

# **Компенсация реактивной мощности**

**Конденсаторные батареи**

# Характеристики КБ

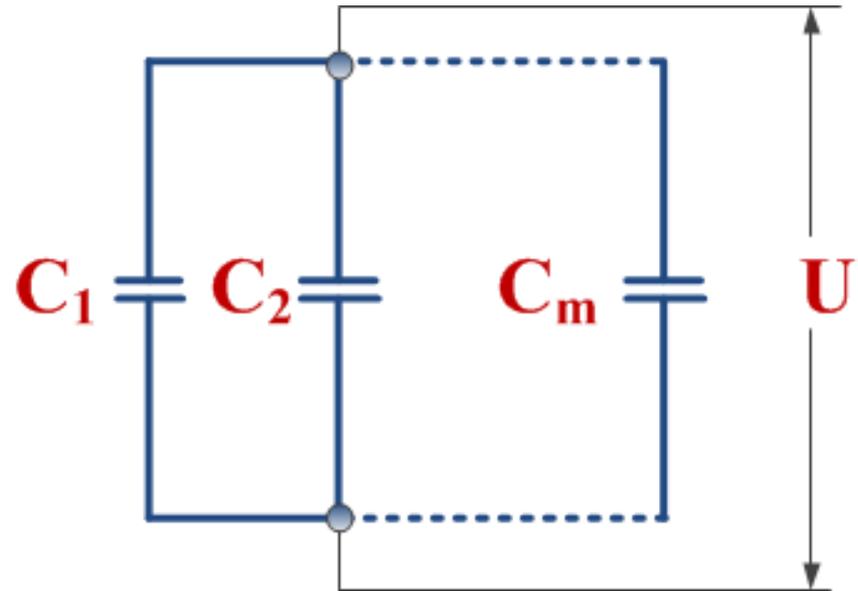
## 1. Ёмкость конденсатора

---

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.

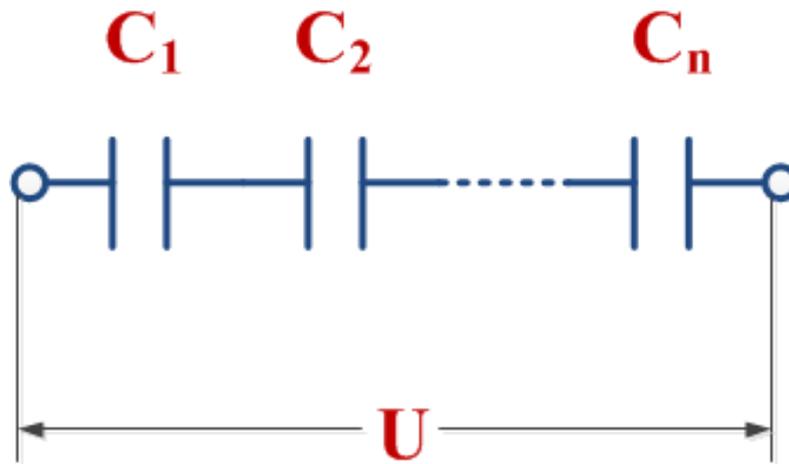


---

## При последовательном соединении

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

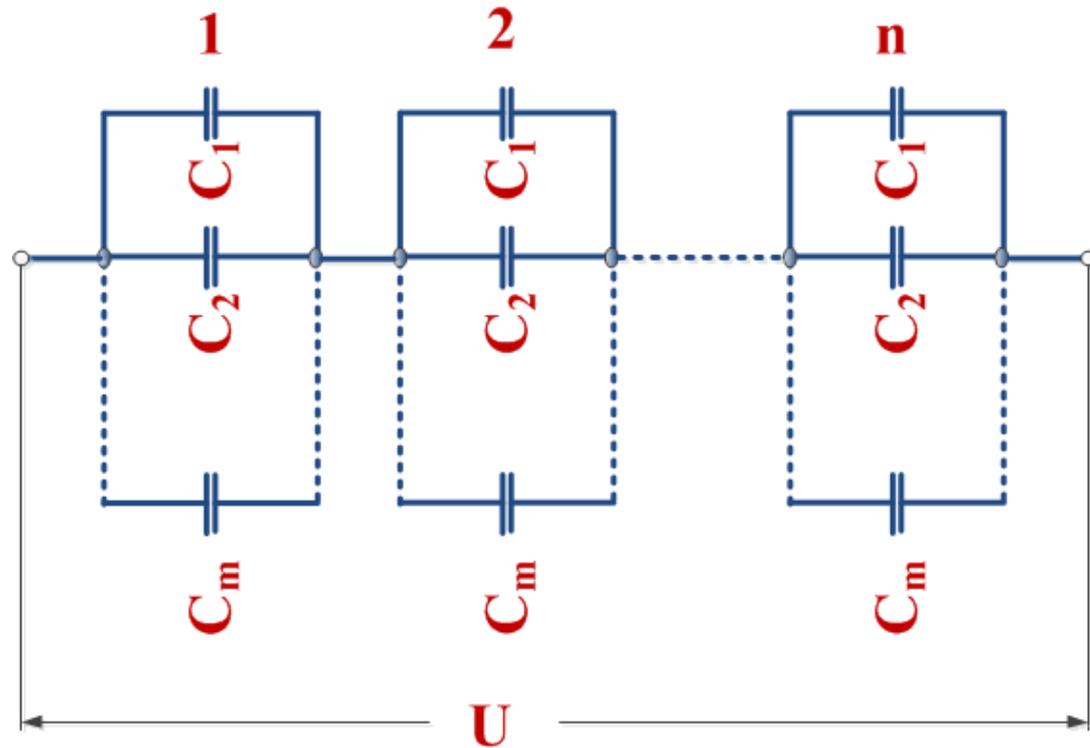
- ▶  $n$  – общее кол-во секций.



