

Глава 15. РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА ШУНТОВЫХ БАТАРЕЙ СТАТИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ*

15.1. ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ

Батареи статических конденсаторов (БСК) в основном используются для следующих целей:

- компенсация реактивной мощности в сети;
- регулирование уровня напряжения на шинах;
- выравнивание формы кривой напряжения в схемах управления с тиристорным регулированием.

Передача реактивной мощности по линии электропередачи приводит к снижению напряжения, особенно заметному на воздушных линиях электропередачи, имеющих большое реактивное сопротивление. Кроме того, дополнительный ток, протекающий по линии, приводит к росту потерь электроэнергии. Если активную мощность нужно передавать именно такой величины, которая требуется потребителю, то реактивную можно сгенерировать на месте потребления. Для этого и служат конденсаторные батареи. Наибольшее потребление реактивной мощности имеют асинхронные двигатели. Поэтому при выдаче технических условий потребителю, имеющему значительную долю асинхронных двигателей в составе нагрузки, обычно предлагается довести $\cos \varphi$ до величины 0.95. При этом снижаются потери активной мощности в сети и падение напряжения на линии электропередачи. В ряде случаев вопрос можно решить применением синхронных двигателей. Однако наиболее простым способом получения такого результата является применение батареи статических конденсаторов

При минимальных нагрузках системы, может создаться положение, когда конденсаторная батарея создает избыток реактивной мощности. В этом случае излишняя реактивная мощность направляется обратно к источнику питания, при этом линия опять загружается дополнительным реактивным током, увеличивающем потери активной мощности. Напряжение на шинах растет и может оказаться опасным для оборудования. Поэтому очень важно иметь возможность регулирования мощности батареи конденсаторов. В простейшем случае в минимальных режимах нагрузки можно отключить БСК – регулирование скачком. Иногда этого недостаточно и батарею делают состоящей из нескольких меньших БСК, каждую из которых можно включить или отключить отдельно - ступенчатое регулирование. Наконец существуют системы плавного регулирования, например: параллельно батарее включается реактор, ток в котором плавно регулируется тиристорной схемой. Во всех случаях для этого применяется специальная автоматика регулирования БСК.

Широко применяемые схемы тиристорного регулирования нагрузки основаны на том, что тиристоры открываются схемой управления в определенный момент периода и чем меньшую часть периода они открыты, тем меньше действующее значение тока протекающего через нагрузку. При этом появляются высшие гармоники тока в составе тока нагрузки и соответствующие им гармоники напряжения на питающем источнике. БСК способствуют снижению уровня гармоник в напряжении, так как их сопротивление с ростом частоты падает, а значит растет величина потребляемого батареей тока. Это приводит к сглаживанию формы напряжения. При этом появляется опасность перегрузки конденсаторов токами высших гармоник, и требуется специальная защита от перегрузки.

Конденсаторные батареи могут применяться на напряжение 0.4кВ, 6-10кВ, 35кВ, существуют также батареи напряжением 110кВ.

Конденсаторная батарея состоит обычно не из одного конденсатора в фазе, а сразу из нескольких, которые и образуют батарею. Количество конденсаторов в батарее зависит от необходимой мощности БСК и мощности (пропорциональной емкости) одного конденсатора, от его номинального напряжения. Существуют конденсаторы, рассчитанные на полное напряжение сети 6 или 10кВ. Такие конденсаторы включаются обычно по схеме треугольника, так как напряжение на них определяется линейным напряжением и не зависит от смещения нейтрали батареи. Таковы, например установки компенсации реактивной мощности КРМ-6, КРМ-10 производства фирмы «Элтехника» г. Санкт-Петербург. Они собираются из конденсаторов напряжением 6-10 кВ, включенных в треугольник.

Каждая ячейка представляет шкаф с конденсаторами мощностью 450 кВАр, имеющий предохранитель ПКТ-102 в цепи каждой фазы. Из таких шкафов может быть набрана батарея общей мощностью до 3150 кВАр. Схема шкафа показана на рис.15.1.

L1 L2 L3

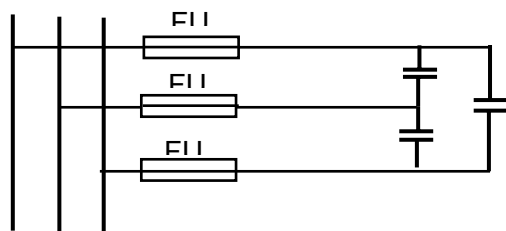


Рис. 15.1. Схема одной ячейки конденсаторной батареи КРМ-6 (КРМ-10).

FU1 –FU3 – предохранители ПКТ 102.

С- конденсатор СРАКС2 –6(10)

Примечание: при написании данной главы использованы типовые материалы Белорусского отделения Энергосетьпроект: «Шунтовые конденсаторные батареи 6-110кВ», 1984 год.*

Внутри конденсаторов имеется разрядное сопротивление для его разряда после снятия напряжения. Набор из одного или нескольких шкафов подключается к секции через выключатель.

