

УДК 621.316.925.1

МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ЗАЩИТА СИЛОВЫХ ПОНИЖАЮЩИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Докт. техн. наук, проф. РОМАНИЮК Ф. А., инж. КОРОЛЕВ С. П.,
магистр ЛОМАН М. С.

*Белорусский национальный технический университет,
РУП «Белэлектромонтажналадка»*

Согласно ПУЭ [1] понижающие трансформаторы должны снабжаться защитами от:

- многофазных замыканий в обмотках и на выводах;
- однофазных замыканий на землю в обмотке и на выводах, присоединенных к сети с глухозаземленной нейтралью;
- витковых замыканий в обмотках;
- токов в обмотках, обусловленных внешними КЗ;
- токов в обмотках, обусловленных перегрузкой;
- понижения уровня масла;
- однофазных замыканий на землю в сетях 3–10 кВ с изолированной нейтралью, если трансформатор питает сеть, в которой отключение однофазных замыканий на землю необходимо по требованиям безопасности.

Современные защиты выполняются на базе средств микропроцессорной техники, которые имеют следующие преимущества перед устаревшей электромеханической базой:

- 1) высокую точность измерений, следовательно, большую чувствительность;
- 2) системы фиксации нормальных и аварийных событий (журналов аварий, встроенных осциллографов) позволяют детально расследовать аварии, устанавливать причину их возникновения, принимать меры для предупреждения подобных аварий в будущем;
- 3) устройство микропроцессорной защиты может быть использовано для дистанционного контроля и управления защищаемым объектом (устройство микропроцессорной защиты как часть системы АСУ ТП). Таким образом, снижаются материальные затраты на выезды оперативных бригад;
- 4) высокую надежность работы за счет системы непрерывной программной и аппаратной самодиагностики, высокую ремонтпригодность, что приводит к снижению затрат на профилактический контроль и ремонт системы РЗА.

В настоящее время в Белорусской энергосистеме применяются микро-процессорные защиты трансформаторов зарубежных фирм (ABB, Areva, Siemens). Терминалы защиты трансформатора данных производителей (RET670 ABB, 7UT633 Siemens, Micom P633 Areva) выполняют следующие функции:

- дифференциальную токовую защиту с торможением;
- дифференциальную токовую защиту без торможения;
- дифференциальную защиту нулевой последовательности;
- дифференциальную защиту по обратной последовательности (только RET670);
- высокоимпедансную дифференциальную токовую защиту;
- максимальные токовые защиты;
- токовые защиты нулевой последовательности;
- защиту от повышения и понижения напряжения;
- защиту от понижения и повышения частоты;
- защиту от перевозбуждения железа трансформатора на базе измерения отношения напряжения к частоте U/F ;
- защиту от перегрузки по тепловой модели;
- контроль измерительных цепей;
- резервирование отказа выключателя (УРОВ);
- автоматику РПН трансформатора;
- свободно программируемую логику;
- логику управления выключателем.

Для защиты понижающих трансформаторов данные устройства имеют избыточные функции (защита от перегрузки по тепловой модели, от перевозбуждения на базе измерения отношения U/F , высокоимпедансная дифференциальная защита, дифференциальная защита по обратной последовательности и др.), что негативно сказывается на стоимости за счет как программной, так и аппаратной составляющих. Часть логических функций устанавливается только при дополнительном заказе, однако в любом случае аппаратная платформа рассчитана на полный комплект функций.

Ряд специалистов [2, 3] отмечают следующие недостатки зарубежных терминалов:

- неоправданную техническую и информационную избыточность. Например, для устройств серии SIPROTEC компании Siemens требуется вводить около 500 параметров (уставок), не считая внесения изменений в матрицу сигналов, причем у каждого из сигналов есть свойства, влияющие на работу устройства (в итоге распечатанная из программного обеспечения DIGSI матрица сигналов занимает около 100 страниц текста). Учитывая необходимость составления заданий на наладку и протоколов проверки терминалов, где должны указываться все параметры настройки, объем документации становится неподъемным. Большой объем вводимой информации усложняет настройку. Информационная избыточность повышает вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором. Техническая избыточность требует для работы с терминалом специалистов высокой квалификации;
- большой объем технических описаний по рассматриваемым терминалам – от 600 до 1500 страниц;
- некачественный перевод на русский язык технических описаний и интерфейса устройств;
- сложные и неясные методики выбора уставок.

