



# Системы электроснабжения

Гужов Николай Петрович

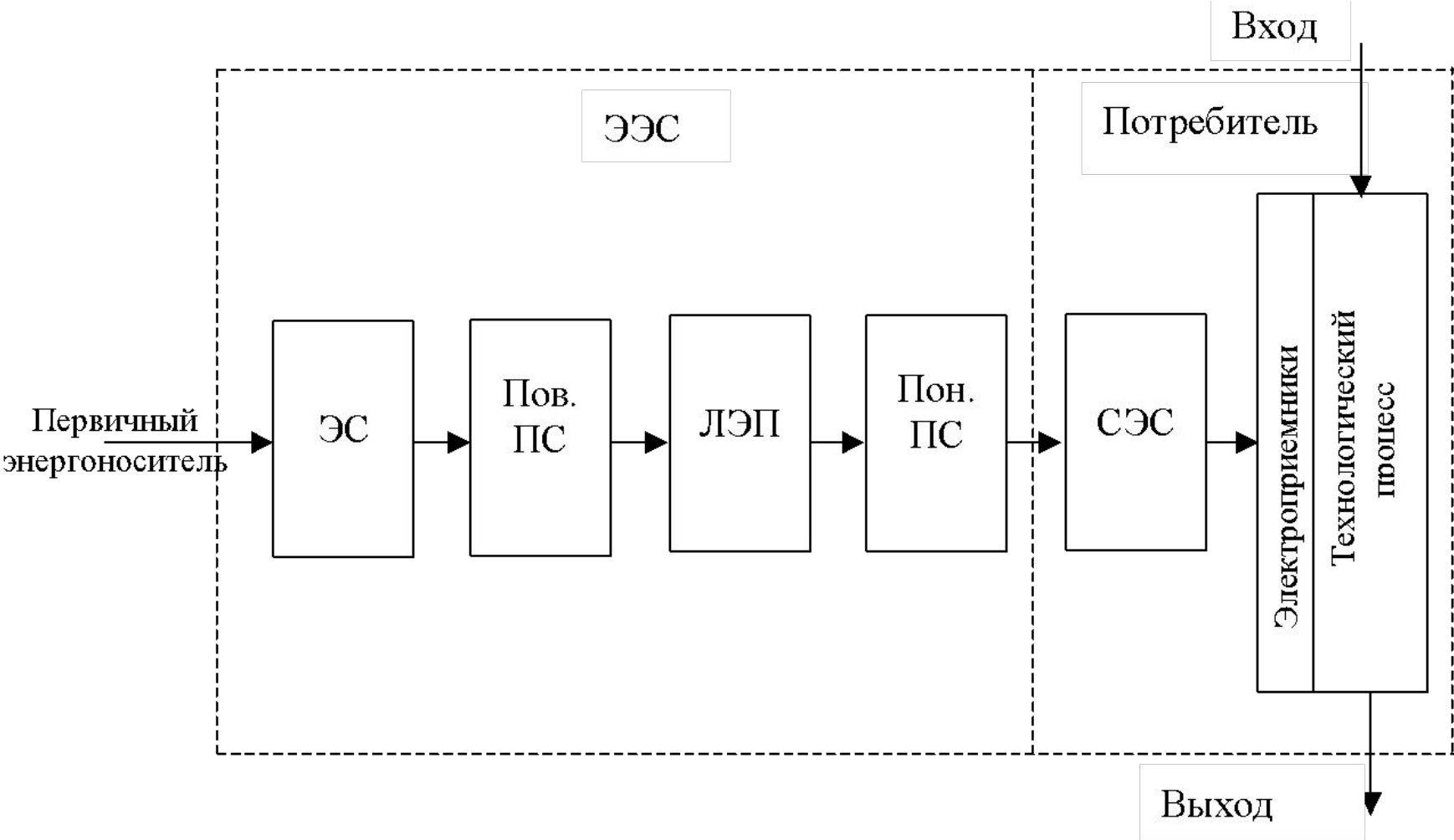
# Основные понятия

- Приемник электрической энергии – физическое устройство, получающее электрическую энергию и преобразующее её в другие виды энергии, необходимые для жизнедеятельности человека.
- Потребитель электроэнергии – совокупность электроприемников, расположенных на определенной территории и объединенных единством технологического процесса.
- Система электроснабжения – совокупность электротехнических устройств (линий электропередачи, трансформаторов, электрических аппаратов, сборных шин), предназначенных для передачи, преобразования и распределения электроэнергии среди электроприемников электрифицированной деятельности человека.

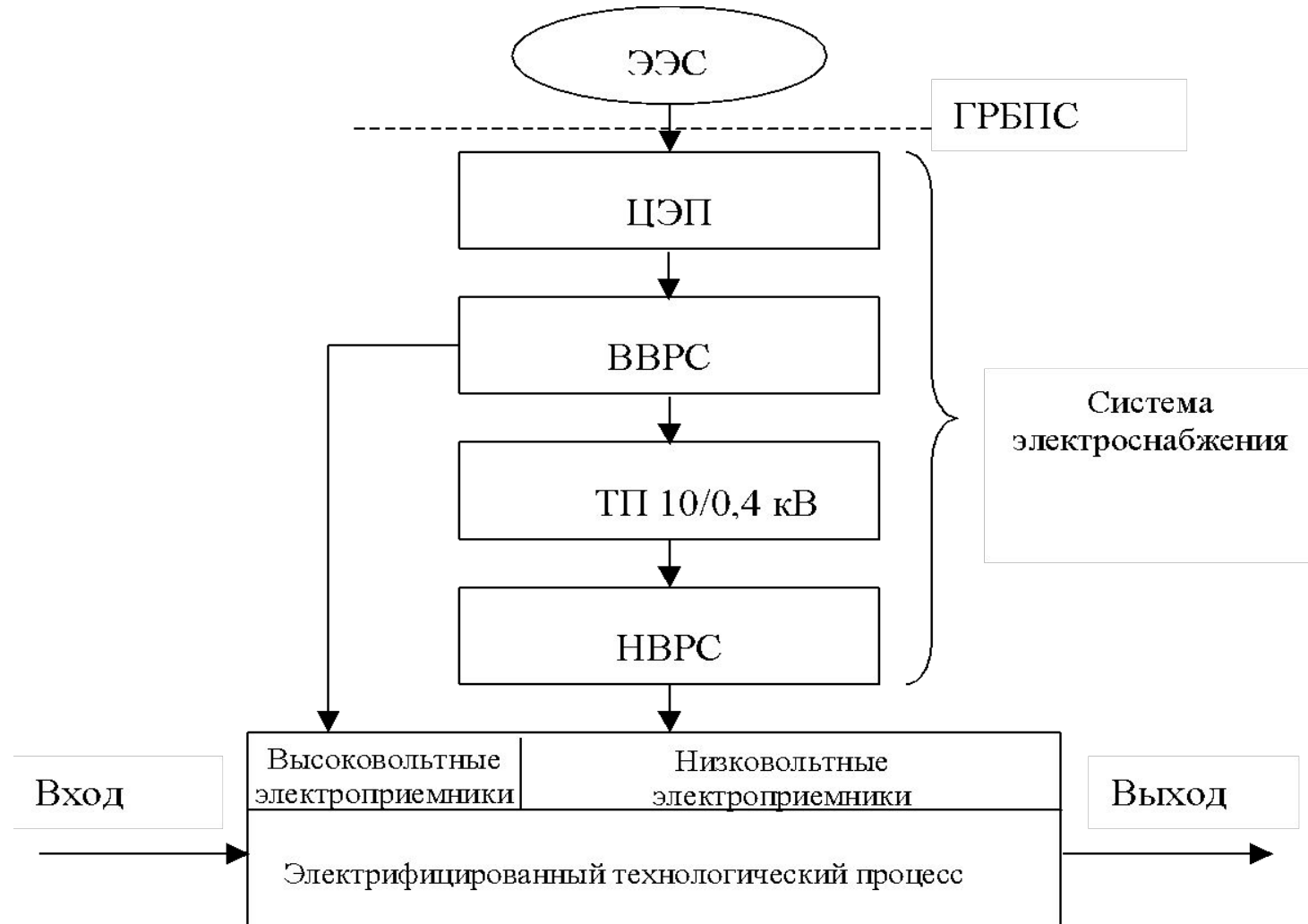
# Классификация электроприемников и потребителей электроэнергии:

1. По величине напряжения;
2. По величине мощности;
3. По числу фаз;
4. По режиму работы;
5. По надежности электроснабжения;
6. По характеру преобразования электроэнергии.

