

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОТЕРИ НАПРЯЖЕНИЯ В КОМПЕНСИРОВАННЫХ
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 10 кВ

Статистические источники реактивной мощности, снабженные системами регулирования, могут быть использованы в качестве дополнительных сетевых средств регулирования напряжения [1]. Для этой же цели можно использовать устройство, представляющее собой включенную последовательно батарею конденсаторов, нагруженную дополнительным потоком реактивной энергии [2]. Однако прибавка напряжения получается завышенной, если расчет вести по приближенной формуле потери напряжения, не учитывающей поперечной составляющей падения напряжения. Далее приводится анализ работы устройства и вывод формулы для точного подсчета потери напряжения.

Принцип работы устройства рассмотрим на векторной диаграмме (рис. 1). Примем вектор высшего регулируемого напряжения центральной подстанции в качестве заданного. К нему пристроим треугольник падения напряжений соответствующей мощности передачи (рис. 1, а), где приведены треугольники падения напряжений при номинальном токе передачи, состоящей из трансформатора мощностью 0,63...6,3 мВА и линии электропередачи 35 кВ длиной 40 км; сечение провода линии выбрано согласно табл. 7.6 [3]. Положение треугольника падения напряжений на векторной диаграмме зависит от угла φ_1 , определяемого суммарным сопротивлением передачи и нагрузки. Например, для угла $\varphi_1 = -90^\circ$ (чисто емкостный режим) оно показано на рис. 1, б.

При изменении угла φ_1 от -90° до $+90^\circ$ треугольник напряжения будет поворачиваться вокруг точки К, и конец вектора напряжения \dot{U}_2 опишет полуокружность I. Если нагрузка изменяется только по абсолютной величине, то вектор будет перемещаться по одному из радиусов, соединяющих центр окружности с соответствующей точкой шкалы угла φ_1 , например по радиусу АК.

Для передачи с продольно-емкостной компенсацией положение вектора \dot{U}_2 зависит от степени компенсации, равной отношению емкостного сопротивления конденсаторов к индуктивному сопротивлению передачи. В сетях 6–10 кВ, имеющих большое активное сопротивление, допускается степень компенсации до 300%, т.е. $x_c/x_{\Pi} = 3$ [3]. Полуокружности II, III, IV являются годографами вектора при степени компенсации 100, 200, 300%.

При увеличении угла φ_1 напряжение \dot{U}_2 увеличивается. Если подключить теперь на шины подстанции за батареей продольной компенсации управляемый реактор с регулятором, автоматически изменяющим по заданному

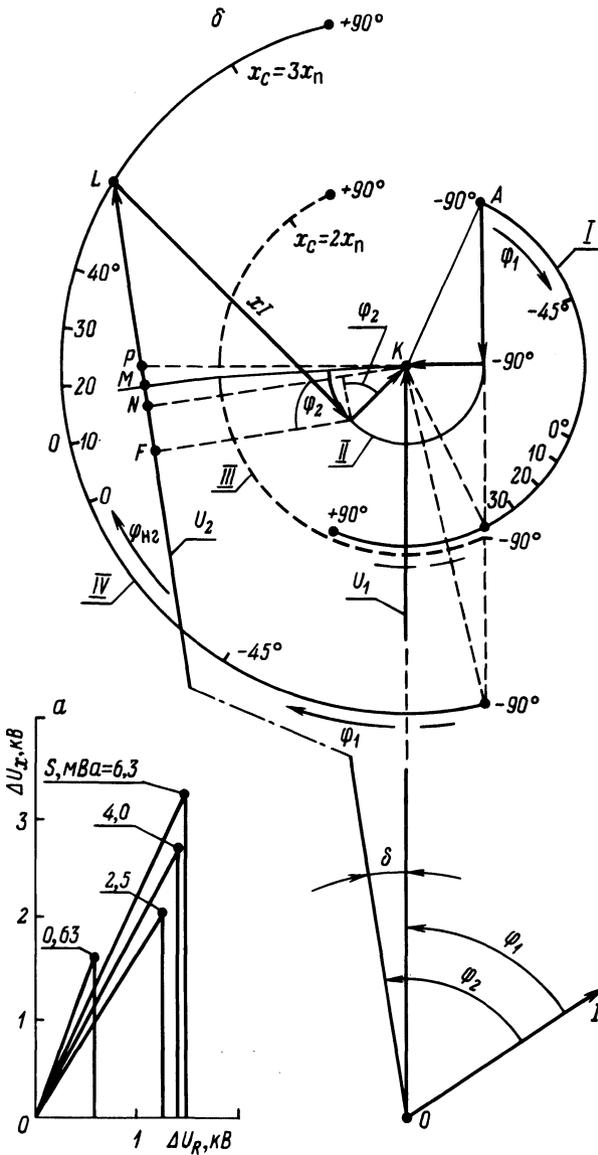


Рис. 1. Треугольники падения напряжения передач различной мощности (а) и векторная диаграмма для компенсированной передачи 1,5 мВА (б).

закону потребляемую реактивную мощность, то можно изменять угол φ_1 и тем самым регулировать напряжение U_2 .

