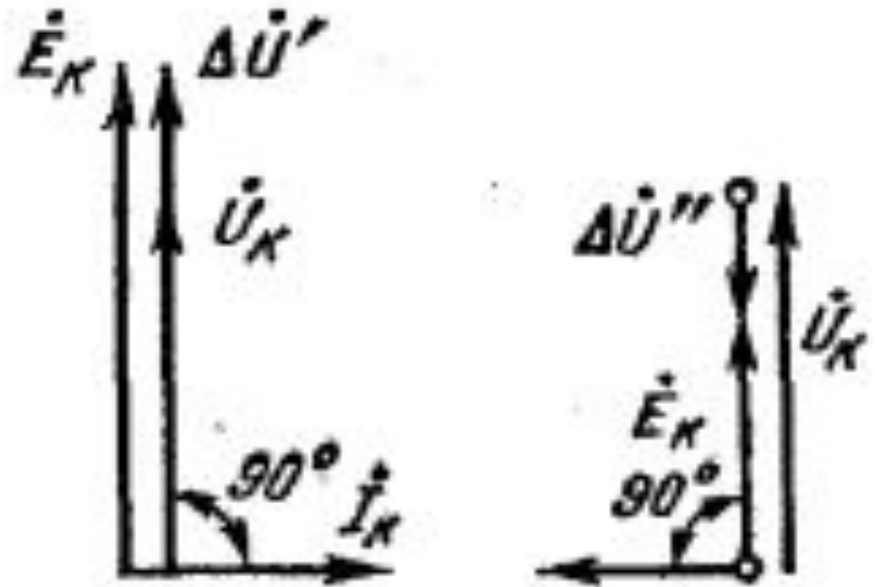


Источники и потребители реактивной мощности

- Потребители ЭЭ, кроме **активной мощности**, потребляют от генераторов системы **реактивную мощность**, которая затрачивается на создание магнитных полей, необходимых для работы асинхронных двигателей, индукционных печей, трансформаторов и других ЭП.
- На создание реактивной мощности топливо практически не расходуется. Однако **передача реактивной мощности от генераторов к потребителям связана с доп. потерями** (мощности и напряжения) в трансформаторах и сетях. Потери активной энергии в сетях оплачиваются потребителями, что ложится на них немалым бременем. Потери напряжения приводят к снижению качества энергии, получаемой ЭП.
- Поэтому для получения реактивной мощности экономически выгодно устанавливать источники реактивной мощности вблизи потребителей.
- Такими источниками являются синхронные и статические компенсаторы.

Синхронный компенсатор (СК)

- это синхронная машина, работающая в двигательном режиме без нагрузки на валу при изменяющемся токе возбуждения.
- Если в центре нагрузок включить СК он, генерируя реактивную мощность необходимую ЭП, позволит разгрузить линии, соединяющие эл. станции с нагрузкой, от реактивного тока, что улучшит условия работы сети в целом.
- При этом СК должен работать с **перевозбужденном** в режиме выдачи реактивной мощности.



1 — перевозбуждения;

2 — недовозбуждения.

Статические компенсаторы

- это батареи конденсаторов (БК) и другие источники реактивной мощности (ИРМ), не имеющие вращающихся частей.
- В энергосистемах БК на напряжение 6 и 10 кВ устанавливаются в узлах сети, на подстанциях подключаются (через выключатель) к шинам 6 и 10 кВ.
- Реактивная мощность, вырабатываемая 3-фазной конденсаторной установкой, соединенной по схеме «треугольник» $Q_{кб} = 3\omega U_{л}^2 C_{ф}$,
- «звезда» $Q_{кб} = \omega U_{л}^2 C_{ф}$.
- где $U_{л}$ – линейное напряжение, на которое включена БК;
 $C_{ф}$ – суммарная емкость конденсаторов одной фазы БК;
 $\omega = 2\pi f_0$.

Силовые конденсаторы до 1 кВ выпускаются в однофазном и 3-фазном исполнении,

на напряжение выше 1кВ (1,05; 3,15; 6,3; 10,5) - в 3-фазном.

Из отдельных конденсаторов собирают КБ требуемой мощности.

Схема батарей определяется от технических данных конденсаторов и режимами работы КБ в энергосистеме.

- КБ, укомплектованные коммутационными аппаратами, средствами контроля, приборами учета и предназначенные для повышения коэффициента мощности ЭУ пром.предприятий и распределительных сетей на 6 и 10 кВ, также и для цеховых сетей 0,4 кВ – называют **комплектными конденсаторными установками (ККУ)**.
- ККУ состоят из стандартных заводских шкафов и могут быть нерегулируемыми и регулируемыми.

**Комплектные конденсаторные установки нерегулируемые
низкого напряжения $U_{\text{ном}} = 400 \text{ В}$, $f = 50 \text{ Гц}$**

Тип	$U_{\text{ном}}$, кВ	$Q_{\text{ном}}$, квар	Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм	Масса, кг, не более	
УК-0,38-75 УЗ	0,38	75	700	560	1260	150	
УК-0,38-150 УЗ		150			1660	245	
УКБ-0,38-150 УЗ		150	580	460	1200	200	
УКБ-0,38-300 УЗ		300			1990	440	
УКБ-0,38-135 ТЗ		0,4	135	580	460	1200	200
УКБ-0,38-270 ТЗ			270			1990	440
УКБ-0,4-135 ТЗ	135		1200			200	
УКБ-0,4-270 ТЗ	270		1990			440	
УКБ-0,415-120 ТЗ	0,415		120			1200	200
УКБ-0,415-240 ТЗ			240			1990	440
УКБ-0,44-135 ТЗ	0,44	135	1200	200			
УКБ-0,44-270 ТЗ		270	1990	440			

Комплектные конденсаторные установки регулируемые низкого напряжения $U_{ном} = 400 \text{ В}$, $f = 50 \text{ Гц}$

Тип	Мощность ККУ, квар	Количество ступеней	Число и мощность ступеней, квар	Ток, А	Сечение вводного медного кабеля, мм	Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм	Масса, кг
УКМ 58-0,4-20-10 У3	20	2	2×10	29	3×10	530	430	1010	47
УКМ 58-0,4-30-10 У3	30	3	3×10	43,3	3×25	530	430	1010	62
УКМ 58-0,4-50-25 У3	50	2	2×25	72,2	3×50	530	430	1010	70
УКМ 58-0,4-50-10 У3	50	5	5×10	72,2	3×50	530	430	1010	78
УКМ 58-0,4-67-33,3 У3	67	2	2×33,3	96,8	3×70	530	430	1010	85
УКМ 58-0,4-100-33,3 У3	100	3	1×33,3 + 1×67	144,5	3×100	680	430	1610	110
УКМ 58-0,4-112,5-37,5 У3	112,5	3	1×37,5 + 1×75	161,8	3×100	680	430	1610	110
УКМ 58-0,4-133-33,3 У3	133	4	2×33,3 + 1×67	192,2	2×(3×50)	680	430	1610	125
УКМ 58-0,4-150-30 У3	150	5	1×30 + 2×60	216,7	2×(3×50)	680	430	1610	132
УКМ 58-0,4-167-33,3 У3	167	5	1×33,3 + 2×67	241,3	3×120	860	430	1610	137
УКМ 58-0,4-180-30 У3	180	6	2×30 + 2×60	260,1	3×120	860	430	1610	145
УКМ 58-0,4-200-33,5 У3	200	6	2×33,3 + 2×67	289	3×150	860	430	1610	168
УКМ 58-0,4-225-37,5 У3	225	6	2×37,5 + 2×75	325,1	2×(3×70)	860	430	1610	168
УКМ 58-0,4-268-67 У3	268	4	4×67	387	2×(3×70)	860	430	1610	195
УКМ 58-0,4-300-33,3 У3	300	9	4×67 + 1×33,3	433,5	2×(3×70)	1250	580	1610	210
УКМ 58-0,4-335-67 У3	335	5	5×67	484	2×(3×120)	1250	580	1610	285
УКМ 58-0,4-337,5-37,5 У3	337,5	9	1×37,5 + 4×75	487	2×(3×120)	1250	580	1610	285
УКМ 58-0,4-402-67 У3	402	6	6×67	581	4×(3×95)	1430	580	1610	305
УКМ 58-0,4-536-67 У3	536	8	8×67	774,5	4×(3×150)	1430	580	1610	562
УКМ 58-0,4-603-67 У3	603	9	9×67	871,3	4×(3×150)	1430	580	1610	585