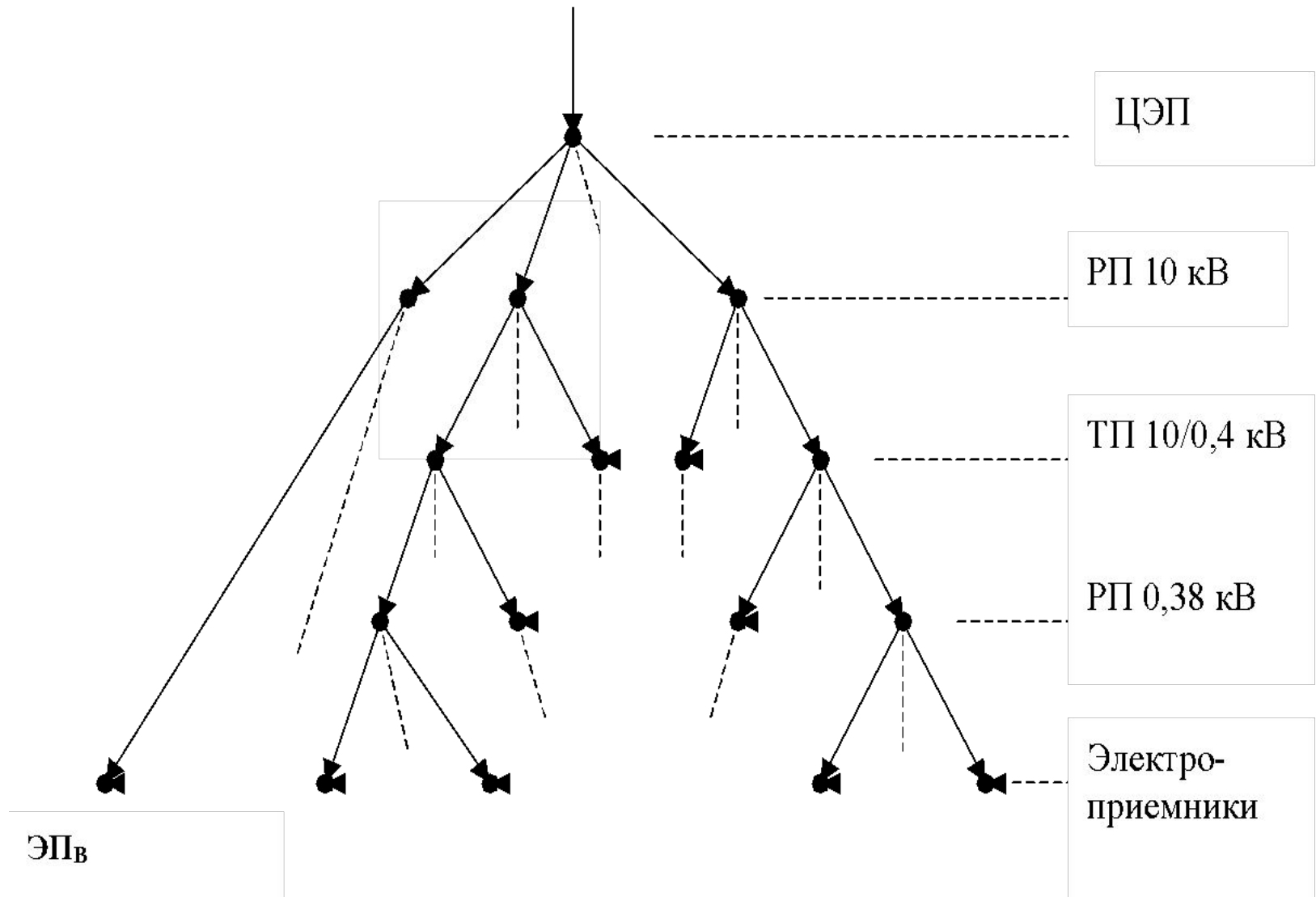
# Структурная схема электроэнергетики



# Обобщенная структура СЭС



# Дерево-схема системы электроснабжения



# Центр электрического питания

·ГПП

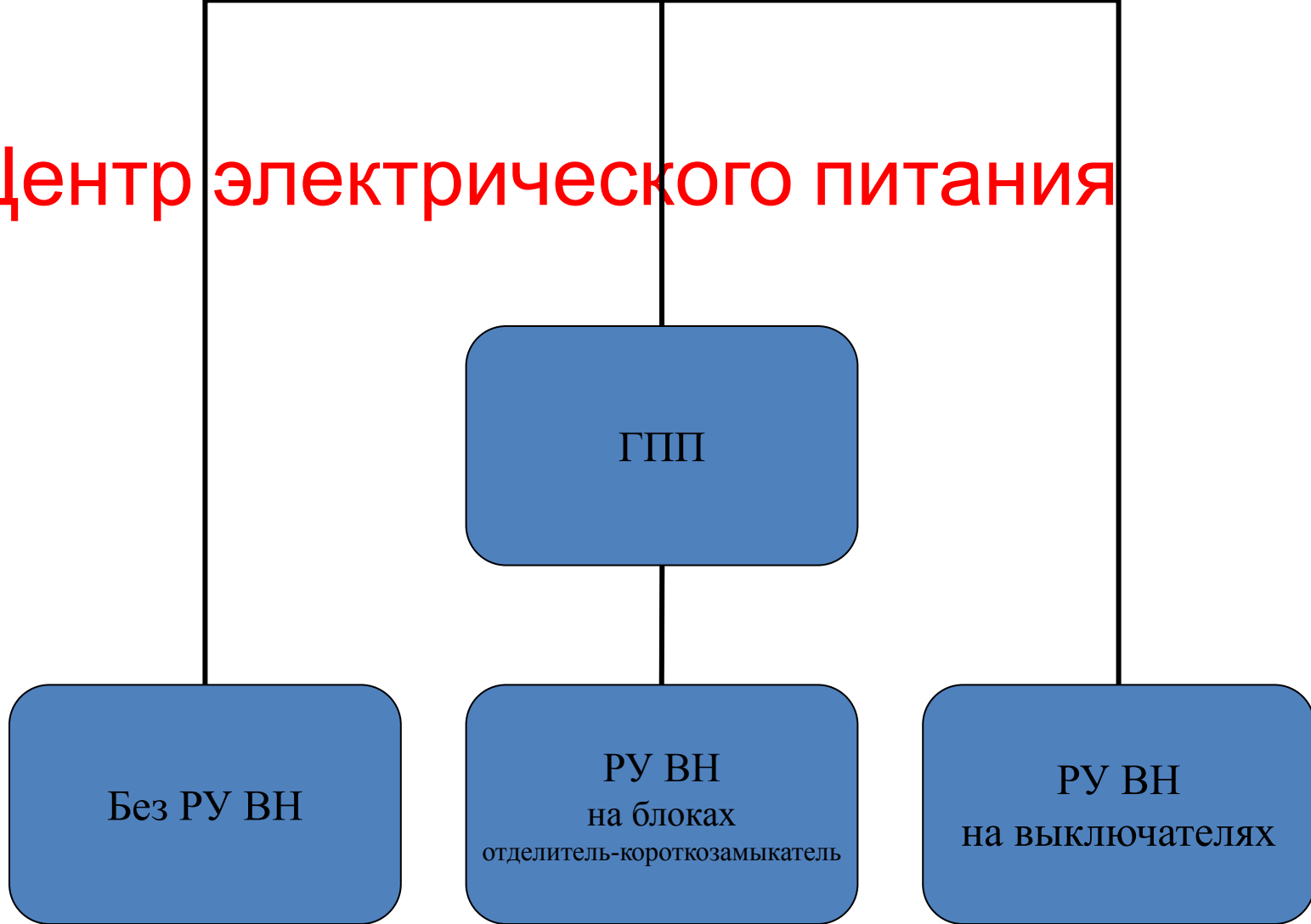
ГПП

Без РУ ВН

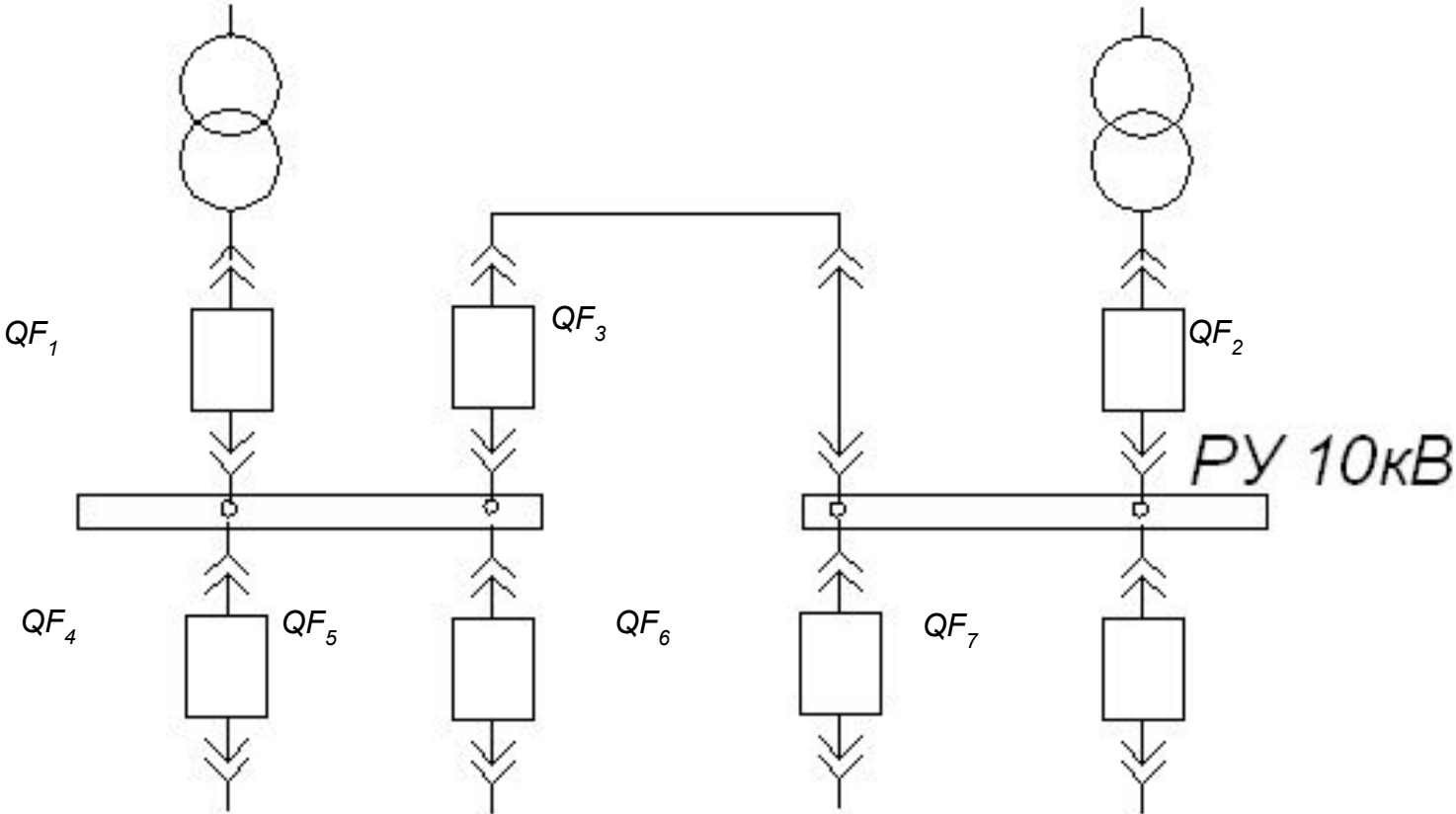
РУ ВН  
на блоках  
отделитель-короткозамыкатель

