

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение
(направленность (профиль))

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Реконструкция релейной защиты КРУ 10 кВ ГПП автозавода»

Студент(ка)	<u>Т.И. Абрамова</u>	<u>(личная подпись)</u>
	(И.О. Фамилия)	
Руководитель	<u>А.А. Кувшинов</u>	<u>(личная подпись)</u>
	(И.О. Фамилия)	
Консультанты	<u>_____</u>	<u>(личная подпись)</u>
	(И.О. Фамилия)	
	<u>_____</u>	<u>(личная подпись)</u>
	(И.О. Фамилия)	

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина

« ____ » _____ 2016 г.

Тольятти 2016

Аннотация

В работе выполнена реконструкция релейной защиты комплектного распределительного устройства (КРУ) 10 кВ ГПП автозавода. Выполнен анализ производителей микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики, применяемых для защиты силовых трансформаторов и отходящих фидеров. Проведен выбор устройств микропроцессорной релейной защиты и автоматики для КРУ 10 кВ ГПП автозавода.

Рассчитаны уставки дифференциальной защиты силовых трансформаторов и КРУ 10 кВ ГПП с применением микропроцессорного устройства релейной защиты и автоматики. Доказана целесообразность замены аналоговых электромеханических устройств релейной защиты на микропроцессорные устройства. Выполнено технико-экономическое обоснование применения микропроцессорных защит серии «ТЭМП 2501 – ХХ» на ГПП.

Пояснительная записка выполнена на 52 стр. Графическая часть выполнена на 6 листах формата А1.

Содержание

Введение	
1 Анализ существующей релейной защиты и автоматики на ГПП-1 ОАО «АВТОВАЗ»	7
2 Основные критерии, определяющие необходимость замены устройств релейной защиты и автоматики на ГПП-1	10
3 Достоинства и недостатки микропроцессорной релейной защиты	12
4 Обзор различных производителей устройств микропроцессорной защиты и автоматики релей, применяемых для защиты на ГПП предприятий	15
4.1 Микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматики производства ООО «АББ Автоматизация»	15
4.2 Микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматики производства «Schneider-electric»	18
4.3 Микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматики производства НПП «ЭКРА»	20
4.4 Микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматики БМРЗ-ТР производства НТЦ «Механотроника»	22
4.5 Микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматики производства НПФ «РАДИУС Автоматика»	25
5 Разработка рекомендаций по установке микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики на ГПП-1	29
6 Выбор трансформаторов тока	31
7 Расчет уставок релейной защиты и автоматики силовых трансформаторов и отходящих фидеров ГПП-1. Дифференциальная токовая защита силовых трансформаторов на модуле SPCD 3D53	35
8 Техничко-экономическое обоснование применения микропроцессорных защит серии «ТЭМП 2501 – ХХ» на ГПП-1	42
Заключение	49
Список использованных источников	50

Введение

Наиболее тяжелым видом отказов в системах электроснабжения (СЭС) являются нарушение электроснабжения крупных промышленных потребителей (химических предприятий, машиностроительных предприятий, предприятий металлургии и нефтепереработки и т.д.), а также потребителей, расположенных на значительной территории, что приводит к развитию системных аварий и к крупным материальным ущербам.

Следует отметить, что развитие системных аварий становится возможным при неправильной работе устройств релейной защиты и автоматики (РЗА), при нечеткой и ошибочной работе дежурного эксплуатационного персонала, а также вследствие различных природных воздействий на СЭС (ударов молний, наводнений, гололедных образований, сильной ветровой нагрузке, а также геомагнитных бурь) [1,2,25-29].

В РФ крупных системных аварий пока не было, однако об их возможности отечественные специалисты в области электроэнергетики и электротехники говорят уже давно и не без оснований [7,12,13,20]. Последние 15-20 лет релейная защита и противоаварийная автоматика на подстанциях промышленных предприятий практически не обновлялась. Отчасти это оправдано тем, что по сравнению с другими видами электротехнического оборудования релейная защита и противоаварийная автоматика не так быстро изнашиваются. Но РЗА играет очень важную роль в обеспечении надежности энергетической системы, а значит должна быть полностью в исправном состоянии. Однако, по проведенным исследованиям, более примерно 30% аналоговых электромеханических устройств релейной защиты на подстанциях предприятий требует замены, т.к. физически и морально устарело [13,14].

Технические средства безопасности, используемые в энерго системах, в большинстве своем тоже устарели, и требуют замены более новыми устройствами, разработанными по современным технологиям [16,20].

Целью работы является анализ микропроцессорной релейной защиты – защиты нового поколения и замена устаревшей аналоговой электромеханической релейной защиты и автоматики на примере ГПП-1 ОАО «АВТОВАЗ» на РЗА, в основе которой лежит микропроцессорная техника.

Задачами работы являются:

- анализ существующей РЗА на ГПП-1 ОАО «АВТОВАЗ»;
- выбор наиболее оптимального варианта реконструкции устройств РЗА ГПП-1;
- анализ основных проблем и направлений реконструкции устройств РЗА ГПП-1;
- технико-экономическое обоснование применения микропроцессорных защит на ГПП-1.

1 Анализ существующей релейной защиты и автоматики на ГПП-1 ОАО «АВТОВАЗ»

В настоящее время релейная защита и автоматика на ГПП-1 выполнена на основе аналоговых электромеханических реле (см. рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Главный щит управления ГПП-1 на основе электромеханических реле

На территории ОАО «АВТОВАЗ» в настоящее время только ГПП-6 переведена на цифровую релейную защиту (см. рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Главный щит управления ГПП-6 на основе микропроцессорной релейной защиты

При применении микропроцессорной РЗА ее принципы действия не изменяются и при этом расширяются ее функциональные возможности, упрощается эксплуатация, уменьшаются затраты на обслуживание [11].

Для производства современных релейных систем защиты и автоматики используются микросхемы, микрочипы и микропроцессоры, позволяющие расширить диапазон функций этих устройств, наделив их электронной логикой, возможностью обработки и передачи информации. Современные релейные защитные системы соединены с компьютерами, поскольку являются сами по себе многофункциональными комплексными системами [21]. В настоящее время примерно 30% аналоговых электромеханических устройств релейной защиты на подстанциях эксплуатируются более 25 лет [13].

Известно [5,6], что нормативный срок службы электромеханических устройств РЗА в соответствии с ТУ 25-04-2489-75 составляет 12 лет; испытательных блоков в соответствии с ТУ 16-526.115-75 составляет 15 лет; монтажных проводов в соответствии с ГОСТ 17515-72, ГОСТ 6323-79 составляет 15 лет; соединительных зажимов в соответствии с ТУ 16-91, ТГФР.687022.035 ТУ составляет 12 лет; ключей и переключателей в соответствии с ТУ 16-526.128-78, ИГУЛ.642 313.010 ТУ составляет 8 и 10 лет, рубильников в соответствии с ТУ 16-525.018-74 составляет 15 лет.

ГПП-1 является трехтрансформаторной ГПП, выполнена трансформаторами типа ТРДЦНК – 63000/110/10/10, введена в эксплуатацию в 1970 г. и, соответственно, существующая электромеханическая РЗА введена в эксплуатацию также в 1970 году. В 1990 и 1992 была произведена частичная замена электромеханических реле на соответствующие. Следовательно, в настоящее время установленная РЗА, выполненная на аналоговых электромеханических реле, физически и морально устарела. Требуется реконструкция релейной защиты ГПП-1 с установкой современной микропроцессорной. Электрическая принципиальная схема ГПП-1 приведена на листе 1 графической части ВКР.

2 Основные критерии, определяющие необходимость замены устройств релейной защиты и автоматики на ГПП-1

Выполнив анализ существующей установленной аналоговой электромеханической релейной защиты на ГПП-1, можно сделать следующие выводы:

1. Установленная РЗА на ГПП-1, выполненная на аналоговых электромеханических реле, физически и морально устарела. РЗА эксплуатируется выше нормативного срока службы 12 лет. Количество срабатываний устройств РЗА превышает количество срабатываний, нормируемых нормативной документацией.

2. Технические характеристики и функциональные возможности установленных электромеханических реле не соответствуют требуемому уровню быстродействия, чувствительности, обеспечения селективности прилегающей электрической сети.

3. Изоляция контрольных кабелей вторичных цепей находится в неудовлетворительном состоянии по электрической прочности и по уровню сопротивления изоляции.

4. Постоянно растет число повреждений элементов релейной защиты, выявленных при техническом обслуживании и анализе случаев неправильного срабатывания устройств РЗА на ГПП-1.

Статистика показывает [13], что более 50% всех отказов устройств релейной защиты связано с ошибками персонала. При имеющейся тенденции к сокращению обслуживающего персонала одним из путей решения вопроса является расширение использования автоматических средств проверки, что сокращает как время и затраты на проверку, так и возможные ошибки при проверке, выполняемой по заданной программе в автоматическом режиме. Одновременно повышается и достоверность результатов, фиксируемых итоговым документом - протоколом испытаний, создаваемым самой программой. Существенно облегчаются последующие

периодические проверки, сводящиеся к запуску уже подготовленной при предыдущих испытаниях программы и проверке соответствия результатов ранее полученным данным. Подобное техническое обслуживание может осуществляться специализированными организациями при минимальном участии (контроле) служб релейной защиты.

5. Происходит прекращение выпуска устройств электромеханических релейной защиты и запасных частей к ним, что приводит к трудностям при проведении технического обслуживания устройств релейной защиты, и, следовательно, приводит к ложным срабатываниям или неправильным срабатываниям.