Рассмотрим более подробно вопросы выбора количества конденсаторов и напряжения на них. Количество рядов конденсаторов определяется величиной фазного напряжения и допустимым напряжением на конденсатор. В каждом ряду находится одинаковое количество конденсаторов, поэтому сопротивление каждого ряда одинаково, напряжение, приходящееся на каждый ряд, также одинаково, и не должно превышать номинальное напряжение конденсатора.

$$U_{\text{кон}} = U_{\text{ф-макс}} / n < U_{\text{ном}} \quad (15.1)$$

Расчетное максимальное напряжение составляет $1.1 U_{\text{ном}}$. Максимальное линейное напряжение, кВ: 6.6 - для сети 6кВ, 11.0 - для сети 10кВ, 38.5 - для сети 35 кВ. Им соответствуют фазные напряжения 3.8, 6.35, 22.2 кВ.

БСК может быть создана из конденсаторов, не рассчитанных на полное рабочее напряжение. Так, например, широко распространены конденсаторы наружной установки КС-2-1.05-60. Их номинальное напряжение 1.05 кВ. Поэтому батарею необходимо собирать из группы последовательно соединенных конденсаторов.

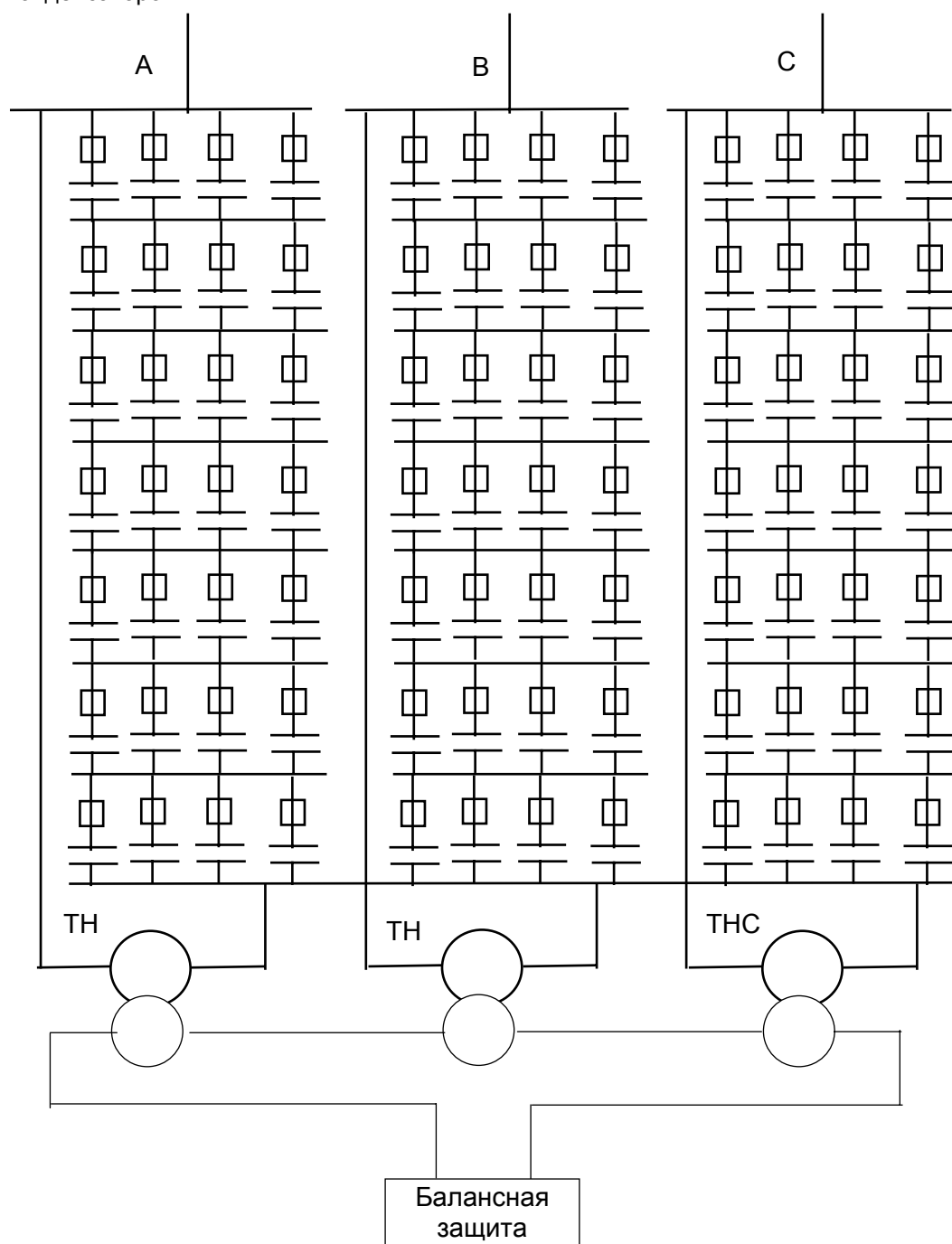


Рис. 15.2. Схема включения БСК напряжением 10кВ из конденсаторов КС-2-1.05-60.

