ТИПОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

407-03-474.87

УСТРОЙСТВО ФИКСАЦИИ ПЕРЕГРУЗКИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПО РАЗНОСТИ ФАЗ НАПРЯЖЕНИЙ

Альбом I

Альбом IПЗ.ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
Альбом 2ЭП.СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ

№ II849тм-тI

Разработаны
институтом
"Энергосетьпроект"

Утверждены и введены
в действие Минэнерго СССР
Протоколом от I0.05.88г.№3

Заместитель главного
инженера института — С.Я.Петров

Главный инженер проекта — Л.Н.Чекаловец

gost.e-ecolog.ru

СОДЕРЖАНИЕ АЛЬБОМА I

	стр.
Введение	4
I. Основные принципы фиксации аварийной перегрузки межсистемной связи	6
2. Параметры срабатывания устройства фиксации статической перегрузки межсистемной связи	13
2.I. Устройство фиксации статической перегрузки связи для двухмашинной схемы	13
2.2. Устройство фиксации статической перегрузки связи для трехмашинной схемы	17
3. Параметры срабатывания устройства фиксации динамической перегрузки межсистемной связи для двухмашинной схемы	19
4. Блокирующие органы устройства фиксации перегрузки межсистемной связи	28
4.I. Блокирующий орган при большой скорости изменения разности фаз напряжения	29
4.2. Блокирующий орган по сбросу мощности	29
4.3. Блокирующий орган при несовпадении сигналов по основному и резервному каналам телепередачи фазы	31
5. Шкаф типа ШФЭ-260I	32
5.I. Структурная схема шкафа	32
5.2. Схема блока контроля исправности датчика разности фаз	40
5.3. Принципиальные схемы шкафа	43
6. Выбор параметров настройки измерительных блоков шкафа ШФЭ-260I	46
6.I. Погрешности устройства	46
6.2. Настройка реагирующего органа для устройства фиксации статической перегрузки	47
6.3. Настройка реагирующего органа для устройства фиксации динамической перегрузки	49
6.4. Настройка устройства моделирования	50
7. Структурные схемы устройства фиксации перегрузки межсистемной связи	52
7.I. Измерительная часть	52
7.2. Логическая часть	56

8. Принципиальная электрическая схема устройства фиксации перегрузки межсистемной связи 58

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с программой в работе типизированы проектные решения по противоаварийной автоматике в части пускового органа фиксации перегрузки межсистемной связи по разности фаз напряжений при возникновении аварийного небаланса мощности.

Устройство выполнено на базе шкафа автоматики типа ШДЭ-2601, выпускаемого Чебоксарским электроаппаратным заводом Минэлектротехпрома.

Основное внимание в работе уделено рекомендациям по использованию шкафа для фиксации перегрузки в типовых, наиболее часто встречающихся схемах сети: цепочечных и кольцевых, которые можно эквивалентировать двухмашинными или трехмашинными.

При использовании устройств фиксации перегрузки по разности фаз напряжений в выбранных точках в более сложных схемах, эти схемы должны эквивалентироваться для цели управления двухмашинными с промежуточным отбором, трехмашинными кольцевыми или радиальными с оценкой погрешности эквивалентирования.

В работе представлены различные варианты устройства фиксации перегрузки по разности фаз напряжений по концам межсистемной связи, отличающиеся способами получения входных параметров - с помощью быстродействующего устройства телепередачи фазы напряжения с объекта, удаленного от места установки шкафа автоматики угла, а также с помощью местных замеров и устройства моделирования.

С учетом возможностей аппаратуры разработана методика выбора параметров срабатывания устройства фиксации статической перегрузки для двух и трехмашинной схем, устройства фиксации динамической перегрузки для схем, которые можно эквивалентировать двухмашинными, а также блокирующих органов устройства фиксации перегрузки.

Основные принципы фиксации перегрузки межсистемной связи при аварийных небалансах мощности изложены в типовом проекте "Принципиальные схемы пусковых устройств автоматического аварийного управления мощностью", инв. № 407-0-120 и экспериментальной работе "Устройства противоаварийной автоматики на основе полупроводниковых модулей и блоков", инв. № 7913-ТМ-I, поэтому в настоящей работе рассмотрены лишь аспекты, специфи-

ческие для фиксации перегрузки по разности фаз напряжений с помощью аппаратуры шкафа ШДЭ-2601.

Схема шкафа ШДЭ-2601 позволяет использовать его в несложных схемах устройства фиксации перегрузки, что может ограничить его область применения. В практике проектирования приходится решать задачи по фиксации перегрузки, требующие внесения изменений в монтажную схему шкафа.

В дальнейшем эти изменения в схеме должны найти отражение в задании заводу на модернизацию шкафа угла ШДЭ-2601.

Настоящая работа не содержит рекомендаций по всем вопросам, связанным с фиксацией перегрузки по углу и его производной. Она типизирует только те решения, которые, в основном, опробованы в уже выполненных экспериментальных и конкретных проектах.

Это дает возможность осуществить проектирование таких устройств в наиболее простых и ясных случаях.

Часть вопросов, уровень проработки которых недостаточен в настоящее время для типизации, например, выбор точек замера напряжений в сложной схеме и др., указан в настоящей работе на уровне рекомендаций по направлению поиска конкретных проектных решений. Часть вопросов, в том числе и вопросы модернизации панелей типа ШДЭ-2601, согласования действия устройств фиксации перегрузки в сложной схеме, определения места возмущения и соответствующих ему мест приложения управляющих воздействий, усовершенствования блокировок, настройки пускового органа от программируемого устройства АДВ требуют дополнительных исследовательских и экспериментальных проработок и не могут быть в настоящее время типизированы.

При выполнении работы использованы:

1. Проект ОЭМПА "Устройство фиксации перегрузки электропередачи по разности фаз напряжений. Технические решения". Москва, 1983 г.
2. НИР НИЛ УРЭС "Принципы фиксации перегрузки и управляющие воздействия при аварийном дефиците мощности в ОЭС Сибири" Москва 1985-87 гг.
3. В разделе I использованы материалы, подготовленные м.н.с. НИС ПУ Хвощинской М.А. для данной работы.

I. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ФИКСАЦИИ АВАРИЙНОЙ ПЕРЕГРУЗКИ МЕЖСИСТЕМНЫХ СВЯЗЕЙ

Устройство фиксации перегрузки является пусковым органом противоаварийной автоматики, действующим при аварийном возмущении, связанном с возникновением небаланса мощности в энергосистеме, опасным для устойчивой ее работы.

Величина аварийного небаланса мощности характеризуется несоответствием между генерируемой и потребляемой мощностью, возникающим непосредственно вслед за аварийным возмущением. Можно выделить три источника аварийного небаланса мощности:

1) отключение части генераторов,

2) отключение части нагрузки,

3) деление энергосистемы на части, приводящие к избытку мощности в одной части энергосистемы и к дефициту мощности в другой ее части (например, из-за отключения межсистемной связи).

При возникновении аварийного небаланса мощности непосредственная фиксация возмущения затруднительна, а в большинстве случаев невозможна. Это обусловлено различным характером возмущений, которые могут приводить к возникновению одинакового аварийного небаланса мощности, географической отдаленностью связи, на которой возникла опасность нарушения устойчивости, от места возникновения аварийного небаланса мощности, а также проявлением его одновременно на нескольких связях, нагрузка которых контролируется.

При аварийном небалансе мощности возникает длительный переходный процесс, который условно можно разделить на три стадии. В первые доли секунды после возмущения имеет место электромагнитный переходный процесс. За ним следуют электромеханический переходный процесс и послеаварийный режим с учетом действия регуляторов скорости. Различие в характере нарушения устойчивости в этих стадиях процесса дает возможность представить их формально двумя независимыми, но физически взаимосвязанными математическими моделями и, соответственно, решать две задачи: фиксацию возможности нарушения динамической устойчивости и статической устойчивости энергосистемы при возникновении аварийного небаланса мощности. Эти обстоятельства позволяют также создать два самостоятельных или взаимно координируемых устройства.

которые фиксировали бы динамическую и статическую перегрузку межсистемной связи.

Под статической перегрузкой понимается возникновение режима энергосистемы, опасного для условия сохранения статической устойчивости, т.е. выход режима за границу области статической устойчивости.

Под динамической перегрузкой электропередачи понимается достижение параметрами переходного процесса после возникновения аварийного небаланса мощности в энергосистеме значений, опасных для динамической устойчивости, т.е. выход процесса за границу области динамической устойчивости.

Как уже указывалось, непосредственная фиксация аварийного небаланса мощности затруднительна. Поэтому устройство фиксации перегрузки межсистемной связи реагирует на изменение электрических параметров или их скорости при аварийном небалансе мощности.

Известно три основных способа фиксации перегрузки межсистемной связи: по факту увеличения передаваемой активной мощности, по факту увеличения тока и по факту увеличения взаимного угла между векторами напряжений по концам межсистемной связи.

Все три перечисленных способа имеют как достоинства, так и недостатки. Наиболее простой по принципу и реализации является способ фиксации перегрузки по активной мощности, однако он обладает существенным недостатком - неудовлетворительная чувствительность измерительного органа и кратковременность существования условия срабатывания. Два других способа обеспечивают бо́льшую, а фиксация угла - неограниченную чувствительность. В аппаратурном отношении фиксация угла передачи сложнее, чем фиксация активной мощности. Применение фиксации тока осложняется необходимостью учитывать потоки реактивной мощности как в нормальном, так и в послеаварийном режимах. В практике проектирования устройств противоаварийной автоматики нашли распространение в качестве измеряемого параметра устройства фиксации перегрузки активная мощность и угол.

В данной работе в качестве измеряемого параметра устройства фиксации перегрузки рассматривается угол и его производная (скольжение).

Устройство фиксирует статическую и динамическую перегрузку отдельными реагирующими органами.

Для фиксации статической перегрузки используется факт увеличения измеряемого угла сверх уставки. Для отстройки от качаний действие устройства должно осуществляться с выдержкой времени. Поскольку устройство по принципу действия не может определить величину возмущения и, следовательно, правильно дозировать управляющие воздействия, может быть выполнено несколько ступеней по времени с наращиванием интенсивности управляющих воздействий (ес. л это возможно). Типизируется двухступенчатое устройство.

Устройство, фиксирующее динамическую перегрузку, предназначено, во-первых, для ускорения ввода управляющих воздействий при больших возмущениях. Во-вторых, это устройство содержит в себе некоторую информацию о величине возмущения, что позволяет осуществить дозировку управляющих воздействий. Точность дозировки зависит от количества ступеней. Типизируется двухступенчатое устройство.

Дозировка устройств фиксации статической и динамической перегрузки выбирается таким образом, чтобы обеспечить устойчивость энергосистемы при наибольших расчетных значениях небаланса.

В "Руководящих указаниях по устойчивости энергосистем" за расчетный максимальный аварийный небаланс мощности принимается потеря части генераторов электростанций, связанная с погашением одной секции (системы) шин или распредустройства одного напряжения суммарной мощностью не более 50% мощности электростанции при мощности по межсистемной связи, меньшей или равной передаваемой мощности в нормальном режиме и соответствующей ей разности фаз напряжений. При мощности, превышающей передаваемую мощность в нормальном режиме, и соответствующей ей разности фаз напряжений, за расчетный максимальный аварийный небаланс мощности принимается потеря наибольшего генератора или блока (кроме генераторов, уникальных для данной СЭС), отключение двух генераторов АЭС, относящихся к одному реакторному блоку.

При разности фаз напряжений в исходном режиме (δ_I), меньшей значения, соответствующего планируемому режиму, аварийный дефицит мощности для первой ступени статической пере-

грузки принимается равным мощности двух самых крупных блоков станции в энергосистеме. При разности фаз δ^{I} большей, чем в планируемом режиме, аварийный дефицит мощности принимается равным мощности одного блока станции.

Для второй ступени устройств фиксации как статической, так и динамической перегрузки аварийный дефицит мощности принимается равным максимальному расчетному.

Для дозировки управляющих воздействий при срабатывании первой ступени устройства фиксации динамической перегрузки значение аварийного дефицита рассчитывается в устройстве АДВ, исходя из тяжести исходного режима δ^{I} и скорости изменения разности фаз напряжений δ' (или скольжения S).

Такая же дозировка может быть принята и для первой ступени устройства фиксации статической перегрузки, т.к. эти устройства могут работать вслед за устройством фиксации динамической перегрузки.

Особенно важно принимать одинаковые управляющие воздействия в тех случаях, когда могут быть выбраны разнородные, взаимно исключающие друг друга воздействия (разгрузка и деление и т.п.).

Как уже указывалось, типизируется устройство фиксации перегрузки для схем энергосистемы, предоставляемых двухмашинной или трехмашинной схемой замещения.

При этом, одним из важнейших вопросов при проектировании устройства фиксации перегрузки является выбор точек замера угла и его производной.

Выбор этих точек, с одной стороны, определяется желанием наилучшим образом отразить эквивалентный генератор, а с другой стороны, техническими возможностями аппаратуры.

С точки зрения выбора желательных точек замера можно отметить, что поскольку в действительности эквивалентных генераторов не существует, желательно замерить некоторые эквивалентные фазы всех генераторов двух или трех частей энергосистемы, что в большинстве случаев, конечно, невозможно.

Если в данной части энергосистемы однотипные и одинаково электрически включенные генераторы, то можно считать, что фаза ротора одного из них отражает фазу эквивалентного генератора.

Часто среди разнотипных генераторов можно выбрать в качестве единственного контролируемого генератора тот, который находится в центральной точке энергосистемы. На практике требуется эквивалентирование фаз э.д.с. нескольких генераторов, а так как замер эквивалентной фазы невозможен, то замеряют фазы напряжений в тех точках сети, где оно поддерживается неизменным при помощи регулятора возбуждения, хотя отход от измерения разности фаз роторов генераторов лишает измеряемый угол очень важного свойства - монотонности изменения. Положение ротора и соответствующего взаимного угла не могут измениться скачком, фаза же напряжения в той или иной точке сети изменяется в момент большого возмущения скачком. Поэтому при фиксации перегрузки следует учитывать возможность неправильного измерения скольжения, обусловленную этим скачком.

В целом последовательность действий при подготовке исходных данных для выбора характеристики срабатывания устройства фиксации статической перегрузки сводится к следующему:

- определение структуры эквивалентирования рассматриваемой части энергосистемы, т.е. решение вопроса о двух - или трехмашинном эквивалентировании;
- составление вариантов распределения станций по группам;
- составление перечня взаимных углов, которые могли бы оказаться представительными для фиксации перегрузки;
- задание расчетного режима и построение границ областей устойчивости для вариантов схем замещения в координатах, выбранных по предыдущему пункту;
- выбор рабочего (*одного или нескольких*) варианта схемы замещения и отбор (по результатам предыдущего пункта и возможностей аппаратуры) представительных параметров, по которым выполняется аппроксимация;
- составление перечня неконтролируемых ремонтных схем и других параметров, которые могут влиять на область устойчивости, но информация о которых не поступает в устройство;
- расчет и построение области устойчивости для полной и ремонтной схем в рабочем варианте схемы замещения, аппроксимация области на участках, через которые может пройти траектория режимной точки при возникновении расчетного небаланса мощности;

– выбор ремонтных схем, при которых следует производить перестройку органа фиксации перегрузки.

