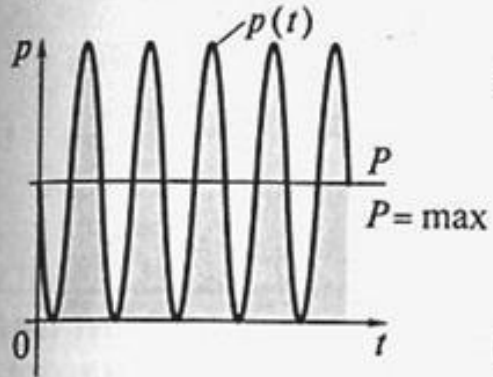
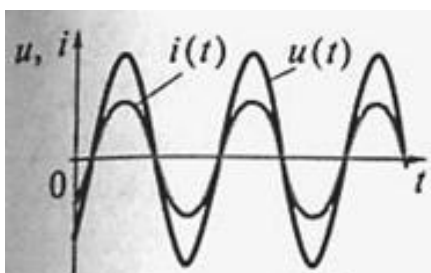
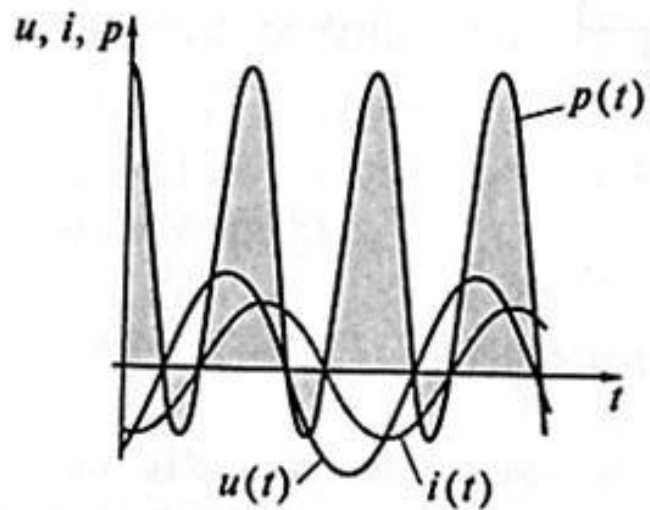


$$p = \frac{dA}{dt} = ui$$

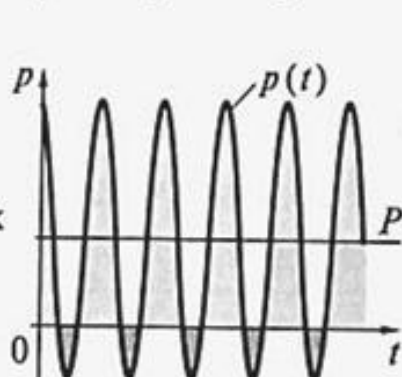
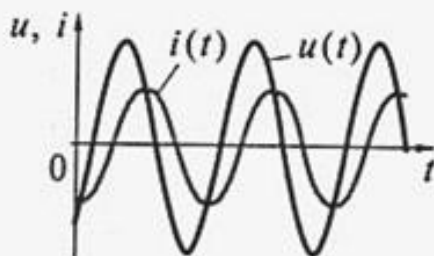
$$P = \frac{A}{T} = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt$$

$$\begin{aligned} p = ui &= U_m I_m \sin \omega t \sin(\omega t - \varphi) = \frac{U_m I_m}{2} [\cos \varphi - \cos(2\omega t - \varphi)] = \\ &= UI [\cos \varphi - \cos(2\omega t - \varphi)] \end{aligned}$$

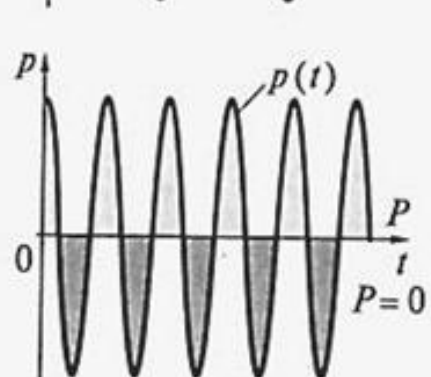
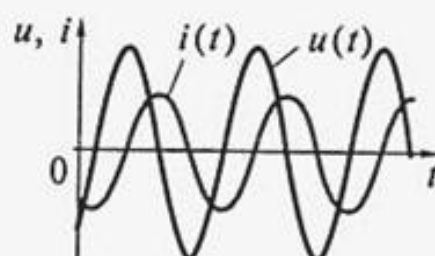
$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{T} \int_0^T U_m \sin \omega t \cdot I_m \sin(\omega t - \varphi) dt = \\ &= \frac{U_m I_m}{2T} \int_0^T [\cos \varphi - \cos(2\omega t - \varphi)] dt = \frac{U_m I_m}{2} \cos \varphi = UI \cos \varphi \end{aligned}$$



