ISSN 0132–5280

РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ

Релейная защита понижающих трансформаторов и авто-трансформаторов 110-500 кВ

Схемы

13А

ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ

gost.e-ecolog.ru

РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ
ПО РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ

Выпуск 13А

Релейная защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов 110-500 кВ

Схемы

СОСТАВЛЕНО ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
ВСЕСОЮЗНЫМ ГОСУДАРСТВЕННЫМ ПРОЕКТНО-
ИЗЫСКАТЕЛЬСКИМ И НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИМ ИНСТИТУТОМ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ
И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»
МИНИСТЕРСТВА ЭНЕРГЕТИКИ
И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР

МОСКВА ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ 1985

ББК 31.27-05
Р85
УДК 621.316.925.06:621.314.223

Составитель Б. Г. Файзуллова

Р85 **Руководящие** указания по релейной защите. Вып. 13А. Релейная защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов 110—500 кВ: Схемы. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 112 с., ил.

80 к. 19 000 экз.

Рассмотрены схемы релейной защиты на постоянном оперативном токе двух- и трехобмоточных трансформаторов мощностью 10 МВ·А и более с высшим напряжением 110 и 220 кВ и автотрансформаторов мощностью 63 МВ·А и более с высшим напряжением 220 и 500 кВ понижающих подстанций. Защиты выполнены на выпускаемом союзными заводами релейном оборудовании.

Для ИТР, занятых проектированием и эксплуатацией релейной защиты, аспирантов и студентов электроэнергетических специальностей.

Р $\frac{2302040000\text{-}470}{051(01)\text{-}85}$ 111-85

ББК 31.27-05
6П2.1.081

РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ:
РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА ПОНИЖАЮЩИХ
ТРАНСФОРМАТОРОВ И АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ
110—500 кВ. Вып. 13 А

Схемы

Редактор Т. Н. Дороднова
Редактор издательства Л. Л. Жданова
Художественный редактор В. А. Гозак-Хозак
Технический редактор Н. П. Собакина
Корректор И. А. Володяева
ИБ 1353

Сдано в набор 29.05.85 Подписано в печать 31. 10. 85 Т-15451
Формат 84×108¹/₁₆ Бумага типографская № 2 Гарнитура литературная
Печать высокая Усл. печ. л. 11,76 Усл. кр.-отт. 12,18 Уч.-изд. л. 15,5
Тираж 19000 экз. Заказ 327 Цена 80 к.

Энергоатомиздат, 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени МПО «Первая Образцовая типография имени А. А. Жданова» Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, 113054, Москва, М-54, Валовая, 28

© Энергоатомиздат, 1985

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий выпуск «Руководящих указаний по релейной защите» утвержден заместителем министра энергетики и электрификации СССР Ф. В. Сапожниковым (протокол № 7 от 4.02.1980 г.). Выпуск предназначен для использования совместно с выпуском 13Б вместо «Руководящих указаний по релейной защите. Вып. 4. Защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов» (М.: Госэнергоиздат, 1962).

В настоящем выпуске приведены принципиальные схемы релейной защиты понижающих трансформаторов с высшим напряжением 110—220 кВ и автотрансформаторов с высшим напряжением 220 кВ и 500 кВ. Эти схемы явились основой для разработки типовых низковольтных комплектных устройств (НКУ).

Указанные схемы выполнены на постоянном оперативном токе с использованием выпускаемой в настоящее время союзными заводами релейной аппаратуры.

Настоящие Руководящие указания соответствуют гл. 3.2 «Релейная защита» ПУЭ и директивным материалам.

Руководящие указания являются рекомендуемым материалом, которому должны следовать проектные и эксплуатационные 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 недостаткам и не противоречат принципиальному направлению руководящих указаний.

В выпуске учтены директивные материалы Главтехуправления Министерства энергетики и электрификации СССР, утвержденные зам. начальника К. М. Антиповым, а также отзывы энергетических систем и проектных организаций.

Данный выпуск Руководящих указаний разработан в институте «Энергосетьпроект» под общим руководством зам. главного инженера С. Я. Петрова сотрудниками подразделения типовых работ отдела релейной защиты, автоматики, устойчивости и моделирования (нач. отдела Д. Д. Левкович): руководителем подразделения типовых работ главным инженером проекта В. А. Рубинчиком, главным специалистом Б. Г. Файзулловой, главным инженером проекта Б. Я Смелянской, инженером Е. А. Ивановой. Глава третья составлена на основе материалов подразделения релейной защиты подстанционных элементов: руководитель подразделения — главный инженер проекта Н. Е. Рибель, руководитель группы Л. В. Грудцына, старший инженер О. Н. Пахомова.

В оформлении работы принимали участие старший техник Н. Т. Андреева и инженер С. А. Дутина.

Полезные предложения, рекомендации и соображения дали работники ряда организаций: В. Н. Кудрявцев (Мосэнерго), И. Р. Таубес (Рязаньэнерго), К. П. Махова (Кузбассэнерго), В. И. Першин (Днепроэнерго), П. Н. Ханбекян (Минэнерго Узбекской ССР), К. Г. Бакалинский (Челябэнерго), Б. В. Чигиринский (Киевский ОКП ЭСП), Э. Б. Путачевский (Южное отделение ЭСП), Е. И. Виткин (Уральское отделение ЭСП), А. П. Цветков (Горьковское отделение ЭСП), В. Н. Вавин (Атомтеплоэлектропроект), В. И. Корогодский (Тяжпромэлектропроект) и др.

Авторы просят направлять все замечания и предложения по адресу: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10, Энергоатомиздат.

Авторы

ГЛАВА ПЕРВАЯ

СХЕМЫ ЗАЩИТ ПОНИЖАЮЩИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ 110—220 кВ

В настоящей главе рассмотрены типовые схемы релейной защиты понижающих двухобмоточных трансформаторов напряжением 110—220/6—10 кВ с соединением обмоток $У_н/Д$-Д-11-11 и $У_н/Д$-11 и трехобмоточных трансформаторов напряжением 110—220/35/6—10 кВ с соединением обмоток $У_н/У_н/Д$-0-11 мощностью 25—80 МВ·А. Данные схемы могут быть также использованы для трансформаторов мощностью 6,3—16 МВ·А (см. ниже пп. 1.2.4.1 и 1.2.6.1).

Схемы защиты двухобмоточных трансформаторов 110—220/6—10 кВ приведены на рис. 1.1.—1.4, схемы защиты трехобмоточных трансформаторов 110-220/35-6-10 кВ — на рис. 1.5—1.8. Указанные схемы различаются в основном выполнением дифференциальной защиты.

В схемах рис. 1.1, 1.4, 1.5 и 1.6 дифференциальная защита выполнена в виде одного комплекта реле типа ДЗТ-11*, в схемах рис. 1.2 и 1.7 — в виде двух комплектов реле типа ДЗТ-11, в схемах рис. 1.3 и 1.8 — с использованием чувствительной защиты типа ДЗТ-21.

Области применения этих схем определяются чувствительностью дифференциальной защиты трансформатора при КЗ за токоограничивающим реактором в цепи низшего напряжения либо чувствительностью защиты при КЗ на выводах низшего напряжения трансформатора.

Рассматриваемые схемы даны для подстанций со схемами электрических соединений на стороне высшего напряжения: рис. 1.1, 1.3—1.6 и 1.8 — «сборные шины»; рис. 1.2 — «два блока с отделителями и неавтоматической перемычкой со стороны линий»; рис. 1.7 — «мостик с выключателем в перемычке и отделителями в цепях трансформаторов».

Схема рис. 1.1 пригодна как при наличии, так и при отсутствии реакторов в цепи 6—10 кВ трансформатора. Схемы рис. 1.5 и 1.7 даны для случая применения сдвоенного реактора и могут быть использованы также в случае, когда в цепи трансформатора на стороне низшего напряжения устанавливается одиночный реактор. При этом из схем исключается защита, установленная на ответвлении ко второму выключателю на стороне низшего напряжения трансформаторов.

Схемы рис. 1.5, 1.7 и 1.8 применяются при наличии питания со сторон высшего и среднего напряжений, схема рис. 1.6 при наличии питания только со стороны высшего напряжения.

1.1. ПРИНЦИПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ СХЕМ

1.1.1. Общие положения

1.1.1.1. Схемы выполнены для следующих исходных условий:

1.1.1.1.1. На подстанции могут быть установлены один или два трансформатора. При двух трансформаторах в работе находятся оба; нахождение одного из них в резерве не предусматривается.

1.1.1.1.2. Подстанция имеет питание со стороны высшего напряжения. На подстанциях с трехобмоточными трансформаторами возможно как наличие, так и отсутствие питания со стороны среднего напряжения.

1.1.1.1.3. На стороне среднего напряжения 35 кВ может быть как параллельная, так и раздельная работа трансформаторов, на стороне низшего напряжения 6—10 кВ — только раздельная.

1.1.1.1.4. Питаемая от подстанции нагрузка со стороны низшего напряжения 6—10 кВ может содержать синхронные двигатели; к шинам низшего напряжения могут быть присоединены синхронные компенсаторы.

1.1.1.1.5. Трансформаторы имеют встроенные устройства регулирования напряжения под нагрузкой со стороны высшего напряжения.

1.1.1.1.6. На стороне низшего напряжения установлены масляные выключатели, встроенные в шкафы КРУ.

1.1.1.1.7. На подстанциях предусмотрены следующие средства автоматики:

устройства ЛПВ с пуском от цепей «несоответствия» — на выключателях высшего (при наличии питания на трансформаторе со стороны среднего напряжения) и среднего напряжений трехобмоточных трансформаторов;

устройства АПВ с пуском от защиты — на выключателях стороны низшего напряжения двухобмоточных и трехобмоточных трансформаторов;

устройства АВР — на секционных выключателях стороны низшего напряжения.

1.1.1.2. В схемах рис. 1.1—1.8 на трансформаторах предусмотрены следующие защиты:

1.1.1.2.1. Дифференциальная токовая защита.

1.1.1.2.2. Газовые защиты трансформатора и его устройства РПН.

1.1.1.2.3. Максимальные токовые защиты с комбинированным пуском напряжения от внешних многофазных КЗ.

1.1.1.2.4. Токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю на стороне высшего напряжения (только в схемах защиты трехобмоточных трансформаторов с двусторонним питанием — рис. 1.5, 1.7 и 1.8).

1.1.1.2.5. Максимальная токовая защита от перегрузки.

1.1.1.3. Схемы выполнены с учетом возможности замены выключателя стороны высшего напряжения (при наличии сборных шин) обходным выключателем.

1.1.1.4. В схемах показаны цепи, связывающие защиту трансформатора с устройством резервирования при отказе выключателей на стороне высшего напряжения 110—220 кВ.

Указанные цепи даны исходя из применения на подстанции типовых схем устройства резервирования при отказе выключателя (УРОВ), выполненных с дублированным пуском от защит с применением реле положения «включено» выключателей.

* Здесь и далее в общем случае подразумеваются реле типов ДЗТ-11, ДЗТ-11/2, ДЗТ-11/3 и ДЗТ-11/4.

1.1.2. Дифференциальная токовая защита

1.1.2.1 В настоящей главе приведены схемы дифференциальной токовой защиты трансформаторов, выполненные с использованием дифференциальных реле (с торможением) типов ДЗТ-11 и ДЗТ-21. Схемы защиты с использованием реле (без торможения) типов РНТ-565 и РНТ-566 не рассматриваются в общем случае для применения при проектировании, поскольку они в большинстве случаев не удовлетворяют требованиям чувствительности, регламентируемым ПУЭ.

В схемах рис. 1.1. и 1.4—1.6 дифференциальная защита выполнена в виде одного комплекта с использованием реле типа ДЗТ-11 в предположении, что требуемый минимальный коэффициент чувствительности[1], определяемый с учетом регулирования напряжения, при КЗ на выводах низшего напряжения трансформаторов мощностью менее 80 МВ·А или при КЗ за реактором должен быть не менее 1,5 ($k_ч \geqslant 1{,}5$).

В схемах рис. 1.2 и 1.7 дифференциальная защита выполнена в виде двух комплектов (с использованием реле типа ДЗТ-11): грубого, действующего без выдержки времени с током срабатывания защиты, $I_{с,з} > I_{ном}$, где $I_{ном}$ — номинальный ток защищаемого трансформатора, и чувствительного с выдержкой времени в пределах $t_{с,в} = (0{,}5 \div 1{,}0)$ с и током срабатывания защиты порядка $I_{с,з} = (0{,}75 \div 1{,}0) I_{ном}$. Указанные схемы даны для случая, когда чувствительность комплекта с током срабатывания, большим $I_{ном}$ и действующим без выдержки времени, обеспечивается при КЗ на выводах низшего напряжения трансформатора, но не обеспечивается при КЗ за реактором (при КЗ на выводах низшего напряжения $k_ч \geqslant 1{,}5$ — для трансформаторов мощностью менее 80 МВ·А и $k_ч \geqslant 2$ — для трансформаторов мощностью 80 МВ·А и более; при КЗ за реактором $k_ч \geqslant 1{,}5$).

Реле типа ДЗТ-11 имеет промежуточный насыщающийся трансформатор тока и одну тормозную обмотку.

Схемы рис. 1.1, 1.2, 1.4—1.7 даны для случая присоединения дифференциальной защиты к трансформаторам тока с вторичным током 5 А; при использовании со стороны высшего напряжения трансформаторов тока с вторичным током 1 А в защите должны применяться реле типа ДЗТ-11/3.

В схемах рис. 1.3 и 1.8 защита трансформатора осуществляется одним комплектом с использованием защиты типа ДЗТ-21. Применение ДЗТ-21 для защиты трансформаторов необходимо в первую очередь в случаях, когда защита, выполненная с реле типа ДЗТ-11, не обеспечивает требуемой минимальной чувствительности при КЗ на выводах низшего напряжения трансформатора.

Защита с ДЗТ-21 обладает высокой чувствительностью (ток срабатывания регулируется в пределах 0,3—$0{,}7 I_{ном}$) и имеет независимое торможение от двух групп трансформаторов тока; при необходимости обеспечить торможение от трех групп трансформаторов тока (в частности, для защиты трехобмоточного трансформатора) используется приставка дополнительного торможения типа ПТ-1.

Реле выполнено на вторичный номинальный ток 5 А; присоединение к трансформаторам тока с вторичным током 1А осуществляется через автотрансформаторы тока типа АТ-31 (повышающие). Эти автотрансформаторы, как и автотрансформаторы типа АТ-32 (понижающие), используются также для выравнивания вторичных токов в плечах защиты, поскольку в самом реле предусмотрено всего шесть ответвлений в цепи рабочей и четыре ответвления в цепи тормозной обмоток, что может обеспечивать только грубое выравнивание. Описание реле ДЗТ-21 приведено в выпуске 13Б (приложение 5).

[1] Указанное в данном пункте и ниже требуемое минимальное значение $k_ч$ соответствует ПУЭ, 6-е изд., разд. 3. М.: Энергоатомиздат, 1985, 640 с.

1.1.2.2. В схемах для двухобмоточных трансформаторов принято соединение трансформаторов тока дифференциальной защиты в треугольник на стороне высшего напряжения и в неполную звезду на стороне низшего напряжения.

Следует отметить, что при этом в случае двойных замыканий на землю на стороне 6—10 кВ, когда одно из мест повреждения находится на выводах трансформатора со стороны низшего напряжения (повреждена фаза, на которой нет трансформатора тока), а второе — например, на линии 6—10 кВ, питающейся от данного трансформатора, дифференциальная защита не действует и повреждение будет ликвидироваться защитой линии (в ряде случаев с выдержкой времени, что можно считать допустимым). Если одно из мест повреждения находится в самом трансформаторе, то повреждение будет ликвидироваться газовой защитой, а в ряде случаев и дифференциальной; последнее следует из рис. 1.10,*а*, на котором дано токораспределение для рассматриваемого случая и где α — коэффициент токораспределения.

Принятое для дифференциальной защиты исполнение с двумя реле обеспечивает ту же чувствительность к замыканиям между двумя фазами на стороне 6—10 кВ, что и схема с тремя реле (см. рис. 1.10,*б*).

При замыканиях между двумя фазами на выводах высшего напряжения трансформатора чувствительность схемы может оказаться сниженной в 2 раза по сравнению со схемой с тремя реле (см. рис. 1.10*в*); это, однако, как правило, является допустимым вследствие того, что токи коротких замыканий в рассматриваемом случае обычно велики.

1.1.2.3. В схемах для трехобмоточных трансформаторов принято соединение трансформаторов тока дифференциальной защиты в треугольник на сторонах высшего и среднего напряжений и в звезду на стороне низшего напряжения.

Принятое для дифференциальной защиты исполнение с тремя реле обеспечивает повышение чувствительности к замыканиям между двумя фазами на сторонах обмоток с соединением в звезду в режиме с отсутствием питания (или с малым питанием) с этой стороны (см. рис. 10,*г*).

Схема с соединением трансформаторов тока на стороне низшего напряжения в неполную звезду (трансформаторы тока устанавливаются в фазах *A* и *C*) не принята, так как обладает следующим недостатком. Как показали опыт эксплуатации и исследования такой схемы, в переходном режиме возможно неправильное срабатывание защиты вследствие протекания двухполярного тока небаланса, проходящего в реле фазы *B* и являющегося результатом суммирования токов небаланса фаз *A* и *C*.

1.1.3. Газовая защита предусматривается на всех трансформаторах (см. рис. 1.1—1.8). Защита выполнена с возможностью перевода действия отключающего контакта на сигнал.

Схемы выполнены в предположении наличия в устройстве РПН отдельного газового реле (табл. 1.1). В схемах не предусмотрена возможность перевода действия отключающего контакта газового реле устройства РПН на сигнал, поскольку согласно указанию Главтехуправления Минэнерго СССР газовые реле отсека РПН должны действовать только на отключение.

1.1.4. Максимальные токовые защиты с комбинированным пуском напряжения от внешних многофазных КЗ

1.1.4.1. В схемах рис. 1.1—1.8 для резервирования основных защит трансформатора и резервирования отключения КЗ на шинах низшего напряжения предусмотрена максимальная токовая защита с комбинированным пуском напряжения, устанавливаемая на стороне высшего напряжения.

Таблица 1.1. **Типы устройств РПН и газовых реле трансформаторов с высшим напряжением 110—220 кВ, автотрансформаторов 220 кВ и линейных добавочных трансформаторов 10—35 кВ**

Типы трансформатора	Устройство РПН		Тип газового реле			
	Тип	Количество	трансформатора	Количество	устройства РПН	Количество
ТДТН-25000/110	РС-4/200	1	*BF*-80/*Q* или РГЧЗ-66	1	*RS*-1000 или *ÜRF*-25/10	1
ТРДН-25000/110	РС-4/200	1	*BF*-80/*Q*	1	*RS*-1000 или *ÜRF*-25/10	1
ТРДН-32000/110	РС-4/200	1	*BF*-80/*Q*	1	*RS*-1000	1
ТДЦТН-32000/110	—	—	*BF*-80/*Q*	1	*RS*-1000	1
ТДТН-40000/110	РС-4/400	1	*BF*-80/*Q* или РГЧЗ-66	1	*RS*-1000 или *ÜRF*-25/10	1
ТРДН-40000/110	РС-4/400	1	*BF*-80/*Q*	1	*RS*-1000 или *ÜRF*-25/10	1
ТРДЦН-63000/110	РС-4/400	1	*BF*-80/*Q*	1	*RS*-1000 или *ÜRF*-25/10	1
ТРДЦНК-63000/110	РС-4/400	1	*BF*-80/*Q*	1	*ÜRF*-25/10	1
ТДТН-63000/110	РС-4/400	1	*BF*-80/*Q*	1	*RS*-1000	1
ТДТН-80000/110	РС-3/630	1	*BF*-80/*Q* или РГЧЗ-66	1	*RS*-1000 или *ÜRF*-25/10	1
ТДЦТН-80000/110	РС-4/630	1	*BF*-80/*Q*	1	*RS*-1000	1
ТРДЦН-80000/110	РС-4/630	1	*BF*-80/*Q*	1	*ÜRF*-25/10	1
ТРДЦНК-80000/110	РС-4/630	1	*BF*-80/*Q*	1	*ÜRF*-25/10	1
ТДТН-25000/220	РС-3/400 или *GRNA*-150/402	1	РГЧЗ-66	1	*RS*-1000	1
ТДТН-40000/220	РС-4/400	1	*BF*-80/*Q*	1	*RS*-1000	1
ТДЦН-25000/220	—	—	*BF*-80/*Q*	1	—	—
ТРДН-32000/220	РС-3 или РС-4	1	*BF*-80/*Q*	1	*RS*-1000	1
ТРДЦН-63000-220	РС-3 или РС-4	1	*BF*-80/*Q*	1	*RS*-1000	1
АТДЦТГН-63000/220/110	РНТ-20	1	*BF*-80/*Q*	1	Реле давления	1
АТДЦТН-125000/220/110	РНОА-110/1000	3	РГЧЗ-66	1	РГЧЗ-66	3
АТДЦТН-200000/220/110	РНОА-110/1000	3	РГЧЗ-66	1	РГЧЗ-66	3
АТДЦТН-250000/220/110	РНОА-110/1250	3	РГЧЗ-66	1	РГЧЗ-66	3
ЛТМН-40000/10	РНТ-20	1	*BF*-80/*Q*	1	Реле давления	1
ЛТДН-63000/35	РНТ-20	1	*BF*-80/*Q*	1	То же	1
ЛТДН-100000/35	РНТ-20	1	*BF*-80/*Q*	1	» »	1

Примечание. Настоящая таблица выполнена в соответствии с данными, приведенными в нормативно-технических материалах института «Энергосетьпроект».

Кроме того, в схемах рис. 1.1—1.8 для отключения КЗ на шинах низшего напряжения и для резервирования отключений КЗ на элементах, присоединенных к этим шинам, предусмотрена максимальная токовая защита с комбинированным пуском напряжения в цепи каждого ответвления к выключателю низшего напряжения трансформатора.

В схемах защиты трехобмоточных трансформаторов, приведенных на рис. 1.5—1.8, для резервирования отключений КЗ на шинах среднего напряжения и на элементах, присоединенных к этим шинам, и на ошиновке среднего напряжения предусмотрена максимальная токовая защита с комбинированным пуском напряжения, питаемая от трансформаторов тока, встроенных во втулки 35 кВ трансформатора.

1.1.4.2. На двухобмоточных трансформаторах 110-220/6-10 кВ (см. рис. 1.1—1.4) максимальная токовая защита, установленная на стороне высшего напряжения, выполнена с двумя реле тока, присоединенными к трансформаторам тока, соединенным в треугольник. Такое выполнение защиты предотвращает неселективное действие ее при замыканиях на землю в сети 110—220 кВ (для случая, когда нейтраль трансформатора заземлена). Однако при этом, по сравнению со случаем включения трансформаторов тока в звезду и выполнением защиты с тремя реле, имеет место снижение чувствительности на 15% при КЗ между двумя фазами на стороне 6—10 кВ.

Следует также отметить, что чувствительность рассматриваемой защиты в принятом исполнении, как и дифференциальной защиты (см. п. 1.1.2.2), при замыканиях между двумя фазами на стороне 110—220 кВ может быть сниженной в 2 раза по сравнению со схемой с тремя реле; последнее, однако, как правило, допустимо вследствие того, что при этом токи КЗ обычно достаточно велики.

1.1.4.3. На трехобмоточных трансформаторах 110—220/35/6 — 10 кВ с двусторонним питанием (см. рис. 1.5, 1.7 и 1.8), максимальная токовая защита, установленная на стороне высшего напряжения, выполнена с тремя реле тока, присоединенными к трансформаторам тока, соединенным в звезду; такое выполнение принято в целях повышения чувствительности к замыканиям между двумя фазами на стороне низшего напряжения.

На трехобмоточных трансформаторах с односторонним питанием (см. рис. 1.6) максимальная токовая защита, установленная на стороне 110—220 кВ, выпол-

нена с тремя реле тока, присоединенными к трансформаторам тока, соединенным в треугольник, в целях предотвращения неселективного действия ее при замыканиях на землю в сети 110—220 кВ (для случая, когда нейтраль трансформатора заземлена).

1.1.4.4. Максимальная токовая защита, установленная в цепи каждого ответвления к выключателю низшего напряжения, выполняется с двумя реле тока, присоединенными к трансформаторам тока, соединенным в неполную звезду.

Защита с первой выдержкой времени действует на отключение выключателя низшего напряжения, а со второй — на выходные промежуточные реле защиты трансформатора.

1.1.4.5. Максимальная токовая защита, установленная на стороне среднего напряжения, выполнена с двумя реле, присоединенными к трансформаторам тока, соединенным в неполную звезду. Защита с первой выдержкой времени действует на разделение секций шин 35 кВ, далее — на отключение выключателя 35 кВ трансформатора и затем — на выходные промежуточные реле защиты трансформатора.

1.1.4.6. Пусковой орган напряжения состоит из фильтра-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1М и минимального реле напряжения, включенного на междуфазное напряжение (схема предложена Мосэнерго). Размыкающий контакт фильтра-реле напряжения обратной последовательности включен в цепь обмотки минимального реле напряжения. Указанным может достигаться повышение чувствительности защиты к симметричным КЗ.

Питание пускового органа напряжения защит, установленных на сторонах низшего и среднего напряжений, осуществляется соответственно от трансформаторов напряжения шин 6—10 и 35 кВ. Пусковые органы напряжения защит, установленных на сторонах низшего и среднего напряжений, используются также в качестве пусковых органов защиты, установленной на стороне высшего напряжения; последняя с выдержкой времени действует на выходные промежуточные реле защиты трансформатора.

1.1.4.7. В соответствии с существующей практикой проектирования и эксплуатации аппаратура максимальной токовой защиты с комбинированным пуском напряжения в цепи каждого ответвления к выключателю низшего напряжения располагается в шкафу КРУ 6—10 кВ данного выключателя. Цепи оперативного постоянного тока этой защиты и цепи основных защит трансформатора (дифференциальной, газовой, максимальной токовой защиты на стороне высшего напряжения и др.) питаются от одного общего автоматического выключателя постоянного тока. Однако необходимо указать, что в последнее время неоднократно имели место случаи, когда при КЗ в распределительных устройствах типа КРУ повреждались оперативные цепи защиты трансформатора. Такие повреждения могут сопровождаться отключением общего автоматического выключателя постоянного тока, т. е. полной потерей оперативного тока защиты трансформатора, а вследствие этого и возможным ее отказом срабатывания.

Кроме того, использование общего пускового органа напряжения для максимальных токовых защит на сторонах высшего и низшего напряжений также может приводить к отказу срабатывания максимальной токовой защиты на стороне высшего напряжения и в случаях, когда повреждение цепей оперативного постоянного тока защиты в КРУ не приводит к потере общего питания защиты; последнее вызывается повреждением цепей общего пускового органа напряжения. Вследствие изложенного возникшее в КРУ повреждение не ликвидируется защитами трансформатора и может вызвать дальнейшее развитие аварии с повреждением основного оборудования (питающего трансформатора), а также к задержке восстановления питания потребителя, что является недопустимым.

В целях уменьшения вероятности таких повреждений рекомендуется устанавливать аппаратуру максимальной токовой защиты с комбинированным пуском напряжения в цепи каждого ответвления к выключателю низшего напряжения не в шкафу КРУ, а на панели общеподстанционного пункта управления. При этом исключается попадание цепей оперативного постоянного тока защиты трансформатора в шкафы КРУ и тем самым повреждение этих цепей, а также связанная с указанным возможная потеря постоянного тока защиты трансформатора в целом при повреждениях в шкафах КРУ 6—10 кВ. Цепи отключения выключателей низшего напряжения питаются от индивидуальных автоматических выключателей. Рассматриваемая максимальная токовая защита включается в плечо токовых цепей дифференциальной защиты трансформатора.

В данной главе рассмотрены две схемы (см. рис. 1.3 и 1.8), выполненные с учетом размещения аппаратуры максимальной токовой защиты с комбинированным пуском напряжения на стороне низшего напряжения на панели защиты общеподстанционного пункта управления. Схемы, приведенные на рис. 1.1, 1.2, 1.4—1.7, даны применительно к случаю размещения аппаратуры указанной защиты в шкафах КРУ, как это имеет место на большинстве объектов, находящихся в настоящее время в эксплуатации.

Следует отметить, что рассмотренные в пп. 1.1.4.2—1.1.4.4 защиты выполнены в предположении того, что в случае КЗ во внешней сети высшего напряжения излишнее их срабатывание от токов синхронного компенсатора или синхронных двигателей, присоединенных к шинам низшего напряжения, не будет иметь места. Указанное объясняется тем, что эти защиты оказываются отстроенными в упомянутом режиме (по току срабатывания или по времени).

1.1.5. Токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю на стороне высшего напряжения.

Одноступенчатая ненаправленная токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю устанавливается на стороне высшего напряжения 110—220 кВ трехобмоточных трансформаторов при наличии питания с других сторон трансформатора (см. рис. 1.5, 1.7 и 1.8). Защита предназначена для резервирования отключения замыканий на землю на шинах 110—220 кВ (см. рис. 1.5 и 1.8) и линиях 110—220 кВ (см. рис. 1.5, 1.7 и 1.8), а также для резервирования основных защит трансформатора.

В схемах рис. 1.5 и 1.8 защита выполнена с учетом возможности работы одного из трансформаторов подстанций 110 кВ с разземленной нейтралью.

С целью исключения возникновения недопустимого режима работы трансформатора с изолированной нейтралью на выделившиеся шины или участок сети 110 кВ с замыканием на землю одной фазы защита трансформатора с заземленной нейтралью выполняется действующей: с первой выдержкой времени — на отключение выключателя 110 кВ трансформатора с разземленной нейтралью, затем со второй выдержкой времени, на ступень большей первой выдержки времени,— на разделение секций или систем шин 110 кВ, далее с третьей выдержкой времени — на отключение выключателя 110 кВ защищаемого трансформатора и затем — на выходные промежуточные реле защиты трансформатора.

В случае, когда оба трансформатора подстанции работают всегда с заземленными нейтралями (например, на подстанциях 220 кВ), цепь, действующая с первой выдержкой времени на отключение выключателя другого трансформатора, не используется.

В схеме рис. 1.7 токовая защита нулевой последовательности выполнена в предположении, что оба трансформатора подстанции 110—220 кВ всегда работают с заземленной нейтралью. Защита с первой выдержкой времени действует на отключение выключа-

теля 110—220 кВ в перемычке, со второй — на отключение выключателей трансформатора среднего и низшего напряжений (последнее, например, при наличии синхронных двигателей) и далее с третьей — на выходные промежуточные реле защиты трансформатора.

1.1.6. Максимальная токовая защита от перегрузки выполнена с использованием тока одной фазы и действует с выдержкой времени на сигнал.

Защита от перегрузки двухобмоточного трансформатора с расщепленной обмоткой низшего напряжения (см. рис. 1.1—1.3) выполнена с использованием двух реле, каждое из которых включено на фазный ток части обмотки 6—10 кВ. При параллельном соединении частей расщепленной обмотки низшего напряжения реле тока защиты от перегрузки устанавливается со стороны высшего напряжения трансформатора (см. рис. 1.4).

Защита от перегрузки трехобмоточного трансформатора с двусторонним питанием (см. рис. 1.5, 1.7 и 1.8) выполнена с использованием трех реле, установленных со сторон высшего, среднего и низшего напряжений трансформатора в предположении, что возможна передача мощности со стороны среднего напряжения одновременно на стороны высшего и низшего напряжений.

В схеме рис. 1.6 трехобмоточного трансформатора с односторонним питанием защита от перегрузки установлена со сторон высшего и низшего напряжений.

Для защит от перегрузки всех сторон трехобмоточного трансформатора предусмотрено одно общее реле времени.

1.1.7. Дополнительные указания по выполнению защит понижающих трансформаторов

1.1.7.1. В схемах рис. 1.1—1.4 предусмотрено автоматическое ускорение максимальных токовых защит, установленных на ответвлениях к секциям шин низшего напряжения, при включении выключателей 6—10 кВ трансформатора.

В схемах рис. 1.5—1.8 предусмотрено автоматическое ускорение защит при включении выключателей сторон среднего и низшего напряжений. Автоматическое ускорение выполнено с выдержкой времени (примерно 0,3—0,5 с) для отстройки от броска пускового тока двигателей нагрузки.

1.1.7.2. Приведенные схемы (см. рис. 1.1—1.8) выполнены с учетом наличия в КРУ 6—10 кВ защиты при дуговых замыканиях. Указанная защита в соответствии с ГОСТ 14693—77* устанавливается в шкафах КРУ, имеющих высоковольтные выключатели. Действие этой защиты регламентируется указанием Минэнерго СССР [1].

В схемах рис. 1.1—1.8 показаны цепи от данной защиты:

на отключение выключателей низшего напряжения трансформатора;

воздействия на выходные промежуточные реле защиты трансформатора.

При повреждениях в шкафах КРУ элементов, отходящих от шин низшего напряжения, защита при дуговых замыканиях действует одновременно на отключение выключателей поврежденного элемента и трансформатора стороны низшего напряжения (последнее — с пуском АПВ). При повреждении в шкафу КРУ выключателя низшего напряжения трансформатора указанная защита действует на отключение данного выключателя без пуска АПВ и на выходные промежуточные реле защиты трансформатора, отключающие его со всех сторон.

1.1.7.3. В качестве выходных промежуточных реле защиты трансформаторов используются реле типа РП-23. В схемах предусмотрено самоудерживание вы-

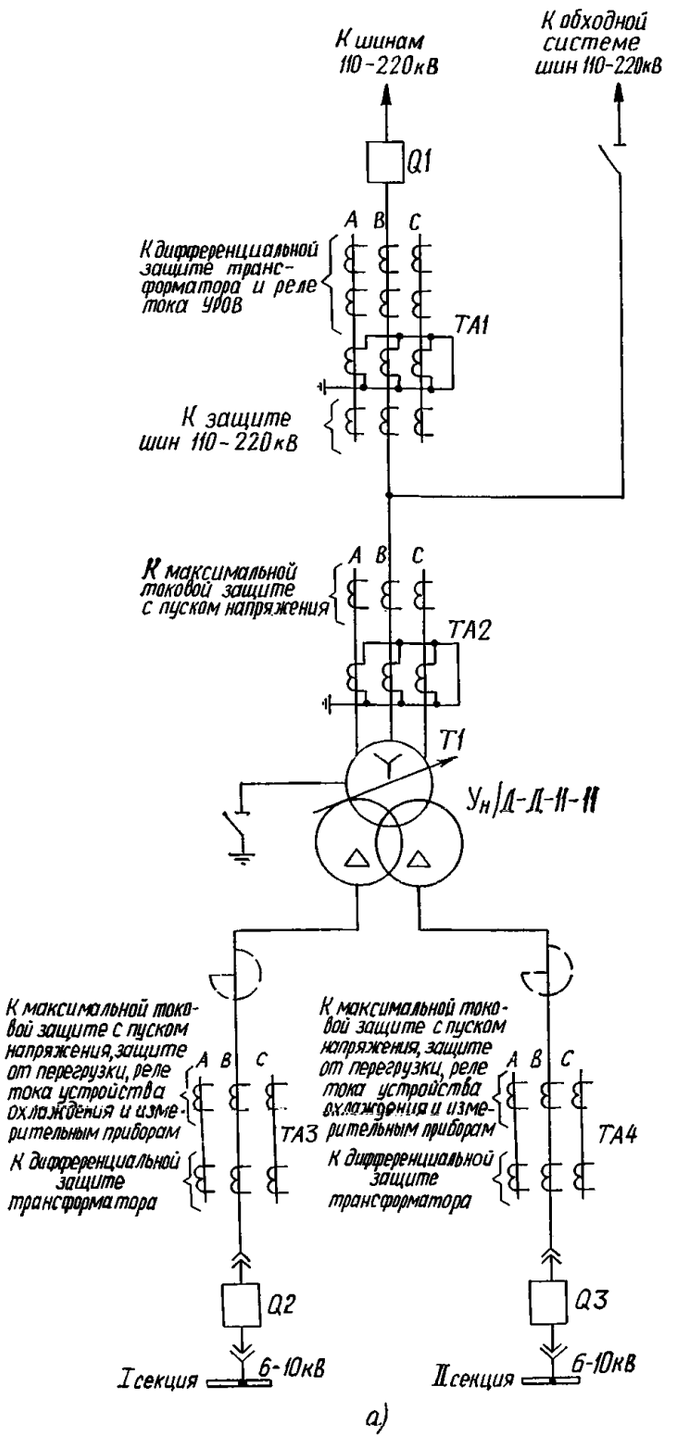


Рис. 1.1. Принципиальная схема релейной защиты понижающего двухобмоточного трансформатора 110—220/6—10 кВ с расщепленной обмоткой низшего напряжения (дифференциальная защита выполняется с одним комплектом реле ДЗТ-11):

а — поясняющая схема; *б* — цепи переменного тока; *в* — цепи напряжения; *г* — цепи оперативного постоянного тока и выходные цепи; *д* — цепи сигнализации

[1] «Технические требования на устройства защиты при дуговых замыканиях в шкафах КРУ 6—10 кВ», утверждены Главниипроектом и согласованы с Главтехуправлением Минэнерго СССР.

ходных промежуточных реле, необходимое для обеспечения надежного пуска УРОВ при возможных кратковременных замыканиях контактов газового реле (например, типа РГЧЗ-66).

Автоматическое снятие самоудерживания осуществляется при отпускании дополнительно предусмотренного реле типа РП-252. Указанное реле осуществляет также контроль наличия оперативного постоянного тока на защите трансформатора.

Приведенные схемы могут применяться без изменений (за исключением номеров зажимов реле и параметров резисторов) при замене указанных реле типов РП-23 и РП-252 новыми — РП-16 и РП-18 соответственно.

Необходимо отметить, что для обеспечения надежного отключения выключателей трансформатора при кратковременных замыканиях контактов газового реле не требуется самоудерживание выходных промежуточных реле, поскольку удерживание отключающего сигнала предусмотрено в схеме управления выключателями.

В рассматриваемых схемах в целях повышения надежности выполнено дублирование действия выходных промежуточных реле на отключение выключателя.

1.1.7.4. Схемы рис. 1.2 и 1.7 выполнены с учетом ремонтного режима линий 110—220 кВ и выключателя на стороне высшего напряжения соответственно. При повреждении данного трансформатора в указанном

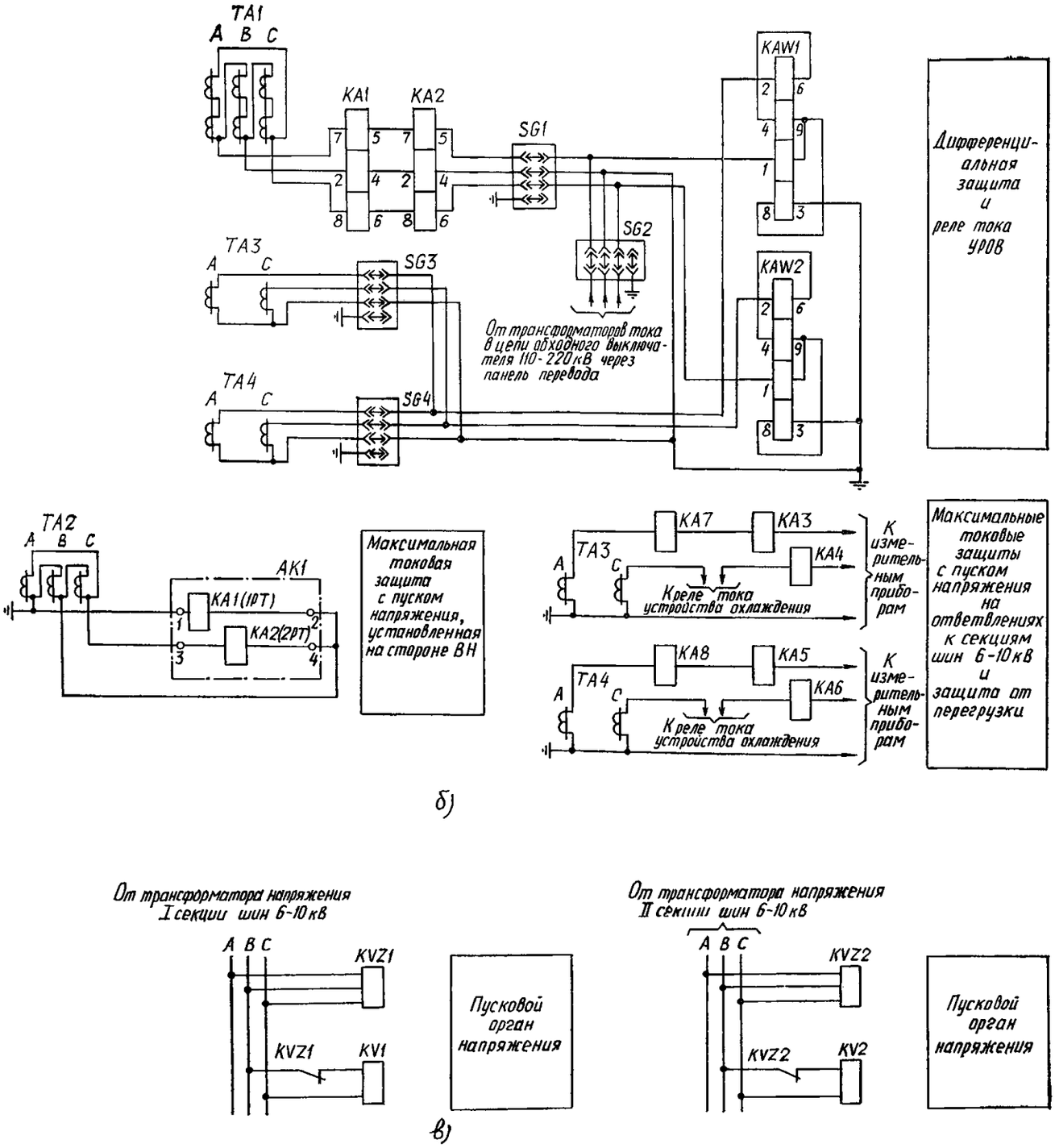


Рис. 1.1. Продолжение

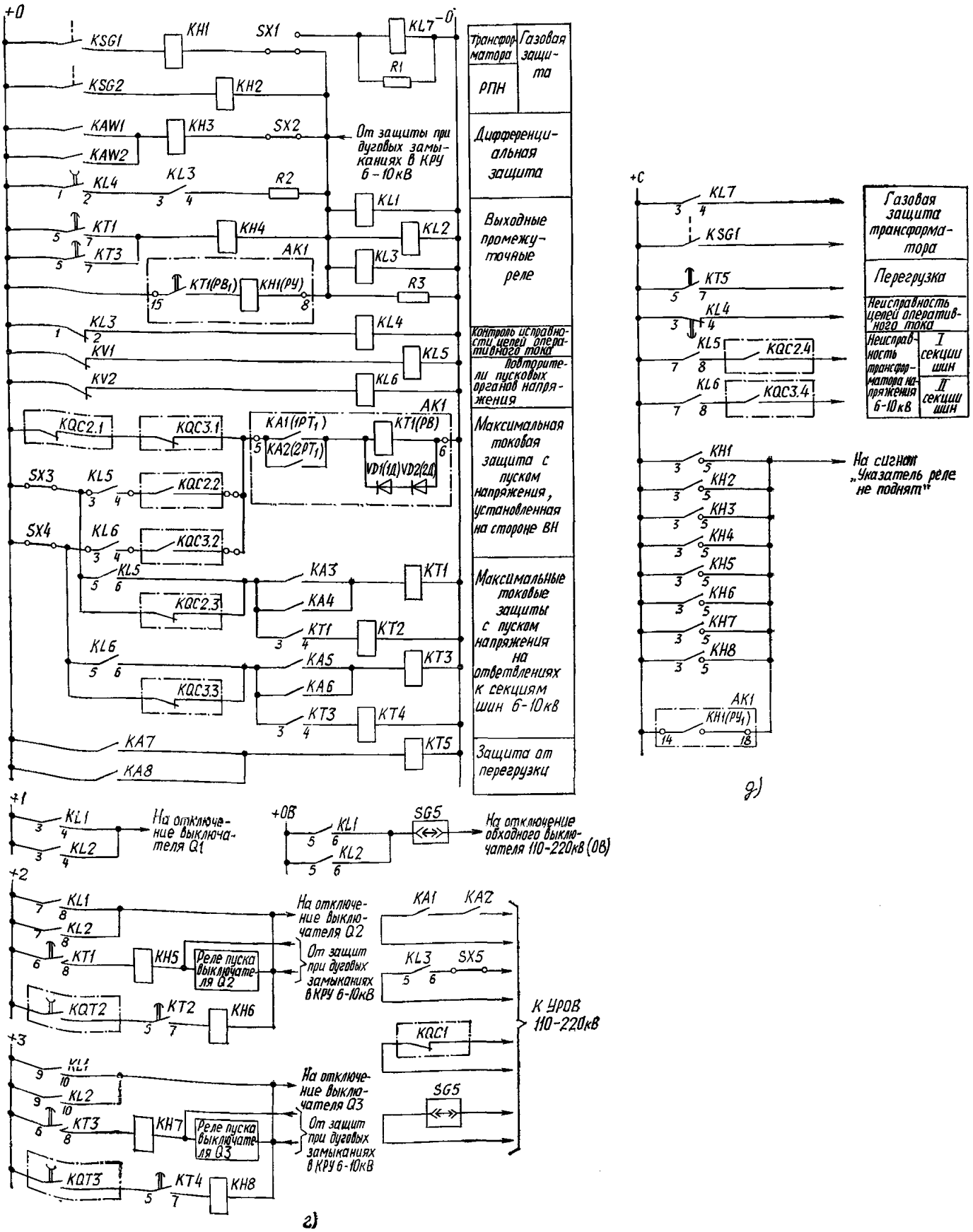


Рис. 1.1. Продолжение

ремонтном режиме его защита действует не только на отключение собственных выключателей, но и на отключение выключателей сторон среднего (см. рис. 1.7) и низшего (см. рис. 1.2 и 1.7) напряжений второго трансформатора. Последнее необходимо при наличии синхронных двигателей, питаемых от шин низшего напряжения; этим исключается подпитка места повреждения от синхронных двигателей. При этом предполагается, что непосредственно на синхронном двигателе устанавливается устройство защиты, действующее на его отключение при исчезновении питания.

1.1.7.5. При действии выходных промежуточных реле защиты в схемах рис. 1.5 и 1.8 подаются сигналы на запрещение АПВ выключателей высшего и среднего напряжений трансформатора, а в случае отказа выключателя 110—220 кВ — и на пуск УРОВ.

1.1.7.6. В выходных цепях каждой из защит предусмотрены указательные реле для сигнализации действия этих защит. В целях упрощения для всех защит (см. рис. 1.1, 1.2, 1.5—1.7), выполненных с двумя выдержками времени, предусмотрено действие на выходные промежуточные реле защиты трансформатора с большей выдержкой времени через общее указательное реле. В схемах рис. 1.3, 1.4 и 1.8 в цепях защит, действующих на выходные промежуточные реле, используются индивидуальные указательные реле, предусмотренные в устройствах защиты типа КЗ-12. Указательные реле предусмотрены также в цепях автоматического ускорения.

1.1.7.7. Для удобства проверок и испытаний в плечах дифференциальной защиты трансформатора предусмотрены испытательные блоки, которые также используются при замене выключателя со стороны высшего напряжения обходным.

1.1.7.8. В приведенных схемах предусмотрены накладки: в цепях дефференциальной токовой защиты, максимальной токовой защиты с пуском напряжения — для выведения защиты из работы при неисправностях; в цепях пуска УРОВ — для исключения возможности пуска УРОВ при выводе защиты из работы.

1.1.7.9. Технические данные используемой в схемах аппаратуры даны для оперативного постоянного тока 220 В.

1.2. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ СХЕМ

1.2.1. Принципиальная схема релейной защиты понижающего двухобмоточного трансформатора 110—220/6—10 кВ с расщепленной обмоткой низшего напряжения (дифференциальная защита выполняется с одним комплектом реле ДЗТ-11) приведена на рис. 1.1.

1.2.1.1. Схема дана для двухобмоточного трансформатора 110—220/6—10 кВ мощностью 25—63 МВ·А с расщепленной обмоткой низшего напряжения для случая, когда на стороне 110—220 кВ имеются сборные шины и установлены выключатель и выносные трансформаторы тока.

Рассматриваемая схема принципиально может быть использована также для подстанций со схемами электрических соединений на стороне высшего напряжения «мостик с выключателем в перемычке и отделителями в цепях трансформаторов» и «два блока с отделителями и неавтоматической перемычкой со стороны линий».

1.2.1.2. Дифференциальная токовая защита трансформатора выполнена в виде одного комплекта (реле *KAW1*, *KAW2*) с использованием реле с торможением типа ДЗТ-11, тормозная обмотка которого включена на ток стороны низшего напряжения. При этом предполагается, что при КЗ в защищаемой зоне обеспечивается требуемый минимальный $k_ч \geqslant 1{,}5$ (см. п. 1.1.2.1).

При замене выключателя *Q1* стороны высшего напряжения обходным выключателем дифференциальная защита переключается с трансформаторов тока *TA1* на трансформаторы тока в цепи обходного выключателя с помощью испытательных блоков *SG1* и *SG2* в схеме защиты трансформатора и соответствующих испытательных блоков в схеме панели перевода по рис. П2.1.

1.2.1.3. Защиты от внешних многофазных КЗ выполнены в виде трех комплектов максимальной токовой защиты с комбинированным пуском напряжения.

Максимальная токовая защита *AK1*, установленная на стороне высшего напряжения и питаемая от трансформаторов тока *TA2*, предназначена для резервирования отключения КЗ на шинах низшего напряжения, а также для резервирования основных защит трансформатора.

Максимальные токовые защиты, установленные на ответвлениях к *I* и *II* секциям шин 6—10 кВ (реле *KA3*, *KA4* и *KA5*, *KA6*, питаемые соответственно от трансформаторов тока *TA3* и *TA4*), предназначены для отключения КЗ на шинах 6—10 кВ и для резервирования отключений КЗ на элементах, присоединенных к этим шинам. Защиты расположены в шкафах КРУ выключателей вводов 6—10 кВ и с первой выдержкой времени действуют на отключение выключателя *Q2*, *Q3*, а со второй — на выходные промежуточные реле *KL1—KL3*. Последнее выполнено с целью ликвидации КЗ в зоне между выключателем *Q2* или *Q3* и трансформаторами тока *TA3* и *TA4*, а также отключения КЗ на секциях шин 6—10 кВ, сопровождающегося отказом выключателя.

При отключении выключателя ответвления *Q2* (*Q3*) производится пуск его устройства АПВ, осуществляемый реле пуска АПВ выключателя *Q2* (*Q3*).

Комплект защиты *AK1*, установленный со стороны высшего напряжения, выполнен с использованием устройства типа КЗ-12. Комбинированные пусковые органы напряжения защит, установленных на ответвлениях к секциям шин 6—10 кВ *KVZ1*, *KV1*, *KL5* и *KVZ2*, *KV2*, *KL6*, используются также в качестве пусковых органов максимальной токовой защиты *AK1*. Последняя действует на выходные промежуточные реле *KL1—KL3* с выдержкой времени, равной второй выдержке времени защит на ответвлениях к секциям шин 6—10 кВ.

Максимальные токовые защиты могут выполняться без пускового органа напряжения (если это возможно по условиям обеспечения чувствительности). В этом случае последний исключается из схемы с помощью перемычек между зажимами панели.

При отключении выключателя *Q2* или *Q3* контакт соответствующего пускового органа защиты шунтируется контактом реле положения «включено» выключателя *KQC2.3* или *KQC3.3*, что необходимо для ликвидации повреждения между выключателем и трансформаторами тока. Кроме того, контактами реле *KQC2.2* или *KQC3.2* осуществляется выведение цепи пуска защиты *AK1* от соответствующего органа напряжения при отключении выключателя *Q2* или *Q3*.

В схеме предусмотрена цепь из размыкающих контактов реле *KQC2.1* и *KQC3.1*, обеспечивающая действие защиты *AK1* без пуска напряжения; последнее необходимо в режиме опробования трансформатора напряжением, подаваемым при включении выключателя *Q1*.

1.2.1.4. Защита от перегрузки выполнена с помощью реле тока *KA7*, *KA8*, установленных со стороны низшего напряжения, и реле времени *KT5*.

1.2.1.5. В схеме предусмотрено автоматическое ускорение при включении выключателя максимальных токовых защит с пуском напряжения, установленных на ответвлениях к секциям шин 6—10 кВ, пуск ускорения осуществляется контактами реле положения «отключено» *KQT2* или *KQT3* выключателей *Q2* или *Q3*.

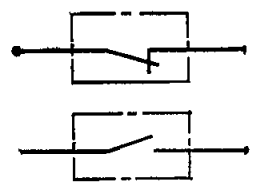
Ускорение выполнено с выдержкой времени реле времени *KT2*, *KT4* для предотвращения ложного действия защит из-за броска пусковых токов двигателей нагрузки.

1.2.1.6. В схеме выполнено самоудерживание выход-

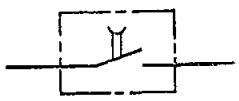
ных промежуточных реле *KL1—KL3*, необходимое для надежного пуска УРОВ при возможных кратковременных замыканиях контактов газового реле. Снятие самоудерживания осуществляется при отпускании реле *KL4*; с помощью реле *KL4* осуществляется сигнализация (контакт *3-4* реле *KL4*) при исчезновении оперативного постоянного тока.

1.2.1.7. Данная схема выполнена с использованием следующей аппаратуры: *AK1* — комплект защиты типа КЗ-12; *KA1*, *KA2* — реле тока типа РТ-40/Р; *KA3—KA8* — реле тока типа РТ-40; *KAW1*, *KAW2* — реле тока с торможением типа ДЗТ-11; *KH1—KH4* — реле указательные типа РУ-1/0,05; *KH5—KH8* — реле указательные типа РУ-1; *KL1—KL3*, *KL5—KL7* — реле промежуточные типа РП-23; *KL4* — реле промежуточное типа РП-252; *KSG1*, *KSG2* — реле газовые; *KT1*, *KT3* — реле времени типа РВ-132; *KT2*, *KT4* — реле времени типа РВ-114; *KT5* — реле времени типа РВ-133; *KV1*, *KV2* — реле напряжения типа РН-54/160; *KVZ1*, *KVZ2* — фильтры-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1М; *R1* — резистор типа ПЭВ-25, 3900 Ом; *R2* — резистор типа ПЭВ-10, 100 Ом; *R3* — резистор типа ПЭВ-50, 1500 Ом; *SG1—SG5* — блоки испытательные типа БИ-4; *SX1—SX5* — накладки типа НКР-3.

В схеме приняты следующие обозначения:



— *KQC1*, *KQC2*, *KQC3* — контакты реле положения «включено» выключателей, соответственно *Q1*, *Q2*, *Q3*;



— *KQT2*, *KQT3* — контакты реле положения «отключено» выключателей соответственно *Q2*, *Q3*.

1.2.2. Принципиальная схема релейной защиты понижающего двухобмоточного трансформатора 110—220/6—10 кВ с расщепленной обмоткой низшего напряжения (дифференциальная защита выполняется с двумя комплектами реле ДЗТ-11) приведена на рис. 1.2.

1.2.2.1. Схема дана для двухобмоточного трансформатора 110—220/6—10 кВ мощностью 40 МВ·А и более с расщепленной обмоткой низшего напряжения при наличии на стороне 110—220 кВ схемы «два блока с отделителями и неавтоматической перемычкой со стороны линий», а на стороне низшего напряжения 6—10 кВ — реакторов.

Рассматриваемая схема может быть принципиально использована также для подстанций со схемами электрических соединений на стороне высшего напряжения «сборные шины» и «мостик с выключателем в перемычке и отделителями в цепях трансформаторов».

1.2.2.2. Дифференциальная токовая защита трансформатора выполнена в виде двух комплектов с использованием реле с торможением типа ДЗТ-11, тормозная обмотка которого включена на ток стороны низшего напряжения. При этом предполагается, что в случае выполнения защиты в виде одного комплекта (*KAW1*, *KAW2*) обеспечивается требуемая чувствительность к КЗ на выводах низшего напряжения трансформатора, но не обеспечивается требуемая чувствительность к КЗ за реактором. В связи с этим выполняется второй комплект (*KAW3*, *KAW4*, *KT2*) с током срабатывания защиты порядка $I_{с.з} = (0{,}75 \div 1) I_{ном}$ и выдержкой времени в пределах $t_{с.з} = (0{,}5 \div 1)$ с.

Чувствительный комплект в ряде случаев представляет собой единственную защиту реактора, поскольку максимальная токовая защита, установленная на стороне 110—220 кВ трансформатора, может оказаться

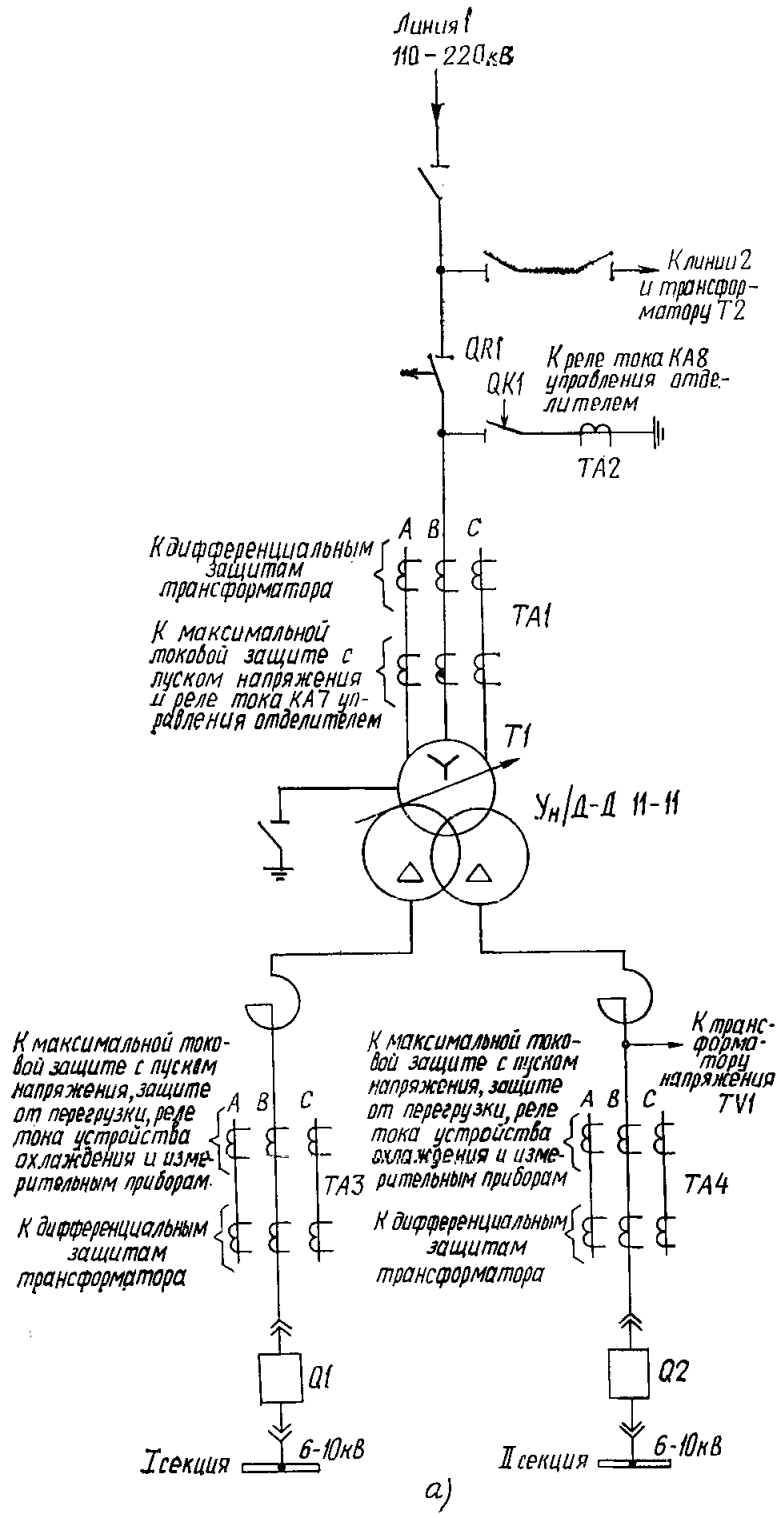


Рис. 1.2. Принципиальная схема релейной защиты понижающего двухобмоточного трансформатора 110—220/6—10 кВ с расщепленной обмоткой низшего напряжения (дифференциальная защита выполняется с двумя комплектами реле ДЗТ-11):

а — поясняющая схема; *б* — цепи переменного тока; *в* — цепи напряжения; *г* — цепи оперативного постоянного тока и выходные цепи; *д* — цепи сигнализации

нечувствительной к КЗ за реактором. Такое решение в соответствии с ПУЭ является допустимым.

Чувствительный комплект не следует рассматривать как осуществляющий полноценное резервирование грубого комплекта, поскольку оба имеют общие цепи. Грубый и чувствительный комплекты представляют собой практически одну двухступенчатую дифференциальную защиту.

1.2.2.3. Защиты от внешних многофазных КЗ выполнены в виде трех комплектов максимальной токовой защиты с комбинированным пуском напряжения.

Максимальная токовая защита *АК1*, установленная на стороне высшего напряжения, предназначена для резервирования отключения КЗ в трансформаторе, а в отдельных режимах может действовать и при КЗ за реактором.

Следует отметить, что защиту реактора можно было бы выполнить без установки рассматриваемого чувствительного комплекта дифференциальной токовой защиты, а именно с помощью чувствительной максимальной токовой защиты, установленной на ответвлении к секции шин низшего напряжения и питаемой от трансформаторов тока, специально устанавливаемых на участке между выводами низшего напряжения трансформатора и реактором. Однако типовая конструктивная разработка установки таких трансформаторов тока пока отсутствует, поэтому соответствующая схема не приводится.

Максимальные токовые защиты, установленные на ответвлениях к *I* и *II* секциям шин (реле *КА1, КА2, КТ3, КТ4* и *КА3, КА4, КТ5, КТ6* соответственно) и питаемые от трансформаторов тока *ТА3* и *ТА4*, предназначены для отключения КЗ на шинах 6—10 кВ и для резервирования отключений КЗ на элементах, присоединенных к этим шинам. Защиты расположены в шкафах КРУ выключателей вводов 6—10 кВ и с первой выдержкой времени действуют на отключение выключателя (*Q1*, *Q2*) а со второй — на выходные промежуточные реле *KL1—KL4*. Последнее необходимо для обеспечения ликвидации КЗ в зоне между выключателем *Q1* или *Q2* и трансформаторами тока *ТА3* или *ТА4*,

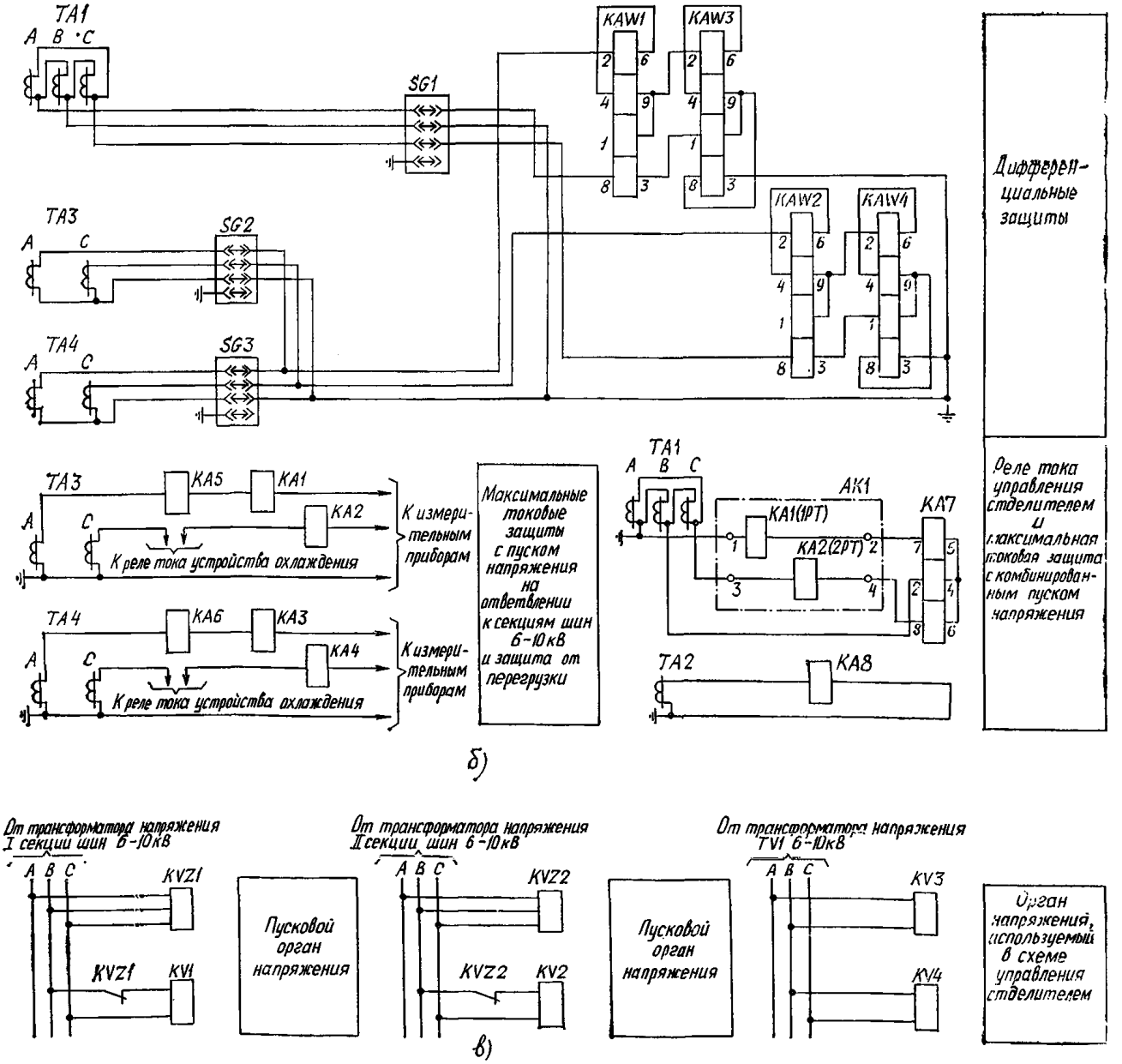


Рис. 1.2. Продолжение

а также отключения КЗ на секции шин 6—10 кВ, сопровождающегося отказом выключателя.

При отключении выключателя ответвления *Q1* (*Q2*) производится пуск его устройства АПВ, осуществляемый реле пуска АПВ выключателя *Q1* (*Q2*). Комплект защиты *AK1*, установленный со стороны 110—220 кВ, выполнен с использованием устройств типа КЗ-12.

Пусковые органы напряжения защит, установленных на ответвлениях к секции шин 6—10 кВ *KVZ1*, *KV1*, *KL7* и *KVZ2*, *KV2*, *KL8*, используются также в качестве пусковых органов максимальной токовой защиты *AK1*, которая действует на выходные промежуточные реле *KL1—KL4* с выдержкой времени, равной второй выдержке времени защит на ответвлениях к секциям шин 6—10 кВ. Максимальные токовые за-

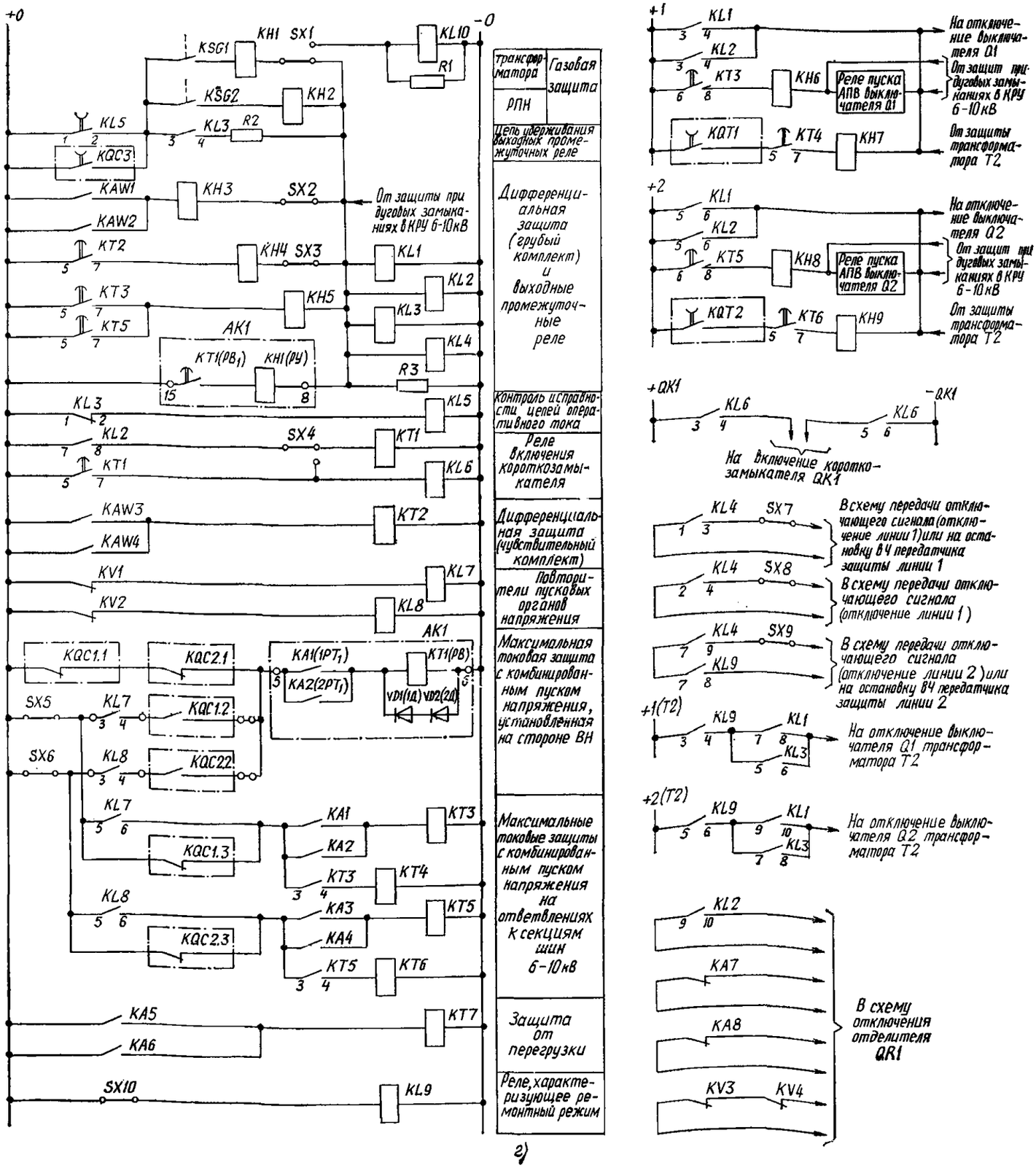


Рис. 1.2. Продолжение

щиты могут выполняться без пускового органа напряжения (если это возможно по условиям обеспечения чувствительности). В этом случае последний исключается из схемы с помощью перемычек между зажимами панели.

При отключении выключателя *Q1* или *Q2* контакт соответствующего пускового органа защиты (*5-6* реле *KL7* или *KL8*) шунтируется контактом реле положения «включено» *KQC1.3* или *KQC2.3*, что необходимо для ликвидации повреждения между выключателем и трансформаторами тока. Контактами реле *KQC1.2* или *KQC2.2* осуществляется выведение цепи пуска защиты *AK1* от соответствующего органа напряжения при отключении выключателя *Q1* или *Q2*.

Схемой предусмотрено действие защиты *AK1* без пуска напряжения, шунтируемого цепью из размыкающих контактов *KQC1.1* и *KQC2.1*, в режиме опробования трансформатора напряжением, подаваемым с питающего конца при включении линии 110—220 кВ.

1.2.2.4. Защита от перегрузки выполнена с помощью реле *KA5*, *KA6*, установленных со стороны низшего напряжения, и реле времени *KT7*.

1.2.2.5. В схеме предусмотрено автоматическое ускорение при включении выключателя максимальных токовых защит с пуском напряжения, установленных на ответвлениях к секциям шин 6—10 кВ. Пуск ускорения осуществляется контактами реле положения «отключено» *KQT1* и *KQT2* выключателей *Q1* и *Q2*.

