ООО «НТЦ «Механотроника»
Россия, 198206, г. Санкт-Петербург,
ул. Пионерстроя, д. 23, лит. А

ИНН/КПП: 7808022632/780701001
ОГРН: 1027804596544
Info.mt@systeme.ru, www.mtrele.ru

Тел.: +7 (812) 654-35-82, Факс: +7 (812) 654-35-83
Тел./факс: +7 (812) 244-70-15
Центр поддержки клиентов: 8-800-250-63-60

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫБОРУ БЛОКОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ БЕЗ ГАРАНТИРОВАННОГО ПЕРЕМЕННОГО ТОКА 6 - 110 кВ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2026

Список сокращений

В настоящих методических указаниях приняты следующие обозначения и сокращения:

БМРЗ – блок микропроцессорный релейной защиты;

КЗ – короткое замыкание;

КСТ - реле команды отключить;

ЛЗШ – логическая защита шин;

МТЗ – максимальная токовая защита;

ТН – трансформатор напряжения;

ТО – токовая отсечка;

ТСН – трансформатор собственных нужд;

ТТ – трансформатор тока;

УРЗА – устройство релейной защиты и автоматики;

УРОВ – устройство резервирования при отказе выключателя.

ВВЕДЕНИЕ

В методических указаниях по выбору блоков питания для объектов без гарантированного переменного тока 6 – 110 кВ (далее – МУ) приведены рекомендации по выбору схем питания и параметров трансформаторов тока (ТТ) для блока питания комбинированного БПК-5(М)-Т.

Документ состоит из двух разделов:

– общие принципы;

– проверка ТТ для питания БПК.

Содержание

Лист

1 Общие принципы 5
1.1 Применение БПК-5(М) на объектах с переменным оперативным током 5
1.2 Особенности подключения БПК-5(М) на объектах с переменным оперативным током 5
1.3 Реализация дополнительного питания от ТТ 7
2 Проверка ТТ для питания БПК и УРЗА 9
2.1 Проверка ТТ для питания БПК-5-Т 9
2.2 Проверка ТТ для питания БПК-5-Т и УРЗА 10
2.3 Проверка ТТ для питания БПК-5М-Т 11
2.4 Проверка ТТ для питания БПК-5М-Т и УРЗА 12
Приложение А (справочное) Рекомендации по повышению надежности оперативного питания на объектах без гарантированного переменного оперативного тока 14
Приложение Б (справочное) Проверка возможности подключения БПК-5-Т к отдельной вторичной обмотке ТТ 15
Приложение В (справочное) Проверка возможности подключения БПК-5-Т и УРЗА к одной вторичной обмотке ТТ 17
Приложение Г (справочное) Проверка возможности подключения БПК-5М-Т к отдельной вторичной обмотке ТТ 19
Приложение Д (справочное) Проверка возможности подключения БПК-5М-Т и УРЗА к одной вторичной обмотке ТТ 21
Список использованной литературы 23

1 Общие принципы

1.1 Применение БПК-5(М) на объектах с переменным оперативным током

1.1.1 На объектах с переменным оперативным током питание цепей релейной защиты, автоматики и управления производится от источников переменного оперативного тока. В качестве которых выступают: трансформатор собственных нужд (ТСН), измерительные ТТ и трансформаторы напряжения (ТН), осуществляющие питание вторичных устройств непосредственно или через БПК (БПК-5-Т или БПК-5М-Т). Переменный оперативный ток имеет ряд преимуществ перед системами постоянного оперативного тока, например, при его использовании не требуется установка аккумуляторных батарей, поддержание постоянной температуры в помещении для них, наличие зарядно-выпрямительных устройств, устройств контроля изоляции цепей и т.д. Однако зависимость питания вторичного оборудования от наличия напряжения в основной сети и недостаточная мощность источников (ТТ и ТН) ограничивают область применения оперативного переменного тока.

1.1.2 ТСН используются для питания устройств релейной защиты и автоматики (УРЗА), однако при коротких замыканиях (КЗ) в основной сети не могут обеспечить стабильности напряжения, так как близкие короткие замыкания вызывают глубокое снижение напряжения, что может привести к несрабатыванию УРЗА, отсутствию передачи команд логической защиты шин (ЛЗШ), устройства резервирования при отказе выключателя (УРОВ) между УРЗА, несрабатыванию выключателей и т.д.

1.1.3 ТН используются для питания УРЗА, но имеют сходные особенности питания оперативных цепей, как и при питании от ТСН.

1.1.4 ТТ используются для питания УРЗА, при коротких замыканиях, сопровождающихся глубоким снижением напряжения в оперативных цепях, когда требуется стабильность напряжения, а повышение вторичного тока ТТ выступает дополнительным источником питания для БПК-5(М)-Т.

1.2 Особенности подключения БПК-5(М) на объектах с переменным оперативным током

1.2.1 БПК-5(М) предназначены для питания УРЗА на объектах, где нет гарантированного источника оперативного тока. БПК представляют собой выпрямительное устройство с ограничением выходного напряжения. БПК имеют два встроенных накопителя: первый подключен к выходу «ВЫХОД РЗА» и выдает стабилизированное напряжение 220 В, второй – к выходу «ВЫХОД ЭМ» (без стабилизации выходного напряжения) для питания независимого расцепителя, которым обычно дополнительно

оборудуются выключатели с пружинно-моторным приводом, на объектах без гарантированного источника оперативного тока.

1.2.2 Для повышения надежности питания оперативных цепей переменного тока рекомендуется использовать ТСН, включенные через предохранители, до вводных выключателей (рисунок 1).