## 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  $\Delta$

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

$$\omega = 2\pi f$$

Трехфазная КУ,  
соединенная в звезду

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

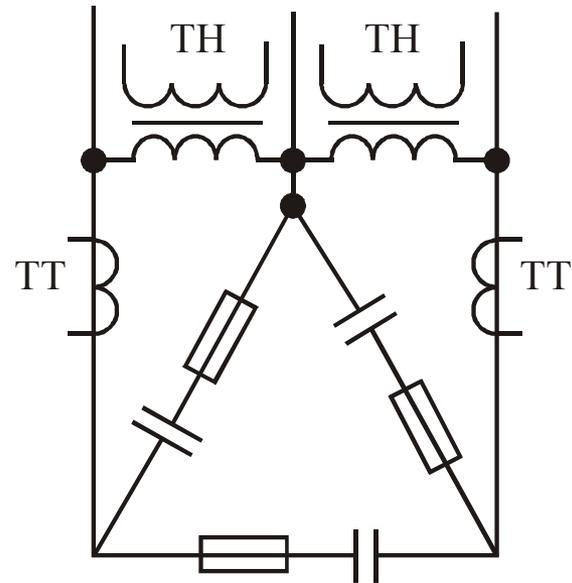
- ▶ **C**, мкФ – суммарная емкость всех трех фаз КУ;
- ▶ **U**, кВ – линейное напряжение, кВ.



# Разрядное сопротивление

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

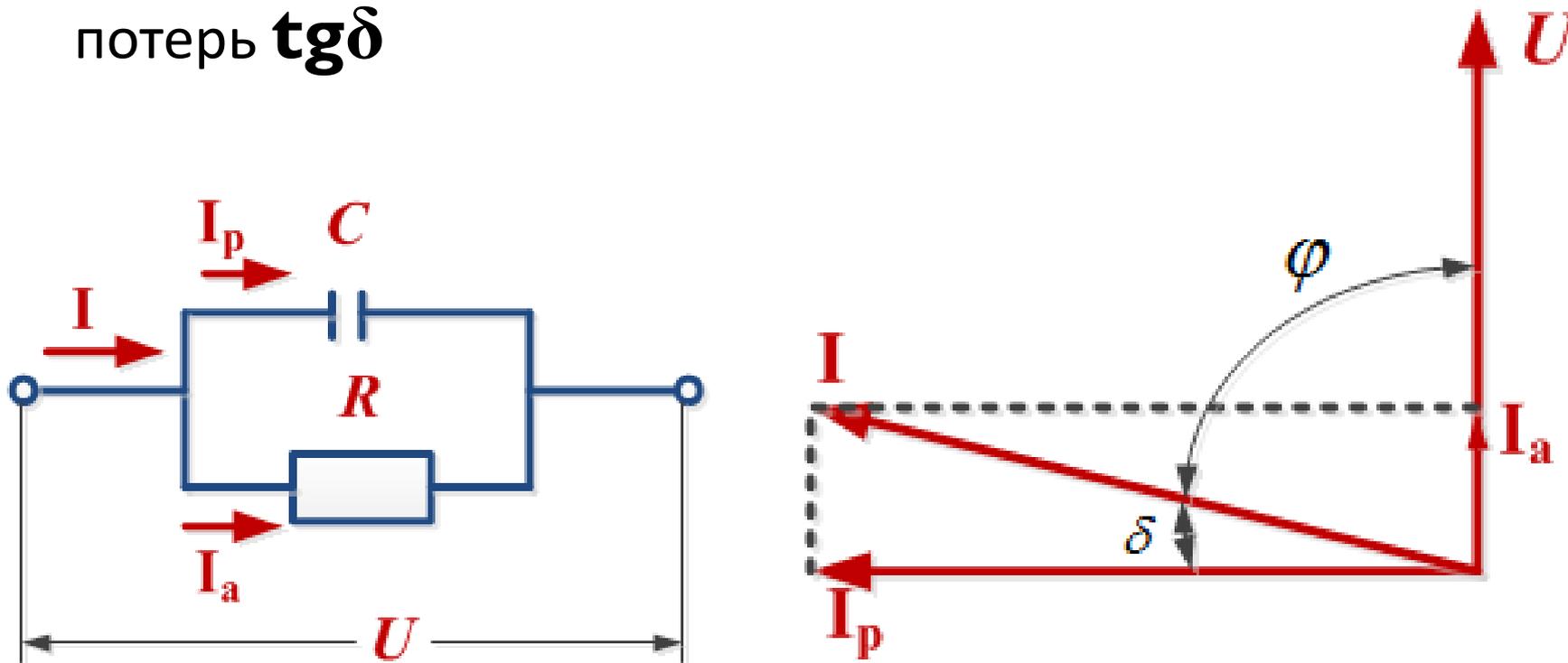
► Подключение сопротивлений для разряда КУ



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

### 3. Потери энергии в конденсаторе

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



---

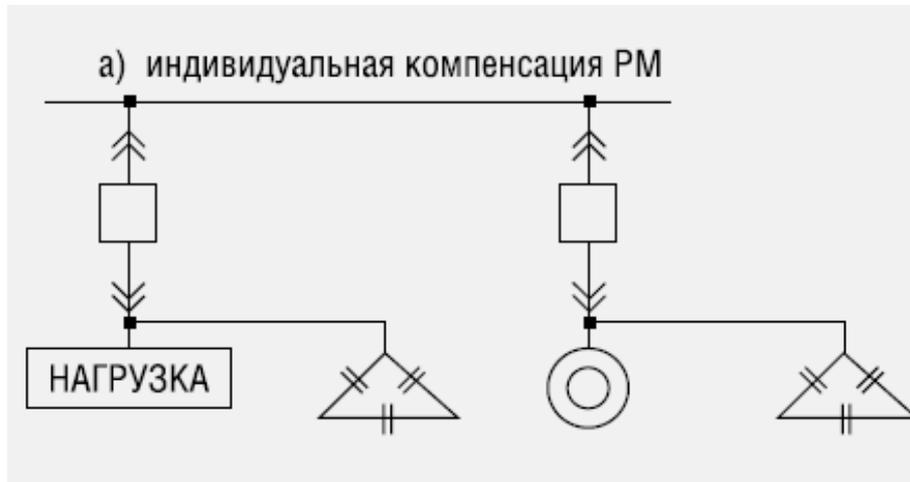
$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{P}{Q}, \text{ кВт/кВАр}$$

- ▶ Углом диэлектрических потерь называют угол  $\delta$ , дополняющий до 90 градусов угол сдвига фаз  $\varphi$  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  $\delta$  равен нулю.
- ▶ Чем больше рассеивается в диэлектрике мощность, тем меньше угол сдвига фаз  $\varphi$  и тем больше угол диэлектрических потерь  $\delta$  и значение функции  $\operatorname{tg} \varphi$ .