Ускорение выполнено с выдержкой времени реле времени *KT4* и *KT6* для предотвращения ложного действия защит из-за броска пусковых токов двигателей нагрузки.

1.2.2.6. Схема выполнена с учетом возможного ремонтного режима линий 110—220 кВ. При повреждении данного трансформатора в указанном ремонтном режиме его защита должна действовать не только на отключение собственных выключателей, но и на отключение выключателей стороны низшего напряжения второго трансформатора; последнее необходимо при наличии синхронных двигателей, питаемых от шин низшего напряжения, для ликвидации подпитки места КЗ. В ремонтном режиме персоналом включается накладка *SX10* в цепи обмотки промежуточного реле *KL9*, контактами которого (*3-4*, *5-6*) вводятся цепи отключения выключателей второго трансформатора. Во избежание ошибок персонала в схеме предусмотрена световая сигнализация включенного положения накладки *SX10*.

1.2.2.7. Схема выполнена применительно к случаю, когда отключение выключателей с питающих концов линии *1* при повреждении трансформатора происходит при срабатывании защиты линии, вызываемом включением короткозамыкателя *QK1* (без выдержки времени) на рассматриваемой подстанции. Отключение поврежденного трансформатора осуществляется отделителем *QR1* в бестоковую паузу цикла АПВ питающей линии в целях сохранения последней в работе. Для случая, когда установка короткозамыкателя на подстанции невозможна, например, по условию недостаточной отключающей способности выключателей при отключении неудаленных КЗ, в схеме предусмотрена возможность передачи отключающего сигнала на питающие концы линии *1* при срабатывании защиты трансформатора. Передача отключающего сигнала может осуществляться по ВЧ каналу с помощью аппаратуры типа АНКА-АВПА либо с помощью устройства передачи отключающего сигнала по кабелю связи. Для пуска устройства передачи отключающего сигнала используются две цепи (контакты *1-3* и *2-4* выходного промежуточного реле *KL4*). Наличие двух цепей значительно повышает надежность канала передачи отключающего сигнала при использовании аппаратуры типа АНКА-АВПА. Накладки предусмотрены для вывода указанных цепей при неисправности устройства передачи отключающего сигнала.

При наличии ВЧ защиты на линиях одна из указанных цепей используется для остановки ВЧ передатчика защиты линии *1*.

В случае, когда при допустимости установки короткозамыкателя необходимо применить передачу отключающего сигнала (например, по условиям сокращения времени ликвидации повреждения на мощных трансформаторах) с целью резервирования передачи отключающего сигнала, должен применяться короткозамыкатель, включение которого осуществляется с выдержкой времени реле *KT1*.

Для указанного выше ремонтного режима линии 110—220 кВ, когда включается неавтоматическая перемычка из разъединителей, необходимо помимо указанного в п. 1.2.2.6 осуществить также передачу отключающего сигнала на питающий конец линии *2* при срабатывании защиты данного трансформатора; для пуска этой цепи используются контакты реле *KL9* и *KL4*.

1.2.2.8. В цепи пуска выходных реле от газовой защиты предусмотрен контакт реле положения «включено» отделителя *KQC3*, необходимый для снятия отключающего сигнала после отключения трансформатора. когда контакт газового реле продолжает оставаться замкнутым в течение некоторого времени. Этим обеспечивается успешное АПВ выключателя с питающего конца линии после отключения отделителя.

1.2.2.9. В схеме выполнено самоудерживание выходных промежуточных реле *KL1—KL4*, необходимое для обеспечения надежного отключения отделителя, которое происходит в бестоковую паузу после отключения выключателя на питающем конце линии. Пуск схемы отключения отделителя, приведенной на рис. 4.1, осуществляется выходными реле защиты трансформатора.

Снятие самоудерживания выходных реле в данной схеме осуществляется через заданное время при отпускании реле *KL5* типа РП-252, нормально находяще-

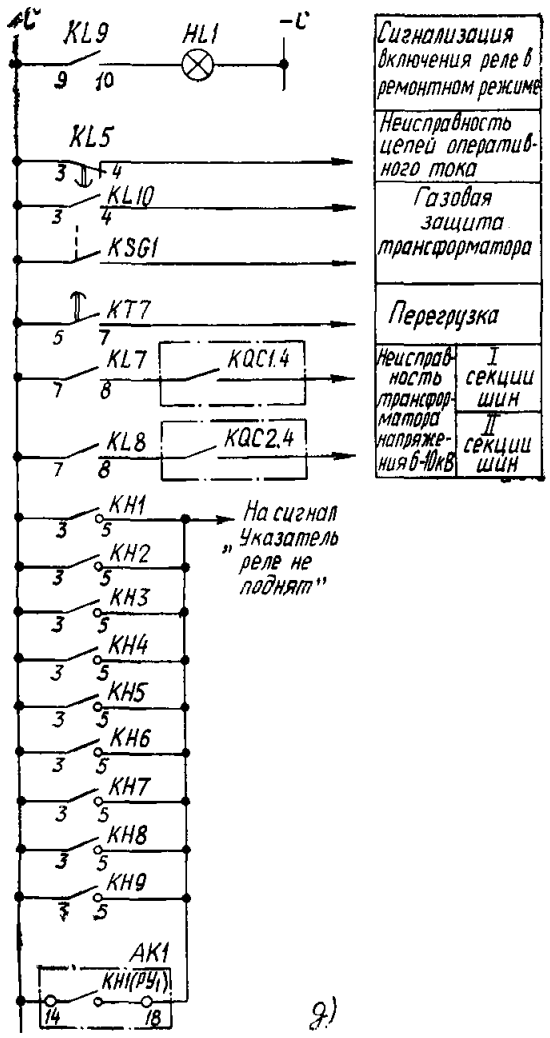


Рис. 1.2. Продолжение

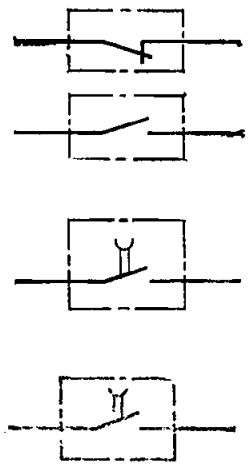
гося под напряжением. Однако в рассматриваемой схеме этого времени может оказаться недостаточно для надежного отключения отделителя (поскольку к моменту возникновения бестоковой паузы реле *KL5* может вернуться). В связи с этим для снятия самоудерживания используется также упомянутый контакт *KQC3* отделителя, предусмотренный в цепи подведения + к контактам газовой защиты. Сохранение указанного контакта *KL5* целесообразно для повышения надежности.

Реле *KL5* сигнализирует о неисправности цепей оперативного тока.

1.2.2.10. Предусмотренные в схеме реле тока *KA7*, *KA8* и реле напряжения *KV3* и *KV4* используются в схеме отключения отделителя (см. рис. 4.1). Для питания реле *KV3* и *KV4* в цепи низшего напряжения трансформатора установлен трансформатор напряжения *TV1*.

1.2.2.11. Данная схема выполнена с использованием следующей аппаратуры: *AK1* — комплект защиты типа КЗ-12; *HL1* — лампа осветительная; *KA1—KA6*, *KA8* — реле тока типа РТ-40; *KA7* — реле тока типа РТ-40/Р; *KAW1—KAW4* — реле тока с торможением типа ДЗТ-11; *KH1—KH5* — реле указательные типа РУ-1/0,05; *KH6—KH9* — реле указательные типа РУ-1; *KL1—KL3*, *KL6—KL10* — реле промежуточные типа РП-23; *KL4* — реле промежуточное типа РП-222; *KL5* — реле промежуточное типа РП-252; *KSG1*, *KSG2* — реле газовые; *KT1*, *KT7* — реле времени типа РВ-133; *KT2*, *KT4*, *KT6* — реле времени типа РВ-114; *KT3*, *KT5* — реле времени типа РВ-132; *KV1*, *KV2* — реле напряжения типа РН-54/160; *KV3*, *KV4* — реле напряжения типа РН-53/60Д; *KVZ1*, *KVZ2* — фильтры-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1М; *R1* — резистор типа ПЭВ-25, 3900 Ом; *R2* — резистор типа ПЭВ-10, 100 Ом; *R3* — резистор типа ПЭВ-50, 1800 Ом; *SG1—SG3* — блоки испытательные типа БИ-4; *SX1—SX10* — накладки типа НКР-3.

В схеме приняты следующие обозначения:



— *KQC1*, *KQC2* — контакты реле положения «включено» выключателей соответственно *Q1*, *Q2*;

— *KQT1*, *KQT2* — контакты реле положения «отключено» выключателей соответственно, *Q1*, *Q2*;

— *KQC3* — контакт реле положения «включено» отделителя *QR1*.

1.2.3. Принципиальная схема релейной защиты понижающего двухобмоточного трансформатора 110—220/6—10 кВ с расщепленной обмоткой низшего напряжения (дифференциальная защита выполняется с использованием ДЗТ-21) приведена на рис. 1.3.

1.2.3.1. Схема дана для двухобмоточного трансформатора 110—220/6—10 кВ мощностью 63 МВ·А и более с расщепленной обмоткой низшего напряжения для случая, когда на стороне 110—220 кВ имеются сборные шины и установлены выключатель и выносные трансформаторы тока, а на стороне низшего напряжения 6—10 кВ установлены реакторы.

1.2.3.2. Дифференциальная токовая защита трансформатора и цепей стороны низшего напряжения (включая реакторы) выполнена с использованием защиты типа ДЗТ-21 (*AKW1*). Схема внутренних соединений

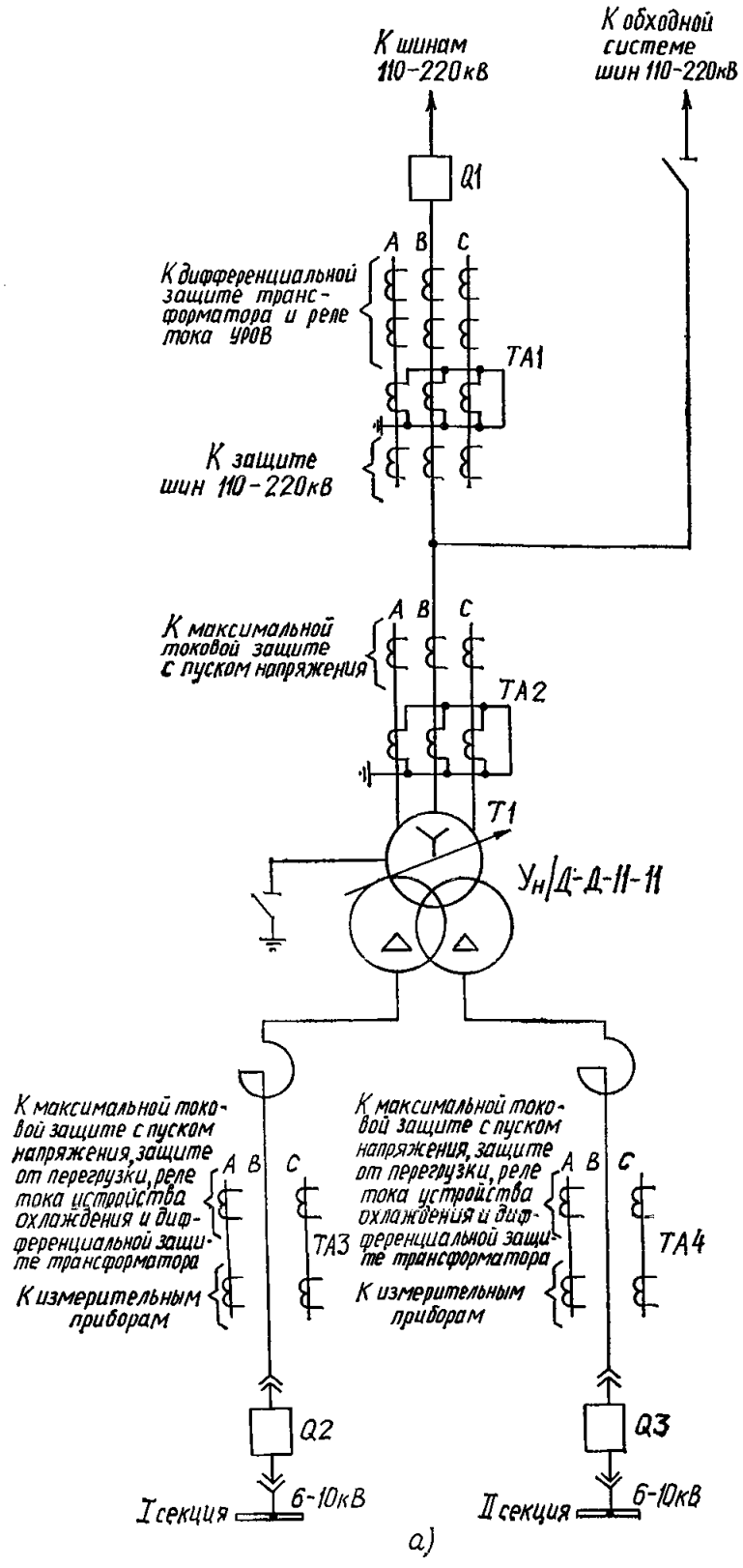


Рис. 1.3. Принципиальная схема релейной защиты понижающего двухобмоточного трансформатора 110—220/6—10 кВ с расщепленной обмоткой низшего напряжения (дифференциальная защита выполняется с использованием ДЗТ-21):

а — поясняющая схема; *б* — цепи переменного тока; *в* — цепи напряжения; *г* — цепи оперативного постоянного тока и выходные цепи; *д* — цепи сигнализации

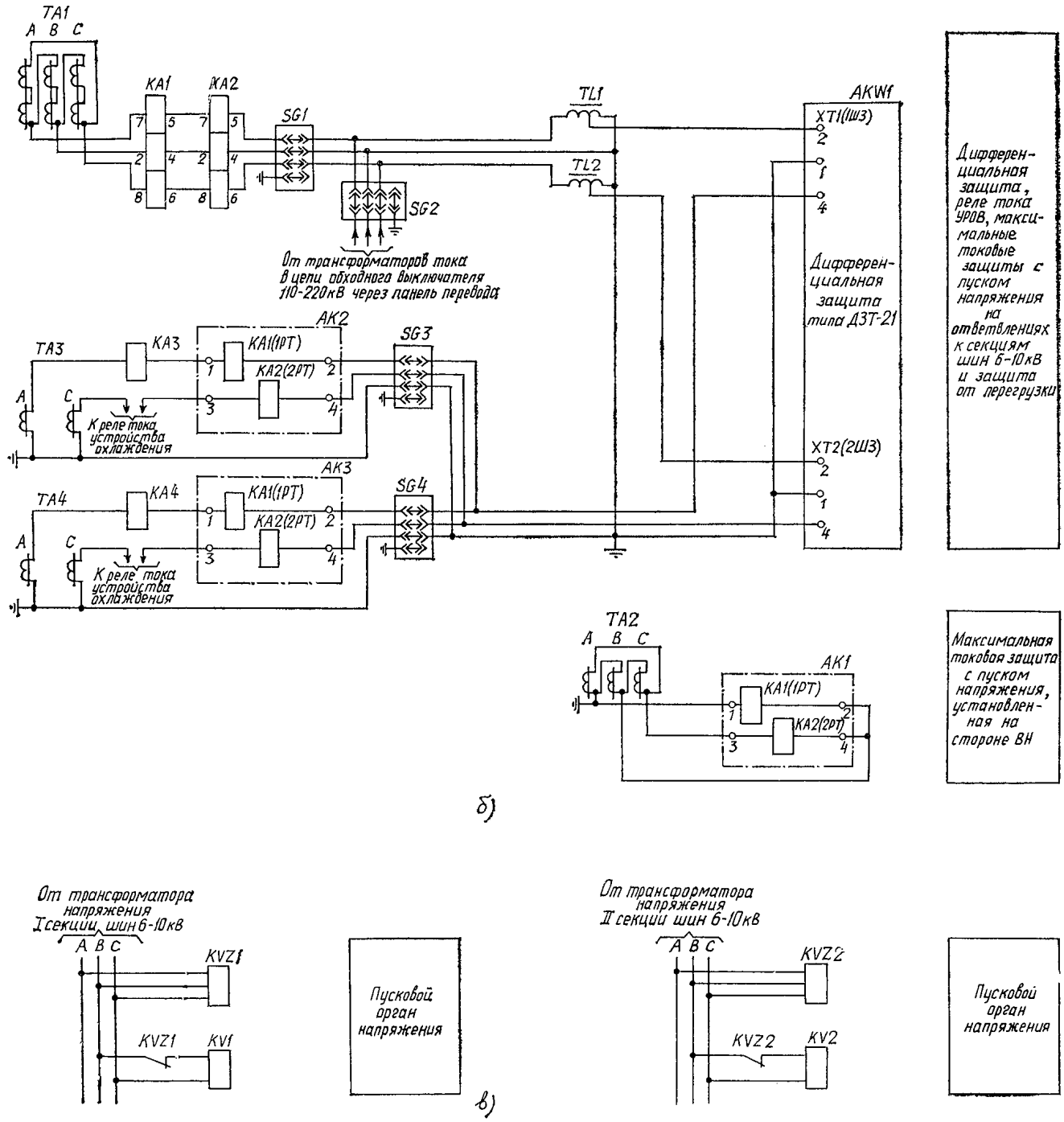


Рис. 1.3. Продолжение

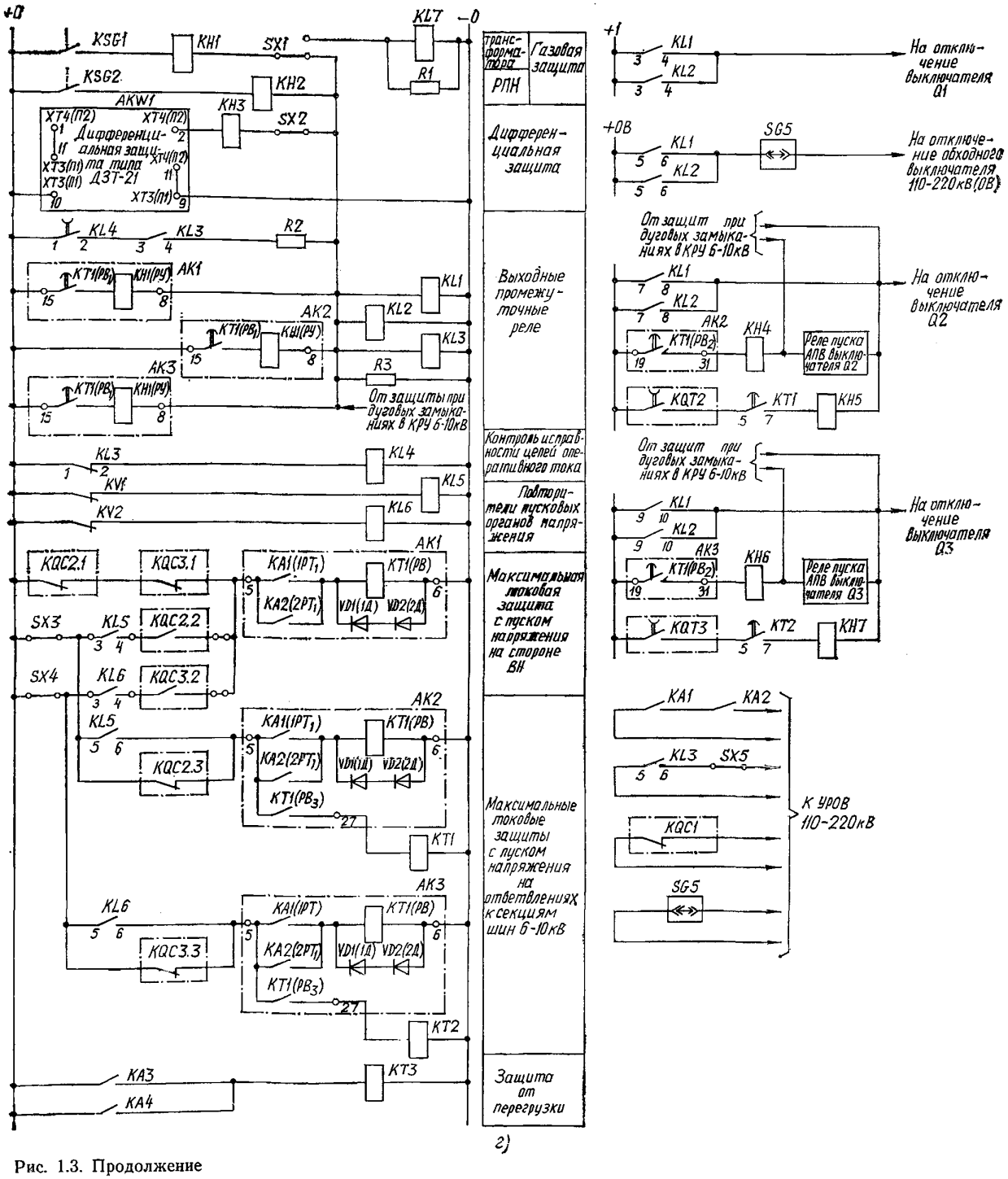


Рис. 1.3. Продолжение

защиты приведена на рис. П2.2. Схема выполнена с торможением от токов трансформаторов тока сторон высшего и низшего напряжений. Рассматриваемая защита *AKW1* выполнена в соответствии с п. 1.1.2.2 с использованием двух модулей дифференциальной защиты, включаемых на токи фаз *A* и *C*. Схема выполнена в предположении, что для выравнивания вторичных токов в плечах дифференциальной защиты достаточно применение выравнивающих автотрансформаторов тока *TL1*, *TL2* со стороны высшего напряжения трансформатора.

Присоединение цепей тока к зажимам *AKW1* выполнено условно и определяется расчетом в конкретном случае. Описание устройства *AKW1* приведено в выпуске 13Б (приложение 5).

При замене выключателя *Q1* стороны высшего напряжения обходным выключателем дифференциальная защита переключается с трансформаторов тока *TA1* на трансформаторы тока в цепи обходного выключателя с помощью испытательных блоков *SG1* и *SG2* в схеме защиты трансформатора и соответствующих испытательных блоков в схеме панели перевода по рис. П2.1.

1.2.3.3. Защиты от внешних многофазных КЗ выполнены в виде трех комплектов максимальной токовой защиты с комбинированным пуском напряжения.

Максимальная токовая защита *AK1*, установленная на стороне высшего напряжения, питается от трансформаторов тока *TA2*.

Максимальные токовые защиты, установленные на ответвлениях к *I* и *II* секциям шин *AK2* и *AK3*, так же как и защита на стороне высшего напряжения *AK1*, выполнены с использованием устройств типа КЗ-12. За-

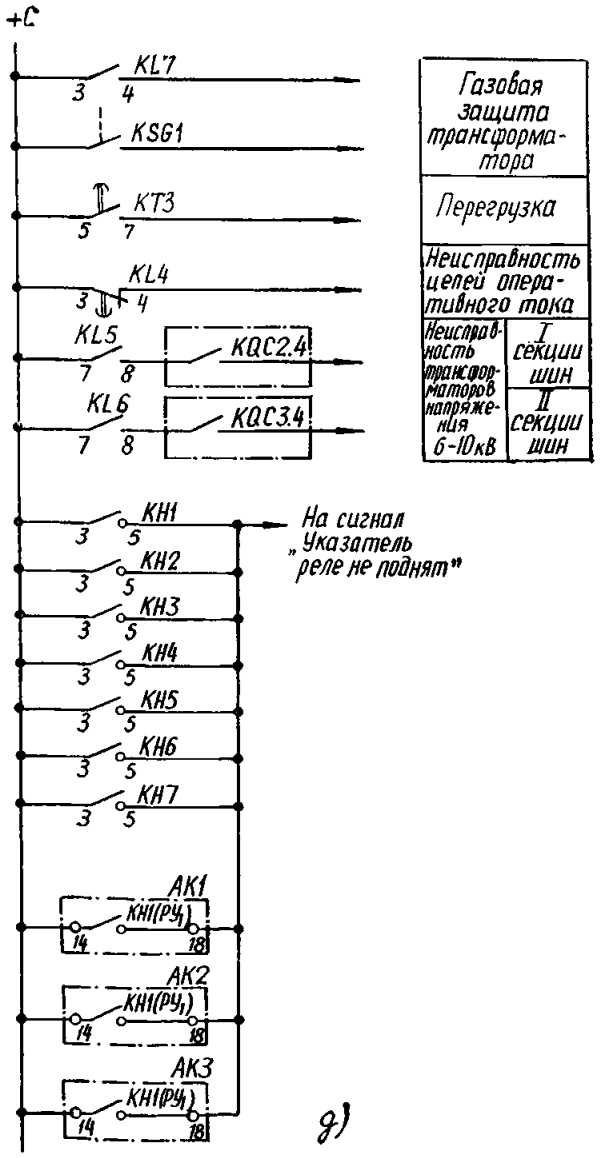


Рис. 1.3. Продолжение

щиты *AK2* и *AK3* включаются в плечи дифференциальной защиты трансформатора на трансформаторы тока *TA3* и *TA4* соответственно и предназначены для отключения КЗ на шинах 6—10 кВ и для резервирования отключения КЗ на элементах, присоединенных к этим шинам. Защиты расположены на панели общеподстанционного пункта управления, чем предотвращается возможный отказ защиты трансформатора при повреждениях в шкафах КРУ (см. п. 1.1.4.7). Рассматриваемые защиты действуют с первой выдержкой времени на отключение выключателя *Q2*, *Q3*, а со второй — на выходные промежуточные реле *KL1—KL3*. Последнее необходимо для обеспечения ликвидации КЗ в зоне между выключателем *Q2* или *Q3* и трансформаторами тока *TA3* или *TA4*, а также отключения КЗ на секции шин 6—10 кВ, сопровождающегося отказом выключателя.

При отключении выключателя ответвления *Q2* (*Q3*) производится пуск его устройства АПВ, осуществляемый реле пуска АПВ выключателя *Q2* (*Q3*).

Пусковые органы напряжения, питаемые от трансформаторов напряжения шин низшего напряжения и установленные на панели общеподстанционного пункта управления (*KVZ1, KV1, KL5* и *KVZ2, KV2, KL6*), используются для максимальых токовых защит *AK2*, *AK3* и *AK1*; последняя действует на выходные промежуточные реле *KL1—KL3* с выдержкой времени, равной второй выдержке времени защит на ответвлениях к секциям шин низшего напряжения. Максимальные токовые защиты могут выполняться без пускового органа напряжения (если это допустимо по условиям обеспечения чувствительности). В этом случае последний исключается из схемы с помощью перемычек между зажимами панели.

При отключении выключателя *Q2* или *Q3* контакт соответствующего пускового органа защиты на ответвлении шунтируется контактом реле положения «включено» выключателя — *KQC2.3* или *KQC3.3*, что необходимо для ликвидации повреждения между выключателем и трансформаторами тока. Контактами реле *KQC2.2* или *KQC3.2* осуществляется выведение цепи пуска защиты *AK1* от соответствующего органа напряжения при отключении выключателя *Q2* или *Q3*.

Схемой предусмотрено действие защиты *AK1* без пуска напряжения, шунтируемого цепью контактов *KQC2.1* и *KQC3.1* в режиме опробования трансформатора напряжением, подаваемым при включении выключателя *Q1*.

Следует отметить, что используемая в рассматриваемой схеме защита *AK1* в ряде режимов может не удовлетворять требованиям чувствительности при КЗ на выводах низшего напряжения трансформатора. В случае, когда вероятность указанных режимов достаточно велика, следует рассматривать вопрос о применении двух чувствительных максимальных токовых защит с комбинированным пуском напряжения, включаемых на разность токов сторон высшего напряжения и одного из ответвлений 6—10 кВ. В отличие от указанного выше варианта использования трех защит *AK1*, *AK2* и *AK3* каждая из этих двух защит имеет примерно вдвое большую чувствительность по току по сравнению с максимальной токовой защитой *AK1*. Обе защиты резервируют отключение КЗ в трансформаторе, а каждая из них действует при КЗ на ответвлении за трансформаторами тока стороны низшего напряжения, к которым подключены цепи другой защиты. Защиты выполнены с использованием реле типа РНТ-565. Описание и схема защиты приведены в приложении 1 (см. рис. П1.1).

Необходимо указать, что рассмотренные чувствительные токовые защиты являются значительно более сложными в эксплуатации и в большинстве случаев вызывают затруднения в использовании, поскольку для их подключения может потребоваться установка дополнительных трансформаторов тока в цепях высшего и низ-

шего напряжений трансформатора. Следует отметить также, что каждая из максимальных токовых защит предназначена для действия как при КЗ в трансформаторе, так и при КЗ на соответствующей секции шин низшего напряжения и отходящих от них элементов в отличие от варианта защит на сторонах высшего и низшего напряжений (например, защиты, показанной на рис. 1.1), в котором первая из этих защит резервирует вторую.

Учитывая сложности, связанные с выполнением чувствительных максимальных токовых защит, вопрос об их использовании может рассматриваться в первую очередь применительно к более мощным трансформаторам, т. е. в достаточно редких случаях.

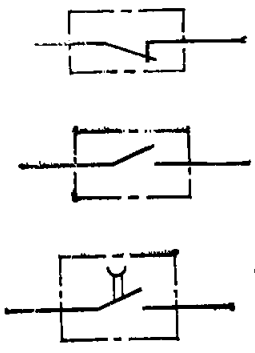
1.2.3.4. Защита от перегрузки выполнена с помощью реле тока *KA3, KA4,* установленных со стороны низшего напряжения, и реле времени *KT3.*

1.2.3.5. В схеме предусмотрено автоматическое ускорение при включении выключателя максимальных токовых защит, установленных на ответвлениях к секциям шин низшего напряжения, и выполняется аналогично принятому в схеме по рис. 1 (см. п. 1.2.1.5).

1.2.3.6. В схеме выполнено самоудерживание выходных промежуточных реле *KL1—KL3* (см. п. 1.2.1.6 описания рис. 1.1).

1.2.3.7. Данная схема выполнена с использованием следующей аппаратуры: *AK1, AK2, AK3* — комплекты защиты типа КЗ-12; *AKW1* — защита дифференциальная типа ДЗТ-21; *KA1, KA2* — реле тока типа РТ-40/Р; *KA3, KA4* — реле тока типа РТ-40; *KH1—KH3* — реле указательные типа РУ-1/0,05; *KH4—KH7* — реле указательные типа РУ-1; *KL1—KL3, KL5—KL7* — реле промежуточные типа РП-23; *KL4* — реле промежуточное типа РП-252; *KSG1, KSG2* — реле газовые; *KT1, KT2* — реле времени типа РВ-114; *KT3* — реле времени типа РВ-133; *KV1, KV2* — реле напряжения типа РН-54/160; *KVZ1, KVZ2* — фильтры-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1М; *R1* — резистор типа ПЭВ-25, 3900 Ом; *R2* — резистор типа ПЭВ-10, 100 Ом; *R3* — резистор типа ПЭВ-50, 1500 Ом; *SG1—SG5* — блоки испытательные типа БИ-4; *SX1—SX5* — накладки типа НКР-3; *TL1, TL2* — автотрансформаторы промежуточные типа АТ-31 или АТ-32.

В схеме приняты следующие обозначения:



— *KQC1, KQC2, KQC3* — контакты реле положения «включено» выключателей соответственно *Q1, Q2, Q3;*

— *KQT2, KQT3* — контакты реле положения «отключено» выключателей соответственно *Q2, Q3.*

1.2.4. Принципиальная схема релейной защиты понижающего двухобмоточного трансформатора 110—220/6—10 кВ с параллельным соединением частей расщепленной обмотки низшего напряжения (дифференциальная защита выполняется с одним комплектом реле ДЗТ-11) приведена на рис. 1.4.

1.2.4.1. Схема дана для двухобмоточного трансформатора 110—220/6—10 кВ мощностью 25—63 МВ·А с параллельным соединением частей расщепленной обмотки низшего напряжения, когда на стороне 110—220 кВ имеются сборные шины и установлены выключатель и выносные трансформаторы тока.

Данная схема может быть также принципиально использована:

для трансформаторов без расщепленных обмоток мощностью менее 25 МВ·А, т. е. 6,3—16 МВ·А;

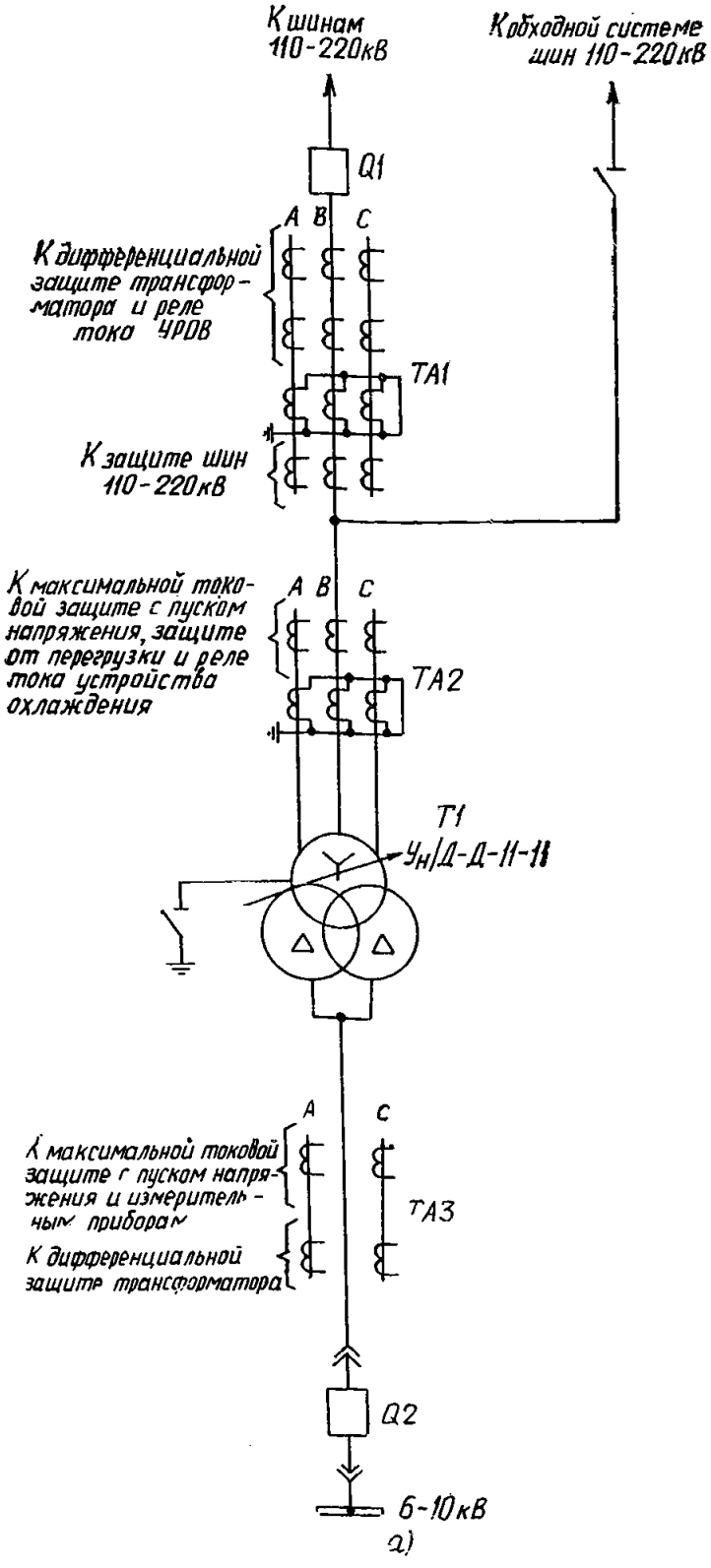


Рис. 1.4. Принципиальная схема релейной защиты понижающего двухобмоточного трансформатора 110—220/6—10 кВ с параллельным соединением частей расщепленной обмотки низшего напряжения (дифференциальная защита выполняется с одним комплектом реле ДЗТ-11):

а — поясняющая схема, *б* — цепи переменного тока; *в* — цепи напряжения; *г* — цепи оперативного постоянного тока и выходные цепи; *д* — цепи сигнализации

для подстанций со схемами электрических соединений на стороне высшего напряжения «мостик с выключателем в перемычке и отделителями в цепях трансформаторов» и «два блока с отделителями и неавтоматической перемычкой со стороны линий».

1.2.4.2. Дифференциальная токовая защита трансформатора выполнена в виде одного комплекта с использованием реле ДЗТ-11 (*KAW1*, *KAW2*) и включением его тормозной обмотки на ток стороны низшего напряжения. При этом предполагается, что обеспечивается требуемый коэффициент чувствительности $k_ч \geqslant \geqslant 1{,}5$.

Учитывая, что для трансформаторов мощностью 6,3—16 МВ·А в соответствии с ПУЭ возможно выполнение дифференциальной токовой защиты с $I_{с.з} \geqslant \geqslant 1{,}5 I_{ном}$, в целях некоторого упрощения защиты может оказаться целесообразным для ее выполнения использование реле типа РНТ-565 вместо реле типа ДЗТ-11.

При замене выключателя *Q1* стороны высшего напряжения обходным дифференциальная защита переключается на трансформаторы тока в цепи обходного выключателя аналогично схеме рис. 1.1 (см. п. 1.2.1.2 описания рис. 1.1).

1.2.4.3. Схема дана для случая осуществления максимальной токовой защиты на стороне высшего напряжения с использованием комбинированного пускового органа напряжения, установленного в шкафу КРУ ввода 6—10 кВ. Поскольку при этом в шкафу КРУ будет установлена и остальная аппаратура релейной защиты, в рассматриваемой схеме защиты от внешних многофазных КЗ в целях унификации выполняются в виде двух комплектов, установленных со стороны высшего (комплектное устройство *AK1*) и низшего (реле *KA3*, *KA4*, *KT1*, *KT2*) напряжений, с общим пусковым органом напряжения *KVZ1*, *KV1*, *KL5*. Защита, установленная со стороны 6—10 кВ, действует на отключение выключателя *Q2*, при этом пускается устройство

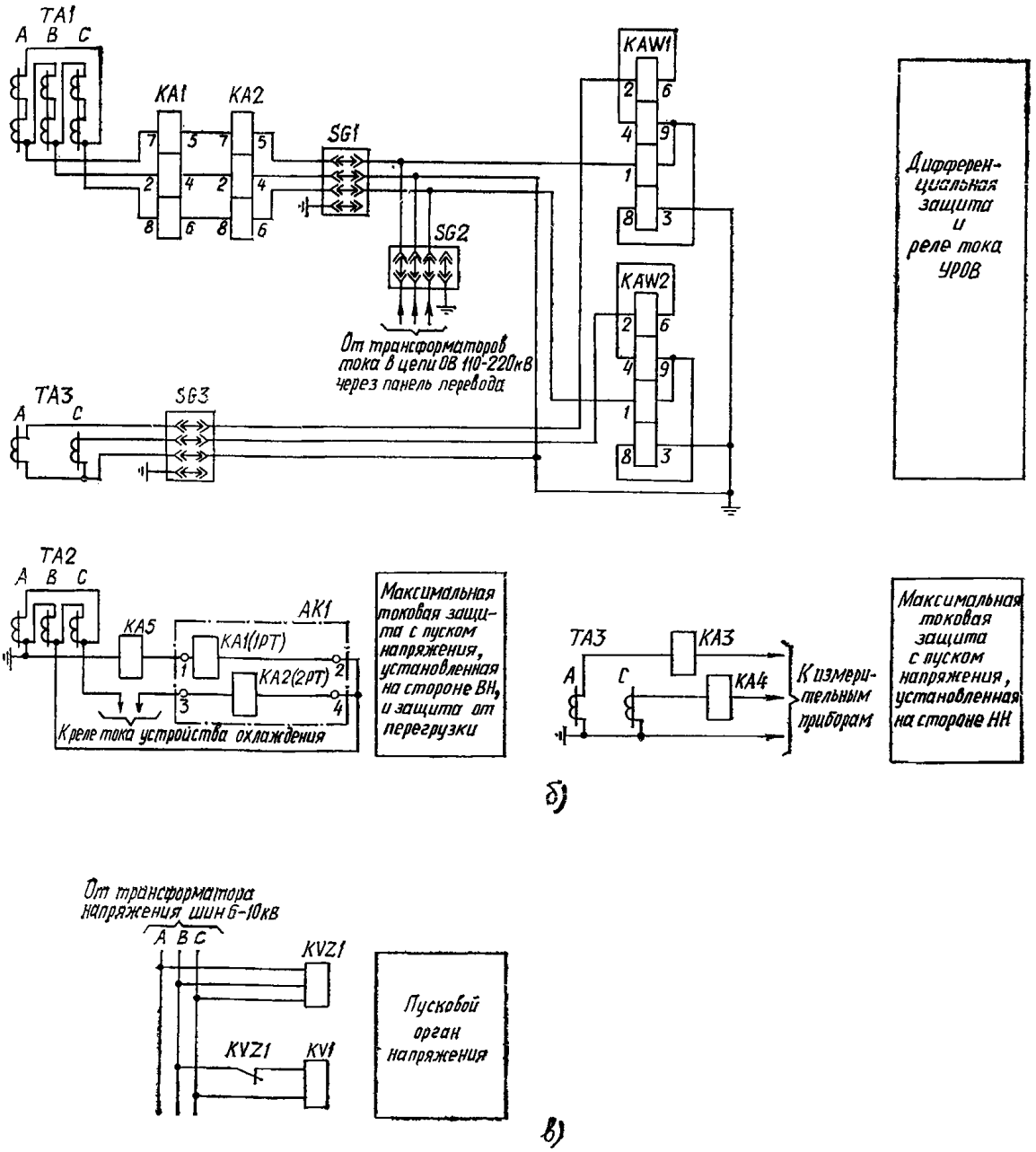


Рис. 1.4. Продолжение

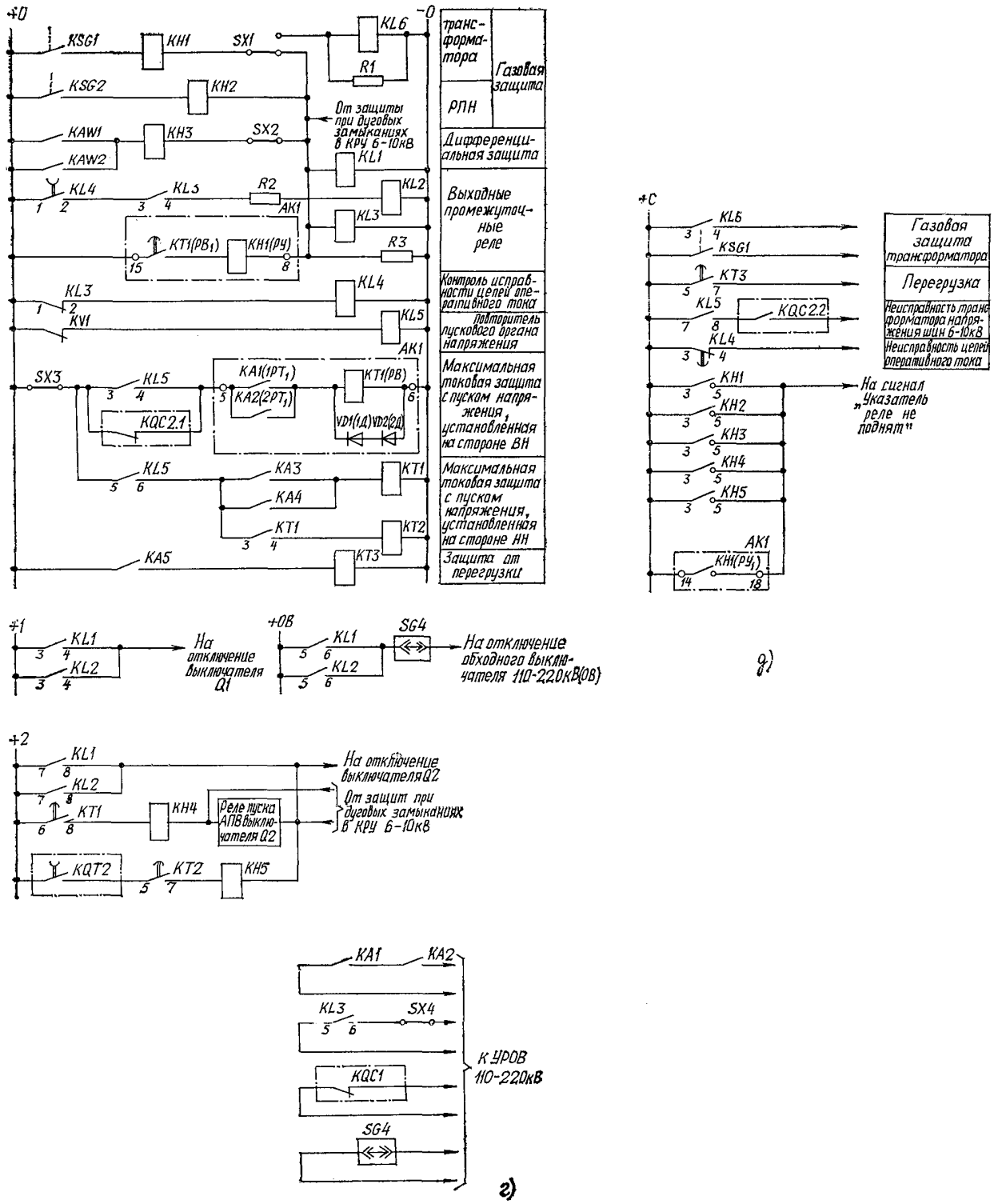


Рис. 1.4. Продолжение

АПВ выключателя *Q2*. Защита *AK1* действует с выдержкой времени, на ступень большей времени действия защиты, установленной на стороне низшего напряжения, на выходные промежуточные реле *KL1—KL3*. Максимальные токовые защиты могут выполняться без пускового органа напряжения (если это допустимо по условиям обеспечения чувствительности). В этом случае последний исключается их схемы с помощью перемычки между зажимами панели.

При отключении выключателя *Q2* контакт пускового органа напряжения защиты *AK1* шунтируется контактом реле положения «включено» выключателя *KQC2.1*, что необходимо для ликвидации повреждения между выключателем *Q2* и трансформаторами тока *TA3*.

При неиспользовании защиты, предусмотренной в КРУ 6—10 кВ, максимальную токовую защиту, установленную со стороны высшего напряжения, пришлось бы выполнить с двумя выдержками времени, для чего нужно было бы иметь на панели дополнительное реле времени. При наличии имеющейся в КРУ аппаратуры указанное представляется нецелесообразным.

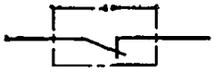
1.2.4.4. Защита от перегрузки выполнена с помощью реле тока *KA5*, установленного со стороны высшего напряжения, и реле времени *KT3*.

1.2.4.5. В схеме предусмотрено автоматическое ускорение максимальной токовой защиты с пуском напряжения, установленной на стороне 6—10 кВ. Пуск ускорения осуществляется контактом реле положения «отключено» выключателя (реле *KQT2*); ускорение выполнено с выдержкой времени (реле *KT2*) для предотвращения ложного действия защиты из-за броска пусковых токов двигателей нагрузки.

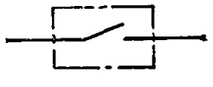
1.2.4.6. В рассматриваемой схеме выполнено самоудерживание выходных промежуточных реле *KL1—KL3* по аналогии со схемой рис. 1.1 (см. п. 1.2.1.6).

1.2.4.7. Данная схема выполнена с использованием следующей аппаратуры: *AK1* — комплект защиты типа КЗ-12; *KA1, KA2* — реле тока типа РТ-40/Р; *KA3—KA5* — реле тока типа РТ-40; *KAW1, KAW2* — реле тока с торможением типа ДЗТ-11; *KH1—KH3* — реле указательные типа РУ-1/0,05; *KH4, KH5* — реле указательные типа РУ-1; *KL1—KL3, KL5, KL6* — реле промежуточные типа РП-23; *KL4* — реле промежуточное типа РП-252; *KSG1, KSG2* — реле газовые; *KT1* — реле времени типа РВ-132; *KT2* — реле времени типа РВ-114; *KT3* — реле времени типа РВ-133; *KV1* — реле напряжения типа РН-54/160; *KVZ1* — фильтр-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1М; *R1* — резистор типа ПЭВ-25, 3900 Ом; *R2* — резистор типа ПЭВ-10, 100 Ом; *R3* — резистор типа ПЭВ-50, 1500 Ом; *SG1—SG4* — блоки испытательные типа БИ-4; *SX1—SX4* — накладки типа НКР-3.

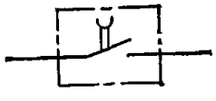
В схеме приняты следующие обозначения:



— *KQC1.1* и *KQC2.1* — контакты реле положения «включено» выключателей *Q1* и *Q2*;



— *KQC2.2* — контакт реле положения «включено» выключателя *Q2*;



— *KQT2* — контакт реле положения «включено» выключателя *Q2*.

1.2.5. Принципиальная схема релейной защиты понижающего трансформатора 110—220/35/6—10 кВ с питанием со сторон высшего и среднего напряжений (дифференциальная защита выполняется с одним комплектом реле ДЗТ-11) приведена на рис. 1.5.

1.2.5.1. Схема дана для трехобмоточного трансформатора 110—220/35/6—10 кВ мощностью 25—63 МВ·А при наличии на сторонах 110—220 и 35 кВ сборных шин, а на стороне низшего напряжения сдвоенного реактора. На стороне 110—220 кВ установлены выключатель и выносные трансформаторы тока, а на стороне 35 кВ — выключатель со встроенными во втулки его трансформаторами тока. Схема может быть принципиально использована также для подстанций со схемами электрических соединений на стороне высшего напряжения «мостик с выключателем в перемычке и отделителями в цепях трансформаторов» и «два блока с отделителями и неавтоматической перемычкой со стороны линий».

1.2.5.2. Дифференциальная токовая защита трансформатора выполнена в виде одного комплекта (реле *KAW1, KAW2, KAW3*) с использованием реле с торможением типа ДЗТ-11, тормозная обмотка которого включена на ток стороны среднего напряжения. При этом предполагается, что при КЗ за реактором обеспечивается требуемый минимальный коэффициент чувствительности ($k_ч \geqslant 1{,}5$).

Следует отметить, что в некоторых случаях в целях повышения чувствительности может потребоваться включение тормозной обмотки реле ДЗТ-11 на сумму токов сторон среднего и низшего напряжений в соответствии с рис. 1.9. Однако при таком включении тормозной обмотки в случае КЗ на стороне низшего напряжения в режиме с отключенным выключателем стороны высшего напряжения торможение будет очень мало либо будет отсутствовать; указанное представляется допустимым, учитывая, как правило, небольшую мощность источника питания со стороны среднего напряжения, снижение тока небаланса в этом режиме (связанное с уменьшением тока КЗ и отсутствием влияния регулирования напряжения под нагрузкой), а также малую вероятность такого режима.

При замене выключателя *Q1* стороны высшего напряжения обходным выключателем дифференциальная защита переключается с трансформаторов тока *TA1* на трансформаторы тока в цепи обходного выключателя с помощью испытательных блоков *SG1* и *SG2* в схеме защиты трансформатора и соответствующих испытательных блоков в схеме панели перевода по рис. П2.1

1.2.5.3. Защиты от внешних многофазных КЗ выполнены в виде четырех комплектов максимальной токовой защиты с комбинированным пуском напряжения.

Максимальная токовая защита, установленная на стороне высшего напряжения, содержит три реле тока— *KA3, KA4, KA5*, питающихся от трансформаторов тока *TA2* и соединенных в звезду; такое выполнение принято в целях повышения чувствительности к КЗ между двумя фазами на стороне низшего напряжения. Защита предназначена для резервирования отключений КЗ на шинах среднего и низшего напряжений, а также для резервирования основных защит трансформатора.

Максимальные токовые защиты, установленные на ответвлениях к *I* и *II* секциям шин низшего напряжения (реле тока *KA6, KA7* и *KA8, KA9*) и питаемые соответственно от трансформаторов тока *TA7* и *TA8*, предназначены для отключения КЗ на шинах низшего напряжения и для резервирования отключений КЗ на элементах, присоединенных к этим шинам.

Пусковые органы напряжения защит питаются соответственно от трансформаторов напряжения *I* и *II* секций шин низшего напряжения.

Защиты расположены в шкафах КРУ выключателей вводов низшего напряжения и с первой выдержкой времени действуют на отключение выключателей ответвлений *Q3, Q4*, а со второй — на выходные промежуточные реле *KL1—KL5*. Последнее выполнено с целью ликвидации КЗ в зоне между выключателем ответвления *Q3* или *Q4* и трансформаторами тока *TA7* или *TA8*, а

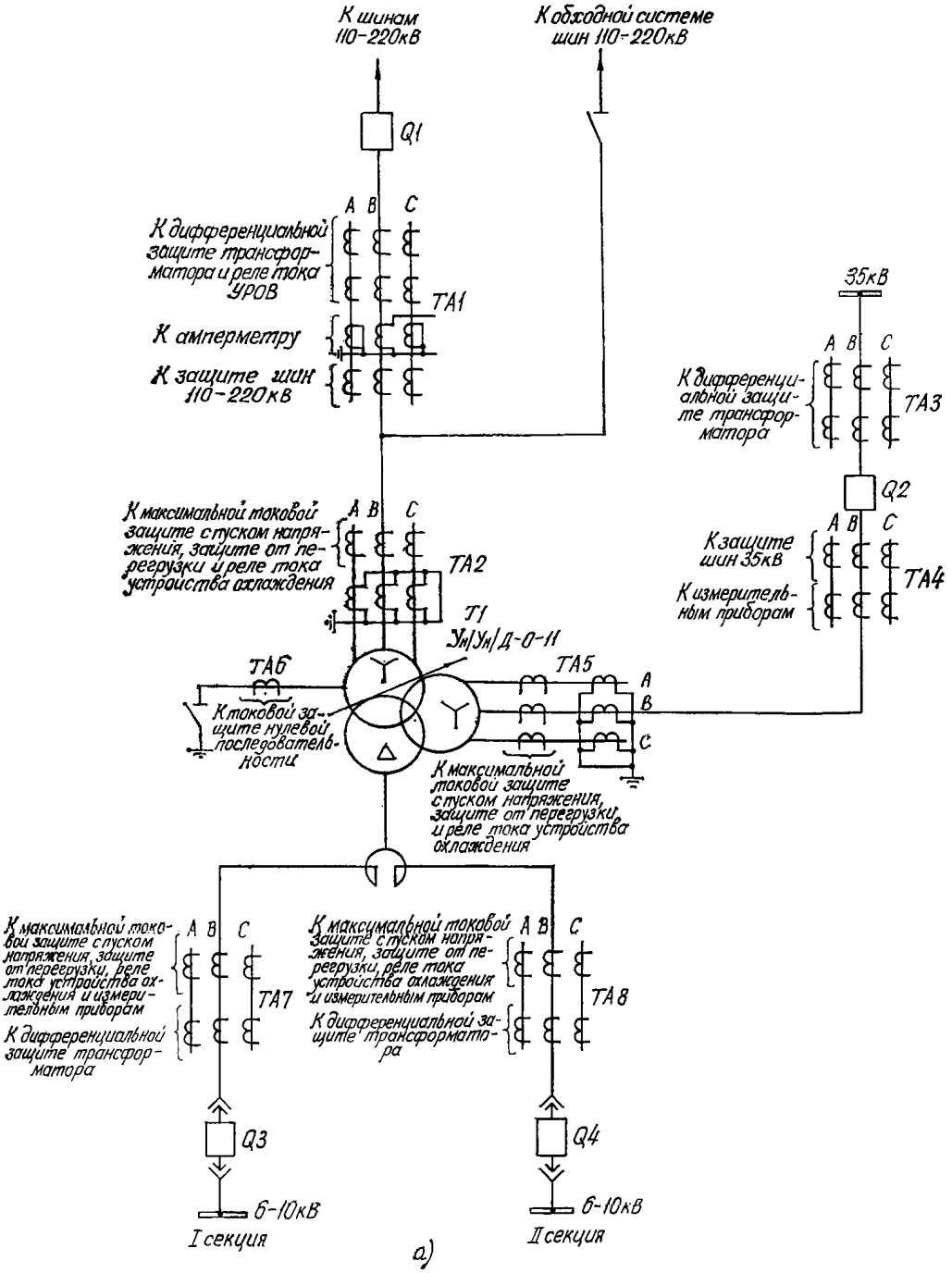


Рис. 1.5. Принципиальная схема релейной защиты понижающего трехобмоточного трансформатора 110—220/35/6—10 кВ с питанием со сторон высшего и среднего напряжений (дифференциальная защита выполняется с одним комплектом реле ДЗТ-11):

а — поясняющая схема; *б* — цепи переменного тока; *в* — цепи напряжения; *г* — цепи оперативного постоянного тока; *д* — выходные цепи; *е* — цепи сигнализации

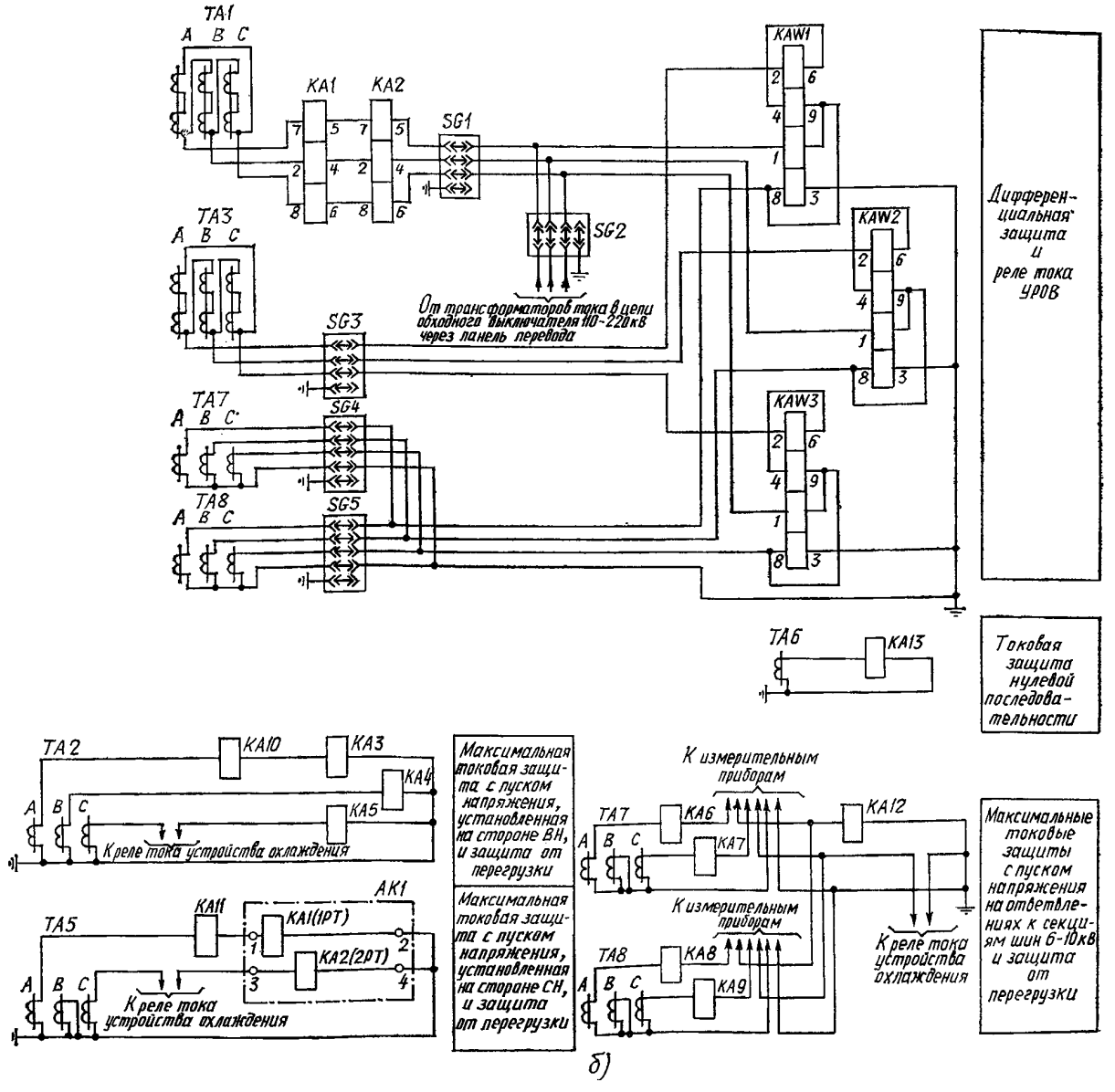


Рис. 1.5. Продолжение

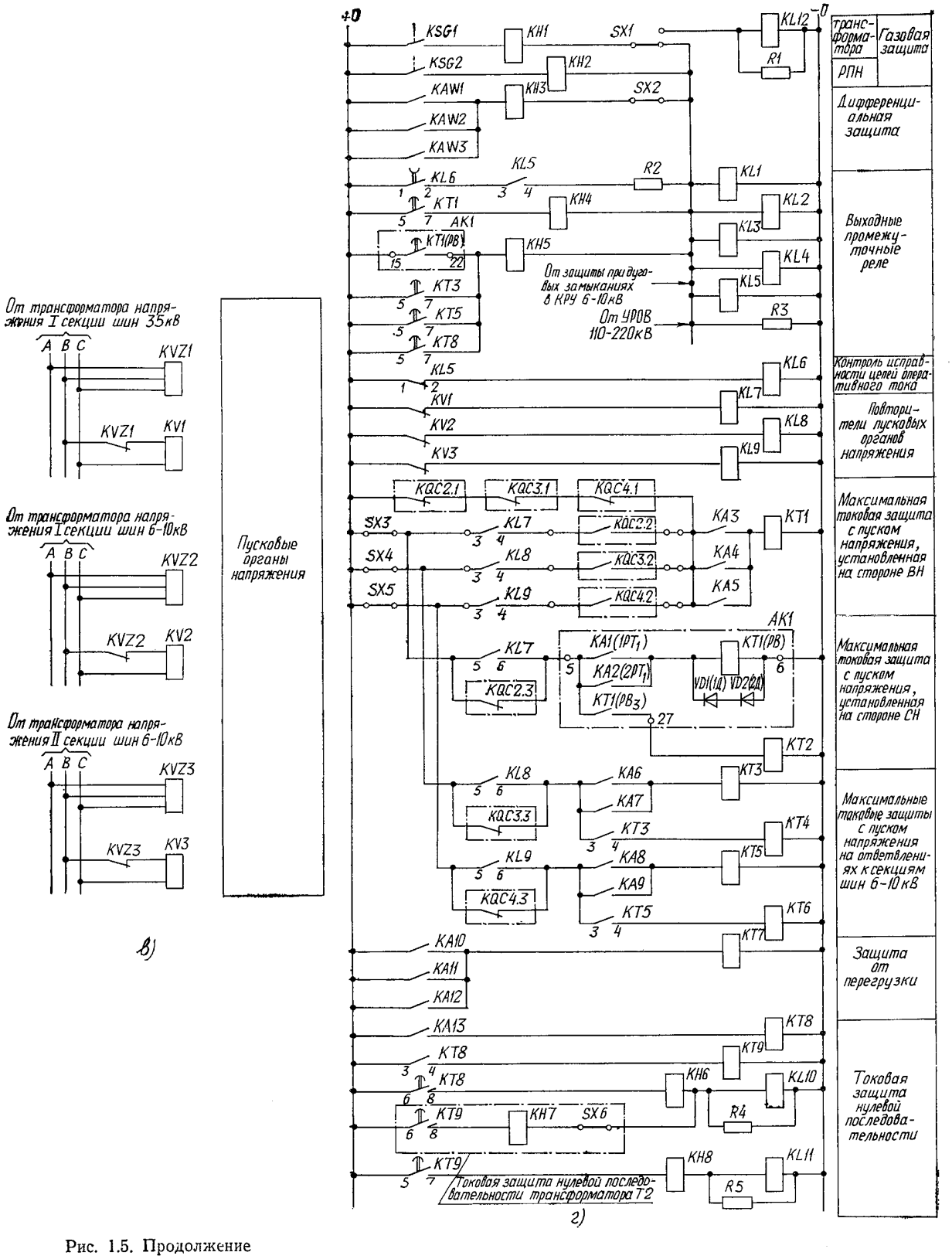


Рис. 1.5. Продолжение

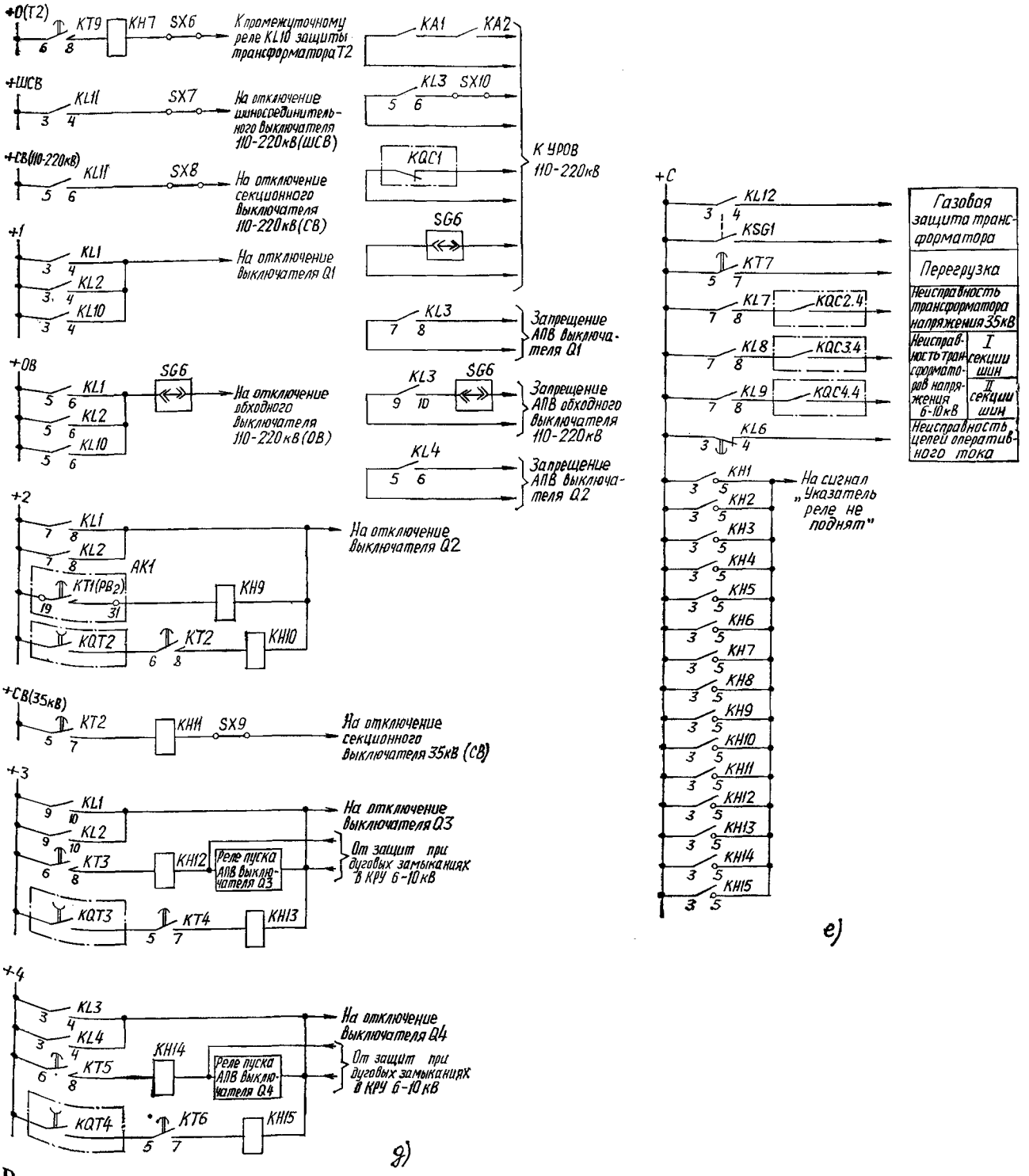


Рис. 1.5. Продолжение

также для отключения КЗ на секции шин низшего напряжения, сопровождающегося отказом выключателя.

При отключении выключателя ответвления *Q3* (*Q4*) производится пуск его устройства АПВ, осуществляемый реле пуска АПВ выключателя *Q3* (*Q4*).

Максимальная токовая защита, установленная на стороне среднего напряжения, в целях увеличения защищаемой зоны питается от трансформаторов тока *TA5*, встроенных во втулки 35 кВ трансформатора. Защита выполнена с использованием комплекта защит *AK1* типа КЗ-12. Пусковой орган защиты питается от трансформатора напряжения шин 35 кВ.

С первой выдержкой времени защита действует (через контакт *5-7* реле *KT2*) на разделение секций шин 35 кВ, со второй (через контакт *19-31* реле времени *KT1* в устройстве *AK1*) — на отключение выключателя *Q2* и с третьей (через контакт *15-22* реле времени *KT1* в устройстве *AK1*) — на выходные промежуточные реле защиты *KL1—KL5*. Последнее предусмотрено для отключения повреждения в зоне между трансформаторами тока *TA5*, от которых питается защита, и выключателем *Q2*.

Комбинированные пусковые органы напряжения защит, установленных на ответвлениях к *I* и *II* секциям шин низшего напряжения *KVZ2, KV2, KL8* и *KVZ3, KV3, KL9* и на стороне среднего напряжения *KVZ1, KV1, KL7*, используются также в качестве пусковых органов максимальной токовой защиты *KA3—KA5*, установленной на стороне высшего напряжения. Последняя действует на выходные промежуточные реле защиты трансформатора *KL1—KL5* с выдержкой времени, равной наибольшей из последних выдержек времени защит, установленных на сторонах низшего и среднего напряжений. Максимальные токовые защиты могут выполняться без пускового органа напряжения (если это допустимо по условиям чувствительности). В этом случае последний исключается из схемы с помощью перемычек между зажимами панели.

При отключении выключателя *Q3* или *Q4* контакт соответствующего пускового органа защиты, питаемой от трансформаторов тока *TA7* или *TA8*, шунтируется контактом реле положения «включено» выключателя *KQC3.3* или *KQC4.3*, что необходимо для ликвидации повреждения между выключателем и трансформатором тока.

Кроме того, контактами *KQC3.2* или *KQC4.2* осуществляется выведение цепи пуска защиты *KA3—KA5* от соответствующего органа напряжения при отключении выключателя *Q3* или *Q4*.

Точно так же осуществляется шунтирование пускового органа защиты *AK1* и выведение цепи пуска защиты *KA3—KA5* от органа напряжения контактами реле положения «включено» соответственно *KQC2.3* и *KQC2.2* при отключении выключателя 35 кВ *Q2*.

Схемой предусмотрено действие защиты *KA3—KA5* без пускового органа напряжения, шунтируемого цепью из размыкающих контактов *KQC2.1, KQC3.1* и *KQC4.1*, в режиме опробования трансформатора напряжением, подаваемым при включении выключателя *Q1*.

