

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО
ПРЕКРАЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ХОДА

Альбом I

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 пояснительные
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.1. 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
П.1. Основное устройство автоматической ликвидации асинхронного режима	11
П.1.1. Фиксация асинхронного режима (АР) по скорости изменения сопротивления (I ступень)	11
П.1.2. Фиксация циклов асинхронного хода (II и III ступени)	12
П.1.3. Варианты использования реле сопротивления блока БРЭ-2801	18
П.2. Резервное устройство автоматической ликвидации асинхронного режима	19
III.3. Дополнительное устройство АЛАР	21
III. Размещение и координация действия устройств АЛАР	24
IV. Расчет параметров срабатывания	31
IV.1. Основное устройство автоматической ликвидации асинхронного режима	31
IV.1.1. Объем расчета и подготовка исходных данных .	31
IV.1.2. Расчет реле сопротивления AZ_{34K}	34
IV.1.3. Расчет реле сопротивления AZ_{c4}	39
IV.1.4. Расчет реле сопротивления AZ_{h4}	42
IV.1.5. Расчет реле мощности KW_1	44
IV.1.6. Расчет выдержек времени	47
IV.2. Резервное устройство автоматической ликвидации асинхронного режима	49
IV.2.1. 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.1. Основное устройство автоматической ликвидации асинхронного режима	56
У.2. Резервное устройство АЛАР	61
У.3. Проверка промежуточных реле типов РП16+РП18 . . .	62
Приложение 1. Определение коэффициента чувствительности реле сопротивления и устройстве АЛАР	64
Приложение 2. Скольжение отказа основного устройства АЛАР	67
Приложение 3. Взаимное скольжение, до которого рекомен- дуеться 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 2801 и реле мощности серии РСН13	78
Приложение 7. Пример расчета устройств АЛАР	86
Перечень литературы	91

ВВЕДЕНИЕ

Работа выполнена по плану типового проектирования Госстроя на 1988 г. поз. Т3.1.24.26 и заменяет типовые решения 407-0-136 "Панели устройств автоматического прекращения асинхронного хода", 1974 г. (инв. № 5488тм-Т1, т2) /I/.

Данные типовые материалы для проектирования "Принципиальные схемы устройств автоматического прекращения асинхронного хода" состоят из "Пояснительной записи" (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 АЛАХ. 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,
- рекомендаций 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 $U_{ном} = 110\text{В}$).

Принципиальные схемы выполнены с использованием новой релейной аппаратуры, серийно выпускаемой заводами Минэлектротехпрома в конструкциях "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 (ЗИПФ) 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 І 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% выявления АР и по возможности селективная ликвидация его с тем, чтобы избежать многомашинного асинхронного хода и полного раз渲ала 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 асинхронных 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 (I ступень - счетчик циклов асинхронного хода), двухступенчатое (I ступень - по скорости изменения сопротивления $\frac{dx}{dt}$ на I-ом цикле асинхронного хода и II ступень) и трехступенчатое (I ступень - II ступень, III ступень - 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 технологий 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 началась 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 критический угол фиксируется II ступенью устройства с помощью промежуточного реле КЛ8, 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: "AP с ускорением" или "AP с торможением". Если устройство включено в соответствии с примечанием 2 на листе 3, сигнал "AP 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 AP - с малым скольжением. При большом скольжении выявление AP должно обеспечиваться II ступенью устройства.

Вторая ступень устройства предназначена для выявления AP 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 управляет реле сопротивления из блока БРЭ 2801 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 2801. 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: "AP с ускорением" или "AP 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 II 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 продолжения 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 предназначеннной для работы при недоотключении фаз выключателя, действует с выдержкой времени, необходимой для отстройки от защиты непереключения фазы, на пуск высокочастотного сигнала телеразъединения линии с противоположного конца. В отличии от защиты от неполнофазного режима дополнительное устройство осуществляет запоминание факта срабатывания реле тока, включенного на $3I_o$, 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 $3I_o$, и

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

- на приемном конце по факту наличия тока $3I_o$ с той же памятью разрешают прохождение команды телеразъединения 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 ($3I_o$).

II. ОПИСАНИЕ СХЕМ

П.1. Основное устройство автоматической ликвидации асинхронного режима

Принципиальная схема трехступенчатого основного устройства АЛАР представлена 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 II-ую 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.1.3 и лист 5), даны условные обозначения в соответствии с их функциональным назначением. Группы контактов реле сопротивления обозначены: орган сопротивления первого цикла - AZ_{n_1} , орган сопротивления счетчика циклов - AZ_{c_1} , орган сопротивления, фиксирующий ЧК, - AZ_{f_1} .

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 13, размыкающий контакт которого снимает +220В схемы питания блок реле БРЭ 2801, а замыкающий - сигнализирует через указательное реле КНП неисправность цепей переменного напряжения.

П.1.1. Фиксация АР по скорости изменения сопротивления (I ступень)

При асинхронном ходе годограф сопротивления на зажимах реле сопротивления (рис. 5, лист 4) последовательно входит сигнала в область срабатывания чувствительного реле сопротивления (KL_4) и затем грубого реле сопротивления (KL_r). При сраба-

тывании KZ_4 , пускается реле времени КТ1 и через заданное время ($t \geq 0,15$ с) срабатывает. После срабатывания KZ_r , реле КТ1 удерживается через свой контакт КТ1.И. Срабатывание реле КЛ8, фиксирующего 0,5 цикла асинхронного хода, собирает цепь на выходное реле (I ступени) КЛ2. Последнее срабатывает на некоторое время и затем возвращается. В зависимости от знака скольжения (реле КЛ4 или КЛ6) в группе выходных реле срабатывают реле КЛ29 или КЛ30 и выполняется соответствующее противоаварийное мероприятие. Если фиксация знака скольжения не нужна, то переставляются перемычки в цепи катушек реле КЛ29 и КЛ30 (таблица лист 10). Блокировка при слишком несимметричном КЗ осуществляется с помощью фильтрового реле напряжения обратной последовательности (АКВ1), при его срабатывании снимается +220 В с цепи выходного реле I ступени (КЛ2).

Если время между последовательным срабатыванием KZ_d и KZ_r менее расчетного (признак короткого замыкания), то КТ1 не успевает сработать.

Длительность выходного сигнала I ступени $t_{\text{дл}} > 0,3$ с, ее действие однократно, повторная готовность к действию наступает через 1+2 мин. Эти параметры (см. лист 9, таблица) обеспечиваются

RC - контуром (С1, К1) и наличием цепи самоудерживания выходного реле КЛ2.

П.1.2. Фиксация циклов асинхронного хода (II и III ступени)

Пусковые цепи этой части устройства включают в себя орган сопротивления счетчика циклов AZ_{c4} , реле активной или реактивной мощности "WI", настраиваемое путем изменения его угла максимальной чувствительности и мощности срабатывания, и промежуточные реле КЛ3 + КЛ7. Пусковые цепи осуществляют фиксацию половины цикла асинхронного хода по срабатыванию или возврату КВ1 при замкнутом контакте AZ_{c4} и фиксацию окончания цикла асинхронного хода по возврату AZ_{c4} .

Действие пусковых цепей фиксируется промежуточными реле КЛ8+КЛ16. Устройство выполнено на контроль максимум 4-х циклов асинхронного хода.

Промежуточным реле КЛ 19 фиксируется срабатывание органа сопротивления $AZ_{эиц}$, означающее, что электрический центр качаний находится в контролируемом сечении. Реле КЛ 17, КЛ 18 фиксируют знак скольжения.

Последовательность работы элементов схемы и таблица и - пользования перемычек и переключателей показаны на листе 10.

Работа схемы, например, при ускорении генераторов станции расположенных за "спиной" устройства, чему соответствует опережение вектором Е, вектора E_2 (на рис. I листа 10) происходит следующим образом.

В предварительном режиме замкнут контакт KW 1.1. При возникновении AP, сопровождающегося увеличением угла между ЭДС от правного и приемного концов электроперехода и снижением сопротивления на зажимах реле сопротивления, срабатывает $AZ_{эиц}$ затем реле КЛ 3, КЛ 4, которые самоудерживаются через контакт КЛ 3.1. При прохождении угла δ через $\sim 180^\circ$ направление контролируемой мощности изменяется на обратное, размыкается контакт KW 1.1 и замыкается KW 1.2, вызывая срабатывание реле КЛ 7 и КЛ 8 (фиксация 0,5 цикла).

При дальнейшем увеличении угла δ и приближении его к $\sim 300^\circ$ реле сопротивление $AZ_{эиц}$ возвращается; возвращаются реле КЛ 3, КЛ 4, КЛ 7. Замыкание контактов КЛ 7.2 и КЛ 3.4 приводит к срабатыванию реле фиксации I-го цикла асинхронного хода КЛ 9 через контакт КЛ 8.1, которое самоудерживается и шунтирует катушку реле КЛ 8, исключая его работу в последующих циклах асинхронного хода.

Реле КЛ 8 (а также реле КЛ 10, 12, 14), фиксирующие полуколы асинхронного хода, выполнено с выдержкой времени на возврат ($\sim 0,04$ с), обеспечивающей прохождение импульса на срабатывание и само срабатывание реле фиксации целого цикла асинхронного хода КЛ 9 (КЛ 11, 13, 15). Выдержка времени обеспечивается шунтировкой катушки реле диодом типа КД205.

При последующих циклах асинхронного хода действует всех указанных реле происходит аналогично описанному выше. При этом в конце 2-го цикла срабатывает и самоудерживается реле КЛ 11, в конце 3-го цикла - КЛ 13, в конце 4-го цикла - КЛ 15. Разбор схемы подхвата осуществляет реле КЛ 25 (смотри далее).

После фиксации 3-х циклов подготавливается цепь (KL 13.2) на срабатывание реле фиксации ЭЦК - KL 19, которое срабатывает при сработанном $AZ_{зук}$ и самоудерживается в 4-м цикле асинхронного хода. Одновременно, после фиксации 3-го цикла, подготавливается цепь фиксации знака скольжения: срабатывание реле KL 4 в начале 4-го цикла приводит к срабатыванию и самоудерживанию реле фиксации ускорения генераторов KL 17. 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 KL 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 KL 15, KL 17 и KL 19 обуславливает замыкание выходной цепи "AP с ускорением, II ступень", срабатывание выходного реле KL 29 и выполнение соответствующего противоаварийного мероприятия. Одновременно контактом KL 15.2 осуществляется пуск узла дополнительной выдержки времени (KT3, KL 24, KT4).

Работа схемы при торможении генераторов станции, расположенных за "спиной" устройства (этому соответствует отставание вектора \dot{E} , от вектора E_2 по рис. I листа 10), происходит аналогичным образом, но, поскольку сначала замкнут контакт KW1.2, срабатывают соответственно реле KL 5, KL 6 и KL 18 вместо KL 3, KL 4 и KL 17. Срабатывание KL 15, KL 18 и KL 19 обуславливает замыкание выходной цепи "AP с торможением, II ступень"; срабатывание выходного реле KL 30 и выполнение соответствующего противоаварийного мероприятия. В случае необходимости знак скольжения и срабатывание $AZ_{зук}$ можно не фиксировать.

После срабатывания KL 15 происходит срабатывание цепей возврата устройства - реле KL 23, имеющего выдержку времени (~0,25 с) на срабатывание (чтобы обеспечить надежное прохождение выходного импульса), и через контакт KL 23.1 реле KL 25,

имеющего выдержку времени ($1,5 \pm 2,0$ 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 КЛ 23 обтекается током. При использовании III ступени (установлена перемычка 20-21), это время определяется выдержкой времени реле, подрывающего цепь удерживания реле КЛ 23, через контакт КЛ 24.1. Возвращаясь, реле КЛ 23 и КЛ 25 подают питание "+220В" на схему счетчика циклов, чем приводят схему в состояние готовности к повторному счету циклов асинхронного хода. Одновременно реле времени КТЗ своими контактами КТЗ.3, КТЗ.4, производит перестройку цепей катушек КЛ 15, КЛ 16. 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 КЛ 16, выполняя с контролем ЭЦК (КЛ 19.4) или без него, III ступень противоаварийных мероприятий через выходное реле КЛ 31 (отключение электроподачи).

Возврат устройства после срабатывания реле КЛ 16 осуществляется, аналогично предыдущему случаю, с помощью реле КЛ 23, КЛ 25, срабатывающих от контакта КЛ 16.2. Поскольку реле КЛ 25 типа РП18-7 только три размыкающих контакта, в цепь "+220В" сборки реле КЛ 8+КЛ14 включен контакт КЛ 23.2. Возврат узла дополнительной выдержки времени произойдет после доработки реле КТ4, шунтирующего своим контактом с выдержкой времени КТ4.1 катушку реле КЛ 24.