a



б



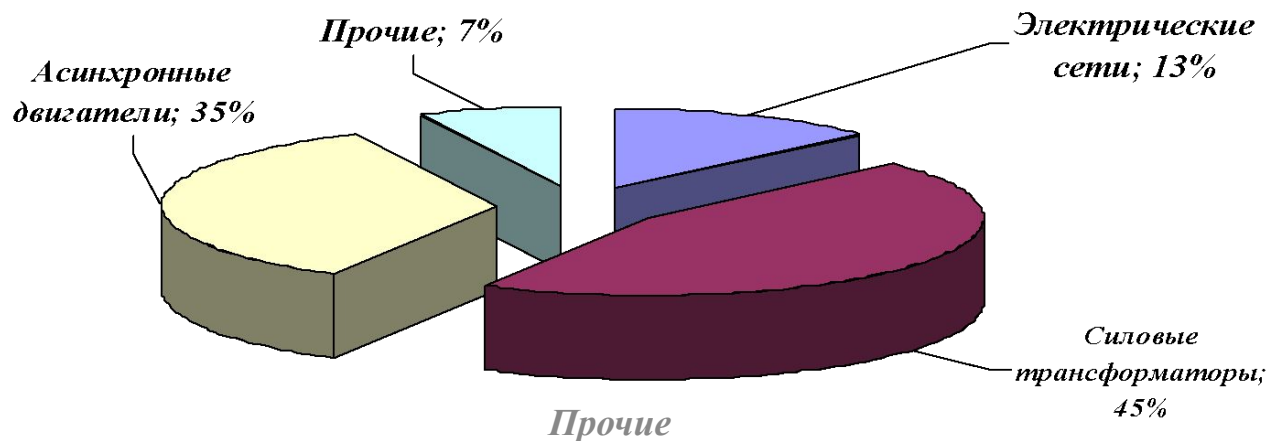
в

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Потребители реактивной мощности

$$Q_{H\Sigma} \approx 2Q_{\Sigma}$$

Структура потребителей реактивной мощности в сетях энергосистем
(по установленной активной мощности)



преобразователи: переменного тока в постоянный; тока промышленной частоты в ток повышенной или пониженной частоты;

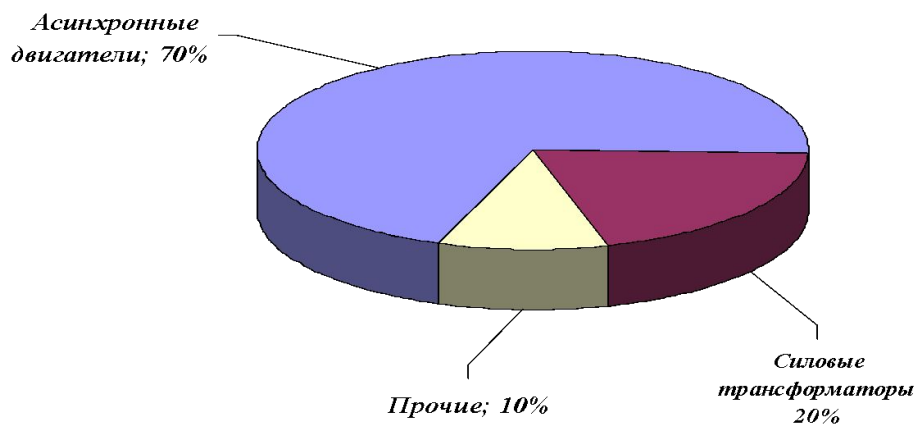
печная нагрузка: индукционные печи; ДСП; ЭШП; РТП; ... ;

сварка: сварочные трансформаторы, агрегаты, выпрямители; точечная, контактная.

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Потребители реактивной мощности

Структура потребления реактивной мощности на предприятии



$$\Delta Q_{\Sigma} \approx 0,5 Q_{\text{сети}}$$

из них 70÷75% составляют реактивные потери в силовых трансформаторах

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Потребители реактивной мощности

Естественный коэффициент мощности

Предприятия:

тяжелого машиностроения		0,73
станкостроение	0,68	
инструментальные	0,69	
шарикоподшипниковые	0,83	
по производству подъемно-транспортных машин		0,75
автотракторные	0,79	
по производству сельскохозяйственных машин		0,79
приборостроения	0,79	
авторемонтные	0,65	
вагоноремонтные	0,69	
по производству электротехнического оборудования		0,82
металлообрабатывающие	0,87	
органической химии	0,75÷0,8	
по производству резинотехнических изделий		0,65÷0,7
анилиноокрасочные	0,7	
по производству искусственных волокон		0,7÷0,75
нефтеперерабатывающие	0,9	
горнорудные	0,65÷0,7	
металлургические	0,7÷0,85	
коммунально-бытовые	0,8÷0,92	
сельскохозяйственное производство	0,8÷0,85	

Интервальная оценка $\cos\varphi$ составляет 0,65÷0,92

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Баланс реактивной мощности в сети

$$Q_{ПНБ} = k_0 \sum_{i=1}^n Q_{НБ_i} + \Delta Q_{T_{\Sigma}} + \sum_{j=1}^m (\Delta Q_j - Q_{C,j})$$

где k_0 – коэффициент одновременности наибольших реактивных нагрузок, $k_0 \approx 0,98$

$Q_{НБ_i}$ – максимальная реактивная нагрузка i – го узла

$\Delta Q_{T_{\Sigma}}$ – суммарные потери реактивной мощности в СТ, $Q \Delta Q_{T_{\Sigma}} \approx 0,1 \cdot S_{max}$