1.2.5.4. Одноступенчатая токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю, установленная на стороне 110—220 кВ (реле *KA13, KT8, KT9, KL10* и *KL11*), предназначена для резервирования отключения замыкания на землю на шинах 110—220 кВ и отходящих от них линиях, а также для резервирования основных защит трансформатора. Защита выполнена с учетом возможности работы одного из трансформаторов подстанции 110 кВ с разземленной нейтралью. В связи с последним защита трансформатора с заземленной нейтралью с первой выдержкой времени (через контакты *3-4* реле *KT8* и *6-8* реле *KT9*) действует на отключение выключателя высшего напряжения (или заменяющего его обходного выключателя) трансформатора с разземленной нейтралью; указанным предотвра-

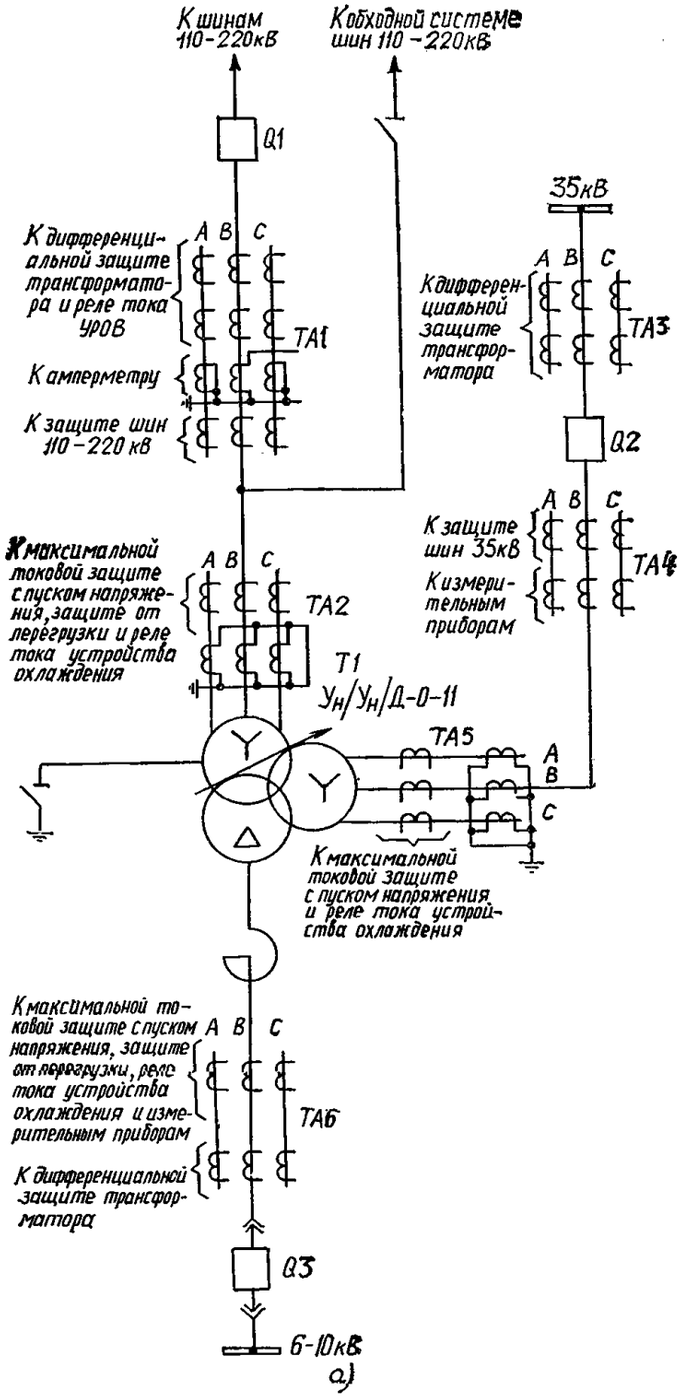


Рис. 1.6. Принципиальная схема релейной защиты понижающего трехобмоточного трансформатора 110—220/35/6—10 кВ с питанием со стороны высшего напряжения (дифференциальная защита выполняется с одним комплектом реле ДЗТ-11):

а — поясняющая схема; *б* — цепи переменного тока; *в* — цепи напряжения; *г* — цепи оперативного постоянного тока и выходные цепи; *д* — цепи сигнализации

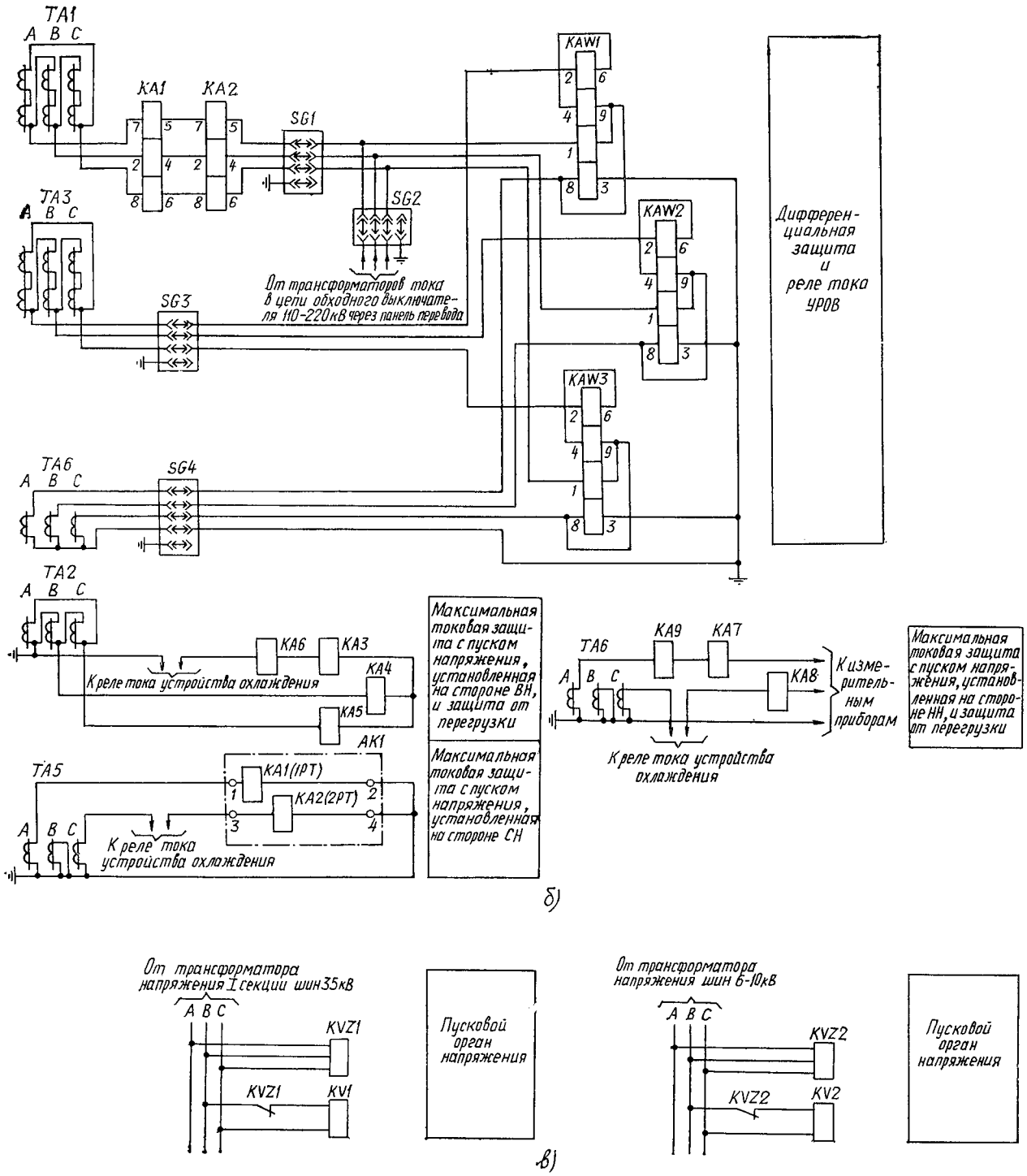


Рис. 1.6. Продолжение

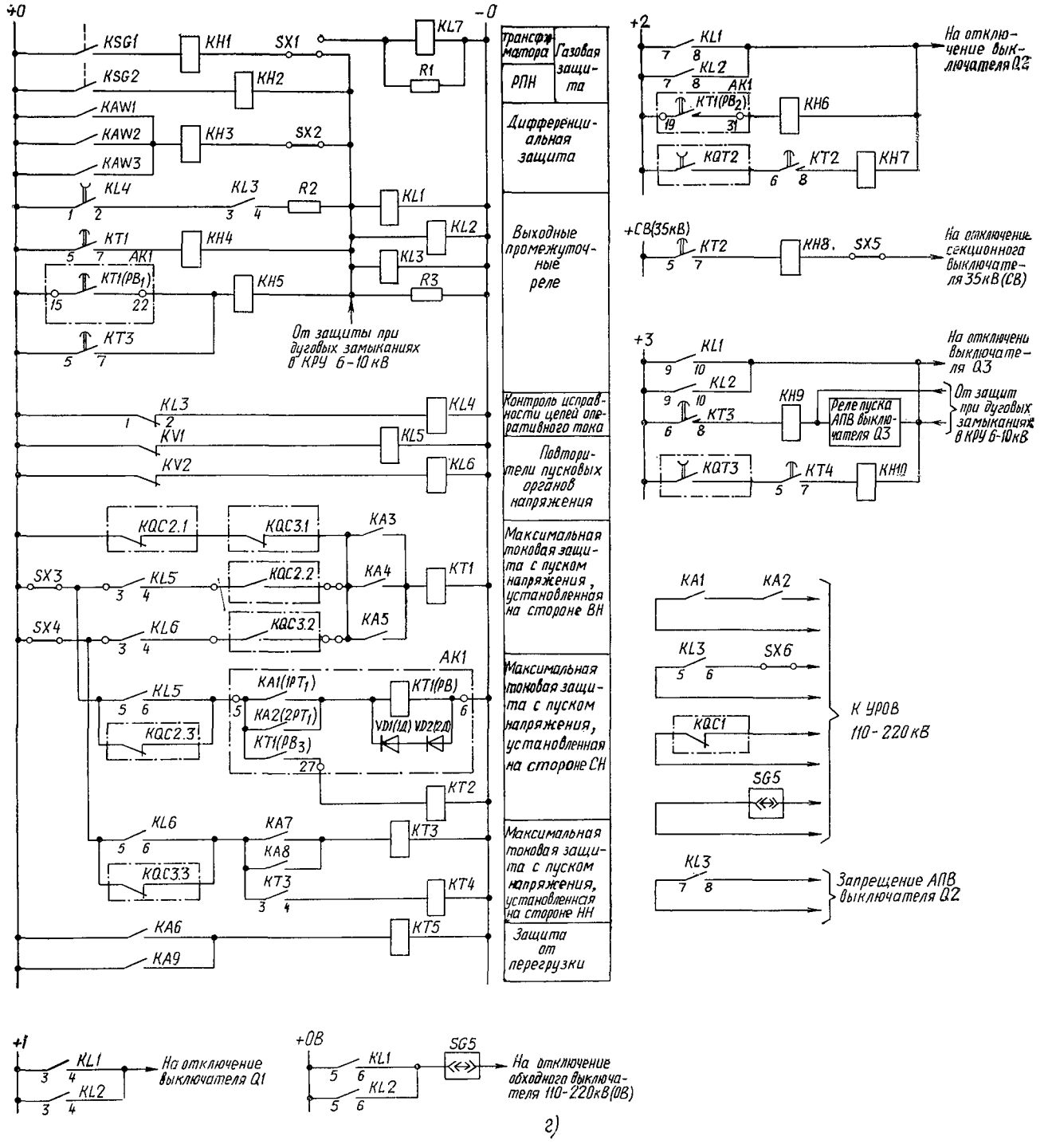
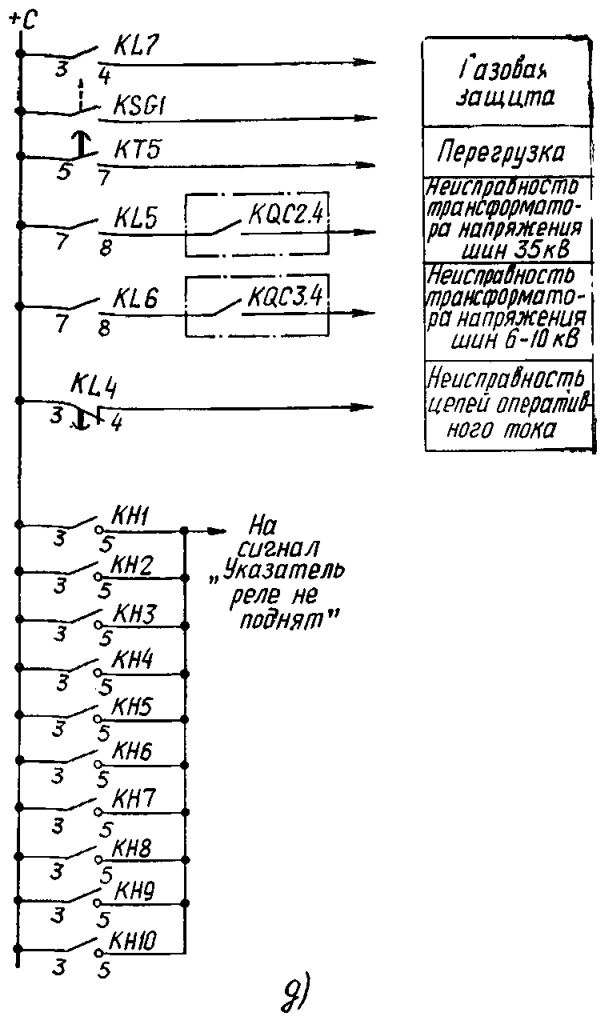


Рис. 1.6. Продолжение



д)

Рис. 1.6. Продолжение

щается недопустимый для последнего режим работы с изолированной нейтралью на шины 110 кВ с замыканием на землю одной фазы (см. п. 1.1.5). Далее защита действует на разделение секций и систем шин 110—220 кВ (через контакты *5-7* реле *KT9* и реле *KL11*), затем — на отключение выключателя *Q1* (или заменяющего его обходного выключателя) защищаемого трансформатора (через контакт *6-8* реле *KT8* и реле *KL10*) и затем — на выходные промежуточные реле *KL1—KL5* (через контакт *5-7* реле *KT8*).

В случае, когда оба трансформатора на подстанции работают с заземленной нейтралью (например, на подстанции 220 кВ), цепь контакта *6-8* реле *KT9* не используется.

1.2.5.5. Защита от перегрузки выполнена с помощью реле тока *KA10*, *KA11* и *KA12*, установленных соответственно со сторон высшего, среднего и низшего напряжений, и реле времени *KT7*.

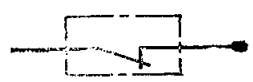
1.2.5.6. В схеме предусмотрено автоматическое ускорение при включении выключателя максимальных токовых защит, установленных на ответвлениях к *I* и *II* секциям шин низкого напряжения и на стороне среднего напряжения. Пуск ускорения осуществляется контактами реле положения «отключено» *KQT3* или *KQT4* и *KQT2* выключателей *Q3* или *Q4* и *Q2*.

Ускорение выполнено с выдержкой времени реле *KT4* или *KT6* и *KT2* для предотвращения ложного действия защит из-за броска пусковых токов двигателей нагрузки.

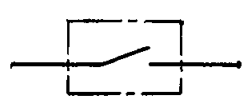
1.2.5.7. В схеме выполнено самоудерживание выходных промежуточных реле *KL1—KL5*, обеспечивающее надежный пуск УРОВ при возможных кратковременных замыканиях контактов газового реле. Снятие самоудерживания осуществляется при отпускании реле *KL6*; с помощью реле *KL6* осуществляется сигнализация (через контакт *3-4*) при исчезновении оперативного постоянного тока.

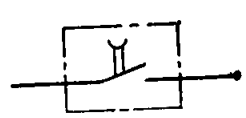
1.2.5.8. Данная схема выполнена с использованием следующей аппаратуры: *AK1* — комплект защиты типа КЗ-12; *KA1*, *KA2* — реле тока типа РТ-40/Р; *KA3—KA13* — реле тока типа РТ-40; *KAW1—KAW3* — реле тока с торможением типа ДЗТ-11; *KH1—KH8* — реле указательные типа РУ-1/0,05; *KH9—KH15* — реле указательные типа РУ-1; *KL1—KL5*, *KL7—KL12* — реле промежуточные типа РП-23; *KL6* — реле промежуточное типа РП-252; *KSG1*, *KSG2* — реле газовые; *KT1* — реле времени типа РВ-134; *KT2* — реле времени типа РВ-128; *KT3*, *KT5*, *KT8*, *KT9* — реле времени типа РВ-132; *KT4*, *KT6* — реле времени типа РВ-114; *KT7* — реле времени типа РВ-133; *KV1—KV3* — реле напряжения типа РН-54/160; *KVZ1—KVZ3* — фильтры-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1М; *R1*, *R4*, *R5* — резисторы типа ПЭВ-25, 3900 Ом; *R2* — резистор типа ПЭВ-10, 100 Ом; *R3* — резистор типа ПЭВ-25, 2200 Ом; *SG1—SG3*, *SG6* — блоки испытательные типа БИ-4; *SG4*, *SG5* — блоки испытательные типа БИ-6; *SX1—SX10* — накладки типа НКР-3.

В схеме приняты следующие обозначения:



— *KQC1*, *KQC2*, *KQC3*, *KQC4*—контакты реле положения «включено» выключателей соответственно *Q1*, *Q2*, *Q3*, *Q4*;





— *KQT2*, *KQT3*, *KQT4* — контакты реле положения «отключено» выключателей соответственно *Q2*, *Q3*, *Q4*.

1.2.6. **Принципиальная схема релейной защиты понижающего трехобмоточного трансформатора 110—220/35/6—10 кВ с питанием со стороны высшего напряжения (дифференциальная защита выполняется с одним комплектом реле ДЗТ-11) приведена на рис. 1.6.**

1.2.6.1. Схема дана для трехобмоточного трансформатора 110—220/35/6 — 10 кВ мощностью 25—63 МВ××А при наличии на сторонах 110—220 и 35 кВ сборных шин, а на стороне низшего напряжения одиночного реактора; на стороне 110—220 кВ установлены выключатель и выносные трансформаторы тока, а на стороне 35 кВ — выключатель со встроенными во втулки его трансформаторами тока.

Данная схема применима для трансформаторов мощностью менее 25 МВ·А, т. е. 6,3—16 МВ·А, и при отсутствии реактора.

Рассматриваемая схема может быть принципиально использована для подстанций со схемами электрических соединений на стороне высшего напряжения «мостик с выключателем в перемычке и отделителями в цепях трансформаторов» и «два блока с отделителями и неавтоматической перемычкой со стороны линий».

1.2.6.2. Дифференциальная токовая защита трансформатора выполнена в виде одного комплекта (реле *KAW1*, *KAW2*, *KAW3*) с использованием реле с торможением типа ДЗТ-11 и с включением тормозной его обмотки со стороны среднего напряжения. При этом предполагается, что при КЗ за реактором обеспечивается требуемый коэффициент чувствительности $k_ч \geqslant 1{,}5$.

Как указывалось выше (см. п. 1.2.5.2) в некоторых случаях в целях повышения чувствительности может потребоваться включение тормозной обмотки

реле ДЗТ-11 на сумму токов сторон среднего и низшего напряжений в соответствии с рис. 1.9.

Учитывая, что для трансформаторов мощностью 6,3—16 МВ·А в соответствии с ПУЭ возможно выполнение дифференциальной токовой защиты с $I_{с,з} \geqslant 1{,}5 I_{ном}$, в целях некоторого упрощения защиты может оказаться целесообразным для ее выполнения использовать реле типа РНТ-565 вместо реле типа ДЗТ-11.

При замене выключателя *Q1* стороны высшего напряжения обходным выключателем дифференциальная защита переключается с трансформаторов тока *TA1* на трансформаторы тока в цепи обходного выключателя с помощью испытательных блоков *SG1* и *SG2* в схеме защиты трансформатора и соответствующих испытательных блоков в схеме панели перевода по рис. П2.1.

1.2.6.3. Защиты от внешних многофазных КЗ выполнены в виде трех комплектов максимальной токовой защиты с комбинированным пуском напряжения и подобны, в основном, приведенным на рис. 1.5; отличие заключается в следующем: трансформаторы тока *TA2*, от которых питаются реле тока *KA3—KA5* защиты, установленной на стороне высшего напряжения, соединены в треугольник, что необходимо в целях предотвращения излишних срабатываний при КЗ на землю в сети 110—220 кВ (см. п. 1.1.4.3); на стороне 6—10 кВ установлена одна максимальная токовая защита *KA7*, *KA8*, питаемая от трансформаторов тока *TA6*.

1.2.6.4. Токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю на стороне 110—220 кВ в схеме не предусмотрена, так как отсутствует питание со стороны среднего напряжения, в схеме не предусмотрена.

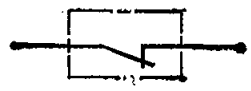
1.2.6.5. Защита от перегрузки выполнена с помощью реле тока *KA6*, *KA9*, установленных со сторон высшего и низшего напряжений, и реле времени *KT5*. Установка реле тока *KA6* и *KA9* предусмотрена в предположении, что номинальная мощность обмотки низшего напряжения меньше номинальной мощности трансформатора.

1.2.6.6. В схеме предусмотрено автоматическое ускорение при включении выключателя максимальных токовых защит, установленных на сторонах 6—10 и 35 кВ. Ускорение защит выполнено аналогично приведенному на рис. 1.5 (см. п. 1.2.5.6 описания схемы на рис. 1.5).

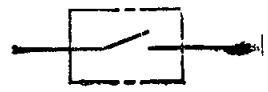
1.2.6.7. Самоудерживание выходных промежуточных реле *KL1—KL3* выполнено подобно приведенному на рис. 1.5 (см. п. 1.2.5.7).

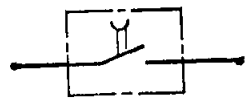
1.2.6.8. Данная схема выполнена с использованием следующей аппаратуры: *AK1* — комплект защиты типа КЗ-12; *KA1*, *KA2* — реле тока типа РТ-40/Р; *KA3—KA9* — реле тока типа РТ-40; *KAW1—KAW3* — реле тока с торможением типа ДЗТ-11; *KH1—KH5* — реле указательные типа РУ-1/0,05; *KH6—KH10* — реле указательные типа РУ-1; *KL1—KL3*, *KL5—KL7* — реле промежуточные типа РП-23; *KL4* — реле промежуточное типа РП-252; *KSG1*, *KSG2* — реле газовые; *KT1* — реле времени типа РВ-134; *KT2* — реле времени типа РВ-128; *KT3* — реле времени типа РВ-132; *KT4* — реле времени типа РВ-114; *KT5* — реле времени типа РВ-133; *KV1*, *KV2* — реле напряжения типа РН-54/160; *KVZ1*, *KVZ2* — фильтры-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1М; *R1* — резистор типа ПЭВ-25, 3900 Ом; *R2* — резистор типа ПЭВ-10, 100 Ом; *R3* — резистор типа ПЭВ-50, 1500 Ом; *SG1—SG3*, *SG5* — блоки испытательные типа БИ-4; *SG4* — блок испытательный типа БИ-6; *SX1—SX6* — накладки типа НКР-3.

В схеме приняты следующие обозначения:



— *KQC1*, *KQC2*, *KQC3* — контакты реле положения «включено» выключателей соответственно *Q1*, *Q2*, *Q3*;





— *KQT2*, *KQT3* — контакты реле положения «отключено» выключателей соответственно *Q2*, *Q3*.

1.2.7. Принципиальная схема релейной защиты понижающего трехобмоточного трансформатора 110—220/35/6—10 кВ с питанием со сторон высшего и среднего напряжений (дифференциальная защита выполняется с двумя комплектами реле ДЗТ-11) приведена на рис. 1.7.

1.2.7.1. Схема дана для трехобмоточного трансформатора 110—220/35/6—10 кВ мощностью 40 МВ·А и более при наличии на стороне 110—220 кВ схемы «мостик с выключателем в перемычке и отделителями в цепях трансформаторов», а на стороне низшего напряжения 6—10 кВ сдвоенного реактора для случая, когда:

на сторонах 110—220 и 35 кВ установлены выключатели со встроенными во втулки трансформаторами тока;

в цепи трансформатора на стороне 110—220 кВ предусмотрена установка дополнительных выносных трансформаторов тока в целях повышения эффективности ближнего резервирования защит линии, при этом также обеспечивается снижение нагрузки на трансформаторы тока, используемые для релейной защиты линии и трансформатора и учета электроэнергии;

на стороне 35 кВ имеются сборные шины.

Рассматриваемая схема может быть принципиально использована для подстанций со схемами электрических соединений на стороне высшего напряжения «сборные шины» и «два блока с отделителями и неавтоматической перемычкой со стороны линий».

1.2.7.2. Дифференциальная токовая защита трансформатора выполнена в виде двух комплектов с использованием реле с торможением типа ДЗТ-11 и с включением тормозной обмотки на ток стороны среднего напряжения. При этом предполагается, что в случае выполнения защиты в виде одного комплекта *KAW1*, *KAW2*, *KAW3* обеспечивается требуемая чувствительность к КЗ на выводах низшего напряжения трансформатора, но не обеспечивается требуемая чувствительность к КЗ за реактором.

В связи с этим выполняется второй — чувствительный комплект *KAW4*, *KAW5*, *KAW6* с током срабатывания порядка $I_{с,з} = (0{,}75 \div 1) I_{ном}$ и выдержкой времени в пределах $t_{с,з} = (0{,}5 \div 1)$ с.

Чувствительный комплект в ряде случаев представляет собой единственную защиту реактора, поскольку максимальная токовая защита, установленная на стороне высшего напряжения трансформатора, может оказаться нечувствительной к КЗ за реактором. Такое решение в соответствии с ПУЭ является допустимым.

Чувствительный комплект не следует рассматривать как комплект, осуществляющий полноценное резервирование грубого комплекта, поскольку оба имеют общие цепи. Грубый и чувствительный комплекты представляют собой практически одну двухступенчатую дифференциальную защиту.

Следует учесть, что в некоторых случаях в целях повышения чувствительности может потребоваться включение тормозной обмотки ДЗТ-11 на сумму токов сторон среднего и низшего напряжений в соответствии с рис. 1.9 (см. п. 1.2.5.2).

1.2.7.3. Защиты от внешних многофазных КЗ выполнены в виде четырех комплектов максимальной токовой защиты с комбинированным пуском напряжения, установленных соответственно на сторонах высшего (реле *KA1*, *KA2*, *KA3*, *KT3*), среднего (комплект защиты *AK1*) и на ответвлениях к *I* и *II* секциям шин низшего напряжений (реле *KA4*, *KA5*, *KT5*, *KT6* и *KA6*, *KA7*, *KT7*, *KT8*).

Максимальная токовая защита, установленная на стороне высшего напряжения, предназначена для резервирования отключения КЗ в трансформаторе, а в отдельных режимах может действовать и при КЗ за реактором. Защиты от внешних многофазных КЗ выполнены подобно приведенным на рис. 1.5 (см. п. 1.2.5.3).

Следует отметить, что защиту реактора можно было бы выполнить без установки рассматриваемого чувствительного комплекта дифференциальной токовой защиты, а именно с помощью чувствительной максимальной токовой защиты, установленной на стороне низшего напряжения и питаемой от трансформаторов тока, специально устанавливаемых на участке между выводами низшего напряжения трансформатора и реактором.

Однако типовая конструктивная разработка установки таких трансформаторов тока отсутствует, поэтому соответствующая схема не приводится.

1.2.7.4. Одноступенчатая токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю, установленная на стороне 110—220 кВ (реле *KA11*, *KT10*, *KT11*, *KL12* и *KL13*), предназначена для резервирования отключения замыканий на землю на линиях 110—220 кВ, а также для резервирования основных защит трансформатора.

Защита выполнена в предположении, что оба трансформатора на подстанции всегда работают с заземленной нейтралью. Защита с первой выдержкой времени действует на отключение выключателя *Q1* в перемычке (через контакт *6-8* реле *KT10* и реле *KL12*), далее — на отключение выключателей трансформатора *Q2*, *Q3* и *Q4* (через контакт *5-7* реле *KT11* и реле *KL13*) и затем — на выходные промежуточные реле *KL1—KL6* (через контакт *5-7* реле *KT10*). Отключение выключателей трансформатора *Q3* и *Q4* осуществляется, например, при наличии синхронных двигателей, питаемых от шин 6—10 кВ.

1.2.7.5. Защита от перегрузки выполнена с помощью реле тока *KA8*, *KA9*, *KA10*, установленных со сторон высшего, среднего, низшего напряжений, и реле времени *KT9*.

1.2.7.6. В схеме предусмотрено автоматическое ускорение при включении выключателя максимальных токовых защит, установленных на ответвлениях к *I* и *II* секциям шин низшего и на стороне среднего напряжений. Ускорение защит выполнено аналогично приведенному на рис. 1.5 (см. п. 1.2.5.6).

1.2.7.7. При действии выходных промежуточных реле *KL1—KL6* подается сигнал на запрещение АПВ выключателя 35 кВ *Q2*.

Запрещение АПВ выключателя 110—220 кВ *Q1* в схеме не предусмотрено с целью обеспечения возможности его повторного включения после отключения отделителем *QR1* поврежденного трансформатора и восстановления транзита по линиям 110—220 кВ.

1.2.7.8. Схема выполнена с учетом ремонтного режима выключателя на стороне высшего напряжения *Q1*. При повреждении данного трансформатора в указанном ремонтном режиме его защита помимо отключения собственных выключателей должна также действовать и на отключение выключателей сторон среднего и низшего напряжений второго трансформатора. Отключение выключателей низшего напряжения необходимо при наличии синхронных двигателей, питаемых от шин 6—10 кВ. В рассматриваемом ремонтном режиме персоналом включается накладка *SX12* в цепях обмоток промежуточных реле *KL14* и *KL15*, контактами которых (*3-4*, *5-6*, *7-8*) вводятся цепи отключения выключателей второго трансформатора. Во избежание ошибок персонала в схеме предусмотрена световая сигнализация включенного положения накладки *SX12*.

1.2.7.9. Схема выполнена применительно к случаю, когда отключение выключателя на питающем конце линии *1* при повреждении трансформатора происходит при срабатывании защиты линии, вызываемой включением короткозамыкателя *QK1* (без выдержки времени) на рассматриваемой подстанции. Отключение поврежденного трансформатора осуществляется отделителем *QR1* в бестоковую паузу цикла АПВ питающей линии. Для случая, когда установка короткозамыкателя на подстанции невозможна, например по условию недостаточной отключающей способности выключателей при отключении неудаленных КЗ, в схеме предусмотрена возможность передачи отключающего сигнала на питающий конец линии *1* при срабатывании защиты трансформатора. Передача отключающего сигнала может осуществляться по ВЧ каналу с помощью аппаратуры АНКА-АВПА либо с помощью устройства передачи отключающего сигнала по кабелю связи. Для пуска устройства передачи отключающего сигнала используются две цепи (контакты *1-3* и *2-4* выходного промежуточного реле *KL6*). Наличие двух цепей значительно повышает надежность канала передачи отключающего сигнала при использовании аппаратуры АНКА-АВПА. Накладки *SX9* и *SX10* предусмотрены для вывода указанных цепей при неисправности устройства передачи отключающего сигнала.

При наличии ВЧ защиты на линии одна из указанных цепей используется для остановки ВЧ передатчика защиты линии *1*.

В случае, когда при допустимости установки короткозамыкателя необходимо применить передачу отключающего сигнала (например по условиям сокращения времени ликвидации повреждения на мощных трансформаторах) с целью резервирования передачи отключающего сигнала должен применяться короткозамыкатель, включение которого осуществляется с выдержкой времени реле *KT1*.

Для указанного выше ремонтного режима выключателя *Q1*, когда включается ремонтная перемычка из разъединителей на стороне высшего напряжения, необходимо помимо указанного в п. 1.2.7.8 осуществить также передачу отключающего сигнала на питающий конец линии *2* при срабатывании защиты данного трансформатора; для пуска этой цепи используются контакты реле *KL14* и *KL6*.

1.2.7.10. В цепи пуска выходных реле от газовой защиты предусмотрен контакт реле положения «включено» отделителя *KQC1*, что необходимо для снятия отключающего сигнала после отключения трансформатора, когда контакт газового реле продолжает оставаться замкнутым в течение некоторого времени. Этим обеспечивается успешное АПВ выключателя с питающего конца линии после отключения отделителя.

1.2.7.11. В схеме выполнено самоудерживание выходных промежуточных реле *KL1—KL6*, необходимое для обеспечения надежного отключения отделителя, которое происходит в бестоковую паузу после отключения выключателей трансформатора и на питающем конце линии. Пуск схемы отключения отделителя, приведенной на рис. 4.1, осуществляется выходными реле защиты трансформатора.

Снятие самоудерживания выходных реле в данной схеме осуществляется через заданное время при отпускании реле *KL7* типа РП-252, нормально находяще-

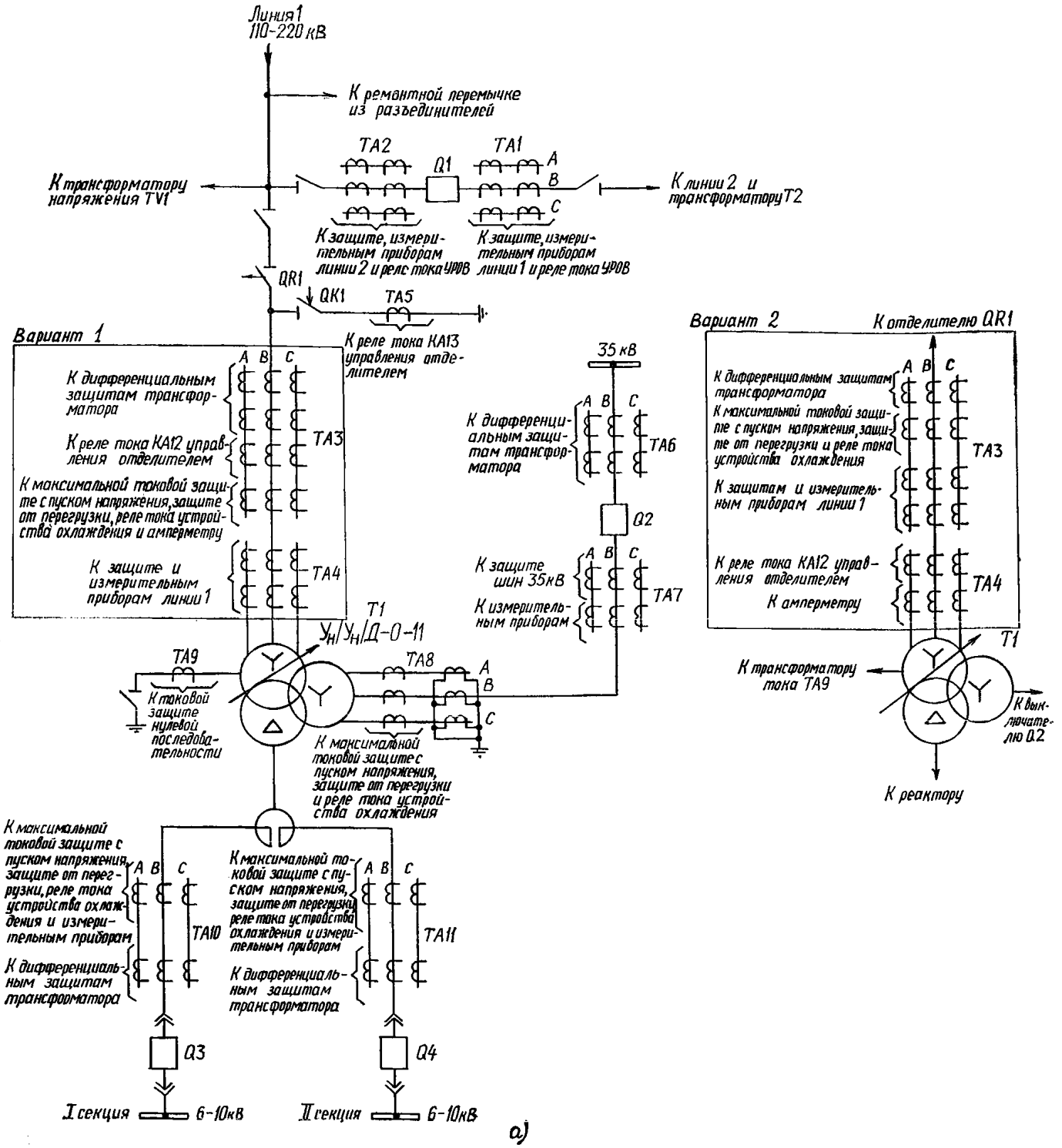


Рис. 1.7. Принципиальная схема релейной защиты понижающего трехобмоточного трансформатора 110—220/35/6—10 кВ с питанием со сторон высшего и среднего напряжений (дифференциальная защита выполняется с двумя комплектами реле ДЗТ-11):

а — поясняющая схема; *б* — цепи переменного тока; *в* — цепи напряжения; *г* — цепи оперативного постоянного тока и выходные цепи; *д* — цепи сигнализации

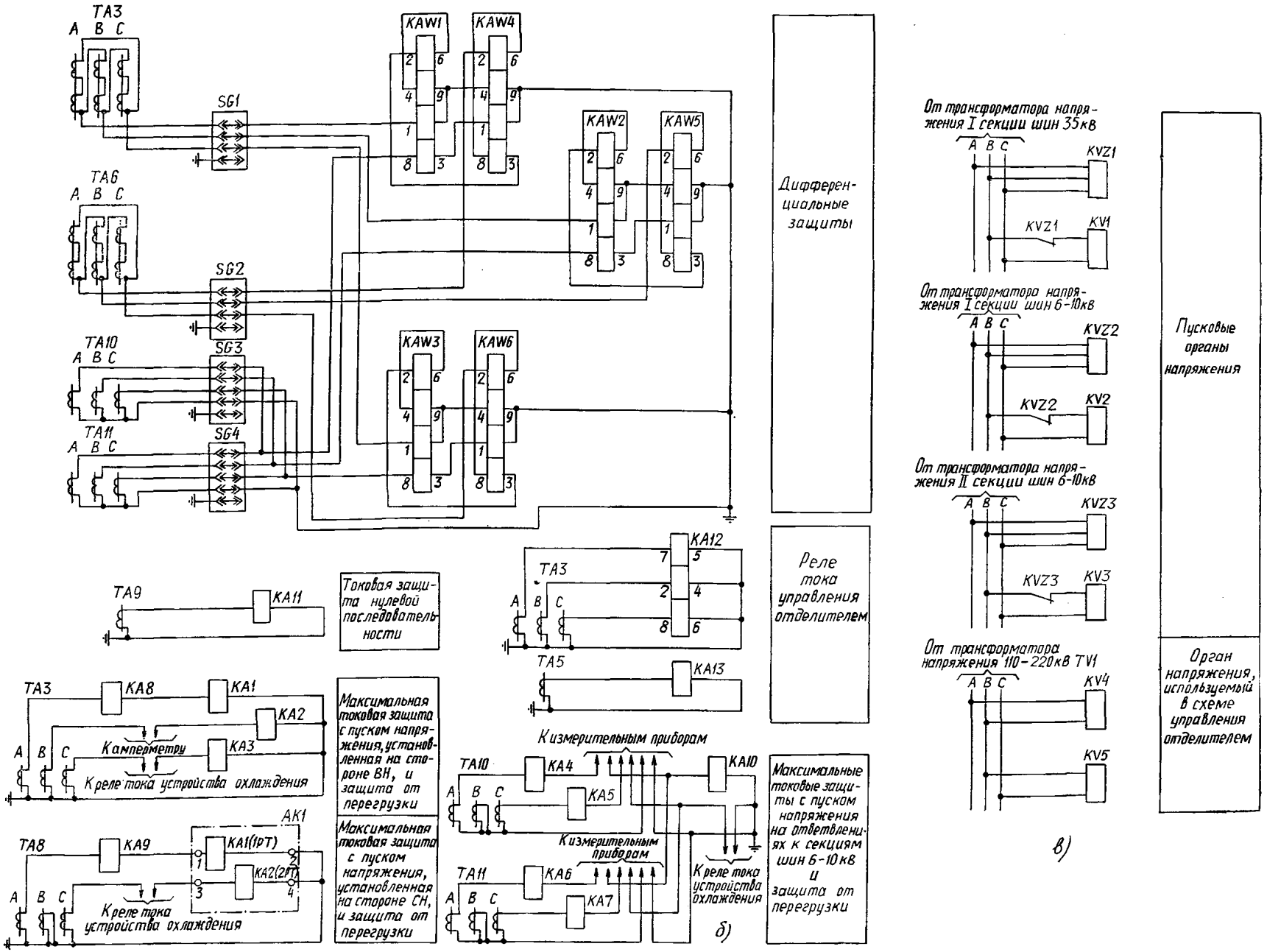


Рис. 1.7. Продолжение

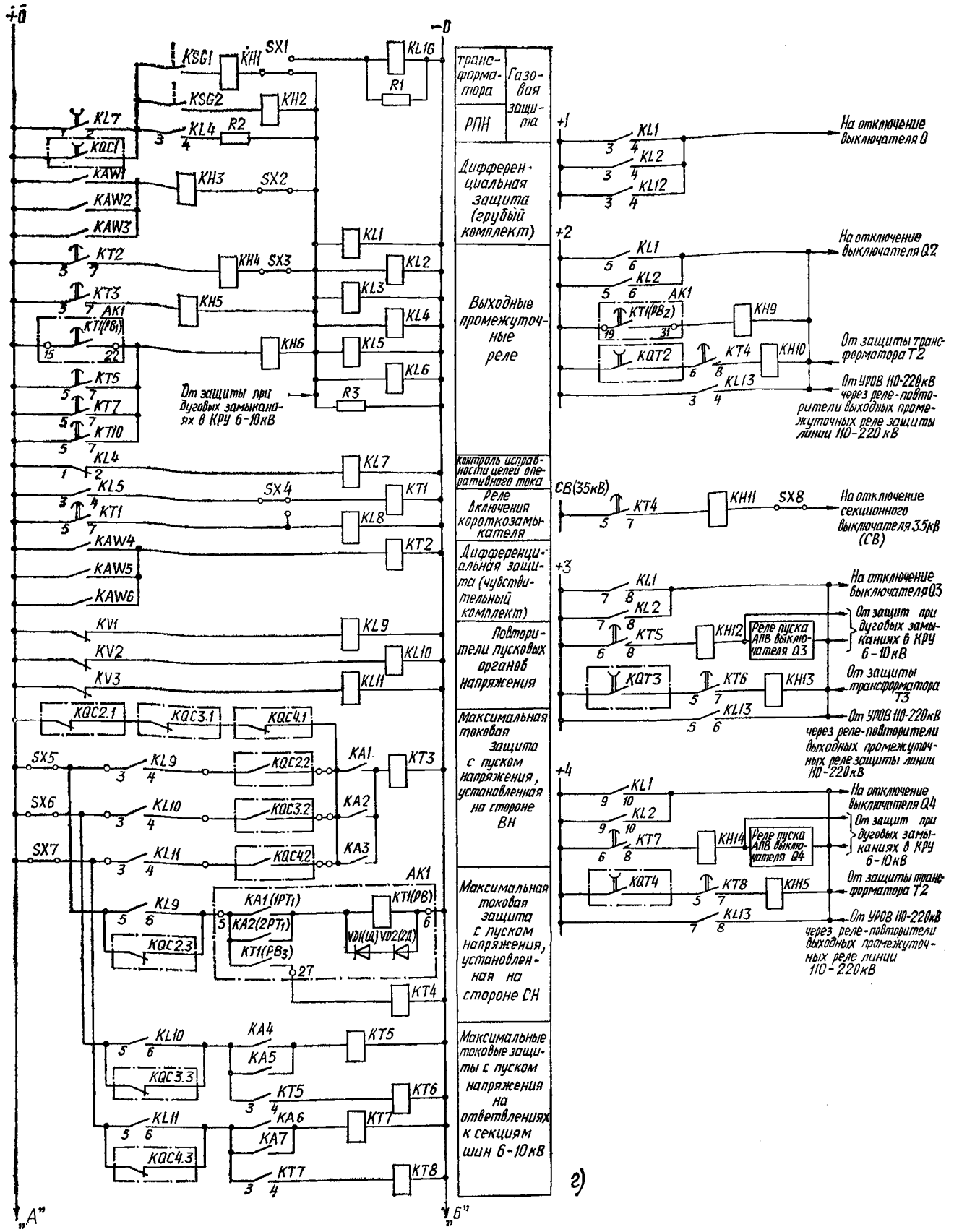


Рис. 1.7. Продолжение

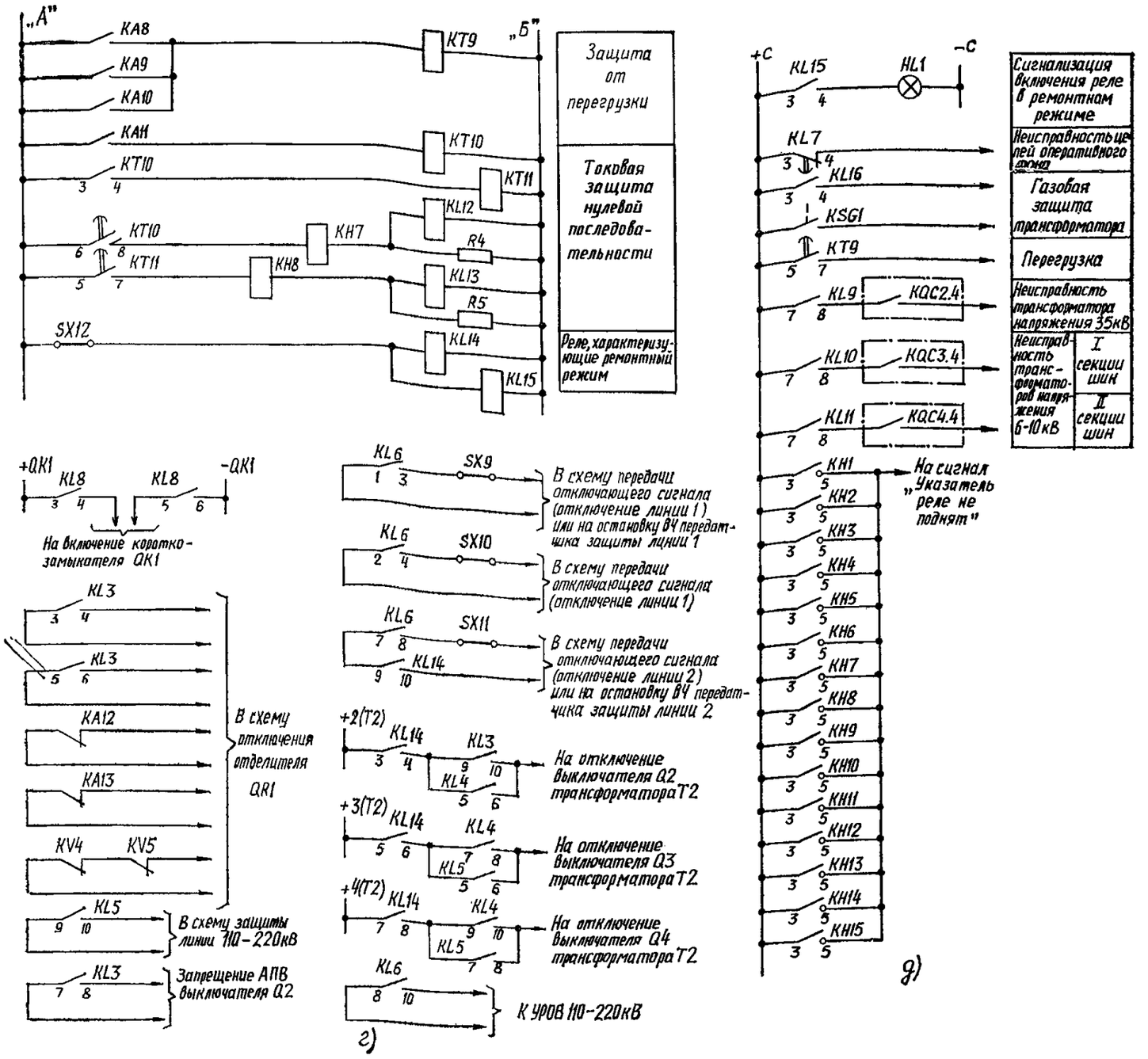


Рис. 1.7. Продолжение

гося под напряжением. Однако в рассматриваемой схеме этого времени может оказаться недостаточно для надежного отключения отделителя (поскольку к моменту возникновения бестоковой паузы реле *KL7* может вернуться). В связи с этим для снятия самоудерживания используется также упомянутый контакт *KQC1* отделителя, предусмотренный в цепи подведения + к контактам газовой защиты (см. п. 1.2.7.10). Сохранение указанного контакта *KL7* целесообразно для повышения надежности.

Реле *KL7* сигнализирует о неисправности цепей оперативного тока.

1.2.7.12. Предусмотренные в схеме реле тока *KA12*, *KA13* и реле напряжения *KV4*, *KV5* используются в схеме отключения отделителя (см. рис. 4.1).

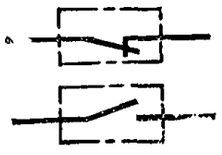
1.2.7.13. Следует отметить, что на поясняющей схеме рис. 1.7,*а* дано два варианта распределения трансформаторов тока. Вариант 1 — для случая включения защиты линии *1* (линии *2*) на сумму токов трансформаторов тока *TA1* и *TA4* (*TA2* и *TA4*). При невозможности объединения цепей указанных трансформаторов тока в связи с неодинаковыми их коэффициентами трансформации распределение защит по сердечникам трансформаторов тока должно выполняться в соответствии с вариантом *2*.

1.2.7.14. Схемой учтена необходимость использования в защите линии 110—220 кВ контакта выходного промежуточного реле защиты трансформатора *KL5* для остановки ВЧ передатчика ВЧ защиты линии.

1.2.7.15. Данная схема выполнена с использованием следующей аппаратуры: *AK1* — комплект защиты типа КЗ-12; *HL1* — лампа осветительная; *KA1* — *KA11*, *KA13* — реле тока типа РТ-40; *KA12* — реле тока типа РТ-40/Р; *KAW1* — *KAW6* — реле тока с торможением

типа ДЗТ-11; *KH1 — KH8* — реле указательные типа РУ-1/0,05; *KH9—KH15* — реле указательные типа РУ-1; *KL1—KL5, KL8—KL15* — реле промежуточные типа РП-23; *KL6* — реле промежуточное типа РП-222; *KL7* — реле промежуточное типа РП-252; *KSG1, KSG2* — реле газовые; *KT1, KT9* — реле времени типа *РВ-133*; *KT2, KT6, KT8* — реле времени типа РВ-114; *KT3, KT11* — реле времени типа РВ-134; *KT4* — реле времени типа РВ-128; *KT5, KT7, KT10* — реле времени типа РВ-132; *KV1 — KV3* — реле напряжения типа РН-54/160; *KV4, KV5* — реле напряжения типа РН-53/60Д; *KVZ1—KVZ3* — фильтры реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1М; *R1, R4, R5* — резисторы типа ПЭВ-25, 3900 Ом; *R2* — резистор типа ПЭВ-10, 100 Ом; *R3* — резистор типа ПЭВ-25, 2700 Ом; *SG1, SG2* — блоки испытательные типа БИ-4; *SG3, SG4* — блоки испытательные типа БИ-6; *SX1—SX12* — накладки типа НКР-3.

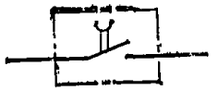
В схеме приняты следующие обозначения:



— *KQC2, KQC3, KQC4* — контакты реле положения «включено» выключателей соответственно *Q2, Q3, Q4*;



— *KQT2, KQT3, KQT4* — контакты реле положения «отключено» выключателей соответственно *Q2, Q3, Q4*;



— *KQC1* — контакт реле положения «включено» отделителя *QR1*.

Примечание к рис. 1.7. Рисунок 1.7,*г* должен быть дополнен контактом *9—10* промежуточного реле *KL5*, используемым в схеме защиты линии 110—220 кВ (в соответствии с указанным в п. 1.2.7.14).

1.2.8. Принципиальная схема релейной защиты понижающего трехобмоточного трансформатора 110—220/35/6—10 кВ с питанием со сторон высшего и среднего напряжений (дифференциальная защита выполняется с использованием ДЗТ-21) приведена на рис. 1.8.

1.2.8.1. Схема дана для трехобмоточного трансформатора 110—220/35/6—10 кВ мощностью 63 МВ·А и более при наличии на сторонах 110—220 и 35 кВ сборных шин, а на стороне низшего напряжения одиночного реактора; на стороне 110—220 кВ установлены выключатель и выносные трансформаторы тока, а на стороне 35 кВ — выключатель со встроенными во втулки его трансформаторами тока.

Данная схема применима для трехобмоточных трансформаторов в случае, когда дифференциальная защита трансформатора, выполненная с использованием реле ДЗТ-11, не обеспечивает требуемой минимальной чувствительности при КЗ на выводах низшего напряжения трансформатора.

1.2.8.2. Дифференциальная токовая защита трансформатора и цепей стороны низшего напряжения, включая реактор, выполнена с использованием защиты типа ДЗТ-21 (*AKW1*). Схема внутренних соединений защиты приведена на рис. П2.2. Торможение обеспечивается токами от трех групп трансформаторов тока *TA1, TA3*

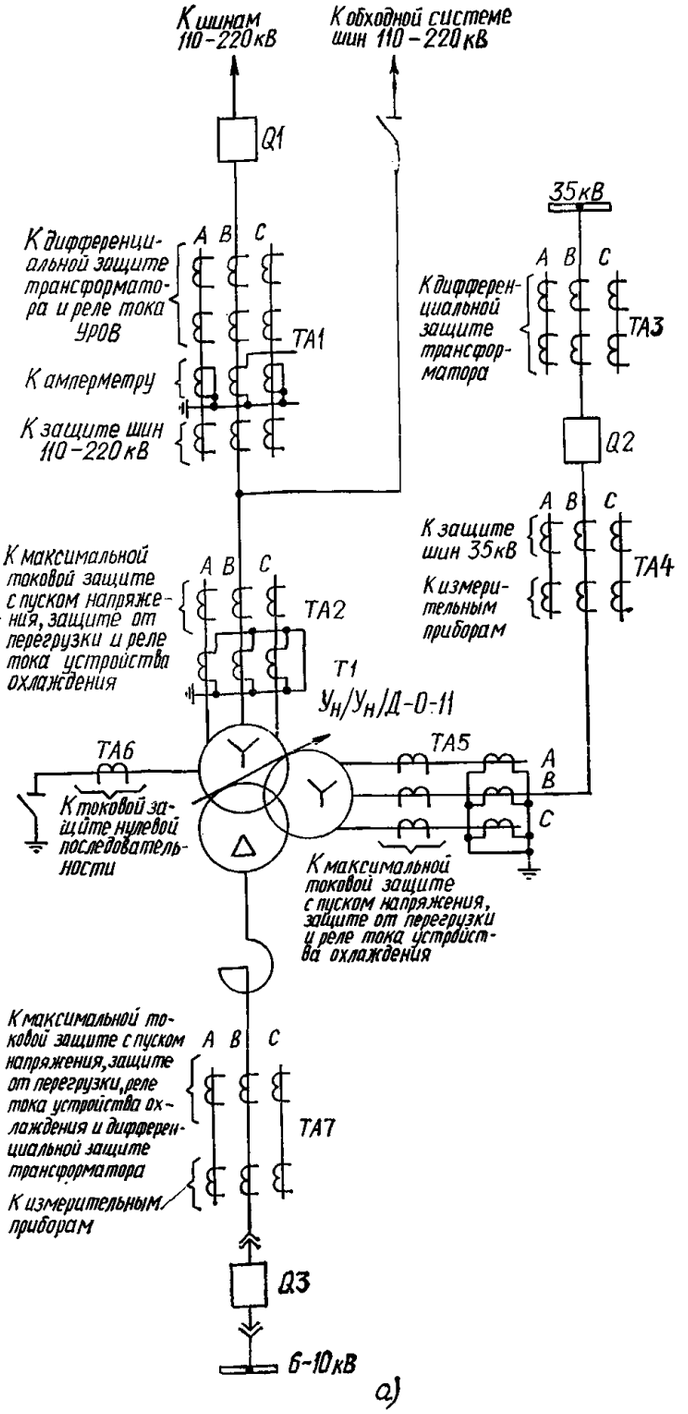


Рис. 1.8. Принципиальная схема релейной защиты понижающего трехобмоточного трансформатора 110—220/35/6—10 кВ с питанием со сторон высшего и среднего напряжений (дифференциальная защита выполняется с использованием ДЗТ-21):

а — поясняющая схема; *б* — цепи переменного тока; *в* — цепи напряжения; *г* — цепи оперативного постоянного тока и выходные цепи; *д* — цепи сигнализации

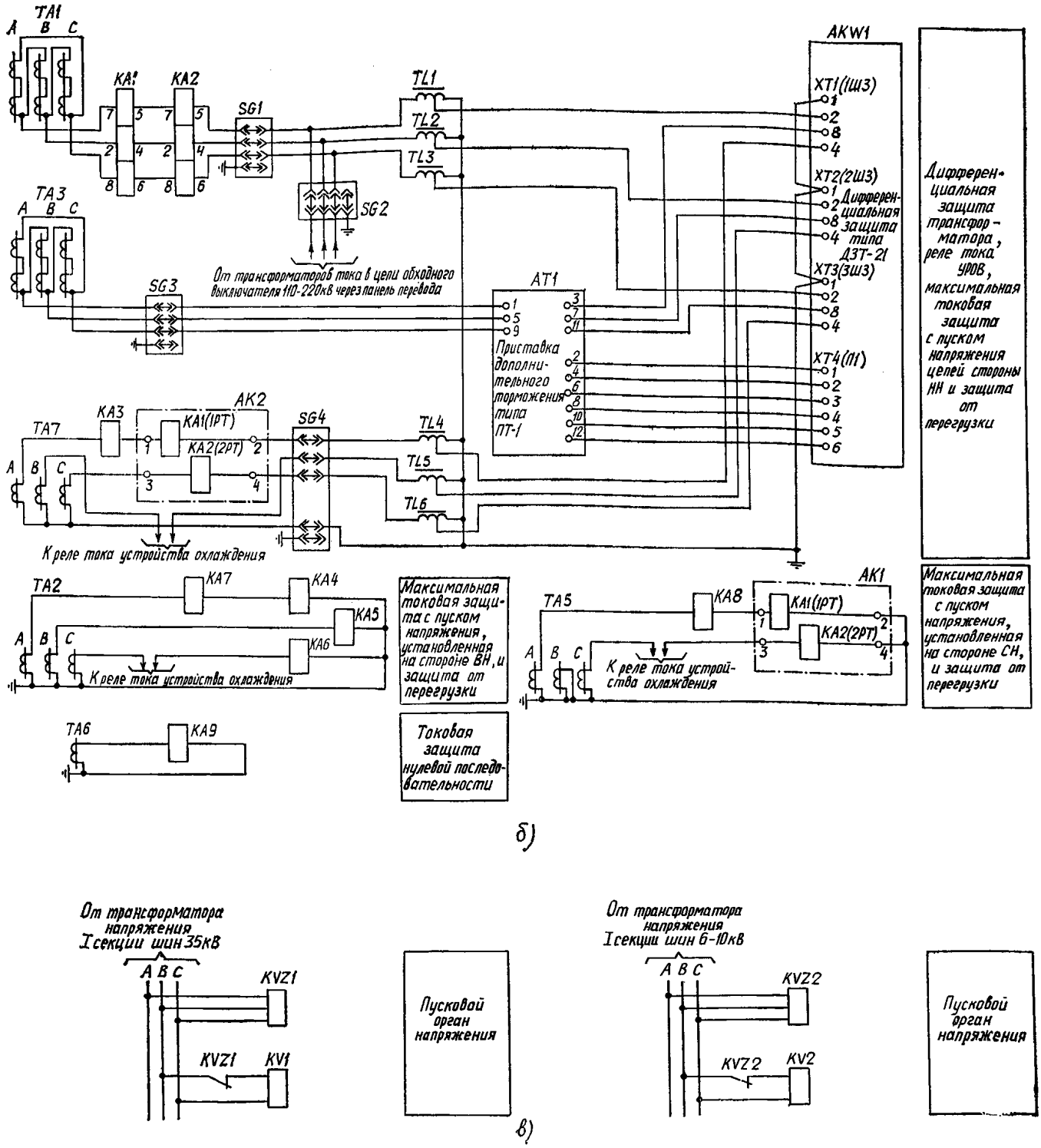


Рис. 1.8. Продолжение

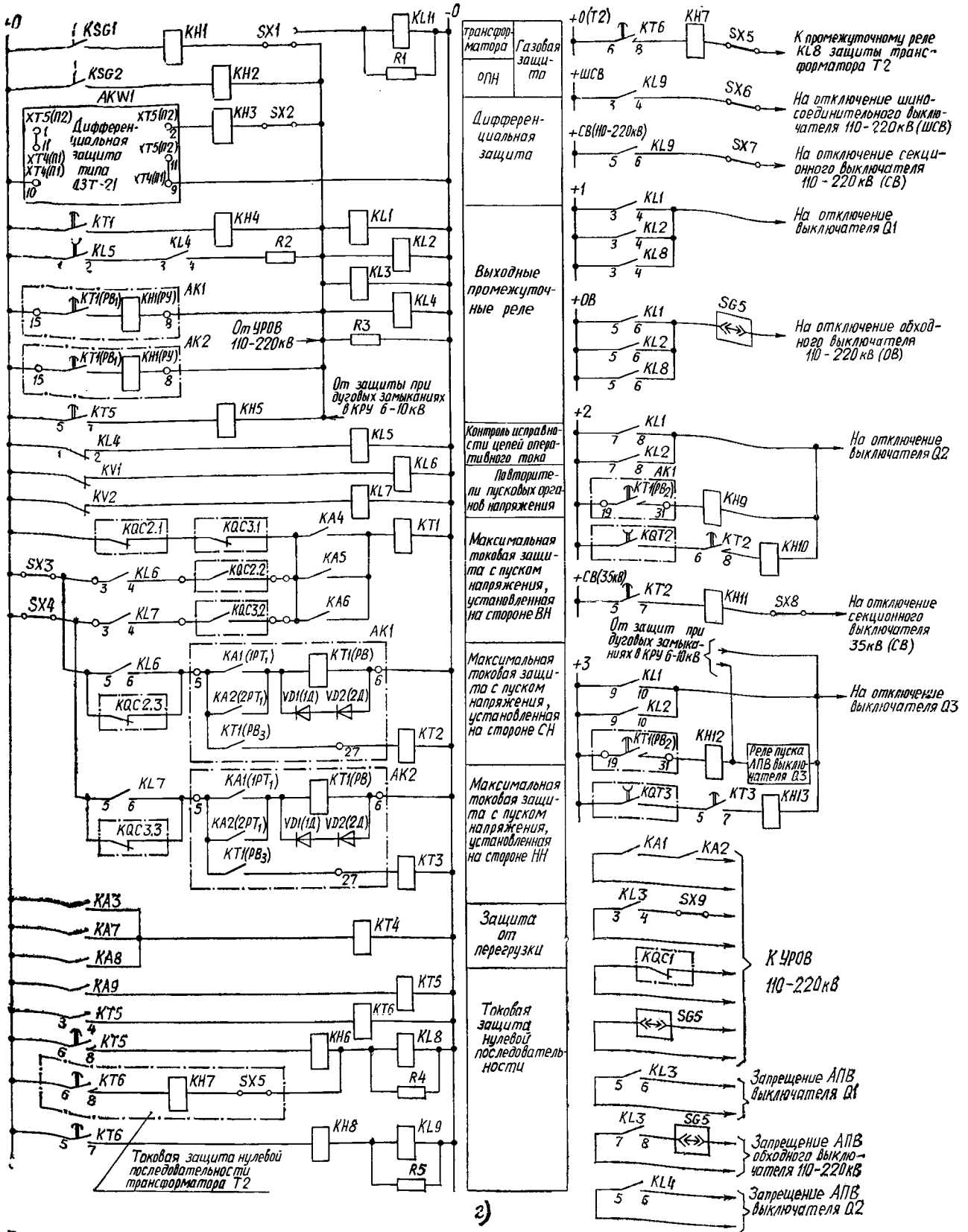


Рис. 1.8. Продолжение

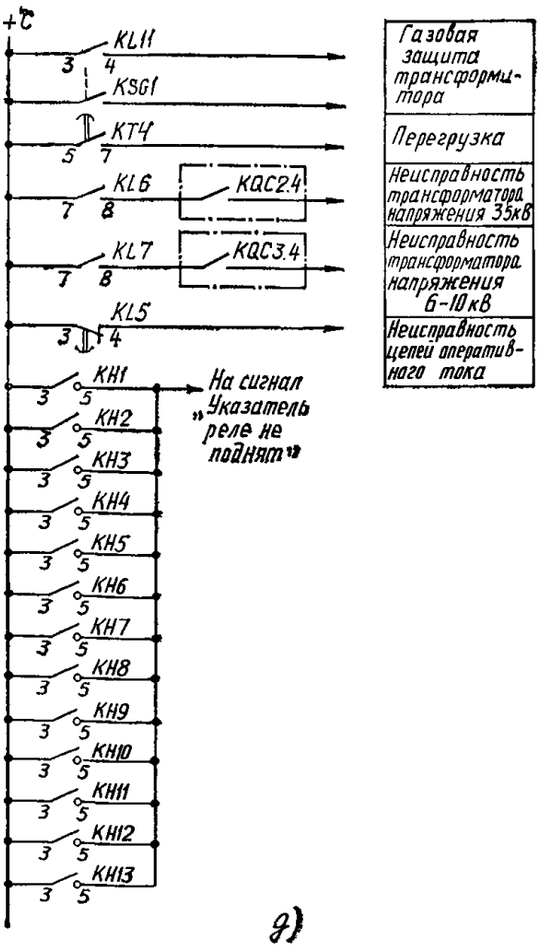
и ТА7, при этом используется приставка дополнительного торможения *АТ1*.

Схема выполнена в предположении, что для выравнивания вторичных токов в плечах дифференциальной защиты достаточно применения автотрансформаторов тока, устанавливаемых со стороны высшего (*TL1—TL3*) и низшего (*TL4—TL6*) напряжений. Приставка *АТ1* включается на ток стороны среднего напряжения. Схема выполнена с использованием трех модулей дифференциальной защиты, включаемых на токи фаз *А, В* и *С*.

Присоединение цепей тока к зажимам *AKW1* выполнено условно и определяется расчетом в конкретном случае. Описание устройства *AKW1* приведено в выпуске 13Б (приложение 5).

При замене выключателя *Q1* стороны высшего напряжения обходным выключателем дифференциальная защита переключается с трансформаторов тока *TA1* на трансформаторы тока в цепи обходного выключателя с помощью испытательных блоков *SG1* и *SG2* в схеме защиты трансформатора и соответствующих испытательных блоков в схеме панели перевода по рис. П2.1.

1.2.8.3. Защиты от внешних многофазных КЗ выполнены в виде трех комплектов максимальной токовой защиты с комбинированным пуском напряжения, установленных соответственно на сторонах высшего (реле *КА4, КА5, КА6, КТ1*), среднего (комплект защиты *АК1, КТ2*) и низшего (комплект защиты *АК2, КТ3*) напряжений. Токовая защита, установленная на стороне низшего напряжения, выполнена с использованием устройства *АК2* типа КЗ-12. Защита включается в плечо дифференциальной защиты на трансформаторы тока *ТА7* и предназначена для отключения КЗ на шинах 6—10 кВ и для резервирования отключения КЗ на элементах, присоединенных к этим шинам. Защита размещается на панели общеподстанционного пункта управления; указанным предотвращается возможный отказ защиты трансформатора при повреждениях в шкафах КРУ (см. п. 1.1.4.7). В остальном защиты выполнены подобно приведенным на рис. 1.5 (см. п. 1.2.5.3).



д)

Рис. 1.8. Продолжение

Максимальная токовая защита *КА4—КА6*, установленная на стороне высшего напряжения, предназначена для резервирования отключения КЗ в трансформаторе, а в отдельных случаях может действовать и при КЗ за реактором.

1.2.8.4. Одноступенчатая токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю, установленная на стороне 110—220 кВ (реле *КА9, КТ5, КТ6, KL8* и *KL9*), выполнена подобно приведенной на рис. 1.5 (см. п. 1.2.5.4).

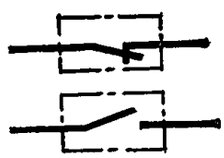
1.2.8.5. Защита от перегрузки выполнена с помощью реле *КА7, КА8* и *КА3*), установленных со сторон высшего, среднего и низшего напряжений, и реле времени *КТ4*.

1.2.8.6. В схеме предусмотрено автоматическое ускорение при включении выключателя максимальных токовых защит, установленных на сторонах низшего и среднего напряжений. Ускорение защит выполнено подобно приведенному на рис. 1.5 (см. п. 1.2.5.6).

1.2.8.7. Самоудерживание выходных промежутоных реле *KL1—KL4* выполнено аналогично приведенному на рис 1.5 (см. п. 1.2.5.7).

1.2.8.8. Данная схема выполнена с использованием следующей аппаратуры: *АК1, АК2* — комплект защиты типа *КЗ-12*; *AKW1* — защита дифференциальная типа *ДЗТ-21*; *АТ1* — приставка дополнительного торможения типа ПТ-1; *КА1, КА2* — реле тока типа РТ-40/Р; *КА3—КА9* — реле тока типа РТ-40; *КН1—КН8* — реле указательные типа РУ-1/0,05; *КН9—КН13* — реле указательные типа РУ-1; *KL1—KL4, KL6—KL11* — реле промежуточные типа РП-23; *KL5* — реле промежуточное типа РП-252; *KSG1, KSG2* — реле газовые; *КТ1* — реле времени типа РВ-134; *КТ2* — реле времени типа РВ-128; *КТ3* — реле времени типа РВ-114; *КТ4* — реле времени типа РВ-133; *КТ5, КТ6* — реле времени типа РВ-132; *KV1, KV2* — реле напряжения типа РН-54/160; *KVZ1, KVZ2* — фильтры-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1М; *R1, R4, R5* — резисторы типа ПЭВ-25, 3900 Ом; *R2* — резистор типа ПЭВ-10, 100 Ом; *R3* — резистор типа ПЭВ-50, 1800 Ом: *SG1—SG3, SG5* — блоки испытательные типа БИ-4; *SG4* — блок испытательный типа БИ-6; *SX1—SX9* — накладки типа НКР-3; *TL1—TL6* — автотрансформаторы промежуточные типа АТ-31 или АТ-32.

