

Лекция №33. Выбор и расчет компенсирующих устройств

При выборе компенсирующего устройства основным вопросом является выбор мощности компенсирующего устройства. При выборе мощности компенсирующего устройства стремятся к правильному распределению источников реактивной мощности и наиболее экономичной загрузке сети.

Требуемая мощность компенсирующего устройства выбирается с учётом наибольшей реактивной мощности Q_{Σ} , которая может быть передана из сетей энергосистемы. Должно соблюдаться условие:

$$Q_p - Q_k \leq Q_{\Sigma}, \quad (9.7)$$

где Q_p – расчётная потребляемая предприятием реактивная мощность, Q_k – реактивная мощность, которая должна быть скомпенсирована на предприятии.

На предприятии задаётся режим потребления реактивной мощности с учётом его максимальных нагрузок. Это требование заключается в том, что задаются значения $Q_{\Sigma 1}$ – реактивной мощности, выдаваемой энергосистемой предприятию в течении получаса в период максимальных активных нагрузок системы, и $Q_{\Sigma 2}$ – средней реактивной мощности, передаваемой из сети энергосистемы или генерируемой в сеть в период её наименьшей нагрузки. Поэтому можно записать:

$$Q_{k \max} = Q_{p \max} - Q_{\Sigma 1} \quad \text{и} \quad (9.8)$$

$$Q_{k \min} = Q_{p \min} - Q_{\Sigma 2}, \quad (9.9)$$

где $Q_{k \max}$, $Q_{k \min}$ необходимые мощности компенсирующего устройства в режиме максимальных и минимальных нагрузок, $Q_{p \max}$, $Q_{p \min}$ – расчётная реактивная мощность предприятия в режиме максимальных и минимальных нагрузок.

Таким образом, недостаток в энергосистеме реактивной энергии для покрытия реактивных нагрузок предприятия устраняется за счёт компенсирующих устройств предприятия.

Для того, чтобы стимулировать предприятие на внедрение мероприятий по компенсации реактивной мощности введена система оплаты за электроэнергию и по потребляемой реактивной мощности.

Выбор мощности компенсирующих устройств и распределение их по сетям предприятия производят на основании технико-экономических затрат. Приведённые затраты на компенсацию реактивной мощности:

$$Z_k = Z_{0k} + Z_{y,k1} Q_k + Z_{y,k2} Q_k^2, \quad (9.10)$$

где Q_k – реактивная мощность компенсирующего устройства, Z_{0k} – постоянная составляющая затрат, не зависящая от мощности Q_k , $Z_{y,k1}$ – удельные затраты на 1 квар реактивной мощности, $Z_{y,k2}$ – удельные затраты на 1 квар² реактивной мощности.

Постоянная составляющая затрат:

$$Z_{0k} = E_n K_0, \quad (9.11)$$

где E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, K_0 – затраты на коммутационную аппаратуру, регулирующие устройства и др.

На основе технико-экономического сравнения вариантов необходимо дополнительно рассматривать вариант, когда компенсирующее устройство вообще не устанавливается и предприятие будет вынуждено платить за потребление реактивной мощности.

Источники реактивной мощности напряжением 6-10 кВ более экономичны по сравнению с напряжением до 1 кВ. Однако передача реактивной мощности из сети 6-10 кВ в сеть до 1 кВ может привести к увеличению числа трансформаторов на ТП, обусловленного их дополнительной загрузкой, передаваемой реактивной мощностью, и соответственно к увеличению потерь электроэнергии в линиях и трансформаторах.

Мощность компенсирующего устройства в сетях напряжением до 1 кВ определяется по минимуму затрат выбором оптимального числа трансформаторов цеховых ТП и определением дополнительной мощности компенсирующих устройств ниже 1 кВ в целях оптимального снижения потерь в трансформаторах и в сети 6-10 кВ, питающей эти трансформаторы.

Рассчитанная таким образом мощность компенсации распределяется между всеми трансформаторами цеха пропорционально их реактивным нагрузкам.