РУ ВН  
на выключателях

·ЦРП



# CXEMA PY 10 κB

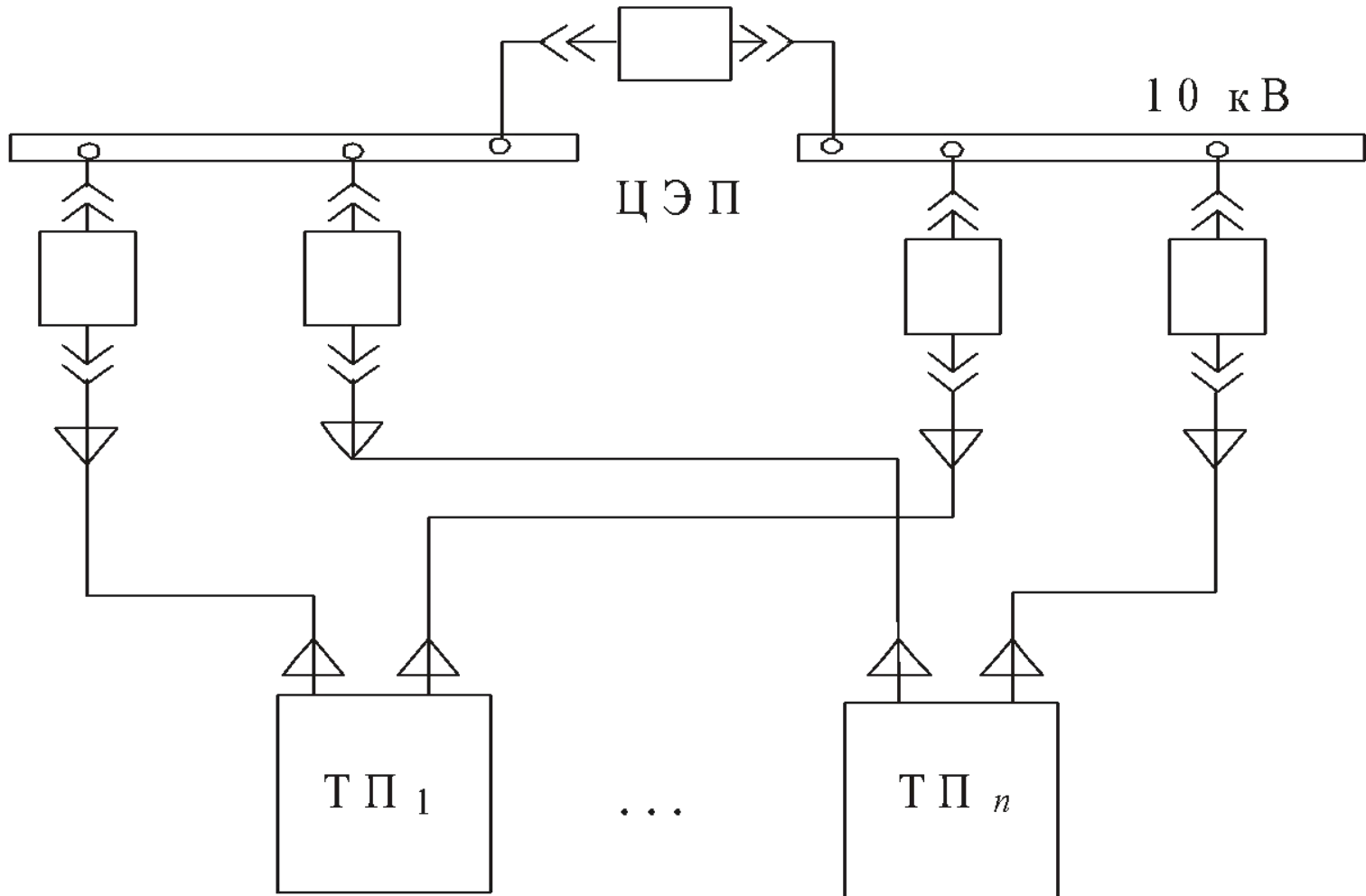




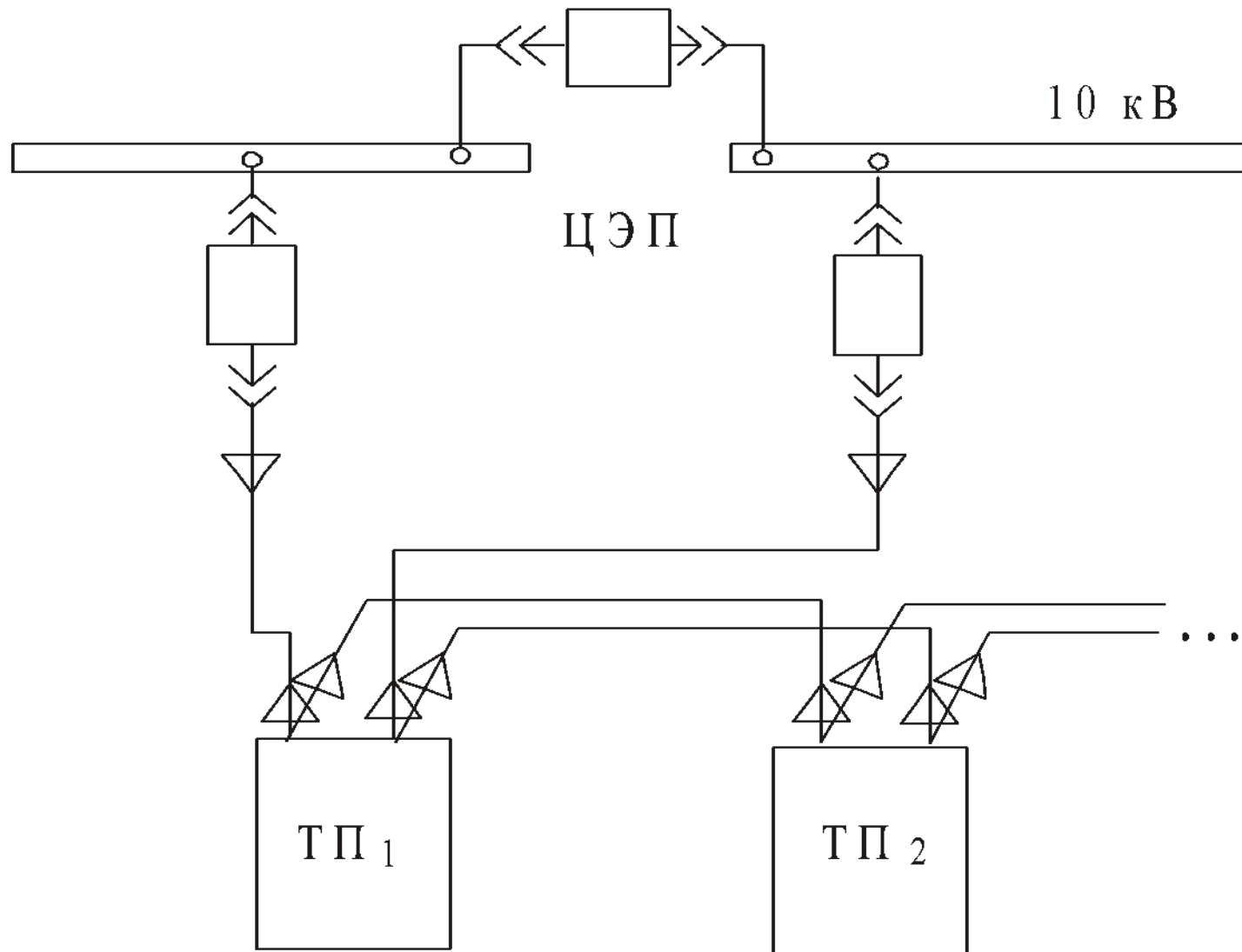
# Высоковольтная распределительная сеть

- Радиальная
- Магистральная
- Смешанная
- Кольцевая
- С двухсторонним питанием

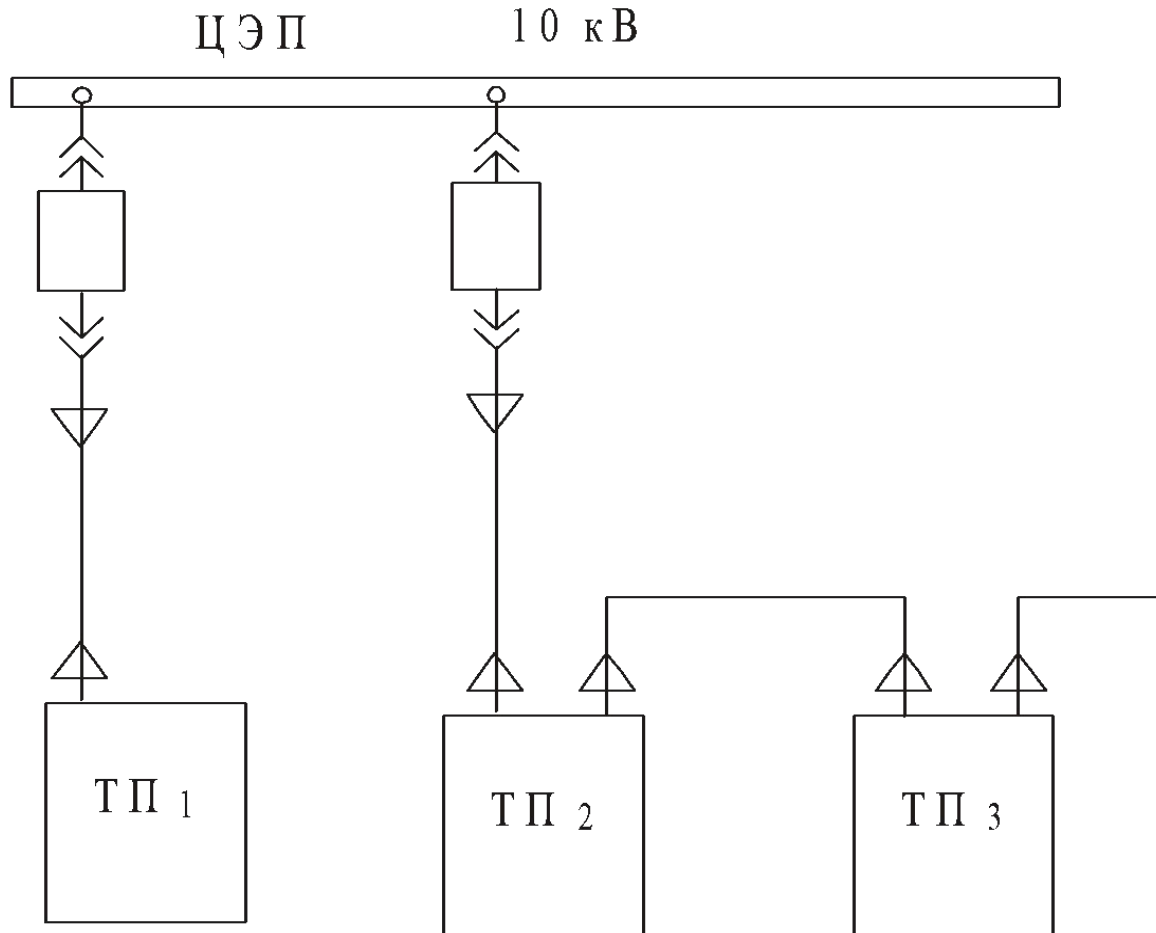
# РАДИАЛЬНАЯ СХЕМА



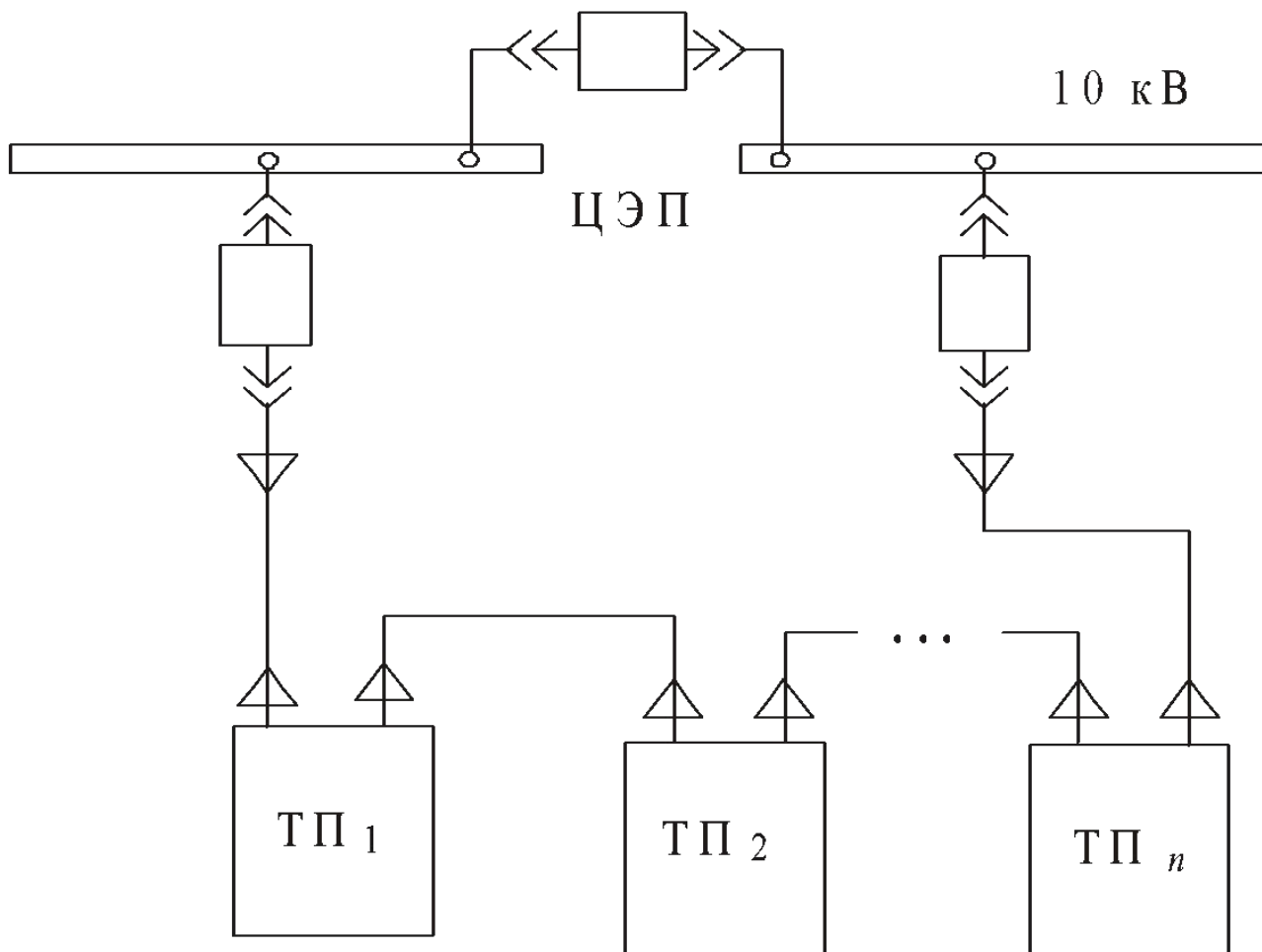