Для уменьшения количества последовательных элементов батарея соединяется в звезду и на каждую группу, таким образом, приходится фазное напряжение. Конденсаторы соединяются параллельно в ряды из одинакового количества конденсаторов, ряды собираются последовательно таким образом, чтобы на каждый конденсатор приходилось допустимое напряжение. Каждый конденсатор имеет собственный отдельный предохранитель, который перегорает при замыкании внутри конденсатора. Количество конденсаторов в ряду выбираются исходя из получения необходимой мощности. Минимальное количество конденсаторов в ряду определяется не только мощностью батареи, но и величиной напряжения, которое может прийти на один конденсатор. Нейтраль батареи конденсаторов 6-35 кВ изолирована и может смещаться при неравенстве сопротивлений конденсаторов подключенных к фазам. Существуют батареи конденсаторов 110кВ, нейтраль у которых заземлена, и смещения ее происходить не может. Таким образом, если использовать конденсаторы с номинальным напряжением 1.05кВ, то необходимо выполнить не менее 4 рядов для сети 6 кВ, 7 рядов для сети 10кВ, 22 рядов для сети 35 кВ. Если в каком то ряду отключился один из конденсаторов после перегорания его предохранителя, то сопротивление этого ряда возрастает. Если предположить в ряду по 2 конденсатора, то сопротивление этого ряда вырастет вдвое и соответственно на конденсаторе появится напряжение примерно вдвое большее. Это напряжение может превысить допустимое, и повредится другой конденсатор этого ряда. Если предположить что в ряду было 4 конденсатора, то в ряду останется 3 и сопротивление, а также напряжение может повысится примерно на 1/3. В принципе конденсаторы такое повышение напряжения допускают. Однако ПУЭ требуют, чтобы количество конденсаторов в ряду было таким, чтобы при отключении одного конденсатора, напряжение на оставшихся в ряду не превысило 110% Уном.

Схема такой батареи показана на рис.15.2.

На рисунке представлена схема включения БСК 10кВ составленная из конденсаторов КС-2-1.05-60. В каждой фазе батареи имеется 7 рядов конденсаторов на напряжение 1.05 кВ по 4 конденсатора в каждом ряду. Каждый конденсатор включается через собственный предохранитель. Расчетная мощность БСК 4.9 мВАр. Каждая фаза батареи зашунтирована однофазным трансформатором ОМ-1.25/10 (ТНА, ТНВ, ТНС), вторичные обмотки которых соединены в разомкнутый треугольник. На выходе треугольника выделяется напряжение пропорциональное напряжению смещения нейтрали ($3U_0$), на которое включена балансная защита, специфическая для такой схемы БСК. При одинаковых сопротивлениях фаз батареи – все конденсаторы исправны – напряжение нейтрали равно нулю. Если повредится один из конденсаторов, сопротивление этой фазы возрастает, нарушается баланс фазных напряжений, и на выходе схемы появляется напряжение небаланса, на которое реагирует балансная защита.

Шунтирующие фазы трансформаторы являются также разрядными сопротивлениями, разряжающими конденсаторы при снятии напряжения с батареи.

На напряжении 6 кВ могут быть использованы 4 ряда таких конденсаторов и шунтирующий фазу и измерительный трансформатор ОМ-1.25/6.

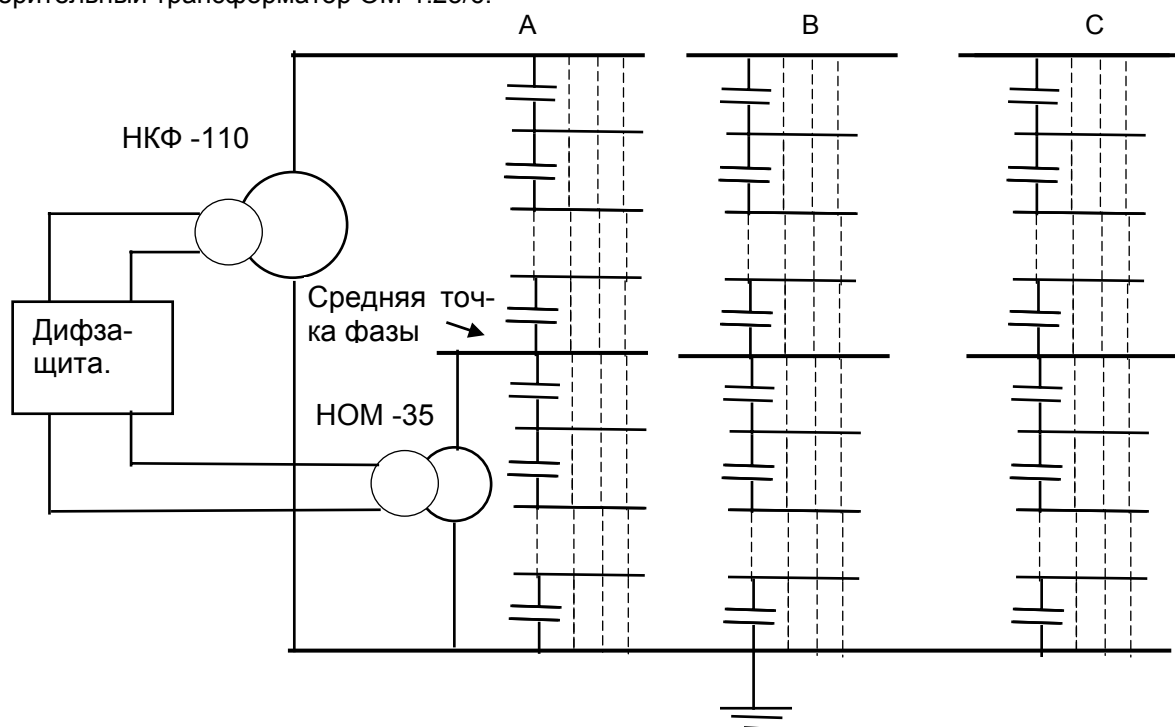


Рис 15.3. Схема подключения ТН 110 и 35 кВ в БСК 110 для выполнения дифференциальной защиты.