Ориентировочное количество необходимых трансформаторов одинаковой оптимальной экономической мощности для покрытия всех электрических нагрузок цеха при неравномерном распределении этих нагрузок по площади цеха выбирается по выражению:

$$n_{тр} = \frac{S_{см}}{\beta \lambda S_{ном.т}}, \quad (9.12)$$

где $S_{см}$ – полная средняя мощность цеха за максимально загруженную смену, $S_{ном.т}$ – оптимальная экономическая номинальная мощность трансформатора, β – рекомендуемый коэффициент загрузки трансформаторов, $\lambda = \cos \varphi_2 / \cos \varphi_1$ отношение коэффициентов мощности на стороне вторичного напряжения трансформатора соответственно после и до компенсации реактивных нагрузок.

Наибольшая реактивная мощность, которая может быть передана из сети 6-10 кВ в сеть напряжением до 1 кВ для покрытия оставшейся некомпенсированной реактивной мощности в сети до 1 кВ без увеличения числа устанавливаемых трансформаторов определяется:

$$Q_{сн} = \sqrt{(n \beta S_{ном.т})^2 - P_{см}^2}, \quad (9.13)$$

где $P_{см}^2$ – активная средняя нагрузка за максимально загруженную смену.

5. Выбор местоположения компенсирующего устройства.

После ориентировочного определения необходимой мощности компенсирующего устройства возникает задача их оптимального

расположения в системе электроснабжения предприятия. Наибольший эффект достигается при установке компенсирующего устройства вблизи электроприёмника с наибольшим потреблением реактивной мощности, так как это приводит к максимальному снижению потерь электроэнергии. От выбора места установки компенсирующего устройства зависят его стоимость и потери электроэнергии. Минимальную стоимость имеют батареи статических конденсаторов на напряжение 6-10 кВ, но при их установке наибольшими будут потери активной мощности в элементах системы электроснабжения, находящиеся вне зоны компенсации.

Поэтому, задача размещения компенсирующих устройств в системах электроснабжения является многофакторной. Их оптимальному размещению соответствует технически приемлемый вариант, который обеспечивает минимальные расчётные затраты. Наличие сложных разветвительных систем с разнородной нагрузкой приводит к необходимости рассмотрения большого количества вариантов.

Для электроснабжения крупных предприятий, характеризующихся наличием разветвлённой системы электроснабжения, рекомендуется следующая методика:

1) Определяется центр потребления реактивных нагрузок (x_0, y_0) на территории предприятия;

2) На основании технико-экономических расчётов определяется целесообразная мощность компенсирующего устройства Q_k . При этом могут быть варианты: на территории предприятия компенсирующие устройства отсутствуют вообще, либо на предприятии установлены компенсирующие устройства и их необходимо дополнить новыми. В первом случае место установки должно находиться ближе к центру потребления реактивных нагрузок. Во втором следует отыскать центр генерирования реактивной мощности для компенсирующих устройств, уже находящихся на предприятии. Далее методом последовательных приближений определяются координаты установки дополнительного компенсирующего устройства так, чтобы новый центр генерирования реактивной мощности находился вблизи центра её потребления (x_r, y_r),

3) Производится расчёт уровней напряжения в часы максимума и минимума нагрузок.

Соблюдение допустимых отклонений напряжения на зажимах приёмников является, как правило, основным ограничением при выборе мощности и места расположения компенсирующего устройства. Для выполнения этого условия, в некоторых случаях, необходимо использовать регулируемые компенсирующие устройства.

Если средствами компенсации являются синхронные двигатели, то данная задача решается просто за счёт регулирования возбуждения. Если же для компенсации используются статические конденсаторы, то регулировка может производиться только ступенчато, путём деления батарей на части. Конечно, такое регулирование имеет серьёзные недостатки: возможность работы в течение какого-то времени с недостаточной, либо избыточной

компенсацией, а так же расходы на установку дополнительной коммутационной аппаратуры. Но сейчас большое распространение получили комбинированные компенсирующие устройства, которые сочетают преимущества плавного регулирования и низкой стоимости.

1. Продольная компенсация.

Продольной называется компенсация индуктивности линий, которая реализуется путём включения последовательно в линию ёмкостного сопротивления. Это сопротивление компенсирует индуктивное сопротивление линии, вследствие чего в ней уменьшаются потери напряжения.