Для получения вышеуказанных данных выполняются исследования устойчивости по программам и методам, не подлежащим типизации настоящей работой.

Наиболее частым ограничением выбора возможных точек замера являются возможности аппаратуры.

При использовании аппаратуры ШДЭ 2601 возникают трудности при выборе тех точек энергосистемы, напряжение которых целесообразно подвести к устройству фиксации перегрузки межсистемной связи по углу. Это связано с тем, что устройство должно отвечать двум основным функциональным требованиям:

– требование несрабатывания в зоне возможных на практике рабочих режимов;

– требование надежного срабатывания в режиме перегрузки межсистемной связи.

В связи с этим наблюдается противоречие между информацией, которую возможно подвести к устройству и переработать в нем, и информацией, нужной для описания режима работы межсистемной связи. Шкаф ШДЭ имеет возможность замера двух углов между напряжениями трех видов: измеренным в месте установки, передаваемым при помощи телепередачи фазы с других объектов или моделируемыми в месте установки панели. Телепередача фазы может быть организована не более чем через три промежуточных усилителя в.ч. аппаратуры. При этом высокочастотный канал не должен разрываться на промежуточной подстанции, что обычно невозможно при наличии сигналов релейной защиты. Поэтому в наиболее ответственных случаях приходится организовывать специальный канал для передачи сигналов ПА. Этот вопрос более подробно рассмотрен в типовой работе, посвященной телепередаче информации для ПА.

При использовании модели может возникнуть большая погрешность измерения из-за несоответствия модели, имеющейся в аппаратуре, и схемной сложности межсистемной связи. Тогда возникает вопрос: какой промежуточный взаимный угол надо выбрать или какие промежуточные точки надо контролировать, чтобы устройство могло выполнить предъявленные к нему функциональные требования.

Наиболее целесообразным представляется выбирать в качест-

ве контролируемого наибольший из промежуточных углов и контролировать наиболее электрически отдаленные точки, что приведет к снижению относительной ошибки.

Условием выбора может служить еще то обстоятельство, что желательно, чтобы электрический центр качаний был расположен между контролируемыми точками. Это связано с тем, что в режиме, близком к граничному, угол между напряжениями в точках, расположенных по разные стороны от центра качаний, может в пределе достигать значения угла между шинами станций. В другом же случае, когда контролируемые точки лежат по одну сторону от электрического центра качаний, возможный максимальный промежуточный угол может быть равным максимум половине взаимного угла между шинами станций, что приводит к увеличению относительной погрешности и снижению чувствительности устройства.

Если значение промежуточного угла, измеренного в граничном режиме, составляет меньше 30^0, то при отстройке от этого значения на соответствующие коэффициенты погрешности аппаратуры характеристика срабатывания устройства будет расположена в зоне рабочих режимов межсистемной связи. Тем самым устройство может ограничить ее возможную пропускную способность.

Для выявления параметров, наиболее значимо характеризующих опасность перегрузки и подлежащих использованию в устройстве, предлагаются следующие положения.

При двухмашинной схеме для возможных контролируемых углов предлагается построить их зависимость от передаваемой активной мощности при изменении неконтролируемых переменных параметров, которыми могут являться мощности нагрузок на промежуточных подстанциях и состав неглавных линий. В качестве контролируемого параметра может выбираться тот промежуточный угол, у которого наименьшее значение среднеквадратичного отклонения при любом сочетании неконтролируемых параметров.

При трехмашинной схеме для выбора значимых параметров необходимо выполнить следующие расчеты:

- определение граничных по условию статической устойчивости режимов в плоскостях тех координат, которые выбраны в качестве контролируемых или которые в принципе возможно проконтролировать при изменении неконтролируемых параметров;

– построение регрессионных линейных зависимостей, аппроксимирующих границу области устойчивости, и оценка их среднеквадратичных отклонений для каждого из рассмотренных случаев аппроксимации.

В качестве контролируемых и вводимых в устройство параметров предлагается выбрать те, которые имеют коэффициенты регрессии значимые по критерию Стьюдента и позволяют аппроксимировать границу области устойчивости с наименьшим среднеквадратичным отклонением при изменении остальных неучтенных переменных параметров. Среднеквадратичное отклонение необходимо учитывать как дополнительную погрешность (3σ) при построении характеристики срабатывания.

Устройство фиксации перегрузки межсистемной связи предназначено для работы при возникновении аварийных дефицитов мощности, опасных для устойчивой работы энергосистемы, и не предназначено для работы при других аварийных возмущениях. Для исключения работы устройства перегрузки при коротких замыканиях, коммутациях в сети и других возмущениях, когда устройство может сработать ложно, оно блокируется.

2. ПАРАМЕТРЫ СРАБАТЫВАНИЯ УСТРОЙСТВА ФИКСАЦИИ СТАТИЧЕСКОЙ ПЕРЕГРУЗКИ МЕЖСИСТЕМНОЙ СВЯЗИ

2.I. Устройство фиксации статической перегрузки связи для двухмашинной схемы.

Двухмашинные схемы представлены двумя типами (Л.2), существенно влияющими на схему выполнения устройства фиксации перегрузки по углу: схема энергосистемы без отбора (сюда же относятся также схемы с постоянным или маломеняющимся отбором мощности, расположенном на межсистемной связи) рис I,2 и схема с переменным отбором мощности рис 3,4.

В "Руководящих указаниях по противоаварийной автоматике энергосистем" не нормировано понятие о "маломеняющемся или постоянном" отборе мощности.

По аналогии с тем, какие из ремонтных схем учитываются в устройстве АДВ, можно считать, что если величина отбора мощности в промежуточной точке межсистемной связи изменяется в

диапазоне не более 5-10% от предельной мощности по сечению, то схема относится к типу схем с постоянным отбором мощности.

В двухмашинной схеме без промежуточного отбора или с постоянным (маломеняющимся) отбором мощности устройство, фиксирующее статическую перегрузку связи, реагирует на увеличение разности фаз напряжений между векторами э.д.с. I1 и I2. Предел статической устойчивости в такой схеме достигается при значении угла:

$$\delta_{I2} = \delta_{I2\ пр.ст},$$

где $\delta_{I2\ пр.ст}$ - разность фаз э.д.с. эквивалентных генераторов I и 2 систем в режиме, предельном по условию статической устойчивости.

Текущее значение угла, при котором срабатывает устройство, отстраивается от $\delta_{I2\ пр.ст}$ и определяется выражением:

$$\delta_{cy} = \frac{\delta_{I2\ пр.ст}}{K_н} - \Delta\delta, \qquad (I)$$

где $K_н = I,05 \div I,I$ - коэффициент надежности, учитывающий неточность расчетов. $\Delta\delta$ - погрешность аппаратуры, обуславливающая возможное загрубление устройства ($\Delta\delta = 3\sigma$, где σ - среднеквадратичная погрешность аппаратуры).

В двухмашинной схеме с промежуточным переменным отбором мощности предел статической устойчивости может достигаться при различных углах δ_{I2} в зависимости от величины отбора мощности. На л.2 (рис.5) показано влияние изменения отбора мощности, расположенного в середине межсистемной связи, на предельную величину угла $\delta_{I2\ пр.ст}$. Отбор мощности изменяется от 0 до значения, равного предельной передаваемой мощности $P_{пр.ст(0)}$, соответствующего нулевому отбору мощности. Устройство фиксации перегрузки связи по углу, выполненное без учета отбора мощности, должно настраиваться на реальное минимальное значение угла $\delta_{I2\ пр.ст}$, что ограничивает передачу мощности в послеаварийном режиме. Условие срабатывания определяется выражением (I).

Ограничения могут быть сняты, если устройство фиксации перегрузки выполнить с фиксацией переменного отбора мощности. Уравнение срабатывание пускового органа такого устройства должно отразить зависимость $\delta_{пр.ст} = f(Pн)$, показанную на рис.5.

. Уравнение аппроксимирующей прямой имеет вид:

$$\frac{\delta_{12}}{\frac{\delta_{12\,пр.ст(0)}}{K_н} - \Delta\delta} + \frac{P_н}{\frac{P_{н(0)}}{K_н \cdot K_п}} = I \,, \qquad (2)$$

или $$\delta_{12} + K P_н \geq \delta_{су} \,, \qquad (3)$$

где $$\delta_{су} = \frac{\delta_{12\,пр.ст(0)}}{K_н} - \Delta\delta \,, \qquad (4)$$

$$K = \frac{\frac{\delta_{12\,пр.ст(0)}}{K_н} - \Delta\delta}{\frac{P_{н(0)}}{K_н \cdot K_п}} \,, \qquad (5)$$

$P_н$ – мощность отбора.

$P_{н(0)}$ – точка пересечения прямой, аппроксимирующей зависимости $\delta_{12\,пр.ст} = f(Pн)$ с осью Pн.

$\delta_{12\,пр.ст(0)}$ – значение разности фаз, предельное по условию статической устойчивости при $P_н = 0$.

$K_н$ – коэффициент надежности, равный I.05 ÷ I.I.

$K_п$ – коэффициент погрешности измерения мощности отбора.

$\Delta\delta$ – погрешность измерения разности фаз.

Однако, существующая в настоящее время аппаратура фиксации угла не дает возможности организовать уравнение срабатывания (3). Поэтому переменный отбор может быть учтен одним из следующих способов:

– ступенчатым изменением уставки по углу от внешних устройств, измеряющих величину отбора.

– представлением схемы с переменным отбором как трехмашинной (см. ниже).

Выбор напряжения противоположного конца межсистемной связи, удаленного от места установки устройства, как уже указывалось, можно получить двумя способами: с применением устройства

моделирования, которое является составной частью шкафа ШДЭ-2601, или с помощью быстродействующего устройства телепередачи фазы вектора напряжения, выход которого можно подключить к датчику разности фаз указанного шкафа.

Какой из способов предпочтительнее, определяется многими соображениями, в том числе характеристиками указанных устройств, структурной схемой сети до той точки, в которой измеряется вектор напряжения удаленного конца межсистемной связи (с постоянным или переменным отбором мощности), структурной схемой устройства фиксации перегрузки (фиксируется только статическая перегрузка или также и динамическая). Схема сети с переменным отбором мощности в середине передачи затрудняет использование устройства моделирования. В этих случаях целесообразнее получение вектора напряжения удаленного конца с помощью устройства телепередачи фазы. Однако при необходимости фиксации динамической перегрузки связи устройство телепередачи фазы, как будет показано ниже, становится неприемлемым из-за неудовлетворительности его динамических характеристик.

Погрешности, вызванные неточностью точек замера при использовании телепередачи фазы или неточностью сопротивления моделирования (см. раздел I), должны быть учтены при определении значения $\delta_{I2\ пр.ст}$.

Значения погрешностей аппаратуры $\Delta\delta$ и пересчет выбранных параметров срабатывания в параметры настройки панели ШДЭ-2601 см. в разделе 6.

Как указывалось в разделе 2, устройство фиксации статической перегрузки межсистемной связи действует с выдержкой времени, обеспечивающей его недействие при синхронных качаниях. Выбор выдержки времени первой ступени (t_{c1}) определяется необходимостью отстройки от синхронных качаний. Значение t_{c1} должно быть больше времени превышения угла между измеряемыми напряжениями над углом срабатывания при синхронных качаниях. Обычно это время не превышает $\frac{0.25 \div 0.5}{\sqrt{}}$ периода качаний. С другой стороны допустимое время срабатывания ограничено временем нарастания угла под действием регулятора скорости от значения, при котором срабатывает устройство, до значения, соответствующего пределу статической устойчивости $\delta_{пр.ст}(t_{pc})$. При этом должно

быть учтено время реализации управляющих воздействий ($t_{у.в.}$)

$$\frac{T_{кач}}{4} < t_{с1} < t_{р.с} - t_{у.в.} \qquad (6)$$

При использовании двухступенчатого устройства выдержка времени второй ступени ($t_{с2}$) должна отвечать неравенству 6 и, кроме того, должна превышать выдержку времени первой ступени на ступень селективности, равную:

$$\Delta t = t_{у.в.1} + t_{в.1} + t_{зап}, \qquad (7)$$

где $t_{у.в.1}$ время реализации управляющих воздействии первои ступени,

$t_{в1}$ - время возврата устройства с учетом времени переходного электромеханического процесса снижения угла после реализации управляющих воздействий первой ступени (определяется из расчетов устойчивости),

$t_{зап}$ - запас.

В этом случае выдержка времени первой ступени не должна превышать:

$$t_{с1} < t_{р.с} - t_{у.в.2} - \Delta t,$$

где $t_{у.в.2}$ - время реализации управляющих воздействий второй ступени.

2.2. Устройство фиксации статической перегрузки связи для трехмашинной схемы.

На Л.3 рис.I приведены два варианта трехмашинных схем - схема звезды и треугольника, на рис.2,3 и 4 представлена схема замещения и возможная область устойчивости в координатах взаимных углов, представляющая собой замкнутую кривую с центром координат внутри.

Рассмотрен выбор характеристик срабатывания устройства фиксации перегрузки в 3-х машинной схеме, режим работы которой определяется первым квадрантом плоскости координат $\delta_{12} = f(\delta_{13})$. При возникновении аварийного дефицита мощности в приемной энергосистеме 2 или 3 происходит увеличение взаимных углов δ_{12} и δ_{13}, которое может привести к выходу режима за границу устойчивости только в I квадранте. Для фиксации выхода режима за границу ус-

тойчивости необходимо измерение взаимных углов δ_{I2} и δ_{I3}.

Реагирующие органы шкафа ШДЭ-260I имеют только линейные характеристики срабатывания, что приводит к необходимости аппроксимации границы области устойчивости линейными отрезками, вписанными в замкнутую кривую. Погрешность аппроксимации уменьшается с увеличением числа отрезков, однако их увеличение ограничивается числом реагирующих органов, имеющихся в панели ШДЭ-260I. Их в панели шесть, пример аппроксимации шестью отрезками прямых показан на рис.3. При необходимости аппроксимации кривой бо́льшим количеством отрезков может быть принято решение об установке дополнительного шкафа ШДЭ-260I.

На рис.4 рассматривается пример аппроксимации участка области устойчивости (кривая I) одним отрезком A_IC_I или двумя отрезками A_IB_I и C_IB_I. При аппроксимации одним отрезком он проводится через точки пересечения кривой I с осями координат.