ΔQ_j – потери реактивной мощности в j – ой π – линии

$Q_{C,j}$ – средняя мощность, генерируемая j – ой линией

сеть 110 кВ

сеть 35 кВ

сеть 220 кВ

$$\Delta Q_L = Q_C$$

$$x_0 = 0,41 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$$

$$x_0 = 0,42 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$$

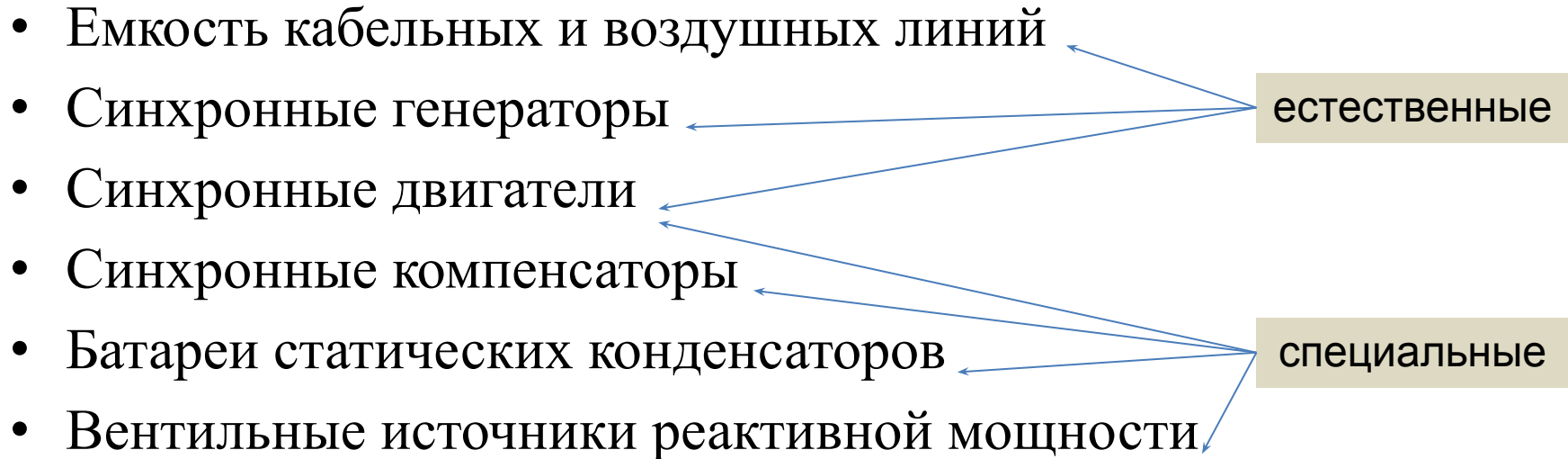
$$q_C = 0,14 \frac{\text{Мвар}}{\text{км}}$$

$Q_{ПНБ} = Q_{Г_{\Sigma}}$ – баланс

Если $Q_{ПНБ} > Q_{Г_{\Sigma}}$, то $Q_{КУ_{\Sigma}} = Q_{ПНБ} - Q_{Г_{\Sigma}}$

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Источники реактивной мощности (КРМ)



Типы компенсации

□ продольная

□ поперечная

ПОТРЕБИТЕЛ Ь

поддержание
напряжения

уменьшение потерь в
сети

снижение номинальной
мощности оборудования,
уменьшение стоимости

**дополнительное
оборудование,
увеличение стоимости**

**увеличение
эксплуатационных
расходов**

**снижение устойчивости,
понижение надежности**

КРМ
у потребителя

СЕТЬ

поддержание
напряжения

уменьшение потерь
в сети

уменьшение
загрузки,
повышение
надежности

уменьшение
расходов

ПОТРЕБИТЕЛ
Ь

поддержание
напряжения

КРМ
в сети

СЕТЬ

поддержание
напряжения

уменьшение потерь
в сети

оптимизация
перетоков мощности

увеличение
эксплуатационных
расходов

дополнительное
оборудование,
увеличение стоимости

ПРОИЗВОДИТЕЛ
Ь

СЕТЬ

КРМ
у производителя
электроэнергии

поддержание
напряжения

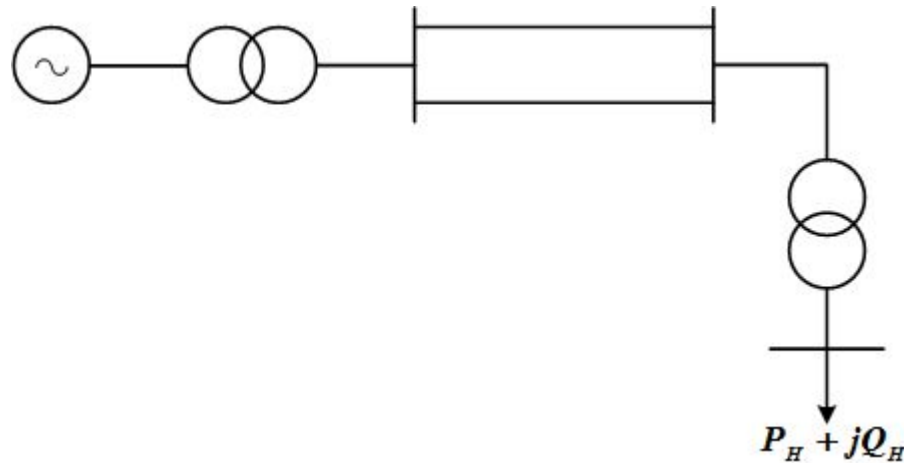
Повышение потерь,
увеличение расхода
топлива - увеличение
эксплуатационных
расходов