# МАГИСТРАЛЬНАЯ СХЕМА



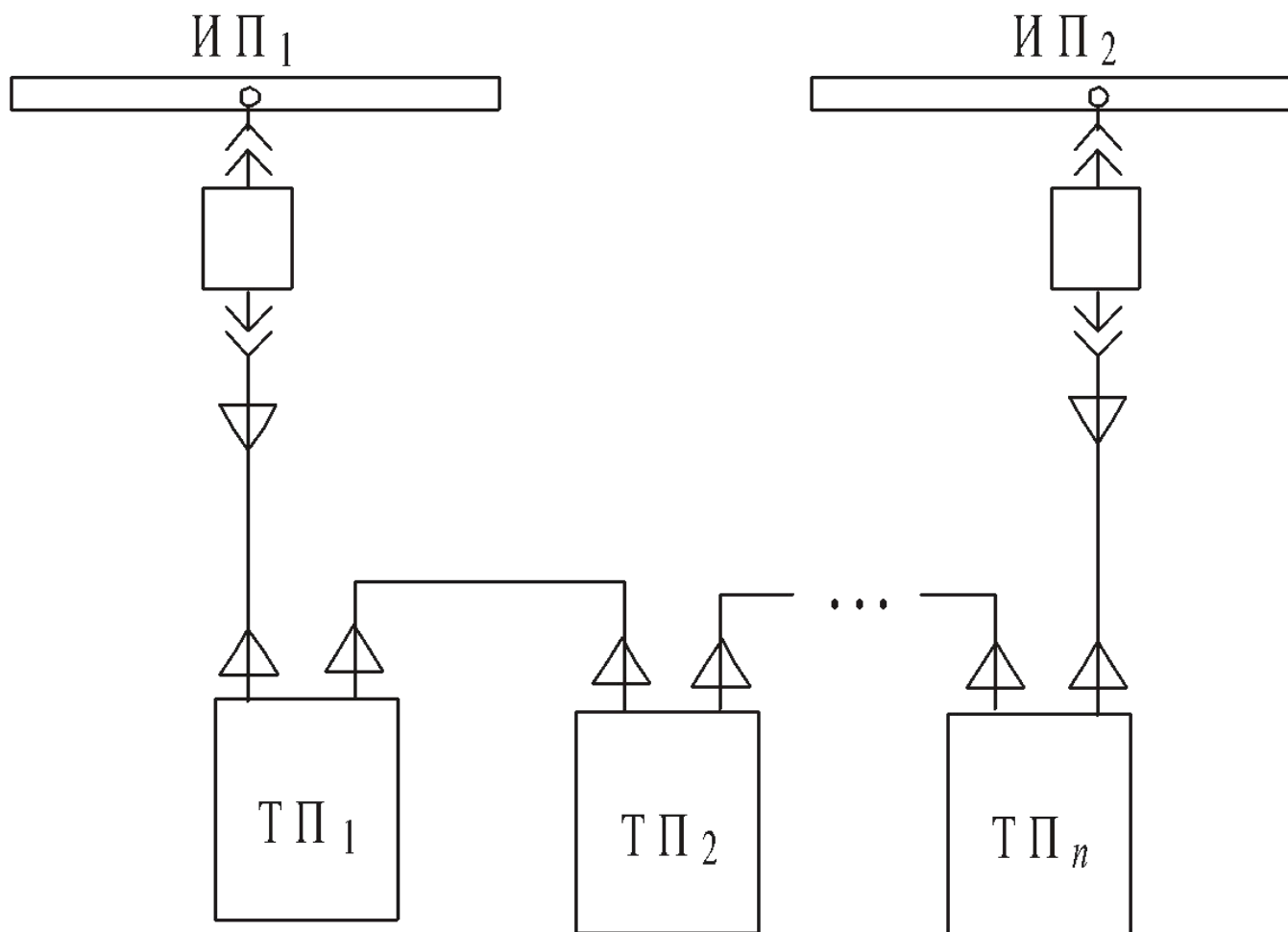
# СМЕШАННАЯ СХЕМА



# КОЛЬЦЕВАЯ СХЕМА



# СХЕМА С ДВУХСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ



# Подстанции 10/0,4 кВ

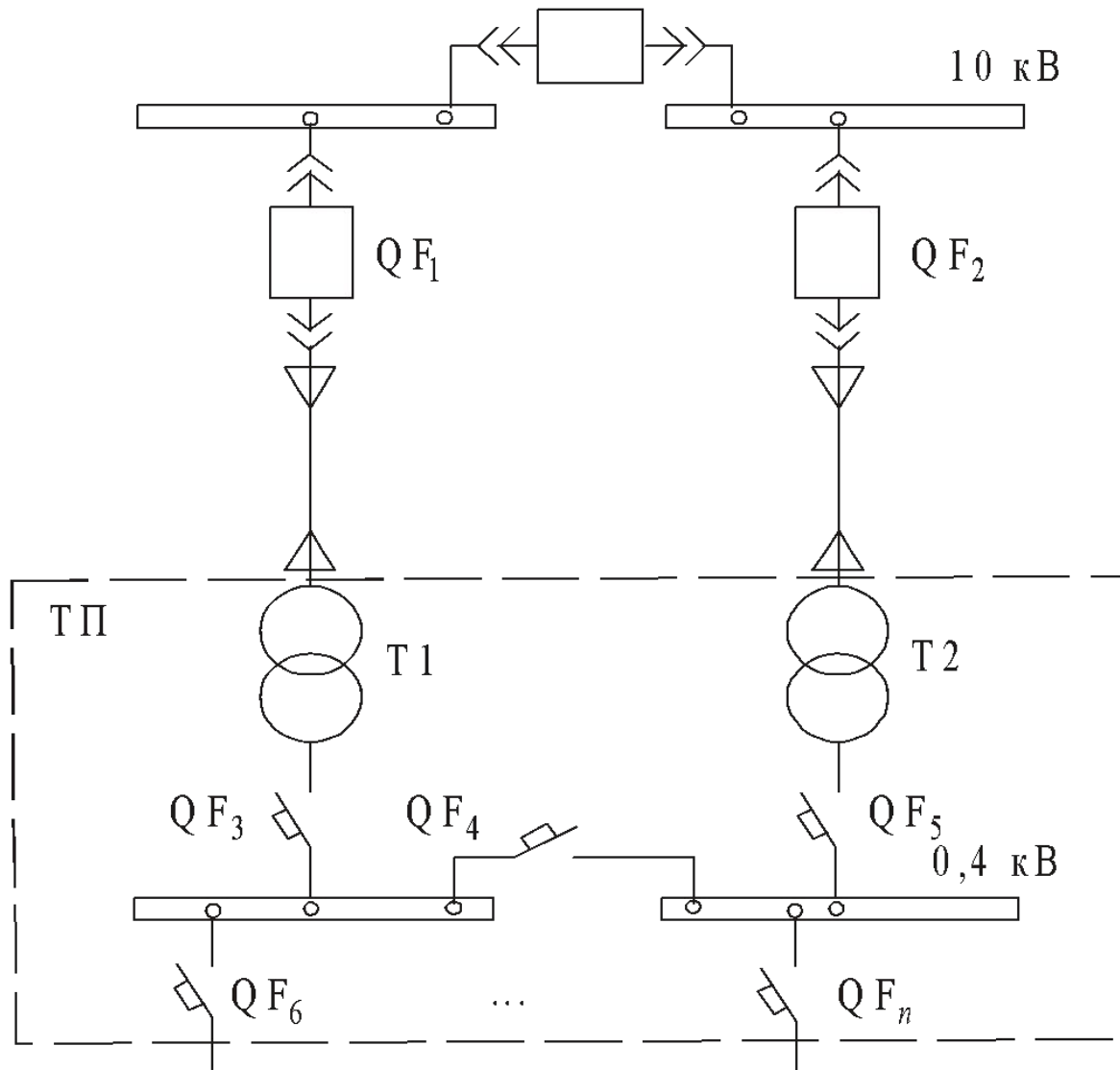
ТП 10/0,4  
кВ

Схема,  
при подключении к  
радиальной сети  
(без РУ ВН)

