

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

Институт энергетики и электротехники
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование кафедры)

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

Электроснабжение
(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Реконструкция релейной защиты главного щита управления подстанции «ОСВ»

Студент	<u>Е.Д. Новов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Руководитель	<u>С.В. Шаповалов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Консультанты	<u>И.Ю. Усатова</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) _____
(личная подпись)

« _____ » _____ 2018 г.

Тольятти 2018

АННОТАЦИЯ

Тема выпускной квалификационной работы: реконструкция релейной защиты главного щита управления подстанции "ОСВ".

Главным вопросом выпускной работы является разработка проекта реконструкции системы релейной защиты с использованием микропроцессорных блоков для повышения надежности. Затрагивается проблема устаревшей системы релейной защиты, которая в силу технического прогресса морально устарела и по некоторым параметрам уже не соответствует техническим требованиям.

Поставлена задача, а затем рассмотрены возможные варианты решения. Изучена роль релейной защиты в системах электроснабжения, ее функции и текущее техническое состояние. Разработан проект реконструкции системы релейной защиты с использованием микропроцессорных блоков релейной защиты и проводим соответствующие расчеты.

Работа выполнена на 49 листах формата А4, содержит введение, 9 разделов, заключение, а также графическую часть на 6 листах формата А1.

ABSTRACT

The title of the diploma paper is: «Reconstruction of the relay protection of the main control panel of the substation "OSV"».

The subject of graduation work is the main control panel of the substation "OSV" and, in particular, the relay protection located on it. The key issue of the final work is the development of a project for the reconstruction of a relay protection system using microprocessor blocks to improve reliability. We touch upon the problem of the outdated relay protection system, which by virtue of technical progress is morally obsolete and by some parameters no longer conforms to technical requirements. First, we set the problem, and then consider the possible solutions.

We study the role of relay protection in power supply systems, its functions and current technical condition. Then we develop a project for the reconstruction of the relay protection system using microprocessor-based relay protection units and perform the corresponding calculations.

In conclusion, we can say that the relay protection of the main switchboard of the substation "OSV" requires reconstruction. It is possible to consider different versions of microprocessor relay protection units.

Содержание

Введение.....	5
1 Описание объекта реконструкции.....	6
2 Анализ современного состояния микропроцессорной электроники и её роли в релейной защите.....	11
3 Электромеханические реле и микропроцессорная электроника – плюсы и минусы.....	13
4 Анализ и выбор микропроцессорных блоков релейной защиты.....	16
4.1 Анализ микропроцессорных блоков релейной защиты Сириус-Т.....	16
4.2 Анализ дополнительных сервисных функций.....	17
4.3 Анализ эксплуатационных возможностей.....	18
4.4 Анализ микропроцессорных блоков релейной защиты Сириус-2В.....	19
4.5 Анализ эксплуатационных возможностей.....	19
4.6 Функции защиты, выполняемые устройством.....	19
4.7 Функции автоматики, выполняемые устройством.....	20
4.8 Описание основных комплектов защит.....	21
5 Сравнительный анализ микропроцессорных блоков релейной защиты.....	25
6 Определение токов короткого замыкания.....	27
7 Проверка трансформаторов тока и напряжения.....	30
7.1 Проверка трансформаторов тока.....	30
7.2 Проверка трансформаторов напряжения.....	33
8 Расчет дифференциальной токовой защиты трансформаторов.....	35
9 Расчет максимальной токовой защиты.....	37
10 Создание диспетчерских пунктов и пунктов управления для СЭС с микропроцессорной релейной защитой.....	40
Заключение.....	43
Список используемых источников.....	45

Введение

Релейная защита в системах электроснабжения (СЭС) как структурный элемент является её неотъемлемым компонентом. Данный компонент СЭС необходим для своевременного предупреждения и сигнализации о возникновения различного рода неисправностей. Релейная защита на базе электромеханических реле, смонтированная на п/с «ОСВ», вследствие простоты и относительной надежности показала свою эффективность и надежность в течение длительного срока эксплуатации. Но постоянный технический прогресс свидетельствует, что релейная защита на базе микропроцессорной техники (микропроцессорный блоков) значительно эргономичнее, проще и надежнее, чем системы электромеханических реле [3].

На п/с «ОСВ» релейная защита на базе электромеханических реле смонтирована на главном щите управления (ГЩУ). Защита ячеек выполнена на базе микропроцессорных блоков релейной защиты типа БЭМП. Стоит отметить, что у электромеханических реле, кроме низкой надежности и проблем с эксплуатацией, имеется существенный минус, в частности для проведения любых испытаний такого рода защит необходим специальный испытательный стенд. Данный факт усложняет эксплуатацию и обслуживание системы релейной защиты и автоматики. Обобщая сказанное, можно сделать вывод, что разработка проекта по замене электромеханических реле системой микропроцессорных блоков целесообразна и необходима.

1 Описание объекта реконструкции

Подстанция «ОСВ» является одной из подстанций в г.о. Тольятти, принадлежащей теплогазозенергоснабжающей организации ООО «АВТОГРАД ВОДОКАНАЛ», и расположена по адресу Самарская область, г. Тольятти, ул. Вокзальная 116. Данная подстанция является ответвительной, питающаяся по воздушным линиям от Теплоэлектроцентрали Волжского автомобильного завода (далее ТЭЦ ВАЗа). На данной подстанции установлено следующее силовое и коммутационное оборудование: два трансформатора ТДН-15000/110/6, 2 линейных разъединителя ЛР-110, 2 отделителя ОД-110, 2 короткозамыкателя КЗ-110, 2 шинных разъединителя ШР-6. Рядом с подстанцией находится административно-бытовой корпус (далее АБК), который состоит из закрытого распределительного устройства (далее ЗРУ), главного щита управления (далее ГЩУ), а также комнаты для персонала и диспетчерского пункта. ЗРУ состоит из 2 секций шин, которые питают: синхронные и асинхронные двигатели насосной станции 2-го подъема; подстанции, находящиеся на территории цехов ОСВ. Здание АБК сооружено из силикатного кирпича, и представляет из себя одноэтажную постройку.

ГЩУ состоит из блоков релейной защиты, отвечающих за защиту силового и коммутационного оборудования на подстанции, а также асинхронных двигателей, приводящих в действие насосы; резервных реле, измерительных приборов (амперметров и вольтметров), ревуна, блоков сигнализации, сигнальных ламп, и управляющих ключей. Перечень основных реле приведен в таблице 1.

Таблица 1 - Перечень основной релейной защиты ГЦУ п/с «ОСВ»:

Название	Марка	Уставка			Условное обозначение на схемах
		Ток I, А	Напряжение U, В	Время t, с	
Комплект защиты МТЗ 110 КВ 1-я ступень 2-я ступень	РТ-40/200	4000 1600	-	2 9	КЗ
Реле дифференциальное фаза А	РНТ-565	4000	-	-	1РТН
Реле дифференциальное фаза С	РНТ-565	4000	-	-	2РТН
Реле перегруза 1Т	РТ-40/6	4	-	-	1РТП
Реле перегруза 2Т	РТ-40/6	4	-	-	2РТП
Реле включения обдува 1Т	РТ-40/6	7	-	-	РТ
Реле включения обдува 2Т	РТ-40/6	7	-	-	РТ
Реле блокировки РПН 1Т по току	РТ-40/10	2,5	-	-	РТ БАР
Реле блокировки РПН 2Т по току	РТ-40/10	2,5	-	-	РТ БАР
МТЗ-6кВ ввода 1 секции фаза А	РТ-40/20	3,5	-	-	3РТ

Продолжение таблицы 1					
Реле времени МТЗ-6кВ 2 секции	РВМ-12	-	-	3	4РВ
Реле времени пуска АПВ 1 секции	РВМ-12	-	-	5	1РВ
Реле времени пуска АПВ 2 секции	РВМ-12	-	-	5	2РВ
Контроль напряжения на 1 секции 6кВ	РВМ-12	-	-	3	14РВ ₁
Контроль напряжения на 2 секции 6кВ	РВМ-12	-	-	3	14РВ ₂
Реле токовой блокировки секционного разъединителя от 1В	РТ-40/10	4,5	-	-	РТБ ₁
Реле токовой блокировки секционного разъединителя от 2В	РТ-40/10	4,5	-	-	РТБ ₂
Контроль напряжения на ТСН-1	РВМ-12	-	-	3	13РВ ₁
Контроль напряжения на ТСН-2	РВМ-12	-	-	3	13РВ ₂