- КБ как ИРМ распространены благодаря относительно низкой стоимости, удобству эксплуатации, малым удельным сопротивлениям.
- Отечественные КБ для повышения коэффициента мощности ЭУ переменного тока частоты 50Гц имеют потери:

2-2,5 Вт/квар для исполнений напряжением 6-10 кВ ,

3,5-4,5 т/квар - для $U < 1$ кВ.

Недостатки КБ:

- зависимость генерируемой ими реактивной мощности от напряжения $Q=(U_{отн}/U_{КБотн})^2 Q_{ном}$, где $U_{отн}$ - относительное напряжение сети в месте присоединения,
- $U_{КБотн}$ - отношение ном.напряжения КБ к ном. напряжению сети;
- чувствительность к искажениям питающего напряжения;
- недостаточную эл.прочность, особенно при КЗ и перенапряжениях.

Преимущества перед СК:

- низкие потери мощности (0,5-1%) по сравнению с СК (2,5-7%),
- малые затраты на обслуживание,
- возможность пофазного регулирования, позволяющая осуществлять широкую компенсацию несимметричных колебаний реактивной мощности;
- высокую скорость переключения (при тиристорном управлении);
- отсутствие вероятности дальнейшей вероятности увеличения мощности КЗ.

- **В настоящее время, темпы роста производства и развития инфраструктуры городов, способствующие резкому увеличению энергопотребления, привели к значительным технологическим проблемам:**
- *к возрастанию потоков реактивной мощности в ЛЭП всех классов напряжения, в том числе в электрических сетях потребителей;*
- *к возникновению дефицита реактивной мощности в узлах нагрузки и, как следствие, к снижению напряжения на шинах нагрузок и подстанций и снижению запаса статической устойчивости нагрузки по напряжению;*
- *к увеличению до предельно допустимых значений загрузки ЛЭП и подстанций токами полной нагрузки и ограничению их пропускной способности по активной мощности из-за необоснованной загрузки реактивной мощностью;*
- *к существенному росту потерь активной мощности в электрических сетях и системах электроснабжения потребителей и значительному ухудшению технико-экономических показателей работы;*

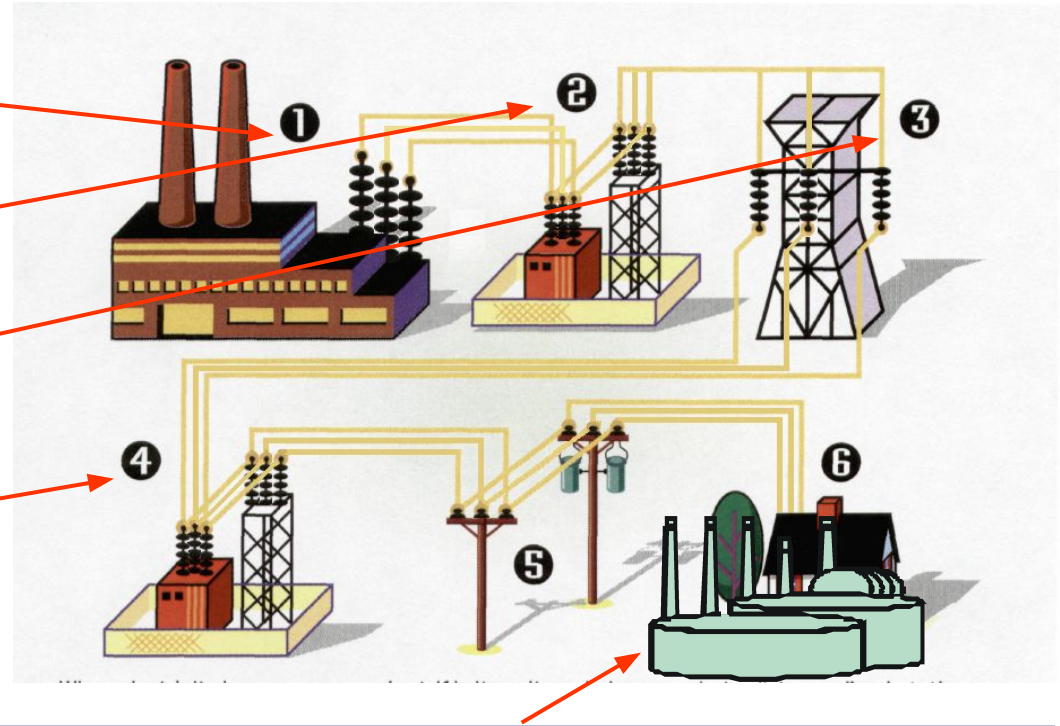
Снижение степени участия потребителей в регулировании режима работы энергосистемы по реактивной мощности привело к искусственно вызванному дефициту активной мощности в ряде узлов и в целых регионах, что, в свою очередь приводит к невозможности осуществлять присоединение новых потребителей или обеспечивать прирост потребления наращивающими свои производственные мощности потребителями, так как происходит дополнительная необоснованная загрузка электрооборудования Распределительных сетевых компаний и ОАО «ФСК ЕЭС» реактивной мощностью, поставляемой потребителям от генераторов электростанций или из сети 220-500 кВ.

Потоки реактивной мощности в энергосистеме

Генерируемая генераторами реактивная мощность передается в высоковольтные электрические сети.

В отличие от активной мощности реактивная мощность для потребителей не должна поставляться по линиям электропередачи высокого напряжения, так как это значительно увеличивает потери в сети и снижает пропускную способность ВЛ.

Регулирование напряжения в системе электроснабжения осуществляется изменением коэффициентов трансформации трансформаторов, реакторами, синхронными компенсаторами, батареями статических конденсаторов и т.п.



Нехватку реактивной мощности потребитель должен компенсировать собственными источниками реактивной мощности.

Это выгодно всем: потребителям, электросетевым компаниям, ЕНЭС России и экономике России!

Распределительная сеть не должна быть загружена реактивной мощностью!

