ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРЕКРАЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ХОДА

Альбом I

gost.e-ecolog.ru

Типовые материалы для проектирования
407-0-174.88

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРЕКРАЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ХОДА

Рабочий проект

Альбом I

Состав проекта

Альбом I ПЗ Пояснительная записка

Альбом 2 ЭП Принципиальные схемы и поясняющие диаграммы

Разработаны институтом "Энергосетьпроект"

Утверждены и введены в действие Минэнерго СССР

Протокол от 28.08.88г. № 25

Заместитель главного инженера института — С.Я.Петров

Главный инженер проекта — В.А.Гладышев

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Введение 4

I. Принцип действия 6

I.I. Основное устройство автоматической ликвидации асинхронного режима (АЛАР) 6

I.2. Резервное устройство автоматической ликвидации асинхронного режима 9

I.3. Дополнительное устройство АЛАР 9

II. Описание схем 11

II.I. Основное устройство автоматической ликвидации асинхронного режима 11

II.I.I. Фиксация асинхронного режима (АР) по скорости изменения сопротивления (I ступень) 11

II.I.2. Фиксация циклов асинхронного хода (II и III ступени) 12

II.I.3. Варианты использования реле сопротивления блока БРЭ-2801 18

II.2. Резервное устройство автоматической ликвидации асинхронного режима 19

III.3. Дополнительное устройство АЛАР 21

III. Размещение и координация действия устройств АЛАР 24

IУ. Расчет параметров срабатывания 31

IУ.I. Основное устройство автоматической ликвидации асинхронного режима 31

IУ.I.I. Объем расчета и подготовка исходных данных . . 31

IУ.I.2. Расчет реле сопротивления $A2_{эк}$ 34

IУ.I.3. Расчет реле сопротивления $A2_{с.ч.}$ 39

IУ.I.4. Расчет реле сопротивления $A2_{н.в}$ 42

IУ.I.5. Расчет реле мощности $KW1$ 44

IУ.I.6. Расчет выдержек времени 47

IУ.2. Резервное устройство автоматической ликвидации асинхронного режима 49

IУ.2.I. Расчет уставок реле тока 49

Стр.

IУ.2.2. Расчет выдержек времени 52
IУ.3. Дополнительное устройство АЛАР 54
У. Определение динамических характеристик устройств АЛАР (испытания) 56
У.I. Основное устройство автоматической ликвидации асинхронного режима 56
У.2. Резервное устройство АЛАР 61
У.3. Проверка промежуточных реле типов РП16+РП18 . . . 62
Приложение I. Определение коэффициента чувствительности реле сопротивления в устройстве АЛАР . . . 64
Приложение 2. Скольжение отказа основного устройства АЛАР 67
Приложение 3. Взаимное скольжение, до которого рекомендуется обеспечить действие устройств АЛАР 72
Приложение 4. Критический угол двухмашинной схемы 73
Приложение 5. Особенности работы электромагнитного реле тока при асинхронном ходе 76
Приложение 6. Принципиальные электрические схемы блок реле сопротивления типа БРЭ 280I и реле мощности серии РСМ13 78
Приложение 7. Пример расчета устройств АЛАР 86
Перечень литературы 91

ВВЕДЕНИЕ

Работа выполнена по плану типового проектирования Госстроя на 1988 г. поз. Т3.I.24.26 и заменяет типовые решения 407-0-136 "Панели устройств автоматического прекращения асинхронного хода", 1974 г. (инв. № 5488тм-тI,т2) /I/.

Данные типовые материалы для проектирования "Принципиальные схемы устройств автоматического прекращения асинхронного хода" состоят из "Пояснительной записки" (альбом I) и "Принципиальных схем и поясняющих диаграмм" (альбом 2). Альбом 3 "Полные схемы и НКУ" будет выпущен позже.

В соответствии с "Руководящими указаниями по противоаварийной автоматике энергосистем", утвержденными ГТУ Минэнерго СССР 23 сентября 1986 г., принята новая терминология - автоматическая ликвидация асинхронного режима, АЛАР, вместо ранее используемого АПАХ. Это и все прочие обозначения в работе идут в новой терминологии.

Работа содержит типовые принципиальные схемы

- основного трехступенчатого устройства АЛАР с пуском от реле сопротивления и реле мощности,
- резервного устройства АЛАР с пуском по току и выдержкой времени,
- дополнительного устройства АЛАР, предназначенного для ликвидации неполнофазного асинхронного режима,
- рекомендации по размещению устройств и расчету их параметров срабатывания,
- примеры выполнения устройств АЛАР.

Устройства АЛАР могут использоваться на энергообъектах напряжением от 110 кВ до 750 кВ и рассчитаны на напряжение оперативного постоянного тока 220 В (резервное устройство АЛАР имеет вариант выполнения на $U_{ном}$ = 110В).

Принципиальные схемы выполнены с использованием новой релейной аппаратуры, серийно выпускаемой заводами Минэлектротехпрома в конструктивах "Сура".

В качестве измерительных органов основного устройства АЛАР используется блок реле сопротивления БРЭ 2801 и реле мощности серии РСМ13, выполненные с применением микросхем.

Динамические характеристики основного устройства исследовались на электронной модели по методике типовых решений 407-0-13..

Принципиальные схемные решения устройств остались без изменений . В работе применены изобретения по а.с. № 539353 (I ступень основного устройства АЛАР) и а.с. № 550720 (резервное устройство АЛАР).

Принято решение рассматривать дополнительное устройство АЛАР как составную часть основного и резервного устройств АЛАР, в типовых решениях 407-0-136 оно (ЗНПФ) фигурирует как самостоятельное устройство. В работе учтены замечания по опыту эксплуатации типовых устройств АЛАР в энергосистемах (с 1974 г.).

Данные типовые материалы предназначены для использования при конкретном проектировании устройств противоаварийной автоматики энергообъектов.

В работе участвовали:

Ведущий инженер	Медведева Л.Н.
Инженер I категории	Варенко О.А.
Старший техник	Чурсина И.И.
С.Н.С. (консультант)	Гоник Я.Е.

I. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Асинхронный режим (АР) в энергосистеме может возникнуть из-за нерасчетных повреждений или режимов, недостаточности или отказа в действии устройств, предназначенных для сохранения устойчивости. Поскольку автоматическая ликвидация асинхронного режима требуется в том случае, когда мероприятия, направленные на сохранение устойчивости, не эффективны, от этих устройств требуется высокая надежность срабатывания, то есть 100% выявлени АР и по возможности селективная ликвидация его с тем, чтобы избежать многомашинного асинхронного хода и полного развала энергосистемы.

Прекращение АР возможно следующим путями:

а) ресинхронизацией,

б) делением синхронно работающих генераторов с последующей ресинхронизацией в отделившейся части энергосистемы, имеющей в своем составе генераторы с разной частотой,

в) разделением асинхронно идущих частей энергосистемы.

При возможности осуществления достаточно эффективной ресинхронизации устройство АЛАР должно, в первую очередь, способствовать осуществлению мероприятий, направленных на облегчение условий ресинхронизации. Если выполненные мероприятия не приводят к ресинхронизации в течение заданной выдержки времени, должно быть выполнено автоматическое деление асинхронно работающих частей энергосистемы в заданных точках.

I.I. Основное устройство автоматической ликвидации асинхронного режима

Устройство предназначено для выявления асинхронного хода по контролируемому сечению и знака скольжения.

Устройство состоит из трех ступеней, имеющих каждая свои выходные цепи и общую группу выходных реле.

Устройство может использоваться как одноступенчатое (П ступень - счетчик циклов асинхронного хода), двухступенчатое (I ступень - по скорости изменения сопротивления dz/dt на I-ом цикле асинхронного хода и П ступень) и трехступенчатое (I ступень П ступень, Шступень - счетчик циклов асинхронного хода после дополнительного времени, необходимого для ресинхронизации).

Необходимость фиксации АР на I-ом цикле (I ступень) возникает при нарушении устойчивости, сопровождающемся глубоким понижением напряжения у шин нагрузки (собственных нужд), грозящим в свою очередь серьезным нарушением технологии производства потребителя, дополнительным выходом из синхронизма генераторов и переходом в многомашинный АР. Необходимость в использовании II ступени определяется применением ресинхронизации или отказом от нее.

Первая ступень устройства предназначена для наиболее быстрого выявления АР в контролируемом сечении - в первом цикле и его знака скольжения. Принцип действия I ступени устройства основан на фиксации скорости изменения сопротивления на зажимах реле сопротивления: если она меньше заданной величины, определяемой возможной разновременностью действия при КЗ двух реле с разными сопротивлениями срабатывания и включенными на разные фазы, то это означает, что на контролируемой связи начались качания или асинхронный ход. Для отличия АР от режима качаний дополнительно контролируется факт перехода угла между ЭДС эквивалентных генераторов через значение, близкое к максимальному критическому по условию сохранения устойчивости (см. приложение 4).

Для выявления скорости изменения сопротивления на зажимах реле используются два реле сопротивления из блока БРЭ 2801, с разными характеристиками срабатывания (чувствительное реле и грубое реле). Время между последовательным срабатыванием чувствительного и грубого реле, характеризующее скорость изменения сопротивления на зажимах реле, сравнивается с заданным. Переход через максимальный критической угол фиксируется II ступенью устройства с помощью промежуточного реле KL8, срабатывающего через 0,5 цикла асинхронного хода (см. дальше).

I ступень устройства снабжена блокировкой по напряжению обратной последовательности. Эта блокировка, наряду с другими мероприятиями, предназначена для исключения срабатывания I ступени при близких несимметричных КЗ.

При срабатывании I ступени устройства вырабатывается один из двух сигналов: "АР с ускорением" или "АР с торможением". Если устройство включено в соответствии с примечанием 2 на листе 3, сигнал "АР с ускорением" соответствует выпадению из синхронизма с ускорением части энергосистемы, расположенной за шинами, у которых установлено устройство, и торможению части энергосистемы, расположенной с противоположной стороны линии.

Поскольку I ступень по принципу действия не срабатывает при большой скорости изменения сопротивления, присущей КЗ, она отказывает также и при большом скольжении. Ее действие обеспечивается при наиболее опасном АР - с малым скольжением. При большом скольжении выявление АР должно обеспечиваться II ступенью устройства.

Вторая ступень устройства предназначена для выявления АР в контролируемом сечении и знака скольжения в конце 2-го, 3-го или 4-го цикла. Принцип действия II ступени устройства основан на фиксации срабатывания или возврата реле мощности в зоне срабатывания реле сопротивления. Счетчик циклов управляется реле сопротивления из блока БРЭ 280I и максимальным реле мощности РСМ 13 . Для обеспечения выявления асинхронного хода по заданному сечению имеется возможность контролировать электрический центр качаний (ЭЦК) с помощью дополнительного реле сопротивления из блока БРЭ 280I. Как и в I ступени, используется блокировка действия по напряжению обратной последовательности. Для исключения накопления информации о количестве зафиксированных циклов периодического изменения контролируемых режимных параметров осуществляется контроль длительности 2,3,4-го цикла. Первый цикл по принципу действия не контролируется, поскольку накопление начинается после срабатывания реле, фиксирующего окончание I цикла.

Действие выходных цепей II ступени устройства осуществляется в соответствии с выработкой одного из двух сигналов: "АР с ускорением" или "АР с торможением". II ступень резервирует действие I ступени в целом и выполняет те же мероприятия, направленные на ресинхронизацию или деление.

Исключение срабатывания II ступени при КЗ, неуспешном АПВ и т.п. достигается благодаря счету циклов с контролем их длительности и автоматическому разбору схемы при длительности цикла, превышающей заданную.

Третья ступень устройства предназначена для ликвидации АР после выполнения мероприятий по ресинхронизации, если по истечении какого-то времени асинхронный ход не прекратился. С этой целью она использует узел дополнительной выдержки времени и II ступени устройства.

При действии III ступени вырабатывается сигнал "Длительный АР" и производится деление энергосистемы на асинхронно идущие части отключением выключателя ВЛ.

I.2. Резервное устройство автоматической ликвидации асинхронного режима

Резервное устройство АЛАР предназначено для резервирования по принципу действия основного устройства АЛАР, а также используется как самостоятельное устройство при отсутствии основного на ВЛ 110÷220 кВ.

Устройство выполнено на принципе фиксации колебаний тока с периодом не более расчетного в течение заданного времени. Колебания тока для повышения надежности несрабатывания устройства фиксируются дважды - на уровне срабатывания грубого реле тока, фиксирующего колебания тока, и на уровне возврата второго, чувствительного реле тока. Реле контроля исправности устройства следит за тем, чтобы обе схемы работали одинаково, были исправны.

Два реле тока, примененные в цепях фиксации, дают возможность отстроиться от качаний с амплитудой, не выходящей за их уставки срабатывания и возврата. Поскольку в общем случае устройство не отстроено от качаний, при выборе величины времени контроля колебаний тока необходимо согласование с длительностью качаний.

I.3. Дополнительное устройство АЛАР

В том случае, когда АР ликвидируется отключением линии с одной стороны и не предъявляется дополнительных требований к двухстороннему отключению ВЛ, например, по условию защиты от внутрен-

них перенапряжений для ВЛ 750÷1150 кВ, можно ожидать неполнофазного отключения выключателя и предложения асинхронного хода в неполнофазном режиме.

Ликвидация неполнофазного АР осуществляется дополнительным устройством, фиксирующим неполнофазный режим, последовавший после действия основного (резервного) устройств АЛАР. Это устройство по аналогии с защитой от неполнофазного режима (ЗНР), выполненной в схеме релейной защиты на базе 4-ой ступени защиты от замыкания на землю и предназначенной для работы при недоотключении фаз выключателя, действует с выдержкой времени, необходимой для отстройки от защиты непереключения фазы, на пуск высокочастотного сигнала телеотключения линии с противоположного конца. В отличии от защиты от неполнофазного режима дополнительное устройство осуществляет запоминание факта срабатывания реле тока, включенного на $3I_0$, на случай его возврата при снижении тока АР ниже тока возврата, что предотвращает отказ устройства.

В данных типовых материалах для проектирования цепи контроля непереключения фаз выключателей Q1, Q2 перенесены в обмотку реле времени, а реле-повторители отслеживают только положение контактов токового реле КА, включенного на $3I_0$, и

- на передающем конце осуществляют запоминание срабатывания КА на некоторое время, необходимое для работы устройства,

- на приемном конце по факту наличия тока $3I_0$ с той же памятью разрешают прохождение команды телеотключения выключателя, полученной от дополнительного устройства АЛАР противоположного конца ВЛ.

В тех случаях, когда возможна длительная работа ВЛ в неполнофазном режиме и есть вероятность возникновения АР по этой ВЛ, для ликвидации его рекомендуется использовать резервное устройство АЛАР, включенное на ток нулевой последовательности ($3I_0$).

П. ОПИСАНИЕ СХЕМ

П.I. Основное устройство автоматической ликвидации асинхронного режима

Принципиальная схема трехступенчатого основного устройства АЛАР приведена на листах 2,3 альбома 2, поясняющие диаграммы и таблица использования перемычек на панели устройства - на листах 9,10. Наличие перемычек на клеммнике панели позволяет исключить из устройства I-ую и III-тью ступени при отсутствии необходимости в них.

Поскольку в рассматриваемом устройстве АЛАР возможны различные варианты использования реле сопротивления, группам контактов блока БРЭ 2801 образующим те или иные пусковые органы сопротивления (подробнее см.разд. П.I.3 и лист 5), даны условные обозначения в соответствии с их функциональным назначением. Группы контактов реле сопротивления обозначены: орган сопротивления первого цикла - $AZ_{пц}$, орган сопротивления счетчика циклов - $AZ_{сц}$, орган сопротивления, фиксирующий ЧЦК, - $AZ_{ЧЦК}$.

Поскольку при неисправности в цепях переменного напряжения (обрыв), реле сопротивления могут сработать от тока нагрузки, а реле мощности может переориентироваться, есть вероятность ложной работы устройства (например, I ступени). Для исключения этого в схему введено устройство блокировки при неисправности цепей напряжения АКВ2 типа РСН I3, размыкающий контакт которого снимает +220В схемы питания блок реле БРЭ 2801, а замыкающий - сигнализирует через указательное реле КНП неисправность цепей переменного напряжения.

П.I.I. Фиксация АР по скорости изменения сопротивления (I ступень)

При асинхронном ходе годограф сопротивления на зажимах реле сопротивления (рис. 5, лист 4) последовательно входит сначала в область срабатывания чувствительного реле сопротивления ($KZ_ч$) и затем грубого реле сопротивления ($KZ_г$). При сраба-

тывании KZ_4 пускается реле времени КТI и через заданное время ($t \geq 0{,}15$ с) срабатывает. После срабатывания KZ_r реле КТI удерживается через свой контакт КТI.I. Срабатывание реле КL8, фиксирующего 0,5 цикла асинхронного хода, собирает цепь на выходное реле (I ступени) КL 2. Последнее срабатывает на некоторое время и затем возвращается. В зависимости от знака скольжения (реле КL4 или КL6) в группе выходных реле срабатывают реле КL29 или КL30 и выполняется соответствующее противоаварийное мероприятие. Если фиксация знака скольжения не нужна, то переставляются перемычки в цепи катушек реле КL29 и КL30 (таблица лист I0). Блокировка при близком несимметричном КЗ осуществляется с помощью фильтрового реле напряжения обратной последовательности (АКВI), при его срабатывании снимается +220 В с цепи выходного реле I ступени (КL2).

Если время между последовательным срабатыванием KZ_2 и KZ_r менее расчетного (признак короткого замыкания), то КТI не успевает сработать.

Длительность выходного сигнала I ступени $t_{вых} > 0{,}3$ с, ее действие однократно, повторная готовность к действию наступает через I÷2 мин. Эти параметры (см. лист 9, таблица) обеспечиваются RC - контуром (СI, RI) и наличием цепи самоудерживания выходного реле КL 2.

П.I.2. Фиксация циклов асинхронного хода (II и III ступени)

Пусковые цепи этой части устройства включают в себя орган сопротивления счетчика циклов $AZ_{сч}$, реле активной или реактивной мощности KWI, настраиваемое путем изменения его угла максимальной чувствительности и мощности срабатывания, и промежуточные реле КL3 ÷ КL7. Пусковые цепи осуществляют фиксацию половины цикла асинхронного хода по срабатыванию или возврату KWI при замкнутом контакте $AZ_{сч}$ и фиксацию окончания цикла асинхронного хода по возврату $AZ_{сч}$.

Действие пусковых цепей фиксируется промежуточными реле КL8÷КL16. Устройство выполнено на контроль максимум 4-х циклов асинхронного хода.

Промежуточным реле КL I9 фиксируется срабатывание органа сопротивления $\Delta Z_{эцк}$, означающее, что электрический центр качаний находится в контролируемом сечении. Реле КL I7, КL I8 фиксируют знак скольжения.

Последовательность работы элементов схемы и таблица использования перемычек и переключателей показаны на листе I0.

Работа схемы, например, при ускорении генераторов станции, расположенных за "спиной" устройства, чему соответствует опережение вектором E_1 вектора E_2 (на рис.I листа I0) происходит следующим образом.

В предаварийном режиме замкнут контакт KW I.I. При возникновении АР, сопровождающегося увеличением угла между ЭДС отправного и приемного концов электропередачи и снижением сопротивления на зажимах реле сопротивления, срабатывает $\Delta Z_{сц}$ затем реле КL 3, КL 4, которые самоудерживаются через контакт КL 3I. При прохождении угла δ через $\sim 180^0$ направление контролируемой мощности изменяется на обратное, размыкается контакт KW I.I и замыкается KWI.2, вызывая срабатывание реле КL 7 и КL 8 (фиксация 0,5 цикла).

При дальнейшем увеличении угла δ и приближении его к $\sim 300^0$ реле сопротивление $\Delta Z_{сц}$ возвращается; возвращаются реле КL 3, КL 4, КL 7. Замыкание контактов КL 7.2 и КL 3.4 приводит к срабатыванию реле фиксации I-го цикла асинхронного хода КL 9 через контакт КL 8.I, которое самоудерживается и шунтирует катушку реле КL 8, исключая его работу в последующих циклах асинхронного хода.

Реле КL 8 (а также реле КL I0, I2, I4), фиксирующие полуциклы асинхронного хода, выполнено с выдержкой времени на возврат (~ 0,04 с), обеспечивающей прохождение импульса на срабатывание и само срабатывание реле фиксации целого цикла асинхронного хода КL 9 (КL II, I3, I5). Выдержка времени обеспечивается шунтировкой катушки реле диодом типа КД205.

При последующих циклах асинхронного хода действие всех указанных реле происходит аналогично описанному выше. При этом в конце 2-го цикла срабатывает и самоудерживается реле КL II, в конце 3-го цикла - КLI3, в конце 4-го цикла - КL I5. Разбор схемы подхвата осуществляет реле КL 25 (смотри далее).