Микропроцессорные устройства РЗА являются существенно более надежными по сравнению с релейной защиты предыдущих поколений (аналоговой электромеханической) с точки зрения возможности аппаратных отказов вследствие старения и выхода из строя отдельных компонентов. Это обусловлено принципиально новой технологией, обеспечивающей существенно меньшее число элементов, проводных соединений, промежуточных реле и контактов. Указанное не означает, что периодических эксплуатационных проверок цифровых устройств релейной защиты не требуется вообще. Микропроцессорные устройства содержат целый ряд компонентов, в частности аналоговые фильтры и усилители в цепях обработки входных сигналов, уход параметров которых или выход из строя не контролируется полностью внутренними средствами самоконтроля и может привести к существенному отклонению уставок и к неправильному действию микропроцессорной РЗА.

Существуют и другие причины необходимости периодического эксплуатационного контроля готовности цифровых устройств релейной защиты, хотя бы в сокращенном объеме, в том числе проверка отсутствия сбоя программного обеспечения, правильности изменения уставок, проверка возможности обрыва соединений шкафа (панели), контроль выходных реле.

3 Достоинства и недостатки микропроцессорной релейной защиты

Достоинства микропроцессорной релейной защиты рассмотрены на примере блока SPAC 801 C3 (ООО «АББ Автоматизация»). На рисунке 3.1 приведен блок SPAC 801 C3 и электромеханическое реле тока РТ-80.



Рисунок 3.1 - Пример блока SPAC 801 C3

Всего в одном блоке микропроцессорной РЗА (на примере семейства SPAC 810) находятся функции релейных защит и автоматики такие как:

- максимальная токовая защита (МТЗ) как направленная, так и ненаправленная;
- ускорение второй ступени максимально-токовой защиты;
- защита от замыканий на землю (направленная токовая и на высших гармониках);

- защита от несимметрии нагрузки / небаланса;
- защита от перегрузки двигателя («псевдотепловая» модель);
- защита пусковых режимов двигателя;
- защита минимальная токовая / потери нагрузки;
- защита минимального напряжения (однофазная);
- защита минимального и максимального напряжений (трёхфазная);
- защита по напряжению нулевой и обратной последовательностей;
- групповая защита минимального напряжения секции;
- автоматическое повторное включение (АПВ) и автоматический ввод резерва (АВР);
- логическая защита шин.

При этом габаритные размеры блока SPAC 801 С3, как видно из рисунка 3.1, малы.

Достоинства микропроцессорных устройств релейной защиты, установленной на ГПП-6:

- самодиагностика микропроцессорных устройств релейной защиты может выявить некоторые внутренние повреждения, например, такие как выход из строя внутреннего источника питания или микропроцессора;
- технологический уровень, определяющий исполнение устройством встроенных в него алгоритмов защиты и автоматики;
- функциональность микропроцессорных устройств релейной защиты;
- возможность интеграции микропроцессорных устройств релейной защиты в другие системы;
- предотвращения ложной работы защиты при качаниях мощности в энергосистеме.

Наряду с многочисленными достоинствами все же существуют и недостатки:

- Печатные платы микропроцессорных устройств, в частности в шкафах управления оперативным током (ШУОТ), смонтированы настолько плотно, что их ремонт становится затруднительным или невозможным.

Замена же всей платы сразу является дорогостоящим удовольствием (рисунок 3.2).

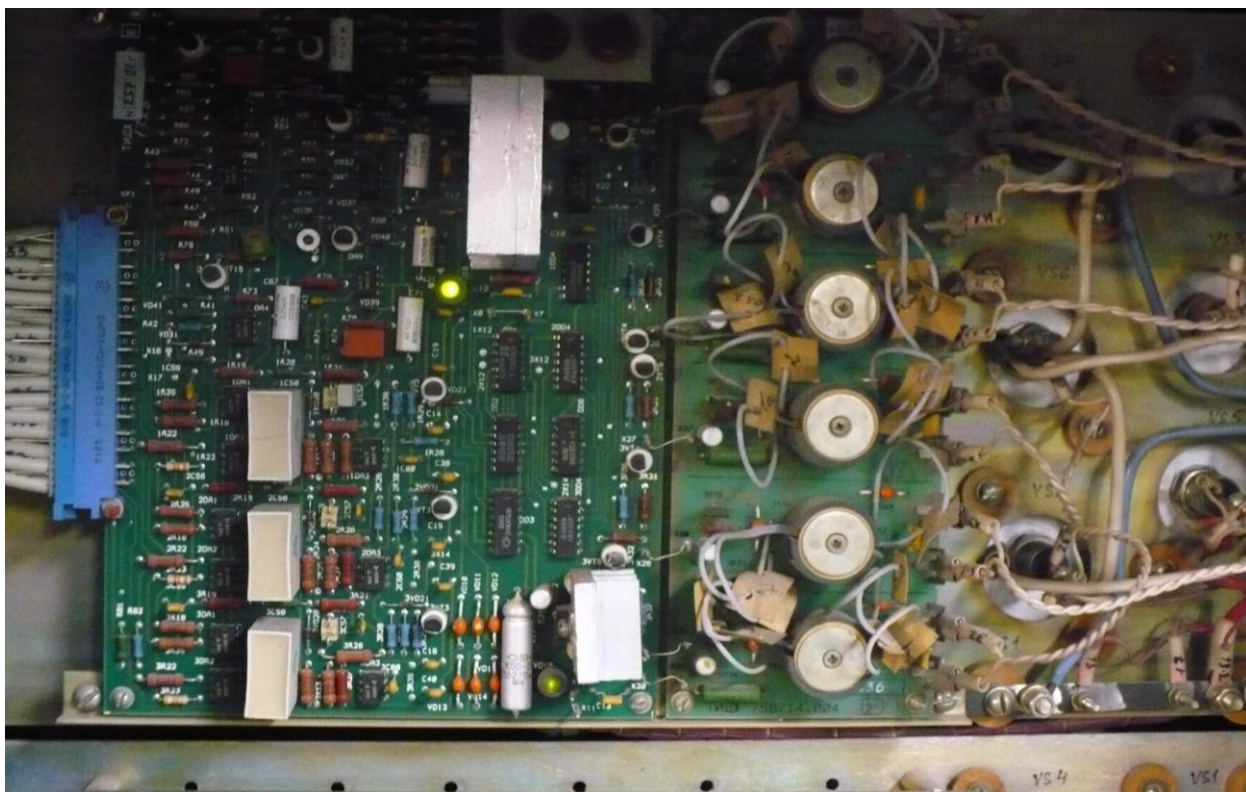


Рисунок 3.2 - Плата шкафа управления оперативным током на основе микросхем

- Микропроцессорные устройства РЗА, особенно импортного производства, намного дороже электромеханических устройств РЗА.
- Переход на микропроцессорную защиту требует переучивания эксплуатационного персонала, т.к. в микропроцессорной защите используются программируемые контролеры, которые, по сути, являются персональными компьютерами, и необходимо знать язык программирования.

4 Обзор различных производителей микропроцессорных устройств защиты и автоматики, применяемых для защиты на ГПП предприятий

В основном на ГПП предприятий в системах электроснабжения нашли применение устройства следующих фирм зарубежных и российских производителей [30-36]; «Siemens» (Германия) , «Schneider-electric» (Франция), которые адаптировали устройства под условия российских систем электроснабжения, ООО «АББ Автоматизация» (Россия), НПП «ЭКРА» (Россия), НТЦ «Механотроника» (Россия), НПФ «РАДИУС» (Россия). Опыт применения российских устройств микропроцессорной защиты и автоматики показал, что они ни не уступают зарубежным устройствам в надежности функционирования многофункциональности и соответствуют современным требованиям сетевых компаний, обеспечивая высокую надежность работы.

4.1 Микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматики производства ООО «АББ Автоматизация»

Продукция ООО «АББ Автоматизация» для микропроцессорной защиты трансформаторов и автотрансформаторов представлена дифференциальным реле с торможением SPAD 346 С (рисунок 4.1) и терминалом RET 316*4 (рисунок 4.2).

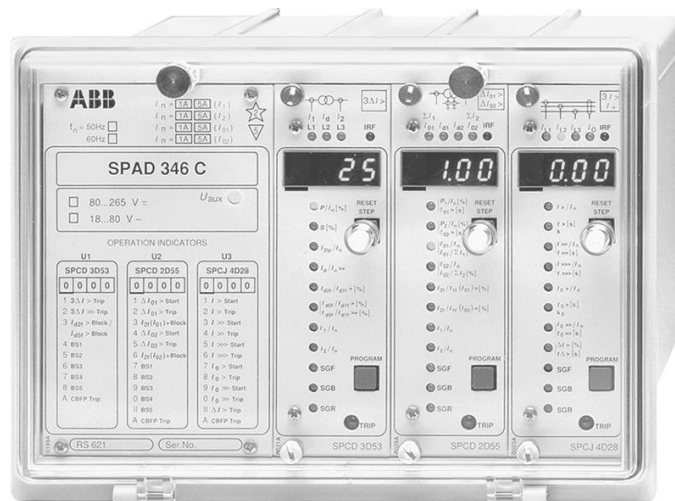


Рисунок 4.1 - Дифференциального реле с торможением серии SPAD 346 C



Рисунок 4.2 – Терминал RET 316*4

Характеристики и особенности дифференциального реле с торможением серии SPAD 346 C [30]:

- применяется для защиты силовых двухобмоточных трансформаторов;
- выполняет функции дифференциальной токовой защиты (ДЗТ) для защиты силовых трансформаторов от междувитковых замыканий в обмотках, от коротких замыканий между обмотками и коротких замыканий в зоне действия защиты, при этом время срабатывания минимально, в том

числе и при частичном насыщении трансформаторов тока; характеристику срабатывания блока дифференциального реле можно устанавливать индивидуально для объекта;

- выполняет функции максимальной токовой защиты (МТЗ), МТЗ трехступенчатая;

- выполняет функции резервной защиты от замыканий на землю, защита двухступенчатая;

- выполняет функции резервирования при отказе выключателя (УРОВ);

- обеспечивает несрабатывание дифференциальной защиты при бросках тока намагничивания при включении трансформаторов и при коротких замыканиях вне защищаемой зоны из-за хорошего торможения;

- блокировка по второй гармонике обеспечивает несрабатывание дифференциальной защиты при включении силовых трансформаторов;

- блокировка по пятой гармонике обеспечивает несрабатывание при перевозбуждении силовых трансформаторов

- позволяет регистрировать токи и цифровые сигналы, при этом сигналы, используемые для запуска регистратора, можно выбирать;

- хорошая устойчивость к воздействию электрических и магнитных помех допускает применение реле также в сложных условиях окружающей среды.