При возникновении несимметричного короткого замыкания, обуславливающего появление напряжения обратной последовательности, срабатывает фильтр-реле АКВ1 и своим замыкающим контактом АКВ1.1 подает "+220В" на катушку реле КЛ 25, блокируя тем самым устройство на время существования напряжения обратной последовательности. Для обеспечения необходимой чувствительности уставки АКВ1 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 КТ2.1 реле КЛ25.

В типовой работе, в отличие от 407-0-136, контроль периода осуществляется по срабатыванию реле, фиксирующих целое количество циклов (КЛ9, КЛ11, КЛ13). При срабатывании реле КЛ9 (1 цикл) запускается реле времени КТ2 контроля периода асинхронного хода и отсчитывается время 2-го цикла. Срабатывание реле КЛ11 (окончание 2 цикла) вызывает импульсное срабатывание реле КЛ20, которое размыкает свой контакт в цепи реле КТ2 и сбрасывает набранное время. Через время t_u цепь на срабатывание реле КТ2 через контакты реле КЛ9 (1 цикл) и КЛ11 (2 цикл) восстанавливается и начинается отсчет времени 3 цикла, которых кончается срабатыванием реле КЛ13. Если срабатывания реле, фиксирующие окончание цикла, не произошло (случайное срабатывание одного из реле) или произошло через большое время, реле КТ2 замыкает свой временной контакт в цепи обмотки реле КЛ25, которое снимает "+220В" со схемы счетчиков циклов и схемы контроля периода асинхронного хода. При этом реле КЛ9, КЛ11, КЛ13, фиксирующие целый цикл асинхронного хода, и реле КТ2 отпадают, после чего реле КЛ25 возвращается и питание "+220В" восстанавливается. Данная схема позволяет выявить любые ложные фиксации циклов (1,2,3) 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 ЭЛК и без него (см. листы 2,3,10).

Для контроля за общим количеством пусков устройства предусмотрен электромагнитный счетчик импульсов ВС1.

Для фиксации длительного срабатывания чувствительного реле КZ₄ и пускового органа счетчика циклов АZ_{с.ц.}, а также для фиксации возможных неисправностей схемы контроля периода асинхронного хода (реле КЛ20, КЛ21), схемы дополнительной выдержки времени (реле КЛ24) и схемы блокировки устройства АЛАР (реле КЛ25) 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 КЛ 29, КЛ 30, КЛ 31. Две первые реле предусмотрены для выполнения мероприятий I, II ступени, отличающихся по фиксируемому знаку скольжения, третья - для III ступени. Кроме того имеется дополнительное реле КЛ 32 и возможность переключения реле при неиспользовании какой-либо из групп выходных контактов. По четыре контакта выходных реле через испытательные блоки SG 4+SG 7 выводятся на клеммник для выполнения мероприятий, в том числе отключения ВЛ с запретом ТАПВ.

Пуск осциллографа осуществляется реле КЛ 22[✓] срабатывающее от реле КЛ 7, фиксирующего переориентацию реле мощности в зоне сработанного АЗ₄₄. С учетом периодического характера срабатывания КЛ 7 выполнено самоудерживание реле КЛ 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 КЛ 4 и КЛ 6, характеризующих знак скольжения, и реле КЛ 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, II, I₂, I₅, I₆, I₉ "+220В", контакты реле КЛ 2 (I ступень) и резервное реле КЛ 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.1.3. Варианты использования реле сопротивления БРЭ 2801

Реле сопротивления KZ , входящие в блок БРЭ 2801, 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 ($AZ_{н.ц.}$).

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 $AZ_{эцк}$ показывает расчеты разд. IV.I.2). Этим режимом работы KZ соответствуют варианты 1 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:

$AZ_{эцк}$ - KZ_2 , KZ_3 в вариантах 3а, 3б, 4б,
 KZ_3 в варианте 4а;

$AZ_{с.ц.}$ - KZ_1 во всех вариантах,
 KZ_2 , KZ_3 в вариантах 1а, 1б,
 KZ_3 в вариантах 2а, 2б,

$AZ_{н.ц.}$ - в качестве чувствительного реле:
 KZ_1 , KZ_3 в варианте 2а, 2б,
 KZ_1 в вариантах 4а, 4б.

- в качестве грубого реле:
 KZ_2 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 I2 $U_{net} = 220V$, лист I3 $U_{net} = 110V$) состоит из:
 -реле тока KA1(грубое) и KA2(чувствительное);
 -реле-повторителя действия реле тока- KЛ1;
 -реле контроля длительности периода асинхронного хода KТ1, KТ2;
 -вспомогательных реле KЛ2, KЛ3 с контурами RC, обеспечивающими паузу достаточную для надежного возврата KТ1, KТ2; реле времени, фиксирующего длительность колебаний тока, KТ3 (KТ4);
 выходных реле KЛ4 + KЛ6;

реле KТ5 и KН3, предназначенных для сигнализации неисправности устройства.

В нормальном режиме реле KТ1 и KТ2 находятся в состоянии срабатывания и контакты KТ1.I, KТ2.I в цепи реле времени KТ3 разомкнуты.

С помощью реле KТ1 и KЛ2 сравнивается заданная длительность цикла асинхронного хода с интервалом времени между последовательными срабатываниями реле тока, а с помощью KТ2 и KЛ3 - между последовательными возвратами его (см.диаграмму на листе I4, поясняющую очередьность действия элементов устройства). В гэлом оба узла: KТ1 - KЛ2 и KТ2 - KЛ3 выполняют одну и ту же функцию. Реле времени KТ5 контролирует исправность узлов и срабатывает, если длительность несоответствия состояний KТ1 и KТ2 превышает его выдержку времени.

Указательное реле KН3 сигнализирует неисправность устройства, KН1 - 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 КЛ1 и своим размыкающим контактом КЛ1.2 снимает напряжение с катушек реле времени КТ1 и вспомогательного реле КЛ2. Реле КТ1 возврашается, замыкания контакт КТ1.1 в цепи катушки КТ3. Контакт КЛ2.1 замыкается через время, определяемое R_C - цепью ($t_b \cong 0,1$ с), и вновь пускает реле времени КТ1, которое начинает отсчитывать время периода колебаний тока.

При возврате реле КА2 возвращается реле КЛ1 и снимает контактом КЛ1.3 напряжение с катушки реле времени КТ2 и вспомогательного реле КЛ3. КТ2 отпадает, замыкания контакт КТ2.1 в цепи реле времени КТ3, которое начинает отсчет заданной длительности колебаний тока. Через время возврата реле КЛ3 ($t_b \cong 0,1$ с) 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 КТ4.1 (КТ3.1) в цепи выходных реле КЛ4+КЛ6, производящих отключение выключателя с запретом ТАЛВ. Цепь отключения может контролироваться контактом реле-повторителя токовых реле (КЛ1.4) 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 КЛ4, КЛ5, КЛ6, включенных параллельно, создают группу выходных реле, причем на реле КЛ6 выполнено ограничение длительности замкнутого состояния контактов реле КЛ4, КЛ5 до $0,1+0,25$ с (время срабатывания реле КЛ6 типа РПН8-2).

Само реле КЛ 6 может находиться в сработанном состоянии до 2-3 с (смотри диаграмму лист 14) пока после отключения ВЛ не доработает реле времени КТ1 или КТ2. Реле КЛ 6 в выходных цепях имеет две токовых обмотки подхвата (тип реле РП18-2), эти цепи могут иметь ограниченную область применения - по длительности замкнутого состояния и по допустимому тоук в обмотке подхвата, не приводящему к подхвату (0,1A). Предусмотрен вход на КЛ 4+КЛ 6 от других устройств (ЭПН).

Контакты КЛ 2.2 и КЛ 3.2 полезны для того, чтобы предотвратить слишком кратковременные переключения реле КЛ 1, возможные при большом скольжении и срывающие бестоковую паузу реле КТ1 и КТ2. Изменение состояния реле КЛ 1 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 КЛ 2, КЛ 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 недвоотключения фазы выключателя, выполняется как составная часть основного и резервного устройства АЛАР. В соответствии с изложенными в разделе 13 принципами, оно содержит (листы 2,3,12):

реле тока, включенное на ток 3Io данной линии;

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

реле времени КТ6, обеспечивающее задержку на срабатывание; реле повторители КЛ27, КЛ28, (KL7, KL8)^{*}, первое из которых отслеживает положение контактов токового реле КА1 (КА3), 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, КЛ22.3 (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 КЛ27 (KL7) и КТ6 и действует или на пуск самостоятельной команды телеотключения в передатчике АНКА, или на реле пуска в.ч. сигнала телеотключения №1 от схемы релейной защиты, или на останов в.ч. передатчика защиты типа ДФЗ.

Контакт реле КЛ27 (KL7) в выходной цепи позволяет еще раз проконтролировать наличие тока в нулевом проводе. На выходе выполняются 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 гуска 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 релейной защиты. Контакт КЛ28.3 (KL8.3) предполагается использовать в

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

цепи реле контроля исправности КТ5, контакт КЛ 27.4 (КЛ7.4) - в цепях записи на шлейфе осциллографа.

На приемном (противоположном) конце сигнала телеотключения (ТО), если он организован как сигнал самостоятельный (от ПА) контролируется контактом реле КЛ 28 (КЛ 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 КН10 (КН2). Одновременное действие резервного устройства АЛАР и цепей приема ТО не рассматривается, вопрос о согласовании КН не решен.

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

Неисправность дополнительного устройства сигнализируется укачательным 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.

III. РАЗМЕЩЕНИЕ И КООРДИНАЦИЯ ДЕЙСТВИЯ УСТРОЙСТВ АЛАР

Ш.1. 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:

1. 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 РИ 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 конца, на котором установлено устройство АЛАР. Одновременно с целью снижения небалансарабатываются 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 выполнить отключение выключателей необходимо учитывать следующие соображения:

- нагрузка (например, промежуточная подстанция) должна оставаться 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 IV).

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

7. В случае, если одни и те же участки ВЛ (шины) попадают в зону срабатывания $AZ_{ЭЦК}$ 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 скольжениях I-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 САЛАХ, 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 15) выполняются расчеты устойчивости, подтверждающие эти сечения и положение ЭЦК, в полной схеме сети и в схемах граничных по расположению ЭЦК из утяжеленных ремонтных вариантов по ВЛ и генераторам станций. В общем случае $AZ_{ЭЦК}$ 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 $AZ_{ЭЦК}$. 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.

III.2. Взаимная блокировка

Наличие узлов ПС5, ПС9 с двумя (тремя) устройствами АЛАР, не отстроенным друг от друга по характеристикам срабатывания $AZ_{ЭЦК}$, требует согласования их по количеству циклов и взаимной электрической блокировки комплектов. Блокировка может выполняться отдельно для I-ых ступеней АЛАР и II (III) ступеней АЛАР (п.5 таблицы, лист 10).

На листе 10 дан пример выполнения взаимной блокировки при помощи реле КД 26, специально для этой цели установленного в схеме основного устройства АЛАР. Из 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 преимущественно остается за тем, у которого используется реле KL26 с RC контуром, обеспечивающим достаточную длительность отключенного 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, отстанищий от δ_{kp} на $10^{\circ}+15^{\circ}$, при том знаке скольжения, который требует блокировки (т.е. на $\delta \geq 180^{\circ}$).

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, II, IV рассматриваются как Крайние (туниковые) устройства АЛАР устанавливаются на приемных подстанциях ПС2 и ПС5 и направленные реле сопротивления АZ_{44К} могут фиксировать ЭЦК в любой точке практически до ЭДС генераторов С1, С2, С3. В сечение I входит еще ВЛ в нераскрытою часть энергосистемы, по сечению II можно рекомендовать ресинхронизацию (связь слабая), в сечении IV устройство АЛАР имеет взаимную блокировку по I ступени с приоритетом по отношению к устройствам в сечении У.

Сечения III, IV, VI, VII, X проходят по магистральным связям. Сечение III может рассматриваться как сечение трехмашинного АР с ЭЦК в районе ПС2. Устройства АЛАР сечений I и II могут при этом работать, но, поскольку они выполнены без смещения, АР с ЭЦК^у в ПС2 должны ликвидировать устройства, установленные на ПС5. Они охватывают шины ПС2 с коэффициентом чувствительности реле сопротивления (см. раздел IV) не менее 10+12, а для обеспечения селективности имеют отстройку по количеству циклов (3 против 2-х в сечении I, II). 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, II ступень на 2 цикла асинхронного хода и отстроено от шин ПС2 и ПС5. Нижний 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 III и сечения IV. Для работы при АР по сечению IV 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) блокированы при равном количестве циклов со II ступеню 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 II 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

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. 6 раздела III), 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 УП предполагается удаленным от ПС7 и для ликвидации АР в нем устанавливаются устройства АЛАР на ПС9 и ПС10, 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 нарушавшему баланс мощностей в сети.