После фиксации 3-х циклов подготавливается цепь (КL I3.2) на срабатывание реле фиксации ЭЦК - КL I9, которое срабатывает при сработанном $AZ_{эцк}$ и самоудерживается в 4-м цикле асинхронного хода. Одновременно, после фиксации 3-го цикла, подготавливается цепь фиксации знака скольжения: срабатывание реле КL 4 в начале 4-го цикла приводит к срабатыванию и самоудерживанию реле фиксации ускорения генераторов КL I7. Устройство может фиксировать 2,3 и 4 цикла асинхронного хода, нужное количество устанавливается на переключателе S AI, который осуществляет пропуск второго, третьего циклов, переключая контакт К L 9.2 на подготовку цепи фиксации половины третьего (или четвертого) цикла. Одновременно переключатель переключает реле фиксации знака скольжения и ЭЦК так, чтобы фиксировать их за цикл до срабатывания устройства (лист 2).

Срабатывание КL I5, КL I7 и К L I9 обуславливает замыкание выходной цепи "АР с ускорением, П ступень", срабатывание выходного реле КL 29 и выполнение соответствующего противоаварийного мероприятия. Одновременно контактом КL I5.2 осуществляется пуск узла дополнительной выдержки времени (КТ3, КL 24, КТ4).

Работа схемы при торможении генераторов станции, расположенных за "спиной" устройства (этому соответствует отставание вектора $\dot{E}_1$ от вектора E_2 по рис.I листа I0), происходит аналогичным образом, но, поскольку сначала замкнут контакт KWI.2, срабатывают соответственно реле КL 5, КL 6 и КL I8 вместо КL 3, КL 4 и КL I7. Срабатывание КL I5, КL I8 и КL I9 обуславливает замыкание выходной цепи "АР с торможением, П ступень"; срабатывание выходного реле КL 30 и выполнение соответствующего противоаварийного мероприятия. В случае необходимости знак скольжения и срабатывание $AZ_{эцк}$ можно не фиксировать.

После срабатывания К L I5 происходит срабатывание цепей возврата устройства - реле КL 23, имеющего выдержку времени (~0,25 с) на срабатывание (чтобы обеспечить надежное прохождение выходного импульса), и через контакт КL 23.I реле КL 25,

имеющего выдержку времени (I,5÷2,0 с) на возврат (чтобы обеспечить надежный возврат всех реле устройства).

Таким образом, пусковые цепи и счетчик циклов остаются обесточенными на все время, пока катушка реле KL 23 обтекается током. При использовании Ш ступени (установлена перемычка 20-2I), это время определяется выдержкой времени реле, подрывающего цепь удерживания реле KL 23, через контакт KL 24.I. Возвращаясь, реле KL 23 и KL 25 подают питание "+220В" на схему счетчика циклов, чем приводят схему в состояние готовности к повторному счету циклов асинхронного хода. Одновременно реле времени КТ3 своими контактами КТ3.3, КТ3.4, производит перестройку цепей катушек KL I5, KL I6. Если к этому времени АР не прекратился, устройство вновь фиксирует его в течение времени до момента срабатывания реле времени КТ4. Через заданное количество циклов срабатывает выходное реле KL I6, выполняя с контролем ЭЦК (KL I9.4) или без него, Ш ступень противоаварийных мероприятий через выходное реле KL 3I (отключение электропередачи).

Возврат устройства после срабатывания реле KL I6 осуществляется, аналогично предыдущему случаю, с помощью реле KL 23, KL 25, срабатывающих от контакта KL I6.2. Поскольку у реле KL 25 типа РПI8-7 только три размыкающих контакта, в цепь "+220В" сборки реле KL 8÷KLI4 включен контакт KL 23.2. Возврат узла дополнительной выдержки времени произойдет после доработки реле КТ4, шунтирующего своим контактом с выдержкой времени КТ4.I катушку реле KL 24.

При возникновении несимметричного короткого замыкания, обуславливающего появление напряжения обратной последовательности, срабатывает фильтр-реле АКВI и своим замыкающим контактом АКВI.I подает "+220В" на катушку реле KL 25, блокируя тем самым устройство на время существования напряжения обратной последовательности. Для обеспечения необходимой чувствительности уставка АКВI выбирается минимальной, по условию отстройки от напряжения небаланса.

Схема устройства АЛАР позволяет контролировать длительность каждого из циклов асинхронного хода, блокируя действие устройства, если цикл имеет период больше заданного. Контроль длительности цикла асинхронного хода, а также возврат устройства после случай-

ной фиксации целого цикла, выполняется с помощью реле времени КТ2, включающего своим контактом с выдержкой времени КТ2.I реле КL25.

В типовой работе, в отличие от 407-0-I36, контроль периода осуществляется по срабатыванию реле, фиксирующих целое количество циклов (КL9, КL II, КL I3). При срабатывании реле КL9 (I цикл) запускается реле времени КТ2 контроля периода асинхронного хода и отсчитывается время 2-го цикла. Срабатывание реле КL II (окончание 2 цикла) вызывает импульсное срабатывание реле КL 20, которое размыкает свой контакт в цепи реле КТ2 и сбрасывает набранное время. Через время $t_{ц}$ цепь на срабатывание реле КТ2 через контакты реле КL9 (I цикл) и КL II (2 цикл) восстанавливается и начинается отсчет времени 3 цикла, которых кончается срабатыванием реле КL I3. Если срабатывания реле, фиксирующих окончание цикла, не произошло (случайное срабатывание одного из реле) или произошло через большое время, реле КТ2 замыкает свой временной контакт в цепи обмотки реле КL25, которое снимает "+220В" со схемы счетчиков циклов и схемы контроля периода асинхронного хода. При этом реле КL 9, КL II, КL I3, фиксирующие целый цикл асинхронного хода, и реле КТ2 отпадают, после чего реле КL25 возвращается и питание "+220В" восстанавливается. Данная схема позволяет выявить любые ложные фиксации циклов (I,2,3) и произвести подрыв питания счетчика циклов с последующим восстановлением работоспособности устройства.

С помощью перемычек, имеющихся в схеме устройства, возможна работа его с дополнительной выдержкой времени и без нее, с учетом знака скольжения и без него, с фиксацией ЗЦК и без него (см. листы 2,3,I0).

Для контроля за общим количеством пусков устройства предусмотрен электромагнитный счетчик импульсов ВСI.

Для фиксации длительного срабатывания чувствительного реле $KZ_{ч}$ и пускового органа счетчика циклов $AZ_{с.ц.}$, а также для фиксации возможных неисправностей схемы контроля периода асинхронного хода (реле КL 20, КL 2I), схемы дополнительной выдержки времени (реле КL 24) и схемы блокировки устройства АЛАР (реле КL25) предусмотрено реле времени КТ5. КТ5, срабатывая, сигнализирует через указательное реле КН2 длительное срабатывание блок-реле

сопротивления БРЭ 2801 и через указательное реле КН3 неисправность устройства. Выдержка времени на срабатывание реле КТ5 должна быть больше суммарного времени срабатывания реле КТ3, КТ4, если используется ресинхронизация.

Действие устройства сигнализируется указательными реле КН5÷КН9, для проверки действия устройства предусмотрено сопротивление R II. Выходные цепи I,II и III ступеней основного устройства действуют на три выходных реле КL 29, КL 30, КL 31. Два первых реле предусмотрены для выполнения мероприятий I, II ступени, отличающихся по фиксируемому знаку скольжения, третье – для III ступени. Кроме того имеется дополнительное реле КL 32 и возможность пересоединять реле при неиспользовании какой-либо из групп выходных контактов. По четыре контакта выходных реле через испытательные блоки SG4÷SG7 выводятся на клеммник для выполнения мероприятий, в том числе отключения ВЛ с запретом ТАПВ.

Пуск осциллографа осуществляет реле КL 22 (РП18-6, $t_{k} \geq 1$с), срабатывающее от реле КL 7, фиксирующего переориентацию реле мощности в зоне сработанного $\Delta Z_{cц}$. С учетом периодического характера срабатывания КL 7 выполнено самоудерживание реле КL 22, обеспечивающее работу осциллографа до момента снятия оперативного тока со счетчика циклов и схемы контроля периода. Для анализа работы устройства предусмотрено осциллографирование срабатывания контактов реле КL 4 и КL 6, характеризующих знак скольжения, и реле КL 7, характеризующего отсчет полуциклов. Это осциллографирование может быть осуществлено с помощью одного шлейфа, для чего в цепи указанных контактов включены резисторы с разными сопротивлениями.

В тех случаях, когда структурой АЛАР предусмотрена взаимная блокировка основных устройств АЛАР смежных ВЛ с целью исключения одновременного отключения обеих ВЛ при асинхронном ходе, используются клеммы I,2,II,I2,I5,I6,I9 "+220В", контакты реле КL 2 (I ступень) и резервное реле КL 26 (II,III ступень) (листы 2,10) с пакетами соответствующих переключателей*.

---

* Схемой не предусматривается переключение цепей тока и выходных цепей на обходной выключатель. Рекомендуется установка на нем отдельного устройства АЛАР- резервного или основного (в случае нескольких присоединений на ПС, оснащенных основными устройствами.

П.I.3. Варианты использования реле сопротивления БРЭ 280I

Реле сопротивления KZ , входящие в блок БРЭ 280I, используются в основном устройстве АЛАР в качестве

- органа сопротивления, фиксирующего ЭЦК ($AZ_{эцк}$),
- органа сопротивления, являющегося пусковым органом счетчика циклов ($AZ_{с.ц.}$),
- органа сопротивления, контролирующего скорость изменения сопротивления на зажимах реле в первом цикле асинхронного хода ($AZ_{п.ц.}$).

В зависимости от конкретных условий предусматриваются различные варианты использования реле сопротивления, формирующих указанные выше органы сопротивления AZ (лист 5).

Для повышения надежности выполнения возлагаемых на AZ функций предусмотрена, в зависимости от варианта использования, перегруппировка контактов реле сопротивления (KZ), формирующих группы AZ .

Возможны случаи отсутствия необходимости в $AZ_{эцк}$. В частности, его функции могут быть возложены на $AZ_{с.ц}$ (необходимость в $AZ_{эцк}$ показывают расчеты разд. IУ.I.2). Этим режимом работы KZ соответствуют варианты I и 2. Варианты 3 и 4 предусматривают использование $AZ_{эцк}$.

В соответствии с обозначениями реле и вариантов их использования (по листу 5) функции органов сопротивления выполняют реле:

$AZ_{эцк}$ – KZ2, KZ3 в вариантах 3а, 3б, 4б,
KZ3 в варианте 4а;

$AZ_{с.ц}$ – KZI во всех вариантах,
KZ2, KZ3 в вариантах Iа, Iб,
KZ3 в вариантах 2а, 2б,

$AZ_{п.ц}$ — в качестве чувствительного реле:
KZI, KZ3 в варианте 2а, 2б,
KZI в вариантах 4а, 4б.
— в качестве грубого реле:
KZ2 в вариантах 2а, 2б, 4а, 4б.

При формировании AZ имелось в виду, что основное устройство АЛАР является устройством с достаточно сложным алгоритмом действия и, следовательно, имеющим надежность несрабатывания выше, чем надежность срабатывания. Поэтому с целью повышения надежности срабатывания каждый AZ собирается с максимально возможным в каждом варианте использованием имеющихся контактов реле KZ , даже расчетно в этой функции непроверяемых.

П.2. Резервное устройство автоматической ликвидации асинхронного режима

Устройство (см. лист 12 $U_{пит}$= 220В, лист 13 $U_{пит}$=110В) состоит из: -реле тока КА1(грубое) и КА2 (чувствительное);

-реле-повторителя действия реле тока- KL1;

-реле контроля длительности периода асинхронного хода КТ1, КТ2;

-вспомогательных реле KL2, KL3 с контурами RC, обеспечивающими паузу достаточную для надежного возврата КТ1,КТ2;

реле времени, фиксирующего длительность колебаний тока, КТ3 (КТ4);

выходных реле KL4 + KL6;

реле КТ5 и КН3, предназначенных для сигнализации неисправности устройства.

В нормальном режиме реле КТ1 и КТ2 находятся в состоянии срабатывания и контакты КТ1.1, КТ2.1 в цепи реле времени КТ3 разомкнуты.

С помощью реле КТ1 и KL2 сравнивается заданная длительность цикла асинхронного хода с интервалом времени между последовательными срабатываниями реле тока, а с помощью КТ2 и KL3 - между последовательными возвратами его (см.диаграмму на листе 14, поясняющую очередность действия элементов устройства). В целом оба узла: КТ1 - KL2 и КТ2 - KL3 выполняют одну и ту же функцию. Реле времени КТ5 контролирует исправность узлов и срабатывает, если длительность несоответствия состояний КТ1 и КТ2 превышает его выдержку времени.

Указательное реле КН3 сигнализирует неисправность устройства, КН1 - срабатывание резервного устройства АЛАР

При изменении контролируемого тока, вызывающего срабатывание и возврат реле тока, реле КТ1 и КТ2 поочередно пускаются и возвращаются, контролируя время между моментами срабатывания реле КА1 (КТ1) и между моментами возврата реле КА2 (КТ2).

При срабатывании реле КА1 срабатывает реле-повторитель КЦ I и своим размыкающим контактом КЦ I.2 снимает напряжение с катушек реле времени КТ1 и вспомогательного реле КЦ 2. Реле КТ1 возвращается, замыкания контакт КТ1.I в цепи катушки реле КТ3. Контакт КЦ 2.I замыкается через время, определяемое RC - цепью ($t_б \cong$ 0,I с), и вновь пускает реле времени КТ1, которое начинает отсчитывать время периода колебаний тока.

При возврате реле КА2 возвращается реле КЦ I и снимает контактом КЦ I.3 напряжение с катушки реле времени КТ2 и вспомогательного реле КЦ 3. КТ2 отпадает, замыкания контакт КТ2.I в цепи реле времени КТ3, которое начинает отсчет заданной длительности колебаний тока. Через время возврата реле КЦ 3 ($t_б \cong$ 0,Ic) КТ2 вновь начинает отсчет времени периода колебаний тока. Реле КТ1 при этом остается под напряжением, продолжая отсчитывать время.

Если к следующему срабатыванию реле КА1 реле КТ1 успеет сработать, то оно разомкнет свой контакт в цепи реле КТ3, которое сбросит набранное время. Если же реле КТ1 не успеет сработать, то реле КТ3 продолжает отсчет времени и в случае наличия АР (то есть колебаний тока с малым периодом) длительностью, превышающей время срабатывания КТ3 (КТ4), замыкает свой контакт КТ4.I (КТ3.I) в цепи выходных реле КЦ 4÷КЦ 6, производящих отключение выключателя с запретом ТАПВ. Цепь отключения может контролироваться контактом реле-повторителя токовых реле (КЦ I.4) с тем, чтобы отключение происходило при минимальных значениях тока.

Два реле времени КТ3, КТ4, включенных каскадно, позволяют расширить диапазон выдержки времени на срабатывание устройства до 60с. Три выходных реле КЦ 4, КЦ 5, КЦ 6, включенных параллельно, создают группу выходных реле, причем на реле КЦ 6 выполнено ограничение длительности замкнутого состояния контактов реле КЦ 4, КЦ 5 до 0,I÷0,25с (время срабатывания реле КЦ 6 типа РПI8-2).

Само реле КЦ 6 может находиться в сработанном состоянии до 2÷3 с (смотри диаграмму лист I4) пока после отключения ВЛ не доработает реле времени КТ1 или КТ2. Реле КЦ 6 в выходных цепях имеет две токовых обмотки подхвата (тип реле РПI8-2), эти цепи могут иметь ограниченную область применения - по длительности замкнутого состояния и по допустимому тоук в обмотке подхвата, не приводящему к подхвату (0,IA). Предусмотрен вход на КЦ 4÷КЦ 6 от других устройств (ЗПН).

Контакты КЦ 2.2 и КЦ 3.2 полезны для того, чтобы предотвратить слишком кратковременные переключения реле КЦ I, возможные при большом скольжении и срывающие бестоковую паузу реле КТ1 и КТ2. Изменение состояния реле КЦ I возможно при этом только после того, как надежно зафиксировано его предыдущее состояние (раздел У).

Наличие перемычек в цепях обмотки и контактов реле тока КА2 позволяет при малом различии между расчетными величинами тока срабатывания КА1 и тока возврата КА2 исключить последнее из схемы.

Предусмотрено осциллографирование контактов реле КЦ 2, КЦ 3, повторяющихся периодические колебания тока в АР. Пуск осциллографа при этом осуществляется от панели пуска осциллографа или по факту снижения напряжения прямой последовательности, или по факту увеличения тока по ВЛ.

П.3. Дополнительное устройство АЛАР

Дополнительное устройство АЛАР, функционирующее в условиях уже существующего АР и недоотключения фазы выключателя, выполняется как составная часть основного и резервного устройства АЛАР. В соответствии с изложенными в разделе I,3 принципами, оно содержит (листы 2,3,I2):

реле тока, включенное на ток 3Io данной линии;

сборку контактов реле из схем управления выключателе ВЛ, фиксирующих неперекючение фаз одного из них (отстроено от цикла ОАПВ) и трехфазное отключение другого;

реле времени КТ6, обеспечивающее задержку на срабатывание;

реле повторители КЦ27, КЦ28, (КЦ7, КЦ8)*, первое из которых отслеживает положение контактов токового реле КАI (КАЗ), а второе, имея задержку на возврат, обеспечивает подхват цепи пуска реле времени КТ6 при снижении тока в цикле асинхронного хода и возврате реле тока;

контакт реле, фиксирующего действие основного (резервного) устройства АЛАР, КЦ22.3 (КТ4.2).

Соответственно фиксация неполнофазного режима и асинхронного хода в нем осуществляется по цепи запуска реле времени КТ6. Остальные реле-вспомогательные на передающей стороне и, обеспечивающие контроль сигнала телеотключения, на приемной стороне. Выходная цепь устройства организована как сборка последовательно включенных контактов реле КЦ27 (КЦ7) и КТ6 и действует или на пуск самостоятельной команды телеотключения в передатчике АНКА, или на реле пуска в.ч. сигнала телеотключения № I от схемы релейной защиты, или на останов в.ч. передатчика защиты типа ДФЗ.

Контакт реле КЦ27 (КЦ7) в выходной цепи позволяет еще раз проконтролировать наличие тока в нулевом проводе. На выходе выполняется две цепочки (основной и резервный канал), переводимые переключателем SA5 (SA2) в режим работы "на сигнал". Указательное реле в одной из выходных цепей необходимо при действии на панель резервных токовых защит или панель ускорения. При выходе непосредственно на передатчик АНКА указательное реле не нужно (панель передатчика имеет свое указательное реле). Поскольку вероятность отказа выключателя и на противоположном конце маловероятна, дополнительное устройство ликвидирует АР полностью.

В цепь пуска реле времени КТ6 включен контакт реле, фиксирующего действие основного или резервного устройства АЛАР, однако отсутствие его (шунтировка) позволяет сделать устройство более универсальным, резервирующим устройство ЗНР в цепях релейное защиты. Контакт КЦ28.3 (КЦ8.3) предполагается использовать в

---

* В скобках указано обозначение реле в схеме, совмещенной со схемой резервного устройства АЛАР.

цепи реле контроля исправности КТ5, контакт КL 27.4 (KL7.4) - в цепях записи на шлейфе осциллографа.

На приемном (противоположном) конце сигнал телеотключения (ТО), если он организован как сигнал самостоятельный (от ПА) контролируется контактом реле KL 28 (KL 8), фиксирующим наличие тока в нулевом проводе и вероятный АР, и воздействует на группу выходных реле устройства ликвидации асинхронного режима (основного или резервного), отключающую ВЛ с запретом ТАПВ. В выходной цепи имеется указательное реле КНІО (КН2). Одновременное действие резервного устройства АЛАР и цепей приема ТО не рассматривается, вопрос о согласовании КН не решен.

Если сигнал ТО совместный с устройства и релейной защиты, то он контролируется по цепям релейной защиты или не контролируется вовсе.

Неисправность дополнительного устройства сигнализируется указательным реле КН4 (КН4), при появлении сигнала устройство выводится из действия и по цепям организации пуска в.ч. сигнала и по цепям контроля принимаемой команды телеотключения.

Ш. РАЗМЕЩЕНИЕ И КООРДИНАЦИЯ ДЕЙСТВИЯ УСТРОЙСТВ АЛАР

Ш.I. Общие положения

Сечения АР намечаются между каждыми двумя группами генераторов, которые могут идти асинхронно друг относительно друга.

Устройства АЛАР устанавливаются во всех сечениях асинхронного хода, а их действия должны быть координированы, так как проводимые мероприятия по ликвидации АР должны быть селективны и в частности управляющих воздействий, направленных на ресинхронизацию, и в части определения выключателей, участвующих в делении энергосистемы на несинхронно работающие объединения.

Основные принципы размещения и координации устройств следующие:

I. Выявленные сечения АР должны оснащаться комплектами основных и резервных устройств.

2. Мероприятия по ресинхронизации, выполняемые в месте установки основного устройства, сводятся к управляющим воздействиям типа ОГ и ОН (в зависимости от знака скольжения) и отключению шунтирующих реакторов ВЛ с целью повышения предела статической устойчивости. Все это призвано создать условия для перехода АР в режим синхронных качаний.

