МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
ГЛАВНОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

Для служебного пользования
Экз. №

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ФЕРРОРЕЗОНАНСА В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ 110-500 кВ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ТРАНСФОРМАТОРАМИ НАПРЯЖЕНИЯ И ВЫКЛЮЧАТЕЛЯМИ, СОДЕРЖАЩИМИ ЕМКОСТНЫЕ ДЕЛИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЯ

МУ 34-70-163-87

СЛУЖБА ПЕРЕДОВОГО ОПЫТА ПО "СОЮЗТЕХЭНЕРГО"
Москва 1987

gost.e-ecolog.ru

И С П О Л Н И Т Е Л И К.М.АНТИНОВ, В.М.МАКСИМОВ (Главтехуправление); С.С.ШУР (НИИПТ); Ч.И.ДЖУВАРЛИ, Е.В.ДМИТРИЕВ, А.М.ГАШИМОВ (Институт физики АН АзССР); А.К.ШИДЛОВСКИЙ, В.Г.КУЗНЕЦОВ (ИЭД УССР); И.И.МАГДА (ПО "Днепроэнерго")

У Т В Е Р Ж Д Е Н О Главным научно-техническим управлением энергетики и электрификации 09.02.87 г.

Начальник В.И.ГОРИН

© СПО Союзтехэнерго, 1987.

Ответственный редактор Р.Р.Яблокова
Литературный редактор А.А.Шиканин
Технический редактор Н.Д.Архипова
Корректор Л.Ф.Петрухина

Подписано к печати 21.09.87 Формат 60x84 1/16
Печать офсетная Усл.печ.л. 2,1 Уч.-изд.л.2,0 Тираж 1000 экз.
Заказ № 26 пкб Издат. № 87690

Производственная служба передового опыта эксплуатации энергопредприятий Союзтехэнерго
105023, Москва, Семеновский пер., д.15

Участок оперативной полиграфии СПО Союзтехэнерго
109432, Москва, 2-й Кожуховский проезд, д.29, строение 6

316.37.015.4

УДК 621.311.1(083.96)

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ФЕРРОРЕЗОНАНСА В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ 110-500 кВ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ТРАНСФОРМАТОРАМИ НАПРЯЖЕНИЯ И ВЫКЛЮЧАТЕЛЯМИ, СОДЕРЖАЩИМИ ЕМКОСТНЫЕ ДЕЛИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЯ

МУ 34-70-163-87

Срок действия установлен
с 01.09.87 г.
до 01.09.89 г.

Настоящие Методические указания содержат основные положения по предотвращению феррорезонанса напряжений в распределительных устройствах напряжением 110-500 кВ с электромагнитными трансформаторами напряжения НКФ и выключателями, содержащими конденсаторы, шунтирующие контакты воздушных выключателей (емкостные делители напряжения).

В Методических указаниях приведены три способа "борьбы" с феррорезонансом:

исключение образования феррорезонансного контура;

расстройка феррорезонансного контура, образующегося из источника питания, емкостей делителей напряжения выключателей и систем шин (частей распределительного устройства) и индуктивности трансформатора напряжения;

снижение добротности феррорезонансного контура за счет управляемого ввода в контур с последующим выводом резистора с активным сопротивлением.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Основной целью предотвращения и подавления феррорезонанса в схемах распределительных устройств 110-500 кВ, содержащих трансформаторы напряжения и выключатели с емкостными дели-

телями напряжения, является исключение повреждений, как правило, трансформаторов напряжения 110-500 кВ электромагнитного типа и связанных с ними отключений шин и другого электрооборудования, а также обеспечение правильности действия АПВ шин и безопасности работы персонала.

1.2. Мероприятия по предотвращению феррорезонанса, как правило, должны проводиться в распределительных устройствах 110, 150, 220 и 330 кВ с электромагнитными трансформаторами напряжения и выключателями ВВБ и ВВДИ с емкостными делителями напряжения.

В распределительных устройствах 150, 220, 330 и 500 кВ с выключателями ВВН, ВНВ и др., в том числе и импортными, а также с разнотипными выключателями мероприятия по предотвращению феррорезонанса проводятся после выполнения соответствующих расчетов.

1.3. При разработке мероприятий по предотвращению феррорезонанса следует предусматривать исключение его появления или подавление (при его возникновении) как при оперативных переключениях, так и автоматических отключениях выключателей от действия релейной защиты и автоматики.

2. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ФЕРРОРЕЗОНАНСА В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ 150-500 кВ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ТРАНСФОРМАТОРАМИ НАПРЯЖЕНИЯ И ВЫКЛЮЧАТЕЛЯМИ, СОДЕРЖАЩИМИ ЕМКОСТНЫЕ ДЕЛИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЯ

2.1. До проведения мероприятий по предотвращению феррорезонанса в распределительных устройствах электростанций и подстанций должно быть выполнено следующее:

2.1.1. Выявлены распределительные устройства 150-500 кВ электростанций и подстанций энергосистемы и схемы распределительных устройств, в которых возможно возникновение феррорезонанса, с учетом схем, приведенных на рис.1, и порядка оперативных переключений, указанных в инструкциях [1] и [2].

2.1.2. Составлены первичная и упрощенные схемы замещения

распределительных устройств (частей распределительных устройств) 150-500 кВ, в которых возможен феррорезонанс (рис.2,3).

2.1.3. Определена (предварительно) возможность существования феррорезонанса по известным результирующим значениям емкостей конденсаторов, шунтирующих контакты воздушных выключателей, и емкостям системы шин по отношению к земле или участка распределительного устройства (рис.4).

2.1.4. Уточнены возможность существования феррорезонанса и параметры этого режима с использованием программы расчета на ЭВМ (приложение I). Пример с результатами расчета приведен в приложении 2.

2.1.5. Оценен феррорезонанс по наибольшим уровням возникающих резонансных повышений напряжения на трансформаторе напряжения с использованием программы расчета (см.приложение I).

2.2. Выявление схем распределительных устройств, в которых возможен феррорезонанс, должно производиться для нормальных и "ремонтных" схем, а также для схем, возникающих в процессе оперативных переключений и после автоматических отключений от действия релейной защиты и автоматики.

2.3. Возможность существования феррорезонанса с помощью расчета на ЭВМ должна находиться для диапазона изменения напряжения, определяемого по минимальному уровню его, имеющему место в процессе эксплуатации в данной точке сети, и по максимально допустимому, указанному в [3] и [4] .

2.4. При составлении схем замещения распределительных устройств следует использовать паспортные (измеренные в процессе эксплуатации) значения емкостей частей распределительных устройств и оборудования, паспортные (измеренные в процессе эксплуатации) значения емкостей делителей напряжения выключателей (приложение 3).

2.5. При выявлении схем распределительных устройств, в которых возможен феррорезонанс, рекомендуется учитывать возникновение неполнофазных режимов, вызываемых неполнофазными коммутациями воздушных выключателей при оперативных переключениях и автоматических коммутациях, что увеличивает вероятность возникновения феррорезонанса и уровень повышения напряжения (рис.5).

3. СПОСОБЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ И ПОДАВЛЕНИЯ ФЕРРОРЕЗОНАНСА В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ 110-500 кВ

3.1. До внедрения в эксплуатацию "нерезонирующих" трансформаторов напряжения 110-330 кВ или выключателей с характеристиками делителей, согласованными с характеристиками электромагнитных трансформаторов напряжения, могут быть применены следующие способы предотвращения (подавления) феррорезонанса в распределительных устройствах 110-500 кВ электростанций и подстанций:

3.1.1. Выбор схем электрических соединений распределительных устройств 150-500 кВ, в которых возникновение феррорезонанса с электромагнитными трансформаторами напряжения исключено.

3.1.2. Снятие емкостных делителей напряжения с воздушных выключателей 110 кВ, для остальных - по согласованию с заводом-изготовителем.

3.1.3. Увеличение емкости системы шин путем подключения к ним батарей конденсаторов связи.

3.1.4. Изменение порядка ведения оперативных переключений по сравнению с типовым.

3.1.5. Запрет отключения одной из линий электропередачи при действии защиты шин.

3.1.6. Запрет отключения автотрансформатора или трансформатора с заземленной нейтралью от защиты шин со стороны системы шин с неотключившимся присоединением (или поврежденной системой шин).

3.1.7. Отключение одной из питающих линий, имеющей быстродействующую высокочастотную защиту, с противоположной стороны при действии защиты шин.

3.1.8. Снятие запрета АПВ шин при действии защиты шин.

3.1.9. Ввод в действие АПВ шин (в тех случаях, когда оно до этого не было задействовано).

3.1.10. Применение емкостных трансформаторов напряжения НДЕ вместо электромагнитных трансформаторов напряжения НКФ.

3.1.11. Применение специальных устройств, фиксирующих возникновение феррорезонанса и осуществляющих его подавление и вывод трансформатора напряжения из феррорезонанса.

3.2. Выбор схем электрических соединений распределительных устройств 110-500 кВ должен осуществляться при проектировании электроустановок.