В схеме приняты следующие обозначения:

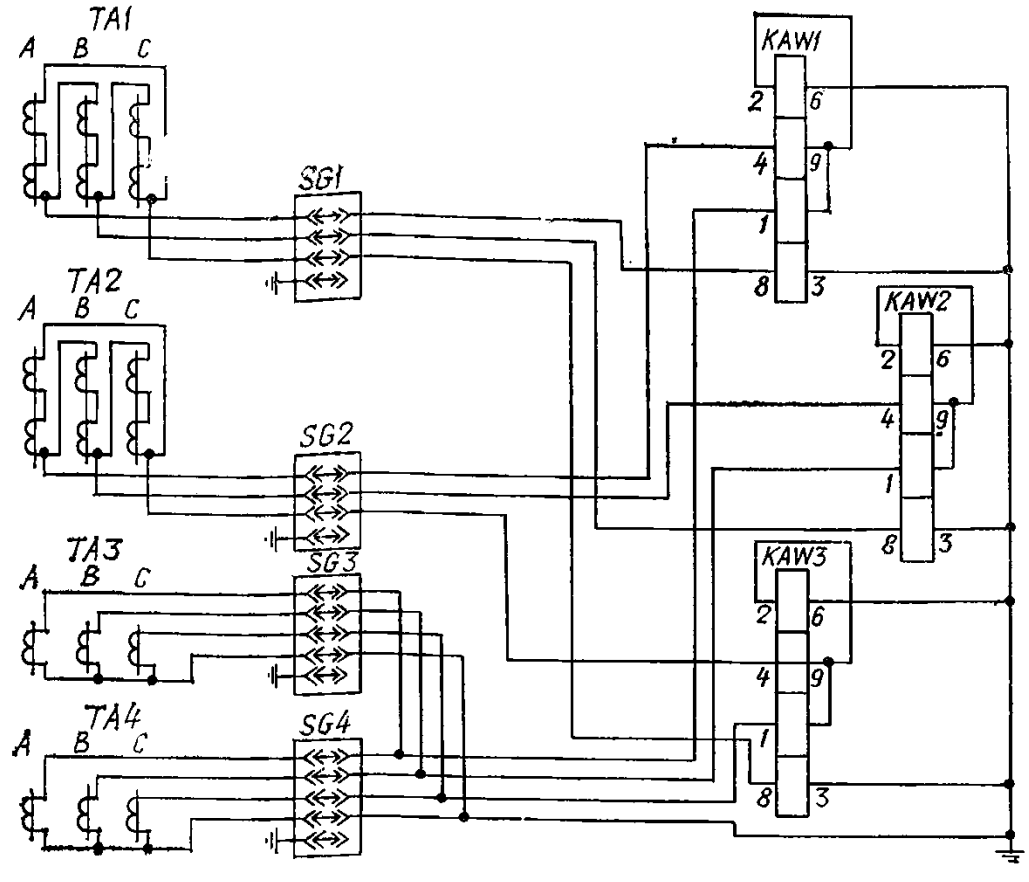


— *KQC1, KQC2, KQC3* — контакты реле положения «включено» выключателей соответственно *Q1, Q2, Q3*;

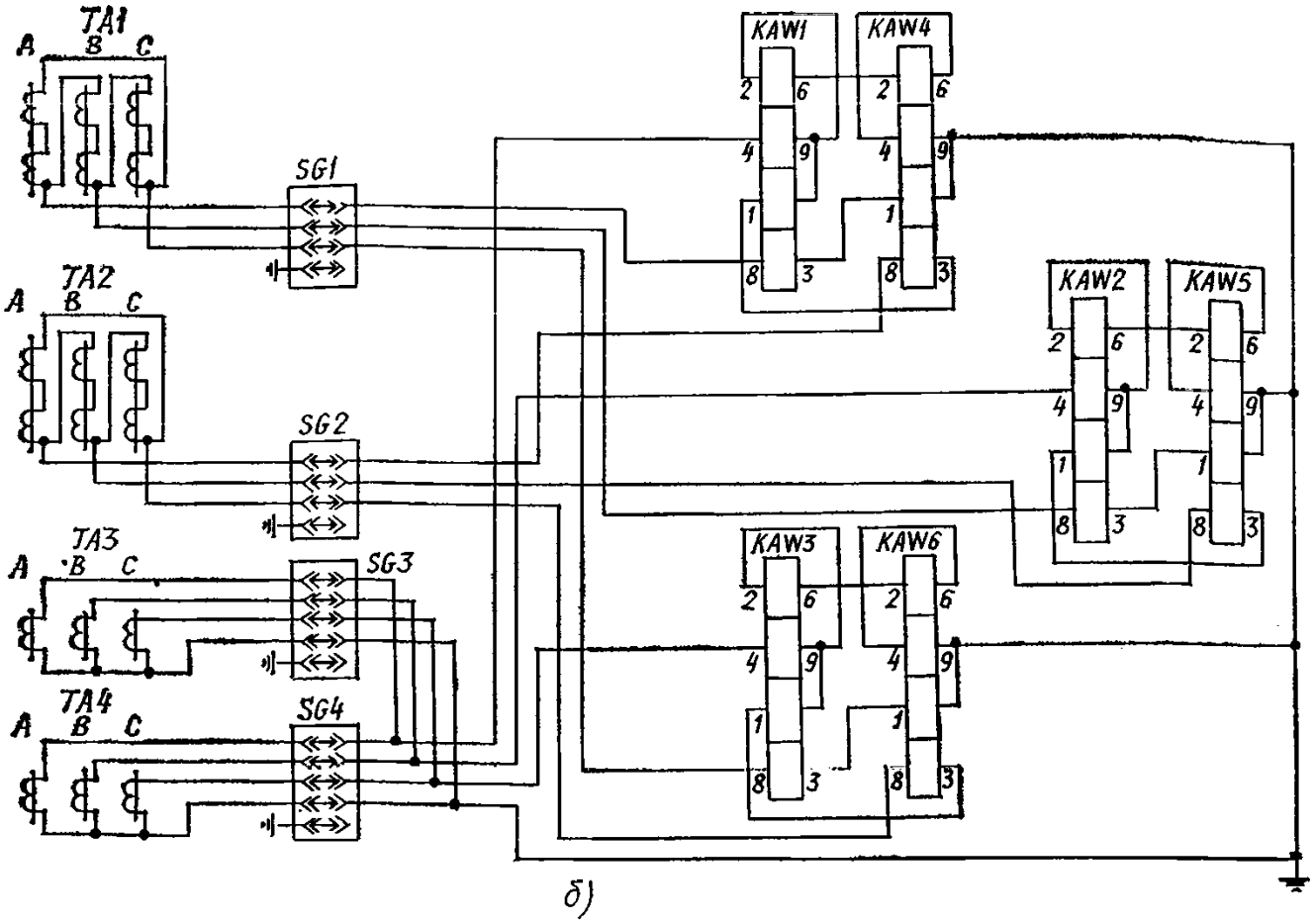


— *KQT2, KQT3* — контакты реле положения «отключено» выключателей соответственно *Q2, Q3*.

Примечание к рис. 1.8. Рисунок 1.8,*д* должен быть дополнен контактами *14—18* указательных реле *КН1* (РУ) комплектов защиты *АК1* и *АК2*, включенными параллельно контактам *3—5* указательных реле *КН1—КН13*.



а)



б)

Рис. 1.9. Схемы цепей тока дифференциальной защиты трехобмоточного трансформатора с включением тормозной обмотки реле типа ДЗТ-11 на сумму токов сторон среднего и низшего напряжений:

а — защита с одним комплектом реле; *б* — защита с двумя комплектами реле и включением тормозной обмотки каждого комплекта на сумму токов сторон среднего и низшего напряжений; *в* — защита с двумя комплектами реле и включением тормозной обмотки чувствительного комплекта на сумму токов сторон среднего и низшего напряжений

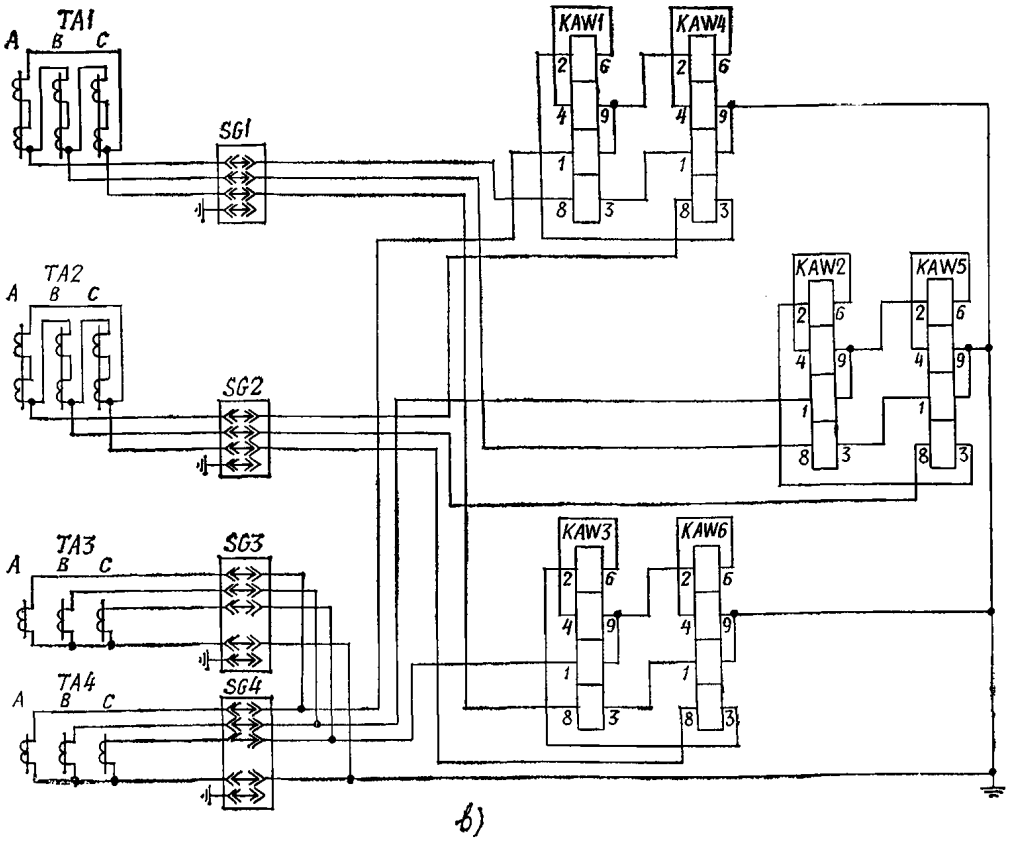


Рис. 1.9. Продолжение

На рис. 1.9 приведены схемы цепей тока дифференциальной защиты трехобмоточного трансформатора с включением тормозной обмотки реле типа ДЗТ-11 на сумму токов сторон среднего и низшего напряжений.

На рис. 1.9,*б* и *в* присоединение цепей тока к зажимам реле дано в предположении, что ток в плече защиты со стороны низшего напряжения больше тока в плече защиты со стороны среднего напряжения.

В схеме приняты следующие обозначения:

TA1, TA2, TA3 и *TA4* — трансформаторы тока на сторонах высшего, среднего и низшего напряжений трансформатора;

KAW1—KAW3 — реле грубого комплекта;

KAW4—KAW6 — реле чувствительного комплекта.

На рис. 1.10 дано токораспределение в цепях дифференциальной защиты двух- и трехобмоточных трансформаторов.

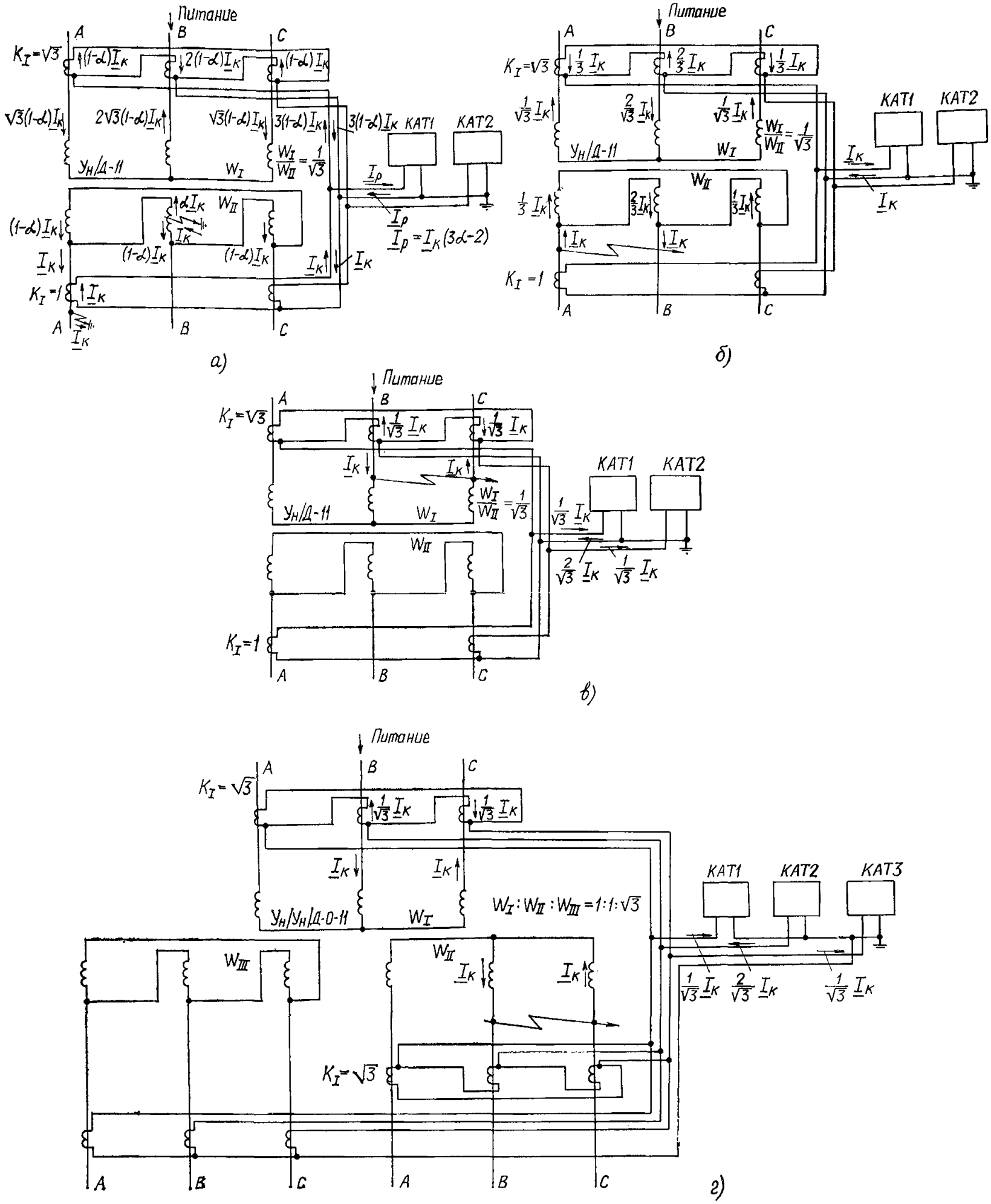


Рис. 1.10. Токораспределение в цепях дифференциальной токовой защиты двух- и трехобмоточных трансформаторов:

а — двойное замыкание на землю на стороне 6—10 кВ; *б* — КЗ между двумя фазами на стороне «треугольника» 6—10 кВ двухобмоточного трансформатора, *в* — КЗ между двумя фазами на стороне «звезды» 110—220 кВ двухобмоточного трансформатора; *г* — КЗ между двумя фазами на стороне «звезды» 35 кВ трехобмоточного трансформатора

ГЛАВА ВТОРАЯ

СХЕМЫ ЗАЩИТ ПОНИЖАЮЩИХ АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ 220 кВ

В настоящей главе рассмотрены типовые схемы релейной защиты понижающих трехфазных автотрансформаторов мощностью 63—200 МВ·А с высшим напряжением 220 кВ.

Схема рис. 2.1 дана для автотрансформатора 220/110/6—10 кВ мощностью 125 и 200 МВ·А при наличии на стороне высшего напряжения сборных шин.

Схема рис. 2.2 дана для автотрансформатора 220/110/6—10—35 кВ мощностью 63 МВ·А при наличии на стороне высшего напряжения схемы «четырехугольник».

Схема рис. 2.3 дана для автотрансформатора 220/110/6—10 кВ мощностью 125 и 200 МВ·А при наличии на стороне высшего напряжения схемы «мостик с выключателем в перемычке и отделителями в цепях автотрансформаторов».

2.1. ПРИНЦИПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ СХЕМ

2.1.1. Общие положения

2.1.1.1. Схемы рис. 2.1—2.3 выполнены для следующих исходных условий:

2.1.1.1.1. На подстанции могут быть установлены один или два автотрансформатора. При двух автотрансформаторах в работе находятся оба; нахождение одного из них в резерве не предусматривается.

2.1.1.1.2. Подстанция имеет питание со сторон высшего и среднего напряжений.

2.1.1.1.3. На стороне среднего напряжения 110 кВ (см. рис. 2.1—2.3) имеются сборные шины, выполненные в виде одной рабочей секционированной выключателем и обходной систем шин, или двух рабочих и обходной систем шин, или (см. рис. 2.1) двух рабочих, секционированных выключателями, и обходной, секционированной разъединителем, систем шин.

На стороне высшего напряжения 220 кВ в схеме рис. 2.1 сборные шины могут быть выполнены в виде одной рабочей секционированной выключателем и обходной систем шин или двух рабочих и обходной систем шин.

2.1.1.1.4. На стороне среднего напряжения 110 кВ предусмотрена параллельная работа автотрансформаторов, на стороне низшего напряжения 6—10—35 кВ — раздельная.

2.1.1.1.5. Автотрансформаторы имеют встроенные устройства регулирования напряжения под нагрузкой со стороны среднего напряжения.

Для регулирования напряжения под нагрузкой на стороне низшего напряжения в схемах предусмотрен линейный добавочный трансформатор.

2.1.1.1.6. Питаемая от подстанции нагрузка со стороны низшего напряжения может содержать синхронные двигатели; к шинам низшего напряжения могут быть присоединены синхронные компенсаторы.

2.1.1.1.7. На сторонах высшего и среднего напряжений могут устанавливаться как выключатели с выносными трансформаторами тока, так и выключатели со встроенными в их втулки трансформаторами тока; на стороне низшего напряжения 6—10—35 кВ установлены масляные выключатели (для напряжения 6—10 кВ применяются выключатели, встроенные в шкафы КРУ).

2.1.1.1.8. В цепи низшего напряжения автотрансформатора установлен трансформатор напряжения.

2.1.1.1.9. На подстанциях предусмотрены следующие устройства автоматики:

устройства АПВ с пуском от цепей «несоответствия» — на выключателях высшего и среднего напряжений;

устройства АПВ с пуском от защиты — на выключателях стороны низшего напряжения;

устройства АВР на секционных выключателях стороны низшего напряжения.

2.1.1.2. В схемах рис. 2.1—2.3 на автотрансформаторах предусмотрены следующие защиты:

2.1.1.2.1. Дифференциальные токовые защиты автотрансформатора, цепей стороны низшего напряжения и ошиновки стороны высшего напряжения (последняя — при наличии на стороне высшего напряжения «четырехугольника»).

2.1.1.2.2. Газовые защиты автотрансформатора и линейного добавочного трансформатора, газовая защита или реле давления устройства РПН автотрансформатора и реле давления устройства РПН линейного добавочного трансформатора.

2.1.1.2.3. Токовая направленная или ненаправленная защита обратной последовательности от несимметричных КЗ и максимальная токовая защита с пуском напряжения от трехфазных КЗ.

2.1.1.2.4. Двухступенчатая дистанционная защита от многофазных КЗ.

2.1.1.2.5. Максимальные токовые защиты с комбинированным пуском напряжения от многофазных КЗ на стороне низшего напряжения.

2.1.1.2.6. Токовые направленные или ненаправленные защиты нулевой последовательности от замыканий на землю на сторонах высшего и среднего напряжений.

2.1.1.2.7. Защиты от неполнофазного режима.

2.1.1.2.8. Максимальная токовая защита от перегрузки.

2.1.1.3. В соответствии с нормами технологического проектирования подстанций с высшим напряжением 35—750 кВ на автотрансформаторах мощностью 200 МВ·А и более (см. рис. 2.1 и 2.3) предусматриваются автоматические установки пожаротушения. Согласно указанию Минэнерго СССР пуск системы пожаротушения должен осуществляться от специального устройства обнаружения пожара — УОП (а не от защиты, как это имело место ранее) с контролем отключенного состояния поврежденного автотрансформатора (предварительно это устройство должно действовать на отключение поврежденного автотрансформатора).

Автоматическое управление отсечным клапаном, который перекрывает маслопровод от расширителя к баку автотрансформатора, производится от реле-повторителя выходного реле УОП, установленного на панели управления УОП.

На автотрансформаторах мощностью 125 и 63 МВ·А также предусматриваются устройства обнаружения пожара, действующие на сигнал при возникновении пожара. Автоматическое управление отсечным клапаном в данном случае осуществляется от выходного реле УОП.

В связи с указанным в схемах рис. 2.1 и 2.3 предусмотрены цепи:

воздействия на выходные промежуточные реле защиты автотрансформатора от устройства обнаружения пожара;

фиксации отключенного положения автотрансформатора.

Для автотрансформаторов мощностью 125 МВ·А указанные цепи не используются.

2.1.1.4. Схемы выполнены с учетом возможности замены выключателей сторон высшего и среднего напряжений (при наличии сборных шин) обходным выключателем.

2.1.1.5. В схемах показаны цепи, связывающие защиту автотрансформатора с устройствами резервирования при отказе выключателей (УРОВ) на сторонах

220 и 110 кВ. Указанные цепи даны исходя из применения на подстанции типовых схем УРОВ, выполненных с дублированным пуском от защит с применением реле положения «включено» выключателей. При этом принято, что УРОВ 110 кВ в схемах рис. 2.1—2.3 и УРОВ 220 кВ в схеме рис. 2.1 выполнены действующими:

при КЗ в автотрансформаторе с отказом выключателя — на отключение всех выключателей системы (секции) шин, элемент которой поврежден;

при КЗ на шинах с отказом выключателя автотрансформатора — на отключение всех выключателей автотрансформатора.

В схеме рис. 2.2 (на стороне ВН имеется «четырехугольник») УРОВ 220 кВ выполнено действующим:

при КЗ в автотрансформаторе или на ошиновке высшего напряжения с отказом его выключателя — на отключение линии, примыкающей к отказавшему выключателю;

при КЗ на линии с отказом ее выключателя — на отключение автотрансформатора, примыкающего к отказавшему выключателю.

В схеме рис. 2.3 (на стороне высшего напряжения имеется «мостик с выключателем в перемычке и отделителями в цепях автотрансформаторов») УРОВ 220 кВ выполнено действующим:

при КЗ в автотрансформаторе с отказом выключателя в перемычке на отключение смежных автотрансформатора и линии (отключение последней с противоположного ее конца ускоряется в результате действия УРОВ на остановку ВЧ передатчика ВЧ защиты или на передачу отключающего сигнала);

при КЗ на линии с отказом выключателя в перемычке УРОВ действует, как и в предыдущем случае, на отключение элементов (автотрансформатора и линии), примыкающих к поврежденному.

При коротком замыкании в автотрансформаторе с отказом его выключателя при действии УРОВ запрещается АПВ шин соответствующего напряжения.

2.1.2. Дифференциальные токовые защиты

В соответствии с Правилами устройств электроустановок для автотрансформаторов мощностью 63 МВ·А и более применяется дифференциальная защита с током срабатывания (без учета торможения), меньшим номинального (соответствующего типовой мощности), выполненная с использованием реле типа ДЗТ-21.

Дифференциальная защита автотрансформатора, выполняемая с реле типа ДЗТ-11, не позволяет осуществить рекомендуемого ПУЭ тока срабатывания и поэтому в настоящей главе не рассматривается.

Реле типа ДЗТ-21 обладает высокой чувствительностью (ток срабатывания регулируется в пределах 0,3—0,7 $I_{ном}$) и имеет независимое торможение от двух групп трансформаторов тока. При необходимости обеспечить торможение от большего числа групп трансформаторов тока используются приставки дополнительного торможения типа ПТ-1.

Реле выполнено на вторичный номинальный ток 5 А; присоединение к трансформаторам тока с вторичным током 1 А производится через автотрансформаторы тока типа АТ-31 (повышающие). Эти автотрансформаторы, как и автотрансформаторы типа АТ-32 (понижающие), используются также для выравнивания вторичных токов в плечах защиты, поскольку в самом реле предусмотрено всего шесть ответвлений в цепи рабочей и четыре ответвления в цепи тормозной обмоток, что обеспечивает только грубое выравнивание. Реле имеет трехфазное кассетно-модульное исполнение. Описание реле ДЗТ-21 приведено в выпуске 13Б (приложение 5).

Защита с реле типа ДЗТ-21 благодаря своей высокой чувствительности может выполняться охватывающей автотрансформатор и цепи стороны низшего напряжения, включая линейный добавочный трансформатор.

На автотрансформаторах мощностью 125 МВ·А и выше в целях повышения чувствительности при внутренних повреждениях в линейном добавочном трансформаторе применяется отдельная дифференциальная защита цепей низшего напряжения с использованием реле типа ДЗТ-11.

На автотрансформаторе с двумя выключателями на стороне высшего напряжения (см. рис. 2.2) дифференциальная защита его включается на встроенные во втулки высшего напряжения автотрансформатора трансформаторы тока, поскольку при включении защиты на трансформаторы тока в цепях выключателей высшего напряжения будет иметь место торможение от тока нагрузки линии, проходящего по ветвям указанных выключателей, что может привести к снижению чувствительности защиты; последнее особенно нежелательно, учитывая возможные повреждения, сопровождающиеся малыми токами (например, витковые КЗ).

В связи с указанным в схемах рис. 2.1 и 2.3 предусмотрены две дифференциальные защиты — автотрансформатора и цепей стороны низшего напряжения, включая линейный добавочный трансформатор.

В схеме рис. 2.2 предусмотрены две дифференциальные защиты:

автотрансформатора и цепей стороны низшего напряжения, включая линейный добавочный трансформатор;

ошиновки стороны высшего напряжения.

Последняя (по сравнению с вариантом общей дифференциальной защиты для автотрансформатора и ошиновки высшего напряжения) позволяет в случае необходимости выполнять АПВ ошиновки, облегчает возможность проверки защиты автотрансформатора при его отключении, когда для повышения надежности сети 220 кВ оба выключателя 220 кВ автотрансформатора должны быть включены. Защита выполняется с применением реле типа ДЗТ-11*.

Дифференциальные защиты с использованием реле ДЗТ-11 выполнены трехфазными, трехлинейными. Тормозная обмотка реле включается:

на сумму токов в ответвлениях к шинам низшего напряжения — в защите, охватывающей линейный добавочный трансформатор (см. рис. 2.1 и 2.3);

на ток в цепи одного из выключателей 220 кВ — в защите, охватывающей ошиновку стороны высшего напряжения (см. рис. 2.2).

Защита цепей стороны низшего напряжения выполнена трехфазной в целях обеспечения отключения всех двойных замыканий на землю без выдержки времени, что целесообразно, поскольку линейный добавочный трансформатор имеет низкую динамическую стойкость.

2.1.3. Цепи газовой защиты и реле давления автотрансформаторов выполнены с учетом наличия (см. табл. 1.1):

одного газового реле, реагирующего на повреждения в кожухе автотрансформатора, с двумя контактами, действующими соответственно на отключение и на сигнал;

трех газовых реле, реагирующих на повреждения в контакторном объеме РПН автотрансформатора, у которых используется только контакт, действующий на отключение. Указанные реле устанавливаются при выполнении РПН автотрансформаторов (мощностью 125 и 200 МВ·А) с помощью трех однофазных устройств типа РНОА, переключатели (избиратели) которых установлены в общем объеме кожуха автотрансформатора.

При выполнении РПН автотрансформатора (мощностью 63 МВ·А) с помощью трехфазного устройства

* Здесь и далее в общем случае подразумеваются реле типов ДЗТ-11, ДЗТ-11/2, ДЗТ-11/3 и ДЗТ-11/4.

типа РНТ-20, переключатели которого устанавливаются в общем объеме, используется реле давления, реагирующее на повреждения в контакторном объеме РПН, с одним контактом, действующим на отключение.

Цепи газовой защиты и реле давления линейного добавочного трансформатора выполнены с учетом наличия:

одного газового реле, реагирующего на повреждения в баке добавочного трансформатора, с двумя контактами, действующими соответственно на отключение и на сигнал;

одного реле давления, реагирующего на повреждения в контакторном объеме РПН добавочного трансформатора, с одним контактом, действующим на отключение.

В схемах предусмотрена возможность перевода действия отключающих контактов газовых реле автотрансформатора и линейного добавочного трансформатора на сигнал.

В схемах не предусмотрена возможность перевода действия отключающего контакта газового реле устройства РПН на сигнал, поскольку согласно указанию Главтехуправления Минэнерго СССР газовые реле отсека РПН должны действовать только на отключение.

2.1.4. Токовая защита обратной последовательности и максимальные токовые защиты с пуском напряжения

2.1.4.1. Токовая защита обратной последовательности предусмотрена в схемах рис. 2.1—2.3 для резервирования отключения несимметричных внешних КЗ на сторонах высшего и среднего напряжений, а также для резервирования основных защит автотрансформатора (дифференциальных и газовых).

Защита устанавливается на стороне 220 кВ и питается от трансформаторов тока, встроенных во втулки высшего напряжения автотрансформатора.

При наличии на стороне высшего напряжения сборных шин (см. рис. 2.1) или «четырехугольника» (см. рис. 2.2) защита выполняется направленной с использованием фильтра-реле тока и направления мощности обратной последовательности типа РМОП-2М.

В приведенных схемах защита выполнена направленной в сторону 220 кВ в предположении, что выдержка времени резервных защит линий высшего напряжения меньше выдержек времени резервных защит линий среднего напряжения.

Как направленная защита действует в схеме рис. 2.1 с первой выдержкой времени (большей выдержки времени резервных защит линий 220 кВ) на отключение шиносоединительного или секционного выключателей 220 кВ, со второй на отключение выключателя 220 кВ автотрансформатора или заменяющего его обходного выключателя и с третьей на выходные промежуточные реле защит автотрансформатора, отключающие последний со всех сторон, в схеме рис. 2.2 с первой выдержкой времени на отключение обоих выключателей 220 кВ «четырехугольника» и со второй на выходные промежуточные реле защит автотрансформатора.

В обход реле направления мощности защита действует с первой выдержкой времени (большей выдержек времени резервных защит линий 110 кВ) на отключение шиносоединительного и секционного выключателей 110 кВ в схеме рис. 2.1 и шиносоединительного или секционного выключателя в схеме рис. 2.2, со второй на отключение выключателя 110 кВ автотрансформатора или заменяющего его обходного выключателя и с третьей на выходные промежуточные реле защиты автотрансформатора.

При наличии на стороне высшего напряжения автотрансформатора схемы «мостик с выключателем в перемычке и отделителями в цепях автотрансформаторов» (см. рис. 2.3) токовая защита обратной последовательности выполняется ненаправленной (с использованием фильтра-реле тока обратной последовательности типа РТФ-1М) и действующей так же, как рассмотренная выше направленная защита в обход реле направления мощности.

В дополнение к токовой защите обратной последовательности для действия при трехфазных КЗ предусмотрена максимальная токовая защита с минимальным пуском напряжения в однофазном исполнении.

2.1.4.2. Для резервирования основных защит стороны низшего напряжения 6—10—35 кВ автотрансформатора предусмотрена максимальная токовая защита с комбинированным пуском напряжения, присоединенная к трансформаторам тока, встроенным в автотрансформатор со стороны низшего напряжения.

При наличии на стороне низшего напряжения одиночного реактора (см. рис. 2.2) рассматриваемая защита является также защитой шин низшего напряжения и резервирует отключения КЗ на элементах, присоединенных к этим шинам. В этом случае защита действует с первой выдержкой времени на отключение выключателя низшего напряжения и на пуск его устройства АПВ, а со второй на выходные промежуточные реле защит автотрансформатора.

При наличии на стороне низшего напряжения сдвоенного реактора (см. рис. 2.1 и 2.3) рассматриваемая защита резервирует также отключение КЗ на шинах низшего напряжения и действует сразу на выходные промежуточные реле защит автотрансформатора. В этом случае для защиты шин низшего напряжения, а также для резервирования отключений КЗ на элементах, присоединенных к этим шинам, в цепях ответвлений к секциям шин предусмотрены максимальные токовые защиты с пуском напряжения. Эти защиты с первой выдержкой времени действуют на отключение выключателей 6—10 кВ и на пуск устройств АПВ, а со второй на выходные промежуточные реле защиты автотрансформатора.

Аппаратура указанных защит в цепях ответвлений к секциям шин низшего напряжения в отличие от ранее принятых решений размещается на панели общеподстанционного пункта управления. Решение о переносе аппаратуры максимальной токовой защиты на ответвлениях к секциям шин низшего напряжения из шкафа КРУ данного выключателя на панель общеподстанционного пункта управления вызвано тем, что в последнее время имели место случаи, когда при КЗ в КРУ повреждались оперативные цепи защиты автотрансформатора. Такие повреждения могут сопровождаться отключением питающего автоматического выключателя постоянного тока, являющегося общим для основных и резервных защит автотрансформатора, т. е. полной потерей оперативного тока защиты автотрансформатора, а вследствие этого и возможным ее отказом срабатывания.

При расположении релейной аппаратуры на панели общеподстанционного пункта управления исключается попадание цепей оперативного постоянного тока защиты автотрансформатора в шкафы КРУ и тем самым повреждение этих цепей, а также связанная с этим возможная потеря постоянного тока защиты автотрансформатора в целом при повреждениях в шкафах КРУ 6—10 кВ. Цепи отключения выключателей низшего напряжения питаются от индивидуальных автоматических выключателей управления выключателя.

Следует отметить, что рассмотренные в данном пункте защиты выполнены ненаправленными в предположении того, что в случае КЗ во внешней сети высшего или среднего напряжений излишнее их срабатывание от токов синхронного компенсатора или синхронных двигателей, присоединенных к шинам низшего напряжения, не будет иметь места. Указанное объясняется тем, что эти защиты оказываются отстроенными в упомянутом режиме (по току срабатывания или по времени).

2.1.5. Дистанционная защита от многофазных коротких замыканий

2.1.5.1. В схемах рис. 2.1—2.3 предусмотрена дистанционная защита в предположении необходимости ее использования в общем случае:

2.1.5.1.1. Для обеспечения возможности согласования защит линий высшего или среднего напряжений с защитами автотрансформатора.

2.1.5.1.2. Для обеспечения дальнего резервирования в сетях высшего или среднего напряжений.

Одновременно дистанционная защита может использоваться для частичного резервирования основных защит автотрансформатора.

Дистанционная защита выполняется с использованием панели типа ПЭ2105 (см. рис. П2.4), содержащей комплекты реле сопротивления типов КРС-2 (первая ступень дистанционной защиты) и КРС-3 (вторая ступень дистанционной защиты), устройство блокировки при качаниях типов КРБ-125 (панель ПЭ2105А) или КРБ-126 (панель ПЭ2105Б), устройство блокировки при неисправности цепей напряжения типа КРБ-12.

Необходимость использования ступени дистанционной защиты на автотрансформаторе по условию 2.1.5.1.1 должна рассматриваться в случае, когда при отстройке вторых ступеней дистанционных защит, установленных на противоположных концах линий (например высшего напряжения) от КЗ за рассматриваемым автотрансформатором (например, на стороне среднего напряжения), не обеспечивается чувствительность этих ступеней в конце защищаемых линий. Указанная отстройка необходима, поскольку при этом исключается неселективное действие защит линий при КЗ за автотрансформатором (например, на шинах среднего напряжения при отказе срабатывания или выведенной из действия защиты шин либо на отходящих линиях среднего напряжения при отказе срабатывания их защит или выключателей; последнее — при отсутствии или отказе срабатывания УРОВ).

Все эти неселективные действия исключаются при использовании устанавливаемой на автотрансформаторе ступени дистанционной защиты и согласовании с ней вторых ступеней дистанционных защит линий. При этом целесообразно учитывать, что при наличии полноценного ближнего резервирования защит линий (т. е. при наличии двух отдельных защит — основной, резервной — и УРОВ) рассматриваемое неселективное действие при КЗ на этих линиях (например, среднего напряжения) весьма маловероятно. Также весьма маловероятно неселективное действие при КЗ на шинах (например, среднего напряжения), особенно при использовании оперативного ускорения резервных защит автотрансформатора при выводе из действия защиты шин.

Поэтому предусматривать ступень дистанционной защиты на автотрансформаторе 220 кВ для согласования с ней вторых ступеней дистанционных защит линий (например, высшего напряжения) необходимо в первую очередь при отсутствии на линиях смежного (например, среднего) напряжения полноценного ближнего резервирования.

Использование ступени дистанционной защиты на автотрансформаторе по условию 2.1.5.1.2 может оказаться необходимым для отключения КЗ на линии (например, среднего напряжения) в случае отказа срабатывания ее защиты или выключателя (в последнем случае — при отказе УРОВ), если при этом не обеспечивается чувствительность других резервных защит автотрансформатора — токовой обратной последовательности и максимальной токовой с пуском напряжения.

2.1.5.2. В целях упрощения и с учетом вышеизложенного на автотрансформаторе 220 кВ следует стремиться устанавливать только одну панель типа ПЭ2105, при этом в общем случае каждая из ступеней защиты может использоваться как по условию 2.1.5.1.1, так и по условию 2.1.5.1.2. При выборе назначения ступеней предпочтение при прочих равных условиях следует отдавать осуществлению дальнего резервирования. В частности, ступень дистанционной защиты по условию 2.1.5.1.1 может не устанавливаться в случае, когда на одной из сторон автотрансформатора (например, высшего напряжения) число отходящих линий невелико (не более двух) и на них обеспечивается полноценное ближнее резервирование.

В отдельных случаях может рассматриваться вопрос, при наличии специального обоснования, об установке двух панелей типа ПЭ2105.

2.1.5.3. Схема подключения первой и второй ступеней дистанционной защиты к трансформаторам тока определяется в общем случае назначением и чувствительностью данной ступени.

Наиболее целесообразно подключать цепи тока ступени к трансформаторам тока той стороны автотрансформатора, в которую направлена характеристика срабатывания. Однако при этом может не обеспечиваться ближнее резервирование основных защит автотрансформатора дистанционной либо обеспечиваться лишь частично (за счет смещения характеристики срабатывания в третий квадрант). Для обеспечения ближнего резервирования характеристика срабатывания реле сопротивления должна быть направлена в сторону автотрансформатора, при этом цепи тока ступени должны подключаться к трансформаторам тока, установленным на стороне смежного напряжения автотрансформатора. Недостатками такого включения защиты по сравнению с указанным выше являются снижение ее чувствительности (например, влияние регулирования напряжения под нагрузкой) и необходимость согласования ее с защитами стороны низшего напряжения. Учитывая изложенное, а также наличие токовой защиты обратной последовательности от несимметричных КЗ и максимальной токовой защиты с пуском напряжения от симметричных КЗ автотрансформатора, данное включение цепей тока защиты ниже не рассматривается.

2.1.5.4. Цепи напряжения первой и второй ступеней дистанционной защиты должны подключаться к одному трансформатору напряжения, поскольку в панели ПЭ2105 цепи напряжения защиты выполнены общими.

Цепи напряжения защиты могут в общем случае включаться на фазные напряжения (относительно нулевой точки системы) трансформатора напряжения, установленного непосредственно на выводах низшего напряжения автотрансформатора, или на междуфазные напряжения трансформатора напряжения, установленного на шинах среднего или высшего напряжений. Последнее целесообразно в случае, когда обе ступени защиты включаются на трансформаторы тока, установленные на той же стороне напряжения, на которой установлен используемый для защиты трансформатор напряжения, поскольку в этом случае обеспечивается максимальная чувствительность защиты при внешних КЗ. Использование трансформатора напряжения стороны низшего напряжения наиболее целесообразно при включении каждой ступени на трансформаторы тока разных сторон автотрансформатора.

2.1.5.5. Схема рис. 2.1 дана для случая применения дистанционной защиты, в которой первая ступень защиты (КРС-2) используется для обеспечения дальнего резервирования в сети 110 кВ, а вторая (КРС-3) — для обеспечения дальнего резервирования в сети 220 кВ. Данная схема выполнена в предположении, что обеспечивается селективность защит линий 220 (110) кВ при КЗ на стороне 110 (220) кВ без использования первой ступени дистанционной защиты автотрансформатора на стороне 110 (220) кВ специально для согласования с ней второй ступени защит линий 220 (110) кВ (т. е. когда вторые ступени защиты про-

тивоположных сторон линий 110 и 220 кВ, отходящих от шин данной подстанции, отстроены от КЗ на шинах смежного напряжения 220 и 110 кВ). Первая ступень защиты подключается к трансформаторам тока стороны среднего напряжения, а вторая ступень — к трансформаторам тока стороны высшего напряжения. Обе ступени подключаются к трансформатору напряжения на вводе низшего напряжения автотрансформатора и приняты направленными: первая ступень — в сторону сети среднего напряжения, а вторая ступень — в сторону высшего напряжения. Приведенные на рис. 2.2 и 2.3 схемы даны для случая применения дистанционной защиты, в которой первая ступень используется для согласования с ней защит линий 220 кВ, а вторая — для обеспечения дальнего резервирования в сети 110 кВ. Обе ступени подключаются к трансформаторам тока стороны среднего напряжения и трансформатору напряжения шин среднего напряжения; ступени приняты направленными в сторону сети 110 кВ.

Применение обеих ступеней дистанционной защиты для резервирования при КЗ в сети 110 кВ принято в предположении того, что на линиях 110 кВ отсутствует полноценное ближнее резервирование и обеспечивается чувствительность защит автотрансформатора (токовой направленной обратной последовательности и максимальной токовой с пуском напряжения) при КЗ на линиях 220 кВ. В целях упрощения ступень дистанционной защиты для резервирования сети 220 кВ не устанавливается, так как имеется небольшое число (две) отходящих линий 220 кВ и предполагается наличие на них полноценного ближнего резервирования.

Первая ступень дистанционной защиты в схеме рис. 2.1 действует аналогично упомянутой выше токовой направленной защите обратной последовательности, а вторая ступень защиты в схеме рис. 2.1 и первая и вторая ступени дистанционной защиты в схемах рис. 2.2 и 2.3 действуют аналогично токовой направленной защите обратной последовательности в обход реле направления мощности (см. п. 2.1.4.1).

2.1.6. Токовая защита нулевой последовательности от внешних коротких замыканий на землю

Для резервирования отключения внешних КЗ на землю в схемах рис. 2.1—2.3 предусмотрены две токовые защиты нулевой последовательности:

защита от замыканий на землю на стороне 220 кВ, питаемая от трансформаторов тока, встроенных во втулки 220 кВ автотрансформатора;

защита от замыканий на землю на стороне 110 кВ, питаемая от трансформаторов тока, встроенных во втулки 110 кВ автотрансформатора.

При наличии на стороне высшего напряжения сборных шин (см. рис. 2.1) или «четырехугольника» (см. рис. 2.2) обе защиты выполняются направленными и трехступенчатыми для обеспечения согласования с ними четырехступенчатых защит линий смежного напряжения.

Защиты выполнены с использованием модернизированных устройств типа КЗ-15, в которых выходное промежуточное реле по типу РП-251 в целях уменьшения времени возврата заменено на реле по типу РП-253.

Промежуточное реле комплекта КЗ-15 является выходным реле резервных защит данной стороны (от многофазных КЗ и КЗ на землю) и действует:

при наличии сборных шин на стороне 220 кВ в схеме рис. 2.1 и на стороне 110 кВ в схемах рис. 2.2 и 2.3 — на отключение шиносоединительного или секционного выключателя и пуск реле времени, а в схеме рис. 2.1 на стороне 110 кВ — на отключение шиносоединительного и секционного выключателей и пуск реле времени;

на стороне 220 кВ при наличии схемы «четырехугольника» — на отключение выключателей стороны высшего напряжения автотрансформатора и пуск реле времени.

Указанные реле времени в схемах рис. 2.1—2.3 с первой выдержкой времени действуют на отключение выключателя защищаемой стороны автотрансформатора или заменяющего его обходного выключателя, а со второй — на выходные промежуточные реле защиты трансформатора. В схеме рис. 2.2 реле времени рассматриваемой защиты на стороне 220 кВ действует на выходные промежуточные реле защиты автотрансформатора, отключающие его со всех питающих сторон.

Целесообразно отметить, что даже при уменьшенном времени возврата модернизированного КЗ-15 (его максимальное значение может достигать 0,2 с) не устраняется необходимости его учета при выборе выдержек времени защиты. В связи с этим в цепи обмотки упомянутого выше реле времени, пускаемого промежуточным реле КЗ-15, предусмотрена группа параллельно включаемых контактов реле-повторителей измерительных органов всех защит, действующих на выходное промежуточное реле типа КЗ-15. Этими контактами осуществляется возврат реле времени, что позволяет не учитывать замедление при возврате КЗ-15.

В схеме рис. 2.3 (при наличии на стороне 220 кВ «мостика») одна из защит — на стороне высшего напряжения — выполнена ненаправленной одноступенчатой.

2.1.7. Защита от неполнофазного режима

В рассматриваемых схемах рис. 2.1 и 2.2. предусмотрены защиты от неполнофазного режима, возникающего при отключении не всеми фазами выключателя автотрансформатора стороны 220 или 110 кВ, в предположении установки выключателей с пофазным приводом. Защита действует на отключение автотрансформатора.

Необходимость установки такой защиты обусловлена возможностью ложного отключения в указанном режиме второго автотрансформатора подстанции его токовой направленной защитой нулевой последовательности от замыканий на землю, поскольку на ее реле направления мощности будет иметь место рабочий момент (на первом автотрансформаторе защита от замыканий на землю не работает, так как на ее реле направления мощности имеется тормозной момент).

Защита от неполнофазного режима выполнена с использованием реле тока третьей ступени токовой защиты нулевой последовательности и реле контроля непереключения фаз выключателя, предусмотренного в схеме управления. С помощью этого реле осуществляется отключение выключателя в случае его неполнофазного включения (время его действия отстроено по разновременности включения фаз выключателя.).

Защита от неполнофазного режима выполнена с выдержкой времени, обеспечивающей отстройку от действия реле контроля непереключения фаз в схеме управления, что необходимо, поскольку последним может быть ликвидирован неполнофазный режим в случае отказа одной или двух фаз выключателя при его включении.

В схеме рис. 2.3 (при наличии на стороне 220 кВ «мостика с выключателем в перемычке и отделителями в цепях автотрансформаторов») принято в целях упрощения не выполнять защиту от неполнофазного режима, возникающего при отключении не всеми фазами выключателя 220 кВ, поскольку она малоэффективна. Последнее объясняется тем, что при наличии этой защиты ее действие приводит к отключению обоих автотрансформаторов, что является нежелательным. Схема рис. 2.3 выполнена в предположении установки выключателей автотрансформаторов стороны 110 кВ с трехфазным приводом. В связи с указанным защита от неполнофазного режима на стороне 110 кВ не предусматривается.

2.1.8. Максимальная токовая защита от перегрузки выполнена с использованием тока одной фазы и действует на сигнал с выдержкой времени.

В схемах рис. 2.1—2.3 реле тока максимальной токовой защиты от перегрузки автотрансформатора установлены со сторон высшего и низшего напряжений и со стороны выводов обмотки автотрансформатора к нейтрали. Реле тока со стороны выводов обмотки к нейтрали необходимо для сигнализации перегрузки общей части обмотки автотрансформатора, которая возможна в режиме передачи мощности со стороны среднего напряжения одновременно на стороны высшего и низшего напряжений. Схемы рис. 2.1—2.3 выполнены в предположении возможности такой передачи мощности.

2.1.9. Оперативное и автоматическое ускорение защит от внешних КЗ, защита при дуговых замыканиях в КРУ 6—10 кВ, контроль изоляции цепей стороны низшего напряжения, выполнение выходных цепей защиты автотрансформатора, расстановка указательных реле, испытательных блоков и накладок.

2.1.9.1. В рассматриваемых схемах предусмотрена возможность оперативного ускорения защит от внешних КЗ на сторонах, где имеются сборные шины. Введение оперативного ускорения осуществляется рубильником при выведении из работы защиты шин.

На случай выведения из действия защиты шин 220 кВ в схеме рис. 2.1 предусмотрена возможность оперативного ускорения защит от внешних КЗ на стороне высшего напряжения — направленной токовой защиты обратной последовательности, соответствующей ступени дистанционной защиты и первой или второй ступени направленной токовой защиты нулевой последовательности.

На случай выведения из действия защиты шин 110 кВ в схемах рис. 2.1—2.3 предусмотрена возможность оперативного ускорения защит от внешних КЗ на стороне среднего напряжения — ненаправленной токовой защиты обратной последовательности, максимальной токовой защиты с пуском напряжения от трехфазных КЗ, соответствующей ступени дистанционной защиты и первой или второй ступени направленной токовой защиты нулевой последовательности.

Ускорение может быть выполнено с дополнительной выдержкой времени или без нее.

В целях упрощения эксплуатации, а также учитывая, что работа автотрансформатора с выведенной защитой ошиновки 220 кВ будет весьма кратковременной, в схеме рис. 2.2 для авторансформатора со схемой электрических соединений на стороне высшего напряжения — «четырехугольник»— оперативное ускорение защит от внешних КЗ на стороне 220 кВ не предусмотрено.

В схемах предусмотрена возможность ускорения ненаправленной токовой защиты обратной последовательности с действием на выходные промежуточные реле защиты автотрансформатора, используемого при выведении дифференциальной токовой защиты автотрансформатора. Ускорение выполняется с небольшой выдержкой времени для снижения вероятности отключения автотрансформатора при внешних КЗ. Введение данного ускорения ввиду весьма большой ответственности этой цепи должно осуществляться релейным персоналом с помощью установки соответствующей перемычки на ряде зажимов панели.

2.1.9.2. В схемах предусмотрено автоматическое ускорение защит от внешних КЗ при включении выключателей автотрансформатора на сторонах высшего, среднего и низшего напряжений от устройства АПВ после отключения внешнего повреждения (например, КЗ на сборных шинах или на ошиновке высшего напряжения, КЗ на отходящих от сборных шин подстанции линиях, сопровождающегося отказом их защит или выключателей). Указанное ускорение будет иметь место и при включении выключателей от руки.

При включении выключателей сторон высшего (при наличии сборных шин) и среднего напряжений ускоряются дистанционная защита, токовая защита обратной последовательности, максимальная токовая защита с пуском напряжения при трехфазных КЗ, третьи ступени токовой защиты нулевой последовательности от замыканий на землю на сторонах высшего и среднего напряжений.

При включении выключателя 220 кВ в схеме «четырехугольник» ускоряется третья ступень токовой защиты нулевой последовательности от замыканий на землю на стороне высшего напряжения.

В целях предотвращения ложного отключения выключателя автотрансформатора по цепи автоматического ускорения дистанционной защиты в случае включения его при расхождениях ЭДС в системе в рассматриваемую цепь введен контакт реле контроля отсутствия напряжения (подробнее см. описание схем рис. 2.1—2.3).

Автоматическое ускорение при включении выключателей сторон высшего и среднего напряжений выполняется с выдержкой времени для предотвращения ложного действия максимальной токовой защиты от трехфазных КЗ из-за броска пускового тока двигателей нагрузки и токовых защит обратной и нулевой последовательностей при неодновременном включении фаз выключателя. При включении выключателя стороны низшего напряжения ускоряется максимальная токовая защита, установленная на ответвлении к секции шин низшего напряжения (см. рис. 2.1 и 2.3), а при отсутствии ответвлений (см. рис. 2.2) — защита, питаемая от трансформаторов тока, встроенных в автотрансформатор со стороны низшего напряжения. Ускорение выполнено с выдержкой времени для предотвращения ложного действия защит из-за броска пусковых токов двигателей нагрузки. Выдержка времени автоматического ускорения принимается порядка 0,3—0,5 с.

2.1.9.3. Схемы рис. 2.1—2.3 выполнены с учетом наличия в КРУ 6—10 кВ защиты при дуговых замыканиях. Указанная защита в соответствии с ГОСТ 14693—77* устанавливается в шкафах КРУ, имеющих высоковольтные выключатели. Действие этой защиты регламентируется указанием Минэнерго СССР[1].

В рассматриваемых схемах показаны цепи от данной защиты:

на отключение выключателей 6—10 кВ автотрансформатора;

воздействия на выходные промежуточные реле защиты автотрансформатора.

При повреждениях в шкафах КРУ элементов, отходящих от шин 6—10 кВ, защита при дуговых замыканиях действует одновременно на отключение выключателей 6—10 кВ поврежденного элемента и автотрансформатора (при этом сохраняется возможность пуска АПВ выключателя автотрансформатора). При повреждении в шкафу КРУ выключателя автотрансформатора указанная защита действует на отключение данного выключателя без пуска АПВ и на выходные промежуточные реле защиты автотрансформатора, отключающие его со всех сторон.

2.1.9.4. Контроль изоляции цепей стороны низшего напряжения 6—10—35 кВ автотрансформатора в схемах рис. 2.1—2.3 осуществляется в помощью реле напряжения, действующего на сигнал с выдержкой времени. Реле питается от трансформатора напряжения, установленного на вводе низшего напряжения автотрансформатора.

Во избежание неправильного действия контроля изоляции при перегорании предохранителей на стороне высшего напряжения трансформатора напряжения

[1] «Технические требования на устройства защиты при дуговых замыканиях в шкафах КРУ 6—10 кВ», утверждены Главниипроектом и согласованы с Главтехуправлением Минэнерго СССР.

в схемах защиты автотрансформаторов с низшим напряжением 6—10—35 кВ предусмотрена специальная блокировка от органа напряжения обратной последовательности.

2.1.9.5. В качестве выходных промежуточных реле защиты автотрансформаторов используются реле типа РП-23.

В схемах предусмотрено самоудерживание выходных промежуточных реле, обеспечивающее надежный пуск УРОВ при возможных кратковременных замыканиях контактов газового реле (например, при использовании реле типа РГЧЗ-66 и т. п.), а также при КЗ в автотрансформаторе, сопровождающихся отказом выключателя последнего со стороны слабого питания. Автоматическое снятие самоудерживания осуществляется при отпускании дополнительно предусмотренного реле типа РП-252. Указанное реле осуществляет также контроль наличия оперативного постоянного тока на защите автотрансформатора.

Приведенные схемы могут применяться без изменений (за исключением номеров зажимов реле и параметров резисторов) при замене указанных реле типов РП-23 и РП-252 новыми — РП-16 и РП-18 соответственно.

Следует отметить, что для обеспечения надежного отключения выключателей автотрансформатора при кратковременных замыканиях контактов газового реле не требуется самоудерживания выходных промежуточных реле, поскольку удерживание отключающего сигнала предусмотрено в цепях управления выключателями.

В рассматриваемых схемах в целях повышения надежности выполнено дублирование действия выходных промежуточных реле защиты автотрансформатора на отключение его выключателей.

2.1.9.6. Схема рис. 2.3 выполнена с учетом ремонтного режима выключателя 220 кВ в перемычке. При повреждении данного автотрансформатора в указанном ремонтном режиме его защита помимо отключения собственных выключателей действует также на отключение выключателей сторон среднего и низшего напряжений второго автотрансформатора; последнее необходимо при наличии синхронных двигателей, питаемых от шин низшего напряжения. Этим исключается подпитка места повреждения от синхронных двигателей. При этом предполагается наличие на подстанции защиты, действующей на отключение синхронных двигателей, при исчезновении питания.

2.1.9.7. В выходных цепях каждой из защит предусмотрены указательные реле для сигнализации действия этих защит.

В целях упрощения для всех защит, выполненных с двумя выдержками времени (кроме защит с применением устройств типа КЗ-12), предусмотрено действие на выходные промежуточные реле защиты автотрансформатора с большей выдержкой времени через общее указательное реле. Указательные реле предусмотрены также в цепях ускорений.

2.1.9.8. Для удобства проверок и испытаний в плечах дифференциальных защит автотрансформатора, ошиновки высшего напряжения и цепей стороны низшего напряжения предусмотрены испытательные блоки. Они используются также при замене выключателей сторон высшего и среднего напряжений обходными выключателями.

Испытательные блоки предусмотрены также в цепях напряжения направленных токовых защит обратной и нулевой последовательностей для переключения в этих цепях при замене выключателя автотрансформатора обходным, а также для удобства проверки и испытаний реле направления мощности.

Кроме того, испытательные блоки предусмотрены в цепях отключения и запрещения АПВ обходного выключателя (для подключения указанных цепей при замене выключателя обходным) и в цепях пуска УРОВ 220 и 110 кВ (при наличии сборных шин).

Следует отметить, что перевод цепей напряжения при замене выключателя обходным может осуществляться не испытательными блоками, а с применением накладки, выполняющей переключение вспомогательных контактов шинных разъединителей в пусковых цепях обмоток реле-повторителей положения разъединителей (соответствующие схемы в данном выпуске не приводятся).

2.1.9.9. Предусмотренные в схемах накладки используются для выведения защит из работы при их неисправности (дифференциальная токовая защита, токовая защита обратной последовательности, максимальная токовая защита с пуском напряжения, дистанционная защита), при проверках защит (токовая защита нулевой последовательности), в цепях пуска УРОВ для исключения возможности пуска УРОВ при выводе защиты из работы, а также в цепи пуска промежуточных реле, характеризующих ремонтный режим (см. рис. 2.3).

2.2. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ СХЕМ

2.2.1. Принципиальная схема релейной защиты понижающего автотрансформатора 220/110/6—10 кВ мощностью 125 и 200 МВ·А при наличии на стороне высшего напряжения сборных шин приведена на рис. 2.1.

2.2.1.1. Схема дана для случая, когда на сторонах 110 и 220 кВ установлены выключатели и выносные трансформаторы тока, а на стороне низшего напряжения — линейный добавочный трансформатор для регулирования напряжения и сдвоенный реактор.

2.2.1.2. В схеме предусмотрены две дифференциальные защиты — автотрансформатора (реле *AKW1*), выполненная с использованием реле типа ДЗТ-21, и цепей стороны низшего напряжения автотрансформатора, включая линейный добавочный трансформатор (реле *KAW1—KAW3*), выполненная с использованием реле типа ДЗТ-11. Последняя установлена для повышения чувствительности при КЗ в линейном добавочном трансформаторе.

Дифференциальная защита автотрансформатора присоединяется к трансформаторам тока *TA1* 220 кВ и *TA3* 110 кВ соответственно в цепях выключателей высшего и среднего напряжений и к встроенным в бак автотрансформатора трансформаторам тока *TA6* на стороне низшего напряжения.

Торможение в защите обеспечивается токами от трех групп трансформаторов тока *TA1, TA3, TA6* с применением приставки дополнительного торможения *AT1*, включаемой на ток стороны низшего напряжения.

Схема внутренних соединений защиты приведена на рис. П2.2.

Схема выполнена в предположении, что для выравнивания вторичных токов в плечах дифференциальной защиты необходимо применение автотрансформаторов тока *TL1—TL9*.

Присоединение цепей тока к зажимам *AKW1* показано условно и определяется расчетом в конкретном случае.

Дифференциальная токовая защита цепей стороны низшего напряжения автотрансформатора выполнена с включением тормозной обмотки на сумму токов за сдвоенным реактором со стороны шин 6—10 кВ (в цепях выключателей *Q3* и *Q4*). Защита присоединена к трансформаторам тока *TA6* и *TA8, TA9*; последние устанавливаются в КРУ.

При замене выключателя *Q1* или *Q2* обходным защита переключается соответственно с трансформаторов тока *TA1* или *TA3* на трансформаторы тока в цепи обходного выключателя 220 или 110 кВ с помощью испытательных блоков в схеме защиты автотрансформатора (*SG1, SG2* или *SG3, SG4*) и в схеме панели перевода (см. рис. П2.1).

2.2.1.3. Цепи газовой защиты и реле давления выполнены с учетом наличия:

газовых реле *KSG1* и *KSG2*, реагирующих соответ-

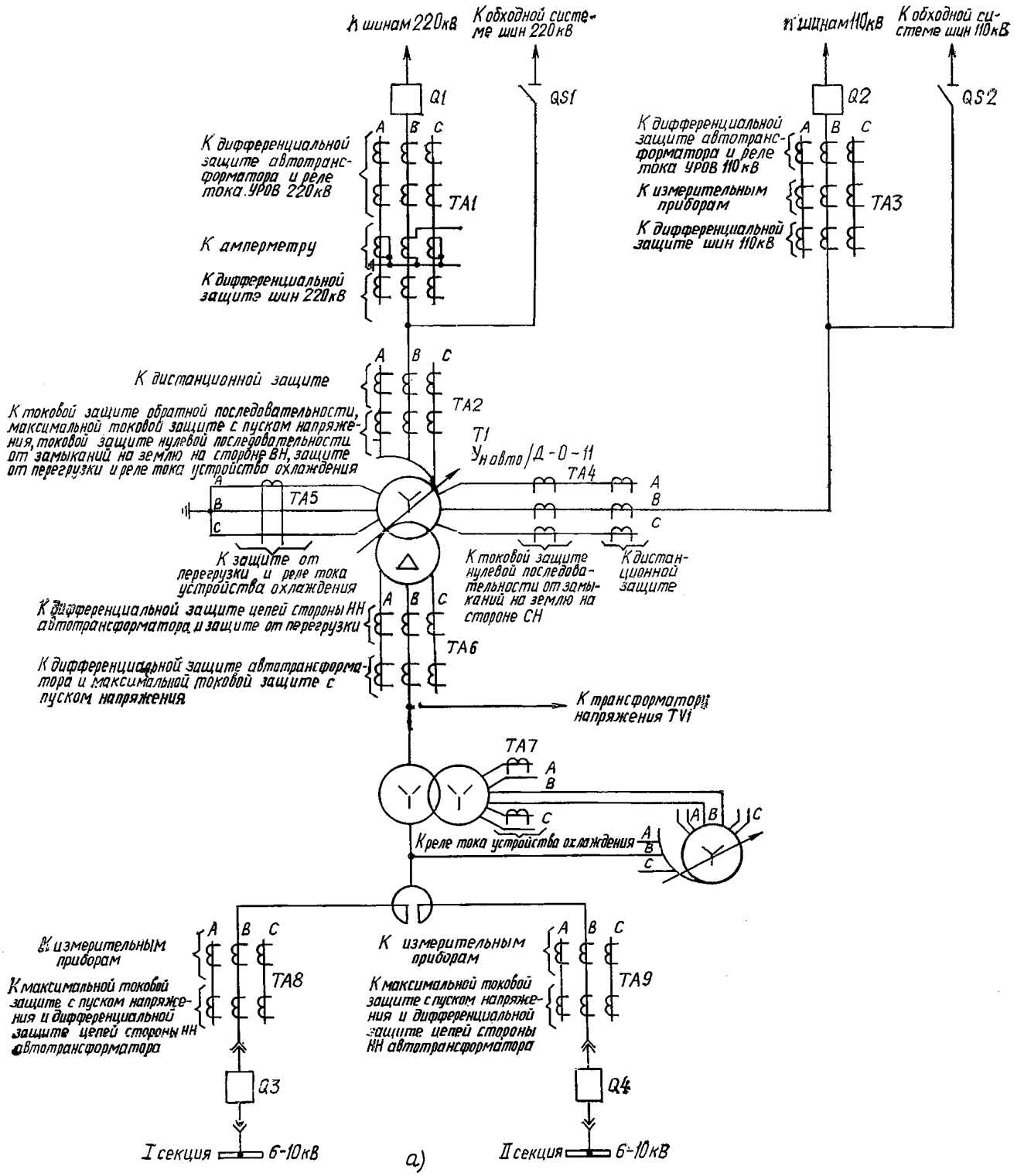


Рис. 2.1. Принципиальная схема релейной защиты понижающего автотрансформатора 220/110/6—10 кВ мощностью 125 и 200 МВ·А при наличии на стороне высшего напряжения сборных шин:

а — поясняющая схема; *б* — цепи переменного тока; *в* — цепи напряжения; *г* — цепи оперативного постоянного тока; *д* — цепи оперативного постоянного тока и выходные цепи, *е* — выходные цепи; *ж* — цепи сигнализации

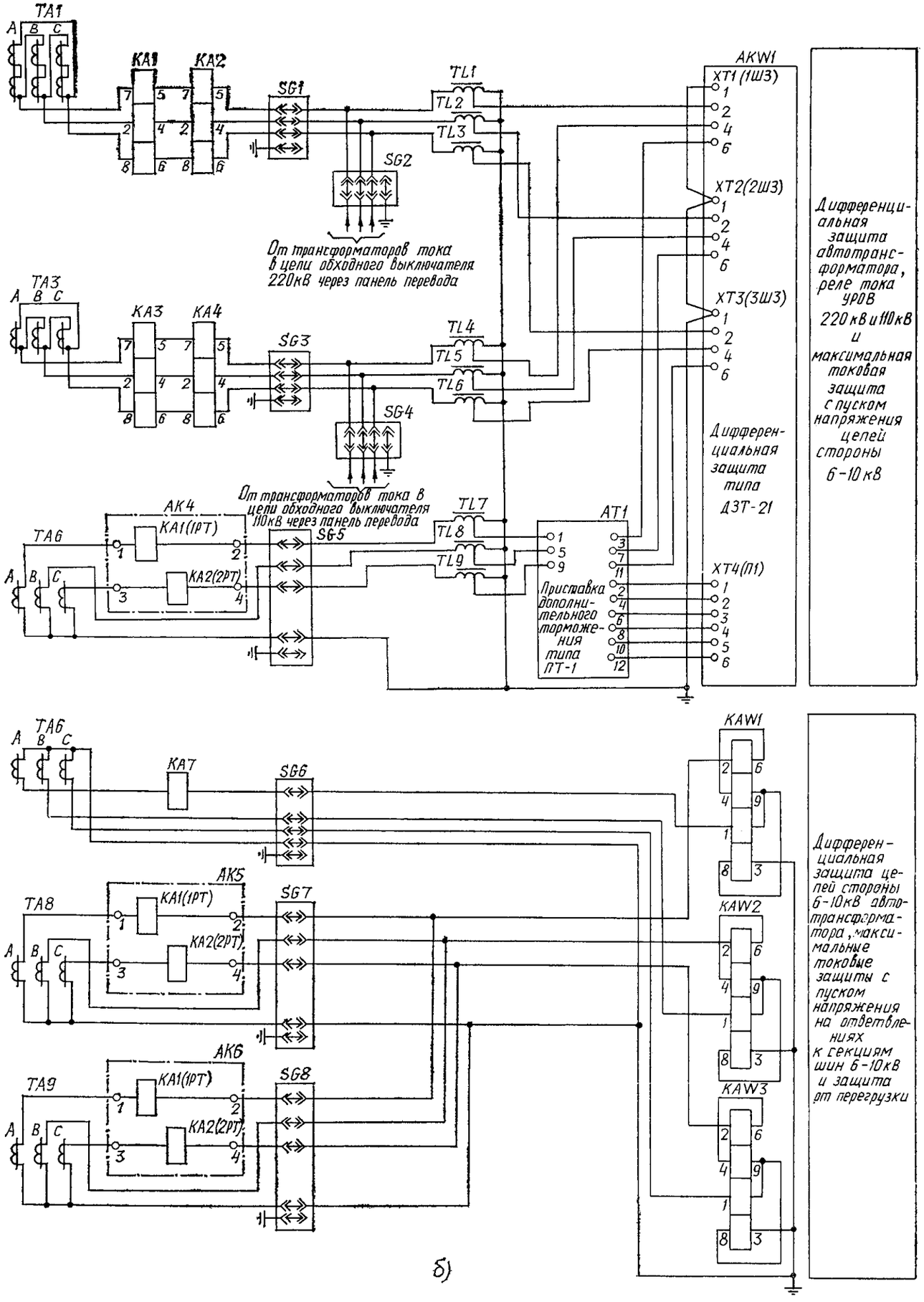


Рис. 2.1. Продолжение

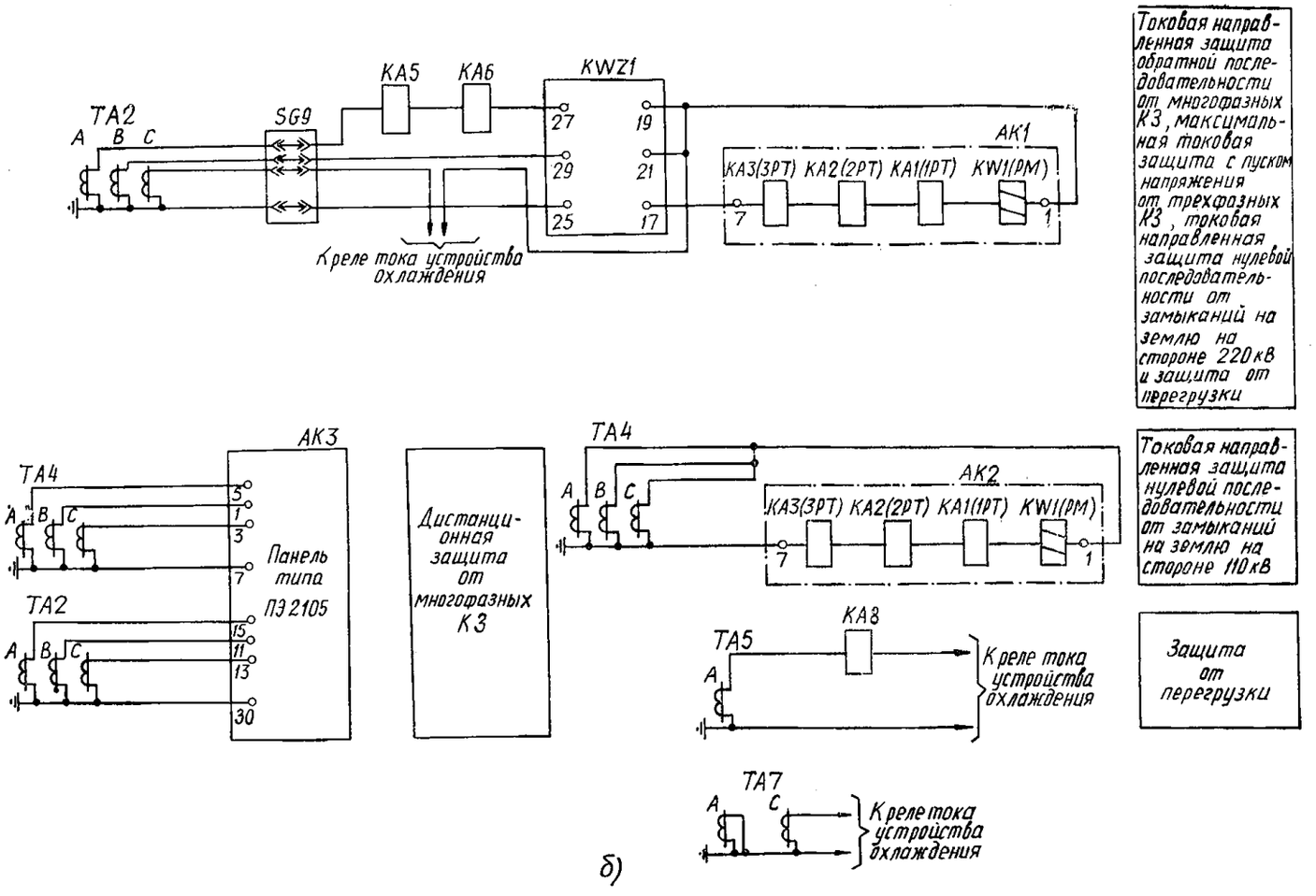


Рис. 2.1. Продолжение

ственно на повреждения в автотрансформаторе и линейном добавочном трансформаторе и имеющих два контакта, действующих на отключение автотрансформатора и на сигнал;

трех газовых реле *KSG3—KSG5*, реагирующих на повреждения в контакторном объеме РПН автотрансформатора, у которых используется только контакт, действующий на отключение;

одного реле давления *KSP1*, реагирующего на повреждения в контакторном объеме РПН линейного добавочного трансформатора, с одним контактом, действующим на отключение.

В схеме предусмотрена возможность перевода действия отключающих контактов газовых реле автотрансформатора и линейного добавочного трансформатора на сигнал.

2.2.1.4. Как указывалось выше (п. 2.1.1.3), автотрансформаторы мощностью 200 МВ·А оборудуются автоматическими установками пожаротушения. Поскольку пуск системы автоматического пожаротушения осуществляется только на отключенном автотрансформаторе, в данной схеме предусмотрена цепь, фиксирующая отключенное состояние поврежденного автотрансформатора. Указанная цепь состоит из последовательно включенных размыкающих контактов реле тока *KA3*, *KA6*, *KA7* и замыкающего контакта промежуточного реле *KL21* — повторителя реле минимального напряжения *KV3*, питаемого от трансформатора напряжения на вводе низшего напряжения автотрансформатора *TV1* и фиксирующего отсутствие напряжения на защищаемом автотрансформаторе.

Для автотрансформаторов мощностью 125 МВ·А, оборудованных устройствами обнаружения пожара с действием на сигнал при возникновении пожара, цепь, фиксирующая отключенное состояние автотрансформатора, не используется.

2.2.1.5. Защиты от внешних многофазных КЗ выполнены в виде токовой направленной защиты обратной последовательности и дополнительной к ней максимальной токовой защиты с пуском напряжения от трехфазных КЗ, дистанционной защиты (см. п. 2.2.1.6), максимальной токовой защиты с комбинированным пуском напряжения стороны низшего напряжения, питаемой от трансформаторов тока на стороне низшего напряжения *TA6*, встроенных в бак автотрансформатора, и максимальных токовых защит с комбинированным пуском напряжения, питаемых от трансформаторов тока в цепях ответвлений к секциям шин 6—10 кВ (*TA8*, *TA9*).

Токовая защита обратной последовательности *KWZ1* с дополнительной защитой от трехфазных КЗ (*KA5*) питаются от трансформаторов тока *TA2*, встроенных во втулки автотрансформатора 220 кВ, и предназначены для резервирования отключения КЗ на шинах 220 и 110 кВ и отходящих от них элементов, а также для резервирования основных защит автотрансформатора. Защита выполнена направленной в сторону 220 кВ в предположении, что выдержки времени защит в сети 220 кВ меньше, чем в сети 110 кВ.

Орган направления мощности защиты питается от трансформатора напряжения шин 220 кВ.

