

ИССЛЕДОВАНИЕ БАЛАНСОВ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Рассмотрены пути уменьшения потерь напряжения и мощности в СЭС с применением КУ.

Ключевые слова: электрические системы, реактивная мощность, электроэнергия, электрические станции.

STUDY OF REACTIVE POWER BALANCE IN ELECTRICAL SYSTEMS

Ways of reducing the voltage and power loss in the SEC with KU.

Keywords: power systems, reactive power, power, power plants.

Особенность электроэнергетических систем в республике состоит в практически мгновенной передаче энергии от источников к потребителям и невозможности накапливания выработанной электроэнергии в заметных количествах. Эти свойства определяют одновременность процесса выработки и потребления электроэнергии. В каждый момент времени в установившемся режиме энергосистемы ее электрические станции должны вырабатывать мощность, равную мощности потребителей, и покрывать потери мощности в сети, т.е. должен соблюдаться баланс вырабатываемой и потребляемой активных и реактивных мощностей. Наряду с балансом активных мощностей в установившемся режиме энергосистемы в каждый момент времени должен соблюдаться баланс вырабатываемой и потребляемой реактивных мощностей:

$$\Sigma Q_{\Gamma} + \Sigma Q_{\text{ку}} + \Sigma Q_{\text{б}} = \Sigma Q_{\text{нагр}} + \Sigma Q_{\text{сн}} + \Sigma \Delta Q, \quad (1)$$

где ΣQ_{Γ} - мощность генераторов;

$\Sigma Q_{\text{ку}}$ - мощность компенсирующих устройств;

$\Sigma Q_{\text{б}}$ - зарядная мощность линий;

$\Sigma Q_{\text{нагр}}$ - реактивная мощность нагрузки;

$\Sigma Q_{\text{сн}}$ - реактивная мощность, потребляемая на собственные нужды электростанций;

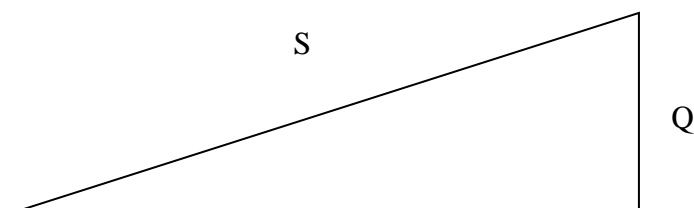
$\Sigma \Delta Q$ - потери реактивной мощности в сетях.

Генератор по условию устойчивости своей работы должен выдавать в систему не только активную, но и реактивную мощность:

$$Q_{\Gamma} = \frac{U_{\Gamma}^2}{X_d} - \frac{E_q U_{\Gamma}}{X_d} \cos \delta \quad (2)$$

Известно, в цепях переменного тока, содержащих индуктивность (или емкость мощность переменного тока) определяется величинами, связанными между собой треугольником мощностей

Коэффициент мощности находят из выражения $\cos \varphi = P/S$



где P - активная мощность, кВт; Q – реактивная мощность, кВар; S- кажущаяся мощность, кВА; Отношение Q/P = tgφ;

Кажущаяся мощность трехфазного тока кВА, $S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$

где U - междуфазное напряжение, В; I – сила тока, А;

Активная мощность $P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cos\phi$ кВт, при $\cos\phi=1$ $S=P$

Из приведенных выражений следует, что уменьшением значения $\cos\phi$ при одной и той же активной мощности увеличивается сила тока. Известно, что увеличением силы тока его тепловые действия возрастают в квадрате, если ток увеличивается вдоль производимый или нагрев возрастает в 4 раза. Таким образом, уменьшение тока при одной и той же передаваемой мощности в квадратной зависимости уменьшает потери на нагрев проводов кабелей, обмоток машин и трансформаторов. Одновременно с этим уменьшение тока увеличивает возможность более полной загрузки агрегатов, вырабатывающих электроэнергию, трансформирующих её и передающих воздушных и кабельных сетей. Поясним это на примере. Предположим, что районные электростанция мощностью в 700 МВт работает с нагрузкой 600 МВт. При коэффициенте мощности суммарно создаваемом потребителями электроэнергии $\cos\phi=0,8$. При этом нагрузка током генераторов с напряжением 11,5 кВ.

$$I = 600 \cdot 10^3 / \sqrt{3} \cdot 11,5 \cdot 0,8 = 38 \text{ кА}$$

Суммарный номинальный ток генераторов, допустимый по их предельному нагреву составляет 38кА. Таким образом, располагая установленной мощностью агрегатов в 700 МВт, станция не может при $\cos\phi = 0,8$ развивать мощность более 600 МВт. Если же потребители электроэнергии повысят коэффициент мощности до 0,9, при той же потребляемой предприятиями мощности ток нагрузка генераторов:

$$I = 600 \cdot 10^3 / \sqrt{3} \cdot 11,5 \cdot 0,9 = 33,4 \text{ кА}$$

Следовательно, генераторы станции смогут принять дополнительную токовую нагрузку (4,6 кА) и станция сможет отдать дополнительную мощность.