При этом должна производиться такая расстановка электромагнитных трансформаторов напряжения, при которой при всех возможных видах коммутаций аппаратами феррорезонансный контур не создается.

При необходимости там, где это допустимо, должна производиться замена электромагнитных трансформаторов напряжения емкостными трансформаторами.

3.3. Снятие емкостных делителей с воздушных выключателей или их замена на другие в эксплуатационных условиях должны производиться по согласованию с заводом-изготовителем выключателей (для выключателей 110 кВ следует руководствоваться приложением 4).

3.4. Увеличение емкости шин путем подключения к ним батарей конденсаторов связи допустимо осуществлять в тех случаях, когда другие мероприятия по тем или иным причинам не могут быть применены, в том числе по п.3.6.

3.5. Изменение порядка ведения оперативных переключений по сравнению с типовым должно осуществляться в тех случаях, когда в электроустановке, подверженной феррорезонансу, отсутствуют устройства, предотвращающие возникновение феррорезонанса или осуществляющие его подавление и вывод трансформатора напряжения из этого режима.

3.6. Изменение схем действия релейных защит с запретом отключения выключателей соответствующих присоединений допускается осуществлять в тех случаях, когда не могут быть применены другие мероприятия, предотвращающие феррорезонанс при автоматических отключениях систем шин.

3.7. Снятие запрета АПВ шин при действии защиты шин допускается осуществлять в качестве основного мероприятия при феррорезонансе, когда наибольшее напряжение при феррорезонансе на трансформаторе напряжения не превышает 1,3 номинального.

3.8. Применение специальных устройств, фиксирующих возникновение феррорезонанса и осуществляющих его подавление, должно рассматриваться как основное мероприятие. При этом оно должно резервироваться другим (другими) мероприятием (мероприятиями).

4. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СПОСОБАМ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ И УСТРОЙСТВАМ ФИКСАЦИИ И ПОДАВЛЕНИЯ ФЕРРОРЕЗОНАНСА В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ 150-500 кВ

4.1. Устройство фиксации и подавления феррорезонанса должно воздействовать на работу трансформатора напряжения только при возникновении феррорезонансного процесса.

4.2. Устройство должно подавлять феррорезонанс в каждой из фаз трансформатора напряжения независимо.

4.3. Время от момента возникновения (фиксации устройством) феррорезонанса до момента начала воздействия на работу трансформатора напряжения должно быть не более 0,1 с.

4.4. Полное время подавления феррорезонанса устройством должно быть не более 1 с, а другими способами – не более 20 с.

4.5. Устройство должно обеспечивать быстрый возврат его схемы в исходное состояние после подачи рабочего напряжения на трансформатор напряжения за время не более 0,03–0,06 с в зависимости от класса напряжения трансформатора напряжения (сети).

4.6. Устройство не должно воздействовать на трансформатор напряжения при коротких замыканиях в сети.

4.7. Остающееся напряжение на выводах вторичной обмотки трансформатора напряжения после подавления феррорезонанса должно быть не более 0,35 номинального.

4.8. Испытательное напряжение изоляции элементов устройства, подключаемых непосредственно к измерительной обмотке трансформатора напряжения, должно быть не ниже испытательного напряжения этой обмотки.

4.9. Термическая стойкость устройства в режиме подавления феррорезонанса должна быть не менее 1200 с (при нагрузке трансформатора напряжения, соответствующей номинальной).

4.10. Устройство должно иметь контакты для сигнализации его срабатывания (фиксации феррорезонанса), отключения автоматического выключателя (отсутствия напряжения) питания, неисправности, для снятия запрета (разрешения) АПВ шин.

4.11. Устройство должно подключаться к трансформатору напряжения через отдельный автоматический выключатель, присо-

единяемый до общего автоматического выключателя вторичных цепей, считая от выводов обмотки низшего напряжения.

4.12. Устройство должно иметь кнопку (накладку) для оперативного включения (отключения) выходных цепей, нагружающих вторичную обмотку трансформатора напряжения в режиме феррорезонанса.

4.13. Устройство не должно вносить недопустимых искажений в режим работы трансформатора напряжения, измерительных цепей, релейной защиты и автоматики.

4.14. Нагрузка на трансформатор напряжения, создаваемая устройством, и время ее приложения не должны превышать предельных, установленных ГОСТ и техническими условиями на трансформаторы напряжения.

5. ВЫБОР КОМПЛЕКСА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ И ПОДАВЛЕНИЮ ФЕРРОРЕЗОНАНСА В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ 150-500 кВ

5.1. Применяемый комплекс мероприятий по защите электромагнитного трансформатора напряжения должен обеспечивать одновременно защиту устанавливаемых параллельно трансформатору вентильных разрядников или ограничителей перенапряжений нелинейных (ОПН).

5.2. При кратностях повышения напряжения более $2{,}5\,U_{наиб.р}$ в переходном режиме при феррорезонансе следует рассматривать необходимость подключения ОПН к трансформатору напряжения вместо вентильных разрядников.

5.3. Основное мероприятие по подавлению феррорезонанса - подключение специального устройства фиксации и подавления феррорезонанса - должно обеспечивать защиту трансформатора напряжения как при оперативных переключениях, так и при автоматических отключениях.

Принципиальная электрическая схема варианта упомянутого устройства и схема его присоединения приведены на рис.6 и 7

Описание принципиальной электрической схемы устройства фиксации и подавления феррорезонанса приведено в приложении 4.

5.4. В качестве резервного мероприятия по ограничению

феррорезонанса должно быть применено одно из указанных ниже:

использование второго устройства фиксации и подавления феррорезонанса;

изменение порядка ведения оперативных переключений;

изменение схем действия релейных защит (запрет отключения выключателей соответствующих присоединений), обеспечение необходимой последовательности действия АПВ шин при возникновении феррорезонанса, введение в действие АПВ шин в тех случаях, когда оно не применялось.

5.5. Резервное мероприятие, внедрение которого предотвращает феррорезонанс или снижает уровень напряжения, должно проводиться при:

неисправности устройства фиксации и подавления феррорезонанса, его профилактическом осмотре или восстановлении;

оперативных переключениях или "неуспешном" АПВ шин, когда длительность нахождения системы шин (части распределительного устройства) в расчетном режиме при феррорезонансе более 1200 с;

выводе из действия (неисправность, профилактический осмотр, восстановление) устройства АПВ шин, когда оно применяется в качестве основного мероприятия по прекращению феррорезонанса.

5.6. Допускается не применять специальные мероприятия по предотвращению и подавлению феррорезонанса при оперативных переключениях и автоматических отключениях систем шин распределительных устройств, если повышение напряжения при феррорезонансе не превышает 1,15 от наибольшего рабочего, а длительность переключений - не более 1200 с и имеется на электростанции (подстанции) устройство сигнализации о наличии феррорезонанса.

5.7. Не требуется применение других мероприятий по предотвращению и подавлению феррорезонанса, если к системам шин (токоведущим частям) распределительных устройств подключаются батареи конденсаторов связи, устанавливаются емкостные трансформаторы напряжения или снимаются емкостные делители с выключателей.

6. УКАЗАНИЯ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПРОВЕРКЕ СУЩЕСТВОВАНИЯ ФЕРРОРЕЗОНАНСА В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ 150-500 кВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

6.1. Экспериментальная проверка возможности существования феррорезонанса в распределительных устройствах, как правило, должна производиться в тех случаях, когда отсутствуют данные уточненных расчетов (см.приложение I), подтверждающие возможность существования феррорезонанса или его отсутствие.

6.2. Экспериментальная проверка возможности существования феррорезонанса должна производиться для схем электрических соединений распределительных устройств, приведенных на рис.I.

6.3. Измерения при испытаниях должны проводиться персоналом энергосистем или при необходимости специализированной организацией.

6.4. Организация (подготовка) и проведение испытаний должны осуществляться в соответствии с действующими инструкциями и правилами.

6.5. Испытания должны проводиться в тех режимах, при которых количество выключателей, отключаемых одновременно действием защиты шин, является минимальным и максимальным, а напряжение - близко или равно наибольшему рабочему.

6.6. При возможности повышения напряжения в распределительном устройстве до 1,15-1,3 наибольшего рабочего должны проводиться, как правило, только расчеты по программе, приведенной в приложении I.

6.7. Количество циклов отключение-включение шин (частей распределительного устройства), как правило, должно быть 5-10 для каждого режима.

6.8. При испытаниях должны осциллографироваться фазные напряжения на вторичной обмотке трансформатора напряжения, а также (при необходимости) токи в фазах обмотки высокого напряжения трансформатора напряжения, напряжение на выходе обмоток, соединенных в разомкнутый треугольник, и одно линейное напряжение на вторичной обмотке трансформатора напряжения системы шин (линии), от которой подается напряжение на испытуемую часть распределительного устройства.

6.9. При испытаниях должны быть приняты меры по защите испытуемого трансформатора напряжения от повышения на нем напряжения сверх допустимого и ограничению времени воздействия этого напряжения.

6.I0. Длительность существования феррорезонанса и повышения напряжения при испытаниях должна быть не более, указанных в [4] .

