

ЦИФРОВЫЕ БЛОКИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ СЕРИИ **БМРЗ**

С.А. Гондуров, О.Г. Захаров

Основу производственной программы НТЦ «Механотроника» составляют цифровые устройства релейной защиты серии БМРЗ, отличающиеся высокой надежностью (гарантийный срок 10 лет) и не требующие специального технического обслуживания в период эксплуатации.

Известно [13, 14, 16], 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 энергетического объекта. Более того, действующие инструкции по учету и оценке работы релейной защиты продолжают ориентировать на реле, выполняющие один алгоритм защиты или автоматики [5, 6].

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 релейной защиты и автоматики, называемый аналогично применявшемуся ранее устройству.

При разработке первых отечественных цифровых устройств релейной защиты серии **БМРЗ** (рис.1) был выбран иной путь, позволяющий выпускать не отдельные реле, а **многофункциональные** терминалы защит и автоматики [9].

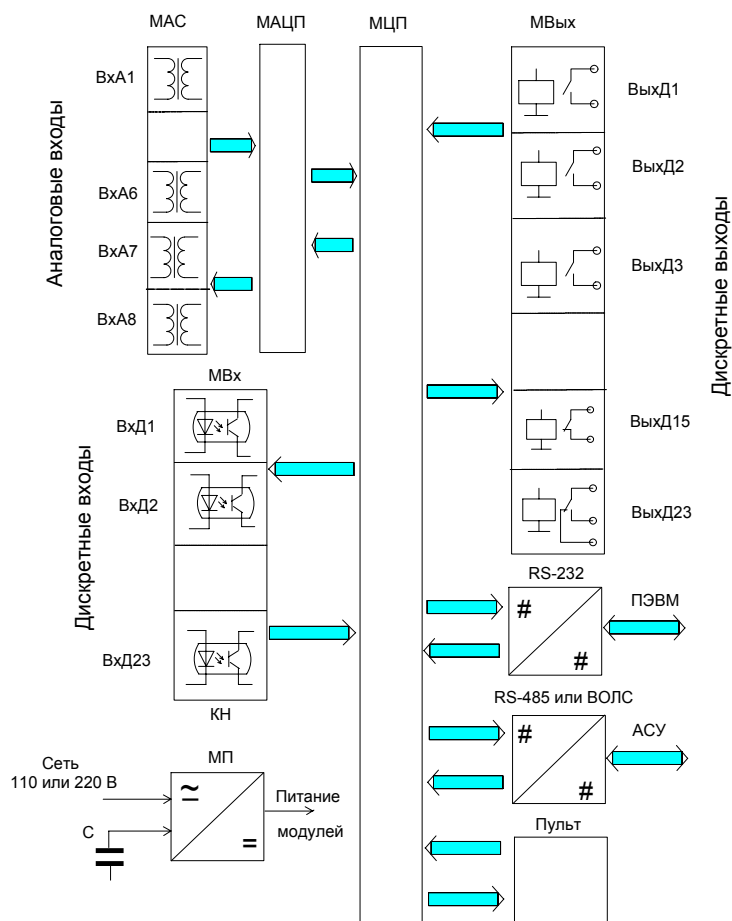


Рис. 1 Структурная схема цифрового устройства релейной защиты серии **БМРЗ**

Пусковые органы электромеханических реле подключались непосредственно к измерительным трансформаторам тока и напряжения [12] и не требовали отдельных источников питания для своей исполнительной части, а вот для надежной работы цифровых устройств релейной защиты потребовалась разработка специальных источников

питания (МП на рис. 1), обеспечивающих устойчивую работу процессорной части устройства при:

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

Разработка таких источников питания завершилась не только созданием блока питания, применяемого во всех цифровых устройствах, выпускаемых НТЦ «Механотроника», но и формулированием общих технических требований к ним [2]. Эти требования в настоящий момент являются общепризнанными и на них ориентируются другие разработчики и производители цифровых устройств релейной защиты.

Если разрабатываемые ранее на базе полупроводниковых элементов и операционных усилителей реле могли реализовывать один, много – два алгоритма защиты и автоматики [10], то устройства серии **БМРЗ** способны выполнять десять и более алгоритмов защиты и автоматики. Обусловлено это отличием тем, что информация о текущих значениях параметров защищаемого присоединения (воздушной или кабельной линии) или электрооборудования (электродвигателей, трансформаторов, выпрямительных и преобразовательных агрегатах), поступающая от трансформаторов тока и напряжения в виде аналоговых сигналов на входы ВхА1...ВхА8 (см. рис. 1) сначала преобразуется в цифровую форму, а затем уже в цифровом виде используется в различных алгоритмах защиты и автоматики, реализуемых процессорной частью устройства.

Аналогичным образом преобразовываются и дискретные входные сигналы ВхД1...ВхД23.