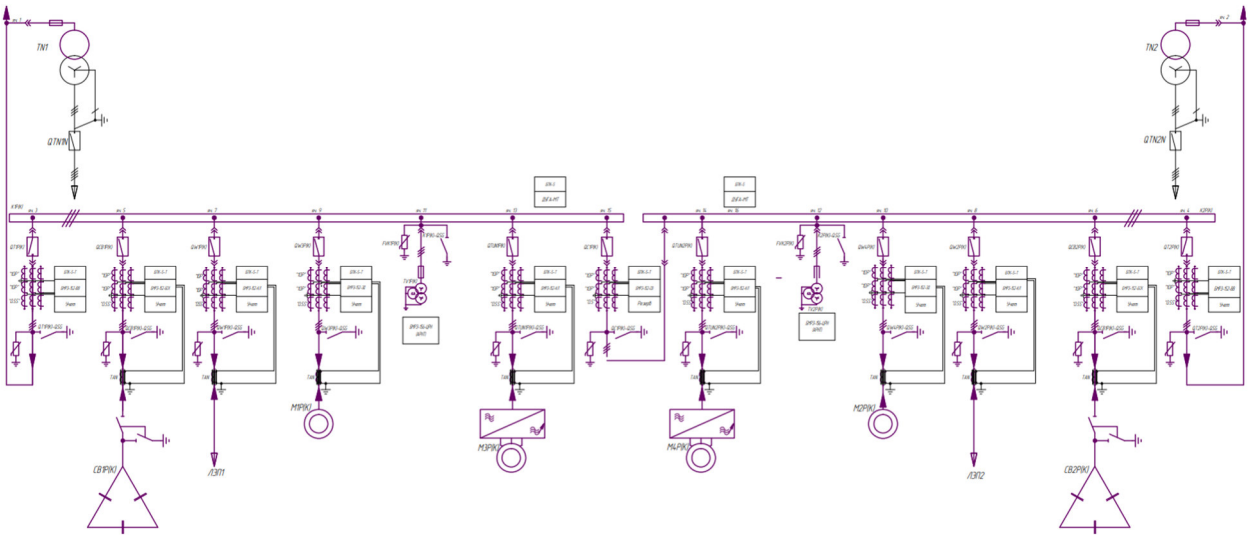

Рисунок 1 - Подключение ТСН до вводных выключателей

Для повышения надежности питания рекомендуется подключать БПК-5(М) к двум независимым источникам оперативного тока, например, к разным ТСН (рисунок 2).

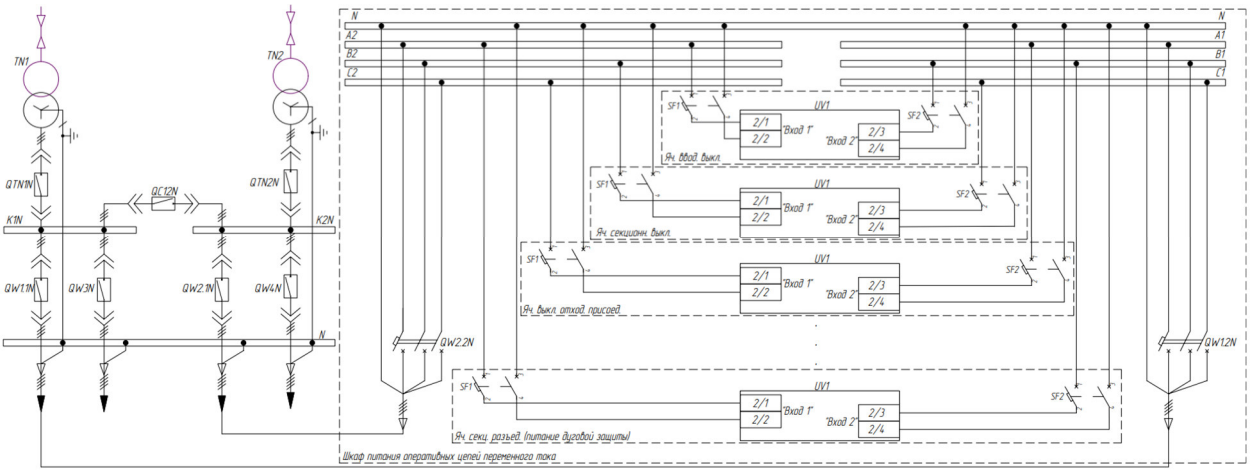

Рисунок 2 - Подключение БПК к двум независимым источникам оперативного тока

На рисунке 3 показано подключение ТСН к системе шин.

1.2.3 В приложении А даны дополнительные рекомендации по повышению надежности оперативного питания на объектах без гарантированного переменного оперативного тока при применении БПК-5(М).

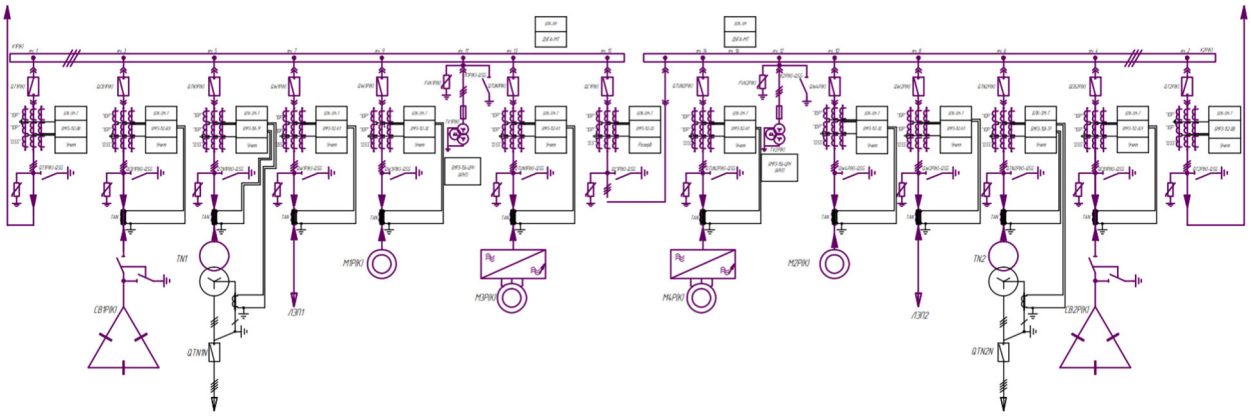

Рисунок 3 - Подключение ТСН к системе шин

1.2.4 БПК-5(М) имеет защиту выходов "ВЫХОД РЗА" и "ВЫХОД ЭМ" от коротких замыканий. Установка дополнительных защитных устройств (автоматических выключателей, предохранителей) после БПК не требуется.

1.2.5 В БПК-5(М) реализована возможность питания от оперативных цепей постоянного или переменного тока.

1.3 Реализация дополнительного питания от ТТ

1.3.1 Канал тока предназначен для поддержания необходимого уровня напряжения на выходе «ВЫХОД ЭМ», а также питания нагрузки на выходе «ВЫХОД РЗА». Необходимость организации дополнительного питания для БПК-5(М) от токовых цепей определяется нагрузкой на выход «ВЫХОД РЗА» в момент срабатывания основной защиты [1] рассматриваемого присоединения и выдачи команды на отключение выключателя. Эта нагрузка складывается из мощности, потребляемой УРЗА (в режиме срабатывания защиты) [2], реле команды отключить (КСТ), при его наличии в схеме отключения выключателя (формула 1)

$$P_{\text{сраб.}} = P_{\text{бмрз. сраб.}} + P_{КСТ}, \quad (1)$$

где $P_{\text{бмрз. сраб.}}$ - мощность, потребляемая УРЗА в режиме срабатывания защит, также нужно учесть мощность потребляемую дискретным входом УРЗА [2], Вт;

$P_{КСТ}$ – мощность, потребляемая промежуточным реле КСТ, в режиме срабатывания, Вт.