Токовая защита обратной последовательности как направленная действует:

с первой выдержкой времени через реле времени *KT1* — на промежуточное реле *KL1* устройства *AK1* (см. п. 2.2.1.7), отключающее шиносоединительный или секционный выключатель 220 кВ;

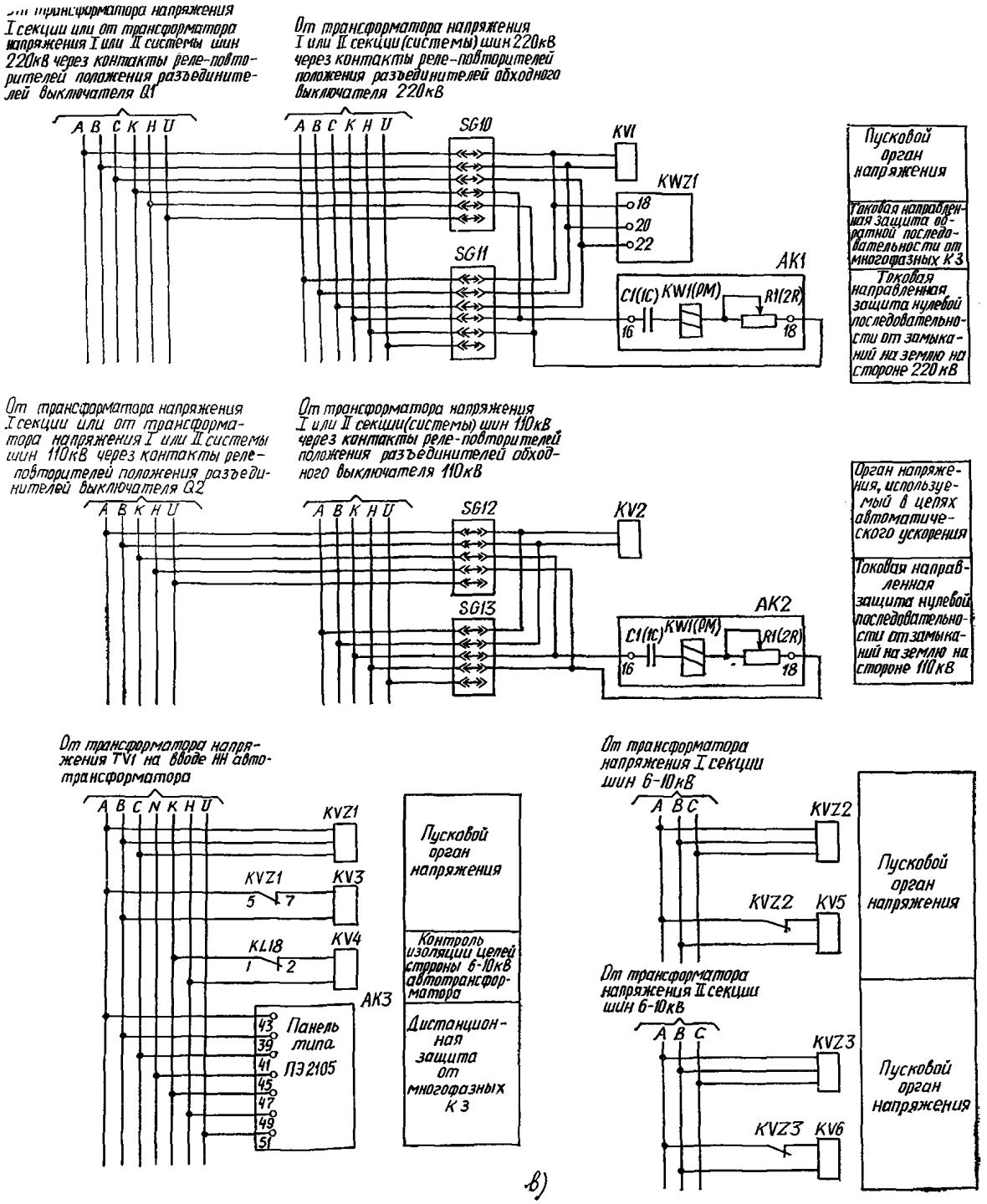


Рис. 2.1. Продолжение

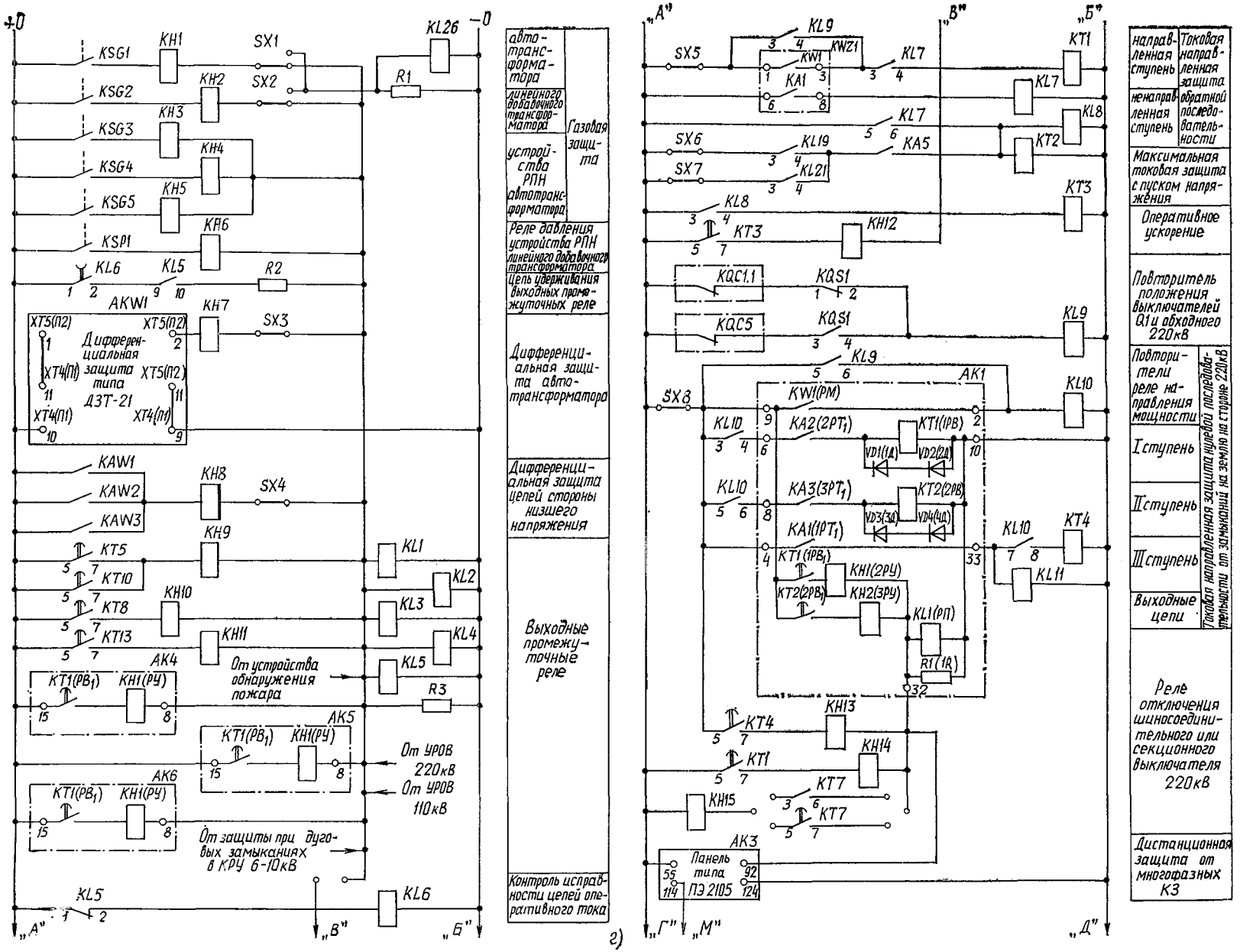
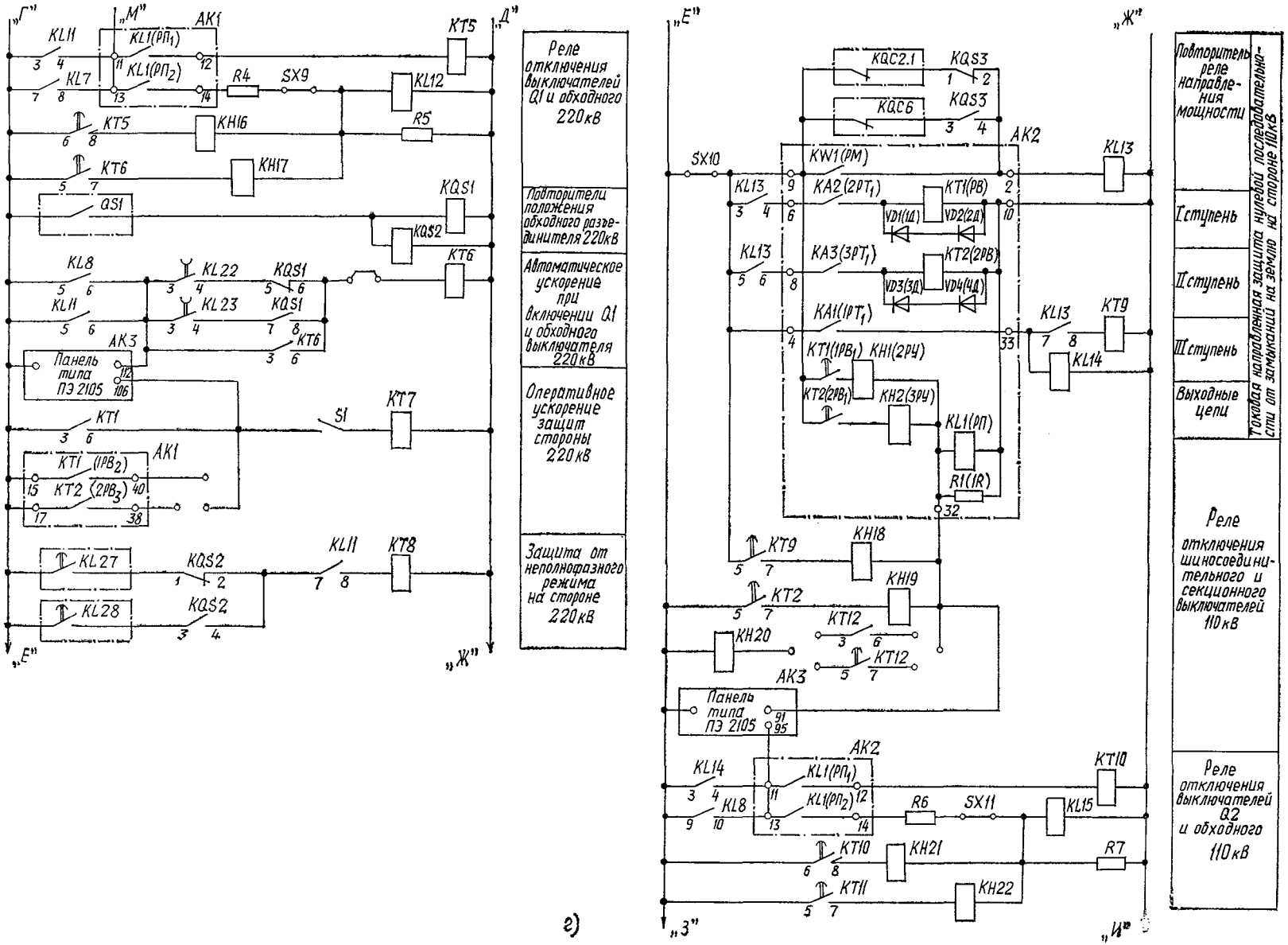


Рис. 2.1. Продолжение



г)

Рис. 2.1. Продолжение

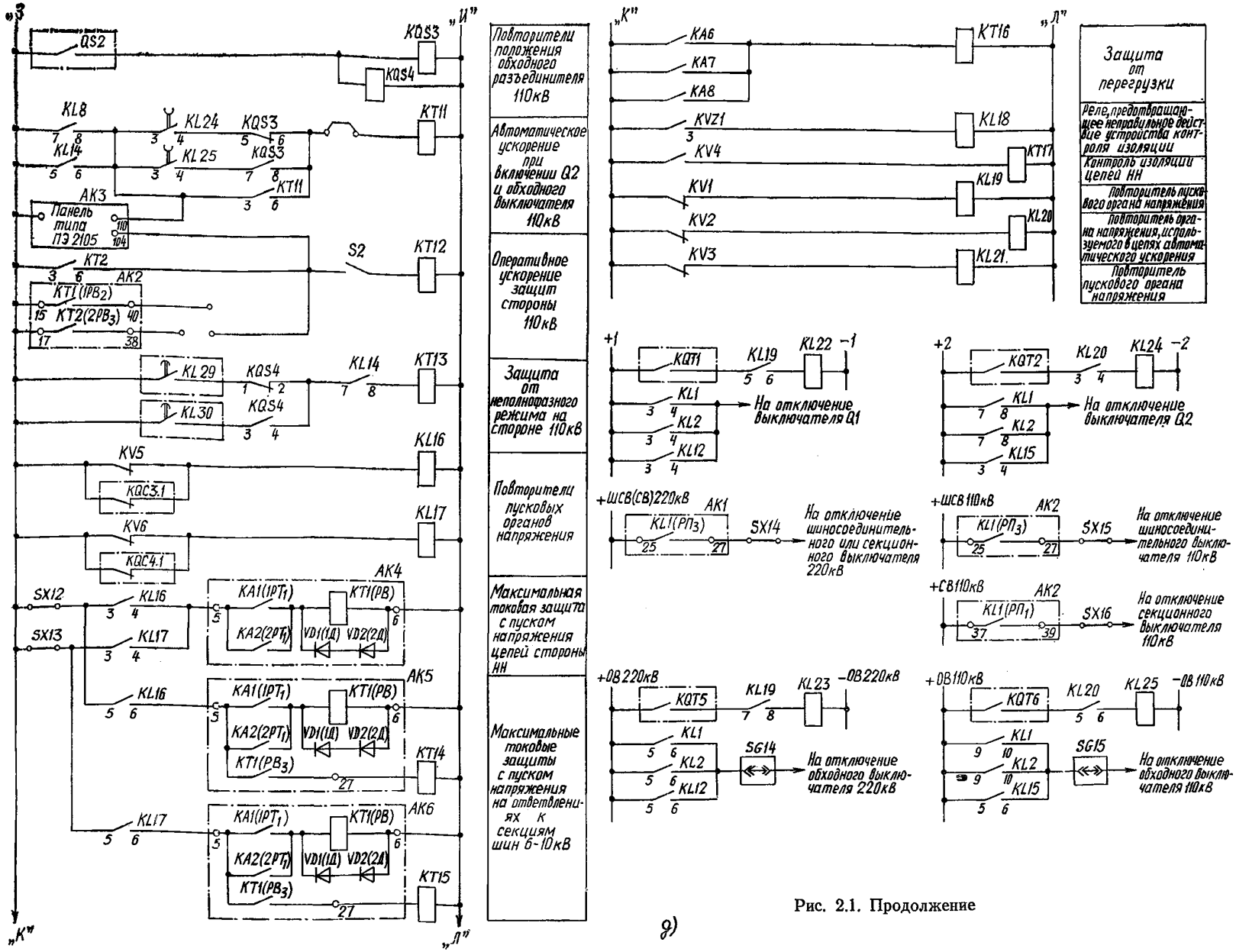


Рис. 2.1. Продолжение

9)

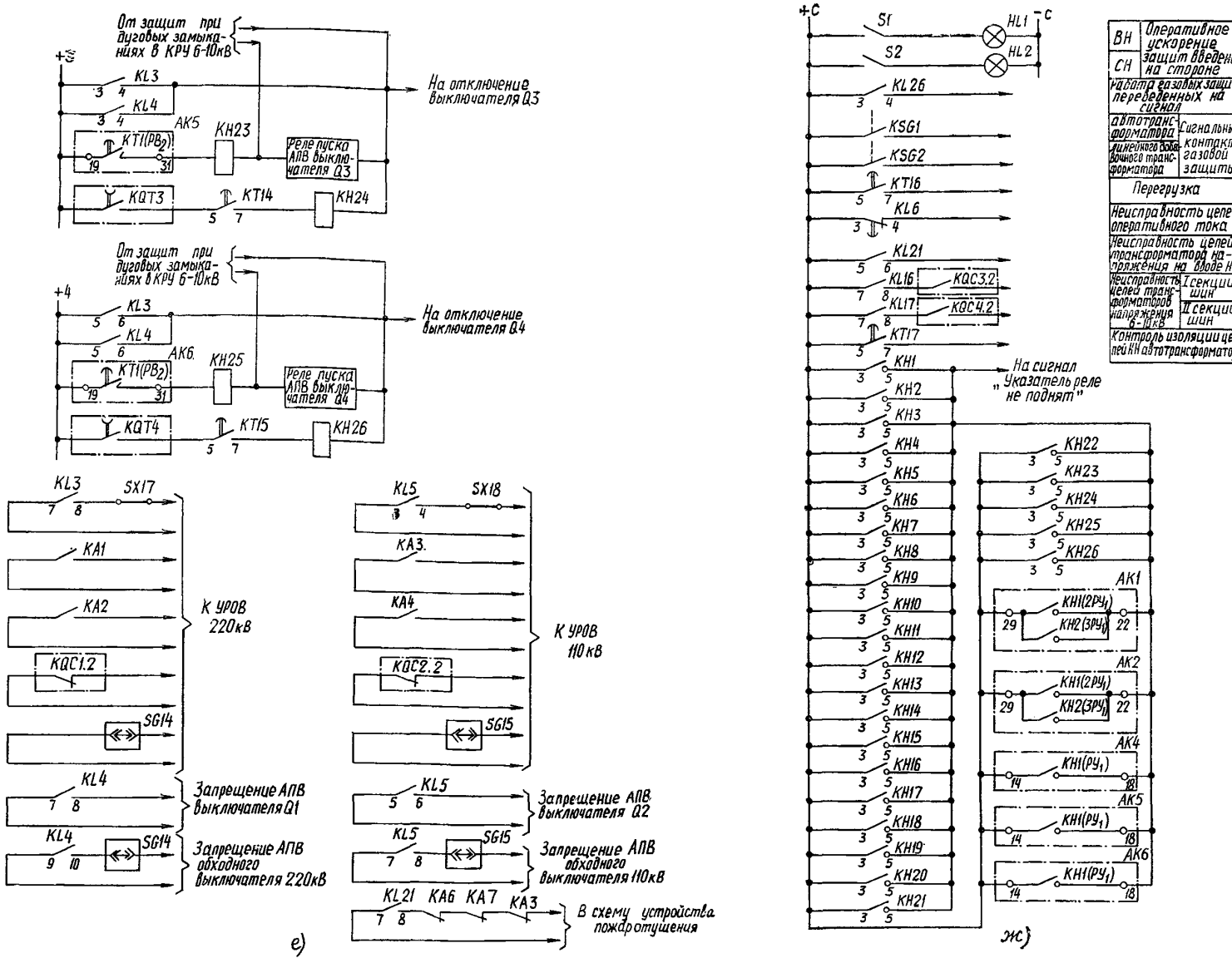


Рис. 2.1. Продолжение

со второй — на отключение выключателя *Q1* или заменяющего его обходного выключателя 220 кВ;

с третьей — на выходные промежуточные реле защиты автотрансформатора *KL1—KL5*.

Для обеспечения действия защиты с третьей выдержкой времени при повреждении между трансформаторами тока *TA2* и выключателем 220 кВ в схеме предусмотрено шунтирование контакта реле направления мощности *KW1* рассматриваемой защиты *KWZ1* контактом реле *KL9*, повторителем контакта реле положения «включено» выключателя *Q1* или заменяющего его обходного выключателя.

Токовая защита обратной последовательности как ненаправленная и максимальная токовая защита с пуском напряжения от трехфазных КЗ действуют:

с первой выдержкой времени (реле *KT2*) — на промежуточное реле *KL1* устройства *AK2* (см. п. 2.2.1.7), отключающее шиносоединительный и секционный выключатели 110 кВ;

со второй — на отключение выключателя *Q2* стороны 110 кВ или заменяющего его обходного выключателя;

с третьей — на выходные промежуточные реле *KL1—KL5*.

Защита от трехфазных КЗ имеет два пусковых органа напряжения — минимальное реле напряжения *KV1*, питаемое от трансформатора напряжения шин 220 кВ, с промежуточным реле *KL19* и комбинированный пусковой орган напряжения *KVZ1*, *KV3*, питаемый от трансформатора напряжения *TV1* на вводе низшего напряжения автотрансформатора, с промежуточным реле *KL21*.

Максимальная токовая защита с пуском напряжения стороны низшего напряжения предназначена для резервирования дифференциальной защиты цепей низшего напряжения автотрансформатора, а также для резервирования отключения КЗ на шинах низшего напряжения.

Защита выполнена с использованием комплектного устройства *AK4* типа КЗ-12, действующего на выходные промежуточные реле *KL1—KL5*. Комбинированные пусковые органы напряжения защиты *KVZ2*, *KV5*, *KL16* и *KVZ3*, *KV6* и *KL17* питаются от трансформаторов напряжения секций шин 6—10 кВ.

Максимальные токовые защиты с комбинированным пуском напряжения, установленные на ответвлениях к секциям шин 6—10 кВ, выполнены с использованием комплектов *AK5* и *AK6* типа КЗ-12 и устанавливаются, как указано в п. 2.1.4.2, на панели общеподстанционного пункта управления. Защиты включаются в плечи дифференциальной защиты цепей низшего напряжения автотрансформатора — на трансформаторы тока *TA8*, *TA9* и осуществляют защиту секций шин 6—10 кВ, а также резервируют отключения КЗ на элементах, питаемых от этих шин. Защита действует с первой выдержкой времени (реле времени *KT1* комплектов *AK5* и *AK6*) на отключение соответствующего выключателя *Q3* и *Q4* и на пуск его устройства АПВ, а со второй выдержкой времени — через выходные промежуточные реле *KL1—KL5* на отключение автотрансформатора; последнее принято для повышения надежности ликвидации КЗ в зоне между выключателем *Q3* или *Q4* и трансформаторами тока *TA8* или *TA9*, а также отключения КЗ на секции шин 6—10 кВ при отказе выключателя, поскольку защита, выполненная с помощью устройства *AK4*, при указанных КЗ имеет меньшую чувствительность.

Защита, питаемая от трансформаторов тока *TA6*, и защиты на ответвлениях к секциям шин 6—10 кВ имеют общие пусковые органы напряжения. При отключении выключателя *Q3* или *Q4* контакт соответствующего пускового органа шунтируется контактом реле положения «включено» выключателя *KQC3* или *KQC4*, что необходимо для ликвидации повреждения между выключателем и трансформаторами тока; при таком шунтировании защита, питаемая от *TA6*, превращается в максимальную токовую без пуска напряжения.

2.2.1.6. Схема дана для случая применения дистанционной защиты АКЗ с использованием панели ПЭ2105, в которой первая ступень — КРС-2 — используется для обеспечения дальнего резервирования в сети 110 кВ, а вторая ступень — КРС-3 — для обеспечения дальнего резервирования в сети 220 кВ. Обе ступени выполняются с выдержками времени, как правило, согласованными с выдержками времени третьих ступеней защит линий, отходящих от шин данной подстанции. В рассматриваемом случае возможно выполнение первой и второй ступеней без блокировки при качаниях.

Одновременно дистанционная защита может осуществлять частичное резервирование основных защит автотрансформатора (за счет смещения характеристики первой ступени защиты в третий квадрант).

Рассматриваемая схема выполнена в предположении, что обеспечивается селективность защит линий 220 (110) кВ при КЗ на стороне 110 (220) кВ без использования первой ступени дистанционной защиты автотрансформатора на стороне 110 (220) кВ специально для согласования с ней второй ступени защит линий 220 (110) кВ (т. е. когда вторые ступени защиты противоположных сторон линий 110 и 220 кВ, отходящих от шин данной подстанции, отстроены от КЗ на шинах смежного напряжения 220 и 110 кВ). При необходимости использования одной из ступеней дистанционной защиты ПЭ2105 для согласования защит линий смежных напряжений или для повышения эффективности дальнего резервирования может рассматриваться вопрос об установке второй панели типа ПЭ2105.

Первая ступень защиты питается от трансформаторов тока *TA4* со стороны резервируемой сети 110 кВ, а вторая ступень — от трансформаторов тока *TA2* со стороны 220 кВ. Обе ступени защиты питаются от трансформатора напряжения *TV1* на вводе низшего напряжения автотрансформатора.

Первая ступень принята направленной в сторону сети 110 кВ и действует, как и токовая ненаправленная защита обратной последовательности (см. п. 2.1.4.1), в первую очередь на отключение шиносоединительного и секционного выключателей 110 кВ, со второй выдержкой времени на отключение выключателя *Q2* стороны 110 кВ или на заменяющий его обходной выключатель 110 кВ и с третьей выдержкой времени на выходные промежуточные реле *KL1—KL5*. Вторая ступень принята направленной в сторону сети 220 кВ и действует, как и токовая направленная защита обратной последовательности, с первой выдержкой времени на отключение шиносоединительного или секционного выключателей 220 кВ, со второй на отключение выключателя *Q1* стороны 220 кВ или на заменяющий его обходной выключатель 220 кВ и с третьей выдержкой времени на выходные промежуточные реле *KL1—KL5*.

Цепи напряжения защиты включаются на фазные напряжения (относительно нулевой точки системы) трансформатора напряжения *TV1* типа НТМИ 6-10. Трансформатор напряжения такого типа в отличие от трансформатора напряжения 110 кВ типа НКФ-110 не имеет вывода от одной из фаз вторичных обмоток, соединенных в разомкнутый треугольник (см. рис. П2.3). В связи с этим невозможно выполнить подключение КРБ-12 панели дистанционной защиты типа ПЭ2105 аналогично тому, как это выполняется на рис. 2.2 при использовании трансформатора напряжения 110 кВ. Необходимое подключение цепей напряжения в данном случае выполняется в соответствии с указанной схемой на рис. П2.3 и обусловлено отсутствием отдельных выводов цепей напряжения у КРБ-12 в панели типа ПЭ2105. При этом цепи тока дистанционной защиты включаются таким образом, чтобы обеспечивалось включение реле сопротивления на петлю КЗ.

2.2.1.7. Для резервирования отключения замыканий на землю на сторонах 220 и 110 кВ предусмотрены трехступенчатые токовые направленные защиты нулевой

последовательности, питаемые соответственно от трансформаторов тока *ТА2* и *ТА4*, встроенных во втулки автотрансформатора на сторонах высшего и среднего напряжений.

Защиты выполнены с использованием комплектных устройств *АК1* и *АК2* типа КЗ-15. Предусмотрена возможность выполнения любой ступени каждой из защит ненаправленной.

Реле *KL1* устройств *АК1* и *АК2* являются выходными промежуточными реле резервных защит, действующими соответственно на отключение шиносоединительного или секционного выключателя 220 кВ и шиносоединительного и секционного 110 кВ. Следует отметить, что при наличии резервной защиты двух рабочих секционированных выключателями и обходной секционированной разъединителем систем шин 110 кВ указанные цепи вводятся только при выводе защиты шин из работы.

На реле *KL1* устройства *АК1* действуют три ступени токовой защиты нулевой последовательности, токовая направленная защита обратной последовательности и вторая ступень дистанционной защиты.

Реле *KL1* устройства *АК1* действует на реле времени *КТ5*, которое с первой выдержкой времени (контакт *6-8*) через промежуточное реле *KL12* действует на отключение выключателя *Q1* или на заменяющий его обходной выключатель, а со второй (контакт *5-7*) — на выходные промежуточные реле *KL1—KL5*.

Цепь напряжения реле направления мощности *KW1* устройства *АК1* питается от трансформатора напряжения шин 220 кВ. Для обеспечения действия защиты после отключения выключателя *Q1* или обходного выключателя 220 кВ при КЗ на землю в соединении автотрансформатора с шинами 220 кВ контакт реле направления мощности шунтируется замыкающим контактом реле *KL9*.

Подобным же образом выполнены выходные цепи резервных защит от внешних КЗ на стороне 110 кВ. Реле *KL1* устройства *АК2* действует на реле времени *КТ10*, которое с первой выдержкой времени через промежуточное реле *KL15* действует на отключение выключателя *Q2* стороны 110 кВ или на заменяющий его обходной выключатель, а со второй — на выходные промежуточные реле *KL1—KL5*.

Цепь напряжения реле направления мощности *KW1* устройства *АК2* питается от трансформатора напряжения шин 110 кВ. Для обеспечения действия защиты после отключения выключателя стороны 110 кВ при КЗ на землю в соединении автотрансформатора с шинами 110 кВ контакт реле направления мощности шунтируется размыкающим контактом реле положения «включено» отключившегося выключателя *KQC2* или *KQC6*.

Как указано в п. 2.1.6, время возврата устройств *АК1* и *АК2* может достигать 0,2 с. Для устранения необходимости учета замедленного возврата КЗ-15 при выборе выдержек времени защиты в цепи обмотки реле времени КТ5 (КТ10) последовательно с контактом *KL1* устройства *АК1* (*АК2*) включаются параллельно соединенные контакты реле *KL11*, *KL7* и контакт реле повторителя второй ступени дистанционной защиты (*KL14*, *KL8* и контакт реле повторителя первой ступени дистанционной защиты). Последним обеспечивается ускоренный возврат указанных реле времени после отключения повреждения.

2.2.1.8. В схеме предусмотрены защиты от неполнофазных режимов, возникающих при отключении не всеми фазами выключателей автотрансформатора 220 или 110 кВ, в предположении, что эти выключатели оборудованы пофазным приводом.

В качестве реагирующего органа защиты используется реле тока ненаправленной третьей ступени токовой защиты нулевой последовательности от замыканий на землю (например, в защите от неполнофазного режима на стороне 220 кВ — реле тока *КА1* устройства *АК1* и промежуточное реле *KL11*). Защита срабатывает, если появление тока $3I_0$ сопровождается действием реле контроля непереключения фаз соответствующего выключателя, предусмотренного в его схеме управления. Время действия защиты (реле *КТ8* в защите на стороне 220 кВ и *КТ13* в защите на стороне 110 кВ) отстроено от действия реле контроля непереключения фаз, что необходимо, поскольку последним может быть ликвидирован неполнофазный режим в случае отказа одной или двух фаз выключателя при его включении. Обе защиты действуют на выходные промежуточные реле *KL1—KL5*.

2.2.1.9. Защита от перегрузки выполнена с помощью реле тока *КА6—КА8*, установленных со сторон высшего и низшего напряжений, а также со стороны выводов обмотки автотрансформатора к нейтрали, и реле времени *КТ16*.

2.2.1.10. В схеме предусмотрена возможность оперативного ускорения резервных защит от внешних КЗ на стороне высшего напряжения (с помощью реле *КТ7*) и на стороне среднего напряжения (с помощью реле *КТ12*).

При выведении из действия защиты шин 220 кВ рубильником *S1* вводится оперативное ускорение первой (или второй) направленной ступени токовой защиты нулевой последовательности от замыканий на землю на стороне 220 кВ (устройство *АК1*), токовой направленной защиты обратной последовательности (реле *КТ1*) и второй ступени дистанционной защиты.

При выведении из действия защиты шин 110 кВ рубильником *S2* вводится оперативное ускорение первой (или второй) направленной ступени токовой защиты нулевой последовательности от замыканий на землю на стороне 110 кВ (устройство *АК2*), токовой ненаправленной защиты обратной последовательности с максимальной токовой защитой от трехфазных КЗ (реле *КТ2*) и первой ступени дистанционной защиты.

На ряд зажимов панели выведено по два контакта реле времени *КТ7* и *КТ12*, в каждом конкретном случае выбирается требуемый способ ускорения и устанавливаются соответствующие перемычки.

При выведении из работы дифференциальной защиты автотрансформатора может быть осуществлено ускорение токовой ненаправленной защиты обратной последовательности с максимальной токовой защитой от трехфазных КЗ с действием их на отключение автотрансформатора. Ускорение выполняется с выдержкой времени (реле *КТ3*) для снижения вероятности излишнего срабатывания при внешних КЗ. Релейным персоналом должна быть установлена перемычка между зажимами панели в цепи пуска от контакта *5-7* реле *КТ3* выходных промежуточных реле *KL1—KL5*.

2.2.1.11. В схеме выполнено автоматическое ускорение защит от внешних КЗ при включении выключателей *Q1* или *Q2* или заменяющих их обходных выключателей 220 или 110 кВ, а также при включении выключателей *Q3* и *Q4* на стороне 6—10 кВ.

При включении выключателя 220 или 110 кВ от устройства АПВ после отключения повреждения на шинах или на отходящих от них линиях, сопровождающегося отказом защиты или выключателя линии, ускоряются с выдержкой времени реле времени *КТ6* или *КТ11* следующие защиты: токовая защита обратной последовательности с дополнительной максимальной токовой защитой от трехфазных КЗ, третья ступень токовой защиты нулевой последовательности и соответствующая ступень дистанционной защиты.

Указанное ускорение будет иметь место и при включении выключателей вручную.

Пуск цепи автоматического ускорения осуществляется контактами реле ускорения выключателя автотрансформатора 220 (110) кВ или обходного. Для предотвращения ложных срабатываний дистанционной защиты по цепи автоматического ускорения цепь пуска

реле ускорения выключателей 220 кВ *KL22* и *KL23* контролируется органом напряжения *KV1* (*KL19*), питаемым от трансформатора напряжения шин 220 кВ; подобным же образом цепь пуска реле ускорения выключателей 110 кВ *KL24* и *KL25* контролируется органом напряжения *KV2* (*KL20*), питаемым от трансформатора напряжения шин 110 кВ. Наличие напряжения на сборных шинах предотвращает возможность ложного отключения защиты по цепи ее автоматического ускорения при включении выключателя.

Реле времени *KT6* (*KT11*) обеспечивает отстройку от разновременности включения фаз выключателя, а также от броска пусковых токов двигателей нагрузки.

Пуск цепей автоматического ускорения максимальных токовых защит с пуском напряжения, установленных на ответвлениях к секциям шин 6—10 кВ, осуществляется контактами реле положения «отключено» *KQT3* и *KQT4* выключателей соответственно *Q3* и *Q4*. Ускорение выполнено с выдержкой времени (реле времени *KT14*, *KT15*) для предотвращения ложного действия защит из-за броска пусковых токов двигателей нагрузки.

2.2.1.12. Контроль изоляции цепей низшего напряжения автотрансформатора осуществляется с помощью реле напряжения *KV4*, действующего на сигнал с выдержкой времени (реле *KT17*). Во избежание неправильного действия устройства контроля изоляции при перегорании предохранителей на стороне высшего напряжения трансформатора напряжения *TV1* предусмотрен разрыв цепи обмотки реле *KV4* размыкающим контактом реле *KL18*, действующим при срабатывании фильтра-реле напряжения обратной последовательности *KVZ1*.

2.2.1.13. В схеме выполнено самоудерживание выходных промежуточных реле *KL1—KL5* в соответствии с п. 2.1.9.5. Снятие самоудерживания осуществляется при отпускании промежуточного реле *KL6* типа РП-252, нормально находящегося под напряжением. Реле *KL6* осуществляет также контроль исправности цепей оперативного тока защиты автотрансформатора.

2.2.1.14. В схеме показаны цепи связи защиты автотрансформатора с УРОВ 220 кВ (реле тока *KA1*, *KA2*; выходное реле защиты *KL3*; реле положения «включено» выключателя 220 кВ *Q1—KQC1*; испытательный блок, используемый при замене выключателя *Q1* обходным, *SG14*) и УРОВ 110 кВ (реле тока *KA3*, *KA4*; выходное реле защиты *KL5*; реле положения «включено» выключателя 110 кВ *Q2—KQC2*, испытательный блок *SG15*).

2.2.1.15. Схема выполнена с учетом возможности замены выключателей 220 кВ *Q1* и 110 кВ *Q2* обходным выключателем 220 и 110 кВ соответственно. При этом осуществляется следующее:

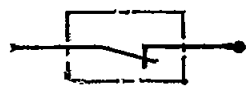
перевод цепей тока дифференциальной защиты автотрансформатора на трансформаторы тока в цепи соответствующего обходного выключателя (см. п. 2.2.1.2),

подготовка цепей отключения и запрещения АПВ соответствующего обходного выключателя (с помощью испытательных блоков *SG14* и *SG15*).

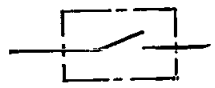
2.2.1.16. При применении данной схемы для автотрансформатора мощностью 125 МВ·А не используются цепь, контролирующая отключенное состояние поврежденного автотрансформатора (см. п. 2.2.1.4), и цепь воздействия на выходные промежуточные реле от устройства обнаружения пожара.

2.2.1.17. Данная схема выполнена с использованием следующей аппаратуры: *AK1*, *AK2* — комплекты защиты типа КЗ-15; *AK3* — панель дистанционной защиты типа ПЭ2105; *AK4—AK6* — комплекты защиты типа КЗ-12; *AKW1* — защита дифференциальная типа ДЗТ-21; *AT1* — приставка дополнительного торможения типа ПТ-1; *HL1*, *HL2* — лампы осветительные; *KA1—KA4* — реле тока типа РТ-40/Р; КА5—КА8 — реле тока типа РТ-40; KAW1—KAW3 — реле тока с торможением типа ДЗТ-11; КН1—КН22 — реле указательные типа РУ-1/0,05; КН23—КН-26 — реле указательные типа РУ-1; *KL1—KL5*, *KL7—KL21*, *KL26*, *KQS1—KQS4* — реле промежуточные типа РП-23; *KL6*, *KL22—KL25* — реле промежуточного типа РП-252; *KSG1—KSG5* — реле газовые; *KSP1* — реле давления; *KT1*, *KT2*, *KT4*, *KT9* — реле времени типа РВ-134; *KT3*, *KT6—KT8*, *KT11—KT15* — реле времени типа РВ-114; *KT5*, *KT10* — реле времени типа РВ-128; *KT16*, *KT17* — реле времени типа РВ-133; *KV1—KV3*, *KV5*, *KV6* — реле напряжения типа РН-54/160; *KV4* — реле напряжения типа РН-53/60Д; *KVZ1—KVZ3* — фильтры-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1М; *KWZ1* — фильтр-реле тока и мощности обратной последовательности типа РМОП-2М; *R1*, *R5*, *R7* — резисторы типа ПЭВ-25, 3900 Ом; *R2*, *R4*, *R6* — резисторы типа ПЭВ-10, 100 Ом; *R3* — резистор типа ПЭВ-25, 2200 Ом; *S1*, *S2* — рубильники однополюсные на 16 А, 250 В, типа Р-16 (в двухполюсном исполнении); *SG1—SG4*, *SG9*, *SG14*, *SG15* — блоки испытательные типа БИ-4; *SG5—SG8*, *SG10—SG13* — блоки испытательные типа БИ-6; *SX1—SX18* — накладки типа НКР-3; *TL1—TL9* — автотрансформаторы промежуточные типа АТ-31 или АТ-32.

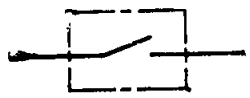
В схеме приняты следующие обозначения:



— *KQC1*, *KQC2*, *KQC5*, *KQC6*, *KQC3*, *KQC4* — контакты реле положения «включено» соответственно выключателей *Q1*, *Q2*, обходных выключателей 220 и 110 кВ, выключателей *Q3* и *Q4*;



— *KQC3*, *KQC4* — контакты реле положения «включено» соответственно выключателей *Q3* и *Q4*;



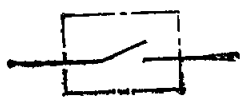
— *KQT1*, *KQT2*, *KQT5*, *KQT6* — контакты реле положения «отключено» соответственно выключателей *Q1*, *Q2*, обходных выключателей 220 и 110 кВ;



— *KQT3*, *KQT4* — контакты реле положения «отключено» соответственно выключателей *Q3* и *Q4*;



— *KL27*, *KL29*, *KL28*, *KL30* — контакты реле контроля непереключения фаз в схемах управления соответственно выключателей *Q1*, *Q2*, обходных выключателей 220 и 110 кВ;



— *QS1*, *QS2* — вспомогательные контакты обходных разъединителей автотрансформатора соответственно на сторонах 220 и 110 кВ.

Примечание к рис. 2.1. У комплектов *AK1* и *AK2* типа КЗ-15 не используется демпферная обмотка промежуточного реле *KL1*, в комплектах должна быть отсоединена цепь реле *KH4* (4РУ) от зажима *40*.

2.2.2. Принципиальная схема релейной защиты понижающего автотрансформатора 220/110/6—10—35 кВ мощностью 63 МВ·А при наличии на стороне высшего напряжения схемы «четырехугольник» приведена на рис. 2.2.

2.2.2.1. Схема дана для случая, когда на сторонах 110 и 220 кВ установлены выключатели и выносные трансформаторы тока, на стороне низшего напряжения установлен линейный добавочный трансформатор, а при напряжении 6—10 кВ — и одиночный реактор.

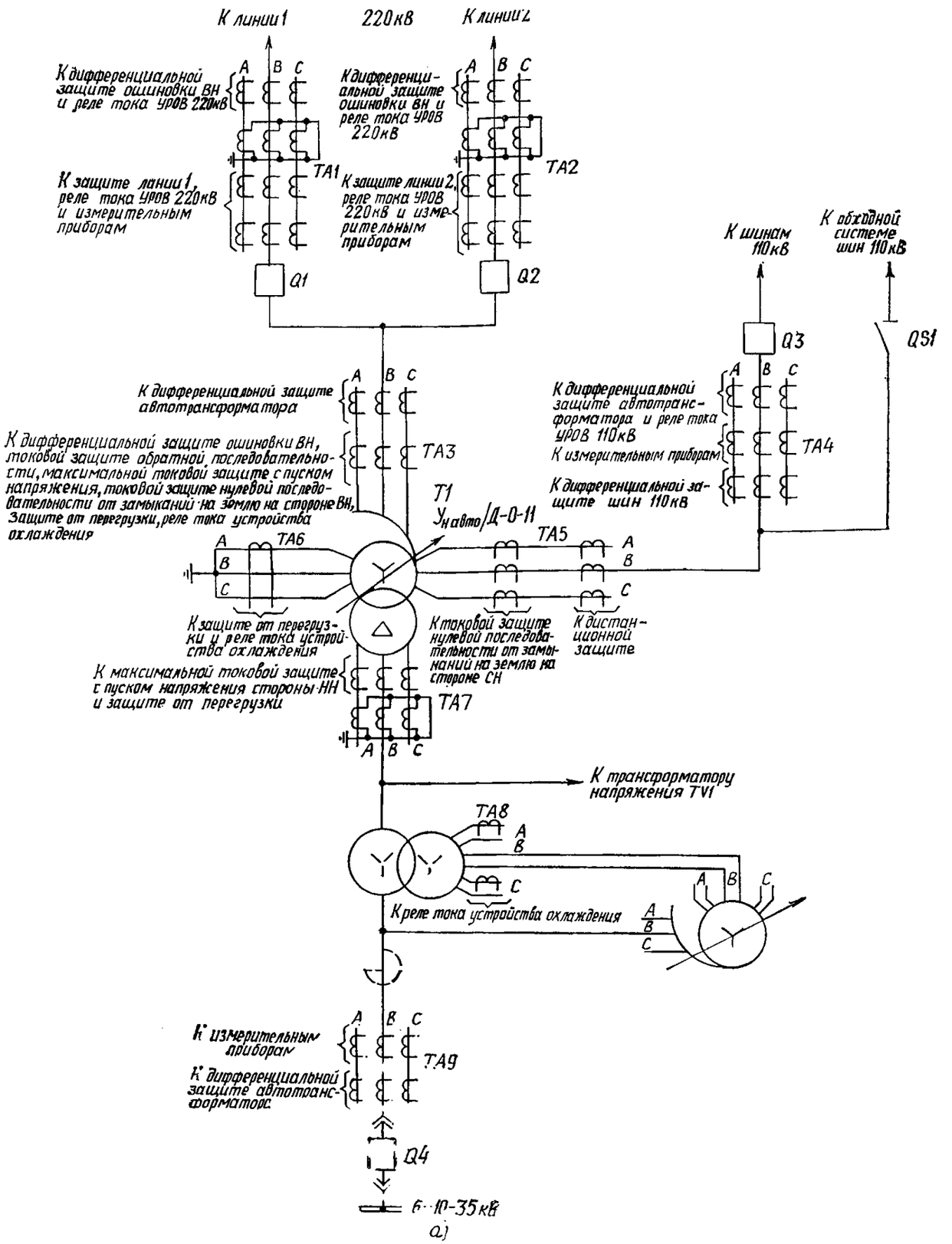


Рис. 2.2. Принципиальная схема релейной защиты понижающего автотрансформатора 220/100/6—10—35 кВ мощностью 63 МВ·А при наличии на стороне высшего напряжения схемы «четырехугольник»:

а — поясняющая схема; *б* — цепи переменного тока; *в* — цепи напряжения; *г* — цепи оперативного постоянного тока; *д* — цепи оперативного постоянного тока и выходные цепи; *е* — цепи сигнализации

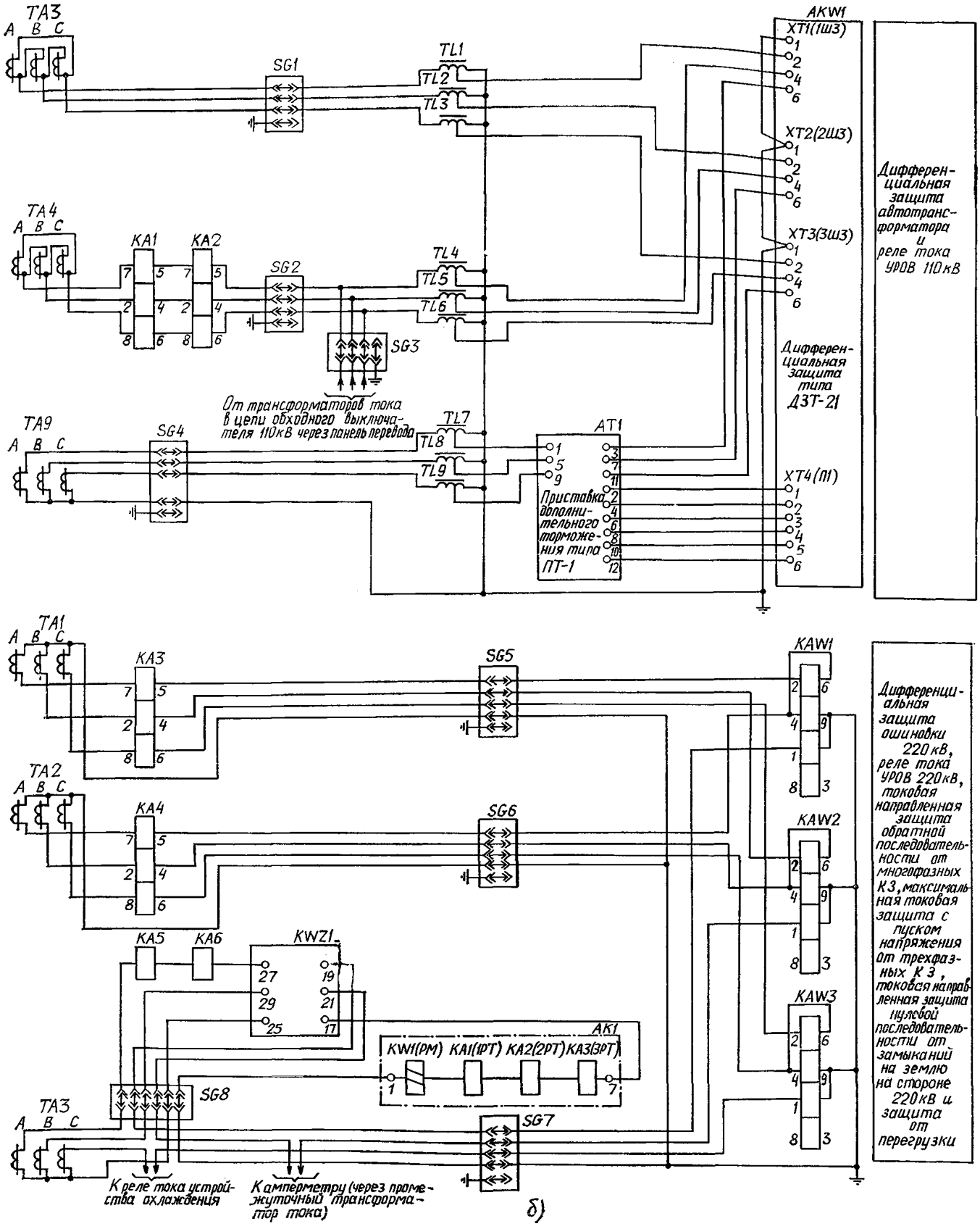


Рис. 2.2. Продолжение

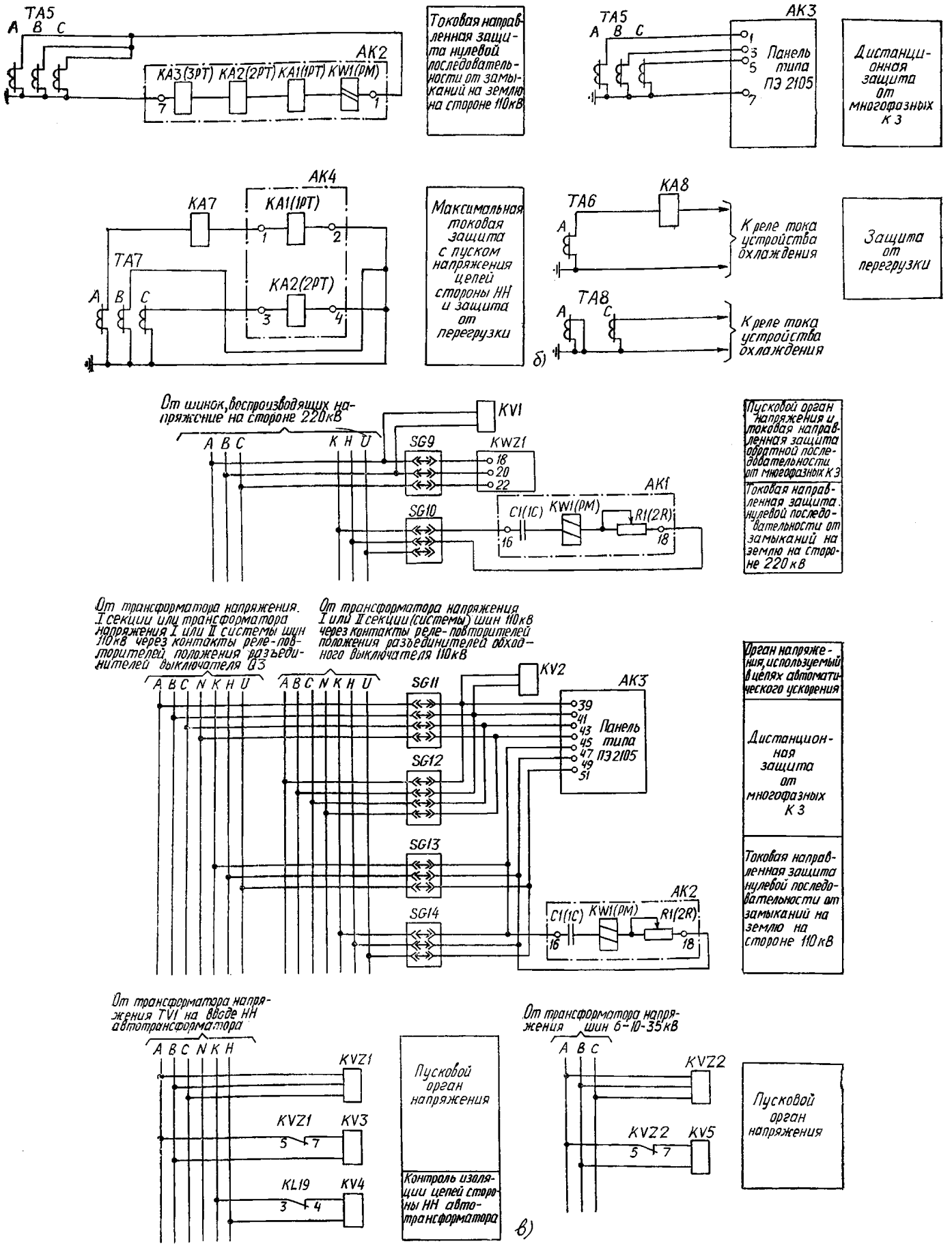


Рис. 2.2. Продолжение

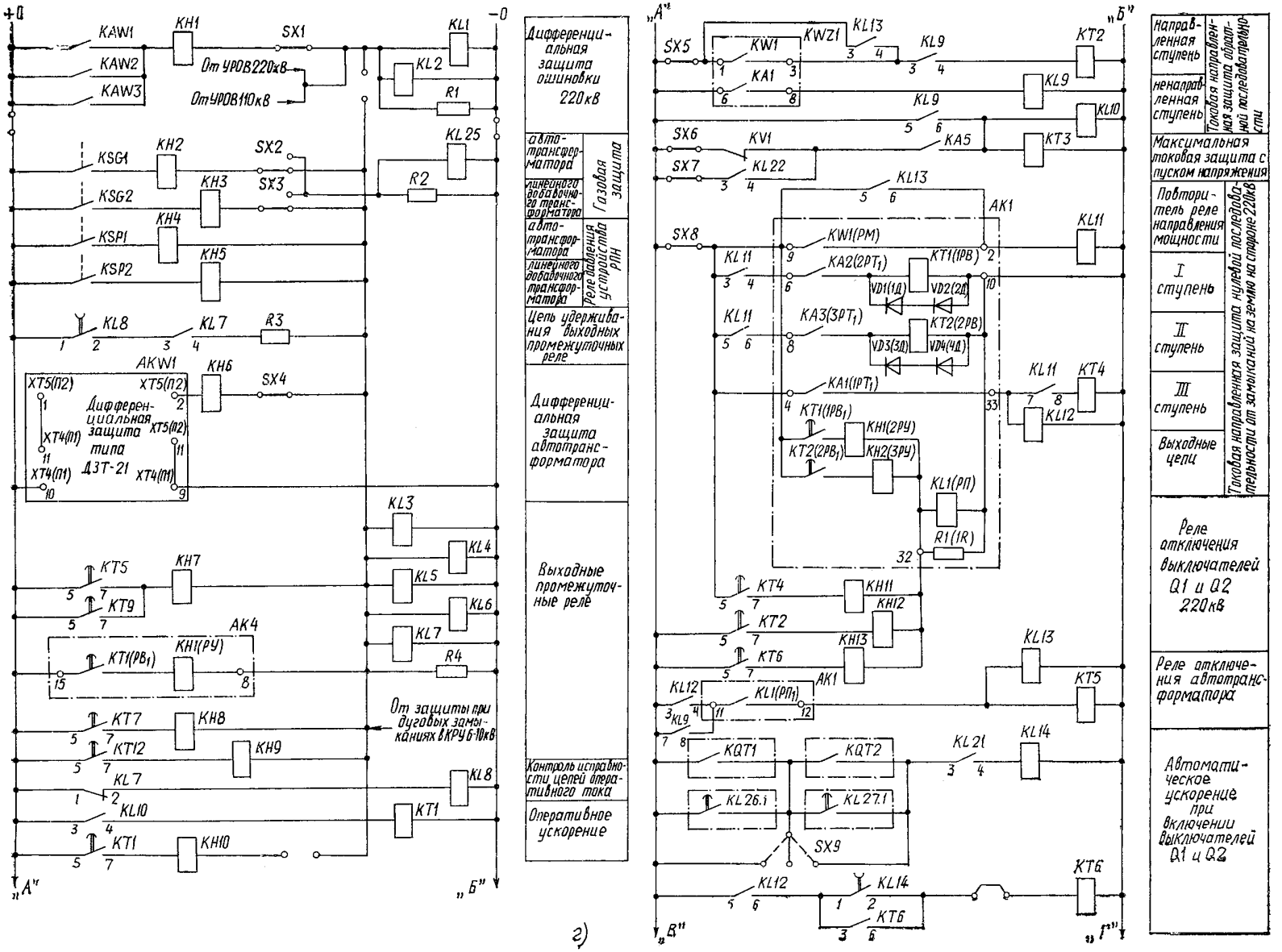
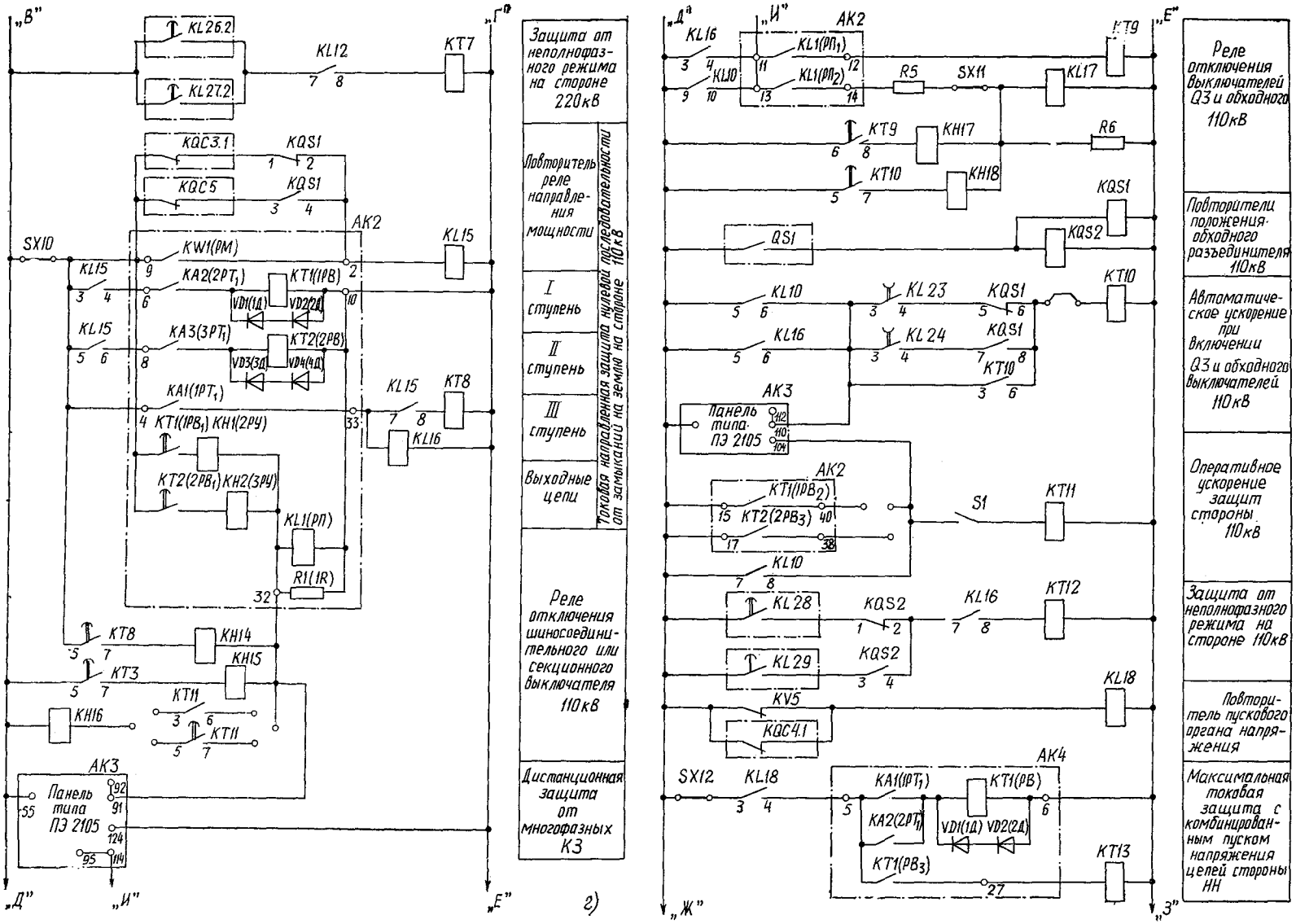


Рис. 2.2. Продолжение



г)

Рис. 2.2. Продолжение

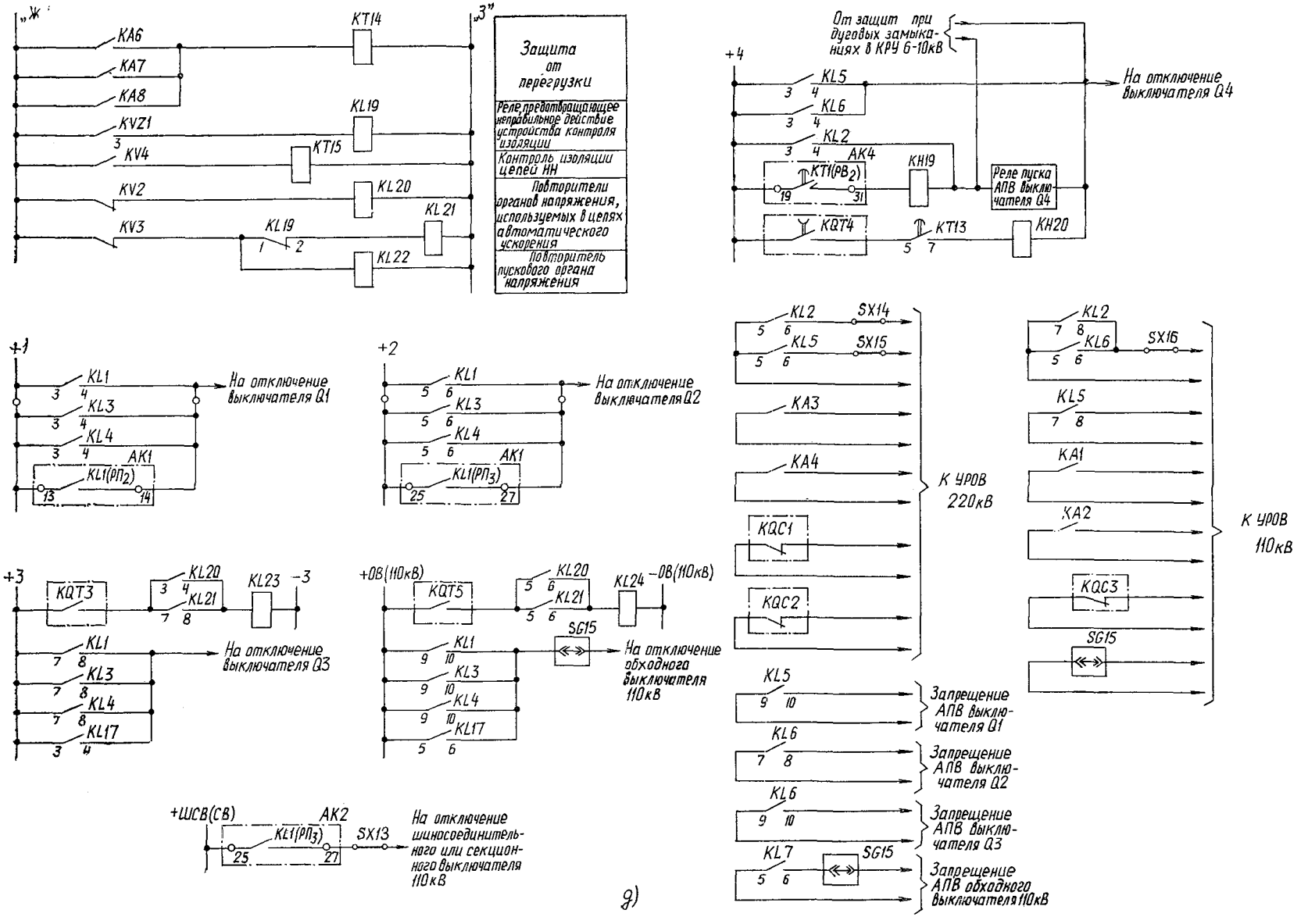
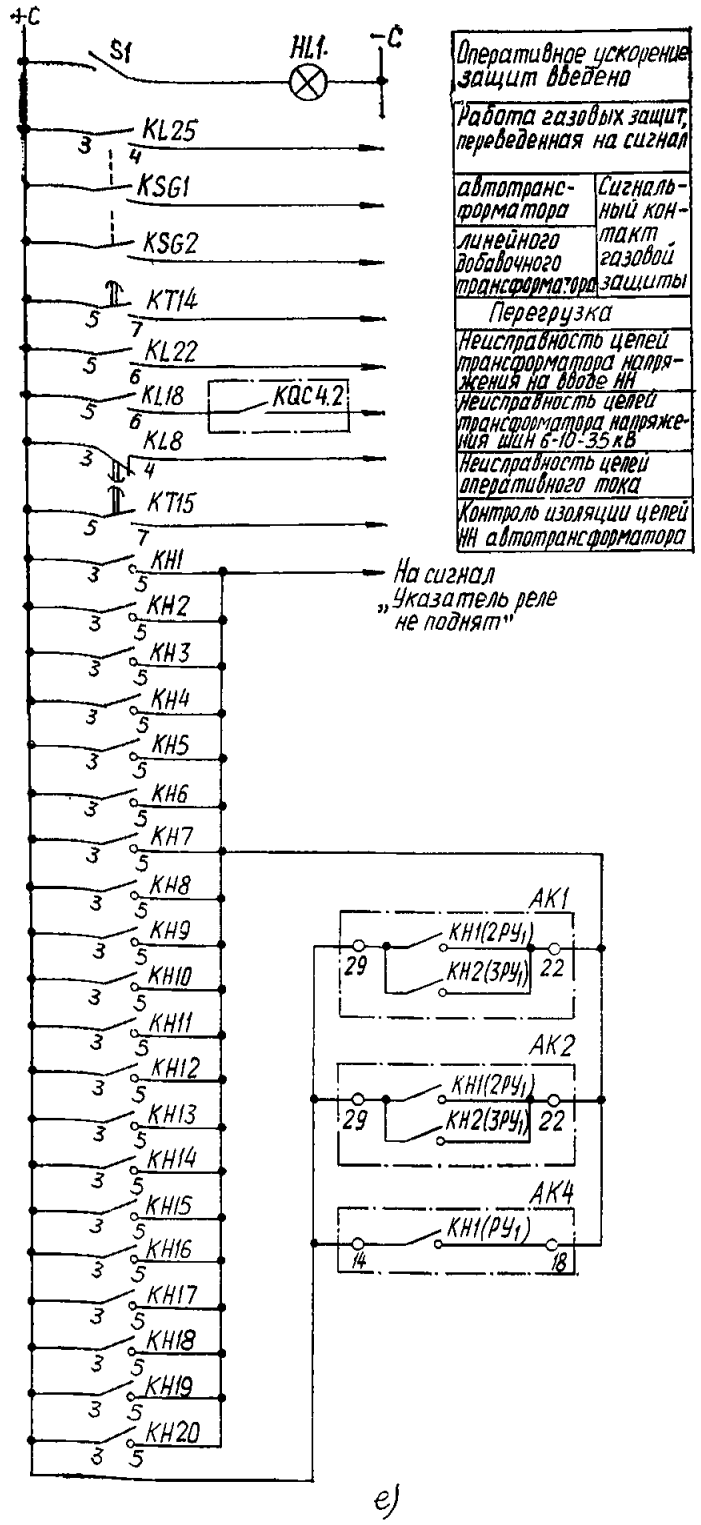


Рис. 2.2. Продолжение



е)

Рис. 2.2. Продолжение

2.2.2.2. В схеме предусмотрены две дифференциальные защиты — автотрансформатора *AKW1* и ошиновки стороны высшего напряжения (*KAW1—KAW3*).

Дифференциальная защита автотрансформатора охватывает автотрансформатор, соединения его со сборными шинами среднего напряжения и цепи стороны низшего напряжения, включая линейный добавочный трансформатор. Защита выполнена с использованием реле типа ДЗТ-21. Торможение в защите обеспечивается токами от трех групп трансформаторов тока *TA3*, *TA4* и *TA9* с применением приставки дополнительного торможения *AT1*, включаемой на ток стороны низшего напряжения.

Присоединение цепей тока к определенным зажимам *AKW1* выполнено условно и определяется расчетом в конкретном случае.

При замене выключателя *Q3* стороны среднего напряжения обходным защита переключается с трансформаторов тока *TA4* на трансформаторы тока в цепи обходного выключателя с помощью испытательных блоков *SG2*, *SG3* в схеме защиты автотрансформатора и соответствующих испытательных блоков в схеме панели перевода (см. рис. П2.1).

При срабатывании дифференциальная защита автотрансформатора *AKW1* действует через выходные промежуточные реле защит автотрансформатора *KL3—KL7* на отключение и запрещение АПВ выключателей *Q1—Q3* и обходного выключателя 110 кВ и на отключение выключателя *Q4* без пуска его АПВ.

Дифференциальная токовая защита ошиновки 220 кВ присоединена к выносным трансформаторам тока *TA1* и *TA2* в цепях выключателей *Q1* и *Q2* и к встроенным трансформаторам тока *TA3*; тормозная обмотка реле *KAW1—KAW3* включается на ток в цепи одного из выключателей «четырехугольника» — *Q1*. При срабатывании защита ошиновки через свои выходные промежуточные реле *KL1*, *KL2* действует на отключение выключателей *Q1—Q4* без запрещения АПВ выключателей *Q1—Q3* и с пуском АПВ выключателя *Q4*.

Выполнение отдельной защиты ошиновки 220 кВ позволяет, как указывалось (см. п. 2.1.2), избежать снижения чувствительности дифференциальной защиты автотрансформатора, выполнять АПВ ошиновки. Предусмотрена возможность выделения по цепям оперативного тока дифференциальной защиты ошиновки из общей схемы защиты автотрансформатора на случай проверки защиты отключенного автотрансформатора, если при этом для повышения надежности сети 220 кВ оба выключателя 220 кВ автотрансформатора *Q1* и *Q2* должны быть включены.

При срабатывании УРОВ 220 и 110 кВ соответственно в случае КЗ на одной из линий 220 кВ и отказе выключателя *Q1* или *Q2* и КЗ на шинах 110 кВ и отказе выключателя *Q3* пускаются выходные реле защиты ошиновки *KL1* и *KL2*, поскольку в этом случае не требуется запрещение АПВ выключателей автотрансформатора.

Если по каким-либо причинам при работе защиты ошиновки окажется желательным запрещение АПВ выключателей *Q1—Q3*, реле *KL1*, *KL2* соединяются параллельно с выходными промежуточными реле *KL3—KL7* путем установки перемычки на ряде зажимов панели.

2.2.2.3. Цепи газовой защиты и реле давления выполнены с учетом:

газовых реле *KSG1* и *KSG2*, реагирующих соответственно на повреждения в автотрансформаторе и линейном добавочном трансформаторе и имеющих два контакта, действующих на отключение автотрансформатора и на сигнал;

реле давления *KSP1* и *KSP2*, реагирующих соответственно на повреждения в контакторном объеме РПН автотрансформатора и линейного добавочного трансформатора, с одним контактом, действующим на отключение.

Предусмотрена возможность перевода действия отключающих контактов газовых реле *KSG1* и *KSG2* на сигнал.

2.2.2.4. Защиты от внешних многофазных КЗ выполнены в виде токовой направленной защиты обратной последовательности с дополнительной к ней максимальной токовой защитой с пуском напряжения от трехфазных КЗ, дистанционной защиты (см. п. 2.2.2.5) и максимальной токовой защиты с комбинированным пуском напряжения стороны низшего напряжения.

Токовая защита обратной последовательности *KWZ1* и защита от трехфазных КЗ *KA5* питаются от трансформаторов тока *TA3*, встроенных во втулки 220 кВ автотрансформатора, и предназначены для резервирования отключения КЗ на ошиновке и линиях 220 кВ, на шинах 110 кВ и присоединенных к ним элементах,

а также для резервирования основных защит автотрансформатора.

Защита выполнена направленной в сторону 220 кВ в предположении, что выдержки времени защит в сети 220 кВ меньше, чем в сети 110 кВ. Орган направления мощности защиты питается от шинок, воспроизводящих напряжение на стороне 220 кВ.

Токовая защита обратной последовательности как направленная выполнена действующей с первой выдержкой времени на отключение выключателей *Q1* и *Q2* через контакт *5-7* реле времени *KT2* и промежуточное реле *KL1* устройства *AK1* (см. п. 2.2.2.6), т. е. с учетом маловероятного, но возможного отказа защит линий 220 кВ. Со второй выдержкой времени защита как резервирующая отказ защиты ошиновки 220 кВ, в том числе и отказ ее выходных промежуточных реле *KL1* и *KL2*, действует на выходные промежуточные реле защиты автотрансформатора *KL3—KL7*. Последнее имеет недостаток — происходит запрещение АПВ выключателей автотрансформатора, хотя КЗ было на ошиновке 220 кВ. Указанный недостаток может быть устранен, если предусмотреть для резервных защит автотрансформатора от КЗ на стороне высшего напряжения отдельную группу выходных промежуточных реле. Однако, учитывая сравнительно малую вероятность отказа защиты ошиновки и наличие второго автотрансформатора, а также значительное усложнение схемы при применении рассматриваемого мероприятия, последнее считается допустимым.

Для обеспечения действия защиты после отключения выключателей *Q1* и *Q2* при КЗ на ошиновке 220 кВ контакт органа направления мощности *KW1* фильтр-реле *KWZ1* шунтируется контактом реле *KL13*. Токовая защита обратной последовательности как ненаправленная и максимальная токовая защита с пуском напряжения от трехфазных КЗ действуют с первой выдержкой времени (реле *KT3*) на промежуточное реле *KL1* устройства *AK2* (см. п. 2.2.2.6), которое подает сигналы на отключение шиносоединительного или секционного выключателя 110 кВ, со второй выдержкой времени на отключение выключателя *Q3* на стороне 110 кВ или на заменяющий его обходной выключатель и с третьей выдержкой времени на выходные промежуточные реле *KL3—KL7*. Защита от трехфазных КЗ имеет два пусковых органа напряжения — минимальное реле напряжения *KV1*, питаемое от шинок, воспроизводящих напряжение на стороне 220 кВ, и комбинированный пусковой орган напряжения *KVZ1*, *KV3* и *KL22*, питаемый от трансформатора напряжения на вводе низшего напряжения автотрансформатора.