Характеристики и особенности цифровой защиты силовых трансформаторов RET 316*4 [30]:

- предназначена для быстродействующей селективной защиты двухобмоточных, трёхобмоточных трансформаторов;

- возможно использование для защиты автотрансформатора.

- защита действует при междуфазных замыканиях, замыканиях на землю, междувитковых замыканиях.

Цифровое реле RET 316*4 может поставляться со следующими функциями защиты:

- дифференциальной защиты;
- защиты максимального тока, которую рекомендуется использовать для резервной защиты;
- защиты от повышения напряжения;
- защиты изоляции от тепловых нагрузок;
- другие функции по специальному заказу (например, частотная функция).

4.2 Микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматики производства «Schneider-electric»

Компания «Schneider-electric» для защиты электрооборудования электрических сетей выпускает микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматики Seram серий 20, 40, 80 (рисунок 4.3).

Микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматики Seram торговой марки Merlin Gerin используются для защиты электрооборудования электрических сетей напряжением 6 - 35 кВ и силовых двухобмоточных и трехобмоточных трансформаторов напряжением 6-220 кВ от коротких замыканий и ненормальных режимов работы.



Рисунок 4.3 - Seram серии 80

Микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматики Seram выполняют также следующие дополнительные функции:

- технический учет электроэнергии;
- осциллографирование аварийных процессов;
- функции автоматики;
- управление электрооборудованием;
- самодиагностика;
- отображение мнемосхем первичной сети (Seram 80).

Русифицированный интерфейс микропроцессорных устройства релейной защиты и автоматики Seram позволяет существенно упростить ввод в эксплуатацию и обслуживание этих устройств. Для ввода в эксплуатацию достаточно выполнить простейшее параметрирование стандартных, готовых к использованию функций автоматики.

Устройства Seram серии 80 - используются для защиты силовых трансформаторов 35-220 кВ и трансформаторных вводов напряжением 6, 10 кВ [32]. Устройства Seram серии 80 имеют все необходимые защиты, могут обладать большим числом дискретных входов и выходных реле (в максимальном варианте - до 42 входов и 23 выходов), расширенный редактор уравнений, что позволяет создать автоматику любой сложности.

Программное обеспечение, определяющее, для какого применения используется базовый блок серии 80, загружается в сменный картридж, в котором также хранится специальная автоматика, настройки и регулировки, выполненные пользователем. Применение сменного картриджа позволяет простой его заменой изменить тип устройства, а при неисправности базового блока быстро заменить его на любой другой.

4.3 Микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматики производства НПП «ЭКРА»

НПП «ЭКРА» для защиты силовых трансформаторов и автотрансформаторов и их вводов, а также отходящих фидеров выпускает шкафы защиты серии ШЭ 2607 [33]. Шкаф ШЭ 2607 041 (рисунок 4.4) предназначен для защиты силовых двухобмоточных и трехобмоточных трансформаторов с высшим напряжением до 220 кВ.



Рисунок 4.4 - Типовой шкаф ШЭ 2607 041

Шкаф состоит из двух комплектов. Комплект 1 выполнен на базе микропроцессорного терминала БЭ2704V041 и реализует функции основных и резервных защит силового трансформатора [21]:

- дифференциальную токовую защиту от всех видов коротких замыканий внутри бака трансформатора;

- токовую защиту нулевой последовательности стороны высокого напряжения (ВН);
- максимальную токовую защиту стороны ВН с пуском по напряжению;
- максимальную токовую защиту стороны среднего напряжения (СН) с пуском по напряжению;
- максимальную токовую защиту стороны низкого напряжения (НН);
- защиту от перегрузки (ЗП);
- блокировку регулирования под нагрузкой (РПН) при перегрузке;
- пуск автоматики охлаждения;
- пуск по напряжению максимальных токовых защит всех сторон трансформатора;
- УРОВ стороны ВН трансформатора;
- прием сигналов от газовой защиты трансформатора (ГЗ), газовой защиты РПН силового трансформатора (ГЗ РПН).

Комплект 2 выполнен на электромеханических реле и обеспечивает прием сигналов от отключающих ступеней газовых защит трансформатора, РПН и действует на отключение через две группы отключающих реле.

НПП «ЭКРА» для защиты силовых автотрансформаторов выпускает шкафы серии ШЭ2607 042043, для резервной защиты силовых трансформаторов и автотрансформаторов выпускает шкафы ШЭ2607 серий 042043, 071071, ШЭ2607 072071, ШЭ2607 072072 [33].

4.4 Микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматики БМРЗ-ТР производства НТЦ «Механотроника»

Микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматики БМРЗ-ТР производства НТЦ «Механотроника» имеют следующие функции [34]:

- трехступенчатая максимальная токовая защита;
- защита от несимметрии и от обрыва фазы питающего фидера с контролем тока обратной последовательности (ЗОФ);
- УРОВ;
- автоматическое осциллографирование процессов аварий;
- память аварийных событий;
- подсчёт импульсов от счётчиков активной и реактивной электроэнергии (технический учёт);
- измерение параметров сети;
- самодиагностика.

На рисунке 4.5 представлен цифровой блок релейной защиты БМРЗ-ТР, который предназначен для выполнения функций релейной защиты, автоматики, управления, измерения и сигнализации силового трансформатора напряжением 110/35/10(6) или 10(6)/0,4 кВ. Для силовых трансформаторов и автотрансформаторов напряжением 220 кВ блок БМРЗ-ТР применяют в качестве резервных защит [34].

Блок БМРЗ-ТР-ВН устанавливается со стороны ВН силового трансформатора и используется в качестве резервной защиты и защиты от внешних коротких замыканий двухобмоточных силовых трансформаторов и силовых трансформаторов с расщепленной обмоткой НН любой мощности с напряжением ВН до 220 кВ.



Рисунок 4.5 - Цифровой блок релейной защиты БМРЗ-ТР

Функции блока БМРЗ-ТР-ВН:

- трёхступенчатая максимальная токовая защита с пуском по напряжению;
- двухступенчатая токовая защита нулевой последовательности;
- защита от перегрузки;
- ЗОФ;
- контроль неисправности цепей напряжения;
- УРОВ;
- выполнение команд газовой защиты;
- управление выключателем, отделителем и короткозамыкателем;
- управление системой охлаждения силового трансформатора.

Блок БМРЗ-ТД-2х предназначен для использования в качестве основной быстродействующей защиты силовых двухобмоточных трансформаторов и силовых трансформаторов с расщепленной обмоткой НН любой мощности с напряжением ВН до 220 кВ.

- защита силовых двухобмоточных трансформаторов.

Блок БМРЗ-ТД-2х обеспечивает следующие функции:

- чувствительную дифференциальную токовую защиту силового трансформатора;

- дифференциальную токовую отсечку силового трансформатора;

- токовую отсечку по стороне ВН силового трансформатора;

- УРОВ;

- исполнение сигналов газовой защиты;

- управление одним или несколькими выключателями (до 6);

- управление отключением силового трансформатора через отделитель.

Блок ШЗТ-МТ - защита силовых двухобмоточных трансформаторов.

Назначение шкафа:

- защита понижающих силовых двухобмоточных трансформаторов (включая силовые трансформаторы с расщепленной обмоткой НН) с напряжением стороны ВН до 220 кВ и мощностью до 80 МВ.А;

- управление выключателями;

- УРОВ;

- управление устройством РПН (ручное и автоматическое);

- автоматика управления охлаждением;

- исполнение сигналов газовой, дуговой и других внешних защит;

- сигнализация состояния выключателя, пуска/срабатывания защит, текущего положения РПН;

- измерение текущих значений электрических величин (токов сторон ВН и НН, напряжений стороны ВН, мощности и частоты);

- регистрация событий и аварийных процессов, в том числе «пусковых режимов».

Состав защит и автоматики:

- ДТО и ДТЗ;

- максимальные токовые защиты (МТЗ ВН и МТЗ НН) с пусками по напряжению;

- дистанционные защиты со стороны ВН и НН;

- токовая отсечка (ТО);

- ТЗНП;
- ЗОФ;
- ЗП;
- ЗМН.