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cos\phi = 1,73 \cdot 11,5 \cdot 4,6 \cdot 0,9 = 81 \text{ МВт}$$

Таким образом, интересы народного хозяйства требуют поддержания достаточно высокого значения коэффициента мощности.

Рекомендуется ряд основных и вспомогательных способов для повышения $\cos\phi$ электроустановок промышленных предприятий. К ним в первую очередь относятся мероприятия не требующие компенсирующих устройств рассмотрим некоторых из них.

Загрузка асинхронных двигателей (АД)

Наиболее простым способом повышение $\cos\phi$ является полная загрузка этих двигателей. Чем меньше загружен АД тем ниже его $\cos\phi$, а также к. п. д.

Таблица 1

Процент нагрузки от ном / мощности	$\cos\phi$	к.п.д.
0	0.3	0
25	0.6	0.8
50	0.8	0.87
75	0.85	0.88
100	0.88	0.89

В таблице 1 приведены данные изменения $\cos\phi$ и к.п. д. асинхронного двигателя средней мощности в зависимости от степени загрузки.

В процессе эксплуатации ведут постоянные наблюдения за загрузкой АД записывая показание амперметров или проводя периодические измерения загрузки электродвигателей.

Переключение асинхронных двигателей с треугольника на звезду

Коэффициент мощности $\cos\varphi$ у сильно не загруженного АД напряжением до 1000 В можно повысить переключением его статорной обмотки с треугольника на звезду.

Присоединение статорной обмотки в треугольник напряжение на обмотке каждой фазы (фазовое напряжение) равно линейному напряжению в сети.

При соединении обмоткой в звезду фазовое напряжение на обмотки меньше линейного в $\sqrt{3}$ раз. При меньшем фазовом напряжении на той же обмотки уменьшается ток намагничивания статора что дает повышению $\cos\varphi$.

Внедрение ограничителей «Холостого хода»

Существенно значение для повышения $\cos\varphi$ имеет установка ограничителей холостого хода электродвигателей которые устанавливаются к электродвигателям тех станков и механизмов, у которых продолжительность межоперационного периода превышает 10с.

Применение синхронных двигателей (СД) вместо асинхронных той же мощности

Это мероприятие оправдывается преимуществом синхронных двигателей перед асинхронными; синхронные двигатели могут отдавать в сеть реактивную мощность, работая с механической нагрузкой при опережающем коэффициента мощности.

Замена слабо загруженных трансформаторов меньше мощными

Слабо загруженные трансформаторы имеют пониженный $\cos\varphi$. При решении вопроса повышения $\cos\varphi$ возникает необходимость применения компенсирующих установок. В этих случаях «Руководящие указания» рекомендует использовать статические конденсаторы. Обычно применяют бумажно - масляные конденсаторы в банках от 4 до 32 кВар соединяемых в батарею выпускают трехфазные конденсаторы (на напряжение 220, 380, 500 и 600 кВ) и однофазные (на $U=3$; 6 и 10 кВ).

Компенсация реактивной мощности, как всякое важное техническое мероприятие, может применяться для нескольких различных целей. Во-первых, компенсация реактивной мощности необходима по условию баланса реактивной мощности. Во-вторых, установка компенсирующих устройств применяется для снижения потерь электрической энергии в сети. И, наконец, в-третьих, компенсирующие устройства применяются для регулирования напряжения

Для уменьшения перетоков реактивной мощности по линиям и трансформаторам источники реактивной мощности должны размещаться вблизи мест ее потребления. При этом передающие элементы сети разгружаются по реактивной мощности, чем достигается снижение потерь активной мощности и напряжения

Эффект установки компенсирующих устройств в конце линии иллюстрируется рисунке, где приведены схемы замещения и векторные диаграммы токов и мощностей.