При этом уравнение аппроксимирующего отрезка A_IC_I имеет вид:

$$\frac{\delta_{I2}}{OC_I} + \frac{\delta_{I3}}{OA_I} = I . \qquad (8)$$

где δ_{I2} и δ_{I3} – текущие значения взаимных углов,

OA_I и OC_I – отрезки осей координат, отсекаемые аппроксимирующей прямой границы области устойчивости.

$$OC_I = \delta_{I2\ пр\ ст\ (o)}. \quad OA_I = \delta_{I3\ пр.ст(o)}, \qquad (9)$$

где $\delta_{I2\ пр.ст\ (0)}$ – разность фаз, предельная по условию статической устойчивости при $\delta_{I3}=0$.

$\delta_{I3\ пр.ст\ (0)}$ – разность фаз, предельная по условию статической устойчивости при $\delta_{I2}=0$.

Характеристика срабатывания реагирующего органа (АС) должна быть отстроена от аппроксимирующей прямой в соответствии с уравнением:

$$\frac{\delta_{12}}{\delta_{12\,пр.ст.(0)}/K_н - \Delta\delta} + \frac{\delta_{13}}{\delta_{13\,пр.ст.(0)}/K_н - \Delta\delta} = 1 \qquad (10)$$

или $$\delta_{13} + K\delta_{12} \geq \delta_{сч} , \qquad (11)$$

где $$K = \frac{\delta_{13\,пр.ст.(0)}/K_н - \Delta\delta}{\delta_{12\,пр.ст.(0)}/K_н - \Delta\delta}$$

$$\delta_{сч} = \frac{\delta_{13\,пр.ст.(0)}}{K_н} - \Delta\delta$$

$\Delta\delta$ - погрешность устройства.

Характеристики срабатывания, полученные при аппроксимации границы области устойчивости двумя отрезками (3а, 3б), отстраиваются от аппроксимирующих прямых так же, как и в случае аппроксимации одним отрезком.

Время срабатывания выбирается так же, как и для двухмашинной схемы.

3. ПАРАМЕТРЫ СРАБАТЫВАНИЯ УСТРОЙСТВА ФИКСАЦИИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПЕРЕГРУЗКИ МЕЖСИСТЕМНОЙ СВЯЗИ ДЛЯ ДВУХМАШИННОЙ СХЕМЫ

Устройство фиксации динамической перегрузки может быть использовано в схеме, которую для данного переходного процесса можно эквивалентировать двухмашинной. Для выбора параметров срабатывания устройства фиксации динамической перегрузки надо определить значение максимального расчетного дефицита и предполагаемый диапазон изменения разности фаз напряжений в выбранных точках схемы, в котором требуется работа устройства.

Для выбора диапазона разностей фаз напряжений, в котором работает устройство, следует определить:

- разность фаз напряжений, ниже которой максимальный расчетный дефицит не опасен, т.е. угол, при котором вводится в работу устройство ($\delta_{I2\ вв}$), определяется путем расчетов электромеханического переходного процесса при максимальном расчетном небалансе мощности;

- разность фаз в допустимом режиме, отстроенном от предельного на коэффициент запаса.

Граница области устойчивости при заданном Р деф. фиксируется в плоскости (δ^{I}_{I2}, $\delta'_{I2\ макс} \equiv S_{I2\ макс}$), где:

δ^{I}_{I2} - разность фаз напряжений в контролируемых точках энергосистемы в исходном режиме;

$\delta'_{I2\ макс} = S_{I2\ макс}$ - максимальная скорость изменения разности фаз напряжений или максимальное скольжение в первом цикле переходного процесса.

Исходные данные для выбора параметров настройки устройства должны быть получены по результатам расчета электромеханических переходных процессов в нормальном режиме, в режиме, соответствующем вводу в работу устройства, и в режиме, отстроенном на нормативный коэффициент запаса от предельного по условию статической устойчивости. Для каждого из перечисленных выше режимов определяется величина граничного по условию динамической устойчивости дефицита мощности $P_{деф.гр}$. Под граничным дефицитом понимается максимальный дефицит мощности, при котором еще не происходит нарушения устойчивости в данном исходном режиме. На основании полученных данных строится зависимость $P_{деф.гр.} = f(\delta^{I}_{I2})$, показанная на рис.I Л.4. Характеристика I является границей области динамической устойчивости. Область, которая расположена ниже характеристики I, соответствует значениям аварийных небалансов, меньшим граничных дефицитов мощности. Область, которая расположена выше характеристики I, соответствует дефицитам мощности, вызывающим нарушение устойчивости. Область дефицитов, для которых выбирается объем управляющих воздействий, ограничивается значениями максимальных расчетных дефицитов мощности (характеристики 2,3).

Если устройство фиксации перегрузки имеет только одну ступень, то она должна надежно срабатывать при граничных дефи-

цитах мощности. Для повышения точности фиксации небаланса мощности можно использовать еще одну ступень, которая должна быть расположена в области, ограниченной снизу характеристикой I и сверху характеристиками 2.3. Целесообразность использования второй ступени зависит от возможности отстройки ее от характеристики срабатывания первой ступени. Выбор характеристики срабатывания второй ступени целесообразно, выполнить так, чтобы в области наиболее вероятных режимов обе ступени фиксировали увеличение аварийных небалансов на одинаковую величину.

На рис.I листа 4 приведен пример выбора характеристик срабатывания устройства фиксации динамической перегрузки. Верхней границей срабатывания первой ступени является граница устойчивости (характеристика I). Характеристика I является отображением характеристики срабатывания I ступени фиксации динамической перегрузки в плоскости (δ^{I}_{I2}, $P_{деф}$). На оси ординат отложены значения максимальных расчетных дефицитов мощности $P_{деф.макс1}$ и $P_{деф.макс2}$ для исходных режимов (больших и меньших нормального, характеризующегося значением $\delta^{I}_{I2\ норм}$). В заштрихованной области, опасной с точки зрения динамической устойчивости, проведена характеристика 4, отображающая характеристику срабатывания второй ступени на плоскости (δ^{I}_{I2}, $P_{деф}$). Она проведена через точку А с целью получить одинаковую точность измерения для двух ступеней в наиболее вероятном рабочем режиме электропередачи $\delta^{I}_{I2К}$ и через точку $\delta_{I2\ пр.ст.}$ Значение $\delta^{I}_{I2К}$ берется в диапазоне наиболее вероятных режимов, если этот диапазон входит в область работы устройства. В противном случае предполагается брать такой исходный режим, который был бы близок к нормальному рабочему режиму.

Вторая ступень реагирует на аварийные дефициты мощности, начиная с дефицитов мощности $P_{деф.n}$, в n раз превосходящих граничные:

$$n = \frac{P_{деф.n}(\delta^{I}_{I2К})}{P_{деф.гр}(\delta^{I}_{I2К})}.$$

Для всех выбранных исходных режимов выполняются расчеты электромеханических переходных процессов для трех значений де-

фицитов:

- при граничном дефиците $P_{деф.гр}$,
- при дефиците, в n раз превышающем граничный, $P_{деф \cdot n}$,
- при максимальном расчетном дефиците $P_{деф.макс}$.

В результате расчетов должны быть получены зависимости $\delta_{I2}=f(t)$ и по ним рассчитаны фазовые траектории в координатах δ_{I2}, δ'_{I2}. Вид фазовых траекторий показан на рис.2 листа 4. При расчете фазовых траекторий значению разности фаз напряжений $\delta_{I2}=\frac{\delta_{I2i}+\delta_{I2(i-1)}}{2}$ ставится в соответствие значение производной разности фаз напряжения $\delta'_{I2}=\frac{\delta_{I2i}-\delta_{I2(i-1)}}{\Delta t}$, где δ_{I2i}, $\delta_{I2(i-1)}$ - значения разности фаз напряжений на i-ом и $(i-1)$-ом шаге расчета переходного процесса;

Δt - шаг расчета переходного процесса.

В фазовой плоскости "разность фаз - скорость ее изменения", неустойчивые переходные процессы имеют траектории, резко отличающиеся от устойчивых переходных процессов. Устойчивые траектории замкнуты, а неустойчивые - разомкнуты. Это обстоятельство усложняет выбор параметров срабатывания второй ступени устройства фиксации динамической перегрузки.

На рис.2 показаны фазовые траектории для трех исходных режимов:

- для режима ввода автоматики (при угле $\delta^{I}_{I2вв}$).
- для нормального режима, которому соответствует значение $P_{деф.макс I}$ (при угле $\delta^{I}_{I2\ норм}$).
- для максимального допустимого режима, имеющего запас не менее 20% к мощности, предельной по статической устойчивости (при угле $\delta^{I}_{I2\ доп.}$).

Для каждого из этих режимов построено по три фазовых траектории:

- при дефиците, граничном по устойчивости,
- при дефиците, в n раз превышающем граничный,
- при максимальном расчетном дефиците.

По таким фазным траекториям выбирается настройка устройства фиксации динамической перегрузки.

Первая ступень

Характеристика срабатывания первой ступени устройства фиксации динамической перегрузки строится по рассчитанным фазовым траекториям при дефиците мощности, равном граничному (кривая I и подобные ей на рис.2).

По значениям $\delta'_{I2\ макс}$ строится зависимость $\delta'_{I2\ макс} = f(\delta^{I}_{I2})$ - кривая I рис.3.

Затем полученная зависимость графически аппроксимируется прямой линией I , описываемой уравнением:

$$\frac{\delta'_{12\ макс}}{\delta'_{12\ макс(0)}} + \frac{\delta^{I}_{12}}{\delta^{I}_{12(0)}} = I. \qquad (I2)$$

или $K\delta'_{12макс} + \delta^{I}_{12} = \delta^{I}_{12(0)}$ (I2a)

где $\delta'_{I2\ макс(0)}$ - максимальная скорость изменения разности фаз напряжений в первом цикле при δ^{I}_{I2}, равному нулю.

$\delta^{I}_{I2\ (0)}$ - разность фаз напряжений в исходном режиме при $\delta'_{I2\ макс} = 0$ ($\delta^{I}_{I2(0)} = \delta_{I2\ пр.ст}$).

$K = \frac{\delta^{I}_{I2\ (0)}}{\delta'_{I2макс(0)}}$ - коэффициент наклона аппроксимирующей прямой.

Аппроксимация производится таким образом, чтобы обеспечить наименьшую погрешность в зоне максимальных рабочих режимов. Если аппроксимация одним участком неудовлетворительна, то зависимость $\delta'_{I2\ макс} = f(\delta^{I}_{I2})$ следует аппроксимировать двумя участками прямой по уравнению типа (I2).

Характеристика срабатывания первой ступени устройства фиксации динамической перегрузки (прямая I″) отстраивается от аппроксимирующей прямой таким образом, чтобы обеспечить определенный запас по чувствительности и погрешности по углу и скольжению.

Условие срабатывания:

$$K_1\delta'_{I2\ макс} + \delta^{I}_{I2} \geq \delta_{сз} \ . \qquad (I3)$$

где

$$K_1 = \frac{\frac{\delta^{I}_{12(Q)}}{K_{нб}} - \Delta\delta}{\frac{\delta'_{12\,макс(Q)}}{K_{нб'} \cdot K_ч} - \Delta S}$$ - коэффициент наклона характеристики срабатывания.

$$\delta_{сч} = \frac{\delta^{I}_{12(Q)}}{K_{нб}} - \Delta\delta$$ - угол, при котором срабатывает первая ступень.

$K_{нб} = 1{,}05$ - коэффициент надежности, обусловленный неточным определением предельного значения разности фаз;

$\Delta\delta$ - погрешность аппаратуры измерения разности фаз;

$K_ч = 1{,}02$ - коэффициент чувствительности для обеспечения надежного срабатывания, так как в области граничных небалансов мощности $\delta'_{12\,макс}$ существует кратковременно (при больших небалансах $K_ч$ может не учитываться)

$K_{нб'} = 1{,}3$ - коэффициент надежности, обусловленный неточным определением максимального скольжения;

ΔS - погрешность аппаратуры измерения скольжения.

Вообще говоря, настройку первой ступени можно выбрать и по-другому. Во-первых, можно моделировать вид фазной траектории и фиксировать выход за пределы граничной траектории при углах, меньших, чем получаются при указанном выше способе. Уравнение срабатывания должно иметь вид:

$$K_1 \delta'_{12} + K_2 \delta_{12} + \delta^{I}_{12} \geq \delta_{сч}$$

Это усложняет настройку и может быть рекомендовано только для случаев, когда из-за медленного действия управляющих воздействий фиксировать опасную перегрузку надо как можно раньше.

Во-вторых, при быстродействующих управляющих воздействиях можно допустить срабатывание автоматики при больших, чем рекомендовано, углах. Важно только, чтобы с учетом более позднего ввода управляющих воздействий (УВ) устойчивость сохранялась, т.е. угол не превысил критическое значение (с учетом УВ). В этом случае могут не учитываться $K_{нб'}$, $\Delta\delta$, $K_ч$, $K_{нб'}$ и ΔS. Кроме ужесточения требований к быстродействию УВ такая настройка первой ступени усложняет и настройку второй ступени.

Вторая ступень.

Характеристику срабатывания второй ступени построить аналогично первой нельзя, так как траектории при дефицитах, превышающих граничные, не замкнуты и не имеют точки экстремума ($\delta'_{I2\ макс}$).

Вторая ступень, реагирующая на дефициты, в n раз превышающие граничные, до значения максимального расчетного дефицита $P_{деф.макс}$, выполнена с помощью двух реагирующих органов, соединенных по логической схеме "И" (лист I5).

Первый реагирующий орган (IPO) срабатывает при значениях скольжения $\delta'_{I2Ц}$ по характеристике 6 на рис.2 листа 4. Эта характеристика может быть пересечена фазными траекториями, соответствующими действию первой ступени (из-за задержки ввода и реализации УВ). Поэтому для повышения селективности может быть введен второй реагирующий орган, характеристика срабатывания которого отражает траекторию движения после точки перегиба $\delta'_{I2\ II}$. На рис.2 прямая 4 аппроксимирует траекторию движения, а прямая 5 - характеристика срабатывания органа. При этом область срабатывания второй ступени лежит выше характеристик 5 и 6 рис.2.

По полученным точкам фазовой траектории $\delta'_{I2Ц}$ (каждая точка соответствует своему исходному режиму) строится зависимость $\delta'_{I2Ц} = f(\delta^{I})$ (кривая 2 на рис.3 листа 4).

Уравнение прямой 2′, аппроксимирующей зависимость 2, имеет вид:

$$\frac{\delta'_{I2}}{\delta'_{I2Ц(0)}} + \frac{\delta^{I}_{I2}}{\delta^{I}_{I2A}} = I \,. \qquad (I4)$$

Характеристика срабатывания IPO, отстроенная от аппроксимирующей прямой аналогично выражению (12), имеет вид:

$$\frac{\delta'_{I2}}{\frac{\delta'_{I2\,Ц(0)}}{K_{нб'} \cdot K_{ч}} - \Delta S} + \frac{\delta^{I}_{I2}}{\frac{\delta^{I}_{I2A}}{K_{нб}} - \Delta\delta} \geqslant 1$$

В общем виде уравнение срабатывания

$$K\delta'_{I2} + \delta^{I}_{I2} \geqslant \delta_{с.у} \qquad (I5)$$

или

$$KS + \delta^{I}_{12} \geq \delta_{cy} \qquad (I5a)$$

где

$K = \dfrac{\dfrac{\delta^{I}_{I2a}}{K_{n\delta}} - \Delta\delta}{\dfrac{\delta'_{I2\Pi(0)}}{K_{n\delta'} \cdot K_{ч}} - \Delta S}$ – коэффициент наклона характеристики срабатывания.