снижение устойчивости,
понижение надежности

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Три задачи компенсации реактивной мощности (КРМ)

- Уменьшение мощности сетевого оборудования
- Уменьшение потерь электроэнергии в сети
- Поддержание желаемого уровня напряжения в узлах сети
- Балансовые расчеты реактивной мощности



КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

ПРАВИЛА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И СЕТЕЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

6.3.16. Порядок использования источников реактивной мощности потребителей должен быть задан при заключении договоров между энергоснабжающей организацией и потребителем. При необходимости диспетчерские органы должны использовать источники реактивной мощности у потребителей для регулирования напряжения в контрольных точках.

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ РД 34.20.185-94

5.2.9. Компенсация реактивной нагрузки промышленных и приравненных к ним потребителей (согласно Правилам пользования электрической и тепловой энергией) выполняется в соответствии с действующими нормативными документами по расчетам с потребителями за компенсацию реактивной мощности и по компенсации реактивной мощности в электрических сетях промышленных предприятий.

Компенсирующие устройства рекомендуется устанавливать непосредственно у электроприемников.

Для жилых и общественных зданий компенсация реактивной нагрузки не предусматривается.

Условия компенсации реактивной нагрузки местных и центральных тепловых пунктов, насосных, котельных и других потребителей, предназначенных для обслуживания жилых и общественных зданий, расположенных в микрорайонах, определяются Нормами проектирования электрооборудования жилых и общественных зданий.

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ПОСТАНОВЛЕНИЕ от 27 декабря 2004 г. N 861

ОБ УТВЕРЖДЕНИИ ПРАВИЛ НЕДИСКРИМИНАЦИОННОГО ДОСТУПА К УСЛУГАМ ПО ПЕРЕДАЧЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И ОКАЗАНИЯ ЭТИХ УСЛУГ, ПРАВИЛ НЕДИСКРИМИНАЦИОННОГО ДОСТУПА К УСЛУГАМ ПО ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСКОМУ УПРАВЛЕНИЮ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ И ОКАЗАНИЯ ЭТИХ УСЛУГ, ПРАВИЛ НЕДИСКРИМИНАЦИОННОГО ДОСТУПА К УСЛУГАМ АДМИНИСТРАТОРА ТОРГОВОЙ СИСТЕМЫ ОПТОВОГО РЫНКА И ОКАЗАНИЯ ЭТИХ УСЛУГ И ПРАВИЛ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРИСОЕДИНЕНИЯ ЭНЕРГОПРИНИМАЮЩИХ УСТРОЙСТВ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, ОБЪЕКТОВ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, А ТАКЖЕ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА, ПРИНАДЛЕЖАЩИХ СЕТЕВЫМ ОРГАНИЗАЦИЯМ И ИНЫМ ЛИЦАМ, К ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СЕТЯМ

ПРАВИЛА НЕДИСКРИМИНАЦИОННОГО ДОСТУПА К УСЛУГАМ ПО ПЕРЕДАЧЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И ОКАЗАНИЯ ЭТИХ УСЛУГ

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

ПРАВИЛА НЕДИСКРИМИНАЦИОННОГО ДОСТУПА К УСЛУГАМ ПО ПЕРЕДАЧЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И ОКАЗАНИЯ ЭТИХ УСЛУГ

14. При исполнении договора потребитель услуг обязан:

в) поддерживать в надлежащем техническом состоянии принадлежащие ему средства релейной защиты и противоаварийной автоматики, приборы учета электрической энергии и мощности, **устройства, обеспечивающие регулирование реактивной мощности**, а также иные устройства, необходимые для поддержания требуемых параметров надежности и качества электрической энергии, и соблюдать требования, установленные для технологического присоединения и эксплуатации указанных средств, приборов и устройств;

е) поддерживать на границе балансовой принадлежности значения показателей качества электрической энергии, обусловленные работой его энергопринимающих устройств, соответствующие техническим регламентам и иным обязательным требованиям, в том числе **соблюдать установленные договором значения соотношения потребления активной и реактивной мощности**, определяемые для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств);

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

ПРАВИЛА НЕДИСКРИМИНАЦИОННОГО ДОСТУПА К УСЛУГАМ ПО ПЕРЕДАЧЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И ОКАЗАНИЯ ЭТИХ УСЛУГ

15. При исполнении договора сетевая организация обязана:

в) **определять** в порядке, определяемом Министерством промышленности и энергетики Российской Федерации, **значения соотношения потребления активной и реактивной мощности** для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей услуг. При этом указанные характеристики для потребителей, присоединенных к электрическим сетям напряжением 35 кВ и ниже, устанавливаются сетевой организацией, а для потребителей, присоединенных к электрическим сетям напряжением выше 35 кВ, - сетевой организацией совместно с соответствующим субъектом оперативно-диспетчерского управления;

16. В случае отклонения потребителя услуг от установленных договором значений соотношения потребления активной и реактивной мощности в результате участия в регулировании реактивной мощности по соглашению с сетевой организацией он оплачивает услуги по передаче электрической энергии, в том числе в составе конечного тарифа (цены) на электрическую энергию, поставляемую ему по договору энергоснабжения, с учетом понижающего коэффициента, устанавливаемого в соответствии с методическими указаниями, утверждаемыми федеральным органом исполнительной власти в области государственного регулирования тарифов.