Без применения компенсирующих устройств в линии протекают ток и мощность нагрузки (рис. а):

$$\underline{I}_n = I'_n - jI'_n, \quad \underline{S}_n = P_n + jQ_n. \quad (3)$$

При установке компенсирующих устройств реактивный ток и реактивная мощность в линии уменьшаются на величину реактивного тока и реактивной мощности, генерируемых в компенсирующем устройстве I_k и Q_k . В линии будут протекать меньшие по модулю ток и мощность, соответственно равные (рис.1. б)

$$, \quad \underline{I}_n = I'_n - j(I'_n - I_k), \quad \underline{S}_n = P_n + j(Q_n - Q_k). \quad (4)$$

При этом, как отмечалось выше, в линии уменьшаются потери мощности и потери напряжения, так как

$$\Delta P_{\text{л}} = \frac{P_{\text{н}}^2 + (Q_{\text{н}} - Q_{\text{к}})^2}{U_{\text{ном}}^2} r_{\text{л}}, \quad \Delta U_{\text{л}} = \frac{P_{\text{н}} r_{\text{л}} + (Q_{\text{н}} - Q_{\text{к}}) x_{\text{л}}}{U_{\text{ном}}} \quad (5) \text{ или}$$

$$S_{\text{н}}; \cos\varphi_1 = P/S_{\text{н}}; S_{\text{л}}; \cos\varphi_2 = P/S_{\text{л}}; \cos\varphi_1 < \cos\varphi_2$$

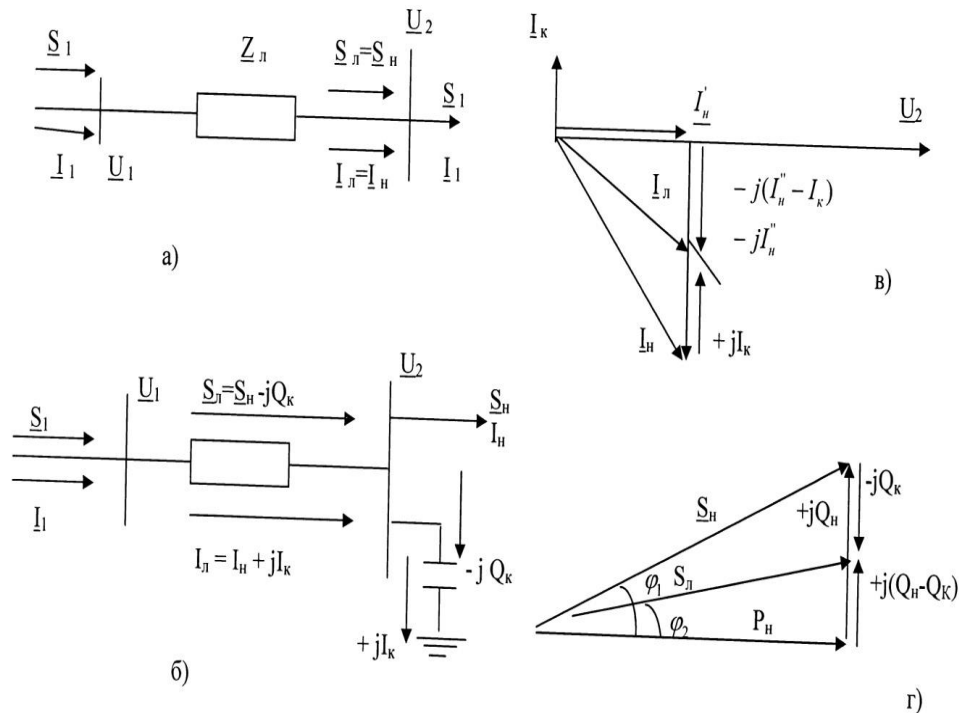


Рис. 1. К пояснению эффекта от применения компенсирующих устройств;
 а, б — токи и потоки мощности до и после компенсации;
 в — векторная диаграмма токов;
 г — треугольник мощностей

Таким образом, вследствие применения компенсирующих устройств на подстанции при неизменной мощности нагрузки реактивные мощности и ток в линии уменьшаются — линия разгружается по реактивной мощности.

Литература:

1. **Идельчик, В.И.** Электрические системы и сети [Текст]/ В.И. Идельчик// М.: Энергоатомиздат, 1989, 246с.
2. **Железко, Ю.С.** Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии[Текст] / Ю.С. Железко //М.: Энергоатомиздат, 1985.-223с.
3. **Константинов, Б.А., Соколова, К.И.** Коэффициент мощности и способ его улучшения на промышленных предприятиях [Текст]/ Б.А.Константинов, К.И. Соколова //Госэнергоиздат, 1959.-133с.
4. **Герасименко, А.А.** Передача и распределение электрической энергии[Текст] /А.А. Герасименко // М.: 2006.- 27с.