

ЦИФРОВЫЕ БЛОКИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ СЕРИИ БМРЗ

О.Г. Захаров, В.Г. Езерский

НТЦ «Механотроника» был организован на базе крупного объединения Минприбора – НПО «Электронмаш», что позволило не только использовать достоинства крупного предприятия (многолетний опыт, ответственное и скрупулезное отношение к таким аспектам производственной деятельности, как нормативно-техническое сопровождение изделий, документооборот, надежность в долгосрочных договорных отношениях, надежный сервис), но и объединить их с гибкой технической и экономической политикой, высоким интеллектуальным потенциалом и производительностью труда, характерными для вновь созданных предприятий.

Правильный выбор перспективного направления развития – самостоятельная разработка и изготовление цифровых устройств релейной защиты и автоматики электрических присоединений напряжением от 0,4 до 220 кВ – позволил НТЦ «Механотроника» в короткие сроки стать ведущим отечественным предприятием в этой области техники. По инициативе и при непосредственном участии НТЦ «Механотроника» были разработаны первые технические требования к отечественным устройствам цифровой релейной защиты и автоматики.

Особенность цифровых устройств, разработанных НТЦ «Механотроника», – полное соответствие российским стандартам, требованиям ПУЭ и гибкая программно-аппаратная конфигурация, позволяющая с минимальными затратами адаптировать их к установке в любой ячейке КРУ, КСО, КТП. Поэтому выпускаемая НТЦ «Механотроника» продукция стала необходимой для РАО «ЕЭС России», предприятий нефтегазового комплекса, тепловых и атомных электростанций, тяговых подстанций метрополитена и железных дорог, промышленных и коммунальных предприятий.

Основу производственной программы НТЦ «Механотроника» составляют цифровые устройства релейной защиты серии БМРЗ, отличающиеся высокой надежностью и не требующие специального технического обслуживания в период эксплуатации.

Известно [12,13,15], что долгое время электромеханические реле, а затем реле на полупроводниковой элементной базе и даже реле на базе операционных усилителей строились для выполнения одного, максимум двух алгоритмов защиты или автоматики энергообъекта. Более того, действующие инструкции по учету и оценке работы продолжают ориентировать на реле, выполняющие один алгоритм защиты или автоматики [4,5].

Такой подход нашел свое отражение и в терминологии, используемой до сих пор. Например, отдельное устройство резервирования в случае отказа выключателей (УРОВ), трансформировалось в один из алгоритмов современного цифрового устройства защиты и автоматики, называемый аналогично ранее применявшемуся устройству.

При разработке первых отечественных цифровых устройств релейной защиты серии БМРЗ был выбран иной путь, позволяющий выпускать не отдельные реле, а *многофункциональные* терминалы защит и автоматики [8].

Структурная схема устройств серии БМРЗ представлена на рис.1. Известно, что пусковые органы электромеханических реле подключались непосредственно к измерительным трансформаторам тока и напряжения [12] и не требовали отдельных источников питания для своей исполнительной части. Для надежной работы цифровых устройств релейной защиты и автоматики потребовалась разработка специальных источников питания (см. БП на рис. 1), обеспечивающих устойчивую работу процессорной части устройств серии БМРЗ при:

- коротких замыканиях в цепях оперативного питания;
- перерывах питания большой продолжительности;
- больших пульсациях выпрямленного напряжения.

