

Компенсация реактивной мощности

Конденсаторные батареи

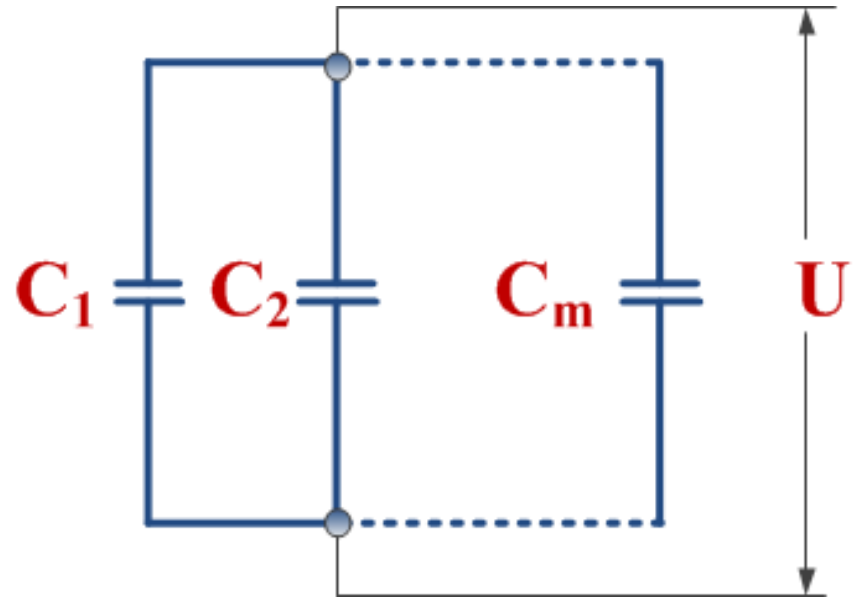
Характеристики КБ

1. Ёмкость конденсатора

При параллельном соединении

▶ $C = C_1 + C_2 + \dots + C_m,$

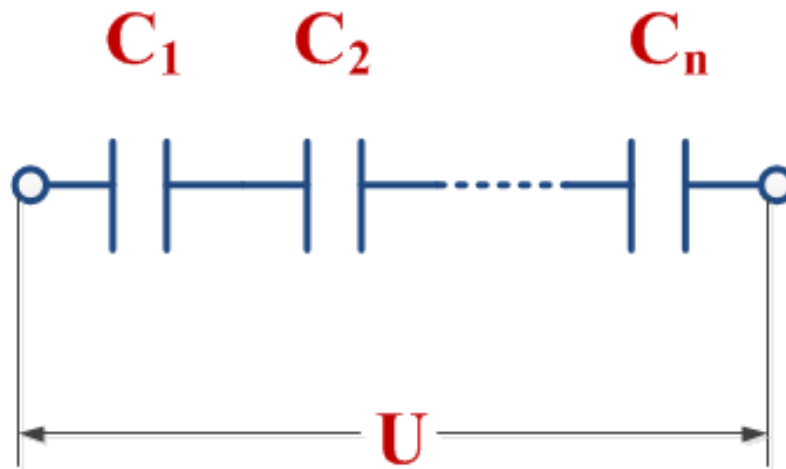
- ▶ где C – общая ёмкость;
- ▶ $C_1 \dots C_m$ – ёмкость отдельных секций;
- ▶ m – общее кол-во секций.



При последовательном соединении

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

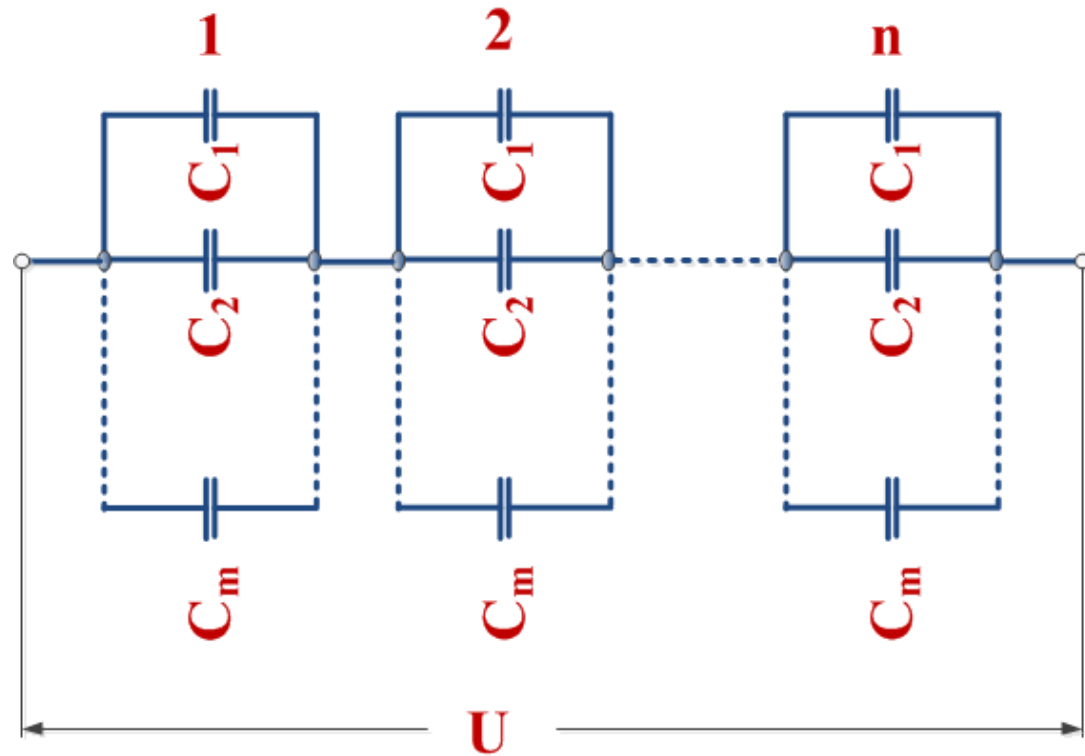
- ▶ n – общее кол-во секций.



При последовательно-параллельном соединении

$$C = \frac{m}{n} C_0$$

- ▶ где C_0 – емкость конденсатора;
- ▶ n – число последовательно соединенных групп;
- ▶ m – число параллельно соединенных групп.



2. Мощность конденсатора

$$Q = Q_{\text{НОМ}} \left(\frac{U_c}{U_{\text{НОМ}}} \right)^2, \text{ кВАр}$$

- ▶ Q , кВАр – фактическая мощность конденсатора;
- ▶ $Q_{\text{НОМ}}$, кВАр – номинальная мощность конденсатора;
- ▶ U_c , кВ – фактическое (либо номинальное) напряжение сети;
- ▶ $U_{\text{НОМ}}$, кВ – номинальное напряжение конденсатора.



Мощность конденсаторной установки

Трехфазная КУ,
соединенная Δ

$$Q = \omega \cdot C \cdot U^2 \cdot 10^{-3}, \text{кВАр}$$

$$\omega = 2\pi f$$

Трехфазная КУ,
соединенная в звезду

$$Q = \frac{1}{3} \omega \cdot C \cdot U^2 \cdot 10^{-3}, \text{кВАр}$$

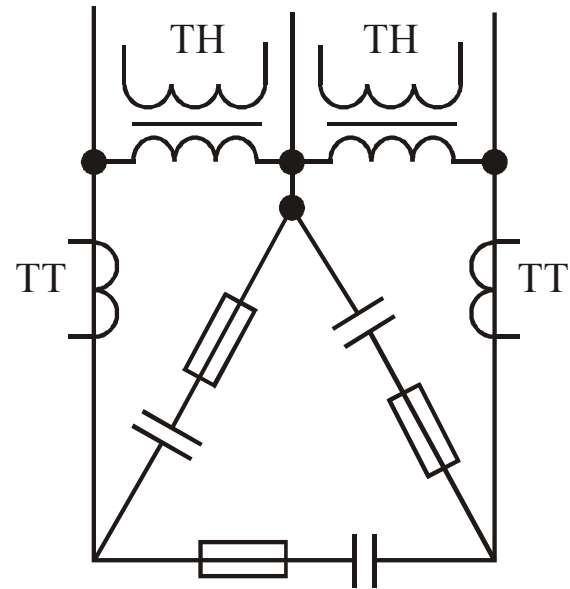
- ▶ **C**, мкФ – суммарная емкость всех трех фаз КУ;
- ▶ **U**, кВ – линейное напряжение, кВ.