$\delta_{cy} = \dfrac{\delta^{I}_{I2\Delta}}{K_{n\delta}} - \Delta\delta$ – угол, при котором срабатывает I РО.

ΔS. $\Delta\delta$. $K_{n\delta}$. $K_{n\delta'}$. $K_{ч}$ – то же, что для первой ступени.

Второй реагирующий орган (2РО) второй ступени, как уже указывалось, необходим для того, чтобы при сохранении чувствительности устройства к дефицитам, превышающим Рдеф.П = Π Рдеф.гр. повысить его селективность к дефицитам, меньшим Р деф.П.

Траектории переходных процессов при дефицитах, имеющих меньшие значения, чем Р деф.П, но большие, чем граничные (траектория 2 на рис.2) пересекают характеристику срабатывания первого реагирующего органа второй ступени, т.е. вызывают срабатывание IРО. Чтобы избежать этого, IРО дополняется 2РО, характеристика срабатывания которого повторяет фазовую траекторию после точки перегиба (после $\delta_{крит}$). В этой части фазовую траекторию легко аппроксимировать прямой 4, которая описывается уравнением:

$$\frac{\delta_{I2}}{\delta_{I2\,вв(0)}} + \frac{\delta'_{I2}}{\delta'_{I2\,вв(0)}} = I \text{ или}$$

$$\delta_{I2} + K_I \delta'_{I2} = \delta_{I2\,вв(0)}, \qquad (I6)$$

где $\delta_{I2\,вв(0)}$ и $\delta'_{I2\,вв(0)}$ – точки пересечения аппроксимирующей прямой с осями координат ($\delta'_{вв(0)}$ – точка на оси ординат, на рис.2 не показана),

$$K_I = \frac{\delta_{I2\ BB(o)}}{\delta_{I2\ BB(o)}}$$

$$\delta_{I2\ BB(o)} = f(\delta^{I}_{I2}) = K_2 + K_3 \delta^{I}_{I2} \quad . \qquad (I7)$$

где δ^{I}_{I2} - разность фаз в исходном режиме,

$$K_2 = \delta_{I2BB(o)} - \delta^{I}_{I2BB} \cdot \frac{\delta_{I2ДОП(o)} - \delta_{I2BB(o)}}{\delta^{I}_{I2доп} - \delta^{I}_{I2BB}} \quad .$$

$$K_3 = \frac{\delta_{I2ДОП(o)} - \delta_{I2BB(o)}}{\delta^{I}_{I2доп} - \delta^{I}_{I2BB}} \quad ,$$

индексы "ВВ" и "ДОП" соответствуют режиму ввода автоматики и режиму, допустимому по статической устойчивости.

Характеристика срабатывания 2РО имеет вид (прямая 5 на рис.2):

$$\delta_{I2} + K_I \delta'_{I2} - \frac{K_3}{K_{нб}} \cdot \delta^{I}_{12} \geqslant \frac{K_2}{K_{нб}} - \Delta\delta \quad , \qquad (I8)$$

или

$$\delta_{I2} + K_I S_{I2} - \frac{K_3}{K_{нб}} \cdot \delta^{I}_{12} \geqslant \frac{K_2}{K_{нб}} - \Delta\delta \quad , \qquad (I8а)$$

где

$$K_I = \frac{\frac{\delta_{I2BB(o)}}{K_{нб}} - \Delta\delta}{\frac{\delta'_{I2BB(o)}}{K'_{нб} \cdot K_4} - \Delta S} \quad , \quad \delta'_{12} = S_{12} \quad .$$

Как указано в разделе 6.I, погрешность аппаратуры измерения скольжения при использовании устройства моделирования составляет (0.I÷0.3) Гц, а при использовании устройства телепередачи фазы (0.2÷0.35) Гц. Такие погрешности могут ограничивать возможность осуществления двух и более ступенчатых устройств фиксации динамической перегрузки.

Выбор параметров настройки панели см. в разделе 6.

Использование двух реагирующих органов имеет тот недостаток, что вторая ступень не резервирует первую в случае недостаточной интенсивности УВ. Но в этом случае, как и во многих дру-

гих, необходимо сделать выбор между возможностью излишнего срабатывания второй ступени и отсутствием резервирования. Конкретный выбор зависит, в основном, от вида имеющихся УВ и их быстродействия.

Следует также отметить, что действие второй ступени может предшествовать действию первой, что необходимо учитывать при выборе вида УВ.

Действие обеих ступеней устройства фиксации динамической перегрузки резервируется устройством фиксации статической перегрузки, хотя из-за ее выдержки времени не всегда эффективно.

4. БЛОКИРУЮЩИЕ ОРГАНЫ УСТРОЙСТВА ФИКСАЦИИ ПЕРЕГРУЗКИ МЕЖСИСТЕМНОЙ СВЯЗИ

Пусковой орган фиксации перегрузки по углу может неселективно действовать при возмущениях, не связанных с возникновением аварийного дефицита мощности. Опасность его действия увеличивается в тех случаях, если возмущения, не связанные с аварийным дефицитом мощности, требуют ввода управляющих воздействий иного характера.

Поэтому устройство фиксации перегрузки необходимо дополнить блокирующими органами, выводящими его из работы при авариях, связанных с:

- отключением короткого замыкания;
- сбросом мощности;
- отключением реактора;
- форсировкой продольной компенсации;
- включением одной из параллельных линий.

Блокирующий орган, выводящий устройство из действия при электромагнитных переходных процессах, которые могут вызвать ложное срабатывание устройства, имеется в составе блока разности фаз и блока измерения частоты шкафа ШДЭ-2601.

В качестве блокирующего органа, выводящего устройство из действия при электромеханических переходных процессах, которые могут вызвать ложное срабатывание устройства, используется шкаф комплекса мощности типа ШП-2702 или ШП-2703.

На листе I5 приведена структурная схема устройства фиксации перегрузки с необходимыми блокирующими органами.

4.I. Блокирующий орган при большой скорости изменения разности фаз напряжения.

При переключениях в сети, сопровождающихся большими положительными скольжениями (включение одной из параллельных линий, форсировка продольной компенсации, отключение реакторов и т.п.) возможно срабатывание всех ступеней динамической перегрузки. При этом должен сработать блокирующий орган и подать сигнал на блокировку реагирующих органов. Элемент памяти сохраняет сигнал на запрещающем входе после исчезновения сигнала блокирующего органа в течение времени, достаточного для затухания электромагнитных переходных процессов, как правило, не превышающего 0,5-Iс. Характеристика срабатывания блокирующего органа выбирается на основании расчетов электромеханических переходных процессов при аварийном дефиците мощности, равном максимально расчетному. Скольжение, при котором осуществляется блокировка, должно превышать скольжение при наибольшем возможном дефиците мощности.

Уравнение характеристики срабатывания имеет вид:

$$\delta'_{I2\,ср} \geqslant \delta'_{I2\,макс} \cdot K_{н\delta'}, \qquad (I9)$$

где $K_{н\delta'} = I,3$ – коэффициент надежности на неточность расчетов,

$\delta'_{I2_{макс}}$ – значение скольжения на траектории при максимальном дефиците мощности и угле $\delta^{I}_{бв}$.

Характеристика срабатывания блокирующего органа показана на рис.3 листа 4 прямой 4, структурная схема на листе II.

4.2. Блокирующий орган по сбросу мощности.

Устройство фиксации динамической перегрузки может работать неселективно при синхронных качаниях и при отключении короткого замыкания.

На рис.I,2 листа 5 показаны фазовые траектории в координатах мощность-производная мощности (P_{I2}. P'_{I2}) и угол-производная угла (δ_{I2}. δ'_{I2}) при различных возмущениях: при сбросе мощности, отключении линии после короткого замыкания, аварийном дефиците мощности. Анализ этих траекторий показывает, что траектории в координатах (δ_{I2}. δ'_{I2}) при различных возмущениях идентичны, что затрудняет обеспечение селективной работы реа-

гирующего органа фиксации динамической перегрузки (характеристика 5).

Анализ фазовых траекторий в координатах (P_{I2}, P'_{I2}) показывает, что на первом цикле качаний траектории изменения производной мощности при аварийном дефиците мощности отличаются от траекторий при других возмущениях – они целиком находятся в полуплоскости $P'_{I2} > 0$, в то время как при других возмущениях траектории движения всегда сначала попадают в отрицательную полуплоскость, а затем уже в положительную, где их трудно отличить от траекторий при небалансах мощности. Эту особенность используют для обеспечения селективной работы органа фиксации динамической перегрузки, применяя в качестве блокирующего органа орган по сбросу мощности с характеристикой срабатывания:

$$P^{I} - P \geqslant P_{ср.\,бл.}, \qquad (20)$$

где

$P_{ср.\,бл.}$ – мощность срабатывания блокирующего органа,

P^{I} – мощность, передаваемая по межсистемной связи в исходном (доаварийном) режиме,

P – текущее значение мощности.

Величина $P_{ср.\,бл.}$ выбирается больше амплитуды быстрых (секундных) нерегулярных колебаний мощности в системе. Амплитуда таких колебаний составляет приблизительно 0,25% мощности нагрузки меньшей из связанных рассматриваемой межсистемной связью энергосистем.

$$P_{ср.\,бл.} = P_{нк} \cdot K_{п} \cdot K_{н} \qquad (21)$$

где $P_{нк}$ – амплитуда быстрых (секундных) нерегулярных колебаний,

$K_{п}$ – коэффициент погрешности аппаратуры, фиксирующей сброс мощности,

$K_{н} = 1.2$ – коэффициент надежности.

Блокировка вводится на время, достаточное для затухания быстрых секундных нерегулярных колебаний (5-10с). В качестве блокирующего органа, реализующего характеристику (20) можно использовать панель комплекса мощности типа ЕП-2702, выпускаемую ЧЭАЗ Минэлектротехпрома.

Для блокировки устройства фиксации перегрузки по сбросу мощности может быть использована также панель типа ШП-2703 (панель фиксации сброса активной мощности)

Если эти панели не предусмотрены на объекте, где запроектирован шкаф ЩДЭ-2601, то в качестве органа, блокирующего действие устройства фиксации перегрузки при коротких замыканиях можно предусмотреть устройства блокировки от качаний типа КРБ-125 или КРБ-126, реагирующих на несимметрию в сети. При простых отключениях линий (без короткого замыкания) дополнительно к этому надо предусмотреть орган с характеристикой срабатывания:

$$\delta^I - \delta \geq \delta_{ср.бл.} \qquad (22)$$

где $\delta_{ср.бл.}$ – угол срабатывания органа,

δ^I – угол в исходном режиме,

δ – текущее значение угла,

$$\delta_{ср.бл.} > \Delta\delta_п \qquad (23)$$

где $\Delta\delta_п$ – погрешность аппаратуры измерения разности фаз.

При срабатывании блокирующего органа и при появлении сигнала элемент запрета блокирует сигнал с выхода реагирующего органа устройства фиксации динамической перегрузки. Элемент выдержки времени снимает сигнал с выхода элемента памяти через промежуток времени, достаточный для затухания электромеханических переходных процессов.

4.3. Блокирующий орган при несовпадении сигналов по основному и резервному каналам телепередачи фазы.

Если для измерения взаимного угла используется устройство телепередачи фазы по резервированным каналам в.ч. связи, то для повышения надежности работы устройства фиксации перегрузки оно блокируется, если в.ч. канал или аппаратура телепередачи фазы неисправны. Если неисправность выявляется приемником устройства телепередачи, то устройство фиксации перегрузки блокируется цепями приемника, сигнализирующими о его неисправности.

При возникновении неисправностей устройства телепередачи фазы или в.ч. канала, не выявляемых приемником, устройством фиксации перегрузки осуществляется косвенная фиксация этих неисправностей с помощью двух реле максимального напряжения, на

два входа которых подаются напряжения, пропорциональные углу $\delta_{I2\ осн}$ - измеренное по основному каналу связи, и $\delta_{I2\ рез}$ - измеренное по резервному каналу связи.

Уравнение срабатывания этих реагирующих органов имеет вид:

и
$$\delta_{12\,осн} - \delta_{12\,рез} \geq \delta_{g} \qquad (24)$$

$$\delta_{12\,осн} - \delta_{12\,рез} \leq -\delta_{g} \ , \qquad (25)$$

где δ_{g} - разность фаз срабатывания реагирующего органа.

$$\delta_{g} = \Delta\delta_{1} + \Delta\delta_{тф} \qquad (26)$$

где $\Delta\delta_{1}$ - погрешность аппаратуры измерения разности фаз, учитывающая разброс в коэффициентах передачи по двум трактам измерения разности фаз.

$\Delta\delta_{тф}$ - погрешность тракта телепередачи фазы.

5. ШКАФ ТИПА ШДЭ-260I

5.I. Структурная схема шкафа.

Для измерения и фиксации разности фаз напряжений и скорости ее изменения предназначен шкаф ШДЭ-260I. Шкаф обеспечивает измерение разности фаз подводимых напряжений, получаемых непосредственно от трансформаторов напряжений, от устройства телепередачи фазы и от устройств моделирования, последние входят в состав шкафа. Шкаф также позволяет измерить относительное скольжение векторов двух напряжений.

Структурная схема шкафа ШДЭ-260I представлена на листе 6.

Шкаф состоит из следующих блоков:

- блока фильтра напряжения прямой последовательности, содержащего фильтр напряжения прямой последовательности (*ZV1*);
- двух блоков моделирования вектора удаленного конца линии электропередачи (*UV1, UV2*);
- двух блоков разности фаз (*UУ1, UУ2*);
- двух блоков измерения частоты (*UF1, UF2*);
- блока скольжения (*US*);
- шести реагирующих органов - органов максимального напряжения (KV1÷KV6);
- четырех блокирующих реле минимального напряжения (по два реле в одном блоке);

- операционных усилителей A1÷A8, используемых как в режиме масштабного усилителя, так и в режиме инерционного звена (усилители A4÷A6 и A8 на чертеже не показаны);
- блока контроля исправности аппаратуры;
- блока питания и стабилизаторов напряжения;
- полосового фильтра (Z);
- блоков реле переключения уставок срабатывания устройства моделирования и реле максимального напряжения;
- двух блоков выходных промежуточных реле.

Трехфазное напряжение переменного тока от измерительных трансформаторов напряжения TV подается на блок фильтра напряжения прямой последовательности. Блок содержит фильтр напряжения прямой последовательности и полосовой фильтр для устранения влияния гармонических составляющих на работу аппаратуры. Поскольку к одному из входов датчика разности фаз подводится фазное напряжение от устройства моделирования или устройства телепередачи фазы, ко второму - опорное напряжение с выхода фильтра прямой последовательности, его применение только в одном тракте измерения напряжения не оправдано, так как дополнительно увеличивает аппаратурную погрешность шкафа и вносит замедление в получение сигнала. При наладке устройства фильтр напряжения прямой последовательности целесообразно исключить из схемы блока. При дальнейшей модернизации шкафа ШДЭ-2601 это необходимо учесть.