Схема,  
при подключении к  
магистральной сети

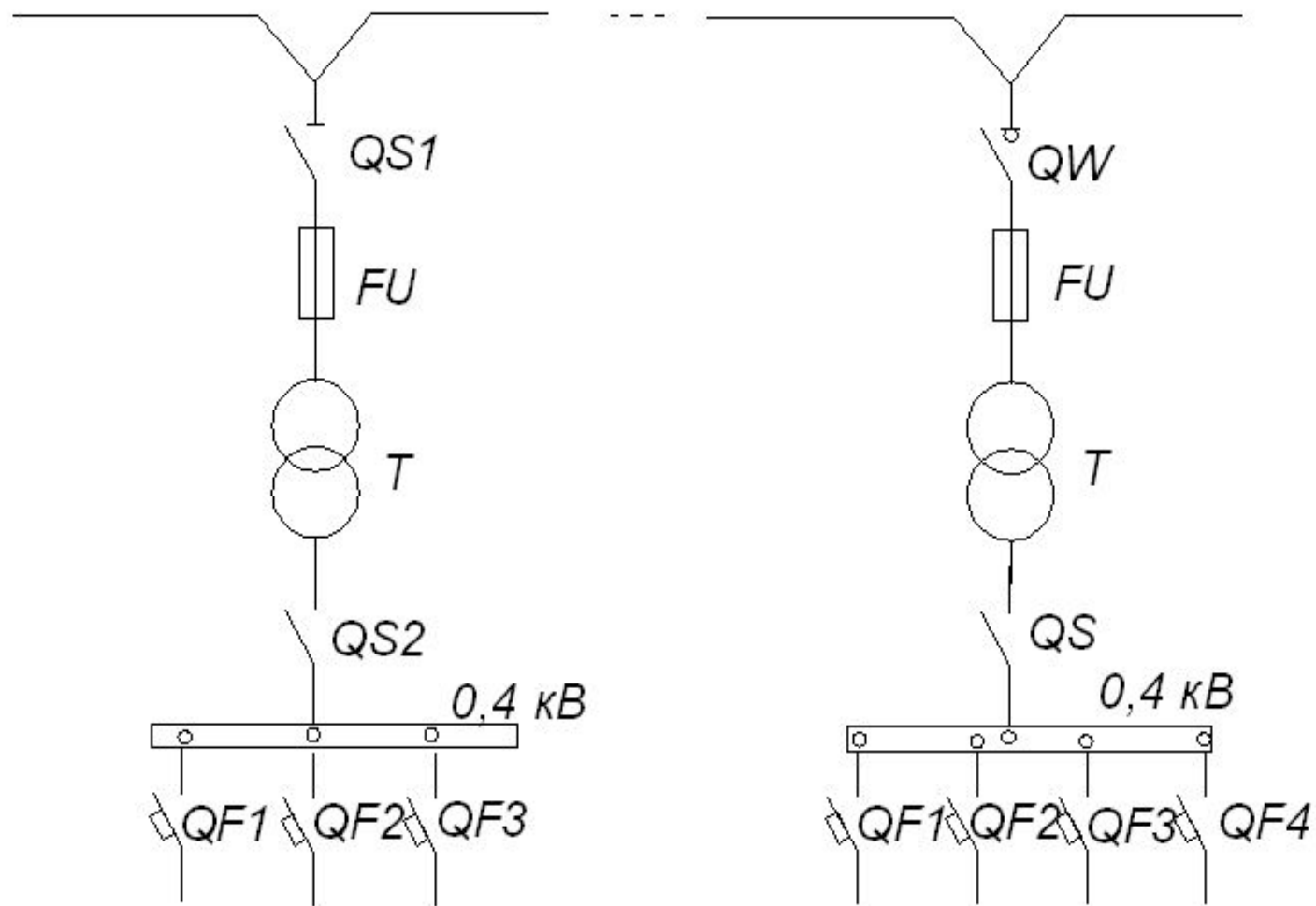
Схема,  
при подключении к  
кольцевой сети

# СХЕМА ТП, ПРИСОЕДИНЕННОЙ К РАДИАЛЬНОЙ СЕТИ

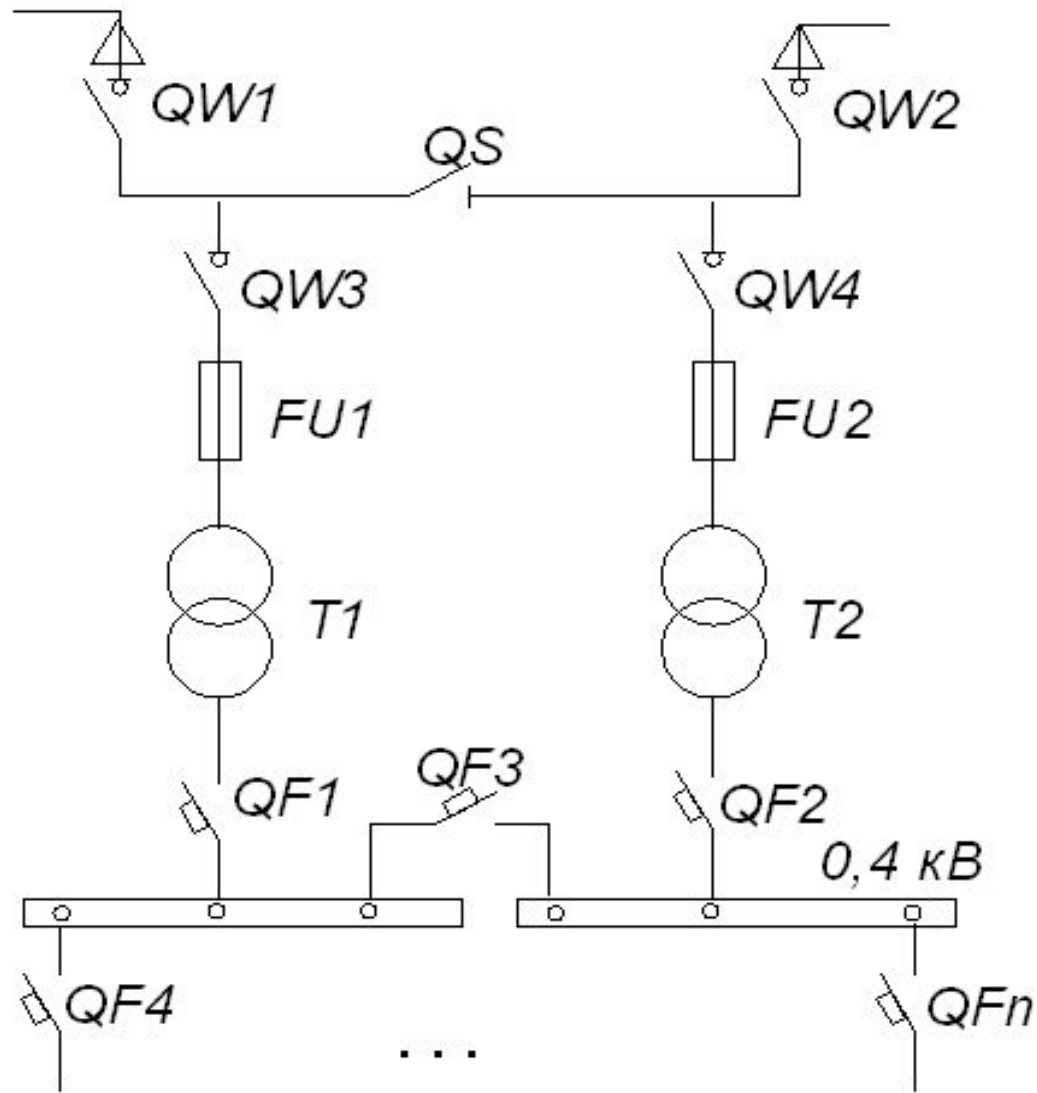




# СХЕМА ТП, ПРИСОЕДИНЕННОЙ К МАГИСТРАЛЬНОЙ СЕТИ



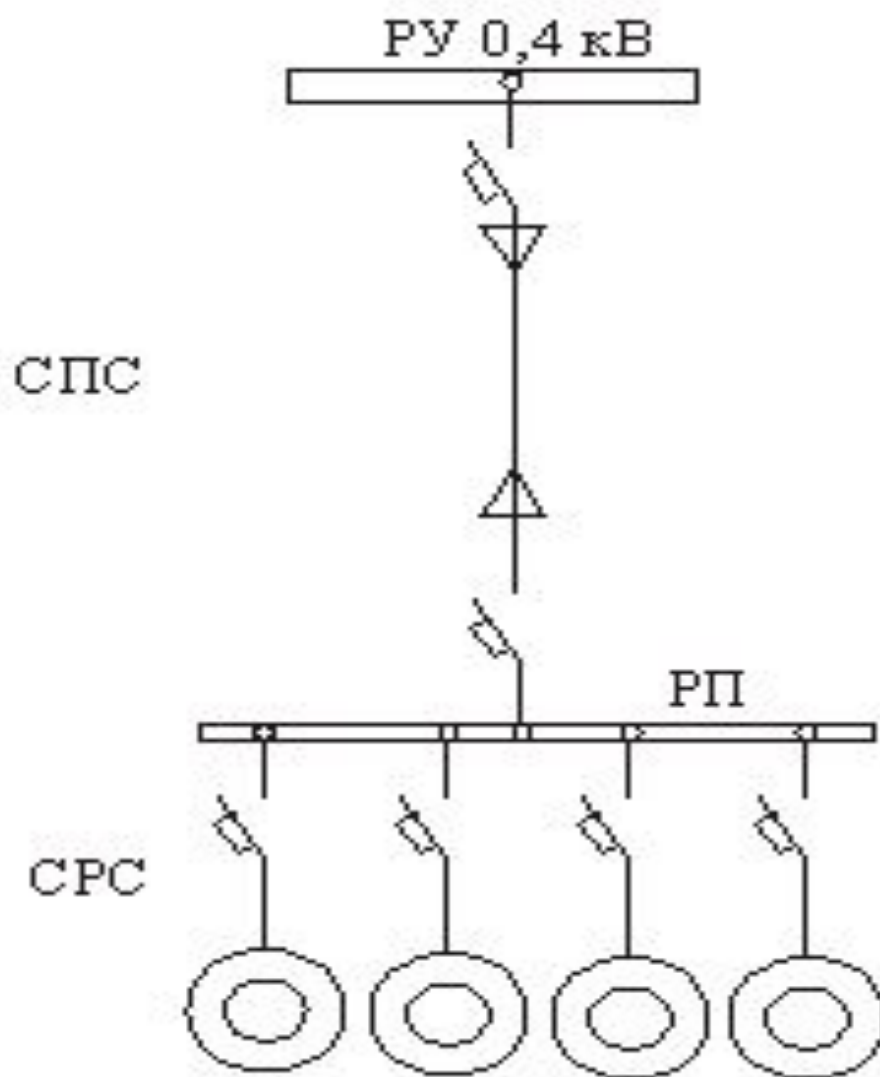
# СХЕМА ТП, ПРИСОЕДИНЕННОЙ К КОЛЬЦЕВОЙ СЕТИ