6.II. По результатам испытаний должен быть составлен протокол с указанием в нем значений величин, необходимых для выбора комплекса мероприятий по предотвращению и подавлению феррорезонанса и уставок фиксирующих и исполнительных элементов устройства фиксации и подавления феррорезонанса.

6.I2. После изменения схемы распределительного устройства и состава аппаратов (после реконструкции) расчеты или испытания должны быть повторены.

6.I3. Осциллограмма возникновения феррорезонанса и его подавления приведена на рис.8.

7. УКАЗАНИЯ ПО ВЫБОРУ ПАРАМЕТРОВ И УСТАВОК УСТРОЙСТВА ФИКСАЦИИ И ПОДАВЛЕНИЯ ФЕРРОРЕЗОНАНСА В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ I50-500 кВ

7.I. Возникновение феррорезонанса, как правило, должно фиксироваться по содержанию третьей гармонической составляющей в фазных напряжениях вторичных обмоток трансформатора напряжения.

7.2. Уставка срабатывания элемента фиксации феррорезонанса устройства должна быть отстроена (коэффициент К = 2) от наибольшего значения напряжения небаланса, измеренного на дополнительной - вторичной обмотке трансформатора напряжения, соединенной в разомкнутый треугольник, и пересчитанного на фазное значение. В обоснованных случаях допускается применение других значений коэффициента и измерение напряжения на выходе фильтра устройства вместо измерения напряжения небаланса.

7.3. Напряжение (уставка) срабатывания на входе фильтра элемента фиксации феррорезонанса должно быть не более 0,I5 и не менее 0,05 номинального фазного.

7.4. Уставка срабатывания автоматического выключателя, подключающего к обмотке трансформатора напряжения, соединенной в

"звезду", устройство фиксации и подавления феррорезонанса, по току должна быть в пределах 480-500 А по тепловому расцеплению (отсечка выведена из работы). Допускается изменение уставки в зависимости от конкретного значения сопротивления нагрузочного резистора.

7.5. Значение выдержки времени (задержки) подключения к вторичной обмотке трансформатора напряжения резисторов второго устройства фиксации и подавления феррорезонанса должно быть 5 с.

7.6. Значения сопротивлений нагрузочных резисторов, подключаемых устройством фиксации и подавления феррорезонанса к трансформатору напряжения, должны быть приняты в соответствии с приложением 5, как правило, одинаковыми для трансформаторов напряжения 150-500 кВ.

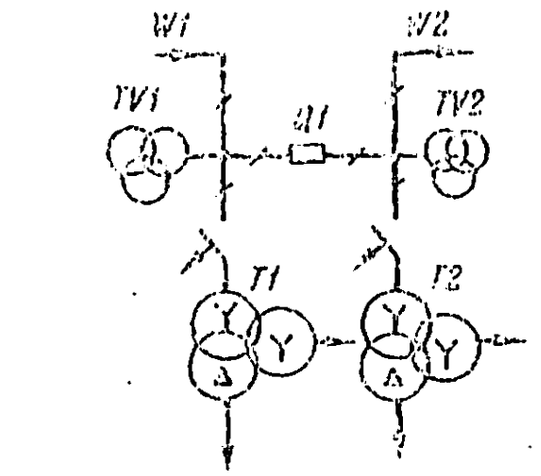
8. УКАЗАНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПРАВИЛЬНОСТИ ДЕЙСТВИЯ АПВ ШИН РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ 150-330 кВ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ФЕРРОРЕЗОНАНСА

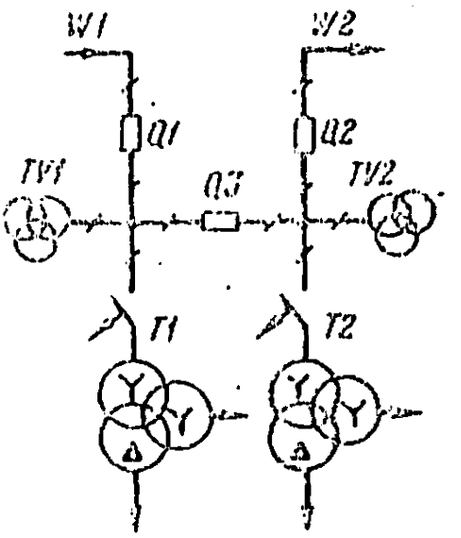
8.1. Для обеспечения правильности действия АПВ шин распределительных устройств, где возникает феррорезонанс, при котором повышение напряжения не превышает 1,3 номинального и не установлено устройство подавления феррорезонанса, а также не проведены резервные мероприятия, должно быть выполнено следующее:

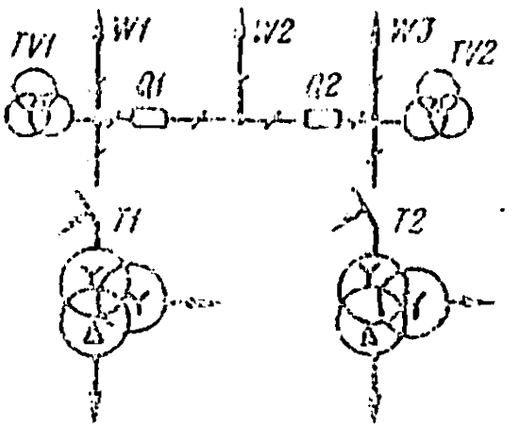
8.1.1. Действие АПВ шин (опробование напряжением) от выбранного присоединения должно осуществляться как при отсутствии рабочего напряжения на шинах, так и при наличии напряжения, вызванного феррорезонансом.

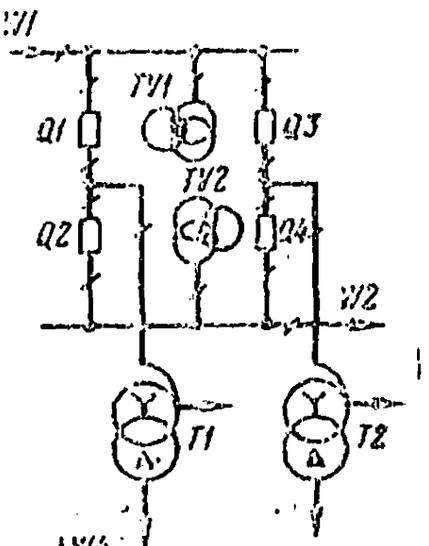
8.1.2. Включение присоединений на систему шин от АПВ после действия защиты шин, кроме предназначенного для опробования напряжением системы шин, должно блокироваться (запрещаться) при наличии напряжения, вызванного феррорезонансом.

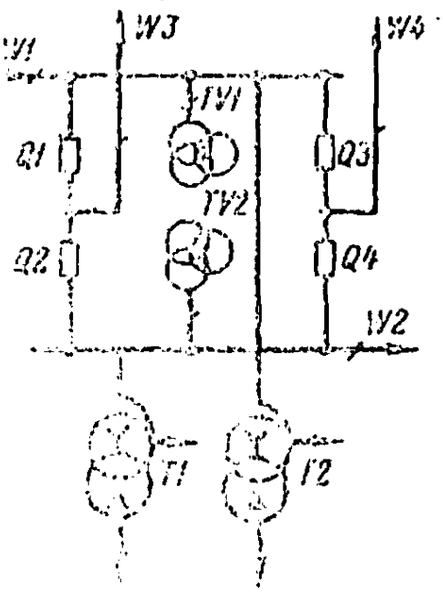
8.1.3. Уставка реле контроля наличия напряжения (на шинах), задействованных в схеме АПВ шин распределительных устройств, где возникает феррорезонанс и отсутствует устройство фиксации и подавления феррорезонанса, должна быть увеличена по сравнению с принятой ранее.