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

ПРАВИЛА НЕДИСКРИМИНАЦИОННОГО ДОСТУПА К УСЛУГАМ ПО ПЕРЕДАЧЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И ОКАЗАНИЯ ЭТИХ УСЛУГ

По факту выявления сетевой организацией на основании показаний приборов учета нарушений значений соотношения потребления активной и реактивной мощности составляется акт, который направляется потребителю. Потребитель электрической энергии в течение 10 рабочих дней с даты получения акта письменно уведомляет о сроке, в течение которого он обеспечит соблюдение установленных характеристик путем самостоятельной установки устройств, обеспечивающих регулирование реактивной мощности, или о невозможности выполнить указанное требование и согласии на применение повышающего коэффициента к стоимости услуг по передаче электрической энергии. Указанный срок не может превышать 6 месяцев. В случае если по истечении 10 рабочих дней уведомление потребителем услуг не направлено, сетевая организация, а также гарантирующий поставщик (энергоснабжающая, энергосбытовая организации) по договору энергоснабжения применяют повышающий коэффициент к тарифу на услуги по передаче электрической энергии (в том числе в составе конечного тарифа (цены) на электрическую энергию). **Повышающий коэффициент применяется до установки соответствующих устройств потребителем услуг, допустившим нарушение значений соотношения потребления активной и реактивной мощности.**

Размер указанных повышающего и понижающего коэффициентов устанавливается в соответствии с методическими указаниями, утверждаемыми федеральным органом исполнительной власти в области государственного регулирования тарифов.

Убытки, возникающие у сетевой организации или третьих лиц в связи с нарушением установленных значений соотношения потребления активной и реактивной мощности, возмещаются лицом, допустившим такое нарушение в соответствии с гражданским законодательством Российской Федерации.

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

ПРАВИЛА НЕДИСКРИМИНАЦИОННОГО ДОСТУПА К УСЛУГАМ ПО ПЕРЕДАЧЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И ОКАЗАНИЯ ЭТИХ УСЛУГ

38. Договор между смежными сетевыми организациями должен содержать следующие существенные условия:

е) **согласованные** с субъектом оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике **организационно-технические мероприятия по установке устройств компенсации и регулирования реактивной мощности в электрических сетях**, являющихся объектами диспетчеризации соответствующего субъекта оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике, в пределах территории субъекта Российской Федерации или иных определенных указанным субъектом территорий, которые направлены на обеспечение баланса потребления активной и реактивной мощности в границах балансовой принадлежности энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии (при условии соблюдения производителями и потребителями электрической энергии (мощности) требований к качеству электрической энергии по реактивной мощности);

ж) **обязанности сторон** по соблюдению требуемых параметров надежности энергоснабжения и качества электрической энергии, режимов потребления электрической энергии, включая поддержание соотношения потребления активной и реактивной мощности на уровне, установленном законодательством Российской Федерации и требованиями субъекта оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике, а также по **соблюдению установленных субъектом оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике уровней компенсации и диапазонов регулирования реактивной мощности.**

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ТАРИФАМ

ПРИКАЗ от 31 августа 2010 г. N 219-э/6

ОБ УТВЕРЖДЕНИИ МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ ПО РАСЧЕТУ ПОВЫШАЮЩИХ (ПОНИЖАЮЩИХ) КОЭФФИЦИЕНТОВ К ТАРИФАМ НА УСЛУГИ ПО ПЕРЕДАЧЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СООТНОШЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ АКТИВНОЙ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ОТДЕЛЬНЫХ ЭНЕРГОПРИНИМАЮЩИХ УСТРОЙСТВ (ГРУПП ЭНЕРГОПРИНИМАЮЩИХ УСТРОЙСТВ) ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЯЗАТЕЛЬСТВ СТОРОН ПО ДОГОВОРАМ ОБ ОКАЗАНИИ УСЛУГ ПО ПЕРЕДАЧЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПО ЕДИНОЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ (ОБЩЕРОССИЙСКОЙ) ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ (ДОГОВОРАМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ)

Порядок расчета повышающего (понижающего) коэффициента, применяемого к тарифу на услуги по передаче электрической энергии в зависимости от соотношения потребления активной и реактивной мощности

3. Повышающий (понижающий) коэффициент к тарифу рассчитывается по формуле:

$$K = 1 + П - С$$

где:

П - составляющая повышения тарифа за потребление (генерацию) реактивной мощности сверх установленных предельных значений коэффициента реактивной мощности;

С - составляющая снижения тарифа за участие потребителя по соглашению с сетевой организацией в регулировании реактивной мощности.