Затем по рисунку «График зависимости времени удержания напряжения 220 В от мощности нагрузки на выходе «ВЫХОД РЗА»», приведенному в паспортах БПК [3, 4], необходимо определить время удержания напряжения 220 В, при рассчитанной нагрузке $P_{\text{сраб.}}$, если полученное значение времени окажется больше или равно времени срабатывания основной защиты (чаще всего для присоединений 6 - 35 кВ - это МТЗ) [1], то дополнительного питания для БПК-5(М) не требуется, в противном случае необходимо использовать БПК-5(М)-Т с возможностью подключения к трансформаторам тока.

1.3.2 Токовые входы БПК-5(М)-Т предназначены для увеличения времени питания выхода «ВЫХОД РЗА» за счет питания от ТТ. В этом случае внутренний накопитель БПК-5(М)-Т заряжается за счет питания от ТТ, что позволяет продолжать питать УРЗА от выхода «ВЫХОД РЗА» и обеспечить питание независимого расцепителя выключателя от выхода «ВЫХОД ЭМ».

1.3.3 Входы питания от токовых цепей БПК-5-Т рекомендуется подключать к отдельным вторичным обмоткам ТТ класса точности 5Р или 10Р.

1.3.4 При питании БПК-5-Т от токовых цепей в момент включения необходимо дополнительно произвести проверку по коэффициенту предельной кратности (см. пп. 2.1.6-2.1.9).

1.3.5 При подключении питания от токовых цепей БПК-5-Т и УРЗА к одной обмотке ТТ необходимо произвести проверку вторичной обмотки ТТ по непревышению допустимого сопротивления нагрузки и коэффициенту предельной кратности.

1.3.6 Входы питания от токовых цепей БПК-5М-Т рекомендуется подключать к отдельным вторичным обмоткам ТТ класса точности 5Р или 10Р.

1.3.7 При питании БПК-5М-Т от токовых цепей в момент включения необходимо дополнительно произвести проверку по коэффициенту предельной кратности (см. пп. 2.3.6-2.3.9).

1.3.8 При подключении питания от токовых цепей БПК-5М-Т и УРЗА к одной обмотке необходимо произвести проверку вторичной обмотки ТТ по непревышению допустимого сопротивления нагрузки и коэффициенту предельной кратности.

2 Проверка ТТ для питания БПК и УРЗА

2.1 Проверка ТТ для питания БПК-5-Т

2.1.1 Поясняющая схема подключения БПК-5-Т к отдельной вторичной обмотке ТТ показана на рисунке 4.

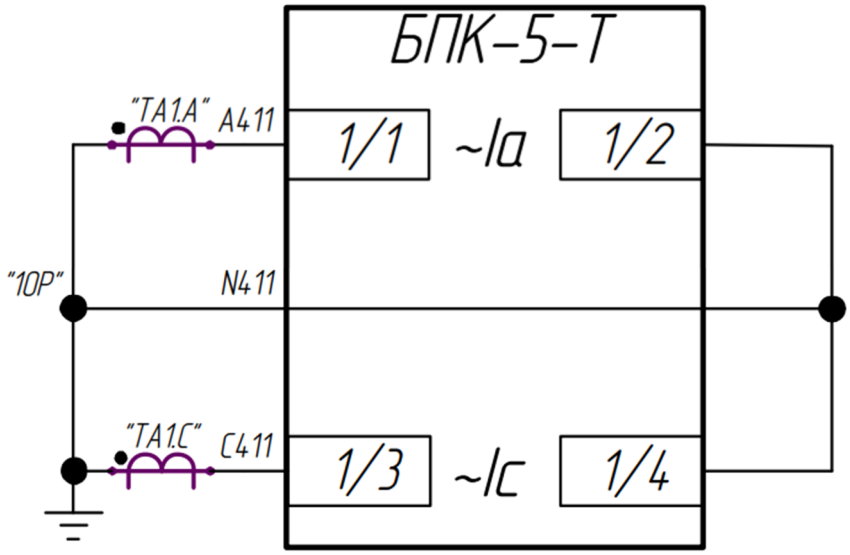

Рисунок 4 - Подключение блока питания БПК-5-Т к отдельной вторичной обмотке ТТ

2.1.2 Сопротивление токовых входов, Ом, БПК-5-Т [3] определяется по формуле (2)

$$z_{\text{бпк}} = \frac{220}{I_{\text{с.з. макс. вт.}} \cdot 62}, \quad (2)$$

где $I_{\text{с.з. макс. вт.}}$ – уставка срабатывания основной защиты [5] по вторичному току, А.

2.1.3 Расчетное сопротивление проводов, Ом, определяется по формуле (3)

$$r_{\text{пров.}} = \frac{2 \cdot \rho_{Cu} \cdot l_{\text{пров. тт}}}{S_{\text{сеч. пров.}}}, \quad (3)$$

где ρ_{Cu} – удельное сопротивление, Ом·мм^2/м;

$l_{\text{пров. тт}}$ – длина вторичных цепей от ТТ до БПК, м;

$S_{\text{сеч. пров.}}$ - сечение вторичных цепей, подключенных к ТТ, мм^2.

2.1.4 Сопротивление нагрузки вторичной обмотки ТТ, Ом, определяется по формуле (4)

$$z_{\text{нагр. обм. тт факт.}} = z_{\text{бпк}} + r_{\text{пров.}} + z_{\text{конт.}}, \quad (4)$$

где $z_{\text{конт.}} = 0{,}1$ Ом - сопротивление контактов.

2.1.5 Проверка по сопротивлению нагрузки, подключенной к вторичной обмотке ТТ, выполняется по выражению:

$$z_{\text{нагр. обм. тт доп.}} \geq z_{\text{нагр. обм. тт факт.}}$$

2.1.6 Минимально необходимый коэффициент предельной кратности определяется по формуле (5)

$$k_{\text{пред. кр. треб}} = \frac{I^{(3)}_{\text{кз макс.}}}{I_{\text{тт перв.}}}, \quad (5)$$

где $I^{(3)}_{\text{кз макс.}}$ – максимальный ток трехфазного КЗ, А;

$I_{\text{тт перв.}}$ – номинальный первичный ток ТТ, А.

2.1.7 Фактический коэффициент предельной кратности ТТ [6]:

$$k_{\text{пред. кр. факт.}} = k_{\text{пред. кр.}} \cdot \frac{r_{\text{тт обм. } dc} + z_{\text{нагр.обм.тт доп.}}}{r_{\text{тт обм. } dc} + z_{\text{нагр.обм.тт факт.}}},$$

где $k_{\text{пред. кр.}}$ – паспортный коэффициент предельной кратности ТТ.