3. Основное мероприятие, выполняемое устройствами АЛАР, деление при этом АР ликвидируется отключением каждой ВЛ, входящей в сечение АР с конца, на котором установлено устройство АЛАР. Одновременно с целью снижения небаланса вырабатываются команды на ОГ и ОН, а с целью снижения перенапряжений на ВЛ - команда на включение ее шунтирующих реакторов.

4. Основное и резервное устройства устанавливаются на разных концах ВЛ и действуют на выключатели своего конца.

5. Основное устройство желательно устанавливать на том конце ВЛ, где предпочтительнее ее отключение.

При определении конца ВЛ, на котором предпочтительнее выполнять отключение выключателей необходимо учитывать следующие соображения:

- нагрузка (например, промежуточная подстанция) должна остаться в избыточном районе,

- отключать желательно на том конце, где имеются реакторы во избежание повышения напряжения на ВЛ,

- при наличии стока реактивной мощности с ВЛ предпочтительнее принимать его в дефицитный район.

Учет знака скольжения позволяет правильно сориентироваться относительно избыточного и дефицитного района.

Поскольку по принципу действия основное устройство АЛАР более сложное (менее надежное), его отказ более вероятен и вопрос о правильном выборе места его установки должен решаться совместно с вопросом о выборе параметров срабатывания его пусковых органов (раздел IУ).

6. Для повышения работоспособности основных устройств (увеличения $S_{отк.}$) желательно установка их не очень близко к ЭЦК (если характеристика реле сопротивления направленная.)

7. В случае, если одни и те же участки ВЛ (шины) попадают в зону срабатывания $\Delta Z_{эцк}$ разных сечений, требуется согласование комплектов по циклам и осуществление их взаимной электрической блокировки.

8. На межсистемных линиях и линиях, отходящих от АЭС, 330 кВ и выше основной АЛАР должен устанавливаться с двух сторон ВЛ с целью повышения надежности ликвидации АР.

9. При больших ожидаемых скольженияхI-го цикла , когда возможен отказ I ступени, или при глубоких посадках напряжения на шинах ответственного потребителя (в частности на собственных нуждах АЭС), наступающих до момента срабатывания I ступени, может быть рекомендовано устройство типа САПАХ, реагирующие на угол ($\Delta\delta$) по электропередаче.

Некоторое повышение скольжения отказа основного устройства АЛАР можно получить включением его на сумму токов шунтирующих друг друга линий. Однако в этом случае есть неопределенность в подключении устройства по цепям напряжения, поэтому практически ставят два устройства, каждое из этих устройств отключает сразу обе цепи (резервируют друг друга).

Линии разного уровня напряжения также могут отключаться одним устройством, установленным на линии более высокого напряжения. Устройство на более слабой связи выполняется более медленным и действует на отключение своей линии.

Резервные устройства включаются по одному на цепь и действуют, как правило, только на отключение своей цепи из-за недостаточной надежности несрабатывания.

Более подробно этот вопрос исследован в /2/.

После выбора сечений АР и ориентировочной расстановки по ним устройств АЛАР (лист I5) выполняются расчеты устойчивости, подтверждающие эти сечения и положение ЭЦК, в полной схеме сети и в схемах граничных по положению ЭЦК из утяжеленных ремонтных вариантов по ВЛ и генераторам станций. В общем случае $\Delta Z_{эцк}$ должно отстраиваться от точек ЭЦК внешних АР (АР в соседнем сечении).

При этом шины могут быть не жесткой границей сечений, например, в приведенном примере ЭЦК может быть в районе шин ПС2, ПС5, ПС9. Обычно это является показателем трехмашинного АР, но поскольку устройства должны действовать, рекомендуется охват шин путем выполнения смещения в третий квадрант или увеличения уставки $\Delta Z_{эцк}$. Тогда ЭЦК оказывается в зоне действия 2-х ÷ 3-х комплектов АЛАР. Если мероприятия, производимые ими различны и учет знака скольжения не позволяет полностью согласовать устройства, то необходима взаимная электрическая блокировка.

Ш.2. Взаимная блокировка

Наличие узлов ПС5, ПС9 с двумя (тремя) устройствами АЛАР, не отстроенными друг от друга по характеристикам срабатывания $\Delta Z_{эцк}$,требует согласования их по количеству циклов и взаимной электрической блокировки комплектов. Блокировка может выполняться отдельно для I-ых ступеней АЛАР и П (Ш) ступеней АЛАР (п.5 таблицы, лист I0).

На листе I0 дан пример выполнения взаимной блокировки при помощи реле КЦ 26, специально для этой цели установленного в схеме основного устройства АЛАР. На комплектах оно включается

параллельно выходным реле П(Ш) ступеней соответствующей установкой перемычек. По два контакта этих реле используются в цепях второго комплекта АЛАР: размыкающий в цепях выходных реле (KL15, KL16), замыкающий в цепях реле возврата устройства (KL23). При одновременном срабатывании комплектов преимущество остается за тем, у которого используется реле KL26 с RC контуром, обеспечивающим достаточную длительность отключающего сигнала выходных реле. Блокировка I ступени может быть выполнена на резервных размыкающих контактах выходного реле (KL23), которые снимают "+220В" со схемы I ступени блокируемого комплекта АЛАР. Приоритетность первого комплекта обеспечивается настройкой реле мощности KWI второго комплекта на угол, отстающий от $\delta_{кр}$ на 10÷15°, при том знаке скольжения, который требует блокировки (т.е. на $\delta \cong 180^{0}$).

Для исключения отказа в ликвидации устройством АЛАР асинхронного режима при выведенных из действия выходных цепях на одном из комплектов переключателями SA2÷SA4

- в цепь обмотки реле KL26 этого комплекта включается пакет, переключателя SA3 (SA4), отключающий KL26;

- параллельно размыкающему контакту KL23 в цепи блокируемого комплекта включается пакет переключателя SA2, сохраняющий целостность входной цепи I ступени.

Введение пакетов переключателей необходимо для приоритетного комплекта и желательно для прочих.

Ш.3. Пример расстановки основных устройств АЛАР, приведен на листе I5.

Сечения I,П,IУ рассматриваются как крайние (тупиковые) устройства АЛАР устанавливаются на приемных подстанциях ПС2 и ПС5 и направленные реле сопротивления $AZ_{эцк}$ могут фиксировать ЭЦК в любой точке практически до ЭДС генераторов С1, С2, С3. В сечение I входит еще ВЛ в нераскрытую часть энергосистемы, по сечению П можно рекомендовать ресинхронизацию (связь слабая), в сечении IУ устройство АЛАР имеет взаимную блокировку по I ступени с приоритетом по отношению к устройствам в сечении У.

10388тм-тт

Сечения Ш, У, УI, УП, Х проходят по магистральным связям. Сечение Ш может рассматриваться как сечение трехмашинного АР с ЭЦК в районе ПС2. Устройства АЛАР сечений I и П могут при этом работать, но, поскольку они выполнены без смещения, АР с ЭЦК на шинах ПС2 должны ликвидировать устройства, установленные на ПС5. Они охватывают шины ПС2 с коэффициентом чувствительности реле сопротивления (см.раздел IУ) не менее 10÷12, а для обеспечения селективности имеют отстройку по количеству циклов (3 против 2-х в сечении I,П). Установка основного устройства АЛАР у шин ПС5 объясняется тем, что при заданном преобладающем перетоке мощности от С1 к ПС7, ПС8, отключение ВЛ у шин ПС5 позволяет оставить нагрузку (ПС4) в избыточной части энергосистемы.

У шин промежуточной ПС4, если нагрузка ответственна, можно поставить устройство АЛАР имеющее характеристику с центром в начале координат и в зависимости от знака скольжения отключающее ПС4 с разных сторон. Это устройство имеет I ступень, П ступень на 2 цикла асинхронного хода и отстроено от шин ПС2 и ПС5. Наличие комплекта на ПС4 требует специальной логики выходов устройств АЛАР на ВЛ 5-2, а именно при работе устройства АЛАР нижней цепи можно отключать верхнюю, а наоборот - нельзя; I ступень устройств АЛАР ВЛ 5-2 при этом должна выводиться.

ПС5 может оказаться в зоне сечения Ш и сечения У. Для работы при АР по сечению У на ПС5 установлены устройства АЛАР на ВЛ 5-6-7. Они выполнены со смещением на 20%, отстроены от шин противоположной подстанции 7 и с преимуществом (отключение линии справа от ПС5 является предпочтительным) сблокированы при равном количестве циклов со П ступенью устройств, установленных на ВЛ 5-2. Поскольку в середине магистральной связи 5-6-7 имеется значительный потребитель, который желательно оставлять в избыточной части, у шин ПС7 стоят встречные комплекты основного устройства АЛАР. Они отстроены от шин ПС5, выполнены с I ступенью, 2 циклами во П ступени (приоритетно к устройству АЛАР 5-6-7), фиксируют знак скольжения и отключают, как и встречные устройства АЛАР ПС5, обе параллельные ВЛ. Шины ПС7 - практически являются шинами станций

103887М-31

4,5 и ЭЦК в районе их не ожидается, станция 5 нормально имеет сильную связь с ПС7. Вариант включения основных устройств АЛАР на ВЛ 5-6-7 рассматривается как классический (смотри п.8 раздела Ш.I), но требует большого количества устройств и потому рекомендуется лишь в случае ответственной нагрузки или АЭС.

Справа от ПС7 сеть более сложной конфигурации, асинхронный ход по каждому сечению ликвидируется 2-мя устройствами АЛАР, установленными на разных ВЛ и, возможно, разных ПС. ЭЦК в сечении УI предполагается удаленным от ПС7 и для ликвидации АР в нем устанавливаются устройства АЛАР на ПС9 и ПСIO, отстроенные от шин ПС7 и имеющие I ступень, 2 контролируемых цикла во II ступени.

ПС9 оказывается в зоне ЭЦК сечения УП и Х, потому здесь устанавливаются два устройства АЛАР, включенные в разные направления, имеющие смещения, взаимную блокировку I-х ступеней и отстройку по количеству циклов 2-х ступеней с приоритетом устройству включенному ВЛ 9-7, как менее нарушающему баланс мощностей в сети.

Сечение УП проходит и по ВЛ 9-10 и АР в нем выявляется устройством АЛАР, установленным на ПСIO. Оно имеет I ступень и II ступень с 2-мя циклами. Поскольку характеристика реле сопротивления $\Delta Z_{эцк}$ не охватывает шины ПС9, ликвидация этим устройством АР в сечении УП может проходить каскадно (после отключения линии 7-9). Перенос устройства АЛАР с ПСIO на ПС9 имеет некоторые преимущества, но выполнение взаимной блокировки I ступеней трех устройств сложно, а отказ от I ступени нежелателен.

Устройства АЛАР, установленные на ПСIO, участвуют также в ликвидации АР в сечении УШ. Подробнее устройство АЛАР, включенное на ВЛ 7-IO ПС IO, смотри приложение 7.

В сечении IX устанавливается устройство АЛАР на ВЛ II-9 с I ступенью и II ступенью на 3 цикла. Его желательно отстроить по характеристикам $\Delta Z_{эцк}$ от сечения УП, а для надежности и по количеству циклов. В этом же сечении ликвидирует АР устройство АЛАР, установленное на РП I2-I4. Оно более быстрое (2 цикла), имеет смещение для защиты шин С7, С8, а также ликвидирует АР по сечению Х вплоть до шин ПСI4.

10388 ТМ-ТТ

Таблица расчетных схем для выбора параметров характеристик основных устройств АЛАР и проверки их работоспособности дана на листе I5.

IУ. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ

IУ.I. Основное устройство автоматической ликвидации асинхронного режима

IУ.I.I. Объем расчета и подготовка исходных данных

IУ.I.I.I. Расчету подлежат характеристики срабатывания реле сопротивления, используемые в $AZ_{эцк}$, $AZ_{сц}$ и $AZ_{р.ц}$ реле мощности KWI, реле времени контроля длительности периода асинхронного хода, реле времени, осуществляющих дополнительную выдержку времени при использовании ресинхронизации.

При этом согласование характеристик срабатывания $AZ_{сц}$ и KWI осуществляется путем ориентации характеристики срабатывания KWI относительно характеристики срабатывания $AZ_{с.ц}$, а в случае использования $AZ_{с.ц}$ в качестве $KZ_{ч}$ настройка KWI производится по параметру, характеризующему начало асинхронного хода, - критическому углу $\delta_{кр}$.

Порядок расчета параметров срабатывания основного устройства предусматривает:

I. Определение исходных данных - построение в комплексной плоскости годографов сопротивления $Z_р$ и мощности $S_р$ для рассматриваемых схем (раздел IУ.I.I.3) и сечений АР, то есть совокупности первичных значений Z и S (трехфазной) в цикле асинхронного хода (аргумент δ) на входе устройства;

2. построение характеристик срабатывания реле сопротивления, отстроенных от годографов $Z_р$ внешних АР. от нагрузок и охватывающих годографы $Z_р$ АР по контролируемому сечению во всех схемах и режимах;

3. проверка коэффициентов чувствительности реле сопротивления;

4. определение скольжения отказа $S_{отк}$, при котором данная ступень устройства начинает отказывать, и сравнение его с ожидаемым скольжением;

5. построение характеристики срабатывания реле мощности и проверка его коэффициента чувствительности;

6. определение временных характеристик устройства.

10388 ТМ - ТМ

IУ.I.I.2. Исходные данные в части $Z_р$, $S_р$, $I_{АР}$ рекомендуется получать по специальной программе /Э/ или программе "АПАХ" СЗО ЭСПа. Исходные данные получаются сразу (в один расчет) для основного ($Z_р$, $S_р$), резервного и дополнительного устройств АЛАР ($I_{АР}$). Программа позволяет получить АР по любому сечению искусственным заданием угла расхождения ЭДС двух (более) групп генераторов от нулевого или определяемого каким-либо расчетным предаварийным режимом - $\delta^{I}_{1\ldots n}$ до угла, соответствующего полному повороту ЭДС одной группы генераторов относительно другой - 360^{0} или $\delta^{I}_{1\ldots n}$ $+360^{0}$. При этом величина ЭДС и все сопротивления в схеме принимаются неизменными. Расчет по каждому сечению АР выполняется для 2-х+3-х схем сети, названных расчетными, оптимальных для выбора характеристик срабатывания устройства. Утяжеление условий получается за счет задания ЭДС не равными номинальному уровню $K_E = I$, а с коэффициентами

$$K_E = \frac{E_1}{E_2} = \frac{1,1U_н}{0,9U_н} = 1,22 \text{ или } \qquad K_E = \frac{0,9U_н}{1,1U_н} = 0,82 . \quad (I)$$

Вывод данных $Z_р$, $S_р$, $I_{АР}$ в функции от δ производится для устройств своего сечения и ближайшего соседнего. Этими расчетами подтверждается выбор принципов, расстановка устройств АЛАР в сети и производится выбор их уставок.

Поскольку реальный процесс асинхронного хода сопровождается включением систем регулирования частоты и напряжения, а сопротивления, особенно нагрузки в точках с глубокими посадками напряжения, могут существенно меняться, характер изменения $Z_р$, $S_р$, $I_{АР}$ реального процесса более сложен. Сюда же добавляются трудности, связанные с явлением многомашинного АР.

"Комплексная программа расчета устойчивости" (КПУ) позволяет воспроизвести изменение электрических величин более близкие к реальному в течение достаточно большого времени при возмущениях в энергосистеме, но подобрать возмущение, приводящее к асинхронному ходу в заданном сечении не так просто. Вывод электрических

10388 ТМ-Т1

величин Z_P, S_P, $I_{АР}$, необходимых для расчета устройств АЛАР, выполнен в КПУ в функции не угла δ, а в функции времени. Сравнение результатов расчета по программам типа "АЛАР" и "КПУ" (смотри инв. № 8I26тм-т6, ЭСП, I980г.) показалс близость их в первом цикле асинхронного хода и значительное отклонение годографов программы КПУ для 2÷5 цикла от годографов первого цикла в основном по причине многомашинности и действия систем регулирования. Все это подтверждает требование ликвидации АР основным устройством на первом цикле, как самое эффективное и надежное в расчетной части.

Далее приведен метод получения годографов и характеристик срабатывания по расчетной программе типа "АЛАР". Для КПУ дачы формулы $S_{отк}$ (аргумент t). Расчетные выражения в тексте приведены для первичных значений параметров.

IУ.I.I.3. Намечаются расчетные схемы работы энергосистемы, обуславливающие наибольшее и наименьшее удаление ЭЦК от места установки устройства при АР по контролируемому сечению и схемы, дающие наименьшее удаление ЭЦК при внешних АР (таблица, лист I5). Выполняются расчеты АР по намеченным сечениям и в расчетных схемах.

Результатами расчетов являются годографы Z_P, S_P с нанесенными на них углами δ.

Годографы вычерчиваются в координатах $R(P)$, $jx(jQ)$, причем одному и тому же значению угла δ соответствуют точки годографов Z_P и S_P лежащие на одной прямой, проходящей через начало координат (с углом φ_z).

Здесь же определяется наибольшее ожидаемое скольжение при АР по контролируемому сечению (приложение 3).

Период допустимого скольжения $T_{доп}$ (с) – вторичный параметр, позволяющий отличить качания от асинхронного хода, определяется для нескольких расчетных схем по формуле

$$T_{доп} = \frac{1}{50}\sqrt{\frac{314 \cdot T_{j\Sigma} \cdot P_{баз}}{P_{пред}}}, \qquad (2)$$

10388тм-т1

где:

$$T_{j\text{э}} = \frac{T_{j1} \cdot T_{j2}}{T_{j1} + T_{j2}}$$ – эквивалентная постоянная инерции энергосистемы (с), состоящей из двух частей, отправной и приемной; (3)

T_{j1}, T_{j2} – эквивалентные постоянные инерции частей энергосистемы, приведенные к базисной мощности;

$P_{баз}$ – базисная мощность;

$P_{пред}$ – предел статической устойчивости по сечению в данной схеме.

Если годографы по программе рассчитаны при K_E = I, желательно учесть утяжеление условий при K_E= I,22 (0,82). ЭЦК и годографы Z_p смещаются при этом по оси jx на ±0,0 $Z_э$, а S_p по оси jQ на±0,2 $\frac{U^2_{ном}}{Z_э}$ ($Z_э = 2U_{ном}/I_{АР}$).

IУ.I.I.4. Для каждого из годографов Z_p при асинхронном ходе по контролируемому сечению определяется угол $\varphi_{р.мин}$, при котором величина Z_p минимальная ($Z_{р.мин.}$). Этот угол определяется графически, как угол между осью R и проходящей через начало координат нормалью к годографу Z_p (перпендикуляром к касательной в точке $Z_{р.мин}$ годографа).

Из числа намеченных схем, в которых рассматривается АР по контролируемому сечению, выбираются две схемы с крайними годографами Z_p - наиболее высокой и наиболее низкой по линии максимальной чувствительности.

Если годографы Z_p в рассматриваемых схемах имеют существенно разные величины $\varphi_{р.мин}$, то в качестве расчетных должны рассматриваться каждая из них.

IУ.I.2. Расчет $AZ_{эцк}$

IУ.I.2.I. Определяется $\varphi_{мч}$ $AZ_{эцк}$ по среднему значению угла $\varphi^{ср}_{р.мин}$ для характеристик Z_p, рассчитанных при АР по контролируемому сечению

10388ТМ-11

$$\varphi_{р.мин}^{ср} = \frac{\sum_{1}^{n} \beta_i \cdot \varphi_{р.мин\,i}}{\sum_{1}^{n} \beta_i}, \qquad (4)$$

где: $\varphi_{р.мин\,i}$ – угол $\varphi_{р.мин}$ для i -той схемы.

β_i – коэффициент веса i -той схемы, характеризующий ее значимость и вероятность.

В качестве угла максимальной чувствительности реле $\varphi_{мч}$ выбирается один из двух заводских (80^0 или 65^0), ближайший к полученному среднему значению, или меняется фазировка подводимого переменного напряжения.

IУ.I.2.2. Определяется характеристика срабатывания $\Delta Z_{эцк}$.

А. Для этого вектор каждой точки годографов $Z_р$ внешних АР уменьшается на 0,25 $Z_р$. Полученные характеристики являются опорными при выборе $\Delta Z_{эцк}$.[x)]

С центром на линии, проходящей через начало координат под углом $\varphi_{мч}$, проводится окружность, не пересекающая ни одну из этих характеристик. Определяются величины сопротивления срабатывания $\Delta Z_{эцк}$ в I и Ш квадрантах, соответственно $Z^{I}_{с.р.}$ и $Z^{III}_{с.р.}$.

Проверяется, что $Z^{III}_{с.р}$ составляет величину меньшую, чем величина максимально возможного смещения характеристики направленного реле сопротивления в Ш квадрант (лист 7,9).

$$C = \frac{Z^{III}_{с.р}}{Z^{I}_{с.р}} \leq 0{,}2, \qquad (5)$$

где С – уставка смещения

---

x) Поскольку $\Delta Z_{эцк}$ должен обеспечить селективность действия устройства, а проблемы многомашинности сложны, на практике рекомендуется выполнять $\Delta Z_{эцк}$, отстроенным от шин, ограничивающих рассматриваемое сечение АР. Если требуется охватить шины (на них возможен ЭЦК) с $K_ч \geq 10$, то требуется согласование смежных устройств по количеству циклов или взаимная блокировка.