4. Составляющая повышения тарифа за потребление (генерацию) реактивной мощности сверх установленных предельных значений коэффициента реактивной мощности определяется по формуле:

$$П = \sum \pm 0,2 (tg\varphi_{\phi i} - tg\varphi_i) d_i$$

где:

$tg\varphi_{\phi i}$ - фактическое значение соотношения потребления активной и реактивной мощностей в i-й точке присоединения в расчетном периоде (месяц);

tg_i - предельное значение коэффициента реактивной мощности в i-й точке присоединения;

d_i - отношение электрической энергии, потребленной в часы больших (малых) суточных нагрузок, установленных в Порядке, к общему объему электрической энергии, потребленной в i-й точке присоединения за расчетный период (месяц).

Знак "+" в формуле (2) применяется для часов больших суточных нагрузок, в которых происходит потребление реактивной мощности, знак "-" - для часов малых суточных нагрузок, в которых происходит генерация реактивной мощности.

При значении меньшем tg_i для часов, в которых происходит потребление реактивной мощности, разность принимается равной нулю.

Значение определяется за расчетный период за вычетом периодов привлечения потребителя к регулированию реактивной мощности.

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ТАРИФАМ

ПРИКАЗ от 31 августа 2010 г. N 219-э/6

5. Составляющая снижения тарифа за участие потребителя в регулировании реактивной мощности определяется по формуле:

$$C = 0,2 \cdot (tg_{\text{в}i} - tg_{\text{ф}i}) \cdot$$

где:

- верхняя граница диапазона регулирования коэффициента реактивной мощности в i -й точке присоединения в расчетном периоде (месяц);

$tg_{\text{ф}i}$ - фактическое значение соотношения потребления активной и реактивной мощностей в i -й точке присоединения в расчетном периоде (месяц);

$d_{\text{р}i}$ - отношение электрической энергии, потребленной в часы суток привлечения потребителя к регулированию реактивной мощности, к общему объему электрической энергии, потребленной в i -й точке присоединения за расчетный период (месяц).

Если установленный диапазон регулирования, утвержденный Постановлением Правительства Российской Федерации от 27.12.2004 N 861, предусматривает увеличение потребления реактивной мощности по сравнению с обычным режимом потребления, то $tg_{\text{в}i}$ в формуле заменяется на нижнюю границу диапазона регулирования коэффициента реактивной мощности в расчетном периоде, а коэффициент "0,2" на "-0,2".

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Размещение КУ в сети

Принципы размещения КУ

1. КУ нужно распределять так, чтобы потери мощности в сети были минимальными.
2. В электрических сетях двух уровней напряжения следует в первую очередь устанавливать КУ на шинах НН ПС с более низким номинальным напряжением высокой стороны.
3. В сети с одним уровнем напряжения целесообразно компенсировать реактивную мощность в первую очередь у наиболее электрически удаленных потребителей.
4. При незначительной разнице в электрической удаленности ПС от ИП в сети одного номинального напряжения расстановку КУ следует производить по условию равенства $\text{tg}\varphi$ на шинах НН, исходя из баланса реактивной мощности:

$$\text{tg}\varphi_B = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{НБ_i} - Q_{КУ_\Sigma}}{\sum_{i=1}^n P_{НБ_i}}$$

Мощность КУ^{≠1} в каждом узле

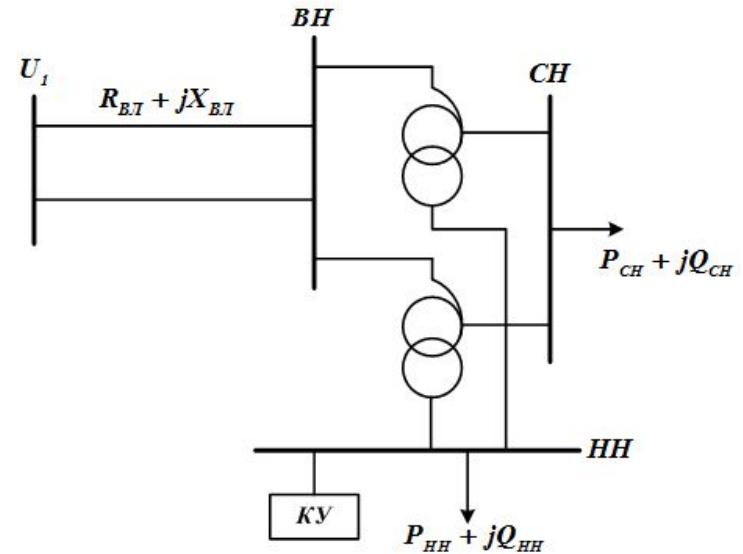
$$Q_{КУ_i} = \text{tg}_{\max_i} (\text{tg} \varphi_i - \varphi_B)$$

$$Q_{КУ_{\text{факт}}} = 1,1 \cdot Q_{КУ_i} \quad \text{- для резервирования}$$

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Регулирование напряжения в сети с помощью КРМ