Батарея конденсаторов 35 кВ имеет 24 ряда конденсаторов КС-2-1.05-60. Параллельно фазе включается трансформатор напряжения НОМ-35, который используется для подключения балансной защиты.

Из конденсаторов КС-2-1.05-60 может быть набрана и батарея напряжением 110кВ. Такая батарея работает с глухозаземленной нейтралью и имеет 72 ряда конденсаторов КС-2-1.05-60. Фаза шунтируется трансформатором напряжения НКФ-110. Поскольку нейтраль заземлена наглухо, выполнить балансную защиту по старому принципу невозможно. Взамен этого выполняется дифференциальная защита по напряжению. Для этой цели ряды конденсаторов делятся пополам, и к середине подключается трансформатор напряжения НОМ-35, см. рис.15.3.

Дифференциальная защита включается на разность напряжений двух ТН. Напряжения балансируются с помощью потенциометра, установленного со стороны НКФ-110, таким образом, чтобы при нормальном режиме напряжения, подаваемые от обеих ТН, были равны, а их разность была равна нулю. При повреждении конденсатора в верхней или нижней части схемы распределение напряжений изменяется и в реле дифзащиты появляется напряжение небаланса.

При подаче напряжения на батарею возникает ток включения, зависящий от емкости батареи и сопротивления сети. Ориентировочно ток включения батареи определяется по формуле:

$$I_{\text{вкл.бск}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ном.бск}} \cdot \left(K_u + \sqrt{\frac{W_{\text{кз}}}{Q_{\text{н.бск}}}} \right) \quad (15.2)$$

Где $I_{\text{вкл.бск}}$ - амплитудное значение тока включения БСК,

$I_{\text{ном. бск}}$ - номинальный ток БСК,

$W_{\text{кз}}$ - мощность КЗ на шинах, в месте установки БСК,

$Q_{\text{н.бск}}$ - номинальный ток БСК,

K_u - коэффициент загрузки конденсаторов по напряжению.

$$K_u = \frac{U_{\text{расч}}}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_{\text{н.к.}}} \quad (15.3)$$

Где; $U_{\text{расч}}$ – расчетное напряжение конденсаторной батареи: 6.6, 11, 38.5 кВ,

n – количество рядов,

$U_{\text{н.к.}}$ – номинальное напряжение конденсатора.

Используя для примера изображенную на рис. 2 батарею мощностью 4.9 мВАр и приняв мощность КЗ на шинах 10кВ, куда подключена батарея 300мВА, можем определить:

Номинальный ток батареи:

$$I_{\text{ном. бск}} = 4.9 / (\sqrt{3} \cdot 11) = 0.257 \text{ кА.}$$

Коэффициент загрузки конденсаторов по формуле 15.2:

$$K_u = 11 / (\sqrt{3} \cdot n \cdot 1.05) = 0.864.$$

При выборе выключателя для БСК действительный коэффициент загрузки по напряжению в формуле 15.2 не учитывается, он принимается равным 1.

Амплитудное значение тока включения для выбора релейной защиты:

$$I_{\text{вкл.бск}} = \sqrt{2} \cdot 0.257 \cdot [0.864 + \sqrt{(300/4.9)}] = 3.16 \text{ кА}$$

Если принять K_u равным 1, то ток включения будет равным **3.20кА**. Таким образом, без вычисления K_u можно обойтись.

При наличии двух батарей, каждая из которых со своим выключателем могут возникнуть большие токи, чем в первом случае. Расчетным режимом является режим, когда одна батарея уже включена и включается другая. В этом случае ток определяется по формуле:

$$I_{\text{вкл}} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_p \cdot C_1}{\sqrt{3} \cdot X_0 \cdot (C_0 + C_1)} \sqrt{\frac{1}{314^2 (L_0 + L_p) C}} \quad (15.4)$$

$$C = \frac{C_0 \cdot C_1}{C_0 + C_1} \quad (15.5)$$

В этих формулах

U_p – расчетное напряжение батареи,

X_0 – расчетное сопротивление раннее включенной батареи Ом,

C_0 – емкость ранее включенной батареи Ф.

C_1 – емкость включаемой батареи Ф,

L_0 – индуктивность ошиновки между включаемыми батареями Г (удельную индуктивность ошиновки можно принять равной 1.27×10^{-6} Г/м).

L_p – индуктивность дополнительного токоограничивающего реактора в цепях батарей.