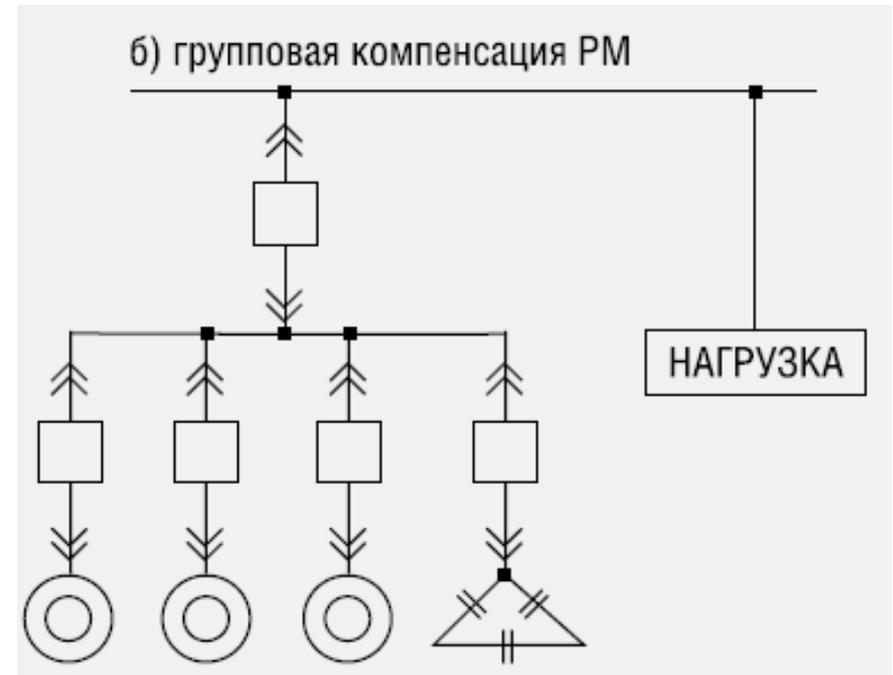


# Виды компенсации РМ

## Индивидуальная КРМ

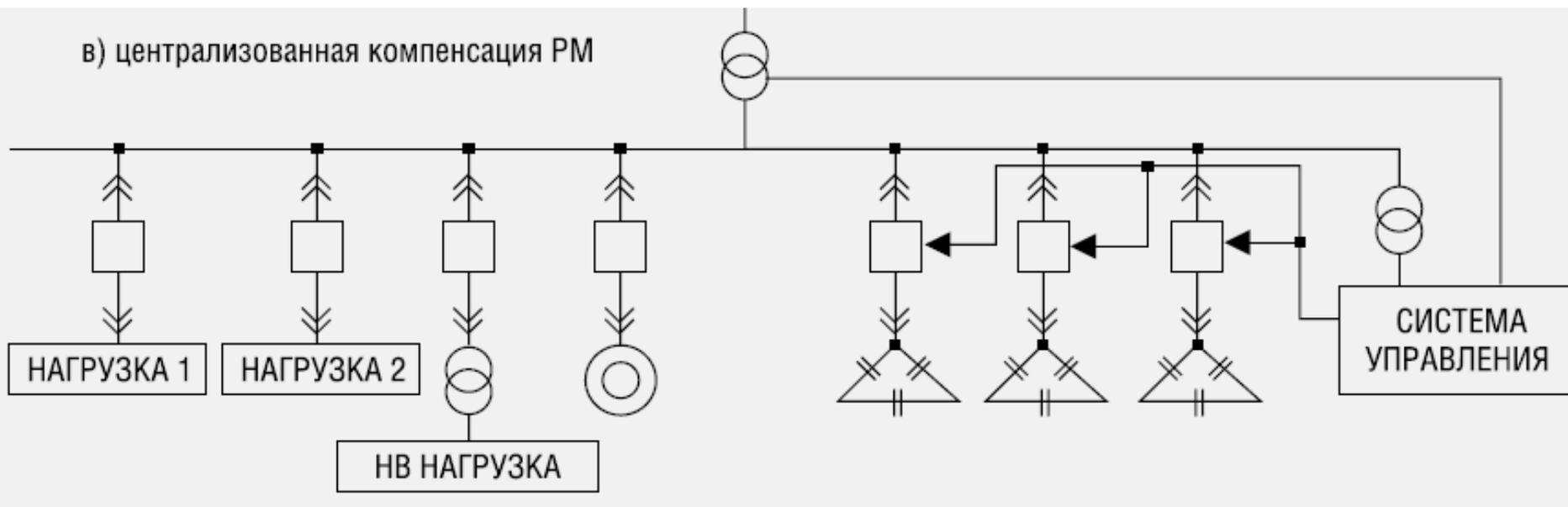


## Групповая КРМ



# Централизованная КРМ

в) централизованная компенсация РМ



# РАЗМЕЩЕНИЕ КОНДЕНСАТОРНЫХ БАТАРЕЙ



# **I. Размещение КБ при организации электроснабжения радиальными линиями**

