реле напряжения типа ЭН-529/160; *37РН* — реле напряжения типа ЭН-526/60Д-М; *38РГ* — реле газовое; *39РВ*, *40РВ*, *45РВ* — реле времени типа ЭВ-132; *41РВ—43РВ* — реле времени типа ЭВ-133; *44РВ* — реле времени типа ЭВ-124; *46РП* — реле промежуточное типа РП-23; *47РП*, *48РП* — реле промежуточные типа РП-255; *49РП*, *50РП* — реле промежуточные типа РП-24; *51РУ—55РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; *56РУ*, *57РУ* — реле указательные типа РУ-21/1; *58РУ*, *59РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,015; *60УО—68УО* — устройства отключающие типа НКР-2; *69УП*, *70УП* — устройства переключающие типа НКР-2; *71V* — вольтметр; *72К* — кнопка; *73БИ—77БИ* — блоки испытательные типа БИ-4; *78СД* — сопротивление добавочное 10 000 *ом* типа ПЭ-50; *79СД*, *80СД* — сопротивления добавочные 4 500 *ом* типа ПЭ-50; *1РП*, *IIРП*, *IIIРП* — контакты реле положения *включено* (РПВ) соответственно выключателей *1В*, *3В* и обходного выключателя стороны 110—220 *кв*; $IVРП_1$, $IVРП_2$ — контакты реле положения обходного разъединителя.

Рассматриваемая схема применима при условии, что максимальная токовая защита обеспечивает достаточную чувствительность к коротким замыканиям на линиях 35 *кв*, а токовая защита обратной последовательности согласовывается с ней *по* чувствительности.

5. Схема выполнена для случая, когда предусмотрено АПВ выключателя блока на стороне 35 *кв*, выполненное так же, как в схеме рис. 5.

6. В схеме на стороне 110—220 *кв* предусмотрена защита от внешних коротких замыканий на землю (реле *27РТ* и *37РВ*), выполненная так же, как аналогичная защита в схеме рис. 5.

7. Защиты от симметричных перегрузок установлены на стороне, где питание отсутствует (на стороне 35 *кв* — реле *23РТ*), и на стороне генераторного напряжения (реле *24РТ*). Защиты действуют на общее реле времени *33РВ*. Защита генератора от перегрузок токами обратной последовательности выполнена с использованием устройства *29РТФ*.

8. В связи с включением измерительных приборов на те же трансформаторы тока *10TT*, что и токовой защиты обратной последовательности, в целях повышения надежности последней предусматривается включение измерительных приборов через промежуточные трансформаторы тока по аналогии со схемой рис. 2.

Схема защиты блока турбогенератор — трансформатор 121—242/38,5/6,3—10,5 *кв* мощностью более 30 *Мвт* до 100 *Мвт* включительно с выключателем в цепи генератора при отсутствии питания со стороны среднего напряжения (рис. 8).

1. Данная схема защиты аналогична схеме рис. 7 с теми отличиями, что в связи с соединением обмотки статора в звезду в данной схеме предусмотрена односистемная поперечная

дифференциальная токовая защита (реле *31РТФ* и *41РВ*) и трансформаторы тока *10ТТ* соединены в звезду.

2. При использовании данной схемы для турбогенератора мощностью 100 *Мвт* продольная дифференциальная защита генератора дополняется устройством контроля исправности вторичных цепей ее трансформаторов тока (по аналогии со схемой рис. 3).

Схема защиты блока турбогенератор — трансформатор 121—242/38,5/10,5 *кв* мощностью 100 *Мвт* с выключателем в цепи генератора, с трехсторонним питанием (рис. 9).

1. Схема дана для случая, когда:

а) на сторонах 110—220 и 35 *кв* установлены воздушные выключатели и выносные трансформаторы тока;

б) предусмотрена возможность замены выключателя стороны 110—220 *кв* обходным выключателем;

в) в цепи ответвления к трансформатору собственных нужд на стороне генераторного напряжения не предусмотрен выключатель.

2. В схеме предусмотрена дифференциальная токовая защита трансформатора, выполненная с реле ДЗТ-1 (*17РТТ—19РТТ*), имеющими одну тормозную обмотку, включенную на сумму токов трансформаторов тока, установленных в цепи генератора и цепи ответвления на собственные нужды, по аналогии с дифференциальной защитой блока в схеме рис. 6.

Для указанной защиты в цепи ответвления к собственным нуждам предусмотрены трансформаторы тока *13ТТ* в предположении, что при отстройке ее по току срабатывания от коротких замыканий за трансформатором собственных нужд не обеспечивается требуемая чувствительность защиты.

Для экономии трансофрматора тока на ответвлении к собственным нуждам дифференциальная защита трансформатора со стороны генераторного напряжения выполняется с использованием трансформаторов тока в двух фазах (в соответствии с разд. А, § III).

В режиме работы блока на шины 110—220 *кв* через обходной выключатель дифференциальная защита трансформатора переключается от трансформаторов тока *4ТТ* к трансформаторам тока *6ТТ* аналогично тому, как это предусмотрено в схеме рис. 3.

3. Предусмотренная в схеме поперечная дифференциальная токовая защита генератора выполнена с реле *32РТФ* и и *44РВ* аналогичной таковой в схеме рис. 2.

4. Продольная дифференциальная токовая защита генератора (реле *20РТН—22РТН* и *27РТ*) выполнена аналогичо таковой в схеме рис. 3.

5. Для резервирования основных защит блока при многофазных коротких замыканиях и резервирования отключения многофазных коротких замыканий на шинах 110—220 и 35 *кв* и на отходящих от этих шин линиях предусмотрены токовая защита обратной последовательности, установленная на стороне генераторного напряжения, и токовая направленная защита обратной последовательности, установленная на стороне 110—220 *кв*. Первая выполнена при помощи устройства РТ-2 (*33РТФ*), а вторая — устройства РМОП-1 (*28РТМФ*).

Для обеспечения резервирования отключения многофазных коротких замыканий на шинах 35 *кв* и на отходящих от них линиях предусмотрено следующее:

а) Действие защиты, установленной на стороне 110—220 *кв*, с меньшей выдержкой времени на отключение выключателя стороны 35 *кв*, а с большей — на отключение выключателя 110—220 *кв* в предположении, что выдержки времени резервных защит сети 35 *кв* меньше, чем сети 110—220 *кв*; в связи с этим для обеспечения селективности действия защиты при коротких замыканиях на линиях, отходящих от шин высших напряжений станции, действие защиты на отключение выключателя 35 *кв* контролируется реле направления мощности защиты, а на отключение выключателя стороны 110—220 *кв* защита действует минуя реле направления мощности.

б) Действие защиты, установленной на стороне генераторного напряжения, на отключение выключателя стороны 35 *кв* с выдержкой времени, большей выдержки времени действия на отключение выключателя стороны 110—220 *кв* защитой, установленной на указанной стороне, а со второй выдержкой времени — на отключение всех выключателей блока и АГП.

Защита устанавливается на стороне 110—220 *кв*, а не на стороне 35 *кв*, в предположении, что это необходимо для обеспечения требуемой чувствительности рассматриваемой защиты при коротких замыканиях в конце линий, отходящих от шин 110—220 *кв*.

Следует отметить, что действие защиты, установленной на стороне генераторного напряжения, на отключение с первой выдержкой времени выключателя 35 *кв* необходимо предусматривать для обеспечения сохранения питания собственных нужд станции при коротких замыканиях на шинах 35 *кв* или отходящих от них линиях, сопровождающихся отказом в действии выключателей или защит указанных элементов стороны 35 *кв* в режиме, когда отключена сторона 110—220 *кв* блока.

В целях повышения чувствительности органа направления мощности обратной последовательности защиты, установленной на стороне 110—220 *кв*, питание фильтра напряжения обратной последовательности осуществляется с шин 35 *кв*.

В приведенной схеме токовые защиты обратной последовательности дополнены приставками для действия при симметричных коротких замыканиях, установленными на всех трех сторонах и выполненными каждая с реле тока, включенным на фазный ток, и минимальным реле напряжения, включенным на междуфазное напряжение трансформатора напряжения своей стороны (*26РТ* и *34РН*; *29РТ* и *35РН*; *31РТ* и *36РН*). Приставки на сторонах 110—220 и 35 *кв* предусмотрены в предположении недостаточной чувствительности к повреждениям на шинах этих сторон приставки, установленной на стороне генераторного напряжения, из-за наличия подпитки с неповрежденной стороны.

Все указанные приставки действуют на реле времени, общее с токовой защитой обратной последовательности, установленной на стороне генераторного напряжения (*40РВ*), и имеющее две выдержки времени: меньшую на отключение выключателя стороны 35 *кв* (*3В*) и большую — на отключение всего блока. Следует отметить, что при таком выполнении защиты внешние симметричные короткие замыкания на стороне 110—220 *кв*, сопровождающиеся отказом в действии выключателя или защиты, ликвидируются рассматриваемыми защитами неселективно.

Для обеспечения действия защиты при трехфазных коротких замыканиях в зоне между выключателем стороны 110—220 *кв* и выносными трансформаторами тока в схеме предусмотрено шунтирование органа напряжения защиты, установленной на стороне 110—220 *кв*, размыкающими контактами реле положения «включено» (*РПВ*) выключателя стороны 110—220 *кв* блока и обходного выключателя указанной стороны (подобно принятому в схеме рис. 1).

Для предотвращения шунтирования органа напряжения защиты в режиме работы блока через обходной выключатель при отключении выключателя 110—220 *кв* блока и в режиме работы блока через свой выключатель 110—220 *кв* при отключении обходного выключателя в схеме предусмотрены разрывы указанных шунтирующих цепей при помощи соответствующих контактов реле положения обходного разъединителя блока 110—220 *кв*.

Для обеспечения действия защиты при трехфазных коротких замыканиях в зоне между выключателем стороны 35 *кв* блока и выносными трансформаторами тока в схеме предусмотрено шунтирование органа напряжения защиты, установленной на стороне 35 *кв*, размыкающим контактом реле положения «включено» выключателя указанной стороны блока.

6. В данной схеме для обеспечения резервирования многофазных коротких замыканий на шинах 110—220 *кв* и отходящих от этих шин элементах в режиме работы трансформатора через обходной выключатель резервная защита от многофазных коротких замыканий, установленная на стороне 110—220 *кв*, присоединяется к трансформаторам тока, встроенным во втулки силового трансформатора, и предусмотрена подача импульса на отключение обходного выключателя от рассматриваемой защиты по аналогии со схемой рис. 6; в данной схеме для размножения контактов используется дополнительное промежуточное реле *49РП*.

7. В схеме на стороне 110—220 *кв* предусмотрена защита от внешних коротких замыканий на землю (реле *30РТ* и *45РВ*), выполненная аналогично таковой в схеме рис. 3.

8. Защиты от симметричных перегрузок в данной схеме предусматриваются на всех трех сторонах (реле *23РТ—25РТ*). Защиты действуют на общее реле времени *42РВ*.

Защита генератора от перегрузок токами обратной последовательности выполнена с помощью устройства *33РТФ*.

9. В связи с включением измерительных приборов на те же трансформаторы тока *10ТТ*, что и токовой защиты обратной последовательности, в целях повышения надежности последней предусмотрено включение измерительных приборов через промежуточные трансформаторы тока по аналогии со схемой рис. 2.

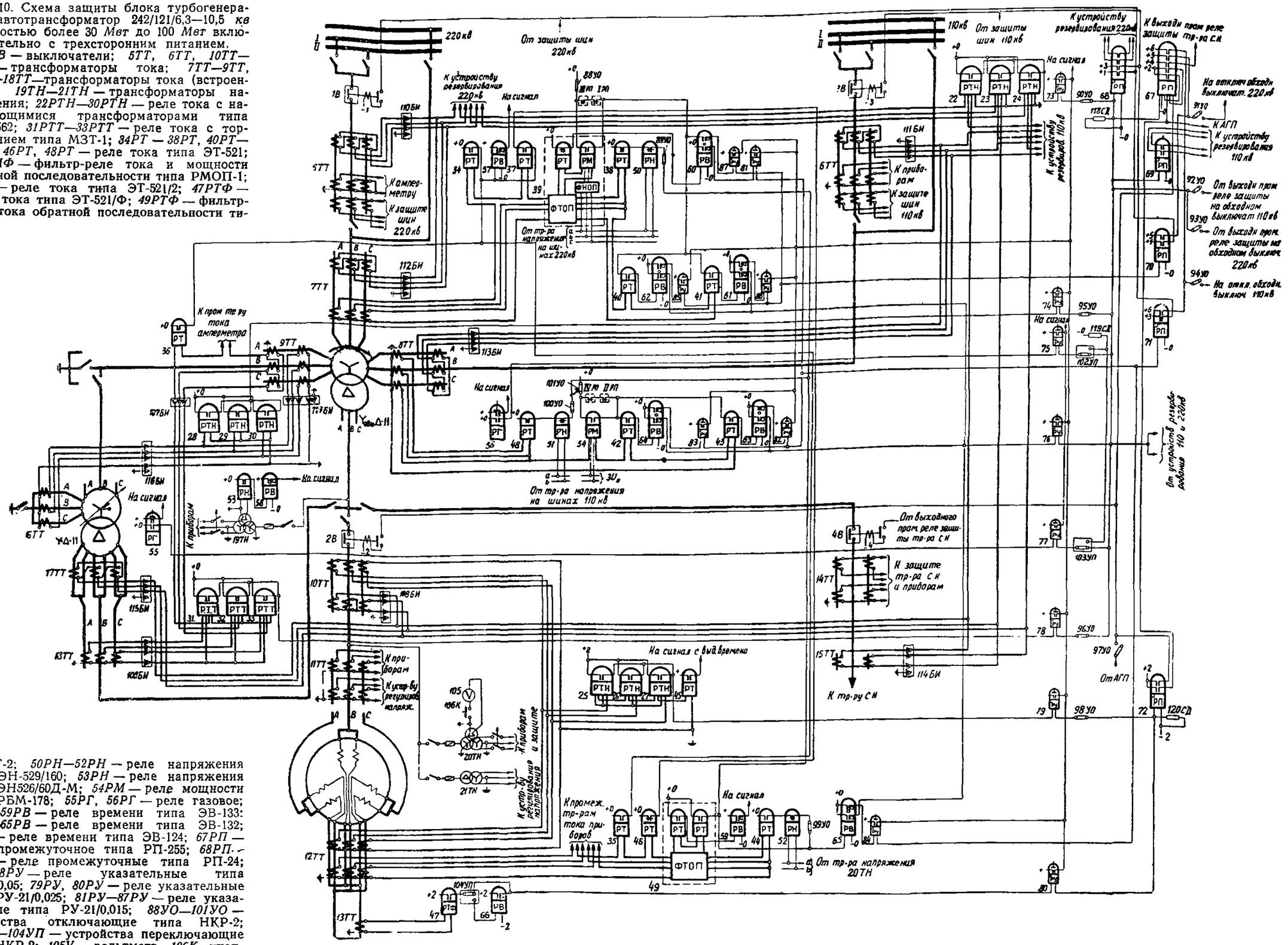
Схема защиты блока турбогенератор — автотрансформатор 242/121/6,3—10,5 *кв* мощностью более 30 *Мвт* до 100 *Мвт* включительно с трехсторонним питанием (рис. 10).

1. Схема дана для случая, когда:

а) на сторонах 110 и 220 *кв* установлены воздушные выключатели и выносные трансформаторы тока;

б) в схеме предусмотрен добавочный трансформатор для регулирования напряжения под нагрузкой;

Рис. 10. Схема защиты блока турбогенератор—автотрансформатор 242/121/6,3—10,5 *кв* мощностью более 30 *Мвт* до 100 *Мвт* включительно с трехсторонним питанием.



па РТ-2; *50РН—52РН* — реле напряжения типа ЭН-529/160; *53РН* — реле напряжения типа ЭН526/60Д-М; *54РМ* — реле мощности типа РБМ-178; *55РГ*, *56РГ* — реле газовое; *57РВ—59РВ* — реле времени типа ЭВ-133: *60РВ—65РВ* — реле времени типа ЭВ-132; *66РВ* — реле времени типа ЭВ-124; *67РП* — реле промежуточное типа РП-255; *68РП.—72РП* — реле промежуточные типа РП-24; *73РУ-78РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,05; *79РУ*, *80РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; *81РУ—87РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,015; *88УО—101УО* — устройства отключающие типа НКР-2; *102УП—104УП* — устройства переключающие типа НКР-2; *105V* — вольтметр; *106К*—кнопка; *107БИ—115БИ* — блоки испытательные типа БИ-4; *116БИ*, *117БИ* — блоки испытательные типа БИ-6; *118СД* — сопротивление добавочное 1 500 *ом* типа ПЭ-50; *119СД* — сопротивление добавочное 2 500 *ом* типа ПЭ-50; *120СД* — сопротивление добавочное 4 500 *ом* типа ПЭ-50; *IРП*, *IIРП* — контакты реле положения *включено* (РПВ) выключателей соответственно *1В* и *3В*; *IIIРП* и *IVРП* — контакты реле положения обходных разъединителей соответственно 220 и и 110 *кв*.

в) на сторонах 220 и 110 *кв* предусмотрены устройства резервирования отказа выключателей.

2. В схеме предусмотрена дифференциальная защита автотрансформатора, выполненная с реле РНТ-562 (*22РТН—24РТН*), в предположении, что при этом обеспечивается требуемая чувствительность.

Для экономии трансформатора тока на ответвлении к собственным нуждам дифференциальная защита автотрансформатора со стороны генераторного напряжения выполнена с использованием трансформаторов тока в двух фазах (в соответствии с разд. А, § III).

В режимах работы блока на шины 220 и 110 *кв* через обходной выключатель дифференциальная защита автотрансформатора переключается соответственно от трансформаторов тока *5ТТ* к трансформаторам *7ТТ* и от *6ТТ* к *8ТТ* аналогично тому, как это предусмотрено в схеме рис. 3.

3. Продольная дифференциальная токовая защита генератора принята в трехфазном трехрелейном исполнении (разд. А, § II, п. 4) с реле *РНТ-562* (*25РТН—27РТН*).

Защита показана с устройством контроля исправности вторичных цепей ее трансформаторов тока (реле *45РТ*), выполненным аналогично таковому в схеме рис. 3.

При применении рассматриваемой схемы для блоков с турбогенераторами мощностью менее 100 *Мвт* реле *45РТ* может быть исключено.

4. Односистемная поперечная дифференциальная токовая защита генератора выполнена с реле *47РТФ* и *66РВ* аналогично таковой в схеме рис. 2.

5. Для резервирования основных защит блока при многофазных коротких замыканиях и резервирования отключения многофазных коротких замыканий на шинах 220 и 110 *кв* и на отходящих от этих шин линиях предусмотрены токовая защита обратной последовательности, установленная на стороне генератора и выполненная с устройством РТ-2 (*49РТФ*), и направленная токовая защита обратной последовательности, установленная на стороне 220 *кв* и выполненная с устройством РМОП-1 (*39РТМФ*).

Для обеспечения резервирования отключения многофазных коротких замыканий на шинах 110 *кв* и на отходящих от этих шин линиях предусмотрено следующее.

а) Действие защиты, установленной на стороне 220 *кв*, с меньшей выдержкой времени на отключение выключателя 220 *кв*, а с большей — на отключение выключателя 110 *кв*, в предположении, что выдержки времени резервных защит сети 220 *кв* меньше, чем сети 110 *кв*. В связи с этим для обеспечения селективности действия защиты при коротких замыканиях на линиях, отходящих от шин высших напряжений станции, действие защиты на отключение выключателя 220 *кв* контролируется реле направления мощности защиты, а на отключение выключателя стороны 110 *кв* защита действует, минуя реле направления мощности.

б) Действие защиты, установленной на стороне генераторного напряжения, на отключение выключателя стороны 110 *кв* с выдержкой времени, равной выдержке времени действия на отключение того же выключателя защитой, установленной на стороне 220 *кв*, а со второй — на отключение всех выключателей блока и АГП.

Защита установлена на стороне 220 *кв*, а не на стороне 110 *кв* в предположении, что это необходимо для обеспечения требуемой чувствительности рассматриваемой защиты при коротких замыканиях в конце линий, отходящий от шин 220 *кв*.

Следует отметить, что действие защиты, установленной на стороне генераторного напряжения, на отключение с первой выдержкой времени выключателя 110 *кв* необходимо предусматривать для обеспечения сохранения питания собственных нужд станции при коротких замыканиях на шинах или отходящих от них линиях 110 *кв*, сопровождающихся отказом в действии выключателей или защит указанных элементов стороны 110 *кв* в режиме, когда отключена сторона 220 *кв* блока.

Короткие замыкания на шинах 110 *кв* или отходящих от них линиях, сопровождающиеся отказом в действии выключателей или защит указанных элементов, в режиме, когда генератор отключен, будут ликвидироваться защитой, установленной на стороне 220 *кв*.

В целях повышения чувствительности органа направления мощности обратной последовательности защиты, установленной на стороне 220 *кв*, питание фильтра напряжения обратной последовательности осуществляется с шин 220 *кв*.

В приведенной схеме токовые защиты обратной последовательности дополнены приставками для действия при симметричных коротких замыканиях, установленными на всех трех сторонах (*38РТ* и *50РН*; *44РТ* и *52РН*; *48РТ* *51РН*), выполненные аналогично таковым в схеме рис. 9 с тем отличием, что в данной схеме не предусмотрено шунтирование органов напряжения приставок контактом реле положения выключателей соответствующей стороны, поскольку их действие при коротких замыканиях в зонах между выключателем и выносными трансформаторами тока необязательно в связи с действием при указанных повреждениях предусмотренных в схеме устройств резервирования (п. 9 описания данной схемы).

6. Для обеспечения резервирования многофазных коротких замыканий на шинах 220 и 110 *кв* и отходящих от этих шин элементах в режиме работы автотрансформатора через обходной выключатель в схеме предусмотрена подача отключающих импульсов к обходным выключателям 220 и 110 *кв* от резервной защиты от замыканий между фазами, установленной на стороне 220 *кв*, по аналогии с таким же импульсом на обходной выключатель 110—200 *кв* в схеме рис. 9 (*70РП* и *71РП* в данной схеме).

7. Рассматриваемая схема дана для случая, когда вторые ступени токовых защит от коротких замыканий на землю противоположных концов линий 110 и 220 *кв* по условию чувствительности не могут быть отстроены от повреждений на шинах смежного напряжения станции.

В связи с этим на сторонах 110 и 220 *кв*, кроме чувствительной токовой защиты нулевой последовательности (на стороне 220 *кв* — реле *40РТ* и *62РВ*, на стороне 110 *кв* — реле *42РТ* и *64РВ*), которая согласовывается с третьими ступенями защит присоединенных к шинам элементов, предусмотрены токовые отсечки нулевой последовательности (на стороне 220 *кв* — реле *41РТ* и *61РВ*, на стороне 110 *кв* — *43РТ* и *63РВ*), которые согласовываются с первыми ступенями защит указанных элементов.

Обе защиты на каждой стороне выполняются направленными (*39РТМФ* и *54РМ*). Для выполнения токовой защиты нулевой последовательности на стороне 220 *кв* направленной используется реле направления мощности обратной последовательности *39РТМФ*, входящее в защиту обратной последовательности.

Токовые отсечки выполняются с двумя выдержками времени. С первой выдержкой времени, на ступень большей выдержек времени первых ступеней защит линий своей стороны, они действуют на отключение выключателя своей стороны, а со второй, меньшей на ступень выдержки времени вторых ступеней защит от коротких замыканий на землю линий смежных сторон, действуют на отключение всех выключателей блока и АГП.

Действие отсечек на отключение выключателя своей стороны предотвращает неселективное отключение линий смежных сторон от вторых ступеней защит от замыканий на землю при повреждениях на шинах и линиях своей стороны, сопровождающихся отказами в действии защит или выключателей; действие отсечек на выходные промежуточные реле защиты блока предотвращает такое же неселективное действие защиты линий смежных сторон при повреждениях в зоне между выключателем и встроенными трансформаторами тока своей стороны.

В целях обеспечения резервирования отключения коротких замыканий на землю в сетях 110 и 220 *кв* в режимах работы блока на шины 110 и 220 *кв* через обходные выключатели предусмотрена подача отключающего импульса от отсечек и чувствительных защит каждой стороны на соответствующий обходной выключатель по аналогии с таким же импульсом на обходной выключатель 110—220 *кв* в схеме рис. 9 (*70РП* и *71РП* в данной схеме).

Для обеспечения действия токовых отсечек при коротких замыканиях в зоне между выключателями 220 и 110 *кв* и соответствующими трансформаторами тока, к которым присоединены указанные отсечки, при отключении выключателя поврежденной стороны в схеме предусмотрено шунтирование контактов органов направления мощности при помощи реле положения «включено» (РПВ) выключателя своей стороны (подобно рис. 1).

Для обеспечения направленности действия защит в режиме, когда выключатели сторон 220 или 110 *кв* заменены обходным выключателем, в схеме предусмотрен разрыв указанных шунтирующих цепей при помощи реле положения обходных разъединителей своей стороны.

В целях упрощения не предусмотрено действие отсечек и чувствительных защит со второй выдержкой времени в режиме, когда выключатель своей стороны заменен обходным выключателем (не предусмотрено шунтирование реле направления мощности *39РТМФ* и *54РМ* контактами реле положения обходных выключателей и обходных разъединителей).

8. Следует отметить, что вторые ступени дистанционных защит противоположных концов линий 110 и 220 *кв* по усло-

Рис. 11. Схема защиты блока турбогенератор—автотрансформатор 242/121/6,3—10,5 *кв* мощностью более 30 *Мвт* до 100 *Мвт* включительно с трехсторонним питанием, присоединенного к системе 220 *кв* по схеме четырехугольника.

1В—5В — выключатели; *6ТТ—8ТТ, 11ТТ—16ТТ* — трансформаторы тока; *9ТТ, 10ТТ, 17ТТ — 19ТТ* — трансформаторы тока (встроенные); *20ТН—22ТН* — трансформаторы напряжения; *23РТТ—25РТТ* — реле тока с торможением типа ДЗТ-3; *26РТН—31РТН* — реле тока с насыщающимися трансформаторами типа РНТ-562; *32РТТ—34РТТ* — реле тока с торможением типа МЗТ-1; *35РТФ* — фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТФ-1; *36РТ—39РТ, 41РТ—44РТ* — реле тока типа ЭТ-521; *40РТ* — реле тока типа ЭТ-523; *45РТ* — реле тока типа ЭТ-521/2; *46РТФ* — реле тока типа ЭТ-521/Ф; *47РТФ* — фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТ-2; *48РН* — реле напряжения типа ЭН-526/60Д-М; *49РН, 50РН* — реле напряжения типа ЭН-529/160; *51РМ* — реле мощности типа РБМ-178; *52РГ, 53РГ* — реле газовые; *54РВ—56РВ* — реле времени типа ЭВ-133; *57РВ* — реле времени типа ЭВ-134; *58РВ—60РВ* — реле времени типа ЭВ-132; *61РВ* — реле времени типа ЭВ-124; *62РП—64РП* — реле промежуточные типа РП-24; *65РП, 66РП* — реле промежуточные типа РП-255; *67РУ—72РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,05; *73РУ, 74РУ* — реле указательные типаРУ-21/0,025 *75РУ* — реле указательное типа РУ-21/0,015; *76РУ—78РУ* — реле указательные типа РУ-21/1; *79УО—86УО* — устройства отключающие типа НКР-2; *87УП—89УП* — устройства переключающие типа НКР-2; *90V* — вольтметр; *91К* — кнопка; *92БИ—99БИ*—блоки испытательные типа БИ-4; *100БИ, 101БИ* — блоки испытательные типа БИ-6; *102СД* — сопротивление добавочное 1 500 *ом* типа ПЭ-50; *103СД* — сопротивление добавочное 2 500 *ом* типа ПЭ-50; *104СД* — сопротивление добавочное 4 500 *ом* типа ПЭ-50; *1РП* — контакт реле положения *включено* (РПВ) выключателя *3В*.

вию чувствительности также могут оказаться неотстроенными от повреждений на шинах смежного напряжения станции. Однако в приведенных схемах выполнение резервных защит от внешних многофазных коротких замыканий по аналогии с защитами от внешних коротких замыканий на землю двухступенчатыми в целях упрощения не предусмотрено.

9. Схема дана в предположении, что на сторонах 220 и 110 *кв* станции предусмотрены устройства резервирования отказа выключателей, обеспечивающие:

а) при коротких замыканиях на элементах, отходящих от шин, включая блоки, с отказом в действии выключателя поврежденного элемента — отключение системы шин, к которой присоединен этот элемент; при этом устройство резервирования запускается выходными промежуточными реле защиты поврежденного элемента;

б) при коротких замыканиях на данной системе шин, сопровождающихся отказом в действии выключателя блока, установленного со стороны поврежденной системы шин, или при коротких замыканиях в зоне между указанным выключателем и соответствующими выносными трансформаторами тока — отключение блока другими его выключателями при помощи выходных промежуточных реле защит блока.

10. Защиты от симметричных перегрузок установлены со стороны генераторного напряжения (*35РТ*), со стороны 220 *кв* (*34РТ*), а также со стороны выводов обмотки автотрансформатора к нейтрали (*36РТ*). Последнее необходимо для сигнализации перегрузок части обмотки автотрансформатора между выводами 110 *кв* и нейтралью.

Кроме того, на стороне 220 *кв* устанавливается защита для сигнализации перегрузок в режиме, когда генератор отключен. Указанное необходимо в виду снижения в этом режиме (по данным завода) пропускной способности автотрансформатора. Защита выполнена с помощью реле тока *37РТ* с уставкой, соответствующей допустимой для рассматриваемого режима нагрузке, и вводится в действие при снижении тока на стороне генераторного напряжения до значения тока срабатывания реле тока *46РТ*. Все эти защиты от перегрузок выполняются с общим реле времени *59РВ*.

Защита генератора от перегрузок токами обратной последовательности выполнена с помощью устройства *49РТФ*.

11. В связи с включением измерительных приборов на те же трансформаторы тока, что и реле тока резервной защиты от многофазных коротких замыканий (*12ТТ*), в целях повышения надежности последней предусмотрено включение измерительных приборов через промежуточные трансформаторы тока по аналогии со схемой рис. 2.

12. Для защиты добавочного трансформатора предусмотрена максимальная токовая защита с реле, имеющими тормозные обмотки (*31РТТ—33РТТ*).

Рабочие обмотки этих реле присоединены к трансформаторам тока, установленным в цепи первичной обмотки добавочного трансформатора, а тормозные обмотки — к трансформаторам тока, встроенным во втулки автотрансформатора со стороны выводов к нейтрали (т. е. к трансформаторам тока цепи, в которую включена вторичная обмотка добавочного трансформатора).

Для защиты вторичной обмотки добавочного трансформатора предусмотрена дифференциальная защита, выполненная с реле РНТ-562 (*28РТН—30РТН*).

Схема защиты блока турбогенератор — автотрансформатор 242/121/6,3—10,5 *кв* мощностью более 30 *Мэт* до 100 *Мэт* включительно, с трехсторонним питанием, присоединенного к системе 220 *кв* по схеме четырехугольника (рис. 11).

1. Схема дана для случая, когда:

а) шины 220 *кв* выполнены четырехугольником;

б) на сторонах 110 и 220 *кв* установлены воздушные выключатели и выносные трансформаторы тока;

в) в схеме предусмотрен добавочный трансформатор для регулирования напряжения под нагрузкой;

г) на сторонах 220 и 110 *кв* предусмотрены устройства резервирования отказа выключателей.

2. Дифференциальная защита трансформатора выполнена с реле ДЗТ-3 (*23РТТ—25РТТ*), имеющими три тормозных обмотки, две из которых присоединены к трансформаторам тока *6ТТ* и *7ТТ* на соответствующих сторонах четырехугольника, а третья — к трансформаторам тока *16ТТ* в цепи ответвления к собственным нуждам. При этом предполагается, что при отстройке от токов небаланса, обусловленных перетоками при повреждениях в сети 220 *кв*, и от токов небаланса при внешнем повреждении в цепи ответвления к собственным нуждам имеет место недопустимое загрубление защиты, выполненной без торможения, и защиты, выполненной с реле ДЗТ-1, имеющими одну тормозную обмотку.

3. Продольная дифференциальная токовая защита генератора выполнена с реле *26РТН—28РТН* и *45РТ* аналогично таковой в схеме рис. 10.

4. Односистемная поперечная дифференциальная токовая защита генератора выполнена с реле *46РТФ* и *61РВ* аналогично таковой в схеме рис. 2.

5. Для резервирования основных защит блока при многофазных коротких замыканиях и резервирования отключения многофазных коротких замыканий на шинах 110 и 220 *кв* и на отходящих от этих шин линиях предусмотрены токовая защита обратной последовательности, установленная на стороне генератора и выполненная с реле РТ-2 (*47РТФ*), и токовая защита обратной последовательности, установленная на стороне 110 *кв*, выполненная с реле РТФ-1 (*35РТФ*).

Защита, установленная на стороне 110 *кв*, выполнена ненаправленной в предположении, что выдержки времени защит линий, отходящих от шин 220 *кв* станции, меньше, чем защит линий, отходящих от шин 110 *кв*.

Установка на стороне 110 *кв* токовой защиты обратной последовательности, действующей на отключение выключателя своей стороны, обеспечивает отключение внешних коротких замыканий на стороне 110 *кв*, сопровождающихся отказом выключателя или защиты поврежденного участка, с сохранением связи генератора с шинами 220 *кв* и питания ответвления на собственные нужды.

В связи с выполнением шин 220 *кв* четырехугольником в целях упрощения действие резервной защиты, установленной на стороне 110 *кв*, на отключение выключателей стороны 220 *кв* не предусмотрено.

Следует отметить, что при принятом выполнении резервных защит селективное резервирование отключения повреждений на стороне 220 *кв* (при отказе выключателя или защиты линий 220 *кв*) может быть обеспечено, если принять выдержки времени защит противоположных концов линий 110 *кв* бо́льшими выдержки времени резервной защиты блока, установленной на стороне 110 *кв*.

Для сохранения питания ответвления на собственные нужды блока при ликвидации внешних коротких замыканий на стороне 220 *кв* с отказом защиты поврежденного участка токовая защита обратной последовательности на стороне генераторного напряжения выполнена действующей с двумя выдержками времени: с первой на отключение выключателей стороны 220 *кв*, а со второй — на отключение всех выключателей блока и АГП.

Токовые защиты обратной последовательности дополнены приставками для действия при симметричных коротких замыканиях, установленными на стороне генераторного напряжения (*44РТ* и *50РН*) и на стороне 110 *кв* (*43РТ* и *49РН*), выполненными аналогично таковым в схеме рис. 9 с тем отличием, что в данной схеме каждая приставка действует на реле времени токовой защиты обратной последовательности своей стороны.

6. Схема дана для случая, когда вторые ступени токовых защит от коротких замыканий на землю противоположных концов линий 220 *кв* по условию чувствительности не могут быть отстроены от повреждений на шинах 110 *кв*.

В связи с этим на стороне 110 *кв*, кроме чувствительной токовой защиты нулевой последовательности (реле *41РТ* и *58РВ*), предусмотрена токовая отсечка нулевой последовательности (реле *42РТ* и *59РВ*), подобная такой же защите в схеме рис. 10, но без особенностей, связанных с возможностью замены выключателя стороны 110 *кв* блока обходным выключателем.

В связи с выполнением шин 220 *кв* четырехугольником в целях упрощения на стороне 220 *кв* токовая защита от коротких замыканий на землю не предусмотрена.

7. Схема дана в предположении, что на стороне 220 *кв* станции предусмотрено устройство резервирования отказа выключателей, обеспечивающее:

а) при коротких замыканиях на линиях, отходящих от станции со стороны 220 *кв*, с отказом в действии одного из выключателей поврежденной линии — отключение блока, примыкающего к стороне четырехугольника с отказавшим выключателем;

б) при коротких замыканиях в зоне между выключателем 220 *кв* и трансформаторами тока в цепи этого выключателя — отключение блока, примыкающего к поврежденной стороне четырехугольника;

в) при коротких замыканиях в цепи блока с отказом в действии одного из выключателей 220 *кв* поврежденного блока — отключение выключателя линии, примыкающей к стороне четырехугольника с отказавшим выключателем.

На стороне 110 *кв* предусмотрено устройство резервирования, аналогичное таковому в схеме рис. 10.

8. Защиты от симметричных перегрузок (реле *36РТ — 39РТ* и *54РВ*) выполнены аналогично таким же защитам в схеме рис. 10. Защита со стороны 220 *кв* включается в цепь дифференциальной защиты блока.

Защита генератора от перегрузок токами обратной последовательности выполнена с помощью устройства *47РТФ*.

9. В связи с включением измерительных приборов на стороне генераторного напряжения на те же трансформаторы то-

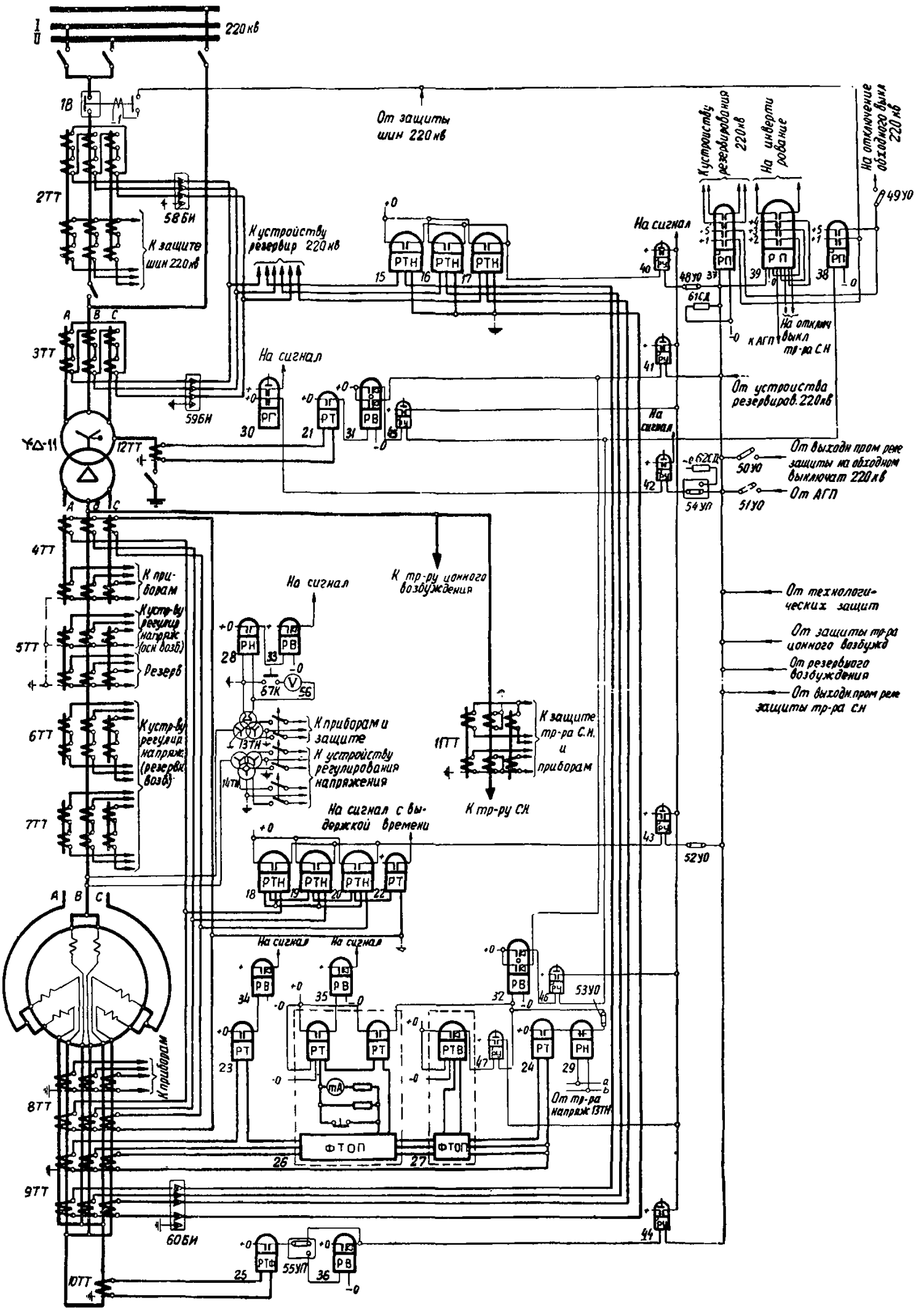


Рис. 12. Схема защиты блока турбогенератор — трансформатор 242/15,75—20 *кв* мощностью 150—300 *Мвт* с форсированным охлаждением генератора.

1В — выключатель; *2ТТ* — трансформаторы тока; *3ТТ—12ТТ* — трансформаторы тока (встроенные); *13ТН—14ТН* — трансформаторы напряжения; *15РТН—17РТН* — реле тока с насыщающимися трансформаторами типа РНТ-563; *18РТН—20РТН* — реле тока с насыщающимися трансформаторами типа РНТ-562; *21РТ*, *23РТ*, *24РТ* — реле тока типа ЭТ-521; *22РТ*—реле тока типа ЭТ-521/2; *25РТФ*—реле тока типа ЭТ-521/Ф; *26РТФ* — фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТФ-2; *27РТФ* — фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТФ-3; *28РН* — реле напряжения типа ЭН-526/60Д-М; *29РН* — реле напряжения типа ЭН-529/160; *30РГ* — реле газовое; *31РВ*, *32РВ* — реле времени типа ЭВ-132; *33РВ—35РВ* — реле времени типа ЭВ-133; *36РВ* — реле времени типа ЭВ-124; *37РП*, *38РП* — реле промежуточные типа РП-24; *39РП* — реле промежуточное типа РП-255; *40РУ—44РУ*, *47РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,05; *45РУ*, *46РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,015; *48УО—53УО* — устройства отключающие типа НКР-2; *54УП*, *55УП* — устройства переключающие типа НКР-2; *56V* — вольтметр; *57К* — кнопка; *58БИ*, *59БИ* — блоки испытательные типа БИ-4; *60БИ* — блок испытательный типа БИ-6; *61СД* — сопротивление добавочное 1 000 *ом* типа ПЭ-50; *62СД* — сопротивление добавочное 2 500 *ом* типа ПЭ-50.

ка (*13ТТ*), что и токовой защиты обратной последовательности, в целях повышения надежности последней предусмотрено включение измерительных приборов через промежуточные трансформаторы тока по аналогии со схемой рис. 2.

10. Для защиты добавочного трансформатора предусмотрена максимальная токовая защита с реле, имеющими тормозные обмотки (реле *32РТТ—34РТТ*).

Рабочие обмотки этих реле присоединены к трансформаторам тока, установленным в цепи первичной обмотки добавочного трансформатора, а тормозные обмотки — к трансформаторам тока, встроенным во втулки автотрансформатора со стороны выводов к нейтрали.

Для защиты вторичной обмотки добавочного трансформатора предусмотрена дифференциальная защита, выполненная с реле РНТ-562 (*29РТН—31РТН*).

11. Для предотвращения автоматического повторного включения поврежденного автотрансформатора в схеме предусмотрено запрещение действия устройств АПВ, установленных на стороне 220 *кв*, при действии защит от внутренних повреждений.

Схема защиты блока турбогенератор — трансформатор 242/15,75—20 *кв* мощностью 150—300 *Мвт* с форсированным охлаждением генератора (рис. 12).

1. Схема выполнена с учетом повышенных требований к релейной защите блоков с мощными турбогенераторами с форсированным охлаждением статора и ротора.

2. Схема дана для случая, когда:

а) в цепи ответвления на собственные нужды со стороны генераторного напряжения отсутствует выключатель;

б) на стороне 220 *кв* установлен воздушный выключатель и выносные трансформаторы тока;

в) предусмотрена возможность замены выключателя 220 *кв* обходным выключателем;

г) на стороне 220 *кв* предусмотрено устройство резервирования, выполненное подобно таковому в схеме рис. 10.

3. Схема дана с двумя двухсердечниковыми трансформаторами тока на фазу, встроенными в кожух токопровода со стороны выводов генератора к нейтрали (*8ТТ* и *9ТТ*) и четырьмя двухсердечниковыми трансформаторами тока на фазу, встроенными в кожух токопровода, соединяющего генератор и повышающий трансформатор (*4ТТ—7ТТ*). Такое размещение трансформаторов тока принято для турбогенераторов поставки з-да «Электротяжмаш», для которых в качестве основного возбуждения предусматривается ионное возбуждение и в качестве резервного — электромашинное.

4. В схеме предусмотрены общая дифференциальная защита блока и дифференциальная защита генератора (в соответствии с разд. А, § II).

Общая дифференциальная защита блока выполнена с реле РНТ-563 (*15РТН—17РТН*). Защита не присоединяется к трансформаторам тока цепи ответвления на собственные нужды в предположении, что она отстроена по току срабатывания от коротких замыканий за трансформатором собственных нужд. В целях повышения надежности защита выполняется с использованием со стороны генераторного напряжения трансформаторов тока в трех фазах.

Отдельная продольная дифференциальная защита генератора выполнена с реле РНТ-562 (*18РТН—20РТН*), с контролем исправности вторичных цепей ее трансформаторов тока (реле *22РТ*) в соответствии с разд. А, § II. Защита выполнена аналогично таковой в схеме рис. 3.

В целях сохранения в работе общей дифференциальной защиты блока в случае замены выключателя *1В* на стороне 220 *кв* обходным выключателем в схеме предусмотрена возможность переключения защиты от трансформаторов тока *2ТТ* на трансформаторы тока *3ТТ* аналогично тому, как это предусмотрено в схеме рис. 3.

5. Односистемная поперечная дифференциальная токовая защита генератора выполнена с реле *25РТФ* и *36РВ* аналогично таковой в схеме рис. 2.

6. Для осуществления защиты генератора от перегрузок токами обратной последовательности, а также для резервирования отключения многофазных коротких замыканий в схеме предусмотрена токовая защита обратной последовательности.

Защита выполнена при помощи устройств фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТФ-2 (*26РТФ*), состоящего из фильтра и двух органов тока без выдержки времени действия, и РТФ-3* (*27РТФ*), состоящего из фильтра и одного органа тока с зависимой выдержкой времени действия. Защита генератора от перегрузок токами обратной последовательности осуществляется входящим в РТФ-2 чувствительным органом тока, действующим на сигнал через реле времени (*35РВ*), и устройством РТФ-3, действующим на отключение с зависимой выдержкой времени.

Защита от внешних многофазных коротких замыканий осуществляется входящим в РТФ-2 более грубым реле тока (разд. А, § IX и X). В целях сохранения питания собственных нужд станции при внешних коротких замыканиях рассматриваемая защита действует с первой выдержкой времени реле времени *32РВ* на отключение выключателя *1В* стороны 220 *кв* и со второй — на выходные промежуточные реле защиты блока *37РП* и *39РП*.

В схеме предусмотрено сохранение питания собственных нужд станции при внешнем повреждении в режиме, когда выключатель *1В* на стороне 220 *кв* заменен обходным, в связи с чем рассматриваемая защита обратной последовательности выполнена с возможностью действия с первой выдержкой времени также и на обходной выключатель (через промежуточное реле *38РП* и отключающее устройство *49УО*).

Принципиальная схема устройства РТФ-3 (по предварительным данным ЧЭТНИИ) приведена на рис. 28.

Устройство действует следующим образом. При токах обратной последовательности, превышающих ток срабатывания реле $P_{пуск}$, последнее срабатывает и пускает реле времени *РВ*, которое замыкает цепь обмотки шагового искателя *ШИ*. При перемещении *ШИ* на один шаг он на все время своей работы замыкает цепь обмотки реле *Ш*. Постепенно перемещаясь, *ШИ* вводит в цепь обмотки реле $P_{вых}$ различные сопротивления r (значения которых уменьшаются) до тех пор, пока ток в обмотке реле не окажется достаточным для его срабатывания. При каждом шаге искателя его контакт размыкает цепь обмотки реле РВ, возвращая его в начальное положение, чем обеспечивается постоянная скорость переключения *ШИ*, определяемая выдержкой времени реле *РВ*.

Соответствующим подбором сопротивлений r_1, r_2, ..., r_n и выдержки времени реле *РВ* создается требуемая характеристика устройства.

Следует отметить, что характеристика устройства РТФ-3 (*27РТФ*) в намечаемом заводом конструктивном исполнении соответствует тепловой характеристике генератора только при прохождении по нему тока обратной последовательности постоянного значения. Изменение тока обратной последовательности во времени может привести к запаздыванию срабатывания устройства (при уменьшении тока) или к его ускорению (при увеличении тока).

Рассматриваемое устройство имеет замедленный возврат, т. е., будучи случайно запущенным, оно остается готовым к действию до тех пор, пока искатель не пройдет до конца все оставшиеся еще не пройденными ламели поля (в течение нескольких минут). При возникновении в течение этого времени внешнего короткого замыкания может иметь место неселективное отключение генератора.

Для предотвращения неселективного действия устройства РТФ-3 на выходе его должна быть предусмотрена дополнительная выдержка времени с соответствующим учетом ее в характеристике устройства. В целях сохранения питания собственных нужд станции в случаях, когда источник несимметрии расположен во внешней сети, устройство *27РТФ* аналогично устройству *26РТФ* действует с двумя выдержками времени. Оба устройства действуют на реле времени *32РВ*.

В данной схеме дополнительно предусмотрена приставка для действия при симметричных коротких замыканиях с использованием тока одной фазы и одного междуфазного напряжения (реле *24РТ* и *29РН*), действующая на реле времени *32РВ*. Реле напряжения защиты присоединяется к трансформатору напряжения стороны генераторного напряжения.

7. На стороне 220 *кв* блока предусмотрена защита от внешних коротких замыканий на землю (реле *21РТ* и *31РВ*). Защита выполнена действующей с двумя выдержками времени: с первой — на отключение выключателя стороны 220 *кв* (*1В* или обходного) и со второй — на отключение всего блока.

Действие рассматриваемой защиты на отключение всего блока предусмотрено в связи с тем, что при коротком замыкании на землю двух фаз на стороне высшего напряжения трансформатора грубое реле защиты обратной последовательности *26РТФ* может оказаться нечувствительным вследствие относительно большого сопротивления генератора.

8. В схеме предусмотрен импульс от выходных промежуточных реле для возможности перевода ионного возбуждения генератора в инверторный режим в целях облегчения условий гашения поля.

9. Следует отметить, что для блоков с турбогенераторами мощностью 300 *Мвт* завода «Электротяжмаш» емкостный ток замыкания на землю на стороне генераторного напряже-

* Устройства РТФ-2 и РТФ-3 намечены к выпуску Чебоксарским электроаппаратным заводом.

ния достигает 5 *а*, в связи с чем в этих случаях в нейтрали генератора должна быть установлена дугогасящая катушка (на схеме рис. 12 не показана).

При наличии у дугогасящей катушки вторичной обмотки для присоединения вольтметра в цепи трансформатора напряжения *13ТН* вольтметр можно не устанавливать.

Схема защиты блока турбогенератор — трансформатор 242/20 *кв* мощностью 300 *Мвт* с форсированным охлаждением генератора (рис. 13).

1. К данной схеме относятся повышенные требования к релейной защите, как и к схеме рис. 12.

2. Схема дана для случая, указанного в п. 2 описания схемы рис. 12.

3. Схема дана со следующими трансформаторами тока в цепи генератора:

а) со стороны выводов генератора к нейтрали — с одним двухсердечниковым трансформатором тока на каждую из параллельных ветвей обмотки статора (*7ТТ*); трансформаторы тока *7ТТ* встроены в выводы генератора и имеют коэффициент трансформации $n_{тт}$=6 000/5;

б) со стороны выводов генератора к повышающему трансформатору — с одним трехсердечниковым трансформатором

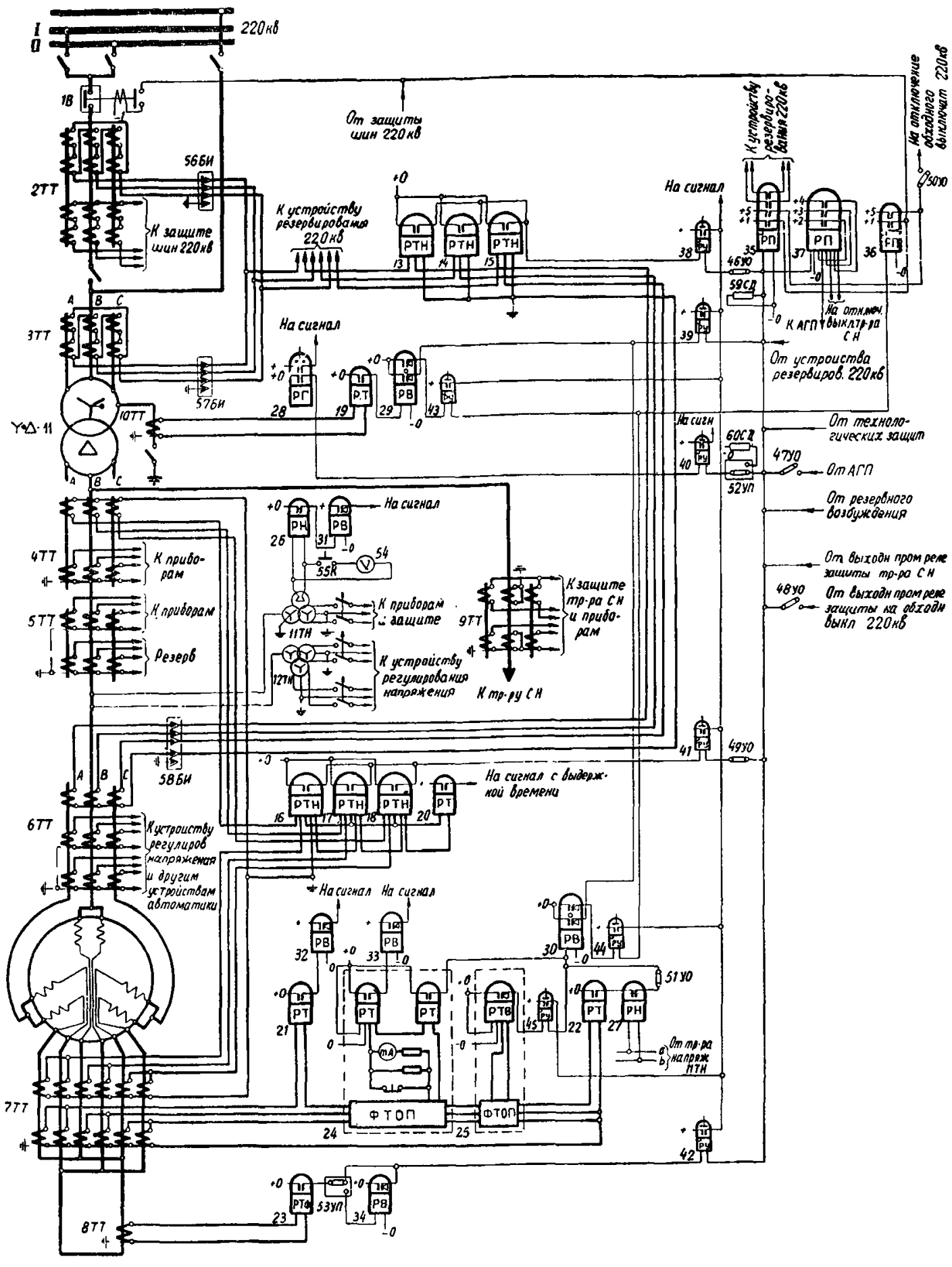


Рис. 13. Схема защиты блока турбогенератор—трансформатор 242/20 *кв* мощностью 300 *Мвт* с форсированным охлаждением генератора.

1В — выключатель; *2ТТ* — трансформаторы тока; *3ТТ—10ТТ* — трансформаторы тока (встроенные); *11ТН*, *12ТН* — трансформаторы напряжения; *13РТН—15РТН* — реле тока с насыщающимися трансформаторами типа РНТ-563; *16РТН—18РТН* — реле тока с насыщающимися трансформаторами типа РНТ-562; *19РТ*, *21РТ*, *22РТ* — реле тока типа ЭТ-521; *20РТ* — реле тока типа ЭТ-521/2; *23РТФ* — реле тока типа ЭТ-521/Ф; *24РТФ* — фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТФ-2; *25РТФ* — фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТФ-3; *26РН* — реле напряжения типа ЭН-526/60Д-М; *27РН* — реле напряжения типа ЭН-529/160; *28РГ* — реле газовое; *29РВ*, *30РВ* — реле времени типа ЭВ-132; *31РВ—33РВ* — реле времени типа ЭВ-133; *34РВ* — реле времени типа ЭВ-124; *35РП*, *36РП* — реле промежуточные типа РП-24; *37РП* — реле промежуточное типа РП-255; *38РУ—42РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; *43РУ*, *44РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,015; *45РУ* — реле указательное типа РУ-21/0,05; *46УО—51УО* — устройства отключающие типа НКР-2; *52УП*, *53УП* — устройства переключающие типа НКР-2; *54V* — вольтметр; *55К* — кнопка; *56БИ*, *57БИ* — блоки испытательные типа БИ-4; *58БИ* — блок испытательный типа БИ-6; *59СД* — сопротивление добавочное 10 000 *ом* типа ПЭ-50; *60СД* — сопротивление добавочное 4 500 *ом* типа ПЭ-50.

тока на фазу, встроенным в вывод генератора (*6ТТ*), и двумя двухсердечниковыми трансформаторами тока на фазу, встроенными в кожух токопровода (*4ТТ* и *5ТТ*).

Такое размещение трансформаторов тока принято для турбогенераторов поставки з-да «Электросила», для которых в качестве основного возбуждения предусматривается высокочастотное возбуждение, а в качестве резервного — электромашинное.

4. Отдельная дифференциальная токовая защита генератора выполнена с реле РНТ-562 (*16РТН—18РТН*), с устройством контроля исправности ее вторичных цепей (реле *20РТ*). Поясняющая схема включения реле *16РТН—18РТН* и *20РТ* с учетом присоединения защиты к трансформаторам тока с разными коэффициентами трансформации дана на рис. П-2 (приложение I).

5. В связи с наличием со стороны выводов обмотки статора к нейтрали только одного двухсердечникового трансформатора тока на фазу в рассматриваемой схеме в отличие от схемы рис. 12 взамен общей дифференциальной защиты блока предусмотрена отдельная дифференциальная защита транс-

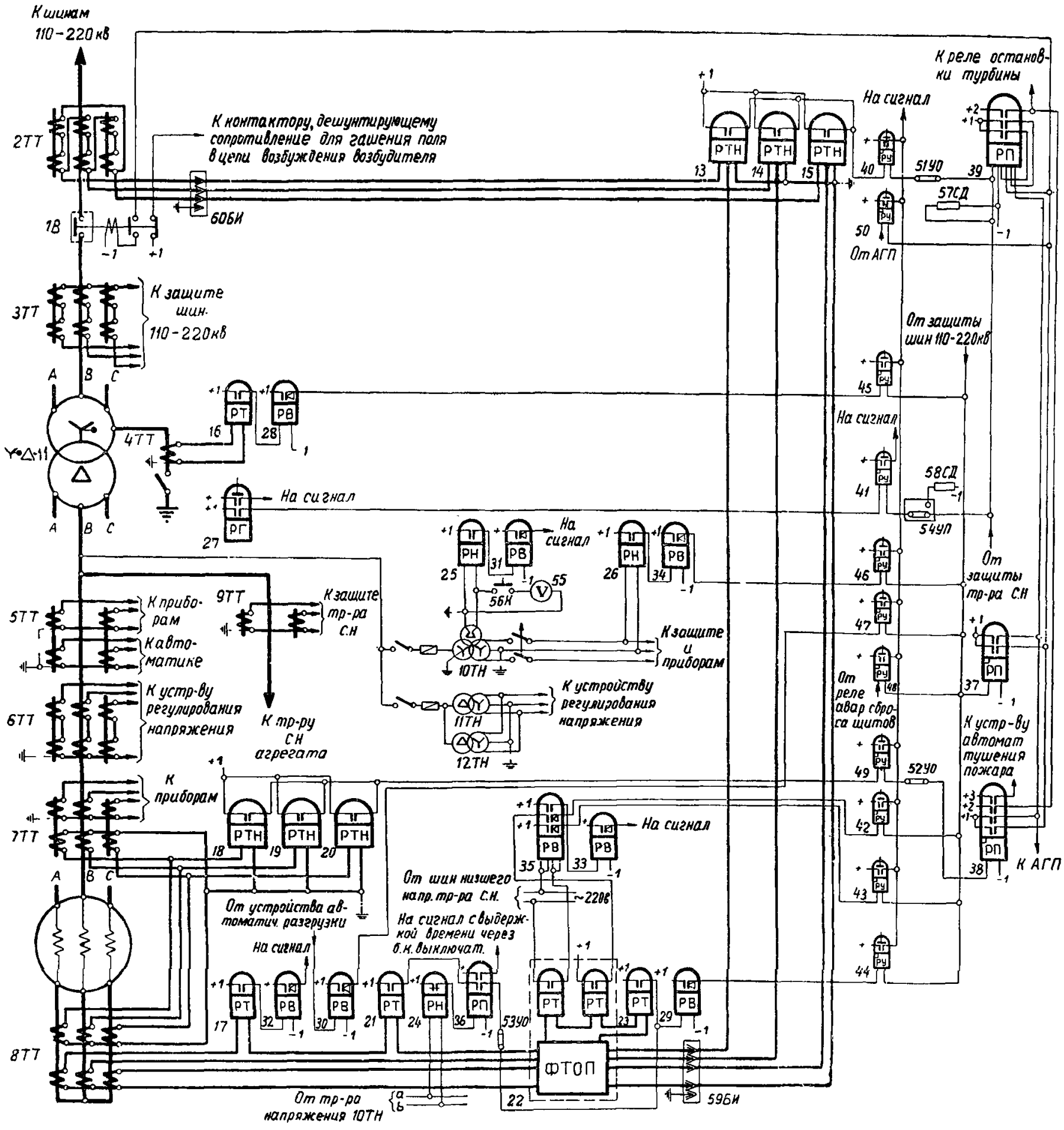


Рис. 14. Схема защиты блока гидрогенератор — двухобмоточный трансформатор с высшим напряжением 121—242 *кв* мощностью более 30 *Мвт* без выключателя в цепи ответвления на собственные нужды.

1В — выключатель; *2ТТ—4ТТ* — трансформаторы тока (встроенные); *5ТТ—9ТТ* — трансформаторы тока; *10ТН—12ТН* — трансформаторы напряжения; *13РТН—15РТН*, *18РТН—20РТН* — реле тока с насыщающимися трансформаторами типа РНТ-562; *16РТ*, *17РТ*, *21РТ*, *23РТ* — реле тока типа ЭТ-521; *22РТФ* — фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТ-2; *24РН* — реле напряжения типа ЭН-529/160; *25РН* — реле напряжения типа ЭН-526/60Д-М; *26РН* — реле напряжения типа ЭН-524/200; *27РГ* — реле газовое; *28РВ*, *29РВ* — реле времени типа ЭВ-134; *30РВ* — реле времени типа Е-513; *31РВ—33РВ* — реле времени типа ЭВ-133; *34РВ* — реле времени типа ЭВ-114; *35РВ* — реле времени типа РВТ-1200; *36РП* — реле промежуточное типа РП-23; *37РП*, *38РП* — реле промежуточные типа РП-24; *39РП* — реле промежуточное типа РП-255; *40РУ*, *41РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; *42РУ—49РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,015; *50РУ* — реле указательное типа РУ-21/1; *51УО—53УО* — устройства отключающие типа НКР-2; *54УП* — устройство переключающее типа НКР-2; *55V* — вольтметр; *56К* — кнопка; *57СД*, *58СД* — сопротивления добавочные 4 500 *ом* типа ПЭ-50; *59БИ*, *60БИ* — блоки испытательные типа БИ-4.

форматора. Указанное принято в связи с тем, что при осуществлении общей дифференциальной защиты блока потребовалось бы присоединение фильтров токовой защиты обратной последовательности устройств *24РТФ*, *25РТФ* и рассматриваемой дифференциальной защиты к одному сердечнику трансформатора тока, что привело бы к снижению надежности действия дифференциальной защиты.

6. В остальном данная схема подобна схеме рис. 12.

Схема защиты блока гидрогенератор — двухобмоточный трансформатор с высшим напряжением 121—242 *кв* мощностью более 30 *Мвт* до 100 *Мвт* включительно, без выключателя в цепи ответвления на собственные нужды (рис. 14).

1. Схема дана для случая установки на стороне 110—220 *кв* масляного выключателя с трансформаторами тока, встроенными в его втулки.

2. В схеме предусмотрены общая дифференциальная защита блока и отдельная продольная дифференциальная защита генератора (разд. А, § II).

Дифференциальная защита блока выполнена с реле РТН-562 (реле *13РТН—15РТН*).

Для рассматриваемой защиты в цепи ответвления на собственные нужды трансформаторы тока не предусмотрены; при этом предполагается, что защита отстроена от коротких замыканий за трансформатором собственных нужд.

Продольная дифференциальная защита генератора выполнена с реле РТН-562 (*18РТН—20РТН*). При использовании данной схемы для гидрогенератора мощностью 100 *Мвт* дифференциальная защита генератора дополняется устройством контроля исправности вторичных цепей ее трансформаторов тока (по аналогии со схемой рис. 3).

3. Для защиты генератора от перегрузок токами обратной последовательности, отключения внешних многофазных коротких замыканий и резервирования основных защит блока предусмотрена токовая защита обратной последовательности со ступенчатой характеристикой выдержки времени (разд. А, § IX), выполненная при помощи устройства фильтр-реле тока

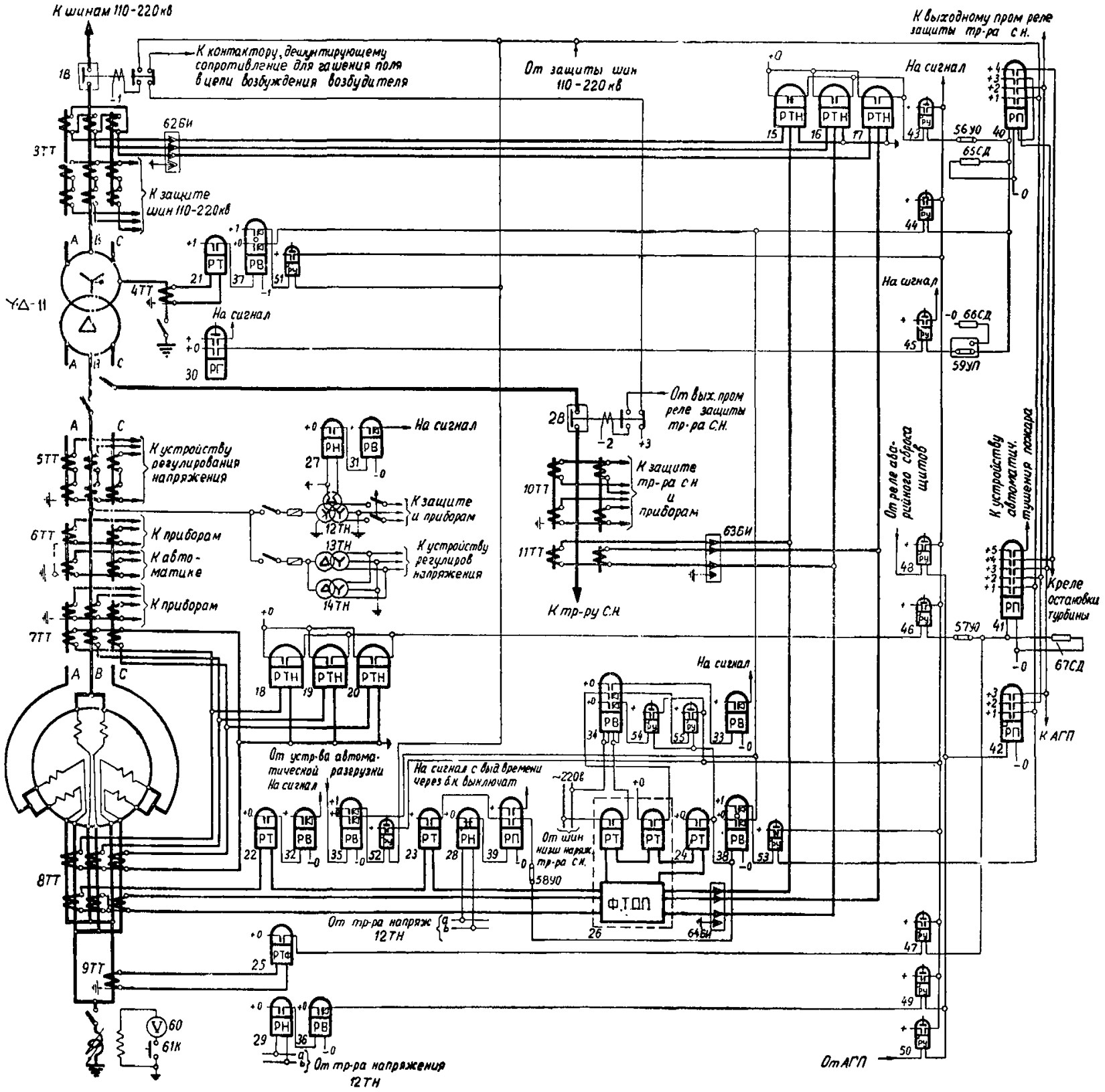


Рис. 15. Схема защиты блока гидрогенератор—двухобмоточный трансформатор с высшим напряжением 121—242 *кв* мощностью более 30 *Мвт* до 100 *Мвт* включительно с выключателем в цепи ответвления на обственные нужды.

1В, *2В* — выключатели; *3ТТ*, *5ТТ—11ТТ* — трансформаторы тока; *4ТТ* — трансформатор тока (встроенный); *12ТН—14ТН* — трансформаторы напряжения; *15РТН—20РТН* — реле тока с насыщающимися трансформаторами типа РНТ-562; *21РТ—24РТ*—реле тока типа ЭТ-521; *25РТФ*—реле тока типа ЭТ-521/Ф; *26РТФ* — фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТ-2; *27РН* — реле напряжения типа ЭН-526/60Д-М; *28РН* — реле напряжения типа ЭН-529/160; *29РН* — реле напряжения типа ЭН-524/200; *30РГ* — реле газовое; *31РВ—33РВ* — реле времени типа ЭВ-133; *34РВ* — реле времени типа РВТ-1200; *35РВ* — реле времени типа Е-513; *36РВ* — реле времени типа ЭВ-114; *37РВ*, *38РВ* — реле времени типа ЭВ-132; *39РП* — реле промежуточное типа РП-23; *40РП*, *41РП* — реле промежуточные типа РП-255; *42РП* — реле промежуточное типа РП-24; *43РУ—47РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; *48РУ—50РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,15; *51РУ—53РУ* — реле указательные типа РУ-21/1; *54РУ*, *55РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,05; *56УО—58УО* — устройства отключающие типа НКР-2; *59УП* — устройство переключающее типа НКР-2; *60V* — вольтметр; *61К* — кнопка; *62БИ—64БИ* — блоки испытательные типа БИ-4; *65СД—67СД* — сопротивления добавочные 4 500 *ом* типа ПЭ-50.

обратной последовательности РТ-2 с дополнительным реле типа ЭТ-520 и реле времени типа РВТ-1200 с синхронным электродвигателем, питаемым от сети переменного тока собственных нужд станции 220 *в* (*22РТФ*, *23РТ*, *33РВ*, *35РВ* и *29РВ*).

Применение реле РВТ-1200 связано с необходимостью осуществления первой ступени защиты с большой выдержкой времени.

Каждая ступень защиты имеет одну выдержку времени и действует на отключение выключателя блока и АГП (без остановки турбины генератора).

В схеме предусмотрена приставка для действия при симметричных коротких замыканиях (реле *21РТ* и *24РН*), действующая на реле времени, общее с токовой защитой обратной последовательности от внешних многофазных коротких замыканий (*29РВ*).

4. На стороне 110—220 *кв* предусмотрена токовая защита от внешних коротких замыканий на землю, выполненная с реле *16РТ* и *28РТ*, действующая на отключение выключателя блока и АГП.

5. Защита от повышения напряжения выполнена с реле *26РН* и *34РВ*.

6. Защита от симметричных перегрузок (реле *17РТ* и *32РВ*), действующая на сигнал, дополнена устройством автоматической разгрузки, разработанным ОАТН Гидроэнергопроекта. Указанное устройство в случае, когда разгрузка оказывается неэффективной, действует на отключение блока (без остановки турбины генератора) через реле времени типа Е-513 (*30РВ*).

Схема защиты блока гидрогенератор — двухобмоточный трансформатор с высшим напряжением 121—242 *кв* мощностью более 30 *Мвт* до 100 *Мвт* включительно, с выключателем в цепи ответвления на собственные нужды (рис. 15).

1. Схема дана для случая, когда на стороне 110—220 *кв* установлены воздушный выключатель и выносные трансформаторы тока.

2. В схеме предусмотрены общая дифференциальная защита блока и отдельная продольная дифференциальная защита генератора (разд. А, § II).

Дифференциальная защита блока выполнена с реле РНТ-562 (*15РТН—17РТН*).

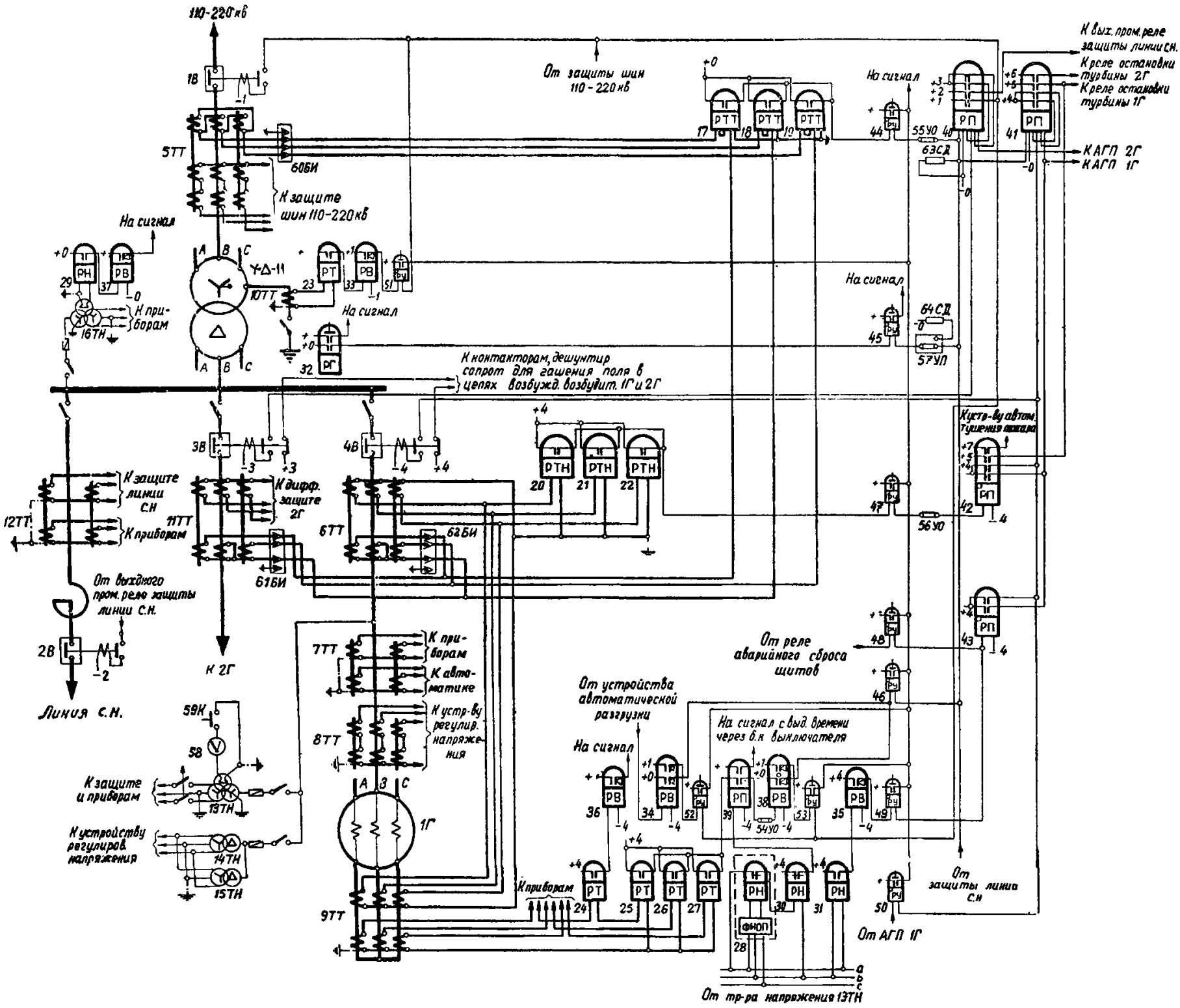


Рис. 16. Схема защиты блока два гидрогенератора—двухобмоточный трансформатор с высшим напряжением 121—242 *кв* (мощность одного генератора 20—30 *Мвт*).

1В—4В — выключатели; *5ТТ—9ТТ*, *11ТТ*, *12ТТ* — трансформаторы тока; *10ТТ* — трансформатор тока (встроенный); *13ТН—16ТН* — трансформаторы напряжения; *17РТТ—19РТТ* — реле тока с торможением типа ДЗТ-1; *20РТН—22РТН* — реле тока с насыщающимися трансформаторами типа РНТ-562; *23РТ—27РТ* — реле тока типа ЭТ-521;; *28РНФ* — фильтр-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1; *29РН* — реле напряжения типа ЭН-526/60Д-М; *30РН* — реле напряжения типа ЭН-529/160; *31РН* — реле напряжения типа ЭН-524/200; *32РГ* — реле газовое; *33РВ* — реле времени типа ЭВ-134; *34РВ* — реле времени типа Е-513; *35РВ* — реле времени типа ЭВ-114; *36РВ*, *37РВ* — реле времени типа ЭВ-133; *38РВ* — реле времени типа ЭВ-132; *39РП* — реле промежуточное типа РП-23; *40РП*, *41РП* — реле промежуточные типа РП-255; *42РП*, *43РП* — реле промежуточные типа РП-24; *44РУ—46РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; *47РУ—49РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,015; *50РУ—53РУ* — реле указательные типа РУ-21/1; *54УО—56УО* — устройства отключающие типа НКР-2; *57УП* — устройство переключающее типа НКР-2; *58V* — вольтметр; *59К* — кнопка; *60БИ—62БИ* — блоки испытательные типа БИ-4; *63СД* — сопротивление добавочное 10 000 *ом* типа ПЭ-50; *64СД* — сопротивление добавочное 4 500 *ом* типа ПЭ-50.

Продольная дифференциальная защита генератора выполнена с реле РНТ-562 (*18РТН—20РТН*). При использовании данной схемы для гидрогенератора мощностью 100 *Мвт* продольная дифференциальная защита генератора дополняется устройством контроля исправности вторичных цепей ее трансформаторов тока (по аналогии со схемой рис. 3).

3. Предусмотренная в схеме односистемная поперечная дифференциальная токовая защита генератора выполнена с реле *25РТФ*.

4. Защита от внешних многофазных коротких замыканий выполнена в виде токовой защиты обратной последовательности со ступенчатой характеристикой выдержки времени (реле *26РТФ*, *24РТ*, *33РВ*, *34РВ* и *38РВ*) и приставки для действия при симметричных коротких замыканиях (реле *23РТ* и *28РН*) по аналогии с таковой в схеме рис. 14 с тем отличием, что в данной схеме для сохранения питания собственных нужд станции при внешних коротких замыканиях каждая ступень защиты предусмотрена действующей с двумя выдержками времени: с первой — на отключение выключателя стороны 110—220 *кв* блока, со второй — на отключение всего блока с остановкой турбины генератора. Защита включена на трансформаторы тока, общие с дифференциальной защитой блока; при этом предполагается, что нагрузка на указанные трансформаторы тока не превышает допустимой.

5. На стороне 110—220 *кв* предусмотрена токовая защита от внешних коротких замыканий на землю (реле *21РТ* и *37РВ*), выполненная аналогично таковой в схеме рис. 1 с тем отличием, что в данной схеме в целях обеспечения резервирования основных защит блока при коротких замыканиях двух фаз на землю на стороне 110—220 *кв* (к которым токовая защита обратной последовательности не обладает требуемой чувствительностью из-за относительно большого сопротивления гидрогенератора) рассматриваемая защита действует с двумя выдержками времени: с первой выдержкой времени — на отключение выключателя 110—220 *кв*, со второй — на отключение всего блока.

6. Защита от повышения напряжения выполнена с реле *29РН* и *36РВ*.

7. Защита от симметричных перегрузок (реле *22РТ*, *32РВ* и *35РВ*) выполнена аналогично таковой в схеме рис. 14 с тем отличием, что в данной схеме для сохранения питания собственных нужд станции при ликвидации перегрузок от токов, обусловленных нарушением нормального режима в системе 110—220 *кв*, защита предусмотрена действующей с двумя выдержками времени, как и защита от внешних повреждений.

8. В схеме предусмотрена установка дугогасящей катушки для компенсации емкостного тока замыкания на землю на стороне генераторного напряжения, включенная в нейтраль генератора, в предположении, что суммарный емкостный ток при указанном повреждении превышает 5 *а*.

Схема защиты блока два гидрогенератора — двухобмоточный трансформатор с высшим напряжением 121—242 *кв* (мощность одного генератора 20—30 *Мвт*) (рис. 16).

1. Схема дана для случая, когда на стороне 110—220 *кв* установлены воздушный выключатель и выносные трансформаторы тока.

2. Дифференциальная защита трансформатора выполнена с реле ДЗТ-1 (*17РТТ—19РТТ*), тормозная обмотка которых присоединена к трансформаторам тока *5ТТ* на стороне 110—220 *кв*.

Для рассматриваемой защиты в цепи ответвления на собственные нужды трансформаторы тока не предусмотрены; при этом предполагается, что защита отстроена от коротких замыканий за реактором линии собственных нужд.

3. Продольная дифференциальная защита генератора выполнена с реле РНТ-562 (*20РТН—22РТН*).

4. Защита от внешних многофазных коротких замыканий выполнена в виде максимальной токовой защиты с комбинированным пуском напряжения (реле *25РТ—27РТ*, *28РНФ* и *30РН*) аналогично таковой в схеме рис. 1 со следующими особенностями.

а) Со второй выдержкой времени защита, помимо действия на отключение всех выключателей блока и АГП генераторов, действует также и на остановку турбин.

б) Реле напряжения защиты в данной схеме присоединено к трансформатору напряжения (*13ТН*), установленному в цепи генератора, в предположении, что при питании этих реле от трансформаторов напряжения шин 110—220 *кв* не обеспечивается требуемая чувствительность защиты к коротким замыканиям на стороне низшего напряжения защищаемого блока, но что при принятом выполнении защиты обеспечивается требуемая чувствительность к коротким замыканиям на смежных линиях 110—220 *кв*. Поэтому в рассматриваемой схеме отсутствует цепь шунтирования органа напряжения контактом реле положения выключателя.

5. На стороне 110—220 *кв* предусмотрена токовая защита от внешних коротких замыканий на землю (реле *23РТ* и *33РВ*), выполненная аналогично таковой в схеме рис. 1.

Отсутствие в данной схеме в отличие от схемы рис. 15 у рассматриваемой защиты второй выдержки времени с действием на отключение всего блока объясняется тем, что максимальная токовая защита с комбинированным пуском напряжения обладает требуемой чувствительностью к коротким замыканиям двух фаз на землю на стороне 110—220 *кв* блока.

6. Защита от повышения напряжения выполнена с реле *31РН* и *35РВ*.

7. Защита от симметричных перегрузок (реле *24РТ*, *36РВ* и *34РВ*) выполнена аналогично таковой в схеме рис. 15.

8. На схеме показано выполнение защиты одного генератора. Защита второго генератора выполнена аналогично.

Схема защиты блока два гидрогенератора — двухобмоточный трансформатор с высшим напряжением 121—242 *кв* при отсутствии ответвления на собственные нужды (мощность одного генератора более 5 *Мвт* до 30 *Мвт* включительно) (рис. 17).

1. Схема дана для случая, когда на стороне 110 *кв* установлены воздушный выключатель и выносные трансформаторы тока.

2. В схеме предусмотрены общая дифференциальная защита блока и отдельные продольные дифференциальные защиты генераторов.

Дифференциальная защита блока выполнена с реле РНТ-562 (*15РТН—17РТН*).

Продольные дифференциальные защиты генераторов выполнены с реле РНТ-562 (*18РТН—23РТН*) с током срабатывания, меньшим номинального.

3. Защиты генераторов от внешних многофазных коротких замыканий предусмотрены в виде максимальных токовых защит с общим для двух генераторов комбинированным пусковым органом напряжения (реле *27РТ—32РТ*, *33РНФ* и *36РН*).

Защита действует с одной выдержкой времени на отключение выключателя блока и АГП (без остановки турбин генераторов).

4. Токовая защита от внешних коротких замыканий на землю на стороне 110—220 *кв* (реле *24РТ* и *38РВ*) выполнена аналогично таковой в схеме рис. 14.

5. Защита от замыканий на землю на стороне генераторного напряжения выполнена с реле *34РН* и *40РВ*.

6. Защита от повышения напряжения выполнена с реле *35РН* и *43РВ*.

7. Защита от симметричных перегрузок (реле *25РТ*, *26РТ*, *41РВ*, *42РВ*, *44РВ* и *45РВ*) выполнена аналогично таковой в схеме рис. 14.

