

ЦИФРОВЫЕ УСТРОЙСТВА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ ДЛЯ КОМПЛЕКТНЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ НАПЯЖЕНИЕМ 6 (10) / 0,4 кВ.

Трансформаторные подстанции поставляемые в полностью собранном виде или же в виде отдельных блоков заводской готовности со встроенными в них аппаратами, устройствами защиты и автоматики называют *комплектными трансформаторными подстанциями* или КТП. Общие требования к ним изложены в главе 4.2 ПУЭ [1, с.341]. КТП обеспечивают подключение понижающего силового трансформатора в сеть высокого напряжения 6 или 10 кВ (реже 15 и 35 кВ) и работу нескольких линий на стороне низкого напряжения 0,4 кВ, а также защиту оборудования от возможных перегрузок коротких замыканий на стороне ВН и НН. Для обеспечения электроснабжения объектов железнодорожного транспорта используются подстанции, рассчитанные на работу в сетях высокого напряжения до 27,5 кВ.

В выпускавшихся ранее КТП 6(10)/0,4 для защиты от возможных перегрузок и КЗ по высокой и низкой стороне использовались предохранители с плавкими вставками и автоматические выключатели. В шкафу или отсеке управления низкого напряжения размещалась контрольная, учетная и измерительная аппаратура. Длительное время КТП 6(10)/0,4 выпускались с релейной защитой и автоматикой, выполненной на электромеханических и полупроводниковых реле [4]. Даже после начала широкого внедрения цифровых устройств релейной защиты и автоматики в энергетике, применение их в КТП и КТП-СН считалось экономически неоправданным, хотя стоимость комплекта цифровой релейной защиты и автоматики для КТП не превышает 6% стоимости самой КТП. При создании современных КТП 6(10)/0,4 следует учитывать, что строящаяся сегодня подстанция должна прослужить не менее 40 лет и поэтому применение в ней оборудования, разработанного около полувека назад, не может быть ни технически, ни экономически обосновано [7].

Следует также учитывать, что КТП с предохранителями и электромеханическими реле защиты и автоматики имели низкую чувствительность защит вводов, особенно при большой доле двигательной нагрузки на секциях, и не обеспечивали надежного резервирования защит отходящих присоединений [5]. Кроме этого, такие защиты и автоматика не позволяли обеспечить дальнейшее резервирование и блокирование МТЗ при пусках и самозапусках электродвигателей, а также автоматическое включение резерва с восстановлением нормального режима работы [2].

В техническом задании на разработку комплекта современных цифровых устройств релейной защиты и автоматики для КТП 6(10)/0 была предусмотрена:

- разработка названных выше алгоритмов;
- уменьшение ступени селективности по времени до 0,2 с (вместо 0,5-0,7 с для реле прямого действия и электромеханических реле);

- улучшение других характеристик, перечисленных в [7].

Выполнение всех указанных требований позволило:

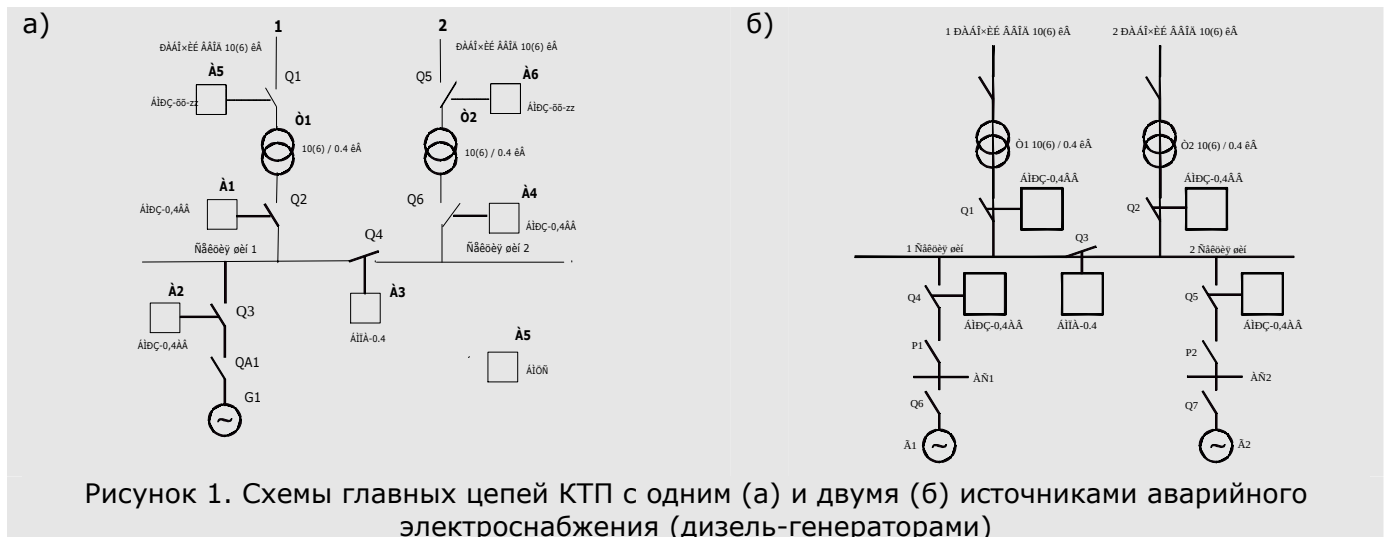
- обеспечить селективность действия цепочки из нескольких защит при выдержке времени, близкой к выдержкам времени на участках сети;
- строить сеть с несколькими выключателями при уставках МТЗ в пределах 1-1,2 с.

В КТП 6 (10)/0,4 обычно входят один или два силовых трансформатора (рабочие вводы 1 и 2 на рис. 1), распределительные устройства (на рис. 1 показаны секции шин этих распределительных устройств), устройства автоматического управления и защиты (на рис. 1 показаны только цифровые устройства релейной защиты и автоматики), а также вспомогательные сооружения. На КТП, обеспечивающих гарантированное питание потребителей, дополнительно предусматриваются один или несколько автономных источников электроэнергии, как правило *дизель-генераторов* (на рис.1 это генераторы G1 G3).

Наиболее распространены КТП с одной системой сборных шин, обычно секционированной выключателями и разъединителями (см. *секции шин 1 и 2* на рис. 1).

Встречаются КТП и с обходной системой шин, позволяющей вести профилактические и ремонтные работы, не прекращая электроснабжение потребителей.

Основу комплекта цифровых устройств релейной защиты КТП 6 (10)/0,4, разработанных по заказу ОАО «Газпром», составила хорошо зарекомендовавшая себя к тому времени аппаратная платформа *БМРЗ* [7]. Поэтому и программируемый командоаппарат для управления секционным выключателем КТП – устройство *БМПА* [8,9] – разработан также на основе аппаратной платформы *БМРЗ*. Комплект устройств цифровой релейной защиты и автоматики разрабатывался специалистами НТЦ «Механотроника» совместно со специалистами СУ «Леноргэнергогаз» и ОАО «НИИПТ», а первый комплект таких устройств смонтирован Санкт-Петербургским предприятием «Новая ЭРА» на КТП для газокompрессорной станции ОАО «Газпром».



a)



б)



Рисунок 2. Внешний вид блоков БМР3-0,4-ВВ или БМР3-0,4-АВ (а) и БМПА-0,4 (б)

Таблица 1. Характеристики алгоритмов защит

Диапазоны уставок для:	Значения для:	
	тока, А	времени, с
1. порогов срабатывания ступеней <i>МТЗ</i>:		
- первой, с независимой времятоковой характеристикой ВТХ	1,0-55,0	0,05-10,00
- второй, с независимой ВТХ	1,0-50,0	0,05-20,00
- второй, с зависимой ВТХ	1,5-12,0	0,10-2,50
2. первой ступени алгоритма <i>ДР</i>:		
- номинальный ток источника питания	1,0 – 5,0	
- ток блокирования при включении статической нагрузки	0,5 – 5,0	
- ток дальнего резервирования	0,2 – 20,0	
- выдержка времени		0,1 – 2,0
3. второй ступени алгоритма <i>ДР</i>:		
- ток обратной последовательности	0,2 – 20,0	
- ток пуска зависимой характеристики	1,5 – 12,0	
- время срабатывания при десятикратном токе пуска		0,10 – 12,50
4. токовой защиты нулевой последовательности:		
- ток нулевой последовательности	1,0 – 50,0	
- выдержка времени на отключение выключателей		0,05 – 10,00