**Два случая**

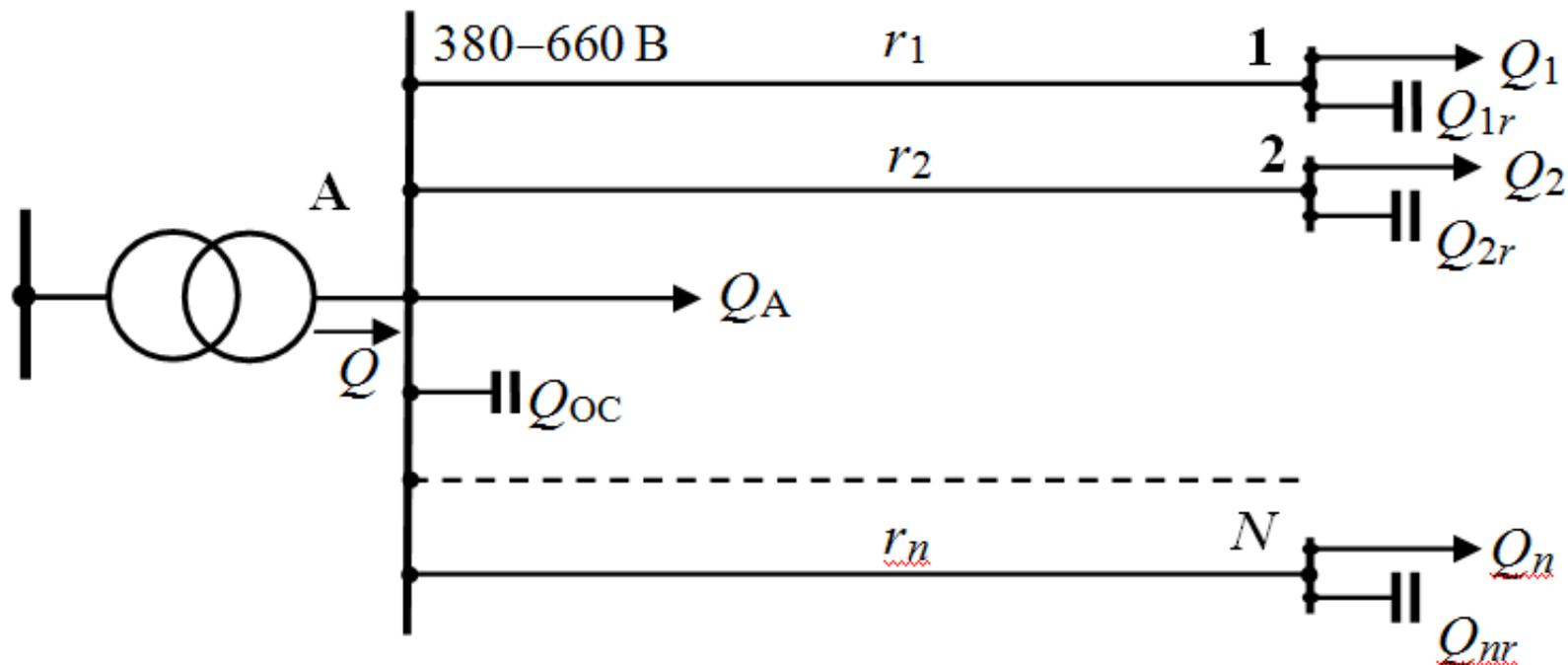
---

**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.

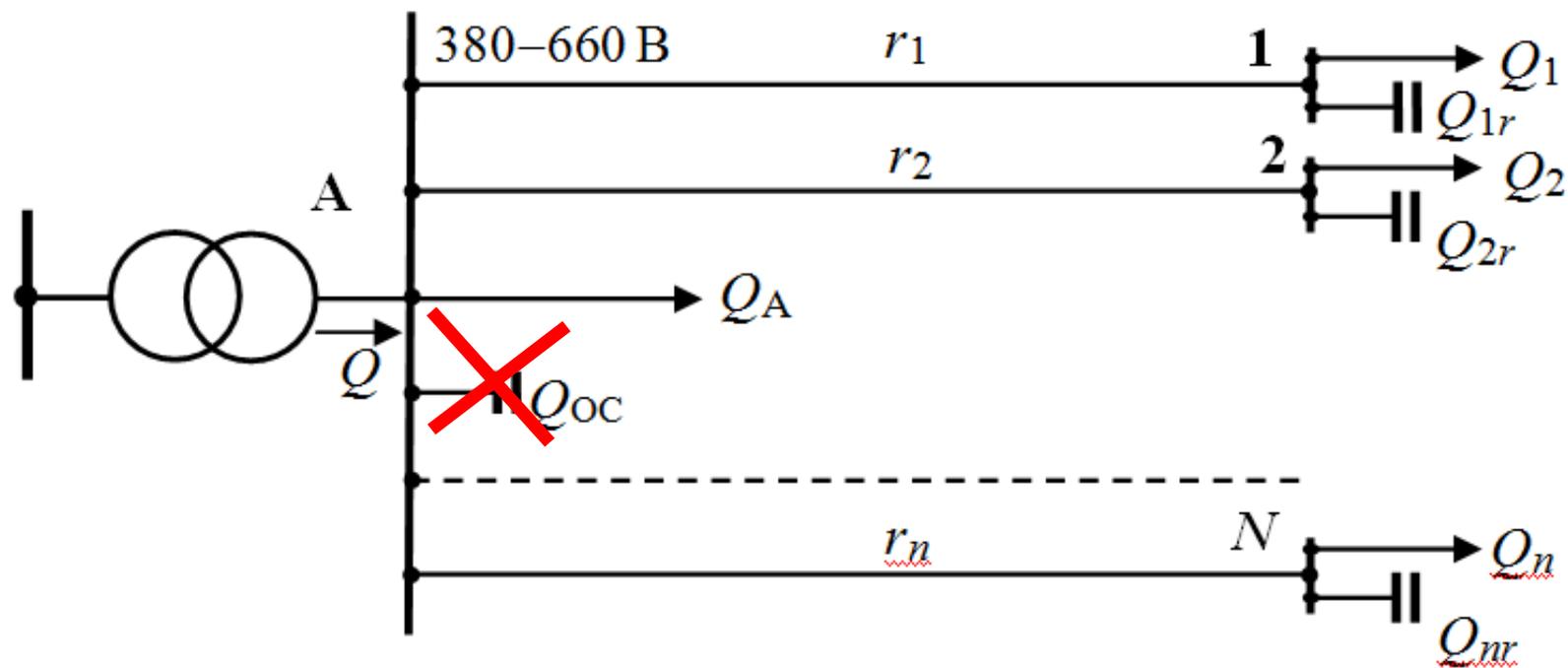


---

**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

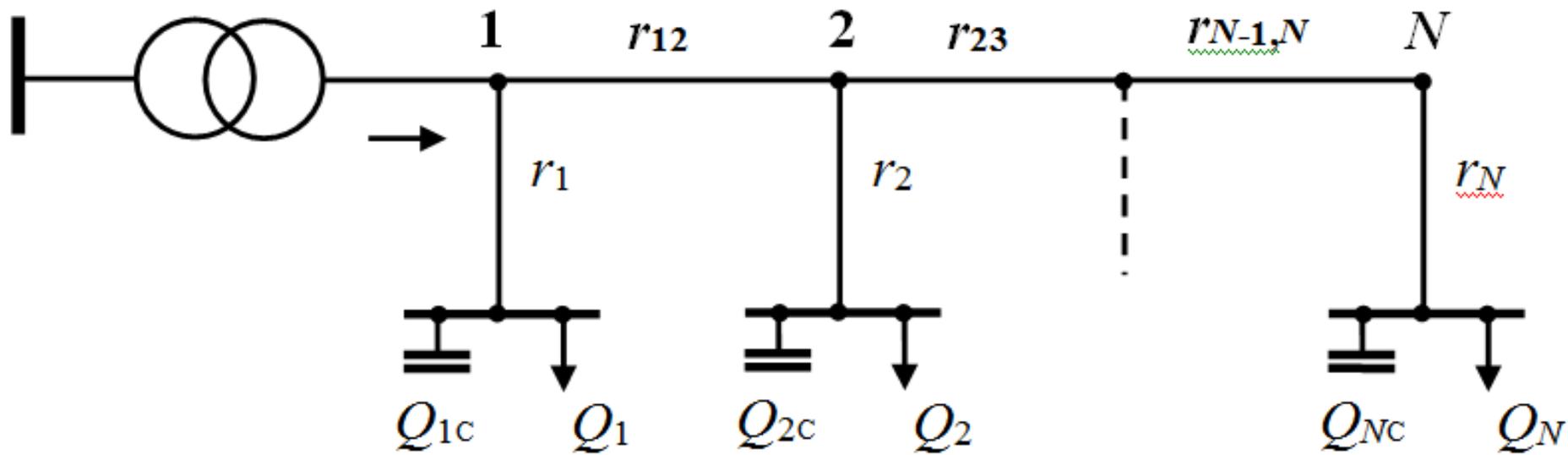
$$r_{\text{ЭК}} = \frac{1}{1/r_1 + 1/r_2 + \dots + 1/r_n}$$