Продолжение таблицы 1					
Реле времени МТЗ СВ-6кВ	РВМ-12	-	-	2	РВ
Реле МТЗ СВ-6кВ (фаза С)	РТ-40/20	7	-	-	2РТ
Реле МТЗ СВ-6кВ (фаза А)	РТ-40/20	7	-	-	1РТ
Реле минимального напряжения 1Т	РОН-53/200	-	7	-	РМН
Реле минимального напряжения 2Т	РОН-53/200	-	7	-	РМН
Контроль времени работы привода РПН-1Т	РВМ-12	-	-	2	РВ
Контроль времени работы привода РПН-2Т	РВМ-12	-	-	2	РВ
Выходное реле частотного пуска АВР 1-секции	РВМ-12	-	-	4	РВ
Выходное реле частотного пуска АВР 2-секции	РВМ-12	-	-	4	РВ
Реле времени рассинхронизации 1 секции	РВМ-12	-	-	3	РВ

Продолжение таблицы 1					
Реле блокировки рассинхронизации 1 секции	PBM-12	-	-	2	PВ
Реле времени рассинхронизации 2 секции	PBM-12	-	-	3	PВ
Реле блокировки рассинхронизации 2 секции	PBM-12	-	-	2	PВ

2 Анализ современного состояния микропроцессорной электроники и её роли в релейной защите

Развитие технического прогресса не стоит на месте. В современном мире всевозможных технологий и компьютеров электроника всё глубже проникает в различные сферы существования людей. В техническом плане реализация вышесказанного состоит в многочисленной компьютеризации и автоматизации различных технологических процессов и производств. Компьютерная и микропроцессорная техника всё чаще заменяет людей, позволяя перевести контроль над технологическими процессами и параметрами в автоматизированный или автоматический режим. Одним из направлений развития микропроцессорной электроники является создание на базе различных микропроцессорных и электронных устройств всевозможных блоков релейной защиты и автоматики. Такие блоки позволяют значительно упрощать процесс контроля и управления системами электроснабжения (СЭС) и их элементов. [1]

Микропроцессорные блоки в современных СЭС выпускаются самых различных моделей и модификаций. В зависимости от требуемых функций контроля и(или) учета каких-либо параметров, микропроцессорные блоки могут включать в себя устройства для приема сигналов от самых разнообразных видов релейной защиты. Такие блоки могут быть установлены в ячейках КРУ (комплектных распределительных устройств), в ячейках ЗРУ (закрытых распределительных устройств), либо на ГЩУ (главных щитах управления или местах установки комплектов защит основного силового оборудования станций и подстанций). Установка микропроцессорных блоков релейной защиты значительно упрощает контроль за параметрами основного силового оборудования понизительных подстанций, а также за параметрами потребителей, за которые отвечают ячейки. Прогресс электроники позволяет подобрать необходимый тип и количество блоков релейной защиты для установки в соответствующих местах [4].

Также постепенный отказ от аналоговых систем электромеханических реле и переход на цифровую электронику способен уменьшить количество цепей, а следовательно, повысить безопасность персонала и оптимизировать систему релейной защиты.

3 Электромеханические реле и микропроцессорная электроника – плюсы и минусы

Системы релейной защиты на базе электромеханических реле нашли широчайшее применение в современных системах электроснабжения и различных технологических объектах. Их достоинствами являются простота (конструктивная и самих схем на базе таких реле), относительная надежность, наглядность работы защит, наличие совокупности визуальных и звуковых индикаторов (сигнальные лампы, характерные звуки срабатывания защит). К недостаткам электромеханических реле можно отнести: износ механических частей в процессе работы, наличие открытых токовых цепей, уменьшающих безопасность персонала, необходимость прямого механического вмешательства обслуживающего персонала при ремонте или замене реле, а также при необходимости изменения уставок [12].

Бурное развитие технического прогресса дает все шансы на вытеснение систем на базе электромеханических реле. Причиной наличия этих шансов являются микропроцессорные блоки релейной защиты, относительно недавно внедренных в системы электроснабжения, но ставших практически и технически выгодными. Микропроцессорные блоки релейной защиты значительно надежнее, чем системы электромеханических реле. Они позволяют создавать устройство с колоссальным потенциалом и возможностями, например функция памяти, позволяющая вести непрерывную запись всех событий, происходящих в системе [20].

Также микропроцессорные блоки релейной защиты позволяют просматривать осциллограммы переходных процессов, упрощая анализ произошедшего. В функциях микропроцессорных блоков также имеются: функция определения расстояния до повреждения, функция изменения и введения соответствующих уставок защит, и т.д. Одной из основных особенностей и, как показывает практика, преимуществ микропроцессорных

блоков релейной защиты является возможность сборки на их базе всех видов защит, а также возможность компоновки блоков с разными типами защит. К недостаткам микропроцессорных блоков следует отнести возможность сбоев в работе при различного рода электромагнитных возмущениях, чувствительность к механическому воздействию с последующими нарушениями в работе функциональных блоков внутри микропроцессорного устройства, большое варьирование цен в зависимости от комплектации, марки, типа и т.д. Также при установке микропроцессорных блоков значительно сокращается количество открытых токовых цепей и цепей напряжения, что способствует повышению безопасности рабочего персонала[9].

Для различных систем микропроцессорных реле возможно также создание различного рода диспетчерских пунктов, позволяющих объединять эти системы и контролировать большие комплексы различных электроустановок и их релейной защиты.

Установка микропроцессорной релейной защиты способна решить проблему количества необходимых комплектов реле для защит, т.к. для электронных блоков необходимость многих реле, имеющихся в системах с электромеханическими реле, отпадает, вследствие более простых и надежных схем, собранных внутри устанавливаемых блоков[18].

Достоинства существующей схемы:

- простота схем соединений блоков релейной защиты на основе электромеханических реле;
- наглядность работы защит;
- наличие звуковых и визуальных индикаторов (сигнальные лампы, характерные звуки срабатывания защит);
- надежность работы всех блоков релейной защиты в течение длительного промежутка времени;

Недостатки существующей схемы:

- ненадежность существующих блоков релейной защиты как системы с использованием электромеханических реле;
- проверка работоспособности осуществляется только при наличии испытательного стенда;
- невозможность получения полного пакета данных о случившемся повреждении при их возникновении;
- наличие открытых токовых цепей и цепей напряжения, цепей управления, питающих цепей (повышенная опасность для персонала вследствие наличия возможности попадания под напряжение);
- большое количество блоков всевозможных защит не дает четкой визуализации, и как следствие, затрудняет поиск необходимого реле;
- необходимость разделения блоков релейной защиты на группы;
- наличие большого количества блоков резервных реле;
- для изменения уставок реле требуется прямое механическое вмешательство человека;
- вследствие небольшой площади помещения главного щита управления существует вероятность непроизвольного задевания персоналом элементов реле, что может привести к их ложному срабатыванию или отказу в работе;

Существующая схема релейной защиты и автоматики (РЗА) на базе электромеханических реле обладает рядом существенных недостатков, а также является морально устаревшей. Следовательно, необходима замена элементов схемы релейной защиты (электромеханических реле) на более современные микропроцессорные устройства релейной защиты.

4 Анализ и выбор микропроцессорных блоков релейной защиты

Для установки на стороне ВН (высшего напряжения) выбираем микропроцессорные блоки релейной защиты серии «Сириус Т». Устройство выполняет функции основной защиты двухобмоточного трансформатора с напряжением ВН от 35 до 220кВ. Для установки на стороне НН (низшего напряжения) выбираем микропроцессорные блоки релейной защиты серии «Сириус 2-В».

Данное устройство предназначено для выполнения функций защит на стороне НН трансформатора с напряжением 6-35 кВ, а также МТЗ (максимальной токовой защиты) и АВР (автоматического ввода резерва), установленных на секционном разъединителе.