Схема защиты блока гидрогенератор — автотрансформатор мощностью более 30 *Мвт* до 100 *Мвт* включительно, с трехсторонним питанием (рис. 18)

1. Схема дана для случая, когда:

а) на сторонах 110 и 220 *кв* установлены воздушные выключатели и выносные трансформаторы тока;

б) имеются ответвления к трансформатору собственных нужд агрегата (без выключателя на стороне генераторного напряжения) и к трансформатору общестанционных собственных нужд (с выключателем на стороне генераторного напряжения);

в) в схеме предусмотрен добавочный трансформатор для регулирования напряжения под нагрузкой;

г) на сторонах 220 и 110 *кв* предусмотрены устройства резервирования отказа выключателей, выполненные аналогично таковым в схеме рис. 10.

2. Дифференциальная защита автотрансформатора выполнена с реле РНТ-562 (*25РТН—27РТН*).

3. Продольная дифференциальная защита генератора выполнена с реле типа РНТ-562 (*34РТН—36РТН*). Цепь ответвления к трансформатору собственных нужд агрегата входит в зону действия дифференциальной защиты генератора. При этом предполагается, что отстройка указанной защиты от повреждений за трансформатором собственных нужд не приводит к недопустимому ее загрублению.

Защита предусмотрена с контролем исправности вторичных цепей ее трансформаторов тока (реле *51РТ*), выполненным так же, как в схеме рис. 3, в соответствии с разд. А, § II.

Для блоков с гидрогенераторами мощностью менее 100 *Мвт* продольная дифференциальная защита может выполняться по обычной схеме без реле *51РТ*.

4. Однюсистемная поперечная дифференциальная защита генератора выполняется с реле *49РТФ*.

5. Для защиты генератора от перегрузок токами обратной последовательности предусмотрена токовая защита обратной последовательности с зависимой выдержкой времени, действующая на отключение, и с независимой выдержкой времени, действующая на сигнал (разд. А, § IX).

Ввиду несоответствия параметров устройств РТФ-2 и РТФ-3 тепловым характеристикам гидрогенераторов защита от перегрузок токами обратчой последовательности в данной схеме показана условно (реле *52РТФ* и *53РТФ*) и принята аналогичной таковой в схеме рис. 12 со следующими особенностями:

а) реле тока с зависимой выдержкой времени действует в данной схеме непосредственно на выходное промежуточное реле (а не на реле времени, как в схеме рис. 12) в предположении, что выдержка времени устройства с зависимой характеристикой соответствует интегральному закону накопления и отдачи тепла;

б) защита имеет одну выдержку времени и действует в целях сохранения связи между системами 220 и 110 *кв* только на отключение выключателя генератора и АГП.

6. Защиты от внешних многофазных коротких замыканий, установленные на стороне генераторного напряжения (реле *52РТФ*, *50РТ*, *57РН* и *70РВ*), на стороне 220 *кв* (реле *41РТМФ*, *77РП*, *65РВ*, *42РТ* и *55РН*) и на стороне 110 *кв* (реле *43РТ* и *56РН*), а также защиты от коротких замыканий на землю, установленные на стороне 220 *кв* (реле *44РТ*, *46РТ*, *69РВ* и *66РВ*) и на стороне 110 *кв* (реле *45РТ*, *47РТ*, *59РМ*, *67РВ* и *68РВ*), выполнены аналогично таковым в схеме рис. 10 со следующими основными особенностями:

а) защиты от коротких замыканий на землю сторон 110 и 220 *кв* выполняются без цепей, связанных с возможностью замены выключателей блока обходными выключателями (в предположении, что таковые в данной схеме не предусмотрены);

б) резервные защиты со второй выдержкой времени действуют не только на отключение всех выключателей блока и АГП, но и на остановку турбины.

7. Защита от повышения напряжения выполнена с реле *58РН* и *71РВ*.

8. Защита от симметричных перегрузок стороны генераторного напряжения (реле *39РТ*), действующая на сигнал, дополнена устройством автоматической разгрузки (реле *72РВ*), аналогичным таковому в схеме рис. 14 с той особенностью, что в данной схеме указанное устройство действует в целях сохранения связи между системами 220 и 110 *кв* только на отключение выключателя генератора и АГП.

В остальном защиты от симметричных перегрузок (реле *37РТ—40РТ*, *48РТ* и *62РВ*) выполнены аналогично таковым в схеме рис. 10.

9. В схеме предусмотрена установка дугогасящей катушки по аналогии со схемой рис. 15.

10. Защита добавочного трансформатора для регулирования напряжения под нагрузкой выполнена аналогично таковой в схеме рис. 10.

Схема защиты блока два гидрогенератора — автотрансформатор с расщепленной обмоткой на стороне низшего напряжения, с трехсторонним питанием, присоединенного к системе 220 *кв* по схеме четырехугольника (мощность одного генератора более 30 *Мвт* до 100 *Мвт* включительно) (рис. 19).

1. Схема дана для случая, когда:

а) шины 220 *кв* выполняются четырехугольником;

б) на сторонах 110 и 220 *кв* установлены воздушные выключатели и выносные трансформаторы тока;

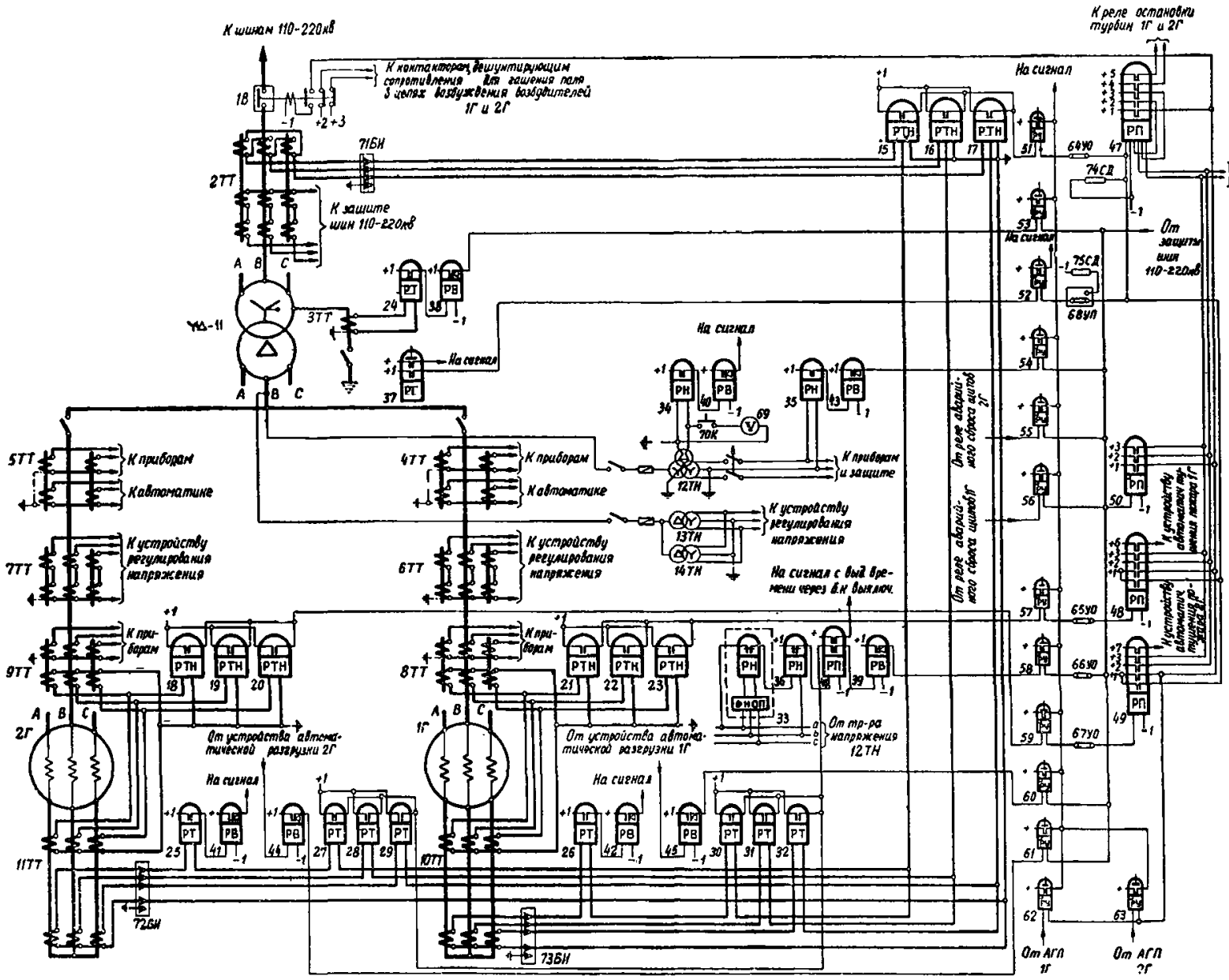


Рис. 17. Схема защиты блока два гидрогенератора —двухобмоточный трансформатор с высшим напряжением 121—242 *кв* при отсутствии ответвления на собственные нужды (мощность одного генератора более 5 *Мвт* до 30 *Мвт* включительно).

1В — выключатель; *2ТТ*, *4ТТ—11ТТ* — трансформаторы тока; *3ТТ* — трансформатор тока (встроенный); *12ТН—14ТН* — трансформаторы напряжения; *15РТН—23РТН* — реле тока с насыщающимися трансформаторами типа РНТ-562; *24РТ—32РТ* — реле тока типа ЭТ-521; *33РНФ* — фильтр-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1; *34РН* — реле напряжения типа ЭН-526/60Д-М; *35РН* — реле напряжения типа ЭН-524/200; *36РН* — реле напряжения типа ЭН-529/160; *37РГ* — реле газовое; *38РВ*, *39РВ* — реле времени типа ЭВ-134; *40РВ—42РВ* — реле времени типа ЭВ-133; *43РВ* — реле времени типа ЭВ-114; *44РВ*, *45РВ* — реле времени типа Е-513; *46РП* — реле промежуточное типа РП-23; *47РП—49РП* — реле промежуточные типа РП-255; *50РП* — реле промежуточное типа РП-24; *51РУ*, *52РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; *53РУ—61РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,015; *62РУ*, *63РУ* — реле указательные типа РУ-21/1; *64УО—67УО* — устройства отключающие типа НКР-2; *68УП* — устройство переключающее типа НКР-2; *69V* — вольтметр; *70К* — кнопка; *71БИ* — блок испытательный типа БИ-4; *72БИ*, *73БИ* — блоки испытательные типа БИ-6; *74СД*, *75СД* — сопротивления добавочные 4 500 *ом* типа ПЭ-50.

в) на сторонах 220 и 110 *кв* предусмотрены устройства резервирования отказа выключателей, выполненные аналогично таковым в схеме рис. 11;

г) повышающий автотрансформатор состоит из трех однофазных автотрансформаторов, имеющих расщепленную обмотку на стороне низшего напряжения.

2. Дифференциальная защита трансформатора блока выполнена с реле ДЗТ-3 (*24РТТ—26РТТ*), имеющими три тормозных обмотки, две из которых присоединены к трансформаторам тока *7ТТ* и *8ТТ* в соответствующих сторонах четырехугольника, на стороне 220 *кв*, а третья — к трансформаторам тока *9ТТ* на стороне 110 *кв*. При этом предполагается, что при отстройке от токов небаланса, обусловленных перетоками при повреждениях в сети 220 *кв*, и от токов небаланса при внешних повреждениях на стороне 110 *кв* станции имеет место недопустимое загрубление защиты, выполненной с реле ДЗТ-1, имеющими одну тормозную обмотку.

3. Продольная дифференциальная токовая защита генератора выполнена с реле типа РНТ-562 (*27РТН—29РТН*). Защита предусмотрена с контролем исправности вторичных цепей

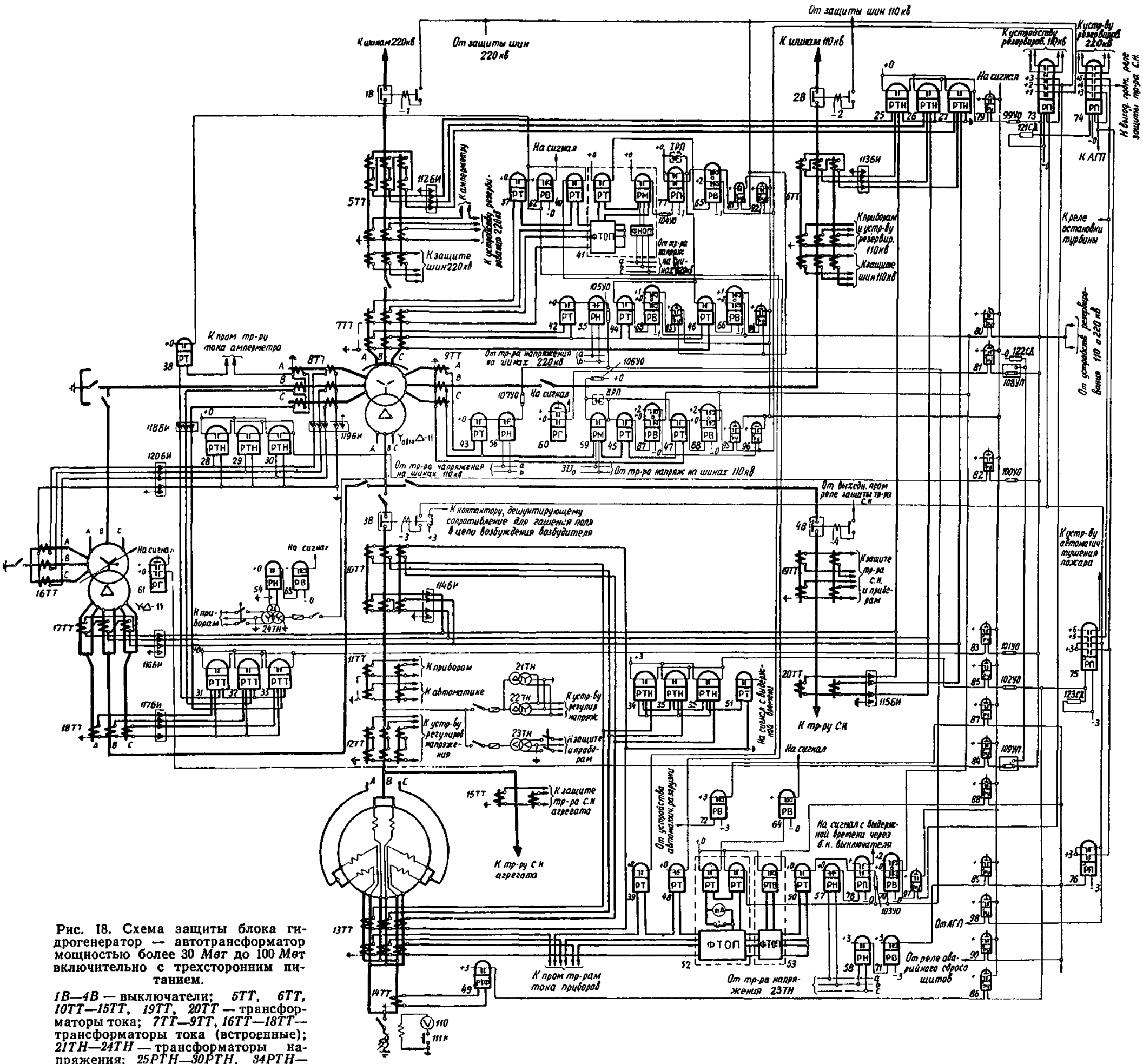


Рис. 18. Схема защиты блока гидрогенератор — автотрансформатор мощностью более 30 *Мвт* до 100 *Мвт* включительно с трехсторонним питанием.

1В—4В — выключатели; *5ТТ, 6ТТ, 10ТТ—15ТТ, 19ТТ, 20ТТ* — трансформаторы тока; *7ТТ—9ТТ, 16ТТ—18ТТ* — трансформаторы тока (встроенные); *21ТН—24ТН* — трансформаторы напряжения; *25РТН—30РТН, 34РТН—36РТН* — реле тока с насыщающимися трансформаторами типа РНТ-562; *31РТТ—33РТТ* — реле тока с торможением типа МЗТ-1; *37РТ—40РТ, 42РТ—48РТ, 50РТ* — реле тока типа ЭТ-521; *41РТМФ* — фильтр-реле тока и мощности обратной последовательности типа РМОП-1; *49РТФ* — реле тока типа ЭТ-521/Ф; *51РТ* — реле тока типа ЭТ-521/2; *52РТФ, 53РТФ* — фильтры—реле тока обратной последовательности; *54РН*—реле напряжения типа ЭН-526/60Д-М; *55РН—57РН* — реле напряжения типа ЭН-529/160; *58РН* — реле напряжения типа ЭН-524/200; *59РМ* — реле мощности типа РБМ-178; *60РГ, 61РГ* — реле газовые; *62РВ—64РВ* — реле времени типа ЭВ-133; *65РВ—70РВ* — реле времени типа ЭВ-132; *71РВ* — реле времени типа ЭВ-114; *72РВ* — реле времени типа Е-513; *73РП, 74РП* — реле промежуточные типа РП-255; *75РП, 76РП* — реле промежуточные типа РП-24; *77РП, 78РП* — реле промежуточные типа РП-23; *79РУ—84РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,05; *85РУ, 86РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; *87РУ—90РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,015; *91РУ — 98РУ* — реле указательные типа РУ-21/1; *99УО—107УО* — устройства отключающие типа НКР-2; *108УП, 109УП* — устройства переключающие типа НКР-2; *110V* — вольтметр; *111К* — кнопка; *112БИ—118БИ* — блоки испытательные типа БИ-4; *119БИ, 120БИ* — блоки испытательные типа БИ-6; *121СД* — сопротивление добавочное 1 000 *ом* типа ПЭ-50; *122СД* — сопротивление добавочное 2 500 *ом* типа ПЭ-50; *123СД* — сопротивление добавочное 4 500 *ом* типа ПЭ-50; *1РП* и *11РП* — контакты реле положения *включено* (РПВ) выключателей соответственно *1В* и *2В*.

ее трансформаторов тока (реле *34РТ*), выполненным так же, как в схеме рис. 3.

Для блоков с гидрогенераторами мощностью менее 100 *Мвт* продольная дифференциальная защита генератора с током срабатывания, меньшим номинального, может выполняться по обычной схеме без реле *34РТ*.

4. Односистемная поперечная дифференциальная токовая защита генератора выполнена с реле *40РТФ*.

5. Защита от перегрузок генератора токами обратной последовательности (реле *42РТФ*, *43РТФ*) выполнена аналогично таковой в схеме рис. 18.

6. Защита блока от внешних многофазных коротких за-

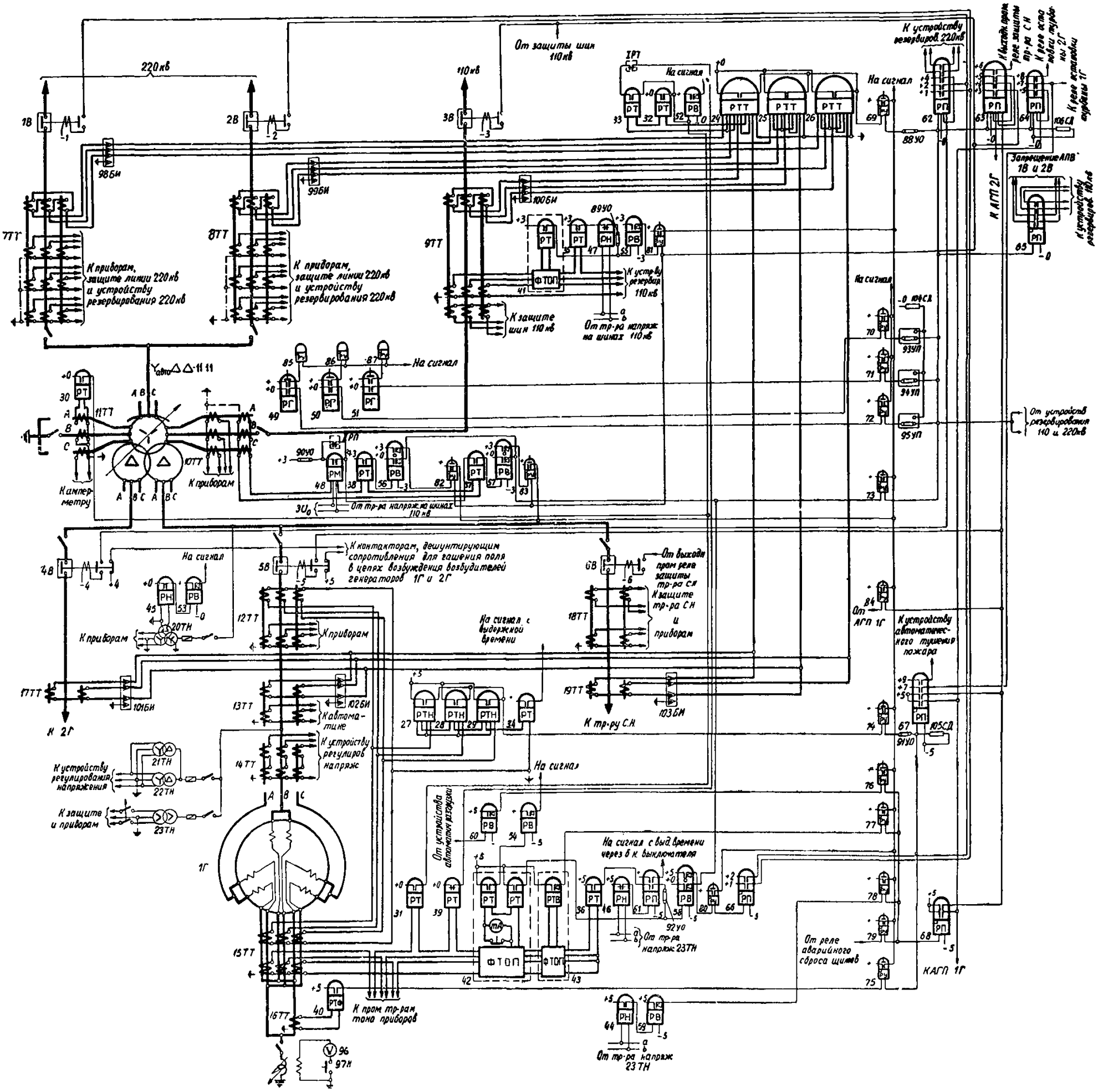
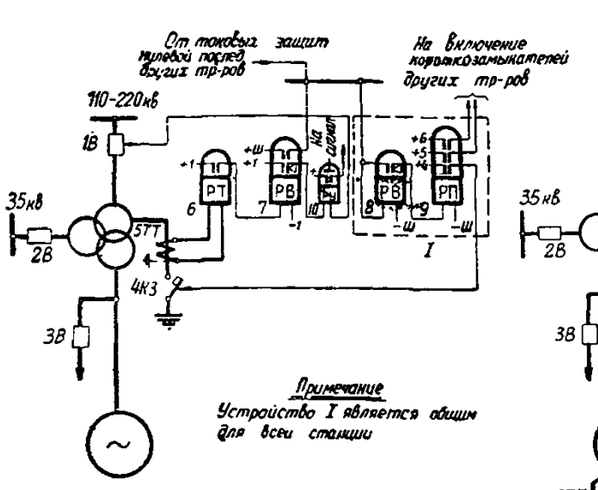


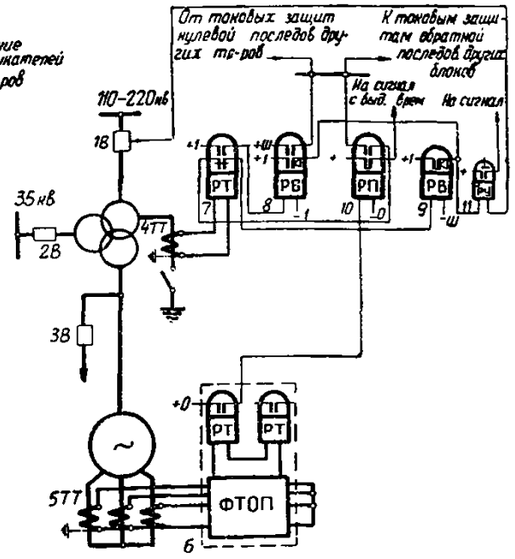
Рис. 19. Схема защиты блока два гидрогенератора — автотрансформатор с расщепленной обмоткой на стороне низшего напряжения, с трёхсторонним питанием, присоединенного к системе 220 *кв* по схеме четырехугольника (мощность одного генератора более 30 *Мвт* до 100 *Мвт* включительно).

1В—6В — выключатели; *7ТТ—9ТТ*, *12ТТ—19ТТ* — трансформаторы тока; *10ТТ*, *11ТТ* — трансформаторы тока (встроенные); *20ТН—23ТН* — трансформаторы напряжения; *24РТТ—26РТТ* — реле тока с торможением типа ДЗТ-3; *27РТН—29РТН* — реле тока с насыщающимися трансформаторами типа РНТ-562; *30РТ—33РТ*, *35РТ—38РТ* — реле тока типа ЭТ-521; *34РТ* — реле тока типа ЭТ-521/2; *39РТ* — реле тока типа ЭТ-523; *40РТФ* — реле тока типа ЭТ-521/Ф; *41РТФ* — фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТФ-1; *42РТФ*, *43РТФ* — фильтры-реле тока обратной последовательности; *44РН* — реле напряжения типа ЭН-524/200; *45РН* — реле напряжения типа ЭН-526/60Д-М; *46РН*, *47РН* — реле напряжения типа ЭН-529/160; *48РМ* — реле мощности типа РБМ-178; *49РГ—51РГ* — реле газовые; *52РВ — 54РВ* — реле времени типа ЭВ-133; *55РВ* — реле времени типа ЭВ-134; *56РВ—58РВ* — реле времени типа ЭВ-132; *59РВ* — реле времени типа ЭВ-114; *60РВ* — реле времени типа Е-513; *61РП* — реле промежуточное типа РП-23; *62РП—64РП* — реле промежуточные типа РП-255; *65РП—68РП* — реле промежуточные типа РП-24; *69РУ—73РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,05; *74РУ—75РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,025; *76РУ—80РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,015; *81РУ—84РУ* — реле указательные типа РУ-21/1; *85РУ—87РУ* — реле указательные типа РУ-21; *88УО—92УО* — устройства отключающие типа НКР-2; *93УП—95УП* — устройства переключающие типа НКР-2; *96V* — вольтметр; *97К* — кнопка; *98БИ—103БИ* — блоки испытательные типа БИ-4; *104СД* — сопротивление добавочное 2 500 *ом* типа ПЭ-50; *105СД* — сопротивление добавочное 4 500 *ом* типа ПЭ-50; *106СД* — сопротивление добавочное 3 000 *ом* типа ПЭ-50; *1РП* — контакт реле тока, установленного на *2Г*, по аналогии с реле *39РТ*; *1ПРП* — контакт реле положения *включено* (РПВ) выключателя *3В*.



10	Реле указательное	РУ-21/1	1
9	Реле промежуточное	РП-23	1
7-8	Реле времени	ЭВ-134	2
6	Реле тока	ЭТ-521/□	1
5	Тр-р тока		1
4	Короткозамыкатель		1
1-3	Выключатель		3
NN п/п	Наименование	Тип	К-о

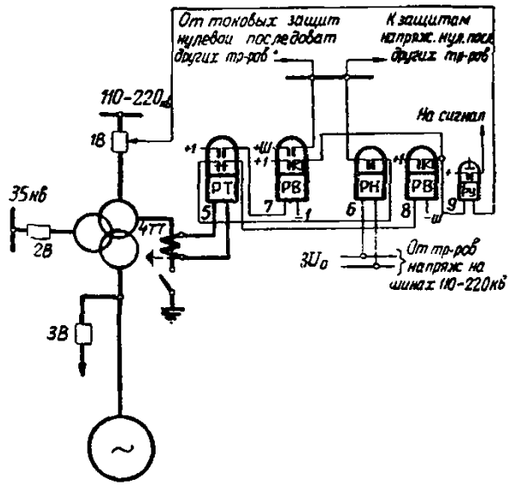
а) Вариант с использованием короткозамыкателей



Примечание: Устройство 6 используется для токовой защиты обратной последовательности блока.

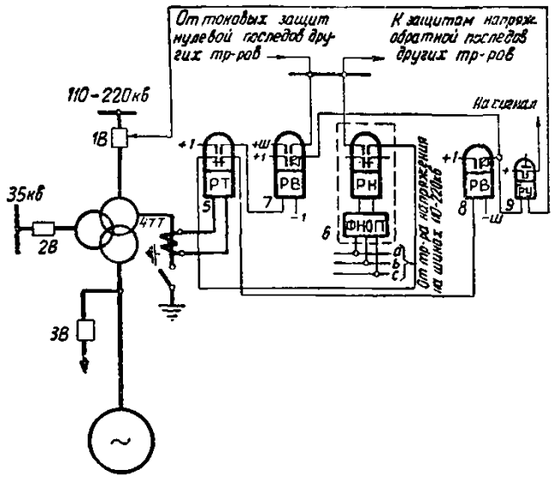
11	Реле указательное	РУ-21/1	1
10	Реле промежуточное	РП-23	1
8-9	Реле времени	ЭВ-134	2
7	Реле тока	ЭТ-523/□	1
6	Фильтр-реле тока обратн.	РТ-2	1
5	Тр-р тока		3
4	Тр-р тока		1
1-3	Выключатель		3
NN п/п.	Наименование	Тип	К-о

б) Вариант с токовой защитой обратной последовательности



9	Реле указательное	РУ-21/1	1
7-8	Реле времени	ЭВ-134	2
6	Реле напряжения	ЭН-526/7ф	1
5	Реле тока	ЭТ-523/□	1
4	Тр-р тока		1
1-3	Выключатель		3
NN п/п	Наименование	Тип	К-о

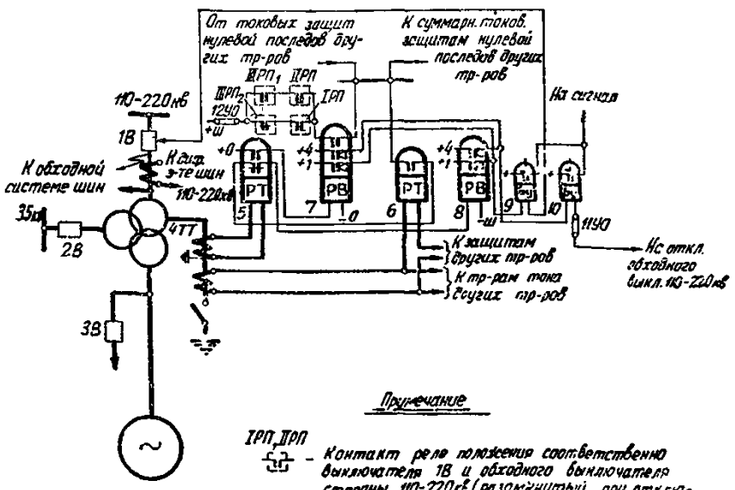
в) Вариант с чувствительной защитой напряжения нулевой последовательности.



Примечание: Устройство 6 используется для максимальной токовой защиты с комбинированным пуском напряжения.

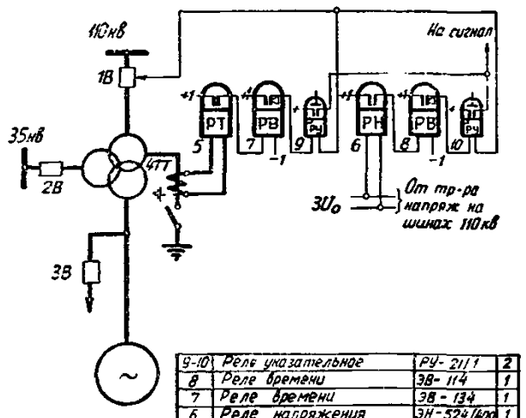
9	Реле указательное	РУ-21/1	1
7-8	Реле времени	ЭВ-134	2
6	Фильтр-реле напряж. обратн.	РНФ-1	1
5	Реле тока	ЭТ-523/□	1
4	Тр-р тока		1
1-3	Выключатель		3
NN п/п.	Наименование	Тип	К-о

г) Вариант с защитой напряжения обратной последовательности.



11-12	Устройство отключающ.	НКР-2	2
9-10	Реле указательное	РУ-21/1	2
7-8	Реле времени	ЭВ-132	2
6	Реле тока	ЭТ-521/□	1
5	Реле тока	ЭТ-523/10	1
4	Тр-р тока		2
1-3	Выключатель		3
NN п/п	Наименование	Тип	К-о

д) Вариант с суммарной токовой защитой нулевой последовательности.



9-10	Реле указательное	РУ-21/1	2
8	Реле времени	ЭВ-114	1
7	Реле времени	ЭВ-134	1
6	Реле напряжения	ЭН-524/400	1
5	Реле тока	ЭТ-521/□	1
4	Тр-р тока		1
1-3	Выключатель		3
NN п/п	Наименование	Тип	К-о

е) Вариант с грубой защитой напряжения нулевой последовательности.

Рис. 20. Варианты выполнения защиты от внешних коротких замыканий на землю в сети с большим током замыкания на землю для случаев, когда трансформаторы станции могут работать как с заземленной, так и с незаземленной нейтралью.

Примечание. Варианты *а*, *б*, *в*, *г* и *д* даны для трансформаторов с неполной изоляцией нейтрали, а вариант *е* — для трансформаторов с полной изоляцией нейтрали.

мыканий, установленная на стороне генераторного напряжения (реле *42РТФ*, *36РТ*, *46РН* и *58РВ*), выполнена аналогично таковой в схеме рис. 18.

Защиты блока от внешних многофазных коротких замыканий (реле *41РТФ*, *35РТ*, *47РН* и *55РВ*) и коротких замыканий на землю (реле *37РТ*, *38РТ*, *48РМ*, *56РВ* и *57РВ*), установленные на стороне 110 *кв*, выполнены аналогично таковым в схеме рис. 11 со следующими особенностями:

а) чувствительная ступень токовой защиты нулевой последовательности выполнена ненаправленной в предположении, что выдержки времени резервных ступеней защит от коротких замыканий на землю сети 110 *кв*, больше, чем сети 220 *кв*.

б) защиты от внешних коротких замыканий со второй выдержкой времени действуют не только на отключение всех выключателей блока и АГП, но и на остановку турбины.

7. Защита от повышения напряжения выполнена с реле *44РН* и *59РВ*.

8. Защита от симметричных перегрузок стороны генераторного напряжения (*31РТ*), действующая на сигнал, дополнена устройством автоматической разгрузки (*60РВ*), действующим так же, как в схеме рис. 18.

В остальном защиты от симметричных перегрузок (реле *30РТ*, *32РТ*, *33РТ*, *39РТ*, *1РТ* и *52РВ*) в основном аналогичны таковым в схеме рис. 11 с той особенностью, что защита, выполненная с реле тока *33РТ*, вводится в действие при снижении тока в обеих обмотках стороны низшего напряжения автотрансформатора, в связи с чем контакты реле *39РТ* и *1РТ* соединены последовательно.

9. Для предотвращения автоматического повторного включения поврежденного автотрансформатора в схеме предусмотрено запрещение действия устройств АПВ, установленных на стороне 220 *кв*, при действии защит от внутренних повреждений.

10. В схеме предусмотрена установка дугогасящей катушки по аналогии со схемой рис. 15.

11. На схеме показано выполнение защиты одного генератора. Защита второго генератора выполняется аналогично.

Варианты выполнения защиты от внешних коротких замыканий на землю в сети с большим током замыкания на землю для случаев, когда трансформаторы станции могут работать как с заземленной, так и с незаземленной нейтралью (рис. 20).

1. Для случаев, когда трансформаторы данной станции могут работать частично с заземленной и частично с незаземленной нейтралью[1], при применении выпускаемых в настоящее время в СССР силовых трансформаторов с пониженным уровнем изоляции возможно возникновение опасного для оборудования режима работы трансформатора на систему с изолированной нейтралью, когда в ней имеет место замыкание одной фазы на землю.

В этом режиме большие емкостные токи в системе с изолированной нейтралью могут сопровождаться дуговыми перенапряжениями и значительным повышением напряжения на нейтралях системы.

Следует отметить, что вопросы частичного заземления рассмотрены ниже применительно к трансформаторам, но не автотрансформаторам. Работа автотрансформаторов с незаземленной нейтралью не практикуется ввиду возможности недопустимого повышения напряжения по отношению к земле на стороне среднего напряжения при замыкании на землю на стороне высшего напряжения.

2. На станциях с частичным заземлением нейтралей трансформаторов релейная защита должна выполняться с учетом особенностей этого режима.

Осуществление для указанного случая непосредственного действия токовых защит нулевой последовательности, установленных на блоках с трансформаторами с заземленной нейтралью, на отключение в первую очередь блоков с трансформаторами с незаземленной нейтралью нежелательно из-за объединения цепей защит отдельных трансформаторов и опасности в связи с этим неселективного отключения всех блоков при ошибочных действиях персонала.

Необходимо также отметить, что применение защиты напряжения нулевой последовательности, действующей непосредственно на отключение блока с трансформатором, работающим с незаземленной нейтралью (независимо от действия токовой защиты нулевой последовательности блоков с трансформаторами, работающими с заземленной нейтралью), нельзя считать допустимым на станциях с трансформаторами, имеющими пониженный уровень изоляции. Указанное обусловлено тем, что, как показывает опыт эксплуатации, на выводах разомкнутого треугольника трансформатора напряжения при ошибочных действиях персонала может появиться значительное напряжение. При отстройке от указанного напряжения не представляется возможным обеспечить необходимую чувствительность этой защиты к замыканиям на землю в режиме с наличием трансформаторов с заземленной нейтралью.

Для рассматриваемого случая могут быть рассмотрены следующие способы выполнения защиты, показанные на рис. 20*.

а) В нейтрали каждого трансформатора станции устанавливается короткозамыкатель, включаемый при действии токовой защиты трансформаторов данной станции, работающих с заземленной нейтралью. Этим обеспечивается заземление всех трансформаторов станции и отключение их при действии токовой защиты нулевой последовательности (рис. 20,*а*).

б) На каждом блоке предусматриваются две защиты — токовая защита нулевой последовательности (аналогичная защите по разд. А, § XI), действующая на отключение блока при работе его трансформатора с заземленной нейтралью, и специальная защита, действующая на отключение блока при работе его трансформатора с незаземленной нейтралью. При действии первой защиты обеспечивается пуск (подача оперативного тока) специальных защит; при этом блоки с трансформаторами с незаземленными нейтралями отключаются раньше, чем с заземленными.

При таком выполнении защит неправильное замыкание контактов одной из защит при ошибочных действиях персонала не может привести к неселективному отключению блоков.

Специальная защита может выполняться в следующих вариантах:

— токовая защита обратной последовательности с использованием чувствительного реле защиты, установленной на генераторе (рис. 20,*б*);

— защита напряжения нулевой последовательности (рис. 20,*в*);

— защита напряжения обратной последовательности (рис. 20,*г*);

— токовая защита, включенная на сумму токов нулевой последовательности всех трансформаторов (рис. 20,*д*).

Следует отметить, что для резервного действия при коротких замыканиях на землю взамен защиты нулевой последовательности может быть также использована токовая защита обратной последовательности от внешних коротких замыканий блока. Указанная защита при отключении разъединителя в цепи заземления нейтрали трансформатора блока автоматически переключается на действие с выдержкой времени, меньшей, чем выдержка времени этой же защиты на трансформаторах с заземленными нейтралями.

Защита в таком исполнении весьма проста, но значительно грубее защиты по рис. 20,*б*.

3. В схеме рис. 20,*а* с короткозамыкателем предусмотрено включение последнего от общего для всей станции устройства, состоящего из реле времени *8РВ* и промежуточного реле *9РП*. Пуск этого устройства обеспечивается путем подачи оперативного тока на общую для всех защит станции шинку при действии токовых защит нулевой последовательности отдельных блоков.

Включение короткозамыкателей производится с выдержкой времени, на ступень большей выдержек времени резервных защит от коротких замыканий на землю линий сети, а токовая защита от коротких замыканий на землю блока действует на отключение его с выдержкой времени, на ступень большей выдержки времени включения короткозамыкателей.

4. Схемы защит по рис. 20,*б—д* имеют следующие особенности.

а) Во всех схемах пуск защиты, действующей на отключение блока при работе его трансформатора с незаземленной нейтралью, обеспечивается путем подачи оперативного тока на общую для всех защит станции шинку при действии токовых защит нулевой последовательности блоков, работающих с заземленной нейтралью трансформатора.

Для обеспечения отключения при коротких замыканиях на землю блоков с незаземленной нейтралью трансформатора раньше, чем отключатся блоки с заземленной нейтралью трансформатора, защита, предназначенная для отключения первых, имеет выдержку времени действия, на ступень меньшую выдержки времени токовой защиты нулевой последовательности, предназначенной для отключения блока при работе его трансформатора с заземленной нейтралью. Кроме того, в тех же целях при действии указанной токовой защиты нулевой последовательности защита, предназначенная для от-

[1] **Работа станции с незаземленными нейтралями всех трансформаторов не должна применяться.**

* См. противоаварийный циркуляр МСЭС № Э/319-58 г.

ключения блока при работе его трансформатора с незаземленной нейтралью, выводится из действия с помощью размыкающего контакта реле тока.

б) В варианте с токовой защитой обратной последовательности, которая предполагается установленной на стороне генераторного напряжения (рис. 20,*б*), используется промежуточное реле 10РП, действующее от чувствительного реле токовой защиты обратной последовательности (*6РТФ*), предусмотренного в указанной защите для сигнализации при появлении в генераторе токов обратной последовательности (разд. А, § IX). Это реле принимается с током срабатывания порядка $0{,}1I_{\text{ном.ген}}$ (гл. 3, § Л, п. 2).

в) В варианте с защитой напряжения нулевой последовательности (рис. 20,*в*) используется реле напряжения типа ЭН-526/7ф (*6РН*), присоединенное к разомкнутому треугольнику трансформатора напряжения шин 110—220 *кв*. Это реле принимается с вторичным напряжением срабатывания порядка 5 *в*.

г) В варианте с защитой напряжения обратной последовательности (рис. 20,*г*) используется замыкающий контакт реле устройства фильтр-реле напряжения обратной последовательности (*6РНФ*), входящего в комплект максимальной токовой защиты с комбинированным пуском напряжения. Указанное устройство принимается с вторичным междуфазным напряжением срабатывания порядка 6 *в* (гл. 3, § О, п. 3).

д) Вариант с суммарной токовой защитой, показанный на схеме рис. 20,*д*, дан для блока с трехобмоточным трансформатором в предположении, что на стороне 110—220 *кв* установлены воздушный выключатель и выносные трансформаторы тока, а также, что предусмотрена возможность замены выключателя стороны 110—220 *кв* обходным выключателем.

В схеме используется реле тока *6РТ*, включенное на сумму токов нулевой последовательности всех трансформаторов станции.

В реле времени *7РВ* и *8РВ* типа ЭВ-132 временно замыкающий контакт используется в качестве второго упорного контакта для действия на обходной выключатель с той же выдержкой времени, что и на основной выключатель.

Для автоматического выведения из действия суммарных токовых защит нулевой последовательности станции при отключении выключателя стороны 110—220 *кв* трансформатора (*1В*) или обходного выключателя (*4В*) при замене им выключателя блока в схеме предусмотрены замыкающие контакты реле положения этих выключателей (соответственно *IРП* и *IIРП*), а также замыкающий и размыкающий контакты реле положения обходного разъединителя ($IIIРП_1$ и $IIIРП_2$). Указанное необходимо для предотвращения неселективного отключения всех блоков станции от суммарных токовых защит при коротких замыканиях на землю в зоне между выключателем и выносными трансформаторами тока стороны 110—220 *кв* трансформатора в режиме, когда нейтраль данного трансформатора заземлена, после отключения выключателя от защиты шин 110—220 *кв*.

В схеме предусмотрено отключающее устройство *12УО* для снятия пуска суммарных токовых защит нулевой последовательности от токовой защиты нулевой последовательности данного блока в режиме его работы с длительно отключенной стороной 110—220 *кв* и заземленной нейтралью трансформатора. Указанное необходимо для предотвращения неселективного отключения всех блоков станции от суммарных токовых защит при коротких замыканиях на землю на стороне 110—220 *кв* трансформатора в указанном режиме.

В следующих случаях из рассматриваемой схемы (рис. 20,*д*) исключаются контакты реле положения выключателей и разъединителя:

— при применении на стороне 110—220 *кв* устройства резервирования, обеспечивающего отключение блока при коротких замыканиях на землю в зоне между выключателем и выносными трансформаторами тока;

— при выполнении дифференциальной защиты шин 110—220 *кв* действующей не только на отключение выключателя стороны 110—220 *кв*, но и на отключение всего блока с рассматриваемой защитой (например, на блоках гидрогенератор — двухобмоточный трансформатор при отсутствии выключателя в цепи ответвления на собственные нужды со стороны генераторного напряжения);

— при использовании на стороне 110—220 *кв* трансформаторов тока, встроенных во втулки выключателей.

5. Сравнение указанных способов выполнения защиты позволяет сделать следующие выводы.

а) Варианты с защитами напряжения нулевой и обратной последовательностей и с токовой защитой обратной последовательности (рис. 20,*б—г*) являются более простыми, чем вариант с суммарной токовой защитой нулевой последовательности (рис. 20,*д*). В соответствии с расчетами, приведенными в приложении V (при принятых в этом приложении исходных положениях), относительно большей чувствительностью отличается вариант с защитой напряжения нулевой последовательности; достоинством его является также то, что для него не используются реле других защит блока.

б) Вариант с суммарной токовой защитой нулевой последовательности (рис. 20,*д*) обеспечивает более высокую чувствительность, чем варианты по рис. 20,*б—г*.

Однако этот вариант отличается сложностью и сниженной надежностью, которые связаны с объединением как цепей трансформаторов тока всех блоков станции, так и цепей оперативного тока защит отдельных блоков, а также необходимостью для обеспечения правильного действия защиты введения в схему контактов реле положения выключателей и отключающих устройств.

в) Вариант с применением короткозамыкателей отличается наибольшей надежностью из всех рассматриваемых вариантов.

Однако этот вариант имеет следующие недостатки:

— вариант не может быть использован в случаях, когда заземление нейтралей трансформаторов, работающих нормально с незаземленной нейтралью, может привести к резкому нарушению принятого по условиям эксплуатации режима заземления нейтралей трансформаторов системы и к недопустимому увеличению тока при коротких замыканиях на землю в линиях электропередач;

— применение рассматриваемого варианта приводит к увеличению времени ликвидации повреждений, поскольку реле времени защиты блоков с трансформаторами, работающими в доаварийном режиме с незаземленной нейтралью, начинают работать лишь после включения короткозамыкателя.

6. Следует отметить, что, несмотря на применение специальных защит от коротких замыканий на землю, рассмотренных в пп. 2—5, на станциях, трансформаторы которых могут работать как с заземленной, так и с незаземленной нейтралью, возникновение опасного для оборудования режима работы трансформатора на систему с изолированной нейтралью, когда в ней имеет место замыкание на землю одной фазы, не предотвращается в следующих случаях.

а) В режиме, когда выключатель на стороне 110—220 *кв* отключен, а нейтраль трансформатора не заземлена — при замыкании на землю одной фазы в цепи указанной стороны.

В связи с этим необходимо, чтобы в режиме, когда блок отключен от сети с большим током замыкания на землю, нейтраль его трансформатора была заземлена.

б) В режиме, когда выключатель на стороне 110—220 *кв* включен, а нейтраль трансформатора не заземлена — при замыкании на землю одной фазы в цепи указанной стороны в следующих случаях:

— при отказе в действии основной защиты блока (трансформатора) и отключении выключателя стороны 110—220 *кв* резервной защитой от коротких замыканий на землю, если эта защита не действует на отключение трансформатора от всех источников питания;

— при действии основной защиты блока (трансформатора) и отказе выключателя со стороны генератора или стороны среднего напряжения при наличии питания с указанной стороны (сохранение питания точки повреждения);

— при возникновении замыкания на землю в зоне между выключателем стороны 110—220 *кв* и выносными трансформаторами тока его цепи и отключении этого выключателя от защиты шин, если эта защита не действует на отключение трансформатора от всех источников питания.

Следует, однако, отметить, что в случаях, указанных в данном пункте, режим работ трансформатора с незаземленной нейтралью с замыканием одной фазы на землю имеет место при отключенном выключателе 110—220 *кв* блока, когда емкостный ток относительно невелик, в связи с чем опасность этого режима уменьшается.

7. В связи с тем, что средствами релейной защиты, несмотря на ее значительное усложнение, не представляется возможным устранить возникновение случаев работы трансформаторов с незаземленными нейтралями на систему, в которой имеется замыкание одной фазы на землю при отсутствии в ней заземленных нейтралей, а также, что указанное усложнение защиты связано со снижением ее надежности, необходима разработка специального разрядника для установки его в нейтрали трансформаторов с пониженной изоляцией и рассчитанного на сопровождающий ток, имеющий место при замыкании на землю при частоте 50 *гц*.

8. Для случаев применения трансформаторов с полной изоляцией нейтрали, когда они могут работать как с заземленной, так и с незаземленной нейтралью, может быть приме-

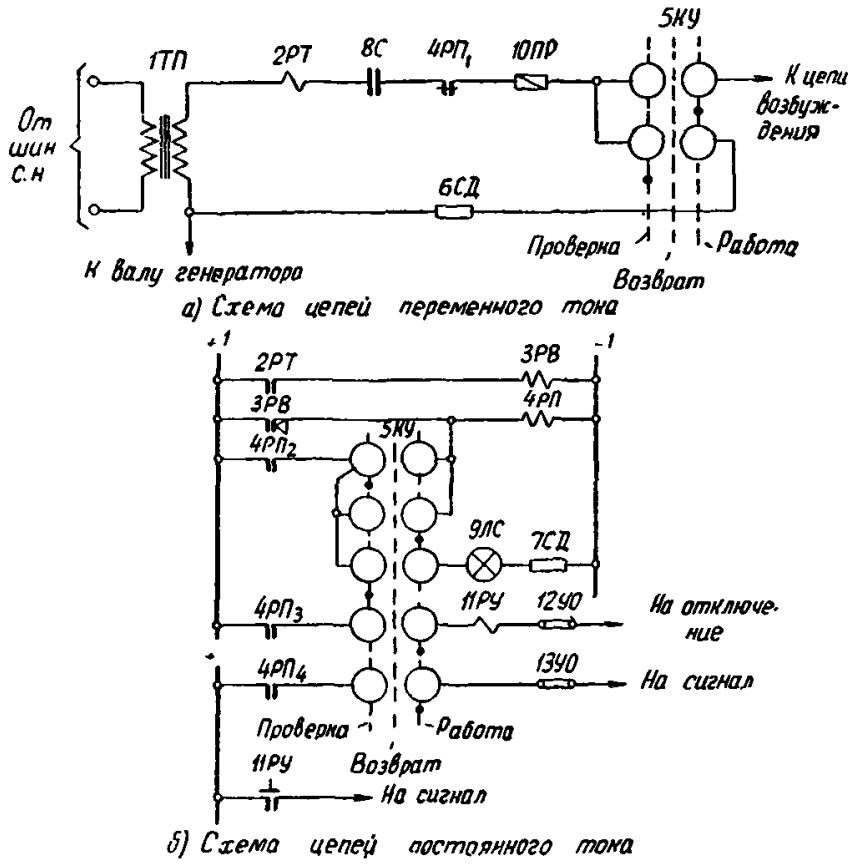


Рис. 21. Схема защиты от замыканий на землю в одной точке цепи возбуждения гидрогенератора, вариант с наложением переменного тока.

1ТП — трансформатор промежуточный; *2РТ*—реле тока типа ЭТ-521/мод; *3РВ* — реле времени типа ЭВ-134; *4РП* — реле промежуточное типа РП-23; *5КУ* —ключ управления; *6СД* — сопротивление добавочное 5 000 *ом*; *7СД* — сопротивление добавочное; *8С* — конденсатор; *9ЛС* — лампа сигнальная; *10ПР* — предохранитель; *11РУ* — реле указательное типа РУ-21; *12УО*, *13УО* — устройства отключающие типа НКР-2.

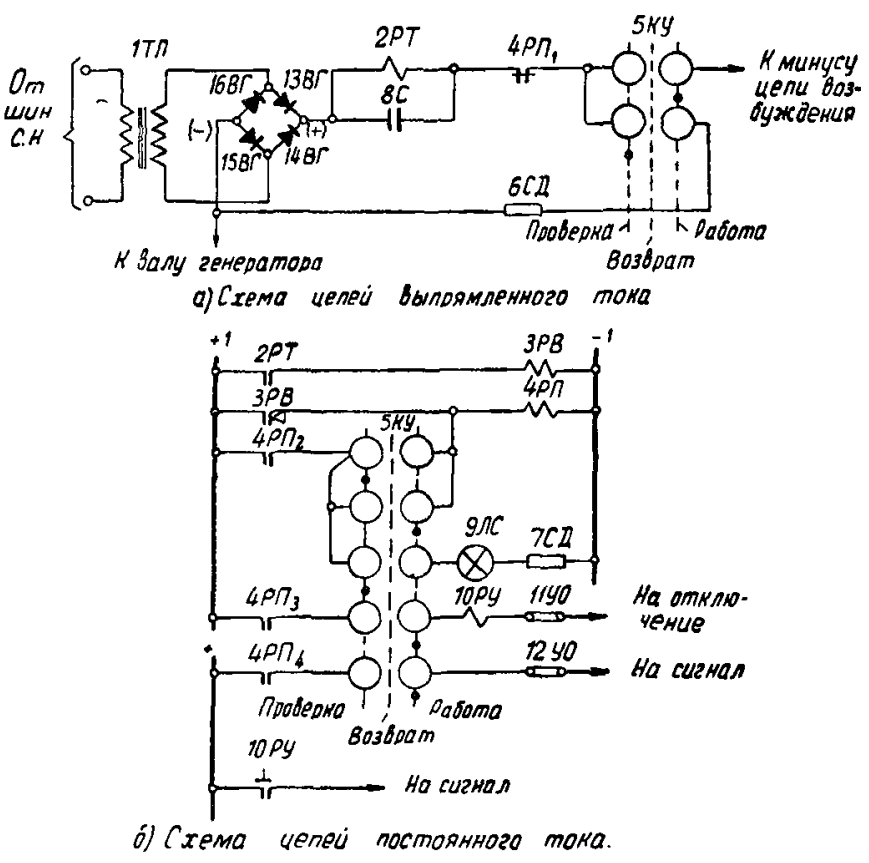


Рис. 22. Схема защиты от замыканий на землю в одной точке цепи возбуждения гидрогенератора, вариант с наложением постоянного тока.

1ТП — трансформатор промежуточный; *2РТ* — реле тока; *3РВ* — реле времени типа ЭВ-134; *4РП* — реле промежуточное типа РП-23; *5КУ* — ключ управления; *6СД* — сопротивление добавочное 5 000 *ом*; *7СД* — сопротивление добавочное; *8С* — конденсатор; *9ЛС* — лампа сигнальная; *10РУ* — реле указательное типа РУ-21; *11УО*, *12УО* — устройства отключающие типа НКР-2; *13ВГ—16ВГ* — выпрямители.

нена защита напряжения нулевой последовательности, действующая непосредственно на отключение (независимо от действия токовой защиты трансформаторов, работающих с заземленной нейтралью) (рис. 20,*е*).

Напряжение срабатывания защиты должно быть отстроено от: а) напряжения на реле при возникновении коротких замыканий на землю в сети с большим током замыкания на землю и б) напряжения на реле при неправильных действиях персонала.

Указанная защита действует после отключения трансформаторов с заземленной нейтралью, когда возникает режим с изолированной нейтралью и напряжение нулевой последовательности увеличивается в сравнении с напряжением при заземленной нейтрали системы.

Время действия защиты должно выбираться с учетом необходимости отстройки от переходных процессов в системе. Для ограничения длительности существования рассматриваемого режима желательно время действия защиты принять минимальным — порядка $t=0{,}2\div0{,}3$ *сек*.

Таким образом, для действия схемы по рис. 20,*е* следует допускать кратковременное существование опасного режима работы трансформатора с изолированной нейтралью установки, когда в ней имеет место замыкание одной фазы на землю, что является серьезным недостатком схемы (см. п. 1).

Схема защиты от замыканий на землю в одной точке цепи возбуждения гидрогенератора, вариант с наложением переменного тока (рис. 21).

1. Схема предназначена для генераторов с емкостью цепи возбуждения по отношению к земле, не превышающей $C_в \approx 0{,}5$ *мкф*.

При указанном значении емкости может быть обеспечено действие защиты при замыканиях на землю через переходное сопротивление порядка $r_п \approx 5\,000$ *ом* (см. приложение IV). При емкости $C_в < 0{,}5$ *мкф* защита может быть выполнена с большей чувствительностью к переходным сопротивлениям.

Чувствительность защиты, выполненной по рассматриваемой схеме, определяемая значением переходного сопротивления, на которое она реагирует, практически не зависит от места замыкания на землю.

2. Питание цепи реле тока *2РТ* защиты осуществляется от шин низшего напряжения трансформатора собственных нужд станции через промежуточный трансформатор *1ТП* с вторичным напряжением порядка 60—100 *в*.

Реле *2РТ* выполняется на базе реле тока типа ЭТ-520 со специально выбранными обмоточными данными.

3. Защита выполнена с выдержкой времени (реле времени *3РВ*) в целях предотвращения ее срабатывания при кратковременных нарушениях изоляции цепи возбуждения, а также для отстройки от переходных процессов в цепях возбуждения.

4. Для разделения цепей постоянного и переменного тока и обеспечения действия защиты только от переменного тока постороннего источника в схеме предусмотрено включение последовательно с реле тока *2РТ* разделительного конденсатора *8С*.

Конденсатор *8С* должен выбираться с учетом возможного кратковременного появления значительного переменного напряжения в цепи возбуждения при переходных процессах.

5. В схеме предусмотрен предохранитель *10ПР* для предотвращения возможности прохождения через цепь реле *2РТ* значительного постоянного тока при пробое емкости *8С* и последующем замыкании на землю в одной точке цепи возбуждения.

6. Для исключения длительного прохождения переменного тока через место повреждения, определяемого э. д. с. постороннего источника, в схеме предусмотрен разрыв цепи реле тока *2РТ* контактом промежуточного реле *4РП*, выполняемого с самоудерживанием.

7. Ключ управления *5КУ* предусмотрен для ввода в работу защиты, ее проверки и снятия самоудерживания промежуточного реле *4РП*.

При проверке защита отключается от цепи возбуждения, и в цепь обмотки реле *2РТ* вводится сопротивление *6СД*, соответствующее максимальному значению переходного сопротивления, при котором должна работать защита; срабатывание защиты при проверке фиксируется лампой *9ЛС*.

При $C_п > 0{,}5$ *мкф* защита, выполненная по схеме с наложением переменного тока, может быть применена при условии частичной или полной компенсации влияния емкостного тока, обусловленного емкостью цепи возбуждения по отношению к земле.

Схема защиты от замыканий на землю в одной точке цепи возбуждения гидрогенератора, вариант с наложением постоянного тока (рис. 22)

1. Схема предназначена для генераторов с емкостью цепи возбуждения по отношению к земле, превышающей $C_в \approx 0{,}5$ *мкф*.

2. Питание цепи реле тока *2РТ* защиты осуществляется от шин низшего напряжения трансформатора собственных нужд станции через промежуточный трансформатор *1ТП*

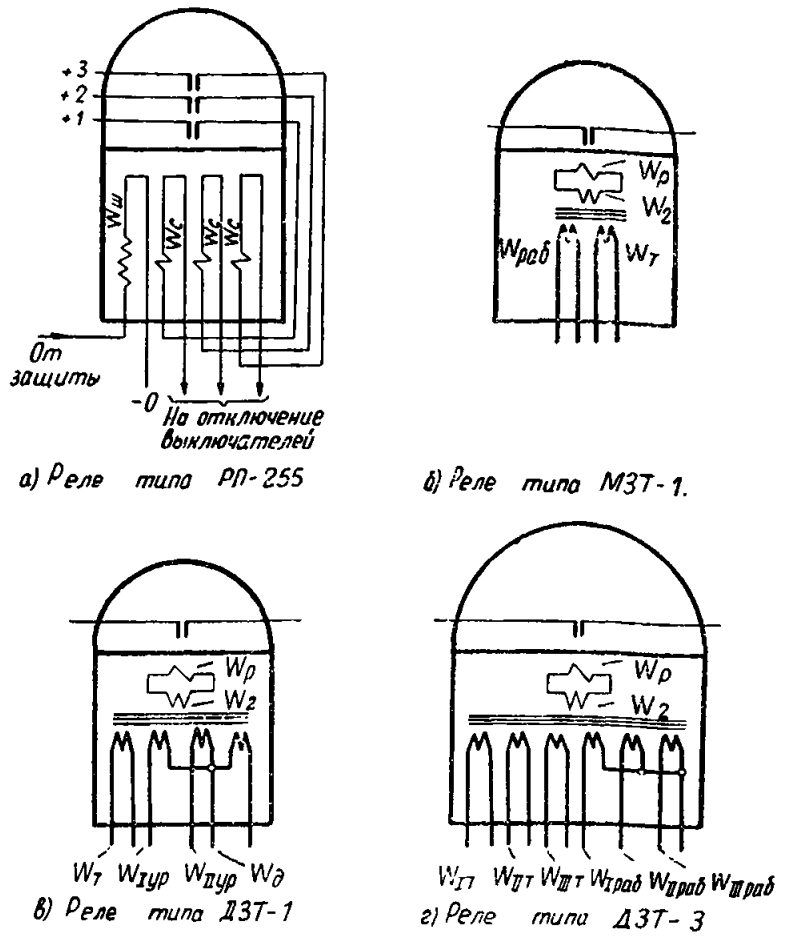


Рис. 23. Принципиальные схемы внутренних соединений реле типов РП-255, МЗТ-1, ДЗТ-1 и ДЗТ-3.

Обозначения:

$w_ш$ — шунтовая обмотка; $w_с$ — сериесная обмотка; $w_р$ — обмотка реле тока; w_2 — вторичная обмотка насыщающегося трансформатора; $w_т$, $w_{Iт}$, $w_{IIт}$, $w_{IIIт}$ — тормозные обмотки насыщающегося трансформатора; $w_{Iур}$, $w_{IIур}$ — уравнительные обмотки насыщающегося трансформатора; $w_д$ — дифференциальная обмотка насыщающегося трансформатора; $w_{раб}$, $w_{Iраб}$, $w_{IIраб}$, $w_{IIIраб}$ — рабочие обмотки насыщающегося трансформатора.

с вторичным напряжением 60—100 *в* и выпрямительный мост *13ВГ—16ВГ*.

3. Защита выполнена с выдержкой времени (реле времени *3РВ*) в целях предотвращения ее срабатывания при кратковременных нарушениях изоляции цепи возбуждения, а также для отстройки от переходных процессов в цепях возбуждения.

4. Чувствительность защиты, характеризуемая значением переходного сопротивления $r_п$, на которое она реагирует, определяется выражением

$$r_п = \frac{U_{ист} + U_{возб}}{I_{с.р}} - r_р,$$

где $U_{ист}$ — напряжение независимого источника (на выходе выпрямительного моста);

$U_{возб}$ — напряжение в месте повреждения, определяемое напряжением возбуждения;

$I_{с.р}$ — ток срабатывания реле тока;

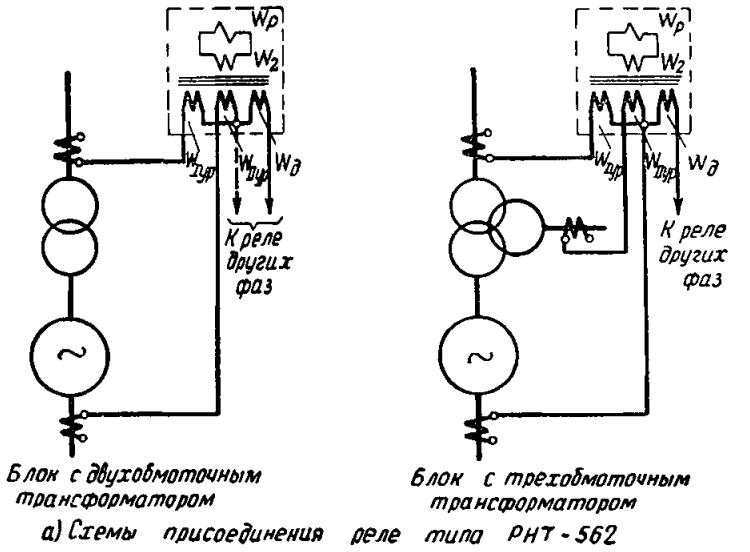
$r_р$ — сопротивление реле тока.

Из приведенного выражения следует, что при принятом выполнении схемы рис. 22,*а* в случае замыкания на землю на минусовом полюсе обмотки возбуждения защита имеет минимальную чувствительность к переходным сопротивлениям ($r_{п.мин}$), так как $U_{возб} = 0$; по мере удаления места повреждения от минусового полюса обмотки возбуждения чувствительность защиты повышается и оказывается максимальной ($r_{п.макс}$) при замыкании на землю на плюсовом полюсе обмотки возбуждения.

При замыкании на землю в любом месте обмотки возбуждения невозбужденного генератора защита также имеет минимальную чувствительность к переходным сопротивлениям.

5. При выборе типа реле *2РТ* в связи с особенностями рассматриваемой схемы необходимо учитывать следующее:

а) Реле должно иметь высокий коэффициент возврата. При низком коэффициенте возврата реле возможно непра-



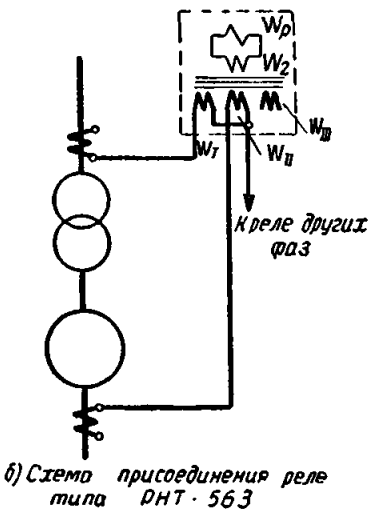


Рис. 24. Схемы присоединения реле РНТ-562 и РНТ-563.

Обозначения:

$w_р$ — обмотка реле тока; w_2 — вторичная обмотка насыщающегося трансформатора; $w_{Iур}$, $w_{IIур}$ — уравнительные обмотки насыщающегося трансформатора; $w_д$ — дифференциальная обмотка насыщающегося трансформатора; w_I, w_{II}, w_{III} — первичные обмотки насыщающегося трансформатора.

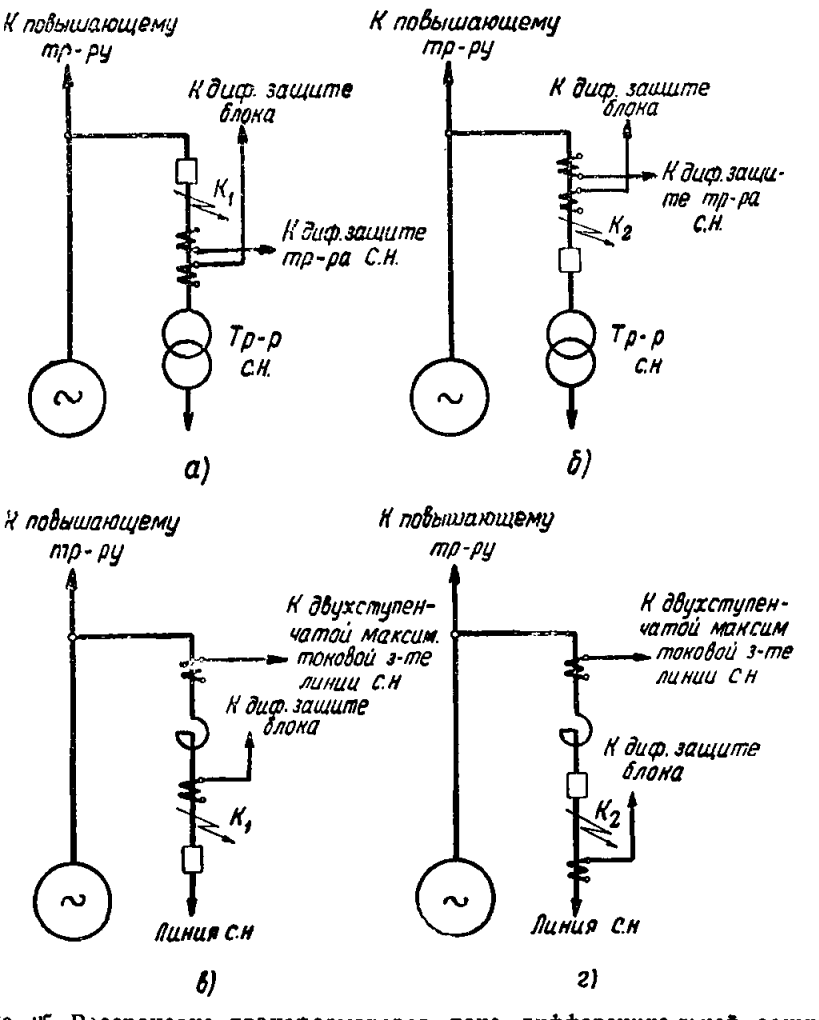


Рис. 25. Расстановка трансформаторов тока дифференциальной защиты блока в цепи ответвления к собственным нуждам.

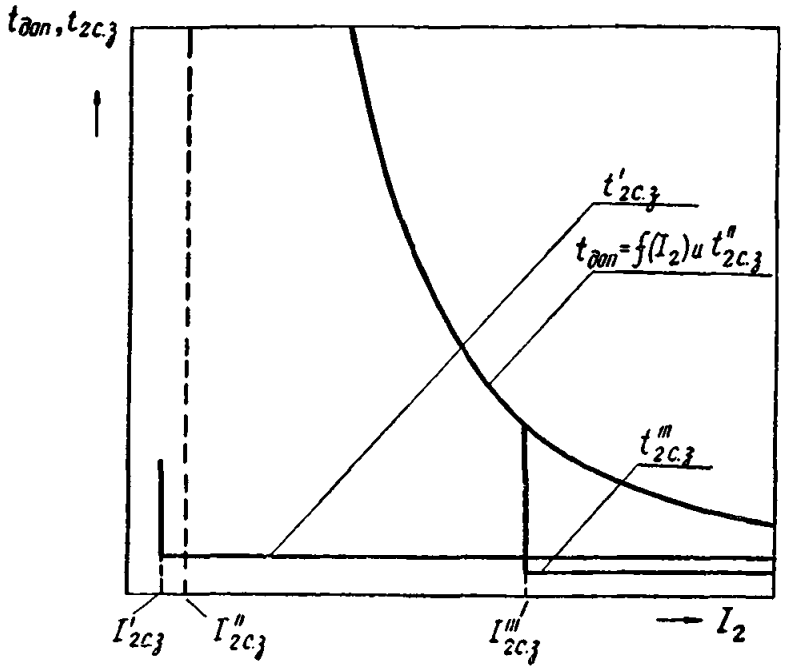


Рис. 26. Ориентировочные характеристики времен срабатывания для токовой защиты обратной последовательности, предусмотренной на генераторах в схемах рис. 12, 13 и 18, 19.

Обозначения:

$t_{доп} = f(I_2)$ — зависимость допустимой длительности прохождения токов обратной последовательности в генераторе от значений этих токов; $I'_{2с.з}$ и $t'_{2с.з}$ — ток срабатывания и время срабатывания защиты при действии на сигнал; $I''_{2с.з}$ и $t''_{2с.з}$ — минимальный ток срабатывания и время срабатывания защиты при действии на отключение с зависимой выдержкой времени; $I'''_{2с.з}$ и $t'''_{2с.з}$ — ток срабатывания и время срабатывания защиты при действии на отключение с независимой выдержкой времени.

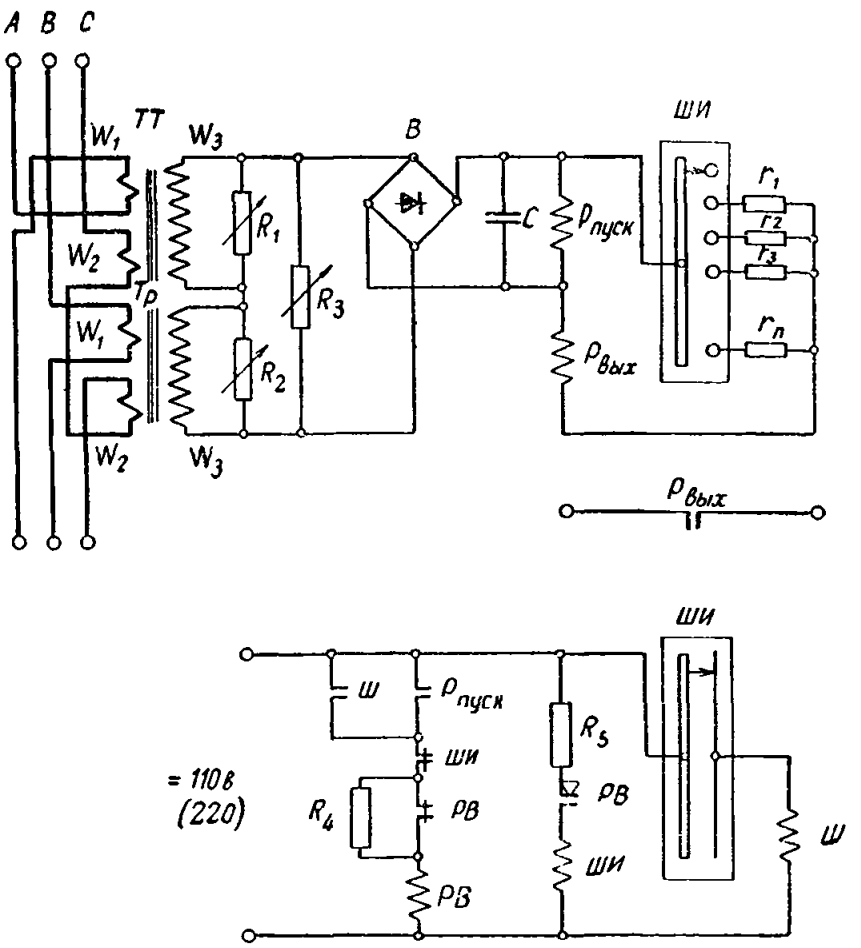


Рис. 28. Принципиальная схема фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТФ-3.

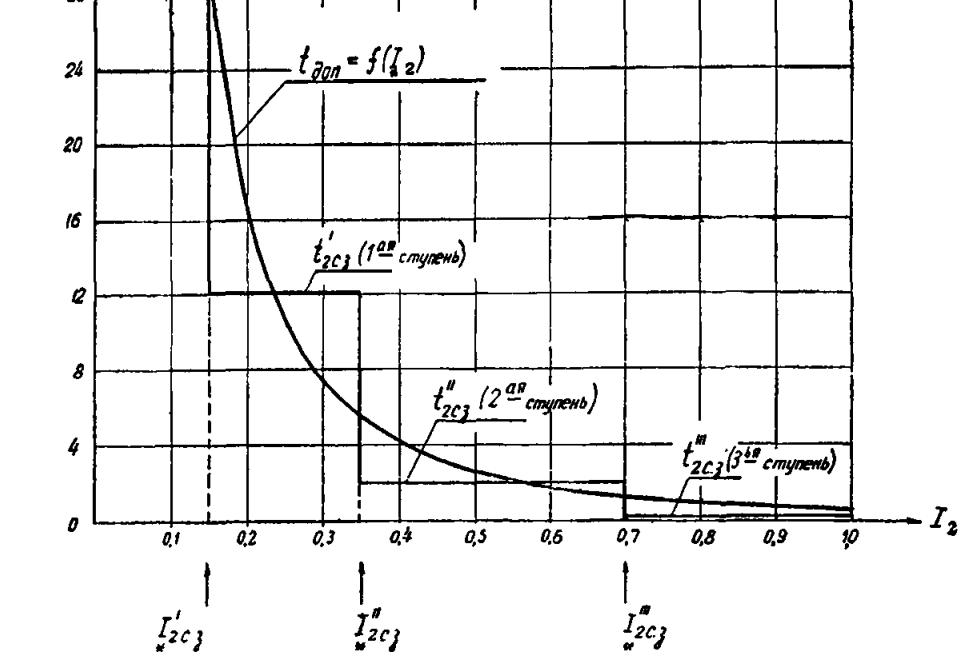


Рис. 27. Ориентировочная характеристика времени срабатывания для токовой защиты обратной последовательности, предусмотренной на генераторах в схеме рис. 14 и 15.

Обозначения:

$t_{доп} = f(I_2)$ — зависимость допустимой длительности прохождения токов обратной последовательности в генераторе от значений этих токов (для гидрогенераторов); $I_{2с.з}$ и $t_{2с.з}$ — токи срабатывания и времена срабатывания соответствующих ступеней защиты.

вильное срабатывание защиты. Указанное объясняется тем, что в случае преходящего замыкания на землю в одной точке цепи возбуждения реле *2РТ* может сработать и далее не вернуться в исходное положение несмотря на то, что сопротивление изоляции будет допустимым с точки зрения нормальной работы генератора.

б) Должна быть обеспечена термическая устойчивость реле, что может оказаться затруднительным в связи с тем, что при замыкании на землю в цепи возбуждения в режиме повышенного напряжения по обмотке реле *2РТ* в течение времени, соответствующего выдержке времени реле *3РВ* защиты, может проходить ток, во много раз превышающий его ток срабатывания.

6. В рассматриваемой схеме, как и в схеме рис. 21, предусмотрен разрыв цепи реле тока *2РТ* контактом промежуточного реле *4РП* в целях предотвращения длительного прохождения тока через место повреждения.

7. В плечах выпрямительного моста используются германиевые выпрямительные столбы типа Д1001 с допустимыми обратным напряжением 2 000 *в*.

8. Емкость *8С* предусмотрена для уменьшения вибрации контактов реле *2РТ*.

9. В данной схеме как и в схеме рис. 21, введение защиты в работу, ее проверка и снятие самоудерживания промежуточного реле *4РП* осуществляются ключом *5КУ*.

10. Схема составлена по разработкам ОАТН ГИДЭП.

ГЛАВА ВТОРАЯ

СХЕМЫ ЗАЩИТ БЛОКОВ ГЕНЕРАТОР — ТРАНСФОРМАТОР, ВЫПОЛНЕННЫЕ НА ПЕРЕМЕННОМ ОПЕРАТИВНОМ ТОКЕ

В настоящей главе рассмотрены схемы релейной защиты блоков генератор — двухобмоточный трансформатор для тепловых (рис. 29) и гидроэлектрических станций (рис. 30 и 31).

Схема рис. 29 дана для блока турбогенератор — трансформатор 38,5/6,3—10,5 *кв* мощностью более 1 до 12 *Мвт* включительно.

Схема рис. 30 дана для блока гидрогенератор — трансформатор 38,5/6,3—10,5 *кв* мощностью более 5 до 30 *Мвт* включительно.

Схема рис. 31 дана для блока гидрогенератор — трансформатор 11/6,3 *кв* мощностью 1 *Мвт* и менее.

Рассматриваемые схемы выполнены в предположении, что выключатели на стороне высшего напряжения блоков оборудованы пружинным приводом типа ППМ-10 (рис. 29 и 31) и соленоидным приводом (рис. 30).

Схема рис. 31 дана в совмещенном изображении, а схемы рис. 29 и 30, являющееся более сложными, даны как в совмещенном, так и развернутом изображении.

Приведенные схемы иллюстрируют различные принципы выполнения защит на переменном оперативном токе и являются предварительными, так как:

а) отдельные узлы их требуют дополнительных лабораторных испытаний,

б) не имеют достаточного опыта эксплуатации.

При практическом использовании указанные схемы нуждаются в уточнении с учетом реального оборудования и проверки в лабораторных и пусковых условиях.

А. ПРИНЦИПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ СХЕМ

I. Виды применяемых защит

1. Виды защит, применяемых на блоках рис. 29 и 30 мощностью более 1 *Мвт*, перечислены в п. А, § 1 гл. I. На блоке рис. 31 мощностью менее 1 *Мвт* предусмотрены следующие защиты: токовая отсечка, максимальная токовая защита, защиты от перегрузки и повышения напряжения.

II. Оборудование, используемое в схемах защиты блоков на переменном оперативном токе

1. Схемы рис. 29 и 31 выполнены с учетом того, что выпускаемый в настоящее время промышленностью пружинный привод имеет четыре катушки отключения (или реле прямого действия) с потреблением не более 50 *ва*.

2. Схема рис. 30 выполнена в предположении, что соленоидный привод выключателя имеет потребление цепи отключения порядка 500 *вт*.

3. В схемах рис. 29—31 используются реле прямого действия (типа РТМ) и реле косвенного действия, предназначенные для работы на переменном оперативном токе, следующих типов:

а) сериесное промежуточное реле РП-341 с двумя переключающими контактами — одним усиленным переходным и одним нормальным перекидным;

б) сериесное промежуточное реле РП-321 с двумя нормальными перекидными контактами и двумя нормальными замыкающими контактами;

в) шунтовое промежуточное реле РП-25;

г) шунтовое реле времени со втягивающимся якорем ЭВ-217, 237;

д) сериесное реле времени типа РВМ с микродвигателем; реле имеет два промежуточных насыщающихся трансформатора тока для возможности выполнения двух- или трехфазных защит с одним реле времени и три контакта с выдержкой времени (два временно замыкающих и один упорный);

е) реле времени с большой выдержкой времени РВТ-1200.

Б. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ СХЕМ ЗАЩИТЫ (рис. 29—31)

Схема защиты блока турбогенератор — трансформатор 38,5/6,3—10,5 *кв* мощностью более 1 до 12 *Мвт* включительно на переменном оперативном токе (рис. 29).

1. Схема дана для случая установки на стороне 35 *кв* масляного выключателя, имеющего шесть встроенных трансформаторов тока.

2. В качестве источников питания оперативных цепей защиты используются трансформаторы тока и трансформаторы напряжения. Питание непосредственно от трансформаторов тока принято для сериесных промежуточных реле (*22РП*, *23РП* и *26РП*) и катушки отключения (*37КО*) дифференциальной защиты блока, а также сериесного реле времени (*21РВ*), промежуточных реле (*24РП*, *25РП*) и катушек отключения (*38КО* и *39КО*) защиты от внешних коротких замыканий.

Питание непосредственно от трансформаторов напряжения осуществляется для промежуточного реле максимальной токовой защиты с комбинированным пуском напряжения (*28РП*), реле времени защит от перегрузки (*20РВ*) и от замыканий на землю на стороне генераторного напряжения (*19РВ*), а также промежуточного реле (*27РП*) и катушки отключения (*40КО*) газовой защиты.

3. В связи с тем, что отдаваемая мощность встроенных трансформаторов тока 35 *кв* мала, в схеме принято:

а) последовательное соединение вторичных обмоток трансформаторов тока в целях увеличения отдаваемой ими мощности;

б) питание цепей отключения АГП от цепей возбуждения (по предложению Промэнергопроекта).

4. Дифференциальная защита блока выполнена с реле РНТ-562. В целях экономии трансформаторы тока защиты со стороны генератора предусмотрены в двух, а не трех фазах.

Для повышения чувствительности к замыканиям между двумя фазами на стороне 35 *кв* защита принята трехрелейной.

Ввиду ограниченного числа катушек отключения, встраиваемых в привод выключателя, для дифференциальной защиты в схеме используется только одна катушка *37КО*. Последнее обусловливает следующие особенности выполнения схемы.

Катушка отключения включена в дифференциальную цепь и нормально зашунтирована переходными контактами сериес-

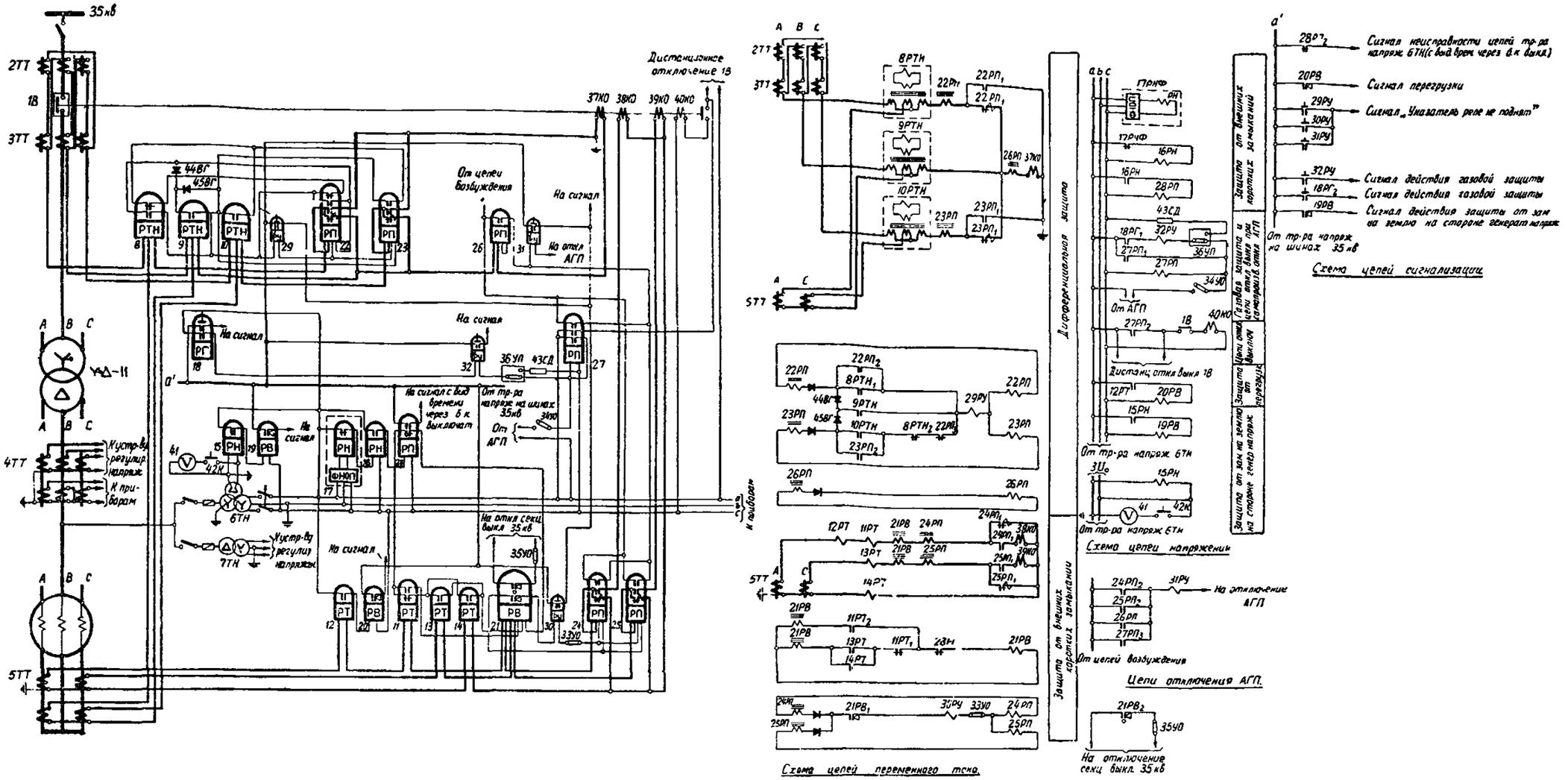


Рис. 29. Схема защиты блока турбогенератор—трансформатор 38,5/6,3—10,5 *кв* мощностью более 1 *Мвт* до 12 *Мвт* включительно на переменном оперативном токе.

