

Лекция

Тема: Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий.

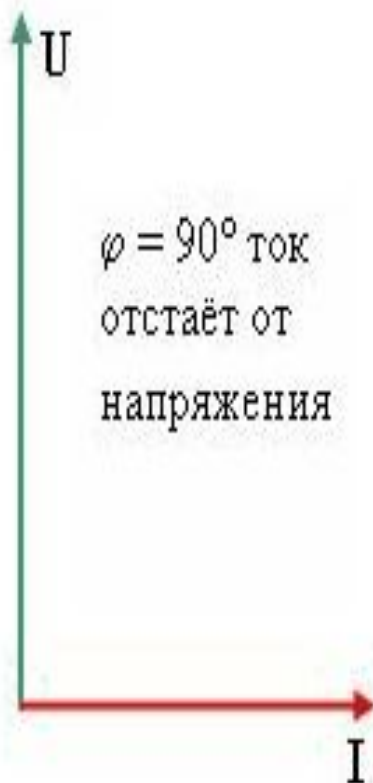
План занятия

- 1. Потребители реактивной мощности.**
- 2. Источники реактивной мощности**
- 3. Определение мощности батарей конденсаторов.**
- 4. Определение места установки конденсаторных установок.**



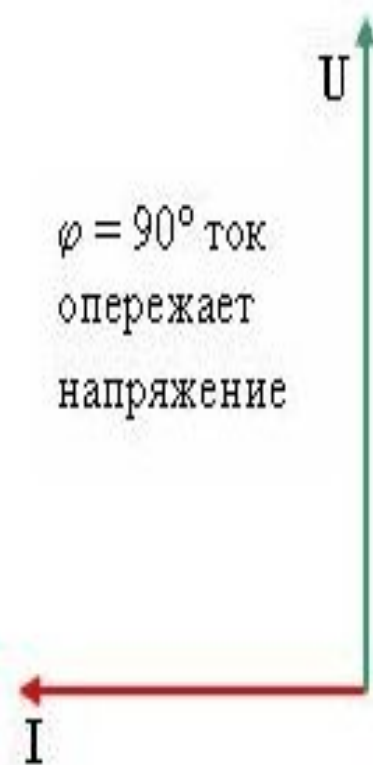
$$\varphi = 0^\circ$$

Омическая (активная)
нагрузка



$\varphi = 90^\circ$ ток
отстаёт от
напряжения

Индуктивная
(двигательная) нагрузка



$\varphi = 90^\circ$ ток
опережает
напряжение

Ёмкостная
(конденсаторная) нагрузка

1. Потребители реактивной МОЩНОСТИ

Потребителями реактивной мощности являются:

- Трансформатор
- Асинхронный двигатель
- Индукционные печи
- Преобразовательные установки
- Линии электропередач



Источник
питания
 P, Q

U



Распределительная
сеть
 R, X

U_H



$P_H = (Q_H = 0)$

При двигательном характере нагрузки значения мощности в центре питания увеличивается и становится равными:

$$P = P_H + (P_H^2 + Q_H^2) \cdot R / U_H^2;$$

$$Q = Q_H + (P_H^2 + Q_H^2) \cdot X / U_H^2.$$

Величина напряжения у потребителя, а, следовательно, и качество электрической энергии, снижается:

$$U_H = U - (P \cdot R + Q \cdot X) / U$$

Показателем потребления реактивной мощности является коэффициент мощности (КМ), численно равный косинусу угла (φ) между током и напряжением.

$$\cos(\varphi) = P/S.$$

Пример:

При $\cos(\varphi) = 1$ для передачи 500 кВт в сети переменного тока 400 В необходим ток значением 722 А. Для передачи той же активной мощности при коэффициенте $\cos(\varphi) = 0,6$ значение тока повышается до 1203 А.

Если при $\cos(\varphi) = 1$ мощность потерь равная 10 кВт, то при $\cos(\varphi) = 0,6$ она повышается на 180 % и составляет уже 28 кВт.

За счет наличия реактивной мощности :

- возникают дополнительные потери в проводниках вследствие увеличения тока;
- снижается пропускная способность распределительной сети;
- отклоняется напряжение сети от номинала

Различают:

- а) мгновенный коэффициент мощности
- б) средний коэффициент мощности
- в) средневзвешенный коэффициент мощности

а) мгновeнный коэффициент мощности,

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3} UI},$$

б) средний коэффициент мощности,

$$\cos \varphi_{\text{ср}} = \frac{\cos \varphi_1 + \cos \varphi_2 + \cos \varphi_3 + \dots + \cos \varphi_n}{n},$$

**в) средневзвешенный
коэффициент мощности,**

$$\cos \varphi_{\text{ср.в}} = \frac{W_a}{\sqrt{W_a^2 + W_r^2}}.$$

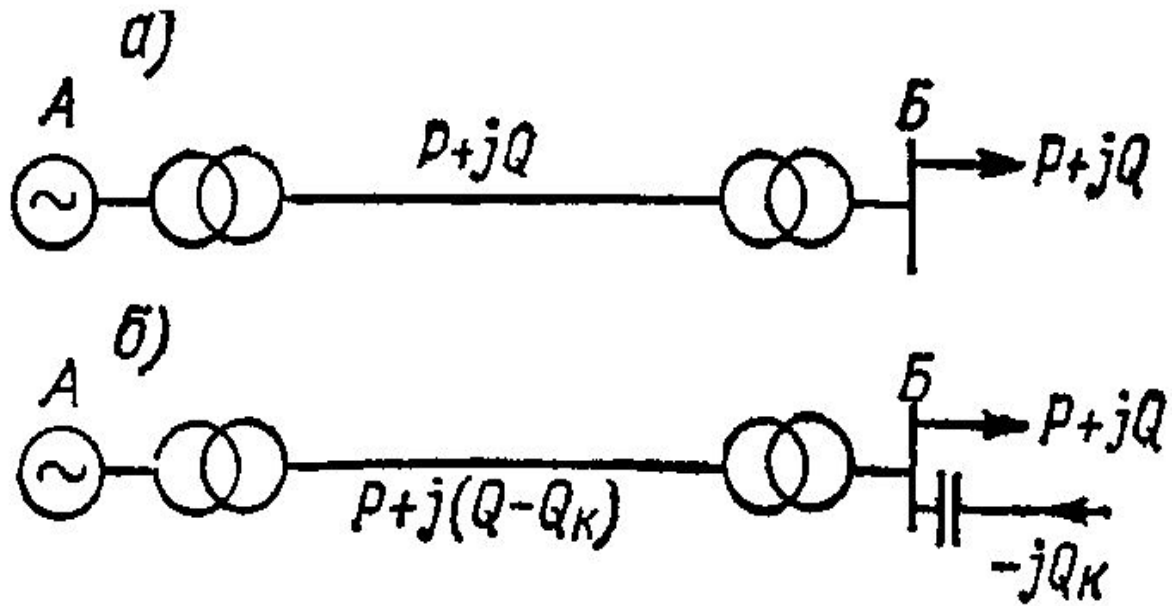
Повышение коэффициента мощности потребителей может достигаться путем:

- а) рационализации работы электрооборудования, установленного у потребителей;
- б) компенсации реактивной мощности у потребителя.

2. Источники реактивной мощности

Основными источниками реактивной мощности являются :

- синхронные компенсаторы
- статические конденсаторы
- компенсационные преобразователи
- статические источники реактивной мощности с применением тиристорov.



Схемы электропередачи,

a—без компенсации; *б* — с компенсацией.

Потери активной мощности снижаются

$$\Delta P = \frac{P^2 + (Q - Q_k)^2}{U^2} R$$

При компенсации реактивной мощности уменьшаются и потери напряжения в электропередачах.