Разрядное сопротивление

$$R \leq 15 \cdot \frac{U_{\phi}^2}{Q} \cdot 10^6, \text{ Ом}$$

► Подключение сопротивлений для разряда КУ

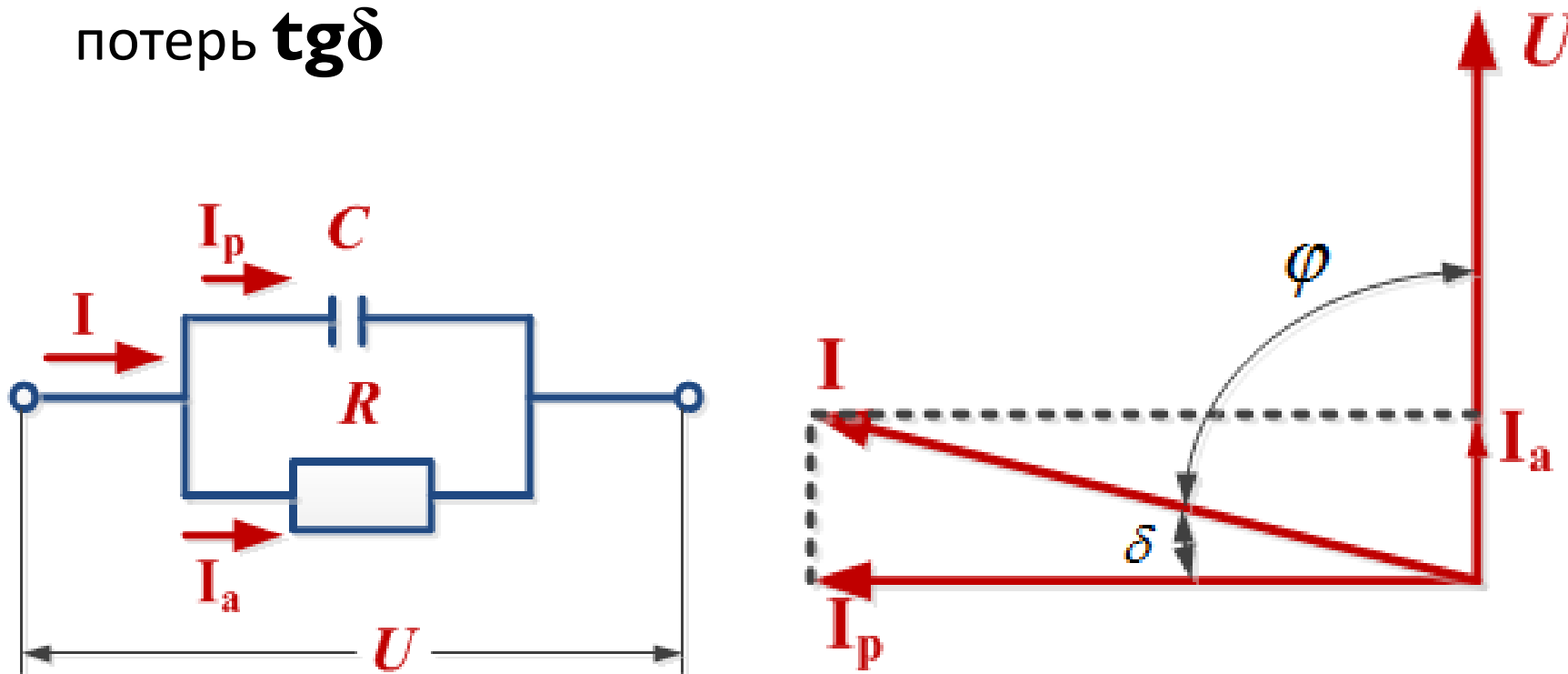


► Схема включения разрядных сопротивлений (ТН – трансформаторы напряжения) открытым треугольником



3. Потери энергии в конденсаторе

- Общие потери энергии в конденсаторе характеризуются тангенсом угла диэлектрических потерь $\mathbf{tg\delta}$



$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{P}{Q}, \text{ кВт/кВАр}$$

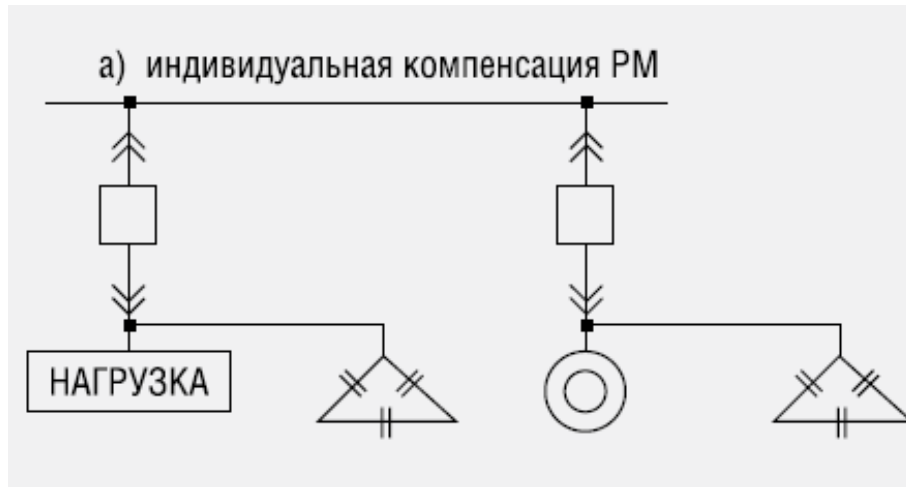
- ▶ Углом диэлектрических потерь называют угол δ , дополняющий до 90 градусов угол сдвига фаз φ между током и напряжением в емкостной цепи.
- ▶ В случае идеального диэлектрика вектор тока в такой цепи опережает вектор напряжения на угол 90 градусов ; при этом угол δ равен нулю.
- ▶ Чем больше рассеивается в диэлектрике мощность, тем меньше угол сдвига фаз φ и тем больше угол диэлектрических потерь δ и значение функции $\operatorname{tg} \varphi$.



