

УДК 539.389.9

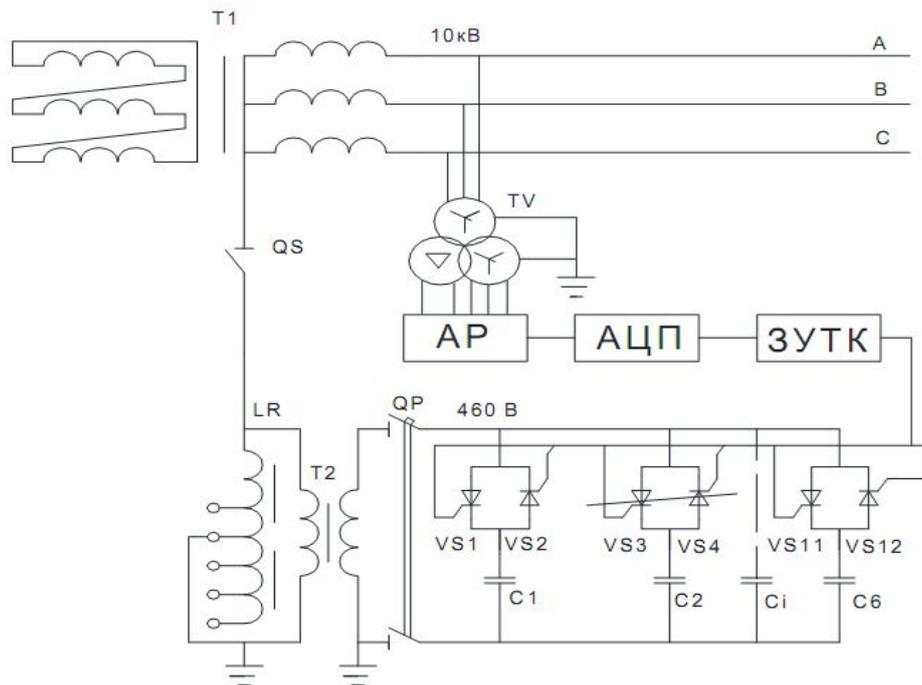
**РЕГУЛИРОВАНИЕ, С ПОМОЩЬЮ КОНДЕНСАТОРОВ, ИЗМЕНЕНИЯ ЕМКОСТИ СЕТИ, ОСНАЩЕННОЙ ДУГОГАСЯЩИМ РЕАКТОРОМ****РЫРСАЛИЕВ А. С.**  
*КГТУ им. И. Раззакова*  
[izvestiva@ktu.aknet.kg](mailto:izvestiva@ktu.aknet.kg)

*В статье предлагается способ регулирования компенсации емкостного тока замыкания на землю на базе реактора типа РЗДСОМ путем применения батареи конденсаторов, подключенных через согласующий трансформатор к нейтрали сети.*

*In article the way of regulation of indemnification of a capacitor current of short circuit on the earth on the basis of the reactor of type RZDCOM by application of the battery of the condensers connected through the transformer to a neutral of a network is offered.*

Резонансная настройка компенсации емкостного тока не только в нормальном режиме работы сети, но и при замыканиях на землю является эффективным средством повышения надежности электрических сетей напряжением 10-35 кВ. При этом для предотвращения развития однофазных повреждений в междуфазные и многоместные короткие замыкания (к.з.) устройства компенсации емкостного тока должны обладать достаточно высоким быстродействием. Так, по экспериментальным данным время настройки компенсации в режиме однофазного замыкания на землю не должно превышать 1с [1]. Промышленностью России серийно выпускаются дугогасящие реакторы (ДГР) с регулируемым зазором магнитопровода типа РЗДПОМ. Эти реакторы технологически сложны в изготовлении, имеют низкую эксплуатационную надежность.

Основным недостатком их является малое быстродействие (время регулирования полного тока компенсации составляет 0,5-2 мин). Сравнительно высокое быстродействие имеют реакторы с подмагничиванием магнитопровода. Время регулирования полного тока компенсации находится в пределах 0,9-5сек. [2] К преимуществам реакторов с подмагничиванием относятся высокая надежность и простота регулирования, а к недостаткам - повышенные потери активной мощности (2,8-8% номинальной мощности реактора), нелинейность вольт-амперных характеристик, наличие в основном токе высших гармоник (2-10%), постоянный расход электроэнергии на подмагничивание. Сравнительный анализ разрабатываемых в настоящее время быстродействующих устройств компенсации емкостного тока ориентирует на усовершенствование конструкций реакторов с подмагничиванием с использованием форсировки тока подмагничивания и применение реакторов с бесконтактным ступенчатым переключением ответвлений обмотки при помощи тиристорных ключей. В практических конструкциях ДГР с тиристорным управлением использованы реакторы с переключением ответвлений без возбуждения типа РЗДСОМ, составляющие 80% находящихся в эксплуатации реакторов. Предлагаемый способ и устройство компенсации емкостного тока решает задачу быстродействующего регулирования тока компенсации на базе ДГР типа РЗДСОМ путем применения батареи конденсаторов (БК), подключенной через согласующий трансформатор к нейтрали сети.