- до компенсации потеря напряжения в местной сети

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

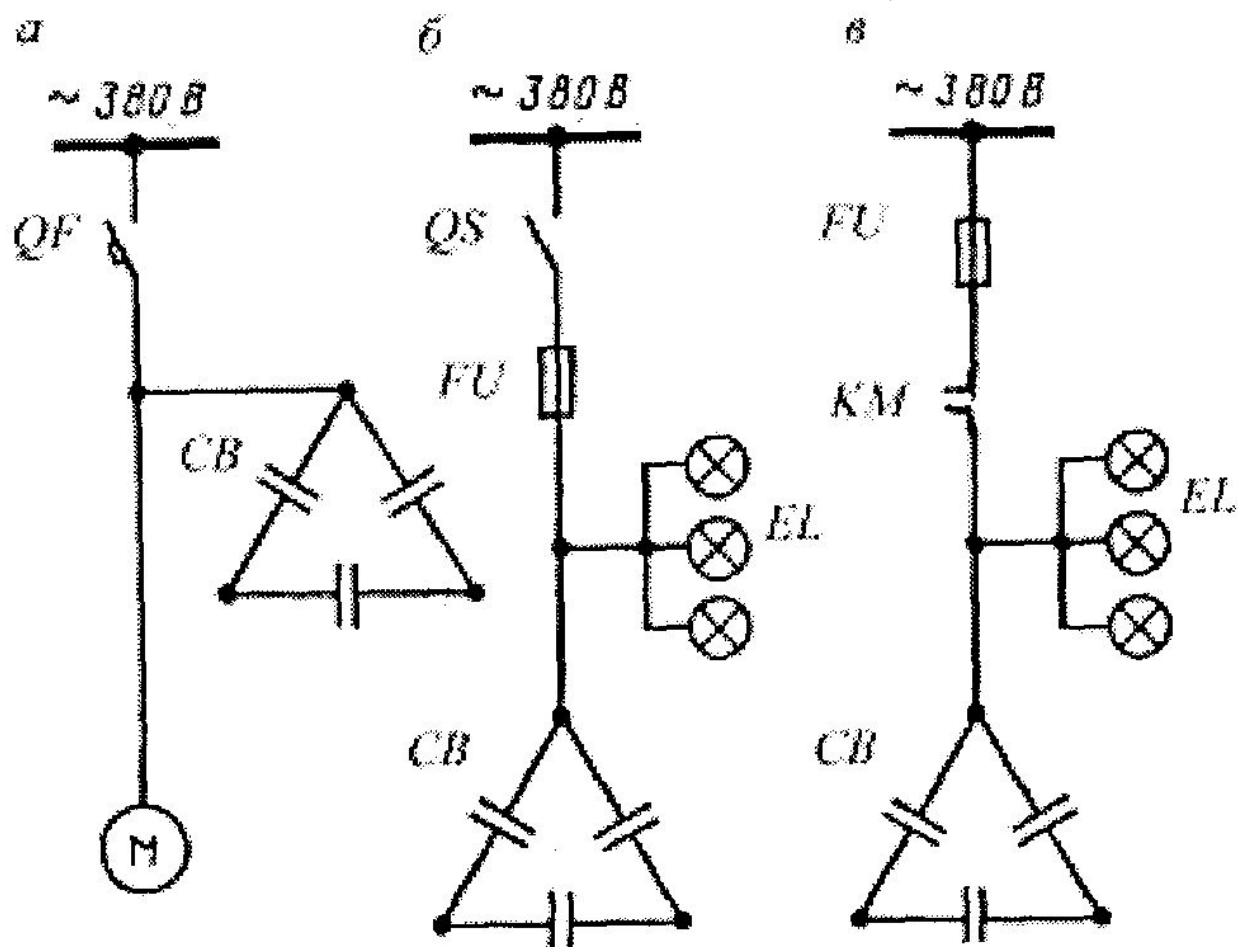
- при наличии компенсации она будет снижена до величины

$$\Delta U'_k = \frac{PR + (Q - Q_k)X}{U},$$

Конденсаторной установкой
называется электроустановка,
состоящая из конденсаторов,
относящегося к ним вспомогательного
электрооборудования и ошиновки.

Конденсаторные установки бывают

- Индивидуальными
- Групповыми
- Централизованными



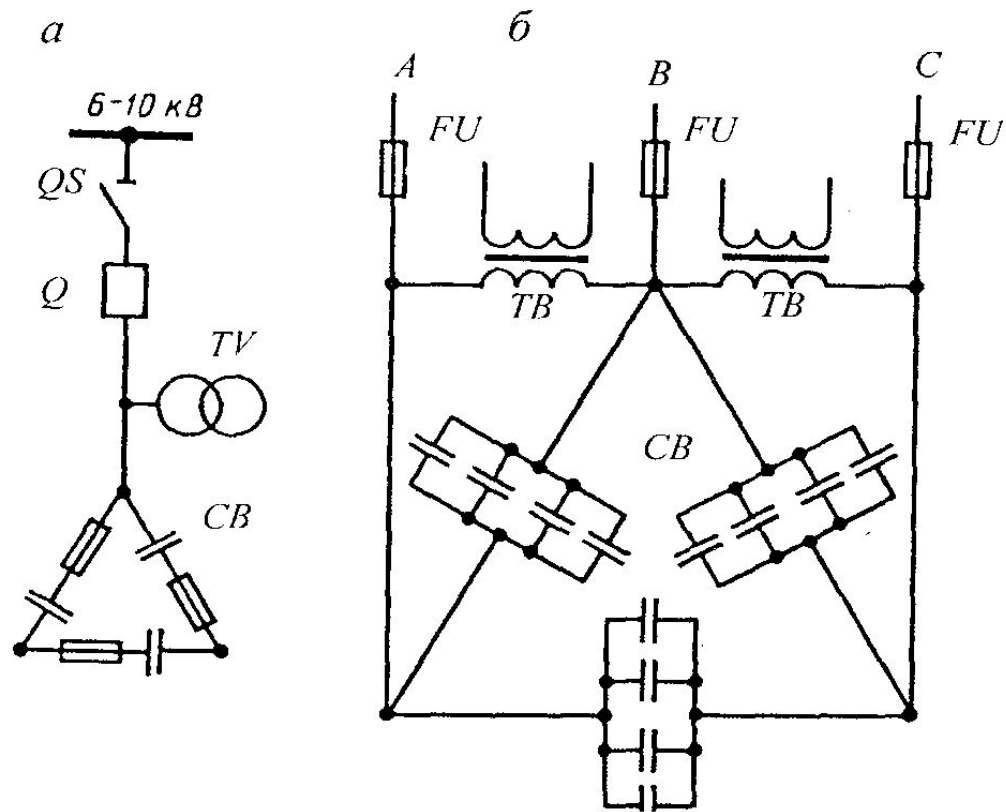


Рис. 4.3. Присоединение конденсаторов к шинам на напряжение 6—10 кВ: *a* — через разъединитель и выключатель; *б* — через предохранители



Компенсаторные установки бывают:

Конденсаторные установки низкого напряжения:

- регулируемые
- не регулируемые

Конденсаторные установки высокого напряжения

- не регулируемые
- регулируемые

Конденсаторные установки наружного исполнения контейнерные

Фильтры силовые высших гармоник

конденсаторные установки низкого напряжения

нерегулируемые бескаркасные внутреннего исполнения

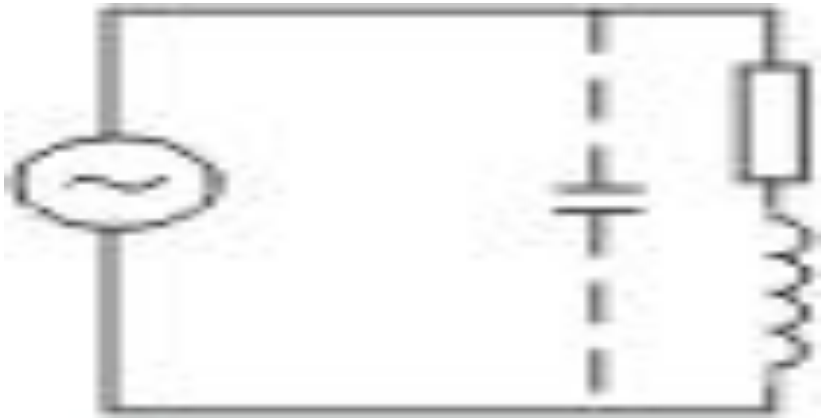


Конденсаторные установки низкого напряжения регулируемые



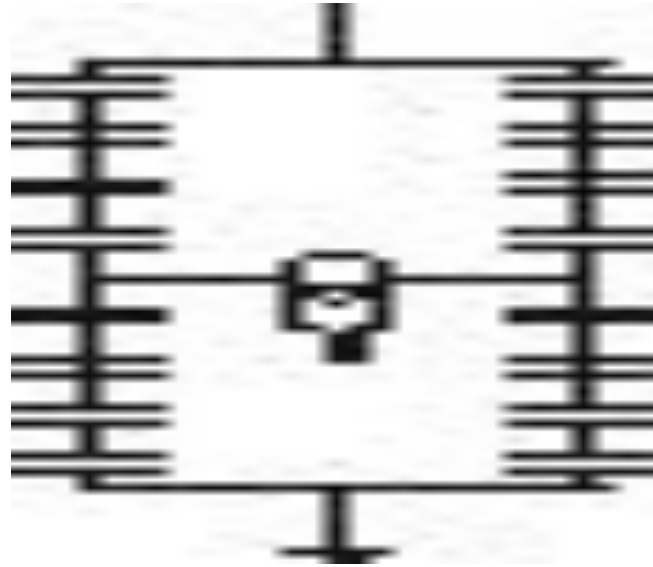
Конденсаторные установки типа УК,
УКМ предназначены для компенсации
реактивной мощности от 10 до 6000 кВАр в
сетях напряжением 0,4 кВ..

Конденсаторные установки высокого напряжения



Конденсаторные
установки типа УКЛ, УКП,
предназначены для компенсации реактивной
мощности от 150 до 50 000 квар в сетях
напряжением от 6,3 до 35 кВ.

БСК (батарея статических конденсаторов)



Конденсаторной батареей называется группа
единичных конденсаторов, электрически
соединенных между собой.