В комплектах блоков «Сириус-Т» и «Сириус-2-В» имеются подменю МТЗ ВН и НН соответственно, с внешним комбинированным пуском напряжения. Данная схема повышает чувствительность при двухфазных и трехфазных КЗ, что является, несомненно, достоинством данных блоков.

Устройства «Сириус-Т» и «Сириус-2-В» имеют специальный тип исполнения «И4», обеспечивающий полный набор функций.

В комплекте устройств имеется «БПТ» (Блок питания токовый), предназначенный специально для подстанций, использующих переменный оперативный ток.

4.1 Анализ микропроцессорных блоков релейной защиты серии Сириус-Т

Устройство Сириус-Т выполняет множество функций, в т.ч. защиты, а также обладает рядом особенностей:

Дифференциальная защита силового трансформатора (2-х ступенчатая).

В плечах дифференциальной защиты силового трансформатора посредством цифрового сигнала выравниваются величины и фазы токов.

Возникающие при работе РПН токи небаланса в цепи дифференциальной защиты автоматически компенсируются.

Для отдельных реле возможно выставление уставки по времени. Предусмотрено автоматическое ускорение при включении выключателя на стороне НН.

Имеется комплект защиты от перегрузки трансформатора с действием на сигнал.

Устройство Сириус-Т выполняет следующие функции автоматики и сигнализации:

В комплекте устройства имеется логическая цепь устройства резервирования отказа выключателя стороны ВН (УРОВ ВН). УРОВ ВН создана по индивидуальному принципу, подразумевающий наличие независимой логики УРОВ на каждом присоединении.

Имеются входы отключения, к которым возможно подключение внешних защит (подключение любой необходимой защиты и вывод сигналов с нее к любому устройству).

Схема обдува управляется по двум параметрам – ток нагрузки и сигналы от датчиков температуры. Многоступенчатый обдув управляется через встроенный алгоритм.

Имеется возможность контролировать трансформатор по входным дискретным сигналам (ток, напряжение, и т.д.) [13].

4.2 Анализ дополнительных сервисных функций

Дополнительные сервисные функции позволяют значительно расширить потенциал микропроцессорных блоков, что весьма актуально в рамках реконструкции релейной защиты. Среди главных дополнительных функций можно выделить:

Регистратор событий.

Вывод и ввод некоторых функций кнопками оперативного управления на лицевой панели блока.

Регистрация и отображение большого спектра электрических параметров системы в приборе.

Входы с функцией программирования, задаваемая потребителем.

4.3 Анализ эксплуатационных возможностей

Эксплуатационные возможности представлены в виде довольно большого спектра функций, среди которых:

Имеется возможность установления внутренней конфигурации;

Ввод и хранение уставок защит и автоматики;

Посредством линии связи возможна передача характеристик аварии, а также ввод и изменение уставок;

Во всем процессе эксплуатации осуществляется непрерывный оперативный контроль работоспособности устройства (т.н. самодиагностика);

Все выходы блока блокируются при неисправности устройства для снижения количества ложных срабатываний;

Осуществляется прием дискретных сигналов управления и блокировок, а также подача команд управления, аварийной и предупредительной сигнализации;

Устройство может хранить параметры настройки и конфигурации защит и автоматики (уставок) в течение всего срока службы не зависимо от наличия питающего напряжения. Ход часов и зафиксированные данные в памяти сохраняются при пропадании оперативного питания и хранятся в течение нескольких лет.

При полном пропадании оперативного питания устройство выполняет функции защиты со срабатыванием выходных реле в течение 1 секунды. После

подачи оперативного тока время готовности устройства к работе – не более 0,4 секунды.

4.4 Анализ микропроцессорных блоков релейной защиты серии Сириус-2В

Устройство предназначено для выполнения функций релейной защиты, автоматики, управления и сигнализации ввода напряжением от 3 до 35 кВ.

Устройство предназначено для установки в релейных отсеках КРУ, КРУН и КСО, на панелях и в шкафах, в релейных залах и пультах управления электростанций и подстанций с напряжением НН 3–35 кВ. Данное устройство служит для защиты вводов систем шин подстанций, распределительных пунктов и т.д. [14].

4.5 Анализ эксплуатационных возможностей

Устройство обеспечивает эксплуатационные возможности, такие как реализация функций защит, автоматики и управления, установление внутренней конфигурации системы РЗА, ввод и хранение уставок, контроль и индикация положения выключателя, идентификация вида повреждения (только при срабатывании МТЗ), передача параметров аварии, постоянный оперативный контроль работоспособности (самодиагностика) в течение всего времени работы, блокировка всех выходов блока при внутренних неисправностях для исключения ложных срабатываний, получение дискретных сигналов управления и блокировок, выдача команд управления, аварийной и предупредительной сигнализации.

4.6 Функции защиты, выполняемые устройством:

Устройство выполняет множество функций защит: трехступенчатая максимальная токовая защита (МТЗ) от междуфазных повреждений с наличием контроля двух или трех фазных токов (каждая из ступеней может быть с

комбинированным пуском по напряжению, первые две ступени могут быть направленными); автоматический ввод ускорения любых ступеней МТЗ при любом включении выключателя; работа 1-й ступени МТЗ как ускоряющей отсечки; защита от обрыва фазы питающего фидера (ЗОФ); сигнализация однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) по величине напряжения нулевой последовательности; защита минимального напряжения (ЗМН); логическая защита шин (ЛЗШ).

4.7 Функции автоматики, выполняемые устройством:

Устройство спроектировано для выполнения множества функций автоматики, среди которых: отключение и включения выключателя от внешних команд с защитой от многократных включений; подключение внешних защит; формирование сигнала УРОВ при отказах собственного выключателя; отключение выключателя по входу УРОВ от нижестоящих выключателей; однократное АПВ; формирование сигнала АВР на включение секционного выключателя; восстановление схемы нормального режима после АВР.

Дополнительные сервисные функции:

- функция определения вида повреждения при срабатывании МТЗ;
- функция фиксирования и запоминания значений токов и напряжений в момент аварии;
- функция измерения времени срабатывания защиты, а также времени отключения выключателя;
- функция постоянного контроля времени и даты;
- функция измерения текущих фазных токов, напряжений, мощности;
- наличие дополнительных реле и светодиодов с функцией, заданной пользователем;
- функция цифрового осциллографа;
- функция регистратора событий.

4.8 Описание основных комплектов защит

Основные комплекты защит в устройстве «Сириус-2В» представлены в виде функциональных блоков, среди которых:

Максимальная токовая защита (МТЗ)

МТЗ может иметь 3 ступени: первая, МТЗ-1 (токовая отсечка), с независимой времятоковой характеристикой, вторая, МТЗ-2, и третья, МТЗ-3, – с зависимыми или независимыми времятоковыми характеристиками. Тип времятоковых характеристик ступеней МТЗ-2 и МТЗ-3 задается с помощью уставок.

Количество ступеней задается с помощью уставок. Ступень МТЗ-3 может работать на отключение или на сигнализацию.

Ступени МТЗ-1 и МТЗ-2 могут быть выполнены направленными.

Все ступени с независимой времятоковой характеристикой функционально равны между собой. Выдержка времени на начальном участке зависимых времятоковых характеристик составляет 100 с.

Сигнализация однофазных замыканий на землю (ОЗЗ)

Сигнализация ОЗЗ срабатывает при превышения напряжением $3U_0$ значения уставки $3U_0 \text{ КОИТР}$. Выдержка времени определяется уставкой $T_{\text{СИГНАЛ}}$.

Защита от обрыва фазы питающего фидера (ЗОФ)

ЗОФ реализуется методом расчета соотношения токов обратной I_2 и прямой последовательности I_1 . В нормальном режиме работы соотношение I_2/I_1 близко к нулю, но при обрыве одной из фаз значение соотношения становится близким к единице.

Функция ЗОФ может работать на отключение или только на сигнализацию. ЗОФ имеет независимую выдержку времени.

Резервирование при отказе выключателя (УРОВ)

Функция «УРОВ-выход» необходима для отключения вышестоящих выключателей при отказе вводного выключателя. Пуск функции

«УРОВ-выход» происходит при срабатывании любой из защит (в т.ч. газовой, дуговой, входа УРОВ, внешних отключений, и т.д.), кроме ЗМН.