Для примера предположим, что устанавливаются 2 батареи одинаковой величины из предыдущего примера $Q=4.9$ мВАр 10кВ, каждая фаза из которых состоит из 7 рядов конденсаторов по че-

тыре в ряду, и подсчитаем ток включения. Длину ошиновки между батареями примем равной 200м. Емкость одиночного конденсатора - 362 мкф. Емкость фазы батареи

$$C_0 = C_1 = C_k * 4 / 7 = 302 * 4 / 7 = 207 * 10^{-6} \text{ Ф}$$

Соответственно емкость двух параллельных батарей:

$$C = 207 / 2 = 103.5 * 10^{-6} \text{ Ф}$$

Реактивное сопротивление фазы батареи:

$$X_0 = 1 / (\omega * C_0) = 1 / (314 * 207 * 10^{-6}) = 15.4 \text{ Ом.}$$

Индуктивность связи между батареями

$$L_0 = 1/27 * 10^{-6} * 200 = 254 * 10^{-4} \text{ Г.}$$

Подставив найденные величины в формулу 15.4 получим амплитудную величину тока включения.

$$I_{\text{вкл}} = \frac{\sqrt{2} * 11}{\sqrt{3} * 15.4 * 2} \sqrt{\frac{1}{314^2 * 2.54 * 10^{-4} * 103.5 * 10^{-6}}} = 5.72 \text{ кА}$$

Ток включения второй батареи получился значительно больше, чем первой (3.2кА).

Для уменьшения тока включения в цепь питания БСК включают токоограничивающие реакторы, в качестве которых часто применяются катушки высокочастотных заградителей. Например, включив в фазы одного из БСК реакторы РЗ-1000-0.6, получим ток:

$$I_{\text{вкл}} = \frac{\sqrt{2} * 11}{\sqrt{3} * 15.4 * 2} \sqrt{\frac{1}{314^2 * (2.54 * 10^{-4} + 0.6 * 10^{-3}) * 103.5 * 10^{-6}}} = 3.13 \text{ кА}$$

Операции с выключателем при включении батареи часто являются определяющими при выборе выключателя. Выбор выключателя определяется по режиму повторного зажигания дуги в выключателе, когда между контактами выключателя может возникнуть удвоенное напряжение – напряжение заряда конденсатора с одной стороны и напряжение в сети в противофазе с другой стороны. Ток повторного зажигания для выключателя получается умножением тока включения на коэффициент перенапряжения «К». Если используется выключатель того же напряжения, что и БСК, коэффициент К равняется 2.5. Часто для включения батареи 6-10кВ используют выключатель повышенного напряжения 35 кВ. В этом случае коэффициент К равняется 1.25.

$$I_{\text{пз}} = K * I_{\text{вкл. макс}} \quad (15.6)$$

При выборе выключателя, его номинальный ток (амплитудное значение) должен быть равен или больше расчетного отключаемого тока при повторном зажигании. Расчетный отключающий ток зависит от типа выключателя и равен:

$$I_{\text{откл. расч.}} = I_{\text{пз}} \quad \text{для воздушных выключателей;} \quad (15.7)$$

$$I_{\text{откл. расч.}} = I_{\text{пз}} / 0.3 \quad \text{для масляных выключателей.} \quad (15.8)$$

Сведения о таких же параметрах для вакуумных или элегазовых выключателей у авторов отсутствуют и их необходимо получать у фирмы – изготовителя выключателя.

Для примера произведем проверку параметров выключателя для токов включения, рассчитанных ранее, при применении масляного выключателя 10кВ с током отключения 20кА в действующих величинах или 28.3кА в амплитудных (ВМП-10-630-20).

а) Одна батарея 4.9 мВАр.

Ток повторного зажигания:

$$I_{\text{пз}} = 2.5 * 3.20 = 8.00 \text{ кА}$$

Расчетный ток отключения:

$$I_{\text{откл. расч.}} = 8.00 / 0.3 = 26.7 \text{ кА}$$

Может быть использован масляный выключатель напряжением 10кВ.

б) Две батареи по 4.9 мВАр.

Ток повторного зажигания:

$$I_{\text{пз}} = 2.5 * 5.72 = 14.3 \text{ кА}$$

Расчетный ток отключения:

$$I_{\text{откл. расч.}} = 14.3 / 0.3 = 47.6 \text{ кА}$$

Выключатель не может быть использован для включения БСК.

Можно использовать масляный выключатель напряжением 35 кВ, у которого расчетный ток отключения будет в 2 раза меньше (K=1.25 вместо 2.5)

$$I_{\text{пз}} = 1.25 * 5.72 = 7.15 \text{ кА}$$

$$I_{\text{откл. расч.}} = 7.15 / 0.3 = 23.8 \text{ кА}$$

Можно в цепи одной из батарей установить реактор. При установке реактора РЗ-1000-0.6 ток включения будет 3.13кА:

$$I_{пз} = 2.5 * 3.13 = 7.82 \text{ кА}$$

$$I_{откл. \text{ расч.}} = 7.82 / 0.3 = 26 \text{ кА}$$

Таким образом, выбор выключателя для батареи иногда представляет собой сложную задачу. Следует иметь в виду, что таким требованиям должен соответствовать вводной и секционный выключатель, которыми также может быть подано напряжение на включенную конденсаторную батарею.