Устройства моделирования вектора напряжения предназначены для моделирования вектора напряжения удаленного конца линии электропередачи. Его структурная схема показана на Л.9.

Моделирование вектора напряжения противоположного конца линии электропередачи осуществляется суммированием вектора напряжения в месте установки шкафа с вектором падения напряжения от тока в линии на модели сопротивления линии Z_M ($R6$, $R7$ и $R8$, $R9$).

Устройство моделирования содержит трансформатор напряжения, трансреактор, R-C - фильтр и операционный усилитель (блок А-602). Входное напряжение переменного тока (ф.А) подается на трансформатор напряжения, фазный ток линии подводится к трансреактору, на выходе которого формируется напряжение, эквивалентное падению напряжения в линии. Данное напряжение усиливается и

подводится к суммирующему усилителю (блок А-103), к другому входу которого подводится напряжение от трансформатора напряжения. В схеме блока А-602 предусмотрена возможность дистанционного изменения уставки $Z_м$ при помощи контактов внешних устройств.

Выходное напряжение фильтра напряжения прямой последовательности подается на один из входов датчика разности фаз, на другой вход которого может быть подано напряжение противоположного конца линии, полученное или устройством моделирования, или внешним устройством телепередачи фазы. Выбор того или иного тракта измерения вектора напряжения противоположного конца осуществляется переключателями $SA1, SA2$, расположенными на передней двери шкафа. Переключатели $SA1, SA2$ имеют два положения, устанавливаются в любое из них независимо друг от друга. При установке переключателя $SA1, SA2$ в положение "моделирование" срабатывают реле KL2, KL4, а при установке в положение "телепередача" - KL1, KL3. В соответствии с этим и осуществляется подключение устройств моделирования или телепередачи фазы к датчикам разности фаз.

Датчик разности фаз предназначен для преобразования разности фаз двух контролируемых напряжений в напряжение постоянного тока, пропорциональное разности фаз. Датчик разности фаз выполнен на цифровом принципе. Принцип его действия основан на формировании временного интервала, пропорционального величине разности фаз, заполнению его импульсами от эталонного генератора высокой частоты с последующим пересчетом этих импульсов и преобразованием числового кода в аналоговый сигнал. Датчик осуществляет измерение разности фаз за время одного периода частоты сети.

На листе 10 дана структурная схема датчика разности фаз и показана временная диаграмма, поясняющая его работу.

Входные напряжения переменного тока $\dot{U}_1$ и $\dot{U}_2$, разность фаз которых подлежит измерению, поступают на входы формирователей входных прямоугольных импульсов соответственно F2 и F1. На выходе формирователя F1 формируются короткие импульсы "Перенос φ", на F2 - "Перенос Т" и "Установка 0", соответствующие по времени:

- сигнал "Перенос φ" - концу периода напряжения контролируемой сети $\dot{U}_2$.

- сигнал "Перенос Т" - концу периода опорного напряжения $\dot{U}_I$.
- сигнал "Установка 0", задержанный относительно сигнала "Перенос Т" на время 10-15 мкс.

Импульс "Установка 0" устанавливает счетчик СТ2 в положение, соответствующее 0^0. На время существования сигнала "установка 0" поступление импульсов от генератора в счетчик прекращается. По окончанию сигнала "Установка 0" счетчик начинает считать импульсы, поступающие на его вход от генератора импульсов.

С приходом сигнала "Перенос φ", который воздействует на триггера памяти запоминающего устройства DS, информация о количестве импульсов, поступающих в счетчик, в двоичном позиционном коде переносится в устройство DS, которое запоминает его состояние до следующего цикла работы. Запоминающее устройство управляет работой цифро-аналогового преобразователя (ЦАП), с помощью которого двоичный позиционный код преобразуется в постоянное напряжение. Это напряжение пропорционально сдвигу фаз между $\dot{U}_1$ и $\dot{U}_2$.

В момент прихода сигнала "Перенос Т" счетчик СТ2 зарегистрирует количество импульсов за время между сигналами "Установка 0" и "Перенос Т". Таким образом в этот момент счетчик содержит информацию о величине периода (частоте) напряжения $\dot{U}_I$. Эта информация переносится в триггера памяти блока "Коррекция", которые сохраняют ее до следующего цикла работы.

Блок "Коррекция" поддерживает напряжение на выходе ЦАП постоянным при изменении частоты и неизменном угле сдвига фаз.

Датчик разности фаз имеет три диапазона измерения угла: $-90^0 \div +90^0$, $-180^0 \div +180^0$, $0^0 \div 360^0$. Максимальное выходное напряжение составляет ±10В (при диапазоне 0 ÷360 только +10В). Установка выбранного диапазона измерения угла осуществляется при настройке шкафа подачей на вход выходного усилителя датчика соответствующего напряжения смещения - на схеме "Uсм".

Кроме этого, на один из входов выходного усилителя датчика разности фаз может быть подан сигнал "Uкор", осуществляющий коррекцию характеристики датчика разности фаз при изменении частоты в сети. Эта коррекция необходима только при использовании для измерения разности фаз устройства телепередачи фазы, так как

крутизна его фазочастотной характеристики может отличаться от аналогичной характеристики блока напряжения прямой последовательности, выход которого подключается к другому входу датчика разности фаз. Наличие фазочастотных характеристик определяется реактивными элементами схемы.

При работе датчиков разности фаз с устройствами моделирования крутизна фазочастотных характеристик по всем его входам одинакова и составляет 5 град/Гц, так как определяется одинаковыми активными фильтрами. В этом случае при изменении частоты дополнительная фазовая погрешность будет незначительна и коррекция характеристики датчика разности фаз не требуется.

Крутизна фазо-частотной характеристики аппаратуры АНКА, используемой в проектировании для телепередачи фазы, по техническим данным составляет 10 град/Гц.

В общем случае, величина фазовой погрешности на 1 Гц изменения частоты, которая должна быть скомпенсирована, определяется по выражению:

$$\Delta\varphi_{кор} = (\Delta\varphi_{тф} - 5^{\circ}) \quad , \qquad (27)$$

где $\Delta\varphi_{тф}$ - величина фазовой погрешности канала телепередачи фазы, в эту величину следует включить не только погрешность фазы при изменении частоты на 1 Гц, но и погрешность, обусловленную запаздыванием фазы выходного сигнала приемника по отношению к входному сигналу передатчика, если она полностью не устраняется выбором фазы напряжения, подводимого к передатчику устройства телепередачи фазы.

Для осуществления коррекции по частоте в схеме шкафа предусмотрены два операционных усилителя А5 и А6, позволяющих осуществить коррекцию разного знака, сигнал на их выходе пропорционален частоте.

Величина напряжения коррекции (Uкор) определяется по выражению:

$$U_{кор} = \frac{K_{у} \cdot \Delta\varphi_{кор}(50-f)}{K_{ус}} \quad , \qquad (28)$$

где $K_{у}$ - коэффициент преобразования датчика разности фаз, за-

висит от выбранного диапазона и равен:

- 0.III2 В/град для диапазона измерения от минус 90° до плюс 90°.
- 0.0556 В/град - от минус I80° до плюс I80°.
- 0.0278 В/град - от 0° до 360°.

$K_{ус}$ - коэффициент усиления выходного усилителя датчика разности фаз.

Величина $U_{кор}$ настраивается при помощи усилителей А5, А6, коэффициент усиления которых определяется по выражению:

$$U_{кор} = K_f \cdot K_{A5} \cdot K_{A6} \cdot (50 - f), \qquad (29)$$

где K_f - коэффициент преобразования блока измерения частоты (подробнее о нем будет сказано ниже).

$K_{A5} \cdot K_{A6}$ - коэффициенты усиления усилителей А5, А6.

При наличии частотной коррекции выходной сигнал датчика разности фаз определяется по выражению:

$$U_{вых} = K_\varphi [\delta + \Delta \varphi_{кор} \cdot (50 - f)]. \qquad (30)$$

В состав датчика разности фаз входят также блок контроля и измерительный блок, обеспечивающие контроль за правильностью его работы. Подробное описание работы этих блоков приведено в следующем разделе.

Выходное напряжение с датчика разности фаз подается на вход инвертирующего усилителя, соединенного последовательно с инерционным усилителем с целью получения напряжения, пропорционального значению разности фаз напряжений в исходном режиме. Постоянная времени инерционного усилителя $T_И$=I0с.

Схема шкафа содержит два датчика частоты контролируемых напряжений. Структурная схема датчика частоты приведена на Л.I0. Датчик выполнен на цифровом принципе по аналогии с датчиком разности фаз.

Датчик измерения частоты осуществляет преобразование длительности периода переменного напряжения в постоянное напряжение, пропорциональное контролируемой частоте. С целью упрощения схема датчика фиксирует разность частот - между контролируемой и минимальной частотой выбранного диапазона. Предусмотрено три диапазона измерения частоты: от 45 до 55 Гц, от 47.I до 52.I Гц и от 48.3 до 50.8 Гц.

Выходной сигнал датчика измерения частоты равен I0В при

максимальной частоте выбранного диапазона и "0" В при минимальной частоте диапазона.

Величина выходного напряжения датчика частоты определяется по выражению:

$$U_{вых} = K_f (f - f_{мин}), \quad (31)$$

где f - частота контролируемого напряжения.

$f_{мин}$ - минимальная частота выбранного диапазона измерения датчика частоты.

K_f - коэффициент преобразования датчика измерения частоты, в зависимости от диапазона измерения частоты равный:

- I В/Гц для диапазона измерения от 45 до 55 Гц
- 2 В/Гц для диапазона измерения от 47,I до 52,I Гц
- 4 В/Гц для диапазона измерения от 48,3 до 50,8 Гц.

В связи с тем, что датчик частоты измеряет фактически период, а не частоту, его выходная характеристика нелинейна. Поэтому в схеме датчика частоты введена коррекция нелинейности выходной характеристики в зависимости от частоты. Выход элемента коррекции подключен параллельно выходу цифро-аналогового преобразователя.

Кроме этого, в датчике частоты содержится элемент "Ограничение", назначение которого ограничить изменение выходного сигнала за рамками установленного диапазона измерения частоты. Это означает, что если частота контролируемого напряжения превышает максимальное значение, то на выходе датчика частоты сигнал будет равен IOВ, а при частоте ниже минимального значения - "0"В.

На датчики частоты подаются сигналы либо с выхода аппаратуры телепередачи фазы, либо с выхода устройства моделирования, либо от сети через фильтр.

Датчик скольжения фиксирует разность частот, т.е. скольжение, он представляет собой операционный усилитель А4 (см. Л7) с двумя входами: один из входов - неинвертируемый, к нему подводится сигнал с выхода второго датчика частоты, фиксирующего частоту напряжения удаленного конца связи, второй вход - инвертируемый, к нему подводится напряжение с выхода первого датчика частоты.

Выходное напряжение блоков разности фаз, пропорциональное текущему значению разности фаз (δ_{I2}, δ_{I3}), выходное напряже-

ние инерционного усилителя, пропорциональное разности фаз в исходном режиме (δ^{I}_{I2}, δ^{-I}_{I3}), и выходное напряжение блока скольжения (дифференциального усилителя), пропорциональное скольжению (S_{I2}), подаются на входы максимальных реле напряжения типа Н-30I. Реле позволяют суммировать до трех любых сигналов, поступающих на вход, и реализовать любые характеристики срабатывания устройств фиксации перегрузки. Для этого на входе реле предусмотрены соответствующие перемычки.

На рис.9 приведена электрическая схема входных цепей реле Н-30I. Реле могут быть настроены как на положительную, так и на отрицательную уставку. Диапазон уставок от (0,I÷I0)В. Регулировка уставки осуществляется при помощи делителя RI7, RI8, на который подается накладкой XN3 напряжение с полярностью, обратной напряжению срабатывания реле Н-30I. Имеется возможность дистанционного изменения уставки с помощью реле KL I, контакт которого подает соответствующее напряжение смещения на делитель R8, R9, с которого оно поступает на вход усилителя AI.

Предусмотрена автоматическая проверка исправности реле подачей контрольного сигнала ("Uконтр) на вход усилителя AI. В схеме реле Н-30I предусмотрена бесконтактная блокировка его срабатывания при неисправности других блоков шкафа ЩДЭ-260I.

На выходе реле Н-30I включено выходное промежуточное реле типа РП-I3 (блок Д-50I). Время срабатывания блока Н-30I совместно с блоком Д-50I не более 0,035с при кратности сигнала на входе, равной I,2 напряжения срабатывания. Предусмотрена возможность регулирования задержки на срабатывание в диапазоне от 0,0I÷0,28 с.

В схеме шкафа предусмотрен контроль наличия напряжения переменного тока с помощью реле минимального напряжения (два блока), выполненных на интегральных микросхемах, ко входам которых подключаются напряжения, используемые для измерения разности фаз. Реле минимального напряжения фиксируют снижение контролируемого напряжения ниже допустимого значения и выдают сигнал в блок контроля исправности аппаратуры, который в этом случае мгновенно блокирует выходные реле и если понижение напряжения на входе шкафа существует дольше контрольного времени, выдает сигнал в цепь центральной сигнализации.

Величина напряжения, при котором срабатывает реле, не бо-

лее 6В - при подаче на вход реле напряжения сети, и не более I,5В - при подаче на вход реле выходных цепей устройства моделирования или устройства телепередачи фазы.

Фиксация неисправностей, возникающих в блоках шкафа, а также сигналов об исчезновении любого из контролируемых напряжений переменного тока осуществляется блоком контроля исправности аппаратуры. При этом блокируется срабатывание выходных реле максимального напряжения Н-30I и промежуточных реле в блоке Д-50I. Если сигнал неисправности или исчезновения напряжения существует дольше, чем выдержка времени элемента выдержки времени, то сигнал поступает в цепь центральной сигнализации. В шкафу предусмотрен периодический автоматический контроль и ручной контроль.

Питание шкафа осуществляется от постоянного напряжения 220В. На выходе блока питания три независимых уровня напряжения 24В и напряжение I2В постоянного тока. Так как для элементов блоков шкафа требуются, кроме напряжения 24В, также уровни ±5В и ±I5В, то предусматриваются также стабилизаторы напряжения ±5В и ±I5В. Напряжение I2В используется для питания стабилизаторов +5В.

5.2. Схема блока контроля исправности датчика разности фаз.

Схема является составляющей частью датчика разности фаз 7-УУI (8-УУ2) и состоит из двух блоков - Е5 (А-603) и Е6 (К-20I). Структурная схема контроля приведена на листе II.