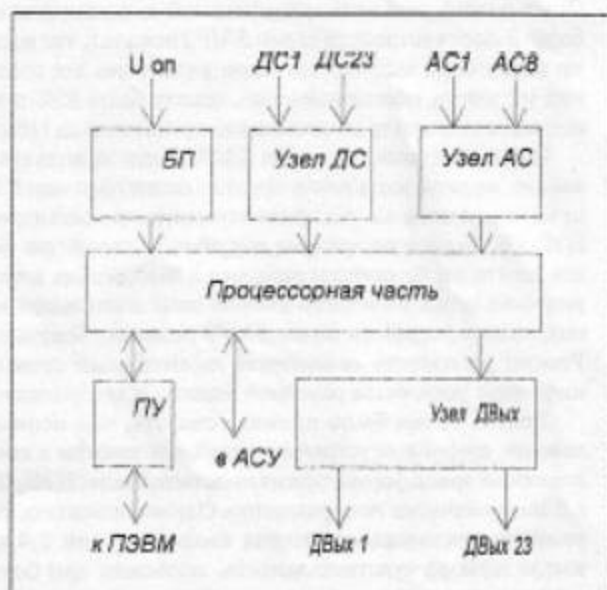


Рис. 1. Структурная схема цифровых устройств релейной защиты и автоматики серии БМРЗ

Разработка таких источников питания завершилась не только созданием блока питания, применяемого теперь во всех цифровых устройствах, выпускаемых НТЦ «Механотроника», но и формулированием общих технических требований к ним. Эти требования в настоящее время являются общепризнанными и на них ориентируются другие разработчики цифровых устройств релейной защиты.

Если разрабатываемые ранее на базе полупроводниковых элементов и операционных усилителей реле могли реализовывать один, много — два алгоритма защиты и автоматики [9], то устройства серии *БМРЗ* способны выполнять десять и более алгоритмов защиты и автоматики. Обусловлено это отличие тем, что информация о текущих параметрах защищаемого присоединения (двигателя, воздушной или кабельной линии, трансформатора), поступающая от трансформаторов тока и напряжения в виде аналоговых сигналов *АС1* — *АС8*, сначала преобразуется в цифровую форму, а затем уже в цифровом виде используется в различных алгоритмах защиты и автоматики, реализуемых процессорной частью устройства (см. рис. 1).

Аналогичным образом преобразуются и дискретные входные сигналы *ДС1* — *ДС23*.

Выходные дискретные сигналы формируются как выходные сигналы алгоритмов, обрабатывающих информацию, поступающую по аналоговым и дискретным входам, а также от системы самодиагностики. Использование встроенной системы самодиагностики принципиальным образом изменяет процесс поиска дефектов в схемах релейной защиты и автоматики [3] и обеспечивает высокую ремонтпригодность цифровых блоков релейной защиты.

Такой подход позволил создать единую аппаратную платформу, допускающую выполнение различных модификаций устройств в соответствии с требованиями заказчика. В настоящее время серийно выпускается более двухсот модификаций устройств серии *БМРЗ*. Опыт разработки этих модификаций и эксплуатации более 3 тысяч устройств серии *БМРЗ* показал, что восьми аналоговых входных сигналов достаточно для создания устройства, обеспечивающих защиту более 95% присоединений в электроустановках напряжением до 110 кВ.

Вначале устройства серии *БМРЗ* были использованы для защиты достаточно простых по алгоритмам РЗА присоединений на распределительных подстанциях 6(10) кВ. Первые по времени разработки устройства более десяти лет безотказно работают в Выборгских электрических сетях. Во многом именно опыт длительной эксплуатации устройств серии *БМРЗ* позволил впервые в России установить *семилетний* гарантийный срок на цифровые устройства релейной защиты и автоматики.

Долгое время было принято считать, что использование цифровых устройств релейной защиты в комплектных трансформаторных подстанциях на 6(10)/0,4 кВ экономически неоправданно. Однако известно, что ранее выпускавшаяся защита вводов секций 0,4 кВ имела низкую чувствительность, особенно при большой доле двигательной нагрузки [8,9], и не могла обеспечить надежного резервирования отходящих присо-

единений. Этот дефект не мог быть устранен при использовании любых электромеханических или полупроводниковых реле защиты. Поэтому вполне естественным оказался выбор устройства серии *БМРЗ* в качестве основы для разработки по заказу ОАО «Газпром» защит для КТП 6(10)/0,4 кВ. Принципиально новым элементом таких защит для комплектных трансформаторных подстанций стал алгоритм *блокировки максимальной токовой защиты (МТЗ)*, существенно увеличивший чувствительность *МТЗ* при наличии двигательной нагрузки на секции.