W1
W2
TV1
Q1
TV2
T1
T2


W1
W2
Q1
Q2
TV1
Q3
TV2
T1
T2


TV1
W1
W2
W3
TV2
Q1
Q2
T1
T2


W1
TV1
Q1
Q3
TV2
Q2
Q4
W2
T1
T2


W1
W3
W4
TV1
Q1
Q3
TV2
Q2
Q4
W2
T1
T2

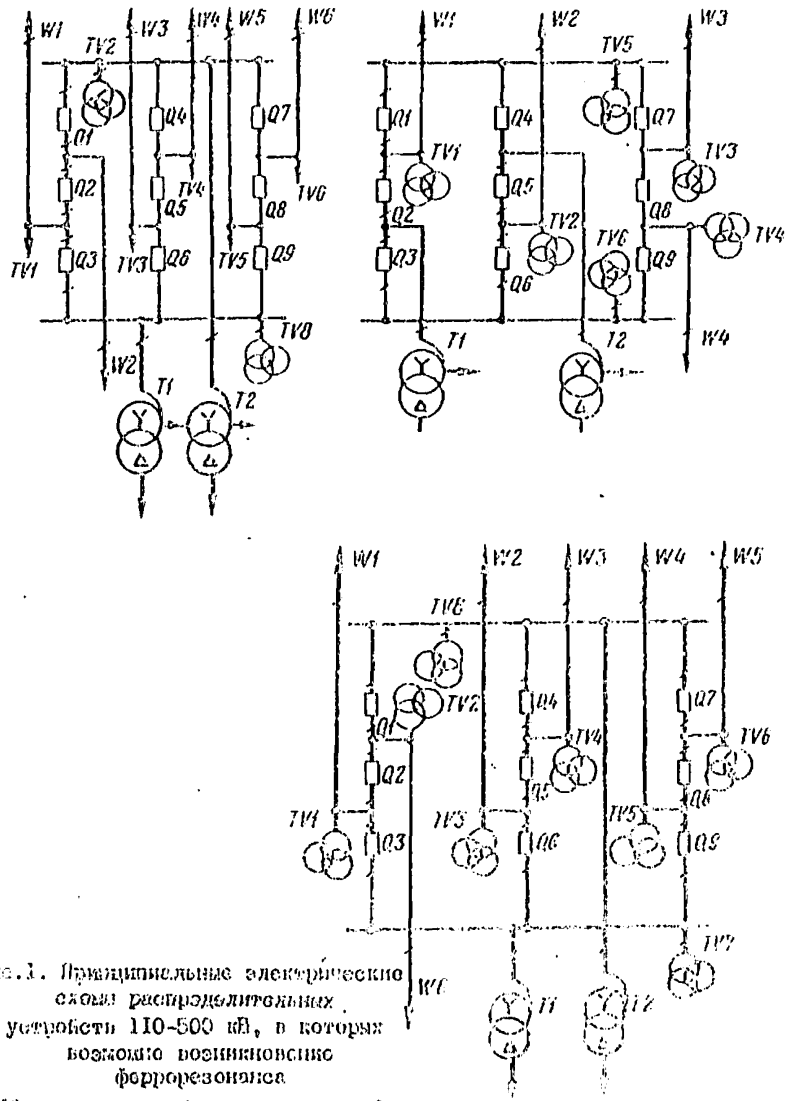
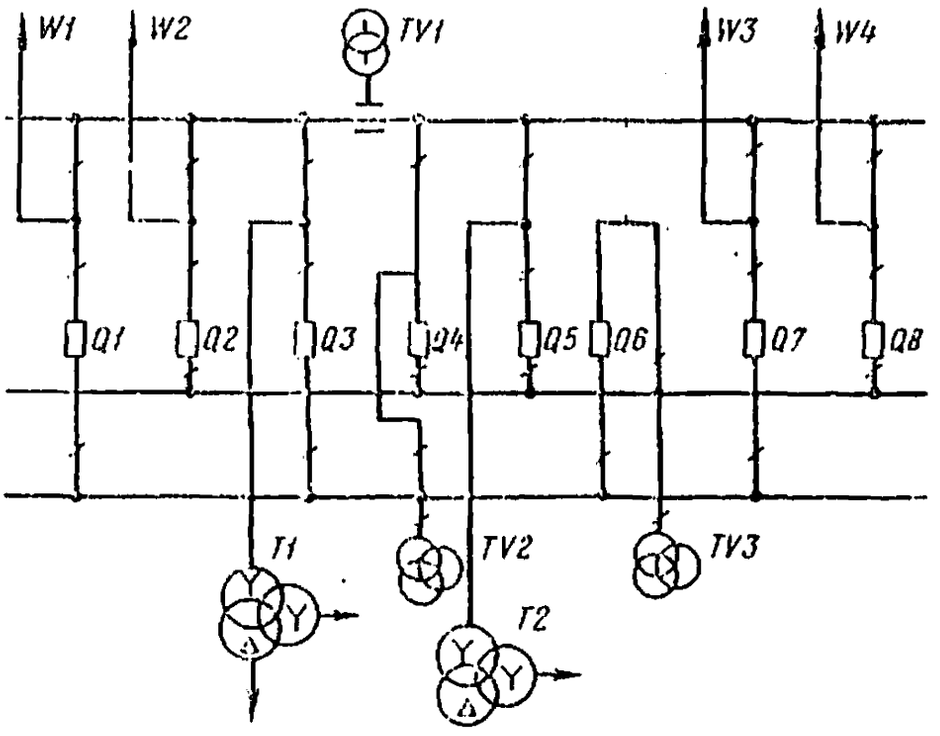
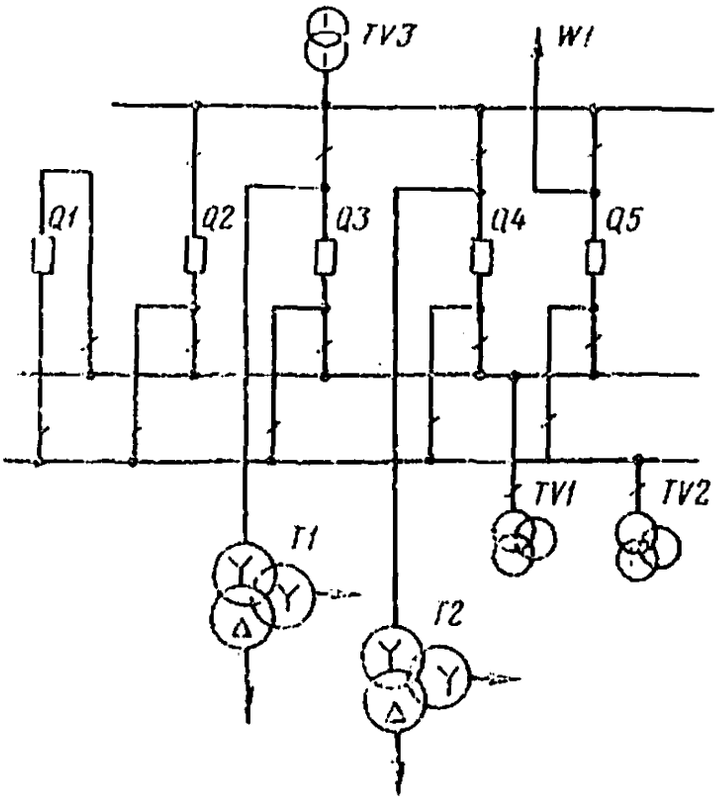
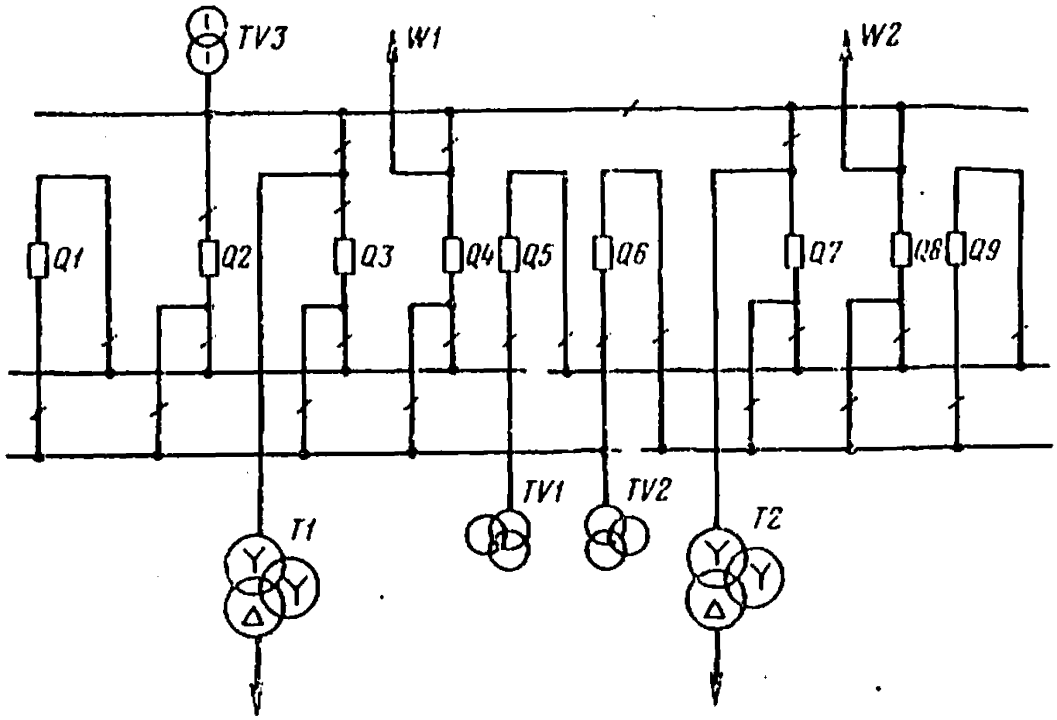