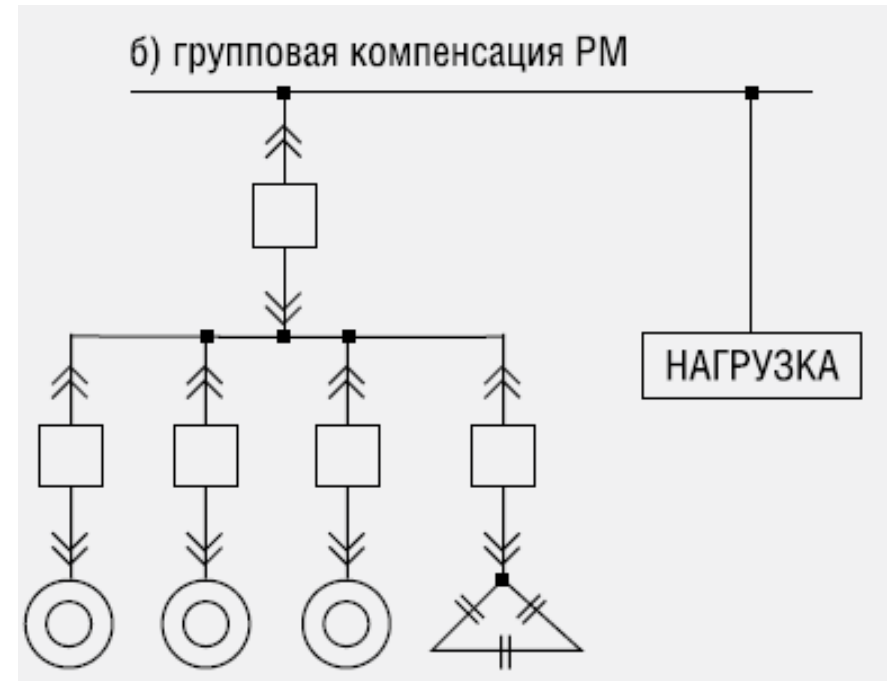


Виды компенсации РМ

Индивидуальная КРМ

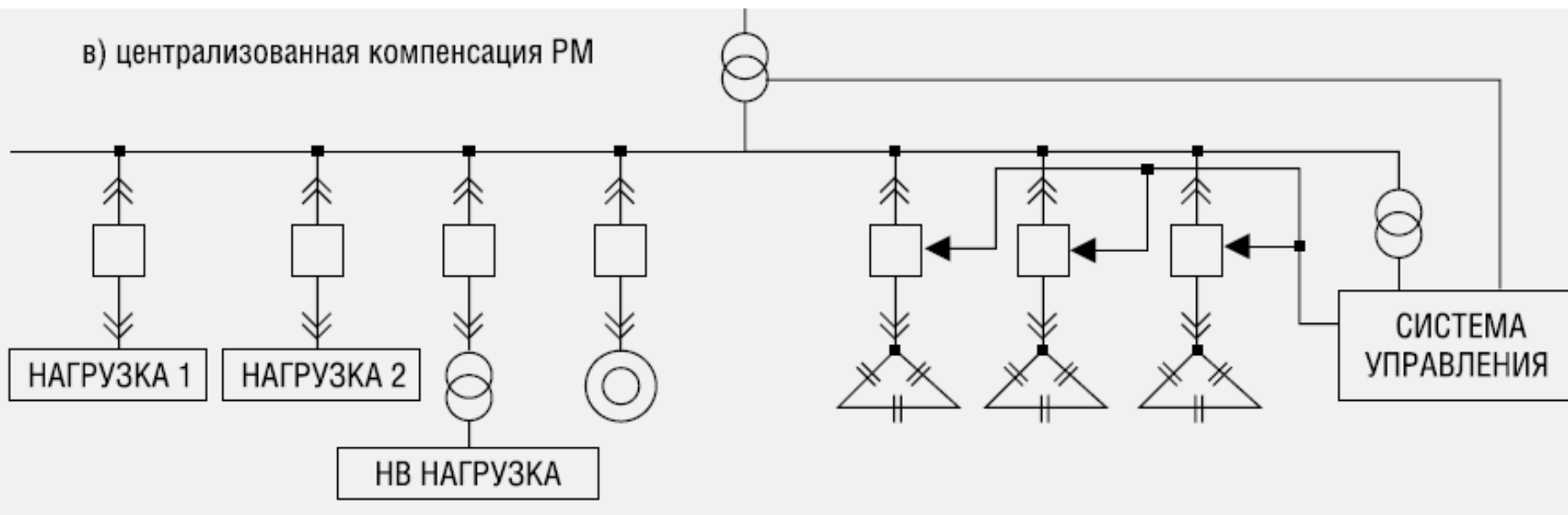


Групповая КРМ



Централизованная КРМ

в) централизованная компенсация РМ



РАЗМЕЩЕНИЕ КОНДЕНСАТОРНЫХ БАТАРЕЙ



I. Размещение КБ при организации электроснабжения радиальными линиями

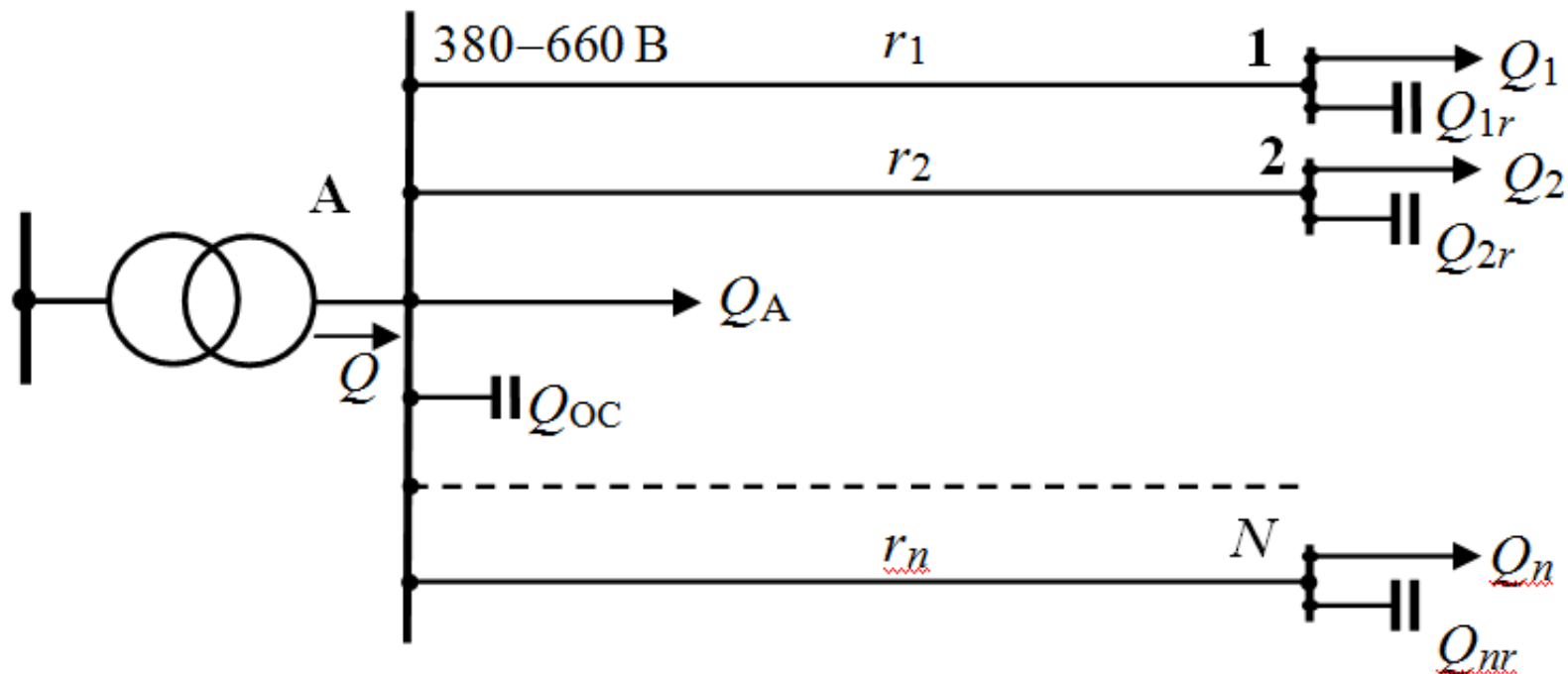
Два случая

1.1. Суммарная мощность всех БК
(определенная из баланса РМ) больше
суммы реактивных нагрузок всех
распределительных пунктов:

$$Q_{\Sigma \text{ БК}} > \sum_{i=1}^n Q_i$$



Размещение КБ при организации электроснабжения радиальными линиями



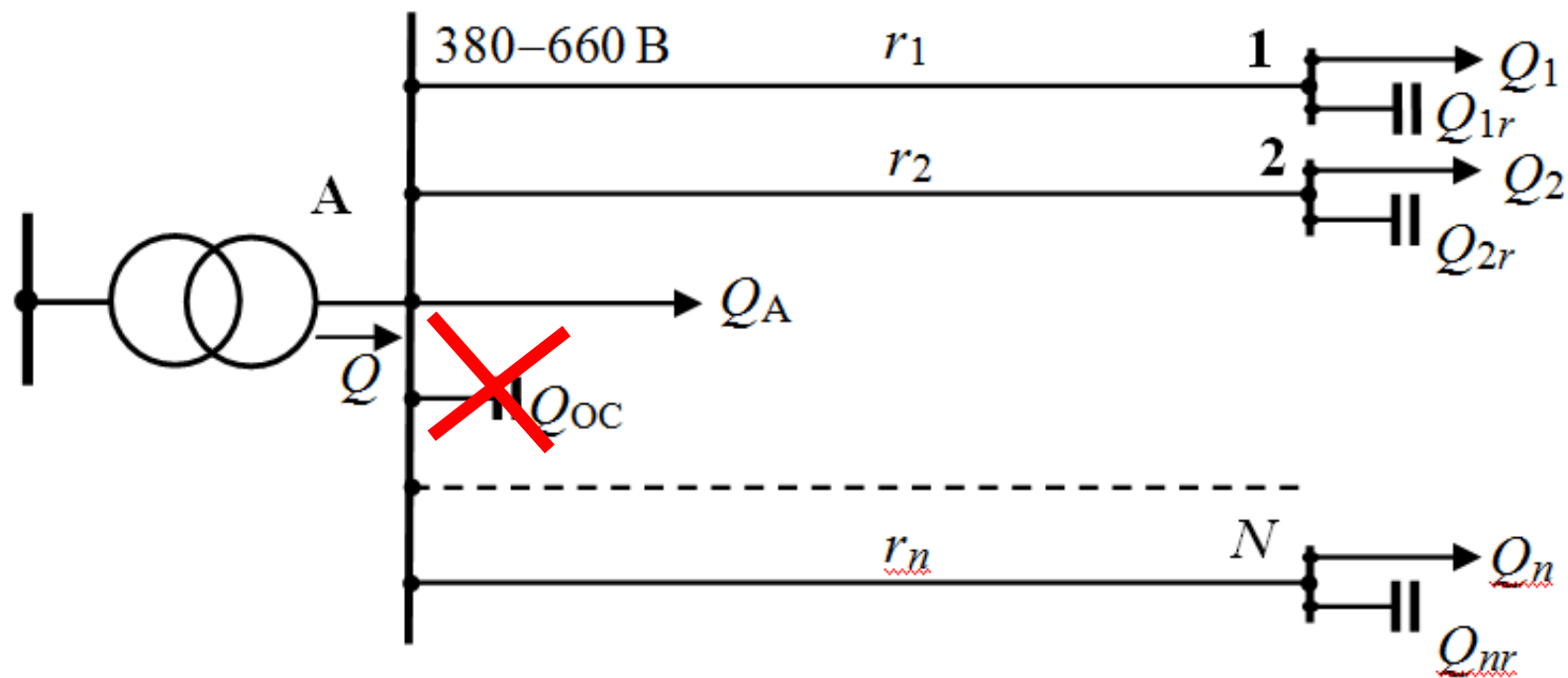
-
- ▶ К шине «А» распределительного пункта также должна быть присоединена БК.
 - ▶ Для каждого распределительного пункта выбираются БК, мощность которых по возможности равна реактивной нагрузке РП.



1.2. Суммарная мощность БК меньше или равна сумме реактивных нагрузок распределительных пунктов

$$Q_{\Sigma \text{ бк}} \leq \sum_{i=1}^n Q_i$$





Алгоритм распределения КБ

1. Распределение реактивной мощности осуществляется по формуле

искомая мощность Q
 n -й линии,
передаваемая
со стороны
6–10 кВ

$$n_i = \frac{Q \sum \text{бк} \cdot r_{\text{Э}}}{r_i}$$

эквивалентное
сопротивление сети
напряжением до
1000 В

мощность, полученная
в результате ТЭО и
передаваемая со
стороны
6–10кВ на сторону 0,4 кВ

сопротивление
радиальной линии,
питающей узел
присоединения нагрузок



► Эквивалентное сопротивление

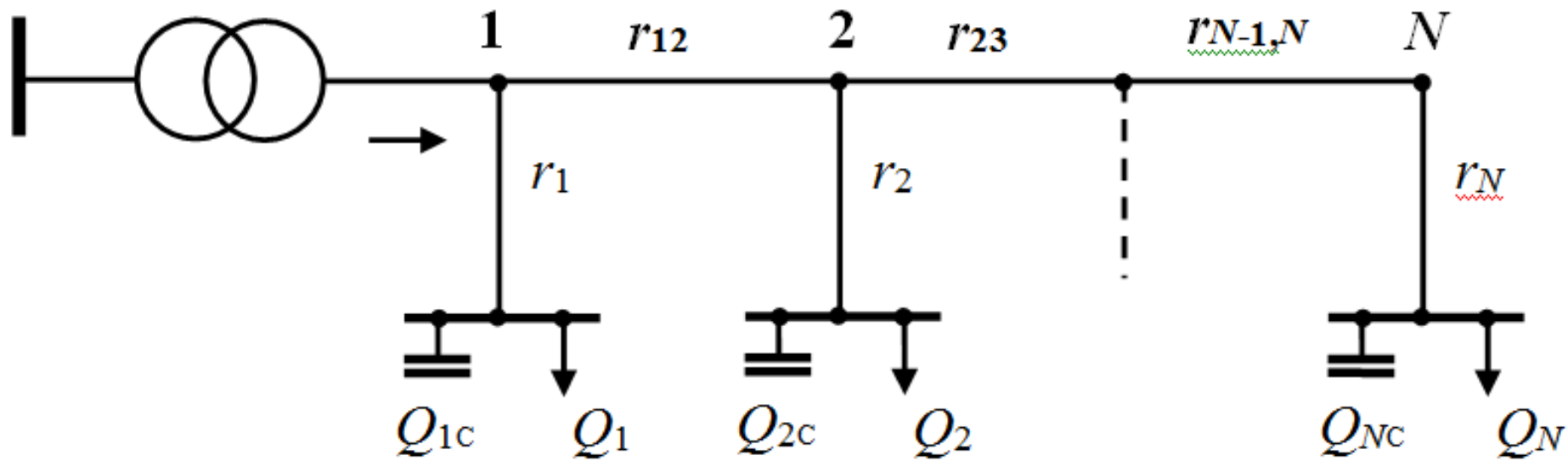
$$r_{\text{ЭК}} = \frac{1}{1/r_1 + 1/r_2 + \dots + 1/r_n}$$

сопротивления участков радиальной сети



II. Электроснабжение токопроводом с ответвлениями

Два случая



2.1. Длина ответвлений от токопровода невелика и потерями электроэнергии в этих ответвлениях можно пренебречь по сравнению с потерями в значительно более нагруженных участках токопровода.

БК размещают, начиная с наиболее удаленного РП, так, чтобы реактивные нагрузки участков токопровода были наименьшими.