Конденсаторы

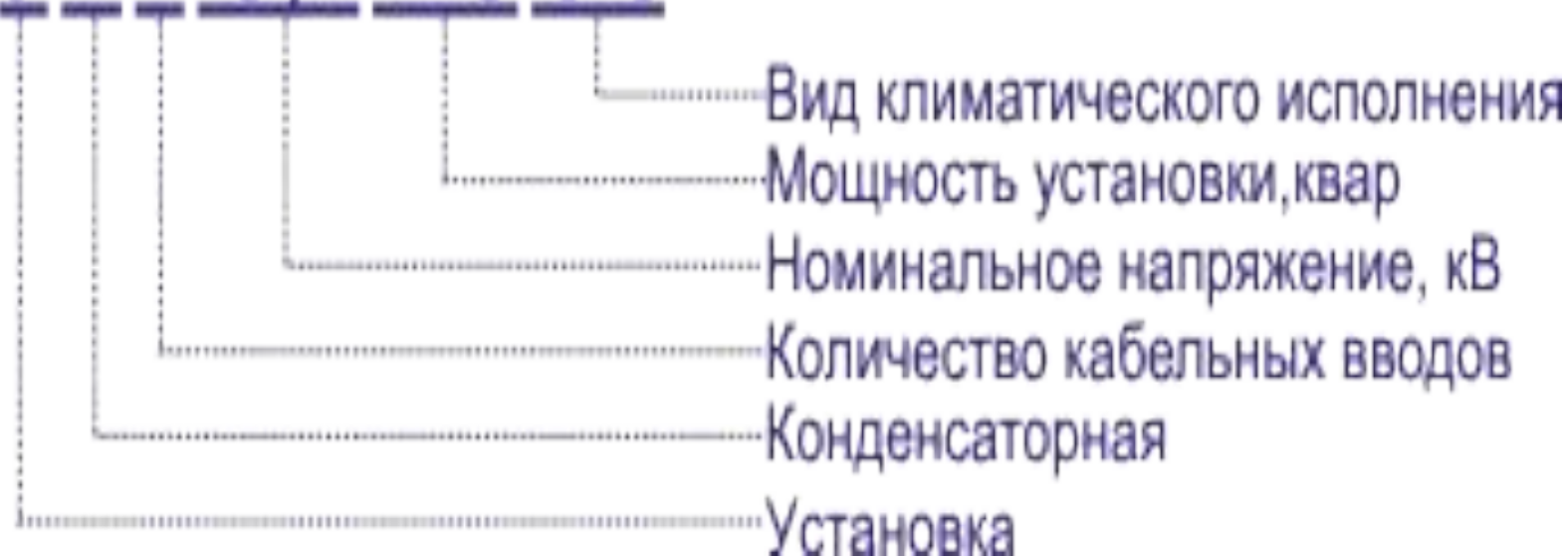
Силовые конденсаторы



Конденсаторным элементом (секцией) называется неделимая часть конденсатора, состоящая из токопроводящих обкладок (электродов), разделенных диэлектриком.

Полипропиленовые:	К78-25,	К78-17,	К78-2.
Металлобумажные МБГО,	МБГЧ-1,	К42-22,	К42-18.
Комбинированные:	К75-10,		К75-24.
Поликарбонатные			К77-1.
Полиэтилентерефталатные:	К73-36,		К73-9.
Силовые:	КЭП, СМ, СМБ, СМП, СМПБ, СМВ, СМБВ, СМПВ, СМПБВ, ЭСПВ, ИМ, ИМК, ИМКН, ИК, ИМН, ИЭПМ, КЭПФ		

УК1-0,4-20 УЗ



Фазовыравнивающие для эл/двигателей,
компенсирующие, в цепях постоянного и
переменного тока



- Косинусные высоковольтные однофазные конденсаторы



- Косинусные высоковольтные трехфазные конденсаторы



- Конденсаторы типа КЭП (пропитанные, фольговые)



- Конденсаторы связи и отбора мощности

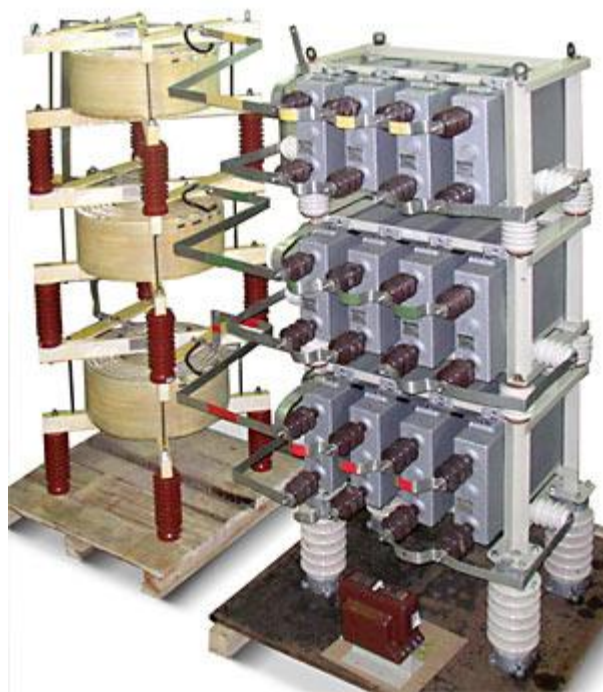


- Конденсаторы электротермические частоты от 0,5 до 10 кГц



Конденсаторы для силовых фильтров высших

гармоник Фильтро-компенсирующие устройства предназначены для исключения вредоносного воздействия гармоник, генерируемых нелинейными потребителями (UPS ПК, частотными приводами, установками контактной сварки)



Расчет экономического значения реактивной мощности

Экономическое значение реактивной мощности, потребляемой в часы максимума, определяется энергосистемой

$$Q_{\text{э}} = P_{\text{р}} \cdot \text{tg } \varphi_{\text{эн}}$$

где: $P_{\text{р}}$ – расчетная активная нагрузка предприятия;

$\text{tg } \varphi_{\text{эн}}$ – нормативное значение реактивной мощности.

:

- Значение $\text{tg } \varphi_{\text{ЭН}}$ определяется по формуле

$$\text{tg } \varphi_{\text{ЭН}} = \frac{240}{ad_{\text{мак}} + 50b} \text{tg } \varphi_{\text{б}} \cdot K_1$$

a – основная ставка тарифа на активную мощность, руб/кВт год;

b – дополнительная ставка тарифа за активную энергию, руб/кВтч;

$d_{\text{мак}}$ – отношение потребления энергии в квартале максимума нагрузки энергосистемы к потреблению в квартале его максимальной нагрузки; при отсутствии указанных данных принимают $= 1$;

$\operatorname{tg} \varphi_6$ — базовый коэффициент реактивной мощности,

принимаемый равным 0,25; 0,3 и 0,4 для сети 6—20 кВ, присоединенной к шинам подстанции с высшим напряжением соответственно 35, 110—150 и 220—330 кВ;

K_1 — коэффициент, отражающий изменение цен на конденсаторы,

принимается равным коэффициенту увеличения ставки двухставочного тарифа на электроэнергию по сравнению со значениями, указанными в преискуранте.

$$K_w = \frac{a \cdot K_{w1} + b \cdot T_m \cdot 10^{-2} \cdot K_{w2}}{a + b T_m \cdot 10^{-2}}$$

где K_{w1} , K_{w2} - коэффициенты увеличения соответственно основной и дополнительной ставок тарифов на электроэнергию;

$$K_{w1} = a/60, K_{w2} = b/1,8$$

T_m - число часов использования максимума нагрузки.

Определить $Q_{\text{э}}$ для предприятия

$P_p = 10500 \text{ кВт}$, $T_{\text{нб}} = 3200 \text{ ч}$.

Основная ставки-22000 руб/мес,

дополнительная ставка – 180руб/кВтч

заявленная мощность - 1000кВт,

110/10,5

1. Находим коэф. увеличения ставок тарифа на ЭЭ

$$K_w^1 = 22000 \times 1000 \times 12 / 60 = 4400000$$

$$K_w^2 = 180 / 1,8 = 100$$

$$K_w =$$

$$(60 \times 4400000 + 1,8 \times 3200 \times 100) / (60 + 1,8 \times 3200) = 45459,$$

Для сети 110/10 $\text{tg}\varphi = 0,3$

2. Определяем экономический коэффициент реактивной мощности

$$\text{tg}_\varphi = 240 \times 0,3 \times 45459,8 / (22000 \times 1000 \times 12 + 50 \times 180) = 0,15$$

3. Экономически целесообразное значение реактивной мощности

$$Q_{\text{Э}} = 10500 \times 0,15 = 1575 \text{ квар}$$

Выбор мощности компенсирующих устройств.

Мощность компенсирующего устройства электроустановки потребителя электрической энергии определяется :

$$Q_{\text{к}} = P (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2).$$

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{Q}{P}; \quad \operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{Q - Q_{\text{к}}}{P}.$$

Выбор средств компенсации должен производиться для режима наибольшего потребления реактивной мощности в сети проектируемой электроустановки.

Выбор типа, мощности, места установки и режима работы компенсирующих устройств должен обеспечивать наибольшую экономичность при соблюдении:

- а) допустимых режимов напряжения в питающей и распределительных сетях;
- б) допустимых токовых нагрузок во всех элементах сети;
- в) режимов работы источников реактивной мощности в допустимых пределах;
- г) необходимого резерва реактивной мощности.