Выходное реле «УРОВ» срабатывает после задержки на время уставки $T_{УРОВ}$, если в течение этого времени ток через выключатель не снизился ниже значения $I_{УРОВ}$.

Выходное реле «УРОВ» срабатывает с выдержкой времени не менее 1 секунды. Размыкание контактов реле «УРОВ» происходит после снижения тока. Несанкционированное отключение определяется по появлению сигнала на входе РПО (Реле положения «Отключено»).

Вследствие повышенной ответственности вводного выключателя для предотвращения ложных срабатываний установлен дополнительный контролирующий орган по току (под уставку).

Защита минимального напряжения (ЗМН)

Срабатывание защиты минимального напряжения происходит при одновременном снижении трех линейных напряжений на секции ниже установленного порога, задаваемого уставкой $U_{ЗМН}$, и работает от ТН, установленного на секции. У ЗМН имеется одноступенчатая независимая характеристика с одной выдержкой времени.

Автоматическое включение резерва (АВР)

Автоматическое включение резерва действует в двух случаях – при выдаче устройством сигнала включения резерва, при включении при АВР своего выключателя.

При установке АВР на секционном выключателе на защитах обоих вводных выключателей задается уставка «Функция АВР» – «Выход», а выходные сигналы «Включение от АВР» подаются на вход «Включение от АВР» защиты секционного выключателя.

Включение выключателя по входу включения от АВР происходит по уровню, а также при импульсном сигнале длительностью более 20 мс.

Выходной сигнал на включение резерва формируется при введенной уставке «Функция АВР» в следующих случаях: отключение своего выключателя от ЗМН, отключение от основных защит трансформатора, отключение от программируемого входа с функцией «Внешнее отключение» (при введенной уставке «АВР» – «Вкл» в соответствующей группе уставок), при самопроизвольном отключении выключателя (при введенной уставке «АВР при несанкционированном отключении» – «Разрешено»).

Блокировка АВР происходит при работе МТЗ, ЛЗШ, ЗОФ, отключении по цепям УРОВ, дуговой защиты, внешнего отключения с запретом АВР, защиты шин, а также при наличии $3U0$ перед выдачей команды на отключение.

Автоматическое повторное включение (АПВ)

В устройстве имеется функция однократного автоматического повторного включения. Наличие АПВ и время выдержки задаются уставками.

Время восстановления АПВ - 60 секунд. При аварийном отключении в первые 30 секунд после включения выключателя функция АПВ блокируется.

АПВ выводится с помощью кнопки «АПВ» на передней панели устройства или по внешнему сигналу. Блокировка внешним сигналом возможна «без фиксации» (только при наличии сигнала) или «с фиксацией» (даже после снятия сигнала до следующего командного включения выключателя).

Программируемые реле

Специальные программируемые потребителем реле («Реле 1»...«Реле 7») предусмотрены для повышения универсальности устройства. Они имеют возможность программно подключаться к одной из большого многообразия внутренних точек функциональной логической схемы устройства. Вместе с этим возможно получение новых релейных выходов.

Расшифровка уставки, которая соответствует заданной точке уставки «Точка», автоматически высвечивается во время редактирования.

Используя уставку «Режим» можно задать режим работы программируемых реле:

- следящий режим («Без фиксации»);
- с памятью (блинкер, «С фиксацией»), до сброса сигнализации устройства;

- импульсный режим («Импульсный»), время импульса равно 1 с.

Регистратор событий

С помощью архива событий в памяти устройства реализована регистрация и обнаружение каких-либо неисправностей, а также работа защит, приход дискретного сигнала, обнаружение внутренней неисправности (событию присваивается дата и время обнаружения), с привязкой к астрономическому времени.

С помощью компьютера по каналу связи осуществляется передача и реагирование на содержание регистратора событий. Память устроена так, что после ее заполнения новая запись записывается поверх самой старой. Емкость памяти регистратора - до 1000 событий.

5 Сравнительный анализ микропроцессорных блоков релейной защиты

Микропроцессорные блоки серии «Сириус» являются одними из самых распространенных и надежных устройств, устанавливаемых в релейной защите. Данные блоки имеют множество модификаций («Сириус-Д», «Сириус-М», и др.), что позволяет подобрать необходимое устройство в зависимости от требований. Блоки «Сириус», в отличие от аналогов («Siprotek», «Siemens», и т.д.), имеют в комплекте все необходимые виды защит, что позволяет устанавливать минимальное количество блоков без использования дополнительных устройств для отдельно взятых защит. Среди других марок, блоки серии «Сириус» являются практически единственным брендом микропроцессорных блоков релейной защиты, на базе которых смонтирована дифференциальная защита трансформатора, что является весьма существенным преимуществом по сравнению с аналогами [8].

Блоки этой серии весьма широко распространены не только в России, но и за рубежом. Опыт их эксплуатации показывает, что данные блоки весьма надежны, не требуют больших затрат на ремонт и обслуживание. Блоки серии «Сириус» просты в эксплуатации, т.к. интерфейс данных блоков запрограммирован с минимальным количеством алгоритмов для выполнения тех или иных операций. Данный факт весьма ощутимо заметен при сравнении с блоками «Siprotek» или «Siemens», где существует множество подменю и дополнительных диалоговых окон, что усложняет эксплуатацию [10].

Также у блоков серии «Сириус» есть одна интересная особенность – при изготовлении интерфейс этих блоков можно запрограммировать на большое количество языков, что невозможно почти у всех прочих аналогов, кроме блоков серии «БЭМП».

Блоки серии «Сириус» обладают большой термической и электродинамической стойкостью, что позволяет использовать их без каких-

либо сопутствующих защитных аппаратов. Для компенсации недостаточной термической и электродинамической стойкости у подобных устройств других производителей необходимо особые типы исполнения, изготавливаемые на заказ.

Данные блоки конструктивно имеют большое количество входов (около 30-40 шт.) для подключения защит и различной цифровой и аналоговой аппаратуры по сравнению с другими блоками (около 25-35 шт). Аналоги «Сириус», такие как «Siprotek» или «Siemens», не всегда возможно купить полным комплектом (в некоторых случаях дополнительные компоненты необходимо заказывать отдельно). В свою очередь блоки «Сириус» всегда поставляются полностью укомплектованными.

6 Определение токов короткого замыкания

Питающая система задается мощностью КЗ на шинах ГПП, по которой определяется сопротивление системы:

$$x_c = \frac{U_{ном.ВН}^2}{S_{к}^{(3)}} = \frac{115кВ^2}{4650МВА} = \frac{1,3225 \cdot 10^{10}}{4650 \cdot 10^6} = 2,85 Ом$$

Сопротивление ВЛ:

$$x_d = x_0 \cdot l = 0,24 \cdot 3 = 0,72 Ом$$

Сопротивление трансформатора определяется по напряжению $U_{к\%}$ и номинальной мощности $S_{т.ном}$:

$$x_m = \frac{U_{к\%}}{100} \cdot \frac{U_{ном.ВН}^2}{S_{т.ном}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{(115000)^2}{15000000} = 92,58 Ом$$

Ток трехфазного КЗ при внешнем КЗ:

$$I_{кВН}^{(3)} = \frac{U_{ном.ВН}}{\sqrt{3} \cdot x_{\Sigma}} = \frac{U_{ном.ВН}}{\sqrt{3} \cdot (x_c + x_d + x_m)} = \frac{(115000)^2}{\sqrt{3} \cdot (2,85 + 0,72 + 92,58)} = 690,54 А$$

Для определения тока КЗ на любой ступени трансформатора необходимо найденное значение $I_{кВН}^{(3)}$ привести к напряжению ступени:

$$I_{кНН}^{(3)} = I_{кВН}^{(3)} \cdot \frac{U_{ВН}}{U_{НН}} = 690,54 \cdot \frac{110000}{6000} = 12659,9 А$$