Сечение УП проходит и по ВЛ 9-10 и АР в нем выявляется устройством АЛАР, установленным на ПС10. Оно имеет I ступень и II ступень с 2-мя циклами. Поскольку характеристика реле сопротивления $AZ_{ЭЦК}$ не охватывает шины ПС9, ликвидация этим устройством АР в сечении УП может проходить каскадно (после отключения линии 7-9). Перенос устройства АЛАР с ПС10 на ПС9 имеет некоторые преимущества, но выполнение взаимной блокировки I ступеней трех устройств сложно, а отказ от I ступени нежелателен.

Устройства АЛАР, установленные на ПС10, участвуют также в ликвидации АР в сечении УП. Подробнее ^оустройство АЛАР, включенное на ВЛ 7-10 ПС10, смотри приложение 7.

В сечениях IX устанавливается устройство АЛАР на ВЛ И-9 с I ступенью и II ступенью на 3 цикла. Его желательно отстроить по характеристикам $AZ_{ЭЦК}$ от сечения УП, а для надежности и по количеству циклов. В этом же сечении ликвидирует АР устройство АЛАР, установленное на РЛ И2-И4. Оно более быстрое (2 цикла), имеет смещение для защиты шин С7, С8, а также ликвидирует АР по сечению Х вплоть до шин ПС14.

Таблица расчетных схем для выбора параметров характеристик основных устройств АЛАР и проверки их работоспособности дана на листе 15.

IV. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ

IV.I. Основное устройство автоматической ликвидации асинхронного режима

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

IV.I.I.I. Расчету подлежат характеристики срабатывания реле сопротивления, используемые в $AZ_{ЭЦК}$, $AZ_{СЦ}$ и $AZ_{ПЦ}$ 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 $AZ_{СЦ}$, а в случае использования $AZ_{ПЦ}$ в качестве KZ_4 настройка KWI производится по параметру, характеризующему начало асинхронного хода, - критическому углу δ_{kp} .

Порядок расчета параметров срабатывания основного устройства предусматривает:

1. Определение исходных данных - построение в комплексной плоскости годографов сопротивления Z_p и мощности S_p для рассматриваемых схем (раздел IV.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_p внешних АР, от нагрузок и охватывающих годографы Z_p 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 ожидающим скольжением;

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

6. определение временных характеристик устройства.

IV.1.1.2. Исходные данные в части Z_p , S_p , I_{AP} рекомендуется получать по специальной программе /3/ или программе "АЛАР" СЗО ЭСПа. Исходные данные получаются сразу (в один расчет) для основного (Z_p , S_p), резервного и дополнительного устройств АЛАР (I_{AP}). 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 - $\delta_{1...n}^I$ до угла, соответствующего полному повороту ЭДС одной группы генераторов относительно другой - 360° или $\delta_{1...n}^I + 360^\circ$. 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 $K_E = 1$, а с коэффициентами

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

Вывод данных Z_p , S_f , I_{AP} в функции от δ производится для устройств своего сечения и ближайшего соседнего. Этими расчетами подтверждается выбор принципов, расстановка устройства 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_p , S_p , I_{AP} 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

величин Z_p , S_p , I_{AP} , 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. № 8126тм-т6, ЭСП, 1980г.) показало близость их в первом цикле асинхронного хода и значительное сближение 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 дачи формулы S_{optk} (аргумент t). Расчетные выражения в тексте приведены для первичных значений параметров.

ИУ.І.І.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 15). 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 Ψ_2).

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

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

$$T_{\text{don}} = \frac{1}{50} \sqrt{\frac{314 \cdot T_{j3} \cdot P_{\delta_{03}}}{P_{\text{prep}}}}, \quad (2)$$

где:

$$T_{j^3} = \frac{T_{j_1} \cdot T_{j_2}}{T_{j_1} + T_{j_2}}$$

эквивалентная постоянная инерции
энергосистемы (с), состоящей из (3)
двух частей, отправной и приемной;

T_{j_1}, T_{j_2} - эквивалентные постоянные инерции частей
энергосистемы, приведенные к базисной
мощности;

$P_{баз}$ - базисная мощность;

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

Если гидографы по программе рассчитаны при $K_E = 1$, желательно учесть утяжеление условий при $K_E = 1,22$ (0,82). ЭЦК и гидографы Z_P смещаются при этом по оси jx на $\pm 0,07 Z_3$, а S_P по оси jQ на $\pm 0,2 \frac{U_{ном}^2}{Z_3} (Z_3 = 2U_{ном}/I_{AP})$.

IV.1.1.4. Для каждого из гидографов Z_P при асинхронном ходе по контролируемому сечению определяется угол $\varphi_{p, \min}$, при котором величина Z_P минимальная ($Z_{p, \min}$). Этот угол определяется графически, как угол между осью R и проходящей через начало координат нормалью к гидографу Z_P (перпендикуляром к касательной в точке $Z_{p, \min}$ гидографа).

Из числа намеченных схем, в которых рассматривается АР по контролируемому сечению, выбираются две схемы с крайними гидографами

Z_P - наиболее высокой и наиболее низкой по линии максимальной чувствительности.

Если гидографы Z_P в рассматриваемых схемах имеют существенно разные величины $\varphi_{p, \min}$, то в качестве расчетных должны рассматриваться каждая из них.

IV.1.2. Расчет $AZ_{эцк}$

IV.1.2.1. Определяется $\varphi_{p, \min}$ $AZ_{эцк}$ по среднему значению угла $\varphi_{p, \min}$ для характеристик Z_P , рассчитанных при АР по контролируемому сечению

$$\varphi_{r.mini}^{ep} = \frac{\sum_i^n \beta_i \cdot \varphi_{r.mini}}{\sum_i^n \beta_i}, \quad (4)$$

где: $\varphi_{r.mini}$ — угол $\varphi_{r.mini}$ для i -той схемы.

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

В качестве угла максимальной чувствительности реле выбирается один из двух заводских (80° или 65°), ближайший к полученному среднему значению, или меняется фазировка подводимого переменного напряжения.

14.1.2.2. Определяется характеристика срабатывания AZ_{euk} .

А. Для этого вектор каждой точки годографов Z_p внешних АР уменьшается на $0,25 Z_p$. Полученные характеристики являются опорными при выборе AZ_{euk} .^{x)}

С центром на линии, проходящей через начало координат под углом φ_{muk} , проводится окружность, не пересекающая ни одну из этих характеристик. Определяются величины сопротивления срабатывания AZ_{euk} в I и III квадрантах, соответственно $Z_{c.p.}^I$ и $Z_{c.p.}^III$.

Проверяется, что $Z_{c.p.}^I$ составляет величину меньшую, чем величина максимально возможного смещения характеристики направленного реле сопротивления в III квадранте (лист 7,9).

$$C = \frac{Z_{c.p.}^I}{Z_{c.p.}^III} \leq 0,2, \quad (5)$$

где С — уставка смещения

$\bar{x})$ -----

Поскольку AZ_{euk} должен обеспечить селективность действия устройства, а проблемы многомашинности сложны, на практике рекомендуется выполнять AZ_{euk} , отстроенным от шин, ограничивающих рассматриваемое сечение АР. Если требуется охватить шины (на них возможен ЭЦК) с $K_4 > 1$, то требуется согласование смежных устройств по количеству циклов или взаимная блокировка.

Характеристика выполняется со смещением, равным одному из трех (С=6%, 12%, 20%), ближайшему к рассчитанному по (5). При С > 0,2 характеристика $AZ_{\text{эук}}$ выполняется с центром в начале координат или в виде двух окружностей, направленных в I и III квадрант и смещенных в противоположный квадрант на 20%.

Если окажется, что $Z_{\text{ср}}^I$ и $Z_{\text{ср}}^{II}$ 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 III квадрант,

$$Z_{\text{ср},P} \leq \frac{K_H \cdot Z_{\text{мин.раб}}}{2} \left[\sqrt{\frac{1}{C^2} \cos^2(\varphi_{\text{мн}} - \varphi_{\text{раб}}) + \frac{4(1+C)}{C}} - \frac{1}{C} \cos(\varphi_{\text{мн}} - \varphi_{\text{раб}}) \right] \quad (6)$$

- для характеристики, проходящей через начало координат,

$$Z_{\text{ср}} \leq K_H Z_{\text{мин.раб}} \frac{1}{\cos(\varphi_{\text{мн.ч}} - \varphi_{\text{раб}})} \quad (6a)$$

- для характеристики с центром в начале координат

$$Z_{\text{ср},P} \leq K_H \cdot Z_{\text{мин.раб}}, \quad (6b)$$

где $Z_{\text{мин.раб.}} = \frac{U_{\text{мин.лип}}^\theta \cdot \cos \varphi_{\text{раб.}}}{P_{\text{раб.макс}}} \quad \text{-сопротивление} \quad (7)$

на зажимах реле в максимальном длительном рабочем режиме;

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

$\varphi_{\text{мн.}}$ - принятый угол максимальной чувствительности реле;

$K_H = 0,8$ - коэффициент надежности отстройки.

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

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

IV.I.2.3. Проверяется чувствительность реле сопротивления $AZ_{ЭЦК}$ (приложение I) в двух заранее намеченных (IV.I.1.3) 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_p проходит через точки пересечения характеристик этих реле (то есть в зоне начала координат).

$$K_u = 30 - 29 \frac{|Z_p - Z_0|}{Z_{c,p} - Z_0} \quad (8)$$

или

$$K_u = 30 - 29 \frac{\sqrt{\left(\frac{Z_p}{Z_0}\right)^2 + 1 - 2 \frac{Z_p}{Z_0} \cos(\Psi_{m4} - \Psi_p)}}{\frac{Z_{c,p}}{Z_0} - 1}, \quad (8a)$$

где $|Z_p - Z_0|$ - расстояние (0м) от центра характеристики срабатывания реле (Z_0) до рабочей точки, в качестве которой берется ближайшая к центру характеристики точка годографа Z_p ;

Ψ_{m4}, Ψ_p - аргументы, соответственно, векторов Z_0 и Z_p ;

Значение K_u в зависимости от точности расчетов должно быть не менее 12±15. 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_u для схем с Z_p , проходящими близко к началу координат, должна быть не менее 10.

IV.1.2.4. Для каждого из указанных выше годографов, а также для годографа Z_p в схеме, в которой ожидается максимальное скольжение при АР, определяется интервал углов $\Delta\delta$, на котором выполняется условие срабатывания $AZ_{эук}$.

$$\Delta\delta = |\delta_e - \delta_0|, \quad (9)$$

где δ_e, δ_0 - углы, соответственно, срабатывания и возврата $AZ_{эук}$.

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

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

$$S_{отк} = 48 \times \frac{\Delta\delta}{\Delta t}. \quad (10)$$

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

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

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

где $\Delta T, \Delta t$ - время существования условий для срабатывания $AZ_{эук}$, (по аналогии с $\Delta\delta$), определяемое как продолжительность годографа Z_p , ограниченного характеристикой срабатывания $AZ_{эук}$;

$T_{AP, c}$ - период цикла асинхронного хода, определяемый по продолжительности годографа Z_p за цикл.

IV.I.2.5. Если значения S_{omk} или K_4 в одной из рассматриваемых схем излишне велики, а в другой неудовлетворительны, то выбирается другая характеристика срабатывания $AZ_{эук}$ и повторяется расчет по разд. IV.I.2.2+IV.I.2.4. Выполнение коррекции возможно, например, путем уменьшения смещения или отказа от смещения характеристики срабатывания, если все гидографы Z_p проходят выше начала координат; это увеличивает в данном случае K_4 , 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_{omk} и K_4 для гидографа Z_p , проходящих близко к началу 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.

IV.I.3. Расчет $AZ_{с.ц}$

Угол максимальной чувствительности реле, входящих в $AZ_{с.ц}$, зависит от того используется ли $AZ_{с.ц}$ в качестве KZ_4 в $AZ_{омк}$ 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 $AZ_{эук}$.

IV.I.3.1. Расчет $AZ_{с.ц}$, если используется I ступень.

По гидографам Z_p определяется среднее значение угла $\psi_{\delta_{кр}}$ в схемах, предусматривающих АР по контролируемому сечению,

$$\psi_{\delta_{кр}}^{\text{ср}} = \frac{\sum_i^n \beta_i \psi_{\delta_{кр}i}}{\sum_i^n \beta_i}, \quad (12)$$

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

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

IV.I.3.2. Если $\Upsilon_{м.ч}$ по разделу IV.I.3.1 совпадает с $\Upsilon_{м.ч}$ по разделу IV.I.2.1 или I ступень ($AZ_{п.ц}$) не используется, то проверяется возможность использования $AZ_{з.ц}$ в качестве $AZ_{с.ц}$.

К работе $AZ_{с.ц}$ предъявляется более жесткое требование, чем к $AZ_{з.ц}$, так как требуется синхронизация его действия с действием реле мощности $KW1$. Поэтому те же значения K_4 дают меньшие значения $S_{отк}$.

В разделе IV.I.2.4. для принятой характеристики $AZ_{з.ц}$ определены $\Delta\delta$, а в разделе IV.I.2.3 величины K_4 в двух (или более) заранее намеченных схемах.