1В — выключатель; *2ТТ*, *3ТТ* — трансформаторы тока (встроенные); *4ТТ*, *5ТТ* — трансформаторы тока; *6ТН*, *7ТН* — трансформаторы напряжения; *8РТН—10РТН* — реле тока с насыщающимися трансформаторами типа РНТ-562; *11РТ* — реле тока типа ЭТ-523; *12РТ—14РТ* — реле тока типа ЭТ-521; *15РН* — реле напряжения типа ЭН-526/60Д-М; *16РН* — реле напряжения типа ЭН-529/160; *17РНФ* — фильтр-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1; *18РГ* — реле газовое; *19РВ*, *20РВ* — реле времени типа ЭВ-237; *21РВ* — реле времени (сериесное) типа РВМ; *22РП—25РП* — реле промежуточные типа РП-341; *26РП* — реле промежуточное типа РП-321; *27РП*, *28РП* — реле промежуточные типа РП-25; *29РУ*, *30РУ* — реле указательные типа РУ-21/0,05; *31РУ*, *32РУ* — реле указательные типа РУ-21; *33УО—35УО* — устройства отключающие типа НКР-2; *36УП* — устройство переключающее типа НКР-2; *37КО—40КО* — катушки отключения; *41V* — вольтметр; *42К* — кнопка; *43СД* — сопротивление добавочное; *44ВГ*, *45ВГ* — выпрямители германиевые.

ных промежуточных реле *22РП* и *23РП*, включенных в фазы *А* и *С* дифференциальной цепи.

При повреждениях, обусловливающих прохождение токов, достаточных для срабатывания реле РНТ-562, только в фазах *А* и *С* дифференциальной цепи (*8РТ* и *10РТ*), необходимо обеспечить действие лишь одного из двух промежуточных реле, дешунтирующих катушку отключения, так как при срабатывании обоих реле ток повреждения не попадет в катушку отключения, и защита откажет в действии.

В соответствии с этим схема выполнена таким образом, что при одновременном срабатывании реле *8РТН* и *10РТН* (в фазах *А* и *С*) действует только реле *22РП*, так как цепь обмотки реле *23РП* разрывается размыкающими контактами реле $8РТН_2$ и $22РП_3$. Контакт $22РП_3$ предусмотрен в цепи обмотки реле *23РП* в дополнение к контакту $8РТН_2$ для предотвращения срабатывания реле *23РП* при срабатывании реле *8РТН* и *10РТН* и последующем возврате реле *8РТН* в результате уменьшения тока в дифференциальной цепи после дешунтирования катушки отключения. Такое выполнение схемы требует наличия у реле РНТ-562 двух контактов.

При срабатывании реле *9РТН* (в фазе *В*) независимо от того, сработали или нет реле *8РТН* и *10РТН*, действуют оба промежуточных реле *22РП* и *23РП*, запускаемые контактом реле *9РТН*, включенным через выпрямители *44ВГ* и *45ВГ*.

Выпрямители включены таким образом, что при срабатывании реле *8РТН* замыкается цепью только реле *22РП*, а при срабатывании *10РТН* — только реле *23РП*.

В связи с тем, что при срабатывании только реле *9РТН* (в фазе *В*) по обмоткам промежуточных реле *22РП* и *23РП*, включенных в фазы *А* и *С*, может проходить ток, в 2 раза меньший, чем в фазе *В*, их ток срабатывания должен приниматься соответственно в 2 раза меньшим тока срабатывания реле *8РТН—10РТН*.

По катушке отключения *37КО* во всех случаях проходит ток одного из сработавших реле защиты; в связи с этим, для того чтобы катушка отключения *37КО* не ограничивала чувствительности защиты, ее ток срабатывания не должен превышать тока срабатывания реле *8РТН—10РТН*.

В связи с возможностью уменьшения тока в дифференциальной цепи после дешунтирования катушки отключения и возврата при этом реле *8РТН—10РТН* в схеме в целях повышения надежности действия предусмотрено самоудерживание реле *22РП* и *23РП*. Для выполнения самоудерживания используются замыкающие контакты указанных реле.

Последовательно с катушкой отключения предусмотрено промежуточное реле *26РП*, предназначенное для подачи импульса на отключение АГП при срабатывании дифференциальной защиты.

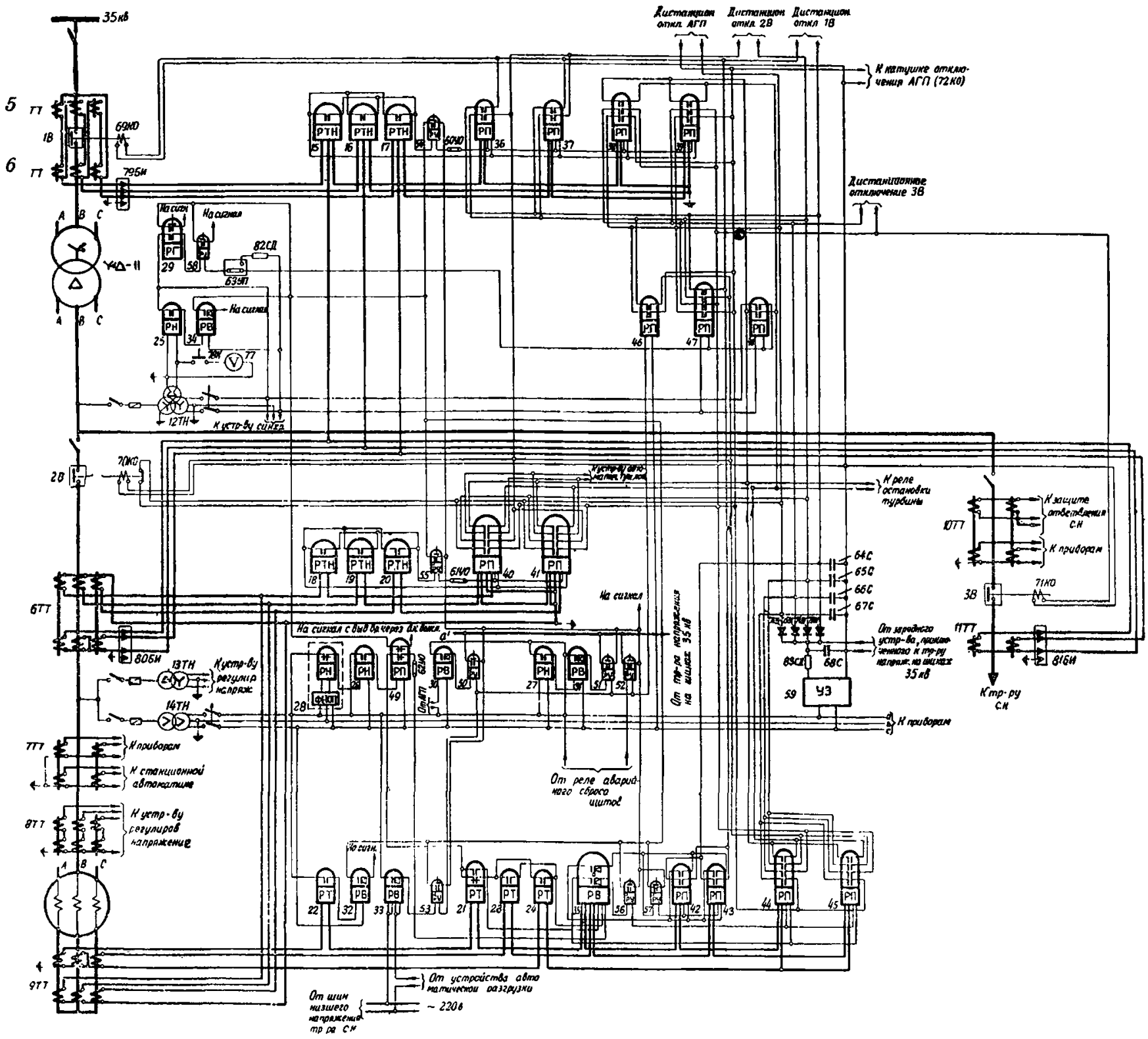


Рис. 30. Схема защиты блока гидрогенератор — трансформатор с высшим напряжением 38,5 *кв*

1В—3В — выключатели; *4ТТ*, *5ТТ* — трансформаторы тока (встроенные); *6ТТ—11ТТ* — трансформаторы тока; *12ТН—14ТН* — трансформаторы напряжения ЭТ-521: *25РН* — реле напряжения типа ЭН-526/60Д-М; *26РН* — реле напряжения типа ЭН-529/160; *27РН* — реле напряжения типа ЭН-524/200; *28РНФ* — времени типа ЭВ-217; *33РВ* — реле времени типа РВТ-1200; *35РВ* — реле времени (сериесное) типа РВМ; *36РП—45РП* — реле промежуточные типа РУ-21/0,05; *59УЗ* — устройство зарядное типа УЗ-400; *60УО—62УО* — устройства отключающие типа НКР-2; *63УП* — устройство переключающее типа вольтметр; *78К* — кнопка; *79БИ—81БИ* — блоки испытательные типа БИ-4;

Примечание. Значком * отмечены однополярные зажимы промежуточных трансформаторов реле *40РП* и *41РП*.

5. Защита от внешних коротких замыканий, резервирующая также основные защиты блока, выполнена в виде максимальной токовой защиты с комбинированным пуском напряжения (подобно схеме рис. 1 на постоянном оперативном токе). Защита содержит три реле тока (*11РТ*, *13РТ* и *14РТ*), устройство фильтр-реле напряжения обратной последовательности (*17РНФ*), минимальное реле напряжения *16РН*, включенное на междуфазное напряжение для действия при симметричных коротких замыканиях, и сериесное реле времени *21РВ* с микродвигателем.

Питание пускового органа напряжения осуществляется от трансформатора напряжения *6ТН* в цепи генератора в предположении, что при этом обеспечивается требуемая чувствительность к коротким замыканиям в конце линий, отходящих от шин 35 *кв*. В противном случае питание пускового органа должно осуществляться от трансформатора напряжения шин 35 *кв*.

Питание сериесного реле времени *21РВ* осуществляется от двух фаз трансформаторов тока *5ТТ*.

Для обеспечения действия схемы при различных видах коротких замыканий запуск реле времени выполняется таким образом, что обмотка реле питается или от промежуточного трансформатора в фазе *А* или от промежуточного трансформатора в фазе *С*.

При принятом выполнении защиты с тремя реле тока и одним реле времени, питаемым от двух фаз трансформаторов тока, ток срабатывания реле *21РВ* должен быть принят равным 2,5 *а*.

Рассматриваемая защита выполнена с использованием двух катушек отключения *38КО* и *39КО* привода выключателя *1В*, включенных в фазы *А* и *С* трансформаторов тока *5ТТ* и дешунтируемых при срабатывании защиты контактами реле *24РП* и *25РП*.

При принятом включении ток срабатывания катушек отключения должен выбираться с учетом того, что при замыкании между двумя фазами на стороне 35 *кв* в фазах *А* и *С* трансформаторов тока *5ТТ* могут проходить токи, вдвое меньшие, чем в фазе *В*.

В схеме не предусмотрено самоудерживание выходных промежуточных реле *24РП* и *25РП* защиты в предположении,

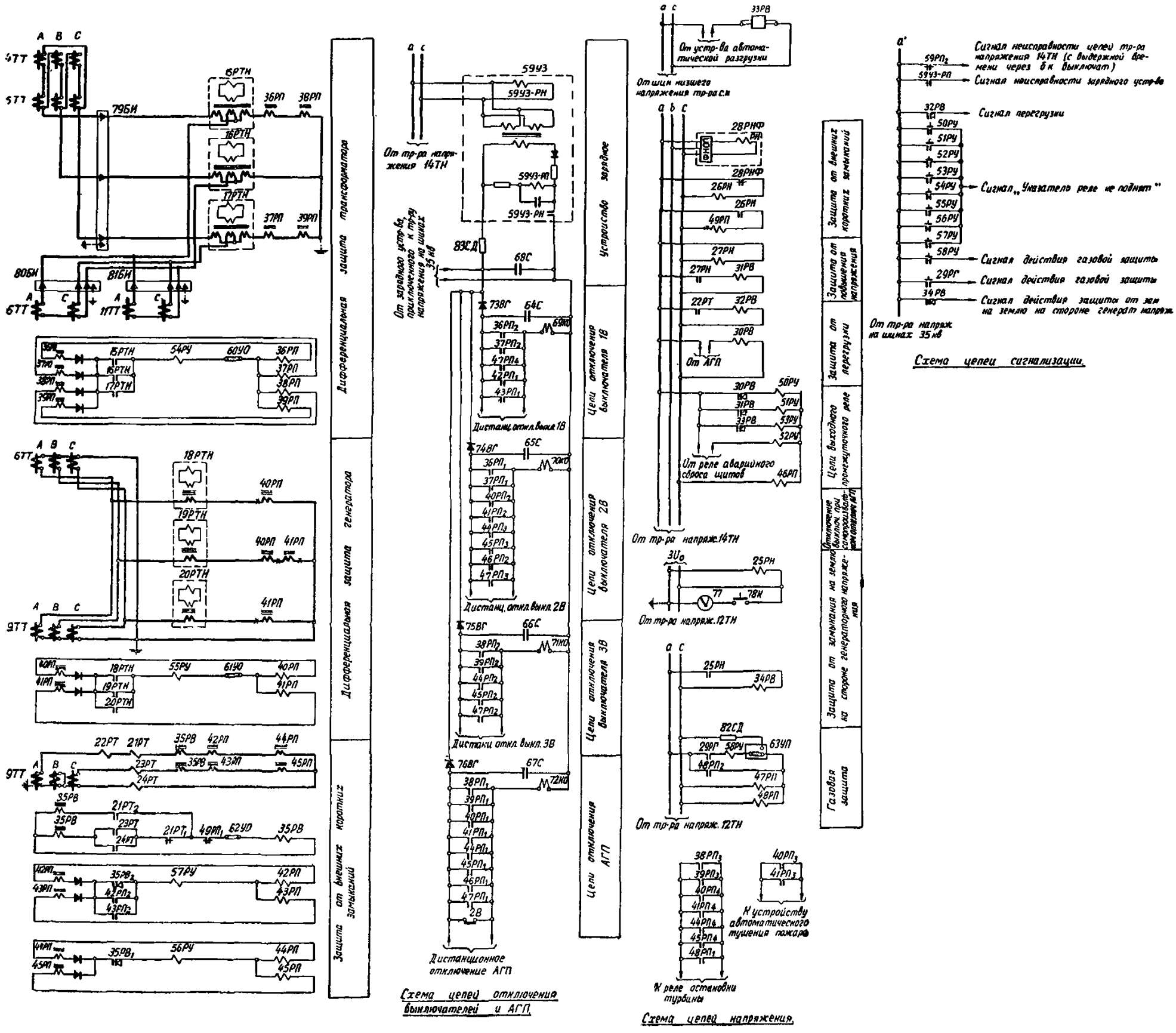


Схема цепей переменного тока

мощностью более 5 *Мвт* до 30 *Мвт* включительно на переменном оперативном токе.

ния; *15РТН — 20РТН* — реле тока с насыщающимися трансформаторами типа РНТ-562; *21РТ* — реле тока типа ЭТ-523; *22РТ — 24РТ* — реле тока типа фильтр-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1; *29РГ* — реле газовое; *30РВ, 32РВ, 34РВ* — реле времени типа ЭВ-237; *31РВ* — реле РП-321; *46РП — 49РП* — реле промежуточные типа РП-25; *50РУ — 53РУ, 58РУ* — реле указательные типа РУ-21; *54РУ — 57РУ* — реле указательные типа НКР-2; *64С — 67С* — конденсаторы; *68С* — конденсатор 5 *мкф*; *69КО — 72КО* — катушки отключения; *73ВГ — 76ВГ* — выпрямители германиевые; *77V — 82СД* — сопротивление добавочное; *83СД* — сопротивление добавочное 1 500 *ом*.

что трансформаторы тока *5ТТ* на стороне генераторного напряжения имеют большую отдаваемую мощность, в связи с чем можно полагать, что после дешунтирования катушек отключения *38КО* и *39КО* реле тока *11РТ*, *13РТ* и *14РТ* будут держать свои контакты замкнутыми. Такое решение обусловливается также тем, что для выполнения самоудерживания требуется установка дополнительных промежуточных реле, поскольку замыкающие контакты реле *24РП*, *25РП* используются для подачи импульса на отключение АГП.

Защита выполнена с двумя выдержками времени: с первой она действует на разделение секций 35 *кв* (в предположении отсутствия защиты шин 35 *кв*) и со второй — на отключение блока.

6. Выходное промежуточное реле газовой защиты *27РП* выполнено с самоудерживанием. Съем самоудерживания осуществляется автоматически после отключения блока. От контактов реле *27РП* подаются импульсы на отключение выключателя *1В* и *АГП*.

7. Защита от замыкания на землю на стороне генераторного напряжения действует на сигнал с выдержкой времени (реле *15РН* и *19РВ*).

8. В схеме предусмотрена возможность отключения блока при потере возбуждения, вызванной случайным действием АГП (по аналогии со схемами на постоянном оперативном токе).

9. Защита от перегрузки выполнена с использованием реле времени с втягивающимся якорем (реле *12РТ* и *20РВ*).

10. Расстановка указательных реле, отключающих устройств и разъемных зажимов принята такой же, как в схемах на постоянном оперативном токе.

11. Схема может быть использована и для блоков гидрогенератор — трансформатор такой же мощности с учетом особенности выполнения защиты этих элементов.

Схема защиты блока гидрогенератор — трансформатор с высшим напряжением 38,5 *кв* мощностью более 5 *Мвт* до 30 *Мвт* включительно на переменном оперативном токе (рис. 30).

1. Схема дана для случая:

а) отсутствия на станции постоянного дежурного персонала;

б) установки на стороне 35 *кв* масляного выключателя, имеющего шесть встроенных трансформаторов тока и оборудованного соленоидным приводом;

в) наличия ответвления к трансформатору собственных нужд (с выключателем в цепи ответвления);

г) наличия выключателя между генератором и повышающим трансформатором.

2. Подобно схеме рис. 29 в рассматриваемой схеме в качестве источников питания оперативных цепей защиты используются трансформаторы тока и трансформаторы напряжения.

Питание цепей отключения осуществляется от конденсаторных устройств. Последнее принято с учетом того, что выключатель 35 *кв* имеет соленоидный привод.

3. Питание непосредственно от трансформаторов тока осуществляется для сериесных промежуточных реле дифференциальных защит трансформатора (*36РП—39РП*) и генератора (*40РП*, *41РП*), сериесного реле времени (*35РВ*) и сериесных выходных промежуточных реле (*42РП—45РП*) защиты от внешних коротких замыканий.

Питание непосредственно от трансформаторов напряжения осуществляется для промежуточного реле защиты от внешних коротких замыканий (*49РП*), реле времени защит от перегрузки (*32РВ*), от замыканий на землю на стороне генераторного напряжения (*34РВ*) и от повышения напряжения (*31РВ*), а также выходных промежуточных реле указанных защит (*46РП*) и газовой защиты (*47РП*, *48РП*).

4. По аналогии со схемой рис. 29 принято последовательное соединение вторичных обмоток трансформаторов тока 35 *кв*.

5. Дифференциальная защита генератора выполнена трехфазной, с тремя реле тока типа РНТ-562 (*18РТН—20РТН*). Трехфазное исполнение принято по тем же соображениям, что и для схем на постоянном оперативном токе. В целях экономии оборудования защита выполнена не с тремя, а с двумя промежуточными реле *40РП* и *41РП*, каждое из которых в целях обеспечения действия защиты как при междуфазных коротких замыканиях, так и двойных замыканиях на землю включено на разность токов двух фаз (одно реле — на разность токов фаз *А* и *В*, а другое — *В* и *С*).

При таком включении ток срабатывания промежуточных реле, равный 2,5 *а* (по данным завода) при замыканиях между фазами *АВ* или *ВС*, увеличивается до 5 *а* при замыканиях между фазами *АС*. Указанное ограничивает область применения защиты в принятом исполнении случаями, когда ее ток срабатывания может быть принят большим 5 *а*. При выполнении защиты с током срабатывания, меньшим номинального, требуется применение трех промежуточных реле взамен двух реле.

Дифференциальная защита генератора действует на отключение выключателя генератора *2В*, *АГП*, на остановку турбины и запуск устройства автоматического тушения пожара.

6. Дифференциальная защита трансформатора блока выполнена с реле РНТ-562 (*15РТН—17РТН*). В целях экономии трансформаторы тока защиты со стороны генератора предусмотрены в двух, а не трех фазах. Для повышения чувствительности к замыканиям между двумя фазами на стороне 35 *кв* защита принята с тремя реле РНТ-562. В целях экономии оборудования защита выполнена не с тремя, а двумя промежуточными реле в фазах *А* и *С* дифференциальной цепи (для размножения контактов предусматривается по два реле на фазу — *36РП* и *38РП*, *37РП* и *39РП*).

При таком выполнении схемы обеспечивается действие защиты при двойных замыканиях на землю на стороне 35 *кв*, когда одно место повреждения находится в трансформаторе, а второе — в сети 35 *кв*. Кроме того, принятое выполнение схемы не приводит к снижению чувствительности защиты в целом, поскольку промежуточные реле в этом случае принимаются с током срабатывания 2,5 *а*, т. е. в 2 раза или более чувствительнее реле РНТ-562.

При срабатывании защиты подаются импульсы на отключение всех выключателей блока, АГП и на остановку турбины.

7. Защита от внешних коротких замыканий, резервирующая также основные защиты блока, выполнена в виде максимальной токовой защиты с комбинированным пуском напряжения (реле *21РТ*, *23РТ*, *24РТ*, *28РНФ*, *26РН*, *35РВ*), как в схеме рис. 29.

В целях сохранения питания собственных нужд при коротких замыканиях на линиях 35 *кв*, сопровождающихся отказом их защиты или выключателя, рассматриваемая защита блока выполняется с двумя выдержками времени, действуя с первой выдержкой времени только на отключение выключателя *1В*. Для указанной цели используется временно замыкающий контакт реле времени *35РВ* и промежуточные реле *42РП* и *43РП*, выполняемые с самоудерживанием; при этом предполагается, что после отключения выключателя *1В* в случае короткого замыкания в сети 35 *кв* имеет место автоматический съем самоудерживания в связи с малой мощностью ответвления к собственным нуждам.

Со второй выдержкой времени защита действует на отключение выключателей *2В* и *3В*, АГП и на остановку турбины.

8. Выходные промежуточные реле газовой защиты *47РП* и *48РП* выполнены с самоудерживанием. Съем самоудерживания осуществляется автоматически после отключения блока.

При срабатывании защита действует на отключение выключателей *1В*, *2В*, *3В*, АГП и на остановку турбины.

В целях сохранения в работе газовой защиты и защиты от замыкания на землю на стороне генераторного напряжения (реле *25РН* и *34РВ*) в случае отключения генератора питание оперативных цепей этих защит осуществляется от трансформатора напряжения *12ТН*. При этом предполагается, что предусмотрен контроль исправности цепей указанного трансформатора напряжения.

9. Оперативные цепи защиты от повышения напряжения (реле *28РН* и *31РВ*) питаются от трансформатора напряжения *14ТН* в цепи генератора. Защита действует на отключение выключателя генератора *2В* и АГП.

10. Защита от перегрузки (реле *22РТ*, *32РВ* и *33РВ*) выполнена с действием на сигнал, автоматическую разгрузку генератора и, если последняя оказывается неэффективной, на отключение. Действие защиты на сигнал осуществляется подобно таковому в схеме рис. 29.

На генераторе установлено устройство автоматической разгрузки, разработанное ОАТН ГИДЭП. При неэффективности разгрузки указанное устройство с выдержкой времени (реле *33РВ*) действует на отключение генератора (выключатель *2В* и АГП).

Реле *33РВ* питается от шин низшего напряжения трансформатора собственных нужд станции.

11. Для отключения выключателя *2В* при самопроизвольном отключении АГП в схеме предусмотрено реле времени *30РВ*, необходимое для обеспечения возможности включения гидрогенератора при самосинхронизации.

12. В схеме предусмотрено отключение АГП при отключении выключателя генератора *2В* в целях подготовки схемы к последующему включению методом самосинхронизации.

13. Конденсаторы *64С—67С*, предусмотренные соответ-

ственно для питания цепей отключения выключателей *1В, 2В, 3В* и АГП, в нормальном режиме заряжаются от трансформатора напряжения *14ТН* в цепи генератора через зарядное устройство *59УЗ*.

Для возможности действия защиты при возникновении повреждения в момент включения выключателя *1В* блока с невозбужденным генератором в схеме в дополнение к устройству *59УЗ* предусмотрено зарядное устройство, питаемое от трансформатора напряжения, установленного на шинах 35 *кв*, и обеспечивающее наличие заряда конденсаторов *64С—67С* в указанном режиме. Это устройство является общим для всех блоков данной секции сборных шин. Такое объединение цепей нескольких блоков является недостатком рассматриваемой схемы.

Для разделения цепей разряда конденсаторов, питающих катушки отключения трех выключателей и АГП, предусмотрены специальные выпрямители *73ВГ—76ВГ*.

14. Зарядное устройство *59УЗ* содержит поляризованное реле *59УЗРП* с размыкающим контактом, предназначенное для сигнализации пробоя выпрямителей устройства, пробоя конденсаторов и короткого замыкания на их выводах, а также обрыва цепи заряда конденсаторов.

Ввиду того, что поляризованное реле получает питание от зарядного устройства по однополупериодной схеме выпрямления, для исключения сигнализации в нормальном режиме на выходе устройства предусматривается конденсатор *68С* (емкостью порядка 5 *мкф*), разряжающийся на указанное поляризованное реле в полупериод, когда оно не получает питания от зарядного устройства.

Имеющаяся в самом устройстве УЗ-400 емкость, включенная параллельно обмотке реле *59УЗРП*, предназначена для уменьшения влияния на работу реле переменной составляющей. Увеличение указанной емкости обеспечило бы недействие сигнализации в нормальном режиме; однако при отсутствии емкости *68С* реле в этом случае не реагировало бы на обрывы цепи заряда конденсаторов.

В целях предотвращения повреждения зарядного устройства при пробое его выпрямителей, а также пробое конденсаторов или коротком замыкании на их выводах в схеме предусмотрено токоограничивающее сопротивление *83СД* порядка 1 500 *ом*.

15. В цепях отключения выключателей и АГП не предусмотрены блок-контакты для разрыва этих цепей.

Отказ от блок-контактов возможен в связи с тем, что токи в отключающих катушках при действии их от разряда конденсаторов протекают весьма кратковременно.

16. Расстановка указательных реле, отключающих устройств, разъемных зажимов и испытательных блоков принята такой же, как в схемах на постоянном оперативном токе.

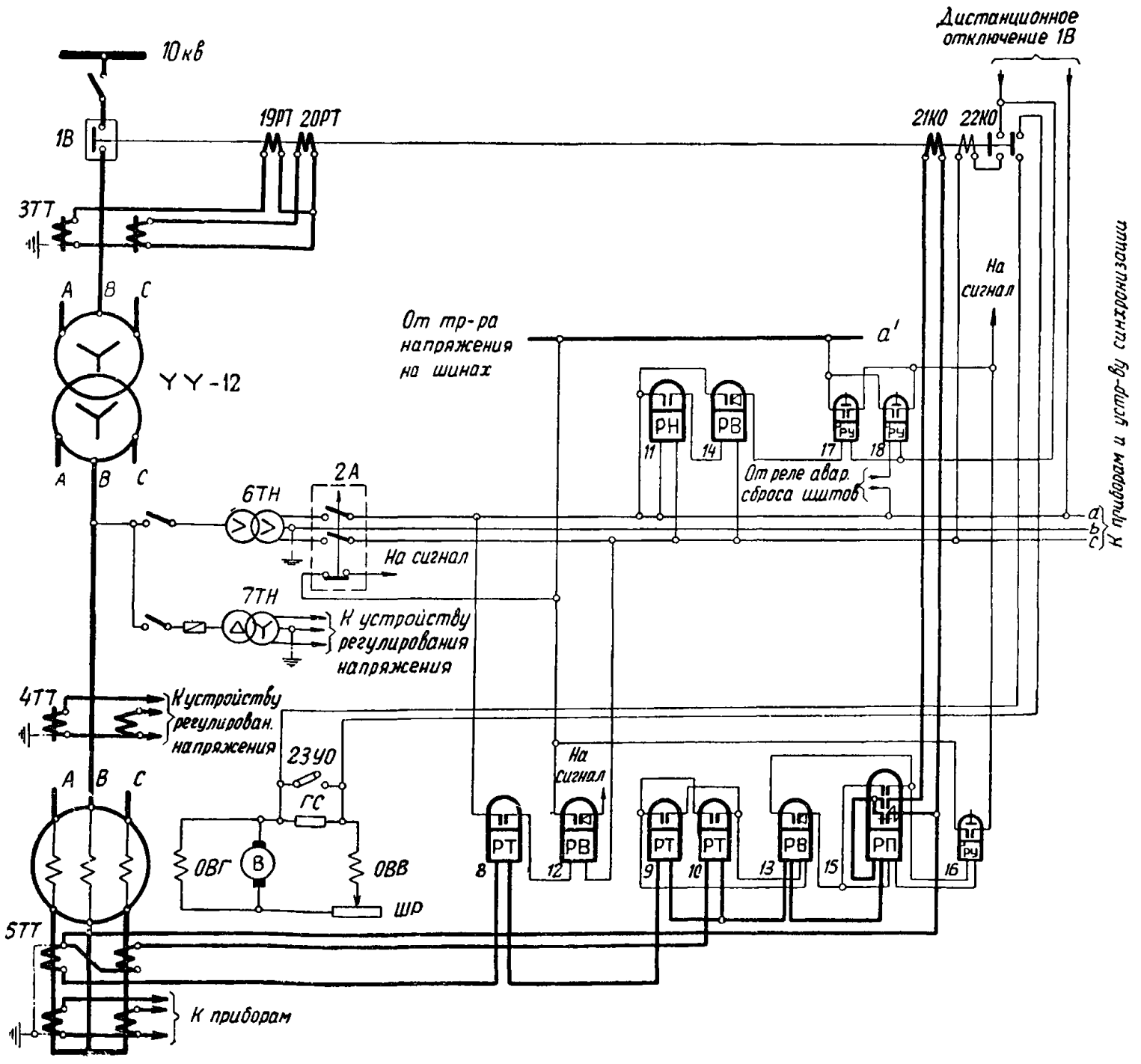


Рис. 31. Схема защиты блока гидрогенератор—трансформатор 11/6,3 *кв* мощностью 1 *Мвт* и менее на переменном оперативном токе.

1В — выключатель; *2А* — автомат; *3ТТ—5ТТ* — трансформаторы тока; *6ТН, 7ТН* — трансформаторы напряжения; *8РТ—10РТ* — реле тока типа ЭТ-521; *11РН* — реле напряжения типа ЭН-524/200; *12РВ* — реле времени типа ЭВ-237; *13РВ* — реле времени (сериесное) типа РВМ; *14РВ* — реле времени типа ЭВ-217; *15РП* — реле промежуточное типа РП-341; *16РУ* — реле указательное типа РУ-21/0,05; *17РУ, 18РУ* — реле указательные типа РУ-21/1; *19РТ, 20РТ* — реле тока типа РТМ; *21КО, 22КО* — катушки отключения; *23УО* — устройство отключающее типа НКР-2.

Схема защиты блока гидрогенератор — трансформатор 11/6,3*кв* мощностью 1 *Мвт* и менее на переменном оперативном токе (рис. 31).

1. Схема дана для случая наличия выводов со стороны нейтрали генератора.

2. В схеме предусмотрены токовая отсечка, выполненная с реле тока прямого действия типа РТМ (реле *19РТ* и *20РТ*), и максимальная токовая защита с выдержкой времени, выполненная с реле косвенного действия (реле *9РТ, 10РТ, 13РВ* и *15РП*).

3. Токовая отсечка выполнена с двумя реле, включенными на фазные токи.

Схема дана в предположении, что защищаемый блок работает параллельно с системой или другими блоками и что отсечка в принятом исполнении имеет требуемую чувствительность.

4. Максимальная токовая защита приключена к трансформаторам тока, установленным со стороны нейтрали генератора. Защита выполнена с реле тока *9РТ* и *10РТ*, включенными на фазные токи, а также с сериесным реле времени *13РВ*, промежуточным реле *15РП* и катушкой отключения *21КО*, включенных на разность токов двух фаз.

5. В схеме предусмотрена защита от повышения напряжения (реле *11РН*, *14РВ*), которая действует на катушку отключения *22КО*.

6. Защита от перегрузки выполнена с реле тока *8РТ* и шунтовым реле времени с втягивающимся якорем *12РВ*.

7. Гашение поля осуществляется дешунтированием сопротивления в цепи обмотки возбуждения возбудителя блок-контактом выключателя.

В схеме предусмотрено отключающее устройство *23УО* для шунтирования гасительного сопротивления на время до включения выключателя генератора в случаях, когда требуется осуществление возбуждения генератора до его включения на шины.

8. Схема выполнена в предположении, что для рассматриваемого блока гидрогенератор — трансформатор воздействие защиты на остановку турбины не требуется и что оно осуществляется от блок-контакта выключателя по схеме несоответствия.

9. В рассматриваемой схеме в целях упрощения на стороне высшего напряжения трансформатора напряжения *6ТН* предохранители не предусматриваются.

При коротком замыкании в цепях напряжения отключается автомат *2А*, установленный на стороне низшего напряжения трансформатора *6ТН*, и через размыкающий блок-контакт автомата подается сигнал.

Указанным обеспечивается контроль исправности вторичных цепей трансформатора напряжения, от которого осуществляется питание оперативных цепей защит от повышения напряжения и от перегрузки.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

РАСЧЕТ ЗАЩИТ БЛОКОВ ГЕНЕРАТОР — ТРАНСФОРМАТОР И ГЕНЕРАТОР — АВТОТРАНСФОРМАТОР

А. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Расчеты защит производятся для выбора схемы защиты и ее параметров и в общем случае сводятся к определению тока срабатывания и коэффициента чувствительности для расчетных режимов работы станции и систем и вида короткого замыкания; при этом в случае выполнения защиты с двумя или тремя реле тока расчет чувствительности производится для реле, по которому проходит наибольший ток повреждения.

Для случаев, когда защита выполняется с включением на фазные токи (двухрелейная или трехрелейная схема), расчет чувствительности может быть весьма просто произведен по первичным токам повреждения и срабатывания защиты. Для случаев, когда защита выполняется с включением на разность фазных токов (например, при соединении трансформаторов тока в треугольник), расчет чувствительности целесообразно производить по вторичным токам.

2. Приведенные в настоящей главе указания по расчету защит на постоянном оперативном токе даны в предположении, что трансформаторы тока, используемые для защиты, удовлетворяют кривым допустимых кратностей при 10% погрешности.

3. В случае, когда источником переменного оперативного тока являются трансформаторы тока, необходимо учитывать следующие особенности выбора последних.

а) Трансформаторы тока для дифференциальной защиты должны проверяться по допустимым погрешностям как при внешних коротких замыканиях (для обеспечения недействия защит в этих случаях), так и при внутренних коротких замыканиях (для обеспечения чувствительности).

Погрешности трансформаторов тока при внешних коротких замыканиях должны не превышать 10%; при внутренних коротких замыканиях могут допускаться большие погрешности, если условие 10% погрешности не может быть удовлетворено из-за больших нагрузок на трансформаторы тока, обусловленных большими сопротивлениями катушек отключения, включаемых в схему после дешунтирования. В указанных случаях надежность действия защиты обеспечивается наличием самоудерживания выходных промежуточных реле и выбором тока срабатывания этих реле и катушек отключения с учетом снижения вторичных токов трансформаторов тока после дешунтирования.

б) Трансформаторы тока, используемые для максимальной токовой защиты, выполненной по схеме с дешунтированием, как правило, выбираются удовлетворяющими условию 10% погрешности до дешунтирования катушки отключения (по аналогии со схемами на постоянном оперативном токе). После дешунтирования, как и для дифференциальной защиты, могут допускаться погрешности, превышающие 10%, если в связи с большой нагрузкой вторичной цепи не представляется возможным выбор трансформаторов тока по условию 10% погрешности.

в) Для трансформаторов тока, используемых для токовой отсечки, выполненной с реле прямого действия, могут допускаться погрешности, превышающие 10%, если в связи с большой нагрузкой вторичной цепи не представляется возможным выбор трансформаторов тока по условию 10% погрешности.

г) При выборе трансформаторов тока для защит, выполненных по схеме с дешунтированием, в которой используются реле типа РП-341, необходимо исходить из того, что для обеспечения надежного действия контактов этих реле, производящих дешунтирование, максимальный вторичный ток короткого замыкания должен не превышать допустимого для этих контактов значения 150 *а*, если сопротивление нагрузки при токе 3,5 *а* не более 4,5 *ом*.

4. Ниже приводятся расчеты защит, выполненных на постоянном оперативном токе.

Расчеты защит и трансформаторов тока при применении переменного оперативного тока будут рассмотрены отдельно.

5. Защиты от внешних повреждений блоков генератор — трансформатор и генератор — автотрансформатор в соответствии с Правилами устройства электроустановок должны быть не более чувствительны, чем защиты смежных элементов.

Ниже вопросы согласования по чувствительности особо рассматриваются для токовой защиты обратной последовательности и токовой защиты нулевой последовательности, поскольку для этих защит условие согласования в ряде случаев является определяющим.

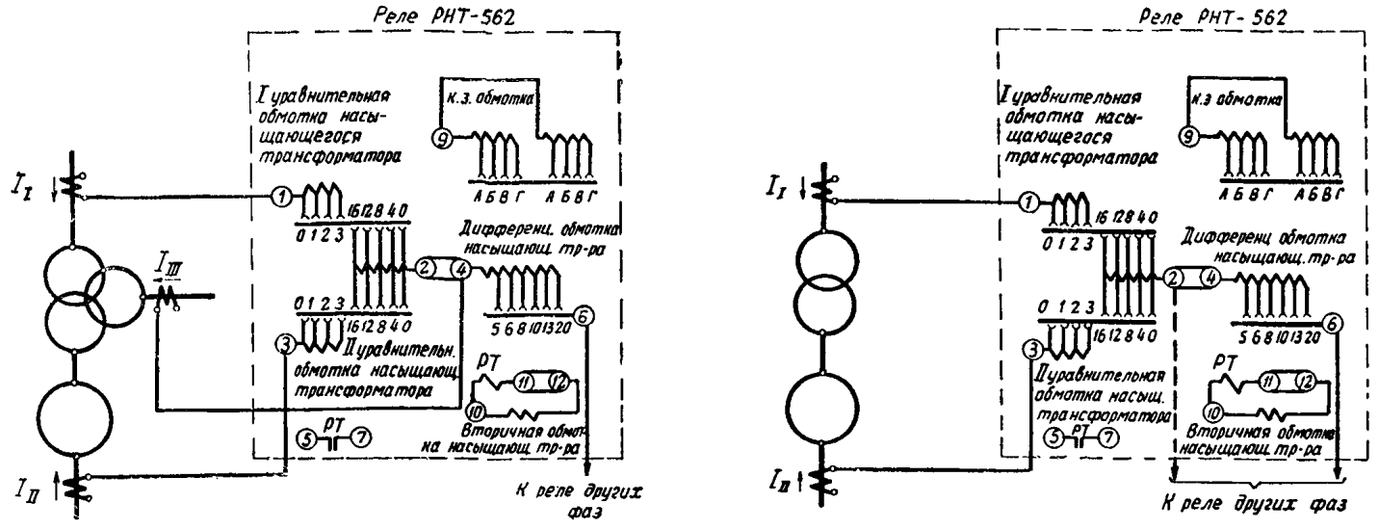
Б. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА БЛОКОВ ИЛИ ТРАНСФОРМАТОРОВ (АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ) БЛОКОВ, ВЫПОЛНЕННАЯ С РЕЛЕ ТИПА РНТ-562 (РНТ-563)

1. Основные указания по расчету

1. Ниже даны основные указания по расчету общей дифференциальной защиты блоков (см. рис. 4, 12, 14, 15 и 17) и дифференциальной защиты трансформаторов (автотрансформаторов) блоков (см. рис. 3, 7, 8, 10, 13 и 18), выполненных с реле типа РНТ-562 или реле типа РНТ-563, применительно к блокам генератор — двухобмоточный трансформатор, генератор — трехобмоточный трансформатор и генератор — автотрансформатор.

Схемы внутренних соединений реле типов РНТ-562 и РНТ-563 и принципиальные схемы их включения в защитах блоков показаны соответственно на рис. 32 и 33.

В дифференциальной защите блоков генератор — трехобмоточный трансформатор и генератор — автотрансформатор, выполненной с реле типа РНТ-562, трансформаторы тока защиты в общем случае присоединяются к дифференциальной и обеим уравнительным обмоткам насыщающегося трансформатора реле (рис. 32,*а*). В дифференциальной защите блоков генератор — двухобмоточный трансформатор (а также генератор — трехобмоточный трансформатор или генератор — автотрансформатор в случаях, когда вторичные токи в плечах защиты для двух сторон, соответствующие одной и той же мощности, получаются примерно равными) трансформаторы тока защиты присоединяются к обеим уравнительным обмоткам насыщающегося трансформатора реле (рис. 32,*б*). Такое включение (по сравнению со случаем присоединения трансформаторов тока одной из сторон непосредственно к дифференциальной обмотке) в ряде случаев позволяет получить на реле ток срабатывания, более близкий к расчетному.



а) В защите блока с трехобмоточным трансформатором или автотрансформатором.

б) В защите блока с двухобмоточным трансформатором.

Рис. 32. Схема внутренних соединений и принципиальные схемы включения реле типа РНТ-562.

Указанное объясняется тем, что в реле типа РНТ-562 дифференциальная обмотка насыщающегося трансформатора имеет более грубую регулировку числа витков, чем уравнительные обмотки.

В дифференциальной защите блоков, выполненной с реле типа РНТ-563, к обмотке I насыщающегося трансформатора реле присоединяются трансформаторы тока с вторичным током 1 *а*, к обмотке III — трансформаторы тока с вторичным током 5 *а*, к обмотке II могут присоединяться трансформаторы тока с вторичным током как 5, так и 1 *а*.

Ниже конкретные указания по расчету даны применительно к защите, выполненной с реле типа РНТ-562; расчет защиты, выполненной с реле типа РНТ-563, производится в основном аналогично.

2. Первичный ток срабатывания защиты $I_{с.з}$ выбирается по следующим условиям:

а) По условию отстройки от расчетного максимального тока небаланса $I_{нб.расч}$ при переходном режиме внешних коротких замыканий, определяемого с учетом влияния насыщающегося трансформатора, имеющегося в реле (здесь и ниже первичные токи предполагаются приведенными к одной и той же ступени напряжения)

$$I_{с.з} \geqslant k_н I_{нб.расч}, \qquad (1)$$

где

$k_н$ — коэффициент надежности, учитывающий ошибку реле и необходимый запас; может быть принят равным 1,3.

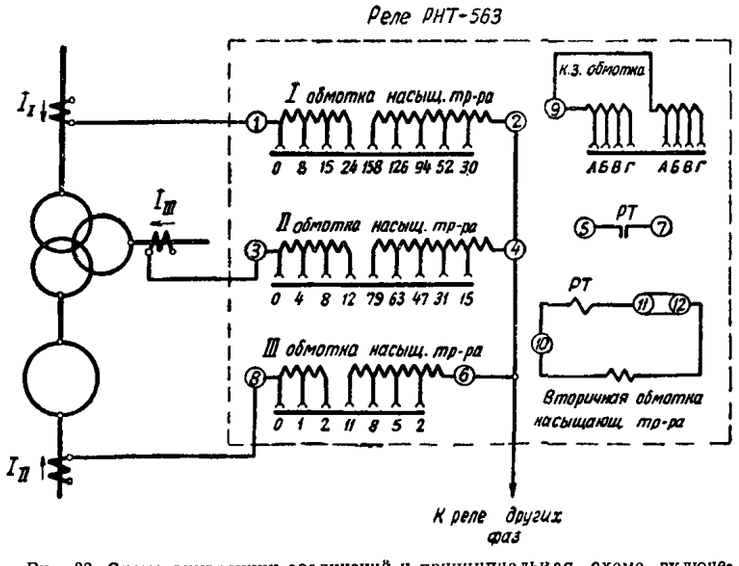


Рис. 33. Схема внутренних соединений и принципиальная схема включения реле типа РНТ-563.

б) По условию отстройки от броска тока намагничивания при включении ненагруженного трансформатора (автотрансформатора) блока под напряжение

$$I_{с.з} \geqslant kI_{ном}, \qquad (2)$$

где

$I_{ном}$ — номинальный ток, соответствующий номинальной мощности трансформатора (номинальной мощности его наиболее мощной обмотки) для блоков генератор — трансформатор и типовой мощности автотрансформатора для блоков генератор—автотрансформатор;

k — коэффициент отстройки защиты от броска тока намагничивания по номинальному току; до уточнения при наладке может приниматься равным 1—1,3, учитывая, что рассматриваемая защита выполнена с насыщающимися трансформаторами, имеющими короткозамкнутую обмотку, которая усиливает эффект отстройки от нестационарных режимов.[1]

в) По условию отстройки от максимального тока короткого замыкания при повреждении за трансформатором или реактором ответвления к собственным нуждам в случае, когда на этом ответвлении не установлены трансформаторы тока дифференциальной защиты (см. схемы рис. 12, 13 и 14)

$$I_{с.з} \geqslant k_н I_{к.з макс}, \qquad (3)$$

где

$I_{к.з макс}$ — периодическая слагающая тока (при $t = 0$) трехфазного металлического короткого замыкания за трансформатором или реактором ответвления к собственным нуждам в максимальном режиме работы станции и системы;

$k_н$ — коэффициент надежности такой же, как и в (1).

Расчетный ток небаланса $I_{нб.расч}$, входящий в (1), может быть определен как сумма трех составляющих

$$I_{нб.расч} = |I'_{нб.расч}| + |I''_{нб.расч}| + |I'''_{нб.расч}|, \qquad (4)$$

где

$I'_{нб.расч}$ — составляющая, обусловленная погрешностью трансформаторов тока;

$I''_{нб.расч}$ — составляющая, обусловленная регулированием напряжения трансформатора (автотрансформатора) блока;

$I'''_{нб.расч}$ — составляющая, обусловленная неточностью установки на насыщающемся трансформаторе реле расчетных чисел витков для неосновных сторон (п. 3).

В выражении (4) учитываются абсолютные значения составляющих тока небаланса $I'_{нб.расч}$, $I''_{нб.расч}$ и $I'''_{нб.расч}$. Последние могут определяться как величины, пропорциональ-

[1] При использовании специальной защиты с дополнительной отстройкой от броска периодического тока намагничивания значение k может приниматься меньшим.

ные периодической слагающей соответствующих токов повреждения, по выражениям:

$$I'_{\text{нб.расч}} = k_{\text{апер}} k_{\text{один}} f_i I_{\text{к.з.макс}}, \quad (5)$$

$$I''_{\text{нб.расч}} = \Delta U_\alpha I_{\alpha\text{к.з.макс}} + \Delta U_\beta I_{\beta\text{к.з.макс}}, \quad (6)$$

$$I'''_{\text{нб.расч}} = \frac{w_{\text{Iрасч}} - w_{\text{I}}}{w_{\text{Iрасч}}} I_{\text{Iк.з.макс}} + \frac{w_{\text{IIрасч}} - w_{\text{II}}}{w_{\text{IIрасч}}} I_{\text{IIк.з.макс}}, \quad (7)$$

где

$I_{\text{к.з.макс}}$ — периодическая слагающая тока (при $t = 0$), проходящего при расчетном внешнем металлическом коротком замыкании на стороне, где рассматривается повреждение;

f_i — относительное значение тока намагничивания трансформаторов тока; при выборе трансформаторов тока по кривым допустимых кратностей тока при 10% погрешности принимается равным 0,1;

$k_{\text{один}}$ — коэффициент однотипности трансформаторов тока; при внешних коротких замыканиях на той стороне, где трансформатор (автотрансформатор) блока присоединен к сети через два выключателя, принимается равным 0,5—1,0, причем меньшие из указанных значений принимаются в случаях, когда при этом повреждении трансформаторы тока защиты, установленные в цепях этих выключателей, обтекаются мало различающимися между собой токами; при внешних коротких замыканиях на сторонах, где трансформатор (автотрансформатор) блока присоединен к сети через один выключатель, коэффициент однотипности $k_{\text{один}}$ следует принимать равным 1,0;

$k_{\text{апер}}$ — коэффициент, учитывающий переходный режим (наличие апериодической слагающей тока); для реле типа РНТ-562, имеющего встроенный насыщающийся трансформатор с короткозамкнутой обмоткой, может быть принят равным 1,0;

$I_{\alpha\text{к.з.макс}}$ и $I_{\beta\text{к.з.макс}}$ — периодические слагающие токов (при $t = 0$), проходящих при расчетном внешнем коротком замыкании на сторонах, где производится регулирование напряжения; при связанном регулировании (например, со стороны выводов к нейтрали общей обмотки высшего и среднего напряжения автотрансформатора) токи $I_{\alpha\text{к.з.макс}}$ и $I_{\beta\text{к.з.макс}}$ должны учитываться в (6) с их знаками, причем за положительные приняты направления токов к трансформатору (автотрансформатору) блока (рис. 32);

ΔU_α и ΔU_β — относительные погрешности, обусловленные регулированием напряжения на сторонах трансформатора (автотрансформатора) блока и принимаемые равными половине суммарного диапазона регулирования на соответствующей стороне; при этом выбор числа витков обмоток насыщающегося трансформатора реле (см. ниже) производится по режиму, соответствующему среднему значению регулируемого напряжения;

$w_{\text{Iрасч}}$ и $w_{\text{IIрасч}}$ — расчетные числа витков обмоток насыщающегося трансформатора реле для неосновных сторон, определяемые по условию баланса н. с. при внешних повреждениях [п. 3 выражения (9), (10) и (11)];

w_{I} и w_{II} — принятые (целые) числа витков обмоток насыщающегося трансформатора реле для соответствующих неосновных сторон;

$I_{\text{Iк.з.макс}}$ и $I_{\text{IIк.з.макс}}$ — периодические слагающие токов (при $t = 0$), проходящих при расчетном внешнем коротком замыкании на сторонах, где используются соответственно числа витков w_{I} и w_{II} обмоток насыщающегося трансформатора реле; токи $I_{\text{Iк.з.макс}}$ и $I_{\text{IIк.з.макс}}$ должны учитываться в (7) с их знаками.

Выражения (5)—(7) составлены применительно к блоку с трехобмоточным трансформатором или автотрансформатором; при двухобмоточном трансформаторе в правой части (6) и (7) исключаются вторые члены.

Определение составляющей тока небаланса $I'_{\text{нб.расч}}$ по (5) в ряде случаев может привести к завышению расчетного тока небаланса $I_{\text{нб.расч}}$, поскольку относительный ток намагничивания трансформаторов тока в реальных условиях может быть меньше 10%. В этих случаях возникает вопрос о введении в расчет тока небаланса, соответствующего уточненному значению относительного тока намагничивания f_i, рассчитываемого по кривым намагничивания трансформаторов тока. Указанное в особенности актуально для случая присоединения трансформатора (автотрансформатора) блока к сети двумя выключателями (схема мостика или четырехугольника), когда трансформаторы тока, установленные в цепях этих выключателей и используемые для дифференциальной защиты, объединяются в распределительном устройстве. Ввиду сложности этого расчета снижение относительного тока намагничивания в рассматриваемых случаях может быть грубо учтено принятием значений коэффициента однотипности $k_{\text{один}}$, меньшими 1, как указано выше.

Необходимо учитывать, что в некоторых случаях максимальный ток при асинхронном ходе генератора $I_{\text{асинхр.макс}}$, соответствующий углу расхождения э. д. с., близкому к 180° (несинхронное АПВ, или выпадение из синхронизма), может оказаться больше максимального тока $I_{\text{к.з.макс}}$ при внешнем металлическом коротком замыкании. В этих случаях в (5), (6) и (7) вместо токов при внешнем коротком замыкании следует подставлять ток $I_{\text{асинхр.макс}}$ при соответствующем расчетном режиме асинхронного хода.

В тех случаях, когда ток срабатывания защиты получается недопустимо большим, в целях повышения чувствительности защиты можно отказаться от учета составляющей тока небаланса $I''_{\text{нб.расч}}$, обусловленной регулированием напряжения при отключенном трансформаторе (автотрансформаторе) блока. В этом случае расчет защиты следует произвести для каждого ответвления, поскольку одновременно с переходом на другое ответвление следует менять и уставку защиты. Указанный способ расчета может быть рекомендован лишь при условии, что рассматриваемое регулирование на защищаемом блоке используется относительно редко.

Следует отметить, что при регулировании напряжения под нагрузкой с помощью добавочного трансформатора в зону дифференциальной защиты автотрансформатора (трансформатора) блока включается только первичная обмотка добавочного трансформатора (схемы на рис. 10, 11 и 18); в этих случаях указанное регулирование не будет обусловливать составляющей тока небаланса $I''_{\text{нб.расч}}$ по (6).

3. Число витков обмотки насыщающегося трансформатора реле, соответствующее току срабатывания защиты $I_{\text{с.з}}$ для одной из сторон трансформатора (автотрансформатора) блока, принимаемой в расчете за основную, определяется по выражению

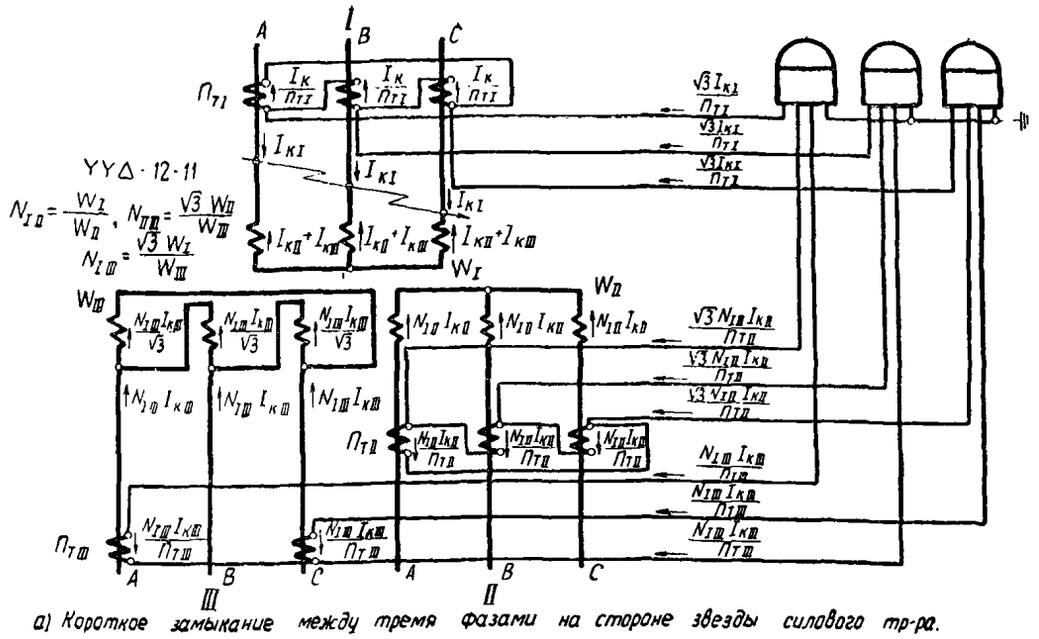
$$w_{\text{осн.расч}} = \frac{F_{\text{с.р}}}{I_{\text{с.р.осн}}}, \quad (8)$$

где

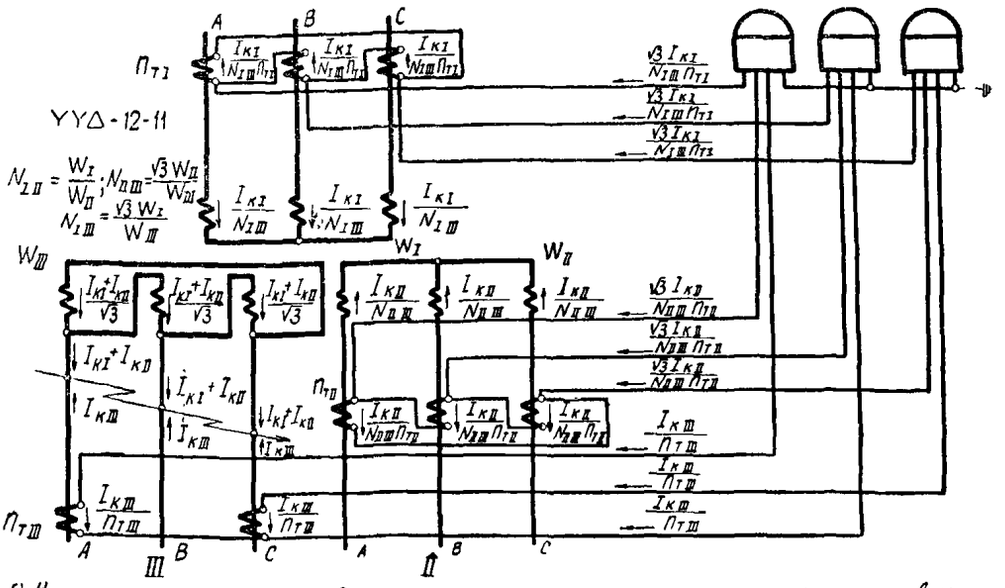
$I_{\text{ср.осн}}$ — ток срабатывания реле, отнесенный к основной стороне; определяется приведением первичного тока срабатывания защиты ко вторичным цепям трансформаторов тока основной стороны;

$F_{\text{с.р}}$ — н. с. (ампер-витки) срабатывания реле; для реле типа РНТ-562 по данным завода $F_{\text{с.р}} = 60$ *а* (намечается выпуск реле с $F_{\text{с.р}} = 100$ *а*).

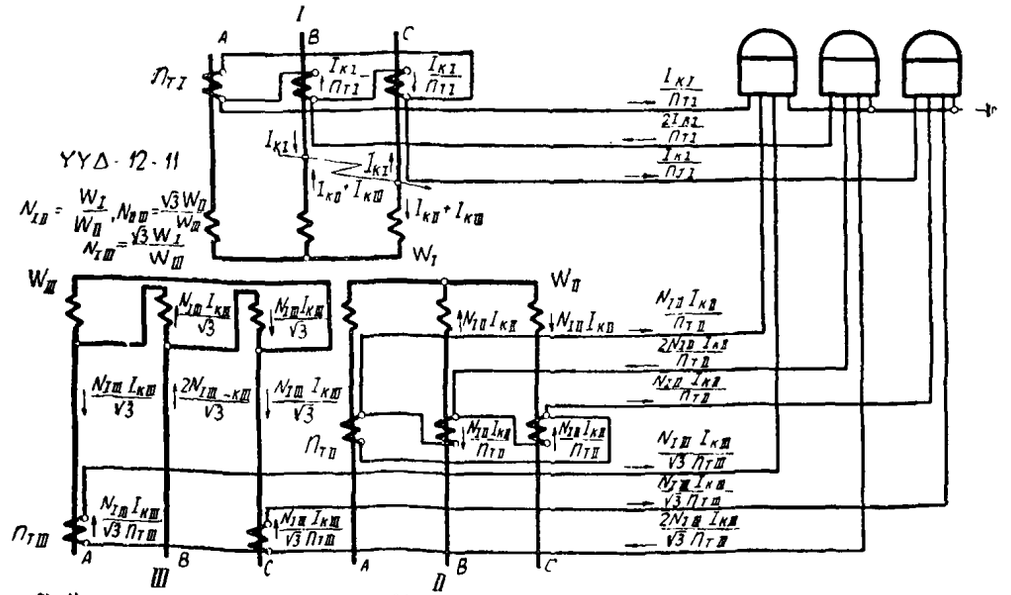
Ниже за основную принимается сторона, которой соответствует наибольший вторичный ток в плече защиты, определяемый для всех сторон по одной и той же мощности. При этом $w_{\text{осн}}$ явится наименьшим числом витков (по сравнению с числом витков для других сторон).



а) Короткое замыкание между тремя фазами на стороне звезды силового тр-ра.



б) Короткое замыкание между тремя фазами на стороне треугольника силового тр-ра



в) Короткое замыкание между двумя фазами на стороне звезды силового тр-ра

Рис. 34. Принципиальное токораспределение в цепях дифференциальной защиты при

Числа витков обмотки насыщающегося трансформатора реле, соответствующие току срабатывания защиты $I_{с.з}$, для других (неосновных) сторон трансформатора (автотрансформатора) блока определяются, исходя из условия равенства нулю (при неучете небаланса) результирующей н. с. в насыщающемся трансформаторе реле при нагрузочном режиме и внешних коротких замыканиях. Это обеспечивается при равенстве н. с. всех сторон в условиях, когда обмотки этих сторон нагружены одной и той же мощностью, например номинальной мощностью трансформатора (номинальной мощностью его наиболее мощной обмотки) для блока генератор — трансформатор и проходной мощностью автотрансформатора для блока генератор — автотрансформатор, т. е. исходя из соотношения

$$I_{\text{осн.в}} w_{\text{осн}} = I_{\text{Iв}} w_{\text{Iрасч}} = I_{\text{IIв}} w_{\text{IIрасч}}, \qquad (9)$$

где

$I_{\text{осн.в}}$, $I_{\text{Iв}}$ и $I_{\text{IIв}}$ — вторичные токи в плечах защиты на основной и неосновных сторонах, соответствующие номинальной мощности трансформатора для блока генератор—трансформатор и проходной мощности автотрансформатора для блока генератор—автотрансформатор;

$w_{\text{осн}}$, $w_{\text{Iрасч}}$ и $w_{\text{IIрасч}}$ — принятое число витков обмотки насыщающегося трансформатора реле для основной стороны и расчетные числа витков для неосновных сторон.

Из соотношения (9) следует:

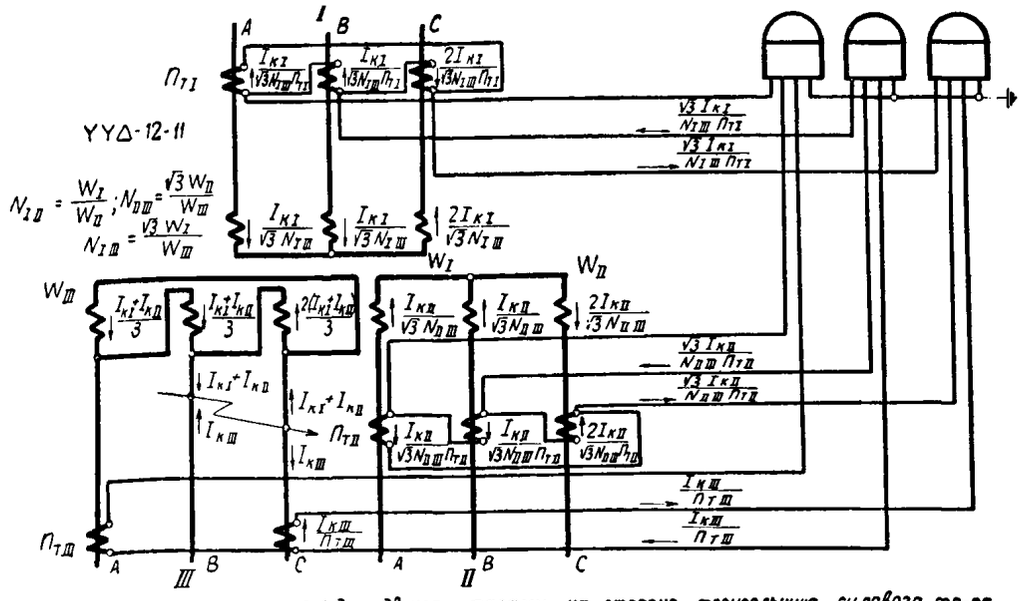
$$w_{\text{Iрасч}} = w_{\text{осн}} \frac{I_{\text{осн.в}}}{I_{\text{Iв}}}; \qquad (10)$$

$$w_{\text{IIрасч}} = w_{\text{осн}} \frac{I_{\text{осн.в}}}{I_{\text{IIв}}}. \qquad (11)$$

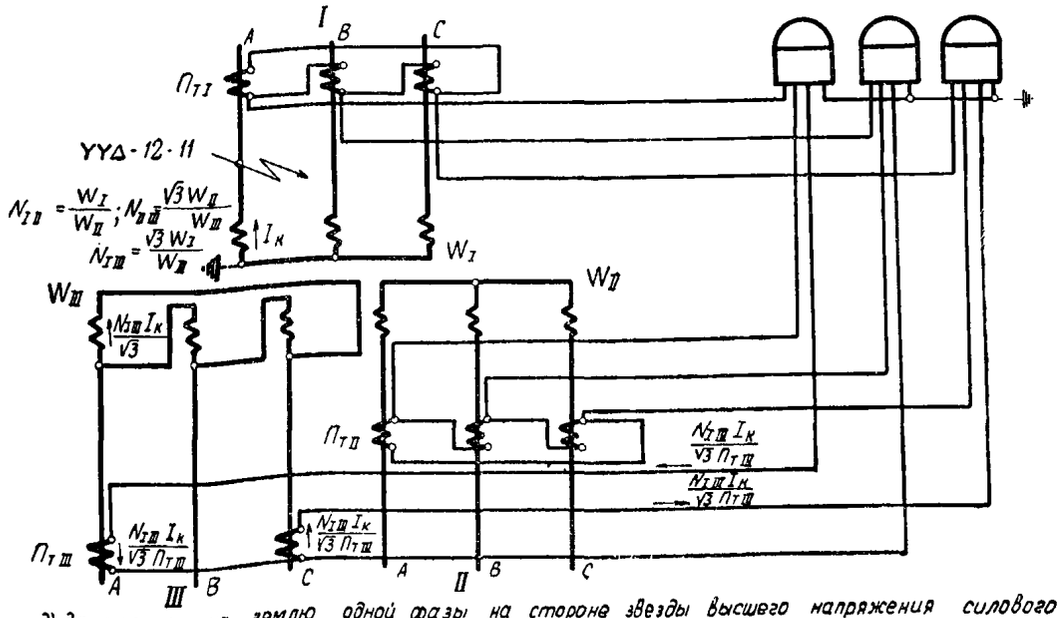
В расчете защиты блока с трехобмоточным трансформатором (автотрансформатором) числа витков обмоток насыщающегося трансформатора реле для неосновных сторон определяются по (10) и (11), в расчете защиты блока с двухобмоточным трансформатором — по (10) или (11).

4. Чувствительность защиты при повреждениях в защищаемой зоне характеризуется коэффициентом чувствительности $k_{\text{ч}}$, который определяется как отношение суммы н. с. обмоток насыщающегося трансформатора реле в условиях повреждения к н. с. срабатывания реле:

$$k_{\text{ч}} = \frac{\Sigma I_{\text{р}} w}{F_{\text{с.р}}}, \qquad (12)$$



г) Короткое замыкание между двумя фазами на стороне треугольника силового тр-ра.



д) Замыкание на землю одной фазы на стороне звезды высшего напряжения силового тр-ра при отключенном выключателе на этой стороне и отсутствии питания со стороны звезды среднего напряжения

повреждениях в трехобмоточном трансформаторе блока с трехсторонним питанием.

где

$I_р$ — вторичные токи в плечах защиты на отдельных сторонах с учетом их знака при рассматриваемом случае повреждения;

w — числа витков обмоток насыщающегося трансформатора реле, используемых на отдельных сторонах;

$F_{с.р}$ — н. с. срабатывания реле.

При определении коэффициента чувствительности защиты по (12) необходимо рассчитать токи, проходящие на всех сторонах трансформатора (автотрансформатора) блока при рассматриваемом коротком замыкании и привести их ко вторичной стороне трансформаторов тока с учетом схем соединения последних. В качестве примера на рис. 34 дано принципиальное токораспределение в цепях дифференциальной защиты трехобмоточного трансформатора блока для некоторых случаев повреждения.

В целях упрощения коэффициент чувствительности $k_ч$ может определяться в предположении, что весь ток повреждения проходит по одной стороне [1]:

$$k_ч = \frac{I_{р.полн}}{I_{с.р}}, \qquad (13)$$

где

$I_{р.полн}$ — ток в обмотке насыщающегося трансформатора реле в предположении, что он проходит по трансформаторам тока только одной из сторон; определяется приведением первичного тока повреждения ко вторичной цепи этих трансформаторов тока с учетом вида повреждения и схем соединения трансформаторов тока;

$I_{ср}$ — ток срабатывания реле, соответствующий числу витков обмотки насыщающегося трансформатора реле, используемых на той стороне, по которой проходит ток $I_{р.полн}$.

Значение коэффициента чувствительности $k_ч$, определенное по (13), совпадает со значением, определенным по (12), если установленные числа витков обмоток насыщающегося трансформатора реле совпадают с расчетными, вычисленными по (10) и (11). Практически устанавливаемые числа витков обмоток насыщающегося трансформатора реле, как правило, не вполне точно соответствуют расчетным, что обусловливает некоторую неточность расчета по (13). Эта неточность будет минимальной, если считать, что весь ток повреждения проходит по стороне, обусловливающей наибольшее питание при рассматриваемом случае повреждения (т. е. по стороне, по которой в действительности проходит наибольшая доля тока повреждения). При одностороннем питании расчеты по (12) и (13) дают одинаковые результаты.

Чувствительность защиты определяется при металлическом повреждении на выводах трансформатора (автотрансформатора) блока. Расчетными режимами работы станции и систем являются реально возможные режимы, обусловливающие минимальный ток повреждения. При этом на сторонах трансформатора (автотрансформатора), примыкающих к сети с большим током замыкания на землю, следует рассматривать как междуфазные повреждения, так и однофазное замыкание на землю.

В соответствии с Правилами устройства электроустановок (разд. III) минимальный коэффициент чувствительности по (12) и (13) допускается порядка 2,0.

Для случаев опробования (включения трансформатора или автотрансформатора блока на напряжение с одной стороны), а также работы блоков генератор — трехобмоточный трансформатор и генератор — автотрансформатор с отключенным выключателем со стороны среднего или высшего напряжения могут быть допущены сниженные требования к чувствительности. В указанных случаях при отказе по чувствительности дифференциальной защиты повреждения внутри кожуха трансформатора (автотрансформатора) блока отключаются газовой защитой (которая должна быть введена с действием на отключение), а повреждения на выводах — резервной защитой блока, при этом последняя предполагается чувствительной к указанным повреждениям.

II. Рекомендуемый порядок расчета

В соответствии с приведенными выше общими указаниями расчет дифференциальной защиты, выполненной с реле типа РНТ-562, производится в следующем порядке:

1. Определяются первичные токи для всех сторон трансформатора или автотрансформатора блока, соответствующие номинальной мощности трансформатора (номинальной мощности его наиболее мощной обмотки) для блока генератор — трансформатор и проходной мощности автотрансформатора для блока генератор — автотрансформатор.

Исходя из коэффициентов трансформации, используемых для защиты трансформаторов тока, определяются соответствующие токи в плечах защиты.

Следует отметить, что в некоторых случаях целесообразно выбирать трансформаторы тока для защиты с завышенными коэффициентами трансформации (см. приведенный ниже пример расчета дифференциальной защиты блока гидрогенератор — двухобмоточный трансформатор мощностью 50 *Мва*). Указанное в ряде случаев позволяет установить числа витков на отдельных сторонах, более точно соответствующие расчетным, что приводит к повышению чувствительности защиты.

Может оказаться целесообразным также использование для защиты трансформаторов тока с вторичным током в 1 *а* и реле типа РНТ-563. В связи с меньшими значениями вторичных токов и соответственно большими числами используемых витков обмоток насыщающегося трансформатора реле при выполнении защиты с трансформаторами тока на 1 *а* и реле типа РНТ-563 составляющая тока небаланса $I'''_{нб.расч}$, обусловленная неточностью установки на насыщающемся трансформаторе реле расчетных чисел витков, в соответствии с уменьшением отношения $\frac{w_{расч} - w}{w_{расч}}$ из (7) получается меньше, чем при использовании для защиты трансформаторов тока на 5 *а* и реле типа РНТ-562.

2. Определяются первичные максимальные токи короткого замыкания, проходящие через трансформатор (автотрансформатор) блока при внешних повреждениях на всех его сторонах и при повреждении на ответвлении к собственным нуждам для условий, при которых токи небаланса наибольшие.

3. Определяются расчетные первичные токи небаланса $I_{нб.расч}$ без учета составляющей $I'''_{нб.расч}$.

Расчет производится по (4), (5) и (6), исходя из значений токов короткого замыкания, полученных в п. 2 расчета.

4. Определяется ориентировочное значение первичного тока срабатывания защиты $I_{с.з}$ без учета составляющей тока небаланса $I'''_{нб.расч}$.

Расчет производится по (1) и (2), исходя из максимального значения тока небаланса $I_{нб.расч}$, полученного в п. 3, и первичного номинального тока $I_{ном}$, полученного в п. 1.

В случае, когда на ответвлении к собственным нуждам не установлены трансформаторы тока дифференциальной защиты (рис. 12, 13 и 14), расчет производится также и по (3), исходя из максимального значения тока короткого замыкания при повреждении за трансформатором или реактором ответвления к собственным нуждам.

5. Производится предварительная проверка чувствительности с целью выяснения в первом приближении возможности выполнения защиты с реле типа РНТ-562 (РНТ-563) или необходимости использования реле типа ДЗТ.

Для этого определяется первичный ток при расчетных металлических повреждениях на выводах трансформатора (автотрансформатора) блока в расчетных по чувствительности режимах работы станции и питающих систем, соответствующий вторичный ток в обмотке насыщающегося трансформатора реле в предположении, что он проходит по трансформаторам тока только одной из сторон, и, учитывая ориентировочное значение тока срабатывания защиты $I_{с.з}$, полученное в п. 4, коэффициент чувствительности $k_ч$ по (13).

Если полученные значения коэффициента чувствительности окажутся не ниже допустимого, то расчет защиты, выполненной с реле типа РНТ-562 (РНТ-563), следует продолжить, как показано ниже.

В тех случаях, когда значение коэффициента чувствительности хотя бы при одном из расчетных повреждений окажется ниже допустимого, а расчетным для выбора тока срабатывания защиты $I_{с.з}$ является условие отстройки от максимального тока небаланса (I), для обеспечения требуемой чувствительности можно отказаться от учета составляющей тока небаланса $I''_{нб.расч}$, обусловленной регулированием напряжения при отключенном трансформаторе (автотрансформаторе) блока, принимая, что с изменением используемого ответвления будет меняться и уставка защиты.

Если же и при неучете составляющей тока небаланса $I''_{нб.расч}$ не обеспечивается необходимая чувствительность или если нежелательно с изменением используемого ответвления менять и уставку защиты, то для обеспечения требуемой чувствительности необходимо использовать реле типа ДЗТ.

[1] См. «Руководящие указания по релейной защите, вып. 4. Защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов». Гл. 4, разд. Б, § I, п. 4.

В связи с этим следует перейти к расчету защиты, выполненной с реле типа ДЗТ-1 (разд. В настоящей главы).

6. Определяется число витков обмоток насыщающегося трансформатора реле, соответствующих току срабатывания защиты $I_{с.з}$, для основной стороны (стороны с наибольшим вторичным током по п. 1 в плече защиты) трансформатора (автотрансформатора) блока, по (8).

Принимается ближайшее меньшее по отношению к полученному из (8) число витков $w_{осн}$ из значений витков, которые могут быть установлены на реле в соответствии с имеющимися выводами.

Это наименьшее число витков $w_{осн}$ должно устанавливаться (схемы рис. 32):

— в защите блока с трехобмоточным трансформатором и автотрансформатором в общем случае (когда вторичные токи в плечах защиты по п. 1 для всех трех сторон получаются разными) на дифференциальной обмотке насыщающегося трансформатора реле;

— в защите блока с двухобмоточным трансформатором (а также с трехобмоточным трансформатором или автотрансформатором в случаях, когда вторичные токи в плечах защиты по п. 1 для двух сторон получаются примерно равными) частично на дифференциальной и одной из уравнительных или полностью на одной из этих обмоток насыщающегося трансформатора реле.

7. Определяются числа витков обмоток насыщающегося трансформатора реле для других (неосновных) сторон трансформатора (автотрансформатора) блока по (10) и (11).

В случаях, когда эти числа витков $w_{Iрасч}$ или $w_{IIрасч}$ получаются дробными, принимаются ближайшие целые (меньшие или большие) числа витков w_I и w_{II}, а расчет уточняется за счет учета составляющей тока небаланса $I'''_{нб.расч}$ (обусловленной указанным округлением), как это показано в п. 8 и 9.

При этом для уменьшения тока небаланса $I'''_{нб.расч}$ в ряде случаев целесообразно округлять числа витков $w_{Iрасч}$ и $w_{IIрасч}$ таким образом, чтобы составляющие тока небаланса $I'''_{нб.расч}$ в (7) имели бы противоположные знаки. Однако при этом необходимо проверить, не будет ли больше результирующий ток небаланса $I_{нб.расч}$ в других случаях повреждений, в которых составляющие тока небаланса $I'''_{нб.расч}$ имеют одинаковые знаки.

Следует отметить, что для реле с $F_{с.р} = 100$ *а*, намечаемого к выпуску, неточность от округления числа витков, а следовательно, и значение составляющей тока небаланса $I'''_{нб.расч}$ в общем случае будет меньше, чем для реле с $F_{с.р} = 60$ *а*.

8. Определяется первичный уточненный ток небаланса $I_{нб.расч}$ с учетом составляющей $I'''_{нб.расч}$ по (4) и (7).

9. Определяется уточненный первичный ток срабатывания защиты $I_{с.з}$ по (1), исходя из уточненного значения тока небаланса $I_{нб.расч}$. Этот ток приводится ко вторичным цепям трансформаторов тока основной стороны трансформатора (автотрансформатора) блока.

Если приведенный ток окажется больше тока срабатывания защиты при принятом для основной стороны числе витков, то следует принять для основной стороны новое число витков, ближайшее меньшее по отношению к принимавшемуся ранее. Затем производится пересчет числа витков для других (неосновных) сторон трансформатора (автотрансформатора) блока по (10) и (11). Расчет повторяется до тех пор, пока ток срабатывания защиты, рассчитанный с учетом составляющей $I'''_{нб.расч}$, окажется равным или меньшим тока срабатывания защиты при принятом на данной стадии расчета числе витков.

10. Определяются первичные токи повреждения, соответствующие вторичные токи и коэффициенты чувствительности $k_ч$ по (12) и (13) при расчетных металлических повреждениях на выводах трансформатора (автотрансформатора) блока в расчетных по чувствительности режимах работы станции и систем. При использовании для расчета коэффициента чувствительности выражения (12) необходимо распределить ток повреждения и вычислить вторичные токи на всех питающих сторонах трансформатора (автотрансформатора) блока; при использовании выражения (13) необходимо определить ток в насыщающемся трансформаторе реле в предположении, что весь ток повреждения проходит по стороне, обусловливающей наибольшее питание при рассматриваемом случае повреждения (§ 1, п. 4).

Если полученное значение минимального коэффициента чувствительности в расчетном режиме окажется ниже допустимого, а расчетным для выбора тока срабатывания защиты

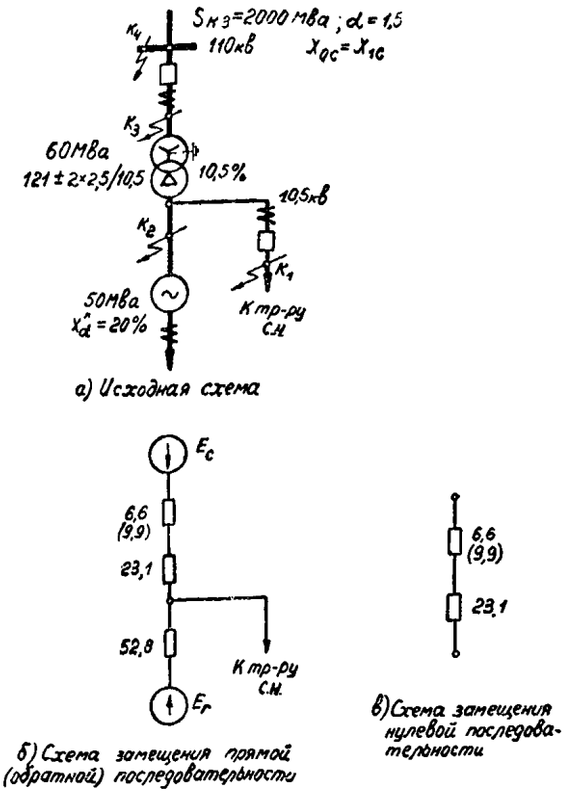


Рис. 35. Исходная схема и схема замещения для примера расчета дифференциальной защиты блока гидрогенератор — двухобмоточный трансформатор, выполненной с реле типа РНТ-562.

Примечания: 1. Сопротивления в схемах замещения рис. 35,*б* и *в* даны в омах, приведенных к напряжению 115 *кв*; для системы 110 *кв* без скобок указаны сопротивления в максимальном режиме, в скобках — в минимальном режиме.

2. На рис. 35,*а* α — отношение сопротивления системы 110 *кв* в минимальном режиме к сопротивлению ее в максимальном режиме.

$I_{с.з}$ является условие отстройки от максимального тока небаланса (1), то для защиты следует использовать реле с торможением типа ДЗТ.

III. Пример расчета

В настоящем примере дан расчет общей дифференциальной защиты блока гидрогенератор — двухобмоточный трансформатор мощностью 50 *Мва* без выключателя между генератором и трансформатором.

Двухобмоточный трансформатор блока 121/10,5 *кв* мощностью 60 *Мва* (используется мощность его в 50 *Мва*) имеет регулирование напряжения на стороне высшего напряжения 2×2,5% номинального, производимое перестановкой ответвлений при отключенном трансформаторе.

Блок имеет ответвление к собственным нуждам с выключателем на стороне генераторного напряжения.

Исходная схема для примера расчета, а также схемы замещения прямой (обратной) и нулевой последовательностей приведены на рис. 35.

Настоящий пример рассчитан в именованных единицах, приведенных к ступени высшего напряжения (115 *кв*) как к базисной.

Расчет производится в следующем порядке.

1. Определяются первичные токи для сторон высшего и низшего напряжения трансформатора защищаемого блока, соответствующие номинальной мощности трансформатора, выбираются трансформаторы тока для защиты и определяются соответствующие вторичные токи в плечах защиты.

Расчеты по п. 1 сведены в табл. 1.

Трансформаторы тока, соединяемые в треугольник (на стороне 110 *кв*), выбираются по первичному току $I_{ном.ген}\sqrt{3}$, исходя из целесообразности не иметь вторичные номинальные токи, значительно превышающие 5 *а*.

2. Определяются максимальные первичные токи, проходящие через защищаемый блок при расчетном трехфазном металлическом коротком замыкании за выключателем ответвления к собственным нуждам (в точке K_1, рис. 35,*а*). Полученные значения токов повреждения приведены на рис. 36,*а*.

Таблица 1

№п/п	Наименование величины	Числовое значение для стороны	
		110 *кв*	10 *кв*
1	Первичные токи на сторонах трансформатора блока, соответствующие его номинальной мощности, *а*	$\frac{60\,000}{\sqrt{3}\cdot 121}=286$	$\frac{60\,000}{\sqrt{3}\cdot 10{,}5}=3\,300$
2	Коэффициент трансформации трансформаторов тока $n_т$	400/5	3 000/5
3	Соединение трансформаторов тока	Δ	Y
4	Вторичные токи в плечах защиты, соответствующие номинальной мощности трансформатора защищаемого блока $I_в$, *а*	6,2	5,5

3. Определяется первичный расчетный ток небаланса $I_{нб.расч}$ без учета составляющей $I'''_{нб.расч}$ (обусловленной неточностью установки на насыщающемся трансформаторе реле расчетных чисел витков) для повреждения за выключателем ответвления.