Уставка **МТЗ** по току при настройке блоков выбирается без учета пусковых токов двигателей. Второй пусковой орган используется для блокирования действия **МТЗ** при пусках и самозапусках электродвигателей. Для блокирования **МТЗ** необходимо выполнение трех условий:

- значение напряжения прямой последовательности превышает 50 % номинального;
- значение тока обратной последовательности не превышает 25% тока прямой последовательности;
- значение тока прямой последовательности превышает 86% уставки второго пускового органа **МТЗ**.

Для первой ступени **МТЗ** можно задать две разные выдержки времени – на отключение секционного выключателя и выключателя ввода. Сигнал второй ступени **МТЗ**, для которой можно выбрать как *независимую*, так и *обратнозависимую* времятоковую характеристику, можно использовать и для сигнализации о перегрузке.

В блоках БМР3-0,4 используется специальная времятоковая характеристика, учитывающая защитные характеристики автоматических выключателей, применяемых на стороне напряжения 0,4 кВ. В том случае, если на отходящих фидерах будут применены автоматические выключатели с другими времятоковыми характеристиками, используемая в БМР3-0,4 характеристика может быть изменена для обеспечения селективной работы выключателей.

Уставки по току **МТЗ** и других токовых защит можно изменять с дискретностью 0,1 А, а уставки **МТЗ** и всех других защит по времени – с дискретностью 0,01 с.

В комплекте использован новый нестандартный алгоритм **двухступенчатого дальнего резервирования** при отказах защит и выключателей на отходящих от шин ли-ний 0,4 кВ с автоматической отстройкой как от пусковых токов электродвигателей, так и от токов, возникающих при КЗ со стороны высокого напряжения трансформатора [2]. Дальнее резервирование **ДР** в комплекте цифровых устройств релейной защиты для КТП и КТП-СН обеспечивает формирование команд на отключение секционного выключателя и выключателя ввода в случае выявления удаленных КЗ на отходящих от шин присоединениях.

Алгоритм **ДР** анализирует соотношение между приращениями активной и реактивной составляющих тока прямой последовательности, оценивает приращения фазных токов и напряжения прямой последовательности, а также абсолютных значений токов прямой и обратной последовательности и мощности обратной последовательности.

Первая ступень **ДР** имеет независимую, а вторая – обратнозависимую (аналогичную соответствующей характеристике **МТЗ**) времятоковые характеристики. Алгоритм **ДР** начинает работать при снижении превышении напряжением прямой последовательности 10% номинального значения.

Для первой ступени **ДР** можно задать две различные выдержки времени на отключение секционного выключателя и выключателя ввода. Остальные характеристики алгоритма **ДР** приведены в табл. 1. В комплекте предусмотрена возможность блокирования алгоритма **ДР** при включении статической нагрузки или одновременно с блокированием **МТЗ**. Можно заблокировать и действие любой ступени алгоритма **ДР** на отключение выключателей ввода и/или секционного.

Из табл. 1 следует, что параметры зависимой характеристики второй ступени алгоритма **ДР** задаются двумя уставками – током пуска зависимой характеристик и временем его срабатывания при десятикратном значении тока пуска. Выдержки времени для первой ступени алгоритма **ДР** можно задать с дискретностью 0,1 с. Дискретность задания остальных уставок такая же, как и для алгоритма **МТЗ**.