4.5 Микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматики производства НПФ «РАДИУС Автоматика»

НПФ «РАДИУС Автоматика» серийно выпускает терминалы, предназначенные для защиты двухобмоточных и трехобмоточных силовых трансформаторов с высшим напряжением 35-110 кВ, а также их вводов и ходящих фидеров, - микропроцессорные устройства «Сириус-УВ» (управление высоковольтным выключателем), «Сириус-Т» (дифференциальная защита силового двухобмоточного трансформатора) и «Сириус-ТЗ» (дифференциальная защита силового трехобмоточного трансформатора) [35]. На рисунке 4.6 приведено микропроцессорное устройство «Сириус-Т».

Микропроцессорные устройства «Сириус-УВ», «Сириус-Т» и «Сириус-ТЗ» выполняются в виде независимых устройств и предназначены для работы вместе с другими микропроцессорными защитами и с защитами на аналоговых электромеханических реле.



Рисунок 4.6 – Вид основной дифференциальной защиты силового двухобмоточного трансформатора «Сириус-Т»

Защита силового трансформатора выполняется из двух терминалов: устройства управления высоковольтным выключателем и резервных защит силового трансформатора «Сириус-УВ» и устройства основной дифференциальной защиты силового двухобмоточного трансформатора «Сириус-Т», а силового трехобмоточного трансформатора - «Сириус-ТЗ», что позволяет максимально реализовать принцип ближнего резервирования. Это достигается за счет следующих основных принципов [35]:

- основная защита, выполненная на устройствах «Сириус-Т» или Сириус-ТЗ» и резервная защита, выполненная на устройстве «Сириус-УВ», являются полностью независимыми: при КЗ в защищаемой зоне отказ в одном из терминалов не приводит к отказу или недопустимому увеличению времени отключения от другого терминала;

- основная и резервная защиты выполнены на разных принципах действия: Сириус-Т» или «Сириус-ТЗ» – на принципе абсолютной селективности, «Сириус-УВ» – на принципе относительной селективности;

- устройства «Сириус-Т» или Сириус-ТЗ» и «Сириус-УВ» разделены по цепям трансформаторов тока, источникам питания, цепям управления на постоянном оперативном токе, по дискретным входам и выходам.

Часть функций защит и автоматики дублируется в обоих терминалах, входящих в состав комплекса (например, ступени МТЗ ВН, входы отключения от УРОВ, от внешних защит).

Так, например, в «Сириусе-Т» («Сириусе-ТЗ») имеются две ступени подменной МТЗ высшей стороны силового трансформатора с комбинированным пуском по напряжению, которые можно ввести в действие для дублирования ступеней защит, входящих в терминал «Сириус-УВ». Также имеется МТЗ низкой стороны силового трансформатора, которая, если силовой трансформатор включен совместно с реактором для ограничения токов КЗ. В этом случае МТЗ НН выполняет роль резервной защиты реактора.

Основные принципы, реализованные в терминалах «Сириус-Т» и «Сириус-ТЗ»:

- выполняет функции дифференциальной токовой защиты;
- возможна цифровая сборка токовых цепей ДЗТ;
- обеспечивается несрабатывание дифференциальной защиты при бросках тока намагничивания при включении трансформаторов и при коротких замыканиях вне защищаемой зоны;
- блокировка по второй гармонике обеспечивает несрабатывание дифференциальной защиты при включении силовых трансформаторов и снятие блокировки по второй гармонике, если она появилась из-за насыщения трансформаторов тока;
- отстройка от токов небаланса при внешних коротких замыканиях.

Устройство «Сириус-Т» («Сириус-ТЗ») содержит следующие защиты:

- быстродействующая дифференциальная токовая отсечка;
- дифференциальная токовая защита с уставкой $0,3 \div 1,0 \cdot I_{ном}$ и отстройкой от бросков тока намагничивания;
- двухступенчатая МТЗ ВН с пуском по напряжению;

- ступени МТЗ СН (только в «Сириусе-Т3») и МТЗ НН с пуском по напряжению. Возможность действия на отдельные реле отключения и на общие реле отключения с разными временами;

- ЗП по каждой стороне напряжения с действием на сигнализацию.

Микропроцессорные устройства «Сириус-Т», «Сириус-Т3», «Сириус-УВ» позволяют повысить надежность и эффективность функционирования системы релейной защиты и автоматики силовых трансформаторов.

5 Разработка рекомендаций по установке микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики на ГПП-1

Учитывая опыт установки микропроцессорной РЗА «АББ Автоматизация» на ГПП-6 серии «SPAD», микропроцессорной РЗА ЗАО «Чебоксарского электроаппаратного завода» серии «ТЕМП» на многих РП 10 кВ ОАО «АВТОВАЗ», а так же факт существенно более надежной защиты (по сравнению с УРЗ предыдущих поколений), с точки зрения возможности аппаратных отказов вследствие старения и выхода из строя отдельных компонентов, к установке для защиты силовых трансформаторов и отходящих фидеров (КРУ 10 кВ) на ГПП-1 принимаем:

- микропроцессорная защита серии «SPAD 346 C» - дифференциальная защита трансформаторов (производство ООО «АББ Автоматизация», см. рисунок 4.1) [30];

- микропроцессорная защита серии «SPAC 810» - максимальная токовая защита (МТЗ), токовая отсечка (ТО) трансформаторов (производство ООО «АББ Автоматизация», см.рисунок 5.1) [30];



Рисунок 5.1 – Максимальна токовая защита SPAC 810

- микропроцессорная защита серии «ТЭМП 2501-XX» (производство ЗАО «Чебоксарский электроаппаратный завод», см.рисунок 5.2) [36] для защиты отходящих фидеров (КРУ 10 кВ) ГПП-1 ОАО «АВТОВАЗ».



Рисунок 5.2 – Микропроцессорное устройство серии «ТЭМП 2501-XX»

6 Выбор трансформаторов тока

Для выбора и проверки трансформаторов тока выполним расчет токов трехфазного КЗ. Расчет токов КЗ для РЗА выполнен в именованных единицах в соответствии с рекомендациями [17,22]. Алгоритм расчета следующий.

1. Питающая система задана мощностью КЗ на шинах ГПП, по которой определяется сопротивление системы.

$$S_{к \max} = 4600 \text{ МВА};$$

$$S_{к \text{ ср}} = 2000 \text{ МВА};$$

$$S_{к \min} = 1500 \text{ МВА}.$$

Сопротивление системы

$$S_c = U^2_{\text{ном ВН}} / S^2_{к};$$

$$X_c \max = 115^2 / 4600 = 2,645 \text{ Ом};$$

$$X_c \text{ ср} = 115^2 / 2000 = 6,6125 \text{ Ом};$$

$$X_c \min = 115^2 / 1500 = 8,817 \text{ Ом}.$$

2. Сопротивление КЛ 110 кВ

$$X_{л} = X_0 \cdot L;$$

$$X_{л} = (0,4 \cdot 10) / 2 = 2 \text{ Ом},$$

где $X_0 = 0,4 \text{ Ом/км}$ – погонное индуктивное сопротивление.

3. Сопротивление трансформаторов определяется по напряжению КЗ ($U_{кз\%}$) и номинальной мощности $S_{\text{ном}}$. Расчет выполнен с учетом изменения сопротивления ВН в зависимости от положения регулятора РПН.

$$Z_m \approx x_m = \frac{U_{к\%}}{100} \cdot \frac{U^2_{\text{номВН}}}{S_{\text{ном}}}$$

$$R_T = 0.$$

Для трансформатора ТДЦНК-63000/110/10/10 $U_{к \text{ ср}} = 10,5\%$; $U_{к \min} = 10,84\%$; $U_{к \max} = 11,9\%$ [24].

Т.к. $U_{к \max}$ дано для $U = 133,42 \text{ кВ}$, то для $U = 126 \text{ кВ}$ $U_{к \max} = 11,34\%$ [18].

$$X_{ВН - НН} = (10,5/100) \cdot (115^2/63) = 22,04 \text{ Ом};$$

$$X_{ВН} = 0,125 \cdot X_{ВН - НН} = 0,125 \cdot 22,4 = 2,76 \text{ Ом};$$

$$X_{НН} = 1,75 \cdot X_{ВН - НН} = 1,75 \cdot 22,04 = 38,57 \text{ Ом};$$

$$X_{тср} = X_{ВН} + X_{НН} = 2,76 + 38,57 = 41,33 \text{ Ом}.$$

$$x_{m.BH \min} = \frac{0,125 \cdot 10,84 \cdot 115^2 \cdot (1 - 0,16)}{100 \cdot 63} = 2,01 \text{ Ом};$$

$$x_{m.BH \max} = \frac{0,125 \cdot 11,34 \cdot 126^2}{100 \cdot 63} = 4,2 \text{ Ом};$$

$$x_{m.HH1 \min} = x_{m.HH2 \min} = \frac{1,75 \cdot 10,84 \cdot 115^2 \cdot (1 - 0,16)}{100 \cdot 63} = 28,1 \text{ Ом};$$

$$x_{m.HH1 \max} = x_{m.HH2 \max} = \frac{1,75 \cdot 11,34 \cdot 126^2}{100 \cdot 63} = 58,82 \text{ Ом}.$$