10388-74

Характеристика выполняется со смещением, равным одному из трех (С=6%, I2%, 20%), ближайшему к рассчитанному по (5). При $C > 0{,}2$ характеристика $\Delta Z_{эцк}$ выполняется с центром в начале координат или в виде двух окружностей, направленных в I и Ш квадрант и смещенных в противоположный квадрант на 20%.

Если окажется, что $\underset{\sim}{Z}^{I}_{ср}$ и $\underset{\sim}{Z}^{II}_{ср}$ расположены в одном квадранте, то может быть выполнена характеристика, вынесенная в I квадрант на 5+50%, или нужно перенести место установки устройства АЛАР.

Б. Проверяется отстройка от максимального рабочего режима (с учетом направления потока мощности).

При этом должно обеспечиваться:

- для характеристики направленного реле сопротивления, смещенной на С в Ш квадрант,

$$Z_{с.р} \leq \frac{K_н \cdot Z_{мин\,раб}}{2}\left[\sqrt{\frac{1}{C^2}\cos^2(\varphi_{м.ч}-\varphi_{раб})+\frac{4(1+C)}{C}}-\frac{1}{C}\cos(\varphi_{м.ч}-\varphi_{раб})\right] \quad (6)$$

- для характеристики, проходящей через начало координат,

$$Z_{с.р} \leq K_н Z_{мин\,раб}\ \frac{1}{\cos(\varphi_{м.ч}-\varphi_{раб})} \quad (6а)$$

- для характеристики с центром в начале координат

$$Z_{с.р} \leq K_н \cdot Z_{мин.раб}, \quad (6б)$$

где $Z_{мин.раб.} = \frac{U^2_{мин.лин} \cdot \cos\varphi_{раб.}}{P_{раб.макс}}$ -сопротивление (7)

на зажимах реле в максимальном длительном рабочем режиме;

$\varphi_{раб}$ - аргумент вектора $Z_{мин.раб.}$;

$\varphi_{м.ч}$ - принятый угол максимальной чувствительности реле;

$K_н = 0{,}8$ - коэффициент надежности отстройки.

Примечание: Для лучшей отстройки от рабочего режима устройство желательно устанавливать на приемном конце ВЛ ($\varphi_{раб} = 150^{0}$)

Если определяющим является рабочий режим, то $AZ_{эцк}$ может быть исключен из устройства, т.е. его функции будут выполняться $AZ_{с.ц}$

IУ.I.2.3. Проверяется чувствительность реле сопротивления $AZ_{эцк}$ (приложение I) в двух заранее намеченных (IУ.I.I.3) схемах с АР по контролируемому сечению. Если характеристика $AZ_{эцк}$ выполняется двумя реле (см.выше), то чувствительность проверяется также для схемы, при которой годограф $Z_р$ проходит через точки пересечения характеристик этих реле (то есть в зоне начала координат).

$$K_ч = 30 - 29\,\frac{|Z_р - Z_0|}{Z_{с.р} - Z_0} \qquad (8)$$

или

$$K_ч = 30 - 29\,\frac{\sqrt{\left(\frac{Z_р}{Z_0}\right)^2 + 1 - 2\frac{Z_р}{Z_0}\cos(\varphi_{м.ч} - \varphi_р)}}{\frac{Z_{с.р}}{Z_0} - 1}\,, \qquad (8а)$$

где $|Z_р - Z_0|$ - расстояние (Ом) от центра характеристики срабатывания реле (Z_0) до рабочей точки, в качестве которой берется ближайшая к центру характеристики точка годографа $Z_р$;

$\varphi_{м.ч}$, $\varphi_р$ - аргументы, соответственно, векторов Z_0 и $Z_р$;

Значение $K_ч$ в зависимости от точности расчетов должно быть не менее I2÷I5. Характеристика срабатывания $AZ_{эцк}$ может выполняться в виде двух реле сопротивления не только по условию отстройки от внешних АР (см.выше), но и по условию обеспечения необходимой чувствительности к АР по контролируемому сечению в тех схемах, когда ЭЦК расположены близко к началу координат или в

III квадранте. Величина $K_ч$ для схем с $Z_р$, проходящими близко к началу координат, должна быть не менее 10.

IУ.I.2.4. Для каждого из указанных выше годографов, а также для годографа $Z_р$ в схеме, в которой ожидается максимальное скольжение при АР, определяется интервал углов $\Delta\delta$, на котором выполняется условие срабатывания $AZ_{эцк}$.

$$\Delta\delta = |\delta_с - \delta_в|, \qquad (9)$$

где $\delta_с, \delta_в$ – углы, соответственно, срабатывания и возврата $AZ_{эцк}$.

По известному $K_ч$ определяется минимальный, необходимый для срабатывания $AZ_{эцк}$, интервал времени Δt (мс), в течение которого выполняется условие срабатывания $AZ_{эцк}$ (рис. г., лист II).

Определяются скольжения отказа (Гц) в этих схемах (приложение 2, формула (П2-2))

$$S_{отк} = 2{,}8 \times \frac{\Delta\delta}{\Delta t}. \qquad (10)$$

Полученное значение $S_{отк}$ должно быть больше значения, которое соответствует данному АР по приложению 3.

При построении годографа $Z_р$ в координатах времени (по результатам расчетов по программе типа КПУ) $S_{отк}$ определяется по выражению

$$S_{отк} = 830 \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t \cdot T_{АР}}, \qquad (11)$$

где $\Delta T, с$ – время существования условий для срабатывания $AZ_{эцк}$, (по аналогии с $\Delta\delta$), определяемое как продолжительность годографа $Z_р$, ограниченного характеристикой срабатывания $AZ_{эцк}$;

$T_{АР}, с$ – период цикла асинхронного хода, определяемый по продолжительности годографа $Z_р$ за цикл.

IУ.I.2.5. Если значения $S_{отк}$ или $K_ч$ в одной из рассматриваемых схем излишне велики, а в другой неудовлетворительны, то выбирается другая характеристика срабатывания $AZ_{эук}$ и повторяется расчет по разд. IУ.I.2.2÷IУ.I.2.4. Выполнение коррекции возможно, например, путем умньшения смещения или отказа от смещения характеристики срабатывания, если все годографы $Z_р$ проходят выше начала координат; это увеличивает в данном случае $K_ч$, хотя и уменьшает интервал углов $\Delta\delta$, в котором выполняется условия срабатывания $AZ_{эук}$.

Переход на характеристику с центром в начале координат позволяет улучшить $S_{отк}$ и $K_ч$ для годографа $Z_р$, проходящих вблизи начала координат.

Если чувствительность устройства или его скольжения отказа недостаточны, то следует рассмотреть другое место установки устройства или предусмотреть установку, в крайнем случае, второго устройства на отдельную группу расчетных схем.

IУ.I.3. Расчет $AZ_{с.ч}$

Угол максимальной чувствительности реле, входящих в $1Z_{с.ч}$, зависит от того используется ли $AZ_{с.ч}$ в качестве $KZ_ч$ в $AZ_{п.ч}$ или нет. Если используется, то угол определяется условием обеспечения срабатывания при угле δ близком к $\delta_{кр}$, если не используется - угол максимальной чувствительности определяется, как в реле $AZ_{эук}$.

IУ.I.3.I. Расчет $AZ_{с.ч}$, если используется I ступень. По годографам $Z_р$ определяется среднее значение угла $\varphi^{ср}_{\delta.кр}$ в схемах, предусматривающих АР по контролируемому сечению,

$$\varphi^{ср}_{\delta.кр} = \frac{\sum_1^n \beta_i \varphi_{\delta кр i}}{\sum_1^n \beta_i}, \qquad (I2)$$

где $\varphi_{\delta.кр i} = arctg\left(\frac{Q}{P}\right)$ определяется для i-ой схемы в точке годографа $Z_р$, соответствующей критическому углу $\delta = \delta_{кр}$ (приложение 4).

В качестве угла максимальной чувствительности реле $\varphi_{м.ч}$ выбирается один из двух заводских (80^0 или 65^0), ближайший к полученному среднему значению. Допустимо принять $\varphi_{м.ч}$, отличающийся от заводского. Его можно получить путем соответствующего изменения фазировки цепей тока и напряжения $AZ_{с.ц}$ по сравнению с предусмотренным в схеме.

IУ.I.3.2. Если $\varphi_{м.ч}$ по разделу IУ.I.3.I совпадает с $\varphi_{м.ч}$ по разделу IУ.I.2.I или I ступень ($AZ_{п.ц}$) не используется, то проверяется возможность использования $AZ_{эцк}$ в качестве $AZ_{с.ц}$

К работе $AZ_{с.ц}$ предъявляется более жесткое требование, чем к $AZ_{эцк}$, так как требуется синхронизация его действия с действием реле мощности $KW1$. Поэтому те же значения $K_ч$ и $\Delta\delta$ дают меньшие значения $S_{отк}$.

В разделе IУ.I.2.4. для принятой характеристики $AZ_{эцк}$ определены $\Delta\delta$, а в разделе IУ.I.2.3 величины $K_ч$ в двух (или более) заранее намеченных схемах.

По известному $K_ч$ определяется минимальный, необходимый для срабатывания, интервал времени Δt (мс), в котором выполняется условие срабатывания $AZ_{с.ц}$ (рис.ж лист II).

Скольжение отказа (Гц) рассчитывается по формуле (П2-5) приложения 2

$$S_{отк} = 2{,}8 \times \frac{\Delta\delta - 2\delta_{см}}{\Delta t}, \qquad (I3)$$

где $\delta_{см}$ – угол между серединой интервала $\Delta\delta$ и углом, при котором выполняется условие срабатывания (возврата) реле мощности $KW1$ (см.раздел IУ.I.5.2).

Полученное значение $S_{отк}$ должно быть больше значения, которое соответствует данному АР по приложению 3.

Проверяется скольжение отказа (Гц) в зоне возврата $AZ_{с.ц}$ в цикле асинхронного хода по формуле (П2-7) приложения 2

$$S_{отк.в} = \frac{360 - \Delta\delta}{18{,}5} \qquad (I4)$$

10388ТМ-ТХ

Полученное значение $S_{отк}$ должно быть больше значения, которое соответствует данному АР по приложению 3.

При использовании для расчета параметров программы КПУ формулы (I3), (I4) имеют вид

$$S_{отк} = 830 \cdot \frac{\Delta T - 2\Delta t_{см}}{\Delta t \cdot T_{АР}}, \qquad (I3а)$$

где $\Delta t_{см}$ (с) – интервал времени между серединой ΔT и отметкой времени, при которой выполняется условие срабатывания (возврата) реле мощности KW1;

$$S_{отк.в} = \frac{16{,}2\,(T_{АР} - \Delta T)}{T_{АР}} \qquad (I4а)$$

При удовлетворительности результатов расчета $AZ_{с.ц}$, имеющего характеристику $AZ_{эцк}$, последний может быть исключен из схемы устройства АЛАР.

IУ.I.3.3. Если $\varphi_{м.ч}$ по разделу IУ.I.3.I не совпадает с $\varphi_{мч}$ по разделу IУ.I.2.I или $S_{отк}$ по разделу IУ.I.3.2 меньше необходимого для данных расчетных схем, то характеристика срабатывания $AZ_{с.ц}$ выбирается только по условию отстройки от рабочего режима по выражению (6) разд. IУ.I.2.2. Проверяются чувствительность реле по сопротивлению в соответствии с разд. IУ.I.2.3 и скольжение отказа по разделу IУ.I.3.2.

Если $S_{отк}$ по формуле (I4) меньше необходимого, а по формуле (I3) удовлетворительно, производится коррекция характеристики $AZ_{с.ц}$ с целью сближения величин $S_{отк}$.

IУ.I.3.4. Если характеристика $AZ_{с.ц}$ с $\varphi_{м.ч}$ по разделу IУ.I.3.I имеет неудовлетворительные показатели $S_{отк}$, то возможно использование этого реле только в качестве $AZ_{п.ц}$, а для $AZ_{с.ц}$ берется реле с $\varphi_{мч}$ по разделу IУ.I.2.I и большими значениями $S_{отк}$. Это эффективно при расположении $\varphi_{м.ч}$ в разных (I и II) квадрантах и потому различной отстройке этих характеристик от сопротивления нагрузки, ориентированного как и знак скольжения в одну сторону. При этом соответственно пересматриваются варианты использования реле сопротивлений АК ZI (лист 5).

10388 ТМ-Т1

IУ.I.4. Расчет $AZ_{п.ц}$

Вопрос о ликвидации АР на первом цикле очень актуален (IУ.I.I.2), поэтому рекомендуется на ответственных линиях электропередачи напряжением выше 330 кВ иметь $AZ_{п.ц}$. Для обеспечения его оптимальной работоспособности требуется как можно большие значения $\Delta\delta_{п.ц}$ $(\Delta t_{п.ц})$ интервала углов (времени) годографов сопротивления $Z_р$, заключенных между характеристиками $KZ_ч$ и $KZ_г$ (лист 4).

IУ.I.4.I. В качестве чувствительного реле $KZ_ч$ используется $AZ_{с.ц}$ или берется свое реле, рассчитываемое по разделам IУ.I.3.I, IУ.I.2.2. В качестве грубого реле $KZ_г$ может быть использован $AZ_{эцк}$, но в этом случае его угол максимальной чувствительности желательно иметь такой же, как $KZ_ч$ ($AZ_{с.ц}$) в разделе IУ.I.3.I.

В случае неиспользования $AZ_{эцк}$ характеристика грубого реле сопротивления $KZ_г$ строится так, чтобы обеспечить $К_ч$ = I2÷I5 в расчетных схемах, требующих быстрой ликвидации АР и характеризующихся максимальным и минимальным удалением годографа $Z_р$ от начала координат.

Проверяется, что точка годографа $Z_р$, соответствующая углу δ, при котором происходит переориентация реле мощности в рассматриваемой схеме, не вышла (с запасом) за пределы характеристики $KZ_г$. Если это условие не выполняется, то необходимо обеспечить такое взаимное размещение характеристик $KZ_г$ и $KW1$, чтобы $KW1$ успело переориентироваться до возврата $KZ_г$.

IУ.I.4.2. Определяется величина $K_ч$ во всех интересующих расчетных схемах (см. раздел IУ.I.2.3).

По известному $К_ч$ определяется минимальное время существования условия срабатывания $KZ_г$, Δt (рис.г, лист II), необходимое для срабатывания последнего.

Определяется интервал углов (времени) годографа $Z_р$ в котором существует условие срабатывания грубого реле сопротивления $KZ_г$ $\Delta\delta(\Delta T)$ по формуле аналогичной (9).

10338 ТМ-Т

$$\Delta\delta = |\delta_{с.г} - \delta_{в.г}|$$

и интервал углов годографа $Z_р$, в котором существует условие срабатывания собственно $AZ_{п.ц}$, т.е. интервал, заключенный между характеристиками $KZ_ч$ и $KZ_г$

$$\Delta\delta_{п.ц} = |\delta_{с.г} - \delta_{с.ч}|, \qquad (I5а)$$

$$\Delta\delta_{п.ц} = |\delta_{в.г} - \delta_{в.ч}|. \qquad (I5б)$$

Если АР возможен с обоими знаками скольжения, то в дальнейших расчетах используется меньшее из двух $\Delta\delta_{п.ц}$.

По формуле (I0,II) определяется скольжение отказа грубого реле сопротивления (см. раздел IУ.I.2.4).

Проверяется скольжение отказа (Гц) при прохождении годографом $Z_р$ интервала углов $\Delta\delta_{п.ц}$ в соответствии с формулой (П2-I0) приложения 2 при $t_{КТ1}$ = 0,I5с.

$$S_{отк} = 0{,}019\,\Delta\delta_{п.ц}, \qquad (I6)$$

$$S_{отк} = 5{,}6\,\Delta T_{п.ц}.$$

Если наименьшее из значений скольжения отказа $S_{отк}$ по формулам (I0,II,I6) удовлетворяет требованиям таблицы I приложения 3 для данной схемы АР, то расчет заканчивается.

IУ.I.4.3. Если расчет по разделу IУ.I.4.2 не обеспечивает необходимого значения $S_{отк}$, причем лимитирующим является значение $S_{отк}$ по формуле I6, то с целью улучшения настройки $AZ_{п.ц}$ выбирается другая характеристика срабатывания реле $KZ_г$ (с возможностью получения большего $\Delta\delta_{п.ц}$). Эта коррекция возможна:

I) путем снижения $K_ц$ в расчетных схемах до 7+I0;

2) путем использования эллиптической характеристики с сопротивлением срабатывания, равным сопротивлению срабатывания круговой характеристики и соотношением осей ℓ = 0,75,0,5.

10388ТМ-Т1

После коррекции повторяются расчеты $AZ_{п.ц}$ по разделам IУ.I.4.I, IУ.I.4.2.

В случае использования реле $KZ_г$ с эллиптической характеристикой скольжение его отказа (Гц) определяется по формуле (П2-8) приложения 2

$$S_{отк} = 2,4 \frac{\Delta \delta}{\Delta t}, \qquad (16а)$$

а скольжение отказа собственно $AZ_{п.ц}$ - по формуле (П2-II)

$$S_{отк} = 0,014\ \Delta \delta_{п.ц}.$$

IУ.I.5. Расчет $KW1$

IУ.I.5.I. Характеристика срабатывания KWI желательная для данной расчетной схемы, проводится через две точки на годографе $S_р$:

- первая точка - точка, соответствующая углу δ_w в середине интервала углов $\Delta\delta$, в котором выполняется условие срабатывания $AZ_{с.ц}$ (при использовании $AZ_{с.ц}$ в качестве $KZ_ч$ $AZ_{п.ц}$ берется точка соответствующая углу $\delta_{кр}$ по приложению 4);

- вторая точка - точка, соответствующая углу δ в середине интервала, в котором выполняется условие возврата $AZ_{с.ц}$.

Характеристика срабатывания KWI, удовлетворяющая всем схемам, может выбираться графическим путем. В этом случае можно рекомендовать проводить ее через две точки определенные следующим образом:

- одна - как средняя, то есть равноудаленная, из точек δ_w, лежащих на годографах $S_р$ и характеризующих середины интегралов углов $\Delta\delta$, в которых выполняется условие срабатывания $AZ_{с.ц.}$, или $\delta_{кр}$ для схем с минимальным и макси-

10388 ТМ-71

мальным удалением годографа Z_p от начала координат;

– другая – как средняя из точек, лежащих на тех же годографах S_p и характеризующих середины интервалов углов, в которых выполняется условие возврата $AZ_{c.ц}$ *.

Оценивается отклонение построенной характеристики KWI от желательной для каждой схемы как разница между углами δ пересечения годографа S_p желательной и выбранной характеристиками KWI в зоне срабатывания $AZ_{c.ц}$ ($\delta_{c.c}$) и в зоне возврата $AZ_{c.ц}$ ($\delta_{c.в}$). Если $\delta_{c.c} > 10^0$ или $\delta_{c.в} > 20^0$, расчет KWI необходимо сделать с помощью аналитического усреднения характеристик.

IУ.I.5.2. Аналитический расчет состоит в следующем: для каждой из рассматриваемых схем определяются параметры срабатывания KWI:

S_{cpi} – мощность срабатывания, как расстояние от начала координат до линии нулевых моментов,

$\varphi_{мчi}$ – угол максимальной чувствительности (отсчет от оси P).

Определяется усредненная характеристика KWI:

$S^{cp}_{c.p}$ – средняя мощность срабатывания;

$\varphi^{cp}_{м.ч}$ – средний угол максимальной чувствительности;

$\varphi^{cp}_{м.ч.p}$ – средний расчетный угол максимальной чувствительности;

$$\varphi^{cp}_{м.ч.p} = \frac{\sum_1^k \beta_i \varphi_{мчi} + \sum_{k+1}^n \beta_i (\varphi_{м.ч.i} - 180^\circ)}{\sum_1^n \beta_i}, \qquad (I7)$$

$$S^{cp}_{c.p} = \frac{\sum_1^k \beta_i S_{c.pi} - \sum_{k+1}^n \beta_i \cdot S_{c.p.i}}{\sum_1^n \beta_i},$$

---

* В случае, если годографы S_p лежат в разных квадрантах, желательно ориентироваться на первую точку, среднюю из δ_w ($\delta_{кр}$) пренебрегая серединами интервалов возврата $AZ_{c.ц}$.

10388ТМ-11

где i - номер схемы;

$1 \div k$ - номера схем, в которых $90^0 \geqslant \varphi_{м.ч.i} \geqslant -90^0$;

$k+1 \div n$ - номера схем, в которых $270^0 \geqslant \varphi_{м.ч.i} \geqslant 90^0$;

βi - коэффициент веса схемы, характеризующий ее значительность и вероятность.

Если $S^{ср}_{с.р} > 0$, то $90^0 \geqslant \varphi^{ср}_{м.ч} = \varphi^{ср}_{м.ч.р} \geqslant -90^0$ (фиг.I,2 рис. 4 лист 9); если $S^{ср}_{с.р} < 0$, то $270^0 \geqslant \varphi^{ср}_{м.ч} = I80^0 + \varphi^{ср}_{м.ч.р} \geqslant 90^0$ (фиг. 3,4 рис. 4 лист 9).

