

Для автотрансформаторов основные методы контроля – испытание изоляционного масла и анализ растворенных в нем газов [1]. Поддерживая на необходимом уровне показатели масла и его влагосодержание, можно существенно замедлить процессы общего старения изоляции. Наличие местных дефектов магнитопровода и изоляции, а также перегретых зон выявляется при анализе растворенных газов.

Таким образом, контроль под рабочим напряжением обеспечивает возможность получения данных об отклонении состояния оборудования от нормы. Оценку работоспособности оборудования следует проводить на основании всего комплекса данных, в том числе полученных и при испытаниях отключенного оборудования.

### Литература

1. Степанчук, К.Ф. Контроль и диагностика изоляции машин и аппаратов: Учебно-метод. пособие для студ. спец. 10.01 и 10.04. – Минск: БГПА, 1995. – 72 с.
2. Сви, П.М. Контроль состояния оборудования высокого напряжения без вывода его из работы // Электрические станции. – 1983. – № 5. – С. 49–51.

УДК 621.316.925

## ЦИФРОВЫЕ ТЕРМИНАЛЫ ЗАЩИТ

*Радюк В.В., Пашкович Н.П.*

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент ТИШЕЧКИН А.А.

На сегодняшний день энергетика является одной из наиболее быстро развивающихся отраслей промышленности. Это обусловлено осваиванием новых энергоемких методов производства, возросшим энергопотреблением среди населения, урбанизацией, электрификацией транспорта и т. д.

Износ оборудования на энергетических объектах Республики Беларусь составляет более 70 %, что, безусловно, много для стратегической отрасли промышленности. Высокая степень износа основных фондов энергетике является причиной перебоев в энергоснабжении потребителей, что, в свою очередь, влечет миллиардные потери финансовых средств. На сегодняшний день проводится комплекс мероприятий по повышению надежности электроснабжения. В программу развития отрасли на ближайшие несколько лет входит, в частности, замена отработавших свой срок эксплуатации электрических аппаратов, реконструкция подстанций, линий, электростанций и т. д.

В рамках данной программы предполагается сотрудничество, как с местными производителями электротехнической продукции, так и с зарубежными, такими, как ALSTOM, ABB, SIEMENS, Механотроника, General Electric и т. д.

Для обеспечения надежного электроснабжения потребителей необходима надежная защита электроустановок.

В настоящее время во всем мире на смену громоздким и устаревшим электромеханическим средствам РЗА пришли цифровые терминалы защит. Организация защиты объекта с их помощью стала намного легче. Так, один терминал может включать в себя несколько основных защит шин, резервную защиту шин, защиту трансформатора и несколько основных и резервных защит присоединения вкуче с различными средствами противоаварийной автоматики. При этом, его габариты несоизмеримо меньше габаритов шкафов аналогичной электромеханической и даже микроэлектронной защиты.

Любой цифровой терминал включает в себя модуль ЧМИ (человеко-машинного интерфейса). Это удобное средство «общения» оператора и терминала, может быть выполнено либо на простых LED (Light-emission diode, светодиод), либо с помощью высококачественных полноцветных ЖКИ устройствах. Кроме того, такие терминалы об-

ладают поистине великолепными коммуникационными возможностями. Кроме локального ЧМИ, возможна организация дистанционного мониторинга и управления защитой, учет и регистрация. «Общение» устройств нижнего уровня (терминал) с устройствами верхнего уровня (АРМ оператора) происходит по оптическому волокну, либо по витой паре (метод используется довольно редко) с использованием протоколов LON (Local Operation Network, используются контроллеры, построенные на базе чипа Neuron), широко известного протокола ModBUS и т. д.

Стоит отметить, с помощью данной технологии можно связывать большое количество терминалов РЗА и АРМов с использованием сетевых концентраторов. Данная технология очень похожа на технологию организации обыкновенных компьютерных вычислительных сетей (LAN, Local Area Network). Как правило, сети РЗА строятся по топологии «звезда». На рисунке 1 приведен пример подключения одного физического устройства к АРМ, а на рисунке 2 показано, как организуются защиты подстанции с большим количеством присоединений.