По известному K_4 определяется минимальный, необходимый для срабатывания, интервал времени Δt (с), в котором выполняется условие срабатывания $AZ_{с.ц}$ (рис.ж лист II).

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

$$S_{отк} = 28 \times \frac{\Delta\delta - 2\delta_{cm}}{\Delta t}, \quad (13)$$

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

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

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

$$S_{откб} = \frac{360 - \Delta\delta}{18,5} \quad (14)$$

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

$$S_{отк} = 830 \cdot \frac{\Delta T - 2\Delta t_{cm}}{\Delta t \cdot T_{AP}}, \quad (I3a)$$

где Δt_{cm} (с) - интервал времени между серединой ΔT и отмечкой времени, при которой выполняется условие срабатывания (возврата) реле мощности $KW1$;

$$S_{отк,b} = \frac{16,2}{T_{AP}} \left(T_{AP} - \Delta T \right) \quad (I4a)$$

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

IV.I.3.3. Если $\Psi_{m,c}$ по разделу IV.I.3.1 не совпадает с $\Psi_{m,c}$ по разделу IV.I.2.1 или $S_{отк}$ по разделу IV.I.3.2 меньше необходимого для данных расчетных схем, то характеристика срабатывания AZ_{cyc} выбирается только по условию отстройки от рабочего режима по выражению (6) разд. IV.I.2.2. Проверяются чувствительность реле по сопротивлению в соответствии с разд. IV.I.2.3 и скольжение отказа по разделу IV.I.3.2.

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

IV.I.3.4. Если характеристика AZ_{cyc} с $\Psi_{m,c}$ по разделу IV.I.3.1 имеет неудовлетворительные показатели $S_{отк}$, то возможно использование этого реле только в качестве $AZ_{l.c.}$, а для AZ_{cyc} берется реле с $\Psi_{m,c}$ по разделу IV.I.2.1 и большими значениями $S_{отк}$. Это эффективно при расположении $\Psi_{m,c}$ 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).

IУ.І.4. Расчет $AZ_{n.u}$

Вопрос о ликвидации АР на первом цикле очень актуален (IУ.І.1.2), поэтому рекомендуется на ответственных линиях электропередачи напряжением выше 330 кВ иметь $AZ_{n.u}$. Для обеспечения его оптимальной работоспособности требуется как можно большие значения $\Delta\delta_{n.u}$ ($\Delta t_{n.u}$) интервала углов (времени) годографов сопротивления Z_p , заключенных между характеристиками KZ_u и KZ_r (лист 4).

IУ.І.4.1. В качестве чувствительного реле KZ_u используется $AZ_{c.u}$ или берется свое реле, рассчитываемое по разделам IУ.І.3.1, IУ.І.2.2. В качестве грубого реле KZ_r может быть использован $AZ_{элк}$, но в этом случае его угол максимальной чувствительности желательно иметь такой же, как KZ_u ($AZ_{c.u}$) в разделе IУ.І.3.1.

В случае неиспользования $AZ_{элк}$ характеристика грубого реле сопротивления KZ_r строится так, чтобы обеспечить $K_u = I2+I5$ в расчетных схемах, требующих быстрой ликвидации АР и характеризующихся максимальным и минимальным удалением годографа Z_p от начала координат.

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

IУ.І.4.2. Определяется величина K_u во всех интересующих расчетных схемах (см. раздел IУ.І.2.3).

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

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

$$\Delta \delta = |\delta_{c,r} - \delta_{c,u}|$$

и интервал углов годографа Z_p , в котором существует условие срабатывания собственно $AZ_{n.u}$, т.е. интервал, заключенный между характеристиками KZ_u и KZ_r

$$\Delta \delta_{n.u} = |\delta_{c,r} - \delta_{c,u}|, \quad (I5a)$$

$$\Delta \delta_{n.u} = |\delta_{b,r} - \delta_{b,u}|. \quad (I5b)$$

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

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

Проверяется скольжение отказа (Гц) при прохождении годографом Z_p интервала углов $\Delta \delta_{n.u}$ в соответствии с формулой (П2-И0) приложения 2 при $t_{kt} = 0,15c$.

$$S_{omk} = 0,019 \Delta \delta_{n.u}, \quad (I6)$$

$$S_{omk} = 5,6 \Delta T_{n.u}.$$

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

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

1) путем снижения K_u в расчетных схемах до 7-10;

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

После коррекции повторяются расчеты $AZ_{n,4}$ по разделам IV.I.4.1, IV.I.4.2.

В случае использования реле KZ_r с эллиптической характеристикой скольжение его отказа (Γ_4) определяется по формуле (П2-8) приложения 2

$$S_{omk} = 2,4 \frac{\Delta \delta}{\Delta t}, \quad (I6a)$$

а скольжение отказа собственно $AZ_{n,4}$ - по формуле (П2-II)

$$S_{omk} = 0,014 \Delta \delta_{n,4}.$$

IV.I.5. Расчет KWI

IV.I.5.1. Характеристика срабатывания KWI желательная для данной расчетной схемы, проводится через две точки на годографе S_p :

- первая точка - точка, соответствующая углу δ_w в середине интервала углов $\Delta \delta$, в котором выполняется условие срабатывания $AZ_{e,4}$ (при использовании $AZ_{e,4}$ в качестве KZ_4 $AZ_{n,4}$ берется точка соответствующая углу δ_{kp} по приложению 4);

- вторая точка - точка, соответствующая углу δ в середине интервала, в котором выполняется условие возврата $AZ_{e,4}$.

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_p и характеризующих середины интегралов углов $\Delta \delta$, в которых выполняется условие срабатывания $AZ_{e,4}$, или δ_{kp} для схем с минимальным и макси-

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 $AZ_{c.u}^*$.

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

И.У.1.5.2. Аналитический расчет состоит в следующем: для каждой из рассматриваемых схем определяются параметры срабатывания KWI:

$S_{c.p}$ - мощность срабатывания, как расстояние от начала координат до линии нулевых моментов,

$\varphi_{m.c.i}$ - угол максимальной чувствительности (отсчет от оси Р).

Определяется усредненная характеристика KWI:

$S_{c.p}^{cp}$ - средняя мощность срабатывания;

$\varphi_{m.c}^{cp}$ - средний угол максимальной чувствительности;

$\varphi_{m.c.p}^{cp}$ - средний расчетный угол максимальной чувствительности;

$$\varphi_{m.c.p}^{cp} = \frac{\sum_i^n \beta_i \varphi_{m.c.i} + \frac{n}{k_{n+1}} \beta_i (\varphi_{m.c.i} - 180^\circ)}{\sum_i^n \beta_i} , \quad (I7)$$

$$S_{c.p}^{cp} = \frac{\sum_i^n \beta_i S_{c.p.i} - \frac{n}{k_{n+1}} \beta_i \cdot S_{c.p.i}}{\sum_i^n \beta_i} ,$$

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

где i - номер схемы;
 $1+k$ - номера схем, в которых $90^\circ \geq \varphi_{m,\psi} \geq -90^\circ$;
 $k+1 \div n$ - номера схем, в которых $270^\circ \geq \varphi_{m,\psi} \geq 90^\circ$;
 β_i - коэффициент веса схемы, характеризующий ее
значительность и вероятность.

Если $S_{c,p}^{\varphi} > 0$, то $90^\circ \geq \varphi_{m,\psi} = \varphi_{m,\psi,p} \geq -90^\circ$ (фиг. I, 2 рис. 4 лист 9); если $S_{c,p}^{\varphi} < 0$, то $270^\circ \geq \varphi_{m,\psi} = \varphi_{m,\psi,p} = 180^\circ + \varphi_{m,\psi,p} \geq 90^\circ$ (фиг. 3, 4 рис. 4 лист 9).

Если $S_{c,p}^{\varphi} < 0$, то при направлении активной мощности от шин в линию замкнут контакт KWI_2 и сигналу "AP с ускорением" будет соответствовать AP 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 δ_m , используемые в формуле I3 раздела IV.I.3.2 характеризуют отклонение выбранной характеристики KWI от середины зоны срабатывания реле $AZ_{c,\psi}$. При использовании I ступени и значит выбранной настройке KWI близкой к δ_{kp} эти отклонения могут быть значительными, то есть применение I ступени снижает значение скольжения отказа II ступени.

IV.I.5.3. Определяется коэффициент чувствительности KWI при срабатывании ($K_{\psi,c}$) и при возврате ($K_{\psi,b}$) в соответствии с формулами:

$$K_{\psi,c} = \frac{\Delta M}{M_{n,p}} + 1 = \frac{S_{m,\psi} - S_{c,p}}{S_{c,p}} + 1 = \frac{S_{m,\psi}}{S_{c,p}}, \quad (I8)$$

$$K_{\psi,b} = \frac{\Delta M}{M_{n,p}} + 1 = \frac{S_{c,p} - S_{m,\psi}}{S_{c,p}} + 1 = 2 - \frac{S_{m,\psi}}{S_{c,p}},$$

где $S_{m,\psi} = |S_p| \times \cos(\varphi_{m,\psi} - \varphi_p)$

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

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

$S_{c,p}$, Ψ_m - параметры принятой характеристики срабатывания КВИ.

В точке гидографа, наиболее благоприятной для срабатывания и возврата КВИ, значение K_u должно быть не менее 3,0 (лист 9).

IY.I.6. Расчет выдержек времени

IY.I.6.1. На реле КТ1 устанавливается время достаточное для отстройки от коротких замыканий (смотри приложение 2). Это время 0,15с при круговых характеристиках KZ_r , KZ_ψ и 0,2 с при эллиптической характеристике KZ_r .

IY.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

$$t_{kt2} = K_h \cdot T_{\text{дел.}}, \quad (I9)$$

где $K_h = 1,1$ - коэффициент надежности,

$T_{\text{дел.}}$ - период допустимого скольжения (раздел IY.I.1.3) в схеме, обуславливающей его максимальное значение, чаще всего это схема с максимальным составом генераторов в сети и ослабленным расчетным сечением.

IY.I.6.3. Расчет выдержки времени III ступени.

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

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

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

б) дополнительную выдержку времени $t_{\text{дел.}}$, вводимую для осуществления ресинхронизации;

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

Составляющие пунктов б и в дают выдержку времени III ступени.
Порядок расчета следующий:

1. Задается дополнительная выдержка времени (обычно определяется в расчетах ресинхронизацией в пределах 10+20 с), но не более 30с, расположаемых 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

$$t_{\text{КТ4}} = K_H \cdot n \cdot T_{\text{дел}}, \quad (20)$$

где $K_H = 1,1$ - коэффициент надежности;

n - количество контролируемых циклов;

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

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

Выдержка времени на реле КТ5 определяется:

1) условием отстройки от выдержки времени III ступени, если применяется ресинхронизация

$$t_{\text{КТ5}} = t_{\text{КТ3}} + t_{\text{КТ4}} + \Delta t, \quad (21)$$

где $\Delta t \approx 2 T_{\text{дел}}$ - ступень селективности;

2) условием отстройки от качаний с максимально возможным периодом

$$t_{\text{КТ5}} > T_{\text{кач.}}, \quad (22)$$

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

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

IV.2. Резервное устройство автоматической ликвидации асинхронного режима

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

IV.2.2. Расчет уставок реле тока

Исходными данными при выборе параметров срабатывания измерительных органов резервного устройства являются максимальные (I_{\max}) и минимальные (I_{\min}) 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 1,1, может быть следующая

$$I_{\min} = I_{\min, \text{расч}} + 0,1 (I_{\max, \text{расч}} - I_{\min, \text{расч}}) \quad (23)$$

$$I_{\min} = 0,1 I_{\max, \text{расч}} + 0,9 I_{\min, \text{расч}},$$

где $I_{\max, \text{расч}}$, $I_{\min, \text{расч}}$ - расчетные значения максимального и минимального в цикле асинхронного хода тока при $K_E = 1$.

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.

IV.2.1.1. Ток возврата устройства определяется по условию отстройки от тока, минимального за цикл асинхронного хода

$$I_{b,y} = K_{h,y} (I_{\min})_{\max}, \quad (24)$$

где $K_{h,y}$ - коэффициент надежности (принимается равным 1,3+1,5);

$(I_{\min})_{\max}$ - максимальное значение минимальных за цикл асинхронного хода токов, каждый из которых определен в одной из рассматриваемых схем с АР по контролируемому сечению (Ф-из 23).

IV.2.1.2. Ток срабатывания устройства определяется

$$I_{c,y} = \frac{I_{b,y}}{K_{b,y}}, \quad I_{c,y} = \frac{K_{\text{отпр}}}{K_{b,p}} \cdot I_{b,y}, \quad (25)$$

где $K_{b,y}$ - коэффициент возврата устройства;

$K_{b,p}$ - коэффициент возврата реле тока (в данном расчете принимается равным 0,85);

$K_{\text{отпр}}$ - коэффициент отстройки тока срабатывания грубого реле от тока срабатывания чувствительного реле (принимается минимальным и равным 1,1).