Применение в КТП устройств серии *БМРЗ* позволило также реализовать *оригинальный* двухступенчатый алгоритм дальнего резервирования (*ДР*) при отказах защит и автоматики отходящих линий. Первая ступень этого алгоритма (с независимой времятоковой характеристикой) работает при КЗ в зоне действия токовых отсечек отходящих линий. Вторая ступень этого алгоритма (с обратозависимой времятоковой характеристикой) работает при КЗ в зоне действия зависимых элементов автоматов отходящих линий. Такой алгоритм *ДР* исключает ложное срабатывание от токов подпитки, возникающих при КЗ в сети высокого напряжения. Естественно, что устройства *БМРЗ-0,4 АВ* и *БМРЗ-0,4 ВВ*, применяемые для КТП выполняли и весь набор защит и автоматики, предписываемый главой 3.2 ПУЭ, в том числе восстановление нормальной работы путем успешного автоматического повторного включения *АПВ* и автоматического включения резерва *АВР*.

Первые КТП с устройствами *БМРЗ-0,4 АВ* и *БМРЗ-0,4 ВВ* были выпущены на ОАО «Новая ЭРА», (Санкт-Петербург). В настоящее время комплект защит на основе устройств серии *БМРЗ* применяют для серийных трансформаторных подстанций КТП 6(10)/0,4 кВ Электротехнический завод им. Козлова (г. Минск), Самарский завод «Электроштит», ОАО «Электроуль» (Санкт-Петербург), ООО «Элтерм» (г. Псков) и многие другие предприятия, серийно выпускающие КТП для электростанций различного назначения, компрессорных станций ОАО «Газпром» и промышленных предприятий.

Расширение области применения мощных синхронных и асинхронных двигателей, работающих от сети напряжением свыше 1 кВ, потребовало создания современных цифровых устройств защиты, реализующих все алгоритмы, предусмотренные в главе 5.3 ПУЭ (п.п. 5.3.43 — 5.3.54) [1]. Учитывая, что подавляющее число аварий таких двигателей вызвано прежде всего тепловыми перегрузками изоляции, стандартные алгоритмы защиты в блоках двигательной серии *БМРЗ* (защита от многофазных замыканий, защита от замыканий на землю, защита от перегрузки, дифференциальная защита, защита синхронных двигателей от асинхронного режима и др.), были дополнены алгоритмами защиты от работы при блокировке ротора и затынутого пуска, от перегрева при многократных пусках и др. [2].

Для повышения надежности работы высоковольтных двигателей большой мощности была создана новая серия блоков *БМРЗ-Д*, обеспечивающая помимо стандартных защит в обычных режимах и защиту при:

- пуске двигателя с заблокированным ротором или двигателя, несущего недопустимо большую нагрузку;
- затынутом *муске* двигателя;
- *блокировке* ротора двигателя после его выхода на рабочий режим.

В алгоритмах защиты блока серии *БМРЗ-Д* факт пуска определяется по результатам анализа токов, что обеспечивает правильное функционирование защиты как при обычном пуске, так и самозапуске двигателя [13]. Для ограничения перегрева обмоток двигателя при пусках в алгоритмах защит предусмотрены счетчик общего числа пусков и счетчики холодных и горячих пусков. На основании информации, получаемой от этих счетчиков, алгоритм формирует команду «*Запрет пуска перегретого двигателя*».