Минимум приведенных затрат учитывает:

а) затраты на установку компенсирующих устройств и дополнительного оборудования к ним;

б) снижение стоимости оборудования трансформаторных подстанций и сооружения распределительной и питающей сети, а также потерь электроэнергии в них

в) снижение установленной мощности электростанций, обусловленное уменьшением потерь активной мощности.

Выбор мощности компенсирующих устройств осуществляется в два этапа:

На первом этапе определяется

- мощность батарей низковольтных конденсаторов, устанавливаемых в сети до 1 кВ по критерию выбора минимального числа цеховых трансформаторных подстанций;
- рассчитывается реактивная мощность синхронных двигателей

Ход расчета

1. Для каждой технологически группы ЭП определяется минимальное число цеховых трансформаторов одинаковой единичной мощностью при полной компенсации.

$$N_0 = \frac{P}{\beta_{тр} S_{тр}},$$

где P — активная мощность на стороне до 1000 В;

$\beta_{тр}$ — коэффициент загрузки трансформаторов;

$S_{тр}$ — номинальная мощность одного трансформатора

2. По найденному количеству трансформаторов рассчитывается наибольшая мощность, которая может быть передана через трансформаторы в сеть до 1 кВ:

$$Q_T = \sqrt{(K_{\text{пер}} \cdot N_{\text{тр min}} \cdot \beta_{\text{тр}} \cdot S_{\text{тр}})^2 - P_{\text{рн}}^2}$$

где $K_{\text{пер}}$ — коэффициент, учитывающий допустимую систематическую перегрузку трансформаторов в течение одной смены,

$K_{\text{пер}} = 1,1$ — для трансформаторов масляных и заполненных негорючей жидкостью,

$K_{\text{пер}} = 1,05$ — для сухих трансформаторов.

3. Суммарная мощность БНК определится по выражению:

$$Q_{\text{нк1}} = Q_{\text{рн}} - Q_{\text{т}}$$

Если расчетное значение $Q_{\text{нк1}} \leq 0$, то установка конденсаторов на стороне 0,4 кВ не требуется.

Пример

Определить мощность БНК для РМЦ

$P_{рн} = 5400 \text{ кВт}$ и

$Q_{рн} = 5320 \text{ квар.}$

$B_T = 0,9$

$S_{нт} = 1600 \text{ кВА.}$

1. Определим минимальное количество трансформаторов

$$N_{T \min} = 5400 / (0,9 \times 1600) = 3,8 \quad N = 4$$

2. Реактивная мощность, передаваемая через трансформатор

$$Q_T = \sqrt{(1,1 \times 1600 \times 0,9 \times 4)^2 - 5320^2} = 3540 \text{ квар}$$

3. Определяем мощность БНК

$$Q_{НК1} = 5320 - 3540 = 1780 \text{ квар}$$

4. Мощность БНК, приходящаяся на
один трансформатор

$$1780/4 = 445 \text{ квар}$$

Принимаем стандартные БНК

УКМ – 58 – 0,4 – 402 – 67У3

Суммарная мощность БНК цеха равна
 $= 4 \times 402 = 1608 \text{ квар}$

Синхронные компенсаторы

Синхронный компенсатор (СК)

представляет собой синхронный двигатель облегчённой конструкции, предназначенный для работы на холостом ходу.

При работе в режиме перевозбуждения СК является генератором реактивной мощности.

При работе в режиме
недовозбуждения СК является
потребителем реактивной мощности.

Определение реактивной мощности, генерируемой синхронными двигателями

Минимальная величина, генерируемая синхронным двигателем определяется по формуле:

$$Q_{\text{сд}} = P_{\text{номсд}} \cdot \beta_{\text{сд}} \cdot \text{tg}\varphi$$

где – $P_{\text{номсд}}$ – номинальная активная мощность СД;

$\beta_{\text{сд}}$ — коэффициент загрузки СД по активной мощности;

$\text{tg}\varphi$ — номинальный коэффициент реактивной мощности СД.

Располагаемой реактивная
мощность СД вычисляется

$$Q_{\text{сд}} = \alpha_{\text{м}} \cdot S_{\text{сд ном}} =$$
$$\alpha_{\text{м}} \cdot \frac{\sqrt{P_{\text{номсд}}^2 + Q_{\text{номсд}}^2}}$$

где $\alpha_{\text{м}}$ – коэффициент допустимой перегрузки СД

Величина генерируемой реактивной мощности СД зависит от номинальной мощности и частоты вращения СД.

Располагаемая реактивная
мощность СД, имеющих

$$P_{нд} > 2500 \text{ кВт}$$

или $n > 1000$ об/мин

(независимо от мощности)

используется для компенсации
реактивной мощности во всех
случаях без обосновывающих
расчетов.

Величина реактивной мощности,
генерируемой этими группами СД
определяется

$$Q_{д1} = \Sigma(Q_{д.р} - Q_{д.н}) \approx 0,2Q_{д.н}$$

Использование остальных СД требует ТЭО.

Для этого находят соотношение удельной стоимости потребления реактивной мощности и энергии из энергосистемы и генерируемой синхронными двигателями.

Удельная стоимость экономического потребления реактивной мощности и энергии из энергосистемы при наличии приборов учета определяются по формуле:

$$C_Q = (c_1 + d_1 T_{MQ} \cdot 10^{-2}) 1,6 k_1$$

При отсутствии таких приборов

$$C_Q = d_1 T_{MQ} 10^{-2} 1,6 k_1$$

где C_1 - плата за 1 квар потребляемой
реактивной мощности; (1,2
руб/(квар год)

d_1 - плата за 1 квар ч потребляемой реактивной энергии;

T_{MQ} – годовое число часов использование максимальной реактивной мощности

k_1 -коэффициент, отражающий изменение цен на конденсаторные установки

Годовое число использования максимальной реактивной мощности при потреблении, не превышающем экономическое значение

Число смен	Тг, ч	Км	Т _{МQ} , ч, при значенииψ			
			0,25	0,5	0,6	0,7
1	2000	0,9	1867	1800	1750	1667
2	4000	0,8	3467	3200	3000	2667
3	6000	0,7	4800	4200	3750	3000
нр	8500	0,8	7367	6800	6375	5667

Удельная мощность потерь активной мощности в СД и компенсирующих устройствах

$$C_{\text{pг}} = a k_{\text{w1}} + b T_{\text{г}} 10^{-2} k_{\text{w2}}$$

Целесообразность использования СД для компенсации при одновременном потреблении реактивной мощности из энергосистемы, не превышающем экономическое значение

$$R = C_{QЭ} / C_{рг}$$

Синхронные двигатели 10кВ

N, об/мин	а	Минимальное значение R при P _{дн} , кВт			
		1250	1600	2000	2500
250	0,2	0,016	-	-	
	0,6	0,025	-	-	
	1,0	0,03	0,02	-	
	1,2	0,035	0,025	0,02	
300	0,2	0,015	0,015	-	-
	0,6	0,025	0,025	0,02	-
	1,0	0,03	0,03	0,025	0,02
	1,2	0,035	0,035	0,03	0,023
375	0,2	0,015	-	-	-
	0,6	0,025	0,02	0,02	0,02
	1,0	0,03	0,027	0,025	0,022
	1,2	0,035	0,03	0,028	0,025
500	0,2,0,6				
	1,0	0,02	0,02	0,02	0,02
	1,2	0,025	0,025	0,022	0,02
600	1,0	0,02	0,02	0,02	
	1,2	0,025	0,025	0,022	0,02
750	1,0	0,02	0,02	0,02	
	1,2	0,025	0,025	0,022	0,02
	1,0	0,022	0,02		

Суммарная величина реактивной мощности, генерируемая синхронными двигателями, имеющими $P_{дн} \leq 2500 \text{ кВт}$ и $n \leq 1000$ об/мин определяется как

$$Q_{д2} = \sum a Q_{д.н}$$

Реактивная мощность СД, которую экономически целесообразно использовать для компенсации при одновременном оптимальном потреблении реактивной мощности из энергосистемы определяется

$$Q'_{сд} = Q_{д1} + Q_{д2}$$

Пример

Предприятие получает питание от понижающей подстанции 220/10,5кВ. В технологическом процессе используется следующие синхронные двигатели 10кВ:

6 двигателей по 630кВт $n=500\text{мин}^{-1}$

4 двигателей по 800кВт $n=1500\text{мин}^{-1}$

4 двигателей по 1250кВт $n=500\text{мин}^{-1}$

2 двигателей по 3200кВт $n=750\text{мин}^{-1}$

$\cos\varphi=0,9$ $\operatorname{tg}\varphi=0,48$ $T_{\text{нб}}=6200\text{ч}$
Основная ставка $a=1165000\text{руб/кВт год}$,
дополнительная ставка $b=880\text{ коп/кВтч}$

Определить величину реактивной мощности, которую целесообразно получать от СД.