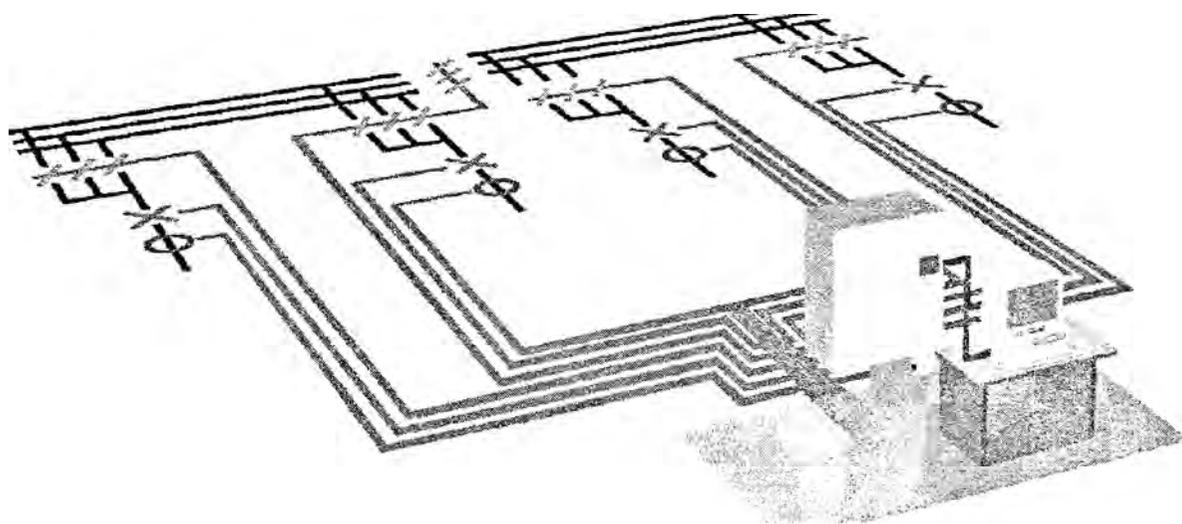


Рисунок 1. Связь терминала и АРМ

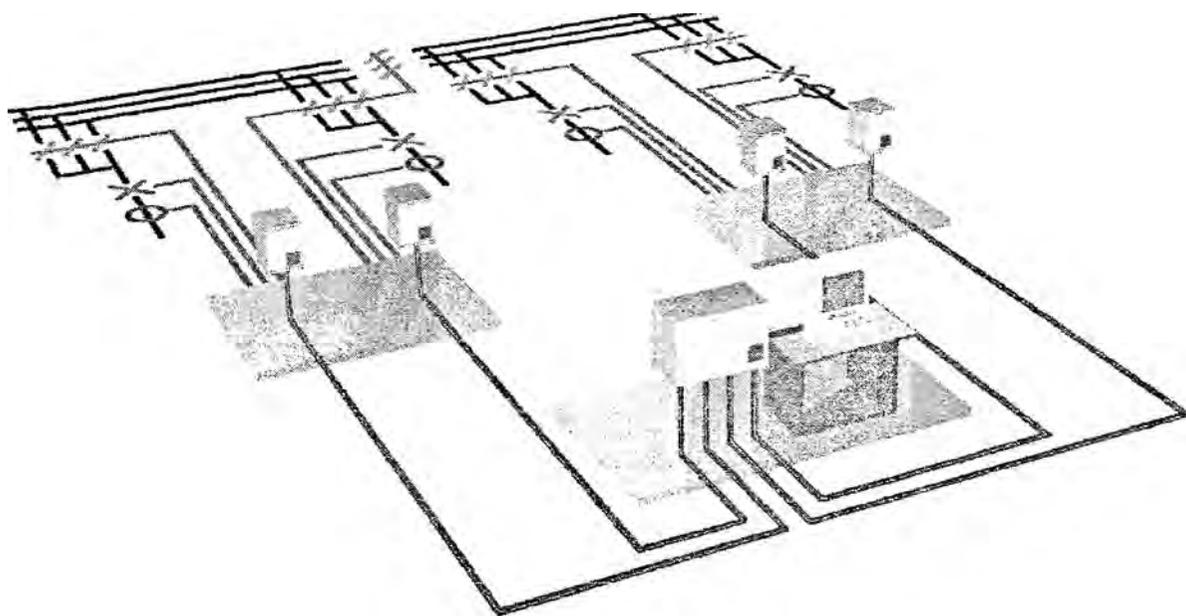


Рисунок 2. Принцип построения цифровых защит, использующих иерархию «ведомый-ведущий»

Так, на каждое присоединение предусматривается свой терминал-модуль нижнего уровня, который посредством оптоволокну, связан с терминалом верхнего уровня, являющимся сервером, обрабатывающим сигналы модулей нижнего уровня.

Модуль верхнего уровня связан также с АРМ релейщика. Данная структура позволяет обеспечить гибкость и полную независимость схемы РЗА крупной подстанции. В модуль нижнего уровня могут входить, например, дистанционная защита линии, резервная МТЗ линии, защита шин, высокочувствительная защита от замыканий на землю, функции пофазного и трехфазного АПВ, УРОВ, контроля цепей ТН и многое другое. Примером такой защиты может служить REB500sys от АВВ.

Организация коммуникаций с комплектами защит противоположенного конца линии и устройствами телеметрии может осуществляться как с помощью традиционного ВЧ-канала с использованием ВЧ-аппаратуры, так и при помощи новейших оптоволоконных сетей или выделенного радиотракта. Стоит отметить, что большинство защит линии используют функцию ВЧ-ускорения для обеспечения абсолютной селективности и быстродействия.