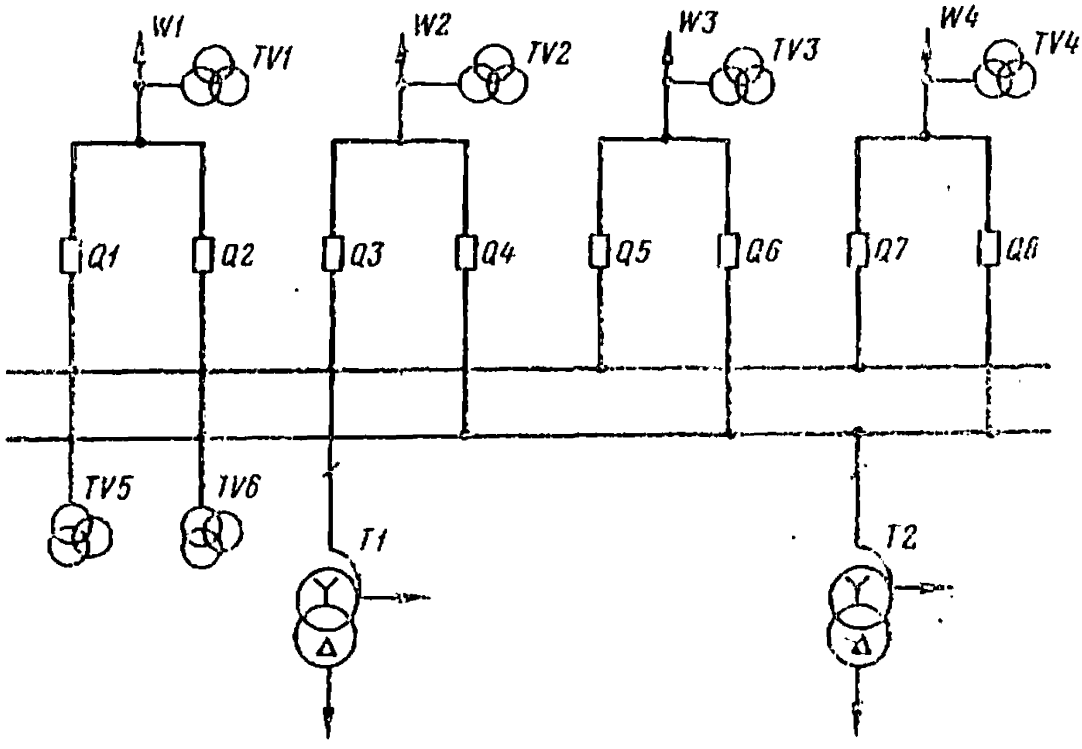
Рис.1. Принципиальные электрические схемы распределительных устройств 110-500 кВ, в которых возможно возникновение феррорезонанса

(Окончание рис.1 см. на обороте)


W1
W2
TV1
W3
W4
Q1
Q2
Q3
Q4
Q5
Q6
Q7
Q8
T1
TV2
TV3
T2


TV3
W1
Q1
Q2
Q3
Q4
Q5
TV1
TV2
T1
T2





Окончание рис. I

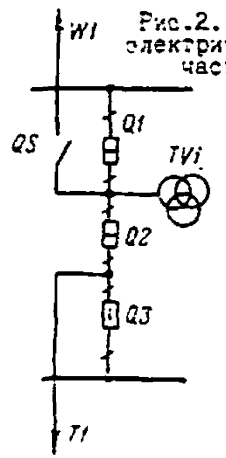


Рис.2. Первичная схема электрических соединений части ОРУ 500 кВ

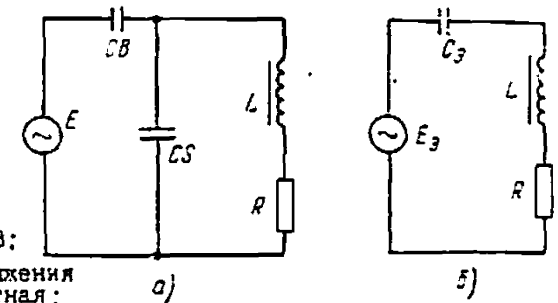


Рис.3. Схемы замещения части ОРУ 500 кВ:

а - с электромагнитным трансформатором напряжения при снятом с него напряжении; б - эквивалентная; L - индуктивность трансформатора напряжения; R - активное сопротивление обмотки ВН; E - ЭДС сети;

$$C_э = CB + CS,$$

где CB - сумма результирующих значений емкостей конденсаторов, шунтирующих контакты воздушных выключателей ОРУ;

CS - сумма значений емкостей электрооборудования, спиновки и шин ОРУ по отношению к земле

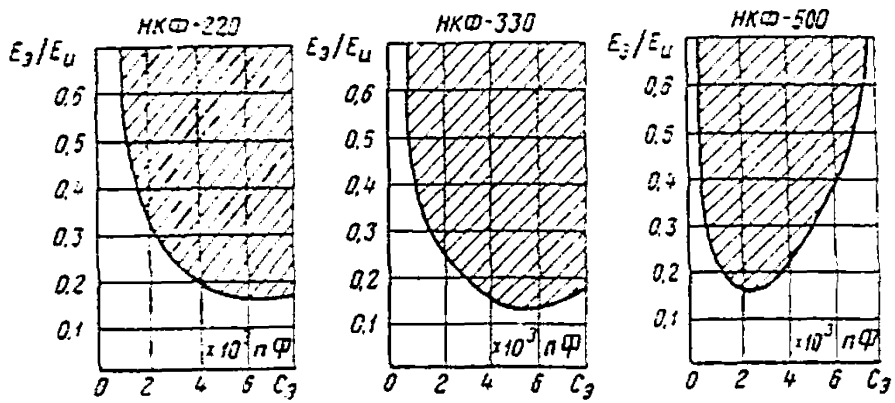


Рис.4. Области существования феррорезонанса напряжений на частоте 50 Гц ($U = U_{наибр}$):

▨ - резонанс есть; □ - резонанса нет;

$$E_э = E_u \frac{CB}{CB + CS}.$$

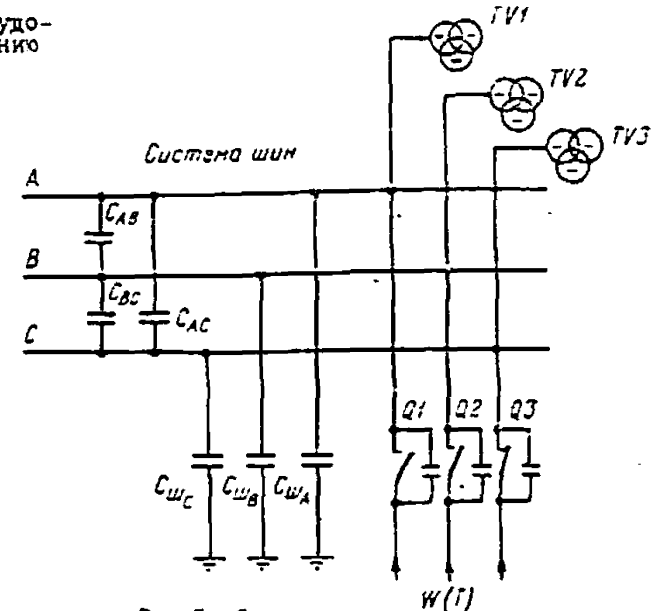


Рис.5. Схема неполнофазного питания системы шин ОРУ после автоматического отключения присоединений от системы шин

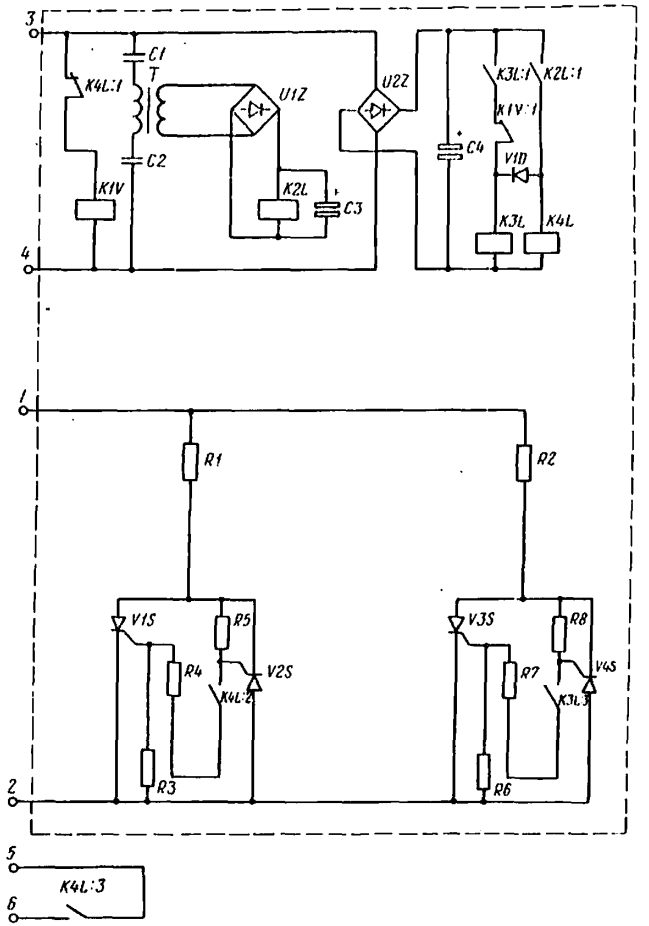


Рис.6. Принципиальная электрическая схема устройства фиксации и подавления феррорезонанса (вариант, разработанный с участием Днепроэнерго, Краснодарэнерго, Смоленскэнерго, Азглавэнерго)