В ряде случаев, особенно при установке БСК на действующей подстанции, для того, чтобы избежать замены этих выключателей выполняют блокировку, отключающую выключатель БСК перед включением или отключением СВ или ввода.

15.2. РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА БСК

15.2.1. Токовая отсечка

Токовая отсечка является основной защитой от замыканий между выводами батареи. Ток срабатывания токовой отсечки для быстродействующих защит (например на РТ-40 без дополнительной задержки) выбирается по условию отстройки от амплитудного тока включения.

$$I_{сз} = K_H * I_{вкл} \quad (15.9)$$

$K_H = 1.5$ – коэффициент надежности

$I_{вкл}$ – ток включения определенный по формуле 15.2 или 15.4.√

Для микропроцессорных защит, в которых вычисляется действующее значение за период и имеющих время срабатывания 0.05 сек или более, можно определить ток срабатывания по действующему значению тока

$$I_{вкл. \text{ действ.}} = I_{вкл} / \sqrt{2}$$

Проверяется чувствительность отсечки по току двухфазного короткого замыкания на выводах при КЗ в минимальном режиме:

$$Kч = I_{кз \text{ мин.}}^{(2)} / I_{сз} \quad (15.10)$$

Коэффициент чувствительности должен быть равен 2.

Если требуемая чувствительность не обеспечивается, то дополнительно к токовой отсечке выполняется вторая ступень с выдержкой времени 0.3-0.5 сек. Ток срабатывания выбирается исходя из условия обеспечения необходимой чувствительности $Kч=2$.

$$I_{сз} = I_{кз \text{ мин.}}^{(2)} / 2 \quad (15.11)$$

15.2.2. Максимальная защита

Ток срабатывания максимальной защиты выбирается по условию отстройки от номинального тока батареи.

$$I_{сз} = K_H * I_{ном.бск} / Kв.$$

K_H - Коэффициент надежности принимается равным 1.2.

Коэффициент возврата соответствует примененной аппаратуре.

Для реле РТ 40

$$I_{сз} = 1.2 K_H * I_{ном.бск} / 0.8 = 1.5 I_{ном.бск}$$

Для микропроцессорных защит с $Kв = 0.95$

$$I_{сз} = 1.25 I_{ном.бск}$$

Еще одним условием выбора уставки максимальной защиты, является требование выполнения защиты от перегрузки токами высших гармоник с током равным $1.3 I_{ном.бск}$. Максимальная защита вполне может выполнить эту функцию, если на ней можно установить соответствующую уставку. Реле, применяемое для этой цели, должно реагировать на токи высших гармоник, например: УЗА-10 и большинство других микропроцессорных защит.

Токовые защиты выполняются в трехфазном трехрелейном исполнении для БСК 35-110 кВ, и в двухфазном двухрелейном для БСК 6-10кВ.

15.2.3. Защита от замыканий на землю

Защита от замыканий на землю выполняется по току нулевой последовательности, так же как и защита других фидеров. Реально ее можно выполнить на трансформаторе тока нулевой последовательности при наличии кабельного вывода на батарею.

15.2.4. Защита от повышения напряжения

Защита от повышения напряжения действует при повышении напряжения свыше допустимого 110% номинального. Отключение батареи производится с выдержкой времени 3-5 минут. Фактически защи-

та от повышения напряжения имеет функции защиты батареи от перегрузки по напряжению. Поэтому, после срабатывания защиты от повышения напряжения, повторное включение батареи разрешается после снижения напряжения в сети до номинального, но не ранее чем через 5 минут.

$$U_{сз} = 1.1 U_{ном} \quad t_{сз} = 3-5 \text{ мин.} \quad (15.12)$$

В данном случае за номинальное напряжение принимается номинальное напряжение конденсаторов. Защита от повышения напряжения не требуется, если при повышении напряжения к единичному конденсатору не может быть приложено напряжение, превышающее 110% $U_{ном}$.

15.2.5. Балансная защита

Балансная защита используется для БСК напряжением 6-35 кВ, если батарея собрана из нескольких рядов единичных конденсаторов см. рис 15.2. Эта защита предназначена для защиты от внутренних повреждений, когда замыкается 1 ряд, или в ряду повреждается конденсатор. В последнем случае на оставшихся в ряду конденсаторах возникает повышенное напряжение, и балансная защита не должна допустить повышения этого напряжения свыше допустимого. Как уже говорилось, балансная защита включена на фильтр напряжения нулевой последовательности, представляющий собой вторичные обмотки трех трансформаторов напряжения шунтирующих фазы, собранные в разомкнутый треугольник см. рис. 15.4.

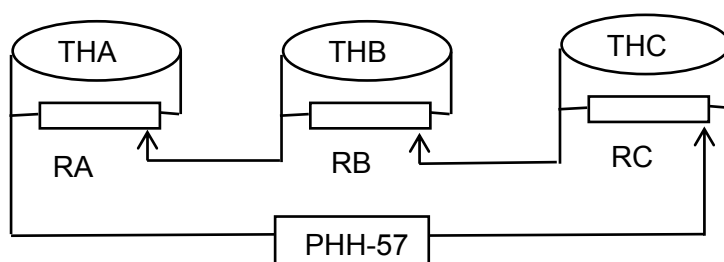


Рис. 15.4. Схема включения балансной защиты для БСК-10кВ.