Электротехника

Повышенное потребление реактивной мощности электроприемниками или пониженный коэффициент мощности

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{P}{S}$$

Возрастание тока, протекающего через сеть

$$I = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3} U}$$

Снижается пропускная способность сетей

Необходимость увеличения сечения проводов - удорожание

$$S = \frac{\rho I^2}{\Delta P U^2 \cos^2 \varphi}$$

Увеличиваются потери активной мощности

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R$$

Перерасходуется электроэнергия на транспорт

Необходимость прокладки новых ЛЭП - удорожание

Увеличиваются потери напряжения

$$\Delta U = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U}$$

Снижается напряжение на шинах электроприемников

Дополнительное увеличение тока в электрической сети, которое приводит к еще большим потерям напряжения

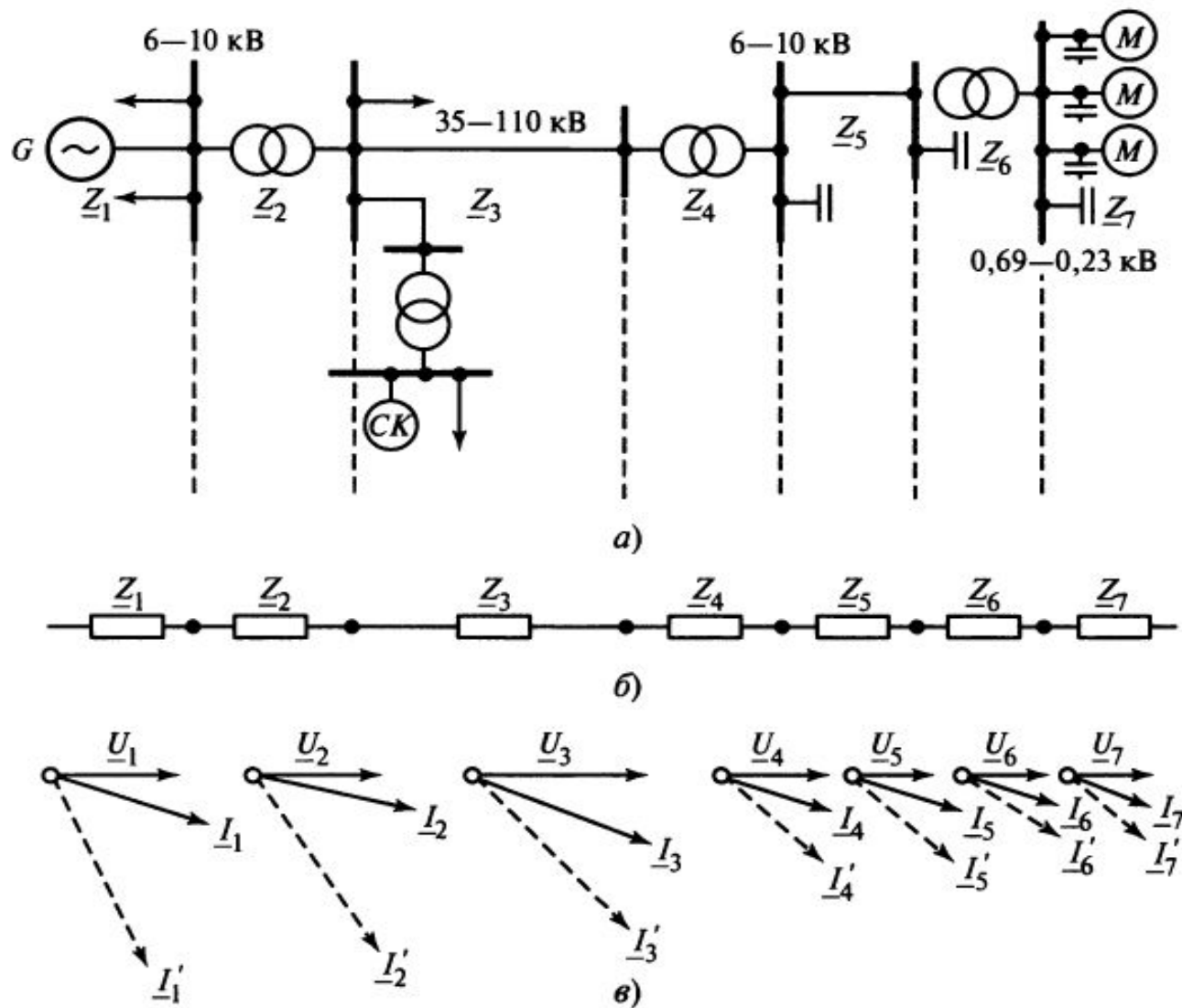
Изменение напряжения относительно номинального значения Уном оказывает неблагоприятное влияние на режимы работы, производительность и технико-экономические показатели всех элементов электрической системы.

В системе электроснабжения потребителей для минимизации вероятности отключений потребителей должен быть выдержан запас статической устойчивости нагрузки по напряжению.

Как показывает практика, это условие не выдерживается из-за пониженного уровня напряжения в установившихся режимах работы сети из-за перетоков реактивной мощности.

При пониженных напряжениях вероятность отключения потребителей при провалах напряжения значительно возрастает!

Глубокие провалы напряжения при КЗ в прилегающей сети – следствие нехватки реактивной мощности в энергоузле.



Схема, поясняющая принцип и необходимость компенсации реактивной мощности:

а — схема питания; *б* — схема замещения; *в* — векторные диаграммы, характеризующие угол между током и напряжением в различных точках системы электроснабжения до компенсации реактивной мощности и после; значения векторов тока и напряжения взяты условно; - - - - векторы токов до компенсации; — — — векторы токов после компенсации

Баланс активных и реактивных мощностей

Активная мощность источников (турбогенераторов и гидрогенераторов электростанций, нетрадиционных источников, гидроаккумулирующих станций и др.) в любой момент времени соответствует потребляемой мощности (нагрузке) $\sum P_n$:

$$\sum P_n = \sum P_n + \sum P_{сн} + \Delta P_n,$$

где $\sum P_n$ — суммарная активная мощность источников; $\sum P_{сн}$ — собственные нужды генерирующих источников; ΔP_n — потери активной мощности.

Приведенное уравнение определяет баланс активных мощностей в электрической системе.

Уравнение баланса реактивной мощности:

$$\sum Q_r + \sum Q_c + \sum Q_k = \sum Q_n + \sum Q_{сн} + \sum \Delta Q_n,$$

где $\sum Q_r$, $\sum Q_k$, $\sum Q_c$ — реактивная мощность, генерируемая генераторами электростанций, компенсирующими устройствами (синхронными компенсаторами, конденсаторами и другими устройствами, а также емкостями воздушных и кабельных линий); $\sum Q_n$, $\sum Q_{сн}$, $\sum \Delta Q_n$ — реактивная мощность, потребляемая нагрузками, а также собственными нуждами электроснабжения и обусловленная потерями в элементах систем электроснабжения.

Реактивная или обменная мощность существенно влияет на такие параметры систем электроснабжения, как потери мощности и энергии и уровни напряжения в узлах сети. Поэтому вопрос компенсации реактивной мощности относится к числу важнейших при проектировании и эксплуатации систем энергоснабжения предприятий. Как известно, величина (значение) реактивной мощности характеризует скорость обмена электромагнитной энергии источниками и потребителями электроэнергии. При этом индуктивные элементы являются накопителями реактивной мощности, а емкостные — ее генераторами. В трехфазных симметричных сетях реактивная мощность определяется как

$$Q = \sqrt{3} UI \sin \varphi,$$

Полная (кажущаяся) мощность

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2},$$

отношение мощностей

$$Q/P = \operatorname{tg} \varphi; \quad P/S = \cos \varphi.$$

Приведенные выше формулы справедливы для сетей синусоидального тока, в которых нет высших гармоник.

При несинусоидальности напряжения и токов используется метод эквивалентных синусоид. Эквивалентные синусоиды напряжения U_3 и тока I_3 определяют по формулам:

$$U_3 = \sqrt{\sum_{v=1}^n U_v^2}; \quad I_3 = \sqrt{\sum_{v=1}^n I_v^2}; \quad S_3 = U_3 I_3,$$

где U_v и I_v — соответственно напряжение и ток v -й гармоники.