Выполняет следующие функции:

I. Проверку точности преобразования разности фаз в постоянное напряжение.

2. Фиксацию резких колебаний выходного напряжения датчика разности фаз, возможных при авариях в энергосистеме, не связанных с возникновением аварийного небаланса мощности (короткие замыкания, сбросы мощности и т.п.).

3. Контроль исправности отдельных цепей датчика разности фаз.

Срабатывание схемы может вызываться следующими причинами:

I. Появлением скачка напряжения на выходе датчика разности фаз.

2. Подачей напряжения минус 24В от блока контроля исправности аппаратуры шкафа 3-ЕІ3 при автоматическом контроле.

3. Нажатием кнопки SB2 в блоке А-603 при ручной проверке исправности датчика разности фаз.

4. Появлением сигнала о неисправности отдельных цепей датчики разности фаз.

Пороговые элементы AI÷A4 подключены к выходу усилителя Е9 датчика разности фаз. Пороговые элементы AI. А2 предназначены для проверки точности преобразования разности фаз в постоянное напряжение, а элементы А3, А4 – для фиксации резких колебаний выходного напряжения датчика разности фаз.

Проверка точности преобразования разности фаз (угла δ) в постоянное напряжение элементами AI и А2 осуществляется путем имитации на входе датчика разности фаз напряжений $\dot{U}_1$ и $\dot{U}_2$ сдвинутых на определенный контрольный угол, и сравнение полученного при этом выходного напряжения с заданным. В зависимости от принятого диапазона измерения угла δ контрольный угол различен: при диапазоне измерения $\delta = 0^0 + 360^0$ контрольный угол $\delta = 180^0$ (соответственно на выходе датчика разности фаз $U_{180^0} = 5В$), при диапазонах $\delta = -90^0 \div +90^0$ и $-180^0 \div +180^0$ контрольный угол $\delta = 0^0$. В соответствии с диапазоном измерения угла с помощью элементов схемы К-20І (резистора, накладки) настраивается порог срабатывания элементов AI, А2.

Если выходное напряжение датчика разности фаз находится в момент проверки вне указанных диапазонов, то схема контроля это зафиксирует.

Элементы А3 и А4 фиксируют резкие изменения выходного напряжения датчика разности фаз. Во входных цепях этих элементов содержится R –C цепь. Элемент А3 реагирует на положительную скорость изменения напряжения, А4 – на отрицательную.

Напряжение, при котором возникают условия срабатывания элементов А3, А4 определяются по выражению

$$U_{ср} = K_{нКу} \times \frac{S \cdot 360^0}{f_н} \qquad (32)$$

где S – скольжение, возможное в энергосистеме при максимальных аварийных дефицитах мощности.

$f_н$ = 50 Гц - номинальная частота входного напряжения переменного тока.

K_φ - коэффициент преобразования блока разности фаз, равный 0,0278 В/град для диапазона измерения от 0^0 до 360^0, 0,0556 В/град для диапазона измерения от минус 180^0 до плюс 180^0, 0,1112 В/град для диапазона измерения от минус 90^0 до плюс 90^0,

Кн = 1,3 - коэффициент надежности на неточность расчетов.

Диапазон скольжения, на которое может быть настроено срабатывание блокировки, равен от 2 до 5 Гц для диапазона измерения датчика разности фаз от 0^0 до 360^0. При диапазонах измерения разности фаз от $-180^0 \div +180^0$ и $-90^0 \div +90^0$ диапазон скольжения равен 1÷2,5 Гц. Обычно величина S принимается равной $S_{макс}$ для принятого диапазона измерения блока скольжения: 2,5 или 5 Гц.

При положительной полярности срабатывает элемент А3, при отрицательной - элемент А4.

При диапазоне измерения $0^0 \div 360^0$ настраивают только элемент А3.

При проверке точности работы датчика разности фаз (ручной от кнопки или автоматической от блока З-ЕІЗ) происходит срабатывание реле КL2 в блоке А-603, контакты которого осуществляют переключение входных цепей датчика разности фаз. В результате этих переключений одно из входных напряжений закорачивается на нуль, а другое одновременно подводится к разным входам формирователей импульсов F I и F2. Схема сфазирована таким образом, что на выходе датчика разности фаз появляется напряжение, пропорциональное углу $\delta = 180^0$ (при диапазоне измерения $0^0 \div 360^0$) или $\delta = 0^0$ (при диапазонах измерений $-90^0 \div +90^0$ и $-180^0 \div +180^0$) - при исправной работе блока. Это и зафиксируют элементы АІ и А2. Один из элементов А3, А4 зафиксирует бросок выходного напряжения датчика разности фаз, но это не приведет к срабатыванию выходного реле KL3 и появлению сигнала "неисправность I", т.к. схема контроля выполнена таким образом, что блокировка подействует при одновременном срабатывании двух элементов - АІ(А2) и А3 (А4).

В случае неточности преобразования датчиком разности фаз и, следовательно, его неисправности реле KL3 сработает и подает

сигнал "неисправность I" в центральное устройство контроля исправности всего шкафа (3-ЕИ3). При этом загорится светодиод.

Узел в блоке К-201, контролирующий неисправность отдельных элементов датчика разности фаз, воздействует на реле KL4 (блок А-603). К этому узлу подведены сигналы "Установка 0", "Перенос 9" и выход счетчика импульсов. Пропадание одного из этих сигналов вызывает срабатывание реле KL4 и появление сигнала "неисправность I", который также подводится к центральному устройству контроля 3 -ЕИ3, и к реле KL2, осуществляющему проверку точности преобразования датчика разности фаз. Если схема исправна, а сигнал неисправности был вызван случайно, то сигнал неисправности снимается, схема контроля возвращается в исходное положение.

5.3. Принципиальная схема шкафа

Принципиальная электрическая схема включения шкафа приведена на листах 7,8.

Напряжение питания постоянного тока 220В, ток и напряжение цепей переменного тока подаются на клеммные зажимы шкафа и через испытательные блоки SG1÷SG6 поступают в схему шкафа. Назначение основных блоков шкафа описано в разделе 4.

Трехфазное напряжение переменного тока 100/$\sqrt{3}$ от измерительных трансформаторов напряжения TV поступает через клеммные зажимы X93, X98, X103, X108 и испытательный блок SG4 на блок напряжения прямой последовательности 4 - ZV. Для включения на трехфазное напряжение прямой последовательности в 4-ZV установлены 3 трансформатора напряжения, имеющие отпайку в цепи первичной обмотки для возможности включения на напряжение 100/$\sqrt{3}$ и 100 В.

При включении на напряжение 100В необходимо выполнить пересоединение на клеммнике кассеты.

Переменный ток от измерительных трансформаторов тока параллельных линий подается через клеммные зажимы X113, X114, X116, X117, и X119, X120, X122, X123 на первичные обмотки трансформаторов тока TA1÷TA4 (K_{TA}=2), расположенные в шкафу. В том случае, когда необходимо моделировать вектор напряжения одноцепной линии электропередачи в TA1÷TA4 предусмотрена возможность переключения в цепи первичной обмотки для получения коэффициента трансформации, равного I. Для этого необходимо применительно, например, к TA1 и TA2 клемму X114 последовательно соединить с

клеммой XII6, а клеммы XII3 и XII7 подсоединить к трансформатору тока моделируемой линии.

При работе с аппаратурой телепередачи фазы, переключатели шкафа SA1, SA2 должны быть установлены в положение "телепередача I", "телепередача 2". Напряжение с выхода телеприемников ФАЗЫ ПОДВОДИТСЯ К КЛЕММНЫМ ЗАЖИМАМ X87, X88 И X90, X9I.

В шкафу установлено шесть ячеек максимального реле напряжения, которые совместно с двумя блоками выходных реле образуют 6 реагирующих органов. Реле выходных блоков имеют по 2 переключающих контакта, один из которых включен в цепь обмотки указательных реле КНI÷КН6, сигнализирующих срабатывание каждого органа. Оба контакта выведены на клеммник шкафа для возможности использования их во внешних цепях устройств автоматики.

В схеме шкафа предусмотрена возможность дистанционного изменения уставок блоков моделирования вектора напряжения (7-UVI и 8-UV2) контактами внешних устройств в зависимости от нормального или ремонтного режима работы параллельных линий электропередачи. При подаче напряжения 220В постоянного тока на клеммы X57, X58 срабатывают реле КL1, КL2 блока 5-Е3 на листе 8 и подают напряжение минус 24В на обмотку реле, встроенного в блок моделирования и переключающего уставки соответственно в 7-UV I и 8-UV2.

При подаче напряжения 220В на клеммы X60, X6I и X62 при помощи контактов внешних устройств, срабатывают реле КL1÷КL3 блока 2-Е4 и своими контактами подают напряжение минус 24В на обмотку реле, переключающих уставки в ячейках реле максимального напряжения KVI÷KV6 (см. Л.9).

Как в 7-UVI, 8-UV2, так и в KVI÷KV6 обе уставки должны быть настроены предварительно.

Для выполнения дополнительных логических операций в схеме шкафа имеется три резервных реле КL1÷КL3 в блоке 2-Е2, катушки которых вместе с контактами выведены на клеммные зажимы шкафа X63÷X82.

Питание аппаратуры шкафа осуществляется от сети постоянного тока напряжением 220В, которое подается через клеммы XI, X6 и испытательный блок SG I на вход блока питания типа БРЭ-230I, расположенного в верхней кассете шкафа. На выходе блока питания шкафа имеется 3 независимых уровня напряжения 24В и

I2В постоянного тока.

Напряжение I2В используется для питания двух стабилизаторов напряжения 5В типа П50I (I-Е4, 2-ЕI), от одного выхода напряжением 24В питаются все цепи шкафа этого напряжения. Два других выходных напряжения 24В используются для питания стабилизаторов напряжения I5В типа П502 (2-Е3, 2-Е6). Все стабилизаторы снабжены устройством защиты, фиксирующим неисправности в их схеме и воздействующим на цепь отключения блока питания.

Фиксация неисправностей, возникающих в блоках шкафа, а также сигналов об исчезновении любого из контролируемых напряжений переменного тока осуществляется блоком контроля исправности аппаратуры, который состоит из следующих устройств:

- блока периодического автоматического контроля 3-ЕI0 типа К-I0I;
- блока элементов выдержки времени 3-ЕII типа К-I0I;
- блока выдержки времени 3-ЕI2 типа ВI02;
- блока контроля исправности аппаратуры 3 -ЕI3 типа К-70I.

При неисправности шкафа к блоку контроля 3-ЕI3 подается напряжение -24В, при этом осуществляется бесконтактная блокировка логики максимальных реле напряжения НЗ0I, препятствующая их срабатыванию. Через некоторое время после этого, определяемое временем срабатывание реле типа РПI3 в блоке К70I, бесконтактная блокировка логики реле НЗ0I снимается, но одновременно осуществляется блокирование выходных промреле в блоке 3-ЕI, 3-Е2 (снятие питания "0" В, в схеме на листе 7 - сигнал "блокировка 0").

Одновременно срабатывает выходное реле К4.5 блока 3-ЕI3 и замыкает цепь указательного реле КН7, загорается лампа HLW, расположенная на передней двери шкафа и замыкается цепь сигнализации через диод VDI и клемму Х53. Блок контроля с установленной периодичностью осуществляет автоматическую проверку исправности аппаратуры шкафа, предусмотрена также возможность ручной проверки.

При неисправности или исчезновении напряжения переменного тока на входе блока разности фаз, на его выходе может появиться максимальный выходной положительный сигнал, который будет зафиксирован на какое-то время на выходе инерционных усилителей А2, А7 после устранения неисправности и восстановлении на-

пряжения переменного тока, что может привести к ложному срабатыванию ячеек KVI÷KV6 и блоков выходных реле. Для исключения этого на вторые входы усилителей AI,A3 подается сигнал "неисправность I" (напряжение минус 24В), которое создает на выходе усилителей A2, A7 напряжение отрицательной полярности, являющееся тормозным сигналом для ячеек KVI÷KV6, настроенных на положительную полярность напряжения срабатывания. Если ячейки KV I÷KV 6 настроены на отрицательную полярность напряжения срабатывания, то на усилители AI, A3 сигнал "Неисправность I" не подается.

В шкафу имеется возможность блокирования работы аппаратуры по сигналу от внешних устройств, поступающему на клемму шкафа X59.

На Л.24 показан фасад шкафа.

Подробное описание принципов работы всех блоков шкафа, методика настройки его элементов приведены в "Техническом описании и инструкции по эксплуатации шкафа автоматики типа ШДЭ-260I, инв. № ИГФР 656466.002ТОI", поставляемой вместе с аппаратурой. "Техническом описании и инструкции по эксплуатации блока питания преобразовательного типа БРЭ 230I, инв.№ 6ДХ.369.94I ТО".

6. ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ БЛОКОВ ШКАФА ШДЭ-260I

6.I. Погрешности устройства.

Как уже указывалось, среднеквадратичное значение диапазона изменения угла от неизмеряемых параметров схемы составляет ошибку измерения разности фаз в предельном режиме, которая должна быть учтена при определении значений $\delta_{пр.ст.}$ в разделе 2.

В данном разделе указаны погрешности собственно аппаратуры измерения угла, которые составляют значение $\Delta\delta$.

Устройство обладает различными аппаратными погрешностями, некоторые можно не учитывать ввиду их определенности и неизменности для данного устройства, они устраняются настройкой устройства.

Применительно к шкафу угла ШДЭ-260I – это основная погрешность датчика разности фаз, блока скольжения, отражающие нелинейность их характеристик, крутизна фазочастотных характеристик блоков шкафа.

Применительно к устройству телепередачи фазы, в качестве которого в практике проектирования нашла применение аппаратура АНКА-АВПА, - это погрешность, связанная с запаздыванием фазы выходного сигнала приемника по отношению ко входному сигналу передатчика, запаздывание, обусловленное конечной величиной скорости распространения электромагнитных волн (в.ч. сигнала), находящееся в прямой зависимости от длины в.ч. канала.

Различие в крутизне фазо-частотных характеристик аппаратуры, входящей в состав шкафа ЩДЭ-260I и аппаратуры телепередачи фазы, устраняется специальными мероприятиями, предусмотренными в самом шкафе (так называемая "коррекция по частоте").

В соответствии с техническими данными шкафа ЩДЭ-260I и аппаратуры телепередачи фазы на базе АНКА-АВПА подсчитана результирующая погрешность трактов измерения угла и скольжения. При этом принималось, что измерение внешних факторов (параметров), влияющих на погрешность аппаратуры подчиняется закону независимых, случайных величин. Результирующая погрешность, вызванная вероятностным отклонением нескольких параметров равна:

- при измерении угла с использованием устройства моделирования $\pm 4.5^{0}$;
- при измерении угла и использовании устройства телепередачи фазы $\pm 6.9^{0}$;
- при измерении скольжения с использованием устройства моделирования $\pm(0.1 \div 0.3)$ Гц в зависимости от диапазона измерения скольжения (меньшее значение соответствует измерению скольжения в диапазоне 0.1÷2 Гц, большее - 2,5÷5 Гц).
- при измерении скольжения с использованием аппаратуры телепередачи фазы на базе АНКА-АВПА $\pm$ (0,2÷0.35) Гц.