2.2. Длина ответвлений от токопровода
значительна и сопротивления этих
ответвлений должны учитываться.

$$r_{\text{Э}12} = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2}.$$

Производится
последовательное
эквивалентирование
схемы, начиная с конца
токопровода

Схема преобразуется до одного сопротивления



-
- ▶ Далее производится распределение реактивных нагрузок по участкам токопровода и ответвлениям: от начала – до последнего ответвления токопровода

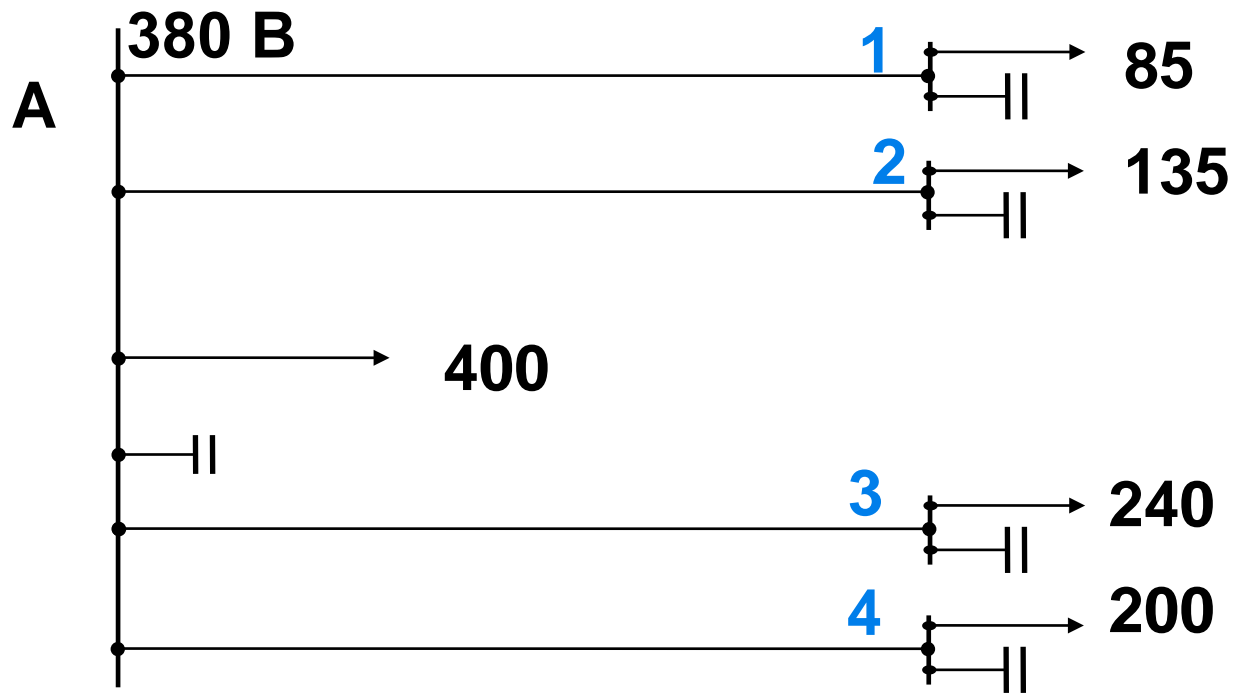
$$Q_{ni} = \frac{Q \sum b_k \cdot r_{\text{э}}}{r_i}$$





ПРИМЕРЫ

Пример 1



► Рисунок к примеру 1

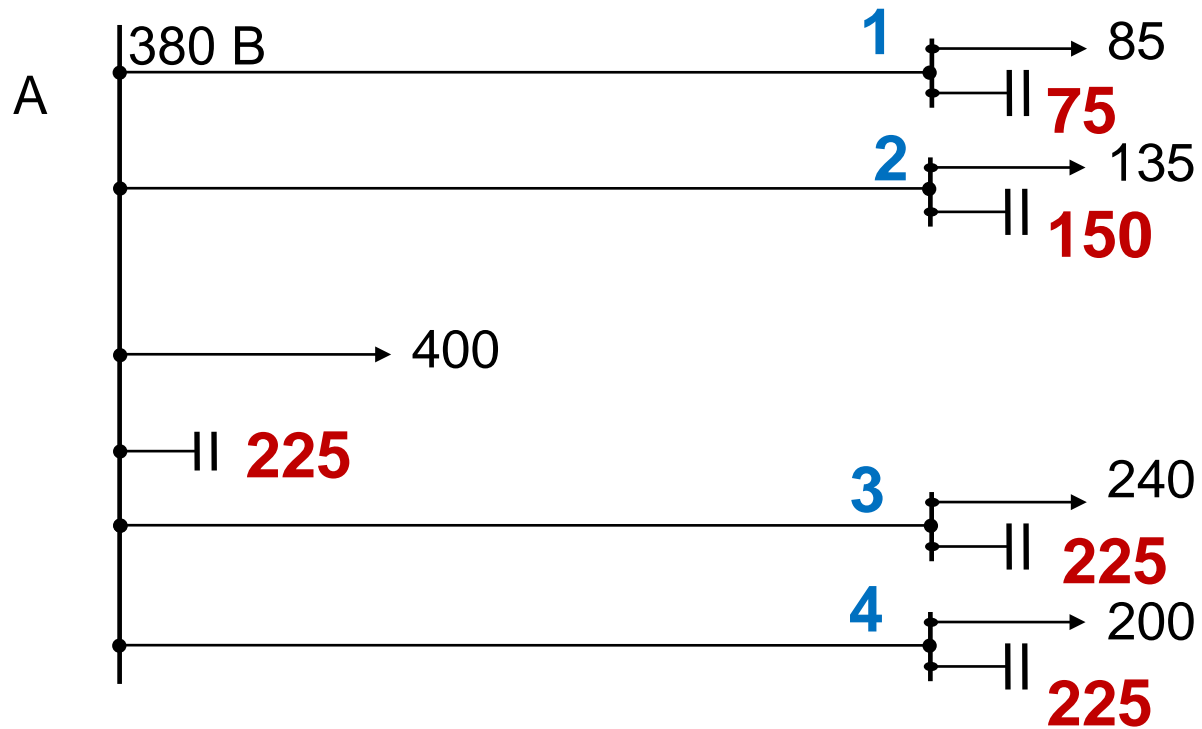


Условие

- ▶ Оптимальная величина суммарной мощности устанавливаемых БК составляет $Q_{\Sigma BK} = 900$ кВАр. Определить мощность БК, присоединяемых к шинам «А» РП и распределительных пунктов, при которой эффект снижения потерь в сети напряжением 380 В был бы максимальным.
Шкала номинальных мощностей комплектных БК: **75, 150, 225, 450 кВАр.**