Если $S^{ср}_{с.р} < 0$, то при направлении активной мощности от шин в линию замкнут контакт KWI.2 и сигналу "АР с ускорением" будет соответствовать АР с торможением генераторов, расположенных за шинами (за спиной устройства).

Принимается та настройка KWI, которая обеспечивает меньшее отклонение от желательной характеристики для большинства рассматриваемых схем.

Значения $\delta_м$, используемые в формуле I3 раздела IУ.I.3.2 характеризуют отклонение выбранной характеристики KWI от середины зоны срабатывания реле $AZ_{с.ц}$. При использовании I ступени и значит выбранной настройке KWI близкой к $\delta_{кр}$ эти отклонения могут быть значительными, то есть применение I ступени снижает значение скольжения отказа II ступени.

IУ.I.5.3. Определяется коэффициент чувствительности KWI при срабатывании ($K_{ч.с}$) и при возврате ($K_{ч.в}$) в соответствии с формулами:

$$K_{ч.с} = \frac{\Delta M}{M_{пр}} + 1 = \frac{S_{м.ч} - S_{с.р}}{S_{с.р}} + 1 = \frac{S_{м.ч}}{S_{с.р}}, \qquad (I8)$$

$$K_{ч.в} = \frac{-\Delta M}{M_{пр}} + 1 = \frac{S_{с.р} - S_{м.ч}}{S_{с.р}} + 1 = 2 - \frac{S_{м.ч}}{S_{с.р}},$$

где $S_{м.ч} = |S_р| \times \cos(\varphi_{м.ч} - \varphi_р)$

$S_р$ - значение мощности по годографу $S_р$, в зоне срабатывания (возврата) KWI;

φ_p - угол, соответствующий вектору S_p, (отсчет от оси Р);

$S_{с.р}$, $\varphi_{мч}$ - параметры принятой характеристики срабатывания КWI.

В точке годографа, наиболее благоприятной для срабатывания и возврата КWI, значение $K_ч$ должно быть не менее 3,0 (лист 9).

IУ.I.6. Расчет выдержек времени

IУ.I.6.I. На реле КТI устанавливается время достаточное для отстройки от коротких замыканий (смотри приложение 2). Это время 0,I5с при круговых характеристиках KZ_r, $KZ_ч$ и 0,2 с при эллиптической характеристике KZ_r.

IУ.I.6.2. Расчет выдержки времени контроля длительности цикла асинхронного хода КТ2.

Выдержка времени реле КТ2 определяется условием отстройки от максимального для контролируемого сечения периода асинхронного хода, при котором наступает ресинхронизация

$$t_{КТ2} = K_н \cdot T_{доп.}, \qquad (I9)$$

где $K_н = I,I$ - коэффициент надежности,

$T_{доп}$ - период допустимого скольжения (раздел IУ.I.I.3) в схеме, обуславливающей его максимальное значение, чаще всего это схема с максимальным составом генераторов в сети и ослабленным расчетным сечением.

IУ.I.6.3. Расчет выдержки времени Ш ступени.

Выдержка времени Ш ступени осуществляется с помощью реле КТ3 и КТ4. Они вводятся в работу при выполнении ресинхронизации.

Время с момента возникновения АР до момента действия Ш ступени устройства включает в себя три составляющие:

а) время прохождения контролируемого количества циклов асинхронного хода в начале АР;

б) дополнительную выдержку времени $t_{доп}$, вводимую для осуществления ресинхронизации;

10388ТМ-Т1

в) то же, что в п."а", но после времени $t_{доп}$.

Составляющие пунктов б и в дают выдержку времени Ш ступени.

Порядок расчета следующий:

I. Задается дополнительная выдержка времени (обычно определяется в расчетах ресинхронизации в пределах I0÷20 с), но не более 30с, располагаемых реле времени КТ3.

2. Определяется выдержка времени на реле КТ4 по условию достаточности времени для фиксации контролируемого количества циклов асинхронного хода с периодом до допустимого

$$t_{КТ4} = K_н \cdot n \cdot T_{доп} , \qquad (20)$$

где $K_н = I,I$ - коэффициент належности;

n - количество контролируемых циклов;

$T_{доп}$ - период допустимого скольжения в той схеме, в которой выполняется ресинхронизация.

IУ.I.6.4. Расчет выдержки времени реле сигнализации неисправности устройства.

Выдержка времени на реле КТ5 определяется:

I) условием отстройки от выдержки времени Ш ступени, если применяется ресинхронизация

$$t_{КТ5} = t_{КТ3} + t_{КТ4} + \Delta t , \qquad (2I)$$

где $\Delta t \cong 2 T_{доп}$ - ступень селективности;

2) условием отстройки от качаний с максимально возможным периодом

$$t_{КТ5} > T_{кач.} , \qquad (22)$$

где $T_{кач}$ -максимальный период качаний, наблюдаемый в энергосистеме.

Выбирается наибольшее из рассчитанных времен, рекомендуемая уставка 60÷70с на реле времени типа ВЛ-66.

IУ.2. Резервное устройство автоматической ликвидации асинхронного режима

Выбору подлежат ток срабатывания грубого реле ($I_{с.у}$), ток возврата чувствительного реле ($I_{в.у}$), а также выдержки времени реле контроля периода асинхронного хода, выходного и сигнального реле времени. По значениям $I_{с.у}$, $I_{в.у}$ и предельным значениям токов $I_{АР}$ в цикле асинхронного хода в различных расчетных схемах оценивается работоспособность устройства.

IУ.2.2. Расчет уставок реле тока

Исходными данными при выборе параметров срабатывания измерительных органов резервного устройства являются максимальные ($I_{макс}$) и минимальные ($I_{мин}$) значения за цикл асинхронного хода тока в группе рассматриваемых схем. Минимальные значения токов АР существенно зависят от соотношения между эквивалентными ЭДС. Если расчет проведен для $E_1/E_2 = K_E = 1$, необходимо ввести коррекции. Одной из возможных формул коррекции, учитывающей изменение ЭДС от 0,9 до I,I, может быть следующая

$$I_{мин} = I_{мин.расч} + 0{,}1\,(I_{макс.расч} - I_{мин.расч}) \qquad (23)$$

$$I_{мин} = 0{,}1\,I_{макс.расч} + 0{,}9\,I_{мин.расч.} ,$$

где $I_{макс.расч.}$, $I_{мин.расч.}$ – расчетные значения максимального и минимального в цикле асинхронного хода тока при K_E = I.

В простых случаях расчет тока АР может выполняться на столе постоянного тока или аналитически.

Поскольку возможен вариант применения резервного устройства с одним реле тока, в расчете определяются параметры срабатывания устройства, и лишь после окончательного решения вопроса о количестве используемых реле происходит определение параметров срабатывания каждого аппарата.

С учетом изложенного рекомендуется следующий порядок расчета.

10388тм-т1

IУ.2.I.I. Ток возврата устройства определяется по условию отстройки от тока, минимального за цикл асинхронного хода

$$I_{в.у} = K_{н.у} \left(I_{мин}\right)_{макс}, \qquad (24)$$

где $K_{н.у}$ – коэффициент надежности (принимается равным I,3÷I,5);

$\left(I_{мин}\right)_{макс}$ – максимальное значение минимальных за цикл асинхронного хода токов, каждый из которых определен в одной из рассматриваемых схем с АР по контролируемому сечению (ф-ла 23).

IУ.2.I.2. Ток срабатывания устройства определяется

$$I_{с.у} = \frac{I_{в.у}}{K_{в.у}}, \qquad I_{с.у} = \frac{K_{отстр}}{K_{в.р}} \cdot I_{в.у}, \qquad (25)$$

где $K_{в.у}$ – коэффициент возврата устройства;

$K_{в.р}$ – коэффициент возврата реле тока (в данном расчете принимается равным 0,85);

$K_{отстр}$ – коэффициент отстройки тока срабатывания грубого реле от тока срабатывания чувствительного реле (принимается минимальным и равным I,I).

IУ.2.I.3. Проверяется коэффициент чувствительности устройства

$$K_{ч.у} = \frac{\left(I_{макс}\right)_{мин}}{I_{с.у}}, \qquad (26)$$

где $\left(I_{макс}\right)_{мин}$ – минимальное значение максимальных за цикл асинхронного хода токов, каждый из которых определен в одной из рассматриваемых схем с АР по контролируемому сечению.

Для обеспечения срабатывания устройства при АР со скольжением до I0 Гц требуется $K_{ч.у} \geqslant I,2$.

10388 ТМ-Т4

Если по (26) должное значение $K_{ч.у}$ не обеспечивается, то целесообразно рассмотреть вопрос о применении двух устройств, каждое для своей группы рассматриваемых схем сети.

Если по (26) получено излишне большое значение $K_{ч.у}$, то целесообразно увеличить $K_{отстр}$ по сравнению с принятым в разд. IУ.2.I.2.

$$K_{отстр} = \frac{I_{с.у}}{I_{в.у}} K_{в.р}, \qquad (27)$$

где $I_{с.у}$ - ток срабатывания устройства при $K_{ч.у} \cong 1{,}3$.

Примечание: При $K_{отстр} < 1{,}1$ применяется устройство с одним реле тока ($K_{в.р} > 0{,}77$).

IУ.2.I.4. Проверяется скольжение отказа устройства ($S_{отк}$). Как показали испытания на электронной модели (раздел У.2), работоспособность устройства зависит от соотношения между $K_ч$ и $K_н$ чувствительного реле тока при $K_{ч.у} \geqslant 1{,}2$ (или одного, если применено только КАI).

Для каждой из рассматриваемых схем определяется

- коэффициент надежности

$$K_{н.ск} = \frac{I_{в.у}}{I_{мин}}, \qquad (28)$$

-коэффициент чувствительности реле, осуществляющего возврат пусковой части устройства,

$$K_{ч.ск} = K_{отстр} \frac{I_{мокс}}{I_{с.у}} \qquad (29)$$

При заданном значении $K_{н.ск}$ значение скольжения отказа ($S_п$) тем меньше, чем больше $K_{ч.ск}$

$$S_{отк} = 30 \frac{K_{н.ск} - 1}{K_{ч.ск}}. \qquad (30)$$

Формула (30) получена по экспериментальным зависимостям (раздел У.2).

Полученное $S_{отк}$ должно быть больше, чем ожидаемое скольжение в установившемся АР (приложение 3).

10388 ТМ-Т1

Следует обратить внимание на то, что для надежного срабатывания КАI требуется ограничение $K_ч$ снизу, а данный раздел требует ограничения сверху. Эти два требования при большом ожидаемом скольжении тем легче вступают в противоречие, чем меньше значение $K_{н.сх}$. Отсюда следует, что для повышения скольжения отказа необходимо переходить к большему значению $K_н$.

IУ.2.2. Расчет выдержек времени.

IУ.2.2.I. Определяется время срабатывания реле времени, контролирующих длительность периода асинхронного хода

$$t_{с.кт1} = t_{с.кт2} \geq K_н \cdot T_{доп.}, \qquad (3т)$$

где $K_н = I,I$ – коэффициент надежности,

$T_{доп}$ – период допустимого скольжения в схеме, обуславливающей его максимальное значение, смотри (I9).

IУ.2.2.2. Время срабатывания выходного реле времени определяется тремя условиями, перечисленными ниже.

а) Условие отстройки от времени действия на отключение ВЛ основного устройства АЛАР, выявляющего АР в этом же сечении, что и резервное устройство

$$t'_{с.кт3} \geq t_{осн} + \Delta t_{сел}, \qquad (32а)$$

где $t_{осн}$ – время действия основного устройства АЛАР на отключение ВЛ,

$\Delta t_{сел} = K_н T_{доп}$ – ступень селективности, равная периоду допустимого скольжения, но не менее I сек.

б) Условие отстройки от цикла неуспешного АПВ на смежных линиях, сопровождающегося значительными колебаниями тока по контролируемой ВЛ

$$t''_{с.кт3} \geq t_{кз} + t_{АПВ} + t_{кз.АПВ} + t_{кач.}, \qquad (32б)$$

10388ТМ-Т1

где $t_{кз}$ - максимальная длительность КЗ, отключаемого резервной защитой,

$t_{АПВ}$ - время бестоковой паузы АПВ,

$t_{кз\ АПВ}$ - длительность повторного КЗ при неуспешном АПВ (учитывается ускорение защиты после АПВ),

$$t_{кач} = 10\,T_{доп}\left(1 - \frac{1 - K_{б.ч}}{K_{ч.сх}}\right) \qquad (33)$$

- длительность синхронных качаний с периодом менее времени срабатывания КТ1 (КТ2).

Время $t_{кач}$ берется в схеме, обуславливающей его максимальное значение. Формула (33) получена эмпирически из предположения, что через десять периодов качания затухнут по времени, учет затухания качаний по амплитуде произведен в вычитаемом которое зависит от разницы $I_{с.у}$ и $I_{б.у}$ ($K_{б.у}$) и от величины тока качаний возможного в первый период ($K_{ч.сх}$). Предполагается, что большой $K_{ч.сх}$ в данной расчетной схеме говорит о большом токе качаний в этой схеме.

Время $t_{кач}$ получено с запасом, рекомендуется пользоваться этой величиной при проектных расчетах. В эксплуатации $t_{кач}$ может корректироваться по наблюдениям за качаниями в энергосистеме.

Если значение ($t_{кз}$ + $t_{АПВ}$) превышает значение $K_н\,T_{доп}$, то в (32б) подставляется $K_н\,T_{доп}$.

в) Условие согласования с временем действия резервных устройств АЛАР, установленных на соседних ВЛ, если рассматриваемое устройство приходит в действие при АР по смежному сечению

$$\left(K_{ч.вн} = \frac{I_{макс.вн}}{I_{с.у}} \geqslant 0{,}9\right), \qquad (32в)$$

$$t'''_{с.кт3} \geqslant t_{см} + \Delta t_{сел}$$

10388TN-74

где $\Delta t_{рел}$ - берется по п.а;

$t_{см}$ - время действия резервного устройства АЛАР, установленного на смежной ВЛ;

$I_{макс.бн}$ - максимальный ток по контролируемой ВЛ при внешнем АР.

Выбирается наибольшая величина $t_{с.кт3}$. Поскольку на выходе стоят два реле времени (КТ3 и КТ4), работающих в каскаде, эта наибольшая величина не должна быть более 60с (суммарной максимальной уставки).

IУ.2.2.3. Определяется время срабатывания реле времени, контролирующего исправное состояние устройства

$$t_{с.кт5} \cong 6\, t_{с.кт4} \quad \text{, но не более 30с,} \qquad (34)$$

IУ.3. Дополнительное устройство АЛАР

В дополнительном устройстве необходимо выбрать уставки реле тока КА, реле времени КТ и время возврата реле повторителя срабатывания реле тока КА-(КЦ 8, КЦ 7) КЦ 28, КЦ 27 по разделу П.3.

IУ.3.I. Ток срабатывания реле тока КА, включенного в нулевой провод, должен быть отстроен от тока небаланса полнофазного АР (в общем случае 3-х фазного короткого замыкания)

$$I_{с.КА} = K_{отстр} \cdot I_{нб.}, \qquad (35)$$

где $K_{отстр} = I,2$ - коэффициент, учитывающий погрешности расчета и аппаратуры;

$I_{нб} = 0,05 \cdot I_{АР\,макс}\,(I_{кз\ 3^{х}фаз})$ - ток небаланса АР (трехфазного КЗ).

Коэффициент чувствительности реле тока при АР в схеме с минимальным значением максимального тока определяется как

$$K_{ч} = \frac{(I_{макс})_{мин}}{I_{с.КА}} \geqslant 2, \qquad (36)$$

где $(I_{макс})_{мин}$ - расчетное значение максимального тока полнофазного АР (лист I4).

IУ.3.2. Время срабатывания КТ6 выбирается равным $\approx$ 0,3 с для отстройки от защиты неперекючения фаз, имеющейся в схеме управления выключателем линии.

Время возврата реле $KL_{повт}$ - выбрано приблизительно равным 0,5 $t_{с.кт6}$, т. есть $t_{в}$ = 0,2с (при расчетном $K_{ч}$ = 2, лист I4).

Это время должно быть выполнено на реле (KL8) KL26 с предвключенным реле (KL7) KL27, так как последнее имеет значительное собственное время возврата (раздел У.3).

Примечание:

Если резервное устройство АЛАР отказывает из-за невозврата чувствительного реле (приложение 5), то основная проблема дополнительного устройства АЛАГ - несрабатывание (возврат) реле тока, поэтому требуется обеспечить $K_{ч} \geq 2$, то есть сделать реле тока максимально чувствительным. Анализируя работу реле тока в АР и отталкиваясь от $t_{с.кА} \cong t_{в.кА} \cong$ 0,035с (при данном $K_{ч}$), следует полагать, что при $S \geq$ I5 Гц (T $\leq$ 0,066с) реле тока и устройство вообще не работают, при меньшем скольжении требуется запоминание факта срабатывания и подхват контакта токового реле КА на некоторое время ($\cong$ 0,5 $t_{с.кт}$), тогда КТ набирает время полпериода за счет замкнутого контакта КА, а добавок - за счет запоминания в схеме.

У. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТРОЙСТВ АЛАР (ИСПЫТАНИЯ)

Для проверки правильности принятых технических решений, проверки работоспособности разработанных устройств АЛАР и определения некоторых зависимостей, используемых в расчете параметров срабатывания, указанные устройства были испытаны от постороннего источника и на электронной модели энергосистемы (описанье модели см. в работе ЭСП, инв. № 5525тм-т2). Испытаниям подвергались отдельные узлы основного устройства и резервное устройство в целом.

Испытания устройств проводились в различных двухмашинных схемах электропередачи. Выполнялось осциллографирование основных электрических параметров и фиксировалось состояние отдельных элементов устройств.

Ниже приведены основные результаты испытаний.

У.I. Основное устройство автоматической ликвидации асинхронного режима

При выпуске этих типовых материалов для проектирования были проведены индивидуальные испытания блок реле сопротивления типа БРЭ 280I и реле мощности серии РСМ I3 и проверена их работоспособность в схеме $AZ_{эцк}$ и $AZ_{сц}$.

Реле сопротивления.

Блок реле сопротивления БРЭ 280I в пятиамперном исполнении испытывался в однофазной схеме в части

I. уточнения характеристик срабатывания и параметров настройки,

2. проверки характеристик срабатывания при изменении частоты сети,

3. проверки времени срабатывания реле сопротивления для различных характеристик срабатывания.

I. На листе 4 приведены экспериментальные характеристики срабатывания снятые при $I_{ном}, K_I=1, \varphi_{м.ч}=80^{\circ}$, N = I2%, Ки (пр.6) отрегулирована уставка 8ом/фазу. Характеристики снимались на трех реле сопротивления, входящих в блок. В зоне малых углов φ_1

имеется отличие от идеальной характеристики окружности (С>0). Это еще более усугубляется при включении в случае С = 0 цепей поляризации (см. отчет о результатах испытаний /4/), то есть контуров памяти (лист 6). Поэтому рекомендуется использовать блок реле при отсутствии смещения без цепей поляризации, тем более что эффективность этого мероприятия в АР мала.

В отличие от комплекта КРС-2 введение смещения не изменяет величины уставки реле сопротивления $Z^{I}_{ср}$.

Результаты проверки характеристик на минимальной (N =100%) и максимальной (N= 3%) уставках аналогичны.

2. На листе 4 даны экспериментальные характеристики срабатывания реле сопротивления при частоте сети 45 гц, 50 гц, 55 гц (снималось от станции модели при питании БРЭ 2801 через усилители тока и напряжения). Отмечается практически пропорциональное частоте изменение уставок независимо от наличия или отсутствия цепей, задающих смещение в III квадрант.

3. Времена срабатывания блока БРЭ 2801 замерены значительно меньшие приведенных в техническом описании. Минимальные значения их зафиксированы в зоне $0{,}125Z_{ср} \leq Z_р \leq 0{,}5Z_{ср}$ по $\varphi_{м.ч}$, в 5÷8% зоне от характеристики срабатывания по $\varphi_{м.ч}$ время срабатывания реле резко возрастет. При замере времен срабатывания для $Z_р$, лежащих в стороне от $\varphi_{м.ч}$, получены результаты близкие к линейно нарастающим в соответствии с принятой трактовкой $K_ч$. Наличие поляризации при С=0 существенно увеличивает времена срабатывания в зоне начала координат (схема испытаний однофазная).

Эллиптическая характеристика имеет времена срабатывания, превышающие круговую на 5÷10%. Наличие смещения (С = -20%) дает в зоне начала координат минимальные значения $Z_{ср}$.

Времена возврата реле сопротивления замерены $\sim$ 55 мс для круговой характеристики, $\sim$ 45 мс для эллиптической характеристики и практически независимы от $Z_р$ и $I_р$.

В статическом режиме (при скольжении равном нулю) реле сопротивления срабатывает при величине сопротивления срабатыва-

10388ТМ-Т1

вания равной сопротивлению на зажимах реле, для чего теоретически достаточно касания в одной точке характеристикой срабатывания реле годографа сопротивления на зажимах реле Z_p .

Для срабатывания KZ в АР требуется, чтобы характеристика реле охватывала часть дуги годографа Z_p .