Для БСК 35 кВ, подключаемой через НОМ 35 кВ, выравнивающие резистора не применяются.

На выходе схемы получается сумма напряжений трех фаз, которая при симметричной системе равно 0. Потенциометры RA, RB, RC, служат для компенсации исходной несимметрии напряжений. На выходе устанавливается реле оснащенное фильтром первой гармоники, так как на выходе фильтра 3U₀ выделяются кратные 3-й гармоники, которые не должны попасть на реле, так как отстройка от них недопустимо загроуляет защиту. В данной схеме применено реле РНН-57 (ЧЭАЗ). Защита должна срабатывать, если перегрузка по напряжению единичного конденсатора в ряду превышает допустимую. Для этого напряжение срабатывания реле должно быть равно:

$$U_p = K_n \cdot (\beta - K_u) \cdot U_{нк} / K_{тв}. \quad (15.13)$$

Где:

K_n - Коэффициент надежности принимается равным 0.9 – 0.95.

β - Коэффициент допустимой перегрузки конденсатора по напряжению, принимается для БСК-10 равной 1.15, а для БСК-35 - 1.4. Большая цифра для БСК 35 определяется тем, что при значительном количестве рядов повышается вероятность того, что будут одновременно повреждены конденсаторы в разных рядах.

K_u – коэффициент загрузки конденсатора по напряжению определяется по формуле 15.3.

$U_{нк}$ – номинальное напряжение единичного конденсатора.

$K_{тв}$ - Коэффициент трансформации трансформатора напряжения.

Например, для БСК-10кВ выполненной из конденсаторов КГ-2-1/05-60 и содержащей 7 рядов конденсаторов в фазе, с защитой, включенной через трансформаторы ОМ –1.25/10 имеющей коэффициент трансформации 10/ 0.23, напряжение срабатывания будет равно:

$$U_p = 0.9 \cdot \left(1.15 - \frac{11}{\sqrt{3} \cdot 7 \cdot 1.05} \right) \cdot \frac{1050}{10/0.23} = 6.3 \text{ В}$$

Если такую защиту выполнить для БСК-35 кВ и подключить реле через НОМ-35 кВ с коэффициентом 35/ 01 получим напряжение:

$$U_p = 0.95 \cdot \left(1.4 - \frac{38.5}{\sqrt{3} \cdot 24 \cdot 1.05} \right) \cdot \frac{1050}{35/0.1} = 1.49 \text{ В}$$

Реле РНН-57 имеет минимальную уставку 4В, поэтому его нужно включить через промежуточный трансформатор 110 / 380.

Тогда получится уставка:

$$U_p = 0.95 * \left(1.4 - \frac{38.5}{\sqrt{3} * 24 * 1.05} \right) * \frac{1050 * 380 / 110}{35 / 0.1} = 5.15 \text{ В}$$

Такую уставку уже можно выполнить на реле.

15.2.6. Дифференциальная защита для БСК-110кВ

Упрощенная схема подключения защиты показана на рис.15.5.

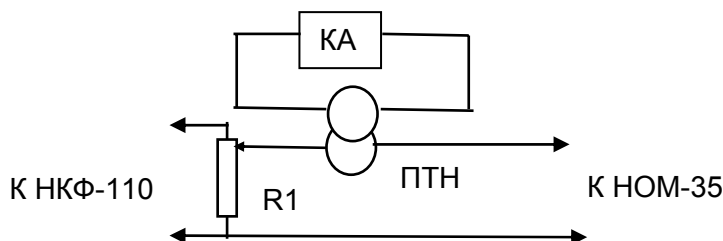


Рис. 15.5. Схема включения дифференциальной защиты одной фазы БСК 110.

R1 – потенциометр для выравнивания величин напряжения,

ПТН – промежуточный трансформатор с коэффициентом трансформации $\frac{1}{2}$,

КА – токовое реле типа РТЗ -51.

На схему подается напряжение от ТН 110 кВ, подключенного на фазу БСК. В принципе может быть использован и шинный ТН, однако в этом случае не обеспечивается быстрый разряд батареи и понижается надежность работы защиты. При номинальном напряжении на шинах 110кВ на схему поступает 100 В.

С другой стороны на схему подается напряжение от трансформатора НОМ-35, подключенного точно к середине фазы. На вход НОМ 35 подается половина фазного напряжения, при номинальном напряжении на шинах напряжение на ТН будет равно:

$$U_{вх} = 110 / (2 * \sqrt{3}) = 31.8 \text{ кВ первичн.}$$

Вторичное напряжение при этом будет $31.8 / 350 = 90.8 \text{ В}$.

Напряжения уравниваются с помощью потенциометра R1, подключенного на сторону ТН-110 на котором вторичное напряжение выше.

Трансформатор ПТН используется для увеличения в 2 раза напряжения, подаваемого на реле. Взамен реле напряжения применено токовое реле РТЗ-51, так как отсутствует реле напряжения с нужной уставкой.