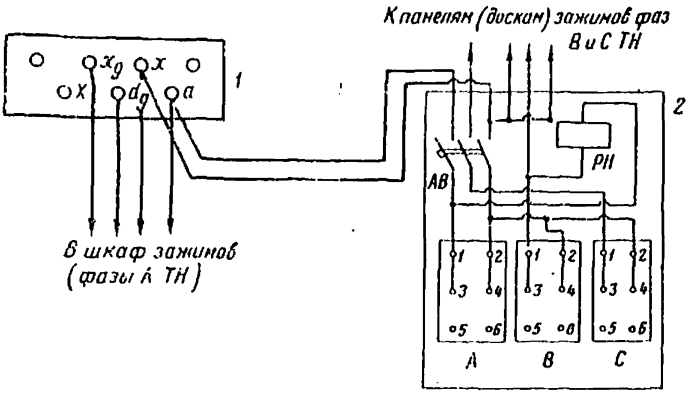


Рис.7. Схема присоединения устройства фиксации и подавления феррорезонанса к трансформатору напряжения:
1 - доска зажимов трансформатора напряжения; 2 - шкаф

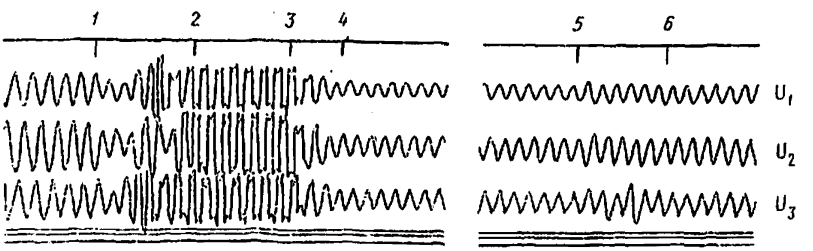


Рис.8. Осциллограмма возникновения и подавления феррорезонанса в распределительном устройстве 220 кВ:

U_1, U_2, U_3 - фазные напряжения шин; 1 - момент отключения шин; 2 - установившийся феррорезонанс; 3 - включение балластного резистора 0,2 Ом; 4 - подавление феррорезонанса; 5 - начало ступенчатого ввода балластного резистора; 6 - окончание ввода балластного резистора с сохранением нагрузки 3 Ом. Линейное напряжение на шинах до отключения - 252 В

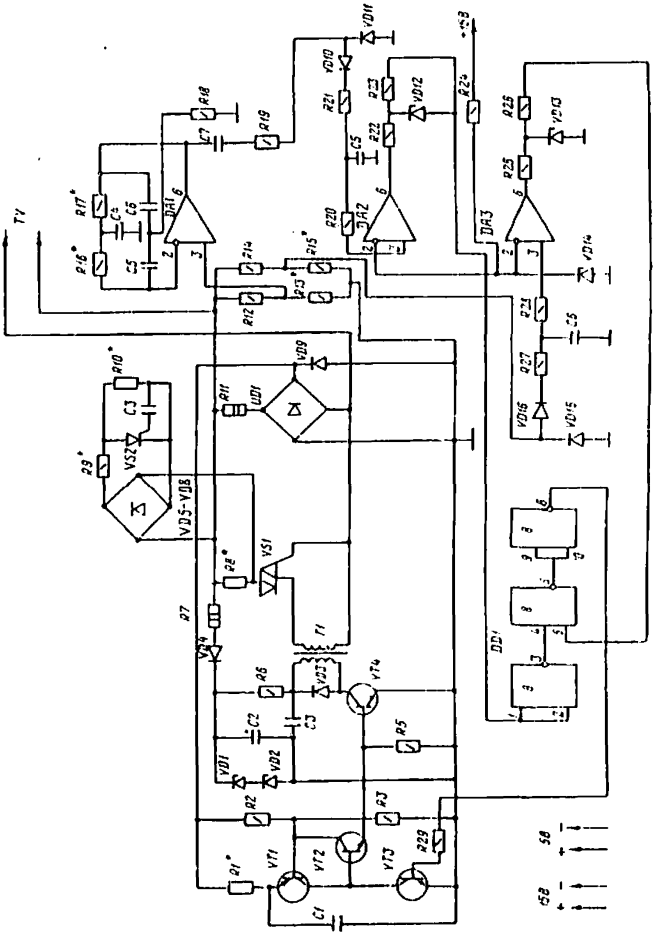


Рис.9. Принципиальная электрическая схема устройства подавления феррорезонанса

Приложение I

ПРОГРАММА РАСЧЕТА КРАТНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ФЕРРОРЕЗОНАНСЕ С ТРАНСФОРМАТОРОМ НАПРЯЖЕНИЯ И ПРОЦЕНТНОГО СОДЕРЖАНИЯ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЯ

Обращение к программе: *CALL FERRES (UN,CB,CS,G)*, где *UN* - линейное номинальное напряжение, кВ; *CB* - сумма результирующих значений емкостей конденсаторов, шунтирующих контакты воздушных выключателей ОРУ, пФ; *CS* - сумма значений емкостей электрооборудования, ошиновки и шин ОРУ по отношению к земле, пФ; *G* - коэффициент изменения фазного напряжения.

Требуемых стандартных подпрограмм нет. Время расчета (ЕС 1022) с трансляцией - 6 мин.

ПРОГРАММА:

```
      SUBROUTINE FERRES(UN,CB,CS,G)
      DIMENSION X(2),W(2),Y1(100),Y2(200),Y3(6),Y4(60)
      DATA X1,W3,Y3,Y4/4*0.,20*0.,6*0.,0.,/
      C1=0.666*CB*(UN*1.E3/314.)**2
      C2=0.666*CS*(UN*1.E3/314.)**2
      DO 1 K=1,20
      DO 6 K1,100
      T=T+2.E-4
      DO 25
      DO 2 J=1,2
    2 X(2+J)=X(J)
    3 IF(ABS(X(2)).LT.1.E-6) TN=UN*X(2)/110.
      IF(ABS(X(2)).GE.1.E-6) TN=UN*X(2)*(1.+
     *10.*ABS(X(2))**8+6.*ABS(X(2))**10)/110.
      W(1)=(C1*G*314.*314.*159*COS(314.159*T)-TN)/(C1+C2)
      IF(ABS(X(2)).LT.1.E-6) F=UN/110.
      IF(ABS(X(2)).GE.1.E-6) F=UN*(1.+
     *90.*ABS(X(2))**8+66.*ABS(X(2))**10)/110.
      W(2)=(X(1)-0.05*TN)/(1.+0.0011*F)
      DO 4 J=1,2
```

```
0819          4 X(J)=Y(2*J)*2.E-4*W(J)/DM
0820            GO TO 2
0821            IF(DM.GT.1.) GO TO 3
0822            W1(K)=X(1)
0823            IF(ABS(X(1)).GT.ABS(W2(M))) W2(M)=X(1)
0824            DO 6 J=1,3
0825            W3(2*J-1)=W3(2*J-1)+W1(K)*SIN((2*J-1)*(K-1)*3.14/32.)
0826          6 W3(2*J)=W3(2*J)+W1(K)*COS((2*J)*(K-1)*3.14/32.)
0827            DO 5 J=1,3
0828            W4(256*(J-1)+M)=SQRT((W3(3*J-1)**2+W3(2*J)**2)/2560.)
0829            W4(256*(J-1)+M)=W4(256*(J-1)+M)*100./3.14
0830            W3(2*J-1)=0.
0831          5 W3(2*J)=0.
0832          1 W2(M)=ABS(W2(M))/3.14
0833            WRITE(3,7)
0834            WRITE(3,8)(J,W2(J),W4(J),W4(256+J),W4(512+J),J=1,25)
0835          7 FORMAT(20X,'ОБРАБОТКА ДАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТА',//,3X,
     *'ЗАВИСИМОСТЬ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДИ ПЯТНА ОТ ВРЕМЕНИ',//,3X,
     *'ЗАВИСИМОСТЬ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДИ ПЯТНА ОТ ЧАСТОТЫ',//,3X,
     *'ЗАВИСИМОСТЬ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДИ ПЯТНА ОТ ВРЕМЕНИ',//,3X,
     *'ЗАВИСИМОСТЬ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДИ ПЯТНА ОТ ЧАСТОТЫ',//,3X,
     *'ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ИНТЕНСИВНОСТИ ОБЛУЧЕНИЯ',//,3X,'ВРЕМЯ',3X,
     *'ЧАСТОТА',3X,'ВРЕМЯ',3X,'ЧАСТОТА',3X,'ИНТЕНСИВНОСТЬ')
0836          8 FORMAT(20X,I2,3X,F12.2,7X,F12.2,7X,F12.2,7X,F12.2)
0837            STOP
0838            END
```

Результат представляется в таблице

Номера периодов	Кратность повышения фазного напряжения	% номинального фазного напряжения гармонических составляющих		
		1-й	3-й	5-й
1	1.77	67.11	2.71	1.24
2	1.86	68.81	15.99	7.22
3	1.45	191.23	44.61	7.33
4	2.76	293.11	65.39	26.58
5	2.67	131.35	15.13	19.53
6	2.62	147.04	12.07	11.86
7	2.27	199.87	16.67	28.38
8	1.66	152.35	34.66	16.36
9	1.91	179.58	33.49	2.79
10	1.87	189.79	23.98	14.51
11	1.37	139.99	27.97	19.16
12	1.78	185.11	32.62	7.88
13	1.65	174.85	38.62	2.18
14	1.54	155.24	46.43	14.22
15	1.68	182.35	32.71	4.99
16	1.58	164.78	45.19	9.95
17	1.59	167.47	43.46	7.37
18	1.61	177.24	37.46	8.69
19	1.45	163.32	46.13	11.12
20	1.58	172.63	41.21	4.62

14.10.29 DATE 11/11/11

Тестовый материал: $UN = 220, CB = 2 \cdot 10^{-9}, CS = 2 \cdot 10^{-9}, G = 1,1$.