ЭД мощностью 630кВт применять
не целесообразно (по таблице)

Наиболее экономично применять ЭД
мощностью 800 кВт ($n > 1000 \text{ мин}^{-1}$)
и 3200кВт ($P > 2500 \text{ кВт}$)

Величина реактивной мощности,
генерируемой данными СД:

$$Q_{д1} = 0,2(4 \times 800 \times 0,48 + 2 \times 3200 \times 0,48) \\ = 922 \text{ квар}$$

Находим коэффициенты увеличения
ставок тарифов на электроэнергию:

$$K_{w1} = 1165000/60 = 19417$$

$$K_{w2} = 880/1,8 \times 10^{-2} = 48889$$

$$K_w = \frac{60 \times 19417 + 1,8 \times 6200 \times 10^{-2} \times 48889}{60 + 1,8 \times 6200 \times 10^{-2}} = 38584$$

Удельная стоимость экономического потребления РМ из энергосистемы

$$C_{Q'} = (1,2 + 0,03 \times 6800 \times 10^{-2} \times 1,6 \times 38584 = 200020 \text{руб/квар}$$

Удельная стоимость активной мощности в СД при непрерывном режиме

$$C_{\text{рг}} = 60 \times 19417 + 1,8 \times 8500 \times 10^{-2} \times 48889 = 8645037 \text{руб/кВт}$$

Соотношение удельных стоимостей:

$$R=200020/8645037=0,023$$

Для двигателя 1250кВт и $n=500\text{мин}^{-1}$

находим

$$\alpha=0,2+(0,23-0,015)/(0,025-0,015)\times$$
$$(0,6-0,2)=0,52$$

Реактивная мощность, генерируемая 4
ЭД мощностью 1250кВт

$$Q_{д2} = 0,52 \times 4 \times 1250 \times 0,48 = 1248 \text{квар}$$

Суммарная реактивная мощность,
которую экономически целесообразно
получать от СД:

$$Q_{сд}^1 = 922 + 1248 = 2170 \text{квар}$$

По завершении расчетов первого этапа составляется баланс реактивной мощности на границе балансового разграничения с энергосистемой. В случае дисбаланса реактивной мощности выполняется второй этап

Второй этап:

-определяется целесообразность установки батарей высоковольтных конденсаторов (БВК) в сети 6—10 кВ.

Суммарная реактивная мощность высоковольтных конденсаторных батарей для всего предприятия определяется из условия баланса реактивной мощности:

$$Q_{\text{вк}} = \Sigma Q_{\text{р,вi}} - Q_{\text{тэц}} - Q_{\text{сд}} - Q_{\text{э1}}$$

где $Q_{\text{р,вi}}$ – некомпенсированная расчетная нагрузка на шинах 6кВ ТП и РП.

$Q_{\text{тэц}}$ – реактивная мощность, генерируемая синхронными генераторами ТЭЦ.

Q_{sd} – реактивная мощность генерируемая синхронными двигателями.

$Q_{э1}$ – экономически оптимальная входная реактивная мощность, которая может быть передана в период наибольшей загрузки энергосистемы

Некомпенсированную реактивную нагрузку на шинах ТП -это:

$$Q_{p.vi} = Q_{расч.i} - Q_{куi} + \Delta Q_{ти}$$

где $Q_{расч.i}$ – расчетная реактивная мощность на шинах 0,4 кВ i -того ТП.

– $Q_{куi}$ – мощность установленной НБК.

– $\Delta Q_{ти}$ – суммарные реактивные потери в трансформаторах

Распределение мощности КУ напряжением до 1000В в сети предприятия

Основными схемами внутрицехового ЭС (до 1000В) является:

– блок трансформатор-магистраль (один шинопровод с ответвлениями);

– радиально-магистральная схема, когда от трансформатора получает питание два магистральных шинопровода;

– радиальная схема с кабельными линиями.

В группе однотипных трансформаторов суммарная мощность НБК напряжением до 1000в распределяется пропорционально их реактивной нагрузке

Распределение мощности КУ в схеме ШМА с ответвлениями.

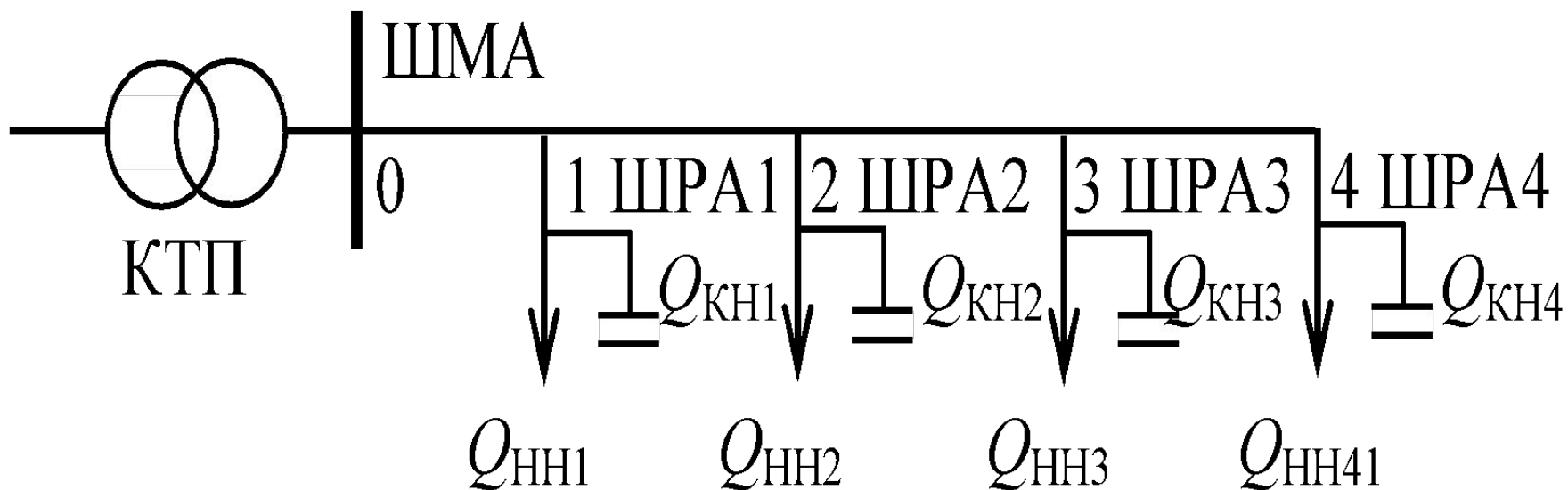
Рассматривают два случая:

а). Ответвления в виде ШРА

б). Ответвления виде отдельных нагрузок

Ответвления в виде ШРА

Суммарная мощность КУ должна распределяться между ответвлениями (начиная с конца) таким образом, чтобы обеспечивалась полная компенсация реактивной мощности, но без перекомпенсации.



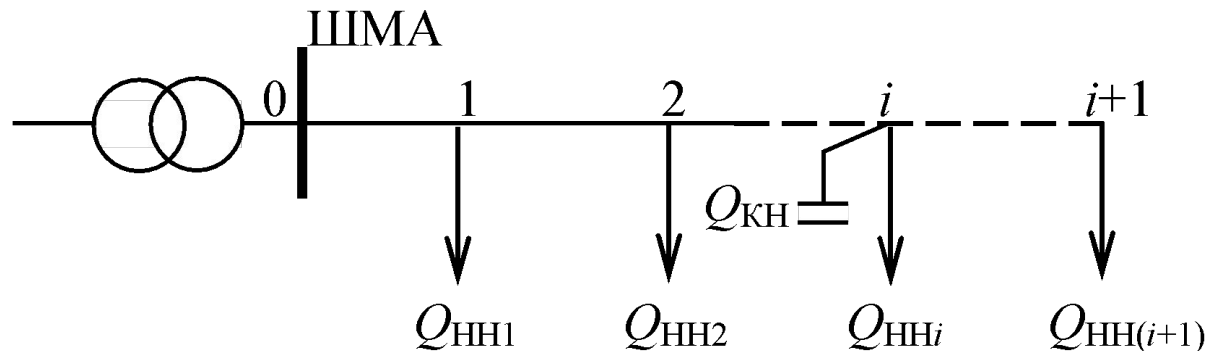
Ответвления виде отдельных нагрузок

Если на шинопроводе предусмотрена только одна КУ мощностью, тогда точка ее присоединения в схеме определяется условиям