Величина дуги годографа Z_p , находящейся в зоне срабатывания KZ и достаточной для его срабатывания, зависит от времени срабатывания последнего и от величины скольжения S .

Время срабатывания KZ определяется положением годографа относительно центра характеристики срабатывания реле (величиной Кч, см. приложение I). Однако, как показано на рис.4 листа 4 одному и тому же значению Кч в зависимости от места установки устройства соответствует разной величины дуга годографа Z_p , при которой существует условие срабатывания KZ, то есть скольжения отказа разные. Следовательно, чтобы в представленных случаях обеспечить срабатывание реле сопротивления при одном и том же скольжении требуется в устройстве, установленном ближе к электрическому центру качаний увеличить дугу годографа в зоне срабатывания реле сопротивления, то есть требуется большая уставка KZ . При наличии внешних ограничений это не всегда удается , а Кч при этом уменьшается. Поэтому предпочтительнее ставить устройство вдали от ЭЦК.

Реле мощности

Максимальное реле активной мощности серии РСМ I3 в пятиамперном исполнении испытывалось от постороннего источника по аналогичной программе. Результаты испытаний позволяют подтвердить возможность точной регулировки уставки в соответствии с формулой переключателями S BI÷ SB6 (лист 8), возможность регулировки угла $\varphi_{м.ч}$ от -I0° до +I3° сопротивлением R 2. Установлена независимость характеристики срабатывания от частоты сети и снята зависимость времен срабатывания и возврата от кратности мощности на зажимах реле (Кр). Время срабатывания меняется от 65 мс до 40 мс, причем при Кр>3 оно практически не изменено, время возврата - от 40 мс до 65 мс (зеркальная зависимость).

Проверялась возможность регулировки $\varphi_{м.ч}$ и $Q_{ср}$ максимального реле реактивной мощности (РСМ I4). $Q_{ср}$ регулируется в рамках формулы, $\varphi_{м.ч}$ - сопротивлением $R2$ от -45^{0} до $+I3^{0}$, но при этом существенно уходит шкала уставок по $Q_{ср}$.

Рекомендуется применять РСМ I3, переходить на РСМ I4 можно при появлении на нем более удобной (переключатели) и не влияющей на шкалу уставки регулировки $\varphi_{м.ч}$.

Поведение при АР реле сопротивления, фиксирующего ЭЦК.

Испытания $KZ_{эцк}$ проводились в схеме энергосистемы (рис.а, лист II) с соотношением ЭДС

$$K_E = \frac{E_1}{E_2} = \frac{11}{99},$$

поскольку этот режим является расчетным для выбора сопротивления срабатывания KZ максимальным током в реле за цикл асинхронного хода $I_{макс}$= 5А. Срабатывание реле сопротивления фиксировалось по срабатыванию внешнего реле-повторителя типа РП17-4.

Получены зависимости (рис. б, лист II)

$$\frac{Z_{ср}(S \neq 0)}{Z_{ср}(S=0)} = \varphi(S, \alpha)$$

необходимого увеличения сопротивления срабатывания KZ от скольжения (от -I0 Гц до +I0 Гц) и от места установки реле (в точке α, перемещающейся от α = 0 до α = 0,5). Здесь обозначено: $Z_{ср}(S=0)$ - сопротивление срабатывания реле, находящегося на границе срабатывания, при АР с частотой генераторов, близкой к 50 Гц (скольжение 0,2 Гц), т.е. величина, равная сопротивлению от места установки реле до электрического центра качаний;

$Z_{ср}(S \neq 0)$ - сопротивление срабатывания реле, находящегося на границе срабатывания, при скольжении, отличном от нуля.

Установлено, что на характер указанной зависимости не влияет абсолютная величина сопротивления срабатывания ($Z_{ср}$) и знак скольжения.

10388 ТМ-71

На основе опытных данных построены зависимости $K_ч = \Psi(\Delta\delta)$ при разных скольжениях (рис.в листа II) и зависимость необходимой для срабатывания реле длительности пребывания годографа в зоне срабатывания реле сопротивления Δt от величины коэффициента чувствительности в ближайшей к центру характеристики реле точке годографа (рис.2).

Испытания проводились при годографах сопротивления, имеющих $Z_{рмин}$ на $\varphi_р = 90^\circ \div 95^\circ$, то есть при любых S и α имелось пересечение годографом $Z_р$ линии максимальной чувствительности реле сопротивления БРЭ 2801 ($\varphi_{м.ч}$).

Поведение при АР реле сопротивления счетчика циклов и реле мощности

Аналогично изложенному выше, на том же листе II показаны зависимости, полученные для случая работы реле сопротивления и максимального реле активной мощности типа РСМ 13, собранных по схеме счетчика циклов основного устройства АЛАР с использованием 4-х реле типа РП 17. При этом на реле мощности была установлена мощность срабатывания 70Вт, соответствующая средней точке зоны углов ($\delta_{ср} - \delta_{вр}$) годографа сопротивления в $AZ_{сц}$, максимальная кратность на срабатывание $KW1$ составляла ~ 5.

Получены зависимости (рис.д, лист II)

$$\frac{Z_{ср}(S \neq 0)}{Z_{сАZ_{эцк}}(S=0)} = \varphi(S, \alpha)$$

необходимого увеличения сопротивления срабатывания $KZ_{сц}$ от скольжения (до ± 7 гц) и от места установки реле ($0 \leqslant \alpha \leqslant 0{,}4$). В формуле за $Z_{ср}$ ($S \neq 0$) принимается замеренное сопротивление срабатывания $KZ_{сц}$, при котором счетчик циклов находится на грани срабатывания (фиксируется I цикл) при скольжении, отличном от нуля, $Z_{сАZ_{эцк}}$ ($S=0$) величина, равная сопротивлению от места установки реле до ЭЦК (см. выше).

Для $AZ_{сц}$ устройства необходимое значение Δt определяется в основном соотношением между временем срабатывания реле сопротивления и временем срабатывания (возврата) реле мощности. При испытаниях, результаты и обработка которых

10388ТМ-11

представлены на листе II (рис. е,ж), условие срабатывания I.W I выполнялось в середине интервала углов $\delta\delta$, при которых выполнялось условие срабатывания ΔZ_{cy}.

Цепи постоянного тока (лист 2)

Цепь удерживания реле времени I ступени. Размыкание контакта с выдержкой времени реле КТI после его срабатывания происходит через 0,04с после снятия напряжения с катушки реле. Время переключения контакта KZ_1 в реле АКZI составляет менее 0,008с. Поэтому запас по времени, обусловливающий надежность сохранения цепи на срабатывание КТI при срабатывании KZ_1, превышает с большим запасом время нарушения указанной цепи.

Цепи контроля периода АР. Для надежного возврата реле времени КТ2 , контролирующего длительность периода АР, достаточно обеспечить паузу в его питании на время $\cong$0,I с. Параметры RC - контура в цепи KL 20 (KL2I) обеспечивают их импульсное срабатывание на время не менее 0,Iс и, следовательно, надежный возврат КТ2 перед новым отсчетом времени.

У.2. Резервное устройство АЛАР

Поведение реле тока при АР

Испытания показали, что в диапазоне кратностей максимального тока асинхронного хода к току срабатывания грубого реле от I,2 до 5,С, оно не отказывает в действии при скольжении до IO Гц, обеспечивая четкое срабатывание реле KL I.

При выполнении указанного условия отказ устройства возможен только из-за отсутствия возврата чувствительного реле тока. Скольжение отказа экспериментально определено в зависимости от

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{в.ч}}}{I_{\text{мин}}} \quad \text{и} \quad K_{\text{т}} = \frac{I_{\text{макс}}}{I_{\text{ст}}}$$ (рис.3, лист I4)

Графически отражена граница, за которой не происходит возврата реле KL I из-за того, что чувствительное реле тока не замыкает свой размыкающий контакт.

Испытания показали (рис.4), что скольжение отказа может быть приблизительно в 2 раза меньше, если источник с большей ЭДС имеет меньшую частоту, по сравнению со случаем, когда он

10388 ТМ-Т1

имеет большую частоту. Графические зависимости получены для худших условий.

Пояснения экспериментально полученных явлений даны в приложении 5.

Экспериментальные данные удовлетворительно аппроксимируются формулой

$$S_{отк} = 30\,\frac{K_н - 1}{K_г}\,. \qquad \text{(см.30)}$$

Бестоковая пауза реле времени КТ1, КТ2 нормирована ($\approx$0,1с) путем замедления возврата реле КЛ2, КЛ3 с помощью RC цепей. Кроме того, включение в цепь обмотки реле КЛ1 контактов КЛ2.2, КЛ3.2 позволило исключить ненормированное управление КТ1, КТ2 контактами реле КЛ1. В противном случае при большой кратности тока АР по сравнению с током срабатывания реле КА1 и достаточно высоком скольжении возврат КЛ1 кратковременный и пауза на реле КТ2 может сократиться до 0,01с (время срабатывания КЛ1), что недопустимо.

Сигнальное реле времени КТ5. Имеется возможность излишней фиксации неисправности. Это вызвано тем, что при периоде скольжения, приблизительно равном удвоенному времени срабатывания реле КТ1 и КТ2, возможно окончание выдержки времени одного реле практически одновременно с возвратом другого. Контакты обоих реле времени переключаются и цепь реле КТ5 не нарушается или нарушается слишком кратковременно. Для устранения этого явления в качестве КТ5 применяется электронное реле с большой выдержкой времени на срабатывание - РВ01, 30с.

У.3. Проверка промежуточных реле типов РП16÷РП18

Перевод устройств АЛАР на промежуточные реле системы "Сура" потребовал их выборочной проверки. Были испытаны реле типа РП16, РП17 для уточнения их временных параметров. При нормальной ($U_{ср} > 0{,}5\,U_{ном}$) регулировке этих реле получено.

10388 ТМ-ТМ

U, В	I80	220	240	Реле	$U_{ср}$, В	$U_{в}$, В
t_c, мс	36,7	29,0	25,3	РПI6-I	I43	20
	I4,4	I0,5	9,4	РПI7-4	I34	33
$t_в$, мс	8,5	8,7	9,0	РПI6-I	Больше, чем $t_в$ у реле РП 220	
	6,7	6,9	7,0	РПI7-4		

На реле типа РПI7, как заменяющих реле РП 220, были проверены времена возврата при шунтировке реле RC - контуром и контактом, причем последнее производилось как на реле ($t_в \cong$20мс), так и на его катушке, выведенной на зажим ($t_в \cong$ 40 мс).

Полученные результаты, позволяют скорректировать выбор шунтирующих RC контуров (на $\Delta t_в \cong$ I0мс) и исключить ранее дополнительно устанавливаемые сопротивления в цепи реле КL24, КL27 (лист 2) и КL7 (лист I2). Однако из-за значительного увеличения времени возврата КL27, КL7 (до 40 мс) желательно производить настройку времени возврата КL28, КL8 с предварительно включенным реле КL27, КL7. В цепи пуска резервного устройства КLI оставлено дополнительное сопротивление и потому ожидается $t_{в\,KL1}$ не более I0 мс.

На реле типа РП I8-I (РП I8-5) проверена возможность плавной регулировки времени срабатывания (возврата) в заданном диапазоне регулирования при неизменном и достаточно малом времени возврата (срабатывания) - не более I5 мс, то есть существенно улучшены временные параметры по сравнению с РП-25I, РП-252.

Приложение I

Определение коэффициента чувствительности реле сопротивления в устройстве АЛАР

В релейной защите чувствительность направленного реле сопротивления оценивается коэффициентом чувствительности, рассчитываемым по формуле

$$K_ч = \frac{Z_{с.р}}{Z_р \cos(\varphi_{м.ч} - \varphi_р)} \qquad (\text{II-I})$$

где $Z_{с.р}$ - сопротивление срабатывания реле, соответствующее расстоянию от начала координат плоскости Z до границы области срабатывания реле, измеренное по линии, проходящей под углом максимальной чувствительности;

$Z_р$ - сопротивление на зажимах реле;

$\varphi_р$ - аргумент вектора сопротивления $Z_р$.

Использование этой формулы при расчете устройств АЛАР привело бы к существенному преувеличению чувствительности реле при ЭЦК, расположенном близко от шин подстанции, на которой установлено устройство. Так, если место установки направленного реле приближать к ЭЦК, то $K_ч$ по (II-I) стремится к бесконечности, в то время как на самом деле ЭЦК подходит к границе области срабатывания реле (см.ниже таблицу).

При расчете АЛАР необходимо считать (рис.I листа 4, а также кн.В.Л.Фабриканта) "Основы теории построения измерительных органов релейной защиты и автоматики", изд. "Высшая школа",1968), что реле сопротивления наиболее чувствительно в центре области срабатывания. Поэтому чувствительность реле рекомендуется рассчитывать по формуле

$$K_ч = K_{ч.0}\left(1 - \frac{|Z_р - Z_0|}{Z_{с.р} - Z_0}\right) + \frac{|Z_р - Z_0|}{Z_{с.р} - Z_0}, \qquad (\text{II-2})$$

$$K_ч = K_{ч.0} - \frac{|Z_р - Z_0|}{Z_{с.р} - Z_0}\left(K_{ч.0} - 1\right),$$

10388 ТМ-11

где $K_{ч0}$ - коэффициент чувствительности в центре характеристики срабатывания реле сопротивления;

Z_0 - вектор сопротивления от начала координат до центра характеристики срабатывания реле;

$|Z_p - Z_0|$ - расстояние от центра характеристики срабатывания реле до точки Z_p.

Величина $|Z_p - Z_0|$ может быть определена аналитически как

$$|Z_p - Z_0| = \sqrt{Z_0^2 + Z_p^2 - 2 Z_0 Z_p \cos(\varphi_{м.ч} - \varphi_p)} \qquad (III-3)$$

Блок реле сопротивления БРЭ 2801 (рис.2, лист 4) имеет максимальную чувствительность по линии $\varphi_{м.ч}$ (приложение 6), где наблюдается полное несовпадение ($\alpha = 180^0$), на характеристике срабатывания ($\alpha = 90^0$) чувствительность равна I, в промежуточных точках возрастает пропорционально увеличению α, то есть дуги окружностей разных радиусов, проходящих через точки $Z^I_{ср}$ и $Z^{II}_{ср}$ (или 0), имеют разные $K_ч$. Однако, поскольку экспериментально установлено (рис.3) существенное возрастание времен срабатывания в I0% зоне от характеристики срабатывания (в том числе и по $\varphi_{м.ч}$), принято решение остаться на позиции концентрического возрастания $K_ч$ к центру и $K_{ч0} \cong 30$, то есть формула (III-2) приобретет вид

$$K_ч = 30 - 29 \frac{|Z_p - Z_0|}{Z_{с.р} - Z_0}, \qquad (III-4)$$

$$K_ч = 30 - 29 \frac{\sqrt{\frac{Z_p^2}{Z_0^2} + 1 - 2\frac{Z_p}{Z_0}\cos(\varphi_{м.ч} - \varphi_p)}}{\frac{Z_{с.р}}{Z_0} - 1} \qquad (III-4а)$$

и при $\varphi_p = \varphi_{м.ч}$

$$K_ч = 30 - 29 \frac{\left|\frac{Z_p}{Z_0} - 1\right|}{\frac{Z_{с.р}}{Z_0} - 1}. \qquad (III-4б)$$

Для оценки $K_ч$, полученного по (III-45), по сравнению с $K_ч$, определяемым по (III-I), ниже приведена сравнительная таблица величин $K_ч$ для направленного реле сопротивления и случая $\varphi_р = \varphi_{м.ч.}$

$Z_р / Z_{с.р}$:	I :	0,833 :	0,7I5 :	0,5
ПЛ-1 (Р.З.)	I,0	I,2	I,4	2
ПЛ-45 (ЛЛАР)	I,0	I0,7	I7,5	30
0,333	0,2	0,I	0,05	0,0I	0
3	5	I0	20	I00	∞
20,3	I2,6	6,8	3,9	I,6	I

Приложение 2

Скольжение отказа основного устройства АЛАР

Скольжение отказа $AZ_{эцк}$. Зная коэффициент чувствительности $K_ч$ $AZ_{эцк}$ в точке годографа $Z_р$, наиболее близкой к центру характеристики органа, по рис.2 листа II находим интервал времени Δt, в течение которого должно выполняться условие срабатывания $AZ_{эцк}$, для того чтобы этот орган сработал. При скольжении, неизменном в течение цикла асинхронного хода, получаем, что условие срабатывания $AZ_{эцк}$ должно выполняться в интервале углов

$$\Delta\delta = 360 \cdot \Delta t \cdot S, \qquad (П2\text{-}I)$$

где $\Delta\delta$ – град, Δt – мс S – Гц. Отсюда скольжение отказа при замеренном интервале $\Delta\delta$ годографа в зоне $AZ_{эцк}$

$$S_{отк} = 2\beta \cdot \frac{\Delta\delta}{\Delta t}. \qquad (П2\text{-}2)$$

Оценка интервала времени, необходимого для срабатывания $AZ_{с.ц}$. Для работы счетчика циклов при срабатывании $AZ_{с.ц}$ необходимо выполнение двух условий:

а) $AZ_{с.ц}$ и его внешнее реле-повторитель должны успеть сработать раньше, чем изменит свое положение (сработает или вернется) реле мощности, что выражается неравенством

$$t_{с.кz} + t_{с.кL} \leq \left(\frac{\Delta t}{2} + t_{см}\right) + t_{kw}$$

где $t_{с.кz}$, $t_{с.кL}$ – времена срабатывания реле сопротивления и промежуточного реле,

t_{kw} – время срабатывания (возврата) реле мощности,

Δt – время, в течение которого должно выполняться условие срабатывания $AZ_{с.ц}$, чтобы работал счетчик циклов,

$t_{см}$ – время, на которое смещен момент выполнения условия срабатывания (возврата) $KW1$ по сравнению с серединой интервала Δt, причем $t_{см} > 0$, если этот момент запаздывает по сравнению с серединой Δt

10388 ТМ-ТЭ

Отсюда необходимо обеспечить

$$\Delta t \geq 2\left(t_{c.KZ} + t_{c.KL} - t_{KW} - t_{cm}\right). \qquad (П2-3)$$

Это условие определяющее при быстрых К W, когда требуется увеличить $\Delta t_{эцк}$ с целью сближения моментов срабатывания К W и К Z.

б) Реле мощности должно изменить свое положение (сработать или вернуться) и вслед за этим должны сработать последовательно два промежуточных реле раньше, чем вернется реле сопротивления, что выражается неравенством.

$$t_{KW} + 2t_{c.KL} \leq \left(\frac{\Delta t}{2} - t_{cm}\right) + t_{в.KZ},$$

где $t_{в.KZ}$ – время возврата реле сопротивления.

Отсюда необходимо обеспечить

$$\Delta t \geq 2\left(t_{KW} + 2t_{c.KL} - t_{в.KZ} + t_{cm}\right) \qquad (П2-4)$$

Это условие определяющее при быстрых KZ $t_{c.AZ_{эцк}} < t_{KW} + \frac{\Delta t}{2}\left(t_{cm}=0\right)$, когда требуется увеличить время замкнутого состояния $AZ_{cц}$, увеличивая $\Delta t_{эцк}$ с тем, чтобы обеспечить переключение К W и подхват этого факта на 2-х промежуточных реле.

Изложенное позволяет сделать следующие выводы:

I. Чем большее значение $K_ц$ обеспечено у $AZ_{c.ц}$, тем вероятнее, что в силу большого быстродействия KZ определяющим окажется второе условие.

2. Если при определенном знаке скольжения определяющим является первое условие, то полезно принимать настройку, при которой $t_{c.m} > 0$, т.е. обеспечивать запаздывание действия КW по сравнению серединой интервала Δt, а если определяющее условие второе, то полезно иметь $t_{cm} < 0$.

3. Если требуется обеспечить действие счетчика при разных знаках скольжения, то использовать вывод 2 нужно при том знаке, при котором абсолютное значение ожидаемого скольжения больше (см.приложение 3). При скольжениях разного знака, одинаковых по модулю, желательно иметь $t_{cm} = 0$, т.к. разница в поведении счетчика определяется только тем, что в одном случае К W сра-

батывает, а в другом возвращается ($t_{c\,KW} \cong t_{b\,KW}$).

Пусть $t_{c.м} = 0$ и определяющим при счетчике циклов выполненном на реле БРЭ 280I и РСМ I3 является условие (П2-3), приняв на основании опытных данных (при $K_ц \geq 12$, $S = 3$ Гц) $t_{c.kz} = 50 \div 60$ мс, $t_{c.kL} = 10$ мс, $t_{kW} = 50$ мс, получаем, что необходимо обеспечить $\Delta t \cong 30$ мс. Это приблизительно соответствует данным рис. ж листа II.

Скольжение отказа $\Delta Z_{c.ц}$. Зная коэффициент чувствительности $K_ц$ $\Delta Z_{c.ц}$ в точке годографа Z_p, наиболее близкой к центру характеристики органа, по рис.к листа II находим интервал времени Δt, в течение которого должно выполняться условие срабатывания $\Delta Z_{c.ц}$, чтобы сработал счетчик циклов, если $t_{см} = 0$. С другой стороны, находим интервал $\Delta\delta$, на котором выполняется условие срабатывания $\Delta Z_{c.ц}$, и значение угла $\delta_{c.м}$ между серединой интервала $\Delta\delta$ и углом, при котором выполняется условие срабатывания (возврата) KWI.