Реактивная мощность

$$Q_3 = \sqrt{S_3^2 - P_3^2},$$

где $P_3 = \sum_{v=1}^n U_v I_v \cos \varphi$.

Коэффициент мощности

$$\cos \varphi_3 = P_3 / S_3.$$

Например, анализ потокораспределения активной и реактивной мощностей Нижегородской энергосистемы, выявил, что **tgφ** потребления по системе составил **0,62**.

Для приведения коэффициента мощности к 0,4 дополнительно к имеющимся, потребуются ввод в работу источников реактивной мощности в объеме 680 Мвар.

Проблемными энергоузлами, в части высокого потреблением реактивной мощности ($\text{tg}\varphi = 0.6-0.8$) являются территории области, в которых сосредоточены крупные промышленные предприятия металлообработки и литейные комбинаты

ЭТУ в большинстве являются потребителями реактивной мощности. Передача ее по ЛЭП и через трансформаторы вызывает потери активной мощности и напряжения. Для снижения потоков реактивной мощности при проектировании предусматривают установки дополнительных источников вблизи потребителей. **Эта мера получила название компенсации реактивной мощности приемников.** Для компенсации реактивной мощности, потребляемой ЭУ пром.предприятия, используют генераторы эл.станций, синхронные двигатели, а также дополнительно устанавливаемые устройства, компенсирующие реактивную мощность:

- **статические конденсаторные батареи,**
- **шунтирующие реакторы,**
- **синхронные компенсаторы (СК),**
- **специальные статические ИРМ (статические тиристорные компенсаторы (СТК)),**
- **а также устройства, компенсирующие реактивные сопротивления сетей:** конденсаторные установки и реакторы продольного включения.

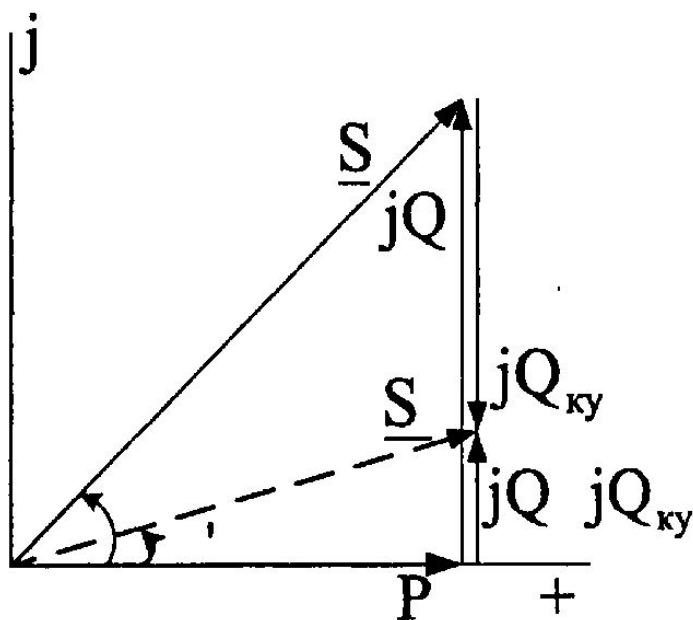
Компенсирующие устройства (КУ) в зависимости от их типа и режима работы могут генерировать или потреблять реактивную мощность Q_{КУ}, компенсируя

ее дефицит или избыток в электрической сети, уменьшать или увеличивать индуктивное сопротивление.

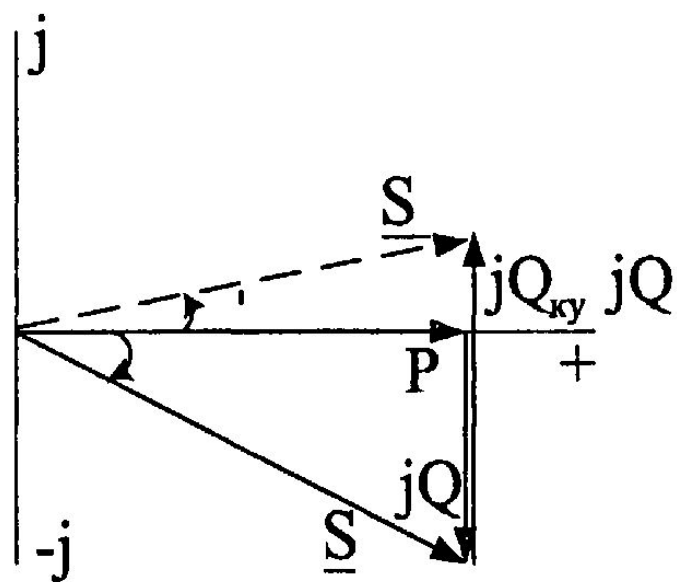
- Н-р, включение КУ в какой-либо точке сети изменяет реактивную составляющую нагрузки. В итоге изменяется полная мощность узла нагрузки в соответствии с векторными диаграммами. В результате включения КУ, генерирующих или потребляющих реактивную мощность (например, СК или СТК), изменяется передаваемая по участкам сети реактивная мощность и, потери напряжения. Создаются возможности регулирования U в узлах сети и на зажимах ЭП

$$\Delta U = \frac{PR + (Q \mp Q_{ку})X}{U},$$

$$U_{i+1} = U_i \pm \Delta U.$$



a



б

Компенсация дефицита (а) и избытка (б) реактивной мощности в узле сети

- Реактивная мощность, передаваемая от электростанции и других центральных источников, загружает все элементы электрической сети, уменьшая возможность передачи активной мощности. Поэтому по экономическим соображениям потребность в реактивной мощности (в большей ее части) необходимо удовлетворять за счет установки местных источников реактивной мощности. В этом случае уменьшается передача реактивной мощности по участкам сетей:

$$Q' = Q - Q_{\text{ку}},$$

- снижаются потери активной и реактивной мощности в них:

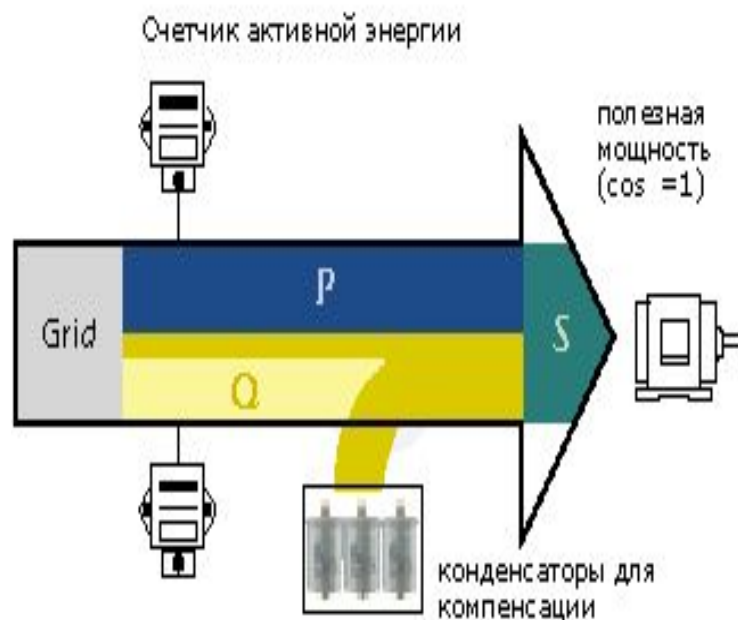
$$\Delta P = \frac{P^2 + (Q - Q_{\text{ку}})^2}{U^2} R, \quad \Delta Q = \frac{P^2 + (Q - Q_{\text{ку}})^2}{U^2} X$$

Компенсация реактивной мощности в сетях Потребителя

Наиболее действенным и эффективным способом снижения потребляемой из сети реактивной мощности является применение установок компенсации реактивной мощности (конденсаторных установок БСК). Наглядно это представлено на рисунках:



Стандартная коррекция коэффициента мощности



В общем случае, при установке БСК на шинах подстанций Потребителя, снижение суммарных затрат на оплату электроэнергии зависит от уровня компенсации реактивной мощности и величины тарифа. Эффективность компенсации реактивной мощности существенно повышается с ростом тарифов на электроэнергию и увеличением сменности работы оборудования.