Помимо указанных защит в блоках двигательной серии *БМРЗ-Д* реализована *тепловая* модель, решающая уравнение теплового баланса двигателя в реальном масштабе времени. Применение *тепловой* модели затруднено тем, что заводы-изготовители двигателей не приводят информацию о реальных тепловых характеристиках и постоянных времени выпускаемых ими двигателей. Поэтому в НТЦ «Мехатроника» были разработаны рекомендации по определению постоянных времени в период выполнения пусконаладочных работ.

Первая ступень защиты, использующая тепловую модель двигателя, формирует команду «*Запрет пуска перегретого двигателя*», а вторая — сигнализирует о перегреве двигателя. Алгоритм позволяет различать тепловые процессы в работающем и выключенном двигателе, что обеспечивает эксплуатацию двигателя без излишних отключений.

Дальнейшим развитием устройств двигательной серии *БМРЗ-Д* стало создание устройства БМРЗ-ДА2, обеспечивающего помимо стандартных алгоритмов защиты и автоматики переключение обмоток двухскоростного двигателя при пуске и изменение частоты его вращения по сигналам защит и технологического оборудования.

Универсальная аппаратно-программная архитектура устройств серии *БМРЗ*, широкий (более 1000) динамический диапазон измерения токов, высокая скорость цифровой обработки сигналов позволили создать уникальную серию устройств *БМРЗ-ЖД* для тяговых подстанций железных дорог и метрополитена [4, 13], наиболее адекватно отвечающую требованиям, предъявляемым к устройствам, обслуживающим тяговые сети на территории СНГ [11].

Наиболее принципиальным отличием алгоритмов защит в устройствах серии *БМРЗ-ЖД* стало использование высших гармонических составляющих для пусковых и блокирующих органов и использование значения коэффициента гармоник для изменения уставок токовых и дистанционных защит, а также измерение сигнала на интервале от 2 до 5 мс.

Если во всех ранее выпускавшихся устройствах серии *БМРЗ* ресурс выключателя определялся по простой сумме токов, фиксировавшихся в момент отключения выключателя, то в блоках серии *БМРЗ-ЖД* при-

менен специальный алгоритм расчета остаточного ресурса в процентах от исходного. Алгоритм основан на применении информации о зависимости ресурса от значения тока отключения, приводимой в документации завода-изготовителя выключателя, и более адекватно оценивает изменение ресурса выключателя в процессе эксплуатации.

Преимущества, предоставленные наличием большого количества входных и выходных дискретных сигналов, позволили создать две модификации устройства для управления и защиты трансформаторов с регулированием напряжения под нагрузкой. Устройство типа БМРЗ-КН предназначено для общепромышленных регулируемых трансформаторов, а устройство типа БМРЗ-ТП-КН — для трансформаторов с регулированием напряжения, применяемых в тяговых сетях железных дорог.

Опыт использования дифференциальных защит в блоках серии *БМРЗ-Д* позволил разработать новое устройство типа БМРЗ-ТД2х, в котором реализована дифференциальная защита *двухобмоточных* трансформаторов напряжением до 220 кВ. Устройство предназначено для использования в качестве основной защиты от всех видов КЗ взамен широко известных защит ДЗТ-21 (10). Дополнительно оно управляет несколькими (до 6) выключателями и отключением трансформатора через отделитель. Здесь следует обратить внимание на то, что именно наличие до 46 дискретных входов и выходов позволило столь значительно расширить возможности управления коммутационными аппаратами.

Дальнейшее развитие алгоритмических возможностей защит в устройствах серии *БМРЗ* можно проследить на примерах устройств БМРЗ-ДЗ (дистанционная защита воздушных линий напряжением 6–35 кВ) и БМРЗ-ЛТ (защита блока «линия-трансформатор» напряжением 110 кВ). В них реализована многоступенчатая дистанционная защита от междуфазных КЗ и защита от двойных замыканий на землю. Характеристика срабатывания реле сопротивления этой защиты может иметь вид окружности, треугольника или четырехугольника, располагающегося на плоскости в осях X и R , и выбирается при настройке на месте установки устройства. Как обычно, названные блоки реализуют все стандартные алгоритмы защит и автоматики, обязательные для данных объектов в соответствии с требованиями ПУЭ [1], а также оригинальные алгоритмы, предложенные заказчиками этих блоков.