Важной задачей для Белорусской энергетики является организация производства импортозамещающей продукции, ориентированной на потребности внутреннего рынка. Разработка недорогой микропроцессорной защиты понижающих трансформаторов позволит:

- сохранить преемственность традиций отечественной релейной защиты. Создать устройство с минимумом необходимых настроек, что упростит проектирование, наладку и эксплуатацию, а значит, уменьшит вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором;
- свести к минимуму затраты на обучение и подготовку персонала к работе с данными устройствами;
- экономить финансовые ресурсы (в том числе валютные) за счет разницы в стоимости с аналогами и сохранять деньги внутри страны в виде налоговых выплат и заработной платы.

В 2010 г. РУП «Белэлектромонтажналадка» освоил выпуск микропроцессорного терминала защит понижающего трансформатора МР801. Устройство прошло комплексные лабораторные, а также натурные испытания на ПС 110 кВ «Синявка» филиала РУП «Минскэнерго» «Столбцовские электрические сети». Выбор уставок осуществлялся по специально разработанной методике. Испытания показали, что дифференциальная защита МР801 надежно определяет внутренние повреждения, правильно отстраивается от внешних коротких замыканий, а также от броска тока намагничивания. В настоящее время МР801 успешно эксплуатируется в ряде энергосистем Беларуси.

С учетом требований ПУЭ и опыта зарубежных производителей в терминале МР801 был предусмотрен следующий набор функций:

- дифференциальная токовая защита с торможением;
- дифференциальная токовая защита (отсечка) без торможения;
- три ступени дифференциальной защиты нулевой последовательности;
- восемь ступеней защиты от повышения тока;
- шесть ступеней защиты от повышения тока нулевой или обратной последовательности;
- 16 внешних защит, контролируемых внешними сигналами;
- автоматика АВР, АПВ трансформатора;
- автоматика контроля и управления выключателем одной из сторон трансформатора с функцией УРОВ;
- свободно программируемая логика.

Функциональная структура терминала МР801 представлена на рис. 1. Терминал МР801 имеет 16 аналоговых и 26 дискретных входов. Входные сигналы тока и напряжения преобразуются на входных датчиках в сигналы напряжения, которые после аналоговой фильтрации преобразуются в цифровой сигнал на 16-разрядном АЦП. В МР801 применены аналоговые фильтры 2-го порядка с частотой среза 1 кГц.

Для обеспечения необходимой точности измерений и скорости обработки сигнала выбрана частота дискретизации 20 выборок на период (1 кГц). Ортогональные составляющие действующих значений аналоговых сигналов получают цифровой обработкой по алгоритму Герцеля (частный случай быстрого преобразования Фурье). Расчет действующего значения осуществляется в 10-миллисекундном цикле на основе 20 предыдущих

выборок. В результате расчетов формируются массивы данных токов статор трансформатора, дифференциального (частоты 50; 100; 250 Гц), тормозного токов, а также фазных и линейных напряжений.