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 [4] и обеспечивает высокую ремонтпригодность цифровых блоков релейной защиты.

Такой подход позволил создать единую аппаратную платформу, допускающую выполнение различных исполнений устройства в соответствии с требованиями заказчика. В настоящее время серийно выпускается более двухсот исполнений и несколько десятков исполнений выпущено опытными партиями.

Опыт разработки различных исполнений и эксплуатации более 3 тысяч устройств серии **БМРЗ** показал, что восьми аналоговых входных сигналов достаточно для создания устройств, обеспечивающих защиту более 95 % присоединений и установок напряжением до 110 кВ.

Сначала 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 сначала установить семилетний гарантийный срок на цифровые устройства релейной защиты и автоматики и увеличить его с 2005 года до 10 лет.

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 защиты вводов секции 0,4 кВ имела низкую чувствительность, особенно при большой доле двигательной нагрузки [9, 10], и не могла обеспечить надежного резервирования отходящих присоединений. 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 КТП стал алгоритм **блокирования максимальной токовой защиты**, 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 обратнoзависимой 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 в устройствах БМРЗ-0,4 АВ и БМРЗ-0,4 ВВ, разработанных для применения в КТП, выполняют и весь набор защит автоматики, предписанный главой 3.2 ПУЭ [1], в том числе и восстановление нормальной работы с помощью алгоритмов **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 в серийных трансформаторных подстанциях КТП 6(10)/0,4 кВ, выпускаемых Электротехническим заводом им. Козлова (г. Минск), Самарский завод «Электрощит», ОАО «Электропульт» (Санкт-Петербург), ООО «Элтерм» (г. Псков) и многими другими предприятиями, для электростанций различного назначения, компрессорных станций ОАО «Газпром» и промышленных предприятий.

Расширение области применения мощных синхронных и асинхронных двигателей, работающих от сети напряжением выше 1 кВ, потребовало создания современных цифровых устройств защиты, реализующих все алгоритмы, предусмотренные главой 5.3 (п.п. 5.3.43- 5.3.54) ПУЭ [1]. Учитывая, что подавляющее число аварий таких двигателей вызвано прежде всего тепловыми перегрузками изоляции, стандартные алгоритмы защиты в блоках 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 блокировании ротора;
- затынутого пуска;
- перегрева при многократных пусках и др. [3]

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

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

В алгоритмах защиты блоков серии **БМРЗ-Д** факт пуска двигателя определяется по результатам анализа фазных токов, что обеспечивает правильное функционирование защиты как при обычном пуске, так и при самозапуске двигателя [16]. Для ограничения перегрева обмоток двигателя при пусках в алгоритмах защит предусмотрены счетчики 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 не приводят информации о реальных тепловых характеристиках и постоянных времени выпускаемых ими двигателей. Поэтому в НТЦ «Механотроника» 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 различает тепловые процессы в работающем и выключенном двигателе, что обеспечивает эксплуатацию двигателя без излишних отключений.

Дальнейшим развитием устройств защиты двигательной серии стало устройство БМРЗ-ДА2, обеспечивающее 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 и напряжений, высокая скорость цифровой обработки сигналов позволили создать уникальную серию устройств

БМРЗ-ЖД для тяговых подстанций железных дорог и метрополитена [5], наиболее адекватно отвечающую требованиям, предъявляемым к устройствам, обслуживающим тяговые сети на территории Российской Федерации [11, 12, 13] и стран СНГ [17].

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** применен 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. Поэтому алгоритм более адекватно оценивает изменение ресурса выключателя в процессе эксплуатации.

Преимущества, предоставляемые наличием большого количества входных и выходных дискретных сигналов, позволили создать исполнение устройства для управления и защиты трансформаторов с регулированием напряжения под нагрузкой, получившее название БМРЗ-КН.

Опыт использования дифференциальных защит в блоках серии **БМРЗ-Д** позволил разработать новое устройство типа БМРЗ-ТД, 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 устройства БМРЗ-ДЗ (дистанционная защита воздушных линий напряжением 6-35 кВ) и БМРЗ-ЛТ (защита блока «линия-трансформатор» 110 кВ). В них реализована многоступенчатая дистанционная защита от междуфазных КЗ и защита от двойных замыканий на землю. Характеристика срабатывания этой защиты подобна характеристике реле сопротивления и может иметь вид окружности, треугольника или четырехугольника, располагающегося на плоскости в осях jX и R , и выбирается при настройке устройства на месте установки. Как обычно, названные блоки реализуют все стандартные алгоритмы защит и автоматики, обязательные для данных объектов в соответствии с требованиями ПУЭ, а также специальные алгоритмы защиты.