$$Q_{\text{нн}i} > Q_{\text{кн}} / 2 > Q_{\text{нн}(i+1)}$$

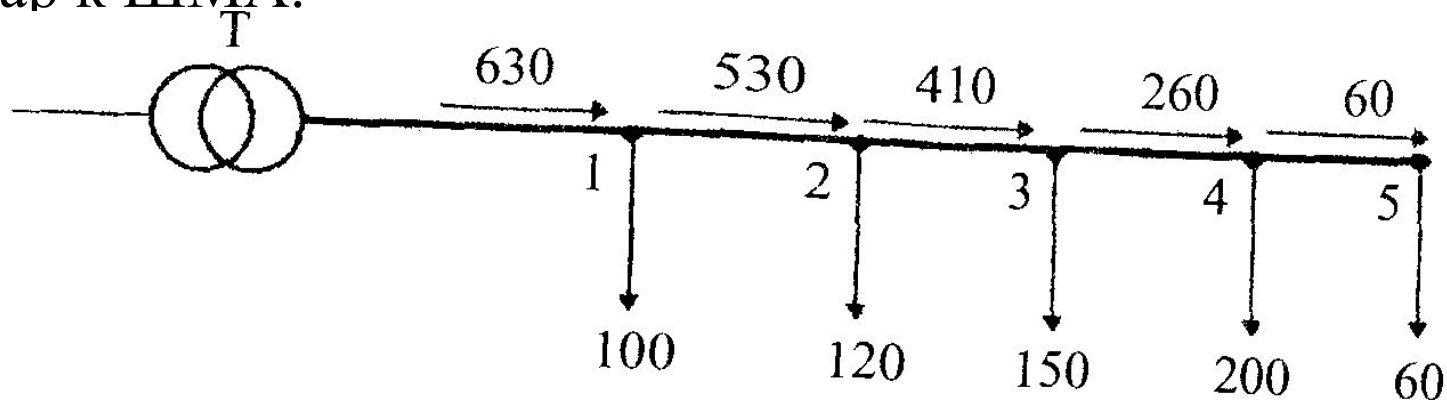
где $Q_{\text{нн}i}$ – расчетная реактивная нагрузка пролета ШП перед узлом

$Q_{\text{нн}(i+1)}$ – расчетная реактивная нагрузка пролета ШП после узла



Пример

- Определите место присоединения БНК мощностью 300 квар к ШМА.



узел 1 $630 > 300 / 2 < 530;$

узел 2 $530 > 300 / 2 < 410;$

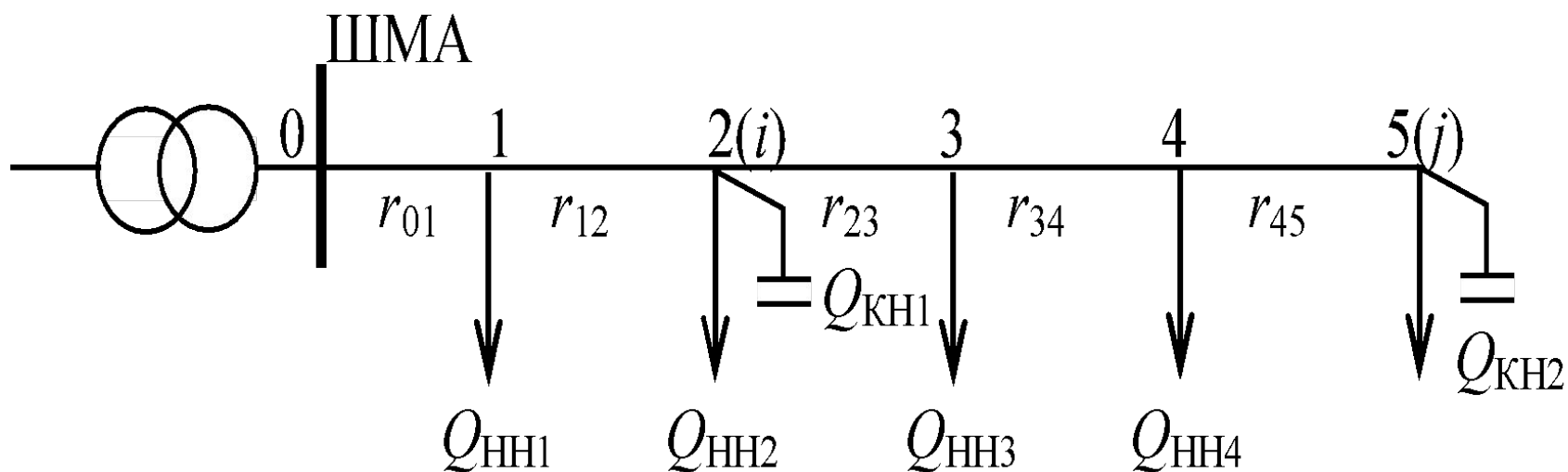
узел 3 $410 > 300 / 2 < 260;$

узел 4 $260 > 300 / 2 > 60;$

узел 5 $60 < 300 / 2 > 0.$

Условие выполняется в узел 4

При установке двух КУ суммарной мощности их мощность и точка присоединения определяется следующим образом:



1. Предварительно принимаем:

$$Q_{\text{кн1}} = Q_{\text{кн2}}$$

2. Находим точку присоединения дальней КУ

$$Q_{\text{ннj}} > Q_{\text{кн2}} > Q_{\text{нн (j+1)}}$$

$$Q_{\text{ннj}} > Q_{\text{кн}} / 2 > Q_{\text{нн (j+1)}}$$

3. Определяется точка присоединения ближней КУ

$$Q_{\text{нни}} - Q_{\text{кн2}} > Q_{\text{кн}} / 4 > Q_{\text{нн (i+1)}} - Q_{\text{кн2}}$$

4. Уточняется мощность второй КУ

$$Q_{\text{кн}2} = \Sigma Q_{\text{нн}i} \cdot r_{\text{ш}i} / \Sigma r_{\text{ш}i}$$

где $Q_{\text{нн}i}$ – реактивная нагрузка участков шинпровода между i и j узлами присоединения КУ;

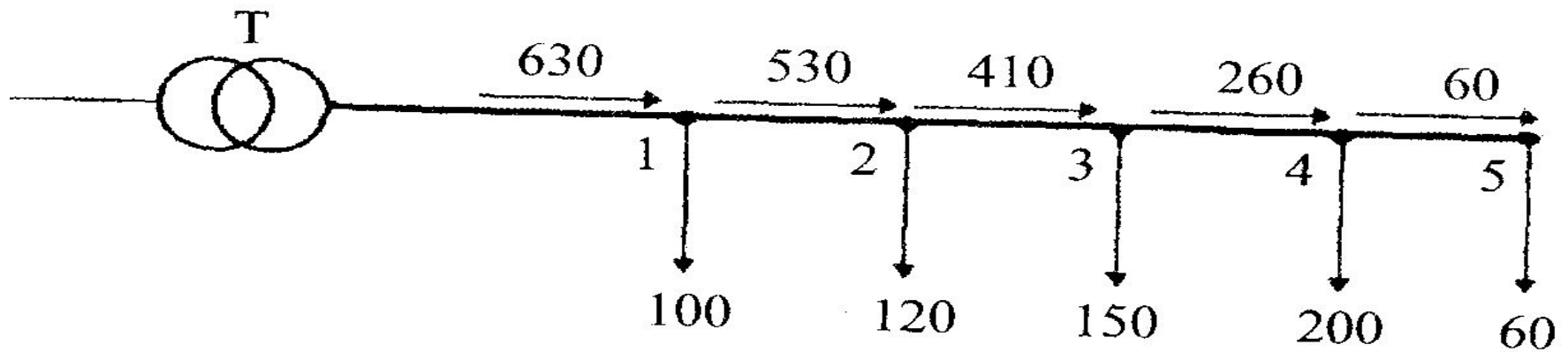
$r_{\text{ш}i}$ – сопротивление участков шинпровода между узлами.

Допускается заменять соответствующими длинами участков.

5. Уточняем расчетную мощность ближней КУ.

$$Q_{\text{кн}1} = Q_{\text{кн}} - Q_{\text{кн}2}$$

Определить точки присоединения к МШ
двух БНК. Ближняя БНК имеет
мощность 150 кВар, дальняя БНК 200
квар.



Р е ш е н и е: 1.Находим место установки дальней БНК

$$\text{Узел 5 } 60 < 200 > 0$$

$$\text{Узел 4 } 260 > 200 > 60$$

$$\text{Узел 3 } 410 > 200 < 260$$

Таким образом, оптимальным местом подключения дальней БНК является узел 4.

2. Определяется место подключения к МШ ближней БНК

$$\text{Узел 1 } 630-200 > 150/2 < 530-200$$

$$\text{Узел 2 } 530-200 > 150/2 < 410-200$$

$$\text{Узел 3 } 410-200 > 150/2 > 260-200$$

$$\text{Узел 4 } 260-200 < 150/2 > 60-200$$

Ближняя БНК мощностью 150 квар должна быть подключена в узле 3.