4. Находим суммарные сопротивления всех элементов до места КЗ

$$X_{\Sigma} = X_c + X_l + X_{тср};$$

$$X_{\Sigma \text{ср}} = 6,6125 + 2 + 2,76 + 38,57 = 49,94 \text{ Ом}.$$

5. Трёхфазный ток короткого замыкания определяется по формулам на стороне ВН силового трансформатора

$$I_{к.з.ВН \text{ср}}^{(3)} = \frac{U_{\text{номВН}}}{\sqrt{3} \cdot x_{\Sigma}};$$

$$I_{к.з.ВН \max}^{(3)} = \frac{U_{\text{номВН}} (1 - 0,16)}{\sqrt{3} \cdot x_{\Sigma \min}};$$

$$I_{к.з.ВН \min}^{(3)} = \frac{126}{\sqrt{3} \cdot x_{\max}}.$$

на стороне НН силового трансформатора

$$I_{к.з.НН \text{ср}}^{(3)} = I_{к.з.ВН}^{(3)} \cdot \frac{U_{ВН}}{U_{НН}};$$

$$I_{к.з.НН \max}^{(3)} = I_{к.з.ВН \max}^{(3)} \cdot \frac{U_{ВН} (1 - 0,16)}{U_{НН}};$$

$$I_{к.з. \min НН}^{(3)} = I_{к.з.ВН \min}^{(3)} \cdot \frac{126}{U_{НН}}.$$

Расчет токов КЗ сведен в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Расчет токов КЗ

Мощность трансформатора, МВА и напряжение, кВ	Мощность КЗ системы, МВА	Ток трехфазного КЗ, А Сторона ВН (115 кВ)	Ток трехфазного КЗ, А Сторона НН (10,5 кВ)
$S_{T \text{ ном}} = 63 \text{ МВА}$	$S_{K \text{ max}} = 4600$	1610	14810
$U_{\text{ВН}} = 115 \text{ кВ}$	$S_K = 2000$	589	6449
$U_{\text{НН}} = 10,5 \text{ кВ}$	$S_{K \text{ min}} = 1500$	1043	13250

К установке принимаем на стороне 110 кВ трансформаторы тока типа ТВТ-110, на стороне 10 кВ – трансформаторы тока типа ТПШЛ-10, встроенные ячейки КРУ-10 кВ (таблица 6.2).

Таблица 6.2 – Трансформаторы тока ГПП-1

Сторона напряжения U , кВ	Фаза	Место уст-ки	Тип ТТ	$K_{\text{ТТ}}$	Класс точности	$S_{\text{ном}2}$
115	А	Встр.	ТВТ-110	600/5	3	30
	В	Встр.	ТВТ-110	600/5	3	30
	С	Встр.	ТВТ-110	600/5	3	30
	0	Встр.	ТВТ-35	300/5	Не исп.	Не исп.
10,5	А	ТР-1В	ТПШЛ-10	3000/5	0,5(Р)	20/30
		1В	ТПШЛ-10	3000/5	0,5(Р)	20/30
		ТР-2В	ТПШЛ-10	3000/5	0,5(Р)	20/30
		2В	ТПШЛ-10	3000/5	0,5(Р)	20/30
	В	ТР-1В	ТПШЛ-10	3000/5	0,5(Р)	20/30
		ТР-2В	ТПШЛ-10	3000/5	0,5(Р)	20/30
	С	ТР-1В	ТПШЛ-10	3000/5	0,5(Р)	20/30
		1В	ТПШЛ-10	3000/5	0,5(Р)	20/30
		ТР-2В	ТПШЛ-10	3000/5	0,5(Р)	20/30
		2В	ТПШЛ-10	3000/5	0,5(Р)	20/30

Более подробная информация о трансформаторах тока ГПП-1, их назначении в ГПП приведена на листе 6 графической части ВКР.

Выбор трансформаторов тока приведен в таблице 6.3.

Таблица 6.2 - Выбор трансформаторов тока

Наименование величин	Расчетные формулы	Трансформатор 63 МВА	
		Числовые значения	
		115кВ	10,5кВ
Тип и схема соединения	$I_n \geq S_{T.ном.} / (\sqrt{3}U_n)$	ТВТ – 110 600/5 Δ	ТГППЛ– 10 3000/5 Y
Расчетный первичный ток, А	$I_{расч} = 1,3I_{max.в}^{(3)}$	2093	19253
Расчетная кратность тока	$m_{расч} = I_{расч} / (0,8I_n)$	6,54	13,9
Допустимая нагрузка ТА, Ом	$Z_{н(доп)}$ по кривым 10% погрешности	4	8
Сопротивление реле защиты, Ом	Z_p	0,35	0,15
Допустимое сопротивление проводов в один конец, Ом	$Z_{пр\Delta} = (Z_{нд} - Z_{пер}) / 3 - Z_p$ $Z_{пер} = 0,05 \text{ Ом}$ $Z_{пр.л} = (Z_{нд} - Z_{пер} - Z_p) / Z$	0,967	-
Длина проводов в один конец, М	l	65	45
Допустимое сечение проводов, мм ²	$S_d = (I_p) / Z_{пр}$ $p = 0,0283$	1,9	0,327
Принятое сечение проводов, мм ²	S	4	4

7 Расчет уставок релейной защиты и автоматики силовых трансформаторов и отходящих фидеров ГПП-1. Дифференциальная токовая защита силовых трансформаторов на модуле SPCD 3D53

Дифференциальное реле SPAD 346 C включает три отдельных модуля: модуль трехфазной дифференциальной защиты с торможением SPCD 3D53, модуль защиты от замыканий на землю SPCD 2D55 и комбинированный модуль максимальной токовой защиты (МТЗ) максимального тока и защиты от замыканий на землю SPCJ 4D28.

Модуль дифференциальной защиты SPCD 3D53 обеспечивает дифференциальную токовую защиту силовых трансформаторов, в том числе и силовых трансформаторов с расщепленной обмоткой.

Расчет уставок РЗА силовых трансформаторов ГПП-1 выполнен с учетом рекомендаций [3,4,23]. Алгоритм расчета уставок РЗА силовых трансформаторов следующий:

1. Рассчитываются первичные номинальные токи силового трансформатора

$$I_{НОМ} = \frac{S_{НОМ}}{\sqrt{3}U_{НОМ}},$$

где $U_{НОМ}$ - номинальное напряжение силового трансформатора при нулевом положении РПН.

2. Выбирается схема соединения трансформаторов тока, установленных на силовом трансформаторов по следующему принципу - на стороне ВН (обмотка ВН силового трансформатора включена по схеме Y) трансформаторы тока соединяются в Δ , на стороне НН (обмотка НН силового трансформатора включена по схеме Δ) трансформаторы тока включаются в Y или неполную Y.

3. Коэффициенты трансформации трансформаторов тока силового трансформатора выбираются таким образом, чтобы вторичные токи не превышали 5 А. Рассчитываются вторичные токи в плечах защиты.

4. Амплитудная коррекция входных вторичных токов трансформаторов тока рассчитывается по выражению

$$a = \frac{k_{CX} I_{НОМСТ}}{n_{ТТ} I_{2НОМ}}$$

где a – коэффициент выравнивания;

k_{CX} – коэффициент схемы ($k_{CX} = \sqrt{3}$ – при схеме соединения трансформаторов тока в Δ , $k_{CX} = 1$ – при схеме соединения трансформаторов тока в Y);

$I_{НОМСТ}$ – номинальный ток силового трансформатора соответствующей стороны;

$k_{ТТ}$ – коэффициент трансформации трансформатора тока;

$I_{2НОМСТ}$ – вторичный номинальный ток трансформатора тока.

Диапазон коррекции вторичных токов равен 0,4-1,5.

5. Определяется ток срабатывания реле по выражению

$$I_{СР} = k_{ОТС} \cdot I_{НБрасч}$$

где $k_{ОТС} = 1,3$ – коэффициент отстройки;

$I_{НБрасч} = (k_{ПЕР} \varepsilon + \Delta U_{РЕГ} + \Delta f_{ВЫР}) I'$ – расчетный ток небаланса в о.е.;

$k_{ПЕР}$ – коэффициент, учитывающий переходный процесс ($k_{ПЕР} = 2 - 2,5$);

$\varepsilon = 0,1$ – допустимая погрешность трансформаторов тока в о.е.;

$\Delta U_{РЕГ}$ – половина диапазона регулирования напряжения трансформатора в о.е.;

$\Delta f_{\text{ВЫР}} = 0,04$ - относительная погрешность выравнивания токов плеч;

$I' = 0,5$ - ток начала торможения в о.е.

Уставка выбирается из условия $p \geq I_{\text{СР}}$, где $p = 0,05 \div 0,5$.

6. Рассчитывается значение коэффициента торможения $s_{\text{расч}}$

$$s_{\text{расч}} \geq \frac{k_{\text{ОТС}} I_{\text{НБРАСЧ}} I'' - p}{I'' - I'}$$

где $I'' = 2$ - расчетное значение тормозного тока.

Если $s_{\text{расч}} \leq 0,4$, то на этом расчет заканчивается. Если $0,4 \leq s_{\text{РАСЧ}} < 0,5$, то следует увеличить p с целью снижения $s_{\text{расч}}$ до 0,4. При $s_{\text{расч}} \geq 0,5$ следует принять уставку $I'' = 1,5$ и найти $s_{\text{расч}}$ из выражения $S \geq 1,5s_{\text{РАСЧ}} - 0,5$.

Если $S \approx 0,5$, то увеличивая p повторяют расчет до тех пор пока не получим $s = 45\%$.

7. Из-за высокой чувствительности защиты значение коэффициента чувствительности можно не проверять.

Расчет уставок для силовых трансформаторов, установленных на ГПП-

1. На ГПП-1 установлены три силовых трансформатора типа ТРДЦНК 63000/110/10/10.