Поперечная КРМ



Условие выбора – поддержание желаемого напряжения на сторонах СН и НН

Суммарные потери напряжения в сети

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U_1}$$

Мощность КУ

$$\Delta U_{\Sigma} = \frac{(P_{ВН} + P_{НН})(R_{СН} + R_{ТС}) + P_{НН}R_{ТН} + P_{СН}R_{НН} + (Q_{КУ} + Q_{ВЛ} - Q_{ТВ})(X_{СН} + X_{ТС}) + Q_{НН}X_{КУ} + (Q_{ТН} - Q_{ТВ})X_{НН}}{U_1}$$

$$Q_{КУ} = \frac{P_{ВН}(R_{ТВ} + R_{ТС} + R_{НН}) + P_{ВЛ}(R_{ТВ} + R_{ТН} + R_{НН}) + Q_{ВЛ}(X_{ТВ} + X_{ТС} + X_{НН}) + Q_{ВЛ}(X_{ТВ} + X_{ТН} + X_{НН}) - \Delta U_{\Sigma} U}{X_{ВЛ} + X_{ТВ} + X_{ТН}}$$

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Регулирование напряжения в сети с помощью КРМ

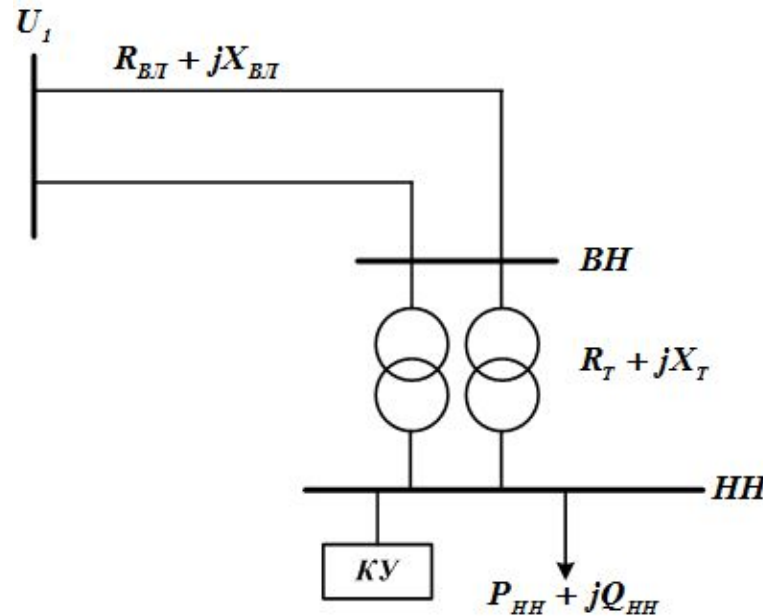
Поперечная КРМ

$$\Delta U_{CH} = U_1 - U_{CH}^{вдл} = U_1 - U_{CH} \frac{U_1}{U_{CH_{НОМ}}}$$

$$\Delta U_{HH} = U_1 - U_{HH}^{вдл} = U_1 - U_{HH} \frac{U_1}{U_{HH_{НОМ}}}$$

$$\Delta U_{\Sigma} = \Delta U_{CH} + \Delta U_{HH}$$

$$\Delta U_{\Sigma} = 2U_{CH} - U_{\Sigma}^{вдл} \frac{U_1}{U_{HH_{НОМ}}} - U_{\Sigma}^{вдл} \frac{U_1}{U_{НОМ}}$$



$$Q_{КУ} = Q_{HH} - \frac{\Delta U_{\Sigma} U_{БЛ} - P_{HH} (R_{БЛ} + R_T)}{X_{БЛ} + X_T}$$

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Регулирование напряжения в сети с помощью КРМ

Продольная КРМ

1. Потери напряжения в ВЛ без КРМ

$$\Delta U = \frac{PR_L + QX_L}{U}$$

2. Допустимые потери напряжения, кВ

$$\Delta U_{\text{доп}} = \frac{\Delta U_{\text{доп}\%} U_{\text{ном}}}{100}$$

3. Сопротивление КУ из условия снижения ΔU до $\Delta U_{\text{доп}}$

$$\Delta U_{\text{доп}} = \frac{RR_L + Q(X_L - X_{\text{КУ}})}{U_{\text{ном}}}$$

откуда

4. Ток в линии

$$I_L = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}}$$

$$X_{\text{КУ}} = \frac{PR_L + QX_L - \Delta U_{\text{доп}} U_{\text{ном}}}{Q}$$

5. Выбор серийно выпускаемого однофазного конденсатора для снижения потерь напряжения

6. Номинальный ток конденсатора

7. Число конденсаторов, включенных параллельно в одну фазу
(обеспечение расчетного тока линии)

$$m = \frac{I_L}{I_{\text{КНОМ}}}$$

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Регулирование напряжения в сети с помощью КРМ