6.2. Настройка реагирующего органа для устройства фиксации статической перегрузки.

Характеристика срабатывания реагирующего органа устройства фиксации перегрузки реализуется на реле максимального напряжения Н-30I шкафа ЩДЭ-260I. Напряжение срабатывания реле, реализующего характеристику (I) устройства фиксации статической перегрузки, связано с углом срабатывания соотношением:

$$U_{ср} = K_{у} \cdot \delta_{су}, \qquad (33)$$

где $U_{ср}$ - напряжение срабатывания реле максимального напряжения.

$\delta_{су}$ - угол срабатывания устройства.

$K_у$ - коэффициент преобразования блоков разности фаз шкафа ШДЭ-2601, равный 0,0278 В/град для диапазона измерения от 0^0 до 360^0. 0,0556 В/град для диапазона измерения от минус 180^0 до плюс 180^0 и 0,01112 В/град для диапазона измерения от минус 90^0 до плюс 90^0.

Угол срабатывания устройства выбирается по разделу 2.

В зависимости от принятого $\delta_{су}$ выбирается диапазон измерения угла. Обычно диапазон от 0 до 360^0 не используется. Работа в меньших диапазонах позволяет фиксировать угол также при реверсе передаваемой мощности по связи.

Как уже указывалось, особенно с учетом того, что, как следует из раздела 6.I, погрешность измерения угла не зависит от уставки и довольно велика, желательно выбирать как можно больший угол срабатывания. Поэтому желательно настраивать устройство на угол, близкий к 90^0 и использовать диапазон от минус 180^0 до плюс 180^0. Если это не удается, можно фиксировать меньший угол, но, как уже указано в разделе I, для обеспечения несрабатывания устройства в допустимом по статической устойчивости режиме угол срабатывания не должен быть меньше 30^0. При этом должен использоваться диапазон от минус 90^0 до плюс 90^0.

Напряжение, пропорциональное текущей разности фаз напряжений δ_{12}, подается на один из входов реле максимального напряжения (см. Л.9).

Настройка реле напряжения (выбор величины входного добавочного сопротивления) осуществляется в соответствии с уравнением срабатывания его реагирующего органа, которое в параметрах схемы реле имеет вид:

$$\left(\frac{U_{ср}}{R_{вхi}} + \frac{U_{уст}}{R16(R43)}\right) \geq 0 , \qquad (34)$$

где $R_{вхi}$ - входное сопротивление реле Н-301, величина которого задана в диапазоне от 20 кОм до 41,8 кОм.

$R16(R43)$ - сопротивление входа задания уставки "$U_{уст}$" входного усилителя А1 реле Н-301, при уставке (0,1÷7)В

используется R I6, при уставке выше 7В - R 43.

$U_{уст}$ - величина напряжения, подаваемого на вход задания уставки от источника напряжения ±I5В.

Для дистанционного изменения уставки предусмотрено вспомогательное реле KL I, встроенное в блок Н-30I, контакт которого при подаче на него напряжения - 24В от внешних реле создает на дополнительном входе усилителя AI смещение, чем и обеспечивается изменение уставки блока Н-30I.

Характеристика срабатывания реле Н-30I при дистанционном изменении уставки имеет вид:

$$\left(\frac{U_{ср}}{R_{вхi}} + \frac{U_{уст}}{R16\,(R43)} + \frac{\Delta U_{уст}}{R7}\right) \geqslant 0, \qquad (35)$$

где $\Delta U_{уст}$ - величина напряжения, подаваемого на вход дистанционного изменения уставки (на резистор R7) от источника напряжения - I5В или +5В.

$$\Delta U_{уст} = -\,I5В\ (+5В)\ .\ \frac{R7\cdot R9}{R7\cdot R8 + R7\cdot R9 + R8\cdot R9},\ В$$

6.3. Настройка реагирующего органа шкафа для устройства фиксации динамической перегрузки.

Характеристика срабатывания реагирующего органа устройства фиксации динамической перегрузки реализуется с помощью максимального реле Н30I. Две ступени устройства выполняются на трех максимальных реле. Для того, чтобы реализовать характеристику срабатывания I-ой ступени на входы реагирующего органа подаются два напряжения. Первое напряжение пропорционально скольжению, а второе пропорционально значению разности фаз напряжений в исходном режиме.

Напряжение срабатывания реле, реализующего характеристику I ступени устройства фиксации динамической перегрузки, связано со скольжением (δ') и углом δ^{I}_{12} соотношением:

$$U_{ср} = K_f K_{A4} K_1 \delta'_{12} + K_y K_{A2} K_{A3} \delta^{I}_{12}, \qquad (38)$$

где K_f - коэффициент преобразования блока измерения частоты, равный:

IВ/Гц для диапазона измерения от 45 до 55 Гц.

2В/Гц для диапазона измерения от 47.I до 52.I Гц

4В/Гц для диапазона измерения от 48.3 до 50.8 Гц.

K_{A4}=I - коэффициент усиления дифференциального операционного усилителя 4-Е7;

K_{A2}. K_{A3} - коэффициенты усиления операционных усилителей 4-Е5; 4-Е6. соответственно. Обычно их принимают равными I;

K_I - коэффициент наклона характеристики срабатывания.

Настройка реле напряжения (выбор величины входного добавочного сопротивления). осуществляется в соответствии с уравнением срабатывания в параметрах схемы:

$$\frac{U_{\delta}'}{R_{вх1}} + \frac{U_{\delta}^{I}}{R_{вх2}} = \frac{U_{уст}}{R16(R43)} ; \qquad (29)$$

где

$$U_{\delta}' = K_f \cdot K_{A4} \cdot K_I \cdot \delta_{12}' ,$$

$$U_{\delta}^{I} = K_y \cdot K_{A2} \cdot K_{A3} \cdot \delta_{12}^{I} ,$$

$R_{вх1}, R_{вх2}$ - входные сопротивления максимального реле напряжения.

Входное сопротивление по каждому из входов можно определить. полагая напряжение другого входа равным нулю. Для снижения потребления от усилителей значения $R_{вх1}$ и $R_{вх2}$ следует выбирать ближе к верхней границе.

Выбор входных сопротивлений и напряжения срабатывания для второй ступени производится аналогично.

6.4. Настройка устройства моделирования.

Для настройки устройства моделирования необходимо вычислить величину сопротивления. определяющего фазу напряжения в выбранной точке сети.

Сопротивление моделирования в предельном по условию устойчивости режиме определяется по выражению:

$$Z_{M12} = \frac{\dot{U}_2 - \dot{U}_1}{\dot{I}_{12}}$$

где $\dot{I}_{12}$ - ток по связи со стороны узла I. в котором установлен шкаф автоматики ШЭ-2601.

$\dot{U}_1, \dot{U}_2$ - вектора напряжений. в координатах которых построена область устойчивости и аргументы которых определяют

угол δ_{I2} в устройстве фиксации перегрузки.

Как уже указывалось, для сложной схемы сети сопротивление $Z_{M\,I2}$ так же, как и предельный по условию устойчивости угол $\delta_{I2пр}$, зависит от ряда неконтролируемых параметров энергосистемы, определяющих ее режим работы. Неучет этого обстоятельства вносит ошибку в моделирование вектора напряжения удаленного конца и, соответственно, в измерение угла δ_{I2}. Это обстоятельство может привести к ограничению пропускной способности межсистемной связи. В этом случае с целью повышения точности моделирования вектора напряжения противоположного конца межсистемной связи ($\dot{U}_2$) $Z_{M\,I2}$, рассчитанное для различных режимов работы энергосистемы, предельных по условию устойчивости, можно усреднить. При усреднении учитывается значимость каждого из рассматриваемых режимов, например, вероятностью его существования. Тогда расчетная величина $Z_{M\,I2}$ определится:

$$Z_{M\,I2\,расч} = \frac{\sum_{1}^{n} \beta_i Z_{Mi}}{\sum_{1}^{n} \beta_i}.$$

где Z_{Mi} – сопротивление для i-го режима работы энергосистемы,

β_i – коэффициент веса i-го режима, характеризующий его значимость и вероятность существования.

Получаемый с помощью Z_{MI2} угол δ_{I2} должен быть достаточно большим, близким к 90^0, т.к. чем выше уставка, тем меньше относительная ошибка из-за аппаратной погрешности шкафа.

Однако сопротивление Z_{MI2} не должно быть чрезмерно большим из-за ограничений устройства моделирования шкафа ШДЭ-2601. Напряжение ΔU_M, устанавливаемое на выходе устройства моделирования не должно превышать 7В. Оно определяется по выражению:

$$\Delta U_M = \frac{K_M \cdot (I_1 + I_2) \cdot K_П}{K_{TA} \cdot K_{TV}} \cdot Z_{M\,12\,расч},$$

где K_M = 0.061 – расчетный коэффициент преобразования устройства моделирования.

I_1. I_2 - номинальный вторичный ток линий,

$K_п = 2$ - коэффициент трансформации промежуточных трансформаторов тока шкафа.

Превышение значения $\Delta U_м$ выше допустимого при $Z_{м12} \cdot \frac{K_{TA}}{K_{TV}} \leq$ I50 Ом для $I_н$ =IA и 30 Ом для $I_н$ =5A означает, что реальные максимальные токи линии меньше номинальных и необходимо повторить расчет с реальными значениями токов.

7. СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА ФИКСАЦИИ ПЕРЕГРУЗКИ МЕЖСИСТЕМНОЙ СВЯЗИ

7.I. Измерительная часть

Состав и схема шкафа ШДЭ-260I позволяют получить на выходе измерительной части шкафа напряжения, пропорциональные разности фаз напряжений и относительному скольжению векторов напряжений в выбранных точках энергосистемы любой полярности, а также их сумму или разность. Это достигается путем переключений на клеммнике кассет.

В заводском исполнении на выходе измерительной схемы шкафа могут быть получены следующие величины:

$\delta_{I2} = \delta_I - \delta_2$,

$\delta^{I}_{I2} - \delta_{I2}$ в исходном режиме.

$\delta_{I3} = \delta_I - \delta_3$,

$\delta^{I}_{I3} - \delta_{I3}$ в исходном режиме.

S_{I2} - скольжение.

Принято:

δ_I - угол напряжения в месте установки шкафа.

δ_2, δ_3 - углы напряжения удаленных подстанций, измеряемые с помощью устройства моделирования или телепередачи фазы.

Из этих пяти величин могут быть составлены уравнения срабатывания устройства. При этом имеются следующие ограничения:

- на вход реагирующих органов можно подать не больше трех величин из имеющихся пяти:

- в шкафу есть только шесть выходных реле, их уставки автоматически можно изменять попарно;

- при получении угла с помощью устройства телепередачи фазы его выход не рекомендуется использовать для измерения скольжения.

На листе I2, рис.I приведен вариант структурной схемы измерительной части шкафа для двухмашинной схемы без промежуточного отбора мощности, устройство фиксации перегрузки в которой реализуется данным шкафом без изменений в его монтажной схеме. В рассмотренном примере измеряется разность фаз напряжений $\dot{U}_I$ и $\dot{U}_2$ выбранных точек электропередачи, которые подводятся к блоку датчика разности фаз (UY1). Устройство установлено в пункте I. Вектор напряжения $\dot{U}_1$ подается через блок напряжения прямой последовательности (ZV) непосредственно от трансформатора напряжения (TV), установленного на шинах станции I. Вектор напряжения противоположного конца линии $\dot{U}_2$ получается с помощью устройства моделирования вектора напряжения (UV1). При этом, на выходе UY1 имеем напряжение, пропорциональное текущему значению измеряемого угла δ_{I2}. Сигнал, пропорциональный значению угла в исходном режиме δ^{I}_{I2}, получен с помощью инерционного усилителя A2. Для получения сигнала, пропорционального величине относительного скольжения S^{I}_{2I}, используются два датчика частоты (UF1, UF2) и дифференциальный усилитель A4. К UF1 подводится напряжение $\dot{U}_1$ через полосовой фильтр (Z), а к UF2 - напряжение $\dot{U}_2$ от устройства моделирования UV1. Сигналы, пропорциональные δ_{12}, δ^{I}_{12} и S_{21}, подводятся к реагирующим органам - блоку реле максимального напряжения.

На практике при проектировании устройства фиксации перегрузки в сложных сетях, характеризующихся многомашинной схемой с промежуточными переменными отборами мощности, схема шкафа не позволяет реализовать необходимый алгоритм фиксации перегрузки без изменений в его монтажной схеме, а в некоторых случаях и во входных цепях отдельных блоков шкафа.

Рассмотрены варианты структурных схем измерительной части устройства фиксации перегрузки в зависимости от схем электропередачи, которые должны быть учтены в техническом задании на дальнейшую модернизацию шкафа ЩДЭ-260I.

На рис.2 листа I2 показана структурная схема для электропередачи, эквивалентированной двухмашинной схемой с промежуточным переменным отбором мощности. Шкаф установлен на промежуточной подстанции. К реагирующим органам подводятся сигналы напряжения, пропорциональные углам δ^{I}_{3I}, δ^{I}_{32}, δ_{3I}, δ_{32}, которые отражают зависимость предела устойчивости от отбора мощности. Эти параметры фиксируются измерительной частью шкафа без изменений монтажной схемы. Измерение взаимного скольжения между эквивалентными генераторами отправной и приемной частей энергосистемы S_{I2} выполнено с использованием двух устройств моделирования шкафа, что не предусмотрено его схемой. Для реализации этого необходимо выполнить некоторые изменения в монтажной схеме шкафа (пунктир на рисунке) – разорвать связь между напряжением U_3, которое через фильтр поступает на вход датчика частоты UFI непосредственно на входе блока измерения частоты, а напряжение U_2 с выхода устройства моделирования подвести к $UF1$.

На рис.3 приведен пример выполнения устройства фиксации перегрузки в трехмашинной кольцевой схеме. Устройство предусматривается в узле I и используется для фиксации статической перегрузки в трехмашинной схеме и динамической перегрузки в двухмашинной схеме. К реле напряжения подводятся напряжения, пропорциональные δ^{I}_{I2}, δ^{I}_{I3}, δ_{I2}, δ_{I3} и S_{2I}. Получение этих сигналов не требует изменений в шкафу.

Кроме того, могут быть получены напряжения, пропорциональные отрицательным значениям $-\delta^{I}_{I3}$, $-\delta_{I3}$, которые могут понадобиться для фиксации перегрузки при обратных потоках передаваемой мощности. Для получения этих сигналов в монтажной схеме шкафа необходимо осуществить изменения – разорвать на клеммнике кассет связь между входом инерционного усилителя A7 и выходом усилителя AI, а входы этих усилителей объединить. Выход усилителя AI подключается к блоку максимальных реле.