1. Номинальный ток силового трансформатора на стороне ВН

$$I_{\text{НОМВН}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ}}} = \frac{63000}{1,73 \cdot 115} = \frac{63000}{198,95} \approx 317 \text{ А.}$$

Номинальный ток силового трансформатора на стороне НН

$$I_{\text{НОМНН}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ}} \cdot 2} = \frac{63000}{1,73 \cdot 10,5 \cdot 2} = \frac{63000}{36,37} \approx 1732 \text{ А.}$$

2. Вторичные обмотки всех трех силовых трансформаторов на ГПП-1 соединены в треугольник, следовательно, схема соединения трансформаторов тока Y.

3. Коэффициенты трансформаторов тока:

- на стороне ВН

$$k_{ТВН} = \frac{600}{5} = 120,$$

- на стороне НН

$$k_{ТНН} = \frac{3000}{5} = 600.$$

4. Коэффициент выравнивания:

$$a = \frac{k_{СХ} I_{НОМВН}}{k_{ТВН} I_{ВТНОМ}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 317}{120 \cdot 5} = \frac{549}{600} = 0,92.$$

$$a = \frac{k_{СХ} I_{НОМНН}}{k_{ТНН} I_{ВТНОМ}} = \frac{1 \cdot 3468}{600 \cdot 5} = \frac{1732}{3000} = 0,58.$$

5. Расчетный ток небаланса:

$$I_{НБРАСЧ.} = (k_{ПЕР} \varepsilon + \Delta U_{РЕГ} + \Delta f_{ВЫР}) I' = (2 \cdot 0,1 + 10000 + 0,04) \cdot 0,5 = 5000,12 \text{ О.е.}$$

6. Начальный ток срабатывания реле

$$I_{СР} = k_{ОТС} I_{НБРАСЧ} = 1,3 \cdot 5000,12 \approx 6500 \text{ А.}$$

Исходя из условий выбора диапазона уставок, принято решение не менять значения тока срабатывания дифференциальной защиты трансформатора, то есть оставить установленное ранее значение уставки, равное 6600 А.

7. Значение коэффициента торможения соответственно составляет:

$$S_{РАСЧ} \geq \frac{k_{ОТС} I_{НБРАСЧ} I'' - p}{I'' - I'} = \frac{1,3 \cdot 5000,12 \cdot 2 - 6600}{2 - 0,5} = \frac{6400,312}{1,5} = 4266,87$$

8. Т.к. $s_{расч} \geq 0,5$ значение коэффициента чувствительности не проверяется.

Расчетные значения уставок защиты силовых трансформаторов приведены ниже. Карта уставок защиты силовых трансформаторов Т1 и Т2 приведена на рисунке 7.1, карта уставок защиты силового трансформатора Т3 приведена на рисунке 7.2.

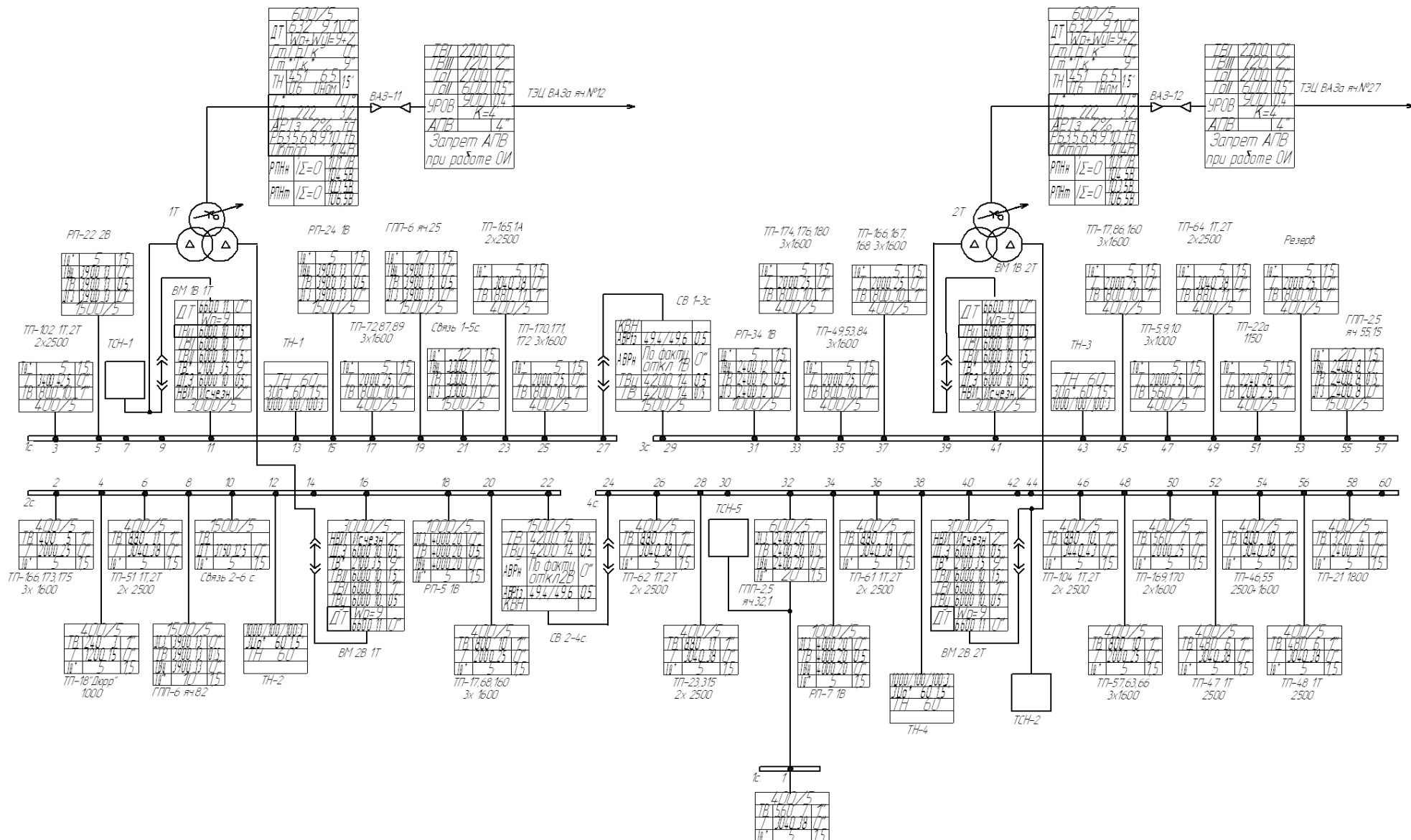
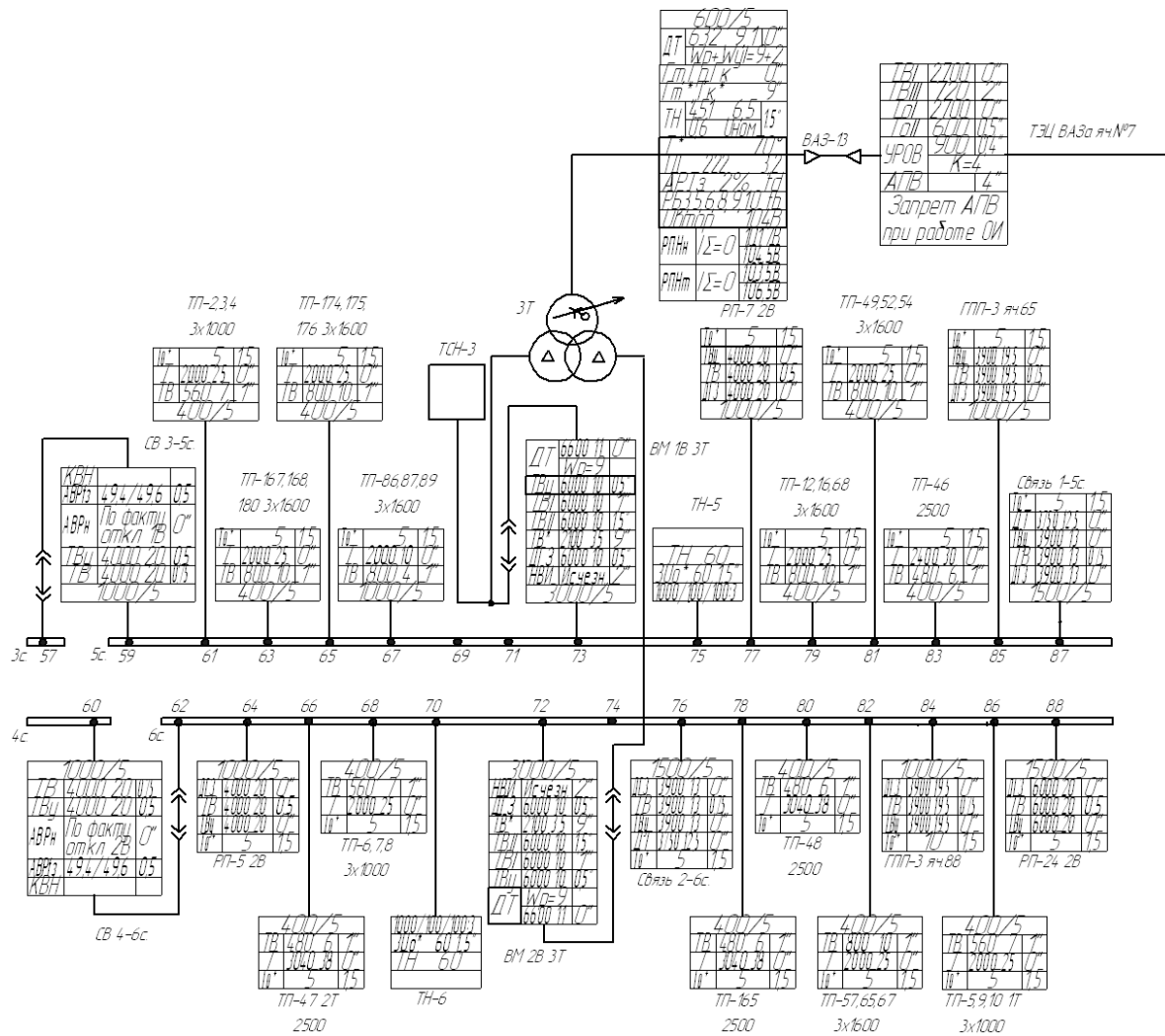