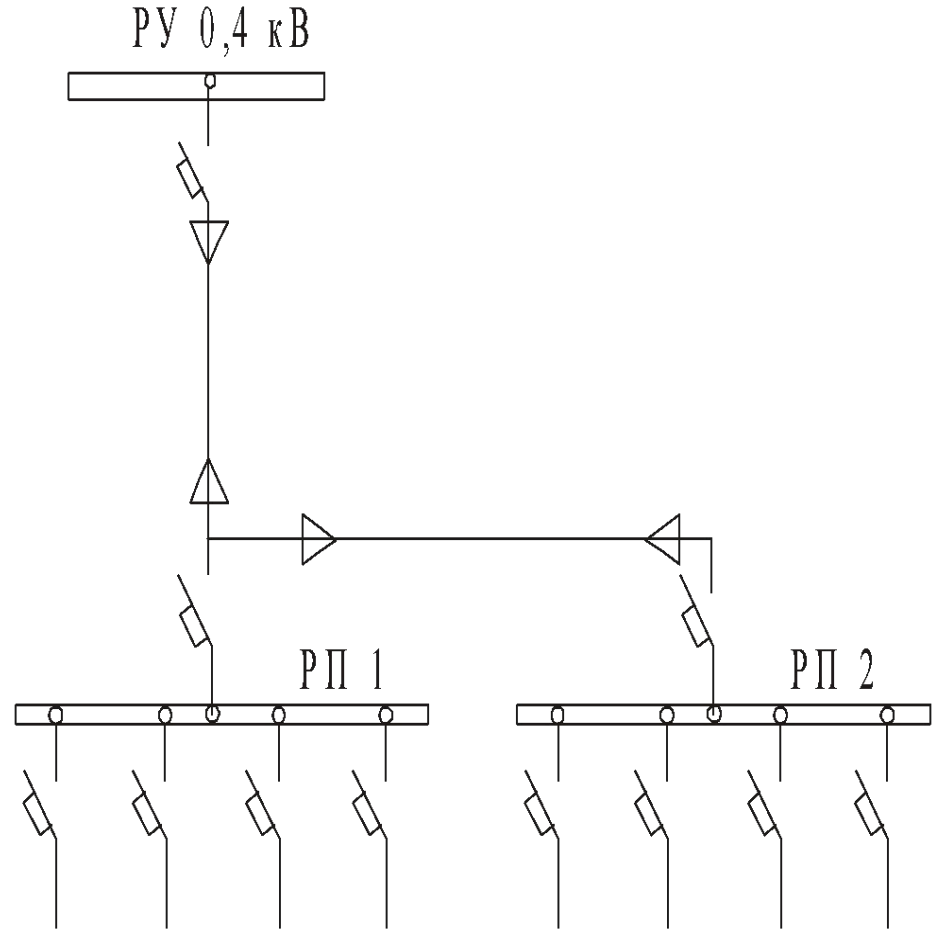
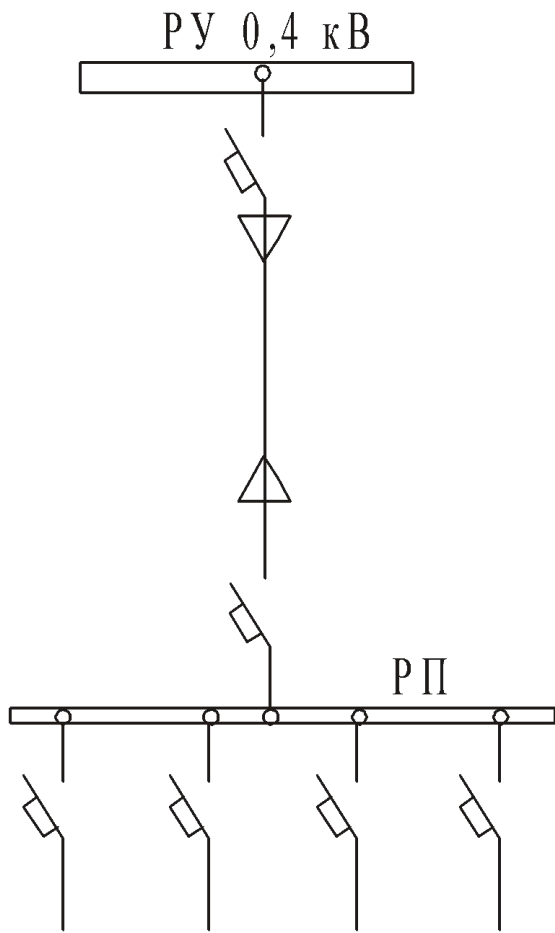
# Низковольтная распределительная сеть

- Питающая:
  1. Радиальная
  2. Магистральная
  3. Смешанная
  4. Кольцевая
  5. С двухсторонним питанием
- Распределительная – только радиальная

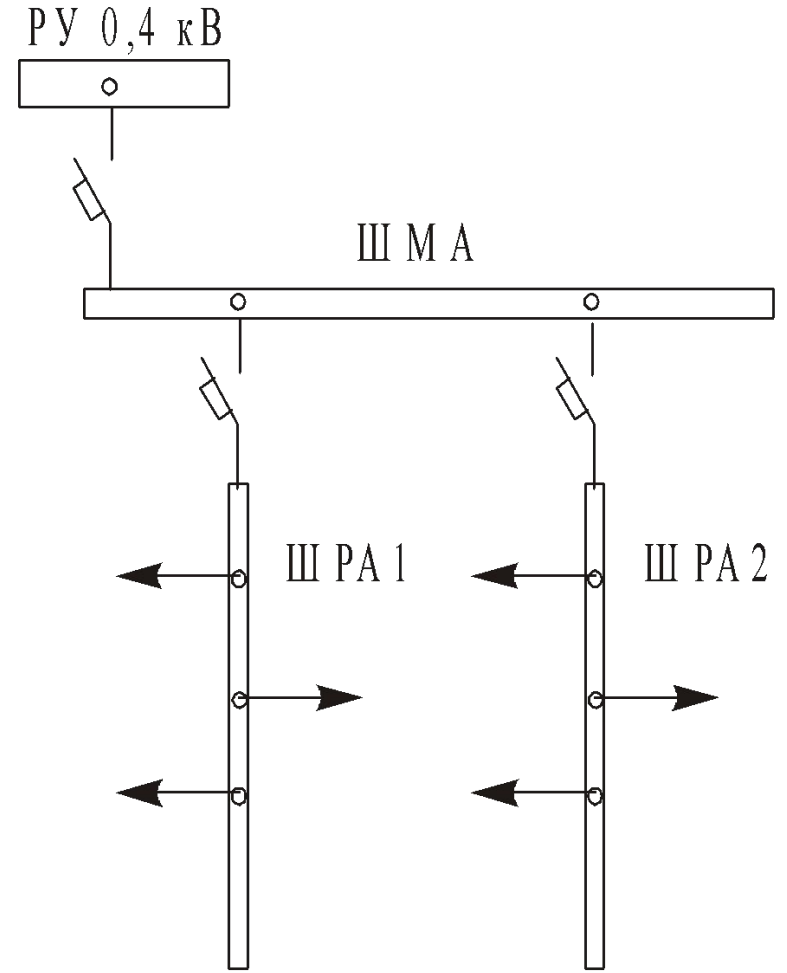
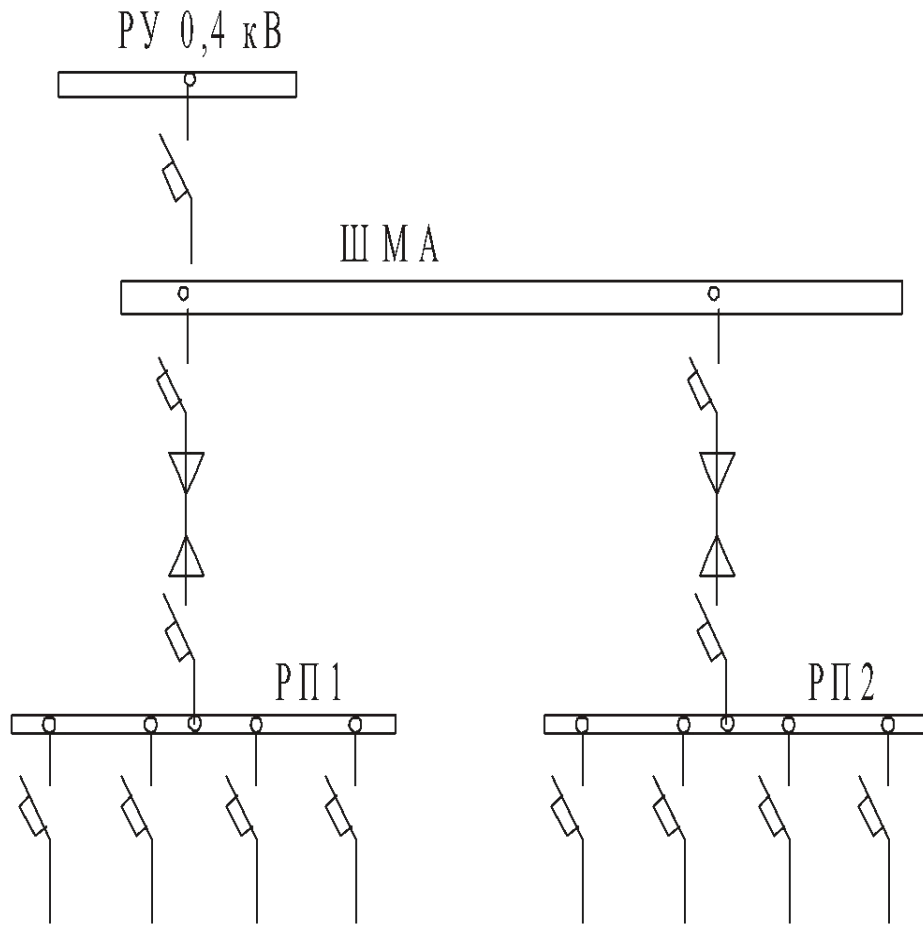
# СТРУКТУРА НВРС