Продольная КРМ

8. Сопротивление конденсатора

$$X_{K_{НОМ}} = \frac{U_{K_{НОМ}}}{I_{K_{НОМ}}}$$

9. Число конденсаторов, включенных последовательно в одну фазу (обеспечение $\Delta U_{\text{жел}}$)

$$n = \frac{m X_{КУ}}{X_{K_{НОМ}}}$$

10. Общее число конденсаторов в УПК

$$n_{\Sigma} = 3 \cdot n \cdot m$$

11. Установленная мощность УПК

$$Q_{КУ}^{уст} = n_{\Sigma} Q_{K_{НОМ}}$$

12. Номинальное напряжение КУ (УПК)

$$U_{КУ_{НОМ}} = n U_{K_{НОМ}}$$

13. Номинальный ток УПК

$$I_{КУ_{НОМ}} = m I_{K_{НОМ}}$$

14. Фактическое сопротивление КУ

$$X_{КУ_{факт}} = \frac{n X_{K_{НОМ}}}{m}$$

15. Фактические потери напряжения после КРМ

$$\Delta U_{\text{факт}} = \frac{RR_{Л} + Q \left(X_{Л} - X_{КУ_{факт}} \right)}{U_{НОМ_{\text{сети}}}}$$

16. Сравнение $\Delta U_{\text{факт}}$ с $\Delta U_{\text{доп}}$

$$\Delta U_{\text{факт}} \leq \Delta U_{\text{доп}}$$

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

выбор компенсирующих устройств у потребителя

Мощность, которую может потреблять предприятие от энергосистемы, можно определить через нормативное значение коэффициента реактивной мощности $\text{tg } \phi_{\text{э}}$:

$$\text{tg } \varphi = \frac{\text{tg } \varphi_{\text{б}}}{\text{K}}$$

где $\text{tg } \varphi_{\text{б}}$ – базовый коэффициент реактивной мощности, принимаемый равным 0,4; 0,5; 0,6 для сетей 6 – 10 кВ, присоединенных к шинам подстанции с напряжением питания соответственно 35,110,220 кВ. Для шин генераторного напряжения $\text{tg } \varphi_{\text{б}} = 0,6$; K - коэффициент, учитывающий регион (0,8).

Если значение $\text{tg } \varphi_{\text{э}}$ при расчете получится более 0,7, его принимают равным 0,7.

$\text{tg } \varphi$ может быть задан в технических условиях на электроснабжение или в договоре с электроснабжающей организацией

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Тогда экономическая величина реактивной мощности $Q_{\text{э}}$ в часы максимальных нагрузок системы определяется как

$$Q_{\text{э}} = \operatorname{tg} \phi_{\text{э}} \cdot P_{\text{р}},$$

где $P_{\text{р}}$ - расчетная активная нагрузка предприятия на шинах 6-10 кВ.

1. Если $Q_{\text{э}} \geq Q_{\text{р}}$, то применять дополнительные меры по компенсации реактивной мощности не обязательно.

2. Если $Q_{\text{э}} > Q_{\text{р}}$, то мощность компенсирующих устройств $Q_{\text{ку}}$ определим как $Q_{\text{ку}} = Q_{\text{р}} - Q_{\text{э}}$.

3. Если $Q_{\text{р}} < 0$, то это говорит о том, что потребитель генерирует реактивную мощность. Величина генерации не должна превышать 10 % от $P_{\text{р}}$.

Если требуется компенсация реактивной мощности и определена ее величина, то необходимо определить распределение между шинами 6-10 кВ и шинами 0,4 кВ.

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Для нахождения величины компенсирующих устройств, подключенных к шинам 6-10 кВ, определяем

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sum Q_{pB}}{\sum P_{pB}}$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ - коэффициент расчетной реактивной мощности, подключенной к шинам 6-10 кВ нагрузки с напряжением >1000 В;

$\sum Q_{pB}$ и $\sum P_{pB}$ - суммарная реактивная и активная расчетные мощности нагрузки с напряжением 6-10 кВ, подключенной к шинам.

Если $\operatorname{tg} \phi_B \leq \operatorname{tg} \phi_{\text{э}}$ размещать компенсирующие устройства на шинах 6-10 кВ не рекомендуется.

Если $\operatorname{tg} \phi_B > \operatorname{tg} \phi_{\text{э}}$, то мощность компенсирующих устройств, подключаемых к шинам 6-10 кВ:

$$Q_{\text{ку.в}} = (\operatorname{tg} \phi_B - \operatorname{tg} \phi_{\text{э}}) \cdot P_p$$

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Оставшуюся часть компенсирующих устройств размещаем на стороне низшего напряжения цеховых подстанций:

$$Q_{\text{ку.н}} = Q_{\text{ку}} - Q_{\text{ку.в}}$$

Распределение компенсирующих устройств производим пропорционально расчетным реактивным нагрузкам цехов.

$$Q_{\text{ку.нi}} = (Q_{\text{ку.н}} \cdot Q_{\text{рнi}}) / \sum Q_{\text{рн}}$$

где $Q_{\text{ку.нi}}$ - мощность компенсирующих устройств i -го цеха на низком напряжении;

Затем производится выбор компенсирующего оборудования

Примечание:

1) устанавливать компенсирующие устройства мощностью менее 150 кВт обычно экономически невыгодно;

2) на шинах низшего напряжения цеховой подстанции может быть установлена компенсирующая установка большей мощности, чем по расчету с целью снижения перетоков реактивной мощности и доведению коэффициента реактивной мощности по конкретной цеховой подстанции до необходимого уровня ($0,3 \div \text{tg } \phi_3$).

После определения мощности и места установки компенсирующих устройств необходимо скорректировать расчетные мощности цехов и предприятия в целом с учетом компенсации потребления реактивной мощности.