

Ф.П.Шкрабец, д-р техн. наук, **П.Ю.Красовский**
(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет)

МЕТОД КОНТРОЛЯ РАССТРОЙКИ РЕЖИМА КОМПЕНСАЦИИ ЕМКОСТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА ЗАМЫКАНИЯ

Как показано в [1,2], компенсация емкостных токов наиболее эффективна при резонансной настройке дугогасящих реакторов и эффективность существенно не снижается при расстройках до плюс-минус 5%. Идеальным решением вопроса поддержания настройки компенсации по возможности близкой к резонансной является установка дугогасящих катушек с плавным изменением индуктивности, снабженных устройствами автоматической настройки компенсации. Для реализации режима автоматической или даже ручной настройки дугогасящих реакторов необходимо решить одну из сложных проблем, а именно, оценку режима настройки или измерение степени расстройки компенсации от резонансного режима.

Цель статьи. Теоретическое обоснование метода контроля степени расстройки режима компенсации от резонансного режима при компенсации емкостной составляющей тока однофазного замыкания на землю.

Результаты исследований

Наличие в компенсированной сети источника оперативного тока с частотой 25 Гц, который используется для решения других задач, позволяет достаточно просто осуществить непрерывный контроль степени расстройки компенсирующего устройства от резонансного режима.

Однолинейная схема замещения нулевой последовательности компенсированной сети с источником оперативного тока приведена на рис. 1. Покажем, что составляющая напряжения с частотой 25 Гц на дугогасящей катушке зависит только от степени расстройки компенсации и не зависит от абсолютных значений индуктивности катушки и емкости сети (активными потерями в компенсирующем устройстве пренебрегаем).

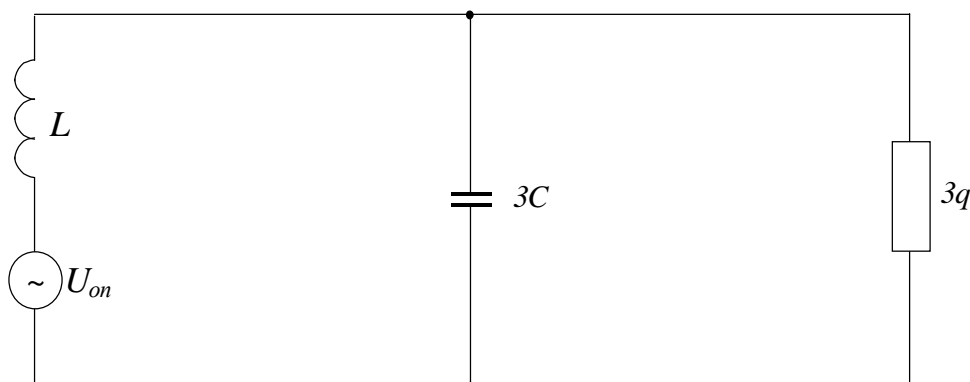


Рис. 1. Однолинейная схема замещения нулевой последовательности компенсированной сети с источником оперативного тока.

Ток с частотой 25 Гц, протекающий через дугогасящий реактор

$$\mathbf{I}_{on} = U_{on} \frac{3(q + j\omega_{on} c)}{1 - 3\omega_{on}^2 cL + j3\omega_{on} Lq}, \quad (1)$$

где U_{on} -напряжение источника оперативного тока, C -суммарная емкость одной фазы всей сети относительно земли, L - индуктивность дугогасящей катушки, q – проводимость активного сопротивления изоляции одной фазы всей сети относительно земли, $\omega_{on} = \omega/2$ – угловая частота источника оперативного тока, а ω - рабочая угловая частота в сети.

Напряжение на дугогасящей катушке, которое может быть измерено с помощью специальной измерительной обмотки:

$$U_L = I_{on} X_L = U_{on} \frac{3(jq - \omega_{on} c)}{\frac{1}{\omega_{on} L} - 3\omega_{on} c + j3q} \quad (2)$$

В этом выражении знаменатель и числитель поделим на $3\omega_{on} C$ для приведения всех величин к относительным единицам:

$$U_L = U_{on} \frac{j \frac{q}{\omega_{on} C} - 1}{\frac{1}{3\omega_{on}^2 CL} - 1 + j \frac{q}{\omega_{on} C}} \quad (3)$$

Теперь введем следующие обозначения:

$$\frac{q}{3\omega C} = \frac{q}{6\omega_{on} C} = d - \text{коэффициент демпфирования, } \frac{1}{3LC} = \omega_p^2 - \text{резонансная}$$

частота контура нулевой последовательности.