Рисунок 7.1 - Карта уставок РЗА силовых трансформаторов 1Т и 2Т и отходящих фидеров ГПП-1



Паспортные данные трансформатора	
ТТДНН-6,3/100/10/10,5/10,5	
15±0,9/17,0	
15±0,9/17,0	
15±0,9/17,0	
Ик=ВН+НН при 60 МВА=10,8%	
Група свод. обмоток- звезда/треуго-11	

Контроль изоляции оперативных цепей	
Выполненного тока ПЛ	Ик=0,5к
Собственных цепей ПЛ, ЗП, ЗП	Ик=0,5к
Сопоставленного напряжения +ЗП	Ик=0,5к

Блоки питания		
2001	Перемычки 31-23,23-5-17,34-24, 24-18-18,25-12,31-12,34-56-7	
5011	Ик=100 обмоток	
1002	Перемычки 23-5-17,18-19-24, 23-33,24-42,2-34-5	
2001	Перемычки 1-16,8-16,9-17,18-19,21-22, 24-25,1-10,17-17,4-20,13-19,14-30,19-31,15-32	
5011	1002	Перемычки 3-17,2-16,1-15,18-19,21-22, 24-25,5-6,1-38,2-42,3-46,4-50,5-54,6-58

Зарядные устройства	
УЗ401	Перемычки 12-4,10-11,11-цать 4-6
ПН	Испр=150 В
ПТ	Испр=220-250В, ИВ=60-80В
60340	Перемычки 12-13,16-17,15-17,18-19,8-9,10
ПТ	Испр=220-250В, ИВ=60-80В

Комплект передачи отключающего импульса	
ЗП	Испр=2,5мА при U ис=20кВом
ЗП	Испр=3,5мА при U ис=20кВом
ЗП	Испр=1мА при работе канала

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- DT - дифференциальная токовая защита
- IT/ITk - газовая защита тр-ра/ITk (наблюдения 10) кВ на отключение
- IT*/ITk* - газовая защита тр-ра/ITk (наблюдения 10) кВ на сигнал
- TH - МТЗ с блокировкой по минимальному напряжению
- РБ - режим БАР (положение штеккерной блока БАР)
- ТВ* - защита от перегрева с действием на сигнал
- T* - сигнализация перегрева масла тр-ра
- Л - автоматическое включение дутья
- ABP* - запрет АВР при снижении частоты в системе
- ABPH - автоматическое включение резерва по напряжению
- КВН - контроль быстрого напряжения
- РНП - регулирование напряжения под нагрузкой с блокировкой по максимальному току
- РНН - регулирование напряжения под нагрузкой с блокировкой по минимальному напряжению
- АРТз - зона нечувствительности автоматического регулятора напряжения тр-ра
- T - токовая отсечка
- ТВ - независимая максимальная токовая защита
- ТВУ - независимая максимальная токовая защита с ускорением
- УРОВ - устройство резервирования отката выключателя
- То - защита от замыканий на землю с действием на отключение
- То* - защита от замыканий на землю с действием на сигнал
- ЗУв* - защита от замыканий на землю с действием на сигнал
- DTЗ - дуговая защита
- ИВН - индивидуальная защита минимального напряжения
- ИВтр - установка по напряжению блока БАР
- IS - ток нагрузки по стороне низшего напряжения тр-ра
- td - установка времени DT
- tb - установка времени БАР
- Ик - чувствительность контроля изоляции
- IT - включение охлаждения трансформатора по току

Рисунок 7.2 - Карта уставок РЗА силового трансформатора ЗТ ГПП-1 и паспортные данные трансформаторов тока

8 Технико-экономическое обоснование применения микропроцессорных защит серии «ТЭМП 2501 – ХХ» на ГПП-1

Расчет выполнен в соответствии с рекомендациями [4-6,19]. В основу расчета положено сравнение функций и цен для микропроцессорных защит и защит на дискретных реле.

Цены дискретных реле (без НДС) определяются на основе «Оптовых цен на продукцию производственно – технического назначения ЗАО «Чебоксарский электроаппаратный завод».

Цена комплектных устройств на дискретных реле определяется через коэффициент удорожания дискретных реле при оформлении их в виде комплектного устройства на КРУ строительном заводе (стоимость оболочки релейного отсека, проводного монтажа между реле, клемников и других видов работ КРУ строительного завода).

В связи с невозможностью получения данных о добавленной стоимости КРУ – строительных заводов при изготовлении комплектных устройств РЗА на дискретных реле принимается два значения коэффициента удорожания реле:

$$K_{\text{удор. min.}} = 1,4 \quad K_{\text{удор. max.}} = 1,7.$$

Значения коэффициентов удорожания принимаются на основании данных по коэффициенту удорожания комплектных устройств производства ПАО «Чебоксарский электроаппаратный завод» типа КЗ по сравнению с ценой комплектующих их реле, доходящего до значения 1,67. Два значения коэффициентов удорожания принимаются с учетом значительного отличия в уровне оплаты труда на различных КРУ – строительных заводах.

Расчет цены комплекта защиты и управления выключателем на дискретных реле эквивалентного по функциям терминалу «ТЭМП 2501 – 1Х» применительно к выключателю рабочего ввода приведен в таблице 8.1.

В графе 2 приведены функции, реализованные в терминале «ТЭМП 2501 – 1Х» для защиты и управления выключателем рабочего ввода.

В графе 3 приводится состав дискретных реле, необходимых для реализации функции, указанной в графе 2. В графе 4 указана цена комплектующих реле, указанных в графе 3. В графе 5 указана минимальная цена функции, указанной в графе 3, для конечного потребителя с учетом работ КРУ – строительного завода. В графе 6 указана максимальная цена функции для конечного потребителя. Цена функции осциллографа указана, исходя из необходимости установки на двухтрансформаторной подстанции 1 цифрового осциллографа с 16 аналоговыми каналами производства фирм «ЭКРА» или «БРЕСЛЕР» со средней ценой 100 тыс. руб. за комплект (цена 1 аналогового канала, около 6,25 тыс.руб.). Встроенный аварийный осциллограф в «ТЭМП 2501 – 1Х» высвобождает 4 аналоговых канала отдельно установленного цифрового осциллографа с экономическим эффектом 25 тыс. рублей. Реально экономический эффект будет больше, так как исключается прокладка дополнительных измерительных кабелей, необходимых в случае установки цифрового осциллографа.

В таблице 8.1 в графе 3 прочерком обозначены функции, которые невозможно реализовать на дискретных реле или реализация которых затруднительна.

Таблица 8.1 - Расчет цены комплекта защиты и управления дискретных реле эквивалентного по функциям терминалу «ТЭМП 2501 – 1Х»

№ п/п	Функция «ТЭМП 2501 – 1Х»	Состав дискретных реле для реализации функции	Цена комплектующих реле (без НДС) (руб.)	Цена (без НДС) с учетом затрат на КРУ – строительном заводе	
				Min (руб.)	Max (руб.)
1	2	3	4	5	6
1.	Трехступенчатая двухфазная МТЗ, двухрелейная, с ускорением, с зависимой или независимой от тока выдержкой времени 3-й ступени, с тремя выдержками времени 2-й ступени.	4*РТ, 2*РТ90, 3*РВ, 2*РП, 4*РУ	9443	13220	16053
2.	Логическая защита шин	1РП	449	629	763
3.	УРОВ	РТ40/Р, РВ, РУ, РП.	3000	4200	5100
4.	Удвоение уставок 1,2 ступеней МТЗ при включении (для отстройки от «бросков» тока)	В МТЗ вместо 4*РТ40 применяются 4*РНТ - 565	4*1902, удорожание МТЗ (пункт 1) на 5948	Удорожание МТЗ (пункт 1) на 8237	Удорожание МТЗ (пункт 1) на 10112
5.	Защита от замыкания на землю по току I_0 (две группы уставок по току и времени)	РТЗ – 51, РВ, РУ.	3064	4290	5209
		Для 2-х групп уставок 2*РТЗ – 51, РВ, 2*РУ.	4973	6962	8454
6.	Защита от несимметричных режимов и обрыва фазы	РТФ – 9, РВ, РУ.	4647	6506	7900

Продолжение таблицы 8.1

1	2	3	4	5	6
7.	Двукратное АПВ	РПВ - 02	3133	4386	5320
8.	Обработка сигналов АЧР ЧАПВ	2*РВ, РП, 2*РУ.	3008	4211	5114
9.	Управление выключателем	8*РП, РП 9, ключ управления, лампы, резисторы	4883	6836	8301
10.	Обработка сигналов от внешних устройств: блокировка МТЗ по напряжению; пуск дуговой защиты по току; запрет АПВ, отключение с АВР резервного ввода	4*РП, 4*РУ.	2792	3909	4746
11.	Самодиагностика				
12.	Диагностика цепей управления	РВ, РУ	1404		
13.	Контроль целостности обмоток выходных реле включения, отключения и сигнализации.				
14.	Телеуправление, телеизмерение, телесигнализация.				
15.	Измерение токов в нормальных и аварийных режимах.				
16.	Канал связи с АСУ				
17.	Регистрация аварийных событий				
18.	Встроенный аварийный осциллограф	Аварийный осциллограф на подстанции фирм «ЭКРА» и «БРЕСЛЕР» (4 аналоговых входа)	25000 (4*6250)	25000 (4*6250)	25000 (4*6250)

Продолжение таблицы 8.1

1	2	3	4	5	6
19.	Отображение информации на жидкокристаллическом дисплее и светодиодами				
	ИТОГО		37732	52825	64144
		С учетом встроенного осциллографа	62732	77825	89144
		С отстройкой МТЗ от «бросков» тока	43680	61152	74256
		С отстройкой МТЗ от «бросков» тока и с учетом встроенного осциллографа	68680	86152	99256

Обозначения в таблице 8.1:

РТ – реле тока РТ – 40 (цена 415 руб.)