Конденсаторная батарея (КБ) — батарея статических конденсаторов является источником реактивной мощности. Реактивная мощность, генерируемая конденсаторной батареей, квадратично зависит от напряжения:

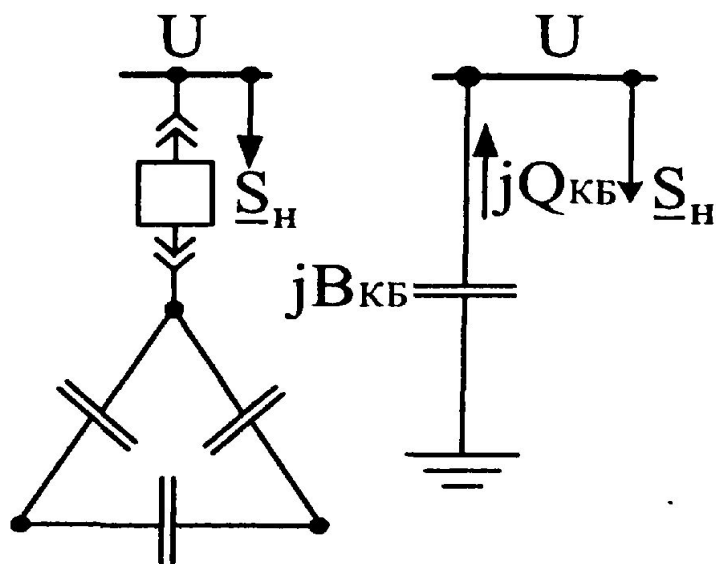
$$Q_{KB} = 3\omega C_{CK} U_{\Phi}^2 = U^2 \omega C_{KB},$$

где C_{KB} — емкость конденсаторной батареи, Ф; ω — угловая частота, рад.

Активная мощность, потребляемая КБ, пропорциональна генерации реактивной мощности:

$$\delta P_{KB} = Q_{KB} \cdot \operatorname{tg} \delta,$$

КБ задают в точке ее присоединения емкостной (отрицательной) нагрузкой. Поэтому при расчете режимов работы сетей КБ необходимо учитывать отрицательную проводимость (шунтом) в узле



$$B_{KB} = \omega \cdot C_{KB} = 2\pi f \cdot C_{KB} = 100\pi \cdot C_{KB}$$

или

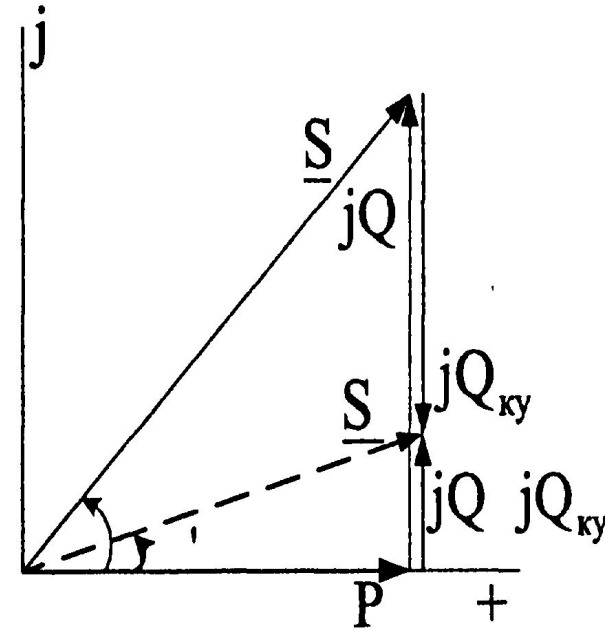
$$X_C = \frac{U_{\text{ном}}^2}{Q_B},$$

$$Q_{KB} = U^2 \cdot B_{KB}.$$

$$\delta Q = Q - Q_{KB}.$$

В результате $\cos\varphi$ улучшается до значения $\cos\varphi'$.

- В ряде случаев (в низковольтных, городских распределительных сетях и др.) экономически целесообразна полная компенсация реактивной мощности.
- При этом $Q_{\text{КБ}} = Q$ и узел нагрузки потребляет из сети только активную мощность ($\cos\varphi' = 1$).
- При $Q_{\text{КБ}} > Q$ возникают перекомпенсация и избыток реактивной мощности, δQ выдается в питающую сеть; узел нагрузки имеет опережающий коэффициент мощности.
- В нерегулируемой конденсаторной батарее (НКБ) число включенных конденсаторов (блоков) неизменно.
- В регулируемой конденсаторной батарее (РКБ) число включенных конденсаторов изменяется в зависимости от режима работы эл. сети автоматически или вручную

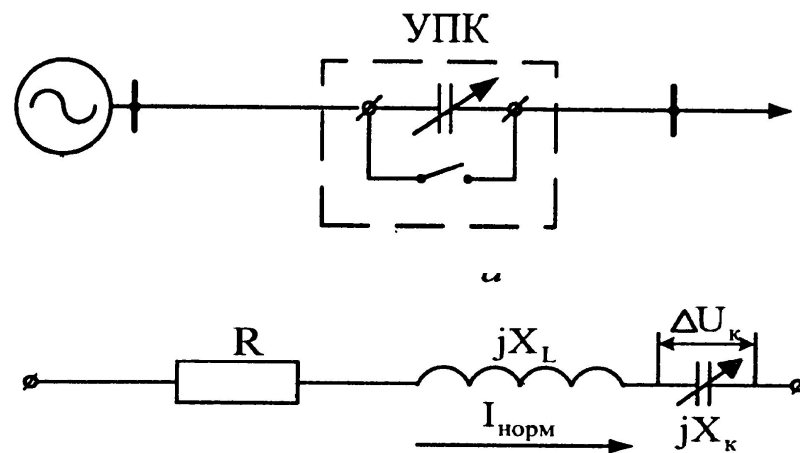


Мощные конденсаторные установки напряжением 6 кВ и выше м.б. укомплектованы из стандартных конденсаторных блоков, мощность от 0,240 до 0,750 Мвар.

Вследствие небольшой удельной стоимости (за 1 квар) и простоты обслуживания конденсаторные батареи и установки являются наиболее распространенными местными источниками Q.

Диапазон их применения весьма широк — от индивидуальной компенсации на зажимах отдельных потребителей (КБ в единицы, десятки квар) до централизованной компенсации на шинах ГПП энергосистем (КБ до 5—15 Мвар).