Исходя из токов, приведенных на рис. 36,*а*, и используя (4), (5) и (6), получим:

$$I_{нб.расч}=|I'_{нб.расч}|+|I''_{нб.расч}|=$$
$$=|k_{апер}k_{одн}f_i I_{к.з.макс}|+|\Delta U_а I_{ак.з.макс}|=$$
$$=1\cdot 1\cdot 0{,}1\cdot 3\,500+0{,}05\cdot 2\,240=462\ а.$$

4. Предварительно определяется первичный ток срабатывания защиты $I_{с.з}$:

а) по условию (1) отстройки от максимального тока небаланса:

$$I_{с.з}\geqslant k_н I_{нб.расч}=1{,}3\cdot 462=600\ а,$$

б) по условию (2) отстройки от броска тока намагничивания трансформатора блока

$$I_{с.з}\geqslant kI_{ном}=1{,}3\cdot 286=372\ а.$$

Таким образом, расчетной для выбора тока срабатывания является отстройка от тока небаланса при внешнем повреждении

$$I_{с.з}=600\ а.$$

5. Производится предварительная проверка чувствительности.

Рассматривается расчетное по чувствительности замыкание между двумя фазами на стороне генераторного напряжения (в точке K_2, рис. 35,*а*), в минимальном режиме работы системы 110 *кв* (рис. 36,*б*), а также замыкание одной фазы на землю на стороне 110 *кв* (в точке K_3 рис. 35,*а*) при отключенном выключателе блока на этой стороне, т. е. повреждение в режиме опробования трансформатора блока (рис. 36,*в*).

Исходя из токов короткого замыкания, приведенных на рис. 36,*б* и *в*, определяются вторичные токи в обмотке насыщающегося трансформатора реле в предположении, что во всех случаях весь ток повреждения проходит по трансформаторам тока, установленным в цепи генератора;

— при замыкании между двумя фазами на стороне генераторного напряжения (рис. 36,*б* и 34,*г*)

$$I_{р.полн}=\frac{I_{к.з}\frac{U_{х.х110}}{U_{х.х10}}}{n_{т10}}=\frac{2\,837\frac{121}{10{,}5}}{3\,000/5}=54{,}4а,$$

— при замыкании одной фазы на землю на стороне 110 *кв* (рис. 36, *в* и 34,*д*)

$$I_{р.полн}=\frac{I_{к.з}\frac{U_{х.х110}}{U_{х.х10}}}{n_{т10}}=\frac{1\,138\frac{121}{10{,}5}}{3\,000/5\cdot\sqrt{3}}=12{,}6\ а.$$

Далее определяется предварительное значение тока срабатывания реле, приведенного также ко вторичным цепям

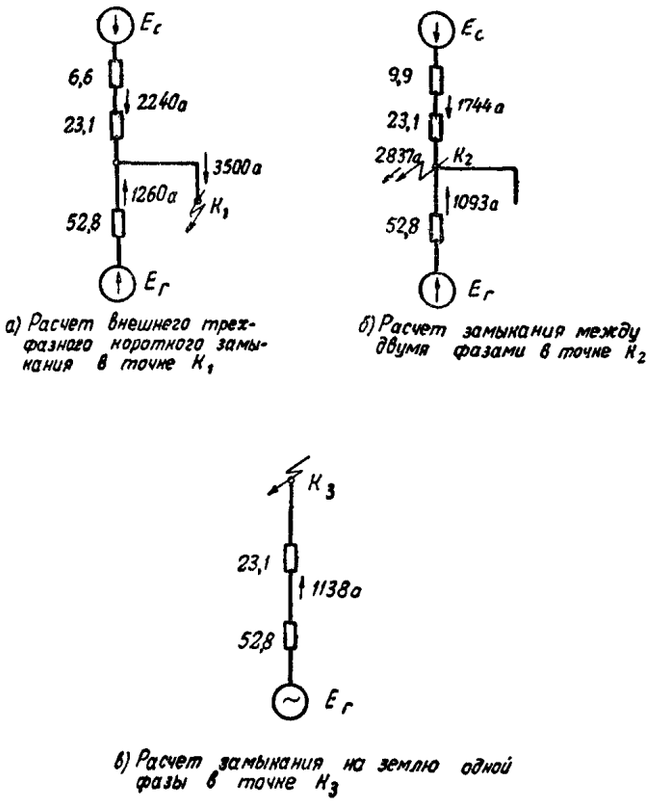


Рис. 36. Токи в блоке по рис. 35,*а* при внешнем и внутренних коротких замыканиях.

Примечание. Сопротивления даны в омах, а токи — в амперах, приведенных к напряжению 115 *кв*.

трансформатора тока, установленных в цепи генератора:

$$I_{с.р}=\frac{I_{с.з}\frac{U_{х.х.110}}{U_{х.х.10}}}{n_{т10}}=\frac{600\cdot\frac{121}{10{,}5}}{3\,000/5}=11{,}5а.$$

Исходя из вторичных токов короткого замыкания и токов срабатывания реле, определяется коэффициент чувствительности защиты по (13):

—при замыкании между двумя фазами на стороне генераторного напряжения

$$k_ч=\frac{I_{р.полн}}{I_{с.р}}=\frac{54{,}4}{11{,}5}=4{,}7;$$

— при замыкании одной фазы на землю на стороне 110 *кв*

$$k_ч=\frac{12{,}6}{11{,}5}=1{,}1.$$

Из приведенного расчета видно, что следует продолжать расчет защиты, выполненной с реле типа РНТ-562, поскольку коэффициент чувствительности при расчетном замыкании между двумя фазами на стороне генераторного напряжения значительно превышает минимально допустимый.

В целях повышения чувствительности защиты к замыканию одной фазы на землю на стороне 110 *кв* в режиме опробования трансформатора блока целесообразно отказаться от учета составляющей тока небаланса $I''_{нб.расч}$, обусловленной регулированием напряжения при отключенном трансформаторе блока. Это принимается в предположении, что на защищаемом блоке рассматриваемое регулирование используется сравнительно редко. При этом расчет и настройка защиты должны производиться для каждого ответвления на стороне высшего напряжения трансформатора блока. Ниже дается расчет для двух крайних ответвлений (+5 и —5%).

6. Производится пересчет первичного тока срабатывания защиты $I_{с.з}$ без учета составляющей тока небаланса $I''_{нб.расч}$.

Определяется первичный расчетный ток небаланса $I_{нб.расч}$, исходя из токов, приведенных на рис. 36,*а* по (4) и (5)

$$I_{нб.расч}=|I'_{нб.расч}|=|k_{апер}\cdot k_{одн}f_i\times$$
$$\times I_{к.з.макс}|=1\cdot 1\cdot 0{,}1\cdot 3\,500=350\ а.$$

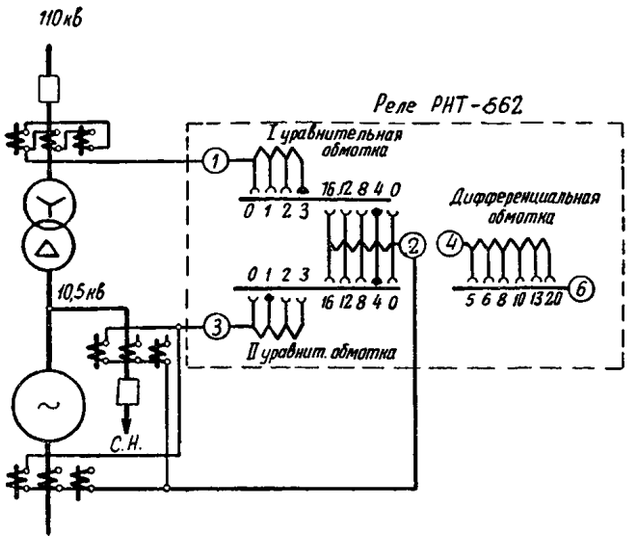


Рис. 37. Схема включения реле типа РНТ-562 в дифференциальной защите блока по рис. 35,*а* для случая работы трансформатора блока на верхнем ответвлении.

Определяется первичный ток срабатывания защиты $I_{с.з}$ по условию (1) отстройки от максимального тока небаланса

$$I_{с.з} \geqslant k_н I_{нб.расч} = 1{,}3 \cdot 350 = 455 \text{ а}.$$

Таким образом, расчетной для выбора тока срабатывания остается отстройка от тока небаланса при внешнем повреждении

$$I_{с.з} = 455 \text{ а}.$$

Ток срабатывания защиты по условию отстройки от броска тока намагничивания трансформатора блока $I_{с.з} = 372$ *а*.)

7. Определяются числа витков обмоток насыщающегося трансформатора реле.

Расчеты показали, что в рассматриваемом примере коэффициент трансформации трансформаторов тока стороны 110 *кв* целесообразно принять равным 600/5, а не 400/5 (табл. 1). Указанное объясняется тем, что при таком выборе трансформаторов тока защита меньше загрубляется из-за невозможности установить на насыщающемся трансформаторе реле числа витков, точно равные расчетным, в связи с меньшим значением составляющей тока небаланса $I'''_{нб.расч}$ в этом случае.

Все дальнейшие расчеты приведены для коэффициента трансформации 600/5.

Определяются вторичные токи в плече защиты на стороне 110 *кв*, соответствующие номинальной мощности трансформатора защищаемого блока,

— для верхнего ответвления

$$I_в = \frac{I_{ном}\sqrt{3}}{1{,}05 \cdot 600/5} = 3{,}93 \text{ а};$$

— для нижнего ответвления

$$I_в = \frac{I_{ном}\sqrt{3}}{0{,}95 \cdot 600/5} = 4{,}35 \text{ а}.$$

Вторичный ток в плече защиты на стороне 10 *кв*, соответствующий той же мощности $I_в = 5{,}5$ *а*, заимствуется из табл. 1.

Определяется число витков обмоток насыщающегося трансформатора реле для основной стороны (стороны с наибольшим вторичным током в плече защиты, определяемым для обеих сторон по номинальной мощности трансформатора блока) и для неосновной стороны 110 *кв* по (8) и (10) (§ II, п. 6 и 7).

Эти числа витков уточняются после учета составляющей тока небаланса $I'''_{нб.расч}$, обусловленной неточностью установки на насыщающемся трансформаторе реле расчетных чисел витков (§ II, п. 8 и 9).

При определении $I'''_{нб.расч}$ по (7) ток на стороне 110 *кв*, исходя из рис. 36,*а*, принимался равным $I_{к.з.макс} = 2\,240$ *а*. Результаты расчетов по п. 7 сведены в табл. 2.

Схема включения реле для случая работы на верхнем ответвлении (+5%) приведена на рис. 37.

8. Определяется чувствительность защиты (§ II, п. 10).

Рассматриваются те же повреждения, что и в п. 5;

а) расчетное по чувствительности замыкание между двумя фазами на стороне генераторного напряжения (в точке K_2, рис. 35,*а*) в минимальном режиме работы системы 110 *кв* (рис. 36,*б*);

б) замыкание одной фазы на землю на стороне 110 *кв* (в точке K_3, рис. 35,*а*) при отключенном выключателе блока на этой стороне (рис. 36,*в*).

Расчеты чувствительности производятся для случая работы на нижнем ответвлении, при работе на верхнем ответвлении в рассматриваемом примере чувствительность будет несколько выше.

Токи в насыщающемся трансформаторе реле при замыкании между двумя фазами на стороне генераторного напряжения равны (рис. 36,*б* и 34,*г*):

— вторичный ток на стороне генераторного напряжения

$$I_{р.осн} = \frac{1\,093 \cdot \dfrac{0{,}95 \cdot 121}{10{,}5}}{3\,000/5} = 20{,}0 \text{ а};$$

—вторичный ток на стороне 110 *кв*

$$I_{р.I} = \frac{1\,744 \cdot \sqrt{3}}{600/5} = 25{,}2 \text{ а}.$$

Коэффициент чувствительности по (12):

$$k_ч = \frac{\Sigma I_р w}{F_{с.р.}} = \frac{20 \cdot 5 + 25{,}2 \cdot 6}{60} = \frac{251}{60} = 4{,}18.$$

Ток в насыщающемся трансформаторе реле и коэффициент чувствительности по (13) при замыкании одной фазы на землю на стороне 110 *кв* и отключенном выключателе блока на этой стороне (рис. 36,*в* и 34,*д*):

$$I_{р.осн} = \frac{1\,138 \cdot \dfrac{0{,}95 \cdot 121}{10{,}5}}{3\,000/5 \cdot \sqrt{3}} = 12{,}0 \text{ а}.$$

$$k_ч = \frac{12}{12} = 1{,}0.$$

Из расчета видно, что рассматриваемая защита имеет хорошую чувствительность при повреждениях в нормальном эксплуатационном режиме, но к замыканию на землю на стороне 110 *кв* при отключенном выключателе блока на этой стороне защита нечувствительна. Как было отмечено выше, при отказе дифференциальной защиты в этом случае повреждение отключается газовой защитой или резервной защитой блока.

В. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА БЛОКОВ ИЛИ ТРАНСФОРМАТОРОВ (АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ) БЛОКОВ, ВЫПОЛНЕННАЯ С РЕЛЕ ТИПА ДЗТ-1

I. Основные указания по расчету

1. Ниже даны основные указания по расчету общей дифференциальной защиты блоков (рис. 1, 2 и 5) и дифференциальной защиты трансформаторов (автотрансформаторов) блоков (рис. 6, 9 и 16), выполненной с реле типа ДЗТ-1, применительно к блокам генератор—двухобмоточный трансформатор, генератор—трехобмоточный трансформатор и генератор—автотрансформатор.

Реле типа ДЗТ-1 характеризуется наличием одной тормозной обмотки в насыщающемся трансформаторе реле, что дает возможность обеспечить торможение от тока в одном комплекте (или от суммарного тока в одной группе комплектов) трансформаторов тока. Характеристика срабатывания реле при наличии торможения $F_{раб} = f(F_{торм})$ неоднозначна и зависит от угла между рабочим $I_{раб.в}$ и тормозным $I_{торм.в}$ токами в насыщающемся трансформаторе реле. На рис. 38 приведены заводские характеристики реле для таких углов между рабочим и тормозным токами, при которых обеспечивается максимальное (кривая *I*) и минимальное (кривая *II*) торможение.

Схема внутренних соединений реле и принципиальные схемы его включения в защите блоков с двух- и трехобмоточным трансформатором (автотрансформатором) показаны на рис. 39.

Использование тормозной обмотки дает возможность не отстраивать ток срабатывания защиты по условию (1) от токов небаланса при таких внешних повреждениях, когда имеется торможение, поскольку недействие защиты в этих случаях обеспечивается торможением. Указанное обусловливает бо́льшую чувствительность защиты по сравнению с ана-

Таблица 2

Наименование величины	Обозначение и метод определения	Числовое значение				
		для верхнего ответвления +5%		для нижнего ответвления −5%		
Ток срабатывания реле на основной стороне (10 *кв*)	$I_{с.р.осн}=\dfrac{I_{с.з}\dfrac{U_{х.х110}}{U_{х.х10}}}{n_{т10}}$	$\dfrac{455\cdot\dfrac{1,05\cdot121}{10,5}}{3\,000/5}=9,2\ a$		$\dfrac{455\cdot\dfrac{0,95\cdot121}{10,5}}{3\,000/5}=8,3\ a$		
Расчетное число витков обмоток насыщающегося трансформатора реле для основной стороны	По (8) $w_{осн.расч}=\dfrac{F_{с.р}}{I_{с.р.осн}}$	$\dfrac{60}{9,2}=6,55$ витка		$\dfrac{60}{8,3}=7,24$ витка		
Предварительно принятое число витков для установки на основной стороне	$w_{осн}$	6 витков	5 витков	7 витков	6 витков	5 витков
Соответствующий ток срабатывания реле на основной стороне	$I_{с.р.осн}=\dfrac{F_{с.р}}{w_{осн}}$	$\dfrac{60}{6}=10\ a$	$\dfrac{60}{5}=12\ a$	$\dfrac{60}{7}=8,57\ a$	$\dfrac{60}{6}=10\ a$	$\dfrac{60}{5}=12\ a$
Расчетное число витков обмоток насыщающегося трансформатора реле для неосновной стороны (110 *кв*)	По (10) $w_{I\,расч}=w_{осн}\cdot\dfrac{I_{осн.в}}{I_{Iв}}$	$6\cdot\dfrac{5,5}{3,93}=$ $=8,4$ витка	$5\cdot\dfrac{5,5}{3,93}=$ $=7$ витков	$7\cdot\dfrac{5,5}{4,35}=$ $=8,85$ витка	$6\cdot\dfrac{5,5}{4,35}=$ $=7,6$ витка	$5\cdot\dfrac{5,5}{4,35}=$ $=6,32$ витка
Предварительно принятое число витков для установки на неосновной стороне	w_I	8	7	9	8	6
Составляющая первичного тока небаланса, обусловленная округлением расчетного числа витков для неосновной стороны	По (7) $I'''_{н.б.расч}=\dfrac{w_{I\,расч}-w_I}{w_{I\,расч}}I_{Iк.з.макс}$	$\dfrac{8,4-8}{8,4}\cdot2\,240=$ $=102\ a$	0	$\dfrac{8,85-9}{8,85}\cdot2\,240=$ $=-38\ a$	$\dfrac{7,6-8}{7,6}\cdot2\,240=$ $=-118\ a$	$\dfrac{6,32-6}{6,32}\cdot2\,240=$ $=113\ a$
Первичный расчетный ток небаланса с учетом составляющей $I'''_{нб.расч}$	По (4) $I_{нб.расч}=\lvert I'_{нб.расч}\rvert+\lvert I'''_{нб.расч}\rvert$	$350+102=$ $=452\ a$	—	$350+38=$ $=388\ a$	$350+118=$ $=468\ a$	$350+113=$ $=463\ a$
Уточненное значение первичного тока срабатывания защиты	По (1) $I_{с.з}\geqslant k_н I_{нб.расч}$	$1,3\cdot452=$ $=588\ a$	—	$1,3\cdot388=505\ a$	$1,3\cdot468=$ $=608\ a$	$1,3\cdot463=$ $=601\ a$
Уточненный ток срабатывания реле на основной стороне	$I_{с.р.осн}=\dfrac{I_{с.з}\dfrac{U_{х.х110}}{U_{х.х10}}}{n_{т10}}$	$\dfrac{588\cdot\dfrac{1,05\cdot121}{10,5}}{3\,000/5}=$ $=11,8\ a$	—	$\dfrac{505\cdot\dfrac{0,95\cdot121}{10,5}}{3\,000/5}=$ $=9,2\ a$	$\dfrac{608\cdot\dfrac{0,95\cdot121}{10,5}}{3\,000/5}=$ $=11,1\ a$	$\dfrac{601\cdot\dfrac{0,95\cdot121}{10,5}}{3\,000/5}=$ $=11\ a$
Окончательно принятые числа витков обмоток насыщающегося трансформатора реле для установки на основной (10 *кв*) и неосновной (110 *кв*) сторонах	$w_{осн}$ w_I	5 витков 7 витков		5 витков 6 витков		

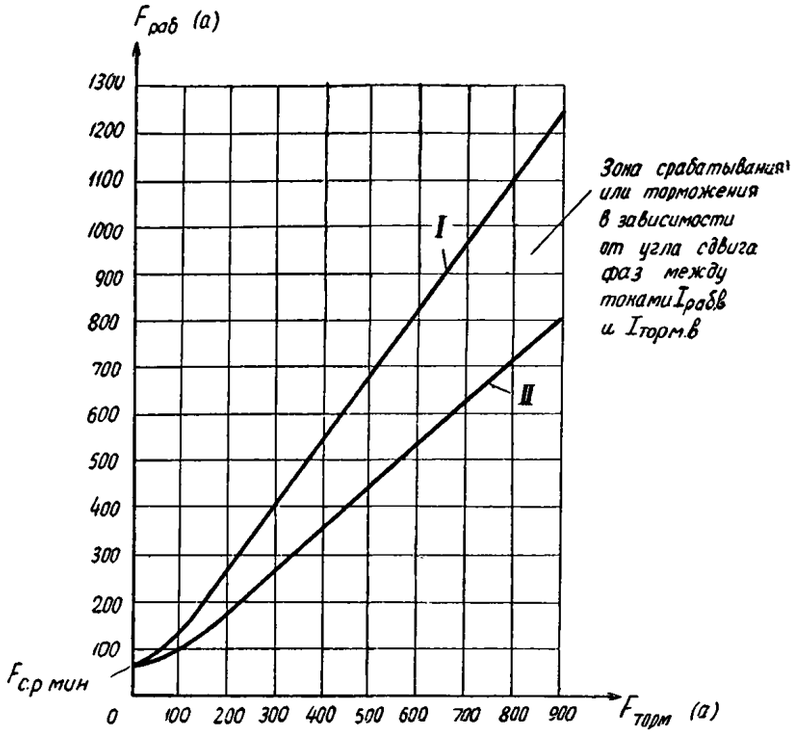


Рис. 38. Характеристики срабатывания реле типа ДЗТ-1.

Примечания: 1. Кривые заимствованы из инструкции Чебоксарского электроаппаратного завода по монтажу и эксплуатации реле типа ДЗТ-1.

2. Кривые обозначены: *I* — характеристика срабатывания, соответствующая максимальному торможению; *II* — характеристика срабатывания, соответствующая минимальному торможению.

логичной защитой без торможения (выполненной с реле типов РНТ-562 или РНТ-563).

Необходимость в использовании реле типа ДЗТ-1 для дифференциальной защиты блоков может возникнуть в первую очередь:

а) для блоков с двухобмоточным или трехобмоточным трансформатором, имеющих выключатель в ответвлении на собственные нужды (рис. 40,*а* и *б*);

б) для блоков с двухобмоточным или трехобмоточным трансформатором или автотрансформатором, присоединенных к мощной системе через два выключателя (рис. 40,*в*);

в) для блоков с трехобмоточным трансформатором, не имеющих питания с одной из сторон (рис. 40,*г*).

2. Недействие защиты при таких внешних повреждениях, когда торможение отсутствует (по тормозной обмотке насыщающегося трансформатора реле ток не проходит, например, при отключении стороны, на которой она установлена), а также при включении ненагруженного трансформатора (автотрансформатора) блока под напряжение, обеспечивается выбором минимального тока срабатывания защиты $I_{с.з.мин}$ по тем же условиям, что и тока срабатывания защиты $I_{с.з}$, выполненной с реле типа РНТ-562 (разд. Б, § 1, п. 2).

а) По условию отстройки от расчетного максимального тока небаланса $I_{нб.расч}$ при переходном режиме внешних коротких замыканий, определяемого с учетом влияния насыщающегося трансформатора, имеющегося в реле, т. е. по (1), в котором коэффициент надежности $k_н$ принимается равным 1,5.

б) По условию отстройки от броска тока намагничивания при включении ненагруженного трансформатора (автотрансформатора) блока под напряжение, т. е. по выражению (2), в котором коэффициент k принимается равным 1,2—1,5.

в) По условию отстройки от максимального тока короткого замыкания при повреждении за трансформатором или реактором ответвления к собственным нуждам в случае, когда на этом ответвлении не установлены трансформаторы тока рассматриваемой дифференциальной защиты (см. схему по рис. 16) т. е. по выражению (3).

Увеличенные значения коэффициентов в (1) и (2) принимаются в связи с тем, что реле типа ДЗТ-1 имеет худшие параметры в отношении отстройки от неустановившихся токов из-за отсутствия в насыщающемся трансформаторе реле короткозамкнутой обмотки, как в реле типа РНТ-562. Указанное учитывается при отстройке от броса тока намагничивания увеличением коэффициента k в (2) и при отстройке от расчетного максимального тока небаланса условно (в целях упрощения расчета) увеличением коэффициента $k_н$ в (1).

Расчетный ток небаланса $I_{нб.расч}$ для выбора тока срабатывания защиты $I_{с.з.мин}$ по условию «а» определяется по (4), (5), (6) и (7).

3. Числа витков рабочих (уравнительных и дифференциальной) обмоток насыщающегося трансформатора реле, соответствующие току $I_{с.з.мин}$, определяются аналогично тому, как в расчете защиты, выполненной с реле типа РНТ-562, т. е. по (8) — для основной стороны и по (10) и (11) — для неосновных сторон.

Выбор числа витков тормозной обмотки дан ниже в п. 5.

4. Выбор стороны, к трансформаторам тока которой целесообразно присоединять тормозную обмотку, должен производиться таким образом, чтобы обеспечить возможно большую чувствительность защиты. Для этого следует стремиться иметь:

меньшее значение минимального тока срабатывания защиты $I_{с.з.мин}$,

меньшее торможение при расчетном по чувствительности внутреннем повреждении (практически, когда это не противоречит первому условию).

В ряде случаев целесообразное место установки тормозной обмотки может быть выявлено на основании непосредственного рассмотрения схемы блока.

Так, например, для блоков по рис. 40 тормозную обмотку в большинстве случаев целесообразно присоединять:

а) на блоках с двухобмоточным трансформатором или трехобмоточным трансформатором (автотрансформатором) с трехсторонним питанием, имеющих выключатель в ответвлении к собственным нуждам, без выключателя в цепи генератора — к трансформаторам тока, установленным на ответвлении к собственным нуждам (рис. 40,*а*); для блоков с трехобмоточным трансформатором (автотрансформатором) в некоторых случаях может оказаться целесообразным включение тормозной обмотки на сумму токов в генераторе и ответвлении к собственным нуждам аналогично тому, как на рис. 40,*б*, чтобы не отстраивать минимальный ток срабатывания защиты от полного тока небаланса при повреждениях в системах;

б) на блоках с трехобмоточным трансформатором (автотрансформатором) с трехсторонним питанием, имеющих выключатель в ответвлении к собственным нуждам и выключатель в цепи генератора, — к параллельно соединенным трансформаторам тока, установленным в цепях этих выключателей, т. е. включать тормозную обмотку на сумму токов в генераторе и в ответвлении к собственным нуждам (рис. 40,*б*), чтобы не отстраивать минимальный ток срабатывания защиты от тока небаланса при повреждении в генераторе;

в) на блоках с двухобмоточным или трехобмоточным трансформатором (автотрансформатором), присоединенных к мощной системе через два выключателя, — к трансформаторам тока, установленным в цепи одного из этих выключателей (рис. 40,*в*);

г) на блоках с трехобмоточным трансформатором (автотрансформатором), не имеющих питания со стороны среднего напряжения, без выключателей в ответвлении к собственным нуждам и в цепи генератора — к трансформаторам тока, установленным на стороне среднего напряжения, с которой отсутствует питание (рис. 40,*г*).

Для выбора места установки тормозной обмотки в общем случае можно поступить следующим образом. Задаваясь местом установки тормозной обмотки последовательно на каждой стороне и полагая эту сторону отключенной, определяют значения максимального расчетного тока небаланса $I_{нб.расч}$ при отсутствии торможения и соответствующего минимального тока срабатывания защиты $I_{с.з.мин}$ по (1), (2) и (3) для всех рассматриваемых вариантов установки тормозной обмотки.

Выбирается такое место установки тормозной обмотки, которому соответствует наименьшее значение минимального тока срабатывания защиты $I_{с.з.мин}$, поскольку в большинстве случаев при этом будет иметь место и наибольшая чувствительность защиты. Однако, если в двух вариантах установки тормозной обмотки минимальный ток срабатывания защиты $I_{с.з.мин}$ получится примерно одинаковым [или точно совпадет, что может иметь место в случаях, когда он определяется выражениями (2) или (3)], то тормозную обмотку следует установить с той из этих сторон, где она будет создавать меньшее торможение при расчетном по чувствительности внутреннем повреждении, чтобы обеспечивалась большая чувствительность.

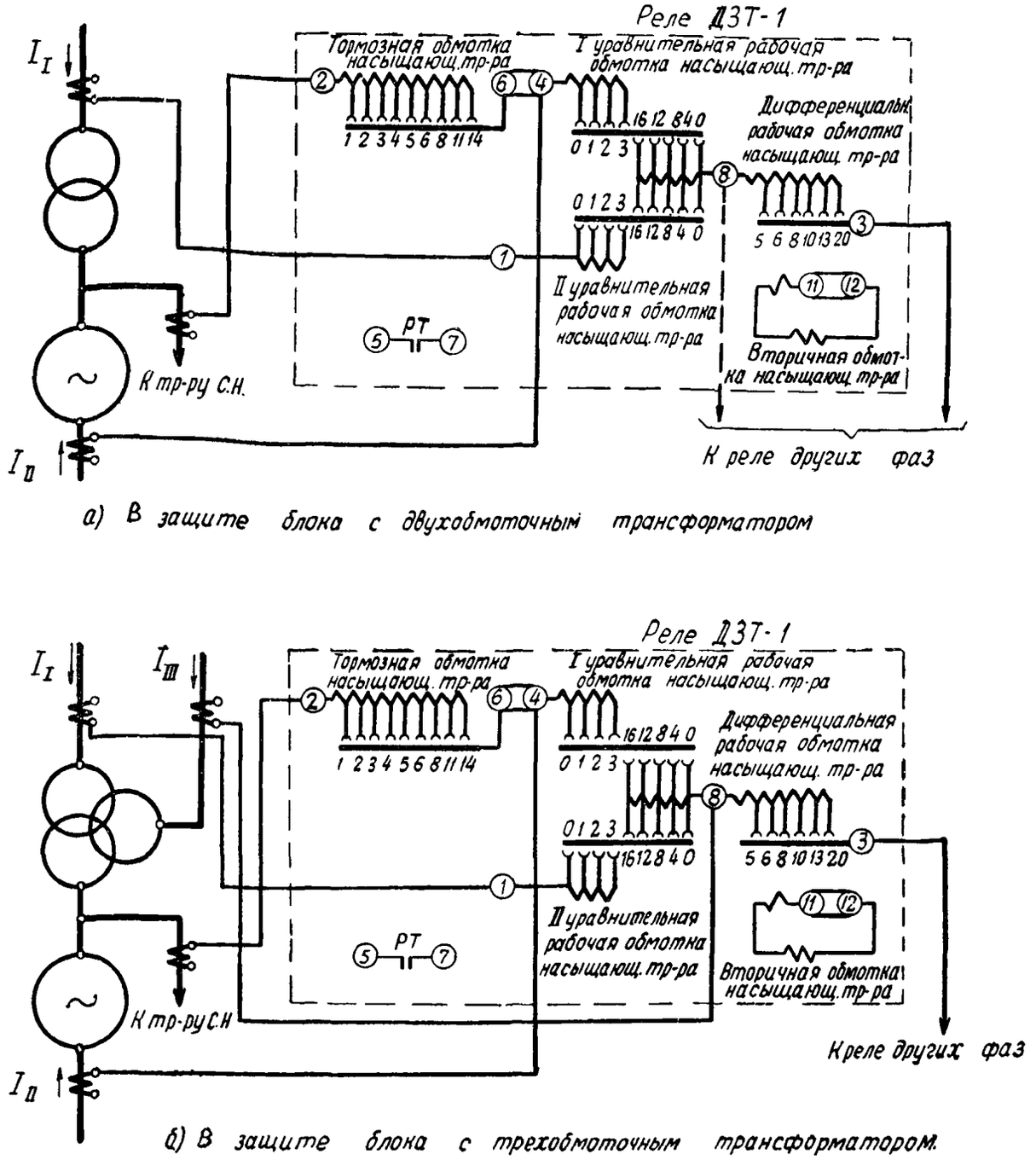


Рис. 39. Схема внутренних соединений и принципиальные схемы включения реле типа ДЗТ-1.

Следует отметить, что в тех случаях, когда тормозная обмотка включается на ток не той стороны, при внешнем повреждении на которой имеет место максимальный ток небаланса $I_{\text{нб.расч}}$, может оказаться, что необходимое число витков тормозной обмотки будет настолько большим, что не удовлетворится требуемая чувствительность при внутренних повреждениях с торможением. В этих случаях следует повторить расчет, приняв другое место установки тормозной обмотки (которому соответствует наименьшее значение минимального тока срабатывания защиты $I_{\text{с.з.мин}}$ из оставшихся вариантов).

5. Недействие защиты при таких внешних повреждениях, когда имеет место торможение (по тормозной обмотке насыщающегося трансформатора реле проходит ток), обеспечивается, исходя из характеристики срабатывания реле, соответствующей минимальному торможению (кривая *II* на рис. 38).

В целях упрощения расчета рассматриваемая характеристика срабатывания реле заменяется касательной к ней, проведенной из начала координат (рис. 41,*а*), что обусловливает дополнительный запас по надежности недействия реле при внешних повреждениях.

Очевидно, что недействие защиты будет обеспечено, если все точки, соответствующие возможным при внешних повреждениях отношениям рабочей к тормозной н. с., в плоскости $F_{\text{раб}}$, $F_{\text{торм}}$ будут лежать надежно ниже этой касательной, т. е. если возможные отношения рабочей к тормозной н. с. будут с запасом меньше тангенса угла α наклона касательной к оси абсцисс:

$$k_{\text{н}} \frac{I_{\text{раб.в}} w_{\text{раб.расч}}}{I_{\text{торм.в}} w_{\text{торм}}} \leqslant \operatorname{tg} \alpha, \qquad (14)$$

где

$I_{\text{раб.в}}$ и $I_{\text{торм.в}}$ — рабочий и тормозной токи, приведенные ко вторичной цепи тех трансформаторов тока, к которым присоединена тормозная обмотка насыщающегося трансформатора реле;

$w_{\text{торм}}$ — используемое число витков тормозной обмотки насыщающегося трансформатора реле;

$w_{\text{раб.расч}}$ — расчетное число витков рабочей обмотки насыщающегося трансформатора реле на стороне, к которой присоединена тормозная обмотка;

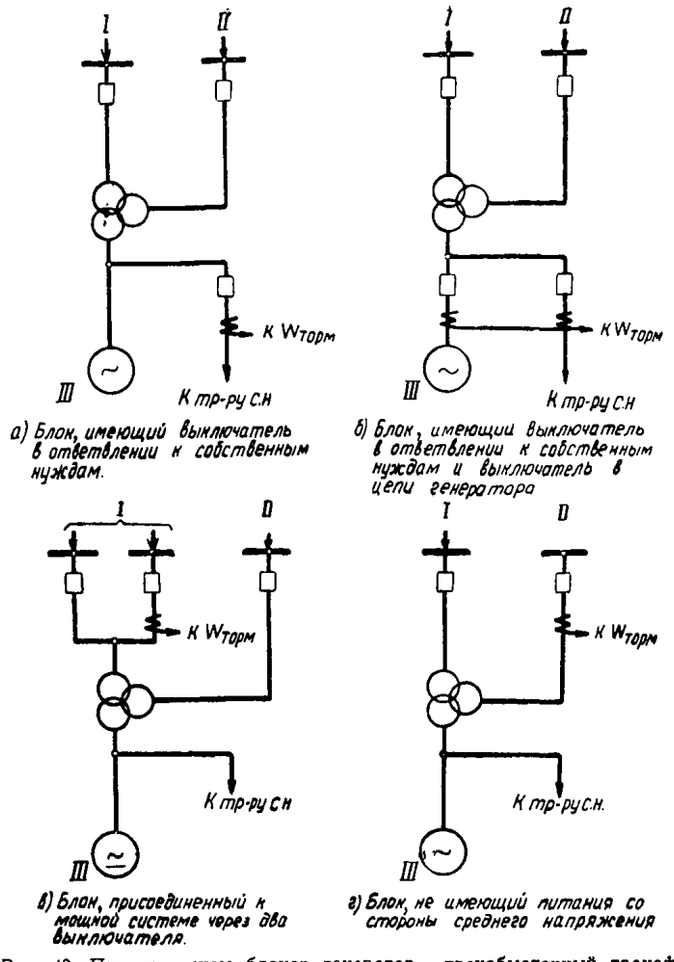


Рис. 40. Примеры схем блоков генератор — трехобмоточный трансформатор (автотрансформатор), для защиты которых может потребоваться реле типа ДЗТ-1.

$\mathrm{tg}\,\alpha$ — тангенс угла наклона к оси абсцисс касательной, проведенной из начала координат к характеристике срабатывания реле, соответствующей минимальному торможению; исходя из заводской характеристики срабатывания реле принимается равным $\sim 0{,}83$ (рис. 41,*а*);

$k_н$ — коэффициент надежности, учитывающий ошибку реле и необходимый запас; может быть принят равным 1,5, аналогично тому, как в (1).

Из неравенства (14), учитывая, что отношение вторичных токов $I_{раб.в}/I_{торм.в}$ равно отношению соответствующих первичных токов $I_{раб}/I_{торм}$, а также, что при внешних повреждениях рабочий ток $I_{раб}$ равен току небаланса $I_{нб.расч}$, для определения необходимого числа витков тормозной обмотки насыщающегося трансформатора реле, удовлетворяющих условию (14), получаем следующее выражение:

$$w_{торм} \geqslant \frac{k_н I_{нб.расч}}{I_{торм}} \cdot \frac{w_{раб.расч}}{\mathrm{tg}\,\alpha}, \qquad (15)$$

где

$I_{нб.расч}$ и $I_{торм}$ — соответственно первичный ток небаланса, определяемый по (4), и первичный тормозной ток при повреждении, расчетном для выбора числа витков тормозной обмотки насыщающегося трансформатора реле.

Расчетным для определения необходимого числа витков тормозной обмотки по (15), т. е. обусловливающим максимальное число необходимых витков, явится металлическое трехфазное короткое замыкание в таком режиме работы, когда будет наибольшим отношение:

$$\Delta I = \frac{k_н I_{нб.расч}}{I_{торм}}. \qquad (16)$$

Для определения максимального значения ΔI должны рассматриваться короткие замыкания на тех сторонах, от повреждений на которых отстройка производится с помощью торможения. При этом в общем случае следует провести ряд расчетов для реально возможных режимов работы трансформатора (автотрансформатора) блока и питающих систем.

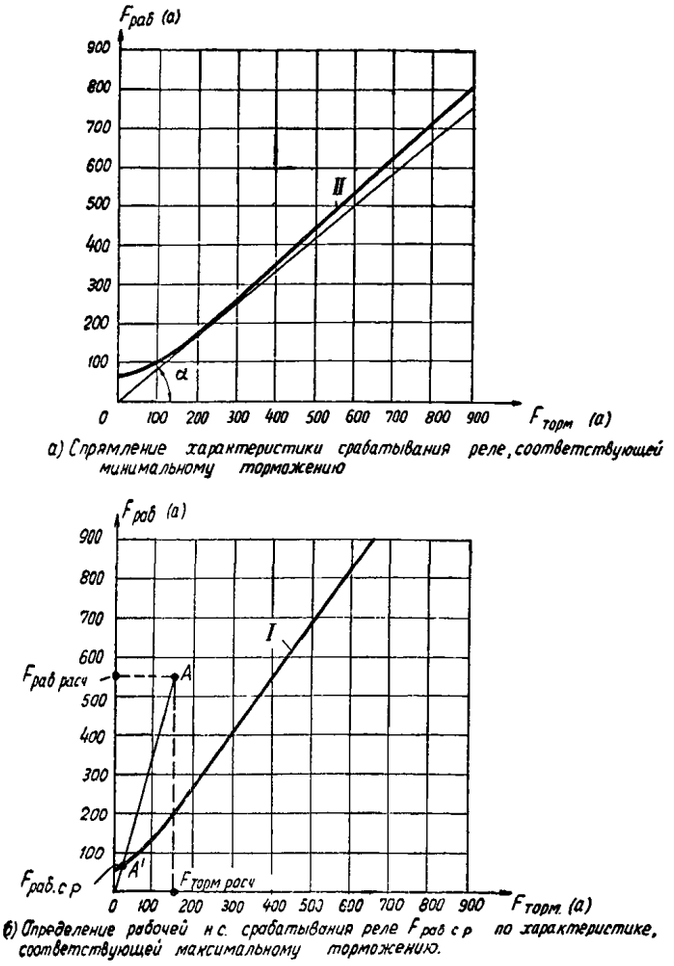
В приложении VI даны указания по выбору расчетных режимов для некоторых типичных схем, приведенных на рис. 40.

Расчет может производиться по выражению (15), исходя из спрямляющей касательной ($\mathrm{tg}\,\alpha \approx 0{,}83$), когда рабочая н. с., обусловленная током небаланса [см. числитель правой части выражения (15)], больше 100 *а*. В случаях, когда рабочая н. с. меньше 100 *а*, действительная характеристика значительно отличается от спрямляющей касательной и пользование последней приводит к выбору завышенного числа витков тормозной обмотки. С другой стороны, определение расчетного режима для пользования действительной характеристикой затруднено в связи с тем, что с увеличением отношения ΔI по (16) для действительной характеристики (кривая *II* на рис. 38) увеличивается также и $\mathrm{tg}\,\alpha$. Практически в рассматриваемых случаях можно ограничиться выбором числа витков тормозной обмотки по повреждениям на других сторонах и проверкой недействия защиты с выбранным числом витков при повреждении на данной стороне.

Указанная проверка производится по (15), в котором значение $\mathrm{tg}\,\alpha$ должно быть принято по действительной характеристике для соответствующего значения тормозной н. с. $F_{торм}$ (см. ниже пример расчета).

6. Чувствительность защиты при повреждениях в защищаемой зоне в таких режимах, когда торможение отсутствует, характеризуется коэффициентом чувствительности, определяемым по (12) или (13). Расчетные режимы и виды повреждения, а также минимально допустимое значение коэффициента чувствительности аналогичны таковым для защиты, выполненной с реле типа РНТ-562.

7. Чувствительность защиты при повреждениях в защищаемой зоне в таких режимах, когда имеется торможение (по тормозной обмотке насыщающегося трансформатора реле про-



а) Спрямление характеристики срабатывания реле, соответствующей минимальному торможению

б) Определение рабочей н.с. срабатывания реле $F_{раб.ср}$ по характеристике, соответствующей максимальному торможению.

Рис. 41. Расчет защиты, выполненной с реле типа ДЗТ-1.

ходит ток), определяется, исходя из характеристики срабатывания реле, соответствующей максимальному торможению (кривая *1* на рис. 38), и оценивается коэффициентом чувствительности $k_{ч.торм}$, вычисляемым по выражению

$$k_{ч.торм} = \frac{F_{раб}}{F_{раб.с.р}}, \quad (17)$$

где

$F_{раб}$ — рабочая н. с. насыщающегося трансформатора реле при рассматриваемом металлическом коротком замыкании;

$F_{раб.с.р}$ — рабочая н. с. срабатывания реле в условиях, когда защита находится на грани срабатывания при рассматриваемом коротком замыкании, но не металлическом, а через переходное сопротивление.

Рабочая н. с. насыщающегося трансформатора реле $F_{раб}$ определяется по выражению

$$F_{раб} = \Sigma I_{раб.в} w_{раб}, \quad (18)$$

где

$I_{раб.в}$ — вторичные токи на отдельных сторонах с учетом их знака при рассматриваемом металлическом коротком замыкании;

$w_{раб}$ — числа витков рабочих обмоток насыщающегося трансформатора реле, используемых на отдельных сторонах.

При одностороннем питании, а также в целях упрощения при многостороннем питании рабочая н. с. насыщающегося трансформатора реле $F_{раб}$ может определяться по выражению

$$F_{раб} = I_{раб.в.полн} w_{раб.пит}, \quad (19)$$

где

$I_{раб.в.полн}$ — ток в рабочей обмотке насыщающегося трансформатора реле при рассматриваемом металлическом коротком замыкании (при многостороннем питании в предположении, что он полностью проходит по стороне основного питания);

$w_{раб.пит}$ — число витков рабочей обмотки насыщающегося трансформатора реле, используемых на питающей стороне (при многостороннем питании — на стороне основного питания).

Токи в рабочих обмотках насыщающегося трансформатора реле $I_{раб.в}$ и $I_{раб.в.полн}$, входящие в (18) и (19), должны определяться с учетом вида повреждения и схем соединения трансформаторов тока защиты (рис. 34).

Рабочая н. с. срабатывания реле $F_{раб.с.р}$, входящая в (17), определяется по характеристике срабатывания реле, соответствующей максимальному торможению (кривая *1* на рис. 38), следующим образом:

а) Определяется тормозная н. с. насыщающегося трансформатора реле $F_{торм}$ при рассматриваемом металлическом коротком замыкании по выражению

$$F_{торм} = I_{торм.в} w_{торм}, \quad (20)$$

где

$I_{торм.в}$ — ток в тормозной обмотке насыщающегося трансформатора реле при рассматриваемом металлическом коротком замыкании; определяется с учетом вида повреждения и схем соединения трансформаторов тока защиты (рис. 34);

$w_{торм}$ — установленное число витков тормозной обмотки насыщающегося трансформатора реле.

б) На плоскость $F_{раб}$, $F_{торм}$ наносится точка, соответствующая $F_{раб}$, определенной по (18) или (19), и $F_{торм}$, определенной по (20), т. е. соответствующая рассматриваемому случаю металлического короткого замыкания (точка *A* на рис. 41,*б*).

в) Проводится прямая, соединяющая точку, соответствующую рассматриваемому случаю металлического короткого замыкания, с началом координат (прямая *AO* на рис. 41,*б*). Эта прямая явится геометрическим местом точек, соответствующих рассматриваемому случаю короткого замыкания через различные переходные сопротивления, поскольку при появлении и увеличении переходного сопротивления в месте повреждения токораспределение, а следовательно, и соотношение между рабочими и тормозным токами и н. с. не изменяется.

Точка пересечения этой прямой с расчетной по чувствительности характеристикой срабатывания реле, соответствующей максимальному торможению (точка *A'* на рис. 41,*б*) будет являться точкой, где защита находится на грани срабатывания и, следовательно, соответствующая этой точке рабочая н. с. будет являться рабочей н. с. срабатывания $F_{раб.с.р}$ при рассматриваемом случае короткого замыкания, но через переходное сопротивление.

Расчетным для определения чувствительности является металлическое повреждение на выводах трансформатора (автотрансформатора) блока в реально возможном режиме работы станции и систем, обусловливающем минимальный ток при рассматриваемом виде повреждения. При этом должны учитываться такие режимы работы защищаемого блока, при которых возможно бо́льшая доля тока повреждения проходит через тормозную обмотку. На сторонах, примыкающих к сети с большим током замыкания на землю, должны рассматриваться как междуфазные повреждения, так и однофазное замыкание на землю аналогично тому, как для защиты, выполненной с реле типа РНТ-562.

В соответствии с Правилами устройства электроустановок (разд. III) минимальный коэффициент чувствительности $k_{ч.торм}$ по (17) допускается порядка 2,0. Для случаев опробования, а также работы трехобмоточного трансформатора или автотрансформатора блока с отключенным выключателем с одной из сторон требования к чувствительности могут быть снижены аналогично тому, как в расчете чувствительности при отсутствии торможения.

Следует отметить, что при оценке чувствительности защиты по (17), учитывая возможность смещения характеристики срабатывания из-за погрешности реле, необходимо также, чтобы точки, соответствующие расчетным случаям повреждений (например, точка *A* на рис. 41,*б*), находились от расчетной по чувствительности характеристики срабатывания реле на расстояниях, не меньших, чем 10% координат точки. Указанное является необходимым условием надежной работы реле.

8. На блоках генератор—трансформатор в тех случаях, когда требуется торможение только от тока в ответвлении к собственным нуждам и считается нецелесообразной установка на этом ответвлении трансформаторов тока шинного типа с большим коэффициентом трансформации, для дифференциальной защиты могут использоваться установленные на ответвлении трансформаторы тока с первичным номинальным током, соответствующим номинальному току ответвления. При этом защита выполняется с помощью реле типа ДЗТ-1, тормозная обмотка которого присоединяется к трансформаторам тока, установленным на ответвлении, и не присоединяется к дифференциальной цепи (гл. 1 разд. А, § III, п. 9). Число витков тормозной обмотки насыщающегося трансформатора реле в такой схеме грубо может быть определено, исходя из следующего выражения, составленного по аналогии с выражением (14):

$$w_{торм} \geqslant \frac{k_н I_{раб.в.полн} w_{раб}}{I_{торм.в} \operatorname{tg} \alpha}, \quad (21)$$

где

$I_{раб.в.полн}$ — максимальный возможный ток в рабочей обмотке насыщающегося трансформатора реле при внешнем коротком замыкании на ответвлении к собственным нуждам в предположении, что он полностью проходит по стороне основного питания;

$w_{раб}$ — число витков рабочей обмотки насыщающегося трансформатора реле, используемых на стороне основного питания;

$I_{торм.в}$ — ток в тормозной обмотке насыщающегося трансформатора реле; при кратностях тока повреждения, превышающих кратность, соответствующую 10% погрешности установленных на ответвлении трансформаторов тока, в качестве $I_{торм.в}$ принимается ток, соответствующий 10% погрешности;

$\operatorname{tg} \alpha$ и $k_н$ — как в выражении (14).

II. Рекомендуемый порядок расчета

В соответствии с приведенными выше общими указаниями ниже дается порядок расчета дифференциальной защиты, выполненной с реле типа ДЗТ-1. При этом предполагается, что необходимость применения реле типа ДЗТ-1 выявлена на основании рассмотрения заданной схемы и ее параметров.

В тех случаях, когда необходимость применения реле типа ДЗТ-1 выявляется на основании предварительного расчета защиты, выполненной с реле типа РНТ-562, ряд приведенных ниже операций не производится ввиду того, что соответствующие значения могут быть заимствованы из предварительного расчета.

Расчет защиты, выполненной с реле типа ДЗТ-1, производится в следующем порядке.

1. Определяются первичные токи для всех сторон трансформатора (автотрансформатора) блока, соответствующие номинальной мощности трансформатора (номинальной мощности его наиболее мощной обмотки) для блока генератор—трансформатор и проходной мощности автотрансформатора для блока генератор—автотрансформатор.

Исходя из коэффициентов трансформации, используемых для защиты трансформаторов тока, определяются соответствующие вторичные токи в плечах защиты $I_{\text{Iв}}$, $I_{\text{IIв}}$ и $I_{\text{IIIв}}$.

2. Выбирается сторона, к трансформаторам тока которой наиболее целесообразно присоединять тормозную обмотку насыщающегося трансформатора реле, исходя из соображений, приведенных выше в § I, п. 4.

В общем случае, задаваясь местом установки тормозной обмотки последовательно на всех сторонах и полагая эту сторону отключенной (для блока, присоединенного к мощной системе через два выключателя, как на рис. 40,*в*, отключенным принимается только тот из выключателей, на ток которого предполагается включенной тормозная обмотка), определяются:

а) первичные максимальные токи короткого замыкания, проходящие через трансформатор (автотрансформатор) блока при таких внешних повреждениях, когда торможение отсутствует;

б) значения соответствующих первичных токов небаланса $I_{\text{нб.расч}}$ без учета составляющей $I'''_{\text{нб.расч}}$ по (4), (5) и (6);

в) первичный максимальный ток короткого замыкания при повреждении за трансформатором или реактором собственных нужд — для блоков, имеющих ответвление к собственным нуждам, на котором не установлены трансформаторы тока рассматриваемой дифференциальной защиты;

г) ориентировочное значение первичного минимального тока срабатывания защиты $I_{\text{с.з.мин}}$ без учета составляющей тока небаланса $I'''_{\text{нб.расч}}$ по (1), (2) и (3).

Исходя из этих расчетов, выбирается такое место присоединения тормозной обмотки, которому соответствует наименьшее значение минимального тока срабатывания защиты $I_{\text{с.з.мин}}$.

Если в двух вариантах установки тормозной обмотки минимальный ток срабатывания защиты $I_{\text{с.з.мин}}$ получится примерно одинаковым, то следует определить коэффициенты чувствительности $k_{\text{ч}}$ или $k_{\text{ч.торм}}$ по (12), (13) или (17) при расчетном внутреннем повреждении для обоих вариантов установки тормозной обмотки. Затем выбирается такое место установки тормозной обмотки, которому соответствует наибольшая чувствительность при расчетном внутреннем повреждении.

3. В тех случаях, когда целесообразное место установки тормозной обмотки выявляется на основании непосредственного рассмотрения схемы блока в соответствии с § I, п. 4, исходя из принятого места установки тормозной обмотки определяется ориентировочное значение первичного минимального тока срабатывания защиты $I_{\text{с.з.мин}}$ без учета составляющей тока небаланса $I'''_{\text{нб.расч}}$.

Расчет производится в соответствии с п. 2а, б, в и г.

4. Определяются числа витков рабочей обмотки насыщающегося трансформатора реле для основной стороны (стороны с наибольшим вторичным током по п. 1 в плече защиты) и для других сторон трансформатора (автотрансформатора) блока.

Расчет производится в той же последовательности, что и для защиты, выполненной с реле типа РНТ-562 (разд. Б, § II, пп. 6 и 7), учитывая при этом, что минимальная н. с. срабатывания (при отсутствии торможения) для реле типа ДЗТ-1 также равна $F_{\text{с.р.мин}}=60$ *а*.

В случае необходимости полученные числа витков рабочей обмотки насыщающегося трансформатора реле уточняются за счет учета составляющей тока небаланса $I'''_{\text{нб.расч}}$, обусловленной неточностью установки на насыщающемся трансформаторе реле расчетных чисел витков рабочей обмотки, аналогично тому, как для реле типа РНТ-562 (разд. Б, § II, пп. 8 и 9). При этом в расчет вводится составляющая $I'''_{\text{нб.расч}}$, соответствующая внешнему повреждению при отсутствии торможения, являющемуся расчетным для определения минимального тока срабатывания защиты $I_{\text{с.з.мин}}$ (см. пп. 2 и 3).

5. Определяется необходимое число витков тормозной обмотки насыщающегося трансформатора реле. Для этого по (4), (5), (6) и (7) определяется первичный ток небаланса $I_{\text{нб.расч}}$, а также первичный тормозной ток $I_{\text{торм}}$ в расчетных режимах работы систем при повреждениях, отстройка от которых производится с помощью торможения (§ I, п. 5).

Далее, исходя из наибольшего отношения этих токов и расчетного числа витков рабочей обмотки насыщающегося трансформатора реле $w_{\text{раб.расч}}$ для стороны, к которой присоединяется тормозная обмотка, полученного в п. 4 расчета, по (15) определяется необходимое число витков тормозной обмотки насыщающегося трансформатора реле $w_{\text{торм}}$.

6. Определяются первичные токи повреждения, соответствующие вторичные токи и коэффициенты чувствительности $k_{\text{ч}}$ по (12) или (13) при расчетных металлических повреждениях на выводах трансформатора (автотрансформатора) блока в минимальных режимах работы систем для случаев, когда отсутствует торможение. Расчет производится аналогично тому, как для защиты с реле типа РНТ-562 (разд. Б, § II, п. 10).

7. Определяются первичные токи в месте повреждения, соответствующие вторичные токи в рабочей обмотке насыщающегося трансформатора реле $I_{\text{раб.в}}$ на отдельных сторонах трансформатора (автотрансформатора) блока и ток в тормозной обмотке насыщающегося трансформатора реле $I_{\text{торм.в}}$ при металлических повреждениях разных видов на выводах трансформатора (автотрансформатора) блока для случаев, когда имеется торможение и в расчетных по чувствительности условиях. Расчетным является минимальный режим работы питающих систем и такой режим работы (отключение части выключателей) трансформатора (автотрансформатора) блока, при котором возможно большая доля тока повреждения проходит через тормозную обмотку.

Следует отметить, что влияние торможения будет больше в максимальном режиме работы системы, ток от которой проходит через тормозную обмотку, однако увеличение тока повреждения сильнее влияет на результат расчета, чем увеличение торможения, и значение коэффициента чувствительности в этом случае получится больше.

8. Исходя из значений токов в рабочей и тормозной обмотках насыщающегося трансформатора реле, полученных в п. 7, по (18) или (19) и по (20) определяются рабочая н. с. $F_{\text{раб}}$ и тормозная н. с. $F_{\text{торм}}$ насыщающегося трансформатора реле в рассматриваемых случаях повреждений.

9. Исходя из расчетной по чувствительности характеристики срабатывания реле (соответствующей максимальному торможению) и значений рабочей $F_{\text{раб}}$ и тормозной н. с. $F_{\text{торм}}$, полученных в п. 8, графически определяются рабочая н. с. срабатывания реле $F_{\text{раб.с.р}}$ в случае, когда защита в рассмотренных выше расчетных по чувствительности условиях находится на грани срабатывания из-за наличия переходного сопротивления в месте повреждения.

10. Определяется значение коэффициента чувствительности $k_{\text{ч.торм}}$ в рассматриваемых случаях повреждения с торможением по (17), исходя из значений рабочей н. с. $F_{\text{раб}}$ и рабочей н. с. срабатывания реле $F_{\text{раб.с.р}}$, полученных соответственно в пп. 8 и 9.

В случаях, когда значение минимального коэффициента чувствительности в расчетном режиме $k_{\text{ч}}$ или $k_{\text{ч.торм}}$ (определяются соответственно в пп. 6 и 10) оказывается ниже допустимого, а расчетным для выбора минимального тока срабатывания защиты $I_{\text{с.з.мин}}$ является условие отстройки от максимального тока небаланса при отсутствии торможения по (1), а также если не удовлетворяется требование, чтобы точки, соответствующие расчетным случаям повреждений, находились от расчетной характеристики срабатывания реле на расстояниях, не меньших 10% координат точки (разд. В, § I, п. 7), то защиту следует выполнять с реле типа ДЗТ-3.

III. Пример расчета

В настоящем примере дан расчет дифференциальной защиты трансформатора блока турбогенератор — трехобмоточный трансформатор (рис. 42,*а*), выполненной с реле типа ДЗТ-1.

Блок мощностью 75 *Мва* имеет выключатели в цепи генератора и в ответвлении к собственным нуждам.

Трехобмоточный трансформатор блока 121/38,5/10,5 *кв* мощностью также 75 *Мва* с обмоткой среднего напряжения на 66,7% номинальной мощности имеет встроенное регулирование напряжения под нагрузкой на стороне высшего напряжения в пределах ±10% номинального и регулирование напряжения на стороне среднего напряжения ±2×2,5% номинального, производимое перестановкой ответвлений при отключенном трансформаторе.

Исходная схема для примера расчета, а также схемы замещения прямой (обратной) и нулевой последовательностей приведены на рис. 42.

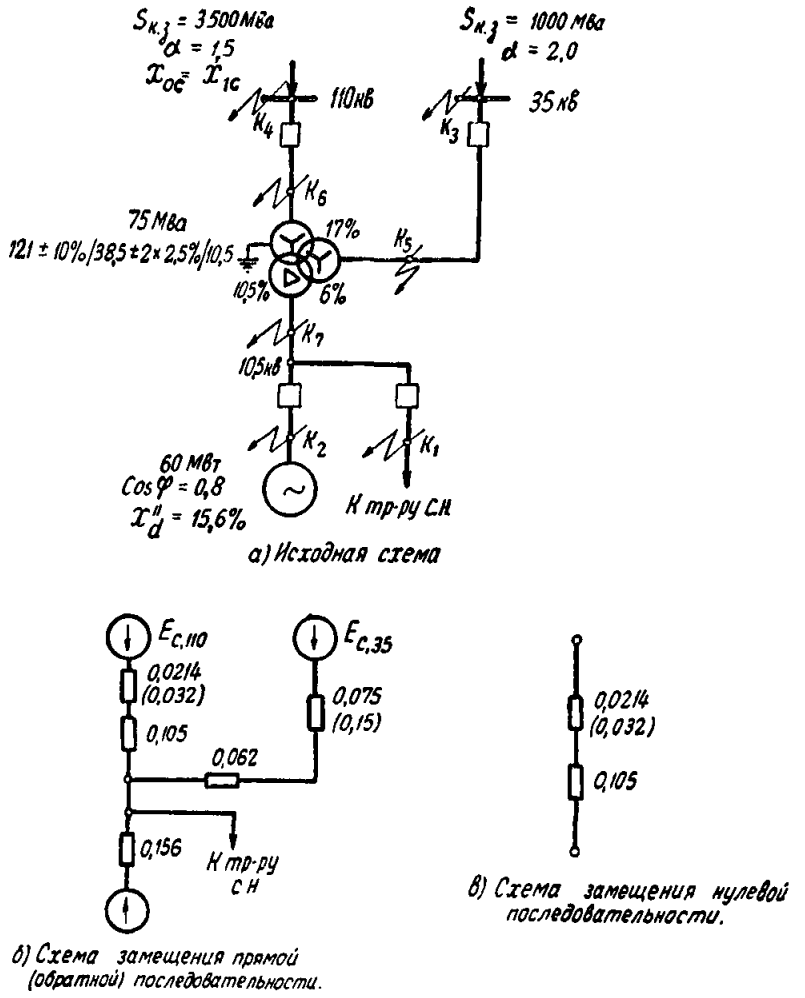


Рис. 42. Исходная схема и схемы замещения для примера расчета дифференциальной защиты трансформатора блока генератор — трехобмоточный трансформатор, выполненной с реле типа ДЗТ-1.

Примечания: 1. Сопротивления в схемах замещения рис. 42,*б* и *в* даны в относительных единицах, приведенных к мощности защищаемого трансформатора (75 *Мва*); для систем 110 и 35 *кв* без скобок указаны сопротивления в максимальном режиме, в скобках — в минимальном режиме.

2. На рис. 42,*а* α — отношения сопротивлений систем 110 и 35 *кв* в минимальном режиме к сопротивлению той же системы в максимальном режиме.

Пример рассчитан в относительных единицах, за базисную принята мощность защищаемого трансформатора блока.

Предварительными расчетами установлено, что дифференциальная защита рассматриваемого трансформатора должна выполняться с помощью реле, имеющих тормозную характеристику, так как при выполнении защиты с реле типа РНТ-562 с током срабатывания, отстроенным от замыкания между тремя фазами за выключателем в ответвлении к собственным нуждам, не обеспечивается необходимая чувствительность.

Ниже дан подробный расчет защиты с реле типа ДЗТ-1, хотя при предварительном расчете защиты с реле типа РНТ-562 некоторые данные могут быть заимствованы из этого расчета.

Расчет производится в следующем порядке.

1. Определяются первичные токи для всех сторон защищаемого трансформатора блока, соответствующие номинальной мощности его наиболее мощной обмотки, выбираются трансформаторы тока для защиты и определяются соответствующие вторичные токи в плечах защиты. Токи на сторонах высшего и среднего напряжений определены для средних значений регулируемых напряжений.

Расчеты по п. 1 сведены в табл. 3.

Трансформаторы тока, соединяемые в треугольник (на сторонах 110 и 35 *кв*), выбираются по первичному току $I_{ном}\sqrt{3}$, исходя из целесообразности не иметь вторичные номинальные токи, значительно превышающими 5 *а*.

2. Выбирается место присоединения тормозной обмотки. Исходя из рекомендаций, приведенных в § I, п. 4, тормозную обмотку в данном случае целесообразно присоединять к параллельно соединенным трансформаторам тока, установленным на ответвлении к собственным нуждам и в цепи генератора, т. е. включать ее на сумму токов в генераторе и в ответвлении к собственным нуждам, чтобы не отстраивать минимальный ток срабатывания защиты от тока небаланса при повреждении в генераторе.

Таблица 3

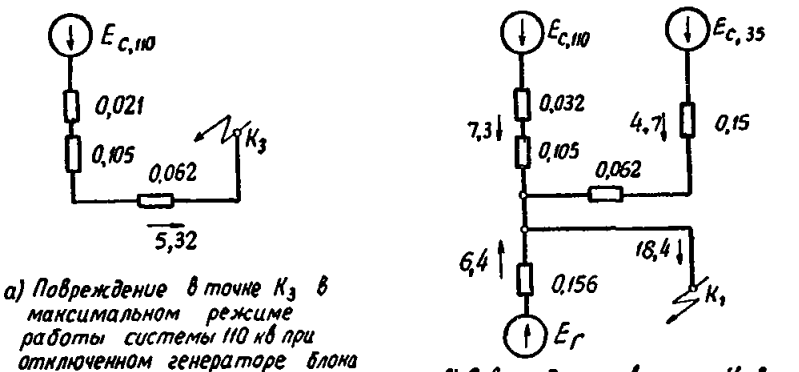
№ п.п.	Наименование величины	Числовое значение для сторон		
		110 *кв*	35 *кв*	10 *кв*
1	Первичные токи на стороне защищаемого трансформатора блока, соответствующие его номинальной мощности, *а*	$\frac{75\,000}{\sqrt{3}\cdot 121} = 358$	$\frac{75\,000}{\sqrt{3}\cdot 38{,}5} = 1\,120$	$\frac{75\,000}{\sqrt{3}\cdot 10{,}5} = 4\,120$
2	Коэффициент трансформации трансформаторов тока $n_т$	600/5	1 500/5	4 000/5
3	Соединение трансформаторов тока	△	△	Y
4	Вторичные токи в плечах защиты, соответствующие номинальной мощности защищаемого трансформатора блока $I_в$, *а*	5,15	6,5	5,15

Дополнительным расчетом можно установить, что при включении тормозной обмотки только на ток в ответвлении к собственным нуждам минимальный ток срабатывания защиты $I_{с.з.мин}$ будет примерно в 2 раза выше, а чувствительность значительно ниже, чем при принятом включении.

3. Определяется ориентировочное значение первичного минимального тока срабатывания защиты $I_{с.з.мин}$ без учета составляющей $I'''_{нб.расч}$.

Для этого определяется первичный максимальный ток, проходящий через защищаемый трансформатор блока при внешнем коротком замыкании и отсутствии торможения.

При принятом включении тормозной обмотки насыщающегося трансформатора реле (рис. 40,*б*) максимальный ток



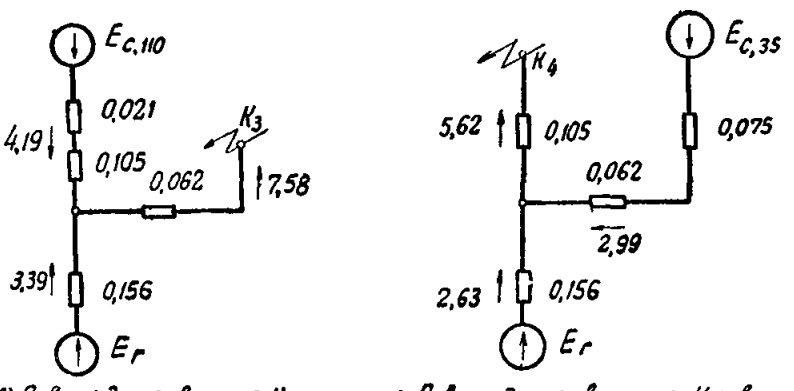


Рис. 43. Токи в трансформаторе блока по рис. 42,*а* при внешних металлических трехфазных коротких замыканиях.

Примечание. Токи даны в относительных единицах, отнесенных к номинальному току трансформатора блока.

небаланса при отсутствии торможения будет иметь место при внешнем трехфазном металлическом коротком замыкании на шинах 35 *кв* (в точке K_3 рис. 42,*а*) в режиме, когда генератор блока отключен. Полученное значение первичного тока повреждения приведено на рис. 43,*а*. Исходя из этого тока для рассматриваемого случая повреждения предварительно определяется первичный ток небаланса $I_{\text{нб.расч}}$ (без учета составляющей $I'''_{\text{нб.расч}}$) по (4), (5) и (6):

$$|I_{\text{нб.расч}}| = |I'_{\text{нб.расч}}| + |I''_{\text{нб.расч}}| =$$
$$= |k_{\text{апер}} k_{\text{одн}} f_i I_{\text{к.з.макс}}| + |\Delta U_\alpha I_{\alpha\ \text{к.з.макс}} + \Delta U_\beta I_{\beta\text{к. з.макс}}| =$$
$$= (1 \cdot 1 \cdot 0{,}1 + 0{,}1 + 0{,}05) \cdot 5{,}32 = 1{,}33.$$

Далее определяется ориентировочное значение первичного минимального тока срабатывания защиты $I_{\text{с.з.мин}}$:

— по условию отстройки от расчетного максимального тока небаланса $I_{\text{нб.расч}}$ по (1)

$$I_{\text{с.з.мин}} \geqslant k_{\text{н}} I_{\text{нб.расч}} = 1{,}5 \cdot 1{,}33 = 2{,}0;$$

—по условию отстройки от броска тока намагничивания по (2)

$$I_{\text{с.з.мин}} \geqslant k I_{\text{ном}} = 1{,}5 \cdot 1 = 1{,}5.$$

Таким образом, расчетной для выбора минимального тока срабатывания защиты является отстройка от тока небаланса при внешнем повреждении

$$I_{\text{с.з.мин}} = 2{,}0.$$

4. Определяются числа витков рабочей обмотки насыщающегося трансформатора реле для основной стороны 35 *кв* (стороны с наибольшим вторичным током в плече защиты) и для других сторон 110 и 10 *кв* по (8) и (10), исходя из значения минимального тока срабатывания защиты $I_{\text{с.з.мин}} = 2{,}0$, полученного в п. 3. Эти числа витков уточняются после учета составляющей тока небаланса $I'''_{\text{нб.расч}}$, обусловленной неточностью установки на насыщающемся трансформаторе реле расчетных чисел витков рабочей обмотки.

Расчеты по п. 4 сведены в табл. 4.

Как видно из табл. 4, учет составляющей тока небаланса $I'''_{\text{нб.расч}}$ в рассматриваемом случае не привел к необходимости загрубления защиты.

5. Определяется необходимое число витков тормозной обмотки насыщающегося трансформатора реле по трехфазному короткому замыканию за выключателем ответвления к собственным нуждам (в точке K_1, рис. 42,*а*).

Рассматривается минимальный режим работы систем 110 и 35 *кв* при включенном генераторе, поскольку при таком сочетании режимов имеет место наибольшее значение отношения ΔI по (16) (см. приложение VI).

Токи при рассматриваемом повреждении приведены на рис. 43,*б*.

Следует отметить, что при внешнем повреждении на стороне 35 *кв* для случая, когда генератор включен (рис. 43,*в*), отношение токов ΔI получается бо́льшим, чем при расчетном повреждении за выключателем ответвления к собственным нуждам, однако рабочая н. с. небаланса в этом случае $F_{\text{раб}} = 63{,}5 < 100$ *а*. В связи с этим можно ограничиться проверкой недействия защиты при повреждении на стороне 35 *кв*.

Произведенная проверка показала, что число витков тормозной обмотки, выбранное по повреждению за выключателем ответвления к собственным нуждам (табл. 5), обеспечивает достаточное торможение и при повреждении на стороне 35 *кв*.

Внешнее повреждение на стороне 110 *кв* для случая, когда генератор включен (рис. 43,*г*), не рассматривается, так как рабочая н. с. небаланса в этом случае $F_{\text{раб}} = 50{,}6 < 60$ *а*.

Исходя из значений токов при расчетном повреждении за выключателем ответвления к собственным нуждам (рис. 43,*б*), определяется первичный ток небаланса и необходимое число витков тормозной обмотки.

Расчеты по п. 5 сведены в табл. 5.

Схема включения реле с указанием числа использованных витков рабочей и тормозной обмоток насыщающегося трансформатора реле приведена на рис. 44.

6. Определяется чувствительность защиты при внутреннем повреждении, когда торможение отсутствует. Расчетным является повреждение на выводах защищаемого трансформатора блока со стороны 35 *кв* (в точке K_5, рис. 42,*а*) в минимальном режиме работы систем 110 и 35 *кв* и при отключенном генераторе блока. Рассматривается металлическое короткое замыкание между тремя фазами, поскольку при трехрелейном выполнении схемы защиты чувствительность при замыканиях между тремя и двумя фазами на стороне, где трансформаторы тока защиты соединены в треугольник, будет одинаковой (рис. 34,*а* и *в*). Токи повреждения приведены на рис. 45,*а*.

Исходя из токов повреждения, определяются вторичные токи в рабочей обмотке насыщающегося трансформатора реле:

токи на стороне 110 *кв*

$$I_{\text{раб.в110}} = 5{,}03 \cdot 5{,}15 = 25{,}9 \ \text{а};$$

токи на стороне 35 *кв*

$$I_{\text{раб.в35}} = 6{,}67 \cdot 6{,}5 = 43{,}4 \ \text{а}.$$

Коэффициент чувствительности защиты определяется по (12):

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{раб.в110}} w_{\text{1 раб}} + I_{\text{раб.в35}} w_{\text{осн.раб}}}{F_{\text{с.р.мин}}} =$$
$$= \frac{25{,}9 \cdot 5 + 43{,}4 \cdot 4}{60} = \frac{303}{60} = 5{,}05 > 2.$$

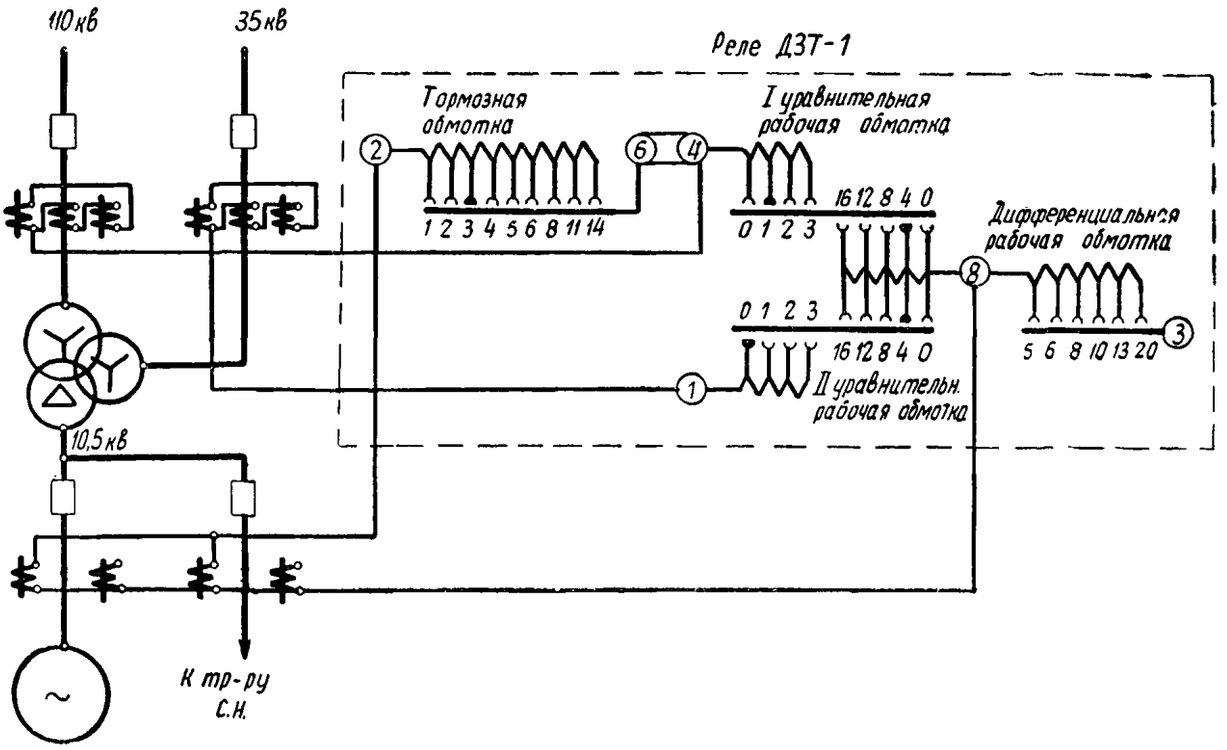


Рис. 44. Схема включения реле типа ДЗТ-1 в дифференциальной защите трансформатора блока по рис. 42,*а*.

Таблица 4

Наименование величины	Обозначение и метод определения	Числовое значение
Минимальный ток срабатывания реле на основной стороне	$I_{с.р.мин.осн} = I_{с.з.мин} \cdot I_{осн.в}$	$2{,}0 \cdot 6{,}5 = 13$ *а*
Расчетное число витков рабочей обмотки насыщающегося трансформатора реле для основной стороны	По (8) $w_{осн.раб.расч} = \frac{F_{с.р.мин}}{I_{с.р.мин.осн}}$	$\frac{60}{13} = 4{,}6$ витка
Предварительно принятое число витков для установки на основной стороне	$w_{осн.раб}$	4 витка
Соответствующий минимальный ток срабатывания реле на основной стороне	$I_{с.р.мин.осн} = \frac{F_{с.р.мин}}{w_{осн.раб}}$	$\frac{60}{4} = 15$ *а*
Расчетное число витков рабочей обмотки насыщающегося трансформатора реле для неосновных сторон (110 и 10 *кв*)	По (10) $w_{Iраб.расч} = w_{осн.раб} \cdot \frac{I_{осн.в}}{I_{Iв}}$	$4 \cdot \frac{6{,}5}{5{,}15} = 5{,}05$ витка
Предварительно принятое число витков для установки на неосновных сторонах	$w_{Iраб}$	5 витков
Составляющая первичного тока небаланса, обусловленная округлением расчетного числа витков стороны 110 *кв* для расчетного случая повреждения без торможения на стороне 35 *кв* (рис. 43, *а*)	По (7) $I'''_{нб.расч} = \frac{w_{Iраб.расч} - w_{Iраб}}{w_{Iраб.расч}} I_{Iк.з.макс}$	$\frac{5{,}05-5}{5{,}05} \cdot 5{,}32 = 0{,}05$
Первичный расчетный ток небаланса с учетом составляющей $I'''_{нб.расч}$	По (4) $I_{нб.расч} = \lvert I'_{нб.расч} \rvert + \lvert I''_{нб.расч} \rvert + \lvert I'''_{нб.расч} \rvert$	$1{,}33 + 0{,}05 = 1{,}38$
Уточненное значение минимального тока срабатывания защиты	По (1) $I_{с.з.мин} = k_н I_{нб.расч}$	$1{,}5 \cdot 1{,}38 = 2{,}07$
Уточненный минимальный ток срабатывания реле на основной стороне (35 *кв*)	$I_{с.р.мин.осн} = I_{с.з.мин} I_{осн.в}$	$2{,}07 \cdot 6{,}5 = 13{,}5$ *а*
Окончательно принятые числа витков рабочей обмотки насыщающегося трансформатора реле для установки на основной (35 *кв*) и неосновных (110 и 10 *кв*) сторонах	$w_{осн.раб}$ $w_{Iраб}$	4 витка 5 витков

Таблица 5

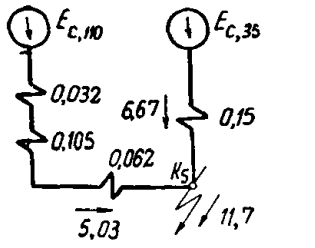
Наименование величины	Обозначение и метод определения	Числовое значение
Первичный расчетный ток небаланса с учетом составляющей $I'''_{нб.расч}$	По (4), (5), (6) и (7) $I_{нб.расч} = \lvert I'_{нб.расч} \rvert + \lvert I''_{нб.расч} \rvert + \lvert I'''_{нб.расч} \rvert = \lvert k_{апер} k_{одн} f_i I_{к.з.макс} \rvert + \lvert \Delta U_\alpha I_{\alpha\ к.з.макс} + \Delta U_\beta I_{\beta\ к.з.макс} \rvert + \left\lvert \frac{w_{Iраб.расч} - w_{Iраб}}{w_{Iраб.расч}} I_{\beta к.з.макс} \right\rvert$	$1 \cdot 1 \cdot 0{,}1 \cdot 18{,}4 + 0{,}1 \cdot 7{,}3 + (0{,}05 + 0{,}01)\ 4{,}7 = 2{,}85$
Расчетное число витков тормозной обмотки насыщающегося трансформатора реле	По (15) $w_{торм.расч} = \frac{k_н I_{нб.расч} w_{I раб. расч}}{I_{торм} \operatorname{tg} \alpha}$	$\frac{1{,}5 \cdot 2{,}85 \cdot 5{,}05}{12 \cdot 0{,}83} =$ $= 2{,}17$ витка
Принятое число витков тормозной обмотки	$w_{торм}$	3 витка

7. Определяется чувствительность защиты при внутренних повреждениях, когда имеется торможение.

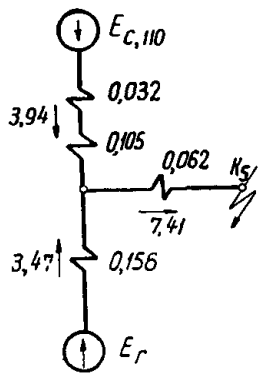
Рассматриваются следующие металлические короткие замыкания:

а) замыкание одной фазы на землю на выводах защищаемого трансформатора блока со стороны 110 *кв* (в точке K_6, рис. 42,*а*) при отключенном выключателе на этой стороне в минимальном режиме работы системы 35 *кв* (рис. 46);

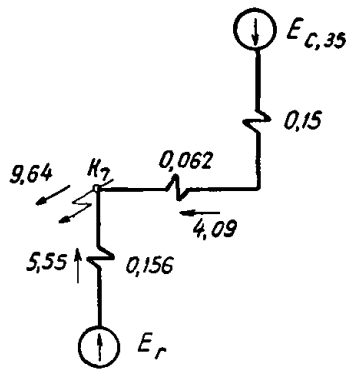
б) замыкание между тремя фазами на выводах защищаемого трансформатора блока со стороны 35 *кв* (в точке K_5 рис. 42,*а*) при отключенном выключателе на этой стороне в минимальном режиме работы системы 110 *кв* (рис. 45,*б*);



а) Короткое замыкание между тремя фазами в точке K_5 при отключенном генераторе блока



б) Короткое замыкание между тремя фазами в точке K_5 при отключенном выключателе со стороны 35 кв



в) Короткое замыкание между двумя фазами в точке K_7 при отключенном выключателе со стороны 110 кв.

Рис. 45. Токи в трансформаторе блока по рис. 42,*а* при внутренних коротких замыканиях между фазами.

Примечания: 1. Расчеты производятся для минимального режима работы систем.

2. Токи даны в относительных единицах, отнесенных к номинальному току трансформатора блока.

рассматривается повреждение между тремя фазами, поскольку при трехрелейном выполнении схемы защиты чувствительность к замыканиям между тремя и двумя фазами будет одинаковой (рис. 34,*а* и *в*);

в) замыкание между двумя фазами на выводах защищаемого трансформатора блока со стороны 10 *кв* (в точке K_7, рис. 42,*а*) при отключенном выключателе блока со стороны 110 *кв* в минимальном режиме работы системы 35 *кв* (рис. 45,*в*).

Для нахождения токораспределения при замыкании на землю одной фазы (например, на рис. 46) в первую очередь, исходя из токораспределения в схемах замещения отдельных последовательностей, определяются полные токи в фазах на сторонах, где обмотки трансформатора (автотрансформатора) блока соединены в звезду. Далее, исходя из значений этих токов, определяются полные фазные токи в обмотке, соединенной в треугольник, по выражению

$$I_{\Delta III} = -\frac{I_{YI} w_{YI} + I_{YII} w_{YII}}{w_{\Delta III}} = -\left(I_{YI} \frac{N_{I\,III}}{\sqrt{3}} + I_{YII} \frac{N_{II\,III}}{\sqrt{3}} \right), \qquad (22)$$

где

$I_{\Delta\,III}$ — действительный первичный ток, проходящий по рассматриваемой фазе обмотки, соединенной в треугольник;

I_{YI} и I_{YII} — действительные первичные токи, проходящие по рассматриваемой фазе обмотки, соединенной в звезду, с учетом их знака (за положительные приняты направления токов к защищаемому трансформатору или автотрансформатору, как показано на рис. 39);

$w_{\Delta III}$ — число витков одной фазы обмотки, соединенной в треугольник;

w_{YI} и w_{YII} — числа витков одной фазы обмоток, соединенных в звезду;

$N_{I\,III}$ и $N_{II\,III}$ — коэффициенты трансформации трансформатора (автотрансформатора) блока между сторонами, обмотки которых соединены в звезду, и стороной, обмотка которой соединена в треугольник (рис. 34).

Например, полный ток в фазе *А* обмотки, соединенной в треугольник, трансформатора блока по рис. 42,*а* при замыкании на землю одной фазы на стороне 110 *кв* в относительных единицах равен (рис. 46):

$$I_{\Delta III} = -\left(-6{,}06 \frac{1}{\sqrt{3}} + 1{,}7 \frac{1}{\sqrt{3}} \right) = 2{,}51.$$

Исходя из значений первичных токов короткого замыкания при рассматриваемых случаях повреждения определяются вторичные токи, проходящие по рабочей и тормозной обмоткам насыщающегося трансформатора реле, соответственно $I_{раб.в}$ и $I_{торм.в}$, а по (18) и (20) рабочая н. с. $F_{раб}$ и тормозная н. с. $F_{торм}$ насыщающегося трансформатора реле.

Исходя из значений рабочих и тормозных н. с., по расчетной характеристике срабатывания реле графически определяется рабочая н. с. срабатывания реле $F_{раб.с.р}$ (рис. 47), а по (17) вычисляется коэффициент чувствительности реле $k_{ч.торм}$.