IV.2.1.3. Проверяется коэффициент чувствительности устройства.

$$K_{h,y} = \frac{(I_{\max})_{\min}}{I_{c,y}}, \quad (26)$$

где $(I_{\max})_{\min}$ - 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 10 Гц требуется $K_{h,y} \geq 1,2$.

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

Если по (26) получено излишне большое значение $K_{\chi,y}$, то целесообразно увеличить $K_{\text{отст}}^*$ по сравнению с принятим в разд. IV.2.1.2.

$$K_{\text{отст}} = \frac{I_{\chi,y}}{I_{\theta,y}} K_{\theta,p}, \quad (27)$$

где $I_{\chi,y}$ - ток срабатывания устройства при $K_{\chi,y} \approx 1,3$.

Примечание: При $K_{\text{отст}} < 1,1$ применяется устройство с одним реле тока ($K_{\theta,p} > 0,77$).

IV.2.1.4. Проверяется скольжение отказа устройства ($S_{\text{отк}}$). Как показали испытания на электронной модели (раздел IV.2), работоспособность устройства зависит от соотношения между K_{χ} и K_{θ} чувствительного реле тока при $K_{\chi,y} \geq 1,2$ (или одного, если применено только КА1).

Для каждой из рассматриваемых схем определяется
- коэффициент надежности

$$K_{\chi,\text{сх}} = \frac{I_{\theta,y}}{I_{\min}}, \quad (28)$$

-коэффициент чувствительности реле, осуществляющего
возврат пусковой части устройства,

$$K_{\chi,\text{сх}} = K_{\text{отст}} \frac{I_{\max}}{I_{\chi,y}} \quad (29)$$

При заданном значении $K_{\chi,\text{сх}}$ значение скольжения отказа ($T_{\text{ц}}$) тем меньше, чем больше $K_{\chi,y}$

$$S_{\text{отк}} = 30 \frac{K_{\chi,\text{сх}} - 1}{K_{\chi,y}}. \quad (30)$$

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

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

Следует обратить внимание на то, что для надежного срабатывания КА1 требуется ограничение K_H снизу, а данный раздел требует ограничения сверху. Эти два требования при большом ожидаемом скольжении тем легче вступают в противоречие, чем меньше значение $K_{d,ex}$. Отсюда следует, что для повышения скольжения отказа необходимо переходить к большему значению K_H .

IV.2.2. Расчет выдержек времени.

IV.2.2.1. Определяется время срабатывания реле времени, контролирующих длительность периода асинхронного хода

$$t'_{c,KT1} = t'_{c,KT2} \geq K_H \cdot T_{\text{доп.}}, \quad (3\tau)$$

где $K_H = 1,1$ - коэффициент надежности,

$T_{\text{доп}}$ - период допустимого скольжения в схеме, обуславливающей его максимальное значение, смотри (19).

IV.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

$$t'_{c,KT3} \geq t_{\text{одн}} + \Delta t_{\text{сел}}, \quad (32a)$$

где $t_{\text{одн}}$ - время действия основного устройства АЛАР на отключение ВЛ,

$\Delta t_{\text{сел}} = K_H T_{\text{доп}}$ - ступень селективности, \sim равная периоду допустимого скольжения, но не менее 1 сек.

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

$$t''_{c,KT3} \geq t_{K3} + t_{\text{АПВ}} + t_{K3, \text{АПВ}} + t_{K4, \text{Ч.}}, \quad (32б)$$

где t_{k3} - максимальная длительность КЗ, отключаемого резервной защитой,

t_{APB} - время бестоковой паузы АПВ,

$t_{k3 APB}$ - длительность повторного КЗ при неуспешном АПВ (учитывается ускорение защиты после АПВ),

$$t_{kach} = 10 T_{dop} \left(1 - \frac{1 - K_{b,y}}{K_{4,ex}} \right) \quad \text{длительность синхронных} \\ \text{качаний с периодом менее} \\ \text{времени срабатывания КТ1 (КТ2).} \quad (33)$$

Время t_{kach} 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 $I_{a,y}$ и $I_{b,y}$ ($K_{b,y}$) и от величины тока качаний возможного в первый период ($K_{4,ex}$). Предполагается, что большой $K_{4,ex}$ в данной расчетной схеме говорит о большом токе качаний в этой схеме.

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

Если значение ($t_{k3} + t_{APB}$) превышает значение $K_H T_{dop}$, то в (32б) подставляется $K_H T_{dop}$.

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

$$\left(K_{4,bn} = \frac{T_{max.bn}}{T_{c,y}} \geq 0.9 \right), \quad (32b)$$

$$t_{k3}'' \geq t_{cm} + \Delta t_{rea}$$

- где $\Delta t_{рел}$ - берется по п.а;
 $t_{см}$ - время действия резервного устройства АЛАР, установленного на смежной ВЛ;
 $I_{\max, \text{вн}}$ - максимальный ток по контролируемой ВЛ при внешнем АР.

Выбирается наибольшая величина $t_{скт3}$. Поскольку на выходе стоят два реле времени (КТ3 и КТ4), работающих в каскаде, эта наибольшая величина не должна быть более 60с (суммарной максимальной уставки).

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

$$t_{скт6} \cong 6 t_{скт1}, \quad \text{но не более } 30\text{с}, \quad (34)$$

IV.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-(KL8, KL7) KL28, KL27 по разделу П.3.

IV.3.1. 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)

$$I_{с.ка} = K_{\text{костр}} \cdot I_{\text{нд}}, \quad (35)$$

где $K_{\text{костр}} = 1,2$ - коэффициент, учитывающий погрешности расчета и аппаратуры;

$I_{\text{нд}} = 0,05 I_{\text{AP max}} (I_{k3 \text{ 3 фаз}})$ - ток небаланса АР (трехфазного КЗ).

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

$$K_4 = \frac{(I_{\text{max}})_{\min}}{I_{\text{с.ка}}} \geq 2, \quad (36)$$

где $(I_{\text{max}})_{\min}$ - расчетное значение максимального тока полнофазного АР (лист I4).

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

Время возврата реле $KL_{помт}$ - выбрано приблизительно равным $0,5 \frac{t_{спкт}}{K_u}$, т. есть $t_8 = 0,2$ с (при расчетном $K_u = 2$, лист I4).

Это время должно быть выполнено на реле (KL_8) KL_{26} с предвключенным реле (KL_7) KL_{27} , так как последнее имеет значительное собственное время возврата (раздел У.3).

Примечание:

Если резервное устройство АЛАР отказывает из-за невозрата чувствительного реле (приложение 5), то основная проблема дополнительного устройства АЛАГ - несрабатывание (возврат) реле тока, поэтому требуется обеспечить $K_u \geq 2$, то есть сделать реле тока максимально чувствительным. Анализируя работу реле тока в АР и отталкиваясь от $t_{сп.кд} \cong t_{в.кд} \cong 0,035$ с (при данном K_u), следует полагать, что при $S \geq 15$ Гц ($T \leq 0,066$ с) реле тока и устройство вообще не работают, при меньшем скольжении требуется запоминание факта срабатывания и подхват контакта токового реле КА на некоторое время ($\cong 0,5 \frac{t_{спкт}}{K_u}$), 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 (описание модели см. в работе ЭСП, инв. № 5625тм-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.1. Основное устройство автоматической ликвидации асинхронного режима

При выпуске этих типовых материалов для проектирования были проведены индивидуальные испытания блок реле сопротивления типа БРЭ 2801 и реле мощности серии РСМ 13 и проверена их работоспособность в схеме $A_2^{\text{эл}}\text{цк}$ и $A_2^{\text{эл}}\text{су}$.

Реле сопротивления.

Блок реле сопротивления БРЭ 2801 в пятиамперном исполнении испытывался в однофазной схеме в части

1. уточнения характеристик срабатывания и параметров настройки,

2. проверки характеристик срабатывания при изменении частоты сети,

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

1. На листе 4 приведены экспериментальные характеристики срабатывания снятые при $I_{\text{ном}}, K_f=1, \varphi_{M_4}=80^\circ, N=12\%$, при (пр.6) стрегулирована уставка 80м/фазу. Характеристики снимались на трех реле сопротивления, входящих в блок. В зоне малых углов φ_f

имеется отличие от идеальной характеристики окружности ($C \geq 0$). Это еще более усугубляется при включении в случае $C = 0$ 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_{cp}^r .

Результаты проверки характеристики 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 изменение уставок независимо от наличия или отсутствия цепей, задающих смещение в III квадранте.

3. Времена срабатывания блока БРЭ 2801 замерены значительно меньшие приведенных в техническом описании. Минимальные значения их зафиксированы в зоне $0,125Z_{cp} \leq Z_p \leq 0,5Z_{cp}$ по $\Upsilon_{M,y}$, в 5±8% зоне от характеристики срабатывания по $\Upsilon_{M,y}$ время срабатывания реле резко возрастает. При замере времен срабатывания для Z_p , лежащих в стороне от $\Upsilon_{M,y}$, получены регулярные близкие к линейно нарастающим в соответствии с принятой трактовкой K_y . Наличие поляризации при $C=0$ существенно увеличивает времена срабатывания в зоне начала координат (схема испытаний однофазная).

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

Времена возврата реле сопротивления замерены ~ 55 мс для круговой характеристики, ~ 45 мс для эллиптической характеристики и практически независимы от Z_p и I_p .

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

вания равной сопротивлению на зажимах реле, для чего теоретически достаточно касания в одной точке характеристики 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 $K\chi$, см. приложение I). Однако, как показано на рис.4 листа 4 одном и тому же значению $K\chi$ в зависимости от места установки устройства соответствует разной величине дуги 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 $K\chi$ при этом уменьшается. Поэтому предпочтительнее ставить устройство вдали от ЭЦК.

Реле мощности

Максимальное реле активной мощности серии РСМ 13 в пятиамперном исполнении испытывалось от построенного источника по аналогичной программе. Результаты испытаний позволяют подтвердить возможность точной регулировки уставки в соответствии с формулой переключателями S_{B1+SB6} (лист 8), возможность регулировки угла $\Upsilon_{M,Y}$ от -10° до $+13^\circ$ сопротивлением R_2 . Установлена независимость характеристики срабатывания от частоты сети и снята зависимость времен срабатывания и возврата от кратности мощности на зажимах реле (K_p). Время срабатывания меняется от 65 мс до 40 мс, причем при $K_p > 3$ оно практически не изменено, время возврата - от 40 мс до 65 мс (зеркальная зависимость).

Проверялась возможность регулировки $U_{M.Y}$ и Q_{cp} максимального реле реактивной мощности (PCM I4). Q_{cp} регулируется в рамках формулы, $U_{M.Y}$ - сопротивлением $R2$ от -45 до +13, но при этом существенно уходит шкала установки по Q_{cp} .

Рекомендуется применять PCM I3, переходить на PCM I4 можно при появлении на нем более удобной (переключатели) и не влияющей на шкалу установки регулировки $U_{M.Y}$.

Поведение при АР реле сопротивления, фиксирующего ЭЦК.

Испытания $\mathcal{H}_{Z_{cp}}$ 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 $I_{max} = 5A$. Срабатывание реле сопротивления фиксировалось по срабатыванию внешнего реле-повторителя типа РП7-4.

Получены зависимости (рис. б, лист II)

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

необходимо увеличения сопротивления срабатывания KZ от скольжения (от -10 Гц до +10 Гц) и от места установки реле (в точке α , перемещающейся от $\alpha = 0$ до $\alpha = 0,5$). Здесь обозначено: $Z_{cp}(S=0)$ - 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;

$Z_{cp}(S \neq 0)$ - 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_{cp}) и знак скольжения.

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

Испытания проводились при голографах сопротивления, имеющих φ_{min} на $\vartheta_p = 90^\circ \pm 95^\circ$, то есть при любых β и α имелось пересечение голографом Z_p линии максимальной чувствительности реле сопротивления БРЭ 2801 (ϑ_{Mx}).

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 РИ 17. При этом на реле мощности была установлена мощность срабатывания 70Вт, соответствующая средней точке зоны углов ($\vartheta_{cp} - \vartheta_{ep}$) голографа сопротивления в A_{2cy} , максимальная кратность на срабатывание K_{WY} составляла ~ 5 .

Получены зависимости (рис.д, лист II)

$$\frac{Z_{cp}(S=0)}{Z_{cy}(S=0)} = \varphi(S, \alpha)$$

необходимого увеличения сопротивления срабатывания KZ_{cy} от скольжения (до $\pm \vartheta_{cy}$) и от места установки реле ($0 \leq \alpha \leq 0,4$). В формуле за Z_{cp} ($S=0$) принимается замеренное сопротивление срабатывания KZ_{cy} , при котором счетчик циклов находится на грани срабатывания (фиксируется I цикл) при скольжении, отличном от нуля, Z_{cy} ($S=0$) величина, равная сопротивлению от места установки реле до ЭЦК (см. выше).