Определить точки присоединения к МШ
двух БНК общей мощностью 350 квар

1. $Q_{нк}^1 = Q_{нк}^2 = 350/2 = 175$ квар

2. Определяем место установки
дальней БНК

Узел 5 $60 < 175 > 0$

Узел 4 $260 > 175 > 60$

3. Определяем место установки ближней БНК

$$\text{Узел 1 } 630-175 > 175/2 < 530-175$$

$$\text{Узел 2 } 530-175 > 175/2 < 410-175$$

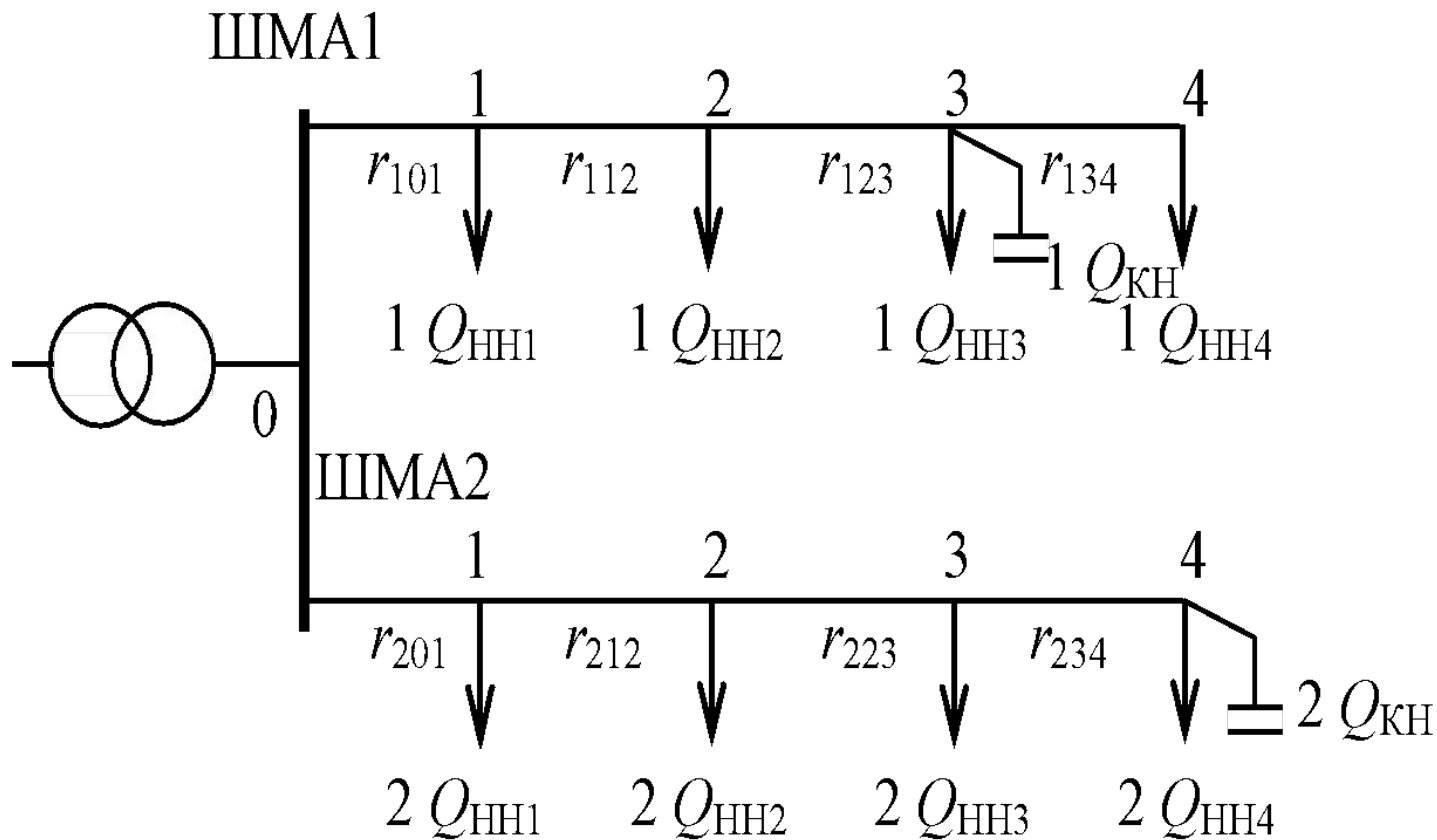
$$\text{Узел 3 } 410-175 > 175/2 > 260-200$$

4. Определяем мощность установок

$$Q_{\text{НК}}^2 = (60 \times 50 + 200 \times 50) / 260 = 123 \text{ квар}$$

$$Q_{\text{НК}}^1 = 350 - 123 = 227 \text{ квар}$$

Распределение мощности КУ для радиально – магистральной схемы



При определении суммарной мощности КУ между двумя ШМА расчет выполняется в следующем порядке:

1. Определяется эквивалентное сопротивление каждого шинпровода

$$r_{\text{ЭКВ}} = \sum r_i$$

2. Определяется реактивная нагрузка каждого шинпровода

$$Q_{\text{ЭКВ}1} = \sum Q_{\text{нн}i} \cdot r_i / \sum r_i$$

3. Определяется реактивная нагрузка всей схемы

$$Q_{\text{ЭКВ}} = Q_{\text{Э}_{\text{КВ1}}} + Q_{\text{Э}_{\text{КВ2}}}$$

4 Определим эквивалентное сопротивление расчетной схемы

5. Определяем реактивную (не скомпенсированную) нагрузку через трансформатор

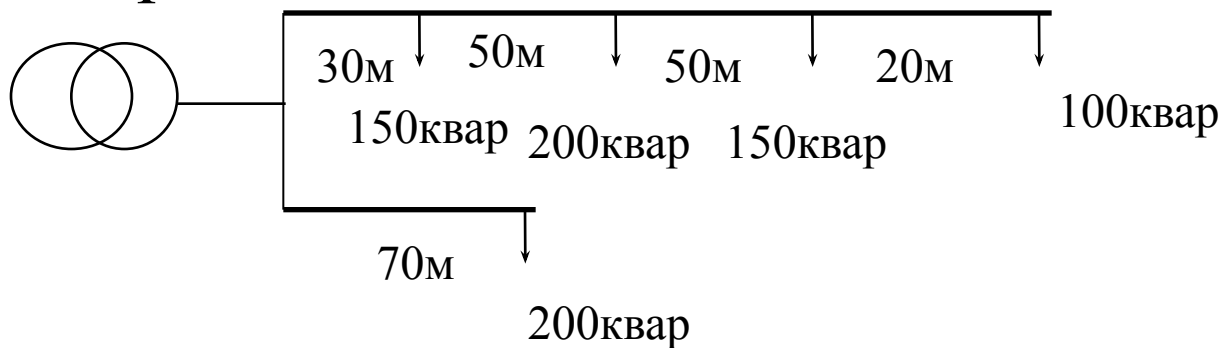
$$Q_{\text{Т}} = Q_{\text{ЭКВ}} - Q_{\text{КН}}$$

6. Определяем мощность КУ каждого шинопровода

$$Q_{\text{кн1}} = Q_{\text{экв1}} - Q_{\text{T}} \left(R_{\text{экв}} / r_{\text{экв1}} \right)$$

7. Определяем точку присоединения конденсаторной установки

Распределить суммарную мощность конденсаторов ($Q_{\text{кн}\Sigma} = 300 \text{квар}$) между двумя магистральными шинопроводами



1. Эквивалентное сопротивление

$$r_1 = 20 + 50 + 50 + 30 = 150 \text{ м} \quad r_2 = 70 \text{ м}$$

2. Определяем эквивалентную реактивную нагрузку каждого шинпровода

$$Q_{\text{ЭКВ1}} = (100 \times 20 + 250 \times 50 + 450 \times 50 + 600 \times 30) / 150 = 367 \text{ квар}$$

$$Q_{\text{ЭКВ2}} = 200 \text{ квар}$$

3. Определяется реактивная нагрузка всей схемы

$$Q_{\text{ЭКВ}} = Q_{\text{ЭКВ1}} + Q_{\text{ЭКВ2}} = 367 + 200 = 567 \text{ квар}$$

4 Определим эквивалентное сопротивление расчетной схемы

$$R_{\text{ЭКВ}} = 1 / (1/150+1/70) =45,5$$

5. Определяем реактивную (не скомпенсированную) нагрузку через трансформатор

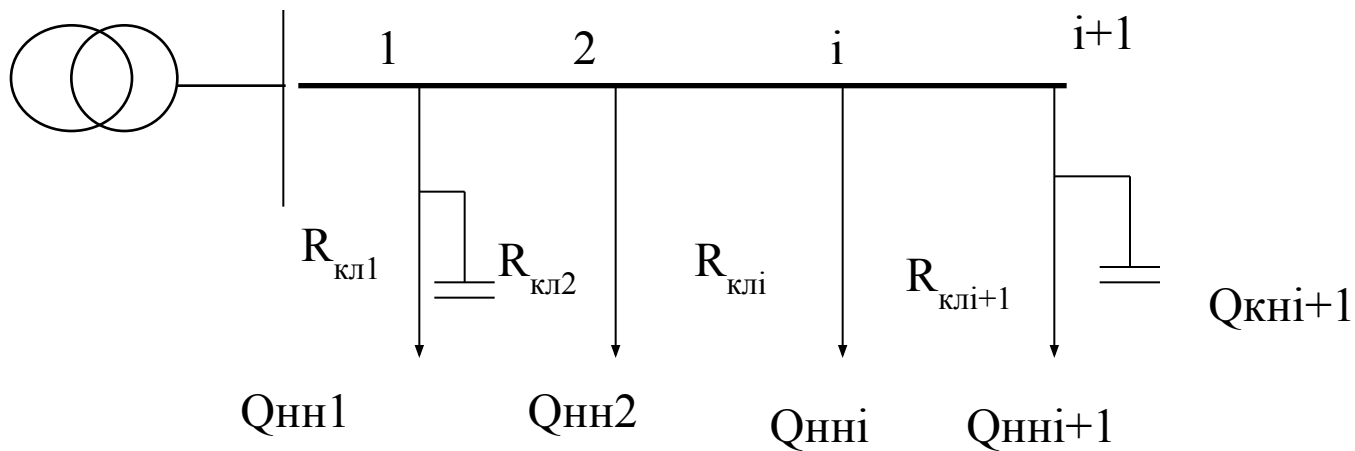
$$Q_T = Q_{\text{ЭКВ}} - Q_{\text{КН}}=567-300=267$$

6. Определяем мощность КУ каждого шинопровода

$$Q_{\text{КН1}} = Q_{\text{ЭКВ1}} - Q_T (R_{\text{ЭКВ}} / r_{\text{ЭКВ1}}) = 367-267(45,5/150)=186 \text{ квар}$$

$$Q_{\text{КН2}} = 300-186=114 \text{ квар}$$

Распределение мощности КУ для схемы с радиальными линиями



Допускается распределение мощности КУ между кабельными линиями пропорционально их реактивной нагрузке при условии:

- если длина радиальных линий менее 100м;
- при любых длинах радиальных линий, если разница между их сопротивлениями не превышает 200%.