Алгоритм **токовой защиты нулевой последовательности ТЗНП** с независимой времятоковой характеристикой имеет один пусковой орган, работающий по первой гармонической составляющей тока $3 I_0$, но в нем предусмотрена возможность задания двух разных выдержек времени на отключение секционного выключателя и выключателя ввода. Характеристики этого алгоритма также приведены в табл. 1. Дискретность задания уставок алгоритма **ТЗНП** такая же, как для алгоритма **МТЗ**. В алгоритме **ТЗНП** предусмотрена одновременная выдача команд на отключение выключателя ввода и отключение трансформатора со стороны высокого напряжения, а также возможность блокирования его действия на любой из выключателей.

Основной алгоритм автоматики в комплекте цифровых устройств для КТП и КТП-СН – автоматическое включение резерва **АВР**. Он существенно сложнее типового алгоритма **АВР** для КРУ 6(10) кВ и обеспечивается не только программным обеспечением блоков, входящих в комплект цифровой релейной защиты и автоматики, но и жесткими поперечными связями между блоками. По этой причине комплект блоков для КТП, в отличие от блоков серии **БМРЗ** для сетей 6-35 кВ, имеет жесткую аппаратно-программную конфигурацию по выполняемым алгоритмам, уставкам защит и автоматики, эффективно работающую в:

- КТП СН электростанций;
- КТП компрессорных станций ОАО «Газпром»;
- КТП промышленных предприятий.

В рассматриваемом комплекте предусмотрено:

- автоматическое включение резерва **АВР** секционным выключателем;
- то же, выполненное на аварийном вводе;
- то же, с использованием автоматизированной станции или энергосистемы в качестве резервного источника электроэнергии (на рис. 1 а, резервный источник энергии изображен в виде генератора G1, а на рис. 1,б – в виде генераторов G2 и G3);

- автоматическое, местное (с лицевых панелей устройств БМРЗ-0,4 и БМПА-0,4) и дистанционное управления выключателями с индикацией их положения, сигнализацией аварийного отключения и неисправности цепей управления выключателями, блокированием от многократных включений.

Алгоритм автоматического включения резерва секционным выключателем (**ABP** CB) выполняется двумя блоками БМРЗ-0,4-BB и блоком БМПА-0,4, что обеспечивает переход на резервное питание КТП (или КТП-СН) при исчезновении напряжения на любом из вводов. Алгоритм **ABP** CB обеспечивает контроль:

- напряжения на секции и на вводе;
- положения (включен или выключен) выключателей ввода и секционного выключателя;

Сигнал «Разрешение ABP» формируется при снижении напряжения ввода до 25 % номинального значения и выполнения всех контролируемых условий, команда на выключение выключателя ввода – через промежуток времени, выбираемый из диапазона (0,1 – 99,9) с.

Работа алгоритма **ABP** CB блокируется при отключении выключателя ввода по алгоритмам защит, дискретным сигналом «Запрет ABP», при отключении выключателя по команде оператора, а также при неисправности блоков.

Два других алгоритма **ABP** отличаются только точками контроля напряжения и управляемыми выключателями. Все отличия задаются при настройке блоков на месте установки с помощью программных ключей, задающих резервный источник питания и аварийный ввод.

В комплекте цифровых устройств защиты и автоматики для КТП и/или КТП-СН предусмотрены алгоритмы восстановления нормального режима работы **BHP** после **ABP**. Этот алгоритм которые реализуются после увеличения напряжения на рабочем вводе до значения, превышающего 80 % номинального. В алгоритмах **BHP** предусмотрено их блокирование при:

- срабатывании защит, действующих на отключение секционного выключателя или выключателя аварийного ввода;
- отключении алгоритма **ABP**;
- неисправности блоков или выключателей.

В связи с тем, что для разработки блоков, входящих в комплект цифровых устройств для КТП (КТП-СН) использована аппаратная платформа блоков серии **БМРЗ**, в данном комплекте реализовано в полном объеме все то, что применяется в указанных блоках [4]:

- стандартные алгоритмы управления выключателями и контроля исправности цепей их управления;
- световая сигнализация на лицевой панели блоков;
- сигнализация дискретными сигналами, формируемыми выходными реле блоков;
- сигнализация по последовательным каналам связи.