Среди последних разработок на основе устройств серии *БМРЗ* следует отметить комплект резервных защит трансформатора со стороны ВН до 220 кВ, реализованный в блоке типа БМРЗ-ТР-ВН и шкаф защиты линий напряжением 220 кВ, находящийся в опытной эксплуатации.

Обобщенный перечень алгоритмов защит, реализованных в устройствах серии *БМРЗ* на единой аппаратной платформе, включает:

- многоступенчатую максимальную токовую защиту МТЗ с:
- *зависимыми характеристиками* (аналоги реле *РТ-80* и *РТВ-1У*);

- ускорением для всех ступеней;
- дальним резервированием;
- независимой для каждой ступени характеристикой направленности МТЗ;
- независимым для каждой ступени пуском МТЗ по напряжению;
- комбинированным пуском МТЗ;
- сменой уставок при изменении направления мощности или по внешнему дискретному сигналу;
- дальним резервированием при отказе защит или выключателей, отходящих от шин линий, на основе контроля реактивных составляющих тока;
- блокировкой по пусковому току двигателей;
- одно- или многоступенчатую защиту от однофазных замыканий на землю ОЗЗ с:
 - сменой уставок при изменении направления мощности или по внешнему дискретному сигналу;
 - отстройкой от броска тока намагничивания силового трансформатора;
 - контролем высших гармоник в токе нулевой последовательности;
 - независимой характеристикой;
 - изменяемой характеристикой направленности мощности нулевой последовательности;
 - контролем тока и/или напряжения нулевой последовательности, в том числе и для защиты от двойных однофазных замыканий на землю;
 - защитой от перегрузки;
- защиту от несимметрии и обрыва фазы питающего фидера ЗОФ с:
 - контролем тока и/или напряжения обратной последовательности;
- защиту от снижения напряжения при включении выключателя (защита Мосеева);
- защиту минимального напряжения ЗМН с:
 - контролем одного или нескольких линейных напряжений;
 - контролем напряжений обратной последовательности;
- одно- или многоступенчатую дистанционную защиту с:
 - контролем сопротивления петли фаза-фаза при определении междуфазных КЗ;
 - контролем сопротивления петли фаза-ноль и фиксацией двойных однофазных замыканий на землю;
 - избирателем поврежденной фазы для задания очередности отключения линий и исключения двойных однофазных замыканий;
 - изменяемой характеристикой реле сопротивления;
- дифференциальные защиты и многое другое.

Сейчас во всех серийных устройствах серии БМРЗ в той или иной форме предусмотрена регистрация аварийных процессов и параметров. Поэтому очевидным направлением развития стало создание на основе блоков серии БМРЗ первых специализированных устройств для регистрации аварийных процессов и событий типа РАПС-МТ. Эти устройства записывают осциллограммы не только по сигналам от пусковых органов защит, как это делается в устройствах серии БМРЗ, но и по любым иным заранее задаваемым сиг-

налам, в том числе и по команде оператора. Специальные программы обеспечивают обработку записанных осциллограмм, как это делается в известных цифровых осциллографах. Блоки РАПС-МТ выпускаются в стационарном и переносных вариантах.

Еще одно направление развития производства цифровых устройств НТЦ «Мехатроника» ориентировано на прием и обработку дискретных и аналоговых сигналов, поступающих от объектов. Разработаны и выпущены образцы устройства сбора информации типа УСО-МТ. Названное устройство позволяет не только получать и регистрировать информацию о состоянии того или иного объекта, но и транслировать команды на отключение и включение соединителей, разъединителей, короткозамыкателей и т.п. устройств, для которых необходимо соблюдение определенных условий, описываемых некоторым логическим алгоритмом. Блоки УСО-МТ дополняют блоки серии БМРЗ при построении распределенных АСУ энергообъектов.