Если это условие не выполняется, распределение мощности КУ между кабельными линиями выполняется по формуле:

$$Q_{кнi} = Q_{ннi} - (Q_{нн} - Q_{кн}) (R_{экв} / r_i)$$

$Q_{ннi}$ – расчетная реактивная нагрузка радиальной линии;

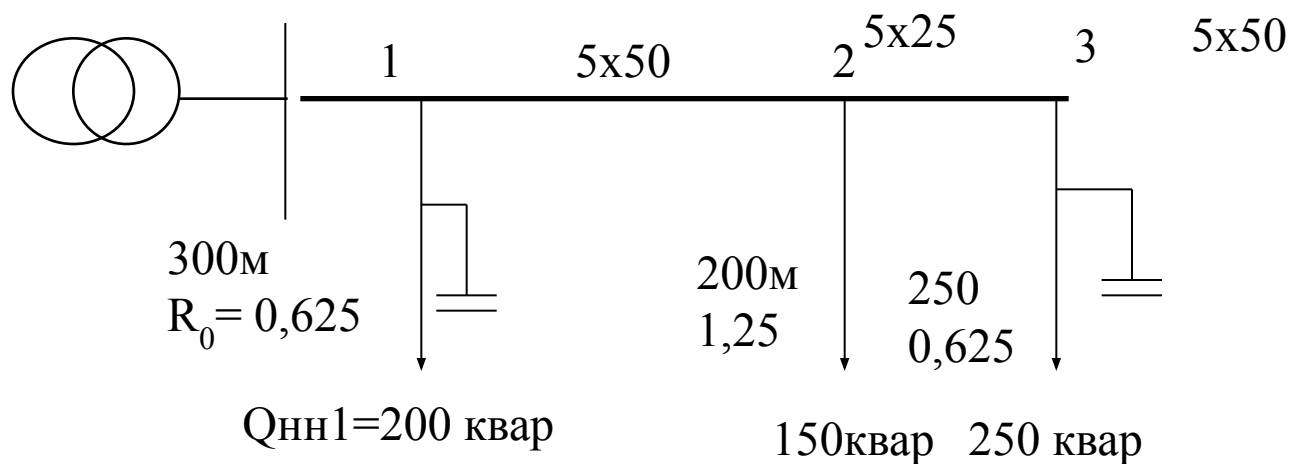
$Q_{нн}$ – суммарная реактивная нагрузка трансформатора;

$Q_{кн}$ – суммарная мощность компенсирующих устройств на напряжение до 1000 В

$R_{экв}$ – эквивалентное сопротивление расчетной схемы;

r_i – активное сопротивление радиальной линии.

Распределить суммарную мощность конденсаторов ($Q_{\text{кн}\Sigma} = 300 \text{квар}$)
 между радиальными линиями



1. Определяем сопротивление каждой линии

$$R_1 = 0,625 \times 0,3 = 0,188 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 1,25 \times 0,2 = 0,25 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 0,625 \times 0,25 = 0,157 \text{ Ом}$$

2. Определяем эквивалентное сопротивление системы

$$R_{\text{э}} = 1 / (1/0,188 + 1/0,25 + 1/0,157) = 0,064 \text{ Ом}$$

3. Определяем НКУ по линиям

$$Q_{\text{кн1}} = Q_{\text{нн i}} - (Q_{\text{нн}} - Q_{\text{кн}}) (R_{\text{экв}} / r_i) =$$

$$200 - (600 - 300) 0,064 / 0,188 = 97,9$$

$$Q_{\text{кн2}} = 150 - (600 - 300) 0,064 / 0,25 = 73,3$$

$$Q_{\text{кн3}} = 250 - (600 - 300) 0,064 / 0,157 = 127,8$$

**Оптимальное расстояние от шин
напряжением до 1000В КТП до
точки присоединения
конденсаторной установки**

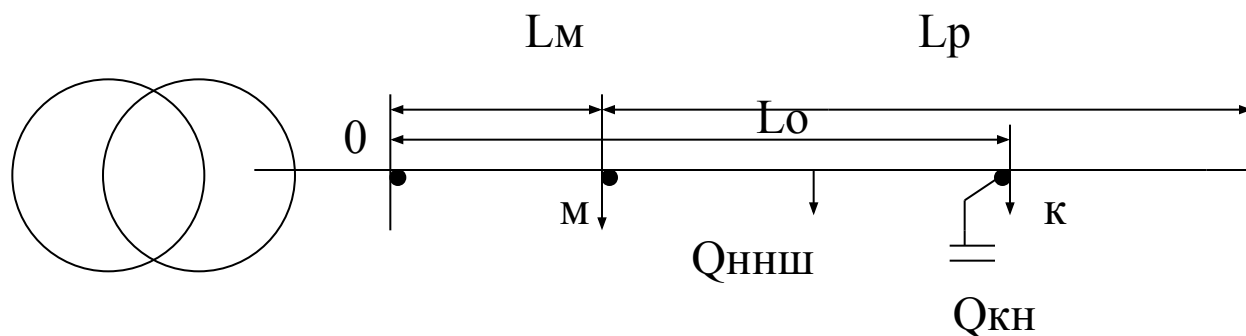
Определяется по формуле:

$$L_0 = L_M + \left(1 - \frac{Q_{кн}}{2 Q_{нш}} \right) L_p$$

где L_M - длина до магистрального шинпровода

L_p – длина распределительной части шинпровода;

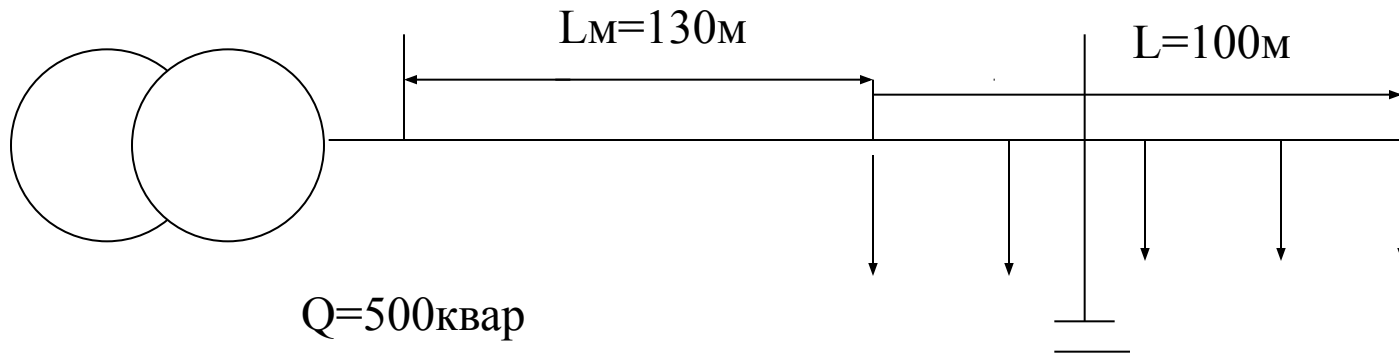
$Q_{нш}$ – суммарная расчетная реактивная нагрузка шинпровода.



Пример

Нагрузка участка цеха, присоединенного к шинопроводу длиной 230 м и равномерно распределена на его участке длиной $L=100\text{м}$, длина магистральной части шинопровода (до начала ответвлений) $L_m = 130\text{м}$, суммарная реактивная мощность нагрузки $Q = 500\text{квар}$. Расчетная оптимальная мощность установленной батареи конденсаторов $Q_c = 400\text{квар}$.

Определить расстояние от ТП до места установки батареи конденсаторов из условия минимума потерь в шинопроводе.



$$L_o = L_M + (1 - Q_c / 2Q) L$$

$$L_o = 130 + (1 - 400 / 2 \times 500) \times 100 = 190\text{M}$$