Установки продольной емкостной компенсации. Для ум. индуктивного сопротивления ВЛ применяются конденсаторы последовательного включения — установки продольной компенсации (УПК). УПК включают в рассечку фаз линий



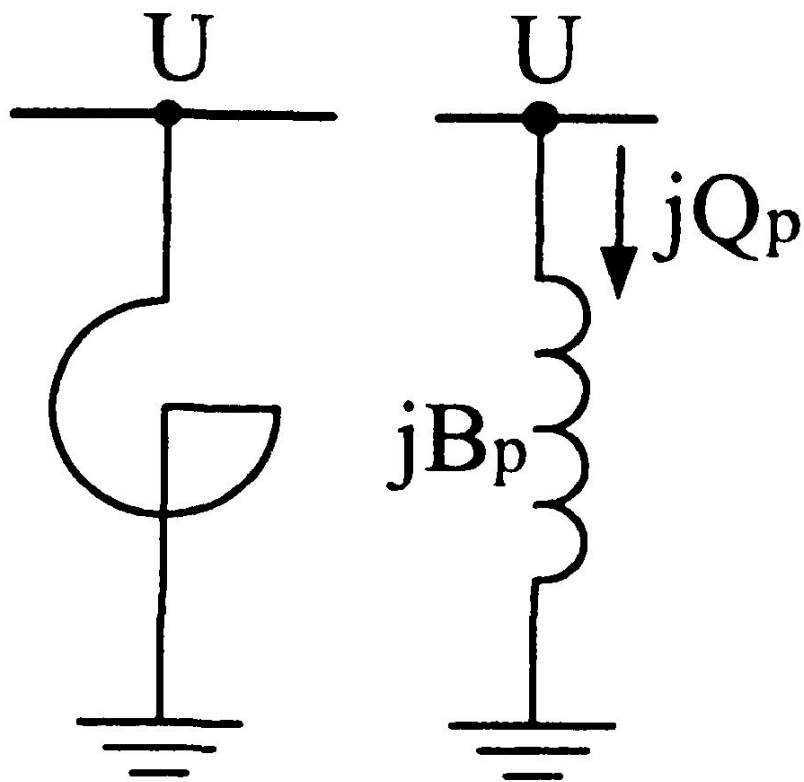
$$X_k = \frac{1}{\omega \cdot C_k}, \quad \bar{X} = X_L - X_k,$$

$$\Delta U_p = \Delta U_L - \Delta U_k$$

$$\Delta U = \sqrt{3} [I_a R + I_p (X_L - X_k)] = \Delta U_a + \Delta U_p,$$

что равносильно введению некоторой добавки напряжения $\Delta U_k = \sqrt{3} I_p X_k$

Представление реакторов поперечного включения



При расчете режимов для учета шунтирующего реактора вводится его индуктивная проводимость (положительный шунт)

- **Шунтирующий реактор** (реактор поперечного включения) — это статическое электромагнитное устройство, применяемое в эл. энергетических системах для регулирования реактивной мощности, напряжения и компенсации емкостных токов на землю.
- Обладает преимущественно индуктивным сопротивлением.
- Во включенном состоянии реактивная мощность, потребляемая реактором, зависит от квадрата напряжения:

$$Q_p = U^2 \cdot B_p,$$
$$B_p = \frac{Q_{pном}}{U_{ном}^2},$$

Кроме шунтирующих реакторов, на подстанциях устанавливают заземляющие реакторы, предназначенные для компенсации емкостных токов замыкания на землю.

Использование конденсаторных установок для компенсации реактивной мощности – один из наиболее простых и эффективных способов энергосбережения в распределительных сетях

Преимущества :

- ✓ малые удельные потери активной мощности;
- ✓ отсутствие вращающихся частей;
- ✓ простой монтаж и эксплуатация;
- ✓ относительно невысокие капиталовложения;
- ✓ возможность подбора практически любой необходимой номинальной мощности БСК и регулирование компенсации;
- ✓ возможность установки и подключения в любой точке сети;
- ✓ отсутствие шума во время работы;
- ✓ небольшие эксплуатационные затраты.

Недостатки:

- ✓ Зависимость генерируемой РМ от напряжения;
- ✓ недостаточная прочность, особенно при КЗ и перенапряжениях;
- ✓ малый срок службы;
- ✓ пожароопасность;
- ✓ наличие остаточного заряда;
- ✓ перегрев при повышении напряжения и наличии в сети высших гармоник, ведущих к повреждению конденсаторов;
- ✓ сложность регулирования РМ (РМ регулируется ступенчато)

Работа по улучшению показателей технико-экономической эффективности систем электроснабжения потребителей на основе управления потоками реактивной мощности и ее компенсации на месте потребления ВОЗМОЖНА И НЕОБХОДИМА!

- ✓ **позволит при производимой активной мощности снабжать дополнительных потребителей, то есть обеспечить прирост потребления активной мощности без увеличения ее дополнительного выработки;**
- ✓ **улучшит технико-экономическую эффективность систем электроснабжения как электросетевых компаний, так и самих потребителей;**
- ✓ **позволит присоединить потребителя там, где ранее было отказано или присоединить новых потребителей, там где компенсация реактивной мощности позволит это сделать;**
- ✓ **позволит потребителю прирастить свои производственные мощности без увеличения потребления из сети;**
- ✓ **повысит устойчивость электроэнергетических систем, систем электроснабжения и нагрузки потребителей при снижении и провалах напряжения в сети.**

Конденсаторные установки 0.4 и 6-10 кВ!

Конденсаторные установки низкого напряжения регулируемые

Назначение: для повышения коэффициента мощности электрооборудования промышленных предприятий и распределительных сетей на напряжение 0,4 кВ частоты 50 Гц путем автоматического регулирования реактивной мощности.



Конденсаторные установки высокого напряжения регулируемые

Назначение: для повышения коэффициента мощности электрооборудования промышленных предприятий и распределительных сетей на напряжение 6-10 кВ частоты 50 Гц путем автоматического регулирования реактивной мощности.



Батареи статических конденсаторов (БК) могут работать лишь как источники реактивной мощности. Они выпускаются на различные номинальные напряжения и мощности. БК на напряжение до 1000 В обычно включаются по схеме треугольника, так как при этом к конденсатору приложено линейное напряжение и в три раза увеличивается реактивная мощность по сравнению с соединением в звезду:

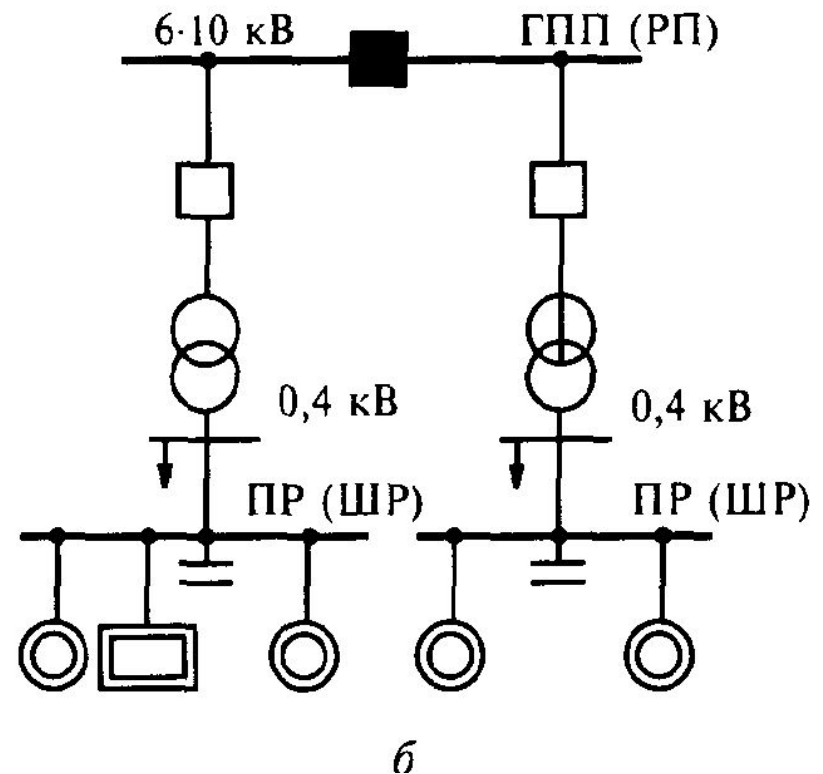
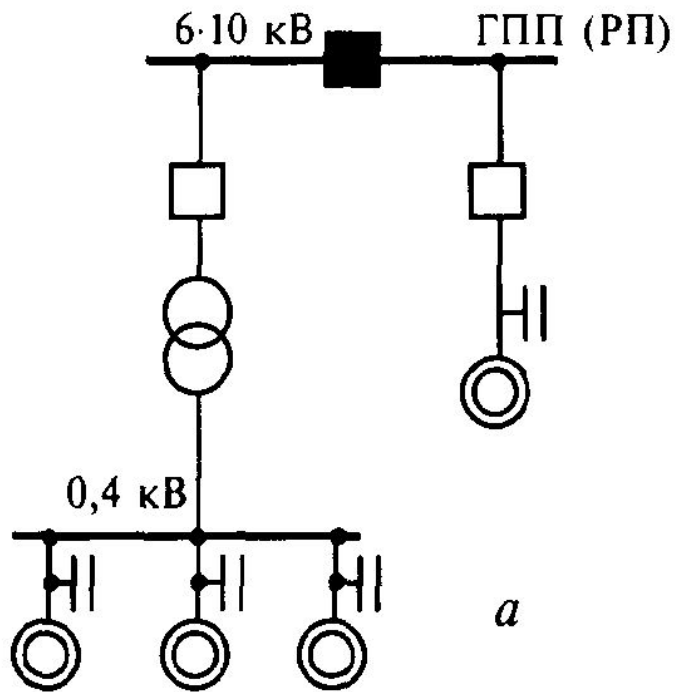
$$Q_{\text{к}\Delta} = I^2 X_{\text{к}} = \frac{U_{\text{л}}^2}{X_{\text{к}}} = U_{\text{л}}^2 \omega C, \quad Q_{\text{с}\text{Y}} = \left(\frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} \right)^2 / X_{\text{к}} = \frac{1}{3} U_{\text{л}}^2 \omega C,$$

где $U_{\text{л}}$ — линейное напряжение сети; C — емкость трех фаз батарей; ω — угловая частота.

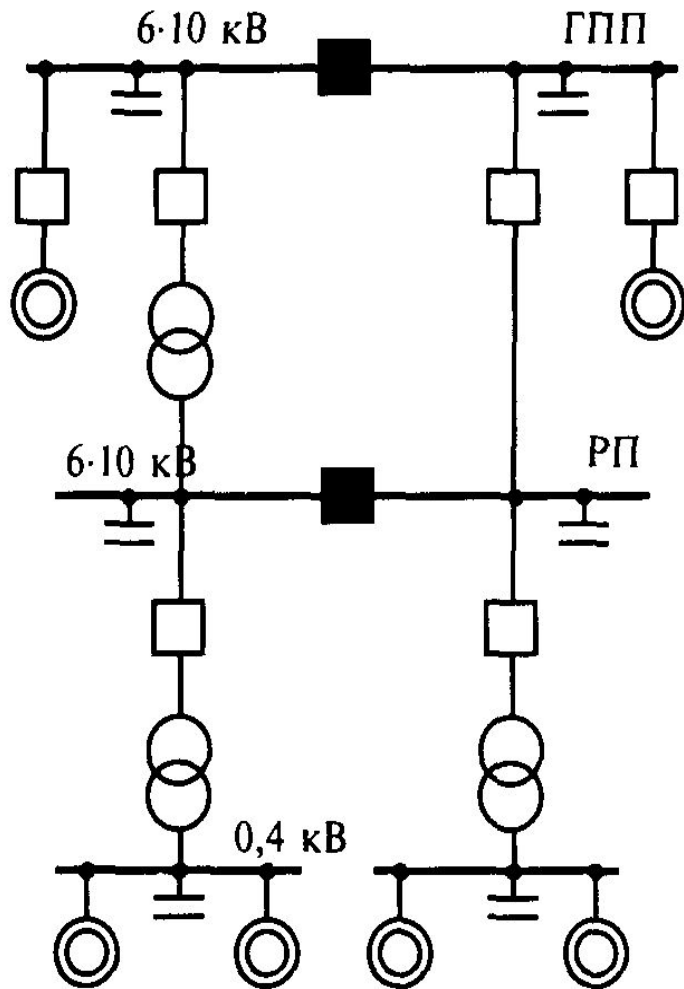
- Размещение КБ в сетях до и выше 1кВ должно удовлетворять условию наибольшего снижения потерь активной мощности от реактивных нагрузок.

Возможные виды компенсации:

- **индивидуальная,**
- **групповая,**
- **централизованная**



- **а-индивидуальная**-с присоединением конденсаторов наглухо к зажимам ЭП. В этом случае от реактивных токов разгружается вся сеть СЭС. Применяется на $U < 1 \text{ кВ}$, недостаток их –неполно используются конденсаторы в связи с их отключением при отключении ЭП,
- **б- групповая** – присоединением конденсаторов к РП сети (шкафы, шинопроводы). В этом случае распределительная сеть до ЭП не разгружается от протекания РМ, но эффективнее используется БК

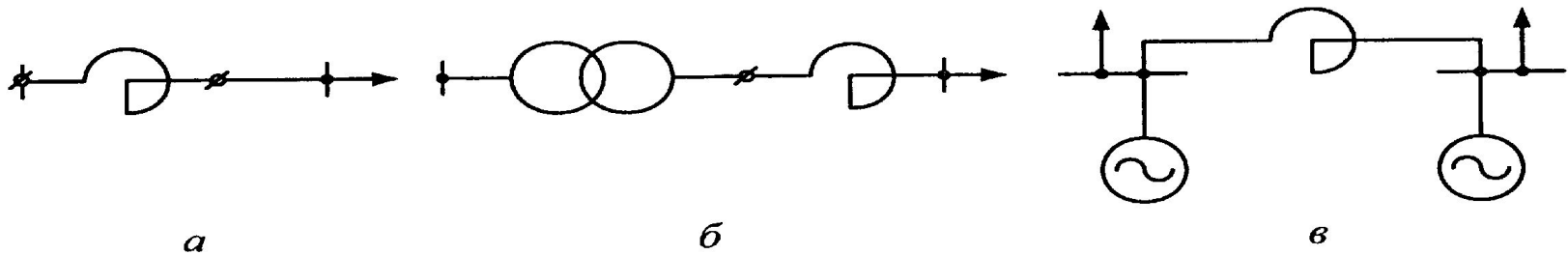


в

в- централизованная –
с подключением БК на
шины 0,38 кВ и/или
6-10 к РП или ГПП.

- При подключении БК на
шины 0,38 кВ
разгружаются только
цеховые трансформа-
торы и вышележащая
часть сети.