2.1.8 Проверка по расчетному коэффициенту предельной кратности ТТ:

$$k_{\text{пред. кр. факт.}} \geq k_{\text{пред.кр.треб}}.$$

2.1.9 Фактический коэффициент предельной кратности ТТ должен быть больше, чем минимально необходимый, чтобы ТТ не насыщался.

2.1.10 Пример расчета приведен в приложении Б.

2.2 Проверка ТТ для питания БПК-5-Т и УРЗА

2.2.1 Поясняющая схема подключения БПК-5-Т и БМРЗ-152 к одной вторичной обмотке ТТ (рисунок 5).

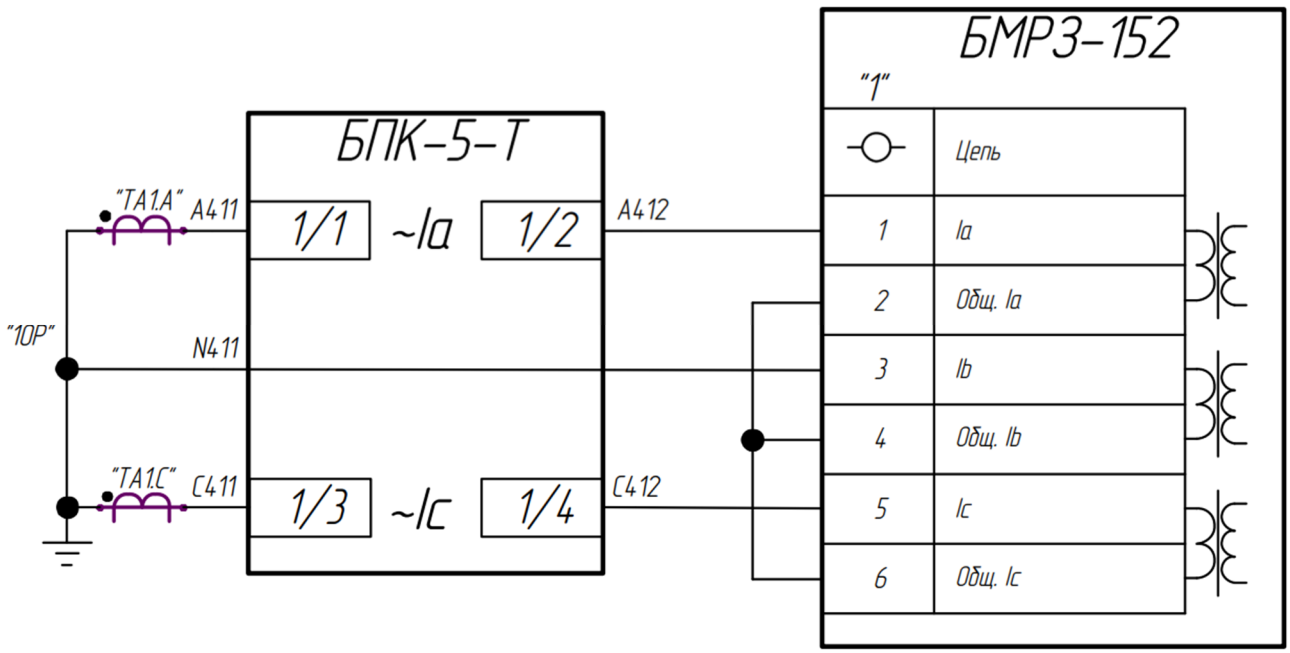

Рисунок 5 - Подключение БПК-5-Т и БМРЗ-152 к одной вторичной обмотке ТТ

2.2.2 Сопротивление токовых входов блока питания БПК-5-Т [3]:

$$z_{\text{бпк}} = \frac{220}{I_{\text{с.з. макс. вт.}} \cdot 62}.$$

2.2.3 Сопротивление токовых входов УРЗА типа БМРЗ [7]:

$$z_{\text{урза}} = \frac{S_{\text{урза}}}{I^2_{\text{тт вт}}},$$

где $S_{\text{урза}}$ - потребляемая мощность по входам фазных токов УРЗА.

2.2.4 Расчетное сопротивление проводов:

$$r_{\text{пров.}} = \frac{2 \cdot \rho_{Cu} \cdot l_{\text{пров. тт}}}{S_{\text{сеч. пров.}}}.$$

где $l_{\text{пров.}}$ –длина вторичных цепей от ТТ до УРЗА.

2.2.5 Сопротивление нагрузки вторичной обмотки ТТ:

$$z_{\text{нагр. обм. тт факт.}} = z_{\text{бпк}} + z_{\text{урза}} + r_{\text{пров.}} + z_{\text{конт.}}.$$

2.2.6 Проверка по сопротивлению нагрузки, подключенной к вторичной обмотке ТТ:

$$z_{\text{нагр. обм. тт доп.}} \geq z_{\text{нагр. обм. тт факт.}}.$$

2.2.7 Минимально необходимый коэффициент предельной кратности [7]:

$$k_{\text{пред. кр. треб.}} = \frac{I^{(3)}_{\text{кз макс.}}}{I_{\text{тт перв.}}}.$$

2.2.8 Фактический коэффициент предельной кратности ТТ [6]:

$$k_{\text{пред. кр. факт.}} = k_{\text{пред. кр.}} \cdot \frac{r_{\text{тт обм. } dc} + z_{\text{нагр.обм.тт доп.}}}{r_{\text{тт обм. } dc} + z_{\text{нагр.обм.тт факт.}}}.$$

2.2.9 Проверка по расчетному коэффициенту предельной кратности ТТ:

$$k_{\text{пред. кр. факт.}} \geq k_{\text{пред. кр. треб}}.$$

2.2.10 Фактический коэффициент предельной кратности ТТ должен быть больше, чем минимально необходимый, чтобы ТТ не насыщался.

2.2.11 Пример расчета приведен в приложении В.

2.3 Проверка ТТ для питания БПК-5М-Т

2.3.1 Поясняющая схема подключения БПК-5М-Т к отдельной вторичной обмотке ТТ (рисунок 6).