а) Замыкание на землю одной фазы на стороне 110 *кв* (рис. 46):

$$I_{раб.в35} = 1{,}47 \cdot 6{,}5 = 9{,}6\ a;$$
$$I_{раб.в10} = I_{торм.в} = 2{,}02 \cdot 5{,}15 = 10{,}4\ a;$$
$$F_{раб} = 9{,}6 \cdot 4 + 10{,}4 \cdot 5 = 90{,}4\ a;$$
$$F_{торм} = 10{,}4 \cdot 3 = 31{,}2\ a;$$

$F_{раб.с.р} = 70\ a$ (соответствует точке пересечения прямой aO с характеристикой срабатывания на рис. 47);

$$k_{ч.торм} = \frac{90{,}4}{70} = 1{,}29.$$

б) Замыкание между тремя фазами на стороне 35 *кв* (рис. 45,*б*):

$$I_{раб.в10} = 3{,}94 \cdot 5{,}15 = 20{,}3\ a;$$
$$I_{раб.в10} = I_{торм.в} = 3{,}47 \cdot 5{,}15 = 17{,}9\ a;$$
$$F_{раб} = 20{,}3 \cdot 5 + 17{,}9 \cdot 5 = 192\ a;$$
$$F_{торм} = 17{,}9 \cdot 3 = 53{,}7\ a;$$

$F_{раб.с.р} = 66\ a$ (соответствует точке пересечения прямой $б$—O с характеристикой срабатывания на рис. 47):

$$k_{ч.торм} = \frac{192}{66} = 2{,}9.$$

в) Замыкание между двумя фазами на стороне 10 *кв* (рис. 45, *в*):

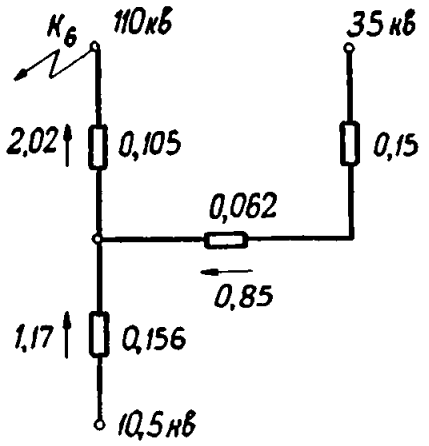
$$I_{раб.в35} = 4{,}09 \cdot 6{,}5 = 26{,}6\ a;$$
$$I_{раб.в10} = I_{торм.в} = 5{,}55 \cdot 5{,}15 = 28{,}6\ a;$$
$$F_{раб} = 26{,}6 \cdot 4 + 28{,}6 \cdot 5 = 249\ a;$$
$$F_{торм} = 28{,}6 \cdot 3 = 85{,}7\ a;$$

$F_{раб.с.р} = 70\ a$ (соответствует точке пересечения прямой $в$—O с характеристикой срабатывания на рис. 47);

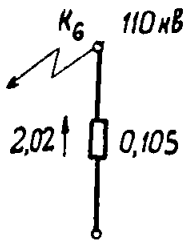
$$k_{ч.торм} = \frac{249}{70} = 3{,}56.$$

Как видно из расчетов, приведенных в пп. 6 и 7, во всех рассмотренных случаях внутренних повреждений, за исключением замыкания одной фазы на землю на стороне 110 *кв* трансформатора блока при отключенном выключателе с этой стороны, защита имеет достаточную чувствительность ($k_ч$ и $k_{ч.торм} > 2{,}0$). С низкой чувствительностью защиты к повреждениям на стороне 110 *кв* трансформатора блока при отключенном выключателе с этой стороны можно не считаться, поскольку режим работы блока с отключенным выключателем 110 *кв* крайне редок. Кроме того, при отказе дифференциальной защиты повреждения внутри кожуха трансформатора будут отключаться газовой защитой (которая в этом режиме должна действовать на отключение), а повреждения на выводах — резервной защитой блока.

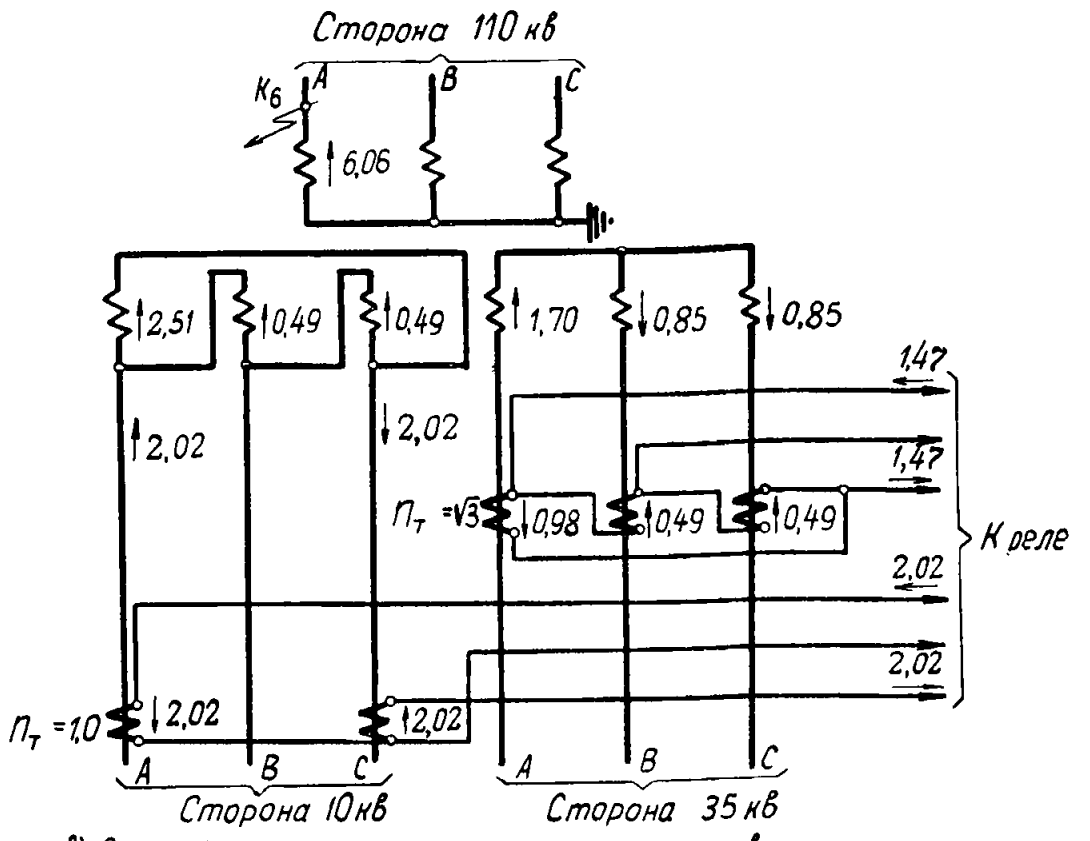
Из рис. 47 видно, что точки *а*, *б*, и *в*, соответствующие рабочей и тормозной н. с. насыщающегося трансформатора реле при рассматриваемых внутренних повреждениях с торможением, находятся от расчетной характеристики срабаты-



а) Распределение тока прямой (обратной) последовательности



б) Распределение тока нулевой последовательности



в) Распределение полных фазных токов и токи, приходящие к реле.

Рис. 46. Токи в трансформаторе блока по рис. 42,*а* и в цепях его дифференциальной защиты при внутреннем замыкании одной фазы на землю на стороне 110 *кв*.

Примечания: 1. На рисунке приведены токи при замыкании одной фазы на землю на выводах защищаемого трансформатора со стороны 110 *кв* (в точке K_6 рис. 42,*а*) при отключенном выключателе на этой стороне в минимальном режиме работы системы 35 *кв*.

2. Токи даны в относительных единицах, отнесенных к номинальному току трансформатора блока.

3. При распределении относительных токов на рис. 46,*в* коэффициент трансформации измерительных трансформаторов принимался $n_т = 1,0$ при соединении их обмоток звезду и $n_т = \sqrt{3}$ при соединении обмоток в треугольник, а коэффициент трансформации силового трансформатора во всех случаях $N = 1$. Это необходимо для обеспечения протекания единичных относительных токов в нормальном режиме.

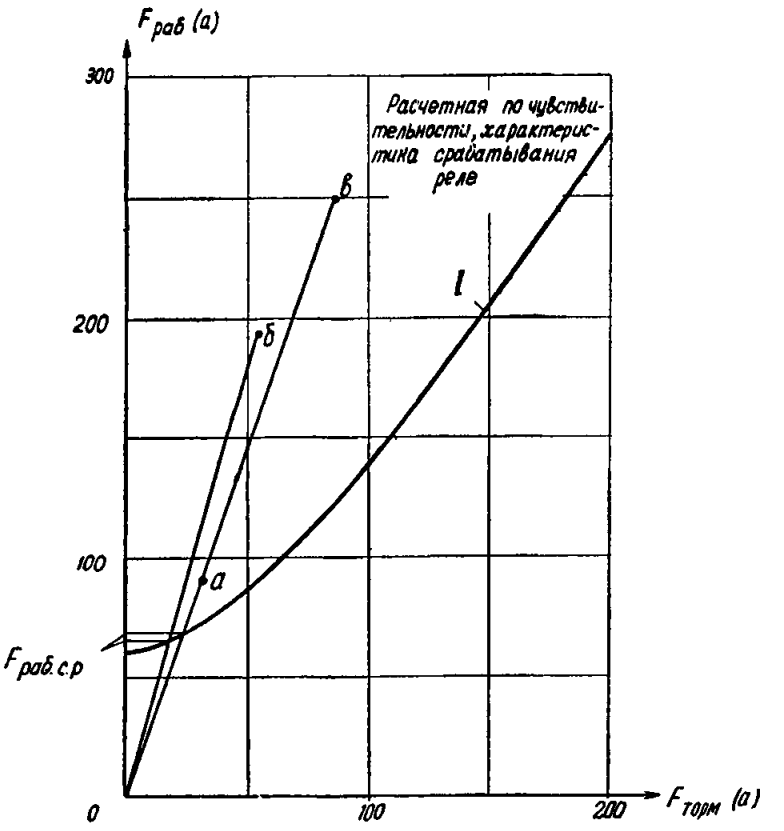


Рис. 47. Расчет чувствительности защиты трансформатора блока по рис. 42,*а*, выполненной с реле типа ДЗТ-1.

вания реле на расстояниях, превышающих 10% координат этих точек. Указанное также служит гарантией надежной работы реле в случаях, когда обеспечивается необходимое значение коэффициента чувствительности.

Г. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА БЛОКОВ ИЛИ ТРАНСФОРМАТОРОВ (АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ) БЛОКОВ, ВЫПОЛНЕННАЯ С РЕЛЕ ТИПА ДЗТ-3

I. Основные указания по расчету

1. Ниже даны основные указания по расчету общей дифференциальной защиты блоков и дифференциальной защиты трансформаторов (автотрансформаторов) блоков (рис. 11 и 19), выполненной с реле типа ДЗТ-3.

Реле типа ДЗТ-3 характеризуется наличием трех тормозных обмоток в насыщающемся трансформаторе реле, расположенных на трех отдельных магнитопроводах, что дает возможность обеспечить торможение от токов в трех комплектах (или в трех группах комплектов) трансформаторов тока. Характеристика срабатывания реле при наличии торможения $F_{раб} = f(F_{торм})$ неоднозначна и зависит как от угла между рабочим $I_{раб.в}$ и тормозным $I_{торм.в}$ токами в насыщающемся трансформаторе реле, так и от схемы питания тормозных обмоток.

На рис. 48 приведены заводские характеристики реле для таких углов между рабочим и тормозным токами и таких схем питания тормозных обмоток, при которых обеспечивается максимальное (кривая *I*) и минимальное (кривая *II*) торможение.

Схема внутренних соединений реле и принципиальная схема его включения в защите блока с трехобмоточным трансформатором показана на рис. 49.

Необходимость в использовании реле типа ДЗТ-3 вместо реле типа ДЗТ-1 может возникнуть для блоков генератор — трансформатор (автотрансформатор) в первую очередь в случаях, когда одна или две стороны трансформатора (автотрансформатора) блока присоединены к мощной системе через два выключателя (рис. 50,*а*—*г*), а также для блоков генератор — трехобмоточный трансформатор, имеющий выключатель *в ответвлении к собственным нуждам или выключатель* в цепи генератора, когда со стороны среднего напряжения отсутствует питание (рис. 50,*д* и *е*).

2. Для типичных схем блоков с трехобмоточным трансформатором (автотрансформатором) размещение тормозных обмоток насыщающегося трансформатора реле производится следующим образом:

а) для блоков, присоединенных к мощной системе через два выключателя, две тормозные обмотки $w_{торм\ I}$ и $w_{торм\ II}$ целесообразно присоединить к трансформаторам тока, установленным в цепях этих выключателей. Третья тормозная обмотка $w_{торм\ III}$ присоединяется:

— на блоках, имеющих выключатель в ответвлении к собственным нуждам без выключателя в цепи генератора, — к трансформаторам тока, установленным на ответвлении к собственным нуждам (рис. 50,*а*):

— на блоках, имеющих выключатель в ответвлении к соб-

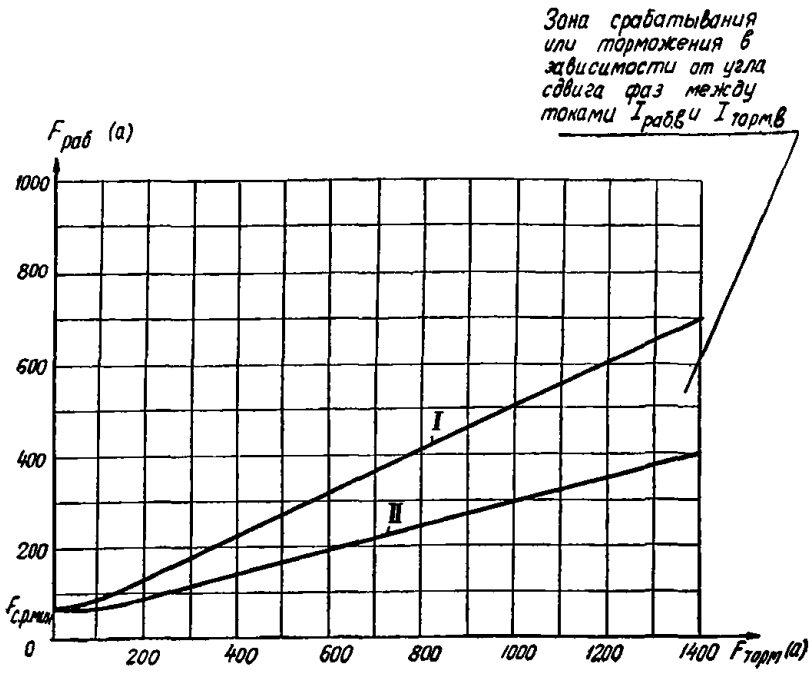


Рис. 48. Характеристики срабатывания реле типа ДЗТ-3.

Примечания: 1. Кривые заимствованы из инструкции Чебоксарского электроаппаратного завода по монтажу и эксплуатации реле типа ДЗТ-3 и ДЗТ-4.

2. Кривые обозначены: *I* — характеристика срабатывания, соответствующая максимальному торможению; *II* — характеристика срабатывания, соответствующая минимальному торможению.

ственным нуждам и выключатель в цепи генератора, — к параллельно соединенным трансформаторам тока, установленным в цепях этих выключателей (рис. 50,*б*), чтобы не отстраивать минимальный ток срабатывания защиты от тока небаланса при повреждении в генераторе, однако в тех случаях, когда это не приводит к уменьшению чувствительности защиты [например, когда указанный ток небаланса равен или меньше тока $I_{ном}$, входящего в (2)], третью тормозную обмотку целесообразно присоединять к трансформаторам тока, установленным на ответвлении к собственным нуждам, аналогично тому, как для блоков без выключателя в цепи генератора (рис. 50,*а*);

— на блоках с трехобмоточным трансформатором, не имеющих питания со стороны среднего напряжения и не имеющих выключателей в цепи ответвления к собственным нуждам и в цепи генератора, — к трансформаторам тока, установленным на стороне среднего напряжения (рис. 50,*в*);

— на блоках, присоединенных ко второй мощной системе также через два выключателя, — к трансформаторам тока, установленным в цепи одного из выключателей на стороне второй, менее мощной, системы (рис. 50,*г*);

б) для блоков, не имеющих питания со стороны среднего напряжения и имеющих выключатель в ответвлении к собственным нуждам, без выключателя в цепи генератора (рис. 50,*д*) обычно целесообразно использовать только две тормозные обмотки, которые присоединяются к трансформаторам тока, установленным на стороне отсутствия питания ($w_{тормI}$) и на ответвлении к собственным нуждам ($w_{тормIII}$);

в) для блоков, не имеющих питания со стороны среднего напряжения и имеющих выключатель в ответвлении к собственным нуждам и выключатель в цепи генератора (рис. 50,*е*) целесообразно присоединять тормозные обмотки к трансформаторам тока, установленным на стороне отсутствия питания ($w_{тор\ I}$), в цепи генератора ($w_{торм\ II}$) и на ответвлении к собственным нуждам ($w_{торм.III}$).

3. Недействие защиты при включении ненагруженного трансформатора (автотрансформатора) блока под напряжение, при повреждении за трансформатором или реактором ответвления к собственным нуждам в случае, когда на этом ответвлении не установлены трансформаторы тока дифференциальной защиты, а также при таких внешних повреждениях, когда торможение отсутствует (ни в одной из тормозных обмоток насыщающегося трансформатора реле нет тока), обеспечивается выбором минимального тока срабатывания защиты $I_{с.з.мин}$, производимым аналогично тому, как для защиты, выполненной с реле типа ДЗТ-1 (разд. В, § I, п. 2). При этом коэффициенты надежности $k_н$ при расчете по (1) и (3) и коэффициент k при расчете по (2) принимаются такими же, как и для защиты с реле типа ДЗТ-1.

4. Числа витков рабочих (уравнительных и дифференциальной) обмоток насыщающегося трансформатора реле, соответствующие минимальному току срабатывания защиты $I_{с.з.мин}$, определяются аналогично тому, как в расчете защиты, выполненной с реле типа РНТ-562, т. е. по (8) — для основной стороны и по (10) и (11) — для неосновных сторон.

5. Для выбора чисел витков тормозных обмоток насыщающегося трансформатора реле, обеспечивающих недействие защиты при таких внешних повреждениях, когда имеет место торможение, используется характеристика срабатывания реле, соответствующая минимальному торможению (кривая *II* на рис. 48).

В целях упрощения расчета эта характеристика заменяется прямой, проведенной из начала координат. Однако в рассматриваемом случае нецелесообразно в качестве спрямляющей прямой всегда использовать касательную аналогично тому, как в расчете защиты с реле типа ДЗТ-1 (разд. В, § I, п. 5). Указанное обусловлено формой характеристики срабатывания реле типа ДЗТ-3, при которой касательная располагается значительно ниже характеристики в рабочей ее части. В связи с этим расчет следует производить, исходя из касательной только для случаев, когда максимальная рабо-

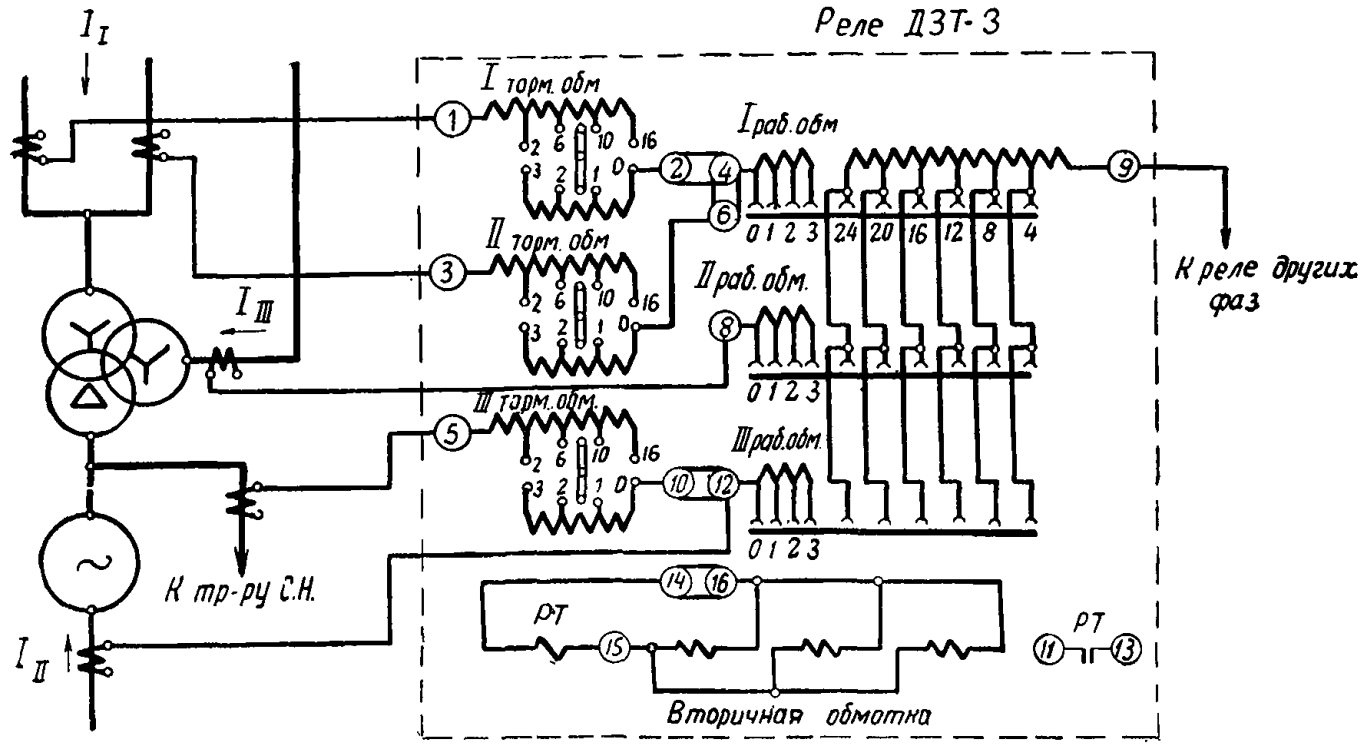


Рис. 49. Схема внутренних соединений и принципиальная схема включения реле типа ДЗТ-3 в защите блока генератор — трехобмоточный трансформатор с ответвлением к собственным нуждам.

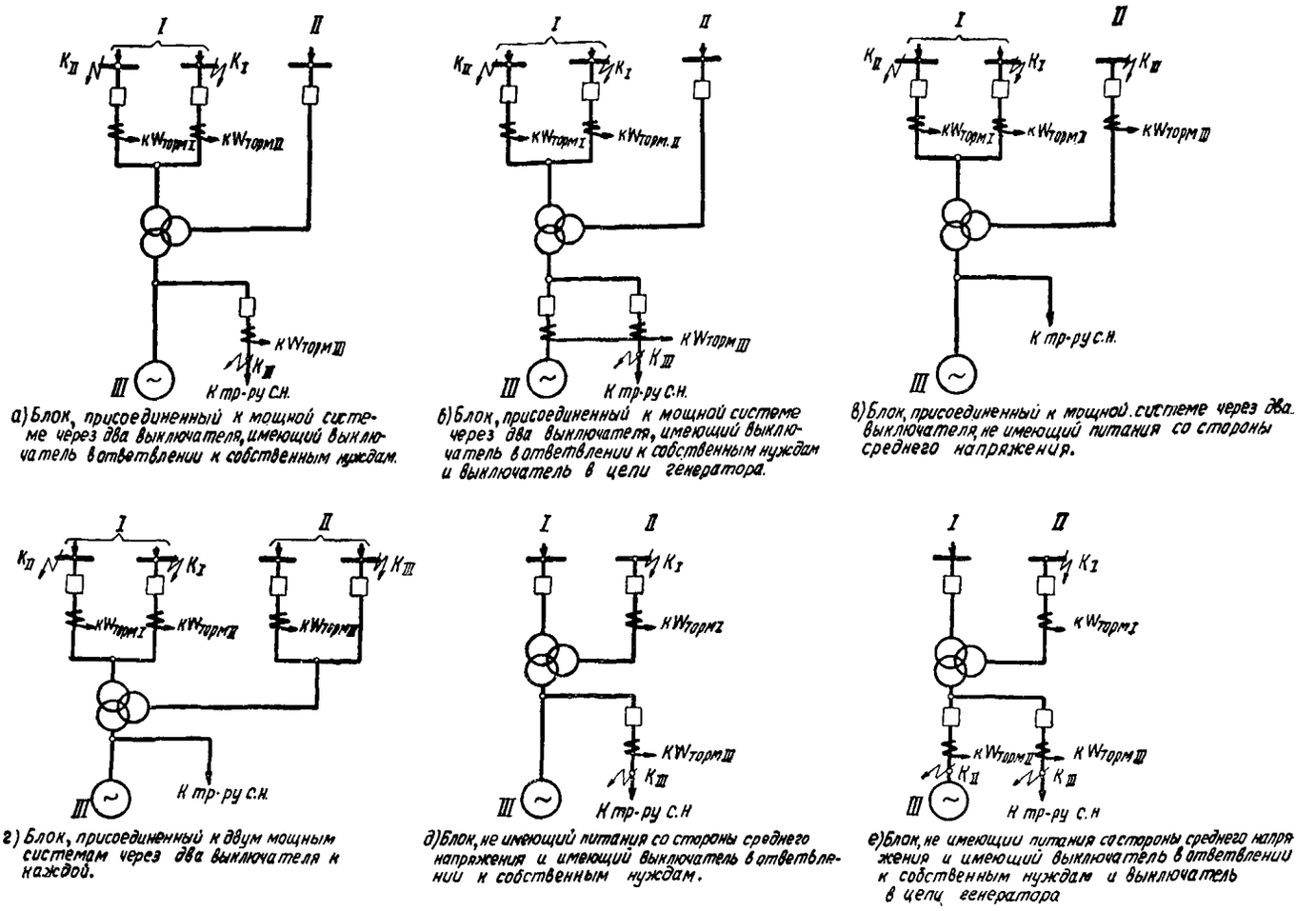


Рис. 50. Примеры схем блоков генератор—трехобмоточный трансформатор (автотрансформатор), для защиты которых может потребоваться реле типа ДЗТ-3.

чая н. с. $F_{раб.макс} \geqslant 200$ *а*. При этом в расчет вводится тангенс угла наклона этой касательной, tg α, который, исходя из заводской характеристики срабатывания реле, принимается равным $\sim 0{,}28$ (рис. 51).

В случае, когда максимальная рабочая н. с. $F_{раб.макс} < 200$ *а*, спрямление характеристики срабатывания производится для расчетного участка. При этом характеристика заменяется прямой, которая соединяет начало координат с точкой, ограничивающей расчетный участок характеристики и соответствующей максимально возможной рабочей н. с. $F_{раб.макс}$ при внешнем повреждении на рассматриваемой стороне (рис. 51), определяемой по выражению

$$F_{раб.макс} = k_н I_{нб.расч.в} w_{раб.расч}, \qquad (23)$$

где

$I_{нб.расч.в}$ — расчетный максимальный ток небаланса при внешнем повреждении (с торможением) на рассматриваемой стороне, определенный с учетом составляющей тока небаланса $I'''_{нб.расч}$ и приведенный ко вторичной стороне трансформаторов тока одной из сторон;

$w_{раб.расч}$ — расчетное число витков рабочей обмотки на стороне, к которой приведен ток $I_{нб.расч.в}$;

$k_н$ — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,5.

При спрямлении характеристики на расчетном участке в расчет вводится тангенс угла наклона спрямляющей прямой к оси абсцисс tg α' (рис. 51).

В расчете необходимого числа витков тормозных обмоток затруднение представляет распределение витков по тормозным обмоткам насыщающегося трансформатора реле, поскольку в расчетных случаях повреждения ток проходит обычно по двум, а в отдельных случаях и по всем трем тормозным обмоткам. Это распределение должно производиться так, чтобы при повреждениях в защищаемой зоне торможение было минимальным.

Ниже даны указания по выбору необходимого числа витков тормозных обмоток насыщающегося трансформатора реле для блоков по рис. 50.

а) Для блоков, присоединенных к мощной системе через два выключателя (рис. 50,*а*—*г*), числа витков тормозных обмоток *I* и *II* на стороне этой системы (сторона *I* блоков по рис. 50,*а*—*г*) могут быть приняты равными.

Если в целях упрощения (в сторону запаса) не учитывать н. с., создаваемую тормозной обмоткой *III* насыщающегося трансформатора реле, то при внешнем повреждении на рассматриваемой стороне (в точках K_I или K_{II}) неравенство (14) можно представить следующим образом:

$$\frac{k_н I_{раб.в} w_{раб.расч}}{|I_{торм.вI} w_{тормI}| + |I_{торм.вII} w_{тормII}|} \leqslant \operatorname{tg}\alpha, \qquad (24)$$

где

$w_{тормI}$ и $w_{тормII}$ — используемое число витков тормозных обмоток насыщающегося трансформатора реле на рассматриваемой стороне *I* (рис. 50,*а*—*г*);

$I_{торм.вI}$ и $I_{торм.вII}$ — токи, проходящие по этим тормозным обмоткам;

tg α — тангенс угла наклона спрямляющей прямой к оси абсцисс; определяется для расчетного участка характеристики;

$I_{раб.в}$, $w_{раб.расч}$ и $k_н$, как в (14).

Преобразовывая (24) аналогично тому, как это делалось в расчете защиты с реле типа ДЗТ-1, а также учитывая, что $w_{тормI} = w_{тормII}$, для определения необходимого числа витков тормозных обмоток насыщающегося трансформатора реле, установленных на рассматриваемой стороне, получаем следующее выражение:

$$w_{тормI} = w_{тормII} \geqslant \frac{k_н I_{нб.расч}}{|I_{торм\,I}| + |I_{тормII}|} \cdot \frac{w_{раб.расч}}{\operatorname{tg}\alpha}, \qquad (25)$$

где

$I_{тормI}$ и $I_{тормII}$ — первичные тормозные токи, проходящие в расчетном случае повреждения по цепям, в которых установлены трансформаторы тока, питающие тормозные обмотки соответственно *I* и *II*;

tg α — как в (24).

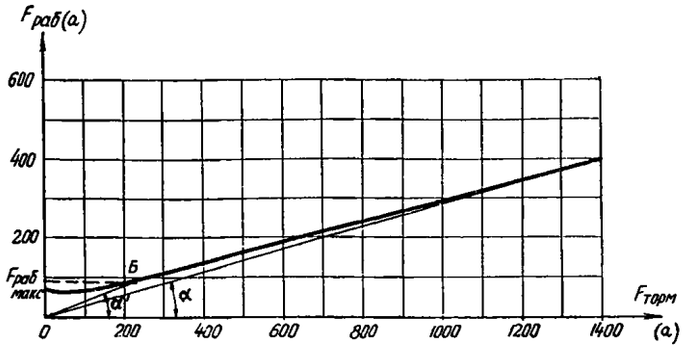


Рис. 51. Спрямление характеристики срабатывания реле типа ДЗТ-3, соответствующей минимальному торможению.

Остальные обозначения такие же, как в (14) и (15).

Расчетным для определения необходимого числа витков тормозных обмоток *I* и *II* по (25) явится металлическое трехфазное короткое замыкание при таком сочетании режимов работы станции и систем, при котором будет наибольшим отношение

$$\Delta I = \frac{k_н I_{нб.расч}}{|I_{тормI}| + |I_{тормII}|}. \qquad (26)$$

Выявление расчетного сочетания режимов работы станции и систем, обусловливающего наибольшее отношение ΔI по (26), произведено в приложении VII, из которого вытекает, что расчетным явится минимальный режим работы той системы, на стороне которой установлены рассматриваемые тормозные обмотки, и максимальный режим работы станции и другой системы.

Условие недействия защиты при повреждении, являющемся расчетным для определения необходимого числа витков $w_{тормIII}$ тормозной обмотки *III* (в точке K_{III} схем по рис. 50, *а—г*), может быть представлено следующим образом:

$$\frac{k_н I_{раб.в} w_{раб.расч}}{(|I_{торм.вI}| + |I_{торм.вII}|)\, w_{тормI} + |I_{торм.вIII}|\, w_{тормIII}} \leqslant \operatorname{tg}\alpha, \qquad (27)$$

где

$w_{тормIII}$ — используемое число витков третьей тормозной обмотки насыщающегося трансформатора реле;

$I_{тормIII}$ — ток, проходящий по этой тормозной обмотке.

Остальные обозначения те же, что и в (24).

Преобразовывая (27), для определения необходимого числа витков $w_{тормIII}$ тормозной обмотки *III* получаем следующее выражение:

$$w_{тормIII} \geqslant \frac{k_н I_{нб.расч}}{|I_{тормIII}|} \frac{w_{раб.расч}}{\operatorname{tg}\alpha} - \frac{|I_{тормI}| + |I_{тормII}|}{|I_{тормIII}|} \times \times w_{тормI}, \qquad (28)$$

где

$I_{тормI}$, $I_{тормII}$ и $I_{тормIII}$ — первичные тормозные токи, проходящие в расчетном случае повреждения по цепям, в которых установлены трансформаторы тока, питающие тормозные обмотки соответственно *I*, *II* и *III*; остальные обозначения те же, что и в (25).

Расчетным для определения необходимого числа витков тормозной обмотки *III* по (28) явится металлическое трехфазное короткое замыкание при таком сочетании режимов работы станции и систем, при котором имеет место наибольшее значение отношения

$$\Delta I = \frac{k_н I_{нб.расч}}{|I_{тормIII}|} \qquad (29)$$

и наименьшее значение отношения

$$\Delta I' = \frac{|I_{тормI}| + |I_{тормII}|}{|I_{тормIII}|}. \qquad (30)$$

Из рассмотрения (29) видно, что оно идентично (16), поэтому расчетное сочетание режимов работы станции и систем, при котором имеет место максимальное значение ΔI по (29), будет таким же, как и расчетное сочетание режимов, при котором будет иметь место максимальное значение ΔI по (16) для защиты с реле типа ДЗТ-1 при установке его тормозной обмотки на той же стороне, что и тормозной обмотки *III* реле типа ДЗТ-3 (приложение VI).

Расчетные сочетания режимов, при которых имеет место наименьшее значение отношения $\Delta I'$ по (30), рассмотрены в приложении VII.

Поскольку сочетания режимов, обеспечивающие расчетные значения отношений ΔI и $\Delta I'$, не совпадают, определение необходимого числа витков третьей тормозной обмотки по (28) должно производиться дважды (для обоих расчетных сочетаний режимов) и приниматься большее из полученных значений $w_{тормIII}$.

Следует отметить, что для блоков по рис. 50,*а* и *в* определение необходимого числа витков $w_{тормIII}$ для тормозной обмотки *III* в целях упрощения может производиться по (15), т. е. без учета тормозного момента, создаваемого тормозными обмотками *I* и *II*. Указанное допустимо, поскольку завышение числа витков тормозной обмотки на стороне, где отсутствует питание, не приводит к снижению чувствительности защиты.

б) Для блоков с трехобмоточным трансформатором, не имеющих питания со стороны среднего напряжения и имеющих выключатель в ответвлении к собственным нуждам (рис. 50,*д*) или имеющих выключатели в ответвлении к собственным нуждам и в цепи генератора (рис. 50,*е*), необходимые числа витков для всех тормозных обмоток определяются по (15) с учетом приложения VI аналогично тому, как в расчете защиты, выполненной с реле типа ДЗТ-1. При этом для блока, имеющего выключатель в цепи генератора (рис. 50,*е*), расчет необходимого числа витков тормозной обмотки *I*, установленной на стороне системы *II*, и тормозной обмотки *III*, установленной на ответвлении к собственным нуждам, в целях упрощения производится без учета тормозного момента, создаваемого тормозной обмоткой *II*, установленной в цепи генератора. Указанное допустимо, так как приводит к увеличению числа витков тормозных обмоток *I* и *III*, по которым при внутренних повреждениях ток не проходит, т. е. это не вызывает снижения чувствительности защиты.

Аналогично (15), (25) и (28) могут быть составлены расчетные выражения для определения необходимого числа витков тормозных обмоток и для других схем блоков, отличных от приведенных на рис. 50.

6. Чувствительность защиты при повреждениях в защищаемой зоне как в режимах, когда торможение отсутствует (если такие случаи возможны), так и в режимах, когда имеется торможение, определяется аналогично тому, как для защиты с реле типа ДЗТ-1.

Определение чувствительности защиты при повреждениях с торможением производится, исходя из расчетной по чувствительности характеристики срабатывания реле (кривая *1* на рис. 48).

II. Рекомендуемый порядок расчета

В соответствии с приведенными выше общими указаниями ниже дается порядок расчета дифференциальной защиты, выполненной с реле типа ДЗТ-3. Поскольку необходимость применения реле типа ДЗТ-3 в большинстве случаев выявляется на основании предварительных расчетов, ряд приведенных ниже операций не производится ввиду того, что соответствующие значения могут быть заимствованы из предварительного расчета.

Расчет защиты, выполненной с реле типа ДЗТ-3, производится в следующем порядке.

1. Определяются первичные токи для всех сторон трансформатора (автотрансформатора) блока, соответствующие номинальной мощности трансформатора (номинальной мощности его наиболее мощной обмотки) для блока генератор — трансформатор и проходной мощности автотрансформатора для блока генератор — автотрансформатор.

Исходя из коэффициентов трансформации используемых для защиты трансформаторов тока, определяются соответствующие вторичные токи в плечах защиты $I_{Iв}$, $I_{IIв}$ и $I_{IIIв}$.

2. Выбираются места присоединения тормозных обмоток в соответствии с указаниями, приведенными в § I, п. 2 для схем по рис. 50. Для других схем места установки тормозных обмоток намечаются, исходя из аналогичных соображений. В случае необходимости производятся дополнительные расчеты по определению ориентировочного значения минимального

тока срабатывания защиты $I_{с.з.мин}$ без учета составляющей тока небаланса $I_{нб.расч}$ для разных вариантов установки тормозных обмоток аналогично тому, как при выборе места установки тормозной обмотки в защите, выполненной с реле типа ДЗТ-1 (разд. В, § II, п. 2).

3. В тех случаях, когда целесообразное размещение тормозных обмоток выявляется на основании непосредственного рассмотрения схемы блока, исходя из принятого их размещения производятся следующие расчеты.

а) Определяется первичный максимальный ток короткого замыкания, проходящий через трансформатор (автотрансформатор) блока при таких внешних повреждениях, когда торможение отсутствует (если такие случаи возможны), и значение соответствующего первичного тока небаланса $I_{нб.расч}$ без учета составляющей $I'''_{нб.расч}$ по (4), (5) и (6).

Для блоков, имеющих ответвление к собственным нуждам, на котором не установлены трансформаторы тока рассматриваемой защиты, определяется также первичный максимальный ток короткого замыкания при повреждении за трансформатором или реактором собственных нужд, питаемым от этого ответвления.

б) Определяется ориентировочное значение первичного минимального тока срабатывания защиты $I_{с.з.мин}$ без учета составляющей тока небаланса $I'''_{нб.расч}$.

Расчет производится по (1), (2) и (3), исходя из максимальных значений тока небаланса $I_{нб.расч}$ при отсутствии торможения и тока короткого замыкания за трансформатором собственных нужд, полученных в п. 3,*а*.

4. Определяются числа витков рабочей обмотки насыщающегося трансформатора реле для основной стороны (стороны с наибольшим вторичным током в плече защиты) и для других сторон трансформатора (автотрансформатора) блока.

Расчет производится в той же последовательности, что и для защиты, выполненной с реле типа РНТ-562 (разд. Б, § II, пп. 6 и 7), учитывая при этом, что минимальная н. с. срабатывания (при отсутствии торможения) для реле типа ДЗТ-3 также равна $F_{с.р.мин}=60$ *а*.

Если для блока могут иметь место внешние повреждения при отсутствии торможения, то должен быть уточнен расчетный максимальный ток небаланса $I_{нб.расч}$ при этих повреждениях за счет учета составляющей тока небаланса $I'''_{нб.расч}$), обусловленной неточностью установки на насыщающемся трансформаторе реле расчетных чисел витков, и в случае необходимости уточнены принятые числа витков рабочей обмотки аналогично тому, как для реле типа РНТ-562 (разд. Б, § II, пп. 8 и 9).

Полученные числа витков для отдельных сторон устанавливаются на рабочих обмотках насыщающегося трансформатора реле (см. схему внутренних соединений реле на рис. 49).

5. Определяются необходимые числа витков тормозных обмоток насыщающегося трансформатора реле.

Для блоков, присоединенных к мощной системе через два выключателя, в первую очередь определяется необходимое число витков тормозных обмоток *I* и *II* насыщающегося трансформатора реле, устанавливаемых на стороне системы, к которой защищаемый блок присоединяется через два выключателя (см. рис. 50,*а—г*).

Прежде всего определяется тангенс угла наклона к оси абсцисс прямой, спрямляющей характеристику срабатывания реле, соответствующую минимальному торможению. Для этого по (4), (5), (6), (7) и (23) рассчитывается максимально возможная рабочая н. с. $F_{раб.макс}$ при повреждении на рассматриваемой стороне (в точке K_1) в максимальном режиме работы всех сторон. Если полученное значение $F_{раб.макс} \geqslant 200$ *а*, то в расчет вводится тангенс угла наклона к оси абсцисс касательной, проведенной из начала координат к характеристике срабатывания $\operatorname{tg}\alpha \approx 0{,}28$. Если значение $F_{раб.макс} < 200$ *а*, то проводится прямая (прямая *ОБ* на рис. 51), соединяющая начало координат с точкой, соответствующей максимально возможной рабочей н. с. $F_{раб.макс}$ и ограничивающей расчетный участок характеристики, и определяется тангенс угла наклона этой прямой к оси абсцисс $\operatorname{tg}\alpha$.

Далее, по (4), (5), (6) и (7) определяется первичный ток небаланса $I_{нб.расч}$, а также первичные тормозные токи $I_{тормI}$ и $I_{тормII}$ в расчетном для определения числа витков тормозных обмоток *I* и *II* режиме работы станции и систем (§ I, п. 5).

По (25) с учетом вычисленного выше значения $\operatorname{tg}\alpha$ определяются необходимые числа витков тормозных обмоток *I* и *II* насыщающегося трансформатора реле $w_{тормI} = w_{тормII}$.

Определяется необходимое число витков тормозной обмотки *III* насыщающегося трансформатора реле.

В первую очередь определяется тангенс угла наклона к оси абсцисс прямой, спрямляющей характеристику срабатывания реле. Указанное производится аналогично тому, как в расчете числа витков тормозных обмоток *I* и *II* (см. выше), с той лишь разницей, что максимальная рабочая н. с. $F_{раб.макс}$ определяется при повреждении в точке K_{III}, являющейся расчетной для определения необходимого числа витков тормозной обмотки *III*.

Далее определяются первичные тормозные токи $I_{тормII}$ и $I_{тормIII}$ и по (4), (5), (6) и (7) первичный ток небаланса $I_{нб.расч}$ в расчетном для определения числа витков тормозной обмотки *III* режиме работы станции и систем (§ I, п. 5).

По (28) определяется необходимое число витков тормозной обмотки *III* насыщающегося трансформатора реле.

Расчет производится дважды: для сочетания режимов, соответствующего наибольшему отношению токов ΔI по (29), и для сочетания режимов, соответствующего наименьшему отношению токов $\Delta I'$ по (30).

Для блоков с трехобмоточным трансформатором, не имеющих питания со стороны среднего напряжения и имеющих выключатель в ответвлении к собственным нуждам (рис. 50,*д*) или имеющих выключатели в ответвлении к собственным нуждам и в цепи генератора (рис. 50,*е*), расчет производится в отдельности для каждой тормозной обмотки без учета тормозного действия от других обмоток в том же порядке, как и для реле типа ДЗТ-1 (разд. В, § II, п. 5).

6. Определяется чувствительность защиты к повреждениям в режимах, когда торможение отсутствует, если такие режимы реальны. Для этого определяются первичные токи в месте повреждения, соответствующие вторичные токи и коэффициенты чувствительности $k_ч$ по (12) или (13) при расчетных металлических повреждениях на выводах трансформатора (автотрансформатора) блока в минимальных режимах работы систем для случаев, когда отсутствует торможение. Расчет производится аналогично тому, как для защиты, выполненной с реле типа ДЗТ-1 (разд. В, § II, п. 6).

7. Определяется чувствительность защиты в случаях, когда имеется торможение. Для этого определяются первичные токи в месте повреждения, соответствующие вторичные токи в рабочей обмотке насыщающегося трансформатора реле $I_{раб.в}$ на отдельных сторонах трансформатора (автотрансформатора) блока и токи в тормозных обмотках насыщающегося трансформатора реле $I_{тормI}$, $I_{тормII}$ и $I_{тормIII}$ при металлических повреждениях разных видов на выводах трансформатора (автотрансформатора) блока для случаев, когда имеется торможение, и в расчетных по чувствительности условиях.

Расчетным является минимальный режим работы питающих систем и такой режим работы трансформатора (автотрансформатора) блока, при котором возможно большая доля тока повреждения проходит через тормозную обмотку с наибольшим числом использованных витков (т. е., когда отношение тормозной н. с. к рабочей н. с. наибольшее).

8. Исходя из значений токов в рабочей и тормозной обмотках насыщающегося трансформатора реле, полученных в п. 7, по (18) или (19) и по (20) определяются рабочая н. с. $F_{раб}$ и тормозная н. с. $F_{торм}$ насыщающегося трансформатора реле в рассматриваемых случаях повреждений.

9. Исходя из расчетной по чувствительности характеристики срабатывания реле (соответствующей максимальному торможению) и значений рабочей н. с. $F_{раб}$ и тормозной н. с. $F_{торм}$, полученных в п. 8, графически определяются рабочая н. с. срабатывания реле $F_{раб.с.р}$, аналогично тому, как при расчете защиты, выполненной с реле типа ДЗТ-1 (разд. В, § II, п. 9).

10. Определяется значение коэффициента чувствительности $k_{ч.торм}$ в рассматриваемых случаях повреждения с торможением по (17), исходя из значений рабочей н. с. $F_{раб}$ и рабочей н. с. срабатывания реле $F_{раб.с.р}$, полученных соответственно в п. 8 и 9.

III. Пример расчета

В настоящем примере дан расчет дифференциальной защиты автотрансформатора блока турбогенератор — автотрансформатор (см. рис. 52,*а*), выполненной с реле типа ДЗТ-3.

Блок имеет выключатели в цепи генератора и в ответвлении к собственным нуждам.

Автотрансформатор блока 242/121/10,5 *кв* проходной мощностью 240 *Мва*; типовая мощность автотрансформатора со-

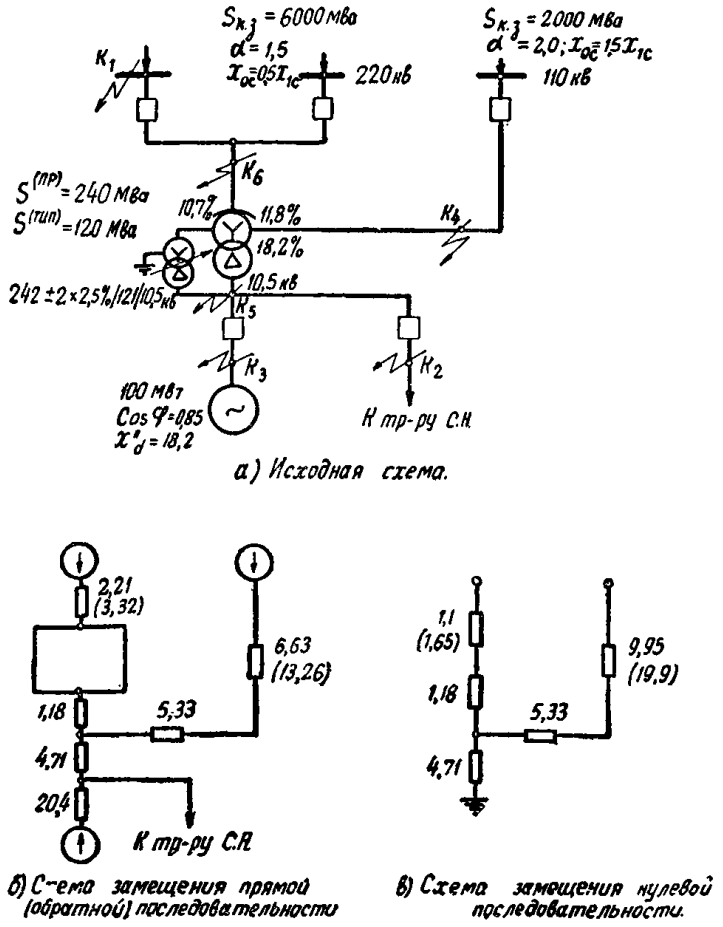


Рис. 52. Исходная схема и схемы замещения для примера расчета дифференциальной защиты автотрансформатора блока генератор — автотрансформатор, выполненной с реле типа ДЗТ-3.

Примечания: 1. На рис. 52,*а* реактансы короткого замыкания ВН—НН, ВН—СН и СН—НН автотрансформатора даны в процентах, отнесенных к его проходной мощности.

2. Сопротивления в схемах замещения рис. 52,*б* и *в* даны в омах, приведенных к напряжению 115 *кв*; для систем 110 и 220 *кв* без скобок указаны сопротивления в максимальном режиме, в скобках — в минимальном режиме.

3. На рис. 52,*а* α — отношения сопротивлений систем 220 и 110 *кв* в минимальном режиме к сопротивлению той же системы в максимальном режиме.

ставляет 50% проходной. Автотрансформатор имеет регулирование напряжения на стороне высшего напряжения ±2 × × 2,5% номинального, производимое перестановкой ответвлений при отключенном автотрансформаторе.

Для регулирования напряжения под нагрузкой предусмотрен добавочный трансформатор, первичная обмотка которого питается со стороны генераторного напряжения, а вторичная обмотка приключена к выводам со стороны нейтрали автотрансформатора. В зону дифференциальной защиты автотрансформатора включена только первичная обмотка добавочного трансформатора.

Исходная схема для примера расчета, а также схемы замещения прямой (обратной) и нулевой последовательностей приведены на рис. 52.

Схемы замещения рис. 52,*б* и *в* не включают добавочный трансформатор для регулирования напряжения под нагрузкой, поскольку в целях упрощения расчет токов повреждения производится без учета влияния последнего.

Настоящий пример рассчитан в именованных единицах, приведенных к ступени высшего напряжения (115 *кв*) как к базисной.

Предварительные расчеты показали, что из-за большого значения тока небаланса, обусловленного перетоками при внешнем коротком замыкании в сети 220 *кв* (в точке K_1, рис. 52,*а*), при выполнении дифференциальной защиты с помощью реле типа РНТ-562 не обеспечивается необходимая чувствительность. Применение реле типа ДЗТ-1 с включением тормозной обмотки на ток в цепи одного из выключателей стороны 220 *кв* не приводит к заметному увеличению чувствительности защиты. Это объясняется тем, что минимальный ток срабатывания защиты (при отсутствии торможения) $I_{с.з.мин}$, выбранный по условию отстройки от тока небаланса при внешнем коротком замыкании на ответвлении к собственным нуждам (точка K_2 на рис. 52,*а*), также оказывается большим, что обусловливает недостаточную чувствительность и при выполнении защиты с реле типа ДЗТ-1. Поэтому в рассматриваемом примере для дифференциальной защиты следует использовать реле с торможением типа ДЗТ-3.

Таблица 6

№ п.п.	Наименование величины	Числовое значение для сторон		
		220 *кв*	110 *кв*	10 *кв*
1	Первичные токи на сторонах защищаемого автотрансформатора, соответствующие его проходной мощности, *а*	$\frac{240\,000}{\sqrt{3}\cdot 242} = 573$	$\frac{240\,000}{\sqrt{3}\cdot 121} = 1\,146$	$\frac{240\,000}{\sqrt{3}\cdot 10{,}5} = 13\,200$
2	Коэффициент трансформации трансформаторов тока $n_т$	1000/5	2 000/5	7 000/5
3	Соединение трансформаторов тока	Δ	Δ	Y
4	Вторичные токи в плечах защиты, соответствующие проходной мощности защищаемого автотрансформатора блока $I_в$, *а*	4,96	4,96	9,4

Ниже дан подробный расчет защиты с реле типа ДЗТ-3, хотя некоторые данные могли бы быть заимствованы из предварительного расчета защит с реле типов РНТ-562 и ДЗТ-1.

Расчет производится в следующем порядке.

1. Определяются первичные токи для всех сторон защищаемого автотрансформатора блока, соответствующие его проходной мощности, выбираются трансформаторы для защиты и определяются соответствующие вторичные токи в плечах защиты. Токи на стороне высшего напряжения определены для среднего ответвления.

Расчеты по п. 1 сведены в табл. 6.

Трансформаторы тока, соединяемые в треугольник (на сторонах 220 и 110 *кв*), выбираются по первичному току $I_{ном}\sqrt{3}$, исходя из целесообразности не иметь вторичные номинальные токи, значительно превышающими 5 *а* (на стороне 10 *кв* в номинальном режиме фактически протекает ток 4,7 *а*).

2. Целесообразна следующая расстановка тормозных обмоток (см. рис. 50,*а*):

— по одной тормозной обмотке ($w_{тормI}$ и $w_{тормII}$) устанавливается в цепи обоих выключателей стороны 220 *кв* для обеспечения торможения со стороны наиболее мощного питания при всех внешних коротких замыканиях;

— третья тормозная обмотка ($w_{тормIII}$) устанавливается на ответвлении к собственным нуждам.

Включение третьей тормозной обмотки на сумму токов в генераторе и в ответвлении к собственным нуждам (рис. 50,*б*) в рассматриваемом случае нецелесообразно, поскольку ток небаланса при трехфазном коротком замыкании на выводах генератора (в точке K_3, рис. 52,*а*) в режиме, когда оба выключателя стороны 220 *кв* отключены, не является расчетным для выбора минимального тока срабатывания защиты. Значение тока короткого замыкания в рассматриваемом случае повреждения приведено на рис. 53,*а*. Первичный ток небаланса $I_{нб.расч}$ (без учета составляющей $I'''_{нб.расч}$) в этом случае равен:

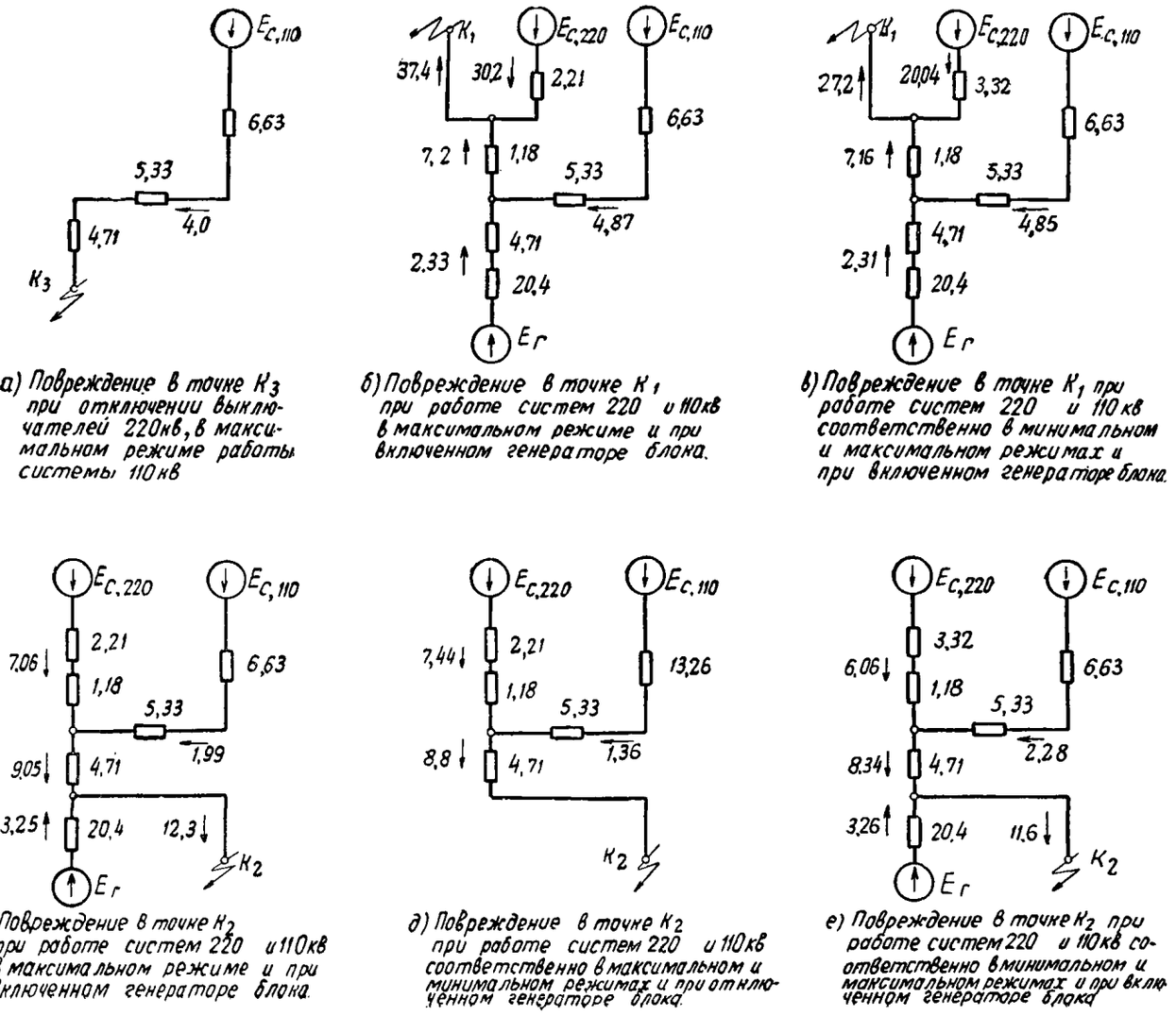
$$I_{нб.расч} = I'_{нб.расч} = k_{апер}k_{одн}f_i I_{к.з.макс} = 1\cdot 1\cdot 0{,}1\cdot 4{,}0 = 0{,}4\ ка,$$

т. е. значительно меньше, чем номинальный ток $I_{ном}$, входящий в (2) (ниже п. 3).

3. Определяется первичный минимальный ток срабатывания защиты $I_{с.з.мин}$ по условию отстройки от броска тока намагничивания по (2):

$$I_{с.з.мин} = kI_{ном} = 1{,}5\,\frac{1{,}146}{2} = 0{,}86\ ка.$$

4. Определяются числа витков рабочей обмотки насыщающегося трансформатора реле для основной стороны 10 *кв*



а) Повреждение в точке K_3 при отключении выключателей 220 кв, в максимальном режиме работы системы 110 кв

б) Повреждение в точке K_1 при работе систем 220 и 110 кв в максимальном режиме и при включенном генераторе блока.

в) Повреждение в точке K_1 при работе систем 220 и 110 кв соответственно в минимальном и максимальном режимах и при включенном генераторе блока.

г) Повреждение в точке K_2 при работе систем 220 и 110 кв в максимальном режиме и при включенном генераторе блока.

д) Повреждение в точке K_2 при работе систем 220 и 110 кв соответственно в максимальном и минимальном режимах и при отключенном генераторе блока.

е) Повреждение в точке K_2 при работе систем 220 и 110 кв соответственно в минимальном и максимальном режимах и при включенном генераторе блока.

Рис. 53. Токи в автотрансформаторе блока по рис. 52,*а* при внешних металлических трехфазных коротких замыканиях.
Примечание. Сопротивления даны в омах, а токи в килоамперах, приведенных к напряжению 115 *кв*.

(стороны с наибольшим вторичным током в плече защиты) и для других двух сторон —220 и 110 *кв*, исходя из значения минимального тока срабатывания защиты $I_{с.з.мин} = 0{,}86$ *ка*, полученного в п. 3.

После определения в первом приближении чисел витков для основной и неосновных сторон, уточняется ток небаланса при отсутствии торможения $I_{нб.расч}$ (для трехфазного короткого замыкания на выводах генератора — в точке K_3, рис. 52,*а*) за счет учета составляющей $I'''_{нб.расч}$, обусловленной неточностью установки на насыщающемся трансформаторе реле расчетных чисел витков. В настоящем примере, как показал приведенный ниже расчет (см. пп. 7 и 8 табл. 7), учет составляющей тока небаланса $I'''_{нб.расч}$ не привел к необходимости загрубления защиты, поскольку расчетной остается отстройка от броска тока намагничивания.

Расчеты по п. 4 сведены в табл. 7.

Как видно из табл. 7, учет составляющей тока небаланса $I'''_{нб.расч}$ в рассматриваемом случае не привел к необходимости загрубления защиты.

5. Определяется необходимое число витков тормозных обмоток *I* и *II* насыщающегося трансформатора реле, присоединяемых к трансформаторам тока, установленным на стороне 220 *кв*.

В первую очередь определяется тангенс угла наклона к оси абсцисс прямой, спрямляющей характеристику срабатывания реле. Для этого определяются токи, проходящие через защищаемый автотрансформатор при расчетном металлическом коротком замыкании между тремя фазами на стороне 220 *кв* (в точке K_1, рис. 52,*а*) в максимальном режиме работы обеих систем. Токи при рассматриваемом случае повреждения приведены на рис. 53,*б*.

Исходя из этих токов, по (4), (5), (6) и (7) определяется первичный ток небаланса при рассматриваемом повреждении

$$I_{нб.расч} = |I'_{нб.расч}| + |I''_{нб.расч}| + |I'''_{нб.расч}| =$$
$$= |k_{апер} k_{одн} f_i I_{к.з.макс}| + |\Delta U_\alpha I_{\alpha\, к.з.макс}| +$$
$$+ \left| \frac{w_{I\ расч.расч} - w_{I\ раб}}{w_{I\ раб.расч}} I_{I\ к.з.\ макс} \right| =$$
$$= 1 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}1 \cdot 37{,}4 + 0{,}05 \cdot 7{,}2 + \left| \frac{15{,}12 - 15}{15{,}12} \cdot (4{,}87 - 7{,}2) \right| =$$
$$= 3{,}0\ ка$$

(коэффициент однотипности $k_{одн}$ принимался равным 0,7, поскольку при рассматриваемом повреждении по трансформаторам тока стороны 220 *кв* проходят близкие по значению токи).

По (23) определяется максимальная рабочая н. с.

$$F_{раб.макс} = k_н I_{нб.расч.в} w_{раб.расч} =$$
$$= 1{,}5 \cdot \frac{3\,000}{2\,000/5} \cdot \sqrt{3} \cdot 15{,}12 = 295\ а.$$

Поскольку $F_{раб.макс} > 200\ а$, в расчете используется тангенс угла наклона касательной к оси абсцисс $\operatorname{tg}\alpha = 0{,}28$.

Необходимое число витков тормозных обмоток *I* и *II* определяется по (25). При этом расчетным явится металлическое замыкание между тремя фазами на стороне 220 *кв* (в точке K_1, рис. 52,*а*) в минимальном режиме работы системы 220 *кв*, максимальном режиме работы системы 110 *кв* и при включенном генераторе блока (§ I, п. 5). Токи при рассматриваемом случае повреждения приведены на рис. 53,*в*,

Таблица 7

Наименование величины	Обозначение и метод определения	Числовое значение
Минимальный ток срабатывания реле на основной стороне	$I_{с.р.мин.осн} = \dfrac{I_{с.з.мин}\dfrac{U_{х.х110}}{U_{х.х10}}}{n_{т10}}$	$\dfrac{860\cdot\dfrac{121}{10,5}}{7000/5} = 7,05\ а$
Расчетное число витков рабочей обмотки насыщающегося трансформатора реле для основной стороны	По (8) $w_{осн.раб.расч} = \dfrac{F_{с.р.мин}}{I_{с.р.мин.осн}}$	$\dfrac{60}{7,05} = 8,5$ витка
Предварительно принятое число витков для установки на основной стороне	$w_{осн.раб}$	8 витков
Соответствующий минимальный ток срабатывания реле на основной стороне	$I_{с.р.мин.осн} = \dfrac{60}{w_{осн.раб}}$	$\dfrac{60}{8} = 7,5\ а$
Расчетное число витков рабочей обмотки насыщающегося трансформатора реле для неосновных сторон (110 и 220 *кв*)	По (10) $w_{Iраб.расч} = w_{осн.раб}\dfrac{I_{осн.в}}{I_{Iв}}$	$8\cdot\dfrac{9,4}{4,96} = 15,12$ витка
Предварительно принятое число витков для установки на неосновных сторонах	$w_{Iраб}$	15 витков
Составляющая первичного тока небаланса, обусловленная округлением расчетного числа витков стороны 110 *кв* для расчетного случая повреждения без торможения на выводах генератора (рис. 53,*а*)	По (7) $I'''_{нб.расч} = \dfrac{w_{Iраб.расч} - w_{Iраб}}{w_{Iраб.расч}} I_{Iк.з.макс}$	$\dfrac{15,12-15}{15,12}\cdot 4,0 = 0,032\ ка$
Первичный расчетный ток небаланса с учетом составляющей $I'''_{нб.расч}$	По (4) $I_{нб.расч} = \lvert I'_{нб.расч}\rvert + \lvert I'''_{нб.расч}\rvert$.	$0,4 + 0,032 = 0,432\ ка$
Уточненное значение минимального тока срабатывания защиты, выбранного по условию отстройки от тока небаланса	По (1) $I_{с.з.мин} = k_н I_{нб.расч}$	$1,5\cdot 0,432 = 0,648\ ка$

Исходя из этих токов, по (4), (5), (6) и (7) определяется первичный ток небаланса:

$$I_{нб.расч} = |I'_{нб.расч}| + |I''_{нб.расч}| + |I'''_{нб.расч}| =$$
$$= |k_{апер}k_{одн}f_i I_{к.з.макс}| + |\Delta U_\alpha I_{\alpha\ к.з.макс}| +$$
$$+ \left|\frac{w_{I\ раб.расч} - w_{I\ раб}}{w_{I\ раб}} I_{I\ к.з.макс}\right| =$$
$$= 1\cdot 0,7\cdot 0,1\cdot 27,2 + 0,05\cdot 7,16 + \left|\frac{15,12-15}{15,12}\cdot(4,85-7,16)\right| =$$
$$= 2,28\ ка$$

(коэффициент однотипности $k_{одн}$ принимался равным 0,7).

По (25) определяется необходимое число витков тормозных обмоток *I* и *II* насыщающегося трансформатора реле:

$$w_{тормI\ расч} = w_{тормII\ расч} = \frac{k_н I_{нб.расч}}{|I_{тормI}| + |I_{тормII}|}\frac{w_{раб.расч}}{\operatorname{tg}\alpha} =$$
$$= \frac{1,5\cdot 2,28}{27,2+20,04}\cdot\frac{15,12}{0,28} = 3,91 \text{ витка}.$$

Для установки на насыщающемся трансформаторе реле принимается:

$$w_{тормI} = w_{тормII} = 4 \text{ витка}.$$

6. Определяется необходимое число витков тормозной обмотки *III* насыщающегося трансформатора реле, присоединяемой к трансформаторам тока, установленным на ответвлении к собственным нуждам.

Аналогично п. 5 в первую очередь определяется тангенс угла наклона к оси абсцисс прямой, спрямляющей характеристику срабатывания реле. Для этого определяются токи, проходящие через защищаемый автотрансформатор при металлическом коротком замыкании между тремя фазами на ответвлении к собственным нуждам (в точке K_2, рис. 52,*а*) в максимальном режиме работы обеих систем. Токи при рассматриваемом случае повреждения приведены на рис. 53,*г*.

Исходя из этих токов, по (4), (5), (6) и (7) определяется первичный ток небаланса, а по (23) максимальная рабочая н. с. при рассматриваемом повреждении:

$$I_{нб.расч} = |I'_{нб.расч}| + |I''_{нб.расч}| + |I'''_{нб.расч}| =$$
$$= |k_{апер}k_{одн}f_i I_{к.з.макс}| + |\Delta U_\alpha I_{\alpha\ к.з.макс}| +$$
$$+ \left|\frac{w_{I\ раб.расч} - w_{I\ раб}}{w_{I\ раб.расч}} I_{Iк.\ з.макс}\right| =$$
$$= 1\cdot 1\cdot 0,1\cdot 12,3 + 0,05\cdot 7,06 + \left|\frac{15,12-15}{15,12}\cdot(7,06+1,99)\right| =$$
$$= 1,66\ ка.$$

$$F_{раб.макс} = k_н I_{нб.расч.в} w_{раб.расч} =$$
$$= 1,5\cdot\frac{1\,660}{2\,000/5}\cdot\sqrt{3}\cdot 15,12 = 163\ а.$$

Поскольку $F_{раб.макс} < 200\ а$, на расчетную характеристику срабатывания реле наносится точка, соответствующая $F_{раб.макс}$ (точка *Б* на рис. 54), и определяется тангенс угла наклона прямой, соединяющей эту точку с началом координат $\operatorname{tg}\alpha_1 = 0,326$.

Необходимое число витков *III* тормозной обмотки в общем случае определяется по (28) дважды:

— для режима, соответствующего наибольшему значению отношения ΔI по (29);

— для режима, соответствующего наименьшему значению отношения $\Delta I'$ по (30).

Режим работы блока, соответствующий наибольшему значению отношения ΔI, будет иметь место при работе системы 220 *кв* в максимальном, системы 110 *кв* — в минимальном режиме и при отключенном генераторе блока аналогично тому, как для дифференциальной защиты, выполненной с реле типа ДЗТ-1, когда тормозная обмотка насыщающегося трансфор-

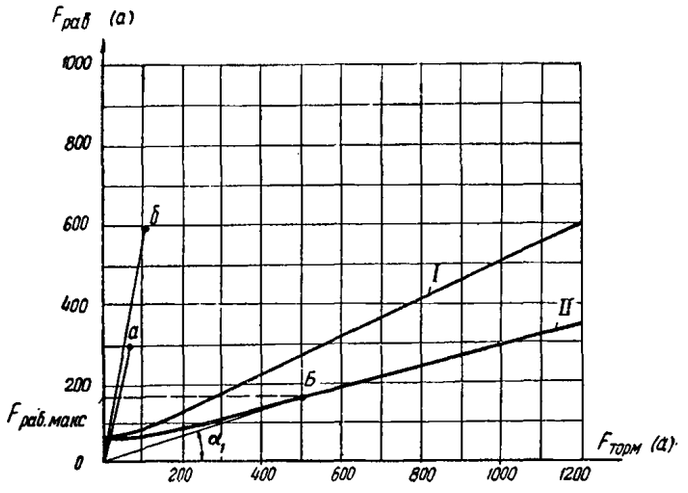


Рис. 54. Расчет защиты автотрансформатора блока по рис. 52,*а*, выполненной с реле типа ДЗТ-3.

матора реле устанавливается на ответвлении к собственным нуждам (приложение VI, п. Б,а).

Режим работы блока, соответствующий наименьшему значению отношения $\Delta I'$, будет иметь место при работе системы 220 *кв* в минимальном, а системы 110 *кв*—в максимальном режиме и при включенном генераторе блока (см. приложение VII, п. Б,б).

Токи для случая повреждения на ответвлении к собственным нуждам в двух рассматриваемых режимах работы блока приведены соответственно на рис. 53,*д* и *е*.

Исходя из этих токов, по (4), (5), (6) и (7) определяется первичный ток небаланса, а по (28) — необходимое число витков для тормозной обмотки *III*.

Расчеты по п. 6 сведены в табл. 8.

Схема включения реле для рассматриваемой защиты приведена на рис. 55.

7. Определяется чувствительность защиты при внутренних повреждениях, когда имеется торможение.

Рассматриваются следующие металлические короткие замыкания:

а) замыкание одной фазы на землю на выводах защищаемого автотрансформатора со стороны 110 *кв* (в точке K_4, рис. 52,*а*) при отключенном выключателе на этой стороне в минимальном режиме работы системы 220 *кв* (рис. 56);

б) замыкание между двумя фазами на выводах защищаемого автотрансформатора со стороны 10 *кв* (в точке K_5 рис. 52,*а*) при отключенном выключателе со стороны 110 *кв* в минимальном режиме работы системы 220 *кв* (рис. 57).

Для определения полных фазных токов, проходящих при замыкании на землю одной фазы по обмотке 10,5 *кв* автотрансформатора, соединенной в треугольник, используется (22).

Исходя из значений первичных токов короткого замыкания, при рассматриваемых случаях повреждения определяются вторичные токи, проходящие по рабочей и тормозной обмоткам насыщающегося трансформатора реле, соответственно $I_{раб.в}$ и $I_{торм.в}$, а по (18) и (20) — рабочая н. с. $F_{раб}$ и тормозная н. с. $F_{торм}$ насыщающегося трансформатора реле.

Исходя из значений рабочих и тормозных н. с. по расчетной характеристике срабатывания реле графически определяется рабочая н. с. срабатывания реле $F_{раб.с.р}$ (рис. 54), а по (17) вычисляется коэффициент чувствительности реле $k_{ч.торм}$.

а) Замыкание на землю одной фазы на стороне 110 *кв* (рис. 56):

$$I_{раб.в\ 220} = I_{тормI\ в} = 16{,}7\ a;$$

$$I_{раб.в\ 10} = 5{,}65\ a;$$

$$F_{раб} = 16{,}7 \cdot 15 + 5{,}65 \cdot 8 = 295\ a;$$

$$F_{торм} = 16{,}7 \cdot 4 = 67\ a;$$

$F_{раб.с.р} = 65\ a$ (соответствует точке пересечения прямой aO с характеристикой срабатывания на рис. 54);

$$k_{ч.торм} = \frac{295}{65} = 4{,}5.$$

б) замыкание между двумя фазами на стороне 10 *кв* (рис. 57):

$$I_{раб.в\ 220} = I_{тормIв} = \frac{6\,230 \cdot \frac{121}{242}}{1\,000/5}\sqrt{3} = 27\ a,$$

$$I_{раб.в\ 10} = \frac{2\,820 \cdot \frac{121}{10{,}5}}{7\,000/5} = 23{,}2\ a.$$

$$F_{раб} = 27 \cdot 15 + 23{,}2 \cdot 8 = 591\ a;$$

Таблица 8

Наименование величины	Обозначение и метод определения	Числовое значение
Первичный расчетный ток небаланса с учетом составляющей $I'''_{нб.расч}$ при повреждении на ответвлении собственных нужд — для сочетания режимов, соответствующего наибольшему ΔI	По (4), (5), (6) и (7) $I_{нб.расч} = \lvert I'_{нб.расч}\rvert + \lvert I''_{нб.расч}\rvert + \lvert I'''_{нб.расч}\rvert =$ $= \lvert k_{апер}\ k_{один} f_i I_{к.з.макс}\rvert + \lvert \Delta U_\alpha I_{\alpha к.з.макс}\rvert +$ $+ \left\lvert \frac{w_{Iраб.расч} - w_{Iраб}}{w_{Iраб.расч}} I_{Iк.з.макс} \right\rvert$	Исходя из токов по рис. 53,*д*, $1 \cdot 1 \cdot 0{,}1 \cdot 8{,}8 + 0{,}05 \cdot 7{,}44 +$ $+ \left\lvert \frac{15{,}12 - 15}{15{,}12} (7{,}44 + 1{,}36) \right\rvert = 1{,}32\ ка$
— для сочетания режимов, соответствующего наименьшему $\Delta I'$		Исходя из токов по рис. 53,*е*, $1 \cdot 1 \cdot 0{,}1 \cdot 11{,}6 + 0{,}05 \cdot 6{,}06 =$ $+ \left\lvert \frac{15{,}12 - 15}{15{,}12} (6{,}06 + 2{,}28) \right\rvert = 1{,}53\ ка$
Расчетное число витков тормозной обмотки *III* насыщающегося трансформатора реле — для сочетания режимов, соответствующего наибольшему ΔI	$w_{тормIII} = \frac{k_н I_{нб.расч}}{I_{тормIII}} \cdot \frac{w_{раб.расч}}{\operatorname{tg}\alpha} -$ $- \frac{\lvert I_{тормI}\rvert + \lvert I_{тормII}\rvert}{\lvert I_{тормIII}\rvert} w_{тормI}$	Исходя из токов по рис. 53,*д*, $\frac{1{,}5 \cdot 1{,}32}{8{,}8} \cdot \frac{8}{0{,}326} - \frac{7{,}44}{8{,}8} \cdot 4 = 2{,}14$ витка
— для сочетания режимов, соответствующего наименьшему $\Delta I'$		Исходя из токов по рис. 53,*е*, $\frac{1{,}5 \cdot 1{,}53}{11{,}6} \cdot \frac{8}{0{,}326} - \frac{6{,}06}{11{,}6} \cdot 4 = 2{,}77$ витка
Принятое число витков тормозной обмотки *III*	$w_{тормIII}$	3 витка

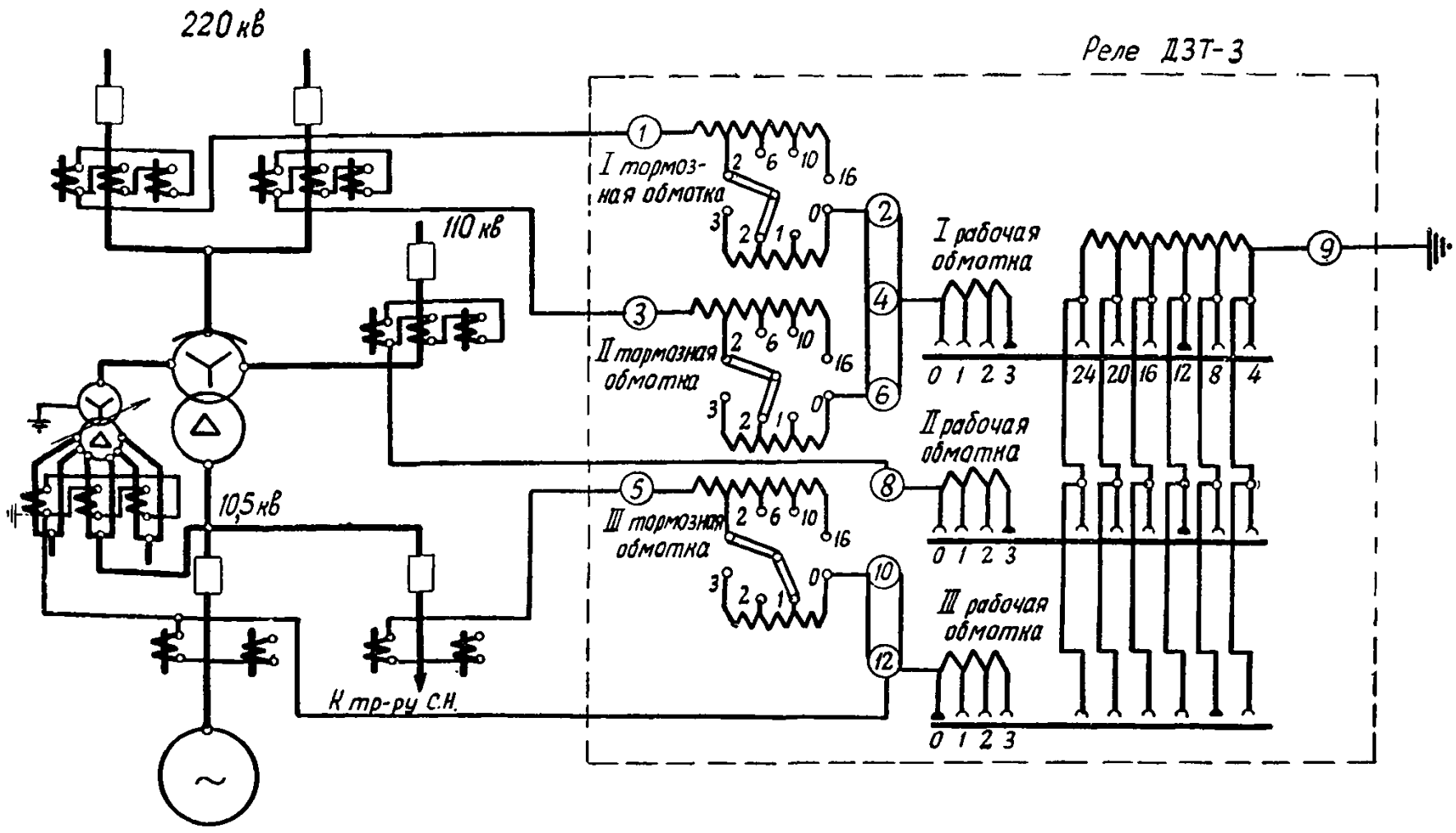
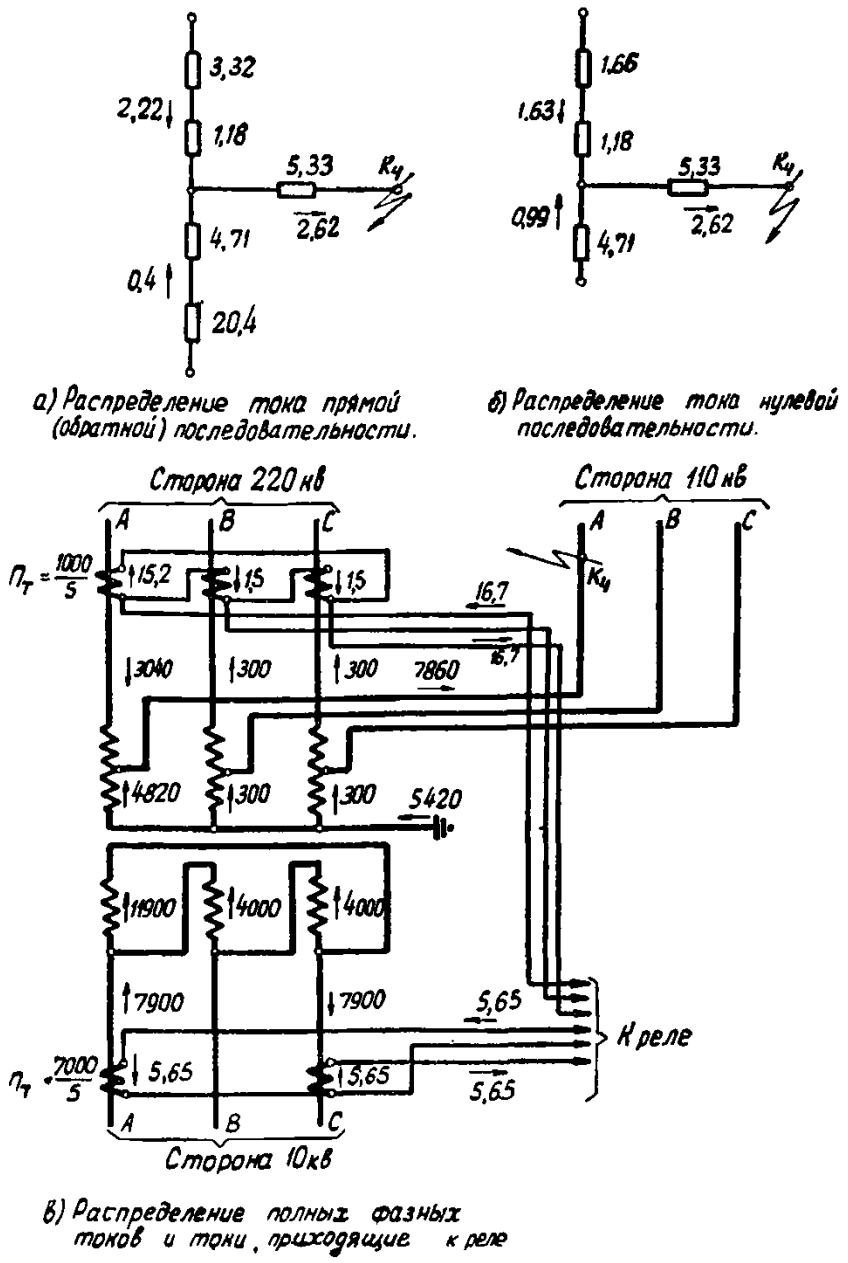


Рис. 55. Схема включения реле типа ДЗТ-3 в дифференциальной защите автотрансформатора блока по рис. 52,*а*.



а) Распределение тока прямой (обратной) последовательности. *б) Распределение тока нулевой последовательности.*

в) Распределение полных фазных токов и токи, приходящие к реле

Рис. 56. Токи в автотрансформаторе блока по рис. 52,*а* и в цепях его дифференциальной защиты при внутреннем замыкании одной фазы на землю на стороне 110 *кв*.

Примечания: 1. На рисунке приведены токи при замыкании одной фазы на землю на выводах защищаемого автотрансформатора со стороны 110 *кв* (в точке K_4 рис. 52,*а*) при отключенном выключателе на этой стороне в минимальном режиме работы системы 220 *кв*.

2. На рис. 56,*а* и *б* токи даны в килоамперах, а сопротивления в омах, приведенных к напряжению 115 *кв*, а на рис. 56,*в* — действительные значения первичных и вторичных токов в амперах.

$$F_{торм} = 27 \cdot 4 = 108\ a;$$

$F_{раб.с.р} = 63\ a$ (соответствует точке пересечения прямой *бО* с характеристикой срабатывания на рис. 54);

$$k_{ч.торм} = \frac{591}{63} = 9{,}4.$$

8. Определяется чувствительность защиты при внутренних повреждениях, когда торможение отсутствует.

Рассматриваются следующие металлические короткие замыкания:

а) замыкание одной фазы на землю на выводах защищаемого автотрансформатора со стороны 220 *кв* (в точке K_6, рис. 52,*а*) при отключенных выключателях на этой стороне в минимальном режиме работы системы 110 *кв* (рис. 58);

б) замыкание между двумя фазами на выводах защищаемого автотрансформатора со стороны 10 *кв* (в точке K_5, рис. 52,*а*) при отключенных выключателях со стороны 220 *кв* в минимальном режиме работы системы 110 *кв* (рис. 59).

Исходя из значений первичных токов короткого замыкания при рассматриваемых случаях повреждения, определяются вторичные токи, проходящие по рабочей обмотке насыщающегося трансформатора реле $I_{раб.в}$, а по (18) — рабочая н. с. $F_{раб}$ насыщающегося трансформатора реле. Далее по (12) вычисляется коэффициент чувствительности реле $K_ч$.

а) Замыкание на землю одной фазы на стороне 220 *кв* (рис. 58):

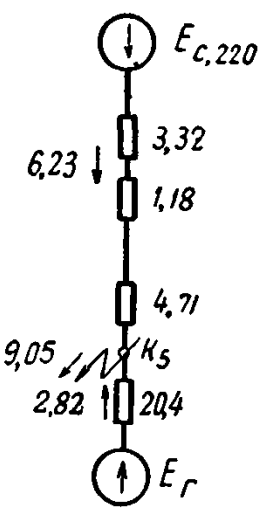


Рис. 57. Токи в автотрансформаторе блока по рис. 52,*а* при внутреннем коротком замыкании между двумя фазами на выводах его со стороны 10 *кв*.