**Рис.1. Функциональная схема системы автоматической компенсации емкостного тока с дискретно-регулируемой батареей конденсаторов.**

В отличие от традиционных схем, в которых ток компенсации регулируется изменением индуктивности реактора, здесь величина индуктивности реактора остается постоянной, а изменение емкости сети относительно земли компенсируется регулированием емкости БК таким образом, что суммарная емкость сети и БК всегда остается постоянной. На рис.1. приведена структурная схема системы автоматической компенсации емкостного тока с дискретно-регулируемой БК.

БК подключена к низковольтной обмотке трансформатора T2 и состоит из 6 параллельно включенных секций конденсаторов C1,...C6, емкость которых выбрана по закону геометрической прогрессии (1:2:4:8 и т.д.), коммутация секций осуществляется с помощью тиристорных ключей VS1,..., VS6.

Такая схема регулирования позволяет получить максимальное число дискретных значений емкости БК (в данном случае  $2^6 - 1 = 63$ ) при наименьшем количестве секций и тиристоров. Избирательное включение или отключение секций конденсаторов при расстройке компенсации обеспечивается аналого-цифровым преобразователем АЦП, вход которого подключен к выходу автоматическими ключами БУТК. АЦП преобразует постоянное напряжение с выхода АР в цифровой двоичный код, при котором на каждом его индивидуальном выходе формируется один из двух сигналов «0» или «1». ДГР типа РЗДСОМ имеет устройство переключения ответвлений обмотки без возбуждения (ПВВ). С помощью этого устройства устанавливается базовая настройка реактора на максимальную емкость сети в процессе эксплуатации.

Ток батареи конденсаторов рассчитывается по формуле:

$$I_{БК} = \left(1 - \frac{1}{K_p}\right) I_{НР} K_T$$

где  $K_p$ -кратность регулирования тока компенсации;  $I_{НР}$ -номинальный ток реактора на выбранном ответвлении;  $K_T$ - коэффициент трансформации T2.

Кратность регулирования тока компенсации выбирается с учетом возможных в эксплуатации изменений емкости сети. В пределе возможно двухкратное изменение емкости. Поэтому в расчетах коэффициент  $K_p$  принимается равным двум.

Дискретность регулирования тока БК определяется как:

$$\delta I_{БК} = \frac{1}{2^n - 1} 100,$$

где  $n$ - число секций БК.

Точность настройки компенсации определяется выбранным интервалом дискретности регулирования тока  $I_{с1}$ , который в свою очередь зависит от емкости конденсаторов первой секции С1. Интервал дискретности, отнесенный к номинальному току реактора на выбранном ответвлении, составит:

$$\delta I_c = \delta I_c = \frac{1 I_{с1}}{I_{НР}}$$

Следует отметить, что допустимая расстройка компенсации должна находиться в пределах  $\pm 5\%$  [1]. При указанном числе секции БК ( $n=6$ )  $\delta I_c$  будет меньше допустимых значений.

В заключение рассмотрим пример расчета элементов батареи конденсаторов совместно с согласующим трансформатором для электрической сети напряжением 10 кВ с емкостным током замыкания на землю, равным 48 А.

*Согласующий трансформатор.* В качестве согласующего трансформатора Т2 (рис.1.) используется трехфазный трансформатор типа ТМ с напряжением обмоток 10/0,23 кВ. Схема соединения обмоток трансформатора при его однофазном включении показана на рис.2. При таком включении трансформатора используются обмотки, установленные на крайних стержнях магнитопровода. Первичные обмотки соединяются встречно-параллельно, а вторичные - последовательно. Таким образом, напряжение на вторичной обмотке трансформатора при однофазных замыканиях на землю будет составлять 460 В, что позволяет применять низковольтные конденсаторы и тиристоры средних классов по напряжению.

*Батареи-конденсаторы.* Для компенсации емкостного тока установлен ДГР типа РЗДСОМ - 380/10 с ПБВ на токи 25; 31; 37,5; 43,75; 50 А. Переключатель ПБВ находится на ответвлении с током  $I_{\#} \geq 50$  А. Секции БК набираются из конденсаторов типа ПСК, надежно работающих при перенапряжениях в сети и искажениях синусоидального напряжения (для опытной эксплуатации возможна установка низковольтных БК, применяемых для компенсации реактивной мощности).