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

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

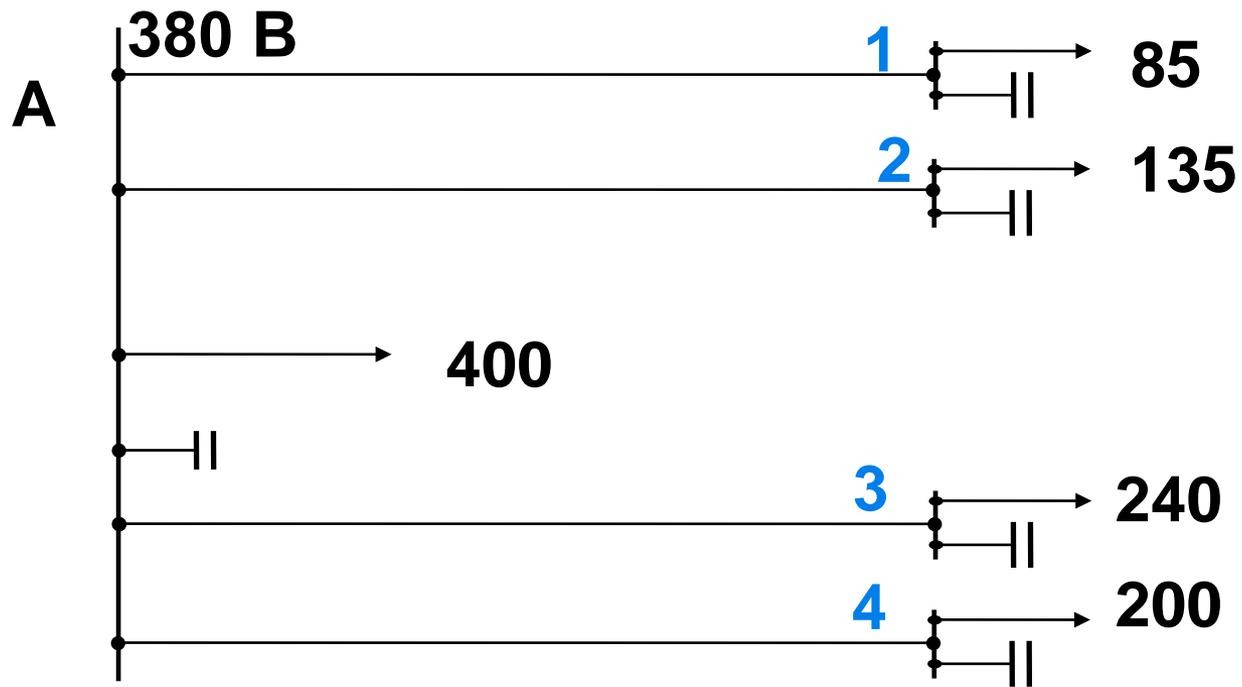




# ПРИМЕРЫ

# Пример 1

---



► Рисунок к примеру 1

---



## Условие

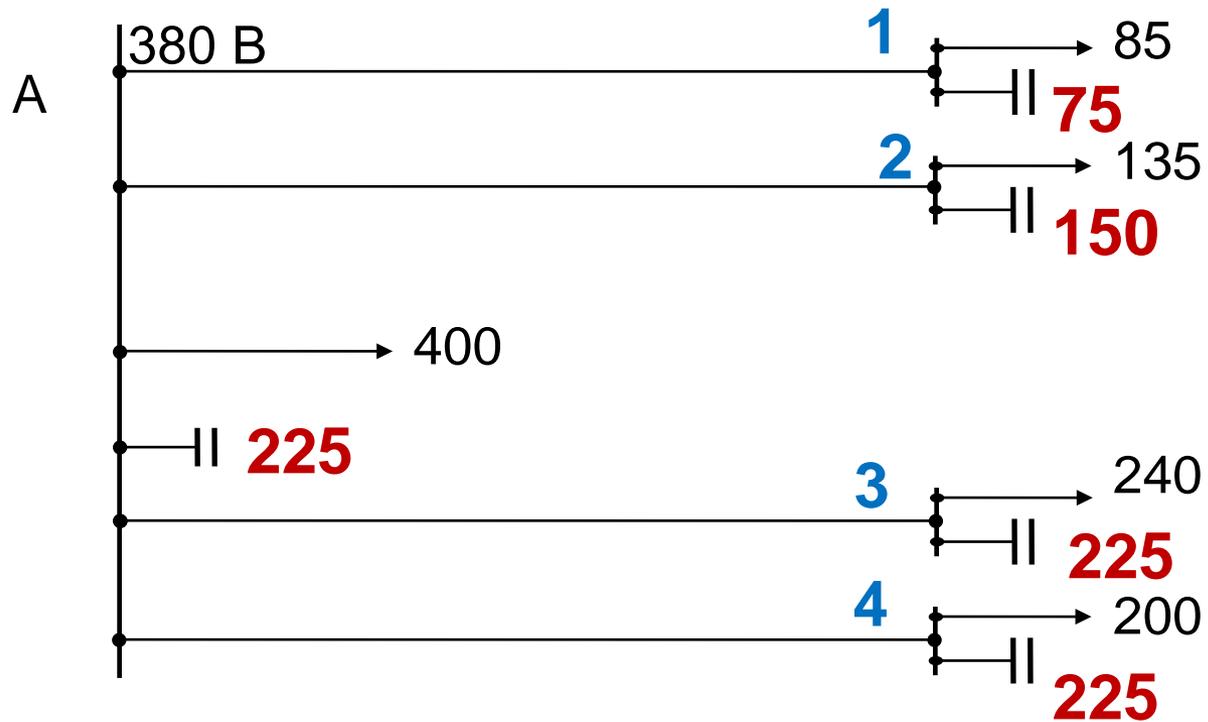
---

- ▶ 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

---