Примечания: 1. На рисунке приведены токи при коротком замыкании между двумя фазами на выводах защищаемого автотрансформатора со стороны 10 *кв* (в точке K_5, рис. 52,*а*) при отключенном выключателе со стороны 110 *кв*, в минимальном режиме работы системы 220 *кв*.

2. На рисунке токи даны в килоамперах, а сопротивления в омах, приведенных к напряжению 115 *кв*.

$$I_{раб.в\ 110} = 9{,}9\ a;$$

$$I_{раб.в\ 10} = 14{,}0\ a;$$

$$F_{раб} = 9{,}9 \cdot 15 + 14{,}0 \cdot 8 = 261\ a;$$

$$k_ч = \frac{261}{60} = 4{,}35.$$

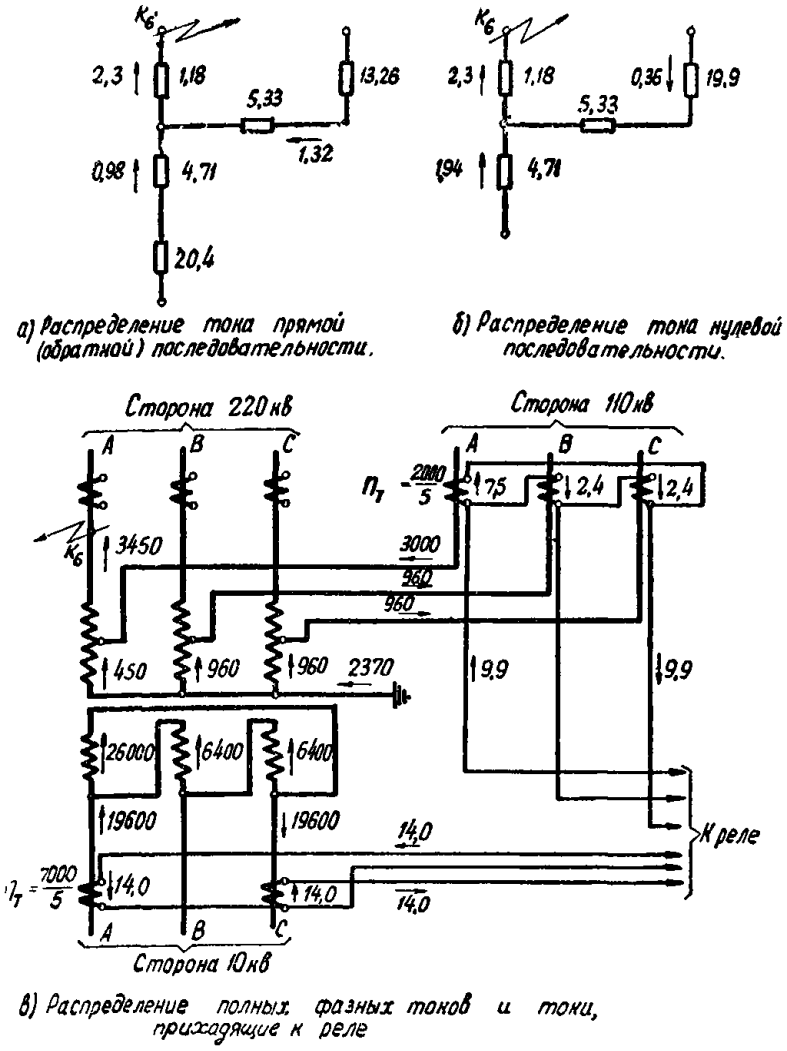


Рис. 58. Токи в автотрансформаторе блока по рис. 52,*а* и в цепях его дифференциальной защиты при внутреннем замыкании одной фазы на землю на стороне 220 *кв*.

Примечания: 1. На рисунке приведены токи при замыкании одной фазы на землю на выводах защищаемого автотрансформатора со стороны 220 *кв* (в точке K_6 рис. 52,*а*) при отключенных выключателях на этой стороне в минимальном режиме работы системы 110 *кв*.

2. На рис. 58,*а* и *б* токи даны в килоамперах, а сопротивления в омах, приведенных к напряжению 115 *кв*, а на рис. 58,*в* — действительные значения первичных и вторичных токов в амперах.

б) Замыкание между двумя фазами на стороне 10 *кв* рис. 59):

$$I_{\text{раб.в 110}} = \frac{2\,460}{2\,000/5} \cdot \sqrt{3} = 10{,}65 \ a;$$

$$I_{\text{раб.в 10}} = \frac{2\,810 \cdot \frac{121}{10{,}5}}{7\,000/5} = 23{,}1 \ a;$$

$$F_{\text{раб}} = 10{,}65 \cdot 15 + 23{,}1 \cdot 8 = 345 \ a;$$

$$k_{\text{ч}} = \frac{345}{60} = 5{,}75.$$

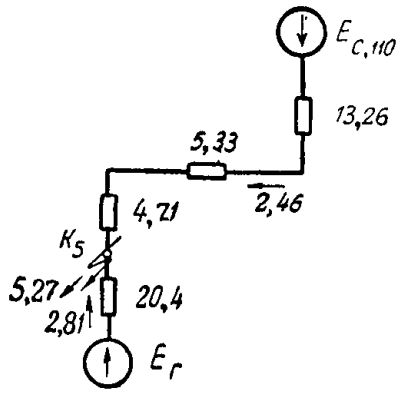


Рис. 59. Токи в автотрансформаторе блока по рис. 52,*а* при внутреннем коротком замыкании между двумя фазами на выводах его со стороны 10 *кв*.

Примечания: 1. На рисунке приведены токи при коротком замыкании между двумя фазами на выводах защищаемого автотрансформатора со стороны 10 *кв* (в точке K_5, рис. 52,*а*) при отключенных выключателях со стороны 220 *кв* в минимальном режиме работы системы 110 *кв*.

2. На рисунке токи даны в килоамперах, а сопротивления в омах, приведенных к напряжению 115 *кв*.

Как видно из приведенных расчетов, во всех рассмотренных случаях внутренних повреждений как при наличии, так и при отсутствии торможения защита, выполненная с реле типа ДЗТ-3, обладает хорошей чувствительностью.

Из рассмотрения рис. 54 видно, что точки *а* и *б*, соответствующие рабочей и тормозной н. с. насыщающегося трансформатора реле при рассматриваемых внутренних повреждениях с торможением, находятся от расчетной характеристики срабатывания реле на расстояниях, превышающих 10% координат этих точек.

Д. ПРОДОЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ГЕНЕРАТОРОВ

1. Рассматривается выполнение дифференциальной токовой защиты с реле типа РНТ-562 при использовании для защиты трансформаторов тока с одинаковыми коэффициентами трансформации (рис. 3, 5—12, 14—19) и с разными коэффициентами трансформации (рис. 13).

2. При выборе тока срабатывания защиты следует учитывать указания, приведенные в гл. 1, разд. А, § 11, п. 3.

Первичный ток срабатывания защиты $I_{\text{с.з}}$ выбирается по условию отстройки от расчетного максимального тока небаланса при переходном режиме внешнего короткого замыкания:

$$I_{\text{с.з}} = k_{\text{н}} I_{\text{нб.расч}}, \tag{31}$$

где

$k_{\text{н}}$ — коэффициент надежности, учитывающий ошибку реле и необходимый запас; ориентировочно может быть принят равным 1,3; уточняется при наладке.

Расчетный ток небаланса $I_{\text{нб.расч}}$, входящий в (31), может быть определен по выражению

$$I_{\text{нб.расч}} = k_{\text{апер}} k_{\text{одн}} f_i I_{\text{к.з.макс}}, \tag{32}$$

где

$I_{\text{к.з.макс}}$ — периодическая слагающая тока (при $t = 0$), проходящего через трансформаторы тока защиты при внешнем трехфазном металлическом коротком замыкании на выводах генератора;

$k_{\text{одн}}$ — коэффициент однотипности трансформаторов тока, принимаемый равным 0,5 при использовании для защиты трансформаторов тока с одинаковыми коэффициентами трансформации и равным 1,0 — с разными коэффициентами трансформации;

$k_{\text{апер}}$ и f_i — то же, что в (5).

Необходимо учитывать, что в некоторых случаях максимальный ток асинхронного режима $I_{\text{асинхр.макс}}$ при угле расхождения э. д. с. системы и защищаемого генератора, близком к 180°, может оказаться больше тока $I_{\text{к.з.макс}}$. В этих случаях в (32) вместо $I_{\text{к.з.макс}}$ следует подставлять ток $I_{\text{асинхр.макс}}$ при соответствующем расчетном режиме асинхронного хода.

При выполнении защиты с током срабатывания, большим номинального, в дополнение к (31) должно удовлетворяться следующее условие, которое практически всегда является расчетным:

$$I_{\text{с.з}} \geqslant k_{\text{н}} I_{\text{ном}}, \tag{33}$$

где $k_{\text{н}}$ — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,3;
$I_{\text{ном}}$ — номинальный ток генератора.

Для дифференциальной защиты с током срабатывания, меньшим номинального, выполненной с устройством контроля исправности вторичных цепей трансформаторов тока (рис. 3, 9—13, 18 и 19), в дополнение к (31) должно учитываться условие предотвращения неправильного действия защиты при разрывах этих цепей (приложение I).

3. Коэффициент чувствительности защиты $k_{\text{ч}}$ определяется по выражению

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.з.мин}}}{I_{\text{с.з}}}, \tag{34}$$

где

$I_{\text{к.з.мин}}$ — периодическая слагающая тока (при $t=0$) внутреннего металлического замыкания между двумя фазами на выводах генератора для случаев: *а* — одиночно работающего генератора, *б* — при самосинхронизации.

Выражение (34) применимо и для дифференциальной защиты генератора в схеме рис. 7, содержащей трансформаторы тока, соединенные в треугольник, поскольку условно можно считать, что при внутреннем повреждении весь ток короткого замыкания проходит со стороны трансформаторов тока защиты, соединенных в звезду.

В соответствии с Правилами устройства электроустановок (разд. III) минимальный коэффициент чувствительности по (34) допускается порядка 2,0.

В случае «а» указанное требование чувствительности всегда удовлетворяется; случай «б» может явиться расчетным при малой мощности системы.

4. Для схем, выполненных с устройством контроля исправности вторичных цепей трансформаторов тока защиты (рис. 3, 9—13, 18 и 19), ток срабатывания реле контроля должен быть больше тока небаланса при максимальном рабочем режиме.

Однако определяющей при расчетах является термическая устойчивость реле. Рекомендуется применять реле контроля типа ЭТ-521/2 с параллельным соединением обмоток и уставкой 1 *а*.

Выдержка времени устройства контроля принимается больше выдержки времени защиты генератора от внешних коротких замыканий.

Е. ОДНОСИСТЕМНАЯ ПОПЕРЕЧНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ГЕНЕРАТОРОВ

1. Рассматриваемая защита предусмотрена в схемах рис. 2, 3, 8—13, 15, 18 и 19.

2. Первичный ток срабатывания защиты должен быть отстроен от максимального тока небаланса по (31) с учетом выполнения реле защиты с фильтром, предотвращающим попадание в реле высших гармоник. Однако ввиду трудности определения тока небаланса, входящего в (31), на основании некоторых данных опыта эксплуатации ток срабатывания защиты может быть принят равным:

$$I_{с.з} = (0{,}2 — 0{,}3)\, I_{ном.ген}. \qquad (35)$$

При этом в зависимости от номинального тока генератора для возможности выбора тока срабатывания реле защиты типа ЭТ-521/ф в диапазоне его уставок (1,75—8,8 *а*) коэффициент трансформации трансформатора тока, питающего защиту, принимается в пределах

$$n_т = \frac{600}{5} \div \frac{1\,500}{5}.$$

Ж. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ВТОРИЧНОЙ ОБМОТКИ ДОБАВОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

1. Рассматривается выполнение дифференциальной токовой защиты с тремя реле типа РНТ-562, включенными на фазные токи, при использовании для защиты трансформаторов тока с одинаковыми коэффициентами трансформации (рис. 10, 11 и 18).

2. Первичный ток срабатывания защиты $I_{с.з}$ выбирается по условию отстройки от расчетного максимального тока небаланса при переходном режиме внешнего короткого замыкания по (31).

3. Чувствительность защиты определяется при металлическом коротком замыкании в соединениях между добавочным трансформатором и основным автотрансформатором для реально возможных режимов работы подстанции и питающих систем, вида повреждения и положения переключателя регулировки добавочного трансформатора, обусловливающих наименьший ток повреждения. (Метод расчета указанных повреждений см. в статье А. Б. Чернина «Токи короткого замыкания в сетях, содержащих автотрансформаторы с добавочными трансформаторами для продольного регулирования напряжения», «Электричество», 1960, № 10.)

Коэффициент чувствительности $k_ч$ рассчитывается по (34), где

$I_{к.з.мин}$ — первичный ток в месте повреждения при рассматриваемом случае короткого замыкания.

В соответствии с Правилами устройства электроустановок (разд. III) *минимальный коэффициент чувствительности* допускается порядка 2,0.

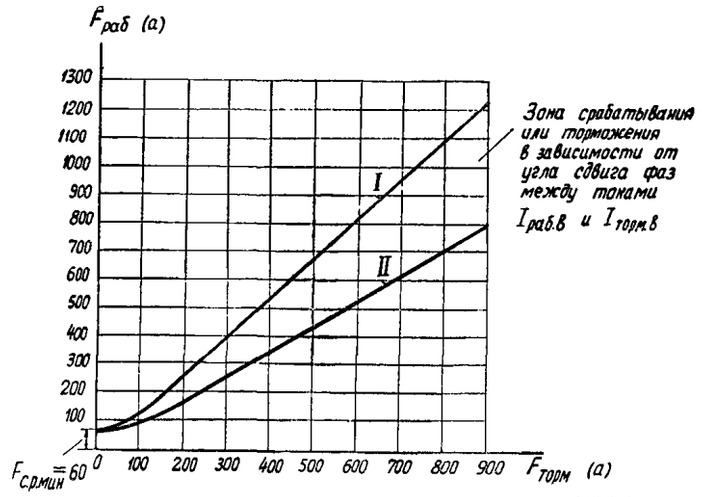


Рис. 60. Характеристики срабатывания реле типа МЗТ-1.

Примечания: 1. Кривые заимствованы из инструкции Чебоксарского электроаппаратного завода по монтажу и эксплуатации реле типа МЗТ-1.

2. Кривые обозначены: *I* — характеристика срабатывания, соответствующая максимальному торможению; *II* — характеристика срабатывания, соответствующая минимальному торможению.

З. МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ДОБАВОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ, ВЫПОЛНЕННАЯ С РЕЛЕ ТИПА МЗТ-1

1. Ниже даны основные указания по расчету максимальной токовой защиты с торможением добавочного трансформатора для регулирования напряжения под нагрузкой, выполненной с реле типа МЗТ-1 (рис. 10, 11 и 18).

Насыщающийся трансформатор реле типа МЗТ-1 имеет рабочую и тормозную обмотки. Наличие тормозной обмотки позволяет осуществить торможение от тока в одном комплекте трансформаторов тока. Рабочая обмотка приключена к трансформаторам тока, установленным на первичной стороне добавочного трансформатора и соединенным в звезду, а тормозная обмотка приключена к трансформаторам тока, встроенным со стороны выводов автотрансформатора к нейтрали и соединенным в треугольник. Указанное соединение трансформаторов тока, используемых для защиты, принято в целях получения однозначной зависимости между токами в рабочей и тормозной обмотках при всех видах внешних коротких замыканий.

Характеристика срабатывания реле при наличии торможения $F_{раб} = f(F_{торм})$ нестабильна и зависит от угла между рабочим $I_{раб.в}$ и тормозным $I_{торм.в}$ токами в насыщающемся трансформаторе реле. На рис. 60 приведены заводские характеристики реле для таких углов между рабочим и тормозным токами, при которых обеспечивается максимальное (кривая *I*) и минимальное (кривая *II*) торможение.

Схема внутренних соединений реле и принципиальная схема его включения показаны на рис. 61.

При расчете рассматриваемой защиты добавочного трансформатора используются те же основные положения, что и при расчете дифференциальной токовой защиты блока или трансформатора (автотрансформатора) блока, выполненной с реле типа ДЗТ-1, имеющим торможение, как и реле типа МЗТ-1 (разд. В, § 1).

2. Недействие защиты при бросках тока намагничивания и отсутствии торможения (например, при восстановлении напряжения после отключения короткого замыкания на стороне низшего напряжения трансформатора и установке регулирующего устройства на вторичной стороне добавочного трансформатора на нулевое положение) обеспечивается выбором минимального тока срабатывания защиты $I_{с.з.мин}$ (при $I_{торм}=0$) по (2), в котором $I_{ном}$ — номинальный ток первичной обмотки защищаемого добавочного трансформатора, а коэффициент k до уточнения при наладке может приниматься равным 1,2—1,5.

3. Число витков рабочей обмотки насыщающегося трансформатора реле, соответствующее минимальному току срабатывания защиты $I_{с.з.мин}$, определяется по выражению

$$w_{раб.расч} \leqslant \frac{F_{с.р.мин}}{\frac{I_{с.з.мин}}{n_{т.раб}}}, \qquad (36)$$

где

$F_{с.р.мин}$ — минимальная рабочая н. с. срабатывания реле при отсутствии торможения;
для реле типа МЗТ-1 по данным завода

$$F_{с.р.мин} = 60\ а;$$

$n_{т.раб}$ — коэффициент трансформации трансформаторов тока, к которым приключены рабочие обмотки насыщающегося трансформатора реле.

4. Недействие защиты при внешних повреждениях, когда имеет место торможение (по тормозной обмотке насыщающегося трансформатора реле проходит ток), обеспечивается, исходя из характеристики срабатывания реле, соответствующей минимальному торможению (кривая *II* на рис. 60).

В целях упрощения расчета рассматриваемая характеристика срабатывания реле заменяется касательной к ней, проведенной из начала координат.

По аналогии с дифференциальной защитой блока, выполненной с реле типа ДЗТ-1, недействие максимальной токовой защиты добавочного трансформатора, выполненной с реле типа МЗТ-1, будет обеспечено если при принятом числе витков тормозной обмотки насыщающегося трансформатора реле удовлетворяется неравенство, аналогичное неравенству (14):

$$k_н \frac{I_{раб.в} w_{раб}}{I_{торм.в} w_{торм}} \leqslant \operatorname{tg} \alpha, \qquad (37)$$

где

$I_{раб.в}$ и $I_{торм.в}$ — токи соответственно в рабочей и тормозной обмотках насыщающегося трансформатора реле;

$w_{раб}$ и $w_{торм}$ — используемое число витков соответственно рабочей и тормозной обмоток насыщающегося трансформатора реле;

$\operatorname{tg} \alpha$ — тангенс угла наклона к оси абсцисс касательной, проведенной из начала координат к характеристике срабатывания реле, соответствующей минимальному торможению; исходя из заводской характеристики срабатывания (кривая *II* на рис. 60), принимается равным ~0,78.

В нагрузочных режимах и при внешних коротких замыканиях токи в рабочей и тормозной обмотках насыщающегося трансформатора реле соответственно $I_{раб.в}$ и $I_{торм.в}$ связаны следующим соотношением:

$$\frac{I_{раб.в}}{I_{торм.в}} = \frac{\dfrac{I_{раб}}{n_{т.раб}}}{\dfrac{I_{торм}}{n_{т.торм}}\sqrt{3}} = \frac{n_{т.торм} N_{доб}}{\sqrt{3}\, n_{т.раб}}, \qquad (38)$$

где

$I_{раб}$ — первичный ток на стороне первичной обмотки защищаемого добавочного трансформатора в нагрузочных режимах и при внешних коротких замыканиях;

$I_{торм}$ — первичный ток на стороне вторичной обмотки защищаемого добавочного трансформатора при тех же условиях, что и ток $I_{раб}$;

$N_{доб}$ — коэффициент трансформации защищаемого добавочного трансформатора, принятый равным отношению напряжений на его вторичной и первичной обмотках при холостом ходе;

$n_{т.раб}$ — коэффициент трансформации трансформаторов тока, соединенных в звезду, к которым приключена рабочая обмотка;

$n_{т.торм}$ — коэффициент трансформации трансформаторов тока, соединенных в треугольник, к которым приключена тормозная обмотка.

В (38) введен коэффициент, равный $\sqrt{3}$ в связи с тем, что трансформаторы тока, к которым приключены тормозные обмотки насыщающихся трансформаторов реле, соединены в треугольник.

Из (37), учитывая отношение вторичных токов по (38), для определения необходимого числа витков тормозной обмотки насыщающегося трансформатора реле можно получить следующее выражение:

$$w_{торм} \geqslant \frac{k_н n_{т.торм} N_{доб.макс}}{\sqrt{3}\, n_{т.раб} \operatorname{tg} \alpha} w_{раб}. \qquad (39)$$

В (39) в качестве расчетного значения коэффициента трансформации добавочного трансформатора (т. е. обусловливающего наибольшее число необходимых витков $w_{торм}$) должно приниматься наибольшее абсолютное его значение из всех возможных положительных и отрицательных значений ($N_{доб.макс}$).

5. Чувствительность рассматриваемой защиты условно в целях упрощения оценивается по коэффициенту чувствительности при металлическом замыкании между двумя фазами на выводах первичной обмотки добавочного трансформатора. Указанный коэффициент чувствительности определяется аналогично тому, как в расчете дифференциальной защиты блока, выполненной с реле типа ДЗТ-1, по (17).

Рабочая н. с. насыщающегося трансформатора реле, входящая в (17), равна:

$$F_{раб} = I_{раб.в} w_{раб}, \qquad (40)$$

где $I_{раб.в}$ — ток в рабочей обмотке насыщающегося трансформатора реле при рассматриваемом повреждении;

$w_{раб}$ — то же, что в (37).

Рабочая н. с. срабатывания реле $F_{раб.с.р}$, также входящая в (17), определяется как ордината точки пересечения расчетной по чувствительности характеристики срабатывания реле (кривая *I* на рис. 60) и прямой, соединяющей начало координат с точкой, координаты которой соответствуют рабочей н. с. $F_{раб}$, вычисляемой по (40), и тормозной н. с. $F_{торм}$, вычисляемой по (20).

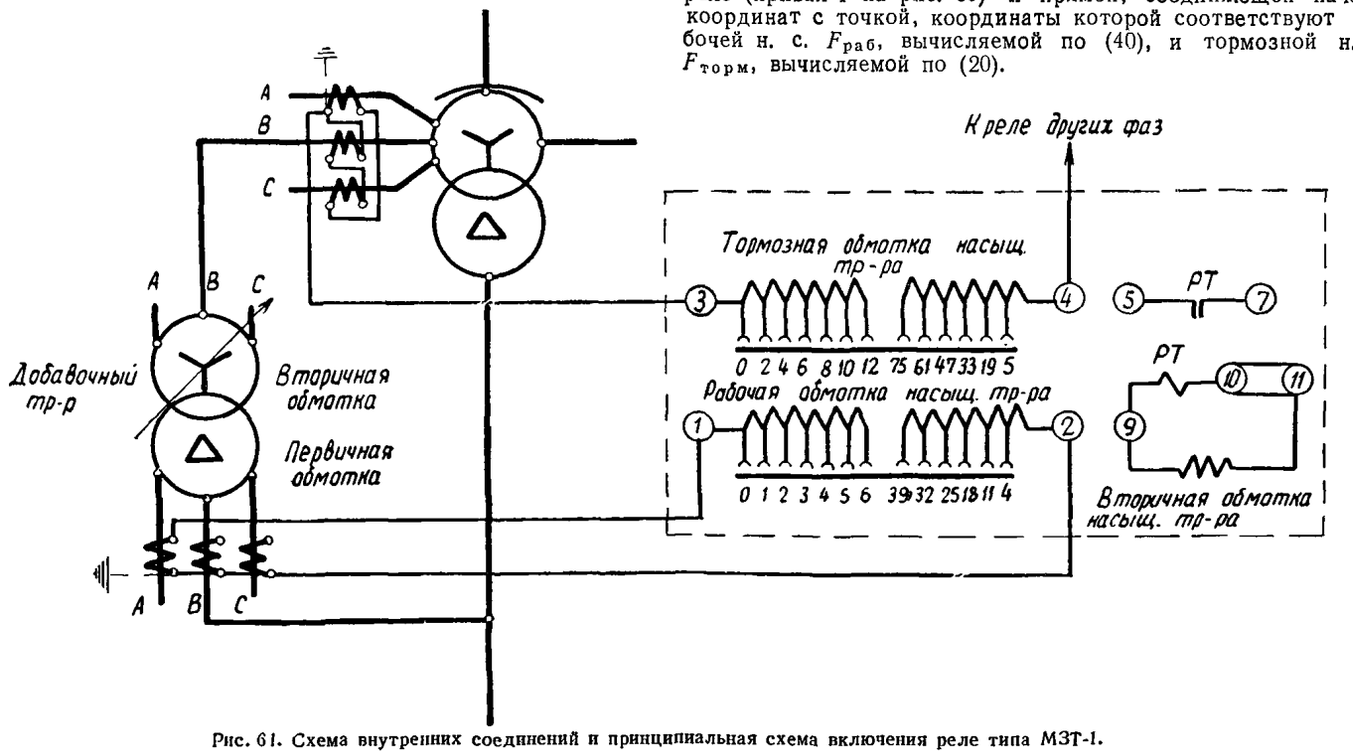


Рис. 61. Схема внутренних соединений и принципиальная схема включения реле типа МЗТ-1.

В качестве расчетных для определения чувствительности должны быть рассмотрены такие режимы работы питающих систем, при которых ток в рабочей обмотке насыщающегося трансформатора реле $I_{раб.в}$, а также отношение указанного тока к току в тормозной обмотке насыщающегося трансформатора реле $I_{торм.в}$ имеют наименьшее значение [поскольку при этом $F_{раб.с.р}$ в (17) имеют наибольшее значение].

При несовпадении указанных условий расчет чувствительности производится дважды: для режимов, соответствующих первому условию, и для режимов, соответствующих второму условию.

Следует отметить, что при оценке чувствительности защиты по (17) необходимо также, чтобы точки, соответствующие расчетным случаям повреждений, находились от расчетной по чувствительности характеристики срабатывания реле на расстояниях, не меньших, чем 10% координат точки. Указанное является обязательным условием надежной работы реле.

И. ЗАЩИТА ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ НА СТОРОНЕ ГЕНЕРАТОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ БЛОКОВ

1. Рассматриваемая защита предусмотрена в схемах рис. 1—19 с действием на сигнал.

2. Напряжение срабатывания защиты от замыканий на землю на стороне генераторного напряжения блока генератор—трансформатор (автотрансформатор) при выполнении защиты от замыканий на землю на одной из других сторон блока с действием на сигнал отстраивается от эффективного значения результирующего напряжения в месте установки защиты:

$$U_{с.р} \geqslant k_{н} \frac{3}{n_{н}} \sqrt{U_{03}^2 + U_{0эл.ст}^2}, \qquad (41)$$

где

U_{03} — напряжение тройной частоты, обусловленное искажением синусоидальной формы кривой фазного напряжения генератора;

$U_{0эл.ст}$ — напряжение основной частоты, обусловленное электростатической индукцией между обмотками высшего и низшего напряжений повышающего трансформатора при замыкании на землю на стороне высшего напряжения и действии защиты этой стороны на сигнал;

$n_{н}$ — коэффициент трансформации трансформатора напряжения, приключенного на выводах генератора и используемого для получения напряжения нулевой последовательности;

$k_{н}$ — коэффициент надежности, принимаемый порядка 1,3 — 1,5.

Следует отметить, что напряжения других частот, кратных тройной частоте, также обусловленные искажением синусоидальной формы кривой фазного напряжения генератора, не учитываются при определении результирующего напряжения в месте установки защиты в связи с тем, что они малы в сравнении с напряжением тройной частоты.

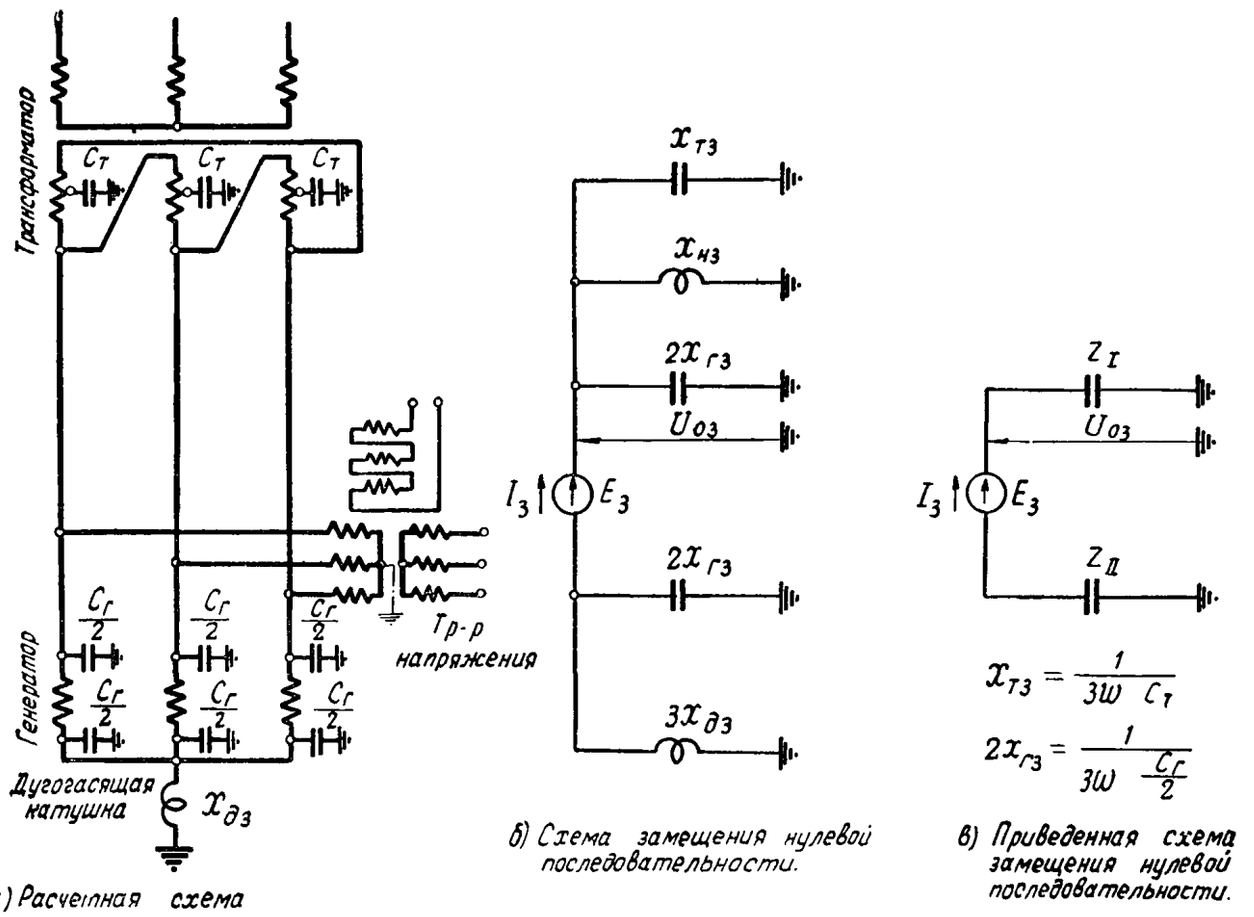
3. Напряжение срабатывания рассматриваемой защиты при выполнении защиты от замыканий на землю на всех других сторонах блока с действием на отключение выбирается по условию отстройки от напряжения тройной частоты:

$$U_{с.р} \geqslant \frac{k_{н}}{k_{в}} \frac{3U_{03}}{n_{н}}, \qquad (42)$$

где

$k_{в}$ — коэффициент возврата реле.

При этом принимается, что рассматриваемая защита в системе генераторного напряжения имеет бо́льшую выдержку времени, чем защиты от замыканий на землю с действием на отключение на других сторонах блока.



а) Расчетная схема

б) Схема замещения нулевой последовательности.

в) Приведенная схема замещения нулевой последовательности.

Рис. 62. Схема замещения для определения напряжения U_{03}, обусловленного наличием составляющей тройной частоты в кривой фазного напряжения генератора.

Обозначения:

$E_з$ — э. д. с. тройной частоты генератора;

$I_з$ — ток тройной частоты в генераторе;

$x_{тз}$ — емкостное сопротивление по отношению к земле токам тройной частоты одной фазы обмотки низшего напряжения трансформатора;

$x_{нз}$ — индуктивное сопротивление одной фазы трансформатора напряжения токам тройной частоты;

$x_{гз}$ — емкостное сопротивление по отношению к земле токам тройной частоты одной фазы обмотки статора генератора;

$x_{дз}$ — индуктивное сопротивление дугогасящей катушки токам тройной частоты.

4. На рис. 62 приведена схема замещения для определения напряжения U_{03}, обусловленного наличием третьей гармоники в кривой фазного напряжения генератора для общего случая, когда генератор заземлен через дугогасящую катушку.

Ориентировочно э. д. с. тройной частоты при номинальной нагрузке генератора может быть принята:

$$E_3 = (0{,}05 \div 0{,}1)\, U_{\text{ф.ном}}, \qquad (43)$$

где $U_{\text{ф.ном}}$ — номинальное фазное напряжение генератора.

Следует отметить, что значение э. д. с. тройной частоты генератора E_3 для гидрогенераторов с явно выраженными полюсами больше, чем для турбогенераторов с распределенной обмоткой возбуждения, ввиду более близкого к синусоиде поля генератора в последнем случае.

Из рассмотрения рис. 62,*в* следует, что э. д. с. тройной частоты распределяется пропорционально между сопротивлениями Z_{I} и Z_{II}, некоторые равны:

$$Z_{\text{I}} = -jx_{\text{тз}} \| jx_{\text{нз}} \| -j2x_{\text{гз}}; \qquad (44)$$

$$Z_{\text{II}} = -j2x_{\text{гз}} \| j3x_{\text{дз}}, \qquad (45)$$

где $x_{\text{тз}}$ и $x_{\text{гз}}$ — емкостные сопротивления по отношению к земле токам тройной частоты соответственно одной фазы обмотки низшего напряжения трансформатора и одной фазы обмотки статора генератора;

$x_{\text{нз}}$ — индуктивное сопротивление одной фазы трансформатора напряжения токам тройной частоты;

$x_{\text{дз}}$ — индуктивное сопротивление дугогасящей катушки токам тройной частоты.

Напряжение тройной частоты, обусловленное искажением синусоидальной формы кривой фазного напряжения генератора, определяется по выражению

$$U_{\text{03}} = E_3 \frac{Z_{\text{I}}}{Z_{\text{I}} + Z_{\text{II}}}. \qquad (46)$$

Схема замещения рис. 62 составлена для случая выполнения соединений между генератором и трансформатором голым токопроводом, емкостью которого можно пренебречь, учитывая ее малое значение по сравнению с емкостью других элементов.

В случае выполнения соединений кабелем их емкость должна учитываться при определении напряжения U_{03}, поскольку она может оказаться соизмеримой с емкостью других

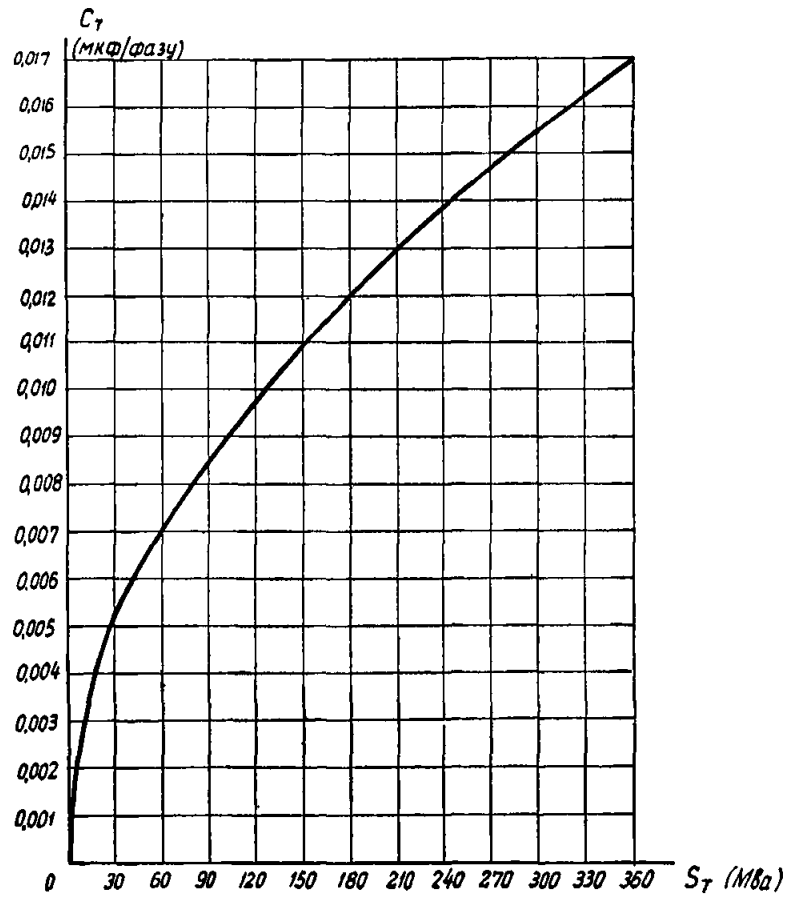


Рис. 63. Зависимость емкости $C_т$ по отношению к земле одной фазы обмотки низшего напряжения трансформатора от его мощности.

Примечания: 1. Кривая заимствована из отчета по научно-исследовательской работе МЭИ «Защита мощных гидрогенераторов, работающих в блоке с трансформатором» 1950 г.

2. $S_т$ — мощность трех фаз трансформатора.

Таблица 9

Значения емкости одной фазы обмотки статора по отношению к земле турбо- и гидрогенераторов

	Тип генератора	Мощность S, *Мва*	Номинальное напряжение $U_{\text{ном}}$, *кв*	Емкость обмотки статора по отношению к земле $C_г$, *мкф/фазу*
Турбогенераторы	Т2-3,5-2	4,375	6,3	0,05
	Т2-6-2	7,5	6,3	0,05
	Т2-12-2	15,0	6,3	0,10
	Т2-12-2	15,0	10,5	0,08
	Т2-25-2	31,25	6,3	0,20
	Т2-25-2	31,25	10,5	0,16
	Т2-50-2	58,9	10,5	0,25
	Т2-100-2	111,1	15,75	0,39
	ТВ2-100-2	117,5	13,8	0,29
	ТВФ-100-2	117,5	10,5	0,26
	ТВ2-150-2	166,5	18,0	0,29
	ТВВ-150-2	176,5	18,0	0,154
	ТВФ-200-2	235,0	11,0	0,44
	ТВВ-200-2	235,0	15,75	0,105
	ТГВ-200	235,0	15,75	0,4
	ТВВ-300-2	353,0	20,0	0,304
	ТГВ-300	353,0	20,0	0,43
Гидрогенераторы	СВ $\frac{546}{90}$-60	15,6	6,3	0,26
	СВ $\frac{750}{75}$-40	27,0	10,5	0,31
	СВ $\frac{800}{105}$-60	30,0	10,5	0,28
	СВ $\frac{655}{110}$-32	44,0	10,5	0,35
	СВ $\frac{1100}{145}$-88	50,0	15,75	0,57
	СВ $\frac{1050}{120}$-68	50,0	10,5	0,64
	СВ $\frac{1250}{170}$-36	68,75	13,8	0,97
	СВ $\frac{1160}{170}$-72	90,0	13,8	0,83

Примечания: 1. Емкости одной фазы обмотки статора по отношению к земле, приведенные в таблице, даны по материалам заводов „Электросила" и „Электротяжмаш". Емкости обмотки статора даны для температуры 25° С.

2. Для гидрогенераторов других типов значение емкости одной фазы обмотки статора по отношению к земле может быть определено по следующей приближенной формуле:

$$C_г = \frac{kS^{3/4}}{3(U_{\text{ном}} + 3\,600)n^{1/3}},\ \text{мкф/фазу},$$

где S — мощность генератора, *ква*;
$U_{ном}$ — междуфазное напряжение, *в*;
k — коэффициент, зависящий от класса изоляции (для класса Б при $t = 25°$ С $k \gtrsim 40$);
n — скорость вращения, *об/мин*.

3. По данным завода „Электросила" емкость обмотки статора по отношению к земле практически мало меняется с изменением температуры.

элементов. Указанное относится также к приведенному ниже рис. 64.

5. Значения емкостей одной фазы обмотки статора генератора по отношению к земле $C_г$, необходимые для определения $x_{гз}$, для некоторых типов генераторов приведены в табл. 9. Для гидрогенераторов других типов в примечаниях к табл. 9 приведены эмпирические приближенные формулы для определения значений емкости $C_г$.

6. Значение емкости одной фазы обмотки низшего напряжения трансформатора относительно земли $C_т$, необходимое для вычисления сопротивления $x_{тз}$, может быть определено по кривой рис. 63.

7. Значение индуктивного сопротивления трансформатора напряжения токам тройной частоты $x_{нз}$ может быть с достаточной точностью определено по выражению

$$x_{нз} = 3x_н \approx 3z_{х.х} = \frac{3U_{ном}}{I_{х.х}}, \qquad (47)$$

где $x_н$ — индуктивное сопротивление трансформатора напряжения токам основной частоты со стороны обмотки высшего напряжения;

$z_{х.х}$ — сопротивление холостого хода трансформатора напряжения;

$U_{ном}$ — номинальное напряжение первичной обмотки трансформатора напряжения;

$I_{х.х}$ — ток холостого хода трансформатора напряжения со стороны первичной обмотки.

Практически ввиду весьма большого значения $x_{нз}$ можно не учитывать.

8. На рис. 64 приведена схема замещения для определения напряжения $U_{0эл.ст}$, обусловленного электростатической индукцией между обмотками двухобмоточного трансформатора при замыкании на землю на стороне высшего напряжения.

Из рассмотрения рис. 64,*в* следует, что при замыканиях на землю в сети высшего напряжения напряжение нулевой последовательности $kU_0^{(в)}$ распределяется пропорционально между сопротивлениями $x_{т(мо)}$ и Z_Σ:

$$U_{0эл.ст} = kU_0^{(в)} \frac{Z_\Sigma}{Z_\Sigma - jx_{т(мо)}}, \qquad (48)$$

где $U_0^{(в)}$ — напряжение нулевой последовательности при замыканиях на землю на стороне высшего напряжения трансформатора блока;

k — коэффициент, учитывающий распределение напряжения $U_0^{(в)}$ по обмотке высшего напряжения трансформатора (приближенно $k = 1$ при изолированной нейтрали блока, $k = 0{,}5$ при заземленной нейтрали блока);

$x_{т(мо)}$ — емкостное сопротивление токам основной частоты между обмотками низшего и высшего напряжений одной фазы трансформатора;

Z_Σ — результирующее сопротивление токам основной частоты одной фазы системы генераторного напряжения.

Следует отметить, что для трехобмоточных трансформаторов выражение (48) является приближенным, так как не учитывает влияния емкостных связей с третьей обмоткой трансформатора.

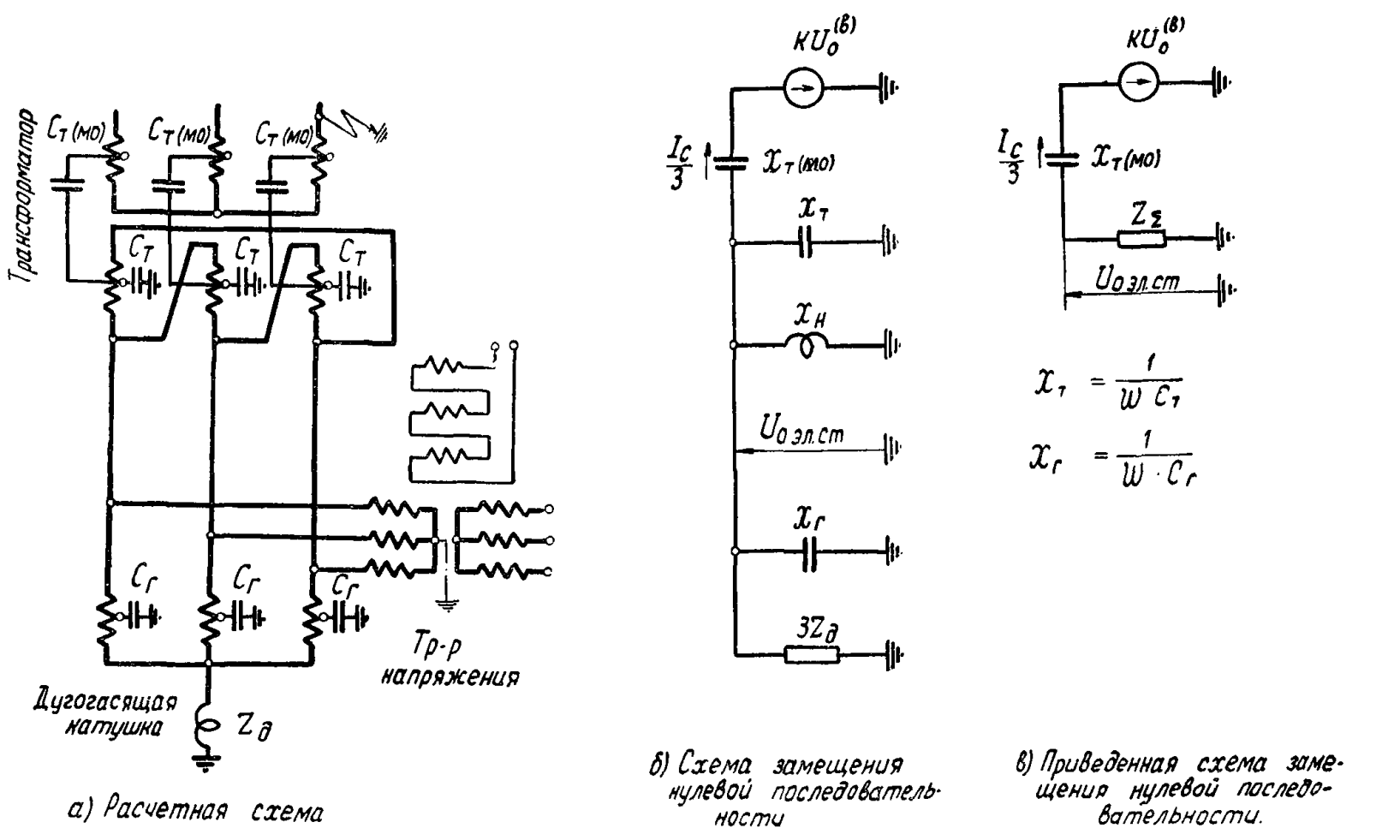
9. Значение емкости между обмотками высшего и низшего напряжения одной фазы трансформатора $C_{т(мо)}$, необходимое для вычисления сопротивления $x_{т(мо)}$, может быть определено по кривым рис. 65.

Целесообразна работа дугогасящей катушки с резонансной настройкой или с небольшой расстройкой. При этом работа с недокомпенсацией менее желательна в связи с возможностью появления перенапряжений при разрыве фазы на генераторном напряжении.

10. При выполнении защиты должно быть также удовлетворено требование обеспечения термической стойкости реле напряжения защиты, так как при замыканиях на землю в сети генераторного напряжения на зажимах вторичной обмотки трансформатора напряжения может быть длительно напряжение 100 *в*.

При использовании для рассматриваемой защиты реле типа ЭН-526/60Д-м, имеющего достаточную термическую стойкость (110 *в*), минимальное напряжение срабатывания может быть принято $U_{с.р.мин} = 15$ *в*. Последнее значительно превосходит $U_{с.р}$, получаемые по выражениям (41) и (42).

Следует отметить, что при выполнении рассматриваемой защиты с действием на отключение (гл. I, разд. А, § V, п. 1) для увеличения чувствительности защиты может быть ис-



а) Расчетная схема

б) Схема замещения нулевой последовательности

в) Приведенная схема замещения нулевой последовательности.

Рис. 64. Схема замещения для определения напряжения $U_{0эл.ст}$, обусловленного электростатической индукцией между обмотками трансформатора блока при замыкании на землю на стороне высшего напряжения трансформатора.

Обозначения:

$U_0^{(в)}$ — напряжение нулевой последовательности при замыканиях на землю на стороне высшего напряжения трансформатора блока;

k — коэффициент, учитывающий распределение напряжения $U_0^{(в)}$ по обмотке высшего напряжения трансформатора блока;

I_C — ток в месте повреждения, обусловленный электростатической индукцией между обмотками трансформатора;

$x_{т(мо)}$ — емкостное сопротивление токам основной частоты между обмотками высшего и низшего напряжения одной фазы трансформатора;

$x_т$ и $x_г$ — емкостное сопротивление по отношению к земле токам основной частоты одной фазы соответственно обмотки низшего напряжения трансформатора и обмотки статора генератора блока;

$x_н$ — индуктивное сопротивление одной фазы трансформатора напряжения токам основной частоты;

$z_д$ — полное сопротивление дугогасящей катушки токам основной частоты;

Z_Σ — результирующее сопротивление токам основной частоты одной фазы системы генераторного напряжения.

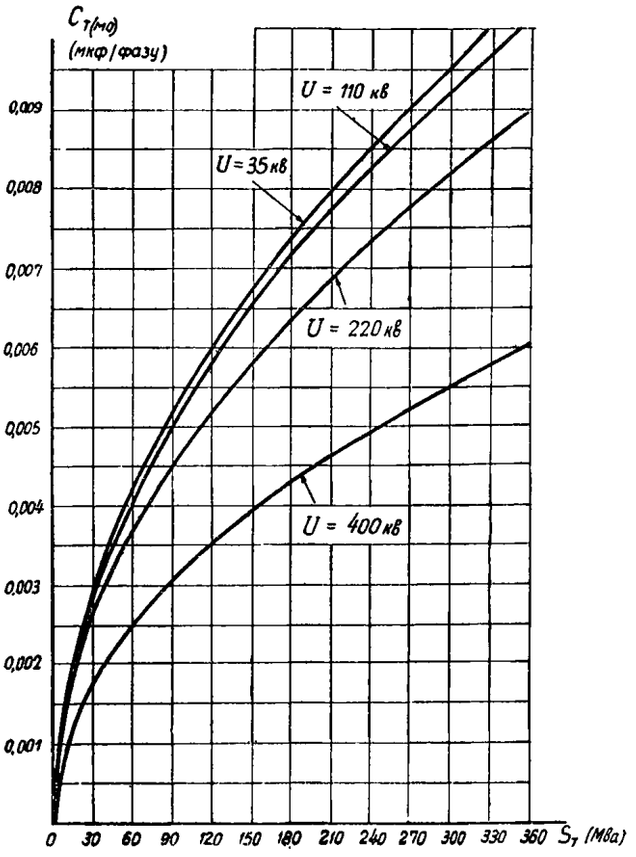


Рис. 65. Зависимость емкости $C_{т(мо)}$ между обмотками высшего и низшего напряжения одной фазы трансформатора от его мощности.

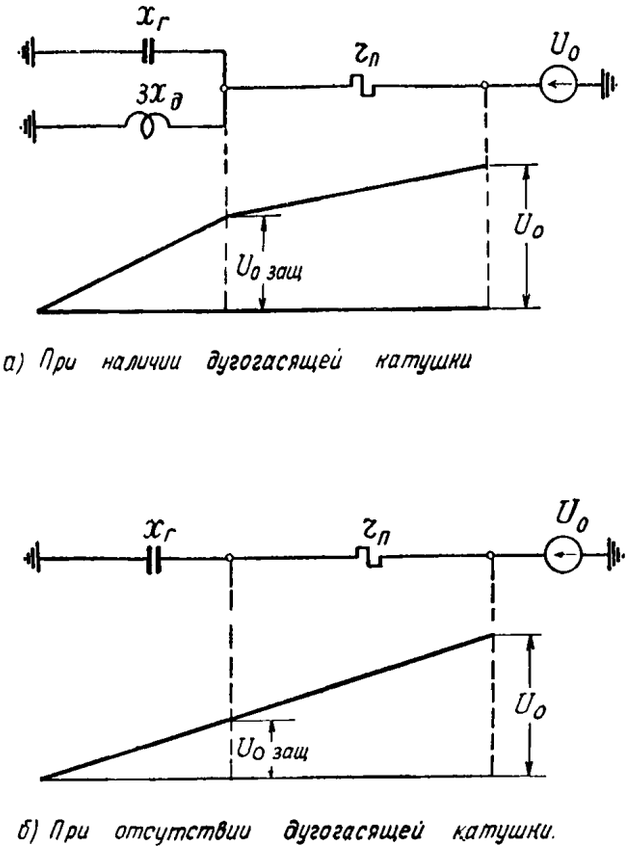


Рис. 66. Распределение напряжения нулевой последовательности при замыкании на землю через переходное сопротивление $r_п$ в сети генераторного напряжения.

пользовано реле напряжения с напряжением срабатывания $U_{с.р}=3\div6$ *в*, выдерживающее в течение 6 *сек* напряжение 115 *в*, которое намечается к выпуску Чебоксарским электроаппаратным заводом.

11. Ниже показано, что для случаев, когда рассматриваемая защита стороны генераторного напряжения выбирается только по условию отстройки от напряжения тройной частоты по (42) (т. е. когда на всех других сторонах блока имеется защита от замыканий на землю с действием на отключение), напряжение срабатывания практически не получается больше 15 *в* (что соответствует $U_{с.р.мин}$ для реле типа ЭН-526/60Д-м) и, следовательно, в этих случаях нет необходимости производить расчет напряжения срабатывания, а можно принимать его равным $U_{с.р}=15$ *в*.

Действительно, из (46) следует, что $U_{0з}$ будет максимально при условии, когда $Z_I = Z_{Iмакс}$, а $Z_{II} = Z_{IIмин}$. Можно считать, что максимальное значение Z_I имеет место при (рис. 62,*б*)

$$x_{тз} = x_{пз} = \infty \tag{49}$$

и равно:

$$Z_{Iмакс} = 2x_{гз}. \tag{50}$$

Минимальное значение Z_{II} соответствует отсутствию дугогасящей катушки и равно:

$$Z_{IIмин} = 2x_{гз}. \tag{51}$$

Из (46) с учетом (50), (51) и (43) получим, что максимальное значение напряжения $U_{0змакс}$ будет равно:

$$U_{0змакс} = E_з \frac{Z_{Iмакс}}{Z_{Iмакс} + Z_{IIмин}} = E_з \frac{2x_{гз}}{2x_{гз} + 2x_{гз}} = \frac{E_з}{2} = \frac{0{,}1U_{ф.ном}}{2}. \tag{52}$$

Таким образом, максимальное напряжение срабатывания, подсчитанное по (42), будет равно:

$$U_{с.р\,макс} = \frac{k_н}{k_в}\frac{3U_{0з}}{n_н} = \frac{k_н}{k_в}\frac{0{,}1}{2}\frac{3U_{ф.ном}}{n_н} = \frac{1{,}5}{0{,}8}\frac{0{,}1}{2}100 = 9{,}4\ в. \tag{53}$$

В (53) коэффициент надежности $k_н$ принят равным 1,5, коэффициент трансформации трансформатора напряжения

$$n_н = \frac{U_{ф.ном}}{100/3}.$$

12. Коэффициент чувствительности защиты при металлическом замыкании на землю на выводах генератора определяется из выражения

$$k_ч = \frac{3U_{0р}}{U_{с.р}}, \tag{54}$$

где $3U_{0р}$ — напряжение нулевой последовательности на выводах вторичной обмотки трансформатора напряжения, к которой приключено реле, при металлическом замыкании на землю на выводах генератора;

$U_{с.р}$ — напряжение срабатывания реле.

13. Следует отметить, что при наличии дугогасящей катушки переходное сопротивление в месте повреждения меньше снижает чувствительность защиты (по сравнению со случаем металлического повреждения), чем при отсутствии катушки.

Указанное объясняется тем, что результирующее сопротивление на землю генератора и катушки больше, чем сопротивление одного генератора, поэтому при одном и том же переходном сопротивлении $r_п$ бо́льшая доля напряжения нулевой последовательности в месте повреждения U_0 будет подводиться к реле при наличии дугогасящей катушки (см. рис. 66).

К. НАПРАВЛЕННАЯ ИЛИ НЕНАПРАВЛЕННАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ С УСТРОЙСТВАМИ ТИПОВ СООТВЕТСТВЕННО РМОП-1 ИЛИ РТФ-1

1. Указанная защита осуществляет функции защиты от внешних многофазных коротких замыканий и действует на отключение с независимой характеристикой выдержки времени (гл. 1, разд. А, § X). Защита устанавливается:

а) на сторонах высшего или среднего напряжений блоков с трехобмоточным трансформатором (автотрансформато-

ром) при выполнении ее направленной или ненаправленной с помощью устройств типов соответственно РМОП-1 или РТФ-1 (рис. 9—11, 18 и 19);

б) на блоках с двухобмоточным трансформатором со стороны генератора (рис. 4) при выполнении ее с устройством типа РТФ-1.

2. Ток срабатывания защиты $I_{2с.з}$ должен выбираться из следующих условий.

а) Из условия согласования защиты по чувствительности при коротких замыканиях со смежными защитами, входящими в зону ее резервирования. Указанное согласование должно производиться с наиболее чувствительными защитами на отходящих от шин станции линиях, выполняющих функции резервирования при коротких замыканиях за пределами этих линий.

Выбор $I_{2с.з}$ по указанному условию требуется производить так, чтобы при внешних коротких замыканиях с отказом по чувствительности одной из отмеченных защит рассматриваемая защита обратной последовательности не приходила в действие.

Для учета рассматриваемого условия необходимо, чтобы

$$I_{2с.з} \geqslant k_н I_{2расч}, \qquad (55)$$

где $I_{2расч}$ — ток обратной последовательности в месте установки токовой защиты обратной последовательности (в целях упрощения определяется для $t = 0$) при коротком замыкании в условиях, когда защита, с которой производится согласование, находится на грани срабатывания, для режимов работы и вида повреждения, обусловливающих наибольшее значение тока в защите;

$k_н$ — коэффициент надежности согласования, принимаемый равным 1,1.

б) Из условия согласования защиты по чувствительности при разрывах фазы линий с защитами на этих линиях, действующими при разрывах. Указанное согласование практически должно производиться с наиболее чувствительной ступенью токовой защиты нулевой последовательности сети с большими токами замыкания на землю. Выбор $I_{2с.з}$ по этому условию производится по (55), в котором $I_{2расч}$ — ток обратной последовательности на стороне блока, на которой установлена рассматриваемая токовая защита обратной последовательности, при разрывах в условиях, когда защита на линии с разрывом находится на грани срабатывания, для режима работы, обусловливающего наибольшее значение этого тока.

в) Из условия отстройки от токов обратной последовательности, возникающих при разрывах фазы линий, в следующих случаях, когда защита линии не действует при разрывах:

— в случае разрыва в сети с малым током замыкания на землю при отсутствии на поврежденной линии токовой защиты обратной последовательности;

— в случае разрыва в сети с большим током замыкания на землю при отсутствии на поврежденной линии токовой защиты обратной последовательности и отсутствии в месте разрыва токов нулевой последовательности (например, при разрыве на одиночной тупиковой линии, питающей подстанцию с незаземленными нейтралями трансформаторов).

Выбор $I_{2с.з}$ по этому условию производится по (55), в котором $I_{2расч}$ — ток обратной последовательности в месте установки токовой защиты обратной последовательности при рассматриваемых разрывах для режима работы, обусловливающего наибольшее значение тока в защите; $k_н$ — коэффициент надежности отстройки, принимаемый равным 1,2.

Для рассматриваемой защиты условие отстройки от тока небаланса фильтра тока обратной последовательности практически дает ток срабатывания, меньший, чем другие условия его выбора.

Условие отстройки рассматриваемой защиты от тока, возникающего в выходных цепях фильтра при разрыве соединительных проводов трансформаторов тока, питающих устройство фильтр-реле, не учитывается во избежание неоправданного загрубления защиты, принимая во внимание, что при надежном выполнении монтажа вторичных цепей такие повреждения редки.

3. При установке на линиях, отходящих от шин станции, в качестве резервных токовых защит обратной последовательности, выбор $I_{2с.з}$ рассматриваемой токовой защиты обратной последовательности упрощается и сводится к согласованию ее по чувствительности при коротких замыканиях только с указанными защитами линий (по условию, данному в п. 2,а) в соответствии с (55).

Ток $I_{2расч}$, входящий в указанное выражение, вычисляется по выражению

$$I_{2расч} = k_{2т} I'_{2с.з}, \qquad (56)$$

где $I'_{2с.з}$ — ток срабатывания токовой защиты обратной последовательности на линии, с которой производится согласование;

$k_{2т}$ — максимальный коэффициент токораспределения в схеме обратной последовательности, равный отношению тока в цепи блока с рассматриваемой токовой защитой обратной последовательности к току в линии с токовой защитой обратной последовательности, с которой производится согласование; при этом должно рассматриваться короткое замыкание в конце зоны резервирования защиты линии в условиях, когда обеспечивается наибольшее значение коэффициента токораспределения $k_{2т}$; в целях упрощения допустимо рассматривать короткое замыкание через переходное сопротивление на той линии, на которой установлена токовая защита обратной последовательности в условиях, когда она находится на грани срабатывания.

В рассматриваемых случаях при учете условия по п. 2,а в соответствии с указаниями данного пункта условие по п. 2,б удовлетворяется автоматически.

4. Для случаев, когда на линиях, отходящих от шин станции, токовая защита обратной последовательности в качестве резервной не предусматривается, ток срабатывания $I_{2с.з}$ рассматриваемой защиты, установленной на блоке, должен выбираться в соответствии со следующими указаниями, направленными на упрощение расчета.

а) Расчет согласования защиты по чувствительности при коротких замыканиях допускается производить только с защитами от коротких замыканий на землю сети с большим током замыкания на землю и с защитами от коротких замыканий между фазами стороны 35 *кв*. При этом допускается не учитывать неосновные режимы работы, а поврежденную линию следует считать отключенной основной защитой на конце, противоположном по отношению к рассматриваемым защитам. Допустимо не производить согласование с защитами, чувствительность которых с достаточным запасом превосходит требуемую для резервных защит чувствительность по Правилам устройства электроустановок.

Согласование с токовыми защитами нулевой последовательности сети с большим током замыкания на землю практически в целях упрощения целесообразно свести к согласованию с резервными токовыми защитами нулевой последовательности, установленными на блоке. При этом для указанного согласования необходимо, чтобы

$$I_{2с.з} \geqslant I_{2расч}, \qquad (57)$$

где $I_{2расч}$ — то же, что и в (55) в условиях, когда резервная токовая защита нулевой последовательности, установленная на блоке, находится на грани срабатывания.

Отсутствие в (57) коэффициента надежности в отличие от (55) объясняется тем, что в приведенных схемах (рис. 9—11, 18 и 19) токовая защита нулевой последовательности, установленная на блоке, действует при внешних коротких замыканиях на отключение того же выключателя блока, что и рассматриваемая токовая защита обратной последовательности, а потому принципиально эти защиты согласовывать по чувствительности не требуется.

Основные соотношения для расчетов по п. 2,а даны в приложении VIII.

Значение тока $I_{2расч}$, входящего в (55) и (57), определяется:

— для согласования с токовой защитой нулевой последовательности от коротких замыканий на землю с помощью (П-65а) или (П-65б) при подстановке в (П-65а) выражений (П-69) и (П-67);

— для согласования с дистанционной защитой с помощью выражений (П-73) и (П-71);

— для согласования с максимальной токовой защитой с помощью выражения (П-74).

Значение $I_{2расч}$, определенное для согласования при коротких замыканиях с токовой защитой нулевой последовательности, часто оказывается лежащим в пределах $(1{,}5 \div 2) I_{ос.з}$, где $I_{ос.з}$ — ток срабатывания токовой защиты нулевой последовательности, установленной на блоке, с которой производится согласование; $I_{ос.з}$ приведен к той ступени напряжения, к которой приводится определяемый по (55) или (57) $I_{2с.з}$.

б) Расчет согласования по чувствительности с защитами нулевой последовательности смежных элементов при разрывах фазы линии сети с большим током замыкания на землю (п. 2,б настоящего параграфа) и расчет отстройки защиты от токов при разрывах фазы линий в сетях с малым током замыкания на землю, а также в сетях с большим током замыкания на землю в случаях, когда в месте разрыва отсутствует ток нулевой последовательности (п. 2,в), производятся в соответствии с указаниями, данными в приложении VIII.

При этом необходимо исходить из следующего.

Для учета условия по п. 2,б расчет может производиться по выражению (П-59). Приближенно, с запасом, учет указанного условия можно производить по ориентировочному выражению (П-60)

$$I_{2с.з} \geqslant I_{0с.з}, \qquad (58)$$

где $I_{0с.з}$ — ток срабатывания токовой защиты нулевой последовательности линии, на которой рассматривается разрыв ($I_{2с.з}$ и $I_{0с.з}$ приведены к одной ступени напряжения). В случаях, когда учет (58) приводит к загрублению защиты по отношению к остальным расчетным условиям выбора $I_{2с.з}$ следует пользоваться более точным выражением (П-59).

Для учета условия по п. 2,в расчет может производиться по (П-63).

Приближенно, с запасом, учет указанного условия можно производить по (П-64)

$$I_{2с.з} \geqslant 0{,}75 I_{нагр.макс}, \qquad (59)$$

где $I_{нагр.макс}$ — максимальный ток нагрузки элемента, на котором рассматривается разрыв.

В случаях, когда учет (59) приводит к загрублению защиты по отношению к остальным расчетным условиям выбора $I_{2с.з}$, следует пользоваться более точным выражением (П-63).

Следует отметить, что замена согласования по чувствительности при разрывах на линиях с защитами на этих линиях согласованием с защитой на блоке при разрывах на линиях в отличие от согласования при коротких замыканиях практически не дает упрощения расчета.

в) Ввиду недостаточного опыта эксплуатации рассматриваемой защиты принимать для нее $I_{2с.з}$ меньшим порядка $0{,}25\, I_{ном}$ не рекомендуется.

5. Чувствительность защиты по току проверяется при коротких замыканиях в конце зоны резервирования по выражению

$$k_ч = \frac{I_{2к.з}}{I_{2с.з}}, \qquad (60)$$

где $I_{2к.з}$ — ток обратной последовательности в месте установки защиты при металлическом коротком замыкании между двумя фазами в конце зоны резервирования в режиме, обусловливающем наименьший ток в защите, определяемый в целях упрощения для начального момента возникновения повреждения.

Следует также отметить, что одна из защит блока от внешних коротких замыканий, данная или токовая защита нулевой последовательности (разд. Р), должна удовлетворять требованию чувствительности при коротких замыканиях двух фаз на землю.

В соответствии с Правилами устройства электроустановок минимальные значения рассматриваемого коэффициента чувствительности $k_ч$ должны быть:

а) при выполнении защитой функций резервирования — не меньше 1,2 (при коротком замыкании в конце зоны резервирования);

б) при выполнении защитой функций основной защиты шин — порядка 1,5 (при коротком замыкании на шинах).

6. Для направленных токовых защит обратной последовательности, устанавливаемых на сторонах высшего или среднего напряжений блока, следует проверять чувствительность как токового органа, так и органа направления мощности обратной последовательности, поскольку в ряде случаев последний может оказаться грубее токового органа защиты.

Указанная проверка производится по коротким замыканиям в конце зоны резервирования защиты по выражению

$$k_ч = \frac{S_{2к.з}}{S_{2с.з}}, \qquad (61)$$

где $S_{2к.з}$ — мощность обратной последовательности, подводимая к защите при металлическом коротком замыкании в конце зоны резервирования в режиме, при котором указанная мощность обратной последовательности имеет наименьшее значение.

В соответствии с Правилами устройства электроустановок минимальные значения рассматриваемого коэффициента чувствительности $k_ч$ должны быть:

а) при выполнении защитой функций резервирования — порядка 1,5 (при коротком замыкании в конце зоны резервирования);

б) при выполнении защитой функций основной защиты шин — порядка 2,0 (при коротком замыкании на шинах).

7. Приведенные в данном выпуске Руководящих указаний соображения о согласовании токовой защиты обратной последовательности с токовой защитой нулевой последовательности, а также рекомендации по упрощению расчета при установке на линиях токовой защиты обратной последовательности могут быть также учтены в расчетах, приведенных в выпуске 4 Руководящих указаний.

Л. ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ С ДВУМЯ ТОКОВЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ С НЕЗАВИСИМОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ ВЫДЕРЖКИ ВРЕМЕНИ, ОДИН ИЗ КОТОРЫХ ДЕЙСТВУЕТ НА ОТКЛЮЧЕНИЕ, А ДРУГОЙ НА СИГНАЛ, С УСТРОЙСТВОМ ТИПА РТ-2

1. Указанная защита устанавливается на блоках турбогенератор — трансформатор (автотрансформатор) мощностью более 30 *Мвт* до 100 *Мвт* включительно со стороны генератора (рис. 2, 3 и 7—11). При этом защита осуществляет функции защиты генератора от перегрузок токами обратной последовательности (гл. 1, разд. А, § IX) и защиты от внешних несимметричных коротких замыканий (гл. 1, разд. А, § X). Защита от внешних коротких замыканий осуществляется с помощью реле тока, имеющего больший ток срабатывания, с действием на отключение. Защита от перегрузок генератора токами обратной последовательности осуществляется:

— реле тока с меньшим током срабатывания, действующим на сигнал при появлении тока обратной последовательности, превышающего длительно допустимый в соответствии с ПТЭ;

— реле тока для защиты от внешних коротких замыканий, действующим на отключение (гл. 1, разд. А, § IX и X).

2. Ток срабатывания реле защиты, действующего на сигнал, должен выбираться из условия обеспечения возврата после отключения внешнего короткого замыкания, когда в реле устройства проходит ток небаланса $I_{нб}$ и ток, обусловленный длительным неполнофазным режимом $I_{2дл}$, если этот режим принят в данной системе:

$$I_{2с.з} = \frac{k_н}{k_в}(I_{нб} + I_{2дл}), \qquad (62)$$

где $k_н$ — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,2;
$k_в$ — коэффициент возврата, равный 0,85.

Ток небаланса при максимальном токе перегрузки защищаемого генератора с учетом отклонения частоты может быть определен по выражению

$$I_{нб} = \left(k_{сх}\frac{\Delta I\%}{100} + k_{fi}\frac{\Delta f}{f} + \frac{\Delta\Phi\%}{100}\right)\cdot I_{нагр.макс}, \qquad (63)$$

где $I_{нагр.макс}$ — максимально возможный ток нагрузки защищаемого элемента;
$\Delta I\ \%$ — относительная погрешность трансформаторов тока, питающих устройство фильтр-реле тока обратной последовательности;
Δf — абсолютное значение отклонения частоты сети;
f — номинальная частота сети;
k_{fi} — коэффициент, зависящий от типа фильтра;
$\Delta\Phi\ \%$ — составляющая тока небаланса, обусловленная неточностью настройки фильтра;
$k_{сх}$ — коэффициент, зависящий от схемы соединений фильтра тока обратной последовательности и трансформаторов тока.

Для расчетных условий, когда один из трансформаторов тока имеет наибольшую погрешность, а другие работают без погрешности, при использовании трансформаторов тока в трех фазах и нулевого провода и для схем с соединением трансформаторов тока в треугольник $k_{сх} = \frac{1}{3}$, а при использовании трансформаторов тока в двух фазах и обратного провода $k_{сх} = \frac{1}{\sqrt{3}}$.

Учет сочетания всех неблагоприятных факторов при определении $I_{2с.з}$ по выражениям (62) и (63) может привести к чрезмерному загрублению защиты по отношению к длительно допустимому току обратной последовательности генератора, составляющему для турбогенераторов рассматриваемых типов, как вытекает из указаний, данных в Правилах технической эксплуатации электрических станций и сетей, порядка 0,07 $I_{ном}$. Принимая во внимание, что указанное сочетание всех неблагоприятных условий может возникнуть в редких случаях, допускается при выборе рассматриваемого $I_{2с.з}$ не учитывать длительный неполнофазный режим или режимы с резким отклонением частоты.

Например, при неучете $I_{2дл}$, принимая ориентировочно $I_{нагр.макс} = 1{,}5I_{ном}$, $\Delta I\% = 2\%$, $\Delta f = 3$ *гц*, $\Delta\Phi = 1\%$ и $f = 50$ *гц*, а также учитывая, что для фильтра с трехобмоточным трансформатором, входящим в устройство РТ-2, $k_{fi} = 0{,}5$, из (62) и (63) можно приближенно получить:

$$I_{2с.з} = 0{,}1I_{ном}. \qquad (64)$$

Для рассматриваемых типов генераторов значение $I_{2с.з}$ по (64) можно считать удовлетворительным.

Ток срабатывания рассматриваемого реле должен быть отстроен от токов, обусловленных возможной в системе несимметричной нагрузкой; однако это условие, как правило, не является расчетным.

3. Ток срабатывания реле защиты, действующего на отключение, должен выбираться из следующих условий.

а) Из условия предотвращения повреждений ротора генератора из-за перегрева в режиме с токами обратной последовательности (если при токах обратной последовательности, меньших тока срабатывания, обеспечивается контроль несимметричного режима дежурным персоналом).

При выборе $I_{2с.з}$ по этому условию следует исходить из зависимости допустимой длительности режима с токами обратной последовательности в генераторе $t_{доп}$ от эффективных значений этих токов, приведенной в табл. 10 для турбогенераторов и гидрогенераторов различных типов (таблица составлена по предварительным данным заводов «Электросила» и «Электротяжмаш»).

В указанной таблице значения токов даются в кратностях по отношению к номинальному току генераторов, а $t_{доп}$ — в секундах.

Зависимость $t_{доп} = f(\underset{*}{I_2})$ приведена для условий, когда ток обратной последовательности неизменен в течение времени, допустимого при данном токе.

Из табл. 10 следует, что зависимость $t_{доп} = f(\underset{*}{I_2})$ для приведенного диапазона токов характеризуется уравнением адиабатического процесса

$$\underset{*}{I_2^2} t_{доп} = A, \qquad (65)$$

где $\underset{*}{I_2}$ — кратность эффективного тока обратной последовательности, равного $\sqrt{\frac{1}{t_{доп}} \int_0^{t_{доп}} \underset{*}{i_{2t}^2} dt}$ в долях от номинального тока генератора;

A — постоянная для данного типа генератора величина; в табл. 10 указаны значения A для генераторов различных типов (включая турбогенераторы с форсированным охлаждением) по предварительным данным заводов.

Чем меньше ток обратной последовательности, тем большее влияние на процесс оказывает отдача тепла и тем больше ошибка при использовании (65). Однако ввиду отсутствия более точных данных в дальнейшем (65) распространяется и на условия с малыми токами.

На рис. 67 показаны кривые $t_{доп} = f(\underset{*}{I_2})$, построенные по (65).

По рассматриваемому условию $I_{2с.з}$ должен быть выбран так, чтобы токам обратной последовательности, не вызывающим действия защиты на отключение генератора, по зависимости $t_{доп} = f(\underset{*}{I_2})$ соответствовали времена, в течение которых несимметричный режим может быть устранен обслуживающим персоналом.

Для турбогенераторов без форсированного охлаждения типа ТВ2 ($A \approx 29$) и ТВ ($A \approx 20$), а также для турбогенераторов с форсированным охлаждением ротора и неформированным охлаждением статора типа ТВФ ($A \approx 15$) примерное значение тока срабатывания реле защиты, действующего на отключение, определяется по кривым рис. 67, исходя из ориентировочно оцененного минимального времени устранения обслуживающим персоналом опасного режима $t_{устр} = 2$ *мин*:

$$I_{2с.з} < (0{,}35 \div 0{,}5)\, I_{ном}. \qquad (66)$$

Таблица 10

Зависимость $t_{доп} = t(\underset{*}{I_2})$

Для турбогенераторов без форсированного охлаждения типа ТВ2 ($A \approx 29$)	$\underset{*}{I_2}$	3,8	3,1	2,7	2,4	1,7	1,2
	$t_{доп}$, *сек*	2	3	4	5	10	20
Для турбогенераторов без форсированного охлаждения типа ТВ ($A \approx 20$)	$\underset{*}{I_2}$	3,2	2,6	2,2	2,0	1,4	1,0
	$t_{доп}$, *сек*	2	3	4	5	10	20
Для турбогенераторов с форсированным охлаждением типа ТВФ ($A \approx 15$)	$\underset{*}{I_2}$	2,6	2,3	1,9	1,7	1,2	0,9
	$t_{доп}$, *сек*	2	3	4	5	10	20
Для турбогенераторов с форсированным охлаждением типа ТГВ-200 ($A \approx 11$)	$\underset{*}{I_2}$	1,5	1,0	0,5	0,3	0,1	—
	$t_{доп}$, *сек*	5	11	45	127	1 150	—
Для турбогенераторов с форсированным охлаждением типа ТГВ-300 ($A \approx 8{,}5$)	$\underset{*}{I_2}$	1,5	1,0	0,5	0,3	0,1	—
	$t_{доп}$, *сек*	3,8	8,5	34	95	850	—
Для турбогенераторов с форсированным охлаждением типа ТВВ ($A \approx 7{,}5$)	$\underset{*}{I_2}$	2	1,6	1,4	1,25	0,9	0,6
	$t_{доп}$, *сек*	2	3	4	5	10	20
Для гидрогенераторов ($A \approx 40$)	$\underset{*}{I_2}$	4	3	2	1,5	1	—
	$t_{доп}$, *сек*	2	4	10	18	40	—

б) Из условия согласования защиты по чувствительности при коротких замыканиях со смежными защитами, входящими в зону ее резервирования, а также из условий, данных в разд. К, пп. 2,б и 2,в. При этом возможны следующие случаи:

— На одной из сторон высшего или среднего напряжений блока установлена резервная токовая защита обратной последовательности. В этом случае выбор $I_{2с.з}$ защиты, установленной со стороны генератора, из условий обеспечения ее селективности при коротких замыканиях и разрывах на указанной стороне производится в соответствии с указаниями, данными в разд. К, п. 3, по (55) и (56).

— На одной из сторон высшего или среднего напряжения в качестве резервной установлена только токовая защита нулевой последовательности.

— На стороне 35 *кв* блока установлена максимальная токовая защита.

— На стороне 35 *кв* блока отсутствует резервная защита.

В последних трех случаях выбор $I_{2с.з}$ защиты, установленной со стороны генератора, из условий обеспечения ее селективности при коротких замыканиях и разрывах на указанных сторонах, производится в соответствии с указаниями, данными в разд. К, п. 4.

4. Из рассмотренных условий предотвращение повреждений ротора из-за перегрева в режиме с токами обратной последовательности (п. 3,а) является определяющим. Указанное следует учитывать в случаях, когда этому условию противоречат другие условия.

В связи с отмеченным и принимая во внимание, что строгий учет условий, данных в п. 3,б, относительно сложен и может привести к неоправданному загрублению защиты, целесообразно в целях упрощения отказаться от расчетов по указанным условиям и принимать $I_{2c.з}$ наибольшим по условию предотвращения повреждения ротора в режиме с токами обратной последовательности (п. 3,а) в соответствии с (66), если при этом удовлетворяются требования чувствительности.

5. В ряде случаев ввиду противоречивости условий выбора защиты на генераторе, данных в п. 3,а и 3,б, невозможно одновременно обеспечить согласование указанной защиты с резервной защитой на стороне высшего или среднего напряжений блока и согласование последней с защитами на отходящих от шин указанной стороны станции линиях. В этих случаях следует исходить из того, что более важным является согласование между защитами на блоке, в соответствии с чем может оказаться необходимым снизить ток срабатывания защиты на стороне высшего или среднего напряжения блока вопреки условию согласования этой защиты с защитами линий.

6. Чувствительность рассматриваемой защиты проверяется аналогично тому, как это производится для токовой защиты обратной последовательности, выполняемой с устройствами типов РТФ-1 или РМОП-1 (раздел К, п. 5).

М. ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ, СОДЕРЖАЩАЯ ЭЛЕМЕНТ, ДЕСТВУЮЩИЙ НА ОТКЛЮЧЕНИЕ, С ЗАВИСИМОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ ВЫДЕРЖКИ ВРЕМЕНИ

1. Рассматриваемая защита в приведенных схемах устанавливается:

а) на мощных турбогенераторах с форсированным охлаждением статора и ротора (рис. 12 и 13) при выполнении ее с помощью устройств типа РТФ-2 и РТФ-3 (гл. 1, разд. А, § IX и X);

б) на гидрогенераторах мощностью более 30 *Мвт* (рис. 18 и 19) в предположении отсутствия на станции постоянного дежурного персонала (выполнение защиты показано условно — гл. 1, разд. А, § IX и X).

2. Назначение отдельных элементов токовой защиты обратной последовательности, содержащей элемент с зависимой характеристикой выдержки времени, рассматривается в гл. 1, разд. А, § IX и X. Условия выбора параметров защиты иллюстрируются на рис. 26.

3. Ток срабатывания реле защиты, действующего на сигнал, должен выбираться из условия отстройки от тока небаланса фильтра тока обратной последовательности по (62) и (63).

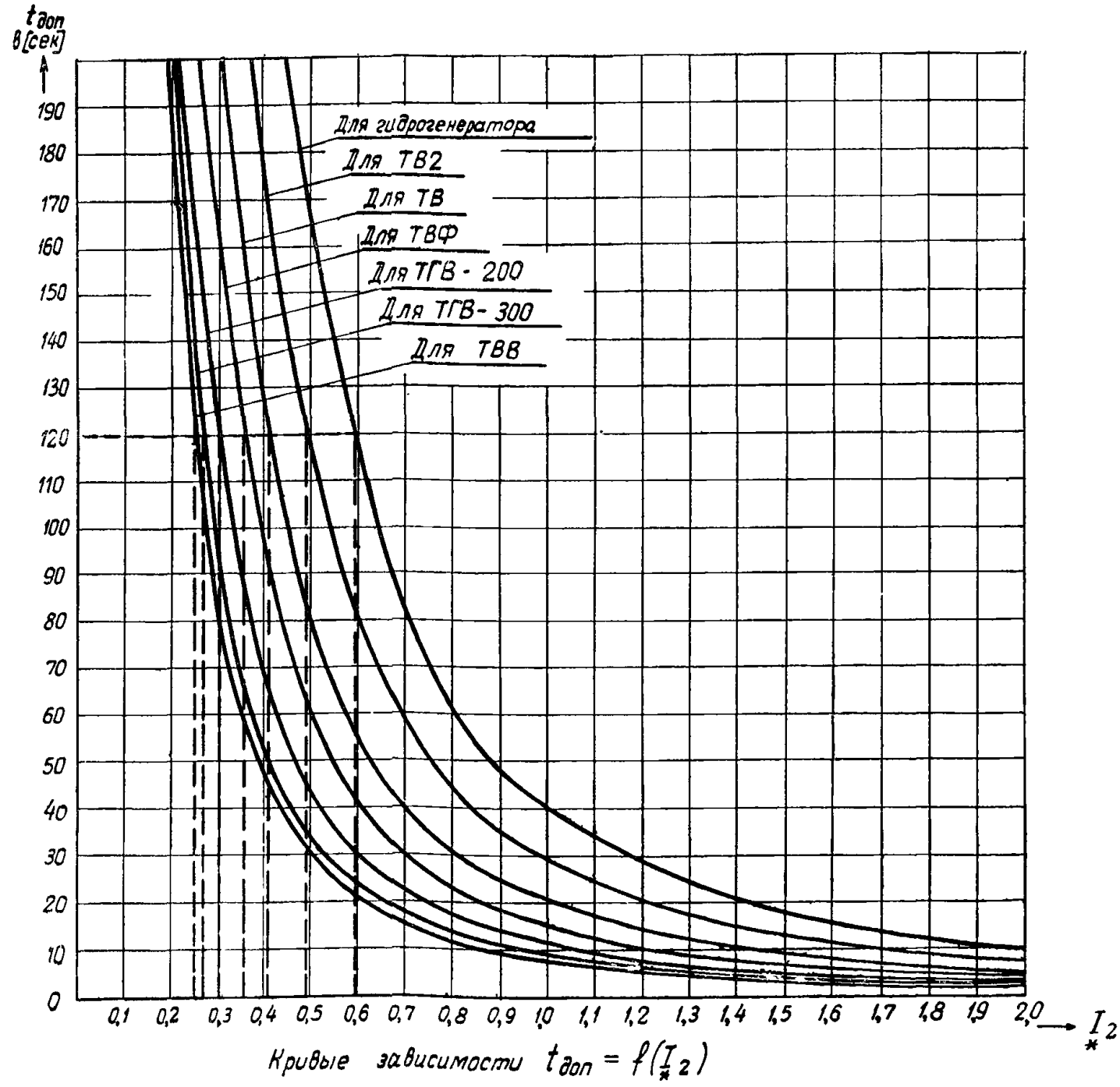


Рис. 67. Зависимость допустимой длительности прохождения токов обратной последовательности в генераторе $t_{доп}$ от значений этих токов.

Для мощных турбогенераторов с форсированным охлаждением статора и ротора длительно допустимый ток обратной последовательности составляет порядка (0,04÷0,05) $I_{ном}$ (по данным заводов-изготовителей). В связи с этим для них в целях получения тока срабатывания $I_{2с.з}$ чувствительного элемента защиты, не намного превосходящего указанное значение тока, допускается не учитывать аварийное отключение частоты (принимая $\Delta f=1$ *гц*, а не $\Delta f=3$ *гц*) и длительный неполнофазный режим. При этом приближенно можно получить:

$$I_{2с.з}=0{,}08\ I_{ном}. \qquad (67)$$

Для обеспечения действия рассматриваемого реле при токах обратной последовательности, не намного превосходящих длительно допустимый ток, следует принять меры к повышению точности трансформаторов тока и фильтра.