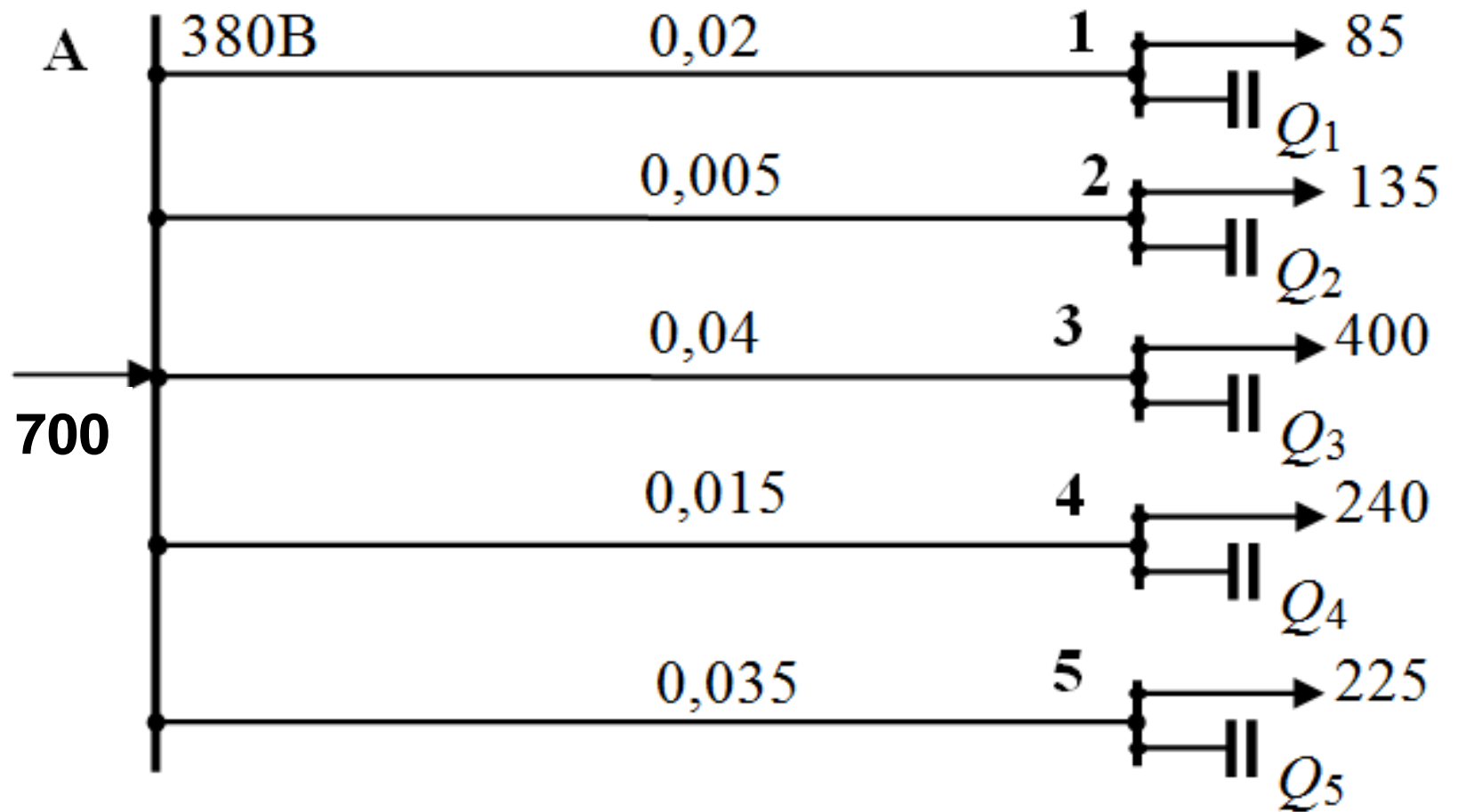
Решение



Пример 2

- ▶ Определить мощность БК для схемы, представленной далее, на которой указаны сопротивления радиальных линий и реактивные нагрузки распределительных пунктов, если суммарная мощность БК составляет $Q_{\Sigma \text{БК}} = 700$ кВАр.





Решение

1. Определяем эквивалентное сопротивление сети

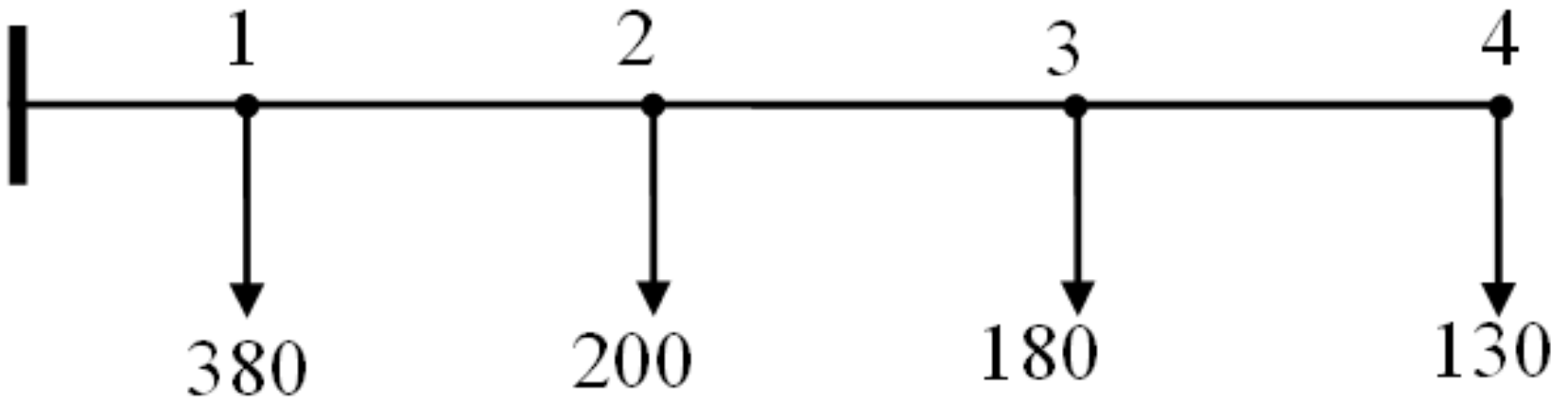
$$r_{\text{Э}} = \frac{1}{1/0,02 + 1/0,005 + 1/0,04 + 1/0,015 + 1/0,035} = 0,0027 \text{ Ом.}$$



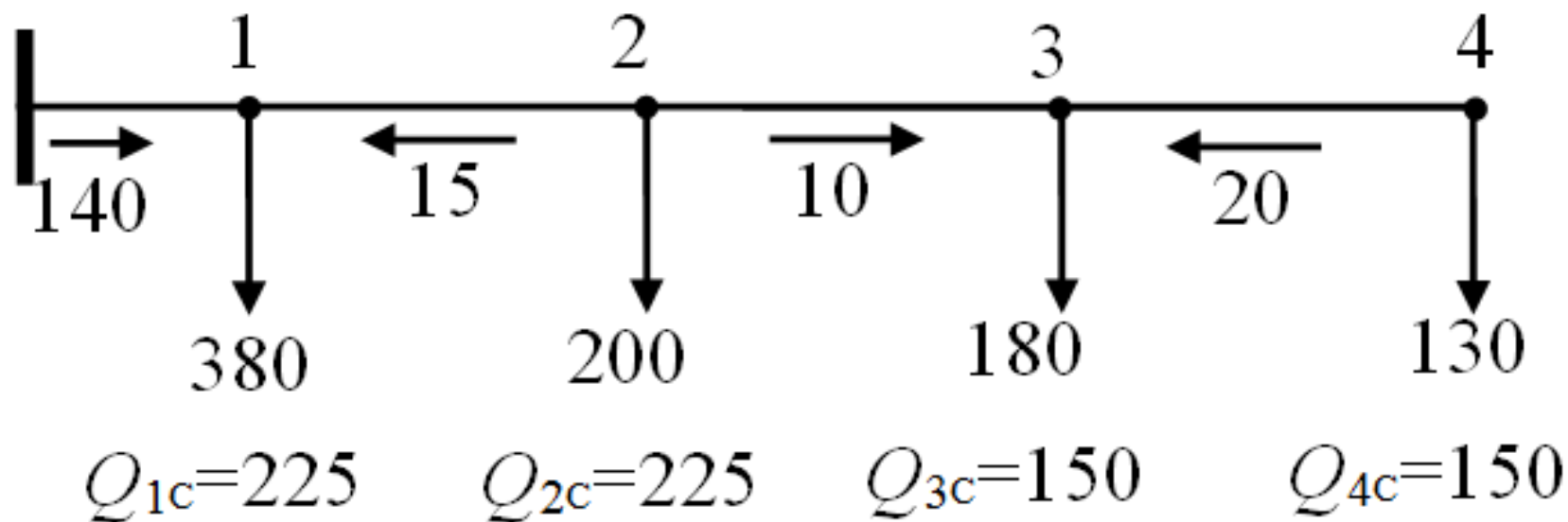
Пример 3

- ▶ Представлена схема токопровода с указанием реактивных нагрузок (кВАр).
Определить мощность БК, присоединяемых в точках 1, 2, 3 и 4, если $Q_{\Sigma \text{БК}} = 770$ кВАр и сопротивлениями ответвлений можно пренебречь.
- ▶ Шкала номинальных мощностей БК:
75, 150, 225, 450 кВАр.