Для трансформаторов с РПН необходимо учитывать изменение сопротивления ВН в зависимости от положения регулятора РПН. Для понижающих трансформаторов общего назначения при уменьшении коэффициента трансформации $\left(\Delta U_{рпн} \right)$ сопротивление уменьшается по сравнению со средним значением, а при увеличении коэффициента трансформации $\left(\Delta U_{рпн} \right)$ увеличивается. При этом:

$$x_{т.вн \min} = \frac{U_{к \min}}{100} \cdot \frac{U_{\min \ вн}^2}{S_{т.ном}} = \frac{U_{к \min}}{100} \cdot \frac{\left[U_{ср. \ вн} \cdot \left(1 - \frac{\Delta U_{рпн}}{100} \right) \right]^2}{S_{т.ном}} = \frac{8,56}{100} \cdot \frac{\left[100 \cdot \left(1 - \frac{9 \cdot 0,16}{100} \right) \right]^2}{15000} = 0,067 Ом$$

$$x_{m.вн\max} = \frac{U_{к.\min}}{100} \cdot \frac{U_{\max\text{ вн}}^2}{S_{m.\text{ном}}} = \frac{U_{к.\max}}{100} \cdot \frac{\left[U_{\text{ср.вн}} \cdot \left(1 + \frac{\Delta U_{рнн}}{100} \right) \right]^2}{S_{m.\text{ном}}} = \frac{12,44}{100} \cdot \frac{126^2}{15000} = 0,132 \text{ Ом}$$

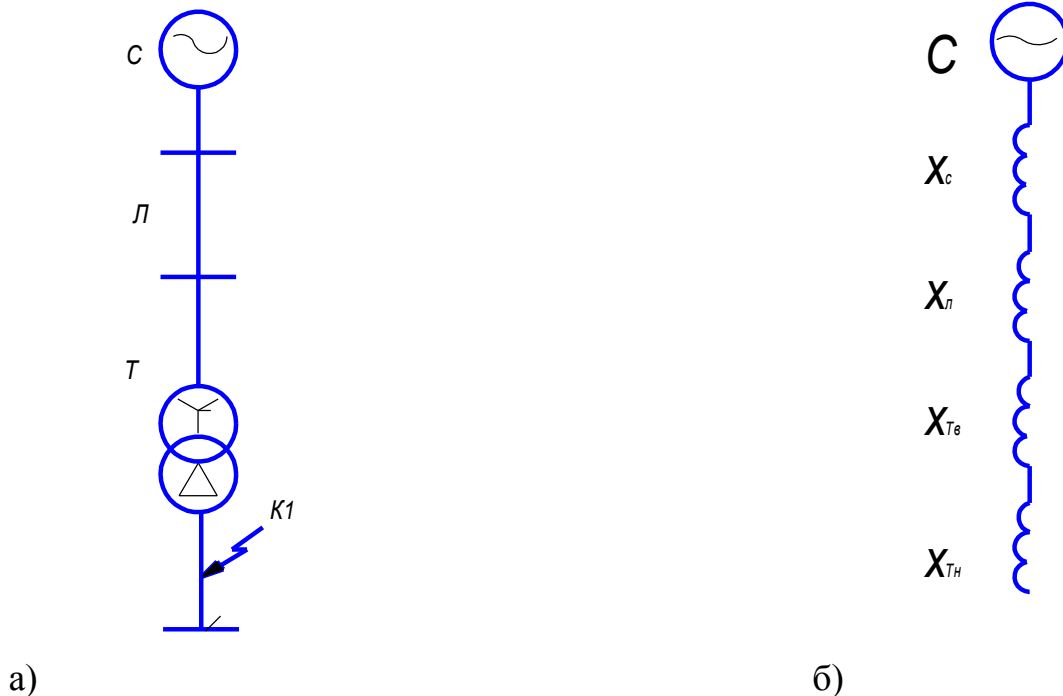


Рисунок 1 – Расчетная схема (а) и схема замещения (б) для расчета токов КЗ

Вычислим максимальный ток КЗ, который рассчитывается при наименьшем сопротивлении питающей сети $U_{m.\min}$ и в максимальном режиме системы $S_{к.\max}$. Значение тока КЗ на стороне ВН и НН трансформатора при внешнем КЗ:

$$I_{k.\max\text{ BH}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.вн}} \cdot \left(1 - \frac{\Delta U_{рнн}}{100} \right)}{\sqrt{3} \cdot (x_{c(Sk\max)} + x_{m.\min} + x_{л})} = \frac{110 \cdot \left(1 - \frac{9 \cdot 0,16}{100} \right)}{\sqrt{3} \cdot 2,65 + 0,067 + 0,72} = 18210 \text{ A}$$

$$I_{k.\max\text{ HH}}^{(3)} = I_{k.\max\text{ BH}}^{(3)} \cdot \frac{U_{\text{ср.вн}} \cdot \left(1 - \frac{\Delta U_{рнн}}{100} \right)}{U_{\text{HH}}} = 18210 \cdot \frac{110 \cdot \left(1 - \frac{9 \cdot 0,16}{100} \right)}{6} = 329043 \text{ A}$$

$$S_{k.\max}^{(3)} = 5000 \text{ MVA}, S_{k.\min}^{(3)} = 1500 \text{ MVA}$$

$$x_{c(S_{k.\max}^{(3)})} = \frac{U_{\text{номВН}}^2}{S_{k.\max}^{(3)}} = \frac{(15 \text{ кВ})^2}{5000 \text{ MVA}} = \frac{1,3225 \cdot 10^{10}}{5000000} = 2,65 \text{ Ом}$$

Вычислим минимальный ток трехфазного КЗ, который рассчитывается при наибольшем сопротивлении питающей сети $x_{m.\max}$:

$$I_{k.\min \text{ ВН}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.вн}} \cdot \left(1 + \frac{\Delta U_{\text{рнн}}}{100}\right)}{\sqrt{3} \cdot (x_{c(S_{k.\max}^{(3)})} + x_{m.\min} + x_{\text{л}})} = \frac{126 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 8,82 + 4,83 \cdot 10^{-3} + 0,32} = 7521 \text{ А}$$

$$I_{k.\min \text{ НН}}^{(3)} = I_{k.\min \text{ ВН}}^{(3)} \cdot \frac{U_{\text{ср.вн}} \cdot \left(1 + \frac{\Delta U_{\text{рнн}}}{100}\right)}{U_{\text{нн}}} = 7521 \cdot \frac{126 \cdot 10^3}{6 \cdot 10^3} = 157941 \text{ А}$$

Расчетная схема и схема замещения для токов трехфазного КЗ приведены на рисунках 1 (а) и 1 (б) соответственно. Результаты расчетов токов трехфазного КЗ на стороне ВН и НН сведены в таблицу 3[6].

Таблица 3 – Результаты расчетов токов трехфазного КЗ

Мощность трансформатора (МВА) и напряжение (кВ)	Мощность КЗ системы, МВА	Ток трехфазного КЗ (А) на шинах НН подстанции, приведенное к	
	$S_{\text{т.ном}} = 15 \text{ MVA}$	$S_{k.\max} = 5000$	115 кВ
$U_{\text{вн}} = 115 \text{ кВ}$	$S_k = 2500$	18210	7521
$U_{\text{нн}} = 6,3 \text{ кВ}$	$S_{k.\min} = 1500$	329043	157941

7 Выбор трансформаторов тока и напряжения

Для установки на стороне ВН выбираем трансформатор тока ТВТ-110, для установки на стороне НН выбираем трансформатор тока ТПШЛ-10.

Для установки на стороне ВН выбираем трансформатор напряжения НКФ-123, для установки на стороне НН выбираем трансформатор напряжения НОМ-6[19].

7.1 Проверка трансформаторов тока

Трансформаторы тока проверяют по:

- 1) номинальному напряжению сети в месте установки ТА:

$$U_c \leq U_{ном}; 110кВ \leq 115кВ; 6кВ \leq 6,3кВ$$

- 2) по первичному току обмоток ТА:

$$I_1 = \frac{S_{т.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \leq I_n$$

$$I_{1ВН} = \frac{S_{т.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{15000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 78,73 А, I_n = 150 А$$

$$I_{1НН} = \frac{S_{т.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{15000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 1443,4 А, I_n = 2000 А$$

- 3) по условиям окружающей среды:

Выбираем трансформаторы тока для внутренней установки.