Для A_{2cy} 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

представлены на листе II (рис. е, ж), условие срабатывания I_WI выполнялось в середине интервала углов $\delta\delta$, при которых выполнялось условие срабатывания K_{Lc_4} .

Цепи постоянного тока (лист 2)

Цепь удерживания реле времени I ступени. Размыкание контакта с выдержкой времени реле КТ1 после его срабатывания происходит через 0,04с после снятия напряжения с катушки реле. Время переключения контакта K_{Lr} в реле АК7I составляет менее 0,008с. Поэтому запас по времени, обуславливающий надежность сохранения цепи на срабатывание КТ1 при срабатывании K_{Lr} , 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 $\leq 0,1$ с. Параметры RC -конттура в цепи $KL\ 20$ ($KL\ 21$) обеспечивают их импульсное срабатывание на время не менее 0,1с и, следовательно, надежный возврат КТ2 перед новым отсчетом времени.

У.2. Резервное устройство АЛАР

Плавание реле тока при АР

Испытания показали, что в диапазоне кратностей максимального тока асинхронного хода к току срабатывания грубого реле от 1,2 до 5,6, оно не отказывает в действиях при скольжении до 10 Гц, обеспечивая четкое срабатывание реле K_L I.

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

$$K_H = \frac{T_{B_4}}{T_{min}} \quad \text{и} \quad K_T = \frac{I_{max}}{I_{det}} \quad (\text{рис.3, лист 14})$$

Графически отражена граница, за которой не происходит возврата реле K_L 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

имеет большую частоту. Графические зависимости получены для худших условий.

Пояснения экспериментально полученных явлений даны в приложении 5.

Экспериментальные данные удовлетворительно аппроксимируются формулой

$$S_{\text{отк}} = 30 \frac{k_1 - 1}{k_2} . \quad (\text{см.30})$$

Бесстоковая пауза реле времени КТ1, КТ2 нормирована ($\approx 0,1c$) путем замедления возврата реле КЛ2, КЛ3 с помощью LC 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 - РВО1, 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 ($U_{\text{ср}} > 0,5 U_{\text{ном}}$) регулировке этих реле получено.

$U, В$	160	220	240	Реле	$U_{ср}, В$	$U_{ср}, В$
$t_c, мс$	36,7	29,0	25,3	РП16-1	143	20
	14,4	10,5	9,4	РП17-4	134	33
$t_b, мс$	8,5	8,7	9,0	РП16-1	Больше, чем t_b у реле РП 220	
	6,7	6,9	7,0	РП17-4		

На реле типа РП17, как заменяющих реле РП 220, были проверены времена возврата при шунтировке реле RC -контуром и контактом, причем последнее производилось как на реле ($t_b \approx 20$ мс), так и на его катушке, выведенной на зажим ($t_b \approx 40$ мс).

Полученные результаты, позволяют скорректировать выбор шунтирующих RC контуров (на $st_b \approx 10$ мс) и исключить ранес дополнительно устанавливаемые сопротивления в цепи реле КЛ 24, КЛ 27 (лист 2) и КЛ 7 (лист 12). Однако из-за значительного увеличения времени возврата КЛ 27, КЛ 7 (до 40 мс) желательно производить настройку времени возврата КЛ 28, КЛ 8 с предключенным реле КЛ 27, КЛ 7. В цепи пуска резервного устройства К4 I оставлено дополнительное сопротивление и потому ожидается $t_{безу} < 10$ мс.

На реле типа РП 18-1 (РП 18-5) проверена возможность плавной регулировки времени срабатывания (возврата) в заданном диапазоне регулирования при неизменном и достаточно малом времени возврата (срабатывания) - не более 15 мс, то есть существенно улучшены временные параметры по сравнению с РП-251, РП-252.

Приложение IОпределение коэффициента чувствительности реле сопротивления в устройстве АЛАР

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

$$K_u = \frac{Z_{c,p}}{Z_p \cos(\varphi_m - \varphi_p)} \quad (\text{III-1})$$

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

Z_p - сопротивление на зажимах реле;

φ_p - аргумент вектора сопротивления Z_p .

Использование этой формулы при расчете устройств АЛАР привело бы к существенному преувеличению чувствительности реле при ЭЦК, расположенному близко от шин подстанции, на которой установлено устройство. Так, если место установки направленного реле приближать к ЭЦК, то K_u по (III-1) 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", 1966), что реле сопротивления наиболее чувствительно в центре области срабатывания. Поэтому чувствительность реле рекомендуется рассчитывать по формуле

$$K_u = K_{u,0} \left(1 - \frac{|Z_p - Z_0|}{Z_{c,p} - Z_0} \right) + \frac{|Z_p - Z_0|}{Z_{c,p} - Z_0}, \quad (\text{III-2})$$

$$K_u = K_{u,0} - \frac{|Z_p - Z_0|}{Z_{c,p} - Z_0} (K_{u,0} - 1),$$

- где K_{ψ_0} - 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

$$|Z_p - Z_0| = \sqrt{Z_0^2 + Z_p^2 - 2Z_0 Z_p \cos(\psi_{M,4} - \varphi_p)} \quad (\text{III-3})$$

Блок реле сопротивления БРЭ 2801 (рис.2, лист 4) имеет максимальную чувствительность по линии $\psi_{M,4}$ (приложение 6), где наблюдается полное несовпадение ($\alpha = 180^\circ$), на характеристике срабатывания ($\alpha = 90^\circ$) чувствительность равна I, в промежуточных точках возрастает пропорционально увеличению α , то есть дуги окружностей разных радиусов, проходящих через точки Z_{cp}^r и Z_{cp}^l (или 0), имеют разные K_{ψ} . Однако, поскольку экспериментально установлено (рис.3) существенное возрастание времен срабатывания в 10% зоне от характеристики срабатывания (в том числе и по $\psi_{M,4}$), принято решение оставаться на позиции концентрического возрастания K_{ψ} к центру и $K_{\psi_0} \geq 30$, то есть формула (III-2) приобретает вид

$$K_{\psi} = 30 - 29 \frac{|Z_p - Z_0|}{Z_{cp} - Z_0}, \quad (\text{III-4})$$

$$K_{\psi} = 30 - 29 \frac{\sqrt{\frac{Z_p^2}{Z_0^2} + 1 - 2 \frac{Z_p}{Z_0} \cos(\psi_{M,4} - \varphi_p)}}{\frac{Z_{cp}}{Z_0} - 1} \quad (\text{III-4a})$$

и при $\varphi_p = \psi_{M,4}$

$$K_{\psi} = 30 - 29 \frac{|\frac{Z_p}{Z_0} - 1|}{\frac{Z_{cp}}{Z_0} - 1} \quad (\text{III-4b})$$

Для оценки K_{χ} , полученного по (III-45), по сравнению с K_{χ} , определенным по (III-I), ниже приведена сравнительная таблица величин K_{χ} для направленного реле сопротивления и случая $\varPhi_p = \varPhi_m \chi$.

Z_p/Z_{EP}	:	I	:	0,833	:	0,715	:	0,5
$\Pi-1(\rho_3)$		I,0		I,2		I,4		2
$\Pi-4\delta(\mu M P)$		I,0		10,7		17,5		30
0,333	0,2	0,1		0,05		0,01		0
3	5	I0		20		100		∞
20,3	I2,6	6,8		3,9		I,6		I

Приложение 2Скольжение отказа основного устройства АЛАР

Скольжение отказа $AZ_{зик}$. Зная коэффициент чувствительности K_4 $AZ_{зик}$ в точке годографа Z_p , наиболее близкой к центру характеристики органа, по рис.2 листа II находим интервал времени Δt , в течение которого должно выполняться условие срабатывания $AZ_{зик}$, для того чтобы этот орган сработал. При скольжении, неизменном в течение цикла асинхронного хода, получаем, что условие срабатывания $AZ_{зик}$ должно выполняться в интервале углов

$$\Delta\delta = 360 \cdot \Delta t \cdot S, \quad (\text{П2-1})$$

где $\Delta\delta$ - град, Δt - мс S - Гц. Отсюда скольжение отказа при замерном интервале $\Delta\delta$ годографа в зоне $AZ_{зик}$

$$S_{отк} = 28 \cdot \frac{\Delta\delta}{\Delta t}. \quad (\text{П2-2})$$

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

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

$$t_{a,kz} + t_{er,0} \leq \left(\frac{\Delta t}{2} + t_{cm} \right) + t_{kw}$$

где $t_{a,kz}$, $t_{a,kz}$ - времена срабатывания реле сопротивления и промежуточного реле,

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

Δt - время, в течение которого должно выполняться условие срабатывания $AZ_{цик}$, чтобы работал счетчик циклов,

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

Отсюда необходимо обеспечить

$$\Delta t \geq 2(t_{ckz} + t_{cakl} - t_{kw} - t_{cm}). \quad (\text{П2-3})$$

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

$$t_{kw} + 2t_{cakl} \leq \left(\frac{\Delta t}{2} - t_{cm}\right) + t_{b.kz},$$

где $t_{b.kz}$ — время возврата реле сопротивления.

Отсюда необходимо обеспечить

$$\Delta t \geq 2(t_{kw} + 2t_{cakl} - t_{b.kz} + t_{cm}) \quad (\text{П2-4})$$

Это условие определяющее при быстрых KZ $t_{cA2_{\text{зук}}} < t_{kw} + \frac{\Delta t}{2} (t_{cm}=0)$, когда требуется увеличить время замкнутого состояния A2_{зук}, увеличивая $\Delta t_{\text{зук}}$ с тем, чтобы обеспечить переключение K W и подхват этого факта на 2-х промежуточных реле.

Изложенное позволяет сделать следующие выводы:

1. Чем большее значение K_у обеспечено у A2_{сц} , 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 $t_{cm} > 0$, т.е. обеспечивать запаздывание действия KW 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 K W сработает

батывает, а в другом возвращается ($t_{ckw} \approx t_{bkw}$).

Пусть $t_{cm} = 0$ и определяющим при счетчике циклов выполнении на реле БРЭ 2801 и РСМ 13 является условие (П2-3), приняв на основании опытных данных (при $K_u \geq 12$, $S = 3$ Гц) $t_{ckz} = 50 \pm 60$ мс, $t_{bkl} = 10$ мс, $t_{kw} = 50$ мс, получаем, что необходимо обеспечить $\Delta t \approx 30$ мс. Это приблизительно соответствует данным рис. ж листа II.

Скользжение отказа $AZ_{c.u}$. Зная коэффициент чувствительности K_u $AZ_{c.u}$ в точке годографа Z_p , наиболее близкой к центру характеристики органа, по рис. ж листа II находим интервал времени Δt , в течение которого должно выполняться условие срабатывания $AZ_{c.u}$, чтобы сработал счетчик циклов, если $t_{cm} = 0$. С другой стороны, находим интервал $\Delta \delta$, на котором выполняется условие срабатывания $AZ_{c.u}$, и значение угла δ_{cm} между серединой интервала $\Delta \delta$ и углом, при котором выполняется условие срабатывания (возврата) КВ1.

По указанным данным находим скользжение отказа

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

$$S_{omk} = 2,8 \frac{\Delta \delta - 2|\delta_{cm}|}{\Delta t} . \quad (\text{П2-5})$$

В этой формуле фигурирует модуль величины δ_{cm} . Тем самым признается одинаково вредным как опережение, так и отставание в выполнении условия срабатывания (возврата) КВ1 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 $AZ_{c.u}$ необходимо оценить также величину дуги возврата. Приняв время возврата КВ1 (БРЭ 2801 с круговой характеристикой) на основе опытных данных равным $t_{b,z} = 0,05$ с, получим

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

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

Отсюда скольжение отказа

$$S_{omk} = \frac{360 - \Delta\delta}{18,5} \quad (\text{II}-7)$$

Скольжение отказа $AZ_{n.u.}$. Необходимо проверить S_{omk} грубого реле сопротивления по формуле (II-2) при круговой характеристике или по

$$S_{omk} = 2,4 \frac{\Delta\delta}{\Delta t} \quad (\text{II}-8)$$

при эллиптической характеристике,

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

Δt , мс - время существования этого условия, находится по рис.г листа II в зависимости от K_u KZ_r в ближайшей к центру характеристике точке годографа Z_p .

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

$$S_{omk} \cong 0,0028 \frac{\Delta\delta_{n.u.}}{t_{kti}} \quad (\text{II}-9)$$

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

Минимальное время срабатывания выбирается из условия, что точка КЗ расположена близко к характеристике срабатывания К Z_r ($K_u = 1$) и отключение осуществляется резервной ступенью релейной защиты. Поскольку на блоке БРЭ 2801 ^{поменяли} времена срабатывания (против КРС 2), имеем $t_{ckz_u} \cong 0,03+0,04$ с.

$$t_{ckz_r} \cong 0,15 \text{ с.}$$

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

$$\Delta t = 0,15 \text{ с.}$$

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

Тогда

$$S_{omk} = 0,019 \Delta \delta_{n.u.} \quad (\text{II}-10)$$

При эллиптической характеристике KZ_r принимаем

$$t_{r.KZ_r} = 0,2 \text{ с.}$$

$$\Delta t = t_{KZ_r} = 0,20.$$

Отсюда

$$S_{omk} \approx 0,0028 \frac{\Delta \delta_{n.u.}}{0,2} = 0,014 \Delta \delta_{n.u.} \quad (\text{II}-\text{II})$$

Разновременность срабатывания KZ_u и KZ_r в АР практически отсутствует (круг и эллипс).