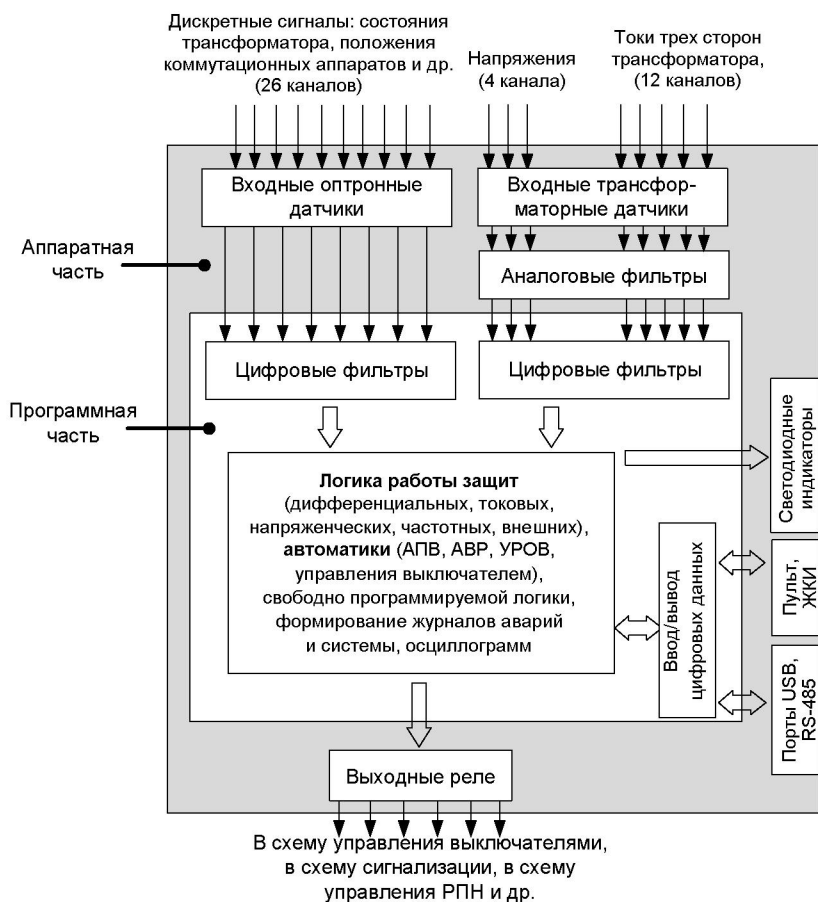


Рис. 1. Структура терминала MP801

Обработка дискретных входов производится следующим образом: логическая единица формируется при наличии сигнала выше порогового значения в течение 6 мс.

На основе полученных данных реализуется работа дифференциальных, максимальных токовых защит, защит по току нулевой и обратной последовательностей, защит по напряжению и частоте, автоматики и свободно программируемой логики.

Результаты работы логики защит и автоматики могут быть выведены на выходные реле, светодиодные индикаторы, а также выданы в порты связи: RS-485 (с верхним уровнем АСУ ТП) и USB (применяется для конфигурирования и наладки MP801).

Настройка устройства MP801 может быть произведена с пульта устройства, а также при помощи программного обеспечения (ПО) «УниКон» через порты связи USB и RS-485.

Для контроля нормальных и аварийных событий MP801 ведет журналы системы и аварий, формирует осциллограммы аварийных процессов.

Дифференциальные защиты. Многолетний опыт эксплуатации свидетельствует о том, что дифференциальная ступень обеспечивает надежную защиту трансформатора от внутренних повреждений. Дифференциальная защита имеет абсолютную селективность и позволяет отключать внутренние повреждения без выдержки времени. Однако существуют режимы, в которых наличие дифференциального тока не связано с внутренними повреждениями:

- режим броска намагничивающего тока (БНТ) при включении трансформатора, работающего на холостом ходу под напряжением. МР801 имеет возможность отстройки от БНТ по второй гармонике дифтока;
- режим насыщения трансформаторов тока (ТТ) при внешних повреждениях. Для правильной работы в этом режиме МР801 имеет тормозную характеристику с двумя наклонами и блокировку по второй гармонике дифтока;
- режим «перевозбуждения» железа трансформатора, от которого МР801 отстраивается по пятой гармонике дифтока;
- переключение ступеней РПН (небаланс при операциях с РПН учитывается при расчете уставок МР801).