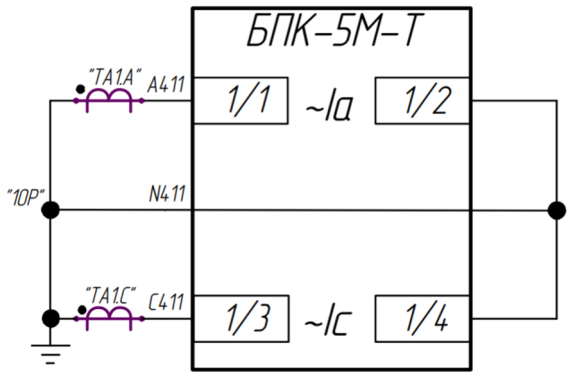

Рисунок 6 - Подключение БПК-5М-Т к отдельной вторичной обмотке ТТ

2.3.2 Сопротивление токовых входов блока питания БПК-5М-Т [4]:

$$z_{\text{бпк}} = \frac{160}{I_{\text{с.з. макс. вт.}} \cdot 25}.$$

2.3.3 Расчетное сопротивление проводов:

$$r_{\text{пров.}} = \frac{2 \cdot \rho_{Cu} \cdot l_{\text{пров. тт}}}{S_{\text{сеч. пров.}}}.$$

2.3.4 Сопротивление нагрузки вторичной обмотки ТТ:

$$z_{\text{нагр. обм. тт факт.}} = z_{\text{бпк}} + r_{\text{пров.}} + z_{\text{конт.}}.$$

2.3.5 Проверка по сопротивлению нагрузки, подключенной к вторичной обмотке ТТ:

$$z_{\text{нагр. обм. тт доп.}} \geq z_{\text{нагр. обм. тт факт.}}.$$

2.3.6 Минимально необходимый коэффициент предельной кратности:

$$k_{\text{пред. кр. треб}} = \frac{I^{(3)}_{\text{кз макс.}}}{I_{\text{тт перв.}}}.$$

2.3.7 Фактический коэффициент предельной кратности ТТ:

$$k_{\text{пред. кр. факт.}} = k_{\text{пред. кр.}} \cdot \frac{r_{\text{тт обм. } dc} + z_{\text{нагр.обм.тт доп.}}}{r_{\text{тт обм. } dc} + z_{\text{нагр.обм.тт факт.}}}.$$

2.3.8 Проверка по расчетному коэффициенту предельной кратности ТТ:

$$k_{\text{пред. кр. факт.}} \geq k_{\text{пред. кр. треб.}}.$$

2.3.9 Фактический коэффициент предельной кратности ТТ должен быть больше, чем минимально необходимый, чтобы ТТ не насыщался.

2.3.10 Пример расчета приведен в приложении Г.

2.4 Проверка ТТ для питания БПК-5М-Т и УРЗА

2.4.1 Поясняющая схема подключения БПК-5М-Т и БМРЗ-152 к одной вторичной обмотке ТТ (рисунок 7).

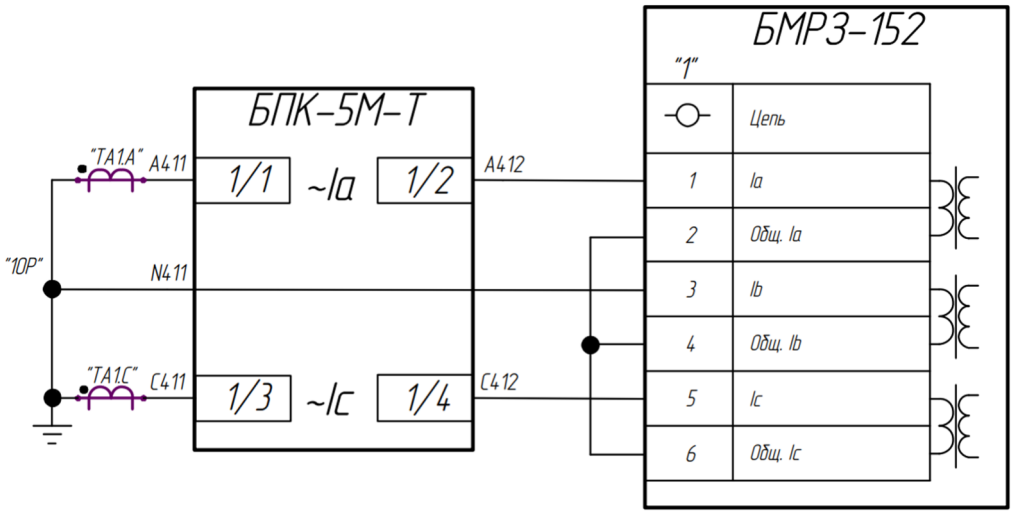

Рисунок 7 - Подключение БПК-5М-Т и БМРЗ-152 к одной вторичной обмотке ТТ

2.4.2 Проверка проводится аналогично приведенной выше в п. 2.2, с учетом приведенных ниже дополнений.

2.4.3 Сопротивление токовых входов блока питания БПК-5М-Т [4]:

$$z_{\text{бпк}} = \frac{160}{I_{\text{с.з. макс. вт.}} \cdot 25}.$$

2.4.4 Сопротивление токовых входов УРЗА типа БМРЗ [7]:

$$z_{\text{урза}} = \frac{S_{\text{урза}}}{I^2_{\text{тт вт}}}.$$

2.4.5 Расчетное сопротивление проводов:

$$r_{\text{пров.}} = \frac{2 \cdot \rho_{Cu} \cdot l_{\text{пров. тт}}}{S_{\text{сеч. пров.}}}.$$

2.4.6 Сопротивление нагрузки вторичной обмотки ТТ:

$$z_{\text{нагр. обм. тт факт.}} = z_{\text{бпк}} + z_{\text{урза}} + r_{\text{пров.}} + z_{\text{конт.}}.$$

2.4.7 Проверка по сопротивлению нагрузки, подключенной к вторичной обмотке ТТ:

$$z_{\text{нагр. обм. тт доп.}} \geq z_{\text{нагр. обм. тт факт.}}.$$

2.4.8 Минимально необходимый коэффициент предельной кратности:

$$k_{\text{пред. кр. треб}} = \frac{I^{(3)}_{\text{кз макс.}}}{I_{\text{тт перв.}}}.$$

2.4.9 Фактический коэффициент предельной кратности ТТ:

$$k_{\text{пред. кр. факт.}} = k_{\text{пред. кр.}} \cdot \frac{r_{\text{тт обм. } dc} + z_{\text{нагр.обм.тт доп.}}}{r_{\text{тт обм. } dc} + z_{\text{нагр.обм.тт факт.}}}.$$

2.4.10 Проверка по расчетному коэффициенту предельной кратности ТТ:

$$k_{\text{пред. кр. факт.}} \geq k_{\text{пред.кр.треб}}.$$

2.4.11 Фактический коэффициент предельной кратности ТТ должен быть больше, чем минимально необходимый, чтобы ТТ не насыщался.

2.4.12 Пример расчета приведен в приложении Д.

