

Типы регулирования реактивной мощности и методика расчета параметров конденсаторной установки 0,4 кВ

По оценкам, приведенным в различных источниках, среднестатистические потери электроэнергии в сетях потребителя лежат в пределах 8-16%. Одной из основных причин таких потерь по-прежнему остается недостаточный уровень компенсации реактивных нагрузок с помощью компенсирующих устройств. Наиболее распространенным типом компенсирующих устройств являются регулируемые конденсаторные установки (УКРМ-0,4). К их достоинствам можно отнести низкие потери активной мощности, простота подключения и обслуживания, возможность подключения практически в любом узле системы энергопотребления. Автоматическое регулирование мощности КУ дает возможность компенсировать переменную реактивную нагрузку трансформаторных подстанций (ТП) предприятий, что в конечном итоге приводит к уменьшению тока в линиях передачи, уменьшению общей потребляемой мощности и позволяет реализовать наиболее экономичный режим работы сети, поддерживая отклонение напряжения на шинах ТП в допустимых пределах.

Автоматическое регулирование мощности УКРМ-0,4 может осуществляться в зависимости от суточного графика нагрузки, по значению параметра коэффициента мощности, по уровню и знаку реактивной мощности (генерация или потребление), по току нагрузки или по нескольким параметрам одновременно (например, по времени суток, по реактивной мощности и напряжению).

Регулирование по времени суток используется при достаточно стабильных графиках нагрузки по реактивной мощности или необходимости выполнения предписаний энергоснабжающей организации по генерации (потреблению) заданного уровня мощности в определенное время суток.

Автоматическое регулирование по величине и знаку реактивной мощности целесообразно вести в том случае, если энергосистема обеспечивает соответствующие уровни напряжения на вводе, потребителю из экономических или других соображений необходимо обеспечить компенсацию или поддержание реактивной составляющей мощности с максимальной точностью.

Регулирование по уровню напряжения применяется, как правило, вместе с регулированием по другим критериям и при необходимости поддержания постоянства напряжения с допустимыми отклонениями в узле.

При резко переменном графике нагрузки по мощности и заведомо известном характере реактивности регулирование можно производить по уровню тока нагрузки или в сочетании с другими параметрами.

Для каждого узла энергосистемы потребителя должно выполняться условие баланса активной и реактивной мощностей, т.е. генерируемая мощность жестко определяется ее потреблением. При нарушении в узле баланса мощностей возникают перетоки реактивной энергии, меняется напряжение и, как следствие, возрастают потери.

В большинстве практических случаев просматривается техническая и экономическая целесообразность полной или близкой к ней компенсации реактивной мощности в узле ее потребления с регулированием по основному параметру - реактивной мощности. Такое регулирование, как правило, совпадает с регулированием по напряжению.

Для правильного определения требуемых технических параметров УКРМ-0,4 и ее оптимального использования в дальнейшем потребитель вынужден сам или с помощью энергосервисных компаний оценить основные параметры: полную мощность, шаг регулирования по мощности, регулирующий эффект по напряжению.

Рассмотрим основные соотношения, позволяющие произвести эти оценки на примере расчета параметров УКРМ-0,4 потребителя с ТП номинальной мощностью $S_{2H} = 1000$ кВА.

Пусть ТП работает с коэффициентом загрузки

$$K_3 = S_{2p}/S_{2H} = 0,8,$$

где S_{2p} - реальная потребляемая мощность вторичной обмоткой ТП.

С учетом тока при аварийной перегрузке ($I_{2H} = 1,4 \times I_{2H} = 2021$ А) коэффициент трансформации тока:

$$K_{T1} = (2001 \text{ А} / 5 \text{ А}) = 400.$$

Эти данные можно использовать для оценки верхней границы тока нагрузки, измеряемой регулятором, для расчетов уставки по току в некоторых моделях регуляторов.

Примем, что реальный коэффициент мощности лежит в пределах $\cos\phi = 0,6 \dots 0,8$, что соответствует среднестатистическим данным по большинству промышленных предприятий.

Суммарную мощность УКРМ-0,4 определим по одной из формул:

$$Q_{КУ} = S_{2H} \times K_3 \times \sin\phi = 480 \dots 640 \text{ кВАр, или} \\ Q_{КУ} = S_{2H} \times K_3 \times \cos\phi \times (\operatorname{tg}\phi - \operatorname{ctg}\phi) = 1000 \times 0,8 \times 0,6 \times (1,33 - 0,33) = 640 \text{ кВАр,}$$

где (ϕ - текущий фазовый угол ($\cos\phi = 0,6$), l - требуемый фазовый угол ($\cos\phi = 0,95$)).

Из условия поддержания необходимой точности регулирования (<5%) определим мощность меньшей секции УКРМ-0,4:

$$Q_{c \min} = (Q_{КУ}/100) \times 5\% = 24...32 \text{ кВАр},$$

Целесообразно выбрать $Q_{c \min}$ при минимальном коэффициенте загрузки ТП для обеспечения и в этом случае точности регулирования. Так при $K_3=0,4$:

$$Q_{c \min} = 12...16 \text{ кВАр}.$$

Выберем коэффициент трансформации трансформатора тока, включенного в цепь нагрузки ТП. Номинальный ток вторичной обмотки ТП: $I_{2Н}=S_{2Н} / (1,73 \times U_{2Н}) = 1444\text{А}$, где $U_{2Н} = 0,4 \text{ кВ}$ - номинальное, вторичное напряжение.

$$I_{н \max} = (K_3 \times S_{2Н}) / (1,73 \times U_{2Н} \times K_{ТТ}) = 2,89 \text{ А}.$$

Для режимов ТП, близких к холостому ходу т.е. при K_3 5% входной измеряемый регулятором ток:

$$I_{н \max} = 0,2 \text{ А}$$

Изменение напряжения в % при подключении секций конденсаторных батарей определяется по одной из формул:

$$DV_C = (Q_c \times X_c) / (10 \times U_{2Н} \times U_{2Р});$$

$$DV_C = (Q_c \times U_{K3}) / S_{2Н};$$

$$DV_C = (Q_c / S_{K3});$$

где Q_c - мощность подключаемой секции, кВАр;

X_c - индуктивное сопротивление внешней сети по отношению к узлу присоединения УКРМ-0,4, приведенное ко вторичной обмотке трансформатора;

$U_{2Н}$, $U_{2Р}$ - номинальное и действительное напряжение сети, кВ;

S_{K3} - мощность короткого замыкания в месте установки КУ, мВА.

Опуская детали расчетов сопротивлений линии передачи, приведем оценку изменения напряжения при включении УКРМ-0,4 мощностью 600 кВАр для ТП с $S_{2Н}= 1000 \text{ кВА}$, что составляет 12,4...22,8 В. В качестве устройства управления УКРМ-0,4 применяются регуляторы коэффициента мощности отечественного и зарубежного производства.

Соотношение величин отдельных конденсаторных ступеней. Варианты комбинаций величин.

№	Комбинация	Индикация	№	Комбинация	Индикация
1	1:1:1:1:1	1	7	1:2:2:2:2	7
2	1:1:2:2:2	2	8	1:2:3:3:3	8
3	1:1:2:2:4	3	9	1:2:3:4:4	9
4	1:1:2:3:3	4	10	1:2:3:6:6	10
5	1:1:2:4:4	5	11	1:2:4:4:4	11
6	1:1:2:4:8	6	12	1:2:4:8:8	12