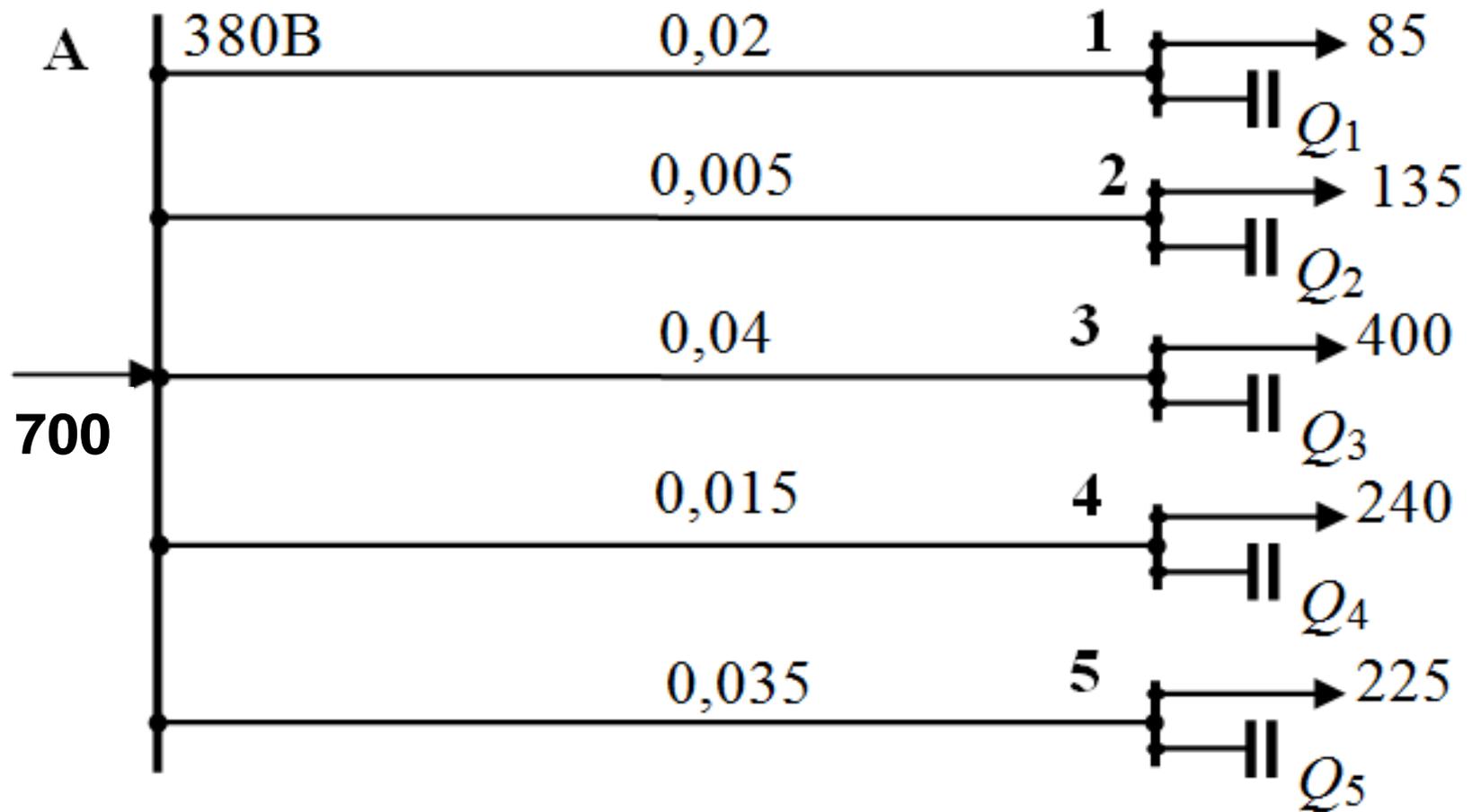


## Пример 2

---

- ▶ 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

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

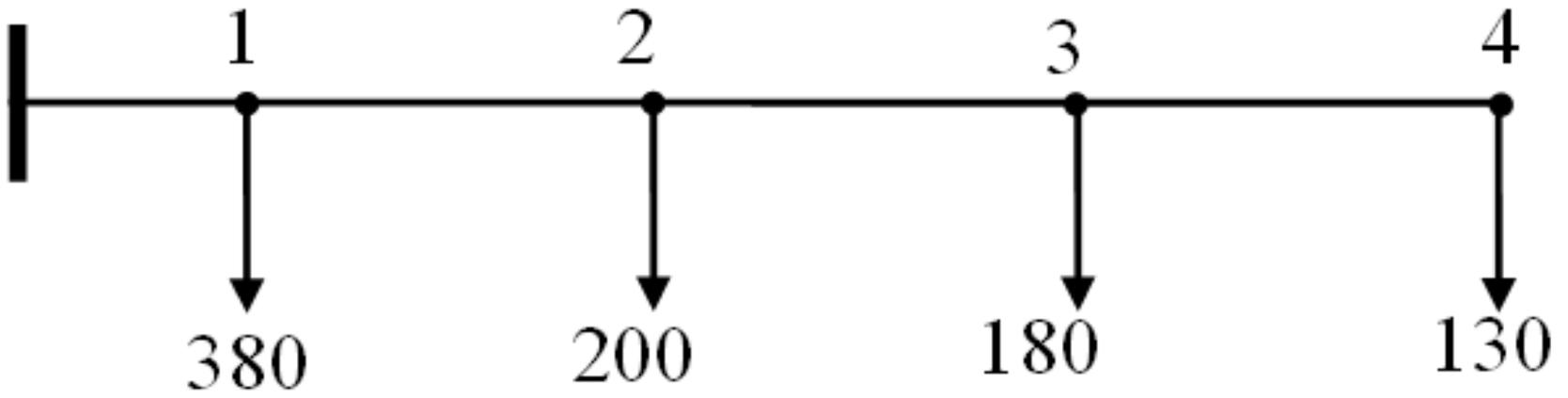


## Пример 3

---

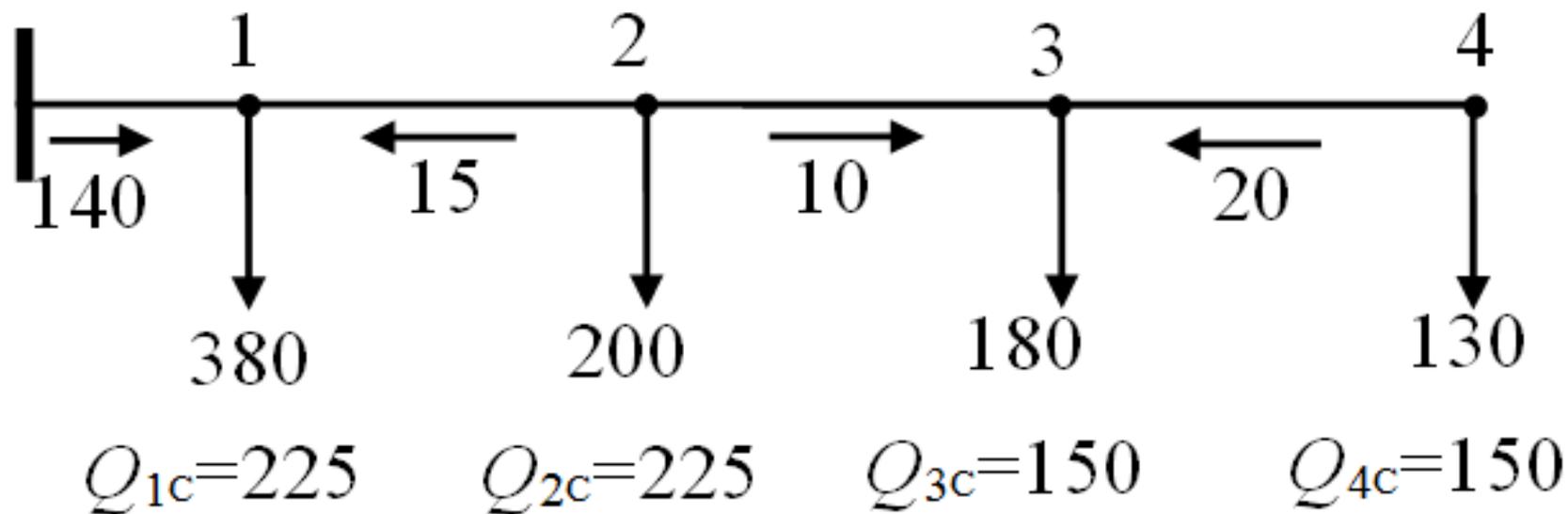
- ▶ Представлена схема токопровода с указанием реактивных нагрузок (кВАр).  