Приложение А

(справочное)

Рекомендации по повышению надежности оперативного питания на объектах без гарантированного переменного оперативного тока

Для обеспечения гарантированного питания устройств релейной защиты и их оперативных цепей стороны 6(10) кВ понизительной подстанции 35/6(10) кВ с двухобмоточными трансформаторами, выполненными согласно ГОСТ 11920-85 возможно использовать БПК-5(М) (без возможности питания от токовых цепей) при выполнении следующих условий:

1) на всех отходящих присоединениях 6(10) кВ вводится ТО;

2) дополнительно обеспечивается чувствительность ТО отходящих линий по току трехфазного КЗ на шинах в минимальном, но реально возможном режиме работы энергосистемы. Значение коэффициента чувствительности должно быть не менее 1,5;

3) шины 6 (10) кВ защищаются быстродействующей защитой шин (ЛЗШ и ДгЗ);

4) мощность трансформатора 35/6(10) кВ, не менее 1000 кВ·А в соответствии с ГОСТ 11920-85;

5) ток КЗ на стороне 35 кВ не менее 50 А;

6) трансформатор собственных нужд мощностью не менее 40 кВ·А с соединением обмоток Y/Yн-0 подключен к шинам 6(10) кВ;

7) при использовании трансформатора собственных нужд, подключенного к шинам 6(10) кВ мощностью не менее 40 кВ·А с соединением обмоток D/Yн-11, БПК-5(М) должен быть обязательно подключен к ТСН разных секций шин и подключен на разные фазы.

Приложение Б

(справочное)

Проверка возможности подключения БПК-5-Т к отдельной вторичной обмотке ТТ

ТТ номинальный ток первичной обмотки $I_{\text{тт перв.}} = 200$ А,

номинальный ток вторичной обмотки $I_{\text{тт вт.}} = 5$ А,

класс точности обмотки 10Р,

мощность обмотки $S_{\text{обм. тт}} = 25$ В·А,

коэффициент предельной кратности $k_{\text{пред. кр.}} = 13$ [8],

$r_{\text{тт обм. }dc} = 0{,}4$ Ом – активное сопротивление вторичной обмотки ТТ постоянному току.

Максимально допускаемое сопротивление нагрузки:

$$z_{\text{нагр. обм. тт доп.}} = \frac{S_{\text{обм. тт}}}{I_{\text{тт вт.}}^2} = \frac{25}{5^2} = 1 \text{ Ом}.$$

Общее сопротивление нагрузки:

$$z_{\text{нагр. обм. тт факт.}} = z_{\text{бпк}} + z_{\text{пров.}} + z_{\text{конт.}} = 0{,}374 + 0{,}035 + 0{,}1 = 0{,}509 \text{ Ом},$$

где $z_{\text{конт.}} = 0{,}1$ Ом - сопротивление контактов.

Сопротивление токовых входов блока питания БПК-5-Т [3]:

$$z_{\text{бпк}} = \frac{220}{I_{\text{с.з. макс. вт.}} \cdot 62} = \frac{220}{9{,}5 \cdot 62} = 0{,}374 \text{ Ом}.$$

Уставка срабатывания токовой защиты приведенная к вторичному току ТТ:

$$I_{\text{с.з. макс. вт.}} = \frac{I_{\text{с.з. макс.}}}{k_{\text{тт}}} = \frac{380}{40} = 9{,}5 \text{ А},$$

где $I_{\text{с.з. макс.}} = 380$ А - максимальная уставка срабатывания защиты по току данного присоединения.

Коэффициент трансформации ТТ:

$$k_{\text{тт}} = \frac{I_{\text{тт перв.}}}{I_{\text{тт вт.}}} = \frac{200}{5} = 40.$$

Расчетное сопротивление проводов:

$$z_{\text{пров.}} = \frac{2 \cdot \rho_{Cu} \cdot l_{\text{пров. тт}}}{S_{\text{сеч. пров.}}} = \frac{2 \cdot 0{,}0175 \cdot 2{,}5}{2{,}5} = 0{,}035 \text{ Ом},$$

где $S_{\text{сеч. пров.}} = 2{,}5$ мм^2 - сечение вторичных цепей, подключенных к ТТ,

$l_{\text{пров. тт}} = 2{,}5$ м – максимальная длина вторичных цепей от ТТ терминала БМРЗ.

Проверка по сопротивлению нагрузки, подключенной к вторичной обмотке ТТ:

$$z_{\text{нагр. обм. тт доп.}} \geq z_{\text{нагр. обм. тт факт.}},$$

$$1 > 0{,}509.$$

Минимально требуемый коэффициент предельной кратности для терминалов БМРЗ:

$$k_{\text{пред. кр. треб.}} = \frac{I^{(3)}_{\text{кз макс.}}}{I_{\text{тт перв.}}} = \frac{1{,}98 \cdot 10^3}{200} = 9{,}9\ ,$$

где $I^{(3)}_{\text{кз макс.}} = 1{,}98$ кА – максимальный ток трехфазного КЗ на шинах.

Фактический коэффициент предельной кратности трансформаторов тока:

$$k_{\text{пред. кр. факт.}} = k_{\text{пред. кр.}} \cdot \frac{r_{\text{тт обм. } dc} + z_{\text{нагр. обм. тт доп.}}}{r_{\text{тт обм. } dc} + z_{\text{нагр. обм. тт факт.}}} = 13 \cdot \frac{0{,}4 + 1}{0{,}4 + 0{,}509} = 20{,}02.$$

Проверка по сопротивлению коэффициенту предельной кратности ТТ:

$$k_{\text{пред. кр. факт.}} \geq k_{\text{пред. кр. треб.}},$$

$$20{,}02 > 9{,}9.$$

Фактический коэффициент предельной кратности ТТ больше, чем минимально необходимый, данный тип ТТ может быть использован для питания токовых входов БПК-5-Т.

Приложение В

(справочное)

Проверка возможности подключения БПК-5-Т и УРЗА к одной вторичной обмотке ТТ

ТТ номинальный ток первичной обмотки $I_{\text{тт перв.}} = 200$ А,

номинальный ток вторичной обмотки $I_{\text{тт вт.}} = 5$ А,

класс точности обмотки 10Р,

мощность обмотки $S_{\text{обм. тт}} = 25$ В·А,

коэффициент предельной кратности $k_{\text{пред. кр.}} = 13$,

$r_{\text{тт обм. } dc} = 0{,}4$ Ом – активное сопротивление вторичной обмотки ТТ постоянному току.

Максимально допускаемое сопротивление нагрузки:

$$z_{\text{нагр. обм. тт доп.}} = \frac{S_{\text{обм. тт}}}{I^2_{\text{тт вт.}}} = \frac{25}{5^2} = 1 \text{ Ом}.$$

Общее сопротивление нагрузки:

$$z_{\text{нагр. обм. тт факт.}} = z_{\text{урза}} + z_{\text{бпк}} + r_{\text{пров.}} + z_{\text{конт.}} = 0{,}008 + 0{,}374 + 0{,}035 + 0{,}1 = 0{,}517 \text{ Ом}.$$

Сопротивление токовых входов УРЗА типа БМРЗ [5]:

$$z_{\text{урза}} = \frac{S_{\text{урза}}}{I^2_{\text{тт вт}}} = \frac{0{,}2}{5^2} = 0{,}008 \text{ Ом},$$

где $S_{\text{урза}} = 0{,}2$ ВА - потребляемая мощность по входам фазных токов УРЗА типа БМРЗ.