Для тех гидрогенераторов, которые характеризуются относительно большими длительно допустимыми токами обратной последовательности (в соответствии с указаниями, данными в Правилах технической эксплуатации электрических станций и сетей, порядка 0,14 $I_{ном}$), целесообразно принять:

$$I_{2с.з}=(0{,}15\div 0{,}2)\ I_{ном}. \qquad (68)$$

4. Выбор тока срабатывания и проверка чувствительности реле защиты, осуществляющего защиту от внешних коротких замыканий с действием на отключение с независимой выдержкой времени, может производиться аналогично тому, как указывается в разделе Л, п. 3, но без учета условия по п. 3а, разд. Л.

Необходимо отметить, что для рассматриваемой защиты можно исключить расчет по условиям согласования по чувствительности и отстройки от токов при разрывах, если повысить ток срабатывания рассматриваемого элемента до значений (0,6÷0,8) $I_{ном}$, при которых, как правило, автоматически удовлетворяются указанные условия. Это допустимо в связи с наличием элемента защиты, действующего на отключение с зависимой характеристикой выдержки времени и обеспечивающего отключения внешних повреждений в зоне нечувствительности элемента с независимой характеристикой выдержки времени.

Н. ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ С ТРЕХСТУПЕНЧАТОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ ВЫДЕРЖКИ ВРЕМЕНИ С ДЕЙСТВИЕМ НА ОТКЛЮЧЕНИЕ, ВЫПОЛНЕННАЯ С УСТРОЙСТВОМ ТИПА РТ-2, ДОПОЛНЕННЫМ РЕЛЕ ТИПА ЭТ-520

1. Рассматриваемая защита в приведенных схемах устанавливается в качестве варианта на гидрогенераторах мощностью более 30 *Мвт* (рис. 14 и 15) впредь до выпуска промышленностью для гидрогенераторов устройств, подобных РТФ-2 и РТФ-3 (гл. 1, разд. А, § IX).

2. Назначение отдельных элементов рассматриваемой защиты указано в гл. 1, разд. А, § IX и X. Условия выбора параметров защиты иллюстрируются на рис. 27.

3. Для характеристики, показанной на рис. 27, ток срабатывания чувствительной ступени защиты, действующей на сигнал и на отключение, должен выбираться из условия отстройки от тока небаланса фильтра тока обратной последовательности по (62) и (63), а также в соответствии с указанием, данным в разд. М, п. 3.

4. Ток срабатывания и выдержка времени средней ступени защиты выбирается из условия оптимального приближения характеристики выдержки времени защиты к кривой $t_{доп}=f(I_2)$.

5. Ток срабатывания наиболее грубой ступени защиты, осуществляющей функции защиты генератора от внешних многофазных коротких замыканий, а также защиты от перегрузок токами обратной последовательности, должен выбираться из условий, данных в разд. Л, п. 3а и 3б.

При этом, учитывая наличие других ступеней защиты, действующих на отключение, ток срабатывания $I_{2с.з}$ для рассматриваемой ступени защиты можно принять выше, чем для защиты с РТ-2, а именно

$$I_{2с.з} < (0{,}6-0{,}7)I_{ном}. \qquad (69)$$

6. Для рассматриваемой защиты проверяется чувствительность наиболее грубой ступени по коротким замыканиям в конце смежных линий, входящих в зону резервирования этой ступени, аналогично тому, как это производится для защиты с РТ-2 (разд. Л, п. 6).

О. МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА С ПУСКОМ НАПРЯЖЕНИЯ

1. Рассматривается максимальная токовая защита с комбинированным пуском напряжения (рис. 1, 5, 6, 16 и 17) и максимальная токовая защита с минимальным пуском напряжения (приставка к токовой защите обратной последовательности) (рис. 2, 4, 7—15, 18 и 19).

В указанных схемах рассматриваемая защита осуществляет функции резервирования (в соответствии с гл. 1, разд. А, § X) и при отсутствии защиты шин — функции основной защиты последних.

2. Первичный ток срабатывания рассматриваемых максимальных токовых защит с пуском напряжения определяется по выражению

$$I_{с.з}=\frac{k_н}{k_в}I_{ном}, \qquad (70)$$

где $I_{ном}$ — номинальный ток цепи, в которой установлена защита;

$k_н$ — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,1 — 1,2;

$k_в$ — коэффициент возврата реле.

В тех случаях, когда длительно возможный в месте установки защиты ток нагрузки $I_{нагр}$ меньше номинального, в (70) вместо $I_{ном}$ вводится ток $I_{нагр}$.

3. Напряжение срабатывания устройства фильтр-реле напряжения обратной последовательности максимальной токовой защиты с комбинированным пуском напряжения для обеспечения отстройки от напряжения небаланса нормального режима принимается по данным экспериментов и опыта эксплуатации равным:

$$U_{с.з}=0{,}06U_{ном}, \qquad (71)$$

где $U_{с.з}$ и $U_{ном}$ — междуфазные напряжения.

Применяемое в качестве устройства фильтр-реле обратной последовательности реле заводского изготовления типа РНФ-1 имеет минимальную уставку 6 *в* междуфазных.

4. Напряжение срабатывания минимального реле напряжения рассматриваемых защит, включенного на междуфазное напряжение, определяется, исходя из условия обеспечения возврата реле после отключения внешнего короткого замыкания, по выражению

$$U_{с.з}\leqslant\frac{U_{мин}}{k_н k_в}, \qquad (72)$$

где $U_{мин}$ — напряжение в месте установки защиты в условиях самозапуска после отключения внешнего короткого замыкания (определяется расчетом);

$k_н$ — коэффициент надежности; может быть принят равным 1,2;

$k_в$ — коэффициент возврата реле.

Для блоков тепловых станций в дополнение к условию отстройки от режима самозапуска должно учитываться условие отстройки от асинхронного режима, возникающего при потере возбуждения генератора.

В целях обеспечения указанных выше условий для защит блоков тепловых станций напряжение срабатывания минимального реле напряжения ориентировочно может быть принято равным:

— при питании реле напряжения от трансформаторов напряжения на стороне генератора $U_{с.з}=(0{,}5\div 0{,}6)\ U_{ном}$,

— при питании реле напряжения от трансформаторов напряжения на сторонах высших напряжений $U_{с.з}=0{,}7U_{ном}$, поскольку в асинхронном режиме при потере возбуждения и при самозапуске двигателей напряжение на шинах высших напряжений снижается не столь резко, как на стороне генераторного напряжения.

Для защит блоков гидростанций вне зависимости от места включения реле напряжения может быть принято $U_{с.з}=0{,}7\ U_{ном}$, поскольку выбор параметра срабатывания в этом случае не связан с необходимостью отстройки от асинхронного режима при потере возбуждения, который для гидростанций не допускается.

5. Коэффициент чувствительности токового элемента защиты определяется по выражению

$$k_{ч.т}=\frac{I_{к.з}}{I_{с.з}}, \qquad (73)$$

где $I_{к.з}$ — первичный ток в месте установки защиты в фазах, в которых она установлена, при металлическом коротком замыкании в расчетной точке (см. ниже)

для режима и вида короткого замыкания, обусловливающих наименьшие токи в месте установки защиты; в случаях, когда по отдельным фазам проходят токи различных значений, учитывается наибольшее из них.

Для устройства фильтр-реле напряжения обратной последовательности

$$k_{ч.н} = \frac{U_{2к.з}}{U_{с.з}}, \quad (74)$$

где

$U_{2к.з}$ — междуфазное напряжение обратной последовательности в месте установки защиты при металлическом коротком замыкании между двумя фазами в расчетной точке в режиме, при котором указанное напряжение имеет наименьшее значение.

Для минимального реле напряжения, включенного на междуфазное напряжение

$$k_{ч.н} = \frac{U_{с.з}}{U_{к.з}}, \quad (75)$$

где $U_{к.з}$ — междуфазное напряжение в месте установки защиты при металлическом трехфазном коротком замыкании в расчетной точке в режиме, при котором указанное напряжение имеет наибольшее значение.

Учитывая, что в случае симметричного короткого замыкания, как правило, кратковременно появляется напряжение обратной последовательности, достаточное для срабатывания устройства фильтр-реле напряжения обратной последовательности, при определении $k_{ч.н}$ для минимального реле напряжения защиты с комбинированным пуском напряжения в (75) вместо $U_{с.з}$, вычисленного по (72), можно подставлять $U_{с.з}k_{в}$.

Токи и напряжения при коротких замыканиях, входящие в выражения для определения коэффициентов чувствительности, приближенно могут быть рассчитаны для момента времени $t=0$. Однако целесообразно проверять надежность невозврата защиты для момента времени, соответствующего ее выдержке времени, в тех случаях, когда токи повреждения могут значительно изменяться во времени (при небольшой электрической удаленности места короткого замыкания от генерирующих источников).

В соответствии с Правилами устройства электроустановок минимальные значения коэффициентов чувствительности $k_{ч.т}$ и $k_{ч.н}$ рассматриваемой защиты должны быть:

а) при выполнении ею функций резервирования — не меньше 1,2 (при коротком замыкании в конце зоны резервирования);

б) при выполнении ею функций основной защиты шин — порядка 1,5 (при коротком замыкании на шинах).

П. МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРОВ БЛОКОВ ОТ ВНЕШНИХ МНОГОФАЗНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

1. Рассматриваемая защита предусмотрена на стороне 35 *кв* трансформатора в схемах по рис. 5, 7 и 8.

2. Первичный ток срабатывания защиты определяется по выражению

$$I_{с.з} = \frac{k_{н}k_{самозап}}{k_{в}} I_{раб.макс}, \quad (76)$$

где $I_{раб.макс}$ — максимальный рабочий ток цепи, в которой установлена защита;

$k_{н}$ — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,2;

$k_{самозап}$ — коэффициент, учитывающий самозапуск заторможенных двигателей;

$k_{в}$ — коэффициент возврата реле.

Чувствительность для рассматриваемой защиты проверяется так же, как и для реле тока максимальной токовой защиты с пуском напряжения (разд. О, п. 5).

Р. ТОКОВАЯ ЗАЩИТА НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ (АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ) БЛОКОВ ОТ ВНЕШНИХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТИ С БОЛЬШИМ ТОКОМ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

1. Рассматриваемая защита предусмотрена в схемах рис. 1—3, 5—19.

2. Первичный ток срабатывания чувствительной токовой защиты нулевой последовательности от замыканий на землю в сети с большим током замыкания на землю определяется из следующих условий:

а) Из условия отстройки от тока небаланса при внешних коротких замыканиях между фазами («Руководящие указания по релейной защите. Выпуск 2. Ступенчатая токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю линий 110—220 *кв*»).

б) Из условия согласования по чувствительности с защитами линий, отходящих от шин станции на стороне, на которой установлена рассматриваемая защита. Согласование должно производиться с наиболее чувствительными ступенями защит от замыканий на землю, зона действия которых выходит за пределы этих линий.

Для учета условия «б» необходимо, чтобы

$$I_{с.з} \geqslant k_{н}3I_{0расч}, \quad (77)$$

где $I_{0расч}$ — ток нулевой последовательности в месте установки рассматриваемой защиты (в целях упрощения определяется для $t=0$) в условиях, когда защита, с которой производится согласование, находится на грани срабатывания; при этом должны учитываться режим работы системы и вид металлического замыкания на землю, обусловливающие наибольшее значение тока в защите;

$k_{н}$ — коэффициент надежности согласования, может быть принят равным 1,1—1,2.

При выборе $I_{с.з}$ по рассматриваемому условию практически удовлетворяется условие «а» отстройки от тока небаланса при внешних коротких замыканиях между фазами.

3. Чувствительность защиты, рассмотренной в п. 2, проверяется при замыканиях на землю в расчетной точке по выражению

$$k_{ч} = \frac{3I_{0к.з}}{I_{с.з}}, \quad (78)$$

где $I_{0к.з}$ — ток нулевой последовательности в месте установки защиты (в целях упрощения определяется для $t=0$) для режима работы системы и вида металлического короткого замыкания на землю, обусловливающих наименьший ток в месте установки защиты.

В соответствии с Правилами устройства электроустановок минимальное значение коэффициента чувствительности $k_{ч}$ рассматриваемой защиты должно быть:

а) при выполнении ею функций резервирования — не меньше 1,2 (при коротком замыкании в конце зоны резервирования);

б) при выполнении ею функций основной защиты шин — порядка 1,5 (при коротком замыкании на шинах).

4. Первичный ток срабатывания токовой отсечки нулевой последовательности, установленной на автотрансформаторах (рис. 10, 11, 18 и 19), определяется из условия согласования ее по чувствительности с первыми ступенями защит от замыканий на землю линий, отходящих от шин станции на стороне, на которой установлена рассматриваемая защита, по (77).

5. В приложении V дано сравнение чувствительности различных вариантов выполнения резервной защиты от коротких замыканий на землю в сети с большим током замыкания на землю для случаев, когда трансформаторы блоков станции могут работать как с заземленной, так и с незаземленной нейтралью.

С. ЗАЩИТА ОТ ПОВЫШЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ

1. Рассматриваемая защита предусмотрена в схемах рис. 14—19.

2. Напряжение срабатывания защиты принимается равным:

$$U_{с.в} = (1{,}5 \div 1{,}7)\, U_{ном}. \quad (79)$$

Выдержка времени защит — порядка 0,5 *сек*.

Т. ЗАЩИТА ОТ СИММЕТРИЧНОЙ ПЕРЕГРУЗКИ БЛОКОВ

1. Рассматриваемая защита предусмотрена во всех приведенных схемах (рис. 1—19).

2. Ток срабатывания защиты от перегрузки, действующей на сигнал, определяется по (70) при $k_{н}=1{,}05$.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

РАСЧЕТ ПРОДОЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ ГЕНЕРАТОРА, ВЫПОЛНЕННОЙ ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ СХЕМЕ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ ОТСТРОЙКУ ОТ ТОКОВ ПРИ РАЗРЫВАХ ВО ВТОРИЧНЫХ ЦЕПЯХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА ПРИ ТОКЕ СРАБАТЫВАНИЯ, МЕНЬШЕМ НОМИНАЛЬНОГО

(схемы рис. 3, 9—13, 18 и 19)

Схемы внутренних соединений, используемых для рассматриваемой защиты реле типов РНТ-562 и РНТ-563 показаны на рис. 32 и 33.

Ниже даны указания по расчету защиты для схемы с одинаковыми токами во вторичных цепях трансформаторов тока со стороны выводов генератора к нейтрали и со стороны выводов к сети (токи в плечах защиты) и для схемы с неодинаковыми значениями указанных токов.

А. Схема рассматриваемой защиты с одинаковыми токами в плечах

(рис. 3, 9—12, 18 и 19)

В этом случае в реле типа РНТ-562 используются две обмотки — уравнительная и дифференциальная, а в реле типа РНТ-563 — часть обмотки *II* с длительно допустимым током термической устойчивости 5 *а* и обмотка *III*, имеющая длительно допустимый ток термической устойчивости 10 *а*. Одна из обмоток реле, используемая в качестве рабочей, с числом витков $w_{раб}$, включается на фазный ток дифференциальной цепи защиты, а другая с числом витков $w_н$ включается в нулевой провод указанной цепи (последовательно с аналогичными обмотками реле других фаз) таким образом, что при разрывах во вторичных цепях трансформаторов тока в реле поврежденной фазы токи этих обмоток создают встречные намагничивающие силы. Этим обеспечивается увеличение тока срабатывания реле при разрывах по сравнению с током срабатывания реле при коротких замыканиях между фазами, равным:

$$I^{(3)}_{с.р} = I^{(2)}_{с.р} = \frac{F_{с.р}}{w_{раб}}, \qquad (П\text{-}1)$$

где $F_{с.р}$ — намагничивающая сила (н. с.) срабатывания реле.

Указанное позволяет ток срабатывания реле при коротких замыканиях между фазами принимать меньшим номинального при обеспечении отстройки защиты от разрывов в ее вторичных цепях.

Параметры срабатывания защиты, определяемые значениями $w_{раб}$ и $w_н$, должны выбираться, исходя из следующих требований.

1. Защита должна быть отстроена от токов в реле при разрывах во вторичных цепях трансформаторов тока защиты. Для обеспечения этого ток срабатывания реле при разрывах должен удовлетворять условию

$$I^{(р)}_{с.р} \geqslant k_н I_в, \qquad (П\text{-}2)$$

где $I_в$ — вторичный ток, соответствующий номинальной мощности генератора;

$k_н$ — коэффициент надежности отстройки, принимаемый равным 1,1.

2. Защита должна иметь максимально возможную чувствительность к двойным коротким замыканиям на землю, когда одно место повреждения находится в зоне действия защиты, а другое — во внешней цепи.

На рис. П-1 показано токораспределение в цепях защиты, выполненной трехрелейной и двухрелейной, при разрыве во вторичных цепях трансформаторов тока и при указанном выше двойном коротком замыкании (в целях упрощения связь с системой принята отключенной). Из схем рис. П-1 следует, что как при разрывах, так и при двойных коротких замыканиях в двух или одном реле ток повреждения проходит только по обмотке в нулевом проводе ($w_н$). В соответствии с этим для отстройки этих реле от разрывов по выражению (П-2) число витков обмотки в нулевом проводе должно удовлетворять соотношению

$$w_н \leqslant \frac{F_{с.р}}{I^{(р)}_{с.р}}. \qquad (П\text{-}3)$$

В обоих указанных случаях повреждений в одном реле ток повреждения проходит по рабочей обмотке ($w_{раб}$) и по обмотке в нулевом проводе (в двухрелейной схеме в зависимости от того, какие фазы повреждены, таких условий может не быть). В соответствии с этим для отстройки этого реле от разрывов по выражению (П-2) числа витков обмоток реле должны удовлетворять соотношению

$$w_{раб} - w_н \leqslant \frac{F_{с.р}}{I^{(р)}_{с.р}}. \qquad (П\text{-}4)$$

Выбор $w_{раб}$ и $w_н$ производится в следующем порядке. Определяется расчетное число витков обмотки в нулевом проводе $w_{н.расч}$ по (П-3). Принимается фактическое число витков, ближайшее меньшее к $w_{н.расч}$ из тех, которые можно установить на реле. Определяется расчетное число витков рабочей обмотки $w_{раб.расч}$ для принятого значения $w_н$ по следующему выражению, полученному из (П-4):

$$w_{раб.расч} = \frac{F_{с.р}}{I^{(р)}_{с.р}} + w_н. \qquad (П\text{-}5)$$

Принимается фактическое число витков $w_{раб}$, ближайшее меньшее к $w_{раб.расч}$ из тех, которые можно установить на реле. Результаты рассмотренного расчета можно считать окончательными, если принятые числа витков $w_н$ и $w_{раб}$ отличаются соответственно от $w_{н.расч}$ и $w_{раб.расч}$ меньше, чем на 1 виток. При этом, как следует из (П-3) и (П-4), получается:

$$w_н = \frac{w_{раб}}{2}. \qquad (П\text{-}6)$$

В случаях, когда в реле отсутствуют ответвления обмоток, соответствующие числам витков, достаточно близким к расчетным, определенным по (П-3) и (П-5), требуется уточнение расчета, которое наиболее целесообразно производить графическим способом.

Для этой цели на рис. П-3 даны характеристики срабатывания реле при разрывах вторичных цепей трансформаторов тока: характеристика $I^{(н)}_{с.р} = f(w_н)$ для реле с током только в обмотке в нулевом проводе, построенная по выражению

$$I^{(н)}_{с.р} = \frac{F_{с.р}}{w_н}, \qquad (П\text{-}7)$$

и характеристики $I^{(нф)}_{с.р} = f(w_н)$ для реле с током в рабочей обмотке и в обмотке в нулевом проводе при различных значениях $w_{раб}$, построенные по выражению

$$I^{(нф)}_{с.р} = \frac{F_{с.р}}{w_{раб} - w_н}. \qquad (П\text{-}8)$$

Выражения (П-7) и (П-8) следуют из схем рис. П-1, как и выражения (П-3) и (П-4). Кроме указанных характеристик, на рис. П-3 дана прямая тока срабатывания реле, который требуется для отстройки защиты от токов при разрывах $I^{(р)}_{с.р} = k_н I_в$. Уточненный расчет чисел витков реле с помощью кривых рис. П-3 производится в следующей последовательности.

а) Точкой пересечения кривой $I^{(н)}_{с.р} = f(w_н)$ и прямой $I^{(р)}_{с.р} = k_н I_в$ определяется число витков $w'_{н.расч}$, соответствующее условию (П-3) для реле с током только в обмотке в нулевом проводе. Фактическое число витков $w'_н$, соответствующее этому условию, определяется как ближайшее меньшее к $w'_{н.расч}$ из тех, которые можно установить на реле.

б) Определяется расчетное число витков рабочей обмотки $w_{раб.расч}$, соответствующее условию (П-4), при числе витков обмотки в нулевом проводе, равном $w'_н$ (см. предыдущий пункт). Число витков $w_{раб.расч}$ соответствует той из кривых $I^{(нф)}_{с.р}$, которая при числе витков обмотки в нулевом проводе $w'_н$ имеет наименьшее значение, равное или превышающее $I^{(р)}_{с.р} = k_н I_в$.

Принимается число витков $w_{раб}$, ближайшее меньшее к $w_{раб.расч}$ из тех, которые можно установить на реле.

в) Точкой пересечения кривой $I^{(н.ф)}_{с.р} = f(w_н)$ для принятого $w_{раб}$ и прямой $I^{(р)}_{с.р} = k_н I_в$ определяется число витков $w''_{н.расч}$, соответствующее условию (П-4). Указанное число витков $w''_{н.расч}$ можно также определить по следующему выражению, вытекающему из (П-4):

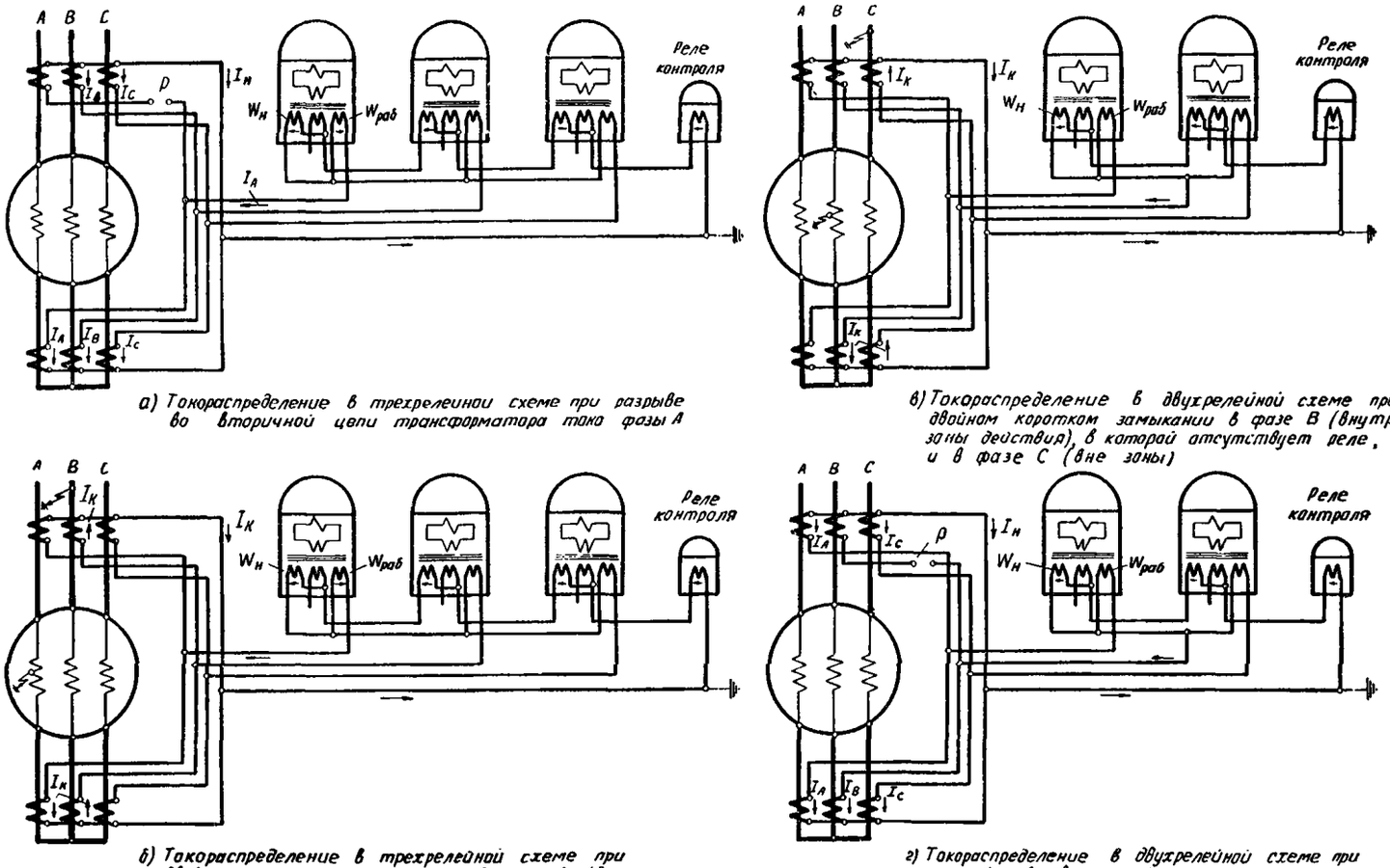
$$w''_{н.расч} = w_{раб} - \frac{F_{с.р}}{I^{(р)}_{с.р}}. \qquad (П\text{-}9)$$

Фактическое число витков $w''_н$, соответствующее рассматриваемому условию, определяется как ближайшее большее к $w''_{н.расч}$ из тех, которые можно установить на реле.

г) Все числа витков обмотки в нулевом проводе в диапазоне от $w''_н$ до $w'_н$ удовлетворяют условию (П-2). Окончательный выбор $w_н$ должен производиться с учетом требования обеспечения максимально возможной чувствительности к двойным коротким замыканиям. При этом необходимо принимать во внимание следующее.

Как следует из рис. П-1, характеристики срабатывания защиты при двойных коротких замыканиях на землю и при разрывах одинаковы. Действие защиты при двухрелейной схеме в случае двойного короткого замыкания на землю, когда одна точка повреждения расположена внутри зоны действия защиты на той фазе, на которой отсутствует реле, а другая точка расположена во внешних цепях, обеспечивается прохождением тока только по обмоткам реле в нулевом проводе. В связи с этим чувствительность к двойным коротким замыканиям на землю двухрелейной схемы определяется кривой $I^{(н)}_{с.р} = f(w_н)$ и поэтому для указанной схемы следует окончательно принимать число витков обмотки в нулевом проводе равным $w'_н$.

При таком значении числа витков обмотки в нулевом проводе $w'''_н$, при котором кривые $I^{(н)}_{с.р} = f(w_н)$ и $I^{(н.ф)}_{с.р} = f(w_н)$ пересекаются, чувствительность трехрелейной схемы наименьшая. При отклонении $w_н$ от $w'''_н$ как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения чувствительность трехрелейной схемы улучшается из-за уменьшения в первом случае $I^{(н)}_{с.р}$, а во втором — $I^{(н.ф)}_{с.р}$. Поскольку кривые $I^{(н)}_{с.р} = f(w_н)$ и $I^{(н.ф)}_{с.р} = f(w_н)$ симметричны относительно точки их пересечения, одинаковые отклонения $w_н$ от $w'''_н$ в ту и в другую стороны соответствуют улучшению чувствительности к двойным коротким замыканиям на землю в одинаковой степени. В связи с указанным для трехрелейной схемы следует



а) Токораспределение в трехрелейной схеме при разрыве во вторичной цепи трансформатора тока фазы А

в) Токораспределение в двухрелейной схеме при двойном коротком замыкании в фазе В (внутри зоны действия), в которой отсутствует реле, и в фазе С (вне зоны)

б) Токораспределение в трехрелейной схеме при двойном коротком замыкании в фазе А (внутри зоны действия) и в фазе В (вне зоны)

г) Токораспределение в двухрелейной схеме при разрыве во вторичной цепи трансформатора тока фазы В, в которой отсутствует реле

Примечание

Рис. П-1. Токораспределение в схемах продольной дифференциальной защиты генератора, отстроенной от разрывов в цепях трансформаторов тока, при токе срабатывания, меньшем номинального, для случая, когда токи в плечах защиты одинаковы.

Примечание. В двухрелейной схеме при двойных коротких замыканиях на землю с сочетанием поврежденных фаз, отличным от такового на рис. П-1,*в*, а также при разрыве во вторичных цепях трансформаторов тока фазы *А* или *С*, в одном реле ток проходит только по обмотке в нулевом проводе ($w_н$), а в другом — в рабочей обмотке ($w_{раб}$) и в обмотке в нулевом проводе.

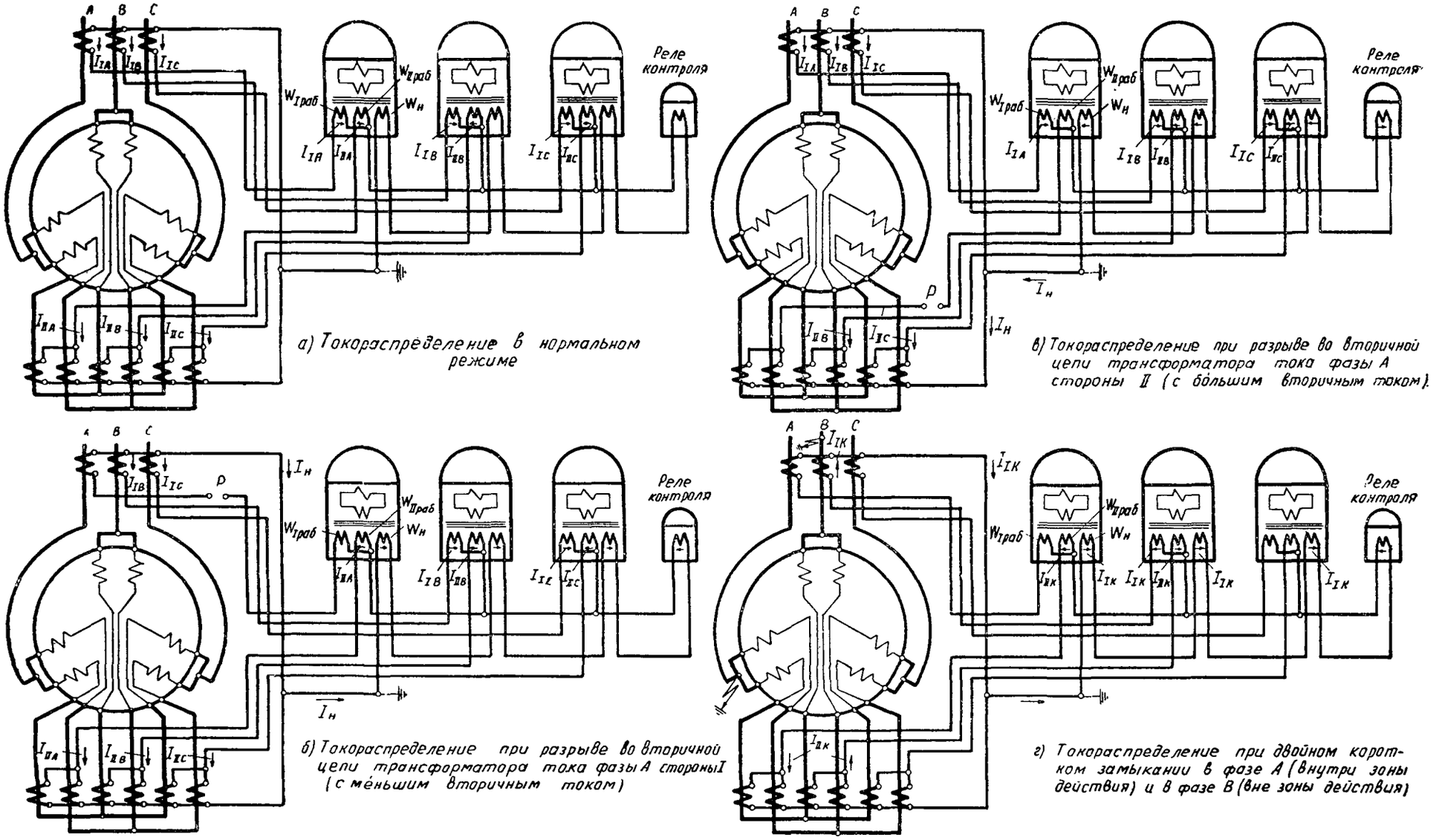


Рис. П-2. Токораспределение в схеме продольной дифференциальной защиты генератора, отстроенной от разрывов в цепях трансформаторов тока, при токе срабатывания. меньшем номинального для случая, когда токи в плечах защиты неодинаковы.

окончательно принимать то из крайних значений чисел витков в нулевом проводе $w'_н$ и $w''_н$, которому соответствует большее отклонение от $w'''_н$. Если $w'_н - w'''_н = w'''_н - w''_н$, можно принимать как $w'_н$, так и $w''_н$.

Как указывалось в п. „б" графического расчета, наибольшее число витков рабочей обмотки $w_{раб}$, которое можно принять по условию (П-2), соответствует кривой $I_{с.р}^{(н.ф)} = f(w_н)$, имеющей при числе витков обмотки в нулевом проводе $w'_н$ наименьшее значение, равное или превышающее $I_{с.р}^{(р)} = k_н I_в$. В связи с этим для определения наименьшего тока срабатывания защиты при коротких замыканиях между фазами, который возможен для рассматриваемой схемы, следует подставить (П-3) в (П-4):

$$w_{раб} - \frac{F_{с.р}}{I_{с.р}^{(р)}} \leqslant \frac{F_{с.р}}{I_{с.р}^{(р)}},$$

откуда, учитывая (П-1) и (П-2), получим, что

$$\frac{2I_{с.р}^{(3)} w_{раб}}{k_н I_в} \geqslant w_{раб}$$

и, подставив

$$k_н = 1{,}1,$$

$$\frac{I_{с.р}^{(3)}}{I_в} = I_{*с.з}^{(3)} \geqslant 0{,}55.$$

Б. Схема рассматриваемой защиты с неодинаковыми токами в плечах (рис. 13)

Для схемы рис. 13 расчет производится в основном аналогично тому, как для схемы с одинаковыми токами в плечах, со следующими особенностями.

а) На рис. П-2 показана схема рассматриваемой защиты и токораспределение в ее цепях при разрывах во вторичных цепях трансформаторов тока на сторонах *I* и *II*, а также при двойных коротких замыканиях на землю.

В применяемом в данной схеме реле типа РНТ-562 используются в качестве рабочих обе уравнительные обмотки (их числа витков ниже обозначены $w_{Iраб}$ и $w_{IIраб}$), а дифференциальные обмотки всех реле включаются последовательно в нулевой провод ($w_н$). При этом $w_{Iраб}$ и $w_{IIраб}$ должны удовлетворять соотношению

$$w_{Iраб} I_{Iв} = w_{IIраб} I_{IIв}, \qquad (П\text{-}10)$$

где

$I_{Iв}$ и $I_{IIв}$ — вторичные токи в плечах защиты, соответствующие номинальной мощности генератора.

Для схемы рис. 13 $I_{IIв} = 2I_{Iв}$.

Из схем рис. П-2 следует, что при разрывах и при двойных коротких замыканиях на землю в двух реле действует только н. с. обмотки в нулевом проводе, а н. с. в рабочих обмотках либо взаимно компенсируются в соответствии с условием (П-10), либо отсутствуют. Расчетным при учете условия (П-2) для этих реле является случай разрыва на стороне *II*, когда в обмотке в нулевом проводе проходит больший из токов двух плеч, а именно ток стороны *II*.

Для отстройки этих реле от разрывов число витков обмотки в нулевом проводе должно удовлетворять соотношению (П-3).

В обоих указанных случаях повреждений в одном реле действует разность намагничивающих сил одной из рабочих обмоток и обмотки в нулевом проводе. Расчетным при учете условия (П-2) для этого реле является случай разрыва на стороне *I*, когда ток в рабочей обмотке больше тока в обмотке в нулевом проводе (в схеме рис.. 13 в 2 раза). В соответствии с этим для отстройки этого реле от разрывов по выражению (П-2) числа витков обмоток реле должны удовлетворять соотношению

$$w_{IIраб} - \frac{w_н}{2} \leqslant \frac{F_{с.р}}{I_{с.р}^{(р)}}. \qquad (П\text{-}11)$$

Для рассматриваемого случая при выборе $I_{с.р}^{(р)}$ в выражении (П-2) вместо $I_в$ следует подставлять $I_{IIв}$.

б) Результаты аналитического расчета можно считать окончательными, если принятые числа витков $w_н$ и $w_{раб}$ отличаются от расчетных чисел витков соответственно $w_{н.расч}$ и $w_{раб.расч}$, определенных по (П-3) и (П-11) с помощью (П-2), меньше, чем на один виток. Указанное имеет

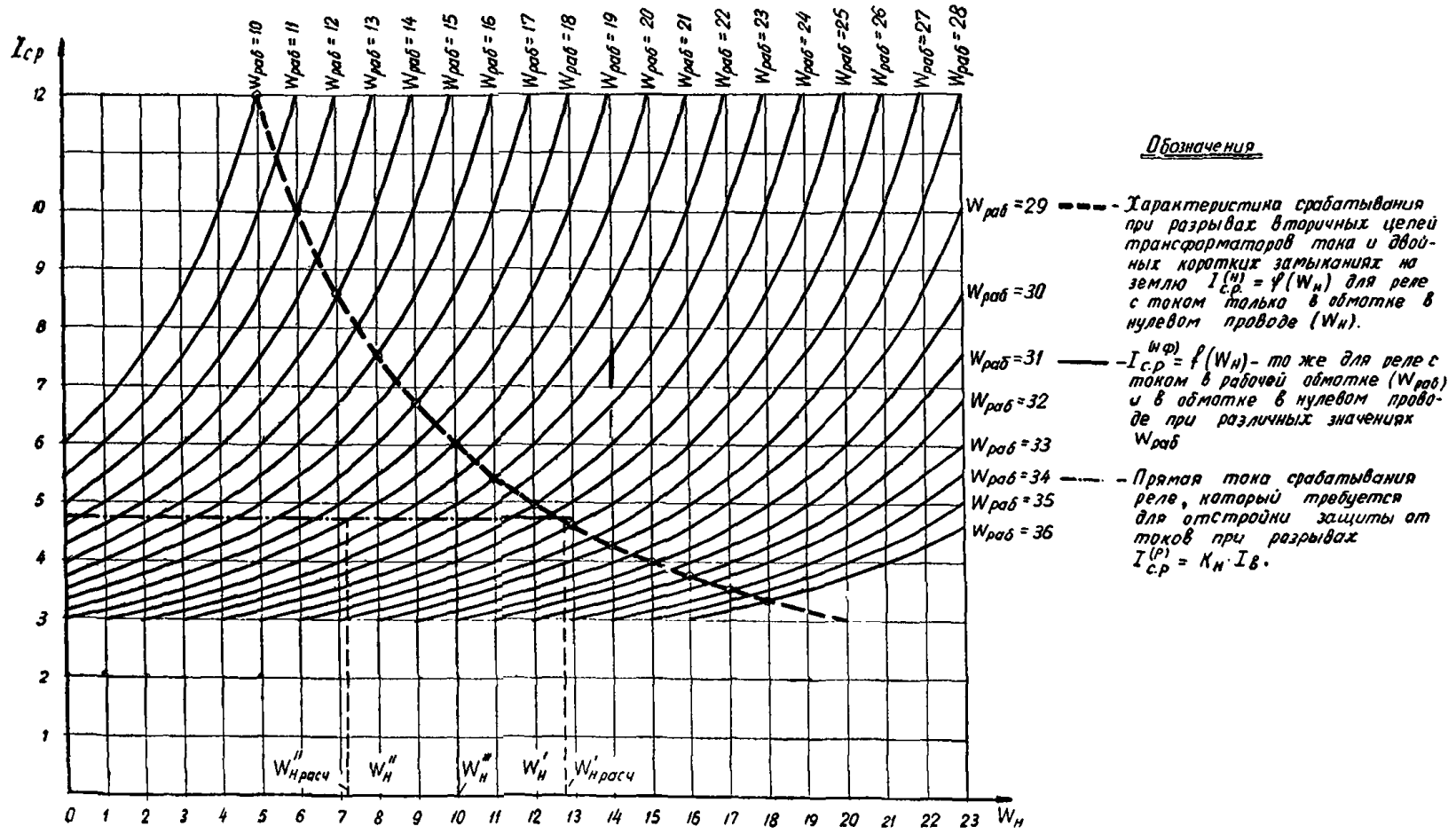


Рис. П-3. Графический метод расчета чисел витков обмоток реле продольной дифференциальной защиты генераторов, отстроенной от разрывов в цепях трансформаторов тока, при токе срабатывания, меньшем номинального.

Примечание. Токораспределение в схеме при разрывах во вторичных цепях трансформаторов тока защиты и двойных коротких замыканиях дано на рис. П-1.

место для условий схемы рис. 13, как следует из приведенного ниже примера расчета.

Для случаев, когда в реле отсутствуют ответвления обмоток, соответствующие числам витков, достаточно близким к расчетным, и требуется уточнение расчета, могут быть построены характеристики срабатывания реле, аналогичные таковым для схем с одинаковыми токами в плечах.

в) Для определения наименьшего тока срабатывания защиты при коротких замыканиях между фазами, который возможен для рассматриваемой схемы, следует подставить (П-3) в (П-11):

$$w_{\text{IIраб}} - \frac{F_{\text{с.р}}}{2I^{(\text{р})}_{\text{с.р}}} \leqslant \frac{F_{\text{с.р}}}{I^{(\text{р})}_{\text{с.р}}},$$

откуда, учитывая (П-1) и (П-2), получим, что

$$\frac{1{,}5I^{(3)}_{\text{с.р}} w_{\text{IIраб}}}{k_{\text{н}} I_{\text{IIв}}} \geqslant w_{\text{IIраб}},$$

и, подставив $k_{\text{н}} = 1{,}1$,

$$\frac{I^{(3)}_{\text{с.р}}}{I_{\text{IIв}}} = I^{(3)}_{*\text{с.з}} \geqslant 0{,}73.$$

В. Примеры выбора параметров продольной дифференциальной токовой защиты турбогенераторов, выполненной по рассматриваемой схеме

1. Расчет защиты турбогенератора типа ТГВ-200-2 (рис. 12)

Защита выполнена с реле типа РНТ-562. Номинальный первичный ток турбогенератора типа ТГВ-200-2 $I_{\text{ном}} = 8\,630$ *а*, коэффициент трансформации трансформаторов тока $n_{\text{тт}} = \frac{10\,000}{5}$.

Вторичный ток в плечах защиты, соответствующий номинальной мощности генератора

$$I_{\text{в}} = \frac{I_{\text{ном}}}{n_{\text{тт}}} = \frac{8\,630}{2\,000} = 4{,}3 \text{ а}.$$

Определяется ток срабатывания реле, требуемый для отстройки защиты от токов при разрывах по выражению (П-2):

$$I^{(\text{р})}_{\text{с.р}} = k_{\text{н}} I_{\text{в}} = 1{,}1 \cdot 4{,}3 = 4{,}7 \text{ а}.$$

По (П-3) определяется расчетное число витков обмотки в нулевом проводе:

$$w_{\text{н.расч}} = \frac{F_{\text{с.р}}}{I^{(\text{р})}_{\text{с.р}}} = \frac{60}{4{,}7} = 12{,}8 \text{ витков}.$$

Принимается ближайшее к расчетному меньшее $w_{\text{н}} = 12$ витков. По (П-5) определяется расчетное число витков рабочей обмотки:

$$w_{\text{раб.расч}} = \frac{F_{\text{с.р}}}{I^{(\text{р})}_{\text{с.р}}} + w_{\text{н}} = \frac{60}{4{,}7} + 12 = 24{,}8 \text{ витков}.$$

Ближайшее меньшее к $w_{\text{раб.расч}}$ число витков из тех, которые можно установить на реле типа РНТ-562, $w_{\text{раб}} = 20$ витков. В связи с этим с помощью характеристик срабатывания реле на рис. П-3 необходимо произвести уточненный расчет.

На графике рис. П-3 строится прямая $I^{(\text{р})}_{\text{с.р}} = k_{\text{н}} I_{\text{в}} = 1{,}1 \cdot 4{,}3 = 4{,}7$ *а*. Ее пересечение с кривой $I^{(\text{н})}_{\text{с.р}} = f(w_{\text{н}})$ дает $w'_{\text{н.расч}} = 12{,}8$ витков, чему соответствует $w'_{\text{н}} = 12$ витков. Пересечение кривой $I^{(\text{н.ф})}_{\text{с.р}} = f(w_{\text{н}})$ для $w_{\text{раб}} = 20$ витков с прямой $I^{(\text{р})}_{\text{с.р}}$ дает $w''_{\text{н.расч}} = 7{,}2$ витка. Ближайшее к расчетному большее из имеющихся чисел витков на реле $w'_{\text{н}} = 8$ витков.

Для принятого $w_{\text{раб}} = 20$ витков $w'''_{\text{н}} = 10$ витков. Для двухрелейной схемы следует принимать $w_{\text{н}} = w'_{\text{н}} = 12$ витков, а для трехрелейной схемы, так как $w'_{\text{н}} - w'''_{\text{н}} = w'''_{\text{н}} - w''_{\text{н}}$, можно принимать как $w_{\text{н}} = 12$ витков, так и $w_{\text{н}} = w''_{\text{н}} = 8$ витков.

По выражениям (П-1), (П-7) и (П-8) определяются токи срабатывания реле при коротких замыканиях, соответствующие принятым числам витков обмоток:

$$I^{(2)}_{\text{с.р}} = I^{(3)}_{\text{с.р}} = \frac{F_{\text{с.р}}}{w_{\text{раб}}} = \frac{60}{20} = 3 \text{ а};$$

$$I^{(1,1)}_{\text{с.р}} = \frac{F_{\text{с.р}}}{w'_{\text{н}}} = \frac{F_{\text{с.р}}}{w_{\text{раб}} - w''_{\text{н}}} = \frac{60}{12} = \frac{60}{20-8} = 5 \text{ а}.$$

В относительных единицах

$$I^{(3)}_{*\text{с.р}} = \frac{I^{(3)}_{\text{с.р}}}{I_{\text{в}}} = \frac{3}{4{,}3} = 0{,}7;$$

$$I^{(1,1)}_{*\text{с.р}} = \frac{I^{(1,1)}_{\text{с.р}}}{I_{\text{в}}} = \frac{5}{4{,}3} = 1{,}16.$$

2. Расчет защиты турбогенератора типа ТВВ-300-2 (рис. 13)

Защита выполнена с реле типа РНТ-562.

Номинальный первичный ток турбогенератора типа ТВВ-300-2 $I_{\text{ном}} = 10\,200$ *а*, коэффициенты трансформации трансформаторов тока, установленных со сторон выводов к сети и к нулевой точке, соответственно $n_{\text{Iтт}} = \frac{12\,000}{5}$ и $n_{\text{IIтт}} = \frac{6\,000}{5}$. Вторичные токи в плечах защиты, соответствующие номинальной мощности генератора:

$$I_{\text{Iв}} = \frac{I_{\text{ном}}}{n_{\text{Iтт}}} = \frac{10\,200 \cdot 5}{12\,000} = 4{,}25 \text{ а};$$

$$I_{\text{IIв}} = \frac{I_{\text{ном}}}{n_{\text{IIтт}}} = \frac{10\,200 \cdot 5}{6\,000} = 8{,}5 \text{ а}.$$

Определяется ток срабатывания реле, требуемый для отстройки защиты от токов при разрывах по (П-2):

$$I^{(\text{р})}_{\text{с.р}} = k_{\text{н}} I_{\text{IIв}} = 1{,}1 \cdot 8{,}5 = 9{,}35 \text{ а}.$$

По (П-3) определяется расчетное число витков обмотки в нулевом проводе:

$$w_{\text{н.расч}} = \frac{F_{\text{с.р}}}{I^{(\text{р})}_{\text{с.р}}} = \frac{60}{9{,}35} = 6{,}4 \text{ витка}.$$

Принимается ближайшее меньшее к расчетному $w_{\text{н}} = 6$ витков (используется дифференциальная обмотка реле).

С помощью (П-11) определяется расчетное число витков рабочей обмотки стороны *II*:

$$w_{\text{II раб.расч}} = \frac{F_{\text{с.р}}}{I^{(\text{р})}_{\text{с.р}}} + \frac{w_{\text{н}}}{2} = \frac{60}{9{,}35} + \frac{6}{2} = 9{,}4 \text{ витка}.$$

Принимается ближайшее меньшее к расчетному $w_{\text{IIраб}} = 9$ витков (используется уравнительная обмотка реле). С помощью (П-10) определяется число витков рабочей обмотки стороны *I*:

$$w_{\text{Iраб}} = w_{\text{IIраб}} \frac{I_{\text{IIв}}}{I_{\text{Iв}}} = 9 \cdot \frac{8{,}5}{4{,}25} = 18 \text{ витков}.$$

По (П-1) и (П-7) определяются токи срабатывания реле при коротких замыканиях, соответствующие принятым числам витков обмоток:

$$I^{(2)}_{\text{с.р}} = I^{(3)}_{\text{с.р}} = \frac{F_{\text{с.р}}}{w_{\text{IIраб}}} = \frac{60}{9} = 6{,}7 \text{ а};$$

$$I^{(1,1)}_{\text{с.р}} = \frac{F_{\text{с.р}}}{w_{\text{н}}} = \frac{60}{6} = 10 \text{ а}.$$

В относительных единицах

$$I^{(3)}_{*\text{с.р}} = \frac{I^{(3)}_{\text{с.р}}}{I_{\text{IIв}}} = \frac{6{,}7}{8{,}5} = 0{,}79;$$

$$I^{(1,1)}_{*\text{с.р}} = \frac{I^{(1,1)}_{\text{с.р}}}{I_{\text{IIв}}} = \frac{10}{8{,}5} = 1{,}18.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ II

ВЫПОЛНЕНИЕ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ НА СИГНАЛ СЕЛЕКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ НА СТОРОНЕ ГЕНЕРАТОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ БЛОКОВ ГЕНЕРАТОР — ТРАНСФОРМАТОР ПРИ РАБОТЕ НЕСКОЛЬКИХ ГЕНЕРАТОРОВ НА ОДНУ ОБМОТКУ ПОВЫШАЮЩЕГО ТРАНСФОРМАТОРА

1. Для укрупненных блоков генератор — трансформатор с параллельно включенными генераторами возникает вопрос о целесообразности применения на стороне генераторного напряжения селективной сигнализации замыкания на землю.

Ниже рассматриваются (рис. П-4) варианты выполнения защиты от замыкания на землю в обмотке статора генератора, осуществляемой с использованием трансформатора тока нулевой последовательности шинного типа и действующей на сигнал (И. М. Сирота, Защита от замыканий на землю крупных генераторов, «Энергетика и электротехническая промышленность», 1962, № 1).

2. В схеме защиты по рис. П-4,*а*, предусматриваемой при наличии дугогасящей катушки в нейтрали трансформатора собственных нужд, осуществляется компенсация собственного емкостного тока генератора при внешнем замыкании на землю.

Для указанной цели на сердечнике трансформатора тока нулевой последовательности ТНПШ (*1ТТ*) помещается дополнительная компенсирующая обмотка *III*, включаемая через емкость *5С* на напряжение нулевой последовательности.

При наличии компенсации собственного емкостного тока генератора при внешнем замыкании на землю можно ожидать снижения тока срабатывания защиты (так как при отстройке последнего от внешнего замыкания на землю прак-

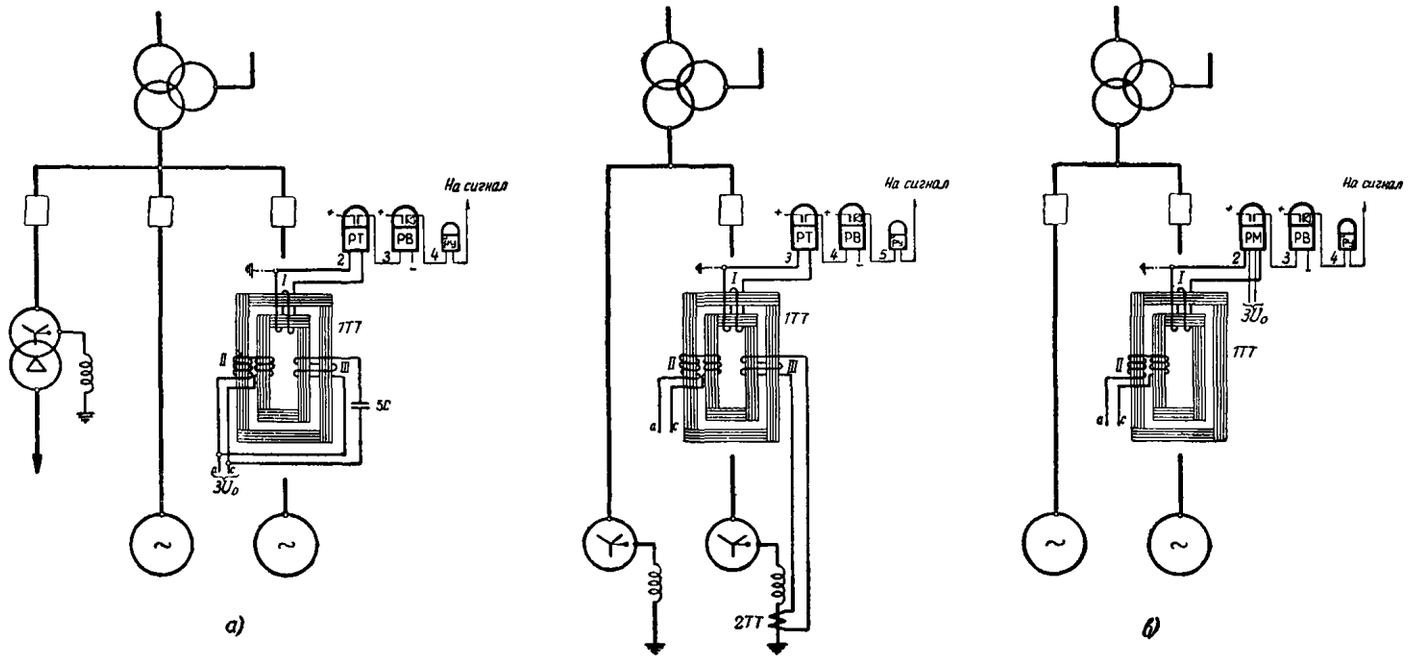
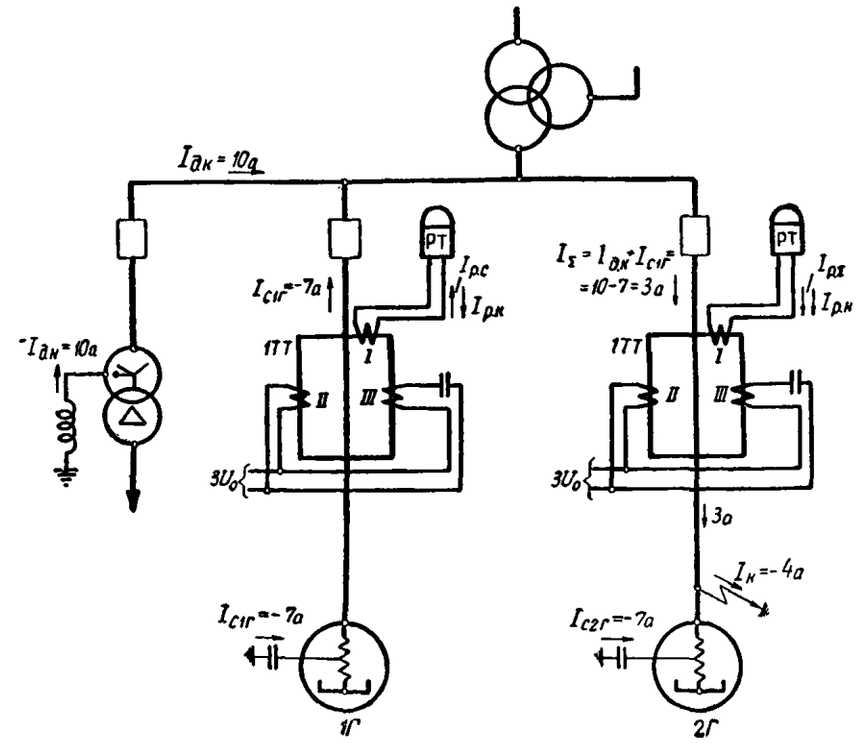


Рис. П-4. Варианты выполнения защиты от замыканий на землю генераторов.



Принятые обозначения

$n_{1т}$ – коэффициент трансформации трансформаторов тока 1ТТ;

$\dot{I}_{дк}=10a$ – ток дугогасящей катушки,

$\dot{I}_{с1г}=\dot{I}_{с2г}=\dot{I}_{сг}=-7a$ – собственный емкостный ток генератора при замыкании на землю

$\dot{I}_{р.с}=\frac{\dot{I}_{сг}}{n_{1т}}=\frac{-7}{n_{1т}}a$ – составляющая тока в реле генератора 1Г, обусловленная собственным емкостным током генератора при замыкании на землю, проходящим по первичной обмотке тр-ра тока 1ТТ генератора 1Г;

$\dot{I}_{р.к}=\dot{I}_{р.с}=-\frac{7}{n_{1т}}a$ – составляющая тока в реле, обусловленная компенсирующей обмоткой III тр-ра тока 1ТТ;

$\dot{I}_{р\Sigma}=\frac{\dot{I}_{дк}+\dot{I}_{с1г}}{n_{1т}}=\frac{10-7}{n_{1т}}=\frac{3}{n_{1т}}a$ – составляющая тока в реле генератора 2Г, обусловленная суммой тока дугогасящей катушки и собственного емкостного тока генератора 1Г при замыкании на землю, проходящим по первичной обмотке тр-ра тока 1ТТ генератора 2Г;

$\dot{I}_{р1г}=\dot{I}_{р.с}-\dot{I}_{р.к}=0$ – ток в реле генератора 1Г;

$\dot{I}_{р2г}=\dot{I}_{р\Sigma}+\dot{I}_{р.к}=\frac{\dot{I}_{дк}+\dot{I}_{с1г}+\dot{I}_{с2г}}{n_{1т}}=\frac{\dot{I}_к}{n_{1т}}=$

$=\frac{10-7-7}{n_{1т}}=\frac{-4}{n_{1т}}a$ – ток в реле генератора 2Г.

Рис. П-5. Пример токораспределения в схеме по рис. П-4,*а* при настройке дугогасящей катушки на недокомпенсацию.

тически можно учитывать только ток небаланса) и, следовательно, повышения ее чувствительности.

Питание обмотки подмагничивания *II* трансформатора тока *1ТТ* в рассматриваемом случае от напряжения нулевой последовательности обеспечивает почти оптимальную фазу подмагничивания и вследствие этого снижение первичного расчетного тока небаланса и повышение чувствительности защиты (см. Руководящие указания по релейной защите. Выпуск 1. Защита генераторов, работающих на сборные шины).

Следует отметить, что рассматриваемый способ компенсации собственного емкостного тока генератора при внешнем замыкании на землю эффективен только при установившемся режиме замыкания на землю, поскольку в переходном режиме невозможно согласовать контур с сосредоточенными параметрами (содержащий емкость *5С*) с контуром генератора, в котором в данном случае должны учитываться распределенные параметры.

Возможные в схеме рис. П-4,*а* при переходных режимах свободные периодические и апериодические токи, нарушающие компенсацию, достаточно быстро затухают. Поэтому при наличии выдержки времени защиты порядка 1 *сек* с ними можно не считаться.

При отсутствии дугогасящих катушек в системе генераторного напряжения схема рис. 4,*а* неприменима, поскольку в этом случае перемежающийся дуговой процесс при замыкании на землю, характеризующийся высокочастотными колебаниями, может существовать длительно и временем действия защиты не представляется возможным от него отстроиться.

Для обеспечения действия защиты дугогасящая катушка может быть настроена как на перекомпенсацию, так и недокомпенсацию.

На рис. П-5 дан числовой пример токораспределения в схеме рис. П-4,*а* при замыкании на землю в одном из генераторов для случая, когда емкостный ток каждого генератора равен 7 *а* и дугогасящая катушка настроена на недокомпенсацию ($I_{д.к}=10$ *а*). Ток дугогасящей катушки $I_{д.к}$ выбран таким образом, чтобы ток в месте замыкания на землю как при работе двух, так и одного генератора не превышал 5 *а* и в то же время был достаточен для обеспечения действия защиты (см. ниже).

3. В схеме защиты по рис. П-4,*б*, предусматриваемой при наличии дугогасящих катушек в нейтралях генераторов, защита осуществляется по дифференциальной схеме. При таком выполнении защиты обеспечивается компенсация суммы тока дугогасящей катушки и собственного емкостного тока генератора, проходящих по первичной обмотке трансформатора тока ТНПШ при внешнем замыкании на землю; поэтому и в данном случае, как и в схеме по рис. П-4,*а*, при отстройке тока срабатывания защиты от внешнего замыкания на землю практически можно учитывать только ток небаланса.

Номинальный первичный ток трансформатора тока *2ТТ* выбирается соответствующим максимальному току дугогасящей катушки $I_{д.к}$; число витков компенсирующей обмотки *III* трансформатора тока *1ТТ* определяется по выражению

$$w_{III} = n_{2т}\frac{\dot{I}_{д.к}+\dot{I}_{с.г}}{\dot{I}_{д.к}}, \qquad (П\text{-}12)$$

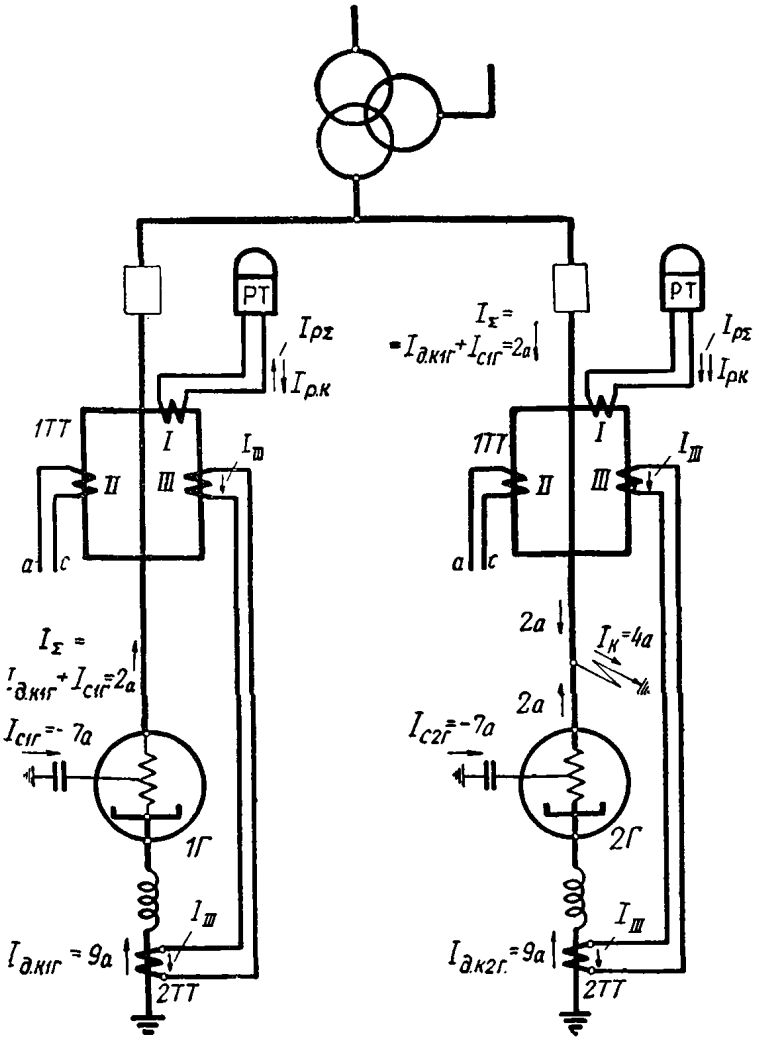
где

$n_{2т}$ — коэффициент трансформации трансформатора тока *2ТТ*;

$\dot{I}_{с.г}$ — собственный емкостный ток генератора при внешнем замыкании на землю.

Рассматриваемая схема, учитывая выражение (П-12), применима при условии, что настройка дугогасящей катушки (ток $\dot{I}_{д.к}$) в процессе эксплуатации не меняется.

При выборе трансформатора тока *2ТТ* следует учитывать, что в данной схеме сопротивление намагничивания трансформатора тока ТНПШ (*1ТТ*) практически не нагружает трансформатор тока *2ТТ*, а потому в расчетную нагрузку последнего входит только сопротивление соединительных проводов и обмотки *III*.



Принятые обозначения

$n_{1т}$ — коэффициент трансформации трансформаторов тока 1ТТ;

$n_{2т}$ — коэффициент трансформации трансформаторов тока 2ТТ;

$\dot{I}_{с1г}=\dot{I}_{с2г}=\dot{I}_{сг}=7a$ — собственный ёмкостный ток генератора при замыкании на землю,

$\dot{I}_{д.к1г}=\dot{I}_{д.к2г}=\dot{I}_{д.к}=9a$ — ток дугогасящей катушки;

$$\dot{I}_{рΣ}=\frac{\dot{I}_{д.к1г}+\dot{I}_{с1г}}{n_{1т}}=\frac{9-7}{n_{1т}}=\frac{2}{n_{1т}}\ a$$ — составляющая тока в реле генераторов 1Г и 2Г, обусловленная суммой тока дугогасящей катушки и собственного емкостного тока генератора 1Г при замыкании на землю, проходящих по первичным обмоткам трансформаторов тока 1ТТ генераторов 1Г и 2Г;

$$W_{III}=n_{2т}\cdot\frac{\dot{I}_{д.к}+\dot{I}_{с.г}}{\dot{I}_{д.к}}$$ — числа витков компенсирующей обмотки III трансформатора тока 1ТТ.

$$\dot{I}_{р.к}=\frac{1}{n_{1т}}\cdot I_{III}W_{III}=\frac{1}{n_{1т}}\cdot\frac{\dot{I}_{д.к}}{n_{2т}}\cdot n_{2т}\cdot\frac{\dot{I}_{д.к}+\dot{I}_{сг}}{\dot{I}_{д.к}}=\frac{\dot{I}_{д.к}+\dot{I}_{с.г}}{n_{1т}}=\frac{9-7}{n_{1т}}=\frac{2}{n_{1т}}\ a$$ — составляющая тока в реле, обусловленная компенсирующей обмоткой III трансформатора тока 1Г,

$\dot{I}_{р1г}=\dot{I}_{рΣ}-\dot{I}_{р.к}=0$ — ток в реле генератора 1Г;

$$\dot{I}_{р2г}=\dot{I}_{рΣ}+\dot{I}_{р.к}=\frac{\dot{I}_{д.к1г}+\dot{I}_{с1г}+\dot{I}_{д.к2г}+\dot{I}_{с2г}}{n_{1т}}=\frac{\dot{I}_к}{n_{1т}}=\frac{4}{n_{1т}}\ a$$ — ток в реле генератора 2Г.

Рис. П-6. Пример токораспределения в схеме по рис. П-4,*б* при настройке дугогасящей катушки на перекомпенсацию.

При выполнении защиты по схеме рис. П-4,*б* с выдержкой времени порядка 1 *сек* можно, как и в случае применения схемы рис. П-4,*а*, выбирать параметры защиты по установившемуся режиму.

Для обеспечения действия защиты дугогасящие катушки могут быть настроены как на перекомпенсацию, так и на недокомпенсацию.

На рис. П-6 дан числовой пример токораспределения в схеме по рис. П-4,*б* при замыкании на землю в одном из генераторов для случая, когда емкостный ток каждого генератора равен 7 *а* и дугогасящие катушки настроены на перекомпенсацию ($\dot{I}_{д.к}=9$ *а*). Ток дугогасящей катушки $\dot{I}_{д.к}$ выбран таким образом, чтобы ток в месте замыкания на землю не превышал 5 *а* и в то же время был достаточен для обеспечения действия защиты (см. ниже).

Как видно из рис. П-5 и П-6, защиты, выполненные по схемам рис. П-4,*а* и *б*, реагируют на полный ток в месте повреждения.

При использовании в схемах рис. П-4,*а* и *б* трансформатора тока типа ТНПШ и реле тока типа ЭТД-551 защита имеет чувствительность порядка 2,5—3,5 *а*.

4. В схеме рис. П-4,*в*, предусматриваемой при отсутствии дугогасящих катушек на стороне генераторного напряжения, селективность действия защиты обеспечивается выполнением ее направленной.

Следует отметить, что схема рис. П-4,*в* принципиально может быть применена и при установке дугогасящих катушек, работающих с недокомпенсацией; однако более целесообразным в этом случае является применение схем по рис. П-4,*а* или *б*.

Практическое использование схемы рис. П-4,*в* в настоящее время вызывает затруднение в связи с отсутствием требующегося реле направления мощности в заводском исполнении.

5. В дополнение к рассмотренным защитам для сигнализации замыканий на землю в обмотках низшего напряжения повышающего трансформатора и высшего напряжения трансформатора собственных нужд должна предусматриваться защита напряжения нулевой последовательности.

6. Схемы, приведенные на рис. П-4,*а* и *в*, могут быть также использованы для осуществления действующей на отключение защиты от замыканий на землю генераторов, работающих на сборные шины и имеющих большой собственный емкостный ток замыкания на землю, при отстройке от которого с учетом низкого коэффициента возврата реле защиты типа ЭТД-551 ток срабатывания оказывается превышающим 5 *а*.

ПРИЛОЖЕНИЕ III

РЕЖИМЫ РАБОТЫ АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРЕГРУЗКИ

Для выяснения требований, предъявляемых к защите от перегрузки автотрансформаторов, ниже рассматриваются различные режимы его работы.

Для защиты от перегрузки обмоток высшего и низшего напряжений предусматриваются реле тока, устанавливаемые на указанных сторонах.

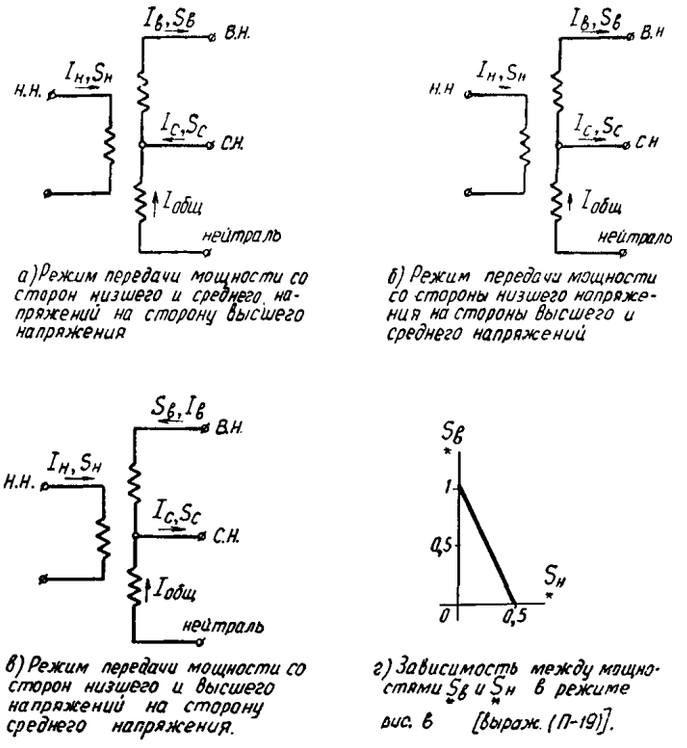
Выявление режима работы, обусловливающего перегрузку общей обмотки высшего и среднего напряжений, и места установки защиты этой обмотки требует специального рассмотрения.

Ниже рассматриваются режимы работы повышающего автотрансформатора 242/121/6,3—10,5 *кв* в целях выявления условий, определяющих выполнение защиты от перегрузки.

Для указанного автотрансформатора коэффициент трансформации между сторонами высшего и среднего напряжений $n_{авт}=2$; принимается, что типовая мощность $S_{тип}$ равна половине его проходной мощности $S_{тип}=0{,}5\ S_{пр}$, номинальная мощность обмотки низшего напряжения равна типовой мощности и значение длительно допускаемого тока для общей обмотки такое же, как и для обмотки высшего напряжения. В целях упрощения значения $\cos\varphi$ на сторонах высшего, среднего и низшего напряжений приняты одинаковыми.

1. Режим передачи мощности со сторон низшего и среднего напряжений на сторону высшего напряжения

На рис. П-7,*а* приведено распределение токов в обмотках автотрансформатора для режима передачи мощности со сторон низшего и среднего напряжений на сторону высшего напряжения (для понижающего автотрансформатора указанный режим аналогичен режиму передачи мощности со стороны высшего напряжения на стороны среднего и низшего напряжений).



а) Режим передачи мощности со сторон низшего и среднего напряжений на сторону высшего напряжения

б) Режим передачи мощности со стороны низшего напряжения на стороны высшего и среднего напряжений

в) Режим передачи мощности со сторон низшего и высшего напряжений на сторону среднего напряжения.

г) Зависимость между мощностями $\underset{*}{S_в}$ и $\underset{*}{S_н}$ в режиме вис. в [выраж. (П-19)].

Рис. П-7. Распределение токов и мощностей в обмотках повышающего автотрансформатора в различных режимах его работы.

Для рассматриваемого режима ток в общей обмотке определяется по выражению

$$I_{общ}=I_в-I_с=\frac{S_в}{\sqrt{3}U_в}-\frac{S_с}{\sqrt{3}U_с}=\frac{S_в}{\sqrt{3}U_в}\left(1-n_{авт}\frac{S_с}{S_в}\right)=$$
$$=I_в\left(1-2\frac{S_с}{S_в}\right), \qquad (П\text{-}13)$$

где

$I_в$, $U_в$ и $S_в$ — соответственно ток, напряжение и мощность на стороне высшего напряжения;

$I_с$, $U_с$ и $S_с$ — то же на стороне среднего напряжения.

В рассматриваемом режиме отношение мощностей $\frac{S_с}{S_в}$ изменяется в пределах

$$0\leqslant\frac{S_с}{S_в}\leqslant 1. \qquad (П\text{-}14)$$

Из (П-13) с учетом (П-14) следует, что ток в общей обмотке автотрансформатора равен или меньше тока в обмотке высшего напряжения, т. е. перегрузка общей обмотки невозможна без перегрузки обмотки высшего напряжения. В рассмотренном режиме работы автотрансформатора защита от перегрузки общей обмотки может осуществляться с помощью реле тока, установленного на стороне высшего напряжения автотрансформатора.

2. Режим передачи мощности со стороны низшего напряжения на стороны высшего и среднего напряжений

На рис. П-7,*б* приведено распределение токов в обмотках автотрансформатора для режима передачи мощности со стороны низшего напряжения на стороны высшего и среднего напряжений (для понижающего автотрансформатора указанный режим аналогичен режиму передачи мощности со стороны высшего и среднего напряжения на сторону низшего напряжения).

Для рассматриваемого режима ток в общей обмотке может быть определен по выражению

$$I_{общ}=I_в+I_с=\frac{S_{пр}}{\sqrt{3}U_в}\left(\frac{S_в}{S_{пр}}+n_{авт}\frac{S_с}{S_{пр}}\right)=$$
$$=I_{в.ном}\left(\underset{*}{S_в}+2\underset{*}{S_с}\right)=I_{в.ном}\left(\underset{*}{S_н}+\underset{*}{S_с}\right), \qquad (П\text{-}15)$$

где

$I_{в.ном}$ — номинальный ток обмотки высшего напряжения автотрансформатора;

$\underset{*}{S_в} = \frac{S_в}{S_{пр}}$ — мощность, передаваемая на сторону высшего напряжения автотрансформатора, в относительных единицах;

$\underset{*}{S_с} = \frac{S_с}{S_{пр}}$ — то же, но для мощности, передаваемой на сторону среднего напряжения;

$\underset{*}{S_н} = \frac{S_н}{S_{пр}}$ — то же, но для мощности, передаваемой со стороны низшего напряжения;

$S_н$ — мощность, передаваемая со стороны низшего напряжения.

Или в относительных единицах

$$\underset{*}{I_{общ}} = \frac{I_{общ}}{I_{в.ном}} = \underset{*}{S_н} + \underset{*}{S_с}. \qquad (П\text{-}16)$$

Учитывая, что для рассматриваемого автотрансформатора $\underset{*}{S_н} \leqslant 0{,}5$ и что для данного режима $\underset{*}{S_с} \leqslant \underset{*}{S_н}$ имеем:

$$\underset{*}{S_н} + \underset{*}{S_с} \leqslant 1. \qquad (П\text{-}17)$$

Из (П-16) с учетом (П-17) следует, что перегрузка общей обмотки может возникнуть только при перегрузке обмотки низшего напряжения.

В рассмотренном режиме работы автотрансформатора защита от перегрузки его общей обмотки может осуществляться с помощью реле тока, установленного на стороне низшего напряжения.

3. Режим передачи мощности со сторон высшего и низшего напряжений на сторону среднего напряжения

На рис. П-7,*в* приведено распределение токов в обмотках автотрансформатора для режима передачи мощности со сторон высшего и низшего напряжений на сторону среднего напряжения (для понижающего автотрансформатора указанный режим аналогичен режиму передачи мощности со стороны среднего напряжения на стороны высшего и низшего напряжений).

Для рассматриваемого режима ток в общей обмотке автотрансформатора равен:

$$I_{общ} = I_с - I_в = \frac{S_{пр}}{\sqrt{3}U_в}\left(n_{авт}\frac{S_с}{S_{пр}} - \frac{S_в}{S_{пр}}\right) = I_{в.ном}(2\underset{*}{S_с} - \underset{*}{S_в}). \qquad (П\text{-}18)$$

Или в относительных единицах с учетом того, что $\underset{*}{S_с} = \underset{*}{S_в} + \underset{*}{S_п}$, имеем:

$$\underset{*}{I_{общ}} = \frac{I_{общ}}{I_{в.ном}} = \underset{*}{S_в} + 2\underset{*}{S_н}. \qquad (П\text{-}19)$$

По условиям нагрузки обмоток высшего и низшего напряжений для автотрансформатора допустим режим передачи со стороны высшего напряжения проходной мощности $\underset{*}{S_в} = 1$ и со стороны низшего напряжения — типовой мощности $\underset{*}{S_н} = 0{,}5$.

Однако, как следует из выражения (П-19), в этом случае будет перегружена общая обмотка и, следовательно, такой режим недопустим. В рассмотренном режиме защита от перегрузки общей обмотки не может быть осуществлена с помощью реле тока, установленных на сторонах высшего и низшего напряжений, поскольку, как следует из вышесказанного, перегрузка общей обмотки может иметь место в условиях, когда перегрузка обмоток высшего и низшего напряжений отсутствует. В связи с этим для защиты общей обмотки необходимо предусмотреть реле тока, включенное на ток указанной обмотки.

Принимая в (П-19) $\underset{*}{I_{общ}} = 1$, получим:

$$\underset{*}{S_в} = 1 - 2\underset{*}{S_н}. \qquad (П\text{-}20)$$

На рис. П-7,*г* приведен график, построенный по выражению (П-20).

Из рис. П-7,*г* следует, что со стороны низшего напряжения на сторону среднего напряжения может быть передана типовая мощность. Однако если одновременно будет передаваться мощность со стороны высшего напряжения на сторону среднего напряжения, то передаваемая мощность со стороны низшего напряжения должна быть снижена.

4. Режим работы автотрансформатора при отсутствии тока в обмотке низшего напряжения

Конструктивной особенностью повышающих автотрансформаторов мощностью 180 *Мва* и выше является то, что обмотка низшего напряжения располагается между обмоткой высшего напряжения и общей обмоткой. При отсутствии тока в обмотке низшего напряжения (например, при отключении генератора) имеют место большие добавочные потери и недопустимый нагрев отдельных частей конструкции. В связи с этим для указанных автотрансформаторов в таких режимах ограничивается передаваемая мощность до значений, меньших проходной мощности ($\sim 0{,}7\ S_{пр}$).

Для сигнализации перегрузки в рассматриваемых режимах предусматривается специальная защита, которая автоматически вводится в работу при исчезновении тока в обмотке низшего напряжения и имеет уставку, выбранную, исходя из допустимой мощности для этого режима.

Для понижающих трансформаторов аналогичный вопрос возникает для режимов, когда отсутствует ток в общей обмотке, которая располагается между обмотками высшего и низшего напряжений. Однако, учитывая некоторые конструктивные особенности понижающих автотрансформаторов, заводы-изготовители не накладывают ограничений передачи мощности на этот режим.

5. Выводы

В соответствии с вышеизложенным защита от перегрузки на повышающих автотрансформаторах должна устанавливаться на сторонах высшего и низшего напряжений и со стороны выводов к нейтрали; кроме того, должна предусматриваться специальная защита для режима, когда ток в обмотке низшего напряжения отсутствует.

Следует также отметить, что на понижающих автотрансформаторах с двусторонним питанием защита от перегрузки должна устанавливаться на сторонах высшего и низшего напряжений и со стороны выводов к нейтрали, а при наличии питания только со стороны высшего напряжения автотрансформатора — на сторонах высшего и низшего напряжений.

ПРИЛОЖЕНИЕ IV

СООТНОШЕНИЯ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ЗАЩИТУ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В ОДНОЙ ТОЧКЕ ЦЕПИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ, ВЫПОЛНЕННУЮ ПО СХЕМЕ рис. 21

1. Целью настоящего приложения является определение предельного значения емкости цепи возбуждения генератора на землю $C_в$, при котором возможно применение рассматриваемой защиты по схеме рис. 21, а также требуемые при этом параметры защиты (реле тока *2РТ* и разделительного конденсатора *8С*).

2. Ток срабатывания $I_{с.р}$ реле тока защиты определяется следующими двумя условиями:

а) отстройки от тока в реле при нормальном рабочем режиме (рис. П-8,*а*)

$$I_{с.р} \geqslant \frac{k_н}{k_в} I_{р.раб} = \frac{k_н}{k_в}\frac{U}{|r_р + jx_р - jx_с - jx_в|}; \qquad (П\text{-}21)$$

б) обеспечения чувствительности к замыканиям на землю через заданное переходное сопротивление (рис. П-8,*б*)

$$I_{с.р} \leqslant I_р = \frac{U}{|r_р + jx_р - jx_с + (-jx_в \parallel r_п)|}. \qquad (П\text{-}22)$$

В выражениях (П-21) и (П-22):

$k_н$ и $k_в$ — коэффициенты надежности и возврата; принимается $\frac{k_н}{k_в} = 1{,}5$;

U — напряжение на зажимах вторичной обмотки промежуточного трансформатора *1ТП*;

$r_р$ — активное сопротивление реле тока;

$x_р$ — индуктивное сопротивление реле тока;

$x_с$ — сопротивление разделительной емкости;

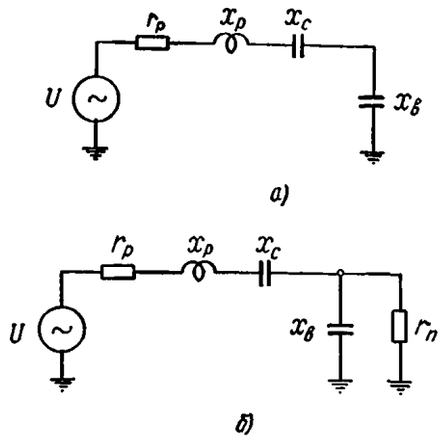


Рис. П-8. Схемы для расчета защиты от замыканий на землю в одной точке цепи возбуждения гидрогенераторов.
а — для нормального рабочего режима;
б — для замыкания через переходное сопротивление.

$x_в$ — сопротивление, обусловленное емкостью цепей возбуждения на землю;
$r_п$ — переходное сопротивление в месте повреждения.

Максимальное значение переходного сопротивления $r_п$, на которое защита должна реагировать, принимается равным $r_п = 5\,000$ *ом*.

Коэффициент $k_в$ в (П-21) введен в целях обеспечения возврата рассматриваемой защиты после ее срабатывания, например, при преходящем замыкании на землю.

3. При выборе емкости разделительного конденсатора следует учитывать, что максимальная чувствительность защиты к переходным сопротивлениям обеспечивается при значении емкости *8С*, принятом исходя из условия компенсации ею индуктивного сопротивления реле *2РТ*. Практически указанную емкость целесообразно выбирать по условию превышения примерно на 10% емкостного сопротивления разделительного конденсатора над индуктивным сопротивлением реле при неподтянутом якоре, когда сопротивление реле минимально

$$x_с = 1{,}1\, x_р. \qquad (П\text{-}23)$$

При таком выборе емкостного сопротивления разделительного конденсатора увеличение индуктивного сопротивления реле при движении якоря в сторону замыкания контактов приведет к уменьшению полного сопротивления контура и нарастанию тока в реле, что обеспечивает четкую работу последнего.

4. Угол сопротивления используемого в схеме реле тока ЭТ-520 принимается ориентировочно равным $\gamma = 60°$. В соответствии с этим

$$\left.\begin{aligned} r_р &= z_р \cos\gamma = 0{,}5 z_р; \\ x_р &= z_р \sin\gamma = 0{,}87 z_р. \end{aligned}\right\} \qquad (П\text{-}24)$$

С учетом (П-24) (П-21) и (П-22) принимают вид:

$$I_{с.р} \geqslant \frac{1{,}5U}{\sqrt{0{,}25 z_р^2 + (0{,}087 z_р + x_в)^2}}; \qquad (П\text{-}25)$$

$$I_{с.р} \leqslant I_р = \frac{U}{\sqrt{(0{,}5 z_р + r)^2 + (0{,}087 z_р + x)^2}}, \qquad (П\text{-}26)$$

где

$$r = \frac{r_п x_в^2}{r_п^2 + x_в^2} \quad \text{и} \quad x = \frac{r_п^2 x_в}{r_п^2 + x_в^2}.$$

5. Совместным решением (П-25) и (П-26) определяются зависимости $z_р = f(C_в)$ при различных $r_п$ (5 000, 10 000, 15 000 и 20 000 *ом*), приведенные на рис. П-9.