По указанным данным находим скольжение отказа

$$S_{отк} = 2{,}8\ \frac{\frac{\Delta\delta}{2} - |\delta_{см}|}{\frac{\Delta t}{2}} \quad \text{или}$$

$$S_{отк} = 2{,}8\ \frac{\Delta\delta - 2|\delta_{см}|}{\Delta t}\ . \qquad (П2\text{-}5)$$

В этой формуле фигурирует модуль величины $\delta_{см}$. Тем самым признается одинаково вредным как опережение, так и отставание в выполнении условия срабатывания (возврата) KWI по сравнению с серединой интервала $\Delta\delta$. Это вызвано тем, что при расчете устройства неизвестно, какое из условий - (П2-3) или (П2-4) - является определяющим.

Для $\Delta Z_{c.ц}$ необходимо оценить также величину дуги возврата. Приняв время возврата KZ (БРЭ 280I с круговой характеристикой) на основе опытных данных равным $t_{b.kz} = 0{,}05$ с, получим

$$(360 - \Delta\delta) = 360 \cdot t_{b.kz} \cdot S = 18{,}5 \cdot S\ , \qquad (П2\text{-}6).$$

10388 ТМ-ТУ

где $\Delta\delta$, град - интервал углов, в котором выполняется условие срабатывания $AZ_{с.ц}$.

Отсюда скольжение отказа

$$S_{отк} = \frac{360 - \Delta\delta}{18,5} \qquad (П2\text{-}7)$$

Скольжение отказа $AZ_{п.ц}$. Необходимо проверить $S_{отк}$ грубого реле сопротивления по формуле (П2-2) при круговой характеристике или по

$$S_{отк} = 2,4\,\frac{\Delta\delta}{\Delta t} \qquad (П2\text{-}8)$$

при эллиптической характеристике,

где $\Delta\delta$, град - интервал углов, в котором выполняется условие срабатывания KZ_r,

Δt, мс - время существования этого условия, находится по рис.г листа II в зависимости от $K_ц$ KZ_r в ближайшей к центру характеристики точке годографа $Z_р$.

Кроме того проверяется скольжение отказа $AZ_{п.ц}$ при прохождении годографом интервала углов $\Delta\delta_{п.ц}$, заключенных между характеристиками $KZ_ц$ и KZ_r

$$S_{отк} \cong 0,0028\,\frac{\Delta\delta_{п.ц}}{t_{КТ1}} \qquad (П2\text{-}9)$$

где $t_{КТ1}$, с - время срабатывания реле КТ1, выбранное по условию отстройки от трехфазного к.з.

Минимальное время срабатывания выбирается из условия, что точка КЗ расположена близко к характеристике срабатывания KZ_r ($K_ц$ =I) и отключение осуществляется резервной ступенью релейной защиты. Поскольку на блоке БРЭ 2801 (замерены) меньше времена срабатывания (против КРС 2), имеем $t_{с.кZ_ц} \cong 0,03 \div 0,04$с,

$$t_{с.кZ_r} \cong 0,15 \text{ с.}$$

10328 ТМ-Т1

С запасом величина разновременности срабатывания реле $AZ_{п.ц.}$ в этом случае оценивается, как

$$\Delta t = 0{,}15 \text{ с} .$$

Это значение является выдержкой времени, которую необходимо установить на реле времени КТ1.

Тогда

$$S_{отк} = 0{,}019\ \Delta\delta_{п.ц.} \qquad (П2\text{-}10)$$

При эллиптической характеристике KZ_r принимаем

$$t_{с.кZ_r} = 0{,}2 \text{ с},$$

$$\Delta t = t_{КТ1} = 0{,}2\text{с}.$$

Отсюда

$$S_{отк} \approx 0{,}0028\ \frac{\Delta\delta_{п.ц}}{0{,}2} = 0{,}014\ \Delta\delta_{п.ц} \qquad (П2\text{-}11)$$

Разновременность срабатывания $KZ_ц$ и KZr в АР практически отсутствует (*круг и эллипс*).

10388 ТМ-71

Приложение 3

Взаимное скольжение, до которого рекомендуется обеспечить расчетным путем действие устройств АЛАР

I. Устройства, действующие на первом цикле асинхронного хода

$P_{пер}/P_{н1}$		0,0I	0,I	I,0	I0,0
$P_{пер}/P_{н2}$	0,0I	0,4	0,7	I,5	2,0
	0,I	0,8	I,0	2,0	2,5
	0,5	2,0	2,5	3,0	3,5
	0,8	6,2	6,5	7,5	8,0

2. Устройства, действующие на четвертом цикле асинхронного хода.

$P_{пер}/P_{н1}$		0,0I	0,I	I,0	I0,0
$P_{пер}/P_{н2}$	0,0I	0,6	2,0	4,0	6,0
	0,I	2,2	3,5	5,0	6,5
	0,5	6.0	6,5	9,0	II,0
	0,8	6,5	7,0	I0,0	I2,0

3. Резервные устройства, действующие при установившемся АР

$P_{пер}/P_{н1}$		0,0I	0,I	I,0	I0,0
$P_{пер}/P_{н2}$	0,0I	0,4	0,5	I,4	2,3
	0.I	2,0	2,2	3,I	4,0
	0,5	2,I	2,3	3,2	4,I
	0,8	2,2	2,4	3,3	4,2

Примечания: I. $P_{пер}$ – предаварийная мощность, передаваемая в сечении АР.

2. $P_{н1}$, $P_{н2}$ – максимальная величина нагрузки в отправной и приемной энергосистемах.

3. Взаимное скольжение дано в Гц.

4. Величина взаимного скольжения для устройств, действующих на 2-м или 3-м цикле асинхронного хода, получается линейной интерполяцией значений таблиц I и 2.

Приложение 4

Критический угол двухмашинной схемы

Под машинным асинхронным ходом понимается процесс, при котором взаимный угол δ между э.д.с. двух электрически связанных генераторов непрерывно увеличивается. Рассматривая только величину угла δ, но не скорость ее изменения, можно констатировать асинхронный ход при условии, что эта величина превзошла свое критическое значение $\delta_{кр}$. Поэтому устройство АЛАР срабатывает правильно только при условии, что достигнут угол

$$\delta \geq \delta_{кр} \qquad (П4\text{-}I)$$

Это условие должно соблюдаться независимо от того, на какие именно параметры энергосистемы реагирует устройство: непосредственно на взаимный угол или на тот или иной его аналог - мощность, ток, напряжение, и т.п.

Указанным устройства АЛАР отличаются от устройств, упрощенно прогнозирующих АР по возникновению перегрузки связи или фиксирующих понижение напряжения на связи, не допустимое для устойчивости генераторов или нагрузки в промежуточных узлах. Последние из упомянутых устройств проще чем устройства АЛАР, но не могут по принципу действия отличить перегрузку связи или синхронные качания от асинхронного хода.

Критический угол двухмашинной схемы $\delta_{кр}$ можно представить с помощью критического угла $\delta_{э.кр}$ эквивалентной одномашинной схемы, в которой эквивалентный генератор включен через индуктивность на шины бесконечной мощности. Известные формулы приведения параметров двухмашинной схемы к эквивалентной одномашинной дают:

$$\delta_{кр} = \delta_{э.кр} - \alpha, \qquad (П4\text{-}2)$$

$$\delta_{э.кр} = 180^\circ - \arcsin \frac{P_{т.э}}{P_{г.э.т}}, \qquad (П4\text{-}3)$$

$$\alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{K_{j12}-1}{K_{j12}+1}\operatorname{tg}\alpha_{12}\right), \qquad (П4\text{-}4)$$

$$\alpha_{12} = 90^\circ - \Psi_{12}, \qquad (П4\text{-}5)$$

$$K_{j12} = T_{j1}/T_{j2}, \qquad (П4\text{-}6)$$

103887м-т1

$P_{т.э}$ – мощность эквивалентной турбины. $P_{г.э.m}$ – максимум характеристики мощности эквивалентного генератора, T_{j1} и T_{j2} постоянные инерции генераторов I и 2, приведенные к одной мощности, Ψ_{12} – угол взаимного сопротивления двухмашинной схемы.

Глубокие асинхронные качания возникают, если интенсивность возмущения велика, а нагрузка связи мала. Последняя может оказаться равной доаварийной нагрузке, но может значительно отличаться от нее в силу возникшего возмущения и затем действия устройств АУМСУ. Необходимо обеспечить несрабатывание устройств АЛАР при глубоких синхронных качаниях, предельных по условию динамической устойчивости.

Пусть все изменения в энергосистеме, вносимые возмущениями и управляющими воздействиями, завершаются до наступления максимума взаимного угла. Такой режим может оказаться предельным по условию динамической устойчивости, если его послеаварийные параметры отвечают выражению

$$0 \leq P_{т.э} \leq P_{г.э.m} \qquad (П4-7)$$

Отсюда по (П4-3) имеем

$$\delta_{э.кр} \leq 180^{0} \qquad (П4-8)$$

Применение снимающихся управляющих воздействий АУМСУ позволяет полагать, что устойчивость не исключена и после кратковременного выхода угла $\delta_э$ за свое критическое значение. Однако вследствие малой реальности такого управления можно принять, что при синхронных качаниях $\delta_э \leq \delta_{э.кр} \leq 180^{0}$

Переходя к двухмашинной схеме и углу δ кр необходимо проанализировать знак угла α_{12} (П4-4÷П4-6) и больше или меньше единицы коэффициент K_{j12} (при равенстве номинальных постоянных инерции генераторов он равен отношению их номинальных мощностей). Обычно $\Psi_{12} > 90$, а абсолютное значение угла α не превышает 20^{0}.

Поскольку в двухмашинной схеме возможно не только ускорение генератора с T_{j1} ($S_{12}>0$), но и его торможение ($S_{12}<0$), максимальное значение критического взаимного угла, которое может быть достигнуто при синхронных качаниях и за которым наступает АР, составляет:

при $K_{j12}<1$, если $S_{12}>0$, $\delta_{кр}$ от 160 до 180°,
если $S_{12}<0$, $\delta_{кр}$ от 200 до 180°,
при $K_{j12}>1$ если $S_{12}>0$, $\delta_{кр}$ от 180 до 200°,
если $S_{12}<0$, $\delta_{кр}$ от 180 до 160°.

При проектных расчетах параметров срабатывания устройств АЛАР, как правило, допустимо принимать указанные выше данные.

Не исключено, что в отдельных случаях требуется более точный расчет. Для определения максимального критического угла нужно в каждой из рассматриваемых схем провести расчет ряда электромеханических переходных процессов, граничных по устойчивости. От процесса к процессу нужно варьировать послеаварийную передаваемую мощность в окрестности нулевого значения. В качестве возмущения целесообразно использовать тяжелое КЗ, совсем или почти не приводящее к ослаблению связи, например КЗ на шинах без потери присоединений. За значение максимального критического угла принимается наибольший из максимумов взаимного угла в рассчитанных электромеханических процессах. Если вычислительное средство позволяет измерять скорость изменения взаимного скольжения S'_{12}, то для определения критического угла требуется меньше расчетов. Прохождение критического угла фиксируется в неустойчивом процессе в момент изменения знака S'_{12} в окрестности угла $\delta \cong 180°$.

Приложение 5

Особенности работы электромагнитного реле тока при асинхронном ходе

В статье Степунина С.Е. "Поведение максимальной токовой защиты при асинхронных режимах" ("Электричесво", № I0, I96Iг.) проводится анализ поведения реле тока типа ЭТ-520, которое при качаниях не успевает возвращаться - размыкать свой замыкающий контакт. Аналогичная ситуация наблюдается в резервном устройстве АЛАР - начиная с некоторого скольжения реле тока КА2 типа РТ-40 (РТ-I40) не успевает при возврате замкнуть свой размыкающий контакт.

Простейший анализ, при котором предполагается $I_{мин} = 0$, показывает, что условия для срабатывания грубого реле КАI более благоприятны, чем условия для возврата чувствительного реле КА2.

Пусть, например, разница между $I_{макс}$ и $I_{с.р.}$ составляет $0{,}I6\, I_{макс1}$, т.е. $K_ч = I{,}2$. Тогда (рис.5, лист I4) условия для срабатывания грубого реле существуют в течение прохождения диапазона углов $\Delta\delta \approx I20^0$, т.е. при $S = I0$ Гц в течение $\Delta t = 35$ мс, что достаточно для кратковременного срабатывания реле. Увеличение кратности увеличивает значение $\Delta\delta$ и делает более уверенным срабатывание реле.

Если же разница между $I_{в.р}$ и $I_{мин} = 0$ составляет ту же величину $0{,}I6\, I_{макс.1}$, то условия для возврата реле существуют в диапазоне $\Delta\delta = 40^0$, т.е. при $S = I0$ Гц в течение $\Delta t =$ = I2 мс. Этого времени явно недостаточно для возврата чувствительного реле.

Предположим, что для действия устройства требуется определенная продолжительность Δt_0 выполнения условия возврата реле (0,035с). Тогда скольжение отказа при асинхронном ходе с $I_{мин} = 0$ ориентировочно можно определить из:

$$\Delta t_0 \leq \frac{\Delta\delta}{360^\circ \cdot S_{отк}}, \qquad (П5\text{-}I)$$

где $\Delta\delta$ - интервал углов в градусах, в котором существуют условия возврата КА2 ($I_{в.р}$),

$$\frac{\Delta\delta \cdot \pi}{2 \cdot 180} \cong \sin\frac{\Delta\delta}{2},$$

77

$$\sin\frac{\Delta\delta}{2} = \frac{I_{в.р}}{I_{макс}} = \frac{K_в \cdot I_{ср}}{I_{макс}} = \frac{K_в}{K_ч}.$$

В результате подстановок

$$S_{отк} = \frac{K_в}{K_ч \cdot \pi \cdot \Delta t_о}, \qquad (П5\text{-}2)$$

то есть скольжение отказа обратно пропорционально коэффициенту чувствительности и необходимой продолжительности $\Delta t_о$. Поэтому при Кч большем ($I_{макс.2}$), $\Delta\delta$ и $S_{отк}$ менее.

При $I_{мин} \neq 0$ и той же величине разницы $I_{в.р}$ и $I_{мин}$ (0,16 $I_{макс.1}$) условия лучше ($\Delta\delta$ более и $S_{отк}$ выше). Если $K_н = \frac{I_{в.р}}{I_{мин}} >$, то $S_{отк}$ тоже выше, то есть в формуле (П5-2) в числителе должно присутствовать Кн.

На рис.4 листа I4 показаны мгновенные значения тока в зоне минимальных значений тока при асинхронном ходе с K_E – I,22, скольжении 5 Гц и сопротивлении передачи, не зависящим от частоты. Характер изменения тока существенно различен в зависимости от того, какую частоту имеет генератор с большим уровнем напряжения (Е), а электромагнитный момент реле пропорционален квадрату тока. В результате наблюдается различие в значениях скольжения отказа реле, что было отмечено во время испытаний реле тока на электронной модели энергосистемы. Так в нашем примере одно $\Delta t(\Delta\delta)$менее $\Delta t_о$, и устройство отказывает, а другое – более $\Delta t_о$ и устройство срабатывает.

Приложение 6

Принципиальные электрические схемы блок реле сопротивления типа БРЭ 2801 и реле мощности серии РСМ I3.

I. Блок реле сопротивления БРЭ 280I.

Блок реле сопротивления типа БРЭ 280I предназначен для использования в пусковых или измерительных дистанционных органах различных устройств и реагирует на величину комплексного сопротивления на входных зажимах. Основные технические данные блока приведены на листе 7, схемы внутренних соединений и таблицы использования и регулировок - на листе 6.

Блок БРЭ 280I состоит из четырех модулей, трех функциональных типа СI08 и четвертого, содержащего выходные цепи, типа РIIIO.

I.I. Измерительная часть реле сопротивления - модуль СI08.

Формирование сигналов пропорциональных междуфазному напряжению и разности фазных токов, обеспечивается промежуточными трансформаторами напряжения TVI и тока TAI.

Уставка KZ по сопротивлению срабатывания определяется из выражения

$$Z_y = \frac{Z_{умин} \cdot K_I}{K_u} = \frac{Z_{умин} \cdot K_I \cdot 100}{N \cdot K}, \qquad (П6\text{-}I)$$

где $Z_{умин}$ = 5(I) или 20(4) ом/фазу,

K_I = I, 0,5, 0,25 регулируется SB1, SB2 в цепях тока, подключая различную нагрузку на трансформатор тока TAI,

$K_u = \frac{N \cdot K}{100}$ — при N (переключатель XB2), изменяющем отпайку трансформатора напряжения TVI, и K (потенциометр R II), изменяющем величину напряжения, снимаемого со вторичной обмотки TVI, плавно от I до 0,4.

Напряжения, снимаемые со вторичных обмоток TAI, TV I, подаются на схему формирования сравниваемых синусоидальных величин, котор я выполнена на операционных усилителях DI и E2. На входе усилителей формируются напряжения вида:

$$U_{E1} = K_{11} \cdot U + K_{12} I = K_{11} I \ (Z - Z_1),$$

$$U_{E2} = K_{11} U + K_{22} I = K_{11} I \ (Z - Z_2), \qquad (П6\text{-}2)$$

где $Z_1 = -\frac{K_{12}}{K_{11}}$ и $Z_2 = -\frac{K_{22}}{K_{11}}$,

K_{11} - действительное число, реализованное с помощью резисторов R15, R18, R19 и датчика напряжения TVI,

K_{12} - комплексное число, реализуемое с помощью резисторов R13, R16, конденсатора CI и датчика тока TAI,

K_{22} - комплексное число, реализуемое с помощью резисторов R14, R17, конденсатора C2 и датчика тока TAI. Переключателем SB6 эта составляющая вводится или не вводится. $K_{22} = 0$ ($Z_2 = 0$), то есть SB6 отключен, при характеристике, проходящей через начало координат, $K_{22} \neq 0$ при характеристике, имеющей смещение.

В цепи обратной связи EI, E2 включены двойные Т-образные RC мосты и нелинейные цепи, улучшающие характеристики KZ.

Блоки E4, E5 обеспечивают усиление величин U_{E1}, U_{E2} и преобразуют их в прямоугольные импульсы. Далее эти импульсы сравниваются при помощи селектора, диодного моста V3, диодов VD3, VD4 и резисторов R44 ÷ R47 на входе дифференциально включенного усилителя E6. При несовпадении знаков мгновенных значений сравниваемых величин открыт один из диодов селектора положительных импульсов (нижние диоды V3) и один из диодов селектора отрицательных импульсов (верхние диоды). При этом через

резистор R45 и диод VД4, а также через резистор R44 и диод VД3 протекают токи и потенциал неинвентирующего входа превышает потенциал инвентирующего входа Е6, что обеспечивает положительный импульс напряжения на выходе. При совпадении знаков положительных значений сравниваемых величин под действием наибольшей из величин открыт диод VД4 и потенциал неинвентирующего входа - падение напряжения на VД4, а потенциал инвентирующего входа определяется фактически напряжением +I5В , что обеспечивает на выходе Е6 отрицательный импульс напряжения. То же самое происходит при двух отрицательных импульсах на выходах Е4, Е5 - на выходе Е6 отрицательный импульс, определяемый - I5В неинвентирующего входа.

Таким образом, на выходе формирователя импульсов напряжения имеются положительные и отрицательные импульсы напряжения, длительность которых пропорциональна времени несовпадения и времени совпадения по знаку сравниваемых величин. Реагирующий орган выполнен на основе интегратора Е7 и логического элемента ДI.I (блок РIIIО), имеющего порог срабатывания по входу около 7,5В. На входе интегратора включен балластный резистор R48, выпрямительный мост V4, стабилитрон VД5 для стабилизации импульсов (характеристик) при изменении напряжения питания, диоды VД6, VД7, токозадающие резисторы R49+R5I и конденсатор СI7 для повышения помехоустойчивости. В цепи обратной связи усилителя включена интегрирующая емкость СI6.

В нормальном режиме $Z \gg Z_1 (Z_2)$ и напряжения U_{E1}, U_{E2} совпадают по фазе (угол α между ними близок к нулю), то есть на выходе Е6 присутствует отрицательное напряжение. При этом на выходе разъединительного диода VД6 выделяется отрицательное напряжение, а через резистор R49 протекает ток разряда емкости интегратора СI6, который в установившемся режиме равен току, протекающему через диод VД8, и напряжение на выходе Е7 примерно равно нулю.

При асинхронном ходе Z уменьшается и между U_{E1} и U_{E2} появляется зона несовпадения (угол α'' на листе 7), которой соответствуют положительные импульсы на выходе Е6. При этом на

выходе разделительного диода VД7 выделяется положительное напряжение , а через резистор R52 протекает ток заряда емкости С16 и напряжение на выходе усилителя Е7 относительно точки "0" питания становится отрицательным, нарастающим по линейному закону (интегрируется).