Гриложение 3

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

1. Устройства, действующие на первом цикле асинхронного хода

$P_{нep}/P_{H1}$	0,01	0,1	:	1,0	10,0
$P_{нep}/P_{H2}$	0,01	0,4	0,7	1,5	2,0
	0,1	0,8	1,0	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.

$P_{нep}/P_{H1}$	0,01	0,1	:	1,0	10,0
$P_{нep}/P_{H2}$	0,01	0,6	2,0	4,0	6,0
	0,1	2,2	3,5	5,0	6,5
	0,5	6,0	6,5	9,0	11,0
	0,8	6,5	7,0	10,0	12,0

3. Резервные устройства, действующие при установившемся АР

$P_{нep}/P_{H1}$	0,01	0,1	:	1,0	:	10,0
$P_{нep}/P_{H2}$	0,01	0,4	0,5	1,4	2,3	
	0,1	2,0	2,2	3,1	4,0	
	0,5	2,1	2,3	3,2	4,1	
	0,8	2,2	2,4	3,3	4,2	

Примечания: 1. $P_{нep}$ - предаварийная мощность, передаваемая в сечении АР.

2. P_{H1}, P_{H2} - 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 табл. I и 2.

Приложение 4Критический 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 δ_{kp} . Поэтому устройство АЛАР срабатывает правильно только при условии, что достигнут угол

$$\delta \geq \delta_{kp} \quad (\text{П4-1})$$

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

$$\delta_{kp} = \delta_{\vartheta, kp} - \alpha, \quad (\text{П4-2})$$

$$\delta_{\vartheta, kp} = 180^\circ - \arg \frac{P_{T\vartheta}}{P_{r, \vartheta, m}}, \quad (\text{П4-3})$$

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

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

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

P_{T_3} - мощность эквивалентной турбины. $P_{r_{3,m}}$ - 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

$$0 < P_{T_3} \leq P_{r_{3,m}} \quad (\text{П4-7})$$

Отсюда по (П4-3) имеем

$$\delta_{\vartheta,kr} \leq 180^\circ \quad (\text{П4-8})$$

Применение снимающихся управляющих воздействий АУМСУ позволяет полагать, что устойчивость не исключена и после кратковременного выхода угла δ_3 за свое критическое значение. Однако вследствие малой реальности такого управления можно принять, что при синхронных качаниях $\delta_3 \leq \delta_{\vartheta,kr} \leq 180^\circ$

Переходя к двухмашинной схеме и углу $\delta_{\vartheta,kr}$ необходимо проанализировать знак угла α_2 (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 $\Psi_{12} > 90^\circ$, а абсолютное значение угла α_2 не превышает 20° .

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 $S_{12} > 0$, δ_{kp} от 160 до 180°,

если $S_{12} < 0$, δ_{kp} от 200 до 180°;

при $K_{j12} > 1$ если $S_{12} > 0$, δ_{kp} от 180 до 200°;

если $S_{12} < 0$, δ_{kp} 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 $\delta \cong 180^\circ$.

Приложение 5Особенности работы электромагнитного реле тока при асинхронном ходе

В статье Степунина С.Е. "Поведение максимальной токовой защиты при асинхронных режимах" ("Электричество", № 10, 1961г.) 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-140) не успевает при возврате замкнуть свой размыкающий контакт.

Простейший анализ, при котором предполагается $I_{\min} = 0$, показывает, что условия для срабатывания грубого реле КА1 более благоприятны, чем условия для возврата чувствительного реле КА2.

Пусть, например, разница между I_{\max} и $I_{c.p.}$ составляет 0,16 I_{\max} , т.е. $K_q = 1,2$. Тогда (рис.5, лист 14) условия для срабатывания грубого реле существуют в течение прохождения диапазона углов $\Delta\delta \approx 120^\circ$, т.е. при $S = 10 \text{ Гц}$ в течение

$\Delta t = 35 \text{ мс}$, что достаточно для кратковременного срабатывания реле. Увеличение кратности увеличивает значение $\Delta\delta$ и делает более уверенным срабатывание реле.

Если же разница между $I_{b.p.}$ и $I_{\min} = 0$ составляет ту же величину 0,16 I_{\max} , то условия для возврата реле существуют в диапазоне $\Delta\delta = 40^\circ$, т.е. при $S = 10 \text{ Гц}$ в течение $\Delta t = 12 \text{ мс}$. 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 $I_{\min} = 0$ ориентировочно можно определить из:

$$\Delta t_0 \leq \frac{\Delta\delta}{360^\circ \cdot S_{\text{отк}}}, \quad (\text{II5-I})$$

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

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

77

$$\sin \frac{\Delta\delta}{2} = \frac{I_{B.P}}{I_{\max}} = \frac{K_B \cdot I_{cp}}{I_{\max}} = \frac{K_B}{K_n}.$$

В результате подстановок

$$S_{optk} = \frac{K_B}{K_n \cdot \pi \cdot \Delta t_0}, \quad (\text{П5-2})$$

то есть скольжение отказа обратно пропорционально коэффициенту чувствительности и необходимой продолжительности Δt_0 . Поэтому при K_n большем ($I_{\max,2}$), $\Delta\delta$ и S_{optk} менее.

При $I_{\min} \neq 0$ и той же величине разницы $I_{B.P}$ и $I_{\min} \cdot (0,16 I_{\max,1})$ условия лучше ($\Delta\delta$ более и S_{optk} выше). Если $K_n = \frac{I_{B.P}}{I_{\min}} >$, то S_{optk} тоже выше, то есть в формуле (П5-2) в числителе должно присутствовать K_n .

На рис.4 листа 14 показаны мгновенные значения тока в зоне минимальных значений тока при асинхронном ходе с $K_n = 1,22$, 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 (E), 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 Δt_0 , и устройство отказывает, а другое - более Δt_0 и устройство срабатывает.

Приложение 6

Принципиальные электрические схемы блоков реле сопротивления типа БРЭ 2801 и реле мощности серии РСМ 13.

I. Блок реле сопротивления БРЭ 2801.

Блок реле сопротивления типа БРЭ 2801 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 2801 состоит из четырех модулей, трех функциональных типа С108 и четвертого, содержащего выходные цепи, типа РИИО.

I.I. Измерительная часть реле сопротивления - модуль С106.

Формирование сигналов пропорциональных междуфазному напряжению и разности фазных токов, обеспечивается промежуточными трансформаторами напряжения ТУ1 и тока ТА1.

Уставка К₂ по сопротивлению срабатывания определяется из выражения

$$\bar{Z}_2 = \frac{Z_{\text{умин}} \cdot K_1}{K_u} = \frac{Z_{\text{умин}} \cdot K_1 \cdot 100}{N \cdot K}, \quad (\text{П6-1})$$

где $Z_{\text{умин}} = 5(1)$ или $20(4)$ ом/фазу,

$K_1 = 1, 0,5, 0,25$ регулируется $S81, S82$ в цепях тока, подключая различную нагрузку на трансформатор тока ТА1,

$K_u = \frac{N \cdot K}{100}$ — при N (переключатель ХВ2), изменяющим отпайку трансформатора напряжения ТУ1, и K (потенциометр R II), изменяющим величину напряжения, снимаемого со вторичной обмотки ТУ1, плавко от 1 до 0,4.

Напряжения, снимаемые со вторичных обмоток ТА1, ТВ1, подаются на схему формирования сравниваемых синусоидальных величин, которая выполнена на операционных усилителях Г1 и Е2. На выходе усилителей формируются напряжения вида:

$$U_{E_1} = K_{11} \cdot U + K_{12} I = K_{11} I (Z - Z_1), \quad (\text{П6-2})$$

$$U_{E_2} = K_{11} U + K_{22} I = K_{11} I (Z - Z_2),$$

$$\text{зде } Z_1 = - \frac{K_{12}}{K_{11}} \quad \text{и} \quad Z_2 = - \frac{K_{22}}{K_{11}},$$

K_{11} – действительное число, реализованное с помощью резисторов R15, R18, R19 и датчика напряжения ТВ1,

K_{12} – комплексное число, реализуемое с помощью резисторов R13, R16, конденсатора С1 и датчика тока ТА1,

K_{22} – комплексное число, реализуемое с помощью резисторов R14, R19, конденсатора С2 и датчика тока ТА1.

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 Е1, Е2 включены двойные Т-образные RC мосты и нелинейные цепи, улучшающие характеристики К2.

Блоки Е4, Е5 обеспечивают усиление величин U_{E_1} , U_{E_2} 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 дифференциального включенного усилителя Е6. 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 R_{45} и диод V_{D4} , а также через резистор R_{44} и диод V_{D3} протекают токи и потенциал неинвертирующего входа превышающий потенциал инвертирующего входа E_6 , что обеспечивает положительный импульс напряжения на выходе. При совпадении знаков положительных значений сравниваемых величин под действием наибольшей из величин открыт диод V_{D4} и потенциал неинвертирующего входа - падение напряжения на V_{D4} , а потенциал инвертирующего входа определяется фактически напряжением $+15V$, что обеспечивает на выходе E_6 отрицательный импульс напряжения. То же самое происходит при двух отрицательных импульсах на выходах E_4 , E_5 - на выходе E_6 отрицательный импульс, определяемый - $15V$ неинвертирующего 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 E_7 и логического элемента Д.И (блок Р1110), имеющего порог срабатывания по входу около $7,5V$. На входе интегратора включен балластный резистор R_{48} , выпрямительный мост V_4 , стабилитрон V_{D5} для стабилизации импульсов (характеристик) при изменении напряжения питания, диоды V_{D6} , V_{D7} , токозадающие резисторы $R_{49+R_{51}}$ и конденсатор C_{17} для повышения помехоустойчивости. В цепи обратной связи усилителя включена интегрирующая емкость C_{16} .

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 E_6 присутствует отрицательное напряжение. При этом на выходе разъединительного диода V_{D6} выделяется отрицательное напряжение, а через резистор R_{49} протекает ток разряда емкости интегратора C_{16} , который в установившемся режиме равен току, протекающему через диод V_{D8} , и напряжение на выходе E_7 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 E_6 . При этом на

выходе разделительного диода V_{D7} выделяется положительное напряжение, а через резистор R_{52} протекает ток заряда емкости $C16$ и напряжение на выходе усилителя $E7$ относительно точки "0" питания становится отрицательным, нарастающим по линейному закону (интегрируется).

При чередовении зон совпадения и несовпадения $C16$ заряжается и разряжается, из гравийные характеристики срабатывания $\alpha_{\text{сраб}} = 90^\circ$ при круговой характеристике зона несовпадения в периоде сигналов U_{E1}, U_{E2} токова, что $C16$ не успевает разряжаться и напряжение на выходе $E7$ вырастает до значения равного минус 7,5В - порога срабатывания логического элемента D . D переключается и через транзистор $VT1$ обеспечивается срабатывание выходного реле - посториателя 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° осуществляется уменьшение токозадающего резистора (R_{50}, R_{51}). Реле имеет максимальную чувствительность для α , расположенных по $U_{M4} (\alpha = 180^\circ)$ - сигналы U_{E1} и U_{E2} несовпадают. Реле сопротивления могут использоваться без смещения ($Z_2=0$), со смещением в II 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 АДАР не нужно, так как использование памяти, неэффективно, а введение коррекции от U_{E1} на U_{E2} ($R_{38}, R_{42}, VD1, VD2$) лишь увеличивает мертвую зону для голографов, проходящих близко начала координат, искажает характеристики срабатывания и повышает время срабатывания реле сопротивления (проверено экспериментально).

1.2. Модуль выходных реле РИИО.

Схема модуля выходных реле приведена на листе 6, модуль содержит логические элементы D.1, D.2, D.3, входы которых подключаются к выходам интеграторов в модулях реле сопротивления $KL1, KL2, KL3$. Логические элементы через транзисторы $VT1, VT2, VT3$ управляет выходными реле $KL1, KL2, KL3$. По паре

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

K_1, K_2, K_3 включаются на $U_{пит.} = 110\text{В}$, резистор $R10$ и варистор $R11$ защищают схему от перенапряжений любого знака. При питании от $U = 220\text{В}$ вводится сопротивление $R1$. Стабилитроны $VD9$ и $VD10$ обеспечивают напряжение питания ± 15 схемы управления K_4 и схем модулей типа С108, для чего используется резистор $R2$ ($U_{пит.} = 110\text{В}$) и резисторы $R1, R2$ ($U_{пит.} = 220\text{В}$). $R1, R2$ для улучшения температурного режима вынесены в кассету блока БРЭ 2801. Светодиод $VD7$ 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 I3, I5 переменный ток I_1 от трансформатора тока - на клеммы I0, I2 и постоянное напряжение питания $\pm 220\text{В}$ на клеммы I9, I1.