Сопротивление токовых входов блока питания БПК-5-Т [3]:

$$z_{\text{бпк}} = \frac{220}{I_{\text{с.з. макс. вт.}} \cdot 62} = \frac{220}{9{,}5 \cdot 62} = 0{,}374 \text{ Ом}.$$

Уставка срабатывания токовой защиты приведенная к вторичному току ТТ:

$$I_{\text{с.з. макс. вт.}} = \frac{I_{\text{с.з.макс.}}}{k_{\text{тт}}} = \frac{380}{40} = 9{,}5 \text{ А},$$

где $I_{\text{с.з.макс.}} = 380$ А - максимальная уставка срабатывания защиты по току данного присоединения.

Коэффициент трансформации ТТ:

$$k_{\text{тт}} = \frac{I_{\text{тт перв.}}}{I_{\text{тт вт.}}} = \frac{200}{5} = 40.$$

Расчетное сопротивление проводов:

$$z_{\text{пров.}} = \frac{2 \cdot \rho_{Cu} \cdot l_{\text{пров. тт}}}{S_{\text{сеч. пров.}}} = \frac{2 \cdot 0{,}0175 \cdot 2{,}5}{2{,}5} = 0{,}035 \text{ Ом},$$

где $S_{\text{сеч. пров.}} = 2{,}5$ мм^2 - сечение вторичных цепей, подключенных к ТТ,

$l_{\text{пров. тт}} = 2{,}5$ м – максимальная длина вторичных цепей от ТТ терминала БМРЗ.

Проверка по сопротивлению нагрузки, подключенной к вторичной обмотке ТТ:

$$z_{\text{нагр. обм. тт доп.}} \geq z_{\text{нагр. обм. тт факт.}},$$

$$1 > 0{,}517.$$

Минимально требуемый коэффициент предельной кратности для терминалов БМРЗ:

$$k_{\text{пред. кр. треб.}} = \frac{I^{(3)}_{\text{кз макс.}}}{I_{\text{тт перв.}}} = \frac{1{,}98 \cdot 10^3}{200} = 9{,}9\ ,$$

где $I^{(3)}_{\text{кз макс.}} = 1{,}98$ кА – максимальный ток трехфазного КЗ на шинах.

Фактический коэффициент предельной кратности трансформаторов тока:

$$k_{\text{пред. кр. факт.}} = k_{\text{пред. кр.}} \cdot \frac{r_{\text{тт обм. } dc} + z_{\text{нагр. обм. тт доп.}}}{r_{\text{тт обм. } dc} + z_{\text{нагр. обм. тт факт.}}} = 13 \cdot \frac{0{,}4 + 1}{0{,}4 + 0{,}517} = 19{,}85.$$

Проверка по сопротивлению коэффициенту предельной кратности ТТ:

$$k_{\text{пред. кр. факт.}} \geq k_{\text{пред. кр. треб.}},$$

$$19{,}85 > 9{,}9.$$

Фактический коэффициент предельной кратности ТТ больше, чем минимально необходимый, данный тип ТТ может быть использован для питания токовых входов БПК-5-Т и токовых измерительных входов терминала БМРЗ.

Приложение Г

(справочное)

Проверка возможности подключения БПК-5М-Т к отдельной вторичной обмотке ТТ

ТТ номинальный ток первичной обмотки $I_{\text{тт перв.}} = 200$ А,

номинальный ток вторичной обмотки $I_{\text{тт вт.}} = 5$ А,

класс точности обмотки 10Р,

мощность обмотки $S_{\text{обм. тт}} = 25$ В·А,

коэффициент предельной кратности $k_{\text{пред. кр.}} = 13$,

$r_{\text{тт обм. } dc} = 0{,}4$ Ом – активное сопротивление вторичной обмотки ТТ постоянному току.

Максимально допускаемое сопротивление нагрузки:

$$z_{\text{нагр. обм. тт доп.}} = \frac{S_{\text{обм. тт}}}{I_{\text{тт вт.}}^2} = \frac{25}{5^2} = 1 \text{ Ом}.$$

Общее сопротивление нагрузки:

$$z_{\text{нагр. обм. тт факт.}} = z_{\text{бпк}} + r_{\text{пров.}} + z_{\text{конт.}} = 0{,}674 + 0{,}035 + 0{,}1 = 0{,}809 \text{ Ом}.$$

Сопротивление токовых входов блока питания БПК-5М-Т [4]:

$$z_{\text{бпк}} = \frac{160}{I_{\text{с.з. макс. вт.}} \cdot 25} = \frac{160}{9{,}5 \cdot 25} = 0{,}674 \text{ Ом}.$$

Уставка срабатывания токовой защиты приведенная к вторичному току ТТ:

$$I_{\text{с.з. макс. вт.}} = \frac{I_{\text{с.з.макс.}}}{k_{\text{тт}}} = \frac{380}{40} = 9{,}5 \text{ А},$$

где $I_{\text{с.з.макс.}} = 380$ А - максимальная уставка срабатывания защиты по току данного присоединения.

Коэффициент трансформации ТТ:

$$k_{\text{тт}} = \frac{I_{\text{тт перв.}}}{I_{\text{тт вт.}}} = \frac{200}{5} = 40.$$

Расчетное сопротивление проводов:

$$z_{\text{пров.}} = \frac{2 \cdot \rho_{Cu} \cdot l_{\text{пров. тт}}}{S_{\text{сеч. пров.}}} = \frac{2 \cdot 0{,}0175 \cdot 2{,}5}{2{,}5} = 0{,}035 \text{ Ом},$$

где $S_{\text{сеч. пров.}} = 2{,}5$ мм^2 - сечение вторичных цепей, подключенных к ТТ,

$l_{\text{пров. тт}} = 2{,}5$ м – максимальная длина вторичных цепей от ТТ терминала БМРЗ.

Проверка по сопротивлению нагрузки, подключенной к вторичной обмотке ТТ:

$$z_{\text{нагр. обм. тт доп.}} \geq z_{\text{нагр. обм. тт факт.}},$$

$$1 > 0{,}809.$$

Минимально требуемый коэффициент предельной кратности для терминалов БМРЗ:

$$k_{\text{пред. кр. треб.}} = \frac{I^{(3)}_{\text{кз макс.}}}{I_{\text{тт перв.}}} = \frac{1{,}98 \cdot 10^3}{200} = 9{,}9\ ,$$

где $I^{(3)}_{\text{кз макс.}} = 1{,}98$ кА – максимальный ток трехфазного КЗ на шинах.