Необходимо отметить, что угол φ_2 нагрузки (угол между векторами \dot{I} и \dot{U}_2) меньше угла φ_1 из-за введенного емкостного сопротивления продольной компенсации на угол

$$\delta = \arctg \frac{x_c (R_H + R_{\Pi})}{(R_H + R_{\Pi})^2 + (x_{\Pi} + x_H)(x_H + x_{\Pi} - x_c)}, \quad (1)$$

где R_H, R_{Π} — активное сопротивление нагрузки и передачи; x_H, x_{Π}, x_c — реактивные сопротивления нагрузки, передачи и продольной компенсации. Например, при $x_c = 3x_{\Pi}$ угол $\delta = 9,5^\circ$, и шкала φ_2 сдвигается вниз относительно шкалы φ_1 , как показано на окружности IV.

При расчетах величину напряжения \dot{U}_2 находят, предварительно подсчитав потерю напряжения по приближенной, не учитывающей поперечную составляющую падения напряжения, по формуле

$$\Delta \dot{U} = RI \cos \varphi + xI \sin \varphi. \quad (2)$$

В данном случае она дает значительную ошибку. Так, при угле $\varphi_1 = 0$ ошибка в определении $\Delta \dot{U}$ составляет $\approx 250\%$. Это происходит из-за того, что согласно формуле (2) за потерю напряжения принимается отрезок LN — часть вектора \dot{U}_2 до перпендикуляра KN , опущенного из конца вектора \dot{U}_1 на направление вектора \dot{U}_2 . В действительности потеря напряжения выражается отрезком LM ; точка M лежит на дуге окружности с радиусом OK , равным вектору \dot{U}_1 . Длина отрезка $LM = LF - FN - MN$. Выражая отрезки LF, FN, MN через составляющие падения напряжения и угол φ_2 нагрузки, получим

$$\Delta U = RI \cos \varphi_2 - xI \sin \varphi_2 + (xI \cos \varphi_2 + RI \sin \varphi_2) \operatorname{tg} \frac{\delta}{2}, \quad (3)$$

так как $\angle PKN$ равен углу между векторами \dot{U}_1 и \dot{U}_2 ; точкой M он делится пополам. Раскрывая скобки и группируя члены, получим

$$\Delta U \cos \frac{\delta}{2} = RI \cos \left(\varphi_2 - \frac{\delta}{2} \right) - xI \sin \left(\varphi_2 - \frac{\delta}{2} \right). \quad (4)$$

Так как максимальное значение угла δ даже при 300% компенсации не превышает 10° (при меньшей степени компенсации δ еще меньше (рис. 1, б)), то значение $\cos \frac{\delta}{2}$ в левой части уравнения можно принять равным 1 ($\cos 5^\circ = 0,9962$; $\cos 4^\circ = 0,9976$, т.е. максимальная ошибка в определении ΔU не будет превышать 0,38%).

Тогда

$$\Delta U = RI \cos \left(\varphi_2 - \frac{\delta}{2} \right) - xI \sin \left(\varphi_2 - \frac{\delta}{2} \right). \quad (5)$$

Угол δ можно определить из выражения

$$\delta = \arcsin \frac{x I \cos \varphi_2 + R I \sin \varphi_2}{U_1} = \arcsin \frac{x P_2 + R Q_2}{U_1^2 - U_1 \Delta U}, \quad (6)$$

пренебрегая в первом приближении вторым членом в знаменателе формулы.

Л и т е р а т у р а

1. Статические источники реактивной мощности в электрических сетях / В.А. Веников, А.А. Жуков, И.И. Карташев, Ю.П. Рыжов. — М., 1975.
2. Устройство с управляемым реактором для регулирования напряжения в распределительной сети 10 кВ / М.С. Либкинд, В.М. Сорокин, В.Г. Пекелис, М.М. Налецкий. — Электрические станции, 1972, № 5.
3. Справочник по проектированию электрических систем / Под ред. С.С. Рокотяна, И.М. Шапиро. — М., 1971.

УДК 621.331.025.1:621.3.08

Б.М. Валов, В.В. Прокопчик

ВЫБОР ВРЕМЕНИ ДИСКРЕТИЗАЦИИ ПРИ КОНТРОЛЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДИСКРЕТНЫМ МЕТОДОМ

В настоящее время для целей аппаратурного контроля показателей качества электроэнергии (ПКЭ) используются различные приборы и методы обработки экспериментальной информации, что делает получаемые результаты не равноточными и не всегда сопоставимыми. Несопоставимость результатов определяется главным образом различием методов обработки информации. Так, выбор продолжительности измерения и интервала дискретизации по времени осуществляется в большинстве случаев интуитивно, без какого-либо обоснования. Вместе с тем неучет характера изменения исследуемого ПКЭ и произвольный выбор времени измерения и интервала дискретизации может привести к значительным погрешностям получаемых вероятностных характеристик.

Поскольку все ПКЭ являются случайными функциями времени, то контроль за их изменениями осуществляется вероятностными методами. Наиболее широкое распространение нашел метод дискретной выборки, хотя его применение сопровождается появлением методических погрешностей случайного характера, связанных с заменой непрерывных реализаций процесса дискретными последовательностями их значений. Выбор продолжительности измерения (T) для ПКЭ определяется длительностью интервала относительной стационарности, который зависит от характера нагрузки электрической сети [1].