Далее, пользуясь введенными обозначениями, можем записать:

$$3\omega^2 CL = 3(\omega_{on} \cdot 2)^2 LC = \frac{4\omega_{on}^2}{\omega_p^2}$$

Отношение $\frac{4\omega_{on}^2}{\omega_p^2}$ связано со степенью расстройки компенсации, обознача-

чаемой в дальнейшем ν , следующим образом

$$v = 1 - \frac{I_C}{I_L} = 1 - \frac{4W_{on}^2}{W_p^2} \quad (4)$$

где I_L и I_C – соответственно ток дугогасящего реактора и емкостный ток однофазного замыкания на землю (действующие значения первой гармоники).

С учетом принятых обозначений и соотношения (4) получим:

$$\underline{U}_L = \underline{U}_{on} \frac{-1 + j6d}{\left(\frac{3+v}{1-v}\right) + j6d} \quad (5)$$

Разделим правую часть последнего выражения на вещественную и мнимую части, получим:

$$\underline{U}_L = \underline{U}_{on} \frac{-\left(\frac{3+v}{1-v}\right) - 36d^2 - j6d + j6d\left(\frac{3+v}{1-v}\right)}{\left(\frac{3+v}{1-v}\right)^2 - 36d^2} \quad (5)$$

В последнем выражении можно пренебречь членами содержащими d^2 , так как d достаточно малая величина. Тогда будем иметь

$$\underline{U}_L = \underline{U}_{on} \left[\frac{-1}{\left(\frac{3+v}{1-v}\right)} + \frac{-j6d\left(\frac{-2-2v}{1-v}\right)}{\left(\frac{3+v}{1-v}\right)^2} \right] \quad (6)$$

Если пренебречь потерями, то есть считать, что $d = 0$, то получим

$$\underline{U}_L = \underline{U}_{on} \left[\frac{-1}{\left(\frac{3+v}{1-v}\right)} \right] \quad (7)$$

Таким образом видно, что в первом приближении абсолютное значение оперативного напряжения на компенсирующем устройстве \underline{U}_L зависит только от степени расстройки компенсации. Для того, чтобы можно было определить знак расстройки компенсации, напряжения на реакторе сравнивается с опорным

напряжением равным U_L в резонансном режиме настройки, (при $n = 0$), то есть $U_0 = U_{on} / 3$. Сигнал, по которому можно судить о расстройке режима компенсации равен

$$U_v = (U_L + U_0) = U_{on} \left(\frac{-1}{\left(\frac{3+v}{1-v}\right)} + \frac{1}{3} \right). \quad (8)$$

В дальнейшем построение устройства для измерения степени расстройки компенсирующего устройства от резонансного режима базируется на выражении (8), поэтому влияние коэффициента демпфирования d следует рассматривать как причину, вызывающую погрешность измерения. В реальных условиях наличие активных потерь может привести к недопустимым погрешностям при измерении абсолютного значения напряжения U_L .

Определим эту погрешность.

Абсолютное значение U_L с учетом потерь

$$U_L = U_{on} \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{3+v}{1-v}\right)^2} + \frac{36d^2 \left(\frac{-2-2v}{1-v}\right)^2}{\left(\frac{3+v}{1-v}\right)^4}}. \quad (9)$$

С точки зрения реализации и применения устройства контроля степени расстройки дугогасящего реактора является оценка возможной погрешности измерения. Для оценки погрешности при наиболее важном резонансном режиме настройки ($n = 0$), определим действующее значение напряжения на дугогасящем реакторе в таком режиме

$$U_L = U_{on} \sqrt{\frac{1}{9} + \frac{144d^2}{81}} = \frac{1}{3} U_{on} \sqrt{1+16d^2} \quad (10)$$

Если учесть, что в худших случаях коэффициент демпфирования d может составлять $0,03 \div 0,04$, то очевидна необходимость устранения влияния коэффициента демпфирования на точность измерения устройства уже на стадии его разработки.