Среди прочих достоинств цифровых терминалов следует отметить простоту наладки и монтажа данных устройств. Как правило, логика современных цифровых терминалов конфигурируется посредством интуитивно-понятной компьютерной программы, суть которой сводится к организации определенных связей между функциональными блоками терминала и между блоками и входами-выходами. Таким образом, не надо модернизировать аппаратную часть защиты для добавления/удаления той или иной функции защиты. В большинстве случаев достаточно приобрести у производителя лицензию на использование дополнительной защитной функции, затем загрузить программное обеспечение в подключенном к терминалу персональному компьютеру (ПК) и с помощью мыши, провести на экране несколько линий-связей, соединяя логические входы и выходы существующих и добавленной защиты. Нет необходимости в дорогостоящих монтажных работах, надежность устройства не понижается вследствие усложнения схемотехники.

Самый значимый плюс цифровых терминалов – точность. Для обработки данных, полученных от измерительных органов, используются АЦП с высокой частотой дискретизации, что позволяет распознавать высшие гармоники в токах и напряжениях и усовершенствовать алгоритмы работы защиты, при этом повышая чувствительность и снижая риск избыточности срабатывания. Оцифрованные значения поступают в блок CPU, где подлежат обработке согласно запрограммированного алгоритма с использованием уставок, заданных пользователем и хранящимися в ОЗУ терминала. Как правило, для обработки данных и реализации алгоритма защит, в современных терминалах используются процессоры с тактовой частотой 200–800 МГц, что, безусловно, ниже, чем в современных компьютерах. Однако следует учитывать, что процессор терминала не участвует в обработке графической информации, в решении задач операционной системы и т. д. Кроме того, архитектура построения схемы взаимодействия процессора и других внутренних устройств отличается от архитектуры обыкновенных пользовательских ПК. Просуммировав все эти факторы, получаем значительное быстродействие терминала даже с относительно маломощным по сегодняшним меркам процессором. Наряду с сигнальными аналоговыми входами терминала для измерения системных параметров, в модуле имеется ряд дискретных оптических входов. Они предназначены для получения логических сигналов с других устройств РЗА, а также для получения команд ВЧ-ускорения.

В качестве выходов используются сигнальные реле и/или оптические дискретные выходы.

Итак, основные достоинства цифровых защит перед электромеханическими:

- высокая степень интеграции;
- быстродействие;
- надежность;
- простота конфигурирования и наладки;
- легкость последующей модернизации;
- широкие коммуникационные возможности.

Здесь приведены основные, наиболее типичные и общие преимущества цифровых защит. Каждый производитель имеет ряд определенных наработок и патентов в этой области, что позволяет при проектировании плана реконструкции энергетического объекта задействовать защиты того или иного производителя, которая наиболее лучшим образом отвечала бы условиям, поставленным перед инженерами по автоматизации.

### Литература

1. Network Protection and Automation. Engineer's guide. – Alstom, 2004. – 398 p.
2. Инструкция по эксплуатации и выбору уставок терминала дифференциальной защиты трансформатора RET 316. – ABB, 2004. – 133 с.
3. REB500sys Operation Manual. Busbar Protection With Integrated BFP. – ABB, 2004. – 1032 p.
4. Государственная комплексная программа модернизации основных производственных фондов белорусской энергетической системы, энергосбережения и увеличения доли использования в республике собственных топливно-энергетических ресурсов в 2006–2010 годах: утверждена Указом Президента Республики Беларусь № 399 от 25.08.2005. – Минск, 2005.

УДК 621.3.064.1:006.354

## МЕТОДИКА РАСЧЕТОВ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТЯХ ДО 1 КВ

*Терещук А.В., Ледак И.Я., Горячко М.Г.*  
Научный руководитель – доцент БОБКО Н.Н.

Расчет тока КЗ в сети переменного тока напряжением до 1 кВ выполняется, в основном, для следующих целей [1]:

- для выбора электрооборудования по условиям КЗ (отключающая способность электрических аппаратов, термическая и электродинамическая стойкость токоведущих частей);
- для выбора уставок защитной аппаратуры сети, проверки ее чувствительности и селективности.

Для выбора электрооборудования по условиям КЗ подлежат определению начальное значение периодической составляющей тока КЗ, апериодическая составляющая тока КЗ, ударный ток КЗ и действующее значение периодической составляющей тока КЗ в произвольный момент времени после КЗ.

Для выбора параметров защитной аппаратуры сети и проверки ее селективной работы определению подлежат максимальные и минимальные значения периодической составляющей тока в месте КЗ в начальный и произвольный моменты времени вплоть до расчетного времени размыкания поврежденной цепи.

В связи с этим был разработан межгосударственный стандарт ГОСТ 28249-93 «Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ» [1].

Сети переменного тока напряжением до 1 кВ выполняются с глухим заземлением нейтрали. В этих сетях рассчитываются трехфазные, двухфазные и однофазные КЗ.