В комплекте цифровых устройств предусмотрено также измерение фазных токов и напряжений, токов прямой, обратной и нулевой и последовательностей, $\cos \varphi$ и частоты. Обеспечена регистрация максимальных значений фазного тока и тока нулевой последовательности, аварийных процессов и суммарного тока отключений по фазам для определения ресурса выключателей.

Как и все устройства серии **БМРЗ**, комплект устройств для КТП и КТП-СН имеет счетчики аварийных отключений, а также пусков и срабатываний каждой ступени защиты и оснащены реле фиксации команд для выключателей.

Включение блоков БМРЗ-0,4 и БМПА-0,4 в систему АСУ или другую информационную систему может выполняться как по двухпроводной сети (интерфейс RS-485), так и по волоконно-оптической линии связи (ВОЛС). Тип интерфейса определяется при заказе.

Состав цифровых блоков релейной защиты и автоматики для КТП или КТП-СН может быть дополнен блоком центральной сигнализации БМЦС (устройство А5 на рис. 1) [4, с. 10-5], принимающим и регистрирующим различные дискретные сигналы – от датчиков положения, конечных выключателей, и др.

Для контроля и управления КТП и КТП-СН НТЦ «Механотроника» разработал и выпускает полнофункциональную АСУ (SCADA), объединяющую все цифровые блоки

релейной защиты, автоматики и сигнализации с АРМ диспетчера, релейщика или оператора, находящимися за пределами данной подстанции. Названная АСУ поставляется как одновременно с комплектом цифровых блоков релейной защиты и автоматики, так и отдельно, для установки на уже действующую КТП.

Комплект цифровых устройств защиты и автоматики для КТП и КТП-СН имеет два исполнения по минимальной рабочей температуре. Первое исполнение рассчитано для работы от минус 40 до плюс 55 °С, второе – от минус 10 до плюс 55 °С. Выбор исполнения также производится при заказе комплекта.

В настоящее время на нефтеперекачивающих и газокompрессорных станциях *Астраханьгазпрома, Баштрансгаза, Лентрансгаза, Пермьтрансгаза, Сибнефтепровода, Сургутнефтегаза, Транссибнефти, Черномортранснефти*, а также на *Омском и Рязанском НП* находится в эксплуатации более 200-х комплектов устройств цифровой релейной защиты и автоматики БМРЗ-0,4 и БМПА-0,4. За шесть месяцев 2004 года заказано более 50 комплектов для КТП и КТП-СН.

Литература

1. Правила устройства электроустановок. М.: Госэнергонадзор России, 1998, 610 с
2. *Беляев А.В., Эдлин М.А.* Дальнее резервирование отказов защит и выключателей в сетях 0,4 кВ. // *Электрические станции*, №12, 2002, с. 51
3. (6). *Езерский В.Г.* Функции релейной защиты для предупреждения повреждений электродвигателей. // *Энергия и менеджмент*, Ноябрь-декабрь 2002, с.45
4. Комплектные трансформаторные подстанции типа КТПСП. Промышленный каталог. Минск, 2000, // «Минский Электротехнический завод им. Козлова»
5. (7.) *Леонтьев А.В.* Серия цифровых блоков релейной защиты и противоаварийной автоматики для КТП СН 6(10)/0,4 кВ. // *Энергия и менеджмент*, Ноябрь-декабрь, 2002, с. 47
6. (3.) *Манилов А.М., Масляник В.В.* Дальнее резервирование защиты и выключателя линии и трансформаторов // *Электрические станции*, №2, 2003, с.46
7. *Палей Э.* Построение распределительных сетей 6(10) кВ. Факторы обеспечения надежности // *Новости электротехники*, №2(14), 2002 (опубликовано на сайте по адресу: [hthh://news.elteh.ru/arh/2002/14.php](http://news.elteh.ru/arh/2002/14.php))
8. (5.) Устройство противоаварийной автоматики. // *Езерский С.В., Миров А.В., Потапенко В.И., Беляков И.В.*
9. 7.(4.) Цифровые устройства релейной защиты. Каталог продукции 2004. СПб, Механотроника, 2004, 196 с.