Фактический коэффициент предельной кратности трансформаторов тока:

$$k_{\text{пред. кр. факт.}} = k_{\text{пред. кр.}} \cdot \frac{r_{\text{тт обм. } dc} + z_{\text{нагр. обм. тт доп.}}}{r_{\text{тт обм. } dc} + z_{\text{нагр. обм. тт факт.}}} = 13 \cdot \frac{0{,}4 + 1}{0{,}4 + 0{,}809} = 15{,}05.$$

Проверка по сопротивлению коэффициенту предельной кратности ТТ:

$$k_{\text{пред. кр. факт.}} \geq k_{\text{пред. кр. треб.}}$$

$$15{,}05 > 9{,}9.$$

Фактический коэффициент предельной кратности ТТ больше, чем минимально необходимый, данный тип ТТ может быть использован для питания токовых входов БПК-5М-Т.

Приложение Д

(справочное)

Проверка возможности подключения БПК-5М-Т и УРЗА к одной вторичной обмотке ТТ

ТТ номинальный ток первичной обмотки $I_{\text{тт перв.}} = 200$ А,

номинальный ток вторичной обмотки $I_{\text{тт вт.}} = 5$ А,

класс точности обмотки 10Р,

мощность обмотки $S_{\text{обм. тт}} = 25$ ВА,

коэффициент предельной кратности $k_{\text{пред. кр.}} = 13$,

$r_{\text{тт обм. } dc} = 0{,}4$ Ом – активное сопротивление вторичной обмотки ТТ постоянному току.

Максимально допускаемое сопротивление нагрузки:

$$z_{\text{нагр. обм. тт доп.}} = \frac{S_{\text{обм. тт}}}{I_{\text{тт вт.}}^2} = \frac{25}{5^2} = 1 \text{ Ом}.$$

Общее сопротивление нагрузки:

$$z_{\text{нагр. обм. тт факт.}} = z_{\text{урза}} + z_{\text{бпк}} + r_{\text{пров.}} + z_{\text{конт.}} = 0{,}008 + 0{,}674 + 0{,}035 + 0{,}1 = 0{,}817 \text{ Ом}.$$

Сопротивление токовых входов УРЗА типа БМРЗ:

$$z_{\text{урза}} = \frac{S_{\text{урза}}}{I_{\text{тт вт.}}^2} = \frac{0{,}2}{5^2} = 0{,}008 \text{ Ом}.$$

Сопротивление токовых входов блока питания БПК-5М-Т [4]:

$$z_{\text{бпк}} = \frac{160}{I_{\text{с.з. макс. вт.}} \cdot 25} = \frac{160}{9{,}5 \cdot 25} = 0{,}674 \text{ Ом}.$$

Уставка срабатывания токовой защиты приведенная к вторичному току ТТ:

$$I_{\text{с.з. макс. вт.}} = \frac{I_{\text{с.з.макс.}}}{k_{\text{тт}}} = \frac{380}{40} = 9{,}5 \text{ А},$$

где $I_{\text{с.з.макс.}} = 380$ А - максимальная уставка срабатывания защиты по току данного присоединения.

Коэффициент трансформации ТТ:

$$k_{\text{тт}} = \frac{I_{\text{тт перв.}}}{I_{\text{тт вт.}}} = \frac{200}{5} = 40.$$

Расчетное сопротивление проводов:

$$z_{\text{пров.}} = \frac{2 \cdot \rho_{Cu} \cdot l_{\text{пров. тт}}}{S_{\text{сеч. пров.}}} = \frac{2 \cdot 0{,}0175 \cdot 2{,}5}{2{,}5} = 0{,}035 \text{ Ом},$$

где $S_{\text{сеч. пров.}} = 2{,}5$ мм^2 - сечение вторичных цепей, подключенных к ТТ;

$l_{\text{пров. тт}} = 2{,}5$ м – максимальная длина вторичных цепей от ТТ терминала БМРЗ.

Проверка по сопротивлению нагрузки, подключенной к вторичной обмотке ТТ:

$$z_{\text{нагр. обм. тт доп.}} \geq z_{\text{нагр. обм. тт факт.}},$$

$$1 > 0{,}817.$$

Минимально требуемый коэффициент предельной кратности для терминалов БМРЗ:

$$k_{\text{пред. кр. треб.}} = \frac{I^{(3)}_{\text{кз макс.}}}{I_{\text{тт перв.}}} = \frac{1{,}98 \cdot 10^3}{200} = 9{,}9\ ,$$

где $I^{(3)}_{\text{кз макс.}} = 1{,}98$ кА – максимальный ток трехфазного КЗ на шинах.

Фактический коэффициент предельной кратности трансформаторов тока:

$$k_{\text{пред. кр. факт.}} = k_{\text{пред. кр.}} \cdot \frac{r_{\text{тт обм. } dc} + z_{\text{нагр. обм. тт доп.}}}{r_{\text{тт обм. } dc} + z_{\text{нагр. обм. тт факт.}}} = 13 \cdot \frac{0{,}4 + 1}{0{,}4 + 0{,}817} = 14{,}95.$$

Проверка по сопротивлению коэффициенту предельной кратности ТТ:

$$k_{\text{пред. кр. факт.}} \geq k_{\text{пред. кр. треб.}},$$

$$14{,}95 > 9{,}9.$$

Фактический коэффициент предельной кратности ТТ больше, чем минимально необходимый, данный тип ТТ может быть использован для токовых измерительных цепей терминала БМРЗ.

Список использованной литературы

1. Правила устройства электроустановок. Шестое издание. – СПб.: Издательство ДЕКАН, 2005. – 464 с.

2. Блок микропроцессорный релейной защиты БМРЗ Руководство по эксплуатации ДИВГ.648228.123 РЭ.

3. Блок питания комбинированный БПК-5-Т. Паспорт. ДИВГ.436745.001 ПС.

4. Блок питания комбинированный БПК-5М-Т. Паспорт. ДИВГ.436745.001-02 ПС.

5. СТО ДИВГ-059-2025 «Релейная защита распределительных сетей 6-10 кВ. Расчёт уставок Методические указания».

6. СТО 56947007-29.120.70.137-2012 Методические указания по выбору параметров срабатывания устройств РЗА серии SIPROTEC (Siemens AG) трансформаторов с высшим напряжением 110-220 кВ.

7. Королев Е.П., Либерзон Э.М. Расчеты допустимых нагрузок в токовых цепях релейной защиты. – М.: Энергия, 1980. – 280 с. ил.

8. ГОСТ 7746-2015 Трансформаторы тока. Общие технические условия.