Максимальная токовая защита с пуском напряжения цепей стороны низшего напряжения питается от трансформаторов тока *TA7*, встроенных во втулки автотрансформатора на стороне низшего напряжения, и предназначена для резервирования основной защиты при КЗ на стороне низшего напряжения автотрансформатора, а также для осуществления защиты шин низшего напряжения и резервирования отключения КЗ на отходящих от них элементах. Защита выполнена с использованием комплектного устройства *AK4* типа КЗ-12, действующего с первой выдержкой времени на отключение выключателя *Q4*, на пуск его устройства АПВ, а со второй на выходные промежуточные реле *KL3—KL7*. Комбинированный пусковой орган напряжения *KVZ2*, *KV5* и *KL18* питается от трансформатора напряжения шин низшего напряжения.

2.2.2.5. В схеме предусмотрена дистанционная защита *AK3*, выполненная с использованием панели типа ПЭ2105, в которой первая ступень — КРС-2 — используется для согласования с ней защит линий 220 кВ, а вторая ступень — КРС-3 — для обеспечения дальнего резервирования в сети 110 кВ. Обе ступени питаются от трансформаторов тока *TA5* стороны 110 кВ и трансформатора напряжения шин 110 кВ и приняты направленными в сторону сети 110 кВ.

Применение обеих ступеней дистанционной защиты для резервирования при КЗ в сети 110 кВ принято в предположении того, что на линиях 110 кВ отсутствует полноценное ближнее резервирование и обеспечивается чувствительность защит автотрансформатора (токовая направленная защита обратной последовательности и максимальная токовая защита с пуском напряжения) при КЗ на линиях 220 кВ. Кроме того, было сочтено целесообразным в целях упрощения не устанавливать дистанционную защиту для резервирования сети 220 кВ, учитывая небольшое число (две) отходящих линий и наличие на них полноценного ближнего резервирования.

Первая и вторая ступени дистанционной защиты действуют, как и токовая ненаправленная защита обратной последовательности (см. п. 2.2.2.4), через промежуточное реле *KL1* устройства *AK2* с первой выдержкой времени на отключение шиносоединительного или секционного выключателя 110 кВ, со второй на отключение выключателя *Q3* стороны 110 кВ или заменяющего его обходного выключателя и с третьей на выходные промежуточные реле защиты *KL3—KL7*. В случае, если выдержка времени первой ступени превышает 1,5—2 с, последняя используется без блокировки при качаниях.

Следует отметить, что в принятом варианте выполнения дистанционной защиты с питанием ее цепей напряжения от трансформатора напряжения шин 110 кВ возможны случаи возврата реле сопротивления после отключения выключателя *Q3* стороны 110 кВ (например, при КЗ в соединении автотрансформатора с шинами 110 кВ в случае отказа дифференциальной защиты автотрансформатора), а следовательно, и возврата реле времени *KT9*, действующего своим контактом *5-7* на выходные промежуточные реле защиты *KL3—KL7*. В этом случае повреждение ликвидируется токовой ненаправленной защитой обратной последовательности.

В конкретном случае целесообразно рассмотреть вопрос о питании дистанционной защиты от трансформатора напряжения *TV1* на вводе низшего напряжения автотрансформатора. Последнее может оказаться возможным в случае, когда первая ступень дистанционной защиты будет отстроена от КЗ на стороне низшего напряжения (по сопротивлению срабатывания при наличии токоограничивающего реактора либо по времени). При этом подключение цепей тока и напряжения выполняется по аналогии с подключением первой ступени дистанционной защиты рис. 2.1.

2.2.2.6. Для резервирования отключения КЗ на землю на ошиновке и линиях 220 кВ предусмотрена токовая направленная защита нулевой последовательности, питаемая от трансформаторов тока *TA3*, встроенных во втулки автотрансформатора на стороне высшего напряжения. В целях обеспечения возможности согласования защит линий 110 кВ с защитами автотрансформатора рассматриваемая защита выполнена трехступенчатой.

Следует отметить, что в отличие от резервной защиты от внешних многофазных КЗ на стороне 220 кВ (см. п. 2.2.2.4) данная защита обеспечивает селективность защит сети 110 кВ при КЗ на землю на линиях 220 кВ и отказе срабатывания их защит; такое выполнение целесообразно, учитывая, что защита относительно проста и что КЗ на землю являются значительно более вероятными.

Для резервирования отключения КЗ на землю на стороне 110 кВ предусмотрена аналогичная защита, питаемая от трансформаторов тока *TA5*, встроенных во втулки автотрансформатора на стороне среднего напряжения.

Реле *KL1* устройств *AK1* и *AK2* являются выходными промежуточными реле резервных защит, действующими соответственно на отключение выключателей *Q1* и *Q2* стороны 220 кВ (по аналогии с токовой направленной защитой обратной последовательности — см.

п. 2.2.2.4) и шиносоединительного или секционного выключателя стороны 110 кВ.

На реле *KL1* устройства *AK1* действуют три ступени токовой защиты нулевой последовательности и токовая направленная защита обратной последовательности.

Реле *KL1* устройства *AK1* действует на реле времени *KT5*, пускающее выходные промежуточные реле защиты автотрансформатора *KL3—KL7*.

Цепь напряжения реле направления мощности *KW1* устройства *AK1* питается от шинок, воспроизводящих напряжение на стороне 220 кВ. Для обеспечения действия защиты после отключения выключателей *Q1* и *Q2* при КЗ на землю в соединении между ними и втулками 220 кВ автотрансформатора контакт реле направления мощности шунтируется контактом реле *KL13* (см. п. 2.2.2.4).

На реле *KL1* устройства *AK2* действуют три ступени токовой защиты нулевой последовательности, токовая ненаправленная защита обратной последовательности и первая и вторая ступени дистанционной защиты. Реле *KL1* устройства *AK2* действует на реле времени *KT9*, которое с первой выдержкой времени (контакт *6-8*) через промежуточное реле *KL17* действует на отключение выключателя *Q3* на стороне 110 кВ или на заменяющей его обходной выключатель, а со второй (контакт *5-7*) — на выходные промежуточные реле *KL3—KL7*.

Цепь напряжения реле направления мощности *KW1* устройства *AK2* питается от трансформатора напряжения шин 110 кВ. Для обеспечения действия защиты после отключения выключателя *Q3* или обходного выключателя 110 кВ при КЗ на землю в соединении автотрансформатора с шинами 110 кВ контакт реле направления мощности шунтируется размыкающим контактом реле положения «включено» отключившегося выключателя *KQC3* или *KQC5*.

В соответствии с указанным в п. 2.1.6 для исключения необходимости учета замедленного возврата КЗ-15 (0,2 с) при выборе выдержек времени защиты в цепи обмотки реле времени *KT5* (*KT9*) последовательно с контактом *KL1* устройства *AK1* (*AK2*) включаются параллельно соединенные контакты реле *KL12* и *KL9* (*KL16*, *KL10* и контакты реле повторителей первой и второй ступеней дистанционной защиты). Этим обеспечивается возврат указанных реле времени после отключения повреждения.

2.2.2.7. В схеме предусмотрены защиты от неполнофазных режимов, возникающих при отключении не всеми фазами выключателей автотрансформатора 220 или 110 кВ в предположении, что эти выключатели оборудованы пофазными приводами.

Следует отметить, что нежелательный неполнофазный режим, могущий привести к отключению второго автотрансформатора токовой направленной защитой нулевой последовательности при неполнофазном отключении одного из выключателей 220 кВ *Q1* или *Q2* первого автотрансформатора, возникает если один из трех остальных выключателей «четырехугольника» отключен (например, для ревизии).

В этом случае в цепи защищаемого автотрансформатора появляется ток нулевой последовательности, на который и реагирует рассматриваемая защита от неполнофазного режима, предусмотренная на стороне 220 кВ.

В качестве реагирующего органа защиты используется реле тока ненаправленной третьей ступени токовой защиты нулевой последовательности от замыканий на землю на стороне высшего напряжения (реле тока *KA1* устройства *AK1* и промежуточного реле *KL12*).

Защита срабатывает, если появление тока $3I_0$ сопровождается действием реле контроля неперекючения фаз *KL26* или *KL27*, предусмотренных в схемах управления выключателя *Q1* и *Q2*. Время действия защиты (реле времени *KT7*) отстроено от действия реле контроля неперекючения фаз, что необходимо, поскольку последним может быть ликвидирован неполнофазный режим в случае отказа одной или двух фаз выключателя при его включении.

Защита действует на выходные промежуточные реле *KL3—KL7*.

Указанное выполнение защиты от неполнофазного режима принято с учетом того, что в настоящее время на линиях 220 кВ подобные защиты от неполнофазных режимов, как правило, не предусматриваются. При наличии таких защит последние, как и защиты от неполнофазных режимов автотрансформаторов, должны будут выполняться с контролем отключенного положения выключателя защищаемого элемента, смежного с отказавшим, а в двух (из четырех) защитах (линий или автотрансформаторов) должен будет предусматриваться также контроль отключенного положения выключателя «четырехугольника», противоположного отказавшему. При таком выполнении защит будут обеспечены селективное отключение элемента с отказавшим выключателем и ликвидация неполнофазных режимов во всех случаях.

Предусмотренная на стороне 110 кВ защита от неполнофазного режима, возникающего при отключении не всеми фазами выключателя *Q3* или заменяющего его обходного выключателя, выполнена подобно защите, установленной на стороне 220 кВ.

В качестве реагирующего органа защиты используется реле тока третьей ступени защиты от замыканий на землю на стороне среднего напряжения (реле тока *KA1* устройства *AK2* и промежуточного реле *KL16*). Цепь пуска реле времени *KT12* защиты контролируется контактами реле контроля неперекючения фаз выключателя *Q3* *KL28* или обходного выключателя 110 кВ *KL29*. Реле *KT12* действует на выходные промежуточные реле *KL3—KL7*.

2.2.2.8. Защита от перегрузки выполнена с помощью реле тока *KA6—KA8*, установленных со сторон высшего и низшего напряжений, а также со стороны выводов обмотки автотрансформатора к нейтрали, и реле времени *KT14*.

2.2.2.9. В схеме предусмотрена возможность оперативного ускорения защит от внешних КЗ на стороне среднего напряжения при выведении из работы защиты шин 110 кВ.

Ускорение вводится рубильником *S1*, при этом с выдержкой времени реле времени *KT11* (или *KT11* и *KT9*) ускоряются первая или вторая направленная ступень токовой защиты нулевой последовательности от замыканий на землю на стороне среднего напряжения (устройство *AK2*), токовая ненаправленная защита обратной последовательности с максимальной токовой защитой с пуском напряжения от трехфазных КЗ (*KL10*) и первая ступень дистанционной защиты. При необходимости оперативное ускорение токовой защиты обратной последовательности и максимальной токовой защиты от трехфазных КЗ в рассматриваемой схеме может не использоваться.

На ряд зажимов панели выведены два контакта реле времени *KT11*: *3-6* и *5-7*. В каждом конкретном случае выбирается требуемый способ ускорения и устанавливаются соответствующие перемычки.

При выведении из работы дифференциальной защиты автотрансформатора может быть осуществлено ускорение токовой ненаправленной защиты обратной последовательности и максимальной токовой защиты от трехфазных КЗ с действием их на отключение автотрансформатора. Ускорение выполняется с выдержкой времени (реле *KT1*) для снижения вероятности излишнего срабатывания при внешних КЗ. Релейным персоналом должна быть установлена перемычка в цепи пуска от контакта *5-7* реле *KT1* выходных промежуточных реле *KL3—KL7*.

В целях упрощения, а также учитывая, что работа

автотрансформатора с выведенной защитой ошиновки 220 кВ будет весьма кратковременной, оперативное ускорение защит от внешних КЗ на стороне 220 кВ в схеме не предусмотрено.

2.2.2.10. В схеме предусмотрено автоматическое ускорение защит от внешних КЗ при включении выключателей автотрансформатора на сторонах высшего, среднего и низшего напряжений. При включении выключателя *Q3* или заменяющего его обходного выключателя от устройства АПВ после отключения повреждения на шинах 110 кВ или на отходящих от них линиях, сопровождающегося отказом защиты или выключателя линии, ускоряются токовая ненаправленная защита обратной последовательности с дополнительной защитой от трехфазных КЗ, третья ненаправленная ступень токовой защиты нулевой последовательности от КЗ на землю на стороне 110 кВ и первая и вторая ступени дистанционной защиты; пуск реле ускорения *KL23* и *KL24* контролируется органом напряжения *KV2* (*KL20*), питаемым от трансформатора напряжения шин 110 кВ.

Для обеспечения автоматического ускорения защит при включении выключателя *Q3* или обходного выключателя 110 кВ от устройства АПВ после отключения повреждения на ошиновке 220 кВ ее дифференциальной защитой цепь пуска реле ускорения *KL23* и *KL24* дополнительно контролируется органом напряжения *KVZ1* и *KV3* (*KL21*), питаемым от трансформатора напряжения *TV1*. При этом предполагается, что в рассматриваемом режиме третья ненаправленная ступень токовой защиты нулевой последовательности, установленной на стороне 110 кВ, действует при КЗ на ошиновке 220 кВ.

При включении выключателя *Q1* или *Q2* от устройства АПВ после отключения повреждения на ошиновке 220 кВ ее дифференциальной защитой ускоряется третья ступень токовой защиты нулевой последовательности от замыкания на землю, установленной на стороне 220 кВ (*KL12*).

Пуск реле ускорения *KL14* призводится от последовательно соединенных замыкающих контактов реле положения «отключено» *KQT1* и *KQT2* выключателей *Q1* и *Q2* соответственно. Контакты *KQT1* и *KQT2* шунтируются соответственно контактами *KL26.1* и *KL27.1* реле контроля непереключения фаз в схемах управления воздушных выключателей *Q1* и *Q2* для обеспечения ускорения защиты в случае, когда при устойчивом КЗ на ошиновке 220 кВ один из выключателей (например, *Q1*) отключился тремя фазами, а второй (например, *Q2*) — неполнофазно (отключились одна или две поврежденные фазы); при повторном включении выключателя *Q1* цепь пуска реле ускорения будет замкнута через контакты *KQT1* и *KL27.1*; контакт *KQT2* будет разомкнут. Действие реле *KL14* контролируется органом напряжения *KVZ1* и *KV3* (*KL21*).

При выводе в ремонт любого из выключателей *Q1* или *Q2* контакт реле положения «отключено» ремонтируемого выключателя *KQT1* или *KQT2* должен быть зашунтирован накладкой *SX9*. Необходимо отметить, что рассмотренное автоматическое ускорение будет иметь место и при включении соответствующих выключателей вручную.

Реле времени *KT10* в цепи автоматического ускорения обеспечивает отстройку защит при опробовании шин 110 кВ включением выключателя *Q3* или обходного выключателя 110 кВ, необходимую для предотвращения ложного срабатывания максимальной токовой защиты от трехфазных КЗ и токовых защит обратной и нулевой последовательностей стороны 110 кВ из-за броска пускового тока двигателей нагрузки (двух последних защит — при неодновременном включении фаз выключателя). Указанное реле времени *KT10* и реле времени *KT6* при включении автотрансформатора под напряжение выключателями *Q1*, *Q2* и *Q3* или обходным выключателем 110 кВ обеспечивают отстройку токовой защиты нулевой последовательности на сторонах 220 и 110 кВ соответственно от броска намагничивающего тока автотрансформатора при неодновременном включении фаз выключателя.

Следует отметить, что в рассматриваемой схеме не предусмотрено автоматическое ускорение резервных защит автотрансформатора при включении выключателя *Q1* или *Q2* на КЗ на линии 220 кВ, сопровождающееся отказом ее защит, в предположении, что линии оборудованы двумя защитами и отказ их маловероятен.

Пуск цепи автоматического ускорения максимальной токовой защиты с пуском напряжения от КЗ на стороне низшего напряжения осуществляется контактом реле положения «отключено» *KQT4* выключателя *Q4*. Ускорение выполнено с выдержкой времени реле времени *KT13* для предотвращения ложного действия защиты из-за броска пусковых токов двигателей нагрузки.

2.2.2.11. Контроль изоляции цепей низшего напряжения (*KV4*, *KT15*) выполнен так же, как и в схеме рис. 2.1 (см. п. 2.2.1.12).

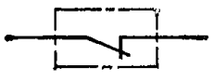
2.2.2.12. В схеме выполнено самоудерживание выходных промежуточных реле *KL3—KL7* в соответствии с п. 2.1.9.5. Снятие самоудерживания осуществляется при отпускании промежуточного реле *KL8* типа РП-252, нормально находящегося под напряжением. Реле *KL8* осуществляет также контроль исправности цепей оперативного тока защиты автотрансформатора.

2.2.2.13. В схеме показаны цепи связи защиты автотрансформатора с УРОВ 220 кВ (реле тока *KA3*, *KA4*; выходные реле защиты ошиновки высшего напряжения и автотрансформатора *KL2* и *KL5*; реле положения «включено» выключателей *Q1* и *Q2* — *KQC1* и *KQC2*) и с УРОВ 110 кВ (реле тока *KA1*, *KA2*; выходные реле защиты *KL2* и *KL6*; реле положения «включено» выключателя *Q3*—*KQC3*, испытательный блок *SG15*).

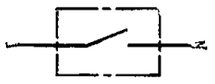
2.2.2.14. Схема выполнена с учетом возможности замены выключателя 110 кВ *Q3* обходным. При этом цепи тока дифференциальной защиты автотрансформатора переводятся на трансформаторы тока в цепи обходного выключателя (см. п. 2.2.2.2); подготавливаются цепи отключения и запрещения АПВ обходного выключателя (с помощью испытательного блока *SG15*).

2.2.2.15. Данная схема выполнена с использованием следующей аппаратуры: *AK1*, *AK2* — комплекты защиты типа КЗ-15; *AK3* — панель дистанционной защиты типа ПЭ2105; *AK4* — комплект защиты типа КЗ-12; *AKW1* — защита дифференциальная типа ДЗТ-21; *AT1* — приставка дополнительного торможения типа ПТ-1; *HL1* — лампа осветительная; *KA1—KA4* — реле тока типа РТ-40/Р; *KA5—KA8* — реле тока типа РТ-40; *KAW1—KAW3* — реле тока с торможением типа ДЗТ-11; *KH1—KH18* — реле указательные типа РУ-1/0,05; *KH19*, *KH20* — реле указательные типа РУ-1; *KL1—KL7*, *KL9—KL13*, *KL15—KL22*, *KL25*, *KQS1*, *KQS2* — реле промежуточные типа РП-23; *KL8*, *KL14*, *KL23*, *KL24* — реле промежуточные типа РП-252; *KSG1*, *KSG2* — реле газовые; *KSP1*, *KSP2* — реле давления; *KT2—KT4*, *KT8* — реле времени типа РВ-134; *KT1*, *KT6*, *KT7*, *KT10—KT13* — реле времени РВ-114; *KT5*, *KT9* — реле времени типа РВ-124; *KT14*, *KT15* — реле времени типа РВ-133; *KV1—KV3*, *KV5* — реле напряжения типа РН-54/160; *KV4* — реле напряжения типа РН-53/60Д; *KVZ1*, *KVZ2* — фильтры-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1М; *KWZ1* — фильтр-реле тока и мощности обратной последовательности типа РМОП-2М; *R1* — резистор типа ПЭВ-10, 8200 Ом; *R2*, *R6* — резисторы типа ПЭВ-25, 3900 Ом; *R3*, *R5* — резисторы типа ПЭВ-10, 100 Ом; *R4* — резистор типа ПЭВ-25, 2200 Ом; *S1* — рубильник однополюсный, 16 А, 250 В, типа Р-16 (в двухполюсном исполнении); *SG1—SG3*, *SG9—SG15* — блоки испытательные типа БИ-4; *SG4—SG8* — блоки испытательные типа БИ-6; *SX1—SX16* — накладки типа НКР-3; *TL1—TL9* — автотрансформаторы промежуточные типа АТ-31 или АТ-32.

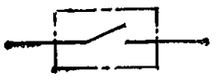
В схеме приняты следующие обозначения



— *KQC1, KQC2, KQC3, KQC4, KQC5* — контакты реле положения «включено» соответственно выключателей *Q1, Q2, Q3, Q4* и обходного 110 кВ;



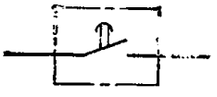
— *KQC4* — контакт реле положения «включено» выключателя *Q4*;



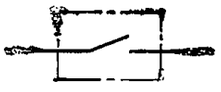
— *KQT1, KQT2, KQT3, KQT5* — контакты реле положения «отключено» соответственно выключателей *Q1, Q2, Q3* и обходного 110 кВ;



— *KQT4* — контакт реле положения «отключено» выключателя *Q4*;



— *KL26, KL27, KL28, KL29* — контакты реле контроля неперключения фаз в схемах управления соответственно выключателей *Q1, Q2, Q3* и обходного 110 кВ;



— *QS1* — вспомогательный контакт обходного разъединителя автотрансформатора на стороне 110 кВ.

Примечание к рис. 2.2. У комплектов *AK1* и *AK2* типа КЗ-15 не используется демпферная обмотка промежуточного реле *KL1*; в комплекте *AK2* должна быть отсоединена цепь реле *KH4* (4РУ) от зажима 40.

2.2.3. Принципиальная схема релейной защиты понижающего автотрансформатора 220/110/6—10 кВ мощностью 125 и 200 МВ·А при наличии на стороне высшего напряжения схемы «мостик с выключателем в перемычке и отделителями в цепях автотрансформаторов» приведена на рис. 2.3.

2.2.3.1. Схема дана для случая установки на сторонах высшего и среднего напряжений выключателей со встроенными в их втулки трансформаторами тока. В схеме предусмотрена установка дополнительных трансформаторов тока *TA3* на выводах высшего напряжения автотрансформатора. Последнее обусловлено необходимостью обеспечения требований ближнего резервирования защит линий 220 кВ, при этом также обеспечивается снижение нагрузки на трансформаторы тока, используемые для релейной защиты линии и автотрансформатора и учета электроэнергии.

2.2.3.2. В схеме предусмотрены две дифференциальные защиты — автотрансформатора, выполненная с использованием реле типа ДЗТ-21 (*AKW1*), и цепей стороны низшего напряжения автотрансформатора, включая линейный добавочный трансформатор, выполненная с реле типа ДЗТ-11 (*KAW1—KAW3*).

Дифференциальная защита автотрансформатора присоединяется к трансформаторам тока сторон высшего, среднего и низшего напряжений (*TA3, TA6* и *TA10*). Торможение в защите обеспечивается токами от трех групп трансформаторов тока с применением приставки дополнительного торможения *AT1*, включаемой на ток стороны низшего напряжения. Присоединение цепей тока к определенным зажимам *AKW1* выполнено условно и определяется расчетом в конкретном случае.

Дифференциальная токовая защита цепей стороны низшего напряжения выполнена с включением тормозной обмотки реле ДЗТ-11 на сумму токов ответвлений к секциям шин 6—10 кВ (в цепях выключателей *Q3* и *Q4*).

При замене выключателя *Q2* стороны среднего напряжения обходным защита переключается с трансформаторов тока *TA6* на трансформаторы тока в цепи обходного выключателя с помощью испытательных блоков *SG2, SG3* в схеме защиты автотрансформатора и соответствующих испытательных блоков в схеме панели перевода (см. рис. П2.1).

2.2.3.3. Цепи газовой защиты и реле давления подобны приведенным на рис. 2.1 (см. п. 2.2.1.3).

2.2.3.4. В соответствии с указанным в п. 2.1.1.3 автотрансформаторы 200 МВ·А оборудуются автоматическими установками пожаротушения. Отключенное состояние поврежденного автотрансформатора контролируется цепью из последовательно включенных размыкающих контактов реле тока *KA1, KA3, KA6* и замыкающего контакта промежуточного реле *KL19* — повторителя реле минимального напряжения *KV4*, питаемого от трансформатора напряжения *TV1* на вводе низшего напряжения автотрансформатора. В остальном схема подобна приведенной на рис. 2.1 (см. п. 2.2.1.4).

2.2.3.5. Защиты от внешних многофазных КЗ выполнены в виде токовой ненаправленной защиты обратной последовательности и дополнительной к ней максимальной токовой защиты с пуском напряжения от трехфазных КЗ, дистанционной защиты (см. п. 2.2.3.6), максимальной токовой защиты с комбинированным пуском напряжения, питаемой от трансформаторов тока *TA10*, и максимальных токовых защит с комбинированным пуском напряжения, питаемых от трансформаторов тока в цепях ответвлений к секциям шин 6—10 кВ (*TA12* и *TA13*).

Токовая защита обратной последовательности *KAZ1* с дополнительной защитой от трехфазных КЗ *KA4*, имеющей комбинированный пусковой орган напряжения *KVZ3, KV4, KL19*, питается от трансформаторов тока *TA3* на стороне 220 кВ и предназначена для резервирования отключения КЗ на шинах 110 кВ и присоединенных к ним элементах, а также на линиях 220 кВ и для резервирования основных защит автотрансформатора.

Защита с первой выдержкой времени через контакт *5-7* реле времени *KT2* и промежуточное реле *KL1* устройства *AK1* (см. п. 2.2.3.7) подает сигнал на отключение шиносоединительного или секционного выключателя 110 кВ, со второй — на отключение выключателя *Q2* на стороне 110 кВ или на заменяющий его обходной выключатель и с третьей — на выходные промежуточные реле защиты автотрансформатора *KL1—KL8*.

Максимальная токовая защита с пуском напряжения, питаемая от встроенных в бак автотрансформатора трансформаторов тока *TA10*, включена в плечо дифференциальной защиты автотрансформатора и предназначена для резервирования дифференциальной защиты цепей стороны низшего напряжения автотрансформатора, а также для резервирования отключения КЗ на шинах 6—10 кВ. Комбинированные пусковые органы напряжения защиты питаются от трансформаторов напряжения секций шин низшего напряжения. Защита выполнена с использованием комплектного устройства *AK3* типа *КЗ-12* и действует на выходные промежуточные реле *KL1—KL8*.

Максимальные токовые защиты с комбинированным пуском напряжения, питаемые от трансформаторов тока *TA12* и *TA13*, включаются в плечи дифференциальной защиты цепей низшего напряжения автотрансформатора. Защиты выполнены с использованием комплектов *AK4* и *AK5* типа КЗ-12 и устанавливаются на панели общеподстанционного пункта управления. Они осуществляют защиту секций шин низшего напряжения, а также резервируют отключения КЗ на эле-

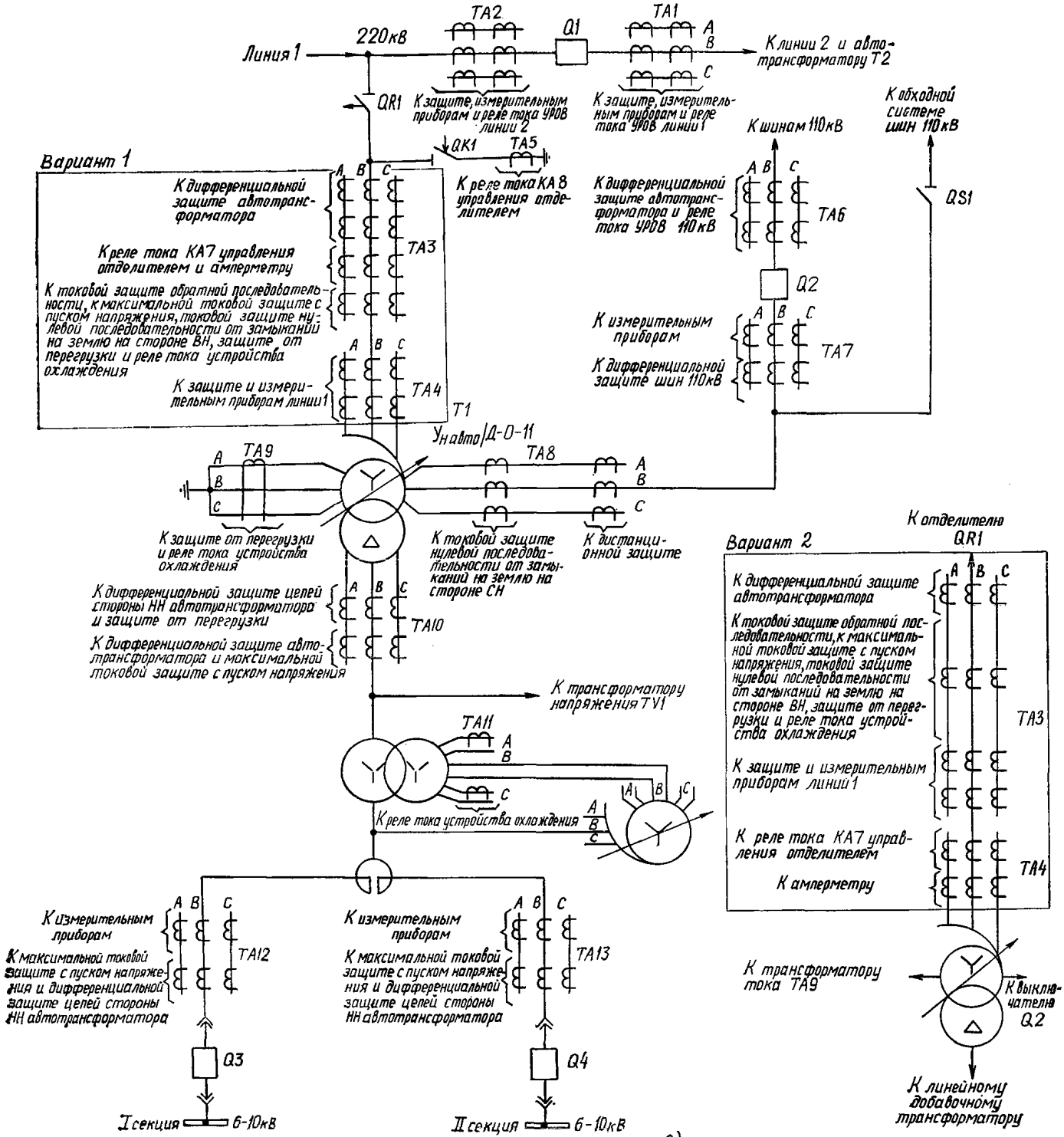
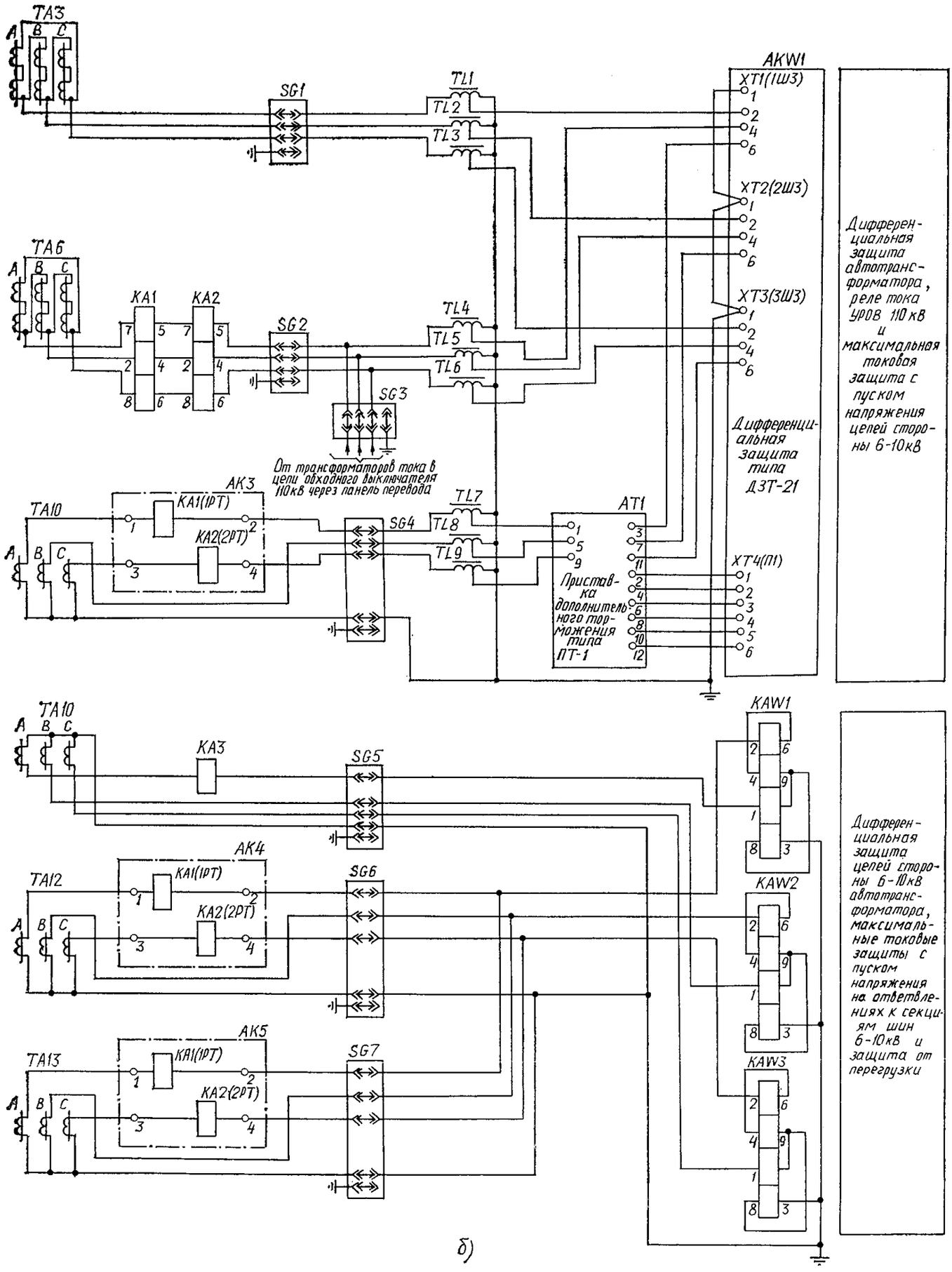


Рис. 2.3. Принципиальная схема релейной защиты понижающего автотрансформатора 220/110/6—10 кВ мощностью 125 и 200 МВ·А при наличии на стороне высшего напряжения схемы «мостик с выключателем в перемычке и отделителями в цепях автотрансформаторов»:

а — поясняющая схема, *б* — цепи переменного тока; *в* — цепи напряжения; *г* — цепи оперативного постоянного тока, *д* — цепи оперативного постоянного тока и выходные цепи; *е* — выходные цепи; *ж* — цепи сигнализации



б)

Рис. 2.3. Продолжение

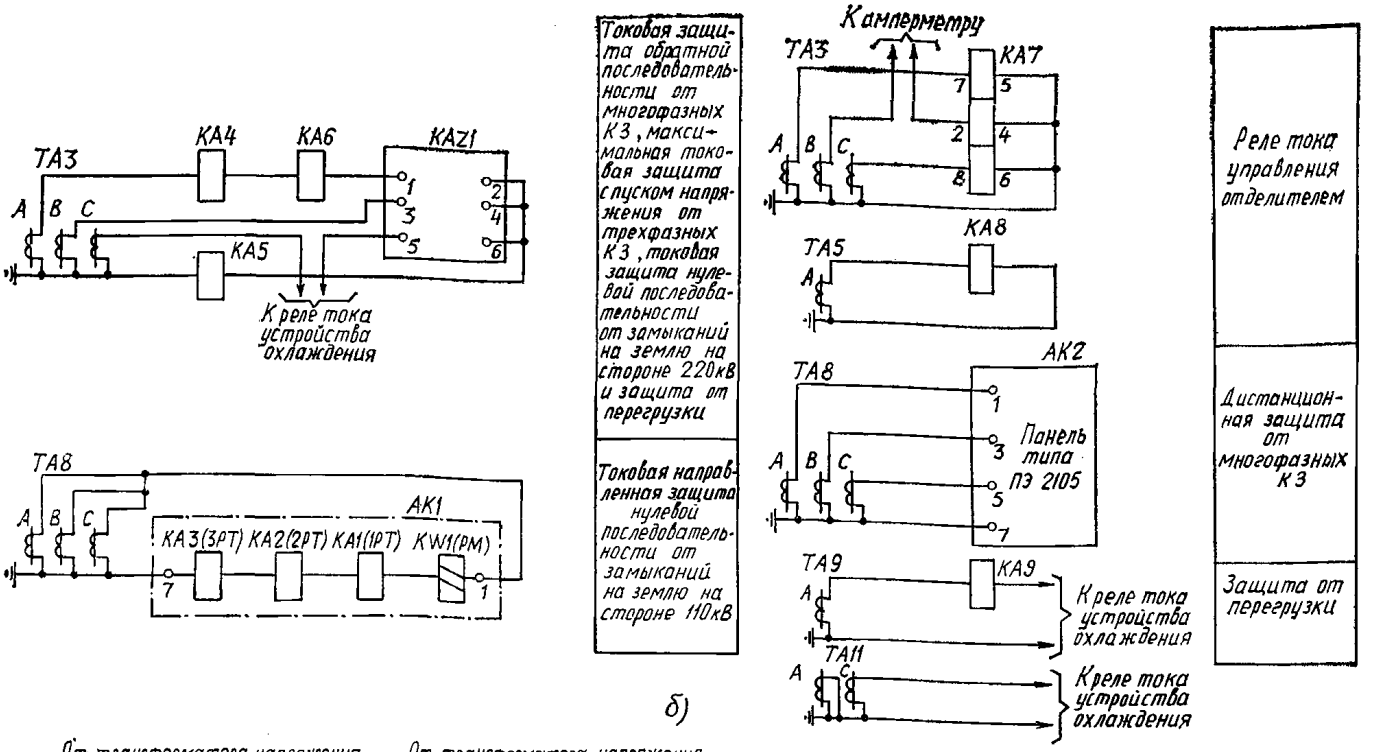


Рис. 2.3. Продолжение

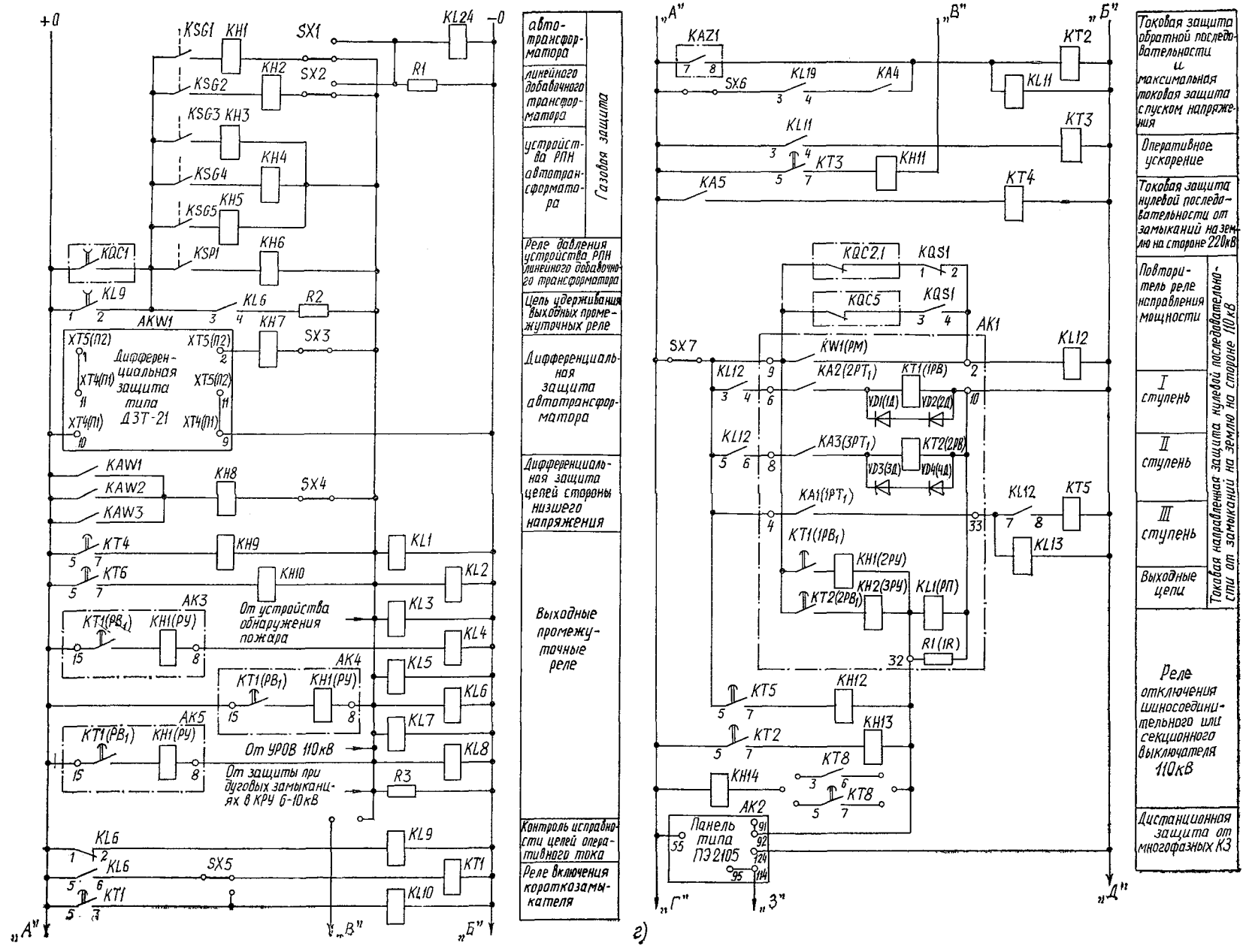


Рис. 2.3. Продолжение

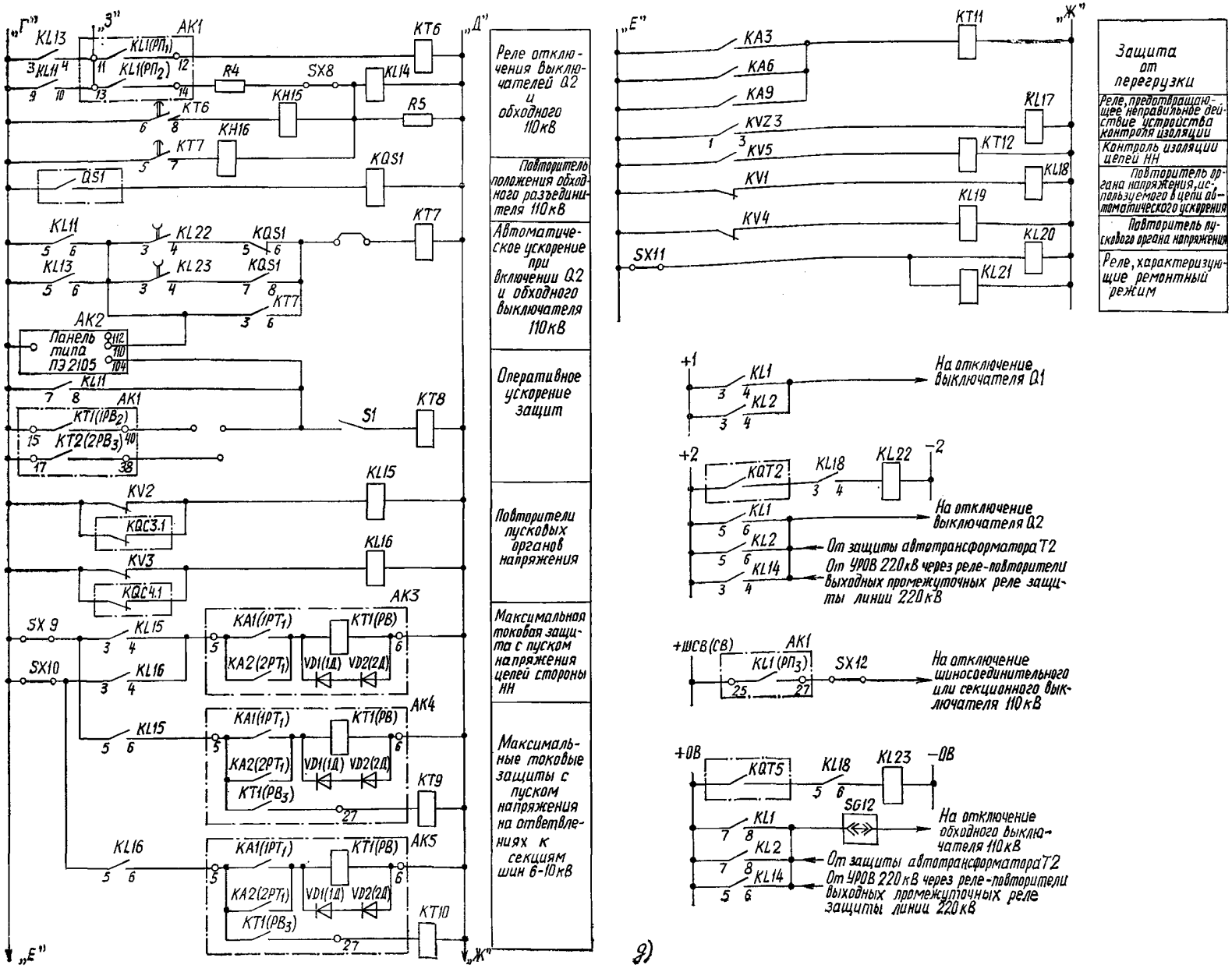


Рис. 2.3. Продолжение

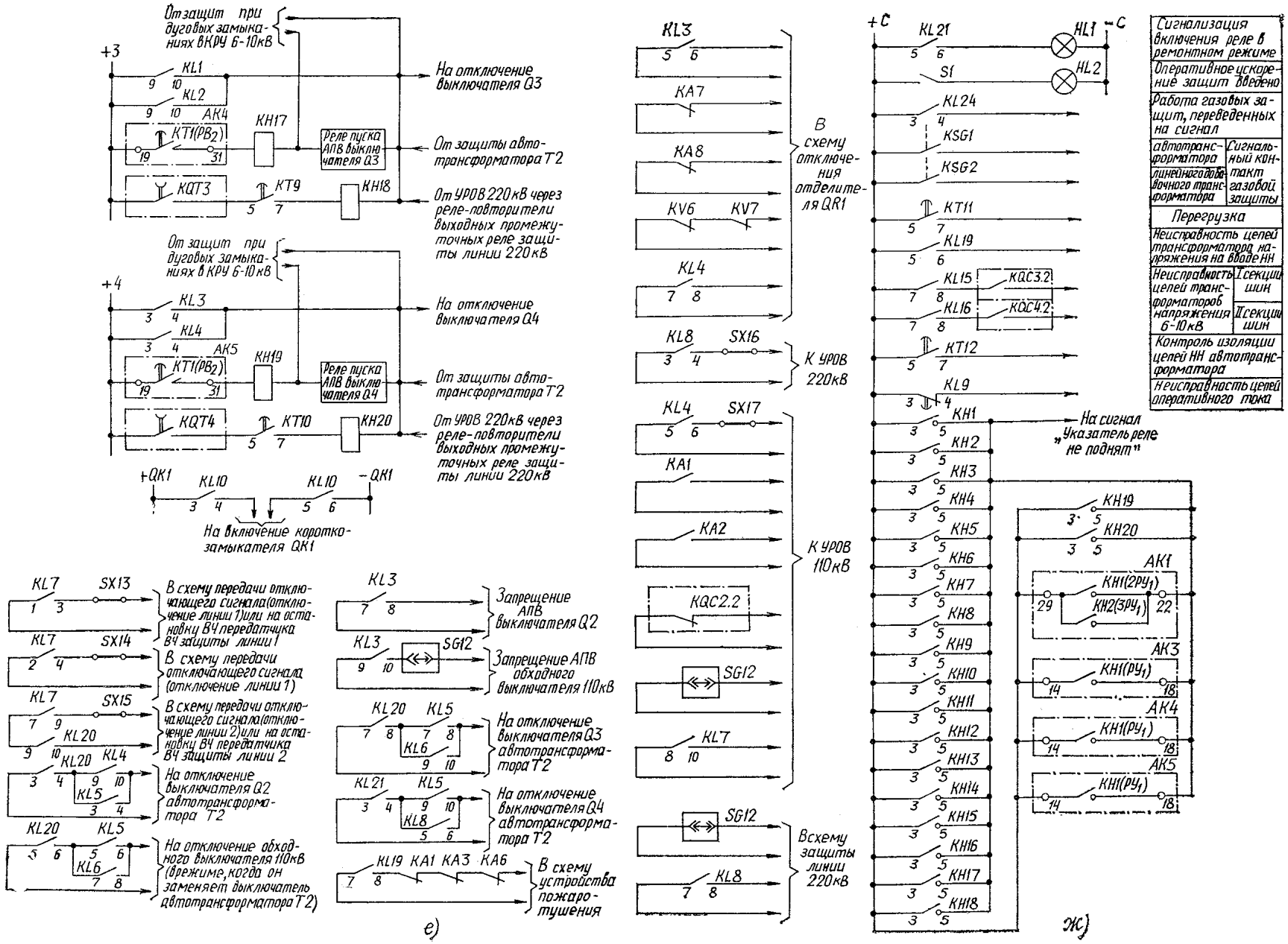


Рис. 2.3. Продолжение

ментах, питаемых от этих шин. Защиты действуют с первой выдержкой времени на отключение выключателя *Q3* или *Q4* и на пуск его устройства АПВ, а со второй на выходные промежуточные реле; последнее принято для повышения надежности ликвидации КЗ в зоне между выключателем (*Q3* или *Q4*) и трансформаторами тока (*TA12* или *TA13*), а также отключения КЗ на секции шин 6—10 кВ при отказе выключателя, поскольку защита, выполненная с помощью устройства *AK3*, при указанных КЗ имеет меньшую чувствительность. Защита, питаемая от трансформаторов тока *TA10*, и защиты на ответвлениях к секциям шин 6—10 кВ имеют общие пусковые органы напряжения. При отключении выключателя *Q3* или *Q4* контакт соответствующего пускового органа шунтируется контактом реле положения «включено» выключателя *KQC3* или *KQC4*, что необходимо для ликвидации повреждения между выключателем и трансформатором тока; при таком шунтировании защита, питаемая от *TA10*, превращается в максимальную токовую защиту без пуска напряжения.

2.2.3.6. Схема дана для случая применения дистанционной защиты *AK2* (панель типа ПЭ2105), в которой первая ступень — КРС-2 — используется для согласования с ней защит линий 220 кВ, а вторая ступень — КРС-3 — для обеспечения дальнего резервирования в сети 110 кВ. Обе ступени питаются от трансформаторов тока *TA8* стороны 110 кВ и трансформатора напряжения шин 110 кВ и приняты направленными в сторону сети 110 кВ.

Первая и вторая ступени дистанционной защиты действуют, как и токовая защита обратной последовательности (см. п. 2.2.3.5), через промежуточное реле *KL1* устройства *AK1* с первой выдержкой времени на отключение шиносоединительного или секционного выключателя 110 кВ, со второй на отключение выключателя *Q2* стороны 110 кВ или заменяющего его обходного выключателя и с третьей на выходные промежуточные реле защиты *KL1—KL8*. Во всем остальном защита аналогична выполненной в схеме по рис. 2.2 (см. п. 2.2.2.5).

2.2.3.7. Для резервирования отключения замыканий на землю на линиях 220 кВ предусмотрена одноступенчатая токовая защита нулевой последовательности (реле *KA5* и *KT4*), питаемая от трансформаторов тока *TA3* стороны высшего напряжения и действующая на выходные промежуточные реле *KL1—KL8*. Защита выполнена упрощенной, исходя из того, что (для рассматриваемой схемы электрических соединений на стороне высшего напряжения) при ее действии, так же как и при действии защиты линий 220 кВ, отключаются одни и те же выключатели автотрансформатора. Кроме того, учитывается, что на линиях 220 кВ, как правило, обеспечивается полноценное ближнее резервирование и согласование защит линий сети 110 кВ с защитами линий 220 кВ, отходящих от данной подстанции.

Для резервирования отключения замыканий на землю на стороне 110 кВ предусмотрена трехступенчатая токовая направленная защита нулевой последовательности, питаемая от трансформаторов тока *TA8* стороны среднего напряжения и выполненная с помощью комплектного устройства *AK1* типа КЗ-15. Предусмотрена возможность выполнения любой ступени защиты ненаправленной.

Реле *KL1* устройства *AK1* является выходным промежуточным реле резервных защит, действующим на отключение шиносоединительного или секционного выключателя 110 кВ. На реле *KL1* устройства *AK1* действуют три ступени токовой защиты нулевой последовательности, токовая защита обратной последовательности и первая и вторая ступени дистанционной защиты.

Реле *KL1* устройства *AK1* действует на реле времени *KT6*, которое с первой выдержкой времени (контакт *6-8*) через промежуточное реле *KL14* действует на отключение выключателя *Q2* на стороне 110 кВ или на заменяющий его обходной выключатель, а со второй (контакт *5-7*) — на выходные промежуточные реле защиты *KL1—KL8*.

Схемой предусматривается возможность, при необходимости, одновременного отключения выключателей *Q2* (или заменяющего его обходного выключателя) и шиносоединительного (секционного). При этом должна быть включена накладка *SX8*.

Цепь напряжения реле направления мощности *KW1* устройства *AK1* питается от трансформатора напряжения шин 110 кВ.

Для обеспечения действия защиты после отключения выключателя *Q2* или обходного выключателя 110 кВ при КЗ на землю в соединении автотрансформатора с шинами 110 кВ контакт реле направления мощности *KW1* устройства *AK1* шунтируется размыкающим контактом реле положения «включено» отключившегося выключателя *KQC2* или *KQC5*.

В соответствии с указанным в п. 2.1.6 в цепи обмотки реле времени *KT6* последовательно с контактом *KL1* устройства *AK1* включаются параллельно соединенные контакты реле *KL13*, *KL11* и контакты реле повторителей первой и второй ступеней дистанционной защиты. Последним обеспечивается возврат реле времени после отключения повреждения.

2.2.3.8. В соответствии с указанным в п. 2.1.7 в рассматриваемой схеме принято в целях упрощения не выполнять защиту от неполнофазного режима, возникающего при отключении не всеми фазами выключателя 220 кВ *Q1*, поскольку она малоэффективна.

Данная схема выполнена в предположении установки выключателя 110 кВ *Q2* автотрансформатора с трехфазным приводом, поэтому защита от неполнофазного режима на стороне 110 кВ не предусматривается.

2.2.3.9. Защита от перегрузки выполнена с помощью реле тока *KA6*, *KA3*, *KA9*, установленных соответственно на сторонах высшего и низшего напряжений, а также со стороны выводов обмотки автотрансформатора к нейтрали. Защита действует на сигнал с выдержкой времени (реле времени *KT11*).

2.2.3.10. В схеме предусмотрена возможность оперативного ускорения токовой защиты обратной последовательности, максимальной токовой защиты с пуском напряжения от трехфазных КЗ, первой ступени дистанционной защиты и первой или второй ступени токовой направленной защиты нулевой последовательности стороны 110 кВ, вводимого рубильником *S1* при выведении из работы защиты шин 110 кВ. При необходимости оперативное ускорение токовой защиты обратной последовательности и максимальной токовой защиты от трехфазных КЗ в рассматриваемой схеме может не использоваться.

На ряд зажимов панели выведены два контакта реле времени *KT8* цепи оперативного ускорения: *3—6* и *5—7*. В каждом конкретном случае выбирается требуемый способ ускорения и устанавливаются соответствующие перемычки.

При выведении из работы дифференциальной защиты автотрансформатора может быть осуществлено ускорение токовой защиты обратной последовательности и максимальной токовой защиты с пуском напряжения от трехфазных КЗ с действием их на отключение автотрансформатора. Ускорение выполняется с выдержкой времени (реле *KT3*) для предотвращения излишнего срабатывания при внешних КЗ. Релейным персоналом должна быть установлена перемычка между зажимами панели в цепи пуска от контакта *5-7* реле *KT3* выходных промежуточных реле *KL1—KL8*.

2.2.3.11. В схеме предусмотрено автоматическое ускорение защит от внешних КЗ при включении выключателей автотрансформатора на сторонах среднего и низшего напряжений.

При включении выключателя *Q2* или заменяющего его обходного выключателя 110 кВ от устройства АПВ после отключения повреждения на шинах 110 кВ или на отходящих от них линиях, сопровождающегося отказом защиты или выключателя линии, ускоряются токовая защита обратной последовательности с дополнительной защитой от трехфазных КЗ (*KL11*), третья ненаправленная ступень токовой защиты нулевой последовательности *KL13* и первая и вторая ступени дистанционной защиты.

Указанное ускорение будет иметь место и при включении выключателя вручную.

Пуск цепи автоматического ускорения (реле *KT7*) осуществляется контактами реле ускорения *KL22* выключателя *Q2* или *KL23* обходного выключателя 110 кВ в зависимости от состояния реле положения обходного резъединителя *KQS1*.

Для предотвращения ложных срабатываний дистанционной защиты по цепи автоматического ускорения цепь пуска реле ускорения выключателей *Q2* и обходного 110 кВ контролируется органом напряжения *KV1* (*KL18*), питаемым от трансформаторов напряжения шин 110 кВ. При наличии напряжения на этих шинах ускорения рассматриваемых защит при включении выключателя *Q2* или обходного выключателя не будет.

Реле времени *KT7* предусмотрено для предотвращения ложного действия максимальной токовой защиты при трехфазных КЗ из-за броска пусковых токов двигателей нагрузки.

Пуск цепей автоматического ускорения максимальных токовых защит с пуском напряжения, установленных на ответвлениях к секциям шин 6—10 кВ, осуществляется контактами реле положения «отключено» *KQT3* и *KQT4* выключателей соответственно *Q3* и *Q4*. Ускорение выполнено с выдержкой времени реле времени *KT9* и *KT10* для предотвращения ложного действия защит из-за броска пусковых токов двигателей нагрузки.

2.2.3.12. Контроль изоляции цепей низшего напряжения автотрансформатора осуществляется с помощью реле напряжения *KV5*, действующего на сигнал с выдержкой времени реле *KT12*. Во избежание неправильного действия устройства контроля изоляции при перегорании предохранителей на стороне высшего напряжения трансформатора напряжения *TV1* предусмотрен разрыв цепи обмотки реле *KV5* размыкающим контактом реле *KL17*, действующим при срабатывании фильтра-реле напряжения обратной последовательности *KVZ3*.

2.2.3.13. При действии выходных промежуточных реле *KL1* — *KL8* подаются сигналы на запрещение АПВ выключателя *Q2* и заменяющего его обходного выключателя. Запрещение АПВ выключателя 220 кВ *Q1* в схеме не предусмотрено с целью обеспечения его повторного включения после отключения отделителем *QR1* поврежденного автотрансформатора и восстановления транзита по линиям 220 кВ.

2.2.3.14. Схема выполнена с учетом ремонтного режима выключателя 220 кВ *Q1*. При повреждении данного автотрансформатора в указанном ремонтном режиме его защита помимо отключения собственных выключателей действует также и на отключение выключателей сторон среднего и низшего напряжений второго автотрансформатора. Отключение выключателей низшего напряжения необходимо при наличии синхронных двигателей, питаемых от шин 6—10 кВ. В рассматриваемом ремонтном режиме персоналом включается накладка *SX11* в цепи обмоток промежуточных реле *KL20* и *KL21*, контактами которых вводятся цепи отключения выключателей второго автотрансформатора. Во избежание ошибок персонала предусмотрена световая сигнализация *HL1* включенного положения накладки *SX11*.

2.2.3.15. Схема дана для случая, когда отключение выключателя на питающем конце линии *1* 220 кВ при повреждении в автотрансформаторе *T1* осуществляется с помощью отключающего сигнала. Передача отключающего сигнала может осуществляться, например, по ВЧ каналу с помощью аппаратуры типа АНКА-АВПА. Для передачи отключающего сигнала используется цепь контакта *1-3* выходного промежуточного реле *KL7*.

Резервирование передачи отключающего сигнала осуществляется включением короткозамыкателя *QK1* с выдержкой времени (реле *KT1* и *KL10*). При отсутствии устройства передачи отключающего сигнала выходное реле защиты автотрансформатора действует на реле включения короткозамыкателя *KL10* без выдержки времени, при этом накладка *SX5* переводится в соответствующее положение. Включение короткозамыкателя без выдержки времени осуществляется также при ревизии или неисправности устройства передачи отключающего сигнала.

Для случая, когда установка короткозамыкателя на подстанции невозможна, например, по условию недостаточной отключающей способности выключателей при отключении неудаленных КЗ, в схеме предусмотрена (при применении аппаратуры АНКА-АВПА) дублирующая цепь для передачи отключающего сигнала (контакт *2-4* реле *KL7*). Наличие двух цепей значительно повышает надежность канала передачи отключающего сигнала. Накладки *SX13* и *SX14* предусмотрены для вывода указанных цепей при неисправности устройства передачи отключающего сигнала. При наличии на линии ВЧ защиты одна из указанных цепей используется для остановки ВЧ передатчика защиты линии *1*.

Для упомянутого выше режима ремонта выключателя *Q1*, когда на стороне высшего напряжения включается ремонтная перемычка из разъединителей, необходимо помимо указанного в п. 2.2.3.14 осуществить передачу отключающего сигнала на питающий конец линии *2* при срабатывании защиты данного автотрансформатора; для пуска этой цепи используются контакты реле *KL7* и *KL20*.

2.2.3.16. В цепи пуска выходных реле от газовой защиты предусмотрен контакт реле положения «включено» отделителя *KQC1*, что требуется для снятия отключающего сигнала после отключения автотрансформатора, когда контакт газового реле продолжает оставаться замкнутым в течение некоторого времени. Этим обеспечивается успешное АПВ выключателя питающей линии после отключения отделителя.

2.2.3.17. В схеме выполнено самоудерживание выходных промежуточных реле *KL1* — *KL8*, необходимое для обеспечения надежного отключения отделителя, которое происходит в бестоковую паузу после отключения выключателей автотрансформатора и выключателя на питающем конце линии. Пуск схемы отключения отделителя (см. рис. 4.1) осуществляется выходными реле защиты автотрансформатора.

Снятие самоудерживания выходных реле *KL1* — *KL8* в данной схеме, так же как и в схемах рис. 2.1 и 2.2, осуществляется через заданное время — при отпускании реле *KL9* типа РП-252, нормально находящегося под напряжением. Однако в рассматриваемой схеме этого времени может оказаться недостаточно для надежного отключения отделителя (поскольку к моменту возникновения бестоковой паузы реле *KL9* может вернуться). В связи с этим для снятия самоудерживания используется также контакт реле положения «включено» *KQC1* отделителя *QR1*, предусмотренный в цепи подведения + к контактам газовой защиты (см. п. 2.2.3.16). Сохранение указанного контакта реле *KL9* в цепи газовой защиты целесообразно для обеспечения ее действия при повреждении в автотрансформаторе в режиме отключенного отделителя (контакт *KQC1* разомкнут). Последнее необходимо, например, при опробовании автотрансформатора (с введенной газовой защитой) подачей напряжения выключателем *Q2* от шин 110 кВ.

Реле *KL9* сигнализирует о неисправности цепей оперативного тока.

2.2.3.18. Предусмотренные в схеме реле тока *KA7*, *KA8* и реле напряжения *KV6*, *KV7* используются в схеме отключения отделителя (см. рис. 4.1).

2.2.3.19. В схеме показаны цепи связи защиты автотрансформатора с УРОВ 110 кВ (реле тока *KA1*, *KA2*; выходные реле защиты *KL4*, *KL7*; реле положения «включено» выключателя *Q2* — *KQC2*; испытательный блок *SG12*) и УРОВ 220 кВ (выходное реле защиты *KL8*), при этом предполагается, что для УРОВ 220 кВ используются реле тока (в цепи выключателя *Q1*), предусмотренные в защитах линий *1* и *2* 220 кВ.

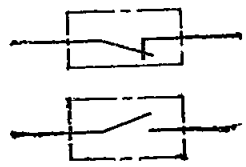
2.2.3.20. Схема выполнена с учетом возможности замены выключателя 110 кВ *Q2* обходным. При этом цепи тока дифференциальной защиты автотрансформатора переводятся на трансформаторы тока в цепи обходного выключателя (см. п. 2.2.3.2); подготавливаются цепи отключения и запрещения АПВ обходного выключателя (с помощью испытательного блока *SG12*).

2.2.3.21. Следует отметить, что на поясняющей схеме рис. 2.3,*а* дано два варианта распределения трансформаторов тока. Вариант 1 — для случая включения защиты линии *1* (линии *2*) на сумму токов трансформаторов тока *TA1* и *TA4* (*TA2* и *TA4*). При невозможности объединения цепей указанных трансформаторов тока в связи с неодинаковыми их коэффициентами трансформации распределение защит по сердечникам трансформаторов тока должно выполняться в соответствии с вариантом 2.

2.2.3.22. Схемой учтена необходимость использования в защите линии 220 кВ контакта выходного промежуточного реле защиты автотрансформатора *KL8* для остановки ВЧ передатчика защиты линии и испытательного блока *SG12* в цепи автоматического ускорения защиты линии.

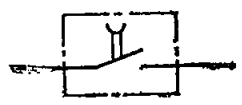
2.2.3.23. Данная схема выполнена с использованием следующей аппаратуры: *AK1* — комплект защиты типа КЗ-15; *AK2* — панель дистанционной защиты типа ПЭ2105; *AK3—AK5* — комплекты защиты типа КЗ-12; *AKW1* — защита дифференциальная типа ДЗТ-21; *AT1* — приставка дополнительного торможения типа ПТ-1; *HL1, HL2* — лампы осветительные; *KA1*, *KA2*, *KA7* — реле тока типа РТ-40/Р; *KA3—KA6*, *KA8*, *KA9* — реле тока типа РТ-40; *KAW1—KAW3* — реле тока с торможением типа ДЗТ-11; *KAZ1* — фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТФ-1М; *KH1—KH16* — реле указательные типа РУ-1/0,05; *KH17—KH20* — реле указательные типа РУ-1; *KL1* — *KL6, KL8, KL10—KL21, KL24, KQS1* — реле промежуточные типа РП-23; *KL7* — реле промежуточное типа РП-222; *KL9, KL22, KL23* — реле промежуточные типа РП-252; *KSG1—KSG5* — реле газовые; *KSP1* — реле давления; *KT1, KT11, KT12* — реле времени типа РВ-133; *KT2, KT4, KT5* — реле времени типа РВ-134; *KT3, KT7—KT10* — реле времени типа РВ-114; *KT6* — реле времени типа РВ-128; *KV1—KV4* — реле напряжения типа РН-54/160; *KV5—KV7* — реле напряжения типа РН-53/60Д; *KVZ1—KVZ3* — фильтры-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1М; *R1, R5* — резисторы типа ПЭВ-25, 3900 Ом; *R2, R4* — резисторы типа ПЭВ-10, 100 Ом; *R3* — резистор типа ПЭВ-25, 6800 Ом; *S1* — рубильник однополюсный на 16 А, 250 В типа Р-16 (в двухполюсном исполнении); *SG1—SG3, SG8—SG12* — блоки испытательные типа БИ-4; *SG4—SG7* — блоки испытательные типа БИ-6; *SX1—SX17* — накладки типа НКР-3; *TL1—TL9* — автотрансформаторы промежуточные типа АТ-31 или АТ-32.

В схеме приняты следующие обозначения:

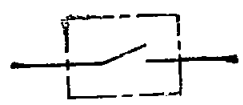


— *KQC2, KQC3, KQC4, KQC5* — контакты реле положения «включено» соответственно выключателей *Q2*, *Q3*, *Q4* и обходного выключателя 110 кВ;

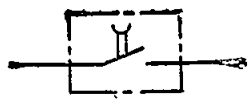
— *KQC3, KQC4* — контакты реле положения «включено» соответственно выключателей *Q3* и *Q4*;



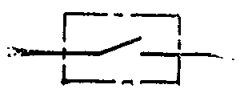
— *KQC1* — контакт реле положения; «включено» отделителя *QR1*;



— *KQT2, KQT5* — контакты реле положения «отключено» соответственно выключателя *Q2* и обходного выключателя 110 кВ;



— *KQT3, KQT4* — контакты реле положения «отключено» соответственно выключателей *Q3* и *Q4*;



— *QS1* — вспомогательный контакт обходного разъединителя автотрансформатора на стороне 110 кВ.

Примечание к рис. 2.3. У комплекта *AK1* типа КЗ-15 не используется демпферная обмотка промежуточного реле *KL1*; в комплекте должна быть отсоединена цепь реле *KH4* (*4РУ*) от зажима *40*.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

СХЕМЫ ЗАЩИТ ПОНИЖАЮЩИХ АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ 500 кВ

3.1. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ПОНИЖАЮЩЕГО АВТОТРАНСФОРМАТОРА 500/220/10 кВ МОЩНОСТЬЮ 3×167 И 3×267 МВ.А (РИС. 3.1)

3.1.1. Схема выполнена для случая наличия на стороне высшего напряжения схемы «шины — автотрансформатор» и на стороне среднего напряжения двух рабочих, секционированных выключателями, и обходной, секционированной разъединителем, систем шин.

На стороне низшего напряжения автотрансформатор работает в блоке с синхронным компенсатором, имеется ответвление к трансформатору собственных нужд.

3.1.2. Приведенная схема выполнена в предположении следующего:

3.1.2.1. На подстанции могут быть установлены один или два автотрансформатора. При двух автотрансформаторах в работе находятся оба; нахождение одного из них в резерве не предусматривается.

3.1.2.2. Подстанция имеет питание со стороны высшего и среднего напряжений.

3.1.2.3. На стороне среднего напряжения предусмотрена параллельная работа автотрансформаторов.

3.1.2.4. Автотрансформатор имеет встроенное устройство регулирования напряжения под нагрузкой со стороны среднего напряжения.

3.1.2.5. На стороне высшего напряжения установлены воздушные выключатели с пофазным управлением, на стороне среднего напряжения — воздушные выключатели с пофазным приводом и трехфазным управлением.