Реле реагирует на среднее значение мощности и выполнено на принципе ШИМ-АМ. ШИМ - широкий импульсный 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_{cp}).

Генератор пилообразного напряжения выполнен на операционных усилителях ДА4, ДА6, резисторах $R14+R20, R13, R29$, конденсаторе С12, стабилитроне $VD5$ и имеет частоту импульсов $\sim 3000\text{Гц}$.

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 ТУ1 цепей переменного напряжения, геле пропорциональное U_1 поступает на вход фазовращающей схемы, выполненной на операционном усилителе ДА1, резисторах R2, R4, R5, R8, конденсаторах С3, С4. Диоды УД3, УД4 - защищают вход ДА1 при отсутствии напряжения питания, резистор R2 позволяет регулировать угол максимальной чувствительности в диапазоне $\pm 10^\circ$.

Для реле реактивной мощности вращательная схема выполнена так (рис.1), что обеспечивает угол максимальной чувствительности $+80^\circ$.

АМ - амплитудный модулятор выполнен на ключах, состоящих из транзисторов VT1, VT2, резисторов R10, R12 и R13, конденсатора С6 и инверторного усилителя ДА3. Таким образом при положительном значении выхода ДА1 ($U_{вых}$) через открытый триод VT1 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 сдвиге фазы сигналов U_1 и I_1 импульсы составляют большую часть периода $U_{вых}$ АМ, если U_1 и I_1 в противофазе - в выходном сигнале больше пауз. Среднее значение выходного напряжения блоков преобразования мощности (ШИМ - АМ) за период промышленной частоты

$$U_{вых.полн.} = \frac{T_r}{T} \sum_{\frac{n}{2}=1}^{\frac{T}{T_r}} U_{ср.\frac{n}{2}} = \quad (П6-3)$$

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

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

где T - период промышленной частоты,
 T_r - период частоты РЧ ,
 n - моменты переключений ШИМ (~через период T_r)
 $K_{нр.}$ = $\frac{K_u \cdot K_i}{I_{rm} \cdot 2} \cdot U_{ms} \cdot I_{m1}$ 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 РЧ .

РЧЧ, 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 **РЧЧ** состоит из постоянной и переменной составляющих, причем соотношение между ними зависит от угла сдвига между током и напряжением, подводимыми к реле. Параметры **РЧЧ** 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 К1.

Компаратор выполнен на ОУ ДА7, резисторах $R\ 21, R\ 25, R\ 30$ $R\ 31, R\ 33 \div R\ 37$. Чувствительность компаратора, определяющая уставку реле, ступенчато изменяется с помощью переключателей $S\ 81+ S\ 86$. Интегратор состоит из ОУ ДА8, резистора $R\ 36$ и конденсатора С14. Полarity выходного напряжения интегратора зависит от соотношения длительностей импульсов и пауз выходного сигнала компаратора. Изменение polarity происходит при

их равенстве, что соответствует реагированию только на постоянную составляющую выходного сигнала $\Phi\text{Ч}$. При этом срабатывает пороговый элемент, который состоит из транзистора VT_3 , резисторов R_{39}, R_{41} , диода UD_0 , стабилитрона UD_7 и выходного реле KI . Необходимый коэффициент возврата реле обеспечивается специальной цепочкой, состоящей из диода UD_2 и резистора R_{42} , с помощью которой изменяется уровень переключения компаратора после срабатывания порогового элемента.

Питание реле мощности осуществляется от параметрического стабилизатора напряжения на стабилитронах UD_8, UD_9 , резисторах R_{40}, R_{45} , конденсаторах C_{15}, C_{16} .

Резисторы R_{43}, R_{46} ограничивают уровень напряжения на VT_3 и уровень тока через обмотку KI ; они также как и R_{4C}, R_{45} устанавливаются снаружи реле.

Диоды UD_1, UD_3 варистор RVI и конденсатор $C17$ защищают элементы схемы от перенапряжений и помех. Для исключения ложной работы реле при подаче и перерывах напряжения питания предусмотрена цепь, состоящая из резистора R_{27}, R_{28} , диода UD_6 и конденсатора $C10$. При подаче питания идет процесс заряда конденсатора $C10$, 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 UD_6 становится положительным и синхронизируется, исключая влияние этой цепи на работу $\Phi\text{Ч}$.

Приложение 7Пример расчета устройства АЛАР

В качестве примера дан расчет основного, резервного и дополнительного устройств АЛАР, установленных на ВЛ 10-7 (лист 15).

Исходные данные в рассматриваемом примере (параметры узлов энергосистемы, рабочие и предельные мощности по линиям электро передачи), 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 ПСЮ, предполагается использование I и II ступеней, включение контактов реле сопротивления блока БРЭ 2801 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, УII 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

$T_{\text{дел. (мак.)}}$ может потребоваться расчетная схема с максимальным составом оборудования и минимальным $P_{\text{раб.}}$, дающая наибольшее $T_{\text{э}}$.

Исходными данными при выборе характеристик пусковых органов являются годографы Z_p и $S_p = \gamma(\delta)$, 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_p и S_p одной схемы находятся на линии, проходящей через начало координат с углом $\vartheta = \arctg \frac{x}{R} = \arctg \frac{\rho}{R}$.

2. Поскольку АКД используется в I ступени устройств, расчет $AZ_{\text{дек}}$ и $AZ_{\text{дек}}$ (они же KZ_1 и KZ_2) производится с учетом этого факта.

В соответствии с методикой для определения $\mathcal{A}_{\text{L},\text{у}}$ $\mathcal{A}_{\text{L},\text{ЧУК}}$ оцениваются $\mathcal{Y}_{\text{Hmin}}$ всех расчетных схем (раздел IV.1.2). Его значение близко к 80° , однако по условию использования $\mathcal{A}_{\text{L},\text{ЧУК}}$ в функции K_{L} угол максимальной чувствительности принят равным 65° ($\delta_{\text{кр}} = 160^\circ + 180^\circ$ при $f_{\text{жел}}, S_{\text{L}} > 0$).

Белательная характеристика $\mathcal{A}_{\text{L},\text{ЧУК}}$ отстраивается от годографов внешних АР и выполняется двумя характеристиками срабатывания в виде окружностей с попротивлениями срабатывания $Z_{\text{ср}1}^I = 80 \Omega$ и $Z_{\text{ср}2}^I = 200 \Omega$, имеющими смещение соответственно в III и I квадрант на 20%. Однако, для увеличения значения скольжения отказа в $\mathcal{A}_{\text{L},\text{у}}$ характеристика $\mathcal{A}_{\text{L},\text{ЧУК}}$ в I квадранте выполняется меньшей уставки ($Z_{\text{ср}1}^I = 60 \Omega$). От максимального рабочего режима характеристики отстроены с запасом.

Производятся проверки коэффициента чувствительности и скольжения отказа в рассматриваемых схемах АР по контролируемой ВЛ.

Получены удовлетворительные результаты, которые приведены в таблице 2, лист I6. КЧ = 10/10 для схемы 2 АР по сечению III допустимы, так как смещение годографа в любую сторону приводит к увеличению значения КЧ в одной из двух характеристик срабатывания.

3. В качестве характеристики $\mathcal{A}_{\text{L},\text{у}}$ принимается характеристика $\mathcal{A}_{\text{L},\text{ЧУК}}$ с сопротивлением срабатывания $Z_{\text{ср}2}^I = 200 \Omega$ (в III квадранте) и характеристика, отстроенная от максимального рабочего режима ($\mathcal{Y}_{\text{Hmin}}$) с сопротивлением срабатывания $Z_{\text{ср}1}^I = 162 \Omega$ (раздел IV.1.3.) (в I квадранте). Результаты проверки характеристики $\mathcal{A}_{\text{L},\text{у}}$ сведены в таблице 3. Поскольку П ступень устройств фиксирует 2 цикла, работоспособность его обеспечивается, скольжение отказа более ожидаемого.

4. При расчета $\mathcal{A}_{\text{L},\text{у}}$ уточнялась характеристика $\mathcal{A}_{\text{L},\text{ЧУК}}$ (K_{L}), о чем сказано выше. Проверка работоспособности (раздел IV.1.4) 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 ($P_{\text{неп}}$).

Рассматривался вариант применения $\mathcal{A}_{\text{L},\text{ЧУК}}$ (K_{L}) с эллиптической характеристикой, однако он не дал лучших результатов,

поскольку увеличение интервала углов $\Delta\theta_{n4}$ ($\sim 20\%$) не компенсирует увеличение времени срабатывания реле КТ1, необходимое при этом для отстройки от КЗ ($\sim 30\%$).

Вариантно рассматривалось выполнение AZ_{c4} (оно же KZ_4) в виде реле сопротивления, имеющего характеристику срабатывания с центром в начале координат, а $AZ_{\varphi4}$ (оно же KZ_1) 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 в реле сопротивления блока БРЭ 2601.

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

5. Желательные характеристики срабатывания реле КВ1 для двух схем, в которых которых работает AZ_{n4} , проходят через точки характеристики, соответствующие δ_{kp} и середине интервала углов зоны возврата AZ_{c4} (на рисунке показаны пунктирными прямыми). Поскольку в третьей схеме AZ_{n4} не работает, характеристика КВ1, желательная для этой схемы, проведена через точки середин интервалов углов зоны срабатывания и зоны возврата AZ_{c4} .

Принята характеристика срабатывания КВ1, полученная графическим путем (раздел IV.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 IV.I.6).

На КТ1 установлено 0,15 с, уставка КТ2 выбирается равной 2,3с ($K_n \times T_{gon.}$).

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

Резервное устройство АЛАР

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

1. Определяются параметры устройства

$$T_{c,y} = K_H \times (T_{\min})_{\max} = 1,53 \text{ кA},$$

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

$$(T_{\min})_{\max} = 0,1x2,8+0,9x1,0 = 1,18 \text{ кA};$$

$$T_{cy} = \frac{T_{c,y}}{K_{c,p}} = \frac{1,53}{0,85} = 1,8 \text{ кA};$$

$K_{\text{отпр}} = 1$, то есть используется одно реле тока;

$$K_{cu} = \frac{(T_{\max})_{\min}}{T_{cy}} = \frac{2,2}{1,8} = 1,22.$$

2. Проверяется скольжение отказа устройства во всех трех расчетных схемах. Минимальная величина скольжения отказа 10 Гц, что намного выше ожидаемого при установленном АР в сечениях У1 и У2 (таблица I).

3. Время срабатывания реле времени КТ1 и КТ2.

$$t = K_H \times T_{gan} = 2,3 \text{ с}$$

Время срабатывания выходных реле времени КТ3, КТ4:

а) отстройка от основного устройства АЛАР

$$t_{c1} \geq t_{\text{отч}} + t = 4,6 + 2,3 \approx 7 \text{ с};$$

б) отстройка от качаний после неуспешного ТАПВ

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

где $t_{\text{отч}} = 10x2,04(1 - \frac{1-0,85}{1,50}) = 18,4 \text{ с};$

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

Выбираем уставку по времени КТ3-21с.

Время срабатывания реле времени контроля исправности КТ6

$$t_{KT6} = 6x2,3 = 13,8 \text{ с},$$

принимается уставка по времени 14с

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

Реле тока выбирается по расчетным токам $\gamma_{\text{тр}} = 3 \gamma_0$ в схеме, дающей минимальное значение тока, с $K_{\gamma} = 2$. При этом полагаем, что $\gamma_{\text{кл}} = 0,05 \times (8 \div 10) \text{kA} \approx 0,5 \text{ kA}$.

Время срабатывания реле времени КТ6-0,3с.

Время возврата реле KL8 совместно с реле KL7 на ПС 7 и реле KL28 совместно с реле KL27 на ПС10-0,2с.

ПЕРЕЧЕНЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панели устройств автоматического прекращения асинхронного хода. Типовые решения № 407-0-136. Изв. № 5488тм-ал.1,2. "Энергосетьпроект", 1974г.
2. Рекомендации по разработке схем размещения и взаимодействия типовых устройств АЛАР и расчету этих устройств. Изв. № 8726тм-т1,2. "Энергосетьпроект", 1982г.
3. Программа расчета электрических величин, используемых при проектировании АЛАР. Усовершенствованный вариант (инструкция). Изв. № II674тм-т1. "Энергосетьпроект" 1985г.
4. Методические указания по сопряжению, устройствам Пи... и 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. Изв. № I2I67тм-т2 "Энергосетьпроект", 1989г.
5. Гоник Я.Е., Иглицкий Е.С. Автоматика ликвидации асинхронного хода. Москва "Энергоавтомиздат", 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, "Энергоавтомиздат", 1985г., стр. 189-201.