Рассмотрим случай линии с нагрузкой (рис. 9.3). Продольная и поперечная составляющие падения напряжения для рассматриваемой линии определяются выражениями:

$$\begin{aligned} U_{\text{прод. ф}} &= I(R \cos \varphi + X \sin \varphi), \\ U_{\text{поп. ф}} &= I(X \cos \varphi - R \sin \varphi). \end{aligned} \quad (9.14)$$

При заданном векторе фазного напряжения у потребителя $U_{2\text{ф}}$ напряжение на источнике питания определяется вектором $U_{1\text{ф}}$ (точка А). Если в линию включить последовательно конденсаторы с реактивным сопротивлением X_c , то падение напряжения в реактивном сопротивлении составит $I(X - X_c)$ и составляющие падения напряжения будут равны:

$$\begin{aligned} U'_{\text{прод. ф}} &= I(R \cos \varphi + (X - X_c) \sin \varphi), \\ U'_{\text{поп. ф}} &= I((X - X_c) \cos \varphi - R \sin \varphi). \end{aligned} \quad (9.15)$$

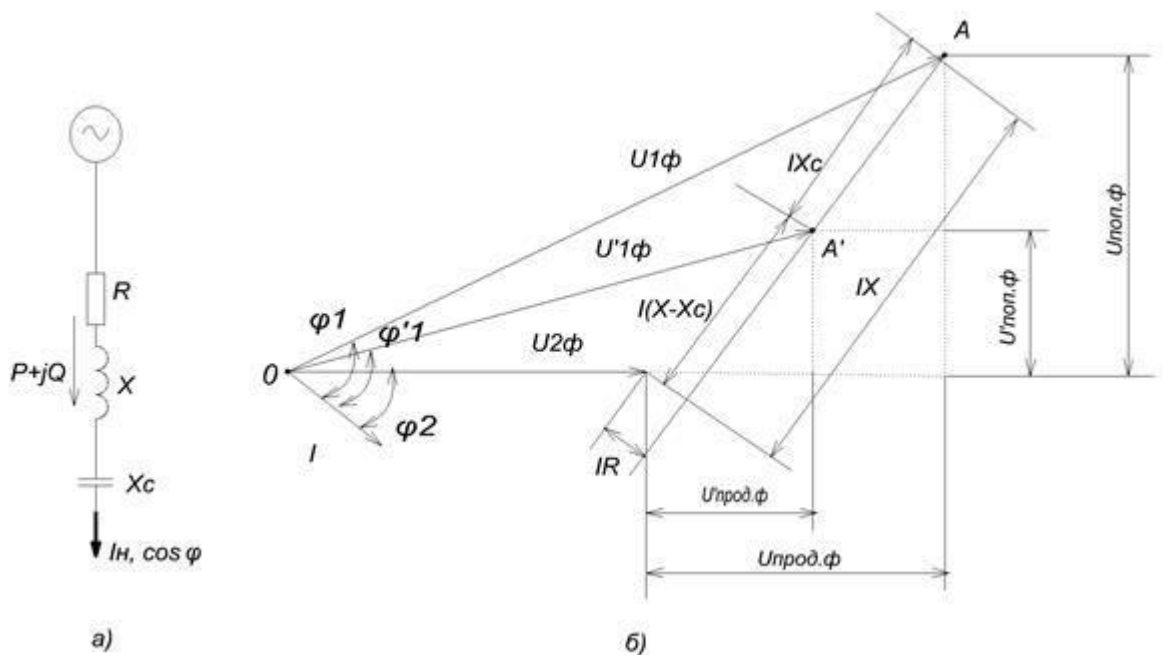


Рис. 9.3 Схема сети и векторная диаграмма с применением продольной компенсации реактивной мощности линии.

Требуемое напряжение на источнике питания теперь будет равно вектору $U'_{1\text{ф}}$, определяемому при $X_c < X$ точкой А'. Его величина по сравнению с первоначальной уменьшилась, так как $U_{\text{прод. ф}}$ и $U_{\text{поп. ф}}$ снизились благодаря уменьшению реактивного сопротивления линии.

При полной компенсации ($X_c=X$) падение напряжения будет определяться только активным сопротивлением линии R .

При перекомпенсации ($X_c>X$) потеря напряжения будет близкой к нулю и $U_{1\phi}=U_{2\phi}$. Значение X_c при этом будет:

$$X_c=X+R\operatorname{ctg}\varphi \quad (9.16)$$

Реактивное сопротивление конденсаторов в этом случае компенсирует не только индуктивное сопротивление линии, но и падение напряжения на активном сопротивлении.

Мощность конденсаторов определяют:

$$Q_c^2=3I^2X_c, \quad (9.17)$$

где I – максимальный ток линии.