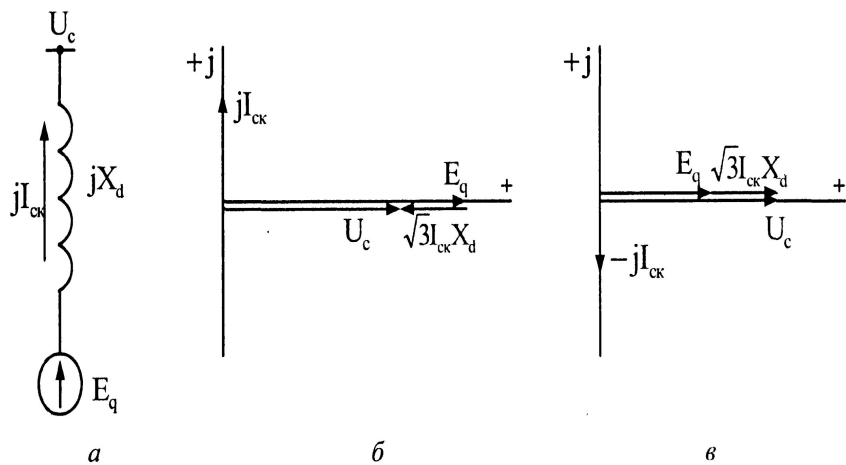
Принципиальные схемы включения токоограничивающих реакторов: в цепи отходящей линии (а), в цепи трансформатора (б), между шин генераторного напряжения ТЭЦ (в)



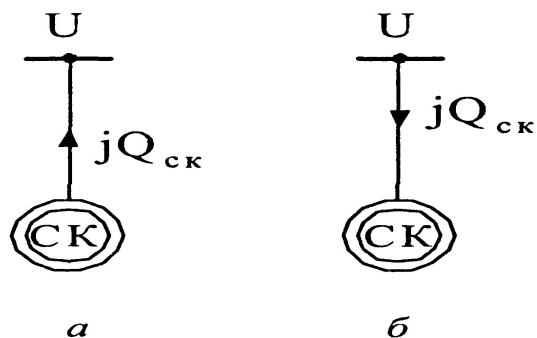
При включении в линию или к трансформатору последовательно реактор, произойдет увеличение реактивного сопротивления соответствующего участка сети. Это используют для уменьшения токов коротких замыканий. Такие реакторы называют токоограничивающими и выполняют в виде индуктивных катушек с малым активным сопротивлением.

Токоограничивающий реактор представляют в схеме замещения его реактивным сопротивлением.

$$X_p = \frac{U_p}{100} \cdot \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}I_{\text{ном}}} = \frac{U_p}{100} \cdot \frac{U_{\text{ном}}^2}{S_{\text{рном}}}$$



Упрощенная схема замещения СК (а) и векторные диаграммы напряжений в режимах перевозбуждения (б) и недовозбуждения (в)



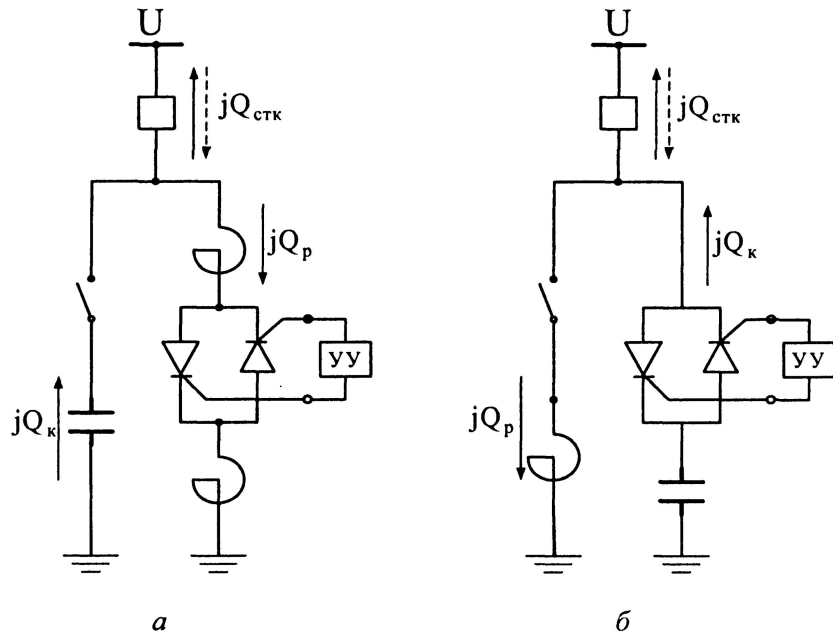
Работа СК в режиме перевозбуждения (а) и в режиме недовозбуждения (б)

- Синхронный компенсатор (СК) — синхронная явнополюсная вращающаяся (750 об/мин) машина, работающая в режиме холостого хода. СК устанавливают на крупных подстанциях специально для генерирования и потребления реактивной мощности.
- Управляя балансом реактивной мощности, представляется возможность стабилизировать напряжение в точке подключения СК и регулировать его в небольших пределах:

$$0,95 U_{\text{НОМ}} \leq U_c \leq 1,05 U_{\text{НОМ}}$$

Влияние на режим напряжения определяемое располагаемым диапазоном изменения реактивной мощности СК:

$$Q_{\text{МИН}} \leq Q_{\text{СК}} \leq Q_{\text{МАКС}}$$

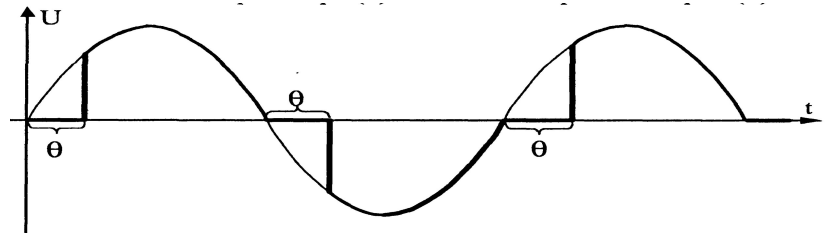


Схемы СТК с регулируемой мощностью реактора (а) и КБ (б)

Регулирование позволяет изменять время включений реактора или КБ в сеть в течение каждого полупериода, при этом изменяются действующее значение напряжения U на зажимах соответствующего накопительного элемента и развиваемая ими мощность

$$Q_{КБ} = U^2 / X_k, \quad Q_p = U^2 / X_r$$

- Статические тиристорные компенсаторы (СТК) — это комплексные устройства, предназначенные как для выдачи, так и для потребления Q . Основу СТК составляют накопительные элементы (C, L), реакторно-тиристорные и конденсаторно-тиристорные блоки. Плавное управление мощностью СТК осуществляется с помощью встречно-параллельно включенных управляемых вентилей — тиристоров, снабженных устройством управления (УУ), с помощью его регулируется угол θ тиристоров



Мощность СТК $Q_{СТК}$ может изменяться от потребления до выработки (в пределах диапазона регулирования)

$$Q_{СТК} = Q_p - Q_{КБ} >< 0$$

за 1—2 периода промышленной частоты при практически неизменном напряжении U_c на выходе СТК.

При отключении КБ или реактора, СТК потребляет (рис.а) или выдает реактивную мощность (рис.б).

- Основными *источниками реактивной мощности*, как известно, являются **генераторы электрических станций, ЛЭП** (за счет зарядной мощности) и **компенсирующие устройства поперечной компенсации**, подключаемые параллельно нагрузке.
- Т.е., **включение в узлы электрической сети компенсирующих устройств приводит к разгрузке элементов сети от реактивной мощности**, *следствием этого является снижение нагрузочных потерь мощности и электроэнергии.*
- Таким образом, *за счет изменения потоков реактивной мощности (управления ими) можно улучшить экономические показатели сети.*