Если величина дифференциального тока настолько велика, что исключается возможность внешнего повреждения, трансформатор может быть отключен мгновенно без учета торможения. Для этого предусматривается ступень быстрого отключения – дифференциальная отсечка. Ступень может оценивать как действующие, так и мгновенные величины. Обработка мгновенного значения обеспечивает быстрое отключение в случае, когда форма тока сильно искажена из-за насыщения ТТ.

Дифференциальная защита нулевой последовательности. При однофазных замыканиях на землю вблизи заземленной нейтрали дифференциальный ток возрастает незначительно и может не превысить уставку основной дифференциальной ступени. То есть у основной дифференциальной ступени при определении однофазных замыканий на землю есть мертвая зона, составляющая до 10 % обмотки. Для обеспечения защиты данной зоны предназначена дифференциальная ступень нулевой последовательности $I_{д0}$.

Защита $I_{д0}$ определяет замыкания на землю в обмотках трансформатора, имеющих схему соединения «звезда» с заземлением нейтрали. Необходимым условием работы этой защиты является установка ТТ в нейтрали и трех ТТ в фазах. Принцип работы данной ступени основывается на сравнении токов нулевой последовательности на входе и выходе из обмотки.

Ступени от повышения тока. Микропроцессорный терминал защит трансформатора МР801 включает ступени от повышения тока, которые могут быть использованы для реализации:

- защиты от сверхтоков внешних коротких замыканий (до трех ступеней);
- защиты от перегрузки трансформатора;
- пуска обдува (до двух ступеней);
- блокировки управления РПН трансформатора по току;
- реализации УРОВ и др.

С учетом всех возможных комбинаций для реализации комплекта защит трансформатора может понадобиться до восьми токовых защит. Для

гибкости конфигурирования ступени от повышения тока могут быть привязаны к любой стороне трансформатора.

Внешние защиты. Достоинством применения цифрового терминала является возможность объединения и сбора информации о защищаемом объекте в одном устройстве. Такую возможность обеспечивают внешние защиты, контролирующие состояние трансформатора по внешним датчикам:

- газовой защиты с действием на отключение и сигнализацию;
- газовой защиты РПН с действием на отключение;
- температуры с действием на пуск обдува и на отключение;
- дуговой защиты РУ низкого и среднего напряжения.

Свободно программируемая логика (СПЛ) – логика, последовательность действия которой определяется пользователем. В МР801 СПЛ выполняется на основе логических блоков (элементов «И», «ИЛИ», «НЕ», триггеров, таймеров, элементов сравнения, сложения, умножения аналоговых величин и др.). Число блоков, их тип, параметры и связи между ними назначает пользователь. Конфигурирование СПЛ выполняет в графическом редакторе ПО «УниКон».

Достоинством СПЛ является возможность адаптировать функции терминала под нужды практически любого объекта защиты. На СПЛ МР801 можно реализовать АВР, управление автоматикой РПН, автоматику управления двухтрансформаторной подстанцией и др.

ВЫВОДЫ

МР801 имеет весь необходимый набор функций для реализации основной и резервной защиты и автоматики понижающего трансформатора. Цена устройства в два и более раз ниже зарубежных аналогов.

Для МР801 разработан интуитивно понятный интерфейс с минимумом необходимых настроек. Специалисты-расчетчики релейных служб особо отмечают доступность методики расчета уставок.

Результаты проведенных лабораторных и натурных испытаний устройства дифференциальной защиты трансформатора МР801 подтвердили надежную работу при внутренних повреждениях, отсутствие ложной работы при бросках тока намагничивания и сквозных КЗ с насыщением трансформаторов тока.

ЛИТЕРАТУРА

1. П р а в и л а устройств электроустановок. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.
2. Б е л я е в, А. Цифровые терминалы РЗА: опыт адаптации к российским условиям / А. Беляев, В. Широков, А. Емельянец // Новости электротехники. – 2007. – № 1 (43).
3. Е м е л ь я н ц е в, А. Семинар «Актуальные проблемы РЗА и АСУ Э» / А. Емельянец // Новости электротехники. – 2008. – № 3 (51).

Представлена кафедрой
электрических станций

Поступила 29.06.2011