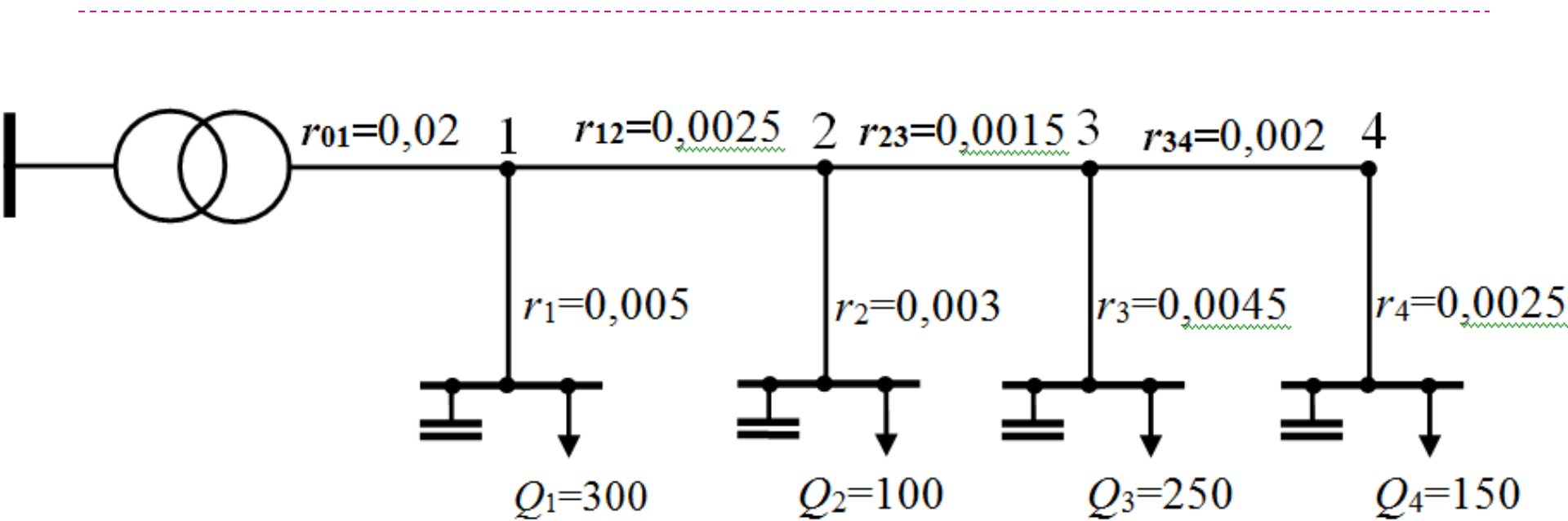
Решение



Пример 4

- ▶ Представлена схема токопровода с ответвлениями к распределительным пунктам. Сопротивления участков сети (Ом) и реактивные нагрузки (кВАр) указаны на рисунке. Определить мощность БК, если $Q_c = 600$ кВАр.
- ▶ Шкала номинальных мощностей БК:
75, 150, 225, 450 кВАр.





Решение – вариант 1

- ▶ Последовательно определяем эквивалентные сопротивления сети:

- ▶ относительно точки 3

$$R_{\text{Э}3} = \frac{(0,002 + 0,0025) \cdot 0,0045}{(0,002 + 0,0025) + 0,0045} = 0,00225 \text{ Ом}$$

- ▶ относительно точки 2

$$R_{\text{Э}2} = \frac{(0,0015 + 0,00225) \cdot 0,003}{(0,0015 + 0,00225) + 0,003} = 0,00167 \text{ Ом};$$



Решение

- ▶ относительно точки 1

$$r_{\Sigma 1} = \frac{(0,0025 + 0,00167) \cdot 0,005}{(0,0025 + 0,00167) + 0,005} = 0,00227 \text{ Ом.}$$

- ▶ Допустим реактивная нагрузка на участке токопровода 0–1:

$$Q_{0-1} = 600 \text{ кВАр.}$$

- ▶ Определяем реактивную нагрузку, передаваемую по ответвлению 1

$$Q_1 = \frac{600 * 0,00227}{0,005} = 272,4 \text{ кВАр.}$$



Решение

- ▶ Расчетная мощность БК, присоединяемой к пункту 1:
 - ▶ $Q_{\text{БКр}} = 300 - 272,4 = 28$ кВАр.
 - ▶ Так как номинальная мощность БК задана стандартным рядом, то на данное ответвление БК не устанавливаем.
 - ▶ Тогда на участке 1–2 токопровода будет протекать мощность
 - ▶ $Q_{1-2} = 600 - 300 = 300$ кВАр.



-
- ▶ Определяем реактивную нагрузку, передаваемую по ответвлению 2:

$$Q_2 = \frac{300 * 0,00167}{0,003} = 167 \text{ кВАр.}$$

- ▶ Расчетная мощность БК, присоединяемой к пункту 2:

$$Q_{\text{БКр}} = 100 - 167 = -67 \text{ кВАр.}$$

- ▶ БК к пункту 2 ставить не надо. Тогда по участку 2-3 токопровода будет протекать мощность:

- ▶ $Q_{2-3} = 300 - 100 = 200 \text{ кВАр.}$



-
- ▶ Определяем реактивную нагрузку, передаваемую по ответвлению 3:

$$Q_3 = \frac{200 * 0,0027}{0,0045} = 120 \text{кВАр.}$$

- ▶ Расчетная мощность БК, присоединяемой к пункту 3:

$$Q_{\text{БКр}} = 250 - 120 = 130 \text{кВАр.}$$

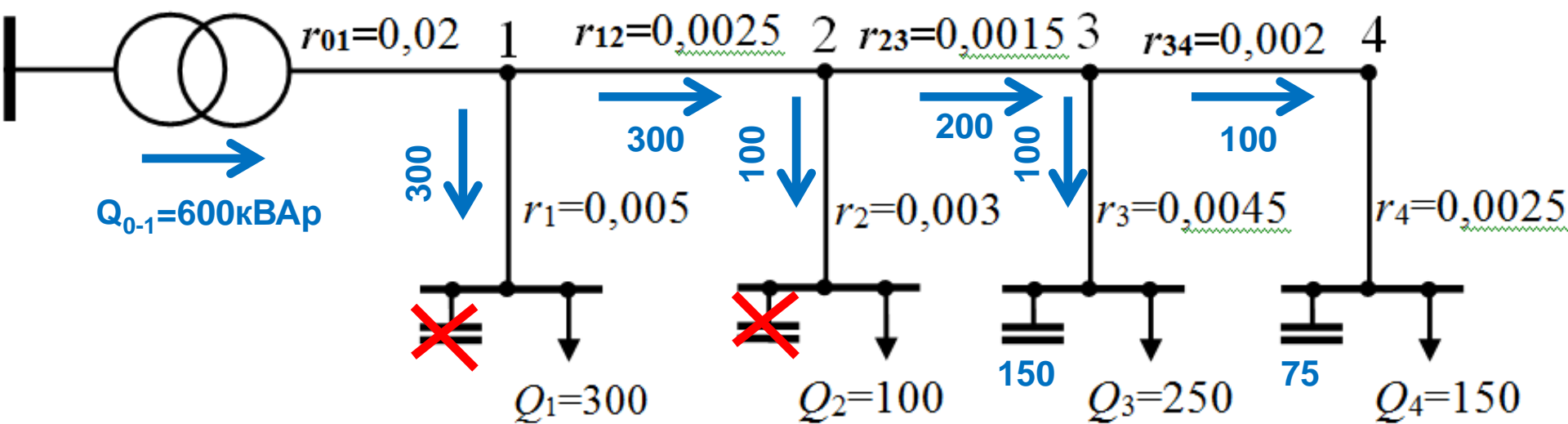
- ▶ К пункту 3 устанавливаем БК мощностью 150 кВАр.
- ▶ Тогда по участку 3-4 токопровода будет протекать мощность:

- ▶ $Q_{3-4} = 200 - 100 = 100 \text{кВАр.}$



-
- ▶ Реактивная нагрузка, передаваемая по ответвлению 4 равна перетоку $Q_{3-4} = 100 \text{кВАр}$.
 - ▶ Расчетная мощность БК, присоединяемой к пункту 4:
$$Q_{\text{БКр4}} = 150 - 100 = 50 \text{кВАр}.$$
 - ▶ К пункту 4 устанавливаем БК мощностью 75 кВАр.
 - ▶ В результате имеем перекомпенсацию в 25кВАр так как вместо требуемых 200кВАр мощности установлены БК на суммарную мощность 225 кВАр.