Определить мощность БК, присоединяемых в точках 1, 2, 3 и 4, если  $Q_{\Sigma \text{БК}} = 770$  кВАр и сопротивлениями ответвлений можно пренебречь.
- ▶ Шкала номинальных мощностей БК:  
**75, 150, 225, 450 кВАр.**





# Решение

---

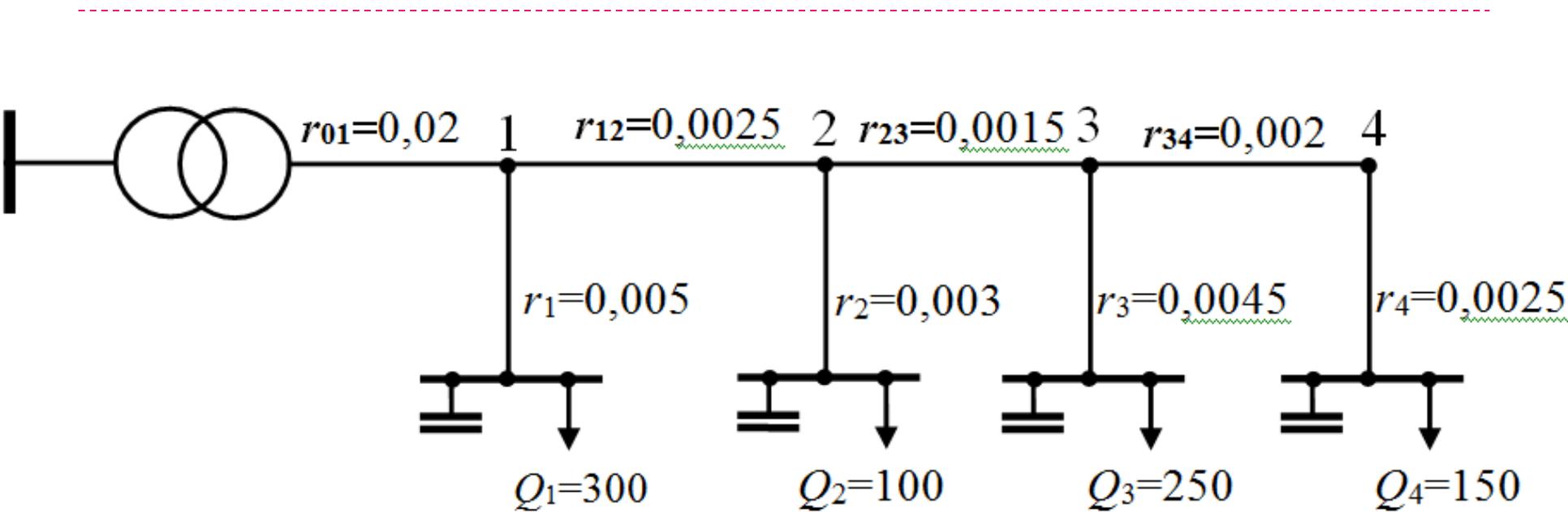


## Пример 4

---

- ▶ 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:

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

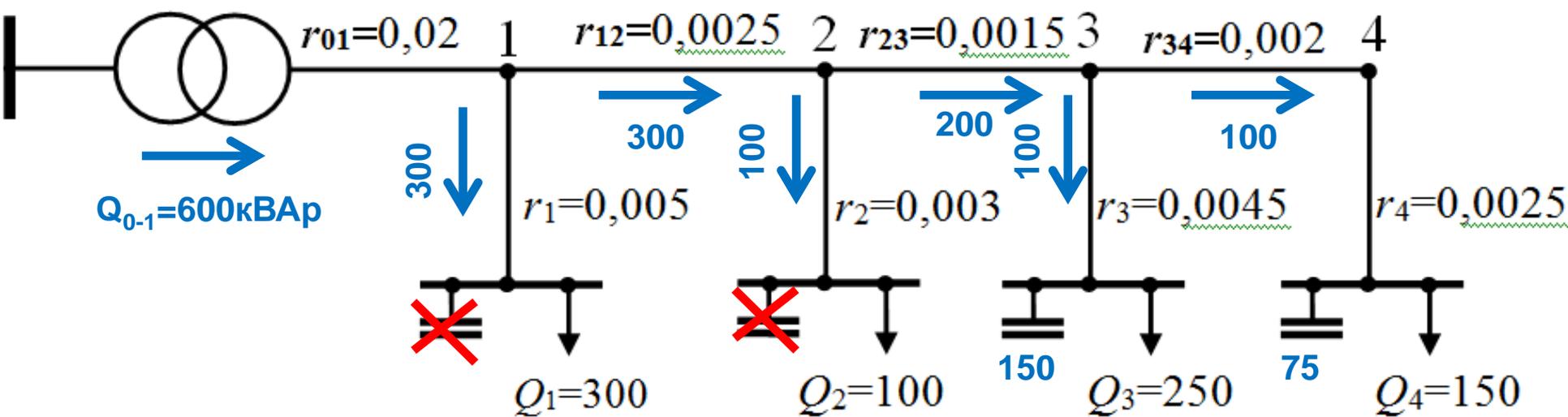
- ▶ К пункту 3 устанавливаем БК мощностью 150 кВАр.
- ▶ Тогда по участку 3-4 токопровода будет протекать мощность:

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



- 
- ▶ 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:

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



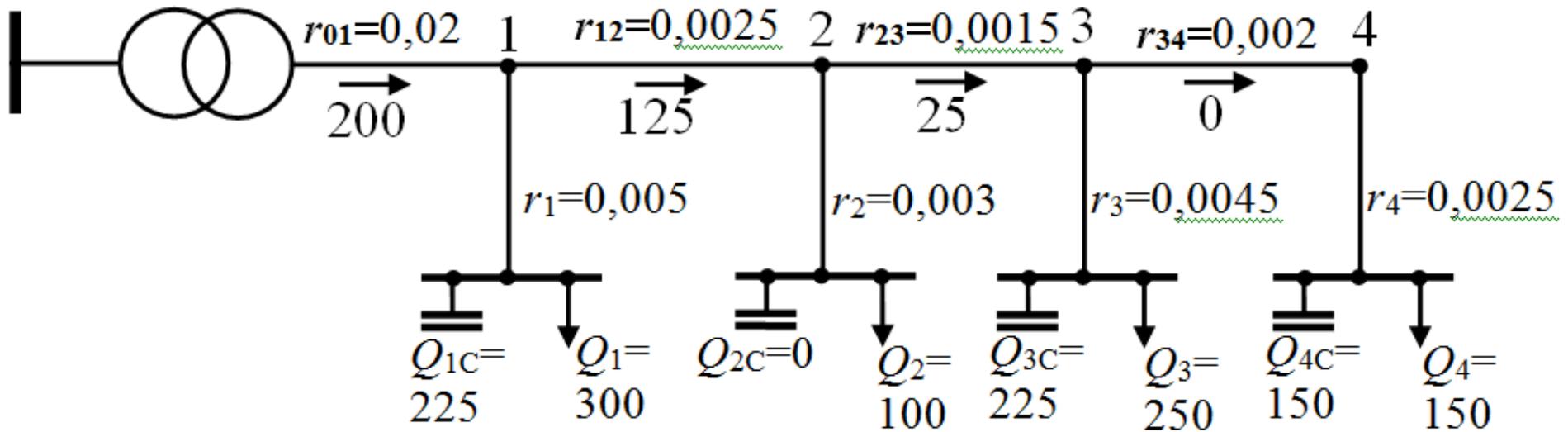
- 
- ▶ Расчетная мощность БК, присоединяемой к пункту 3:

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

- ▶ 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**

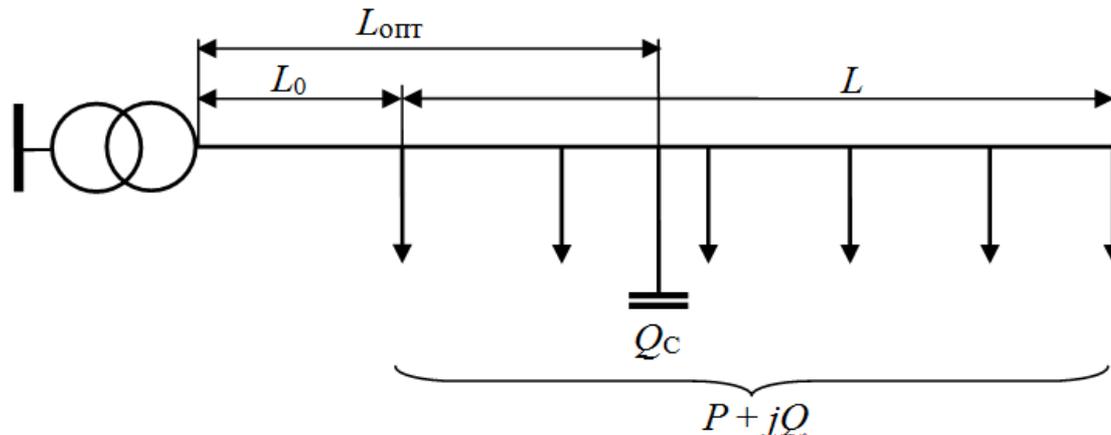
- 
- ▶ Рассмотрим случай, когда по условию регулирования реактивной мощности устанавливается БК, мощность которой выбирается равной суммарной мощности всех средств компенсации и она должна быть присоединена в одной точке токопровода с равномерно распределенной нагрузкой
- 



# 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.