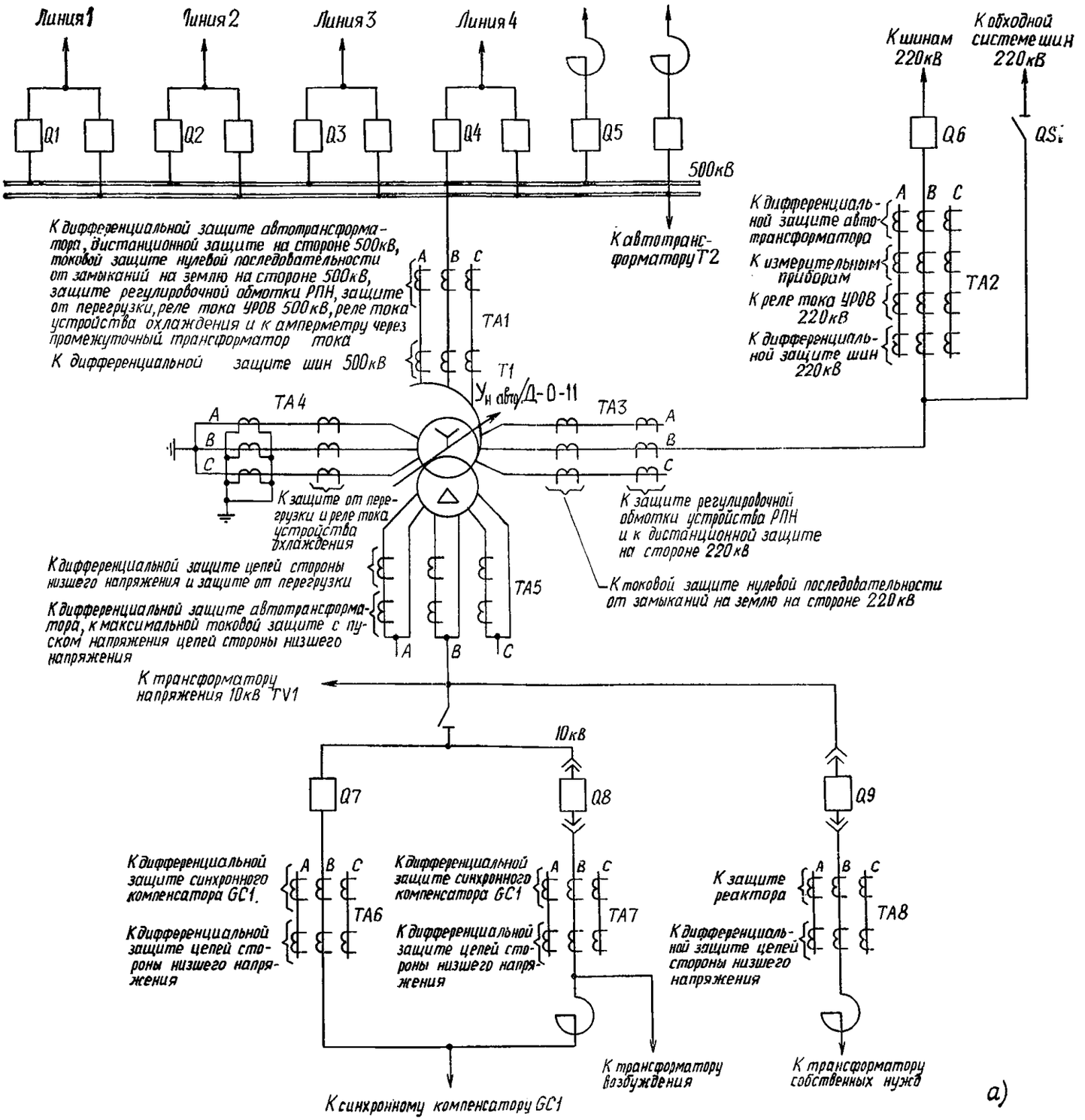


Рис. 3.1. Принципиальная схема релейной защиты понижающего автотрансформатора 500/220/10 кВ мощностью 3×167 и 3×267 МВ·А:

а — поясняющая схема; *б* — цепи переменного тока; *в* — цепи напряжения; *г* — распределение защит по автоматическим выключателям оперативного постоянного тока; *д* — цепи оперативного постоянного тока первого и второго комплектов защит; *е* — цепи оперативного постоянного тока второго комплекта защит; *ж* — цепи оперативного постоянного тока второго комплекта защит и выходные цепи; *з* — выходные цепи; *и* — цепи сигнализации

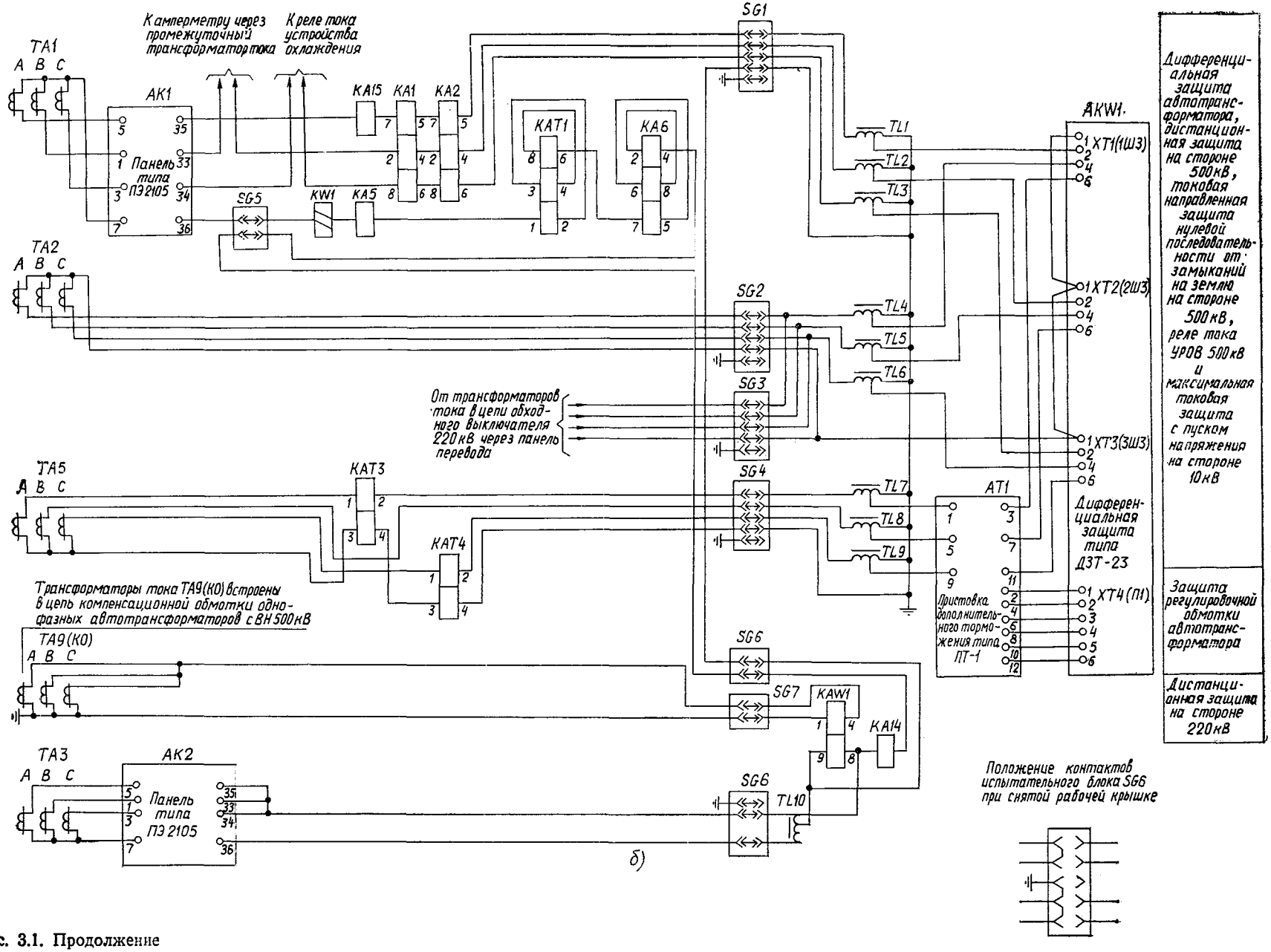


Рис. 3.1. Продолжение

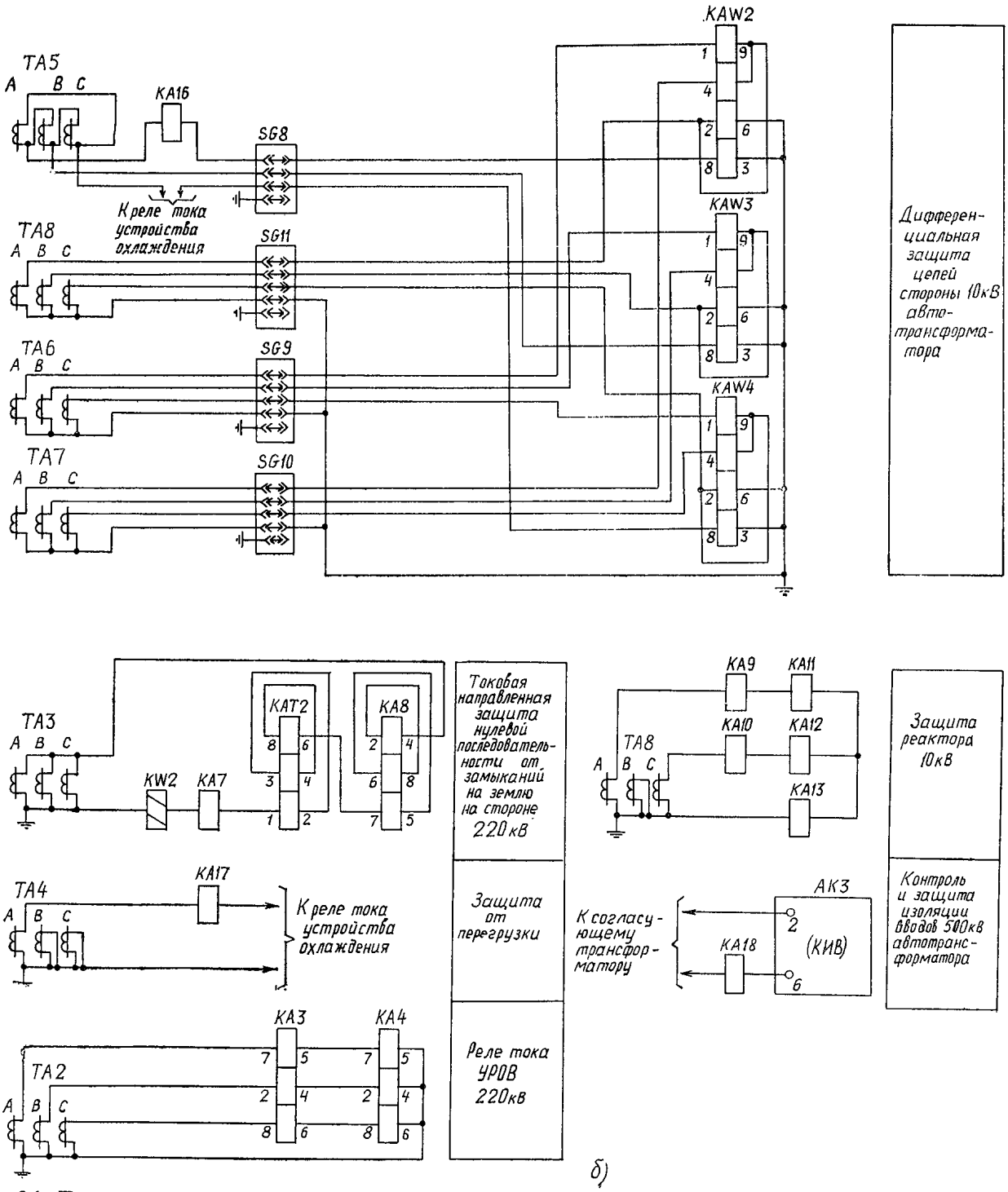


Рис. 3.1. Продолжение

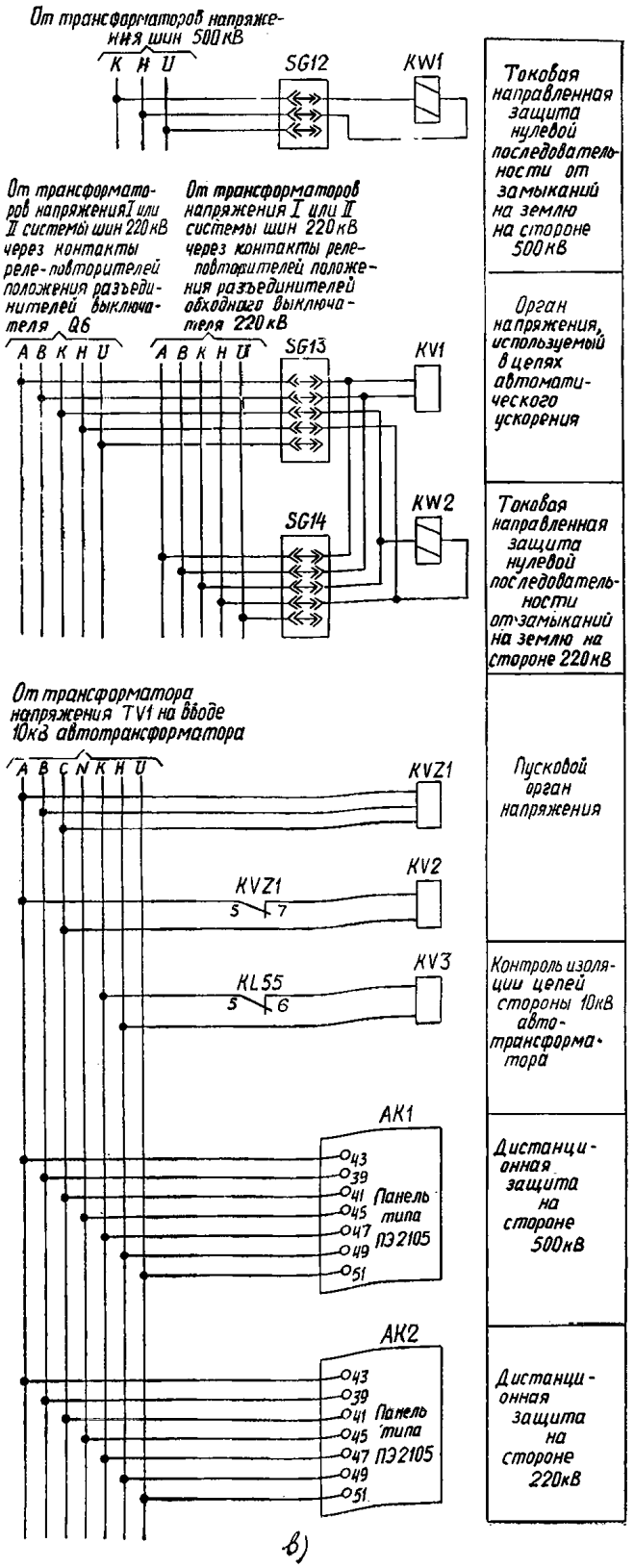


Рис. 3.1. Продолжение

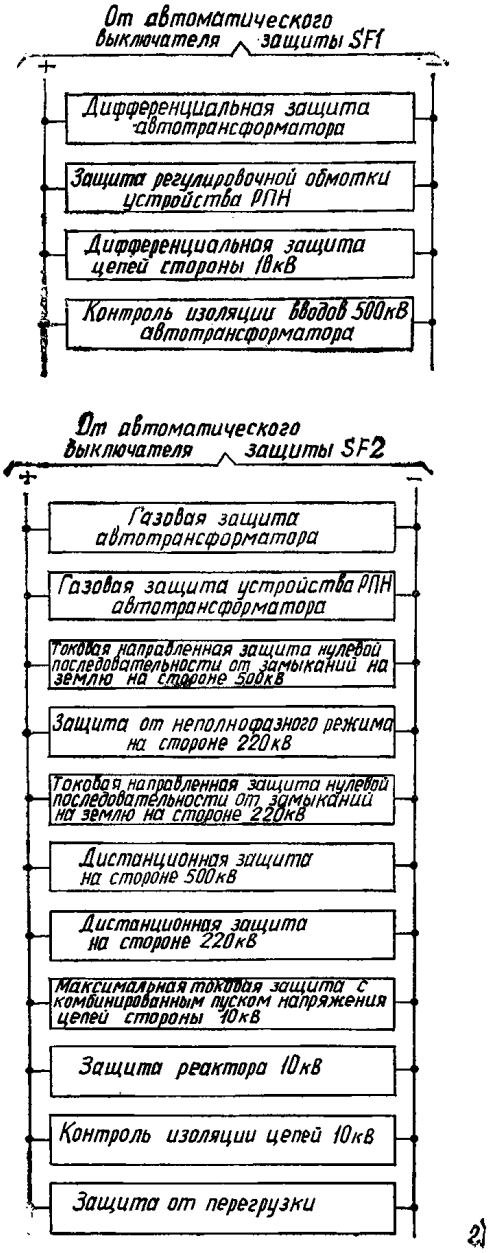
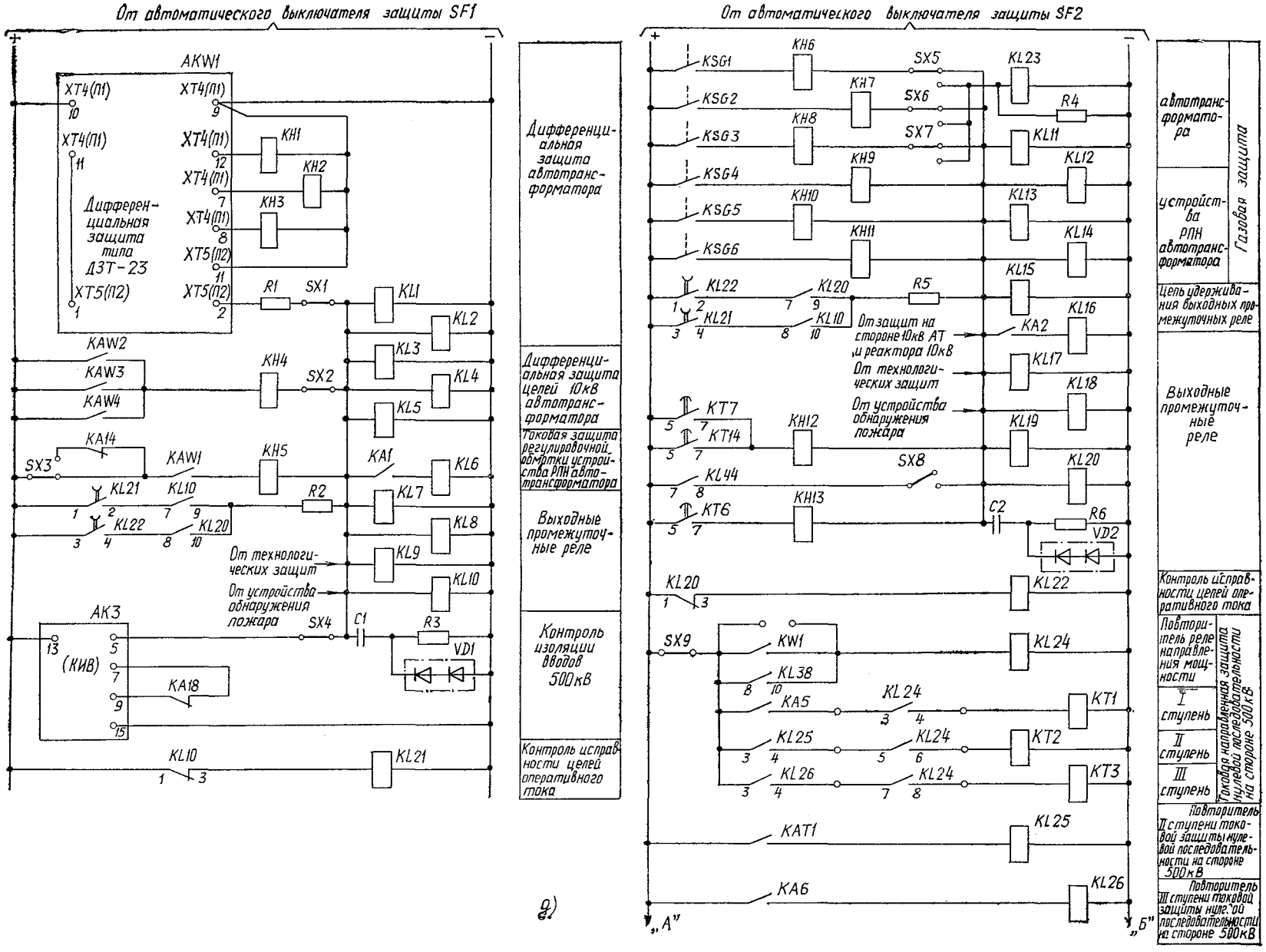
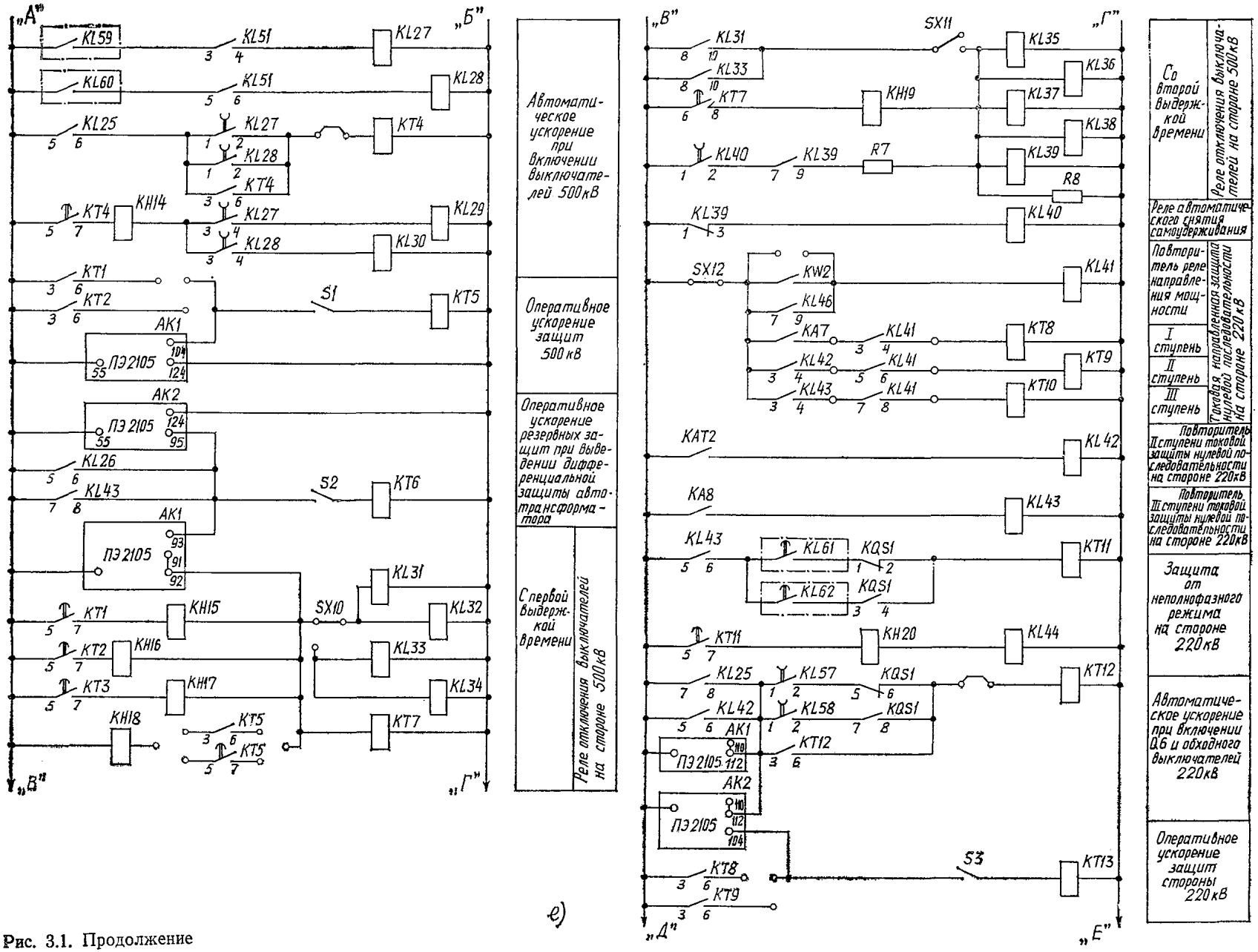


Рис. 3.1. Продолжение



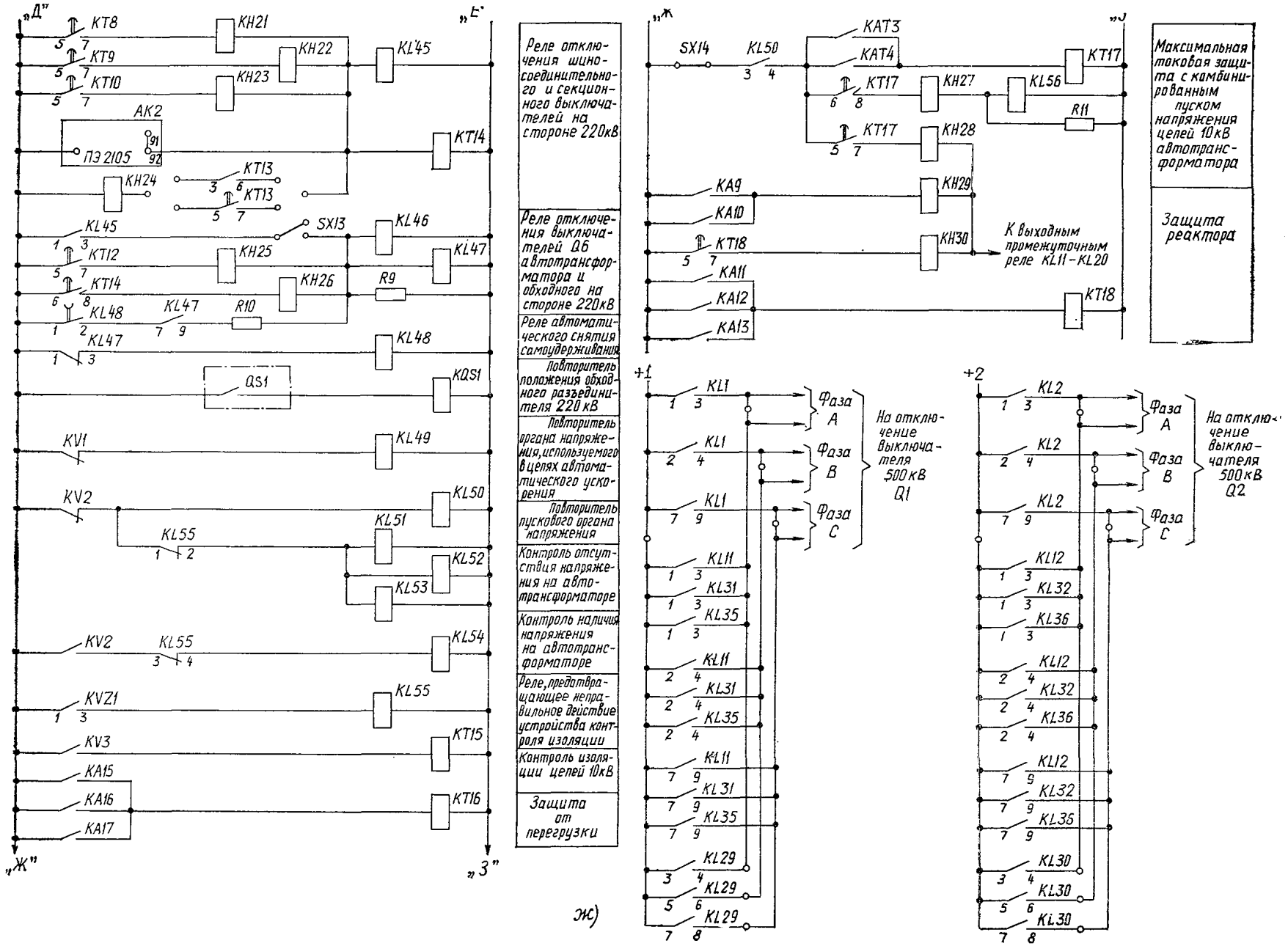
г)

Рис. 3.1. Продолжение



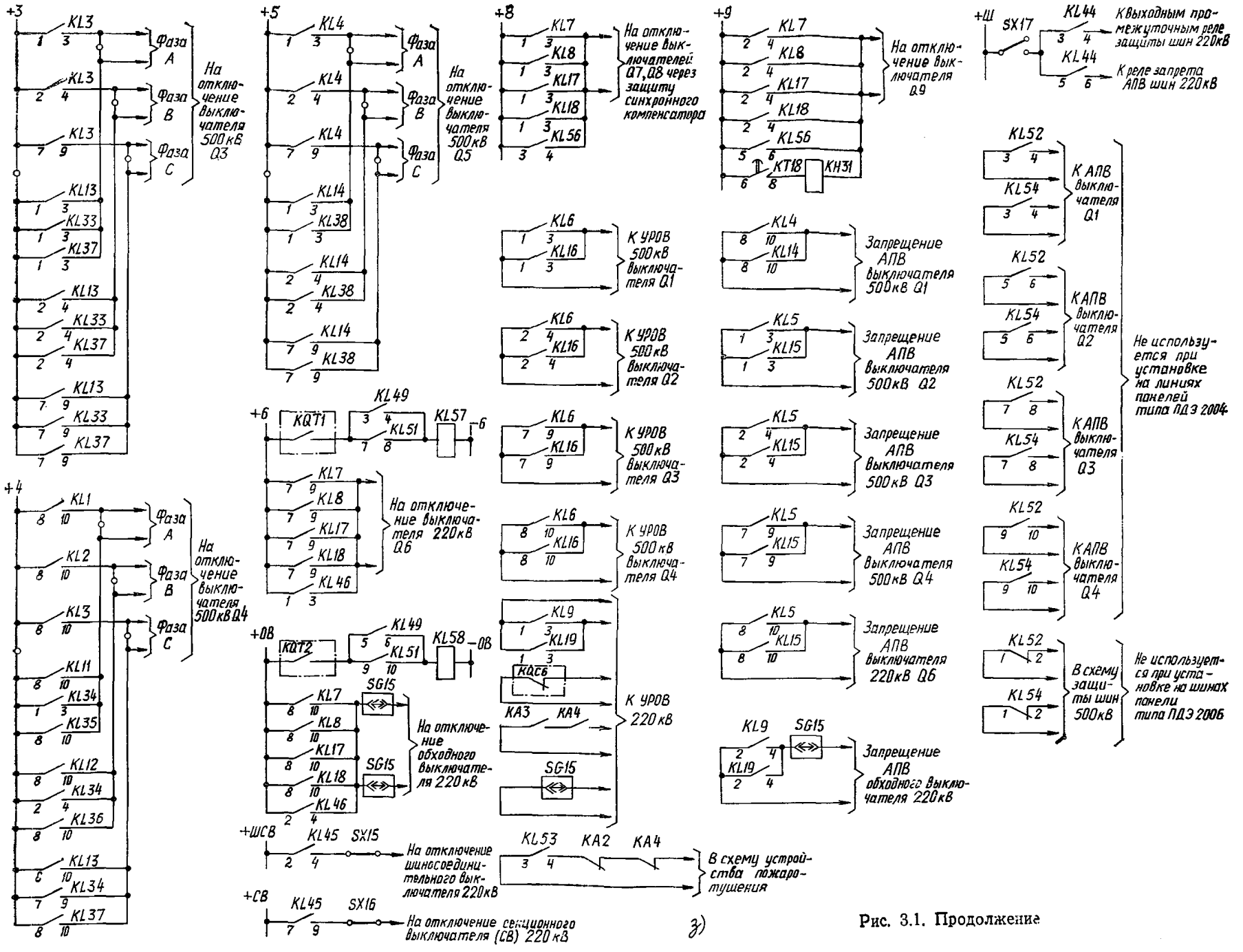
е)

Рис. 3.1. Продолжение



ж)

Рис. 3.1. Продолжение



з)

Рис. 3.1. Продолжение

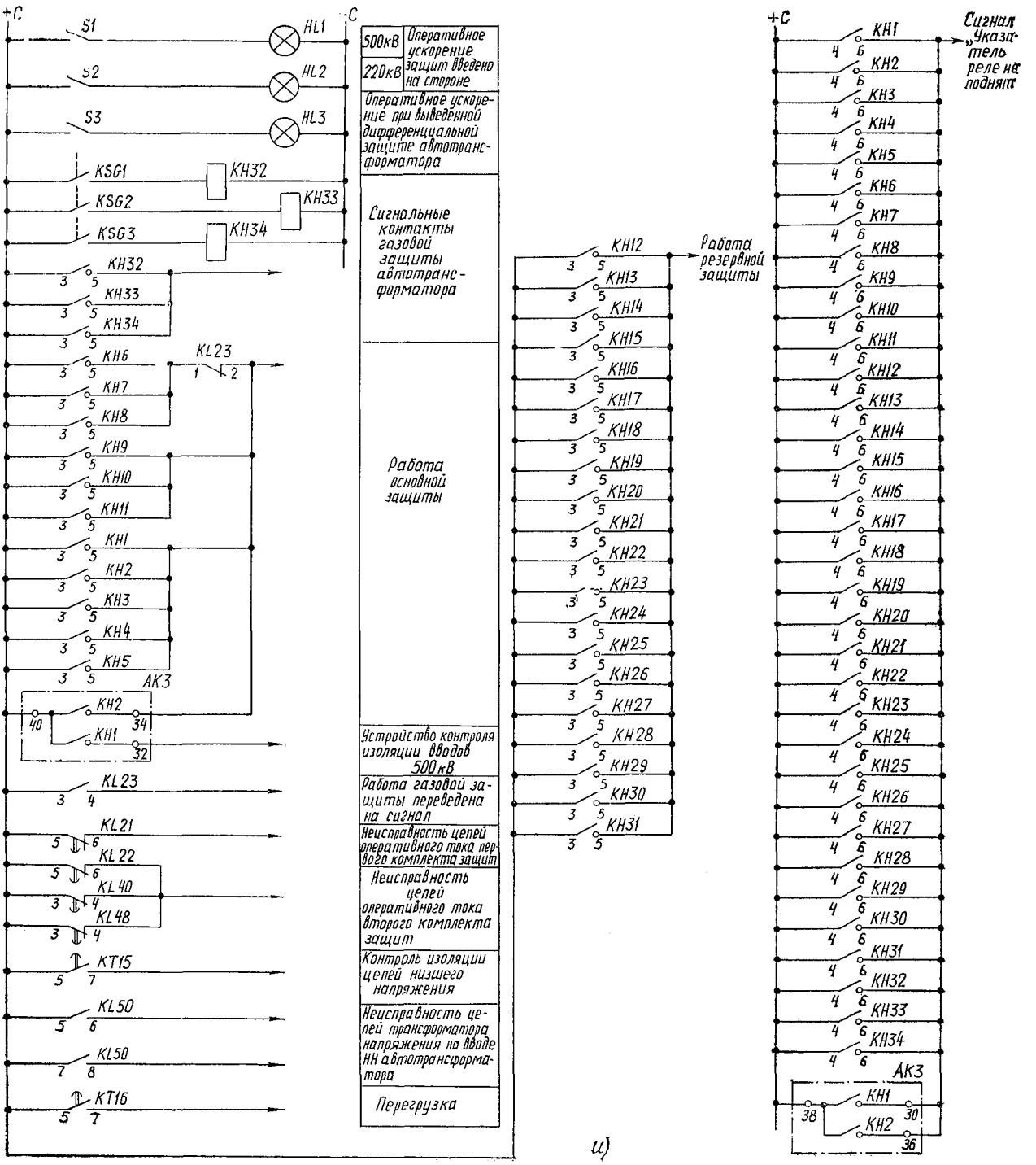


Рис. 3.1. Продолжение

3.1.2.6. В цепи низшего напряжения на выводах автотрансформатора установлен трансформатор напряжения *TV1*.

3.1.2.7. На выключателях высшего и среднего напряжений предусмотрены устройства АПВ с пуском от цепей «несоответствия».

3.1.2.8. Технические данные используемой в схеме аппаратуры даны для оперативного постоянного тока 220 В.

3.1.3. В целях повышения эффективности резервирования защит автотрансформатора последние разделены на два комплекта с питанием их от отдельных автоматических выключателей в цепи оперативного постоянного тока *SF1* и *SF2*. Каждый комплект имеет свои выходные промежуточные реле; раздельная проверка комплектов защит не предполагается.

3.1.4. Первый комплект составляют следующие защиты:

3.1.4.1. Дифференциальная токовая защита автотрансформатора.

3.1.4.2. Дифференциальная токовая защита цепей стороны низшего напряжения автотрансформатора.

3.1.4.3. Защита регулировочной обмотки устройства РПН.

3.1.4.4. Устройство контроля и защиты изоляции вводов 500 кВ (КИВ).

3.1.5. Второй комплект составляют следующие защиты:

3.1.5.1. Газовые защиты автотрансформатора и его устройства РПН.

3.1.5.2. Двухступенчатая дистанционная защита от многофазных КЗ на стороне высшего напряжения.

3.1.5.3. Двухступенчатая дистанционная защита от многофазных КЗ на стороне среднего напряжения.

3.1.5.4. Максимальная токовая защита с комбинированным пуском напряжения от многофазных КЗ на стороне низшего напряжения.

3.1.5.5. Токовая направленная защита нулевой последовательности от замыканий на землю на стороне высшего напряжения.

3.1.5.6. Токовая направленная защита нулевой последовательности от замыканий на землю на стороне среднего напряжения.

3.1.5.7. Защита от неполнофазного режима на стороне среднего напряжения.

3.1.5.8. Максимальная токовая защита от перегрузки.

3.1.5.9. Контроль изоляции цепей низшего напряжения.

3.1.5.10. Защита реактора 10 кВ.

3.1.6. Схема выполнена с учетом возможности замены выключателя стороны среднего напряжения *Q6* обходным выключателем.

3.1.7. В схеме показаны цепи, связывающие защиту автотрансформатора с устройствами резервирования при отказе выключателей на сторонах 500 и 220 кВ. При этом принято, что УРОВ 220 кВ выполнено действующим:

при КЗ в автотрансформаторе с отказом его выключателя 220 кВ — на отключение всех выключателей системы шин, к которой присоединен автотрансформатор;

при КЗ на шинах 220 кВ с отказом выключателя автотрансформатора 220 кВ — на отключение всех выключателей автотрансформатора (через выходные реле защиты шин 500 кВ).

Принято, что УРОВ 500 кВ выполнено действующим:

при КЗ в автотрансформаторе или на шинах 500 кв с отказом его выключателя 500 кВ — на отключение линии, примыкающей к отказавшему выключателю;

при КЗ на линии с отказом ее выключателя — на отключение всех выключателей автотрансформатора (через выходные реле защиты шин 500 кВ).

Необходимо отметить, что наличие в схеме двух групп выходных промежуточных реле потребовало установки двух реле тока УРОВ *KA1* и *KA2* на стороне 500 кВ.

3.1.8. В схеме предусмотрены дифференциальные защиты автотрансформатора, цепей стороны низшего напряжения и шин высшего напряжения. Последняя охватывает соединения автотрансформатора со сборными шинами 500 кВ и позволяет в случае необходимости выполнять АПВ шин, а также облегчает возможность проверки защит автотрансформатора при его отключении.

3.1.8.1. Дифференциальная защита *AKW1*, охватывающая автотрансформатор и соединения его со сборными шинами среднего напряжения, выполнена с использованием реле типа ДЗТ-23, имеющего пофазные выходы, используемые для выявления поврежденной фазы автотрансформатора. Реле обладает высокой чувствительностью (ток срабатывания регулируется в пределах 0,3—0,7 $I_{ном}$). Торможение в защите обеспечивается токами от трех групп трансформаторов тока (*TA1*, *TA2* и *TA5*) с применением приставки дополнительного торможения *AT1*, включаемой на ток стороны низшего напряжения.

Схема выполнена в предположении, что для выравнивания вторичных токов в плечах дифференциальной защиты необходимо применение автотрансформаторов тока *TL1—TL9*. Присоединение цепей тока к определенным зажимам реле *AKW1* показано условно и определяется расчетом в конкретном случае. Схема внутренних соединений реле типа ДЗТ-23 приведена на рис. П2.2.

При замене выключателя *Q6* обходным защита переключается с трансформаторов тока *TA2* на трансформаторы тока в цепи обходного выключателя 220 кВ с помощью испытательных блоков *SG2*, *SG3* в схеме защиты автотрансформатора и соответствующих испытательных блоков в схеме панели перевода (см. рис. П2.1).

3.1.8.2. Дифференциальная защита цепей стороны низшего напряжения автотрансформатора выполнена трехфазной трехрелейной с использованием реле типа ДЗТ-11 (*KAW2—KAW4*). Тормозная обмотка включена на сумму токов трансформаторов тока *TA6*, *TA7* и *TA8*, установленных соответственно в цепях синхронного компенсатора и реактора 10 кВ.

При срабатывании дифференциальные защиты автотрансформатора *AKW1* и цепей его стороны низшего напряжения *KAW2—KAW4* действуют на выходные промежуточные реле первого комплекта *KL1—KL10*, которые подают сигналы на отключение выключателей автотрансформатора *Q1—Q9* и запрещение АПВ выключателей *Q1—Q4* и *Q6* или заменяющего его обходного выключателя 110 кВ.

3.1.9. Цепи газовой защиты выполнены с учетом наличия:

трех газовых реле *KSG1—KSG3*, реагирующих на повреждения в кожухах каждой фазы автотрансформатора и имеющих два контакта, действующих на отключение автотрансформатора и на сигнал;

трех газовых реле *KSG4—KSG6*, реагирующих на повреждения в контакторном объеме РПН каждой фазы автотрансформатора, у которых используется только контакт, действующий на отключение.

В схеме предусмотрена возможность перевода действия отключающих контактов газовых реле автотрансформатора на сигнал.

3.1.10. Рассматриваемый автотрансформатор 500/220/10 кВ оборудован автоматическими системами пожаротушения.

Схема выполнена с учетом указания Минэнерго СССР. В соответствии с этим указанием пуск системы пожаротушения автотрансформаторов должен осуществляться от специального устройства обнаружения пожара (УОП) с контролем отключенного состояния по-

врежденного объекта. От реле-повторителя выходного реле УОП, установленного на панели управления УОП, производится также автоматическое управление отсечным клапаном, который перекрывает маслопровод от расширителя к баку автотрансформатора. Поскольку пуск системы автоматического пожаротушения осуществляется только на отключенном автотрансформаторе, в рассматриваемой схеме предусмотрены:

цепи воздействия от УОП на выходные промежуточные реле защиты первого (*KL1—KL10*) и второго (*KL11—KL20*) комплектов, действующих на отключение автотрансформатора;

цепь, фиксирующая отключенное состояние поврежденного автотрансформатора и состоящая из последовательно включенных размыкающих контактов реле тока *KA2*, *KA4* и замыкающего контакта промежуточного реле *KL53* — повторителя органа напряжения *KV2* и *KVZ1*, характеризующего отсутствие напряжения на защищаемом автотрансформаторе.

3.1.11. Особенностью рассматриваемого автотрансформатора является наличие встроенного со стороны среднего напряжения устройства регулирования напряжения под нагрузкой, выполненного с помощью специальной регулировочной обмотки, вынесенной на боковой стержень магнитопровода автотрансформатора, что позволяет изменением числа витков этой обмотки производить независимое регулирование напряжения только на стороне среднего напряжения.

Для защиты регулировочной обмотки (см. выпуск 13Б, гл. 17) используются встроенные трансформаторы тока *TA9*, установленные в цепях компенсационных обмоток, каждая из которых расположена также на боковом стержне магнитопровода и включена параллельно обмотке низшего напряжения автотрансформатора. Защита выполняется с помощью реле *KAW1* типа ДЗТ-11/4, включенного на ток нулевой последовательности. Рабочая обмотка реле присоединяется к трансформаторам тока *TA9* в цепи компенсационной обмотки, а тормозная — к трансформаторам тока сторон высшего и среднего напряжений таким образом, чтобы при внешних КЗ токи складывались. На стороне среднего напряжения используется промежуточный автотрансформатор тока *TL10*.

В режиме работы с отключенным выключателем 220 кВ защита может излишне сработать при КЗ на землю на стороне 500 кВ. Для предотвращения указанного в схеме предусмотрено блокирующее реле *KA14*, питаемое от трансформаторов тока *TA1* стороны 500 кВ и включаемое в работу накладкой *SX3* в режиме длительного отключения выключателя 220 кВ.

3.1.12. Маслонаполненные вводы 500 кВ защищаемого автотрансформатора снабжены устройством контроля изоляции. Указанное устройство *AK3* состоит из блок-реле КИВ-500Р, согласующего трансформатора и разрядников. Оно осуществляет контроль состояния изоляции вводов в процессе эксплуатации и отключает автотрансформатор перед их полным пробоем.

Устройство реагирует на сумму токов, протекающих под воздействием рабочего напряжения через изоляцию вводов трех фаз. Использованием соответствующих ответвлений первичной обмотки согласующего трансформатора может быть получен минимальный ток небаланса в блок-реле КИВ-500Р.

Блок-реле КИВ-500Р состоит из измерительного, сигнального и отключающего элементов (схема внутренних соединений устройства приведена на рис. 3.2).

При срабатывании более чувствительного — сигнального элемента *KA1*, *KT1*, *KH1* обслуживающий персонал обязан по миллиамперметру *mA* контролировать и записывать значение тока и в случае прогрессирующего повреждения отключить автотрансформатор с дефектным вводом, не дожидаясь срабатывания более грубого отключающего элемента (*KA2*, *KT2*, *KH2*).

Ток срабатывания сигнального элемента (реле *KA1*) принимается равным 5—7% номинального емкостного тока ввода; выдержка времени сигнального элемента (реле *KT1*) должна быть отстроена от выдержки времени резервных защит сети высшего и среднего напряжений.

Ток срабатывания отключающего элемента (реле *KA2*) принимается равным 20—25% номинального емкостного тока ввода. Выдержка времени отключающего элемента (реле *KT2*) должна быть отстроена от быстродействующих защит в сетях высшего и среднего напряжений и может приниматься порядка 1,2—1,3 с.

Отключающий элемент автоматически вводится в действие только после срабатывания реле времени (*KT1*) сигнального элемента.

Для предотвращения ложной работы отключающего элемента КИВ-500Р при обрывах в цепях, соединяющих вводы 500 кВ с согласующим трансформатором, предусмотрено блокирующее реле тока *KA18*, включенное в цепь вторичной обмотки согласующего трансформатора. Ток срабатывания реле *KA18* принимается равным 60—70% номинального емкостного тока ввода.

При резком изменении тока от нуля до значения, большего тока срабатывания реле *KA18*, отключающий элемент будет выведен из действия.

3.1.13. Дистанционная защита выполняется с использованием двух отдельных панелей типа ПЭ2105 (см. рис. П2.4), содержащих комплекты реле сопротивления типа КРС-2 (первая ступень) и КРС-3 (вторая ступень), устройство блокировки при качаниях типа КРБ-125 (ПЭ2105А) или КРБ-126 (ПЭ2105Б) и устройство блокировки при неисправности цепей напряжения типа КРБ-12.

3.1.13.1. Дистанционная защита *AK1*, используемая на стороне высшего напряжения, питается от трансформаторов тока *TA1*, встроенных во втулки высшего напряжения автотрансформатора, и от трансформатора напряжения на вводе низшего напряжения автотрансформатора *TV1*. Первая ступень защиты используется для обеспечения согласования с ней вторых ступеней защит линий среднего напряжения, а вторая ступень — для обеспечения дальнего резервирования в сети высшего напряжения. Одновременно защита может осуществлять частичное резервирование основных защит автотрансформатора (за счет смещения характеристики первой ступени защиты в третий квадрант). Обе ступени защиты приняты направленными в сторону сети 500 кВ и с первой выдержкой времени действуют на промежуточные реле *KL31*, *KL32*, отключающие выключатели 500 кВ *Q1* и *Q2*, со второй (через контакт *6-8* реле времени *KT7* и промежуточные реле *KL35—KL39*) — на отключение выключателей *Q3*, *Q4* и *Q5*, а с третьей (через контакт *5-7* реле времени *KT7*) — на выходные промежуточные реле *KL11—KL20* второго комплекта защиты автотрансформатора. Последнее имеет недостаток — происходит запрещение АПВ выключателей автотрансформатора, хотя КЗ было в зоне защиты шин 500 кВ. Однако, учитывая сравнительно малую вероятность отказа срабатывания защиты шин и наличие второго автотрансформатора, недействие АПВ в рассматриваемом случае можно считать допустимым. Указанное отключение выключателей с первой выдержкой времени обеспечивает разделение систем шин высшего напряжения и тем самым предотвращает отключение второго автотрансформатора со стороны рассматриваемого напряжения, например, при КЗ на линии 500 кВ. При необходимости одновременного отключения всех выключателей 500 кВ автотрансформатора должна быть включена накладка *SX11*.

Схемой предусмотрена возможность разделения систем шин 500 кВ другими выключателями — *Q3* и *Q4*, а не *Q1* и *Q2*, как указано выше. В этом случае накладка *SX10* должна быть переведена в положение, при котором обе ступени дистанционной защиты действуют с первой выдержкой времени на промежуточные реле *KL33* и *KL34*, отключающие выключатели *Q3* и *Q4*; со второй выдержкой времени защита действует

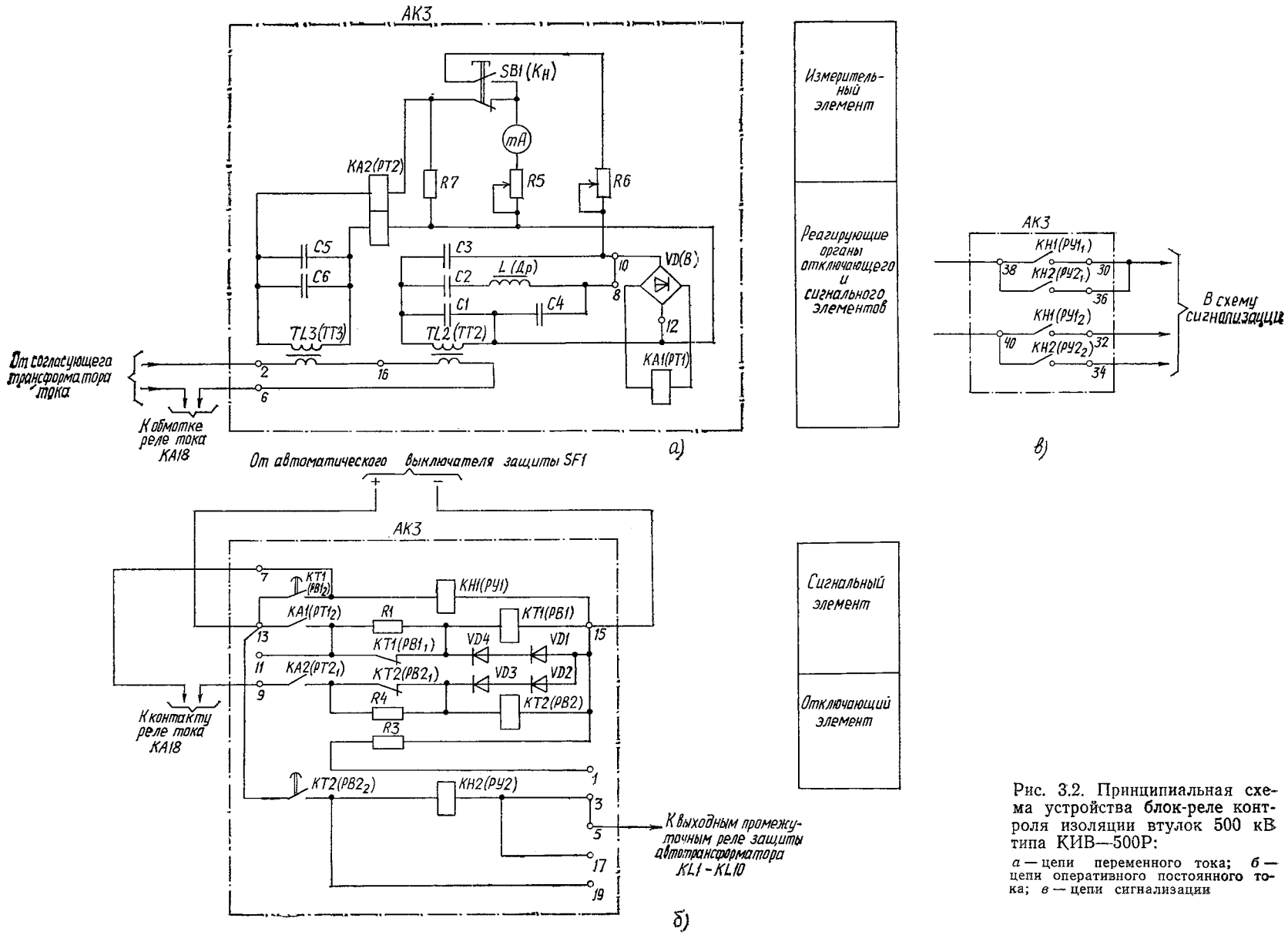


Рис. 3.2. Принципиальная схема устройства блок-реле контроля изоляции втулок 500 кВ типа КИВ—500Р:

а — цепи переменного тока; *б* — цепи оперативного постоянного тока; *в* — цепи сигнализации

на отключение выключателей *Q1*, *Q2* и *Q5*. В схеме предусмотрено самоудерживание реле *KL35—KL39*, которое автоматически снимается при отпускании реле *KL40* (см. п. 3.1.14).

Цепи напряжения дистанционной защиты *AK1* включаются на фазные напряжения (относительно нулевой точки системы) трансформатора напряжения *TV1* типа НТМИ-10. Трансформатор напряжения такого типа в отличие от трансформаторов напряжения 110—220 кВ типа НКФ не имеет вывода от одной из фаз вторичных обмоток, соединенных в «разомкнутый» треугольник (см. рис. П2.3). В связи с этим невозможно выполнить подключение КРБ-12 панели дистанционной защиты типа ПЭ2105 аналогично тому, как это делается, например, на автотрансформаторе 220/110/6—10 кВ (см. рис. 2.2) при использовании трансформатора напряжения типа НКФ-110. Необходимое подключение цепей напряжения в данном случае выполняется в соответствии с указанной схемой на рис. П2.3 и обусловлено отсутствием отдельных выводов цепей напряжения у КРБ-12 в панели ПЭ2105. При этом цепи тока дистанционной защиты включаются таким образом, чтобы обеспечивалось включение реле сопротивления на «петлю короткого замыкания».

3.1.13.2. Дистанционная защита *AK2*, используемая на стороне среднего напряжения, питается от трансформаторов тока *TA3*, встроенных во втулки среднего напряжения автотрансформатора, и от того же трансформатора напряжения *TV1*, что и защита *AK1*.

Данная защита аналогична защите *AK1*; первая ее ступень используется для обеспечения согласования с ней защит линий высшего напряжения, а вторая ступень — для обеспечения дальнего резервирования в сети среднего напряжения. Обе ступени защиты приняты направленными в сторону сети 220 кВ.

С первой выдержкой времени защита *AK2* действует через промежуточное реле *KL45* на отключение шиносоединительного и секционного выключателей 220 кВ, со второй (через контакт *6-8* реле времени *KT14* и промежуточные реле *KL46*, *KL47*) — на отключение выключателя 220 кВ *Q6* или заменяющий его обходной выключатель, с третьей (через контакт *5-7* реле времени *KT14*) — на выходные промежуточные реле *KL11—KL20*.

Схемой предусматривается возможность, при необходимости, обеспечения одновременного отключения выключателей *Q6* автотрансформатора (или заменяющего его обходного), шиносоединительного и секционного выключателей 220 кВ. При этом должна быть включена накладка *SX13*. В схеме выполнено самоудерживание промежуточных реле *KL46* и *KL47* (см. п. 3.1.14).

Использование двух панелей дистанционной защиты позволяет обеспечить наиболее эффективное дальнее резервирование в соответствии с рассмотренным выше назначением отдельных ступеней. Указанное является целесообразным, учитывая особую ответственность рассматриваемых подстанций.

3.1.14. Для резервирования отключения замыканий на землю на стороне высшего напряжения предусмотрена токовая направленная защита нулевой последовательности, питаемая от трансформаторов тока *TA1*, встроенных во втулки высшего напряжения автотрансформатора.

В целях обеспечения согласования защит линий 220 кВ с защитами автотрансформатора рассматриваемая защита выполнена трехступенчатой.

Первая ступень защиты *KA5* выполнена с помощью реле типа РТ-40. Вторая ступень *KAT1*, используемая также и при ускорении защиты (см. п. 3.1.19), выполнена с реле типа РНТ для отстройки от апериодической составляющей тока в нулевом проводе трансформаторов тока стороны 500 кВ, обусловленной разновременностью действия фаз выключателя при его включении.

Для осуществления третьей ступени *KA6* в целях уменьшения нагрузки на трансформаторы тока применено трехфазное реле тока типа РТ-40/Р-1 с последовательным соединением трех первичных обмоток его промежуточного трансформатора.

Все три ступени защиты действуют по аналогии с дистанционной защитой *AK1* (см. п. 3.1.13.1), т. е. через промежуточные реле *KL31* и *KL32* на отключение выключателей *Q1*, *Q2*, чем достигается разделение систем шин 500 кВ, затем на отключение выключателей *Q3*, *Q4*, *Q5* и далее на выходные промежуточные реле защиты *KL11—KL20*.

Цепь напряжения реле направления мощности *KW1* рассматриваемой защиты питается от трансформатора напряжения шин 500 кВ. Для обеспечения действия защиты после отключения выключателей *Q1*, *Q2*, а затем и *Q3*, *Q4*, *Q5* при КЗ на землю в соединениях между выключателями и втулками 500 кВ автотрансформатора контакт реле направления мощности *KW1* шунтируется контактом реле *KL38*; в связи с последним и предусмотрено самоудерживание реле *KL35—KL39*, которое автоматически снимается при отпускании дополнительно предусмотренного реле *KL40* типа РП-252. Имеется возможность выполнения любой ступени защиты ненаправленной.

Для резервирования отключения КЗ на землю на стороне среднего напряжения предусмотрена аналогичная рассмотренной трехступенчатая токовая направленная защита, питаемая от трансформаторов тока *TA3*, встроенных во втулки 220 кВ автотрансформатора. Защита действует так же, как и дистанционная защита *AK2* на стороне среднего напряжения (см. п. 3.1.13.2).

Цепь напряжения реле направления мощности *KW2* питается от трансформатора напряжения шин 220 кВ. Для обеспечения действия защиты после отключения выключателя *Q6* или заменяющего его обходного выключателя 220 кВ при КЗ на землю в соединении автотрансформатора с шинами 220 кВ контакт реле направления мощности *KW2* шунтируется контактом реле *KL46*; в связи с указанным и предусмотрено самоудерживание реле *KL46*, *KL47*, которое автоматически снимается при отпускании дополнительно предусмотренного реле *KL48*.

3.1.15. Для резервирования защит цепей стороны низшего напряжения предусмотрена максимальная токовая защита с комбинированным пуском напряжения.

В целях повышения эффективности ближнего резервирования основная и резервная защита цепей стороны низшего напряжения питаются от разных сердечников трансформаторов тока *TA5*. Рассматриваемая защита включена в плечо дифференциальной защиты автотрансформатора. Поскольку трансформаторы тока дифференциальной защиты автотрансформатора *TA5* соединены в «звезду», данная защита выполняется с использованием реле тока типа РНТ *KAT3*, *KAT4*, рабочие обмотки которых включаются на токи фазы *A*(*C*) и нулевого провода трансформаторов тока, причем для компенсации токов нулевой последовательности при внешних КЗ на землю в сетях высшего и среднего напряжений число витков рабочей обмотки реле в нулевом проводе трансформаторов тока принимается в 3 раза меньшим числа витков обмотки, включаемой на ток фазы. Указанное выполнение защиты принято для исключения излишнего ее срабатывания при внешних КЗ на землю в сетях высшего и среднего напряжений. Комбинированный пусковой орган напряжения *KVZ1*, *KV2* и *KL50* питается от трансформатора напряжения *TV1* на вводе низшего напряжения автотрансформатора. С первой выдержкой времени защита действует на отключение выключателей *Q7*, *Q8* и *Q9*, а со второй — на выходные промежуточные реле *KL11—KL20*.

3.1.16. Для защиты реактора 10 кВ в цепи трансформатора собственных нужд предусмотрены:

3.1.16.1. Токовая отсечка в двухфазном двухрелейном исполнении *KA9, KA10*, которая действует через выходные промежуточные реле *KL11—KL20* на отключение выключателей автотрансформатора; не предусматривается действие токовой отсечки непосредственно на отключение выключателя *Q9* ввиду его недостаточной отключающей способности.

3.1.16.2. Максимальная токовая защита в двухфазном трехрелейном исполнении (*KA11—KA13, KT18*), действующая с первой выдержкой времени на отключение выключателя *Q9* и со второй на выходные промежуточные реле *KL11—KL20*.

3.1.17. В схеме предусмотрена защита от неполнофазного режима на стороне 220 кВ, возникающего при отключении не всеми фазами выключателя *Q6* или заменяющего его обходного выключателя.

Следует отметить, то нежелательный неполнофазный режим может привести к отключению второго автотрансформатора подстанции его токовой направленной защитой нулевой последовательности при неполнофазном отключении выключателя *Q6* данного автотрансформатора, поскольку на реле направления мощности защиты второго автотрансформатора имеется рабочий момент (на первом автотрансформаторе защита от замыканий на землю работать не будет, так как на ее реле направления мощности имеется тормозной момент).

В качестве реагирующего органа защиты используется реле тока третьей ступени токовой защиты нулевой последовательности от замыканий на землю на стороне 220 кВ (*KA8, KL43*). Защита срабатывает, если появление тока $3I_0$ сопровождается действием реле контроля непереключения фаз выключателя *Q6* (*KL61*) или обходного 220 кВ (*KL62*), предусмотренных в схемах управления выключателей соответственно *Q6* и обходного.

Защита выполнена с выдержкой времени (реле *KT11*), обеспечивающей отстройку от действия реле контроля непереключения фаз в схеме управления, что необходимо, поскольку последним может быть ликвидирован неполнофазный режим в случае отказа одной или двух фаз выключателя при его включении. Защита действует с помощью реле *KL44* на выходные промежуточные реле *KL11—KL20* второго комплекта. Предусмотрена возможность действия защиты на выходные промежуточные реле защиты шин 220 кВ, что может оказаться целесообразным в целях сохранения транзита 500 кВ.

Неполнофазный режим на стороне 500 кВ, возникающий при отключении не всеми фазами одного выключателя линии в то время, когда ее второй выключатель выведен в ремонт, ликвидируется защитой от неполнофазного режима линии, в связи с чем в рассматриваемой схеме защита от неполнофазного режима автотрансформатора на стороне 500 кВ не предусматривается.

3.1.18. Максимальная токовая защита от перегрузки выполнена с помощью реле тока *KA15, KA16* и *KA17*, установленных соответственно на сторонах высшего и низшего напряжений, а также со стороны выводов обмоток автотрансформатора к нейтрали. Защита действует на сигнал с выдержкой времени (реле времени *KT16*).

3.1.19. В схеме предусмотрена возможность оперативного ускорения защит от внешних КЗ на сторонах высшего и среднего напряжений.

При выведении из работы защиты шин 500 кВ рубильником *S1* вводится оперативное ускорение первой (реле *KT1*) или второй (реле *KT2*) ступени токовой направленной защиты нулевой последовательности от замыканий на землю на стороне 500 кВ и первой ступени дистанционной защиты *AK1*.

Ускоряемые защиты с первой выдержкой времени действуют на отключение одновременно выключателей *Q1—Q5* (включается накладка *SX11*), а со второй выдержкой времени — на выходные промежуточные реле *KL11—KL20*. При этом в результате действия оперативно ускоряемых защит с первой выдержкой времени *KT5* на отключение всех выключателей высшего напряжения автотрансформатора при повреждении на линии 500 кВ, сопровождающемся отказом срабатывания ее быстродействующих защит, может иметь место отключение обоих автотрансформаторов. Ввиду весьма малой вероятности такого случая указанное считается допустимым.

При выведении из работы защиты шин 220 кВ рубильником *S3* вводится оперативное ускорение первой (реле *KT8*) или второй (реле *KT9*) ступени токовой направленной защиты нулевой последовательности от замыканий на землю на стороне 220 кВ и первой ступени дистанционной защиты *AK2*, используемой на стороне среднего напряжения. При этом указанные защиты через контакт реле времени *KT13* действуют на промежуточное реле *KL45*.

На ряд зажимов панели выведено по два контакта реле времени *KT5, KT13* цепей оперативного ускорения: *3-6* и *5-7*. В каждом конкретном случае выбирается требуемый способ ускорения и устанавливаются соответствующие перемычки между зажимами панели.

В схеме предусмотрена возможность выполнения оперативного ускорения защит при выводе дифференциальной защиты автотрансформатора. При этом рубильником *S2* вводятся третьи ненаправленные ступени токовых защит нулевой последовательности от замыканий на землю на сторонах 500 кВ (реле тока *KA6* и его повторитель *KL26*) и 220 кВ (реле тока *KA8* и его повторитель *KL43*), пусковой орган блокировки при качаниях (защита обратной последовательности) дистанционной защиты *AK1* (при этом на зажим *93* панели ПЭ2105 вместо срабатывающего с выдержкой времени контакта реле времени *KT4* выводится его контакт мгновенного действия) и первая ступень дистанционной защиты *AK2*. Указанные защиты через контакт реле времени *KT6* действуют на выходные промежуточные реле *KL11—KL20*.

3.1.20. В схеме предусмотрено автоматическое ускорение защит от внешних КЗ при включении выключателей автотрансформатора сторон высшего и среднего напряжений от устройства АПВ после отключения внешнего повреждения (например, КЗ на шинах высшего или среднего напряжения или на отходящих от сборных шин подстанции линиях 220 кВ, сопровождающегося отказом их защит или выключателей).

Указанное ускорение будет иметь место и при включении выключателей вручную.

В данной схеме в целях упрощения автоматическое ускорение при включении выключателей 500 кВ выполнено только для двух из четырех выключателей. Цепи ускорения условно даны для выключателей *Q1* и *Q2*.

При включении выключателя *Q1* или *Q2* от устройства АПВ после отключения повреждения на шинах 500 кВ ее дифференциальной защитой ускоряется вторая ненаправленная ступень токовой защиты нулевой последовательности от замыканий на землю на стороне 500 кВ.

В цепи пуска автоматического ускорения (реле *KT4*) предусмотрены контакты реле ускорения *KL27* и *KL28*, которые в свою очередь пускаются контактами реле *KL59* и *KL60* схем управления выключателей 500 кВ, характеризующих отключенное положение выключателей соответственно *Q1* и *Q2*. Действие реле *KL27* и *KL28* контролируется органом напряжения *KVZ1* и *KV2* (*KL51*). При наличии напряжения на автотрансформаторе ускорения рассматриваемых защит не будет. Реле времени *KT4* действует через реле *KL29* и *KL30* соответственно на отключение выключателей *Q1* и *Q2*.

При включении выключателя *Q6* или заменяющего его обходного выключателя 220 кВ от устройства АПВ после отключения повреждения на шинах 220 кВ или на отходящих от них линиях, сопровождающегося отказом защиты или выключателя линии, ускоряются вторая ненаправленная ступень токовой защиты нулевой последовательности от замыканий на землю на стороне 220 кВ (*KAT2* и *KL42*) и первая и вторая ступени дистанционной защиты на стороне среднего напряжения (*AK2*). В цепи пуска автоматического ускорения (реле *KT12*) предусмотрены контакты реле ускорения *KL57* и *KL58* выключателей *Q6* и обходного, которые в свою очередь пускаются контактами реле положения «отключено» *KQT1* и *KQT2* этих выключателей. Действие реле *KL57* и *KL58* контролируется органом напряжения *KV1* (*KL49*); при наличии напряжения на шинах 220 кВ ускорения рассматриваемых защит не будет.

Для обеспечения автоматического ускорения защит при включении выключателя *Q6* или обходного 220 кВ от устройства АПВ после отключения повреждения на шинах 500 кВ ее дифференциальной защитой цепь пуска реле *KL57* и *KL58* дополнительно контролируется органом напряжения *KVZ1* и *KV2* (*KL51*), питаемым от трансформатора напряжения на вводе низшего напряжения автотрансформатора, а реле *KT12* пускается от второй ступени токовой направленной защиты нулевой последовательности от замыканий на землю на стороне высшего напряжения (*KAT1* и *KL25*), а также первой и второй ступенями дистанционной защиты *AK1*.

Выдержка времени в рассматриваемых цепях (*KT4*, *KT12*) принимается порядка 0,3—0,5 с и предусмотрена для предотвращения ложного действия токовых защит нулевой последовательности от броска тока намагничивания автотрансформатора при неодновременном включении фаз выключателя.

Следует отметить, что в рассматриваемой схеме в целях упрощения не предусмотрено автоматическое ускорение защит от внешних КЗ автотрансформатора при включении *Q1* или *Q2* на КЗ на линии 500 кВ, сопровождающееся отказом ее защит; указанное допустимо, поскольку линии 500 кВ, как правило, оборудованы двумя быстродействующими защитами.

3.1.21. Контроль изоляции цепей стороны низшего напряжения автотрансформатора осуществляется с помощью реле напряжения *KV3*, действующего на сигнал с выдержкой времени реле *KT15*.

Реле питается от трансформатора напряжения *TV1*, установленного на вводе низшего напряжения автотрансформатора.

Во избежание неправильного действия устройства контроля изоляции при перегорании предохранителей на стороне высшего напряжения трансформатора напряжения *TV1* в схеме выполнен разрыв цепи обмотки реле *KV3* размыкающим контактом реле *KL55*, действующим при срабатывании фильтра-реле напряжения обратной последовательности *KVZ1*.

3.1.22. В качестве выходных промежуточных реле первого (*KL1—KL10*) и второго (*KL11—KL20*) комплектов защит автотрансформатора используются реле типа РП-220.

В схеме выполнено самоудерживание указанных выходных промежуточных реле, обеспечивающее надежный пуск УРОВ при возможных кратковременных замыканиях контактов газового реле (например, при использовании реле типа РГЧЗ-66 и т. п.), а также при КЗ, например, в зоне действия дифференциальной защиты цепей стороны низшего напряжения автотрансформатора, сопровождающемся отказом выключателя последнего, при питании автотрансформатора от линии большой протяженности в минимальном режиме работы системы.

Автоматическое снятие самоудерживания осуществляется при отпускании дополнительно предусмотренных реле типа РП-252 *KL21* и *KL22*. Указанные реле осуществляют также контроль наличия оперативного постоянного тока соответственно первого и второго комплектов защит.

Рассматриваемая схема может применяться без изменений (за исключением номеров зажимов реле и параметров резисторов) при замене указанных реле типов РП-222 и РП-252 новыми — РП-17 и РП-18 соответственно.

При действии выходные промежуточные реле подают сигналы на отключение всех выключателей автотрансформатора, на запрещение АПВ выключателей *Q1—Q4*, *Q6* или заменяющего его обходного выключателя 220 кВ и на пуск УРОВ 500 и 220 кВ.

В целях повышения надежности в схеме выполнено пуск выходных промежуточных реле первого (второго) комплекта защиты контактом выходного промежуточного реле второго (первого) комплекта, чем обеспечивается ликвидация повреждения при отказе выходных промежуточных реле одного из комплектов защиты (например, в случае обрыва в цепи обмоток реле).

В целях повышения надежности в схеме выполнено дублирование действия выходных промежуточных реле каждого комплекта на отключение выключателей 220 и 10 кВ. В цепях отключения выключателей 500 кВ функцию дублирования сигнала на отключение выполняет УРОВ 500 кВ.

Цепи отключения (при использовании одного отключающего электромагнита) выключателей 500 кВ от первого и второго комплектов защиты для повышения надежности могут объединяться в открытом распределительном устройстве. Указанные цепи могут быть выполнены раздельно для выключателей с двумя отключающими электромагнитами. При этом для повышения эффективности ближнего резервирования, в случае наличия на подстанции двух независимых источников постоянного тока, питание отключающих катушек выключателя осуществляется от разных источников.

В целях упрощения цепи пуска УРОВ, а также цепи запрещения АПВ выключателей от первого и второго комплектов защит объединяются на панели защит автотрансформатора, а далее их связи с соответствующими панелями выполняются одной цепью.

3.1.23. В схеме показаны цепи связи защиты автотрансформатора с УРОВ 500 кВ выключателей *Q1—Q4* (выходные реле защиты *KL6* и *KL16*) и УРОВ 220 кВ (реле тока *KA3*, *KA4*; выходные реле защиты *KL9*, *KL19*; реле положения «включено» выключателя *Q6—KQC6*; испытательный блок *SG15*). При этом предполагается, что на стороне 220 кВ применяется типовая схема УРОВ, выполненная с дублированным пуском от защит с применением реле положения «включено» выключателей.

Цепи воздействия УРОВ 500 и 220 кВ на выходные промежуточные реле защиты автотрансформатора 500 кВ в отличие от автотрансформатора 220 кВ в рассматриваемой схеме не предусмотрены, поскольку действие УРОВ 500 и 220 кВ осуществляется на выходные реле защиты шин 500 кВ.

3.1.24. В выходных цепях каждой из защит предусмотрены указательные реле для сигнализации действия этих защит.

В целях упрощения для всех защит, выполненных с двумя выдержками времени, предусмотрено действие их на выходные промежуточные реле с большей выдержкой времени через общее указательное реле. Указательные реле предусмотрены также в цепях ускорения.

3.1.25. Для удобства проверок и испытаний в плечах дифференциальной защиты автотрансформатора и цепей стороны низшего напряжения предусмотрены испытательные блоки. Испытательные блоки на стороне

среднего напряжения используются также при замене выключателя 220 кВ обходным.

Испытательные блоки предусмотрены в цепях напряжения направленных токовых защит нулевой последовательности для переключения в этих цепях при замене выключателя 220 кВ обходным, а также для удобства проверок и испытаний реле направления мощности.

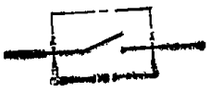
Следует отметить, что перевод цепей напряжения при замене выключателя обходным может осуществляться не испытательными блоками, а с использованием накладки, выполняющей переключение вспомогательных контактов шинных разъединителей в пусковых цепях обмоток реле-повторителей положения разъединителей (в настоящем выпуске такая схема не приводится).

Кроме того, для удобства проверок и испытаний испытательные блоки установлены в цепях дистанционных защит (на панелях ПЭ2105) и защиты регулировочной обмотки устройства РПН автотрансформатора.