► Распределение БК – вариант 1



Решение – вариант 2

- ▶ относительно точки 1

$$r_{\Sigma 1} = \frac{(0,0025 + 0,00167) \cdot 0,005}{(0,0025 + 0,00167) + 0,005} = 0,00227 \text{ Ом.}$$

- ▶ Допустим реактивная нагрузка на участке токопровода 0–1:

$$Q_{0-1} = 300 + 100 + 250 + 150 - 600 = 200 \text{ кВАр.}$$

- ▶ Определяем реактивную нагрузку, передаваемую по ответвлению 1

$$Q_1 = \frac{200 * 0,00227}{0,005} = 91 \text{ кВАр.}$$



Решение

- ▶ Расчетная мощность БК, присоединяемой к пункту 1:

- ▶ $Q_{\text{БКр}} = 300 - 91 = 209$ кВАр.

- ▶ Устанавливаем БК мощностью 225 кВАр.

- ▶ Тогда в ответвлении 1 будет протекать мощность:

- ▶ $Q_1 = 300 - 225 = 75$ кВАр.

- ▶ На участке 1–2 токопровода:

- ▶ $Q_{1-2} = 200 - 75 = 125$ кВАр.

- ▶ Реактивная нагрузка в ответвлении 2:

$$Q_2 = \frac{125 \cdot 0,00167}{0,003} = 70 \text{ кВАр.}$$



-
- ▶ Расчетная мощность БК, присоединяемой к пункту 2:

$$Q_{\text{БКр2}} = 100 - 70 = 30 \text{ кВАр.}$$

- ▶ БК к пункту 2 ставить не надо. Тогда по участку 2-3 токопровода будет протекать мощность:

- ▶ $Q_{2-3} = 125 - 100 = 25 \text{ кВАр.}$


- ▶ Реактивная нагрузка в ответвление 3:

$$Q_3 = \frac{25 \cdot 0,0027}{0,0045} = 15 \text{ кВАр.}$$

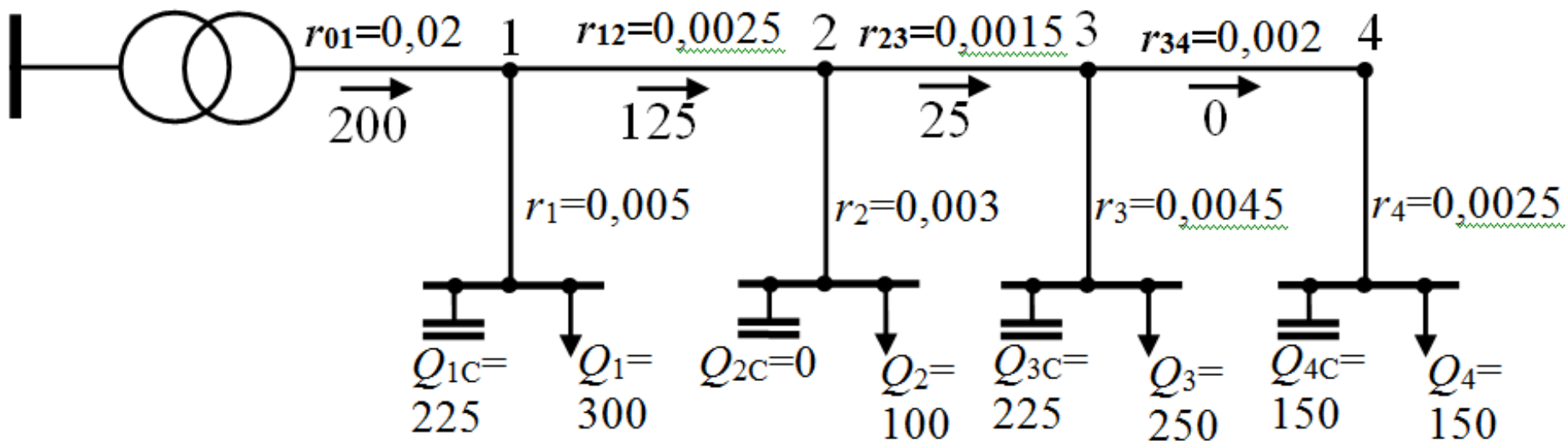


-
- ▶ Расчетная мощность БК, присоединяемой к пункту 3:

$$Q_{\text{БКр3}} = 250 - 15 = 235 \text{ кВАр.}$$

- ▶ К пункту 3 устанавливаем БК мощностью 225 кВАр.
 - ▶ Тогда по участку токопровода 3-4 будет передаваться 0кВАр.
 - ▶ К пункту 4 устанавливаем БК мощностью 150кВАр.
 - ▶ Вывод: установлено БК на $Q_{\Sigma\text{ном}} = 600\text{кВАр.}$
 - ▶ По линиям распределено 200 кВАр.
-
- 

Решение



**Выбор точки присоединения одной
БК к токопроводу в сети до 1000 В**

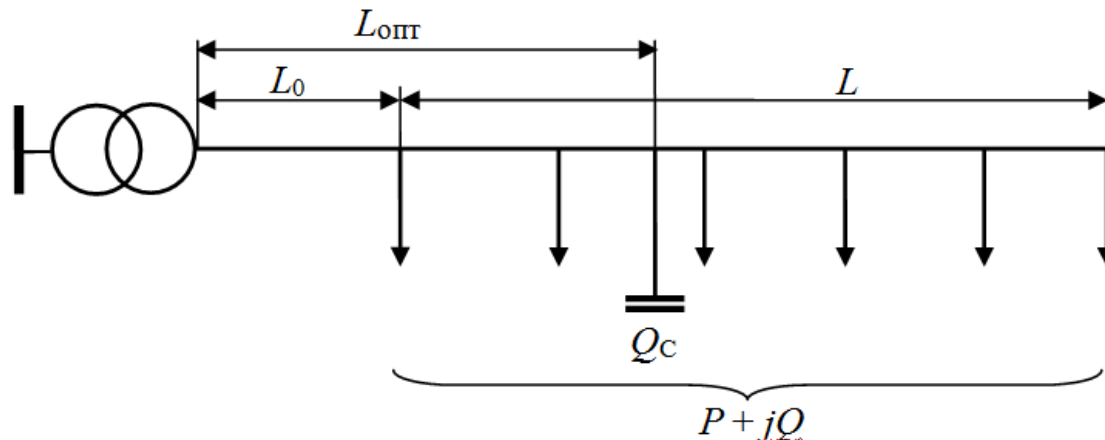
-
- ▶ Рассмотрим случай, когда по условию регулирования реактивной мощности устанавливается БК, мощность которой выбирается равной суммарной мощности всех средств компенсации и она должна быть присоединена в одной точке токопровода с равномерно распределенной нагрузкой
-



Оптимальное расстояние

$$L_{\text{ОПТ}} = L_0 + \left(1 - \frac{Q_c}{2 \cdot Q}\right) \cdot L,$$

- ▶ Q_c – мощность БК, кВАр;
- ▶ Q – суммарная реактивная нагрузка токопровода, кВАр;
- ▶ L_0 – длина магистральной части токопровода, м;
- ▶ L – длина распределительной части токопровода, м.



Пример 5

- ▶ Нагрузка цеха промышленного предприятия присоединяется к токопроводу и распределена равномерно на длине токопровода $L = 100$ м. Длина магистральной части токопровода $L_0 = 130$ м. Необходимо определить оптимальное место установки БК мощностью $Q_c = 400$ кВАр. Суммарная реактивная нагрузка токопровода $Q = 500$ кВАр.



Решение

$$L_{\text{опт}} = 130 + \left(1 - \frac{400}{2 \cdot 500}\right) \cdot 100 = 190 \text{ м.}$$

- ▶ На одиночном магистральном шинопроводе следует предусматривать установку не более двух близких по мощности конденсаторных установок.
- ▶ При питании от одного трансформатора двух или более магистральных шинопроводов к каждому из них присоединяется только по одной батарее напряжением до 1000 В. Общая расчетная мощность батарей распределяется между шинопроводами пропорционально их реактивным нагрузкам.