Устранение погрешностей, вносимых коэффициентом демпфирования, обеспечивается соответствующим построением схемы устройства контроля степени расстройки дугогасящего реактора с использованием того обстоятель-

ства, что составляющая напряжения, зависящая от указанного коэффициента направлена под прямым углом к основной составляющей оперативного напряжения на реакторе \underline{U}_L .

Для того, чтобы свести к минимуму погрешности при сравнении оперативного напряжения на реакторе \underline{U}_L с опорным напряжением, сравнение производим на переменном токе, фазуя опорное напряжение таким образом, чтобы оно совпало по фазе с вещественной составляющей \underline{U}_L .

$$\underline{U}_{Ln} = \underline{U}_{on} \frac{-1}{\left(\frac{3+v}{1-v}\right)}$$

Результатом сравнения будет:

$$\underline{U}_v = \underline{U}_{on} \left[\frac{-1}{\left(\frac{3+v}{1-v}\right)} + \frac{1}{3} \right] + j \underline{U}_{on} \left[\frac{-j6d \left(\frac{-2-2v}{1-v}\right)}{\left(\frac{3+v}{1-v}\right)^2} \right] = \underline{U}_{va} + j \underline{U}_{vp} \quad (11)$$

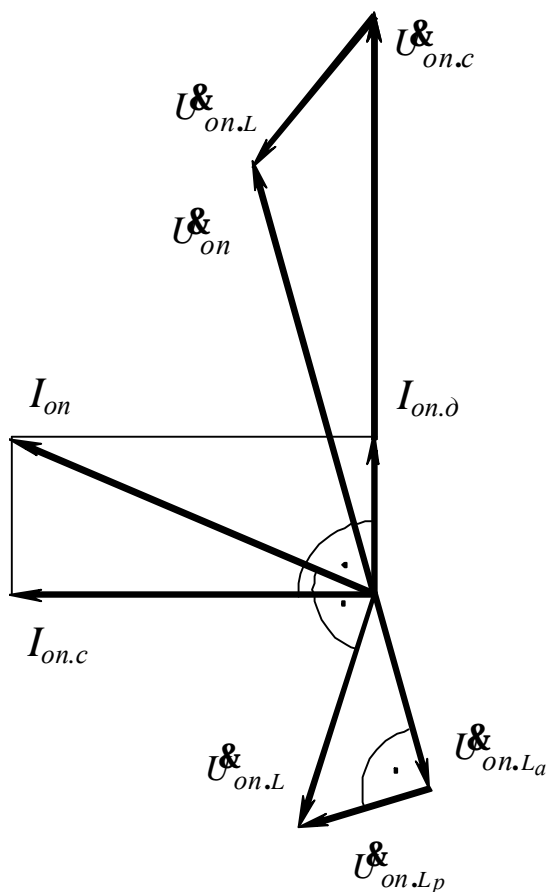


Рис. 2. Векторная диаграмма оперативных токов и напряжений.

Как видно из векторной диаграммы на рис.2, построенной для схемы замещения, для выполнения этих условий опорное напряжение должно совпадать по фазе с напряжением источника оперативного тока \underline{U}_{on} , т.е.

$$\underline{U}_0 = \frac{1}{3} \underline{U}_{on}$$

Для определения знака расстройки сигнала \underline{U}_v подается на фазосравнивающий элемент (ключевую фазочувствительную схему, ток на выходе которой изменяет направление на противоположное при изменении фазы

входного сигнала на 180^0). Как видно из выражения (12), при $n > 0$ U_{va} совпадает по фазе с U_{on} , а при $n < 0$ изменяет фазу на 180^0 .

Выводы.

Для контроля расстройки режима компенсации предложено использовать наложение на электрическую сеть оперативного напряжения частотой 25 Гц. Абсолютное значение оперативного напряжения на компенсирующем устройстве зависит только от степени расстройки компенсации. Для определения знака расстройки компенсации сравнивают напряжение на реакторе с опорным напряжением в резонансном режиме настройки.

Список литературы.

1. Лихачев Ф.В. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов. -М.: Энергия, 1972. -151 с.
2. Пивняк Г.Г., Шкрабец Ф.П. Несимметричные повреждения в электрических сетях карьеров: Справочное пособие. -М.: Недра, 1993. – 192 с.