6. Из кривых рис. П-9 следует, что при принятом в качестве максимального значения переходного сопротивления $r_п = 5\,000$ *ом* значение $C_в$, при котором защита может быть применена, тем больше, чем меньше сопротивление реле $z_р$ и при теоретическом пределе ($z_р = 0$) достигает $C_в = 0{,}56$ *мкф*.

Практически уменьшение сопротивления реле $z_р$ ограничивается тем, что при малых его значениях емкость $C_р$ получается весьма большой, что обусловливает неоправданное увеличение размеров устройства.

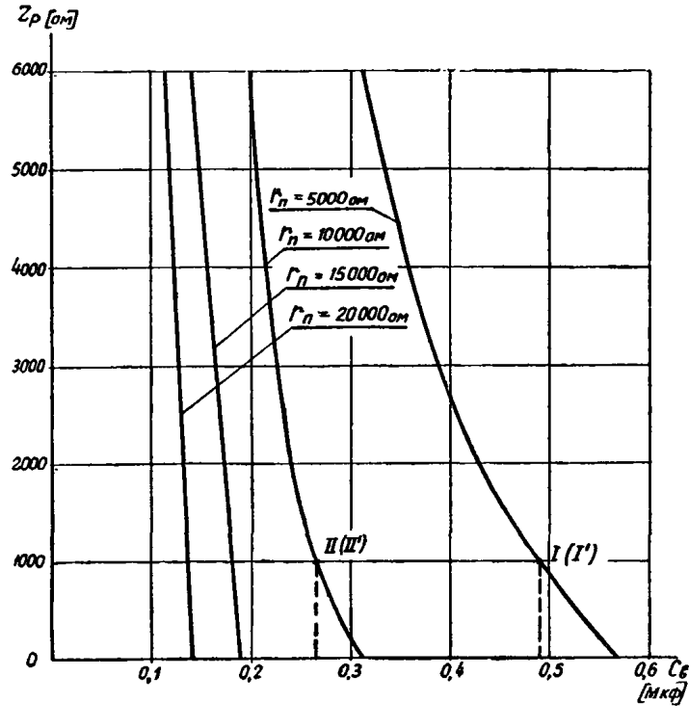


Рис. П-9. Зависимость $z_р = f(C_в)$ при $r_п = \text{const}$.

Ниже рассматривается выполнение защиты для случая $z_р = 1\,000$ *ом*.

7. Для выбранного сопротивления реле $z_р = 1\,000$ *ом* на рис. П-10 даны зависимости тока срабатывания реле $I_{с.р}$ по (П-25) и тока в реле $I_р$ по (П-26) при замыкании на землю через $r_п = 5\,000$ *ом* и 10 000 *ом* от емкости цепи возбуждения генератора на землю $C_в$ для случаев, когда вторичное напряжение промежуточного трансформатора *ТП* равно $U = 60$ и 100 *в*. Точки пересечения зависимостей $I_{с.р}$ и $I_р$ на рис. П-10 (*I* и *II* для $U = 100$ *в* и *I'* и *II'* для $U = 60$ *в*) определяют значения $C_в$, соответствующие точкам пересечения прямой $z_р = 1\,000$ *ом* с кривыми $r_п = 5\,000$ *ом* и 10 000 *ом* на рис. П-9.

8. При сопротивлении реле $z_р = 1\,000$ *ом* для обеспечения чувствительности защиты к переходному сопротивлению $r_п = 5\,000$ *ом* при емкости цепи возбуждения генератора на землю $C_в = 0{,}49$ *мкф* устройство должно иметь следующие параметры:

а) емкость разделительного конденсатора (определяется с учетом (П-23) и (П-24)

$$C_С = \frac{10^6}{\omega x_С} = \frac{10^6}{10 \cdot 1{,}1 z_р \sin\gamma} = \frac{10^6}{314 \cdot 1{,}1 \cdot 1\,000 \cdot 0{,}87} = 3{,}33 \text{ мкф};$$

б) ток срабатывания реле в соответствии с рис. П-10 при $U = (60 \div 100)$ *в*

$$I_{с.р} = (0{,}0136 \div 0{,}0226) \text{ а};$$

в) соответствующая мощность срабатывания реле

$$S_{с.р} = I_{с.р}^2 z_р = (0{,}185 \div 0{,}51) \text{ ва}.$$

По данным каталога потребление реле типа ЭТ-520 при малых токах срабатывания в зависимости от затяжки пружины меняется в пределах (0,1—0,4) *ва*.

Таким образом, указанное реле может быть использовано для осуществления рассматриваемой защиты при соответствующем выборе напряжения U и при соответствующей затяжке пружины.

9. Защита с принятыми параметрами может быть использована и для генераторов с $C_в \leqslant 0{,}5$ *мкф* при соответствующем уменьшении тока срабатывания реле ослаблением затяжки пружины; при этом в пределе (для мощности срабатывания $S_{с.р.мин} = 0{,}1$ *ва*) ток срабатывания реле может быть уменьшен до

$$I_{с.р.мин} = \sqrt{\frac{S_{с.р.мин}}{z_р}} = 0{,}01 \text{ а}.$$

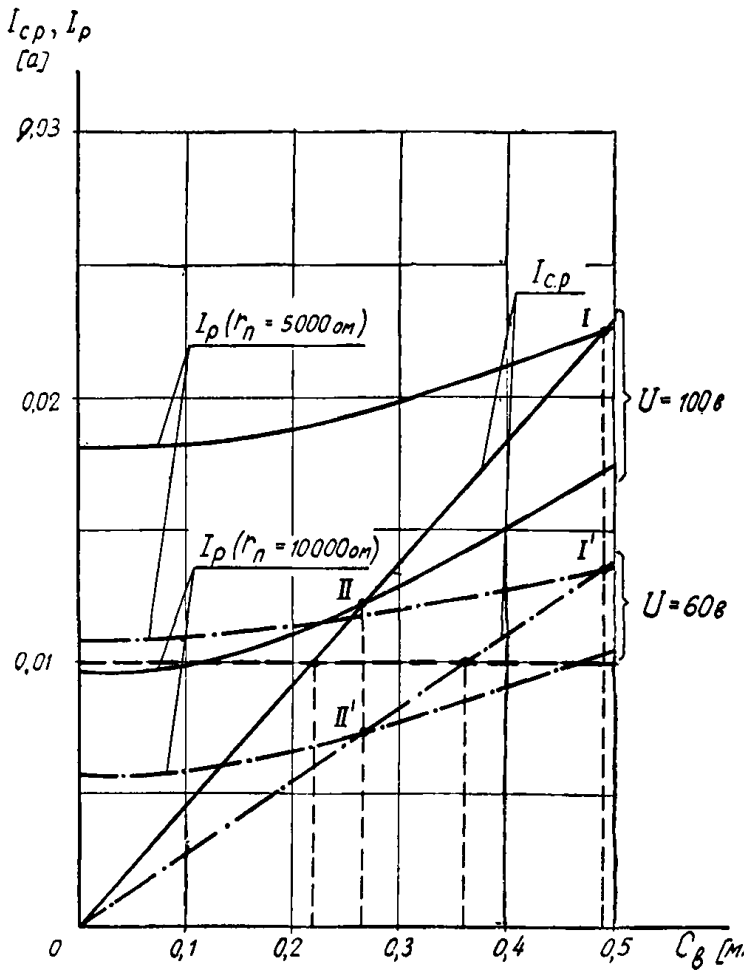


Рис. П-10. Зависимость $I_{с.р} = f(C_в)$ и $I_р = f(C_в)$ при $z_р = 1\,000$ *ом*.

Этому току срабатывания $I_{с.р.мин}$ по условию селективности (П-25) соответствуют емкости $C_в = 0{,}22$ *мкф* при $U = 100$ *в* и $C_в = 0{,}36$ *мкф* при $U = 60$ *в* (рис. П-10).

Из рис. П-10 следует, что при применении рассматриваемой защиты с $I_{с.р} = 0{,}01$ *а* для генераторов с емкостью цепи возбуждения на землю $C_в$, меньшей 0,22 или 0,36 *мкф* (соответственно при $U = 100$ и 60 *в*), требуемая чувствительность защиты к $r_п = 5\,000$ *ом* надежно обеспечивается, несмотря на то что ток срабатывания реле больше, чем это необходимо по условию селективности (П-25).

ПРИЛОЖЕНИЕ V

СРАВНЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАЩИТЫ ОТ ВНЕШНИХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТИ С БОЛЬШИМ ТОКОМ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ ДЛЯ СЛУЧАЕВ, КОГДА ТРАНСФОРМАТОРЫ БЛОКОВ СТАНЦИИ МОГУТ РАБОТАТЬ КАК С ЗАЗЕМЛЕННОЙ, ТАК И С НЕЗАЗЕМЛЕННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

При установке на трансформаторах блоков, имеющих пониженный уровень изоляции нейтрали и могущих работать как с заземленной, так и с незаземленной нейтралью, двух защит в соответствии с рис. 20,*б—д*, возникает необходимость согласования этих защит по чувствительности. Указанное согласование необходимо для предотвращения возникновения опасного для оборудования режима работы трансформатора на систему с изолированной нейтралью, когда в ней имеет место замыкание одной фазы на землю, и должно производиться так, чтобы при отказе по чувствительности защит, действующих на отключение трансформаторов с незаземленной нейтралью, защиты, действующие на отключение трансформаторов с заземленной нейтралью, также не срабатывали.

Рассмотрим условия согласования указанных защит при выполнении их по различным вариантам (рис. 20) на примере станции, показанной на рис. П-11, с числом блоков одинаковой мощности m, из которых n работают с заземленной нейтралью трансформатора. Согласование защит производится для случая короткого замыкания на землю одной фазы на одной из линий, отходящих от шин станции, примыкающих к сети с большим током замыкания на землю, в режиме, когда поврежденная линия отключена со стороны, противоположной по отношению к станции, защитой, действующей без выдержки времени.

1. Вариант с токовой защитой обратной последовательности (рис. 20,*б*)

Для условий, когда токовая защита обратной последовательности находится на грани чувствительности, учитывая, что в рассматриваемом случае токи нулевой и обратной последовательностей в линии, на которой рассматривается короткое замыкание на землю, одинаковы, можно написать:

$$\frac{I_{0расч} n}{3\beta_0} = \frac{I_{2с.з} m}{\beta_2}, \qquad (П\text{-}27)$$

где

$I_{2с.з}$ — ток срабатывания защиты обратной последовательности;

$I_{0расч}$ — утроенный ток нулевой последовательности в месте установки защиты в рассматриваемых условиях;

β_1 и β_2 — коэффициенты токораспределения в схеме соответственно нулевой и обратной последовательностей для данной станции.

Ток срабатывания токовой защиты нулевой последовательности по условию согласования

$$I_{0с.з} = k_н I_{0расч} = 3k_н \frac{\beta_0}{\beta_2} \frac{m}{n} I_{2с.з} \qquad (П\text{-}28)$$

и

$$I_{0с.з} = 3k_н \frac{\beta_0}{\beta_2} \frac{m}{n} \underset{*}{I}_{2с.з} \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} U_{ном}}, \qquad (П\text{-}28а)$$

где

$k_н$ — коэффициент надежности согласования.

Принимая $\underset{*}{I}_{2с.з} = 0{,}1$, можно получить:

$$I_{0с.з} = 0{,}173 k_н \frac{\beta_0}{\beta_2} \frac{m}{n} \frac{S_{ном}}{U_{ном}}, \qquad (П\text{-}29)$$

где

$S_{ном}$ — номинальная мощность трансформатора блока;

$U_{ном}$ — номинальное междуфазное напряжение стороны блока, примыкающей к сети с большим током замыкания на землю.

2. Вариант с защитой напряжения нулевой последовательности (рис. 20,*в*)

Ток срабатывания токовой защиты нулевой последовательности по условию согласования с защитой напряжения нулевой последовательности

$$I_{0с.з} = k_н \frac{U_{0с.з}}{x_{0бл}} \qquad (П\text{-}30)$$

или

$$I_{0с.з} = k_н \frac{\underset{*}{U}_{0с.з}}{\underset{*}{x}_{0бл}} \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} U_{ном}}, \qquad (П\text{-}30а)$$

где

$U_{0\,с.з}$ — первичное напряжение срабатывания защиты, равное утроенному напряжению нулевой последовательности в месте установки защиты в условиях, когда она находится на грани срабатывания;

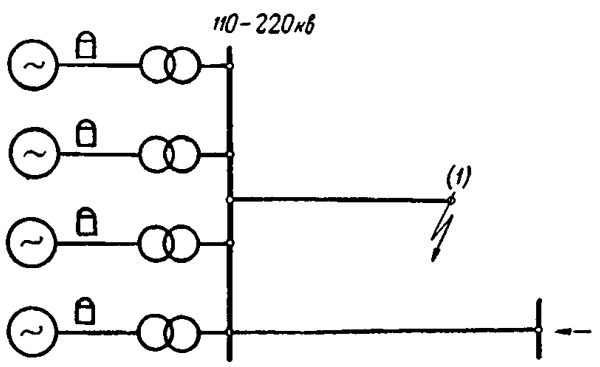


Рис. П-11. Исходная схема для сравнения чувствительности различных вариантов защиты от внешних коротких замыканий на землю в сети с большим током замыкания на землю по рис. 20.

$x_{*0бл}$ — сопротивление нулевой последовательности одного блока генератор—трансформатор.

Принимая вторичное напряжение срабатывания защиты равным 5 *в* и учитывая, что коэффициент трансформации трансформатора напряжения равен $\frac{U_{ном}}{\sqrt{3}\cdot 100}$, можно получить:

$$U_{*0с.з} = 0{,}05.$$

Принимая $x_{*0бл} = 0{,}105$, получим:

$$I_{0с.з} = 0{,}275 k_н \frac{S_{ном}}{U_{ном}}. \qquad (П\text{-}31)$$

Следует отметить, что условия согласования токовой защиты нулевой последовательности с защитой напряжения нулевой последовательности не зависят от числа трансформаторов, работающих с заземленной нейтралью.

3. Вариант с защитой напряжения обратной последовательности (рис. 20, *г*)

Ток срабатывания токовой защиты нулевой последовательности по условию согласования с защитой напряжения обратной последовательности по аналогии с (П-28)

$$I_{0с.з} = 3k_н \frac{\beta_0}{\beta_2} \frac{m}{n} \frac{U_{2с.з}}{x_{2бл}} \qquad (П\text{-}32)$$

или

$$I_{0с.з} = 3k_н \frac{\beta_0}{\beta_2} \frac{m}{n} \frac{U_{*2с.з}}{x_{*2бл}} \frac{S_{ном}}{\sqrt{3}U_{ном}}, \qquad (П\text{-}32а)$$

где

$U_{2с.з}$ — фазное напряжение срабатывания защиты напряжения обратной последовательности;

$x_{2бл}$ — сопротивление обратной последовательности цепи одного блока.

Принимая междуфазное вторичное напряжение срабатывания защиты равным 6 *в* и учитывая, что коэффициент трансформации трансформатора напряжения равен $\frac{U_{ном}}{100}$, можно получить:

$$U_{*2с.з} = 0{,}06.$$

Принимая относительное сопротивление обратной последовательности турбогенератора равным 0,15, а трансформатора — 0,105, получим:

$$x_{*2бл} = 0{,}255;$$

$$I_{0с.з} = 0{,}408 k_н \frac{\beta_0}{\beta_2} \frac{m}{n} \frac{S_{ном}}{U_{ном}}. \qquad (П\text{-}33)$$

4. Вариант с суммарной токовой защитой (рис. 20, *д*)

Для условий, когда суммарная токовая защита находится на грани чувствительности, можно написать:

$$I_{0с.з} = k_ц I'_{0с.з}, \qquad (П\text{-}34)$$

где

$I'_{0с.з}$ — ток срабатывания суммарной токовой защиты нулевой последовательности.

Первичный ток срабатывания суммарной токовой защиты нулевой последовательности (равный сумме утроенных токов нулевой последовательности в местах установки трансформаторов тока защиты) из-за необходимости учета условий согласования по чувствительности с токовыми защитами от коротких замыканий на землю смежных элементов может получиться относительно большим, до 200 *а*.

Полученные соотношения (П-29), (П-31), (П-33) и (П-34) позволяют сравнить чувствительность защиты от коротких замыканий на землю, выполненной по различным вариантам для рассматриваемого примера.

В табл. П-1 приведены значения токов срабатывания защиты $I_{0с.з}$ (в амперах), определенные по указанным соотношениям при $k_н = 1{,}1$ для трансформаторов разной мощности, когда $\frac{\beta_0}{\beta_2} = 1$, $\frac{m}{n} = 2$, $U_{ном} = 121$ *кв*,

Таблица П-1

Зависимость тока срабатывания токовой защиты нулевой последовательности в амперах от мощности трансформатора блока

Наименование вариантов защиты	Мощность трансформаторов, *Мва*			
	60	75	120	180
Вариант с токовой защитой обратной последовательности (рис. 20,*б*)	189	237	378	567
Вариант с защитой напряжения нулевой последовательности (рис. 20,*в*)	150	187	300	450
Вариант с защитой напряжения обратной последовательности (рис. 20,*г*)	444	555	888	1 332
Вариант с суммарной токовой защитой (рис. 20,*д*)	110—220	110—220	110—220	110—220

Полученные при принятых условиях результаты позволяют сделать следующие выводы.

а) Вариант с суммарной токовой защитой нулевой последовательности при принятом токе срабатывания $I'_{0с.з} = 100$—200 *а* для случаев с трансформаторами большой мощности (120 и 180 *Мва*) обеспечивает бо́льшую чувствительность, чем остальные варианты.

б) *Из остальных вариантов наиболее удовлетворительную* чувствительность обеспечивает вариант с защитой напряжения нулевой последовательности.

в) Для варианта с токовой защитой обратной последовательности и в особенности варианта с защитой напряжения обратной последовательности при относительно большой мощности блоков защита оказывается значительно загрубленной.

г) При выборе расчетных условий для согласования по чувствительности защит по рис. 20 не следует учитывать относительно редкие режимы, характеризующиеся большой величиной отношения m/n (n — число блоков с трансформаторами, работающими с незаземленной нейтралью из общего числа блоков m), поскольку это может привести к неоправданному загрублению защиты.

ПРИЛОЖЕНИЕ VI

ВЫЯВЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ РЕЖИМОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕОБХОДИМОГО ЧИСЛА ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ВИТКОВ ТОРМОЗНОЙ ОБМОТКИ НАСЫЩАЮЩЕГОСЯ ТРАНСФОРМАТОРА РЕЛЕ ТИПА ДЗТ-1 В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЕ БЛОКА ИЛИ ТРАНСФОРМАТОРА (АВТОТРАНСФОРМАТОРА) БЛОКА

А. Анализ отдельных схем

Ниже для ряда схем блоков генератор—трехобмоточный трансформатор (автотрансформатор), приведенных на рис. П-12, выявлены режимы, являющиеся расчетными при определении необходимого числа используемых витков тормозной обмотки насыщающегося трансформатора реле типа ДЗТ-1.

На рис. П-12 указано наиболее целесообразное размещение тормозной обмотки для отдельных случаев, выбранное с учетом приведенных выше рекомендаций (гл. 3 разд. В, § 1, п. 4), а также место повреждения, предполагаемое расчетным для выбора числа витков тормозной обмотки, и нанесены токи, проходящие на разных сторонах.

Как было отмечено выше (гл. 3 разд. В, § 1, п. 5), расчетными при определении числа витков тормозной обмотки являются такие сочетания режимов работы станции и систем, при которых в условиях рассматриваемого короткого замыкания имеют место наибольшие для данной схемы значения отношений токов ΔI по (16). На основании анализа (16), составленного применительно к рассматриваемым схемам, ниже выявлены расчетные режимы для схем по рис. П-12.

а) Блок, имеющий выключатель в ответвлении к собственным нуждам (рис. П-12, *а*)

Рассматривается случай, когда тормозная обмотка включена на ток в ответвлении к собственным нуждам.

Отношение токов ΔI по (16) может быть представлено через токи расчетного повреждения за выключателем ответвления к собственным нуждам следующим образом (рис. П-12,*а*)

$$\Delta I = k_{н} \frac{\alpha I_{I} + \beta I_{II} + \delta (I_{I} + I_{II}) + \eta (I_{I} + I_{II} + I_{III})}{I_{I} + I_{II} + I_{III}}. \quad (П\text{-}35)$$

В (П-35), а также в выражениях, приведенных ниже, коэффициенты α, β, γ, δ и η являются коэффициентами пропорциональности между составляющей тока небаланса и обусловливающей ее составляющей тока повреждения; сумма этих коэффициентов при токе от соответствующей стороны представляет из себя относительный ток небаланса в долях от обусловливающей его составляющей тока повреждения.

Для определения расчетного режима стороны *I* преобразуем (П-35) следующим образом:

$$\Delta I = k_{н} (\alpha + \delta + \eta) + k_{н} \frac{(\beta - \alpha) I_{II} - (\alpha + \delta) I_{III}}{I_{I} + I_{II} + I_{III}}. \quad (П\text{-}36)$$

Из (П-36) следует, что:

— при $\alpha \geqslant \beta$ расчетным является максимальный режим работы стороны *I*, так как числитель второго члена правой части выражения отрицателен;

— при $\alpha < \beta$ расчетным может быть как максимальный, так и минимальный режим работы стороны *I* в зависимости от того отрицательным или положительным будет числитель второго члена правой части выражения.

Для определения расчетного режима стороны *II* преобразуем (П-35) следующим образом:

$$\Delta I = k_{н} (\beta + \delta + \eta) + k_{н} \frac{(\alpha - \beta) I_{I} - (\beta + \delta) I_{III}}{I_{I} + I_{II} + I_{III}}. \quad (П\text{-}37)$$

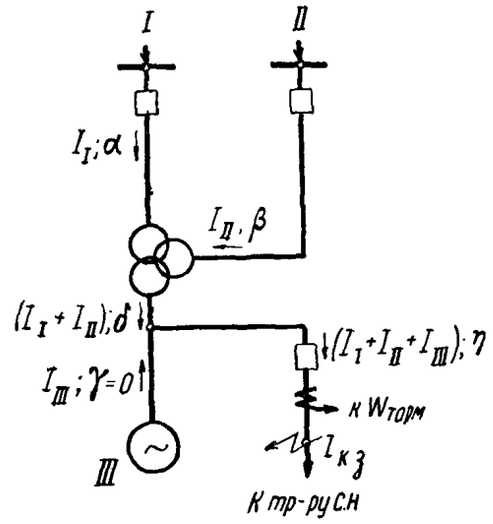
Из (П-37) следует, что:

— при $\alpha \leqslant \beta$ расчетным является максимальный режим работы стороны *II*, так как числитель второго члена правой части выражения отрицателен:

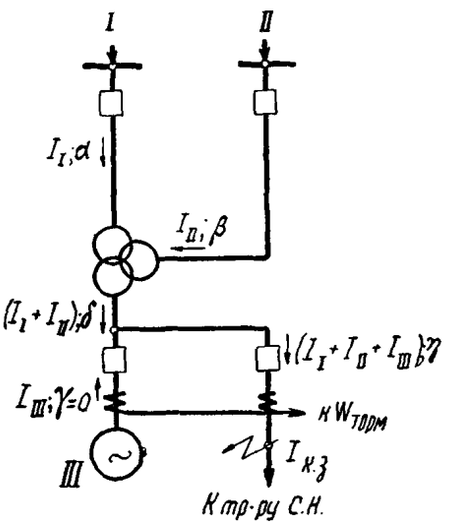
— при $\alpha > \beta$ расчетным может быть как максимальный, так и минимальный режим работы стороны *II*.

Расчетным для стороны *III*, обусловливающей наименьший относительный ток небаланса, будет являться случай, когда генератор блока отключен. Это видно из (П-35), преобразованного следующим образом:

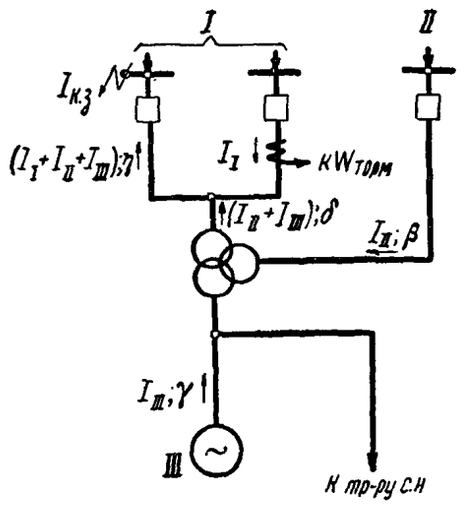
$$\Delta I = k_{н}\eta + k_{н} \frac{\alpha I_{I} + \beta I_{II} + \delta (I_{I} + I_{II})}{I_{I} + I_{II} + I_{III}}. \quad (П\text{-}38)$$



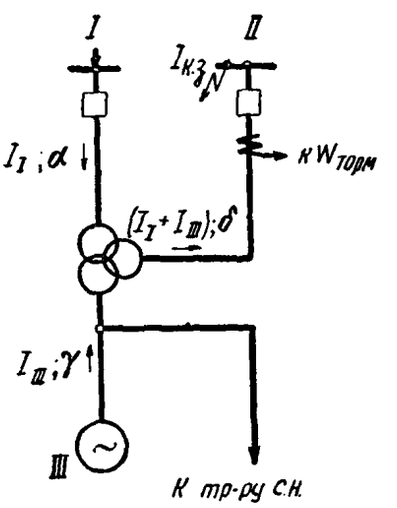
а) Блок, имеющий выключатель в ответвлении к собственным нуждам.



б) Блок, имеющий выключатель в ответвлении к собственным нуждам и выключатель в цепи генератора.



в) Блок, присоединенный к мощной системе через два выключателя



г) Блок, не имеющий питания со стороны среднего напряжения

Рис. П-12. Примеры схем блоков генератор—трехобмоточный трансформатор (автотрансформатор), для защиты которых может применяться реле типа ДЗТ-1.

б) Блок с трехобмоточным трансформатором с трехсторонним питанием, имеющий выключатель в ответвлении к собственным нуждам и выключатель в цепи генератора (рис. П-12,б)

Рассматривается случай, когда тормозная обмотка включена на сумму токов в генераторе и в ответвлении к собственным нуждам (со стороны обеих систем имеется мощное питание).

Для расчетного повреждения за выключателем ответвления к собственным нуждам отношение токов ΔI по (16) может быть представлено следующим образом (рис. П-12,б):

$$\Delta I = k_{н} \frac{\alpha I_{I} + \beta I_{II} + \delta (I_{I} + I_{II}) + \eta (I_{I} + I_{II} + I_{III})}{I_{I} + I_{II}}. \quad (П-39)$$

Из рассмотрения (П-39) видно, что расчетным для стороны *III*, ток от которой не протекает через тормозную обмотку, является максимальный режим, поскольку ток I_{III} входит только в числитель правой части выражения.

Для определения расчетного режима стороны *I* преобразуем (П-39) следующим образом:

$$\Delta I = k_{н} (\alpha + \delta + \eta) + k_{н} \frac{(\beta - \alpha) I_{II} + \eta I_{III}}{I_{I} + I_{II}}. \quad (П-40)$$

Из (П-40) следует, что:

— при $\alpha > \beta$ расчетным может быть как максимальный, так и минимальный режим работы стороны *I* в зависимости от того отрицательным или положительным будет числитель второго члена правой части выражения;

— при $\alpha \leqslant \beta$ расчетным является минимальный режим работы стороны *I*, так как числитель второго члена правой части выражения положителен.

Для определения расчетного режима стороны *II* преобразуем (П-39) следующим образом:

$$\Delta I = k_{н} (\beta + \delta + \eta) + k_{н} \frac{(\alpha - \beta) I_{I} + \eta I_{III}}{I_{I} + I_{II}}. \quad (П-41)$$

Из (П-41) следует, что:

— при $\alpha \geqslant \beta$ расчетным является минимальный режим работы стороны *II*, так как числитель второго члена правой части выражения положителен;

— при $\alpha < \beta$ расчетным может быть как минимальный, так и максимальный режим работы стороны *II*.

в) Блок, присоединенный к мощной системе через два выключателя (рис. П-12,в)

В рассматриваемом случае тормозная обмотка включается на ток в цепи одного из этих выключателей. В качестве расчетного при определении необходимого числа витков тормозной обмотки рассматривается внешнее повреждение за вторым выключателем, присоединенным к мощной системе, поскольку при этом через тормозную обмотку проходит только часть тока повреждения.

Отношение токов ΔI по (16) может быть представлено через токи расчетного внешнего повреждения следующим образом (рис. П-12,в):

$$\Delta I = k_{н} \frac{\beta I_{II} + \gamma I_{III} + \delta (I_{II} + I_{III}) + \eta (I_{I} + I_{II} + I_{III})}{I_{I}}. \quad (П-42)$$

Из рассмотрения (П-42) видно, что наибольшее значение ΔI в случаях, когда сопротивление обмотки трансформатора (автотрансформатора) на стороне *I* (где рассматривается повреждение) весьма мало и обеспечивает практически независимое токораспределение на сторонах *II* и *III*, будет при наибольших значениях этих токов I_{II} и I_{III}, т. е. в максимальных режимах работы сторон *II* и *III*.

В случаях, когда сопротивление обмотки трансформатора на стороне *I* велико, наибольшее значение отношения ΔI может быть как в максимальных режимах работы сторон *II* и *III*, так и в условиях, когда одна из этих сторон, для которой относительный ток небаланса меньше (например, сторона *III*, если $\gamma < \beta$) будет находиться в минимальном режиме. Указанное объясняется тем, что при этом ток от стороны, находящейся в максимальном режиме и обусловливающей больший относительный ток небаланса, будет больше, чем в случае, когда другая сторона будет находиться тоже в максимальном режиме. Однако приведенные расчеты показали, что практически стороны *II* и *III* всегда можно принимать в максимальном режиме, поскольку это не вносит больших ошибок.

Для определения расчетного режима системы *I* (П-42) целесообразно преобразовать следующим образом:

$$\Delta I = k_{н} \eta + k_{н} \frac{\beta I_{II} + \gamma I_{III} + (\delta + \eta) (I_{II} + I_{III})}{I_{I}}. \quad (П-43)$$

Из (П-43) видно, что наибольшее значение ΔI будет при наименьшем значении тока I_{I}, т. е. в минимальном режиме работы стороны *I*.

г) Блок с трехобмоточным трансформатором, не имеющий питания со стороны среднего напряжения, без выключателей в ответвлении к собственным нуждам и в цепи генератора (рис. П-12,г)

В рассматриваемом случае тормозная обмотка включается на ток стороны среднего напряжения.

Отношение токов ΔI по (16) может быть представлено через токи расчетного внешнего повреждения на стороне среднего напряжения следующим образом (рис. П-12,г):

$$\Delta I = k_{н} \frac{\alpha I_{I} + \gamma I_{III} + \delta (I_{I} + I_{III})}{I_{I} + I_{III}}. \quad (П-44)$$

Для определения расчетного режима стороны *I* преобразуем (П-44) следующим образом:

$$\Delta I = k_{н} (\alpha + \delta) + k_{н} \frac{(\gamma - \alpha) I_{III}}{I_{I} + I_{III}}. \quad (П-45)$$

Из (П-45) видно, что:

— если $\alpha > \gamma$, то расчетным будет максимальный режим работы стороны *I*;

— если $\alpha < \gamma$, то расчетным будет минимальный режим работы стороны *I*.

Для стороны *III*, преобразуя (П-44) следующим образом:

$$\Delta I = k_{н} (\gamma + \delta) + k_{н} \frac{(\alpha - \gamma) I_{I}}{I_{I} + I_{III}}, \quad (П-46)$$

получаем:

— если $\alpha > \gamma$, то расчетным будет минимальный режим работы стороны *III*,

— если $\alpha < \gamma$, то расчетным будет максимальный режим работы стороны *III*.

Для случая, когда в рассматриваемой схеме относительные токи небаланса сторон *I* и *III* равны

$$\alpha = \gamma, \quad (П-47)$$

выражение (П-44) примет вид:

$$\Delta I = k_{н} (\alpha + \delta). \quad (П-48)$$

Из (П-48) видно, что в рассматриваемом случае значение отношения ΔI не зависит от режимов работы сторон, поэтому в качестве расчетных могут быть приняты любые, например максимальные, режимы их работы.

Б. Выводы

Из приведенного выше анализа отношения токов ΔI по (16) для схем по рис. П-12 вытекает следующее:

а) Для блоков, для которых весь ток расчетного повреждения проходит по тормозной обмотке (например, в схемах по рис. П-12,а и П-12,г), расчетным будет являться максимальный режим работы стороны, обусловливающей больший относительный ток небаланса, и минимальный режим работы или отключение стороны, обусловливающей меньший относительный ток небаланса; для стороны, обусловливающей среднее значение относительного тока небаланса, расчетным может являться как максимальный, так и минимальный режим работы.

б) Для блоков, для которых также весь ток расчетного повреждения проходит по тормозной обмотке, но при этом полный ток небаланса $I_{нб.расч}$ пропорционален тормозному току (например, в схеме по рис. П-12,г, когда относительные токи небаланса питающих сторон равны между собой, т. е.

удовлетворяется выражение (П-47), отношение токов ΔI не зависит от режимов работы сторон. В этом случае расчет числа витков тормозной обмотки может производиться по любому, например максимальному, режиму работы питающих сторон.

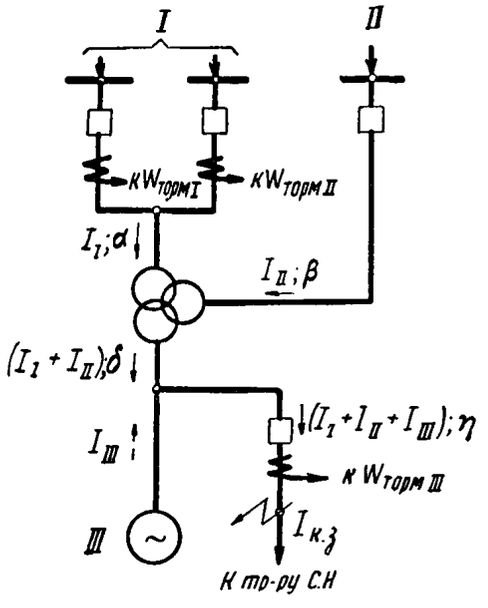
в) Для блоков, для которых только часть тока расчетного повреждения проходит по тормозной обмотке, при включении последней на ток одной стороны (рис. П-12,*в*) расчетным для стороны, на которой установлена тормозная обмотка, будет являться минимальный режим работы; для других сторон расчетным будет являться максимальный режим работы той стороны, которая обусловливает больший относительный ток небаланса и максимальный или минимальный режим работы другой стороны.

г) Для блоков, для которых также только часть тока расчетного повреждения проходит по тормозной обмотке, при включении последней на сумму токов двух сторон (рис. П-12,*б*) расчетным для стороны, ток от которой не проходит по тормозной обмотке, будет являться максимальный режим; для других сторон расчетным будет являться минимальный режим работы той стороны, которая обусловливает меньший относительный ток небаланса, и максимальный или минимальный режим работы другой стороны.

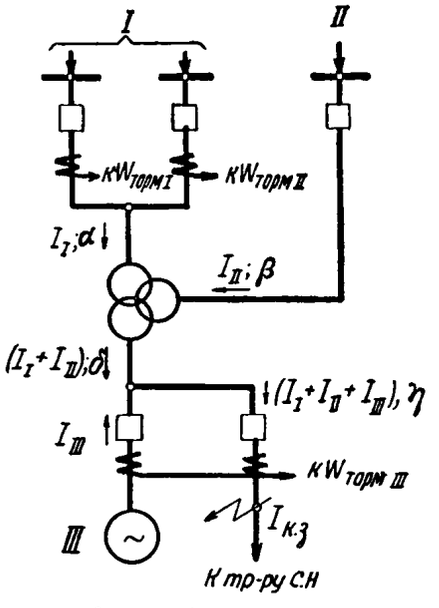
ВЫЯВЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ РЕЖИМОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕОБХОДИМОГО ЧИСЛА ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ВИТКОВ ТОРМОЗНЫХ ОБМОТОК НАСЫЩАЮЩЕГОСЯ ТРАНСФОРМАТОРА РЕЛЕ ТИПА ДЗТ-3 В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЕ БЛОКА ИЛИ ТРАНСФОРМАТОРА (АВТОТРАНСФОРМАТОРА) БЛОКА

А. Анализ отдельных схем

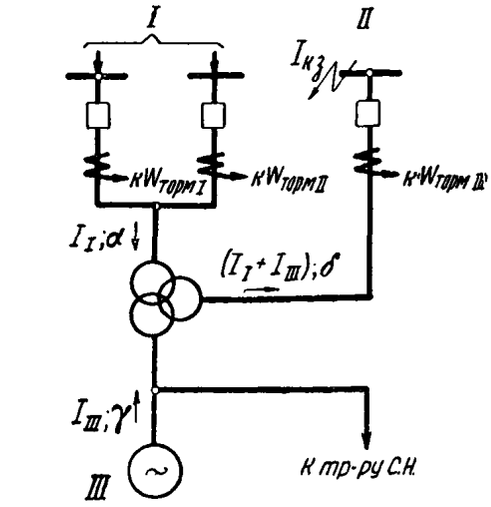
Ниже для ряда схем блоков генератор — трехобмоточный трансформатор (автотрансформатор), приведенных на рис. П-13, выявлены режимы, являющиеся расчетными при определении необходимого числа используемых витков тормозных обмоток *I* и *II* (присоединяемых к трансформаторам тока, установленным на стороне системы, к которой блок присоединен через два выключателя) и числа витков тормозной обмотки *III*. Последнее в случаях, когда необходимое число используемых витков обмотки *III* определяется с уче-



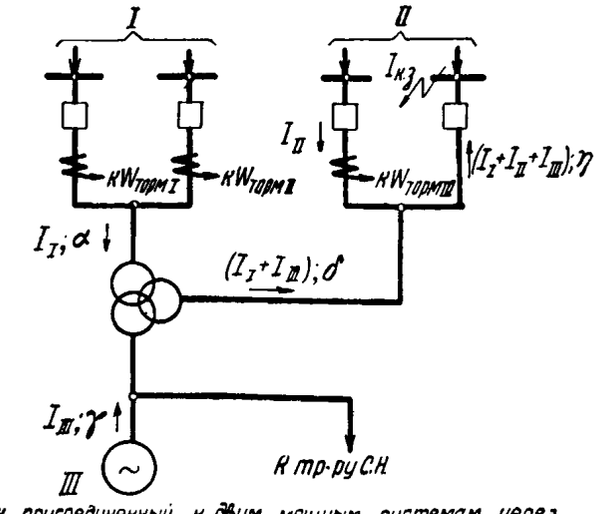
а) Блок, присоединенный к мощной системе через два выключателя, имеющий выключатель в ответвлении с собственным нуждам



б) Блок, присоединенный к мощной системе через два выключателя, имеющий выключатели в ответвлении к собственным нуждам и в цепи генератора.



в) Блок, присоединенный к мощной системе через два выключателя, не имеющий питания со стороны среднего напряжения



г) Блок, присоединенный к двум мощным системам через два выключателя к каждой.

Рис. П-13. Примеры схем блоков генератор—трехобмоточный трансформатор (автотрансформатор), присоединенных к мощной системе через два выключателя, для защиты которых может применяться реле типа ДЗТ-3.

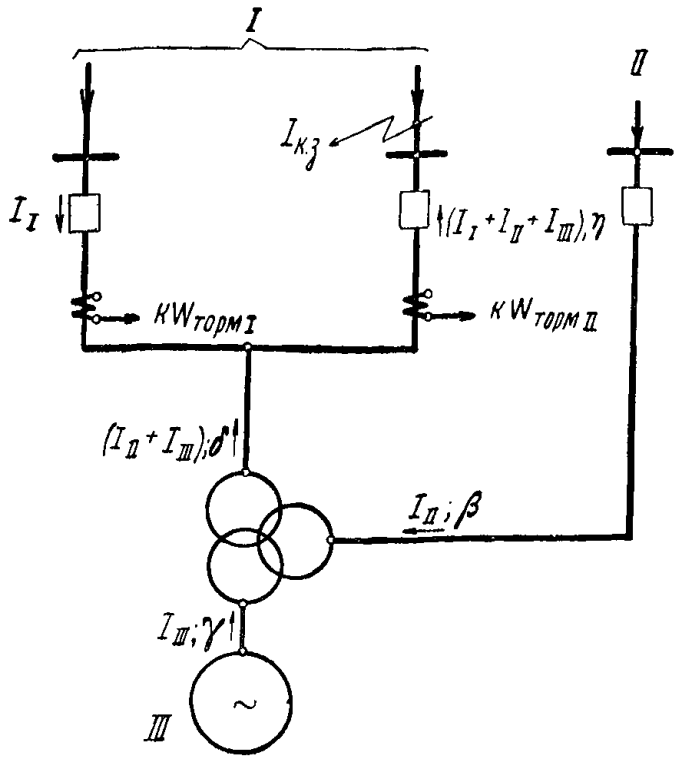


Рис. П-14. Выявление расчетных режимов для определения необходимого числа витков тормозных обмоток *I* и *II* насыщающегося трансформатора реле типа ДЗТ-3.

том тормозного действия, обусловленного тормозными обмотками *I* и *II*.

1. ВЫЯВЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ РЕЖИМОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕОБХОДИМОГО ЧИСЛА ВИТКОВ ТОРМОЗНЫХ ОБМОТОК *I* И *II*

Расчетным случаем повреждения для определения необходимого числа используемых витков тормозных обмоток *I* и *II* является такое повреждение в системе, на стороне которой установлены рассматриваемые обмотки, при котором весь ток короткого замыкания от этой системы проходит через выключатели блока.

На рис. П-14 указано место расчетного повреждения и нанесены токи, проходящие по разным сторонам.

Как было отмечено выше (гл. 3, разд. Г, § I, п. 5а), расчетным при определении необходимого числа витков тормозных обмоток *I* и *II* является такое сочетание режимов работы станции и систем в условиях рассматриваемого короткого замыкания, при котором имеет место наибольшее значение отношения токов ΔI по выражению (26).

Отношение токов ΔI по (26) при расчетном повреждении может быть представлено через токи, проходящие в трансформаторе (автотрансформаторе) защищаемого блока, следующим образом (рис. П-14):

$$\Delta I = k_{н}\frac{\beta I_{II}+\gamma I_{III}+\delta\,(I_{II}+I_{III})+\eta\,(I_{I}+I_{II}+I_{III})}{2I_{I}+I_{II}+I_{III}}. \qquad (П\text{-}49)$$

Для определения расчетного режима системы *I* (П-49) целесообразно представить следующим образом:

$$\Delta I = 0{,}5k_{н}\eta + k_{н}\frac{\beta I_{II}+\gamma I_{III}+(\delta+0{,}5\eta)\,(I_{II}+I_{III})}{2I_{I}+I_{II}+I_{III}}. \qquad (П\text{-}50)$$

Из рассмотрения (П-50) видно, что расчетным для стороны *I* является минимальный режим работы, поскольку ток I_I входит только в знаменатель всегда положительного второго члена правой части выражения.

Для определения расчетного режима стороны *II* (П-49) удобно представить в следующем виде:

$$\Delta I = k_{н}\,(\beta+\delta+\eta)+\frac{(\gamma-\beta)\,I_{III}-(2\beta+2\delta+\eta)\,I_{I}}{2I_{I}+I_{II}+I_{III}}. \qquad (П\text{-}51)$$

Для определения расчетного режима стороны *III* — в следующем виде:

$$\Delta I = k_{н}\,(\gamma+\delta+\eta)+\frac{(\beta-\gamma)\,I_{II}-(2\gamma+2\delta+\eta)\,I_{I}}{2I_{I}+I_{II}+I_{III}}. \qquad (П\text{-}52)$$

Из рассмотрения (П-51) и (П-52) видно, что расчетным для стороны *II* и стороны *III* является максимальный режим работы, поскольку вторые члены правой части этих выражений практически всегда отрицательны (ток I_I, как правило, значительно превышает токи I_{II} и I_{III}).

2. ВЫЯВЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ РЕЖИМОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕОБХОДИМОГО ЧИСЛА ВИТКОВ ТОРМОЗНОЙ ОБМОТКИ *III*

На рис. П-13 указано принимаемое размещение тормозной обмотки *III*, соответствующее рекомендациям, приведенным выше (гл. 3, разд. Г, § I, п. 2), а также место повреждения, расчетное для выбора числа витков этой обмотки, и нанесены токи, проходящие по разным сторонам.

Ниже выявлены только расчетные сочетания режимов, при которых имеют место наименьшие отношения токов $\Delta I'$ по выражению (30). Расчетные сочетания режимов, при которых имеют место наибольшие отношения токов ΔI по выражению (29), будут такими же, как и при выборе необходимого числа витков тормозной обмотки в защите с реле типа ДЗТ-1. Эти сочетания режимов выявлены в приложении VI.

а) Блок, присоединенный к мощной системе через два выключателя, имеющий выключатель в ответвлении к собственным нуждам (рис. П-13,*а*)

Рассматривается случай, когда тормозная обмотка *III* включена на ток в ответвлении к собственным нуждам.

Отношение токов $\Delta I'$ по (30) может быть представлено через токи расчетного повреждения за выключателем ответвления к собственным нуждам следующим образом (рис. П-13,*а*):

$$\Delta I' = \frac{I_{I}}{I_{I}+I_{II}+I_{III}}. \qquad (П\text{-}53)$$

Из (П-53) видно, что расчетным сочетанием режимов, при котором будет иметь место наименьшее отношение $\Delta I'$ будет: для стороны *I* — минимальный режим, для сторон *II* и *III* — максимальный режим.

б) Блок, присоединенный к мощной системе через два выключателя, имеющий выключатели в ответвлении к собственным нуждам и в цепи генератора (рис. П-13,*б*)

Рассматривается случай, когда тормозная обмотка *III* включена на сумму токов в генераторе и в ответвлении к собственным нуждам.

Отношение токов $\Delta I'$ по (30) может быть представлено через токи расчетного повреждения за выключателем ответвления к собственным нуждам следующим образом (рис. П-13,*б*):

$$\Delta I' = \frac{I_{I}}{I_{I}+I_{II}}. \qquad (П\text{-}54)$$

Из (П-54) видно, что расчетным сочетанием режимов, при котором будет иметь место наименьшее отношение $\Delta I'$, будет: для стороны *I* — минимальный режим, для стороны *II* — максимальный режим, режим работы стороны *III* с этой точки зрения безразличен.

в) Блок, присоединенный к мощной системе через два выключателя, не имеющий питания со стороны среднего напряжения, без выключателей в ответвлении к собственным нуждам и в цепи генератора (рис. П-13,*в*)

В рассматриваемом случае тормозная обмотка *III* включается на ток стороны среднего напряжения.

Отношение токов $\Delta I'$ по (30) может быть представлено через токи расчетного внешнего повреждения на стороне среднего напряжения следующим образом (рис. П-13,*в*):

$$\Delta I' = \frac{I_{I}}{I_{I}+I_{III}}. \qquad (П\text{-}55)$$

Из (П-55) видно, что расчетным сочетанием режимов, при котором будет иметь место наименьшее отношение $\Delta I'$, будет: для системы *I* — минимальный режим, для стороны *III* — максимальный режим.

г) Блок, присоединенный к двум мощным системам через два выключателя к каждой (рис. П-13,*г*)

В рассматриваемом случае тормозная обмотка *III* включается на ток в цепи одного из выключателей на стороне менее мощной системы, к которой блок присоединен через два выключателя.

Отношение токов $\Delta I'$ по (30) может быть представлено через токи расчетного внешнего повреждения на стороне этой системы следующим образом (рис. П-13,*г*):

$$\Delta I = \frac{I_{\text{I}}}{I_{\text{II}}}. \qquad \text{(П-56)}$$

Из (П-56) видно, что расчетным сочетанием режимов, при котором будет иметь место наименьшее отношение $\Delta I'$, будет: для стороны *I* — минимальный режим, для стороны *II* — максимальный режим, режим работы стороны *III* с этой точки зрения безразличен.

Б. Выводы

Из приведенного выше анализа отношений токов ΔI по (26) и $\Delta I'$ по (30) для схем по рис. П-13 вытекает следующее:

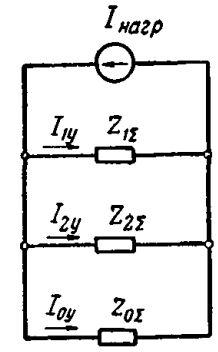
а) Для определения необходимого числа витков тормозных обмоток *I* и *II* расчетными являются минимальный режим работы той системы, на стороне которой установлены рассматриваемые тормозные обмотки, и максимальный режим работы станции и другой системы.

б) Для определения необходимого числа витков тормозной обмотки *III* расчетным сочетанием режимов работы станции и систем, обусловливающим наименьшее отношение токов по (30), являются:

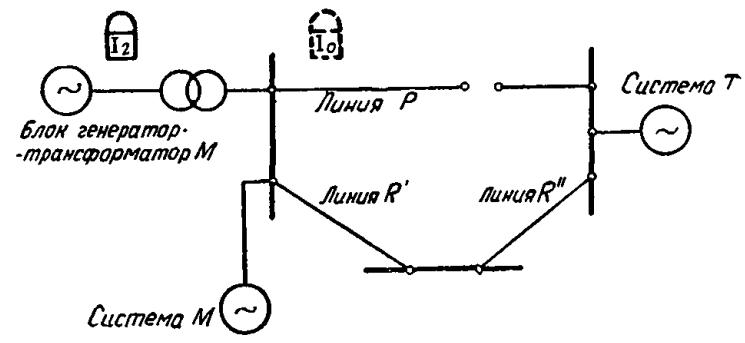
— минимальный режим работы той системы, на стороне которой установлены тормозные обмотки *I* и *II*;

— максимальный режим работы других сторон, токи от которых проходят по тормозной обмотке *III*;

— режим работы стороны, ток от которой не проходит через тормозные обмотки, может приниматься любым, так как он не влияет на отношение токов $\Delta I'$ по (30).



а) Схема замещения при разрыве одной фазы



б) Поясняющая схема.

Рис. П-15. Выбор тока срабатывания $I_{2с.з}$ токовой защиты обратной последовательности из условий согласования по чувствительности с токовой защитой нулевой последовательности при разрывах и отстройки от токов при разрывах.

ПРИЛОЖЕНИЕ VIII

УКАЗАНИЯ К ВЫБОРУ ТОКА СРАБАТЫВАНИЯ $I_{2с.з}$ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

А. Основные соотношения

1. Согласование по чувствительности с токовой защитой нулевой последовательности смежных линий сети с большим током замыкания на землю при разрывах одной фазы линии

Ток срабатывания защиты по этому условию определяется из (55), приведенного в гл. 3, разд. К, в котором

$$I_{2\text{расч}} = k_{2\text{т}} I_{2y} \qquad \text{(П-57)}$$

и

$$I_{2y} = \frac{I_{0с.з}}{3} \frac{z_{0\Sigma}}{z_{2\Sigma}}, \qquad \text{(П-58)}$$

где

$k_{2\text{т}}$ — коэффициент токораспределения в схеме обратной последовательности, равный отношению тока в цепи блока с рассматриваемой токовой защитой обратной последовательности к току в месте разрыва;

I_{2y} — ток обратной последовательности в месте разрыва в условиях, когда токовая защита нулевой последовательности линии с разрывом находится на грани срабатывания;

$I_{0с.з}$ — ток срабатывания токовой защиты нулевой последовательности от внешних коротких замыканий на землю линии, на которой рассматривается разрыв;

$z_{0\Sigma}$ и $z_{2\Sigma}$ — результирующие сопротивления соответственно нулевой и обратной последовательностей по отношению к месту разрыва.

В выражениях (П-57) и (П-58) и ниже в данном приложении все величины даются приведенными к одной и той же ступени напряжения.

Выражение (П-58) вытекает из комплексной схемы замещения для разрыва одной фазы линии, показанной на рис. П-15,*а*, где дано распределение токов в отдельных последовательностях при приложении к схеме источника тока $I_{\text{нагр}}$.

Из (55), (П-57) и (П-58) получается следующее расчетное выражение:

$$I_{2с.з} \geqslant k_{\text{н}} k_{2\text{т}} \frac{I_{0с.з}}{3} \frac{z_{0\Sigma}}{z_{2\Sigma}}, \qquad \text{(П-59)}$$

в котором коэффициент надежности согласования можно принять $k_{\text{н}} = 1{,}1—1{,}2$.

При выборе расчетных условий для определения $I_{2с.з}$ по (П-59) необходимо исходить из следующего.

а) Расчетное место разрыва должно приниматься на одной из смежных с рассматриваемой станцией линий (рис. П-15,*б*, элемент *P*).

б) Ввиду противоречивости влияния на величину $I_{2с.з}$ изменения отдельных величин, входящих в выражение (П-59), при изменении режимов элементов исходной схемы, непосредственное выявление расчетных режимов, определяющих наибольшее значение $I_{2с.з}$, в общем случае затруднительно. В связи с этим может потребоваться определить $I_{2с.з}$ по рассматриваемому выражению для ряда основных режимов работы.

Условие выбора $I_{2с.з}$ по (П-59) может быть значительно упрощено, если принять с запасом $k_{2\text{т}} = 1{,}0$, а также учитывать, что обычно $k_{\text{н}} \frac{z_{0\Sigma}}{z_{2\Sigma}}$ не превосходит 3,0. При этом рассматриваемое условие практически удовлетворяется независимо от параметров исходной схемы, если ориентировочно принять

$$I_{2с.з} \geqslant I_{0с.з}. \qquad \text{(П-60)}$$

В случаях, когда учет выражения (П-60) приводит к загрублению защиты по отношению к остальным расчетным условиям выбора $I_{2с.з}$, следует пользоваться более точным выражением (П-59).

2. Отстройка токовой защиты обратной последовательности от токов при разрывах одной фазы линии в сетях с малым током замыкания на землю, а также в сетях с большим током замыкания на землю в случаях, когда в месте разрыва отсутствует ток нулевой последовательности (разрыв на одиночной тупиковой линии, питающей подстанцию с незаземленными нейтралями трансформаторов)

Ток срабатывания защиты по этому условию определяется из (55), в котором

$$I_{2\text{расч}} = k_{2\text{т}} I_{2y} \qquad \text{(П-61)}$$

и

$$I_{2y} = \frac{I_{\text{нагр.макс}}}{1 + \dfrac{z_{2\Sigma}}{z_{1\Sigma}} + \dfrac{z_{2\Sigma}}{z_{0\Sigma}}}, \qquad \text{(П-62)}$$

где

$I_{\text{нагр.макс}}$ — максимальный ток нагрузки элемента, на котором рассматривается разрыв;

$z_{1\Sigma}$, $z_{2\Sigma}$ и $z_{0\Sigma}$ — результирующие сопротивления соответственно прямой, обратной и нулевой последовательностей по отношению к месту разрыва.

Выражение (П-62) вытекает из комплексной схемы замещения на рис. П-15,*а*, где дано распределение токов в отдельных последовательностях при приложении к схеме источника тока $I_{\text{нагр.макс}}$ вместо $I_{\text{нагр}}$.

Из (55), (П-61) и (П-62) получается следующее расчетное выражение:

$$I_{2\text{с.з}} \geqslant k_{\text{н}} k_{2\text{т}} \frac{I_{\text{нагр.макс}}}{1 + \dfrac{z_{2\Sigma}}{z_{1\Sigma}} + \dfrac{z_{2\Sigma}}{z_{0\Sigma}}}, \qquad \text{(П-63)}$$

в котором коэффициент надежности отстройки можно принять $k_{\text{н}} = 1{,}2$.

При выборе расчетных условий для определения $I_{2\text{с.з}}$ по (П-63) необходимо исходить из следующего.

а) Расчетное место разрыва, как правило, должно приниматься на одной из наиболее нагруженных смежных с рассматриваемой станцией линий (например, элемент *P* на рис. П-15,*б*).

б) Ввиду затруднительности в общем случае непосредственного выявления расчетных режимов, определяющих наибольшее значение $I_{2\text{с.з}}$, может потребоваться определить $I_{2\text{с.з}}$ по рассматриваемому условию для ряда основных режимов работы.

Следует отметить, что в схему нулевой последовательности для расчета по (П-63) могут входить только элементы сети, которые образуют замкнутое кольцо, включающее в себя линию с разрывом. При отсутствии замкнутого кольца в выражении (П-63) принимается $\dfrac{z_{2\Sigma}}{z_{0\Sigma}} = 0$.

Условие выбора $I_{2\text{с.з}}$ по (П-63) может быть значительно упрощено, если принять с запасом $k_{2\text{т}} = 1{,}0$ и $\dfrac{z_{2\Sigma}}{z_{0\Sigma}} = 0$, а также учитывать, что обычно $\dfrac{k_{\text{н}}}{1 + \dfrac{z_{2\Sigma}}{z_{1\Sigma}}}$ не превосходит 0,75.

При этом рассматриваемое условие практически удовлетворяется независимо от параметров исходной схемы, если ориентировочно принять

$$I_{2\text{с.з}} \geqslant 0{,}75 I_{\text{нагр.макс}}. \qquad \text{(П-64)}$$

В случаях, когда учет выражения (П-64) приводит к загрублению защиты по отношению к остальным расчетным условиям выбора $I_{2\text{с.з}}$, следует пользоваться более точным выражением (П-63).

3. Согласование по чувствительности при коротких замыканиях с *токовой защитой нулевой последовательности*

Для указанного согласования рассматривается короткое замыкание на землю на линии, входящей в зону резервирования токовой защиты нулевой последовательности, в условиях, когда она находится на грани срабатывания и выключатель поврежденной линии на противоположном конце отключен. В случаях, когда при металлическом коротком замыкании в конце рассматриваемой линии для токовой защиты нулевой последовательности, с которой производится согласование, коэффициент чувствительности $k_{\text{ч}} > 1$, расчетные условия соответствуют короткому замыканию через переходное сопротивление. В целях упрощения в приведенных ниже расчетных выражениях сдвиг угла сопротивлений не принимается во внимание, а влияние переходного сопротивления, ухудшающего условия согласования, учитывается введением специального коэффициента.

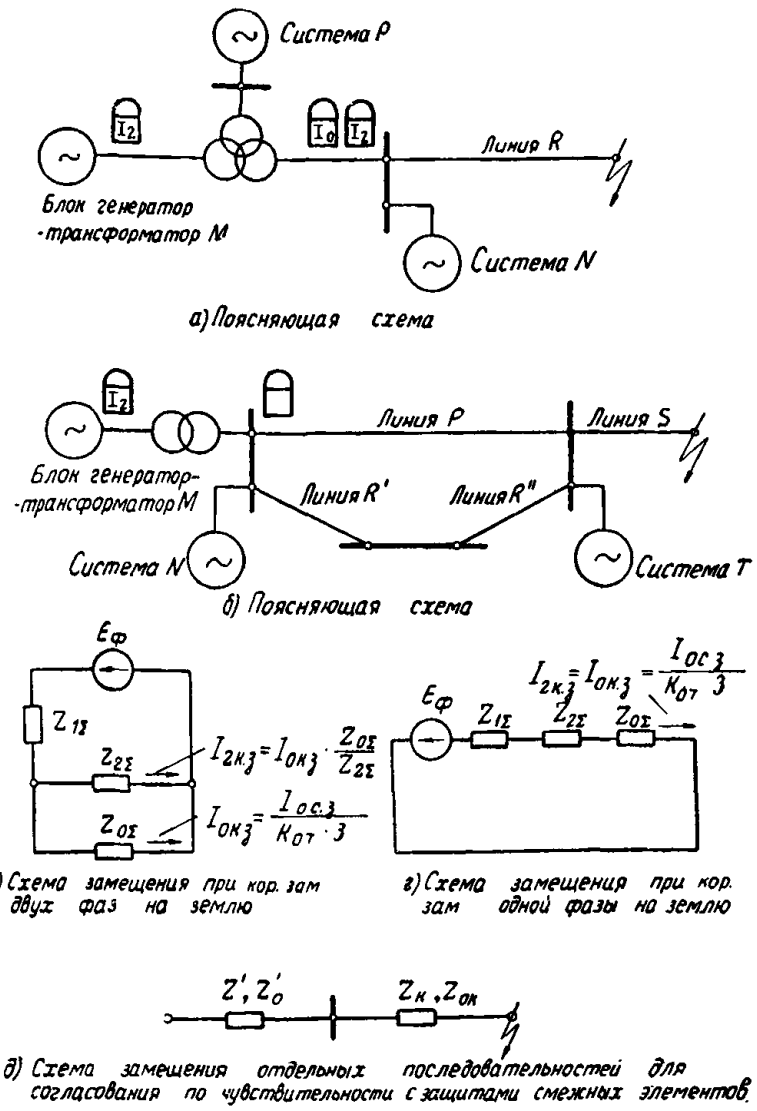


Рис. П-16. Согласование по чувствительности токовой защиты обратной последовательности с защитами смежных элементов.

Для согласования с токовой защитой нулевой последовательности, установленной на стороне с большим током замыкания на землю блока генератор — трехобмоточный трансформатор *M* схемы рис. П-16,*а*, рассматриваются короткие замыкания на землю на одной из линий, отходящих от шин станции на рассматриваемой стороне (линия *R*) при отключенном противоположном конце этой линии. Для согласования с токовой защитой нулевой последовательности, установленной на линии, отходящей от шин станции (линии *P* на рис. П-16,*б*), рассматриваются короткие замыкания на землю на одной из смежных линий, входящих в зону ее резервирования (линия *S*) при отключенном противоположном конце этой линии.

Расчет производится по (55) или (57), в которых $I_{2\text{расч}}$ определяется из выражений:

для замыкания двух фаз на землю

$$I^{(1,1)}_{2\text{расч}} = k_{\text{п}} k_{2\text{т}} I^{(1,1)}_{2\text{к.з}} = k_{\text{п}} \frac{k_{2\text{т}}}{k_{0\text{т}}} \frac{I_{0\text{с.з}}}{3} \frac{z_{0\Sigma}}{z_{2\Sigma}}, \qquad \text{(П-65а)}$$

для замыкания одной фазы на землю

$$I^{(1)}_{2\text{расч}} = k_{2\text{т}} I^{(1)}_{2\text{к.з}} = \frac{k_{2\text{т}}}{k_{0\text{т}}} \frac{I_{0\text{с.з}}}{3}, \qquad \text{(П-65б)}$$

где

$I_{0\text{с.з}}$ — ток срабатывания токовой защиты нулевой последовательности, с которой производится согласование;

$z_{0\Sigma}$ и $z_{2\Sigma}$ — результирующие сопротивления схем замещения соответственно нулевой и обратной последовательностей относительно места короткого замыкания; определяются для металлического повреждения;

$k_{2т}$ — коэффициент токораспределения в схеме обратной последовательности, равный отношению тока в цепи блока с токовой защитой обратной последовательности к току в поврежденном элементе;

$k_{0т}$ — коэффициент токораспределения в схеме замещения нулевой последовательности, равный отношению тока в месте установки токовой защиты нулевой последовательности к току в поврежденной линии;

$k_п$ — коэффициент, учитывающий влияние переходных сопротивлений в месте короткого замыкания; можно принять $k_п = 1{,}2$.

Токи

$$I^{(1,1)}_{2расч} = k_п k_{2т} I^{(1,1)}_{2к.з}; \quad I^{(1)}_{2расч} = k_{2т} I^{(1)}_{2к.з},$$

$$I^{(1,1)}_{2к.з} = I^{(1,1)}_{0к.з} \frac{z_{0\Sigma}}{z_{2\Sigma}}; \quad I^{(1)}_{2к.з} = I^{(1)}_{0к.з}$$

и

$$I^{(1,1)}_{0к.з} = I^{(1)}_{0к.з} = \frac{I_{0с.з}}{k_{0т} 3}$$

найдены из комплексных схем замещения для расчетных условий, при которых токовая защита нулевой последовательности находится на грани срабатывания (рис. П-16,*в* и *г*).

Для определения отношения $z_{0\Sigma}/z_{2\Sigma}$, входящего в выражение (П-65а) для выбора тока $I_{2с.з}$, рассмотрим схемы замещения отдельных последовательностей, приведенные на рис. П-16,*д* для исходных схем П-16,*а* и *б*, принимая сопротивления элементов, входящих в схемы прямой и обратной последовательностей, равными, т. е. $z_\Sigma = z_{1\Sigma} = z_{2\Sigma}$.

На рис. П-16,*д*:

$$z' = z_\Sigma - z_к; \qquad \text{(П-66а)}$$

$$z'_0 = z_{0\Sigma} - z_{0к}, \qquad \text{(П-66б)}$$

где $z_к$ и $z_{0к}$ — сопротивления соответственно прямой (обратной) и нулевой последовательностей участка поврежденной линии (*R* на рис. П-16,*а* и *S* на рис. П-16,*б*) до места металлического короткого замыкания на землю, при котором токовая защита нулевой последовательности находится на грани срабатывания.

При коротком замыкании двух фаз на землю ток нулевой последовательности в месте короткого замыкания для условий, когда токовая защита нулевой последовательности находится на грани срабатывания,

$$I^{(1,1)}_{0к.з} = \frac{I_{0с.з}}{3k_{0т}} = \frac{E_ф}{z_\Sigma + 2z_{0\Sigma}}.$$

Из последнего выражения можно получить:

$$z_\Sigma + 2z_{0\Sigma} = \frac{E_ф 3k_{0т}}{I_{0с.з}} = z_с. \qquad \text{(П-67)}$$

Подставив (П-66а) и (П-66б) в (П-67) и вводя обозначения $\frac{z_{0к}}{z_к} = n$ и $\frac{z'_0}{z'} = \alpha$, найдем:

$$z_к = \frac{1}{(2n+1)} [z_с - (1 + 2\alpha) z']. \qquad \text{(П-68)}$$

Подставив значение $z_к$ по (П-68) и $z_{0к} = nz_к$ в (П-66а) и (П-66б), получим искомую величину:

$$\frac{z_{0\Sigma}}{z_{2\Sigma}} = \frac{z_{0\Sigma}}{z_\Sigma} = \frac{nz_с - (n - \alpha) z'}{z_с + 2(n - \alpha) z'}. \qquad \text{(П-69)}$$

где

$z_с$ — определяется по (П-67).

Расчет по рассматриваемому условию производится по (55) или (57) с помощью выражений (П-65а) или (П-65б) при подстановке в (П-65а) выражений (П-69) и (П-67).

Для грубо ориентировочной оценки $I_{2с.з}$ по рассматриваемому условию с помощью выражений (П-65а) и (П-65б) можно принять

$$\frac{z_{0\Sigma}}{z_{2\Sigma}} \approx 3{,}0, \text{ а } \frac{k_{2т}}{k_{0т}} \approx 1{,}5 \div 2{,}0.$$

При этом рассматриваемое условие получает вид:

$$I_{2с.з} = (1{,}5 \div 2{,}0)\, I_{0с.з}. \qquad \text{(П-70)}$$

Ввиду противоречивости влияния на величину $I_{2с.з}$ изменения отдельных величин, входящих в выражения (П-65а) и (П-65б), при изменении режимов элементов исходной схемы, непосредственное выявление расчетных режимов, определяющих наибольшее значение $I_{2с.з}$, в общем случае затруднительно. В связи с этим может потребоваться определить $I_{2с.з}$ по рассматриваемому условию для ряда основных режимов работы.

Для выявления расчетного вида повреждения определяется отношение $k_п \frac{z_{0\Sigma}}{z_{2\Sigma}}$ с помощью (П-69) для выбранного режима работы исходной схемы. Если $k_п \frac{z_{0\Sigma}}{z_{2\Sigma}} > 1{,}0$, что имеет место в большинстве практических случаев, определение $I_{2с.з}$ достаточно произвести только для короткого замыкания двух фаз на землю, как расчетного для указанных случаев, по (П-65а). Если $k_п \frac{z_{0\Sigma}}{z_{2\Sigma}} < 1{,}0$, то выбор $I_{2с.з}$ производится для короткого замыкания одной фазы на землю по (П-65б).

4. Согласование по чувствительности с дистанционной защитой, установленной на смежном элементе сети с малым током замыкания на землю

Для указанного согласования рассматривается короткое замыкание между двумя фазами на линии, входящей в зону резервирования дистанционной защиты в условиях, когда она находится на грани срабатывания и выключатель поврежденной линии на противоположном конце отключен. При этом в целях упрощения расчетные схемы замещения составляются для металлического короткого замыкания, принимая во внимание, что при коротких замыканиях между фазами влияние переходного сопротивления на значения токов относительно невелико.

Для согласования с дистанционной защитой, установленной на линии *P* в схеме по рис. П-16,*б*, токовой защиты обратной последовательности, установленной на блоке *M*, рассматривается короткое замыкание между двумя фазами на линии *S*.

В целях упрощения рассматриваемый расчет целесообразно проводить без учета сдвига углов сопротивления элементов системы, считая сопротивления элементов, входящих в схемы прямой и обратной последовательностей, одинаковыми. Ток срабатывания $I_{2с.з}$ при этом определяется по (55), в котором

$$I_{2расч} = k_{2т} \frac{E_ф}{z_{1\Sigma} + z_{2\Sigma}} = k_{2т} \frac{E_ф}{2z_\Sigma}, \qquad \text{(П-71)}$$

где

$z_{1\Sigma} = z_{2\Sigma} = z_\Sigma$ — результирующие сопротивления схем прямой и обратной последовательностей по отношению к месту короткого замыкания, принятые одинаковыми;

$k_{2т}$ — коэффициент токораспределения в схеме обратной последовательности, равный отношению тока в цепи блока с токовой защитой обратной последовательности к току в месте повреждения.

Для определения z_Σ рассмотрим схему замещения, приведенную на рис. П-16,*д* для исходной схемы рис. П-16,*б*. На рис. П-16,*д*

$$z' = z_\Sigma - z_к, \qquad \text{(П-72)}$$

где $z_к$ — сопротивление участка поврежденной линии до места повреждения, при котором резервная ступень дистанционной защиты находится на грани срабатывания.

Введем обозначения: $z_{с.з}$ — сопротивление срабатывания ступени дистанционной защиты, с которой производится согласование; $z_л$ — сопротивление линии, на которой установлена дистанционная защита (линии *P*), и $k'_т$ — коэффициент токораспределения в рассматриваемых условиях, равный от-

ношению тока в линии с дистанционной защитой к току в месте повреждения. Тогда

$$z_{с.з} = z_л + \frac{1}{k'_т} z_к,$$

откуда

$$z_к = k'_т (z_{с.з} - z_л)$$

и

$$z_\Sigma = z' + z_к = z' + k'_т (z_{с.з} - z_л). \qquad (П\text{-}73)$$

Расчет по рассматриваемому условию производится по (55) с помощью (П-73) и (П-71).

Ввиду противоречивости влияния на величину $I_{2с.з}$ изменения отдельных величин, входящих в указанные выражения, при изменении режимов элементов исходной схемы непосредственное выявление расчетных режимов, определяющих наибольшее значение $I_{2с.з}$, в общем случае затруднительно. В связи с этим может потребоваться определить $I_{2с.з}$ по рассматриваемому выражению для ряда основных режимов работы.

5. Согласование с максимальной токовой защитой, установленной на смежном элементе в сети с малым током замыкания на землю

Для согласования с токовой защитой расчетный вид и место повреждения, а также допущения при расчете принимаются аналогичные таковым для согласования с дистанционной защитой.

Ток срабатывания $I_{2с.з}$ при этом определяется по (55), в котором

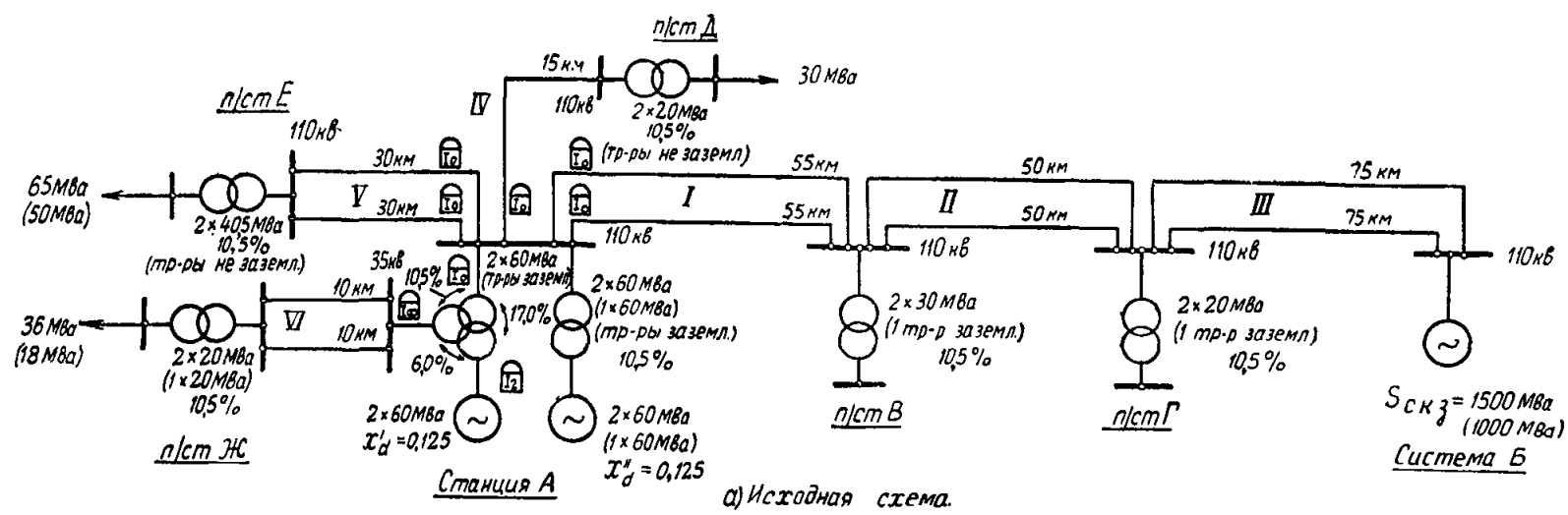
$$I_{2расч} = k_{2т} \frac{I_{с.з}}{\sqrt{3}}, \qquad (П\text{-}74)$$

где

$k_{2т}$ — коэффициент токораспределения в схеме обратной последовательности, равный отношению тока в цепи блока с токовой защитой обратной последовательности к току в месте установки максимальной токовой защиты;

$I_{с.з}$ — ток срабатывания максимальной токовой защиты от коротких замыканий между фазами, с которой производится согласование.

При определении $I_{2с.з}$ по (П-74) следует принимать ре-



Гис. П-17. Исходная схема и схемы замещения отдельных последовательностей сети, принятой для выбора тока срабатывания защиты обратной последовательности.

Примечания: 1. Сопротивления даны в омах, приведенных к напряжению 115 *кв*.

2. Значения мощностей и сопротивлений для минимального режима даны в скобках.

3. Значения сопротивлений указаны: над чертой — для прямой последовательности; под чертой — для обратной последовательности.

4. Сопротивления нулевой последовательности параллельных линий принимались: собственное сопротивление $x_0 = 3{,}5x_1$; взаимное сопротивление $x_{0м} = 2x_1$.

5. Сопротивление прямой и обратной последовательностей генераторов приняты одинаковыми.

6. Сопротивление нулевой и обратной последовательностей системы *Б* приняты равными сопротивлению прямой последовательности.

7. Сопротивления прямой и обратной последовательностей нагрузки приняты соответственно:

$$x_{1н} = 1{,}2 \frac{U_н^2}{S_н}; \quad x_{2н} = 0{,}35 \frac{U_н^2}{S_н}.$$

8. Токи срабатывания токовых защит нулевой последовательности приняты (из условия отстройки от токов небаланса при внешних коротких замыканиях между фазами):

для блока генератор — трехобмоточный трансформатор станции A — $I_{0с.з} = 150$ *а*;

для участка — $II_{0с.з} = 90$ *а*;

для участка *IV* и *V* — $I_{0с.з} = 250$ *а* (приведены к напряжению 115 *кв*).

9. Ток срабатывания максимальной токовой защиты на стороне 35 *кв* блоков станции *А* принят равным 230 *а* (приведен к напряжению 115 *кв*).

Таблица П-2

№ п.п.	Наименование расчета	Место установки защиты, с которой производится согласование по чувствительности	Расчетный вид повреждения	Расчетное место повреждения	Характеристика режима работы, принятого для расчета	Основные соотношения и результаты расчета
1	Проверка чувствительности токовой защиты обратной последовательности при $I_{2с.з} = 150$ *а* ($I^{*}_{2с.з} = 0,5$ при $I_{ном} = 300а$)		Короткое замыкание между двумя фазами	Конец одной из параллельных линий участка *I* со стороны подстанции *B*	Станция *A* и система *Б* — в максимальном режиме работы; выключатель поврежденной линии со стороны подстанции *B* отключен	$I^{(2)}_{2к.з} = \frac{k_{2т}E_ф}{z_{1\Sigma} + z_{2\Sigma}}$; $k^{(2)}_{ч} = \frac{I^{(2)}_{2к.з}}{I_{2с.з}}$; $k_{2т} = 0,174$; $z_{1\Sigma} = z_{2\Sigma} = 33,4$ *ом*; $I^{(2)}_{2к.з} = 173$ *а*; $k^{(2)}_{ч} = 1,15$
2	Согласование по чувствительности с токовой защитой нулевой последовательности при коротких замыканиях на землю	Сторона 110 *кв* блока генератор — трехобмоточный трансформатор	Короткое замыкание двух фаз на землю	Одна из параллельных линий участка *I*	Станция *A* в максимальном режиме работы, неповрежденная линия участка *I* отключена, поврежденная линия со стороны подстанции *B* отключена	$I_{2с.з} = \frac{k_{2т}}{k_{0т}} \frac{I_{0с.з}}{3} \frac{z_{0\Sigma}}{z_{2\Sigma}}$ [(57) и (П-65а)]; $\frac{z_{0\Sigma}}{z_{2\Sigma}} = \frac{nz_с - (n-\alpha)z'}{z_с + 2(n-\alpha)z'}$ (П-69); $z_с = \frac{E_ф 3k_{0т}}{I_{0с.з}}$ (П-67); $k_{2т} = 0,22$; $k_{0т} = 0,19$; $z' = 14,3$ *ом*; $z'_0 = 7,2$ *ом*; $\alpha = 0,5$; $I_{0с.з} = 150$ *а*; $n = \frac{z_{0к}}{z_к} = 3,5$; $\frac{z_{0\Sigma}}{z_{2\Sigma}} = 2,5$; $z_с = 253$ *ом*; $I_{2с.з} = 144$ *а*
3	Отстройка от токов при разрывах фазы линии	—	Разрыв фазы тупиковой одиночной линии 110 *кв* при незаземленных трансформаторах приемной подстанции	Одна из параллельных линий участка *V*	Станция *A* и система *Б* — в минимальном режиме работы; подстанция *E* — в максимальном режиме работы; неповрежденная линия участка *V* отключена; одна из параллельных линий участка *III* отключена	$I_{2с.з} = \frac{k_п k_{2т} I_{нагр.макс}}{1 + z_{2\Sigma}/z_{1\Sigma}}$ [(П-63) при $z_{0\Sigma} = \infty$]; $k_п = 1,2$; $k_{2т} = 0,23$; $I_{нагр.макс} = 326$ *а*; $z_{1\Sigma} = 288,3$ *ом*; $z_{2\Sigma} = 115,5$ *ом*; $I_{2с.з} = 64$ *а*

Примечания: 1. Значения токов и сопротивлений даны соответственно в амперах и омах, приведенных к напряжению 115 *кв*.

2. В целях упрощения в расчетах по пп. 1 и 2 не учитывались сопротивления нагрузок подстанций *Д*, *Е* и *Ж*, а в расчетах по п. 3 — подстанций *Д* и *Ж*.

3. В расчете по п. 3 при выборе минимального режима работы участков сети *I*, *II* и *III* не учитывались режимы с отключением одной из параллельных линий одновременно на двух и более из указанных участков.

4. В п. 1 $I^{(2)}_{2к.з}$ — ток обратной последовательности в месте установки токовой защиты обратной последовательности при расчетном виде повреждения; остальные обозначения отдельных величин даны в разд. А приложения VIII.

5. Расчет в целях упрощения произведен для тока, соответствующего $t = 0$.

жим, для которого величина $k_{2т}$, входящая в (П-74), имеет расчетное большее значение. Например, в схеме рис. П-16,*б* система *N* должна приниматься с расчетным большим сопротивлением обратной последовательности, а линии *R'* и *R''* — включенными.

Б. Пример выбора тока срабатывания $I_{2с.з}$ защиты обратной последовательности

В качестве примера рассмотрен выбор $I_{2с.з}$ защиты обратной последовательности, установленной на стороне генератора блоков генератор — трехобмоточный трансформатор (мощностью 60 *Мва*, без форсированного охлаждения генератора) по схеме рис. П-17 и выполненной с устройством типа РТ-2.

При этом предполагается, что, кроме рассматриваемой защиты от внешних коротких замыканий, на блоке установлены токовая защита нулевой последовательности от внешних коротких замыканий на землю на стороне 110 *кв* и максимальная токовая защита на стороне 35 *кв*.

Выбор $I_{2с.з}$ производился в соответствии с указаниями данными в разделах Л и К гл. 3 и в разд. А настоящего приложения. Значения токов и сопротивлений даны в амперах и омах, приведенных к напряжению 115 *кв*.

Расчеты сведены в табл. П-2. Ниже отмечены особенности указанных расчетов.

а) Определен коэффициент чувствительности $k_ч$ защиты для тока срабатывания $I^{*}_{2с.з} = 0,5$ (при $I_{ном} = 300$ *а*, $I_{2с.з} = 150$ *а*) как наибольшего по условию предотвращения повреждения ротора в режиме с токами обратной последова-

тельности для турбогенераторов без форсированного охлаждения. В целях упрощения расчет $k_ч$ произведен для тока, соответствующего $t=0$. В расчетном случае повреждения оказалось $k_ч = 1{,}15$ (п. 1 табл. П-2).

б) Поскольку при $I^*_{2с.з} = 0{,}5$ необходимая чувствительность не обеспечивается, для выяснения возможности снижения $I_{2с.з}$ рассмотрены условия его выбора с учетом рекомендаций, приведенных в разд. К гл. 3.

в) Согласование по чувствительности при коротких замыканиях на землю в сети 110 *кв* производилось только с токовой защитой нулевой последовательности, установленной на стороне 110 *кв* блока.

Указанное согласование проводилось по (57), поскольку при внешних коротких замыканиях токовая защита обратной последовательности и токовая защита нулевой последовательности в рассматриваемом случае действуют на один и тот же выключатель 110 *кв* блока.

По рассматриваемому условию необходимо, чтобы

$$I_{2с.з} \geqslant 144\ а \qquad \text{(табл. П-2, п. 2)}$$

г) Согласование по чувствительности с максимальной токовой защитой от коротких замыканий между фазами, установленной на стороне 35 *кв* блока генератор — трехобмоточный трансформатор, не производилось. Указанное допустимо в связи с тем, что эта защита, имеющая $I_{с.з}=250$ *а*, при коротких замыканиях в конце зоны резервирования в расчетных условиях (в конце одной из линий участка VI со стороны подстанции *Ж*, когда вторая линия этого участка отключена, на участке *I* одна из линий отключена, станция *А* и система *Б* работают в минимальном режиме) обладает запасом чувствительности, значительно превосходящим требуемый по Правилам устройства электроустановок.

д) Расчет согласования по чувствительности с токовой защитой нулевой последовательности участка *I* при разрывах фазы линии не производился в соответствии с условием (П-60) настоящего приложения, так как ее ток срабатывания, принятый равным $I_{0с.з}=90$ *а*, меньше тока срабатывания рассматриваемой защиты обратной последовательности $I_{2с.з}=144$ *а*, требуемого по другим условиям.

е) Рассматриваемая токовая защита обратной последовательности должна быть отстроена от токов при разрыве фазы линий участков *IV* и *V* сети 110 *кв*, поскольку на приемных подстанциях этих участков нейтрали трансформаторов приняты незаземленными и в расчетном режиме для выбора $I_{2с.з}$ одна из параллельных линий участка *V* отключена.

Расчет по отстройке защиты от токов при разрывах фаз сети 110 *кв* производился для случаев разрывов на участке *V*. Для обеспечения этого условия требуется, чтобы

$$I_{2с.з} \geqslant 64\ а. \qquad \text{(табл. П-2, п. 3)}$$

Для случаев разрывов на участке *IV*, для которого принято $I_{нагр.макс}=150$ *а*, указанный расчет не производился в соответствии с условием П-64, приведенным в настоящем приложении.

ж) Расчет по отстройке защиты от токов при разрыве фазы линий участка *VI* сети 35 *кв* не производился в соответствии с отмеченным условием (П-64) (для линий участка *VI* принято $I_{нагр.макс}=180$ *а*).

з) На основании приведенных выше соображений принято $I_{2с.з}=144$ *а* или $I^*_{2с.з}=0{,}48$ (номинальный ток генератора $I_{ном}=300$ *а*).

и) Защита с принятым током срабатывания $I_{2с.з}$ обеспечивает в расчетном случае повреждения (п. 1 табл. П-2) необходимый коэффициент чувствительности $k_ч=1{,}2$.

gost.e-ecolog.ru