При  $K_p = 2$  БК согласно (1) равен:

$$I_{БК} = \left(1 - \frac{1}{2}\right) 50 \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 460} = 313,8 \text{ А.}$$

Емкость БК определяется по выражению:

$$C_{БК} = \frac{I_{БК}}{U_{БК} \omega} = \frac{313,8 \cdot 10^6}{460 \cdot 2\pi \cdot 50} = 2171,7 \text{ мкФ.}$$

В соответствии с выбранным соотношением емкостей по секциям и числом секций конденсаторов  $n=6$  емкость первой секции БК определяется как:

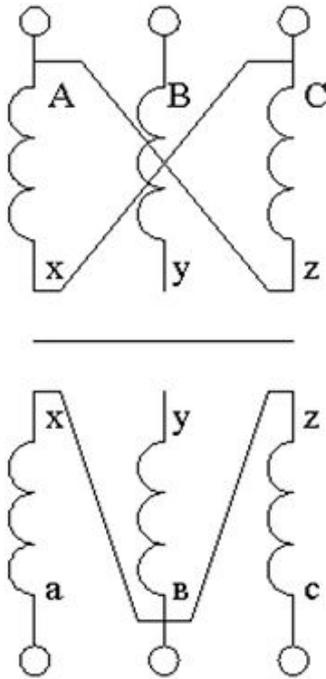


Рис. 2. Схема соединения обмоток трансформатора при его однофазном включении

$$C1 = \frac{C_{БК}}{2^n - 1} = \frac{2171,7}{2^6 - 1} = 31,5 \text{ мкФ.}$$

Выбираем блок конденсаторов типа ПСК-07-90, состоящий из двух последовательно соединенных конденсаторов емкостью по 45 мкФ и имеющий ответвление от средней точки. Таким образом, емкость первой секции  $C1$  равна 45 мкФ, а второй и последующих - 90, 180, 360, 720 и 1440 мкФ.

Суммарная емкость БК составит:

$$C_{БК} = C1(2^n - 1) = 45(2^6 - 1) = 2835 \text{ мкФ.}$$

Ток БК, равен:

$$I_{БК} = U_2 \omega C_{БК} = 460 \cdot 2\pi \cdot 2835 \cdot 10^{-6} = 410 \text{ А}$$

Ток БК приведенный к напряжению сети 10 кВ:

$$I_{БК10} = I_{БК} \frac{1}{K_T} = 410 \frac{460 \cdot \sqrt{3}}{10000} = 32,6 \text{ А.}$$

Следовательно, ток компенсации будет изменяться в пределах от 17,4 до 50 А с дискретностью:

$$\Delta I_{БК} = \frac{I_{БК10}}{2n - 1} = \frac{32,6}{63} = 0,52 \text{ А или согласно (2):}$$

$$\Delta I_{БК} = \frac{1}{63} 100 = 1,6\%.$$

Интервал дискретности, отнесенный к номинальному току реактора на выбранном ответвлении, составит:

$$\delta I = \frac{\Delta I_{C1}}{I_{НР}} 100 = \frac{U_2 \omega C1}{I_{НР} K_T} 100 = \frac{460 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 45 \cdot 10^{-6}}{50} \frac{1}{12,6} 100 = 1\%.$$

Для обеспечения надежной работы тиристорov, коммутирующих емкостную нагрузку, необходимо выполнить следующее условие [3]:

$$U_{обр.н} \geq K_{зн} 2 U_{ф.н} = 1,32 \sqrt{2} 460 = 1674 \text{ В,}$$

где  $U_{обр.н}$  - номинальное обратное напряжение тиристора;  $K_{зн}$  - коэффициент запаса по напряжению, равный 1,3.

Выбираем быстродействующие высокочастотные тиристоры 17 класса по напряжению ТЧ, имеющие повышенные динамические характеристики.

**Выводы:**

1. Быстродействующее устройство компенсации емкостного тока замыкания на землю на базе реактора типа РЗДСОМ можно осуществить путем подключения параллельно реактору дискретно-регулируемой БК. При этом высокое быстродействие регулирования тока компенсации (менее 1 с.) достигается за счет коммутации секции БК тиристорными ключами.
2. Применение согласующего трансформатора, подключенного к нейтрали сети, позволяет выполнить БК на низкое напряжение с тиристорами средних классов по напряжению.
3. Предложенное устройство автоматической компенсации емкостного тока имеет высокую надежность и отвечает техническим требованиям, предъявляемым к дугогасящим аппаратам. Устройство обеспечивает настройку компенсации с отклонением от резонанса в пределах  $\pm 1\%$ .
4. Разработанное устройство позволит резко сократить количество аварий, связанных с однофазными замыканиями на землю, за счет автоматического регулирования тока компенсации во всех режимах работы сети.

**Литература**

1. Федосенко Р.Я., Мельников А. Я. Эксплуатационная надежность электросетей сельскохозяйственного назначения.
2. Лихачев Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов. –М.: Энергия, 1980. - 152 с.
3. Киселенко С.Н. Управление режимом нейтрали на основе применения ступенчато-регулируемых ДГР с тиристорным переключением. - Киев: Общество «Знание». 1980. - 16 с.