РТ - 90 – реле тока РТ-90 (цена 1212 руб.)

РВ - реле времени РВ – 200 (цена 1155 руб.)

РП – промежуточное реле РП – 16 (цена 449 руб.)

РУ - реле указательное РУ – 21 (цена 249 руб.)

РНТ 565 – реле тока дифференциальное РНТ – 565 (цена 1902 руб.)

РТЗ – 51 – реле тока повышенной чувствительности РТЗ – 51 (цена 1660 руб.)

РПВ – 02 – реле повторного включения РПВ – 02 (цена 3133 руб.)

РТФ – 9 – реле тока обратной последовательности РТФ – 9 (цена 3243 руб.)

Цена терминала «ТЭМП 2501 – 1Х» (без НДС) составляет 52448 руб. Сопоставление с данными таблицы 8.1 показывают, что прямой экономический эффект, без учета ряда составляющих, подсчет которых в настоящее время вызывает затруднение, составляет 11696 руб. на 1 комплект (без учета встроенного осциллографа). С учетом встроенного осциллографа эффект на 1 комплект составляет 36696 руб.

При необходимости отстройки МТЗ от «бросков» тока при подключении к секции шин мощных двигателей и трансформаторов прямой эффект от применения терминала «ТЭМП 2501 – 1Х» составляет 21808 руб. на комплект (без учета встроенного осциллографа) и 46808 руб. с учетом встроенного осциллографа.

При расчете не учтен ряд составляющих, дополнительно увеличивающих экономический эффект от применения терминала «ТЭМП 2501 – 1Х»:

1) снижение эксплуатационных расходов по сравнению с дискретными реле, так как терминал не требует трудозатрат на обслуживание в процессе эксплуатации (в РАО «ЕЭС России» пока нет соответствующей утвержденной методики расчета);

2) снижение расходов на телемеханизацию подстанций при применении микропроцессорных терминалов;

3) повышение надежности микропроцессорного терминала по сравнению с дискретными реле благодаря постоянной самодиагностике и выводу информации на дисплей и на сигнализацию;

4) снижение трудозатрат при анализе аварий благодаря регистратору аварийных событий и накопительной информации, сохраняемой в микропроцессорном терминале.

Заключение

В работе при реконструкции РЗА на ГПП-1 ОАО «АВТОВАЗ» применены устройства РЗА отечественного производства.

Учитывая опыт установки микропроцессорной релейной защиты серии SPAC-800 «АББ Автоматизация» на ГПП-6, а так же факт существенно более надежной защиты по сравнению с устройствами релейной защиты предыдущих поколений с точки зрения возможности аппаратных отказов вследствие старения и выхода из строя отдельных компонентов к установке на ГПП-1 рекомендовано установить микропроцессорную защиту серии «SPAD 346 C» - дифференциальная защита трансформаторов, «SPAC 810» - максимальная токовая защита (МТЗ), токовая отсечка (ТО) трансформаторов и микропроцессорную защиту серии «ТЕМП 2501-XX» для защиты отходящих фидеров.

Список использованных источников

1. Нормы технологического проектирования подстанций с высшим напряжением 35 - 750 кВ (ОНТП 5-78).-М.: Минэнерго, 1999.
2. Правила устройства электроустановок - 7-е изд. с изм. и доп., 2007. – 487 с.
3. Руководящие указания по релейной защите. Защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов. - М: Энергоатомиздат, 2014.
4. Методические указания по выбору характеристик и защиты электрооборудования с использованием микропроцессорных терминалов. – М., 2013.
5. РД 34.35.310-97. Общие технические требования к микропроцессорным устройствам защиты и автоматики энергосистем.
6. РД 153-34.0-35.648-01 Рекомендации по модернизации, реконструкции и замене длительно эксплуатирующихся устройств релейной защиты и электроавтоматики энергосистем.
7. Рекомендации по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ. - М.: «Издательство НЦ ЭНАС», 2004. .
8. ГОСТ 1508-78. Кабели контрольные с резиновой и пластмассовой изоляцией. Технические условия. Действует с 01.01.1980. Взамен ГОСТ 1508-71. Изменения ИУС 3/81, 6/82, 11/84, 7/87, 3/91.
9. ГОСТ 11326.0-78. Кабели радиочастотные. Общие технические условия. Действует с 01.01.1981. Взамен ГОСТ 11326.0-71. Изменения ИУС 8/85, 12/88.
10. Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. - М.: Энергоиздат, 2011.
11. Дьяков, А.Ф. Основы проектирования релейной защиты электроэнергетических систем: учебное пособие. / А.Ф. Дьяков. – М. : изд. дом МЭИ, 2013.

12. Дьяков, А.Ф. Микропроцессорная автоматика и релейная защита электроэнергетических систем. – М.: Изд.дом МЭИ, 2010.
13. Гуревич, В.И. Надежность микропроцессорных устройств релейной защиты: мифы и реальность / В.И. Гуревич //Вести в электроэнергетике. – 2008. - № 4. – С. 29 – 37.
14. Гуревич. В.И. Микропроцессорные реле защиты: альтернативный взгляд / В.И. Гуревич // Электроинфо. – 2014. - № 4 (30). – С. 40 - 46.
15. Гловацкий, В.Г. Современные средства релейной защиты и автоматике электросетей/ В.Г. Гловацкий. - М., 2013.
16. Коновалова, Е.С. Устройства РЗА в ЕНЭС. Основные результаты работы / Е.С. Коновалова //Новости электротехники. – 2008. - № 4(52).
17. Копьев, В.Н. Релейная защита основного электрооборудования электростанций и подстанций. Вопросы проектирования / В.Н. Копьев., 2005.
18. Макаров, Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ и 110-1150 кВ: в 6 т.: учеб.- произв. изд. Т.6/ под ред. гл. специалистов ОАО «Мосэнерго». – М. : Изд-во «Энергия», 2008.
19. Самсонов, В.С.. Экономика предприятий энергетического комплекса : учеб. для вузов/ В.С. Самсонов, М.А.Вяткин. - 3-е изд.. – М. : ЭНАС, 2011.
20. Шалимов, А.С. Повышение надёжности и эффективности функционирования релейной защиты при помощи современной испытательной системы РЕТОМ-51. / А.С. Шалимов и [др.]// Новости в энергетике. – 2012. - № 5.
21. Шкаф защиты трансформатора и автоматике управления выключателем типа ШЭ2607 041015 Руководство по эксплуатации. ЭКРА.656453.047 РЭ. Т.1, 2011.
22. Шабад, М.А. Расчеты релейной защиты и автоматике распределительных сетей. - М. : Энергоатомиздат, 2008.

23. Шнеерсон, Э.М. Цифровая релейная защита. / Э.М. Шнеерсон. - М. : Энергия, 2007.
24. Чернобровов, Н.В. Релейная защита энергетических систем/ Н.В. Чернобровов. – М.: Энергоатомиздат, 2008.
25. Babayev, E.S. Geomagnetic storm risks to electric power distribution and supply systems at midlatitude locations and their vulnerability from space weather / E.S. Babayev // Technical and Physical problems in Power Engineering, Gazy University, Ankara. – 2011. - №3. – P. 1097 – 1104.
26. Dolezilek, D. Using Information from Relays to Improve the Power System – Revisited / D. Dolezilek // Journal of Reliable Power. – 2010. – № 2. – P. 12–24.
27. Pulkkinen, A. Solar shield: Forecasting and mitigating space weather effects on high-voltage power transmission systems / A. Pulkkinen, M. Hesse, L. Van der Zel, B. Damsky, F. Policelli, D. Fugate, W. Jacobs // Nat Hazards 53, 2010. – P. 333 – 345.
28. Tatiyetse, T. T. Diagnosis of defects on Medium Voltage Electric Energy Distribution Networks / T. T. Tatiyetse, J. Voufo, D. Ntamack // International Journal of Electrical Power and Energy Systems. – 2011. – № 9. – P. 1556–1562.
29. Willrich, M. Electricity Transmission Policy for America: Enabling a Smart Grid, End to End / M. Willrich // The Electricity Journal. – 2009. – № 10. – P. 77–82.
30. http://www.elec.ru/catalog/abb_avt/
31. <https://www.siemens.com/entry>
32. <http://www.schneider-electric.ru/ru/>
33. <http://www.ekra.ru/>
34. <http://www.mtrele.ru/> (мехатроника)
35. <http://www.rza.ru/> (Радиус)
36. <http://www.cheaz.ru/ru> (Чебоксарский эл.ап.завод)