При повреждении конденсатора в верхней или нижней части батареи баланс дифференциальной схемы нарушается и на реле защиты появляется напряжение.

Необходимая уставка на реле по напряжению определяется по формуле:

$$U_p = K_n * K_{мп} * (\beta - K_u) * \frac{U_{нк}}{2 * K_{тв}^{35}} \quad (15.14)$$

Где: K_n - Коэффициент надежности принимается равным 0.95.

β - Коэффициент допустимой перегрузки конденсатора по напряжению принимается равным 1.4 для уменьшения вероятности ложной работы защиты при одновременном повреждении конденсаторов в разных рядах одной из половин фазы батареи.

K_u – коэффициент загрузки конденсатора по напряжению определяется по формуле 15.3.

$U_{нк}$ – номинальное напряжение единичного конденсатора.

$K_{тв}^{35}$ - Коэффициент трансформации трансформатора напряжения НОМ-35.

Определим уставку реле по напряжению.

$$U_p = 0.95 * \left(1.4 - \frac{121000}{\sqrt{3} * 72 * 1050} \right) * \frac{1050}{2 * 35000 / 100} = 1.35 \text{ В}$$

Уставка получилась 1.35В. Реле напряжения с такой уставкой выполнено быть не может, поэтому пришлось использовать взамен реле напряжения токовое реле. Это реле должно иметь в своей схеме фильтр основной гармоники для исключения высших гармонических составляющих в токе небаланса.

Следует обратить внимание на некоторые недостатки такой схемы защиты:

При исчезновении одного из напряжений на реле выделяется полное напряжение, которое вызовет его перегорание. Поэтому цепи напряжения подключаются через автомат, по которому проходят одновременно цепи обоих ТН одной фазы. При использовании для этой защиты шинных ТН требуется специальная схема реле повторителей, обеспечивающая одновременное снятие напряжения от ТН-110 и ТН-35 при оперативных переключениях. Цепи от шинного ТН должны проходить через отдельные автоматы для каждой фазы, минуя основной автомат, совместно с фазой от ТН-35кВ подключенного к средней точке фазы батареи. Подробная схема защиты может быть взята из ранее упомянутой работы Белорусского отделения Энергосетьпроект: «Шунтовые конденсаторные батареи 6-110кВ» 1984 год.

15.3. ВЫБОР АППАРАТУРЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ БСК

Из сказанного в предыдущих разделах можно сформулировать следующие требования к аппаратуре релейной защиты для БСК:

- Токовая отсечка может реагировать на амплитудное или действующее значение тока, поэтому необходимо только знать, на что именно реагирует аппаратура, для правильного выбора уставки.
- Максимальная защита должна реагировать на сумму основной и высших гармоник, это позволит использовать ее как защиту от перегрузки токами высших гармоник.
- Защита от повышения напряжения реагирует на повышение линейного напряжения.
- Защита от замыкания на землю выполняется при выполнении такой же защиты на отходящих фидерах по принципам, принятым для всей подстанции.

Этими требованиями заканчиваются требования к защите БСК 6-10кВ, выполненной с конденсаторами, рассчитанными на полное рабочее напряжение и собранными по схеме треугольника.

Если батарея собирается из отдельных конденсаторов соединенных в ряды, которые соединяются последовательно, то возникает еще одна задача: защита БСК от внутренних повреждений. Для таких защит используется балансная защита для БСК напряжением до 35кВ, или дифференциальная защита для БСК напряжением 110кВ.

Выполнение такой защиты возможно на специально разработанных реле, которые имеют высокую чувствительность и фильтр основной гармоники, который устраняет из тока небаланса составляющие высших гармоник. В проекте применены реле РНН-57 и РТЗ-50(51) которые обладают необходимыми свойствами.

Схема защиты БСК может быть собрана на отдельных реле, или применено комплектное устройство, содержащее необходимые защиты. Минимальный набор защит для БСК-6-10кВ, это максимальная защита и токовая отсечка в двухфазном исполнении. Это может быть микроэлектронная УЗА-АТ или РС-80, микропроцессорные РС81, РС83 или устройства других производителей, например серии Сириус. Микропроцессорный вариант предпочтительней для конденсаторных батарей, которые нужно защищать от перегрузки токами высших гармоник, так как они реагируют на суммарную величину основной и высокочастотных гармонических составляющих. Можно применить более дорогую аппаратуру других производителей.

Если требуется защита от повышения напряжения, авторы предлагают устройство УЗА-АН или его микропроцессорный аналог РС82. Кроме того, может быть применено микропроцессорное устройство РС83-АВ1, на которых такая защита может быть выполнена, учитывая наличие вариантов с различной модификацией. В последнем случае не требуется отдельный комплект для токовых защит.

Если необходимо защитить БСК 35-110кВ, то требуется трехфазное реле тока. Можно применить трехфазный вариант устройства УЗА-10АВ.1 обеспечивающий обе эти функции. Для балансной или дифференциальной защиты можно предусмотреть предлагаемые проектом реле РНН-57 или РТЗ-51, вместо последнего может быть использовано устройство ЗЗН1. При выборе аппаратуры других производителей, необходимо проверить, что это устройство реагирует только на первую гармонику тока или напряжения, и имеет нужную минимальную уставку.