- 4) по электродинамической стойкости:

$$i_{y\partial} \leq K_{\partial} \cdot \sqrt{2} \cdot I_n$$

$$i_{y\partial} \leq \frac{I_{\partial.ст.}}{I_{ном.перв.ап.}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_n; 31230 А \leq 102000 А$$

$$i_{y\partial} \leq \frac{I_{\partial.ст.}}{I_{ном.перв.ап.}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_n; 6770 А \leq 102000 А$$

5) по термической стойкости

$$B_k \leq \epsilon_m \cdot I_n^2 \cdot t_{мер}$$

$$B_{k1} \leq \epsilon_m \cdot I_n^2 \cdot t_{мер}; 14070 A \leq 25 \cdot 150^2 \cdot 3$$

$$B_{k2} \leq \epsilon_m \cdot I_n^2 \cdot t_{мер}; 6860 A \leq 70 \cdot 2000^2 \cdot 3 \text{ (расчет – в тетради по эл. сн.)}$$

б) по допустимой погрешности (на 10% погрешность);

а) расчетная кратность первичного тока:

$$m_{рас} = \frac{I_{рас}}{\alpha \cdot I_n}$$

$$m_{расBH} = \frac{I_{расBH}}{\alpha \cdot I_n} = \frac{78,73}{0,8 \cdot 150} = 0,66; m_{расHH} = \frac{I_{расHH}}{\alpha \cdot I_n} = \frac{1443,4}{0,8 \cdot 2000} = 0,9$$

б) по кривым предельной кратности для выбранного ТА (тип, класс точности) определяем допустимую нагрузку ТА – $Z_{н.доп}$.

$$Z_{н.вн.доп} = 1,5 \text{ Ом}, Z_{н.нн.доп} = 3 \text{ Ом}.$$

в) определяется фактическая нагрузка ТА Z_n , которая должна быть не более $Z_{н.доп}$, т.е. $Z_n \leq Z_{н.доп} \cdot Z_n$ с учетом соединений ТА и вторичной нагрузки.

В общем виде:

$$Z_n = Z_{пр} + Z_p + Z_{пер}, \text{ где } z_p = \frac{S}{I^2}. \text{ Для расчетов принимать на стороне 110 кВ}$$

$z_p = 0,35 \text{ Ом}$, на стороне 6-10 кВ $z_p = 0,15 \text{ Ом}$. $Z_{пер}$ - переходное сопротивление контактов ($Z_{пер} = 0,05-0,1 \text{ Ом}$). $Z_{пр}$ – сопротивление соединительных проводов.

Сопротивление соединительных проводов зависит от длины проводом от ТА до реле, сечения провода, материала

$$z_{прBH} = \frac{\rho \cdot l_{расBH}}{S} = \frac{0,0283 \cdot 65}{4} = 0,46 \text{ Ом}$$

$$z_{прHH} = \frac{\rho \cdot l_{расHH}}{S} = \frac{0,0283 \cdot 45}{4} = 0,32 \text{ Ом}, \rho - \text{удельное сопротивление материала}$$

провода. Применяем для подстанции 110 кВ провода с алюминиевыми жилами ($\rho = 0,0283 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$); $l_{рас}$ – расчетная длина, зависящая от схемы соединения ТА:

соединение в полную звезду: $I_{рас} = 1$. В расчетах принимаем $l = 65$ м (на стороне ВН), $l = 45$ м (на стороне НН).

$$Z_H = Z_{пр} + Z_p + Z_{пер}$$

$$z_{нВН} = z_{прВН} + z_p + z_{пер} = 0,46 + 0,35 + 0,05 = 0,86 \text{ Ом}$$

$$z_{нНН} = z_{прНН} + z_p + z_{пер} = 0,32 + 0,15 + 0,05 = 0,52 \text{ Ом}$$

Результаты проверки трансформаторов тока сведены в таблицу 4.

Таблица 4 - Проверка ТА для защиты трансформатора 15 МВА

Наименование величины	Расчетные формулы	Трансформатор 15 МВА	
		115 кВ	6,3 кВ
Тип	$I_n = \frac{S_{м.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$	ТВТ-110 150/5	ТПШЛ-10 Р 2000/5
Расчетный первичный ток, А	$I_{рас} = 1,3 \cdot I_{к.макс.в}$	23673	427756
Расчетная кратность тока	$m_{рас} = \frac{I_{рас}}{0,8 \cdot I_n}$	376	371
Допустимая нагрузка ТА, Ом	$z_{н.дон}$ (по кривым 10% погрешности)	2,7	2,8
Сопротивление реле защиты, Ом	z_p	0,5	0,15
Допустимое сопротивление проводов (в один конец), Ом	$z_{пр} = \frac{z_{н.дон} - z_{пер} - z_p}{3}$ для ТА в Δ $z_{пер} = 0,05 \text{ Ом};$	0,38	-
	$z_{пр} = z_{н.дон} - z_{пер} - z_p$ ДЛЯ ТА в $z_{пер} = 0,05 \text{ Ом}$	-	0,49

Продолжение таблицы 4			
Длина проводов, м	1	65	45
Допустимое сечение проводов, мм ² , расчетное принятое	$S_{доп} = \frac{\rho \cdot l_{расВН}}{z_{нр}}$	4,84	3,98
	$S_{доп} = \frac{\rho \cdot l_{расНН}}{z_{нр}}$	5	4

Трансформаторы тока для стороны ВН ТВТ-110, 150/5, класс Р и для стороны НН ТПШЛ-10, 2000/5, класс Р удовлетворяют техническим требованиям.

7.2 Проверка трансформаторов напряжения

Трансформаторы напряжения проверяют по:

1) Номинальному напряжению - $U_{ном} \leq U_{сет.ном}$; 110 кВ \leq 115 кВ; 6 кВ \leq 6,3 кВ

2) Конструкции и схеме соединения обмоток, классу точности с учетом допустимой вторичной нагрузки;

3) Вторичной нагрузке: $S_{2\Sigma} \leq S_{ном}$, где $S_{2\Sigma}$ - нагрузка всех измерительных приборов и реле, присоединенных к трансформатору напряжения, ВА.

Вторичная нагрузка ТН приведена в таблице 5. Для упрощения расчетов нагрузку приборов можно не разделять по фазам, тогда:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{\sum S_{приб} \cdot \cos \phi^2 + \sum S_{приб} \cdot \sin \phi^2} = \sqrt{P_{приб}^2 + Q_{приб}^2} = \sqrt{6,52^2 + 3,7^2} = 7,5 \text{ ВА.}$$

Таблица 5 – Вторичная нагрузка трансформаторов напряжения

Приборы	Типы приборов	Потребляемая мощность одной катушки, ВА	Число катушек	Cos φ	Sin φ	Число приборов	Общая потребляемая мощность	
							P, Вт	Q, Вар
Вольтметр	Э-335	2	1	1	0	1	2	-
Ваттметр	Д-335	1,5	2	1	0	1	3	-
Счетчик активной энергии	САЭ-681	2	2	0,38	0,925	1	1,52	3,7
Итого							6,52	3,7

Трансформаторы напряжения для стороны ВН НКФ-123, 110000/100 и для стороны НН НОМ-6, 6000/100 удовлетворяют техническим требованиям [7].

8 Расчет дифференциальной токовой защиты трансформаторов

Дифференциальная защиты является основной из двух защит трансформатора, обладающая такими свойствами, как быстрдействие и абсолютная селективность.

Принцип действия продольной дифференциальной защиты основан на сравнении токов, проходящих через начало и конец защищаемой зоны. Такое сравнение обеспечивается за счет включения в цепь 2-х или более измерительных трансформаторов тока. Обмотка дифференциального реле подключается во вторичную цепь измерительных трансформаторов тока так, чтобы векторная сумма токов во вторичных обмотках ТТ в нормальном режиме работы цепи без учета погрешности ТТ, была равно 0.

В случае КЗ на защищаемом участке ток через трансформаторы тока на стороне НН исчезает, и векторная сумма токов дифференциальной обмотки реле становится не равная нулю. Это приводит отключению трансформатора посредством отключения выключателя в цепях высшего и низшего напряжения, отключая его от сети [2].