Программа расчета кратностей повышения напряжения при феррорезонансе и процентного содержания гармонических составляющих напряжения при установке параллельно трансформатору напряжения ОПН.

```
0001            SUBROUTINE FEROPN(UN,CB,CS,G)
0002            DIMENSION X(4),W(2),W1(100),W2(200),W3(5),W4(50)
0003            DATA X1,W2,W3,T/4*0.,20*0.,0.0,0.,0./
0004            C1=0.566*CB*(UN*1.E3/314.)**2
0005            C2=0.566*CS*(UN*1.E3/314.)**2
0006            DO 1 M=1,25
0007            DO 6 K=1,100
0008            T=T+2.E-4
0009            DM=25.
0010            DO 2 J=1,2
0011          2 X(2*J)=X(J)
0012          3 IF(ABS(X(2)).LT.1.E-6) TN=UN*X(2)/118.
0013            IF(ABS(X(2)).GE.1.E-6) TN=UN*X(2)*(1.+
               *18.*ABS(X(2))**6+6.*ABS(X(2))**10)/118.
0014            IF(UN.LE.220.) UP=ABS(X(1))*1.582E-3
0015            IF(UN.GT.220.) UP=ABS(X(1))*1.8025E-3
0016            DO 9 I=1,7
0017            IF(UP.GE.(0.56+0.04*I).AND.UP.LE.(0.62+0.04*I)) GO TO 10
0018          9 TI=0.
0019            GO TO 11
0020         10 TI=2.5956*UN*(1.-38.833*(0.62+0.04*I-UP)**2)*(0.62+0.04*I-UP)**3*5209.
               **(1-6)
0021            IF(X(1).LT.0.) TI=-TI
0022         11 W(1)=(C1+C2)*314.*314.159*COS(314.159*T)-TN-TI)/(C1*C2)
0023            IF(ABS(X(2)).LT.1.E-6) F=UN/118.
0024            IF(ABS(X(2)).GE.1.E-6) F=UN*(1.+
               *95.*ABS(X(2))**6+66.*ABS(X(2))**10)/118.
0025            W(2)=(X(1)-0.35*TN)/(1.+6.9811*F)
0026            DO 4 J=1,2
0027          4 X(J)=X(2*J)+2.E-4*W(J)/DM
0028            DM=DM-1.
0029            IF(DM.GE.1.) GO TO 3
```

```
C
C
C
```

Приложение 2

ПРИМЕРЫ С РЕЗУЛЬТАТАМИ РАСЧЕТА ПРОЦЕССА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ФЕРРОРЕЗОНАНСА В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОМ УСТРОЙСТВЕ 220 кВ

Пример № I

Номер периода	Кратность изменения напряжения (от $U_{н.ф}$)	% номинального фазного напряжения гармонических составляющих		
		I-й	3-й	5-й
I	0,77	67,II	2,7I	I,24
2	0,86	48,0I	I5,99	7,20
3	2,45	I9I,03	44,6I	7,33
4	2,76	200,II	65,39	26,68
5	2,07	I2I,39	I5,I3	I9,63
6	2,02	I47,04	I2,07	II,86
7	2,20	I99,87	I6,67	28,38
8	I,66	I32,05	34,66	I6,38
9	I,9I	I79,60	33,49	2,79
I0	I,87	I89,79	20,98	I4,6I
II	I,37	I39,99	47,97	I9,I6
I2	I,78	I85,II	32,60	7,08
I3	I,65	I74,88	38,60	2,I8
I4	I,54	I55,24	46,45	I4,20
I5	I,68	I82,35	32,7I	4,99
I6	I,59	I64,78	45,I9	9,98
I7	I,59	I67,47	43,I4	7,87
I8	I,6I	I77,24	37,46	0,69
I9	I,45	I63,32	46,I3	II,I2
20	I,58	I72,63	4I,2I	4,62

Примечание. На шинах распределительного устройства установлены вентильные разрядники, на трансформатор напряжения подается напряжение через емкостные делители четырех выключателей ВВБ-220.

Пример № 2

Номер периода	Кратность изменения напряжения (от $U_{н.ф}$)	% номинального фазного напряжения гармонических составляющих		
		1-й	3-й	5-й
I	0,77	67,II	2,71	1,24
2	0,86	48,01	I5,99	7,2
3	I,66	I72,39	37,91	3,3I
4	I,66	I96,61	37,33	5,88
5	I,65	I90,66	34,97	I0,35
6	I,6I	I78,38	35,I7	2,22
7	I,46	I65,73	45,I7	9,6I
8	I,55	I70,87	42,I2	5,78
9	I,54	I72,02	4I,56	4,88
I0	I,50	I67,76	44,I3	8,I7
II	I,53	I7I,53	4I,87	5,32
I2	I,5I	I70,I0	42,86	6,45
I3	I,5I	I69,40	43,22	6,77
I4	I,52	I70,97	42,26	5,77
I5	I,5I	I69,72	43,07	6,74
I6	I,5I	I70,I2	43,8I	6,43
I7	I,5I	I70,43	42,63	6,I9
I8	I,5I	I69,86	42,93	6,63
I9	I,5I	I70,28	42,7I	6,30
20	I,5I	I70,I8	42,79	6,39

Примечание. На шинах распределительного устройства установлены ограничители перенапряжений нелинейные (ОПН), на трансформатор напряжения подается напряжение через емкостные делители четырех выключателей [illegible]-220.

Приложение 3

ЗНАЧЕНИЯ ЕМКОСТЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ 150-500 кВ

Таблица I

Тип выключателя	Результирующее значение емкости, шунтирующей контакты полюса, пФ	Тип выключателя	Результирующее значение емкости, шунтирующей контакты полюса, пФ
ВВН-150	330	ВВН-330-15	167
ВВШ-150	330	ВВН-330	303
ВВН-220-10	250	ВВД-330*	413
ВВН-220-15	250	ВВДМ-330	413
ВВШ-220	250	ВВ-330Б	167
ВВБ-220-12	825	ВЭК-220	250
ВВД-220Б-40/2000	825	ВЭБ-500	288
ВВД-220	825	ВВБ-500-30	275
ВНВ-220	700	ВВ-500Б	550
ВВЭК-220	500	ВНВ-500	350
ВВБ-330*	413	ВПБ-500	335
ЭВБ-330Б*	413	ВВ-500Б	550
ВВБ-330Б-40/3200*	413	ВВЭК-500	413

*Сняты с производства.

Таблица 2.

Вид оборудования	Емкость оборудования по отношению к земле, пФ
Разъединитель 220 кВ	100
Трансформатор тока 220 кВ	150
Трансформатор напряжения 220 кВ	300
Разрядник 220 кВ	85
Выключатель ВНВ-220 (полуполюс)	250
Выключатель ВВБ-220-12 (полуполюс)	300
Разъединитель 330 кВ	150
Трансформатор тока ТФКН-330	900
Трансформатор тока ТРН-330	1000
Трансформатор напряжения 330 кВ	300
Разрядник 330 кВ	100
Разъединитель 500 кВ	200
Трансформатор тока ТФНКД-500 кВ	150
Трансформатор напряжения 500 кВ	500
Разрядник 500 кВ	200
Выключатель ВНВ-500/2000 (полуполюс)	235
Ошиновка 110-500 кВ	6-10 пФ/м

Примечание. Емкости оборудования, не указанного в таблице, рекомендуется принимать по аналогии с указанным и близким по конструкции, если отсутствуют паспортные данные или данные измерений.

Приложение 1

Штамп завода-изготовителя выключателей

Заместителю главного инженера ПО "Союзтехэнерго"

т.Герру А.Д.

105266, Москва, Семеновская наб., д.2/1

26.03.81 № II-90/1116

На № 2518 от 20.01.81

По вопросу демонтажа делительных конденсаторов на выключателях 110 кВ

Считаю допустимым снятие конденсаторов ДМРУ-80-0,001 со всех выключателей серии ВВБ на напряжение 110 кВ: ВВБ-110-6, ВВБ-110-31,5/2000 (с вертикальным резервуаром в основании), ВВБМ-110Б и ВВУ-110Б независимо от вида распределительного устройства (открытое или закрытое), в котором они установлены.