При чередовании зон совпадения и несовпадения С16 заряжается и разряжается, на границе характеристики срабатывания $\alpha_{срабс.} = 90^0$ при круговой характеристике зона несовпадения в периоде сигналов U_{E1} , U_{E2} токова, что С16 не успевает разряжаться и напряжение на выходе Е7 вырастает до значения равного минус 7,5В - порога срабатывания логического элемента Д1. Д1 переключается и через транзистор VТ1 обеспечивается срабатывание выходного реле - повторителя KL .

Переход на эллиптическую характеристику срабатывания (это дуги окружности большего радиуса, проходящей через точки Z_1 и Z_2), то есть срабатывание при угле между векторами $(Z-Z_1)$ и $(Z-Z_2)$ более 90^0 осуществляется уменьшение токозадающего резистора (R50, R51). Реле имеет максимальную чувствительность для α , расположенных по $У_{мч}(\alpha - 180^0)$ - сигналы U_{E1} и U_{E2} несовпадают. Реле сопротивления могут использоваться без смещения ($Z_2 = 0$), со смещением в III квадрант на 6,12, 20,100% и в I квадрант на 5-20%. При отсутствии смещения вводить поляризацию, обеспечивающую действие устройств релейной защиты при коротких замыканиях в начале координат, в устройстве АПАР не нужно, так как использование памяти, неэффективно, а введение коррекции от U_{E1} на U_{E2} (R38, R42, VД1, VД2) лишь увеличивает мертвую зону для годографов, проходящих вблизи начала координат, искажает характеристики срабатывания и повышает время срабатывания реле сопротивления (проверено экспериментально).

I.2. Модуль выходных реле РIIIO.

Схема модуля выходных реле приведена на листе 6, модуль содержит логические элементы Д1.1, Д1.2, Д1.3, входы которых подключаются к выходам интеграторов в модулях реле сопротивления KZ1, KZ2, KZ3. Логические элементы через транзисторы VТ1, VТ2, VТ3 управляют выходными реле KL1, KL2, KL3. По паре

переключающих контактов этих реле выведены на клеммник блока БРЭ 2801 для использования во внешних цепях.

КЛ.1+КЛ.3 включаются на $U_{пит.}$= 110В, резистор $R10$ и варистор $R11$ защищают схему от перенапряжений любого знака. При питании от U= 220В вводится сопротивление $R1$. Стабилитроны VД9 и VД10 обеспечивают напряжение питания ±15 схемы управления КЛ и схем модулей типа СП08, для чего используется резистор $R2$ ($U_{пит}$= 110В) и резисторы $R1$, $R2$ ($U_{пит.}$= 220В). $R1$, $R2$ для улучшения температурного режима вынесены в кассету блока БРЭ 2801. Светодиод VД7 обеспечивает сигнализацию срабатывания реле сопротивления (одного из трех).

2. Максимальное реле активной мощности серии РСМ-13.

Применяемое в схеме АЛАР реле статическое мощности серии РСМ 13 реагирует на увеличение величины и направление активной мощности, подводимой к его зажимам. Оно выполнено на электронных (статических) элементах и имеет повышенную устойчивость к механическим воздействиям.

Основные технические параметры и схема электрическая принципиальная приведены на листе 6. Напряжение U_1 переменное 100В или 100/$\sqrt{3}$В от трансформатора напряжения подается на клеммы реле 13, 15 переменный ток I_1 от трансформатора тока – на клеммы 10,12 и постоянное напряжение питания ± 220В на клеммы 19, 21.

Реле реагирует на среднее значение мощности и выполнено на принципе ШИМ-АМ. ШИМ – широтноимпульсный модулятор, реализован на операционном усилителе ДА2, включенном по схеме одновходового компаратора на напряжение, пропорциональное входному току I_1 и снимаемое с резистора $R3$. На тот же вход подается сигнал с выхода генератора импульса ГИ . Подстроечным резистором $R6$ регулируется глубина модуляции ШИМ (то есть $P_{ср}$).

Генератор пилообразного напряжения выполнен на операционных усилителях ДА4, ДА6, резисторах $R14$÷$R20$, R~3, $R29$, конденсаторе С12, стабилитроне VД5 и имеет частоту импульсов ~3000Гц.

До тех пор пока мгновенное значение напряжения пропорциональное входному току превышает по величине сигнал от ГИ,

выходной сигнал ДА2 неизменен и определяется полярностью сигнала с $R3$. В момент равенства (по модулю) сигнала ГИ и сигнала с $R3$, но противоположности их знаков, происходит скачкообразное изменение полярности выходного сигнала ДА2. Таким образом длительность той полярности выхода ДА2, которая отслеживает сигнал с $R3$ (ток) пропорциональна величине снимаемого $R3$ напряжения (тока).

Напряжение с выхода TVI цепей переменного напряжения, реле пропорциональное $\dot{U}_1$ поступает на вход фазовращающей схемы, выполненной на операционном усилителе ДА1, резисторах $R2$, $R4$, $R5$, $R6$, конденсаторах С3, С4. Диоды VД3, VД4 - защищают вход ДА1 при отсутствии напряжения питания, резистор $R2$ позволяет регулировать угол максимальной чувствительности в диапазоне $\pm$ I0°.

Для реле реактивной мощности вращательная схема выполнена так (рис.I), что обеспечивает угол максимальной чувствительности +90°.

АМ - амплитудный модулятор выполнен на ключах, состоящих из транзисторов VTI, VT2, резисторов R10, R12 и R13, конденсатора С5 и инверсного усилителя ДА3. Таким образом при положительном значении выхода ДА1 ($U_{вых}$) через открытый триод VTI идет сигнал пропорциональный величине $U_{вых}$ и длительности положительных импульсов выхода ДА2, а через триод VT2 (после инвертирования на ДА3) сигнал, определяемый отрицательным значением $U_{вых}$ и отрицательным выходом ШИМ. При совпадении по фазе сигналов $\dot{U}_1$ и $\dot{I}_1$ импульсы составляют большую часть периода $U_{вых}$ АМ, если $\dot{U}_1$ и $\dot{I}_1$ в противофазе - в выходном сигнале больше пауз. Среднее значение выходного напряжения блоков преобразования мощности (ШИМ - АМ) за период промышленной частоты

$$U_{вых.полн.} = \frac{T_г}{T} \sum_{\frac{n}{2}=1}^{T/T_г} U_{ср.T_г} = \qquad \text{(П6-3)}$$

$$= K_{пер.} \frac{T_г}{T} \int_{\frac{n}{2}=1}^{T/T_г} [\cos\varphi - \cos(2\omega \frac{n}{2} T_г + \varphi)] d\frac{n}{2} =$$

$$= K_{пер.} \frac{T_г}{T} \left\{ \left(\frac{T}{T_г} - 1\right) \cos\varphi - \frac{T}{4\pi \cdot T_г} [\sin(2\omega T + \varphi) - \sin(2\omega T_г + \varphi)] \right\}.$$

где T - период промышленной частоты,

T_r - период частоты ГИ ,

n - моменты переключений ШИМ (~через период T_r)

$K_{пер.} = \frac{K_u \cdot K_i}{I_{rm} \cdot 2} \cdot U_{ms} \cdot I_{ms}$ - коэффициент передачи,

$U_{ср.T_r}$ - среднее значение выходного напряжения АМ за период T_r ,

$U_{ms}; I_{ms}$ - максимальные значения , подводимых к реле напряжения и тока,

K_u , K_i - внутренний коэффициент передачи по цепям напряжения и тока,

I_{rm} - амплитудное значение тока ГИ .

ФНЧ, фильтр низкой частоты, представляет собой активный фильтр с многоконтурной обратной связью и состоит из операционного усилителя ДА5, резисторов R 22, R 24, R 26, конденсаторов С7, С9. R 32 компенсирует небаланс по постоянной составляющей канала преобразования ШИМ-АМ. Выходной сигнал ФНЧ состоит из постоянной и переменной составляющих, причем соотношение между ними зависит от угла сдвига между током и напряжением, подводимыми к реле. Параметры ФНЧ выбраны такими, что собственный переходный процесс носит апериодический характер.

Реагирующий орган выполнен как последовательное включение одновходового компаратора, интегратора и порогового элемента, - выходного мощного каскада усиления с реле КІ.

Компаратор выполнен на ОУ ДА7, резисторах R 21, R 25, R 30 R 31, R 33÷ R 37. Чувствительность компаратора, определяющая уставку реле, ступенчато изменяется с помощью переключателей $SB1 \div SB6$. Интегратор состоит из ОУ ДА6, резистора R 36 и конденсатора С14. Полярность выходного напряжения интегратора зависит от соотношения длительностей импульсов и пауз выходного сигнала компаратора. Изменение полярности происходит при

их равенстве, что соответствует реагированию только на постоянную составляющую выходного сигнала ФНЧ . При этом срабатывает пороговый элемент , который состоит из транзистора VT3, резисторов R39, R41, диода VДI0, стабилитрона VД7 и выходного реле КI. Необходимый коэффициент возврата реле обеспечивается специальной цепочкой, состоящей из диода VДI2 и резистора R42, с помощью которой изменяется уровень переключения компаратора после срабатывания порогового элемента.

Питание реле мощности осуществляется от параметрического стабилизатора напряжения на стабилитронах VД8, VД9, резисторах R40, R45, конденсаторах CI5, CI6.

Резисторы R43, R46 ограничивают уровень напряжения на VT3 и уровень тока через обмотку, они также как и R4C, R 15 устанавливаются снаружи реле.

Диоды VДII, VДI3 варистор RVI и конденсатор CI7 защищают элементы схемы от перенапряжении и помех. Для исключения ложной работы реле при подаче и перерывах напряжения питания предусмотрена цепь, состоящая из резистора R27, R28, диода VД6 и конденсатора CIO. При подаче питания идет процесс заряда конденсатора CIO, напряжение близкое к напряжению питания отрицательной полярности подается на вход 2 ДА5 и выходное реле не работает. После заряда конденсатора C10 напряжение на катоде диода VД6 становится положительным и он закрывается, исключая влияние этой цепи на работу ФНЧ .

Приложение 7

Пример расчета устройств АЛАР

В качестве примера дан расчет основного, резервного и дополнительного устройств АЛАР, установленных на ВЛ I0-7 (лист I5).

Исходные данные в рассматриваемом примере (параметры узлов энергосистемы, рабочие и предельные мощности по линиям электропередачи), необходимые для расчета параметров срабатывания устройств АЛАР и приведенные на листах I6 и I7, приняты условно. Также условны положение и вид годографов сопротивления и годографов мощности в различных сечениях синхронного хода, листы I5,I7.

Основное устройство АЛАР

В основном устройстве, установленном на ПСI0, предполагается использование I и II ступеней, включение контактов реле сопротивления блока БРЭ 280I выполняется по варианту 4б (лист 5).

Пример расчета основного устройства АЛАР дан на листах I6, I7.

I. Устройство должно срабатывать при АР по сечениям УI, УШ и быть отстроенным от ближайших внешних АР (по сечениям У, УП). Схемы, принятые за расчетные и обеспечивающие предельное положение ЭЦК, даны в таблице листа I5, другие схемы могут рассматриваться дополнительно. В частности для определения $T_{доп.(макс)}$ может потребоваться расчетная схема с максимальным составом оборудования и минимальным $P_{прод.}$, дающая наибольшее $T_э$.

Исходными данными при выборе характеристик пусковых органов являются годографы $Z_р$ и $S_р = Y(\delta)$, аналоги полученных для каждой схемы расчетом на ЭВМ по программе типа "АЛАР". Эти годографы в первичных значениях сопротивлений и мощностей даны на рис.2 листа I5 и на листе I7. Точки равных углов δ годографов $Z_р$ и $S_р$ одной схемы находятся на линии, проходящей через начало координат с углом $\varphi = arctg\frac{x}{r} = arctg\frac{Q}{P}$.

2. Поскольку АКЗ используется в I ступени устройства, расчет $\Delta Z_{эк}$ и $\Delta Z_{ец}$ (они же KZ_r и $KZ_ц$) производится с учетом этого факта.

В соответствии с методикой для определения $\varphi_{1:ч}$ $AZ_{эцк}$ оцениваются $\varphi^{ср}_{р\,мин}$ всех расчетных схем (раздел IУ.I.2) Его значение близко к 80°, однако по условию использования $AZ_{эцк}$ в функции $KZ_г$ угол максимальной чувствительности принят равным 65° ($\delta_{кр}$ = I60°+I80° при k_{j12}<I, S_{12} > 0).

Желательная характеристика $AZ_{эцк}$ отстраивается от годографов внешних АР и выполняется двумя характеристиками срабатывания в виде окружностей с попротивлениями срабатывания $Z^{I}_{ср1}$ = 80 Ом и $Z^{I}_{ср2}$ = 200 Ом, имеющими смещение соответственно в Ш и I квадрант на 20%. Однако, для увеличения значения скольжения отказа в $AZ_{п.ц}$ характеристика $AZ_{эцк}$ в I квадранте выполняется меньшей уставки ($Z^{I}_{ср1}$ = 60 Ом). От максимального рабочего режима характеристики отстроены с запасом.

Производится проверки коэффициента чувствительности и скольжения отказа в рассматриваемых схемах АР по контролируемой Вл.

Получены удовлетворительные результаты, которые приведены в таблице 2, лист I6. Кч = I0/I0 для схемы 2 АР по сечению УШ допустимы, так как смещение годографа в любую сторону приводит к увеличению значения Кч в одной из двух характеристик срабатывания.

3. В качестве характеристики $AZ_{с.ц}$ принимается характеристика $AZ_{эцк}$ с сопротивлением срабатывания $Z^{I}_{ср2}$ = 200 Ом (в Ш квадранте) и характеристика, отстроенная от максимального рабочего режима ($Z_{н\,мин}$) с сопротивлением срабатывания $Z^{I}_{ср3}$ = = I62 Ом (раздел IУ.I.3.) (в I квадранте). Результаты проверки характеристики $AZ_{с.ц}$ сведены в таблице 3. Поскольку П ступень устройств фиксирует 2 цикла, работоспособность его обеспечивается, скольжение отказа более ожидаемого.

4. При расчета $AZ_{п.ц}$ уточнялась характеристика $AZ_{эцк}$ ($KZ_г$), о чем сказано выше. Проверка работоспособности (раздел IУ.I.4) представлена в таблице 4 лист I7. Полученное значение скольжения отказа на первом цикле говорит о том, что устройство работоспособно при исходной передаваемой мощности не превышающей 50% от максимальной ($P_{пер}$).

Рассматривался вариант применения $AZ_{эцк}$($KZ_г$) с эллиптической характеристикой, однако он не дал лучших результатов,

10388ТМ-т1

поскольку увеличение интервала углов $\Delta\delta_{п.ц}$ (~20%) не компенсирует увеличение времени срабатывания реле КТ1, необходимое при этом для отстройки от КЗ(~30%).

Вариантно рассматривалось выполнение $\Delta Z_{с.ц}$ (оно же $KZ_ч$) в виде реле сопротивления, имеющего характеристику срабатывания с центром в начале координат, а $\Delta Z_{зщк}$ (оно же $KZ_г$) в виде двух направленных реле сопротивления. Эти характеристики даны пунктиром. Такая настройка может быть оптимальной при необходимости фиксации I цикла асинхронного хода в сечении УШ схема I. При этом соответственно должно быть изменено включение контактов реле сопротивления блока БРЭ 2801.

В нашем конкретном случае АР в этой схеме (ЭЩК в генераторах С6) не может быть опасен, потому не требует I ступени и предпочтительнее принятая выше настройка АК2 I.

5. Желательные характеристики срабатывания реле KWI для двух схем, в которых которых работает $\Delta Z_{п.ц}$, проходят через точки характеристики, соответствующие $\delta_{кр}$ и середине интервала углов зоны возврата $\Delta Z_{с.ц}$ (на рисунке показаны пунктирными прямыми). Поскольку в третьей схеме $\Delta Z_{п.ц}$ не работает, характеристика KWI, желательная для этой схемы, проведена через точки середин интервалов углов зоны срабатывания и зоны возврата $\Delta Z_{с.ц}$.

Принята характеристика срабатывания KWI, полученная графическим путем (раздел IУ.I.5). Характеристика, полученная методом аналитического усреднения желательных характеристик, дала менее приемлемые результаты. Параметры характеристики срабатывания приведены в таблице 5.

Выбранная настройка устройства в целом удовлетворительна как по коэффициентам чувствительности, так и по скольжениям отказа.

6. Временные параметры устройства (раздел IУ.I.6).

На КТ1 установлено 0,I5 с, уставка КТ2 выбирается равной 2,3с (Кн × $T_{доп.}$).

Ресинхронизация не используется (КТ3, КТ4 выведены). На КТ5 для отстройки от синхронных качаний время 40÷50 с.

1038744

Резервное устройство АЛАР

Резервное устройство АЛАР устанавливается на ПС 7 ВЛ 10-7. Ход расчета в соответствии с приведенными в разделе IУ.2 рекомендациями приводится ниже, результаты даны в таблице 7.

I. Определяются параметры устройства

$$I_{в.у} = K_н \times (I_{мин})_{макс.} = 1{,}53 \text{ кА},$$

где $K_н$ = 1,3 - коэффициент надежности,

$$(I_{мин})_{макс.} = 0{,}1 \times 2{,}8 + 0{,}9 \times 1{,}0 = 1{,}18 \text{ кА};$$

$$I_{су} = \frac{I_{в.у}}{K_{в.р}} = \frac{1{,}53}{0{,}85} = 1{,}8 \text{ кА};$$

$K_{отстр}$ = I , то есть используется одно реле тока;

$$K_{ч.у} = \frac{(I_{макс})_{мин}}{I_{с.у}} = \frac{2{,}2}{1{,}8} = 1{,}22 .$$

2. Проверяется скольжение отказа устройства во всех трех расчетных схемах. Минимальная величина скольжения отказа 10 Гц, что намного выше ожидаемого при установившемся АР в сечениях УI и УIII (таблица I).

3. Время срабатывания реле времени КТ1 и КТ2.

$$t = K_н \times T_{доп.} = 2{,}3 \text{ с}$$

Время срабатывания выходных реле времени КТ3, КТ4:

а) отстройка от основного устройства АЛАР

$$t_{c1} \geq t_{осн} + \Delta t = 4{,}6 + 2{,}3 \cong 7 \text{с};$$

б) отстройка от качаний после неуспешного ТАПВ

$$t_{c2} \geq 2{,}3 + 0{,}5 + 18{,}4 = 21{,}2 \text{ с},$$

где $t_{кач.} = 10 \times 2{,}04 \left(1 - \frac{1-0{,}85}{1{,}56}\right) = 18{,}4$ с;

в) согласование с устройствами смежных ВЛ в нашем примере не уточняется.

Выбираем уставку по времени КТ3-21с.

Время срабатывания реле времени контроля исправности КТ5

$$t_{КТ5} = 6 \times 2{,}3 = 13{,}8 \text{ с},$$

принимается уставка по времени 14с

10388ТМ-Т1

Дополнительное устройство АЛАР используется в обоих устройствах - основном и резервном.

Реле тока выбирается по расчетным токам $I_{ср} = 3I_0$ в схеме, дающей минимальное значение тока, с $K_ч = 2$. При этом полагаем, что $I_{кз}^{(3)} = 0{,}05 \times (8 \div 10)$кА $\cong$ 0,5 кА.

Время срабатывания реле времени КТ6-0,3с.

Время возврата реле КЛ 8 совместно с реле КЛ 7 на ПС 7 и реле КЛ 28 совместно с реле КЛ 27 на ПСI0-0,2с.

ПЕРЕЧЕНЬ ЛИТЕРАТУРЫ

I. Панели устройств автоматического прекращения асинхронного хода. Типовые решения № 407-0-136. Инв. № 5488тм-ал.I,2. "Энергосетьпроект", 1974г.

2. Рекомендации по разработке схем размещения и взаимодействия типовых устройств АПАХ и расчету этих устройств. Инв. № 8726тм-тI,2. "Энергосетьпроект", 1982г.

3. Программа расчета электрических величин, используемых при проектировании АЛАР. Усовершенствованный вариант (инструкция). Инв. № II674тм-тI. "Энергосетьпроект" 1985г.

4. Методические указания по сопряжению, устройств ПА... к угла между напряжениями по концам межсистемной связи.

Методические указания по применению реле сопротивления БРЭ 2801 и реле мощности РСМ 13 в типовой схеме основного устройства АЛАР.

Инв. № 12167тм-т2 "Энергосетьпроект", 1989г.

5. Гоник Я.Е., Иглицкий Е.С. Автоматика ликвидации асинхронного хода. Москва "Энергоатомиздат", 1988г.

6. Хачатуров А.А. Несинхронные включения и ресинхронизация в энергосистемах. Москва "Энергия", 1977г.

7. Бринкис К.А. Современные устройства на основе изменения угла. Сборник научных трудов Рижского политехнического института. Рига. Изд. РПИ, 1984г.

8. Гоник Я.Е. Некоторые особенности функционирования типовых устройств АЛАР. Электрические станции 1988 г. № 2.

9. Беркович М.А., Гладышев В.А., Семенов В.А. Автоматика энергосистем. Москва, "Энергоатомиздат", 1985г., стр. 189-201.

gost.e-ecolog.ru