Номинальные токи:

$$I_{1BH} = \frac{S_{т.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{15000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 78,73 A$$

$$I_{1HH} = \frac{S_{т.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{15000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 1443,4 A$$

Минимальный ток срабатывания защиты по условию отстройки от броска тока намагничивания:

$$\text{Сторона ВН: } I_{сз.минBH} = 1,5 \cdot I_n = 1,5 \cdot 78,73 = 118,1 A$$

$$\text{Сторона НН: } I_{сз.минHH} = 1,5 \cdot I_n = 1,5 \cdot 1443,4 = 2165,1 A$$

Ток срабатывания реле для основной стороны (стороны с наибольшим вторичным током в плече защиты), приведенный к стороне ВН:

$$I_{сз.осн} = \frac{I_{сз} \cdot \kappa_{сх}}{\kappa_{ин}} = \frac{118,1 \cdot \sqrt{3}}{30} = 6,82 A$$

Уточненное значение тока срабатывания защиты:

$$I_{сз.min} = \frac{F_{ср} \cdot \kappa_I}{W_{осн} \cdot \kappa_{сх}} = \frac{100 \cdot 30}{15 \cdot \sqrt{3}} = 115,5 A$$

Первичный расчетный ток небаланса с учетом составляющей:

Сторона ВН:

$$\begin{aligned} I_{нб.расВН} &= \left| \kappa_{ан} \cdot \kappa_{одн} \cdot \varepsilon \cdot I_{\kappa \max}^{(3)} \right| + \left| \Delta U_{\alpha} \cdot \kappa_{ток\alpha} + \Delta U_{\beta} \cdot \kappa_{ток\beta} \cdot I_{\kappa \max}^{(3)} \right| + \\ &+ \left| \frac{W_{1рас} - W_1}{W_{1рас}} \cdot \kappa_{токI} \pm \frac{W_{1рас} - W_1}{W_{1рас}} \cdot \kappa_{токII} \right| \cdot I_{\kappa \max}^{(3)} = |1 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 150| + |0,16 \cdot 1 + 0,16 \cdot 0 \cdot 150| + \\ &+ \left| \frac{31,67 - 32}{31,67} \cdot 1 \pm \frac{31 - 32}{31} \cdot 0,055 \right| \cdot 150 = 40,24 A \end{aligned}$$

Сторона НН:

$$\begin{aligned} I_{нб.расНН} &= \left| \kappa_{ан} \cdot \kappa_{одн} \cdot \varepsilon \cdot I_{\kappa \max}^{(3)} \right| + \left| \Delta U_{\alpha} \cdot \kappa_{ток\alpha} + \Delta U_{\beta} \cdot \kappa_{ток\beta} \cdot I_{\kappa \max}^{(3)} \right| + \\ &+ \left| \frac{W_{1рас} - W_1}{W_{1рас}} \cdot \kappa_{токI} \pm \frac{W_{1рас} - W_1}{W_{1рас}} \cdot \kappa_{токII} \right| \cdot I_{\kappa \max}^{(3)} = |1 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 2000| + |0,16 \cdot 0 + 0,16 \cdot 1 \cdot 2000| + \\ &+ \left| \frac{31,67 - 32}{31,67} \cdot 1,76 \cdot 10^{-3} \pm \frac{31 - 32}{31} \cdot 1 \right| \cdot 2000 = 510,59 A \end{aligned}$$

Коэффициент чувствительности:

$$\kappa_{ч} = \frac{F_{раб.}}{F_{раб.ср.}} = \frac{16456,3}{2400} = 6,86$$

Дифференциальная защита проходит по коэффициенту чувствительности и удовлетворяет техническим требованиям, $\kappa_{ч} = 6,86$.

9 Расчет максимальной токовой защиты

МТЗ вместе с дифференциальной защитой служит для предотвращения повреждения оборудования и линий в зоне действия защиты, в случае возникновения КЗ или длительной перегрузки.

МТЗ имеет выдержку времени срабатывания, вследствие этого не является быстродействующей, но при этом данная защита позволяет исключить отключения линии при перегрузках или при КЗ вне зоны действия защиты[17].

Первичные номинальные токи, А:

$$\text{ВН: } I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{15000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 75,31 \text{ А}$$

$$\text{НН: } I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{15000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 1374,6 \text{ А}$$

Защита от перегрева:

$$\text{НН: } I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{15000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 1374,6 \text{ А}$$

Реле обдувки:

$$\text{НН: } I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{15000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 1374,6 \text{ А}$$

Реле блокировки:

$$\text{НН: } I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{15000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 1374,6 \text{ А}$$

Кратность сверхтока нагрузки:

$$\text{ВН: } m_{\text{сн}} = 1,4; \text{ НН: } m_{\text{сн}} = 2,5$$

Коэффициент трансформации и схема соединения ТА:

$$\text{ВН: } n_m = 150/5 = 30, \kappa_{cx} = \sqrt{3}; \text{ НН: } n_m = 2000/5 = 400, \kappa_{cx} = 1$$

Первичный расчетный ток срабатывания защиты (реле) А:

Максимальной токовой:

$$\text{ВН: } I_{c3} = \frac{\kappa_n \cdot m_{ch}}{\kappa_g} \cdot I_n = \frac{1,2 \cdot 1,4}{0,8} \cdot 78,73 = 165,3 A$$

$$\text{НН: } I_{c3} = \frac{\kappa_n \cdot m_{ch}}{\kappa_g} \cdot I_n = \frac{1,2 \cdot 2,5}{0,8} \cdot 1374,6 = 5154,8 A$$

От перегрузки:

$$\text{НН: } I_{c3} = \frac{\kappa_n}{\kappa_g} \cdot I_n = \frac{1,05}{0,8} \cdot 1374,6 = 1893,2 A$$

Реле обдувки на стороне:

$$\text{НН: } I_{c3} = 0,7 \cdot I_n = 0,7 \cdot 1374,6 = 922,2 A$$

Реле блокировки регулятора:

$$\text{НН: } I_{c3} = 2 \cdot I_n = 2 \cdot 1374,6 = 2749,2 A$$

Токи уставок:

$$\text{МТЗ на стороне ВН: } i_{cp} = \frac{\kappa_{cx} \cdot I_{c3}}{n_m} = \frac{\sqrt{3} \cdot 165,33}{30} = 9,55 A$$

$$\text{МТЗ на стороне НН: } i_{cp} = \frac{\kappa_{cx} \cdot I_{c3}}{n_m} = \frac{1 \cdot 5154,8}{400} = 12,89 A$$

$$\text{Защита от перегрева на стороне НН: } i_{cp} = \frac{\kappa_{cx} \cdot I_{c3}}{n_m} = \frac{1 \cdot 1893,2}{400} = 4,73 A$$

$$\text{Реле обдувки на стороне НН: } i_{cp} = \frac{\kappa_{cx} \cdot I_{c3}}{n_m} = \frac{1 \cdot 922,2}{400} = 2,31 A$$

$$\text{Реле блокировки на стороне НН: } i_{cp} = \frac{\kappa_{cx} \cdot I_{c3}}{n_m} = \frac{1 \cdot 2749,2}{400} = 6,87 A$$

Коэффициент чувствительности защиты:

$$\text{ВН: } \kappa_q = \frac{I_{\kappa\min}^{(2)}}{I_{c.з.}} = \frac{0,87 \cdot I_{\kappa\min}^{(3)}}{I_{c.з.}} = \frac{0,87 \cdot 7521}{165,3} = 40 > 1,5$$

$$\text{НН: } \kappa_q = \frac{I_{\kappa\min}^{(2)}}{I_{c.з.}} = \frac{0,87 \cdot I_{\kappa\min}^{(3)}}{I_{c.з.}} = \frac{0,87 \cdot 157941}{5154,8} = 27 > 1,5$$

Максимальная токовая защита удовлетворяет техническим требованиям и проходит по коэффициенту чувствительности, $\kappa_{\text{чВН}} = 40$, $\kappa_{\text{чНН}} = 27$.

10 Создание диспетчерских пунктов и пунктов управления для СЭС с микропроцессорной релейной защитой

При использовании микропроцессорных блоков релейной защиты возникает перспектива, а в некоторых случаях необходимость создания определенных центров контроля и управления, особенно в случаях разветвленных и крупных систем электроснабжения. Для таких сетей необходимы не только центральные диспетчерские пункты, но и местные пункты управления для определенных объектов, например крупных подстанции. Необходимость создания таких пунктов довольно очевидна: такие пункты позволяют собирать информацию о всех неисправностях и принимать сигналы любых защит со всех объектов электросистемы. Подобное решение весьма ответственный шаг, и требует тщательного технического обоснования[15].