Заместитель руководителя В.К.ТАРАСОВ

Верно: В.М.Максимов

Приложение 5

ОПИСАНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА ФИКСАЦИИ И ПОДАВЛЕНИЯ ФЕРРОРЕЗОНАНСА[1]

1. Основные параметры устройства

Количество ступеней нагрузки, подключаемой к трансформатору напряжения.... 2

Время включения реактора:

R1 ..... 0,03 с

R2 ..... 0,30-0,39 с

Время готовности устройства к повторному действию ..... Не более 0,04 с

Потребляемая мощность при отсутствии феррорезонанса ..... 1 В·А

Напряжения срабатывания и возврата реле:

K1V	$U_{ср}$	46 В
	$U_{в}$	40 В
K2V	$U_{ср}$	1,9 В
	$U_{в}$	1,4 В
K3V	$U_{ср}$	14,2 В
	$U_{в}$	2,3 В
K4V	$U_{ср}$	14,5 В
	$U_{в}$	2,5 В

2. Состав устройства

2.1. Логический блок (схему см. 3,4)

Логический блок состоит из реле контроля наличия напряжения частотой 50 Гц (K1V), фильтра напряжения третьей гармонической составляющей с выходным реле (K2L) постоянного тока, реле включения (K4L) тиристоров (V1S, V2S), реле включения (K3L) тиристоров (V3S, V4S).

---

[1] В настоящее время завершается разработка электронного устройства фиксации и подавления феррорезонанса (см.рис.9) с участием НО "Преобразователь", ИЭД УССР и ряда других организаций.

2.2. Нагрузочный блок (выводы 1,2)

Нагрузочный блок, состоит из силовых резисторов (*R1*, *R2*), тиристоров (*V1S*, *V2S*, *V3S*, *V4S*), коммутирующих силовых резисторов, резисторов (*R4*, *R7*), ограничивающих ток управления тиристоров, резисторов (*R3*, *R5*, *R6*, *R8*), исключающих самопроизвольное открытие тиристоров.

3. Работа схемы устройства

3.1. Исходное состояние схемы

Феррорезонанс отсутствует, на входе (выводы 3,4) присутствует номинальное рабочее напряжение (f = 50 Гц).

Цепи катушек реле *K2L*, *K3L*, *K4L* разомкнуты.

Цепь обмотки реле *KIV* замкнута контактом *K4L* : 1 и реле находится в сработавшем состоянии.

Цепь управления тиристорами разомкнута (на контактах *K4L*:2, *K3L*: 3).

3.2. Работа элементов схемы при возникновении феррорезонанса

Срабатывает выходное реле *K2L* и замыкает контактами *K2L*: 1 цепь катушек реле *K4L* и *K3L*. Контакт *K4L*: 1 размыкает цепь катушек реле *KIV*. Контакт *K4L*: 2 открывает тиристоры *V1S* и *V2S* и к выводам 1-2 устройства подключается резистор *R1*. Реле *K3L* самоудерживается через контакт *K3L*: 1.

Контактом *K3L*: 3 открываются тиристоры *V3S*, *V4S*, подключающие силовой резистор *R2* параллельно резистору *R1*.

3.3. Работа элементов схемы после подавления феррорезонанса

Возвращаются в исходное состояние реле $K2L$ и $K4L$. Контакт $K4L$: I замыкает цепь катушек реле KIV ($U_{ср}$ = 0,7-0,8$U_{ном}$, $U_{ост}$ = (0,25-0,3) $U_{ном}$. Контакт $K4L$: 2 размыкает цепь управления тиристорами VIS и $V2S$, отключая от выводов I, 2 силовой резистор RI.

3.4. Работа элементов схемы после подачи рабочего напряжения на трансформатор напряжения

Срабатывает реле KIV . Контактом KIV : I размыкается цепь обмотки реле $K3L$. Контакт $K3L$: 3 размыкает цепи управления тиристорами $V3S$ и $V4S$, отключающих резистор $R2$ от выводов I, 2 устройства.

3.5. Работа схемы сигнализации

При феррорезонансе через контакт $K4L$: 3 подается сигнал о возникновении феррорезонанса.

4. Основные технические данные элементов устройства

$R1$ = 0,2 Ом; $R2$ = 0,6 Ом; $R3$, $R5$, $R6$, $R8$ - МЛТ-I-56±10%; $R4$, $R7$ - ПЭВ-25-300 ±10%; $C1$, $C2$ - МБМ-500-025±10%; $C3$ - К50-6-25-200±10%; $C4$ - К50-12-250-150-150±10%; VID -Д226; VIS, $V2S$ - ТIO-80-3-333У2; $V3S$, $V4S$ - ТIO-50-3-333У2; VIZ - КЦ402, KIV- РН54/48; $K2L$ - 235.007.26; $K3L$, $K4L$ - РПУ-0-5IIУ4; Т - трансформатор (ШI8×I8, $W_1 = W_2$ = 200 Вт, ПЭВ-2 ⌀ 0,2I, зазор до 2 мм).

Список использованной литературы

1. ТИПОВАЯ инструкция по производству оперативных переключений в электроустановках. - М.: СПО Союзтехэнерго, 1985.

2. ТИПОВАЯ инструкция по ликвидации аварий в электрической части энергосистем. - М.: СЦНТИ ОРГРЭС, 1972.

3. ПРАВИЛА технической эксплуатации электрических станций и сетей.- М.: Энергия, 1977.

4. ГОСТ 1516.1-76 "Электрооборудование переменного тока на напряжения от 3 до 500 кВ. Требования к электрической прочности изоляции". - М.: Госстандарт, 1977.

5. ГОСТ 16357-83 "Разрядники вентильные переменного тока на номинальные напряжения от 3,8 до 600 кВ. Общие технические условия". - М.: Госстандарт, 1983.

6. ТУ 16-521.259-79 "Ограничители перенапряжений нелинейные типов ОПН-110УI, ОПН-150УI, ОПН-220УI и ОПН-330УI".

7. ПАВЛОВ В.И., МАКСИМОВ В.М. Феррорезонанс в электрических сетях с заземленной нейтралью. - Электрические станции, 1975, № I.

8. ЗИХЕРМАН М.Х., МАКСИМОВ В.М. Определение возможности возникновения феррорезонанса в ОРУ 220-500 кВ электростанций и подстанций энергосистем. Экспресс-информация. Серия: Эксплуатация и ремонт электрических сетей. Вып.I. - М.: Информэнерго, 1979.

9. ГАШИМОВ А.М., БОРИСЕНКО Л.С., ДЖУВАРЛЫ Ч.М., ДМИТРИЕВ Е.В., ЖДАНОВ В.С., НАЗАРОВ А.И., НУРМАМЕДОВ Т.А. Предотвращение резонанса напряжений с трансформаторами напряжения 150-500 кВ. - В кн.: Ограничение токов коротких замыканий и сопутствующих перенапряжений. Баку: Элм, 1983.

10. ГАШИМОВ А.М., ДЖУВАРЛЫ Ч.М., ДМИТРИЕВ Е.В., МАКСИМОВ В.М., САДЫХОВ В.М. Применение сплайн-интерполяции для моделирования ограничителей перенапряжений. - Доклады Академии наук Азербайджанской ССР, 1986, № 5.

11. ПЕРЕДАЧА энергии постоянным и переменным током. - Труды НИИПТ. Вып.21-22. М.: Энергия, 1975.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Общие положения 3

2. Методика определения возможности возникновения феррорезонанса в распределительных устройствах 150-500 кВ с электромагнитными трансформаторами напряжения и выключателями, содержащими емкостные делители напряжения 4

3. Способы предотвращения и подавления феррорезонанса в распределительных устройствах 110-500 кВ 6

4. Основные технические требования к способам предотвращения и устройствам фиксации и подавления феррорезонанса в распределительных устройствах 150-500 кВ 8

5. Выбор комплекса мероприятий по предотвращению и подавлению феррорезонанса в распределительных устройствах 150-500 кВ 9

6. Указания по экспериментальной проверке существования феррорезонанса в распределительных устройствах 150-500 кВ электростанций и подстанций 11

7. Указания по выбору параметров и уставок устройства фиксации и подавления феррорезонанса в распределительных устройствах 150-500 кВ 12

8. Указания по обеспечению правильности действия АПВ шин распределительных устройств 150-330 кВ при возникновении феррорезонанса 13

Приложение 1. Программа расчета кратностей повышения напряжения при феррорезонансе с трансформатором напряжения и процентного содержания гармонических составляющих напряжения 22

Приложение 2. Примеры с результатами расчета процесса возникновения феррорезонанса в распределительном устройстве 220 кВ 27

Приложение 3. Значения емкостей оборудования распределительных устройств 150-500 кВ 29

Приложение 4. Письмо завода-изготовителя выключателей "По вопросу демонтажа делительных конденсаторов на выключателях 110 кВ" от 26.03.81 № 11-90/1116..... 31

Приложение 5. Описание принципиальной электрической схемы устройства фиксации и подавления феррорезонанса 32

Список использованной литературы 35

gost.e-ecolog.ru