Среди последних разработок на основе устройств серии **БМРЗ** следует отметить комплект резервных защит трансформатора со стороны ВН до 220 кВ, реализованный в блоке БМРЗ-ТН-ВН и шкаф защиты линий напряжением 220 кВ типа ШЗЛ-МТ, в котором установлены два разных блока серии БМРЗ.

Обобщенный перечень алгоритмов защит, реализованных на единой аппаратной платформе устройств серии БМРЗ, включает:

- **многоступенчатую максимальную токовую защиту МТЗ** с :
 - зависимыми характеристиками, аналогичными характеристикам реле типа **РТ-80** и **РТВ –IV**;
 - ускорением всех ступеней;
 - дальним резервированием;
 - возможностью независимого введения для каждой ступени характеристики направления **МТЗ**;
 - возможностью независимого пуска каждой ступени **МТЗ** по напряжению;
 - возможностью комбинированного пуска **МТЗ**;
 - возможностью смены 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;
 - блокированием по пусковому току двигателей или любому другому сигналу;
 - защитой от перегрузки;

- изменяемой характеристикой направленности мощности прямой последовательности.

● **одно- или многоступенчатую защиту от однофазных замыканий на землю ОЗЗ** [18] 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;

● **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 Мокеева);

● **защиту минимального напряжения ЗМН** с:

- контролем одного или нескольких линейных напряжений;
 - контролем напряжения обратной последовательности;

● **одно- или многоступенчатую дистанционную защиту ДЗ** с:

- контролем сопротивления петли фаза-фаза при определении междофазных 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 алгоритма, работающему подобно 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 аппаратной платформы блоков серии **БМРЗ** первых специализированных стационарных и переносных устройств для регистрации аварийных процессов и событий РАПС-МТ. Эти устройства записывают осциллограммы не только по сигналам от пусковых органов, но и по любым другим, задаваемым заранее сигналам, в том числе и по команде оператора. Специальные программы обеспечивают обработку записанных осциллограмм.

Еще одно направление - производство цифровых устройств УСО-МТ, ориентирующихся на прием и обработку дискретных и аналоговых сигналов, поступающих от объектов. Устройство позволяет не только получать, регистрировать и транслировать информацию, но и транслировать команды на включение и отключение разъединителей, короткозамыкателей и других подобных аппаратов, для управления которыми необходимо соблюдение определенных условий, описываемых некоторым логическим алгоритмом.

Блоки УСО-МТ и РАПС-МТ применяют при построении полнофункциональных распределенных АСУ энергообъектов.

Литература: ,

1. Правила устройства электроустановок. М.: Госэнергонадзор России, 1998, 608 с.
2. Гондуров С.А., Захаров О.Г. Требования к оперативному питанию цифровых устройств релейной защиты и автоматики. // Энергия и менеджмент, 2005, № 4
3. Езерский В.Г. Функции релейной защиты для предупреждения повреждения двигателей. // Энергия и менеджмент, ноябрь-декабрь, 2002, с. 45
4. Захаров О.Г. Дефекты в электрооборудовании: поиск и устранение. Л.: Лениздат, 1989, 208 с.
5. Защита электротяговых сетей переменного тока на основе интеллектуальных терминалов. Учебное пособие / Бурьяноватый А.И., Кондаков А.Д., Мизинцев А.В., Попов А.Ю., Ячкула Н.И. – СПб, Петербургский гос. Ун-т путей сообщения, 2003, 111 с.

6. Инструкция по учету и оценке работы релейной защиты и автоматики электрической части энергосистемы. РД 34.35.516-89.
7. *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
8. *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
9. Микропроцессорная система защиты. Патент № 2173924 7 H02 H726 // Бюллетень № 26 от 20.09.2001
10. *Овчинников В.В.* Защита электрических сетей 0,4-35 кВ. М.:НТФ «Энергопресс», 2002, 64 с.
11. Правила технического обслуживания устройств релейной защиты и электроавтоматики электрических сетей 0,4-35 кВ. РД 153-34.3-35.613-00
12. Правила устройства системы тягового электроснабжения железных дорог Российской Федерации. М.: Министерство путей сообщения, 1997, 78 с.
13. Руководящие материалы по релейной защите систем тягового электроснабжения /Департамент электрификации и электроснабжения Министерства путей сообщения Российской Федерации. М.: Трансиздат, 1999, 96 с.
14. *Фигурнов Е.П.* Релейная защита. М.: Желдориздат, 2002, 720 с.
15. Цифровые устройства релейной защиты. Каталог продукции 2004. СПб, НТЦ «Механотроника», 2004.
16. *Черновец А.К., Семенов К.Н.* Пуск и самозапуск электродвигателей механизмов собственных нужд электростанций. Учебное пособие/СПб, ПЭиПК, 1996, 40 с.
17. 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.
18. *В.Г.Езерский.* Комбинированная защита от однофазных замыканий на землю //Электро-info, №7, 2005, с.56, 58.