Система электроснабжения с релейной защитой на базе микропроцессорной техники обладает рядом существенных преимуществ: отсутствие необходимости создания промежуточных пунктов управления, централизация управления удаленными объектами, возможность постоянного контроля за работой как различных подсистем в целом, так и за определенными объектами или электроустановками. Испытание подобных комплексов тоже вполне реализуемая задача.

Например, при наличии встроенного испытательного центра на пульте управления можно, при согласовании с действующим персоналом подстанции, подать сигнал для срабатывания определенной защиты на определенном объекте. Такое решение сводит к минимуму риск для персонала, позволяет дистанционно получать любые сведения о любых повреждениях, проводить их анализ и давать соответствующие указания[5].

Согласование работы подобных комплексов реализуемая и выполняемая задача.

Конечно, единовременный переход на централизованное управления нереален. Однако постепенный отказ от электромеханических реле и замена их на микропроцессорные блоки способен удовлетворить всем условиям для создания оперативно-диспетчерских пунктов контроля и управления системами электроснабжения.

Централизация управления и контроля системами электроснабжения за счет использования микропроцессорной релейной защиты способна решить многие задачи, такие как ускорение действия защит и персонала при возникновении различного рода повреждений или срабатывания какой-либо защиты, исключение или сведение к минимуму ложных срабатываний защит того или иного объекта, возможность дистанционного контроля и управления любым необходимым количеством удаленных объектов и их комплексами релейной защиты, отслеживания любых параметров этих комплексов в режиме реального времени и возможность их хранения и передачи на другие объекты инфраструктуры и(или) электроэнергетики[11].

Автоматизировать различные области инфраструктуры посредством только лишь внедрения микропроцессорной техники невозможно. Однако такой шаг вносит довольно посильный и важный вклад в обеспечение безопасности и оптимизацию систем электроснабжения и её отдельных элементов.

Возможность передачи и анализа данных, полученных из блоков памяти установленной микропроцессорной защиты позволяет дистанционно и не задействуя оперативный персонал устранять повреждения в системах электроснабжения, изменять параметры защит в зависимости от требований, самостоятельно принимать решения диспетчерам о количестве и характере необходимых действий в случае возникновения каких-либо неполадок в сети или сигналов защит[16].

Автоматизация различных сфер инфраструктуры посредством внедрения различной микропроцессорной релейной защиты весьма эффективно и

продуктивно способно повлиять на технологический процесс любого вида, т.к. при это обеспечивается максимальный автоматический контроль за параметрами системы и её состоянием, своевременное реагирование на различные повреждения и быстрое их устранение.

Заключение

Современное развитие релейной защиты, благодаря стремительному техническому прогрессу, всё дальше уходит от электромеханических реле, отдавая предпочтение микропроцессорной электронике. Такое стремительное развитие этого направления связано с постоянно идущим вперед техническим и технологическим прогрессом, который все глубже проникает в нашу жизнь.

В электроэнергетике, вследствие необходимости модернизации, микропроцессорная техника и, в частности, блоки релейной защиты разных серий и марок всё чаще заменяют устаревшие системы электромеханических реле. Их преимущества весьма очевидны и наглядны, что позволяет внедрять их в самых различных областях электроэнергетики, от ячеек до диспетчерских пунктов. Без релейной защиты невозможно представить ни один технологический объект XXI века, который помимо средств автоматики и компьютеров всё чаще обеспечивается автономно работающей релейной защитой, которая позволяет сокращать количество рабочего персонала и способствует автоматизации технологических процессов. Возможность установки микропроцессорных блоков релейной защиты различных типов и организация их взаимосвязи представляет сложную, но важную и принципиальную задачу в достижении наилучших результатов в безопасности и защите оборудования разного типа и назначения, взаимосвязи и правильной совместной работы больших комплексов электроэнергетики, начиная от мощных электростанций и заканчивая комплектными трансформаторными подстанциями для городского электроснабжения.

Грамотные технические решения в области релейной защиты способны внести значительный вклад в обеспечение безопасности и повышения надежности систем электроснабжения разного уровня и вида. Поэтому разработки в этом направлении являются важными и ценными, а их результаты

способны обеспечить максимальную безопасность рабочего персонала и оборудования.

Список используемых источников

1. ГОСТ Р-55438-2013. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Релейная защита и автоматика. Взаимодействие субъектов электроэнергетики и потребителей электрической энергии при создании (модернизации) и эксплуатации. Общие требования [Текст]. – Москва: Стандартинформ, 2013. – 25 с.
2. ГОСТ 12.2.007.2-2014. Трансформаторы силовые и реакторы электрические [Текст]. – Москва: Издательство стандартов, 2014. – 5 с.
3. СТО 56947007-29.240.10.028-2014. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС) [Текст]. – Москва: Издательство стандартов, 2014. – 96 с.
4. СТО 56947007-29.240.30.010-2016. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения. [Текст]. – Москва: Издательство стандартов, 2015. – 96 с.
5. Морозова Н.Ю. Электротехника и электроника [Текст] / Н.Ю. Морозова. – Москва: Академия, 2013. – 288 с.
6. Неклепаев Б.Н. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. [Текст] Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков. – Москва: НЦ ЭНАС, 2016. – 163 с.
7. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник для среднего профессионального образования. Л.Д. Рожкова, Л.К. Карнеева, Т.В. Чиркова. [Текст] – Москва: Издательский центр «Академия», 2015. – 448 с.
8. Гусев В.Г., Гусев Ю.М., Электроника и микропроцессорная техника, В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев, [Текст] - Москва, 2013. - 255 с.
9. Белов А.В., Создаём устройства на микроконтроллерах, А.В. Белов, [Текст] - Москва, 2017. - 304 с.

10. Корякин – Черняк С.Л., Справочник - Зарубежные микросхемы, транзисторы, диоды., С.Л. Корякин – Черняк, [Текст] - Москва, 2015. - 688 с.
11. Иванов В., Мартынова И., Электроника и микропроцессорная техника. Учебник., - В. Иванов, И. Мартынова, [Текст] - Москва, 2016.- 456 с.
12. Беляев А.В. Вторичная коммутация в распределительных устройствах оснащенных цифровыми РЗА., А.В. Беляев [Текст] – Москва, 2015. – 325 с.
13. Микропроцессорные устройства защиты «Сириус-Т» - Руководство по эксплуатации БПВА.656122.041 - 2015 РЭ. [Текст] – Москва: НЦ ЭНАС, 2015. - 48 с.
14. Микропроцессорные устройства защиты «Сириус-2В» - Руководство по эксплуатации БПВА.656122.041 - 2015 РЭ. [Текст] – Москва: НЦ ЭНАС, 2015. - 54 с.
15. Bruk K., Scooter B., Bradley D., Digital models of modern electrical substations, International journal of engeneering [Text], K. Bruk., B.Scooter, D.Bradley, 110-120, 2016.
16. Fock N., Roberts N., Sale C., Philosophical Transactions A, Digital signal processing in electric power industry [Text], N. Fock, N. Roberts, C.Sale, Vol.3, №7, 1126-1128, 2015.
17. Socks T., Scrat N., Methods for calculating the parameters of electric power systems, International journal of engeneering of Electric Power Quality Analysis [Text], T. Socks, N. Scrat, 175-180, 2017.
18. Assante L., Omaha U., Crebbs T., Modeling of power supply systems using various computer programs, International journal of engeneering of Electric Power Quality Analysis [Text], L. Assante, U. Omaha U, T. Crebbs, 25-29, 2016.
19. Mor K., Taube S., Mокk H., Philosophical Transactions A, Selection of equipment of stations of different voltage classes [Text] K. Mor, S. Taube, H. Mокk, 36-45, 2017.

20. Caan B, James F, Cutinio G, Philosophical Transactions A, Problems of choosing power equipment for various schemes [Text] B. Caan, F. James, G. Cutinio 1100-1112, 2016.