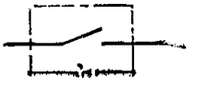
3.1.26. Предусмотренные в схеме накладки используются для выведения защит из работы при их неисправности (дифференциальная токовая защита, максимальная токовая защита с пуском напряжения, дистанционная защита), при проверке защит (токовая защита нулевой последовательности).

3.1.27. Данная схема выполнена с использованием следующей аппаратуры: *АК1, АК2* — панели дистанционной защиты типа ПЭ2105; *АК3* — блок-реле контроля изоляции втулок типа КИВ-500Р; *АКW1* — защита дифференциальная типа ДЗТ-23; *АТ1* — приставка дополнительного торможения типа ПТ-1; *С1, С2* — конденсаторы 10 мкф, 500 В, типа МБГТ; *HL1—HL3* — лампы осветительные; *КА1—КА4, КА6, КА8* — реле тока типа РТ-40/Р-1; *КА5, КА7, КА9, КА10, КА11—КА18* — реле тока типа РТ-40; *КАТ1, КАТ2* — реле тока с насыщающимися трансформаторами типа РНТ-566; *КАТ3, КАТ4* — реле тока с насыщающимися трансформаторами типа РНТ-567/2 (или РТН-565, или РНТ-566); *КАW1* — реле тока с торможением типа ДЗТ-11/4; *КАW2—КАW4* — реле тока с торможением типа ДЗТ-11; *КН1—КН3, КН32—КН34* — реле указательные типа РУ-1/220; *КН4—КН13, КН15—КН19, КН21—КН30* — реле указательные типа РУ-1/0,05; *КН14, КН20* — реле указательные типа РУ-1/0,016; *КН31* — реле указательное типа РУ-1; *KL1—KL9, KL11—KL19, KL31—KL38, KL45, KL46* — реле промежуточные типа РП-222; *KL10, KL20, KL39, KL47* — реле промежуточные типа РП-225; *KL21, KL22, KL27, KL28, KL40, KL48, KL57, KL58* — реле промежуточные типа РП-252; *KL23—KL26, KL29, KL30, KL41—KL44, KL49—KL56, KQS1* — реле промежуточные типа РП-23; *KSG1 — KSG6* — реле газовые; *КТ1, КТ8, КТ11* — реле времени типа РВ-124; *КТ2, КТ3, КТ9, КТ10* — реле времени типа РВ-134; *КТ4—КТ6, КТ12, КТ13* — реле времени типа РВ-114; *КТ7, КТ14* — реле времени типа РВ-128; *КТ15, КТ16* — реле времени типа РВ-133; *КТ17, КТ18* — реле времени типа РВ-132; *KV1, KV2* — реле напряжения типа РН-54/160; *KV3* — реле напряжения типа РН-53/60Д; *KVZ1* — фильтр-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1М; *KW1, KW2* — реле направления мощности типа РБМ-178; *R1, R2, R5, R7, R10* — резисторы типа ПЭВ-10, 100 Ом; *R3, R6* — резисторы типа ПЭВ-10, 750 Ом; *R4, R11* — резисторы типа ПЭВ-25, 3900 Ом; *R8* — резистор типа ПЭВ-25, 6800 Ом; *R9* — резистор типа ПЭВ-25, 2200 Ом; *S1—S3* — рубильники однополюсные на 16 А, 250 В, типа Р-16 (в двухполюсном исполнении); *SG1—SG4, SG6, SG9—SG11, SG13, SG14* — блоки испытательные типа *БИ-6*; *SG5, SG7, SG8, SG12, SG15* — блоки испытательные типа БИ-4; *SX1—SX17* — накладки типа НКР-3; *TL1—TL9* — автотрансформаторы промежуточные типа АТ-31 или АТ-32; *TL10* — автотрансформатор промежуточный; *VD1, VD2* — комплект диодов типа КД-205А.

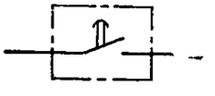
В схеме приняты следующие обозначения:



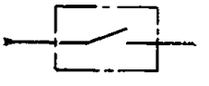
— *KQT1, KQT2* — контакты реле положения «отключено» соответственно выключателей *Q6* и обходного 220 кВ;



— *KL59, KL60* — контакты реле в схемах управления, соответственно выключателей 500 кВ *Q1* и *Q2*, фиксирующих положение выключателей;



— *KL61, KL62* — контакты реле контроля непереключения фаз в схемах управления соответственно выключателей *Q6* и обходного 220 кВ;



— *QS1* — вспомогательный контакт обходного разъединителя автотрансформатора на стороне 220 кВ.

Примечания к рис. 3.1: 1. Цепи автоматического ускорения при включении выключателей 500 кВ условно даны применительно к двум выключателям — *Q1* и *Q2*.

2. В панели *АК1* типа ПЭ2105 должна быть отсоединена от зажима *93* цепь контакта реле времени *КТ4*, срабатывающего с выдержкой времени; к указанному зажиму *93* должен быть присоединен контакт реле *КТ4* мгновенного действия.

Примечание к рис. 3.2. Схема, приведенная на рис. 3.2, составлена на основании описания и инструкции по эксплуатации завода-изготовителя.

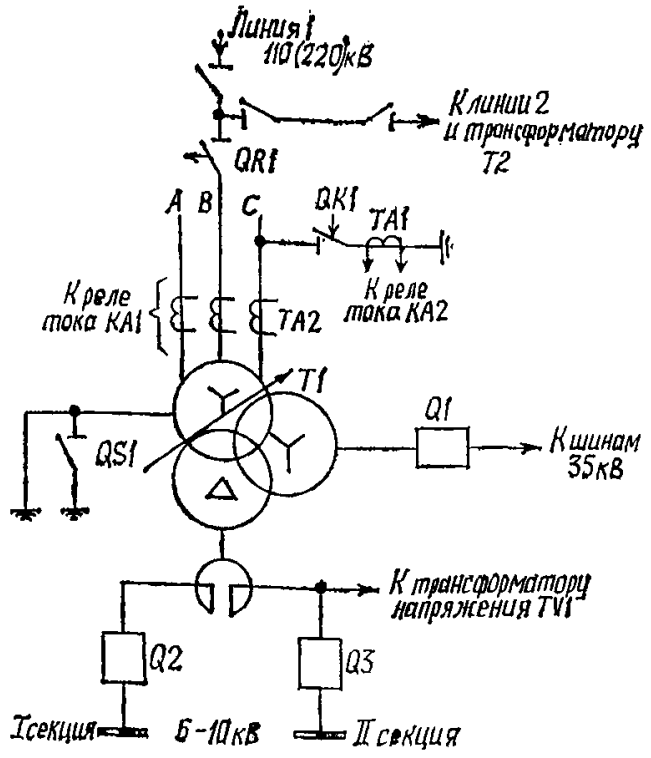
ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

СХЕМЫ ОТКЛЮЧЕНИЯ ОТДЕЛИТЕЛЕЙ С ТРЕХФАЗНЫМ И ПОФАЗНЫМ ПРИВОДАМИ

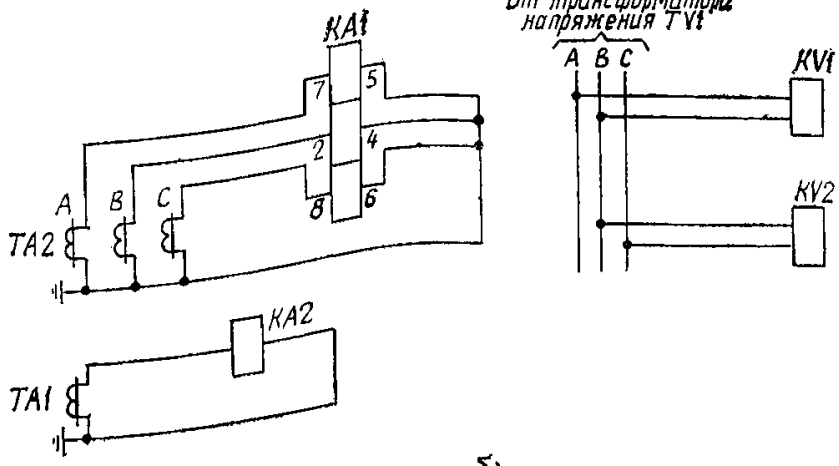
4.1. СХЕМА ОТКЛЮЧЕНИЯ ОТДЕЛИТЕЛЯ 110—220 кВ (РИС. 4.1)

4.1.1. Схема предназначена для подстанций с трансформаторами и автотрансформаторами без выключателей на стороне высшего напряжения либо при наличии на стороне высшего напряжения схемы «мостик с выключателем в перемычке и отделителями в цепях трансформаторов (автотрансформаторов)» и установке на подстанции короткозамыкателя. Данная схема применима при наличии устройства передачи отключающего сигнала как при установке короткозамыкателя, так и при его отсутствии.

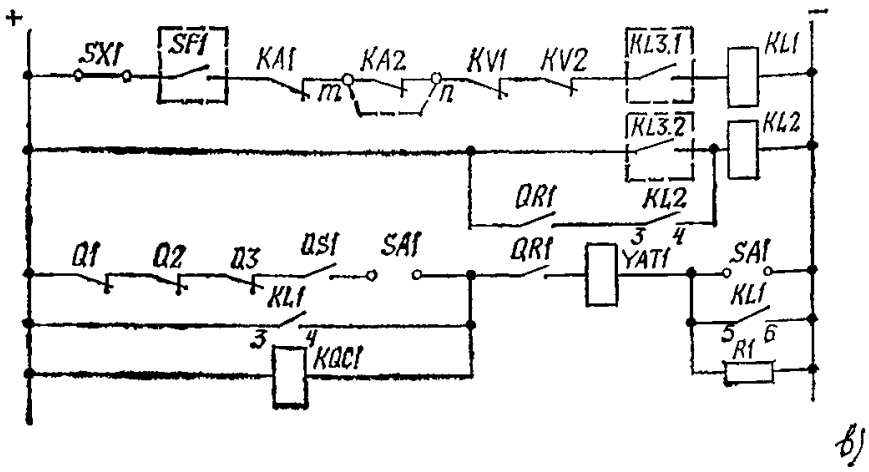
4.1.2. Схема дана для отделителей с трехфазным и пофазными приводами; при наличии последнего предусматривается трехфазное управление.



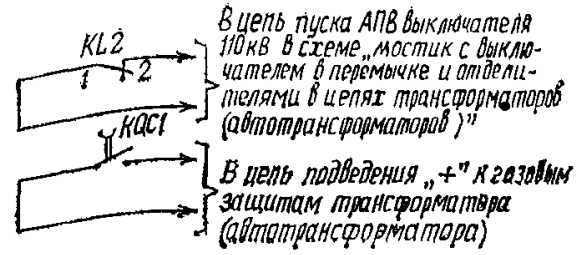
а)

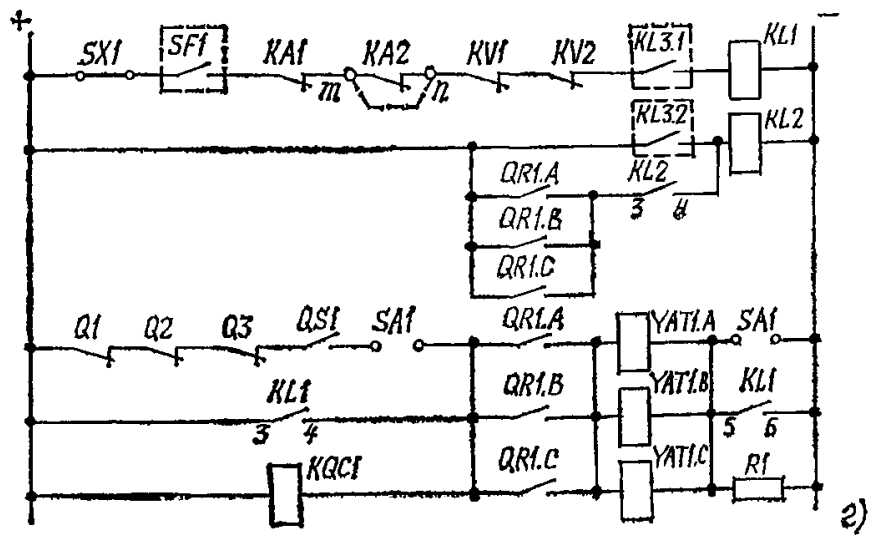


б)



в)





г)

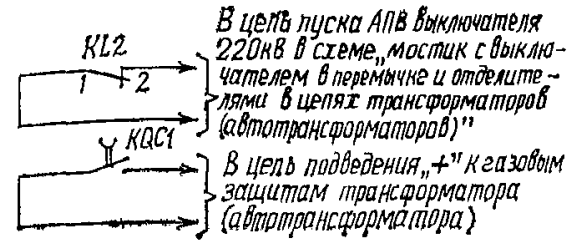


Рис. 4.1. Принципиальная схема отключения отделителя 110—220 кВ:

а — поясняющая схема; *б* — цепи переменного тока и напряжения; *в* — цепи оперативного постоянного тока отключения отделителя 110 кВ с трехфазным приводом, *г* — цепи оперативного постоянного тока отключения отделителя 220 кВ с пофазным приводом

4.1.3. Отключение отделителя производится в бестоковую паузу после отключения выключателей поврежденного трансформатора (автотрансформатора) со всех питающих сторон данной подстанции и выключателя на питающем конце линии при условии срабатывания следующих реле: выходного промежуточного реле защиты трансформатора *KL3*, минимальных реле тока *KA1* и *KA2* и минимальных реле напряжения *KV1* и *KV2*. Последовательно соединенные контакты указанных реле включены в цепь пуска промежуточного реле *KL1*, действующего на катушку отключения.

4.1.4. Контакт выходного промежуточного реле защиты трансформатора *KL3* предусмотрен для фиксации повреждения. В схемах защиты трансформаторов (автотрансформаторов) предусмотрено самоудерживание выходных промежуточных реле. В рассматриваемом случае это необходимо для обеспечения отключения отделителя после отключения питающей линии, когда защита трансформатора и ее выходное промежуточное реле могут вернуться в исходное положение. Снятие самоудерживания выходных промежуточных реле осуществляется контактом реле положения «включено» *KQC1* отделителя. Помимо указанного этот же контакт, включаемый в цепи пуска выходных реле от газовой защиты, обеспечивает снятие отключающего сигнала, когда после отключения трансформатора (автотрансформатора) контакт газового реле продолжает оставаться замкнутым в течение некоторого времени. Такое выполнение схемы необходимо для возможности осуществления АПВ линии.

4.1.5. Реле тока *KA1*, *KA2* и реле напряжения *KV1*, *KV2* являются органами, выявляющими фактор отключения линии с питающих сторон.

4.1.6. Реле тока *KA1* включено на трансформаторы тока *TA2* в цепи трансформатора (автотрансформатора) и предусмотрено для предотвращения возможного неправильного действия схемы (отключения отделителя под током), которое может иметь место при трехфазном коротком замыкании в трансформаторе, сопровождающемся снижением напряжения ниже напряжения срабатывания реле *KV1* и *KV2*.

Реле *KA1* принято трехфазным, а не однофазным для предотвращения отключения отделителя под током, которое может иметь место при указанном трехфазном коротком замыкании из-за разновременности отключения фаз выключателя на питающем конце линии или отказе в отключении одной или двух фаз этого выключателя. Уставка реле *KA1* принимается минимальной.

4.1.7. При установке на питающей линии выключателя с пофазным приводом цепь отключения отделителя дополнительно контролируется реле тока *KA2* в цепи короткозамыкателя *QK1*. Это реле включено на трансформатор тока *TA1* и предусмотрено для предотвращения отключения отделителя под током при отказе той фазы выключателя питающей линии, на которой установлен короткозамыкатель (реле *KA1* не действует из-за отсутствия тока в его цепи).

В случае, когда короткозамыкатель не устанавливается на приемной подстанции, реле тока *KA2* должно быть шунтировано перемычкой, устанавливаемой между зажимами *m* и *n*.

4.1.8. Реле напряжения *KV1* и *KV2* включены на междуфазные напряжения и предусмотрены для предотвращения отключения отделителя под током до отключения питающей линии в случае, если повреждение трансформатора сопровождается токами, меньшими тока срабатывания реле *KA1* (например, при действии газовой защиты).

Уставка реле напряжения принимается минимальной (около 15 В).

Указанные реле могли бы не предусматриваться, если можно было бы уставку реле *KA1* выполнить меньшей допустимого тока отключения отделителя. Однако при применении выпускаемых в настоящее время промышленностью реле тока типа РТ-40/Р указанное согласование в целом ряде случаев не удается обеспечить из-за недостаточной чувствительности реле.

В схемах предусмотрено два реле напряжения, а не три, поскольку при всех видах несимметричных повреждений в трансформаторе, а также при повреждениях в трансформаторе, сопровождающихся отказом одной фазы выключателя на питающем конце линии, всегда хотя бы одно из этих двух реле будет находиться под напряжением, большим напряжения срабатывания.

4.1.9. В случае, когда при КЗ в трансформаторе имеется подпитка места повреждения от синхронных двигателей, питаемых от другого трансформатора данной подстанции в режиме ремонта линии или выключателя в перемычке могло бы иметь место отключение отделителя под током (при трехфазном КЗ и токе КЗ меньшими тока срабатывания реле *KA1*) или замедление в отключении отделителя. Однако последнее исключается, поскольку в схемах защиты трансформатора (автотрансформатора) предусматривается действие в рассматриваемом режиме защиты от поврежденного трансформатора (автотрансформатора) на отключение выключателей неповрежденного.

Необходимо указать, что при несимметричном повреждении в трансформаторе, после отключения питающей линии и при наличии подпитки от синхронных двигателей, одно из реле напряжения (*KV1*, *KV2*) будет находиться под напряжением, большим напряжения срабатывания, что исключает возможность отключения отделителя под током.

4.1.10. В схеме предусмотрен замыкающий вспомогательный контакт *SF1* автоматического выключателя, установленного в цепи вторичной обмотки трансформатора напряжения *TV1*. Указанное принято в целях предотвращения отключения отделителя под током в случае срабатывания автоматического выключателя и последующего повреждения трансформатора, сопровождающегося током повреждения, меньшим тока срабатывания реле тока *KA1*.

4.1.11. Накладка *SX1* предусмотрена для выведения из действия схемы при появлении сигнала о неисправностях в цепях напряжения.

4.1.12. Схема может быть использована в случае, когда на питающих линиях 110—220 кВ, к которым присоединяются подстанции на ответвлении (с трансформатором без выключателя на высшем напряжении), установлено двукратное АПВ. При этом в случае повреждения трансформатора отключение отделителя может производиться в бестоковую паузу первого цикла АПВ (когда отключению не препятствует подпитка от синхронных двигателей) или второго цикла АПВ после отключения указанных синхронных двигателей защитой двигателей (например, защитой от потери питания).

4.1.13. Реле *KL2* используется в схеме отключения отделителя в цепи трансформатора (автотрансформатора) подстанции со схемой электрических соединений на стороне высшего напряжения «мостик с выключателем в перемычке и отделителями в цепях трансформаторов —«автотрансформаторов») и предусмотрено для предотвращения АПВ выключателя 110—220 кВ в перемычке при отказе отделителя.

После отключения отделителя *QR1* поврежденного трансформатора реле *KL2* отпускается и его контакт замыкает цепь пуска АПВ выключателя высшего напряжения в перемычке.

В схеме приняты следующие обозначения:

KL3.1 и *KL3.2* — контакты выходного промежуточного реле защиты трансформатора;

SA1 — ключ управления отделителем;

SF1 — вспомогательный контакт автоматического выключателя, установленного во вторичных цепях трансформатора напряжения *TV1*.

Примечания к рис. 4.1: 1. Данная схема применима для подстанций со схемами электрических соединений на стороне высшего напряжения «два блока линия — трансформатор с неавтоматической перемычкой со стороны линий» (см. рис. 1.2) и «мостик с выключателем в перемычке и отделителями в цепях трансформаторов (автотрансформаторов)» (см. рис. 1.7 и 2.3).

2. При отсутствии на подстанции короткозамыкателя устанавливается перемычка между зажимами *m* и *n*.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Максимальные токовые защиты с комбинированным пуском напряжения двухобмоточных трансформаторов, включаемые на разность токов сторон высшего напряжения и одного из ответвлений к шинам низшего напряжения (рис. П1.1), по сравнению с обычной максимальной токовой защитой, устанавливаемой на стороне высшего напряжения двухобмоточного трансформатора, имеют чувствительность по току примерно в 2 раза большую.

Каждая из защит *KAT1*, *KAT2* и *KAT3*, *KAT4* выполняется с использованием реле типа РНТ-565. Для выравнивания вторичных токов в плечах защиты используются уравнительные обмотки реле.

Защита с использованием реле *KAT1*, *KAT2* (*KAT3*, *KAT4*) включается на разность токов трансформаторов тока *TA2* и *TA4* (*TA2* и *TA3*). Ток срабатывания защиты *KAT1*, *KAT2* (*KAT3*, *KAT4*) определяется по условию отстройки от тока в максимальном нагрузочном режиме, проходящего через трансформаторы тока *TA3* (*TA4*).

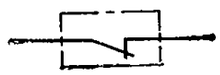
Каждая из защит *KAT1*, *KAT2* и *KAT3*, *KAT4* предназначена для отключения КЗ на ответвлении за трансформаторами тока стороны низшего напряжения *TA3* и *TA4* соответственно, включая шины низшего напряжения, и для резервирования отключений КЗ на элементах, присоединенных к этим шинам. Обе защиты предназначены для резервирования отключения КЗ в трансформаторе.

Комбинированные пусковые органы напряжения (*KVZ1*, *KV1* и *KVZ2*, *KV2*) питаются от трансформаторов напряжения шин низшего напряжения.

Защита с реле *KAT1*, *KAT2* (*KAT3*, *KAT4*) с первой выдержкой времени действует на отключение выключателя *Q2* (*Q3*) с пуском его устройства АПВ, а со второй — на выходные промежуточные реле защиты трансформатора. В схеме предусматривается автоматическое ускорение с выдержкой времени *KT2* (*KT4*) рассматриваемой защиты при включении выключателя *Q2* (*Q3*).

Рассматриваемые защиты рекомендуется применять для двухобмоточных трансформаторов большой мощности (более 63 МВ·А) с расщепленной обмоткой низшего напряжения, если обычная защита нечувствительна. При использовании двух рассматриваемых защит из схемы могут быть исключены максимальные токовые защиты, установленные на ответвлениях к шинам низшего напряжения.

В схеме приняты следующие обозначения:



— *KQC2*, *KQC3* — контакты реле положения «включено» выключателей соответственно *Q2* и *Q3*;



— *KQT2*, *KQT3* — контакты реле положения «отключено» выключателей соответственно *Q2* и *Q3*.

Примечание к рис. П1.1. Включение измерительных приборов и счетчиков на схеме не показано.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

На рис. П2.1 приведена схема перевода дифференциальной защиты автотрансформатора на трансформаторы тока в цепи обходного выключателя 220 кВ.

Схема дана для случая, когда коэффициенты трансформации трансформаторов тока в цепях выключателей автотрансформатора и обходного одинаковые, и применима также для трансформаторов 110—220 кВ. Используемые в схеме модернизированные крышки должны выполняться эксплуатационным персоналом на базе заводских крышек таким образом, чтобы при вставленной крышке все контакты блока были разомкнуты.

На рис. П2.2 приведена схема внутренних соединений реле типов ДЗТ-21 и ДЗТ-23.

Данная схема составлена на основании описания и инструкции по эксплуатации завода-изготовителя.

Указанные в схеме зажимы токовых разъемов *1Ш1—3Ш1* и *1Ш3—3Ш3* используются для присоединения токовых цепей, идущих от трансформаторов тока. Для присоединения всех остальных внешних цепей реле используются колодки *П1* и *П2*, расположенные на задней стенке кассеты.

В схеме приняты следующие обозначения штепсельных токовых разъемов *Ш1*, *Ш3* модулей дифференциальных реле:

при использовании трех модулей (в схеме защиты трехобмоточного трансформатора 110—220 кВ и автотрансформатора 220 кВ и 500 кВ)

фаза *A* — *1Ш1*, *1Ш3*;

фаза *B* — *2Ш1*, *2Ш3*;

фаза *C* — *3Ш1*, *3Ш3*;

при использовании двух модулей (в схеме защиты двухобмоточного трансформатора 110—220 кВ)

фаза *A* — *1Ш1*, *1Ш3*;

фаза *C* — *2Ш1*, *2Ш3*.

На рис. П2.3 приведена схема соединений обмоток трансформатора напряжения типов НТМИ-6, НТМИ-10 и подключения панели типа ПЭ2105 к цепям напряжения.

На рис. П2.4 приведена принципиальная схема панели дистанционной защиты типа ПЭ2105. Данная схема выполнена на основании технического описания и инструкции по эксплуатации завода-изготовителя.

Показанное на схеме присоединение цепей напряжения к зажимам панели дано в предположении, что используется трансформатор напряжения типа НКФ-110(220).

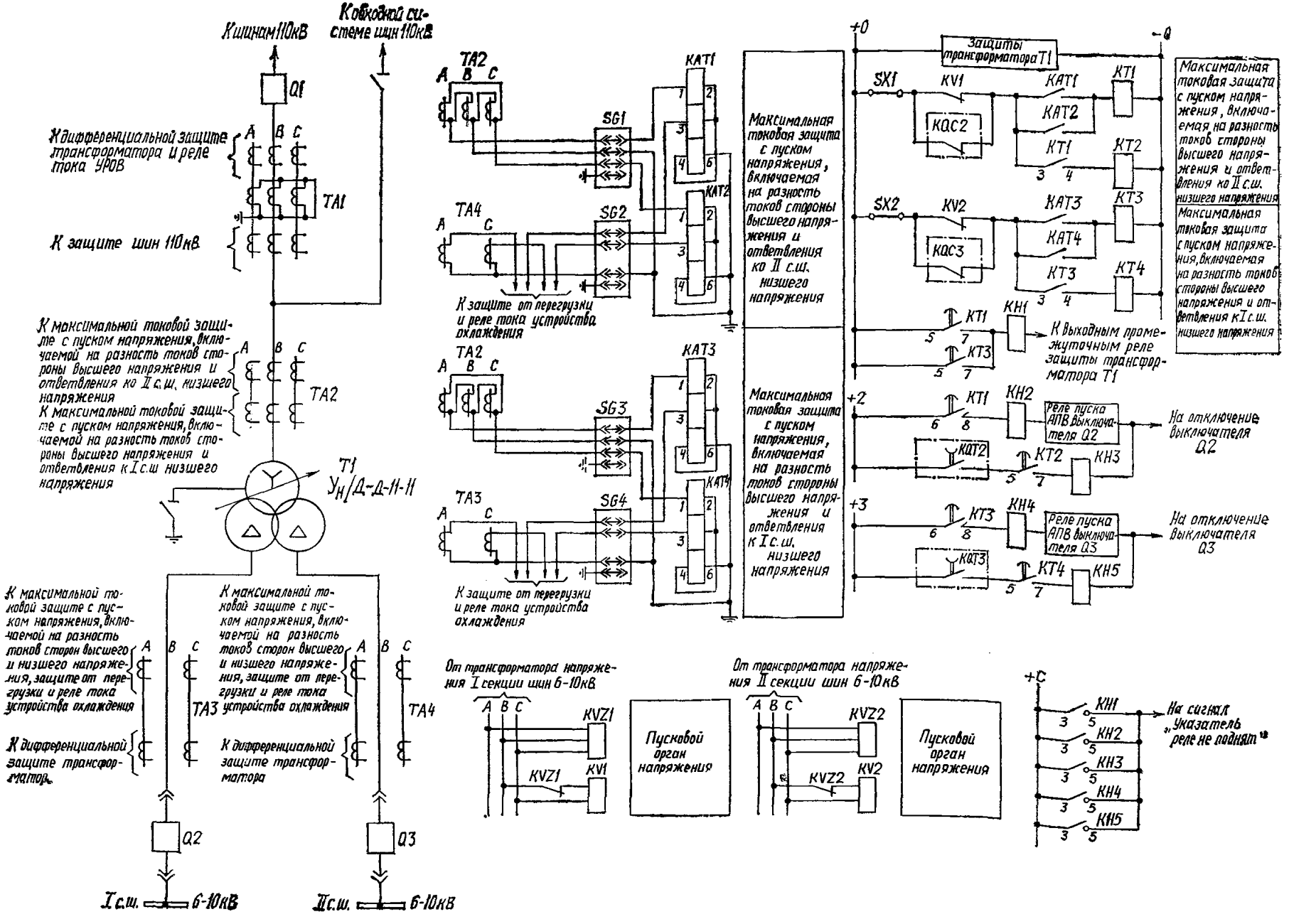
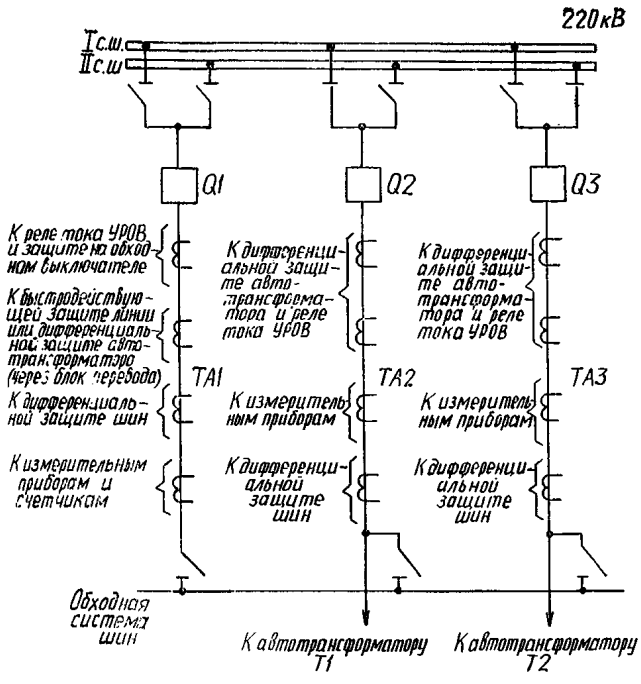


Рис. П1.1. Максимальные токовые защиты с комбинированным пуском напряжения двухобмоточного трансформатора, включаемых на разность токов сторон высшего напряжения и одного из ответвлений к шинам низшего напряжения



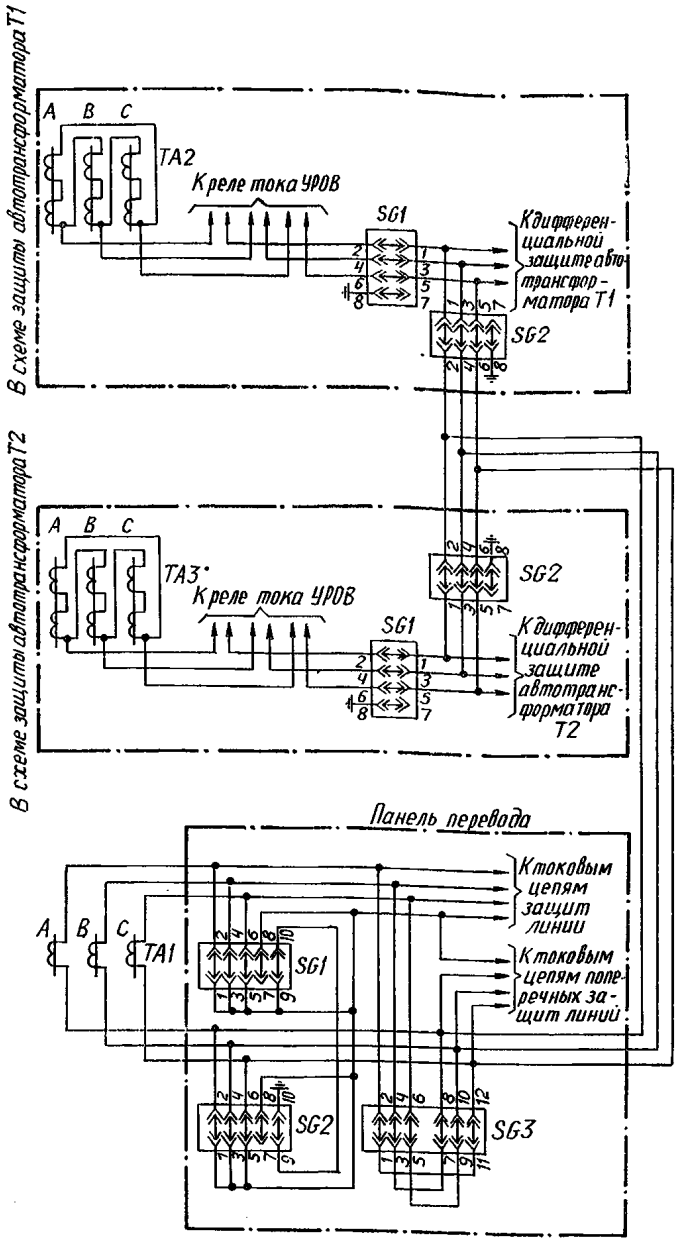
а)

Тип вставленной крышки испытательных блоков

Режим включения дифференциальной защиты автотрансформатора / Номер испытательного блока		SG1	SG2	SG1	SG2	SG3
		в схеме защиты автотрансформатора		в панели перевода		
Нормальный режим – обходной выключатель не используется	Дифференциальная защита автотрансформатора T1 (T2) включена на трансформаторы тока в цепи выключателя Q2 (Q3)	Рабочая крышка	Модернизированная крышка	Рабочая крышка		Модернизированная крышка
Ремонтный режим – обходной выключатель заменяет выключатель автотрансформатора	Дифференциальная защита автотрансформатора T1 (T2) переведена на трансформаторы тока TA1	Холостая крышка	Рабочая крышка	Модернизированная крышка		Рабочая крышка

Положение контактов испытательных блоков

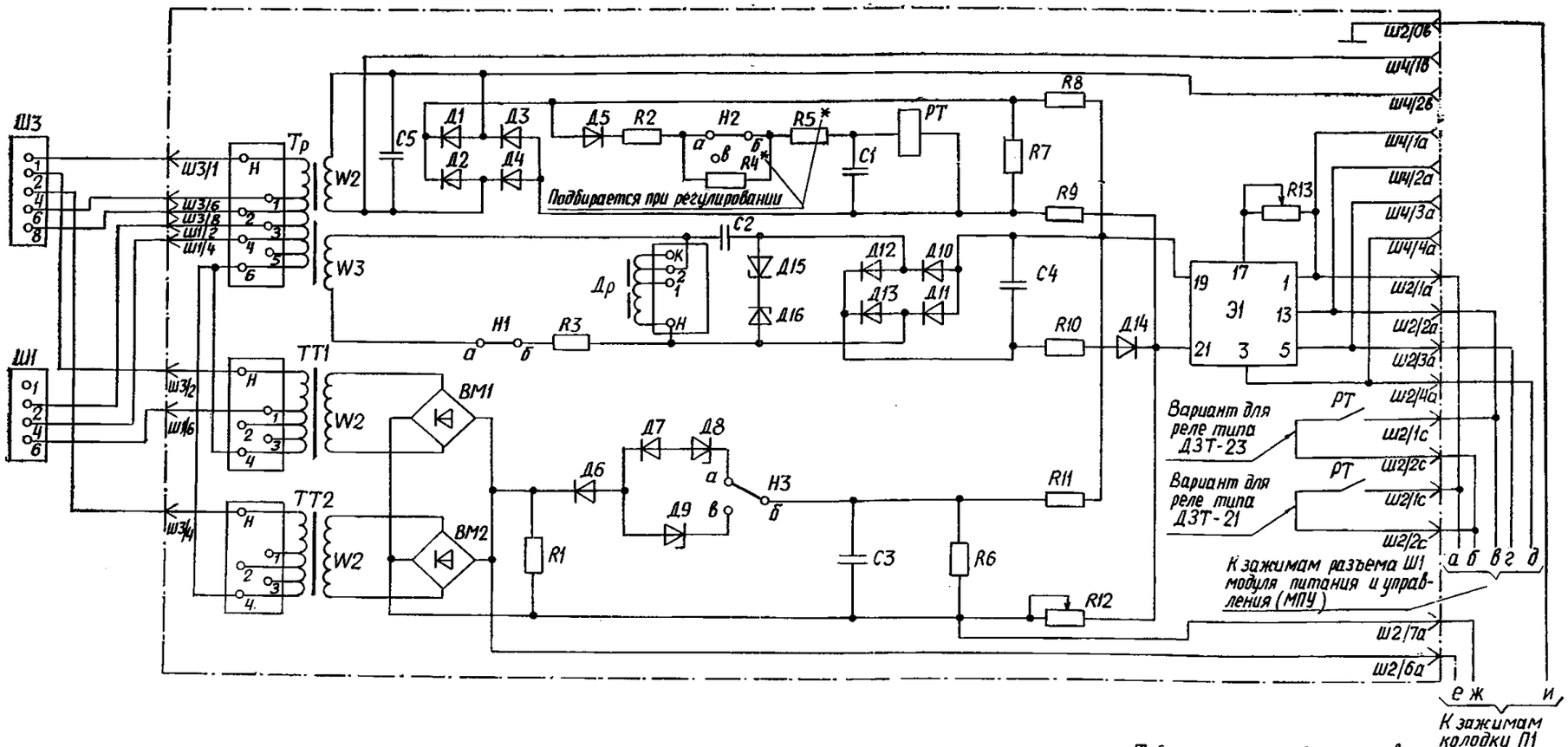
Номер испытательного блока / Тип крышки		Рабочая крышка вставлена	Модернизированная крышка вставлена	Крышка снята или вставлена холостая крышка
SG1	В схеме защиты автотрансформатора	1–2, 3–4, 5–6, 7–8 замкнуты	—	2–4, 4–6, 6–8 замкнуты
SG2			Все контакты разомкнуты	2–4, 4–6, 6–8 замкнуты
SG1	В панели перевода	1–2, 3–4, 5–6, 7–8, 9–10 замкнуты	Все контакты разомкнуты	2–4, 4–6, 6–8, 8–10 замкнуты
SG2				
SG3		1–2, 3–4, 5–6, 7–8, 9–10, 11–12 замкнуты	Все контакты разомкнуты	2–4, 4–6, 6–8, 8–10, 10–12 замкнуты



б)

Рис. П2.1. Схема перевода дифференциальной защиты автотрансформатора на трансформаторы тока в цепи обходного выключателя 220 кВ:

а — поясняющая схема; *б* — цепи переменного тока



Ш2

Цепи питания	-13В	1а
	0В	2а
	+6В	3а
Выход З1		4а
		5а
К цепям приставки		6а
		7а
		8а
		9а
		0а
		1в
		2в
		3в
		4в
		5в
		6в
		7в
		8в
		9в
Земля		0в
Выходные цепи отсечки		1с
		2с
		3с
		4с
		5с
		6с
		7с
		8с
		9с
		0с

Ш4 (контрольный разъем)

Цепи питания	-13В	1а
	0В	2а
	+6В	3а
Выход З1		4а
		5а
Контроль напряжения небаланса		1в
		2в
		3в
		4в
		5в

а)

Таблица обозначений зажимов Ш1 МПУ и колодки П1 для реле типа ДЗТ-21

Обозначения зажимов модуля реле дифференциальной защиты		Обозначения зажимов Ш1 МПУ	Обозначения зажимов П1
а	фаз А, В и С	Ш1/ 1а	
б		Ш1/ 4а	
в		Ш1/ 2а	
г		Ш1/ 3а	
и			13
д	фазы А	Ш1/ 7а	
е			1
ж			2
б		Ш1/ 6а	
д	фазы В		
е			3
ж			4
б		Ш1/ 5а	
д	фазы С		
е			5
ж			6

Таблица обозначений зажимов Ш1 МПУ и колодки П1 для реле типа ДЗТ-23

Обозначения зажимов модуля реле дифференциальной защиты		Обозначения зажимов Ш1 МПУ	Обозначения зажимов П1
а	фаз А, В и С	Ш1 / 1а	
б		Ш1 / 2а	
г		Ш1 / 3а	
и			13
д	фазы А	Ш1 / 7а	
е			1
ж			2
б		Ш1 / 4а	
д	фазы В	Ш1 / 6а	
е			3
ж			4
б		Ш1 / 1в	
д	фазы С	Ш1 / 5а	
е			5
ж			6
б		Ш1 / 2в	

Рис. П2.2. Схема внутренних соединений реле типов ДЗТ-21 и ДЗТ-23:

а — схема модуля дифференциальных реле типов ДЗТ-21 и ДЗТ-23; *б* — схема реагирующего органа модуля дифференциальных реле; *в* — схема модуля питания и управления (МПУ) реле типа ДЗТ-21; *г* — схема модуля питания и управления (МПУ) реле типа ДЗТ-23; *д* — схема автотрансформаторов промежуточных типов АТ-31 и АТ-32; *е* — схема приставки дополнительного торможения типа ПТ-1

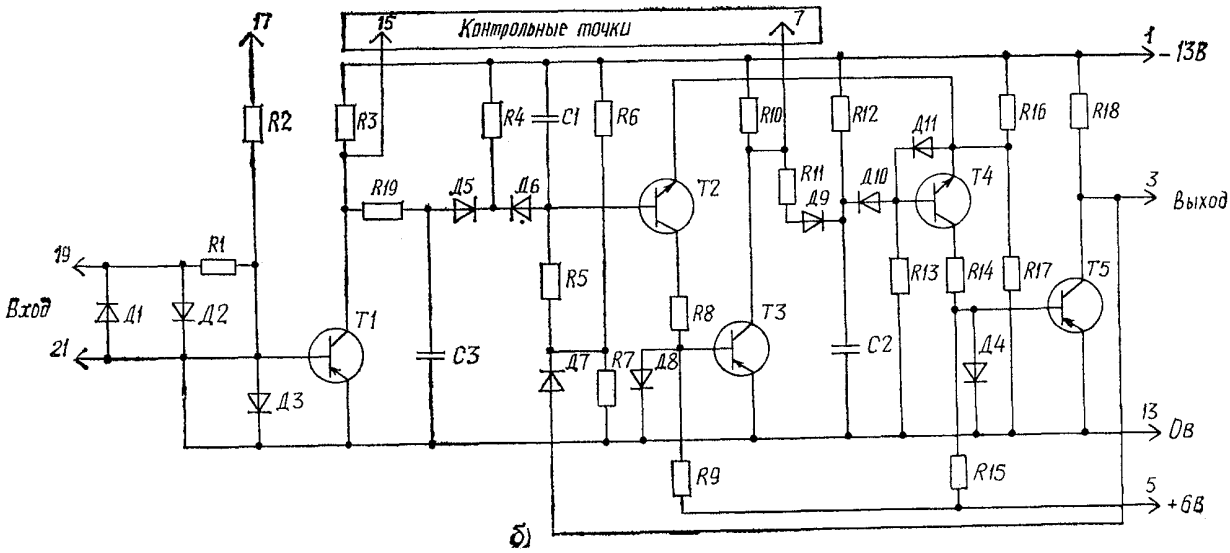
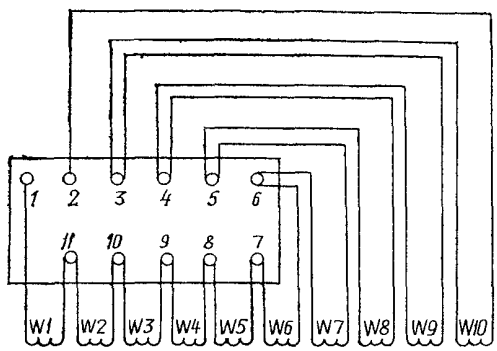
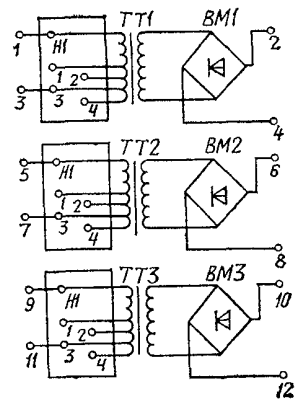


Рис. П2.2. Продолжение



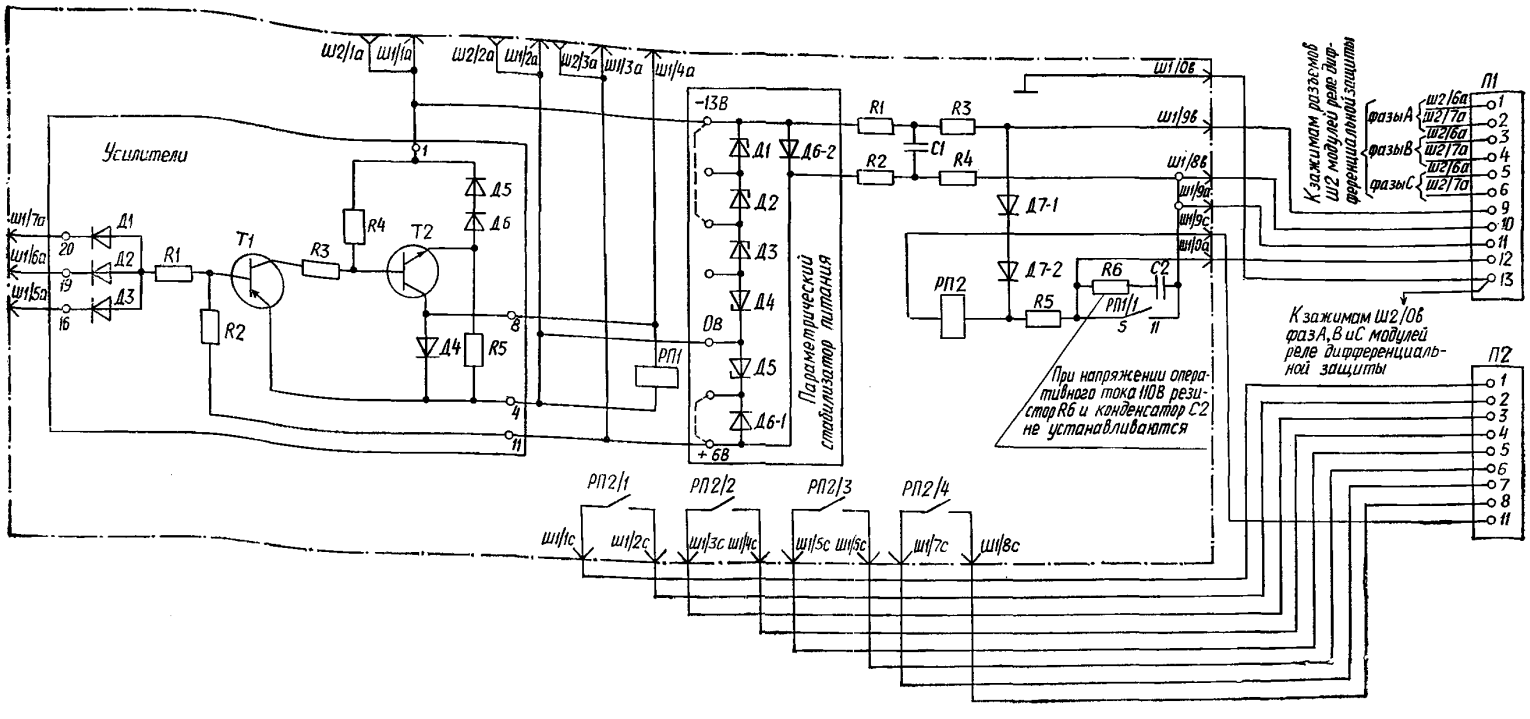
Тип исполнения	Обозначение обмотки	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10
АТ-31	Число витков	66	6	6	6	30	36	54	72	96	114
	Марка провода	ПСД-1,45 ГОСТ 7019-80					ПЭВ-2-1,0 ГОСТ 7262-78			ПЭВ-2-0,64 ГОСТ 7262-78	
АТ-32	Число витков	16	4	5	7	9	11	14	19	7	8
	Марка провода	ПСД-1,95 ГОСТ 7019-80									
Сечение стали		И20×40									

д)



е)

Рис. П2.2. Продолжение



Ш1 (входной разъем)

Цепи питания	-13В	1а
	0В	2а
	+6В	3а
Выход усилителя		4а
Входы усилителя		5а
		6а
		7а
		8а
Контакт реле РП1		9а
		0а
		1в
		2в
		3в
		4в
		5в
		6в
		7в
Питание защиты	+	8в
	-	9в
Земля		0в
К цепям отключения		1с
		2с
		3с
		4с
		5с
		6с
		7с
		8с
К обмотке указательного реле		9с
		0с

Ш2 (контрольный разъем)

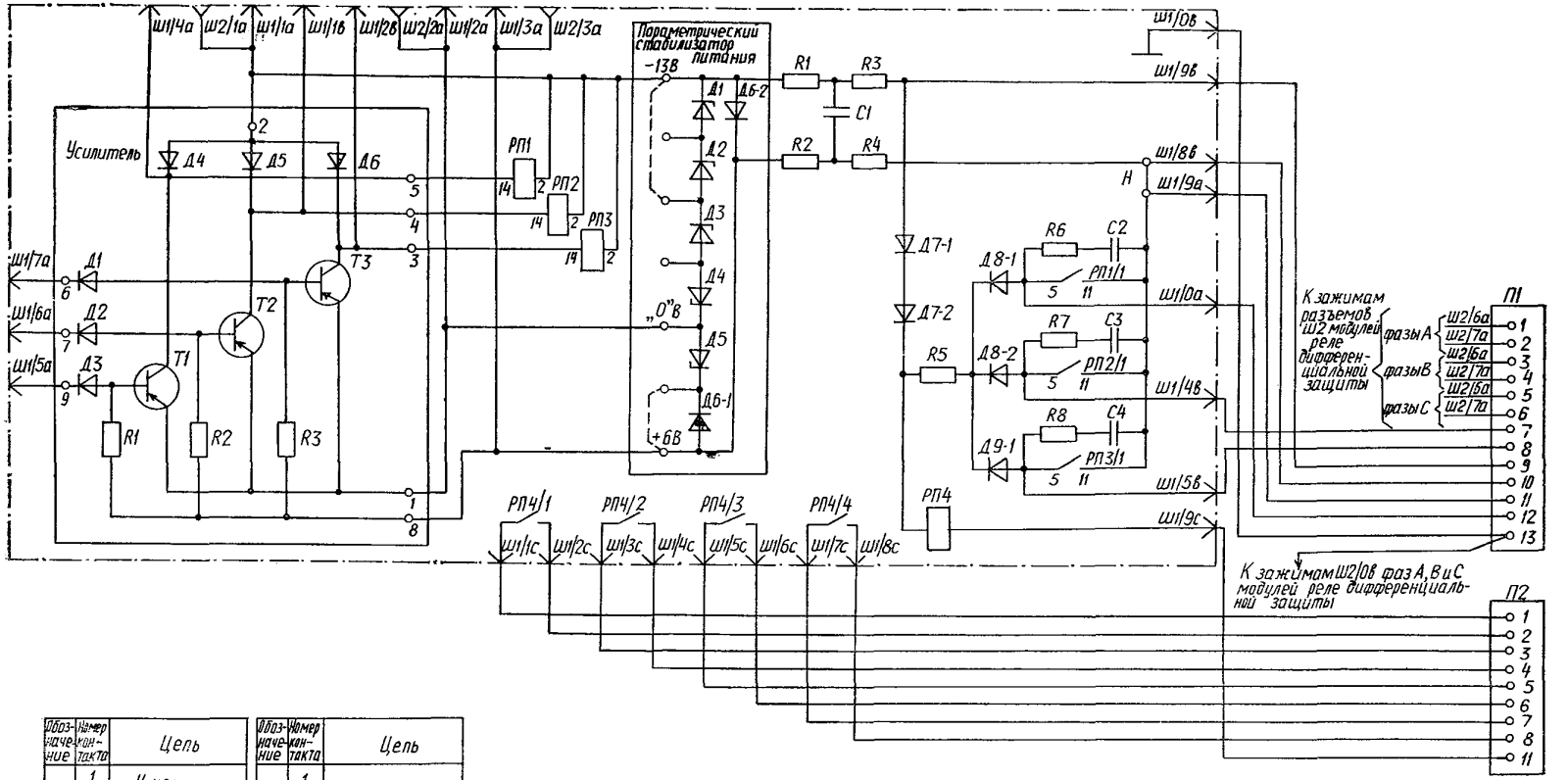
Цепи питания	-13В	1а
	0В	2а
	+6В	3а
		4а
		5а
		1в
		2в
		3в
		4в
		5в

Обозначение	Номер контакта	Цепь
П1	1	К цепям приставки
	2	
	3	К цепям приставки
	4	
	5	К цепям приставки
	6	
	9	- Питание
	10	+ защиты
	11	Контакт реле РП1
	12	
	13	Земля

Обозначение	Номер контакта	Цепь
П2	1	Контакты выходного промежуточного реле РП2
	2	
	3	
	4	
	5	
	6	
	7	
	8	
	11	К обмотке указательного реле

б)

Рис. П2.2. Продолжение



Обозначение	Номер контакта	Цепь
П1	1	К цепям приставки
	2	
	3	К цепям приставки
	4	
	5	К цепям приставки
	6	
	7	Контакт реле РП2
	8	Контакт реле РП3
	9	– Питание защиты
	10	+
	11	Общий вывод контактов РП1/1, РП2/1, РП3/1
	12	Контакт реле РП1
	13	Земля

Обозначение	Номер контакта	Цепь
П2	1	Контакты выходного промежуточного реле РП4
	2	
	3	
	4	
	5	
	6	
	7	
	8	
	11	К обмотке указательного реле

Ш1 (входной разъем)

Цепи питания	-13В	1а
	0В	2а
	+6В	3а
Выход усилителя		4а
Входы усилителя		5а
		6а
		7а
		8а
Общий вывод контактов РП1/1, РП2/1, РП3/1		9а
Контакт реле РП1		0а
Выход усилителя		1в
		2в
		3в
Контакт реле РП2		4в
Контакт реле РП3		5в
		6в
		7в
Питание защиты	+	8в
	–	9в
Земля		0в
К цепям отключения		1с
		2с
		3с
		4с
		5с
		6с
		7с
		8с
К обмотке указательного реле		9с
		0с

г)

Ш2 (контрольный разъем)

Цепи питания	-13В	1а
	0В	2а
	+6В	3а
		4а
		5а
		1в
		2в
		3в
		4в
		5в

Рис. П2.2. Продолжение

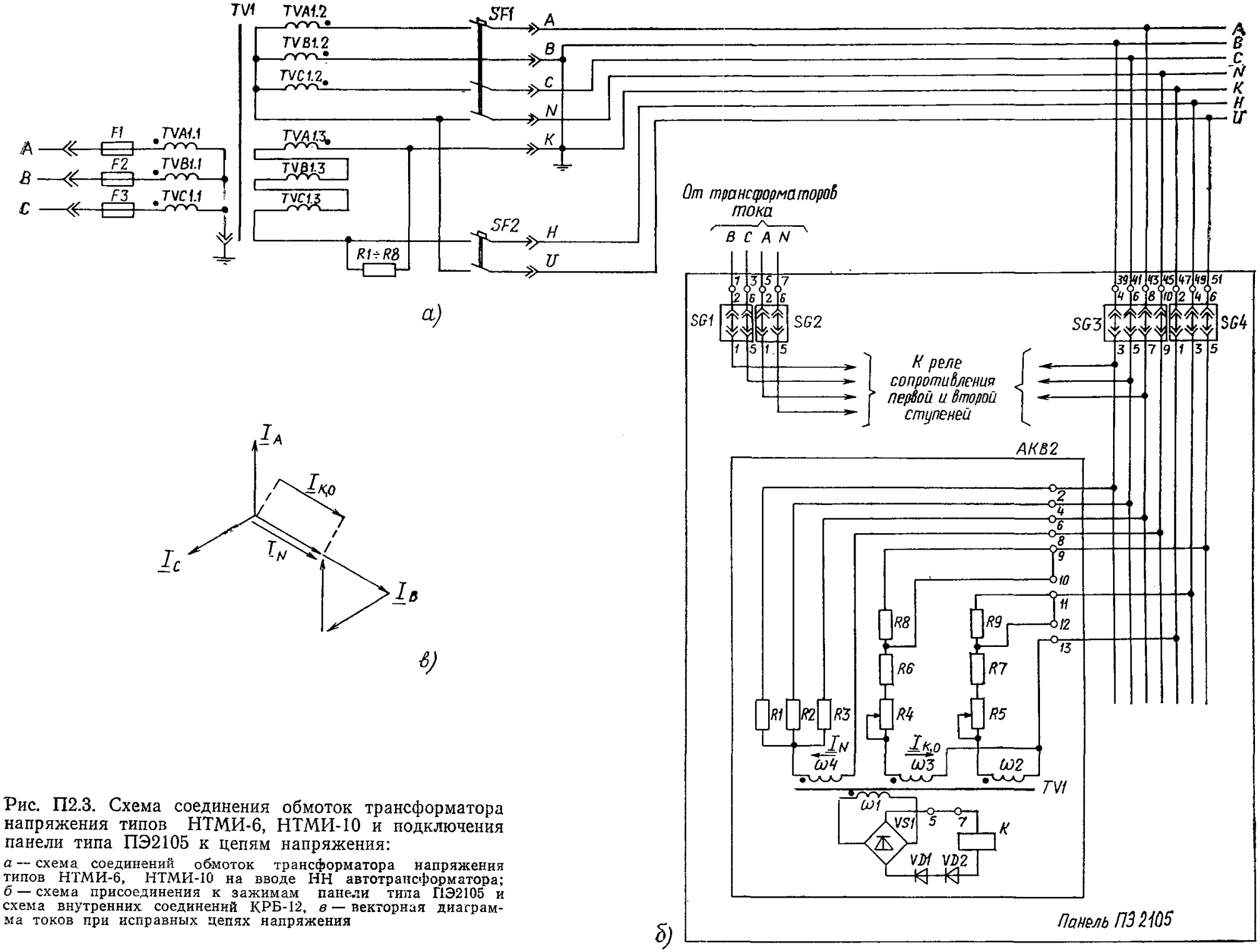
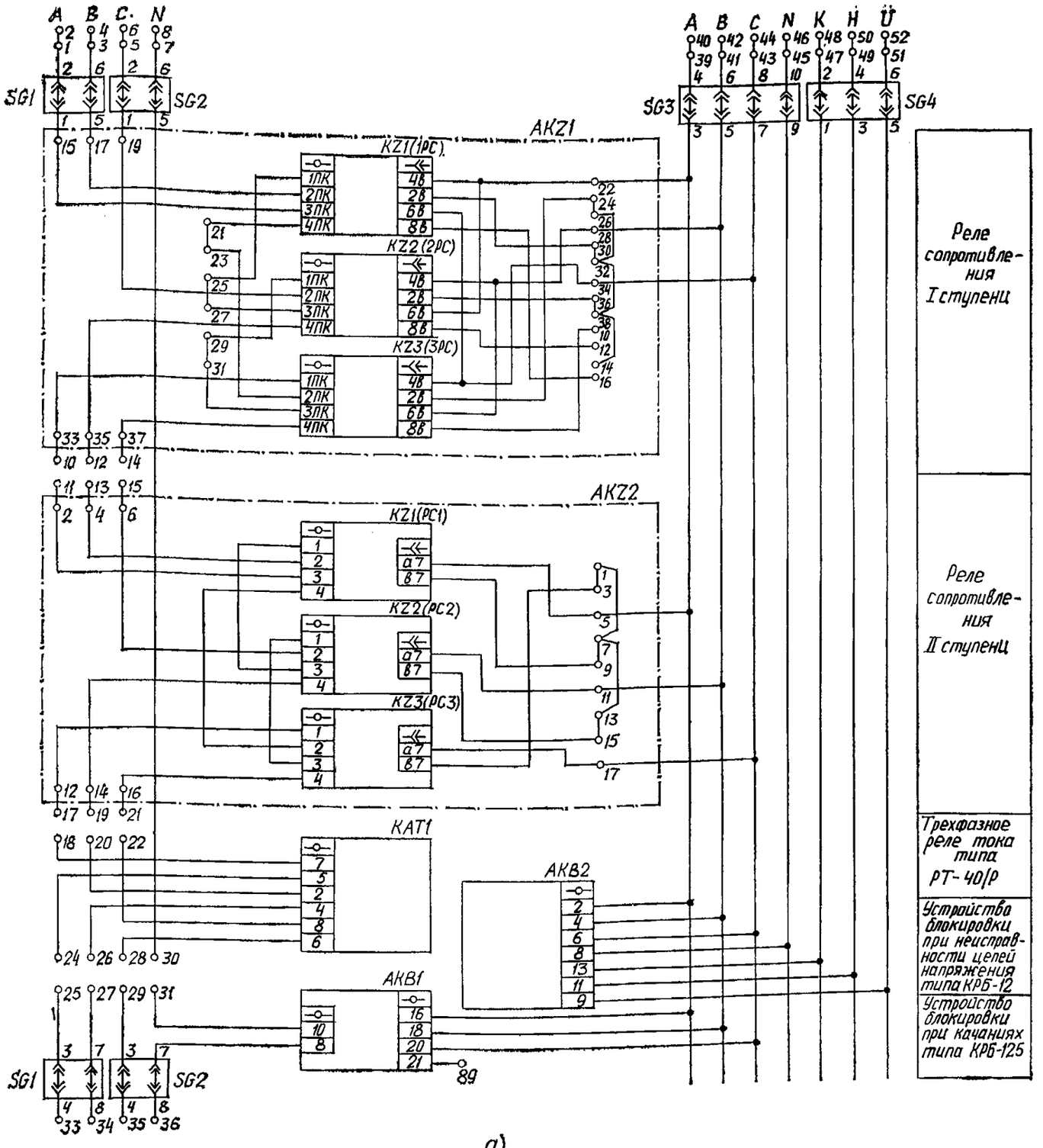


Рис. П2.3. Схема соединения обмоток трансформатора напряжения типов НТМИ-6, НТМИ-10 и подключения панели типа ПЭ2105 к цепям напряжения:

а — схема соединений обмоток трансформатора напряжения типов НТМИ-6, НТМИ-10 на вводе НН автотрансформатора; *б* — схема присоединения к зажимам панели типа ПЭ2105 и схема внутренних соединений КРБ-12, *в* — векторная диаграмма токов при исправных цепях напряжения



а)

Положение контактов испытательных блоков

Номер испытательного блока / Тип крышки	Рабочая крышка вставлена	Крышка снята или вставлена холостая крышка
SG1	1-2, 3-4, 5-6, 7-8 замкнуты	2-4, 6-8 замкнуты
SG2		
SG3	1-2, 3-4, 5-6, 7-8, 9-10, 11-12 замкнуты	2-4, 4-6, 6-8, 8-10, 10-12 разомкнуты
SG4	1-2, 3-4, 5-6, 7-8 замкнуты	2-4, 4-6 разомкнуты

Рис. П2.4. Принципиальная схема панели дистанционной защиты типа ПЭ2105:

а — цепи переменного тока и напряжения панели ПЭ2105А (с КРБ-125); *б* — цепи переменного тока и напряжения панели ПЭ2105Б (с КРБ-126); *в* — цепи оперативного постоянного тока и выходные цепи; *г* — цепи сигнализации

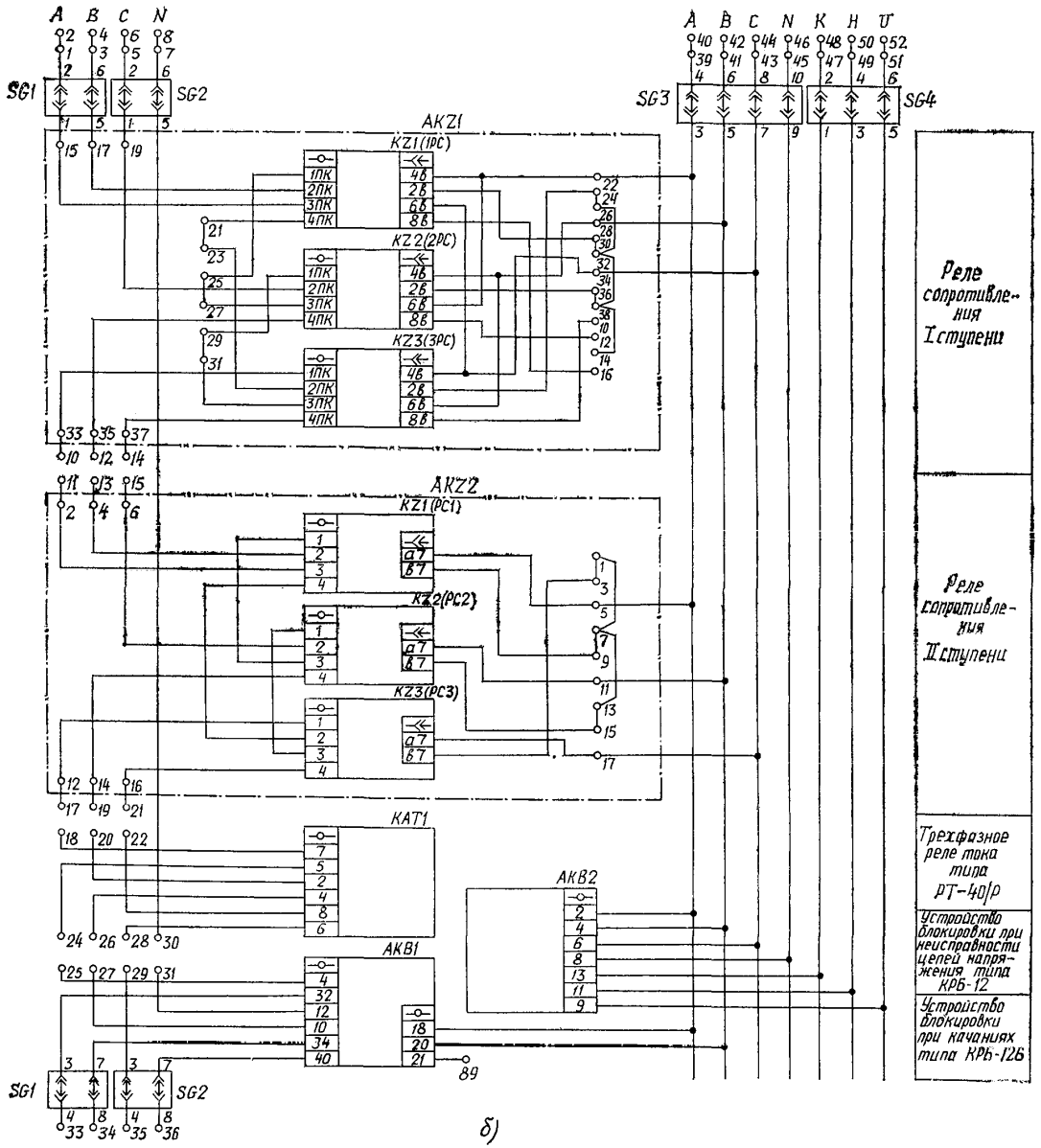


Рис. П.2.4. Продолжение

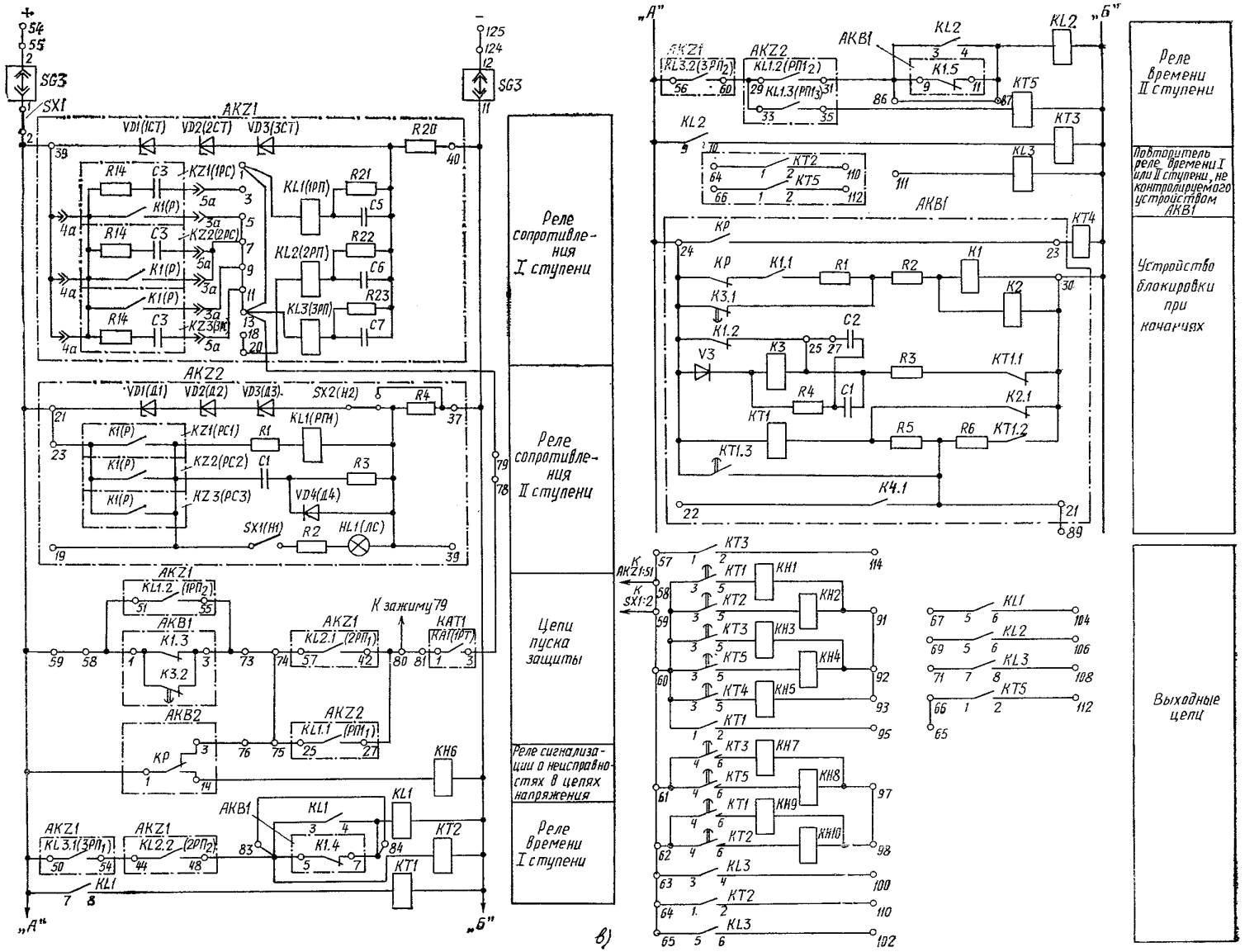


Рис. П.2.4. Продолжение

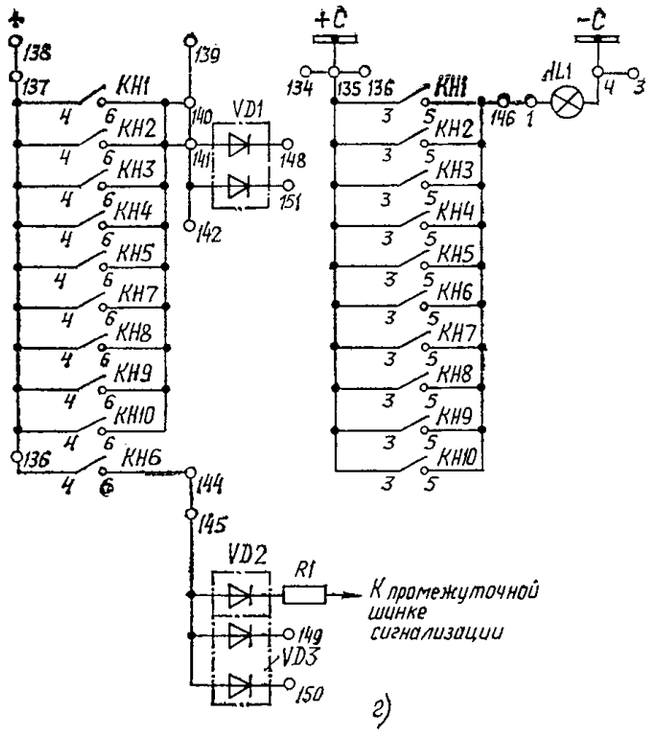


Рис. П.2.4. Продолжение

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3
Глава первая. Схемы защит понижающих трансформаторов 110—220 кВ 4
Глава вторая. Схемы защит понижающих автотрансформаторов 220 кВ 45
Глава третья. Схемы защит понижающих автотрансформаторов 500 кВ . . 82
Глава четвертая. Схемы отключения отделителей с трехфазным и пофазным приводами 98
Приложение 1 101
Приложение 2 101

gost.e-ecolog.ru