На листе I3 на рис.I,2 показаны примеры выполнения устройства фиксации перегрузки в двухмашинной схеме и двумя промежуточными отборами мощности на межсистемной связи. Устройство располагается на шинах узла 2. На рис.I для получения взаимного угла между эквивалентными генераторами отправной и приемной систем используется один из датчиков разности фаз, к которому под-

водится напряжение $\dot{U}_I$ от устройства моделирования и $\dot{U}_4$ от устройства телепередачи фазы. Использование устройства телепередачи фазы для получения вектора напряжения удаленного конца вместо устройства моделирования уменьшает погрешность измерения угла, однако в связи с большой погрешностью при измерении скольжения не рекомендуется использование устройства телепередачи фазы. Это обстоятельство потребовало использования второго устройства моделирования, что монтажной схемой шкафа не предусмотрено. На рис.2 показаны изменения в схеме, необходимые для получения напряжений, пропорциональных δ_{4I}, δ_{4I}^{I} и S_{I4}.

На рис.2, в отличие от предыдущей схемы, замеру подлежат также углы δ_{2I} и δ_{24}, использование которых в устройстве фиксации перегрузки может отразить влияние отбора на предел устойчивости. Получение скольжения аналогично предыдущему варианту. Получение необходимых углов требует изменений во входных и выходных цепях усилителей AI, A7. В данном примере усилитель AI используется не только для усиления и инвертирования, но и для получения суммы и разности сигналов. Для получения разности двух сигналов напряжения подаются на инвертирующий и неинвертирующий входы. Так, на схеме на инвертирующий вход AI подается постоянное напряжение, пропорциональное δ_{24}, а с выхода $U_{\delta I}$ на неинвертирующий вход AI напряжение, пропорциональное δ_{I2}, при этом на выходе усилителя будем иметь сигнал, пропорциональный текущему значению угла δ_{24}, который подводится к реагирующим органам и к инерционному усилителю A7. Для получения δ_{4I}^{I} необходимо выход AI пересоединить на неинвертирующий вход A7.

Схема на рис.I листа I4 отличается от схемы на рис.I листа I3 тем, что на второй вход датчика разности фаз подается напряжение от второго устройства моделирования. Изменения в монтажной схеме шкафа, которые необходимо выполнить, показаны на структурной схеме пунктиром.

На рис.2 приведена структурная схема устройства для двухмашинной схемы сети с двумя промежуточными переменными отборами мощности. В данном варианте используется устройство телепередачи фазы для передачи вектора напряжения удаленного конца по резервированным каналам связи. Информация к шкафу подводится одновременно от обоих каналов связи, усредняется и поступает на

входы реагирующих органов - реле максимального напряжения. Схема предусматривает проверку достоверности информации, подводимой к шкафу от устройств телепередачи информации (описание органа проверки достоверности информации см. в разд. 4.3.). Усреднение информации, полученной по резервированным каналам связи осуществляется с помощью операционных усилителей А2 и А7, для чего необходимо выполнить изменения в монтажной схеме шкафа - на входы усилителей А2 и А7 подать соответственно сигналы с выхода усилителей А1 и А3, на инерционном усилителе А7 исключить емкость в цепи обратной связи. Взаимное скольжение получено с использованием первого устройства моделирования, так как уже указывалось устройство телепередачи фазы из-за больших погрешностей в получении скольжения неприемлемо в данном случае.

При конкретном проектировании устройства фиксации перегрузки можно использовать различные сочетания измерительной части разности фаз и скольжения, показанные на листах I2÷I4.

7.2. Логическая часть.

На листе I5 показана структурная схема логической части устройства фиксации перегрузки электропередачи, которая должна быть выполнена в виде отдельной панели, связанной с выходными цепями реагирующих органов шкафа.

Схема выполнена применительно к двухмашинной схеме сети с переменным промежуточным отбором мощности и предполагает использование устройства телепередачи фазы для получения вектора напряжения удаленного конца межсистемной связи. Структурная схема измерительной части схемы дана на листе I3, рис.2. Шесть реагирующих органов (РО) шкафа ШДЭ-260I выполняют следующие функции:

I и 2 РО - для проверки достоверности информации, получаемой по резервированным каналам связи.

3РО - для фиксации статической перегрузки межсистемной связи.

4РО - для фиксации первой ступени динамической перегрузки связи.

5 и 6РО - для фиксации второй ступени динамической перегрузки связи.

Так как реагирующие органы шкафа ШДЭ-260I могут неправильно действовать при неисправностях (обрывах) цепей напряжения переменного тока сети, то в устройстве фиксации перегрузки предусматривается соответствующий орган, фиксирующий указанные не-

исправности.

На схеме показано также устройство, фиксирующее сброс мощности и использующееся в качестве блокирующего органа (см. раздел 4).

Ступени фиксации статической перегрузки образованы двумя органами выдержки времени Δt_1 и Δt_2.

Для выполнения сложной характеристики срабатывания второй ступени фиксации динамической перегрузки два реагирующих органа шкафа ШДЭ-2601 включены по схеме "И".

Срабатывание одного из органов проверки достоверности информации по резервированным каналам телепередачи фазы или срабатывание блокирующего органа при неисправностях в цепях напряжения переменного тока, блокирует выходные цепи фиксации статической и динамической перегрузки.

Ввиду того, что органы проверки достоверности телеинформации по существу выявляют неисправности всего тракта телепередачи, на выходе этого устройства рекомендуется создать небольшую задержку блокирующего сигнала, отстраивающую от различных помех в канале.

В качестве блокирующего органа по сбросу активной мощности в данной схеме используется орган из панели ШП-2702 с характеристикой срабатывания:

$$P^{I} - P \geq P_{c\,бл}$$

Если такая панель не предусматривается на данном объекте, то может быть рекомендована панель фиксации сброса мощности типа ШП-2703, блокирующая устройство при сбросах мощности, сопровождающих различные аварийные возмущения в сети (короткие замыкания, простые отключения линии и т.п.).

Запрещающий сигнал по сбросу мощности блокирует только обе ступени устройства фиксации динамической перегрузки. Ступени устройства фиксации статической перегрузки отстроены от качаний по времени и не требуют подобной блокировки.

Запрещающий сигнал снимается при условии несрабатывания реагирующих органов динамической перегрузки и блокирующего органа с выдержкой времени, обусловленной отстройкой от синхронных качаний.

8. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА УСТРОЙСТВА ФИКСАЦИИ ПЕРЕГРУЗКИ МЕЖСИСТЕМНОЙ СВЯЗИ

В данной работе приводятся два варианта выполнения схем фиксации перегрузки, первый вариант схемы позволяет использовать шкаф ШДЭ-2601 без каких-либо изменений в монтажной схеме измерительной части шкафа, второй вариант предусматривает выполнение значительных изменений, обусловленных сложностью схемы сети и алгоритма устройства фиксации перегрузки.

Следует отметить, что в практике проектирования противоаварийной автоматики второй вариант наиболее распространен.

Первый вариант выполнен на листах I6-I8. Так как изменения в монтажной схеме измерительной части шкафа не требуется, то здесь не приводится принципиальная схема шкафа, она аналогична схеме на листах 7,8 (кроме цепей сигнализации, о которых будет сказано ниже).

В двухмашинной схеме сети без промежуточного (или с постоянным отбором мощности) с реверсивными потоками мощности предусматривается два шкафа ШДЭ-2601, каждый из которых действует только при одном направлении передаваемой активной мощности.

Для получения вектора напряжения ПС2 используется устройство моделирования. Реагирующий орган UV используется для фиксации статической перегрузки связи, органы КУ2-КУ4 организуют две ступени фиксации динамической перегрузки связи. Характеристика срабатывания органов в первичных величинах:

К V 1: $\delta_{12} \geqslant \delta_{сз1}$

К V 2: $\delta_{12}^{I} + K_1 S_{12} \geqslant \delta_{сз2}$

К V 3: $\delta_{12}^{I} + K_2 S_{12} \geqslant \delta_{сз3}$

К V 4: $\delta_{12} + K_3 S_{12} + K_4 \delta_{12}^{I} \geqslant \delta_{сз4}$

Подключение соответствующих сигналов с выходов блоков усилителей и датчика разности фаз осуществляется перемычками на входе реле Н-301 в соответствии с таблицей на листе I6.

На листе I7 дана схема логики устройства фиксации перегрузки, размещаемая на отдельной панели, и схема подключения внешних цепей к шкафам У1 и У2 типа ШДЭ-2601. Предусмотрено устройство блокировки при неисправностях (обрывах) цепей напряжения переменного тока типа КРБ-I2У. Таких панелей логики должно быть две, каждая из которых предназначена действовать при оп-

ределенном направлении передаваемой мощности по межсистемной связи. В данном варианте показан пример выполнения только одной из таких панелей, вторая панель выполняется аналогично.

В схеме от одного реагирующего органа KV1 образовано с помощью двух реле времени, имеющих разные выдержки времени ($t_{KT2} > t_{KT1}$), две ступени фиксации статической перегрузки связи.

Первая ступень фиксации динамической перегрузки выполнена на реле KV2 и его реле-повторителе KL2 блока Д-501. Вторая ступень фиксации динамической перегрузки выполнена на двух реле KV3, KV4 и их реле-повторителей KL3 и KL1 блока Д-501, соединенных последовательно (по логической схеме "И"). Быстродействующие реле KV2 ÷ KV5 панели логики, фиксирующие первую и вторую ступени динамической и статической перегрузки, могут воздействовать или на исполнительные устройства противоаварийной автоматики через цепи устройства автоматического запоминания дозировки (АЗД), или на устройства телепередачи сигналов автоматики.

Обе ступени фиксации динамической перегрузки блокируются выходным контактом KL1.2 блокировки по сбросу мощности. Блокировка снимается при условии несрабатывания реле KV2 (первая ступень фиксации динамической перегрузки) и KV3, KV4 (вторая ступень фиксации динамической перегрузки), а также возврата органа фиксации сброса мощности. Должно быть предусмотрено два блокирующих органа по мощности, действующих при различных направлениях передаваемой мощности по линии.

Устройство статической и динамической перегрузки блокируются при срабатывании блокировки от неисправности в цепях переменного напряжения (АКВ). Выходной контакт АКВ воздействует на реле KL3, расположенное в самом шкафу ШДЭ-2601, и осуществляет блокировку выходных реле шкафа по цепям напряжения - 24В. Так как устройство блокировки типа КРБ-12У4 общее для обоих шкафов, то его действие дублируется вспомогательным реле KL1 блока 2-Е2 шкафа У1, контакт которого аналогично воздействует на реле KL3 блока 5-Е3 шкафа У2.

В схеме показана возможность изменения уставки в ремонтных схемах моделируемого сопротивления в устройстве моделирования шкафа и реле KV1÷KV4. На листе 17 условно показан контакт

реле "К $L_{рем}$", воздействующий на реле шкафа, подключенные к клеммам 57, 60, 6I и осуществляющие изменение уставки указанных блоков шкафа.

В схеме предусмотрена сигнализация устройства фиксации статической и динамической перегрузки. Для этой цели служат шунтовые указательные реле КНI÷КН4, предусмотренные в шкафе ШДЭ-260I, но в схему их включения внесены изменения, показанные на листе I7. Такие незначительные изменения необходимо выполнить, так как схема включения этих указательных реле в шкафе такова, что будет вызывать их срабатывание всякий раз, как сработают реагирующие органы панели типа Н-30I, что неоправданно, так как это еще не свидетельствует о статической или динамической перегрузке связи.

Для анализа работы устройства фиксации перегрузки предусмотрено подключение контактов выходных реле к магнитографу.

Второй вариант показан на листах I9÷23. Устройство выполнено для двухмашинной схемы с промежуточным переменным отбором мощности и реверсивными перетоками активной мощности по межсистемной связи.

В отличие от рассмотренного варианта для выполнения устройства фиксации статической и динамической перегрузки потребовалось выполнить некоторые изменения в монтажной схеме шкафа ШДЭ-260I.

Далее рассматривается одно из устройств, действующее при одном направлении передаваемой активной мощности. Второе выполняется аналогично.

На листе I9 приведена структурная схема устройства, установленного на шинах ПСI, в которой вектор напряжения второго эквивалентного генератора может быть получен двумя способами - с использованием устройства моделирования и с использованием устройства телепередачи фазы. Предполагается, что информация от устройств телепередачи фазы дублируется по разным каналам - основному и резервному.

Информация от устройств телепередачи фазы используется для измерения разности фаз в исходном режиме δ^{I}_{I3} и в текущем δ_{I3}, так как устройство моделирования, как уже указывалось ранее, трудно настроить в сложной схеме сети. Устройство моделирования в рассматриваемом примере необходимо для получения

сигнала скольжения, характеризующего динамические свойства энергосистемы при аварийных дефицитах мощности.

Используются все шесть реагирующих органов панели ЩДЭ-2601. Органы КV1, КV2 обеспечивают проверку достоверности информации, получаемой по двум телеканалам, КV3 используется для фиксации двух ступеней статической перегрузки. КV4÷КV6 – для фиксации двух ступеней динамической перегрузки.

Подводимая по двум в.ч. каналам информация о векторе напряжения ПКЗ поступает на разные датчики разности фаз (UУ1 и UУ2), таким образом на их выходе формируется сигнал напряжения, пропорциональной разности фаз $\delta_{ПЗ}$, измеренный с помощью разных трактов – основного и резервного в.ч. каналов связи. К реагирующим органам подводятся усредненные сигналы $\delta_{ПЗ}$ (к органам КV3, КV6) и $\delta^{I}_{ПЗ}$ (к органам КV4÷КV6). Усреднение сигналов, измеренных разными трактами, осуществляется на блоках усилителей А2, А7. Для этого необходимо выполнить изменения в монтажной схеме шкафа ЩДЭ-2601. На принципиальной схеме шкафа, лист 20, эти изменения показаны утолщенными линиями. Кроме указанных изменений, предусмотрена дополнительно связь выходного сигнала с усилителей А5, А6 ("Uкор") со вторым датчиком разности фаз, так как в шкафу не предусматривается одновременное использование устройства моделирования и двух устройств телепередачи фазы.

Подключение сигналов напряжения в соответствии с характеристиками срабатывания реле КV1÷КV6 осуществляется перемычками на их входе по таблице на листе 21.

Принципиальная схема логики устройства фиксации перегрузки приведена на листах 22,23.

Принципиальные отличия от аналогичной схемы для первого варианта состоит в том, что фиксируется достоверность информации, полученной по основному и резервному в.ч. каналам связи. Если она не совпадает, то срабатывают реле КV1 или КV2 и соответствующие промреле блока 3-Е1 шкафа, вызывающие срабатывание вспомогательных реле КL1, КL2 блока 2-Е2. После задержки на срабатывание, определяемой временем существования помех, срабатывает КТ1 и КL1, осуществляя блокирование срабатывания всех выходных реле шкафа по цепи – 24В.

В схеме предусмотрена возможность воздействия этой цепи лишь на сигнал.

При появлении неисправности, фиксируемой непосредственно приемником телепередачи фазы, также осуществляется блокирование срабатывания всех реле шкафа.

gost.e-ecolog.ru