Литература:

1. Правила устройства электроустановок. М.: Госэнергонадзор России, 1998, 608 с.
2. *Езерский В.Г.* Функции релейной защиты для предупреждения повреждения двигателей // Энергия и менеджмент. Ноябрь-декабрь 2002, с. 45.
3. *Захаров О.Г.* Дефекты в электрооборудовании: поиск и устранение. Л.: Лениздат, 1989, 208 с.
4. Защита электротяговых сетей переменного тока на основе интеллектуальных терминалов. Учебное пособие / Бурьяновский А.И., Кондаков А.Д., Мизинцев А.В., Попов А.Ю., Ячкула Н.И. – СПб, Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2003, 111 с.
5. Инструкция по учету и оценке работы релейной защиты и автоматики электрической части энергосистемы. РД 34.35.516-89.
6. *Лебедев В.И.* Опыт эксплуатации устройств РЗА в ЧПМЭС // Тезисы докладов XIV научно-технической конференции по обмену опытом проектирования, наладки и эксплуатации устройств релейной защиты и автоматики. 21-23 апреля 2004 года, Екатеринбург, с. 22.
7. *Леонтьев А.В.* Серия цифровых блоков релейной защиты и противоаварийной автоматики для КТП СН 6 (10) кВ. // Энергия и менеджмент. Ноябрь-декабрь 2002, с. 47.
8. Микропроцессорная система защиты. Патент №2173924 7 H02 H726 // Бюллетень № 26 от 20.09.2001.
9. *Овчинников В.В.* Защита электрических сетей 0,4-35 кВ. М.: НТФ «Энергопрогресс», 2002, 64 с.
10. Правила технического обслуживания устройств релейной защиты и электроавтоматики электрических сетей 0,4-35 кВ. РД 153-34.3-35.613-00.
11. Правила устройства системы тягового электроснабжения железных дорог Российской Федерации. М.: Министерство путей сообщения, 1997, 78 с.
12. Руководящие материалы по релейной защите систем тягового электроснабжения / Департамент элек-

трификации и электроснабжения Министерства путей сообщения Российской Федерации. М.: Трансиздат, 1999, 96 с.

13. Фигурнов Е.П. Релейная защита. М.: Желдориздат, 2002, 720 с.
14. Цифровые устройства релейной защиты. Каталог продукции 2004. СПб, НТЦ «Механотроника», 2004.
15. Черновец А.К., Семенов К.Н. Пуск и самозапуск электродвигателей механизмов собственных нужд электростанций. Учебное пособие / СПб, ПЭИПК, 1996г, 40 с.
16. Эксплуатация микропроцессорных терминалов на тяговой подстанции «Олехновичи» // Сборник докладов «Релейная защита и автоматика энергосистем 2004», 18-21 мая 2004 года / Фельдман С.О., Мизинцев А.В., Кондаков А.Д. и др. с. 104.

ОБ АВТОРАХ

ЕЗЕРСКИЙ Владимир Георгиевич, технический директор НТЦ «Механотроника». В 1992 году возглавил разработки первых отечественных цифровых устройств РЗА. Выступил с инициативой по созданию общих технических требований (ОТТ) к ЦРЗА для отечественной энергетики и непосредственно участвовал в разработке таких документов для РАО ЕЭС, ОАО «ГАЗПРОМ», Концерна «Рос.ЭнергоАтом». Автор ряда публикаций и соавтор нескольких изобретений по цифровым устройствам РЗА.

ЗАХАРОВ Олег Георгиевич, заведующий лабораторией НТЦ «Механотроника», специалист в области электротехники, электромонтажных работ, настройки электрооборудования. Автор и соавтор более 80 печатных работ, в том числе пяти учебников и учебных пособий и двух словарей.