# СХЕМЫ НВРС

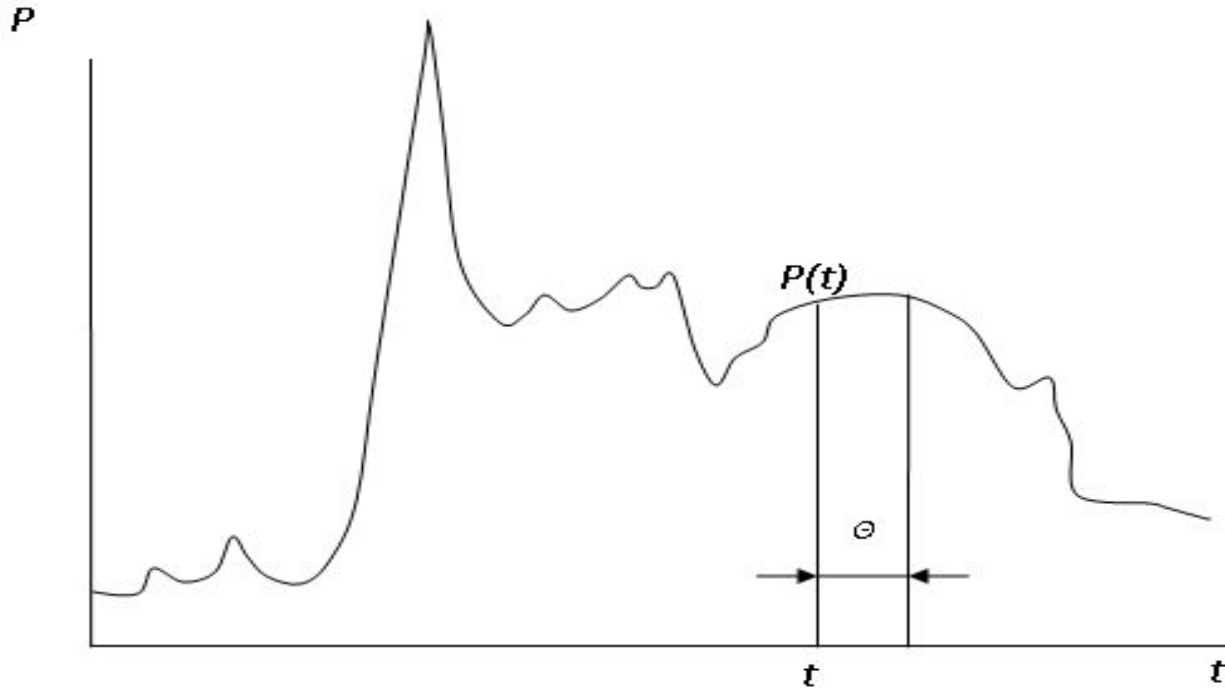


# СХЕМЫ НВРС



# СУТОЧНЫЙ ГРАФИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

реализация



$$P_{\Theta i} = \frac{1}{\Theta} \int_{t_i}^{t_i + \Theta} P(t) dt, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

# Числовые характеристики

- Среднее значение  $I_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i$
- Среднеквадратическое значение  $I_{ck} = I_{\text{эф}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i^2}$
- Дисперсия  $D_I = \sigma_I^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (I_i - I_{cp})^2$
- Коэффициент максимума  $K_{\max} = \frac{I_{\max}}{I_{cp}} \geq 1$
- Коэффициент формы графика  $K_{\phi} = \frac{I_{ck}}{I_{cp}} \geq 1$
- Коэффициент заполнения  $K_{зан} = \frac{I_{cp}}{I_{\max}} \leq 1$
- Коэффициент равномерности  $K_p = \frac{I_{\min}}{I_{\max}} \leq 1$

В частном случае, если  $I_i = const$ ,  $K_{\max} = 1$ ,  $K_{\phi} = 1$ ,  $I_{\text{эф}} = I_{cp} = I_{\max} = I_{\min}$

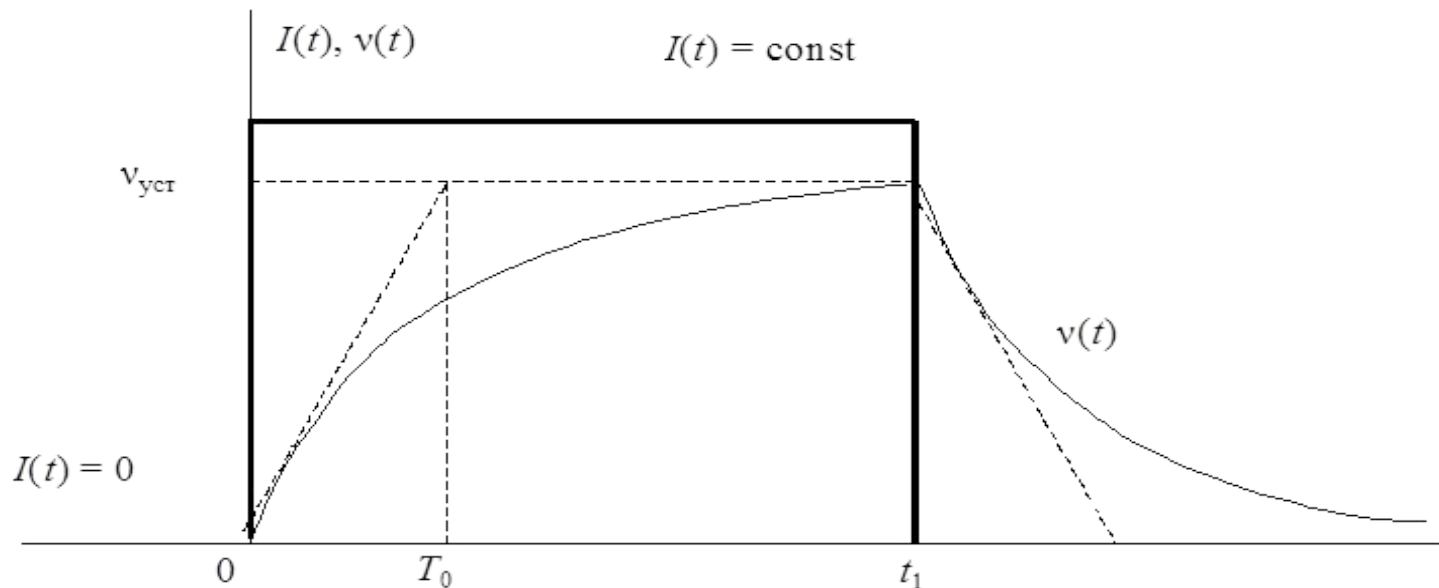


# Нагрев элемента электрической сети

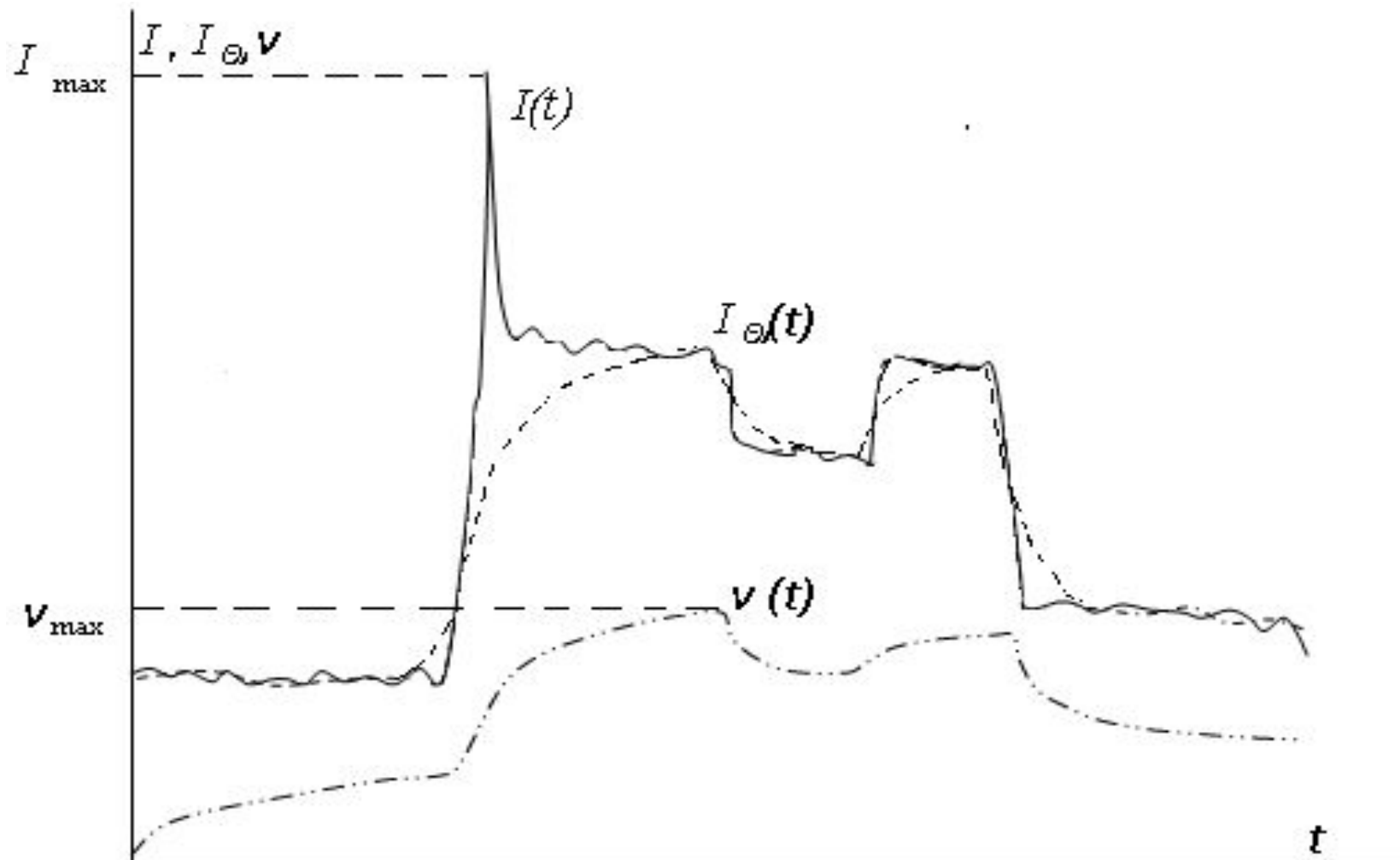
$$3I^2 R (1 + \alpha v) dt = cdv + Av dt$$

$$\frac{3I^2 R}{A} = \frac{c}{A} \frac{dv}{dt} + v \quad T_0 = \frac{c}{A} \quad v_{уст} = \frac{3I^2 R}{A}$$

$$v_{уст} = T_0 \frac{dv}{dt} + v \quad v(t) = v_{уст} - (v_{уст} - v_0) e^{-\frac{t}{T_0}}$$



# РАСЧЕТНАЯ НАГРУЗКА



# МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ НАГРУЗОК:

- а) метод упорядоченных диаграмм;
- б) метод коэффициента одновременности;
- в) суммирование неоднородных потребителей;
- г) метод коэффициента спроса;
- д) метод удельной плотности нагрузки;
- е) метод удельного расхода электроэнергии;
- ж) метод прямого расчета группового графика нагрузки.

## РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ:

- а) выбор мощности трансформаторов;
- б) расчет сечения проводников линий электропередачи;
- в) выбор электрических аппаратов;
- г) выбор сборных шин.

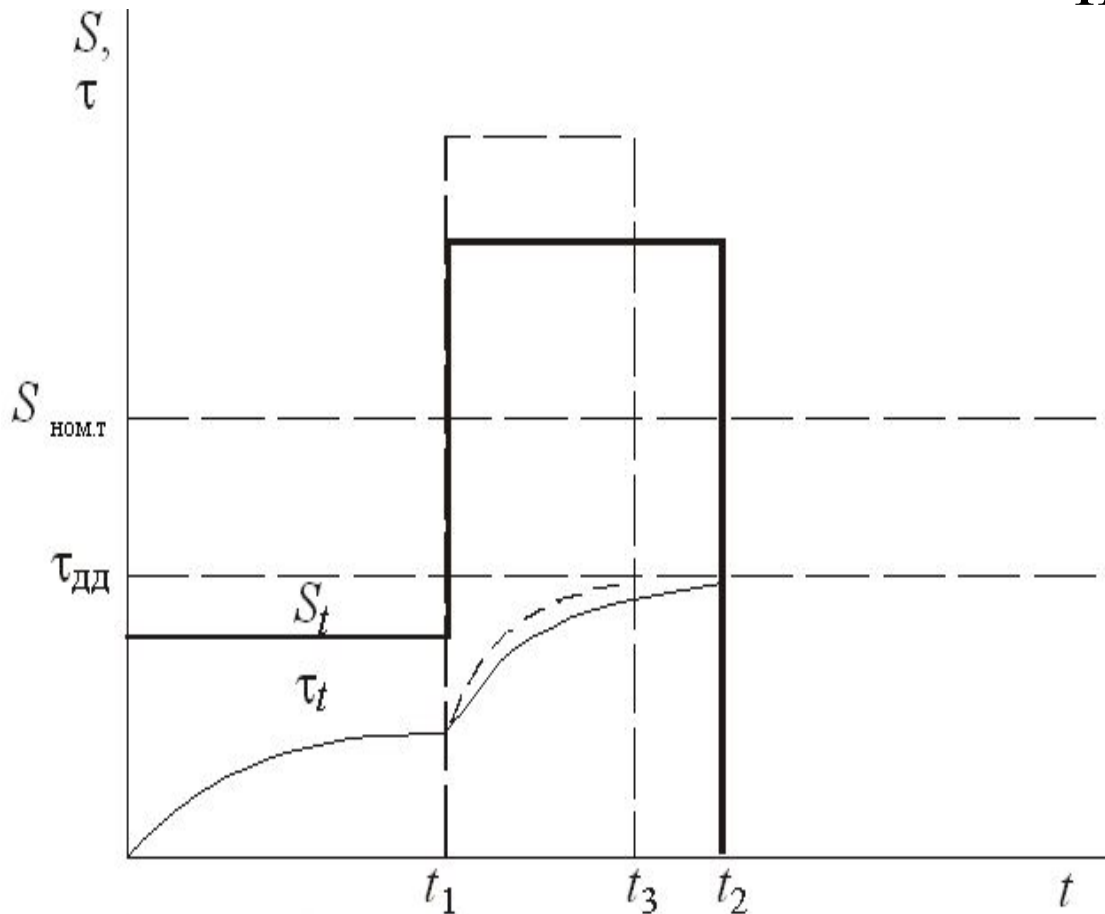
# ВЫБОР МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРА

для однитрансформаторной ТП

$$S_{\text{НОМ.Т}} > S_{\text{СМ}}$$

для двухтрансформаторной ТП

$$S_{\text{НОМ.Т}} > \frac{S_{\text{СМ}}}{1,4}$$



## **КРИТЕРИИ РАСЧЕТА ПРОВОДНИКОВ ЛЭП:**

- а) длительно допустимая токовая нагрузка;**
- б) экономическая плотность тока;**
- в) допустимая потеря напряжения;**
- г) механическая прочность;**
- д) условия короны.**

## Длительно допустимая токовая нагрузка

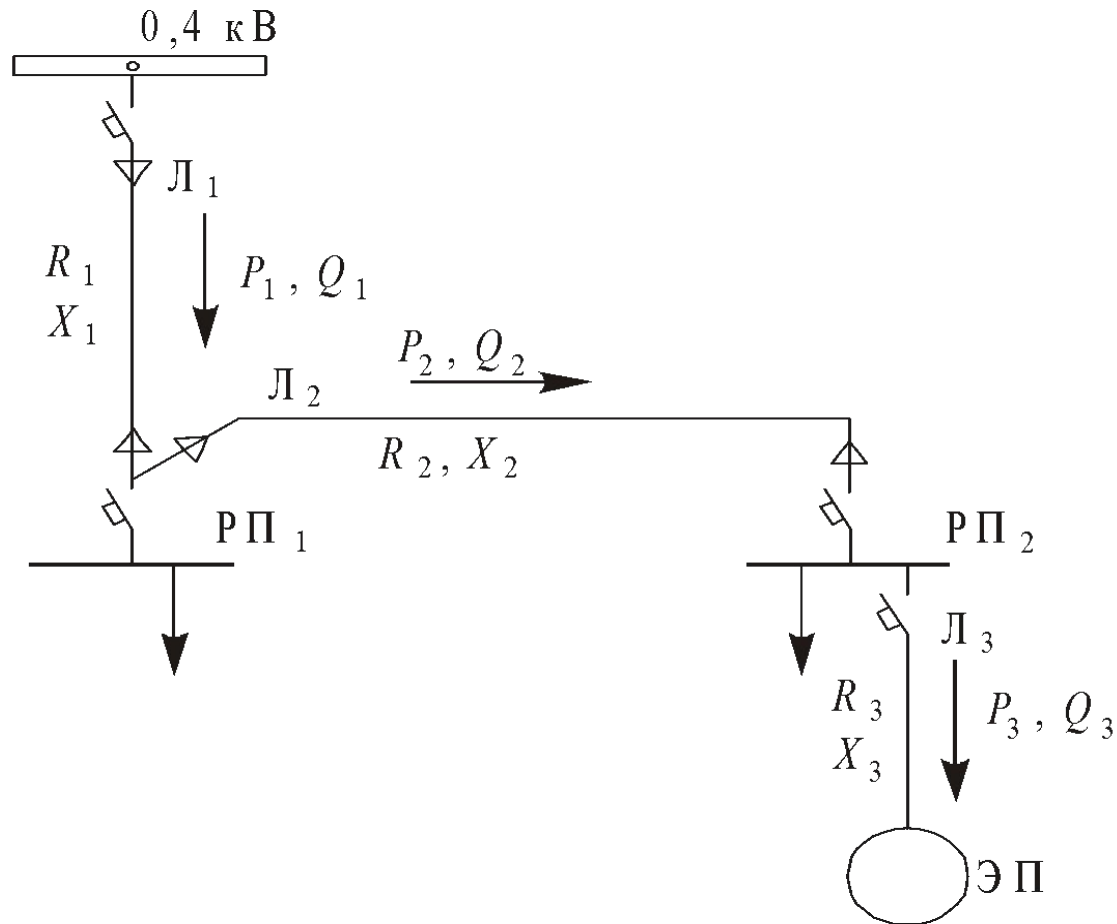
- условие  $I_{\text{рд}} = I_{\text{max}} \leq I$

## Экономическая плотность тока

- расчет  $S_{\text{э}} = \frac{I_{\text{р}}}{j_{\text{э}}}$

# Допустимая потеря напряжения

$$\Delta U_{\Sigma} = \sum_{i=1}^3 \Delta U_i, \quad \Delta U_i = \frac{P_i R_i + Q_i X_i}{U_{\text{НОМ}}^2} 10, \%$$





# КРИТЕРИИ ВЫБОРА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ:

- а) напряжение;
- б) функциональное назначение (коммутационные, защитные, защитно-коммутационные);
- в) номинальный ток;
- г) условие защиты от воздействия окружающей среды;
- д) по климатическому исполнению.

# Проверка оборудования СЭС на действия токов КЗ:

1. Кабель – расчет термически стойкого сечения

$$S_{\text{тер min}} = \frac{\sqrt{B_k}}{C_T}$$

2. Электрические аппараты:

а) проверка на термическую стойкость,  
условие

$$I_{\text{ТС}}^2 t_{\text{ТС}} \geq B_k$$

б) проверка на динамическую стойкость,  
условие

$$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}^{(3)}$$

# Потери активной мощности в элементах СЭС

$$\Delta P_T = \Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} k_3^2 = \Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \frac{S^2}{S_{HT}^2}$$

$$\Delta P_{Л} = 3I^2 R = \frac{S^2}{U^2} R = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R$$

# Потери активной электроэнергии в трансформаторе

$$\begin{aligned} W_T &= \int_0^T (\Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \frac{S_t^2}{S_{HT}^2}) dt = \Delta P_{xx} T + \Delta P_{кз} \frac{1}{S_{HT}^2} \frac{T}{T} \int_0^T S_t^2 dt = \\ &= \Delta P_{xx} T + \Delta P_{кз} \frac{T}{S_{HT}^2} (S_{cp}^2 + \sigma_S^2) = \\ &= \Delta P_{xx} T + \Delta P_{кз} T \frac{P_{cp}^2 + Q_{cp}^2}{S_{HT}^2} + \Delta P_{кз} T \frac{\sigma_P^2 + \sigma_Q^2 + 2\rho\sigma_P\sigma_Q}{S_{HT}^2} \end{aligned}$$

# Потери активной электроэнергии в линии электропередачи

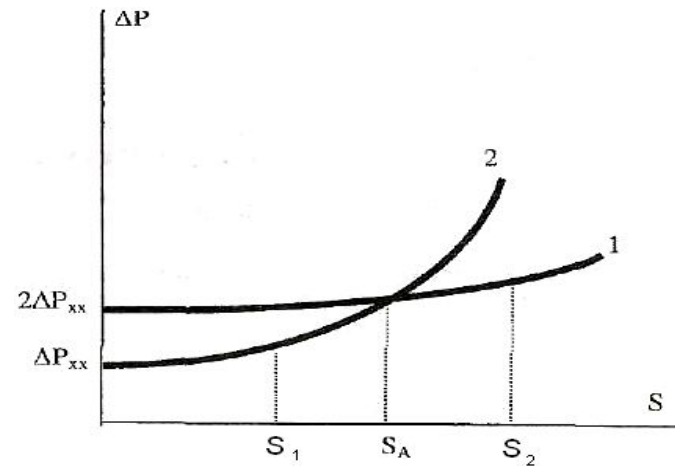
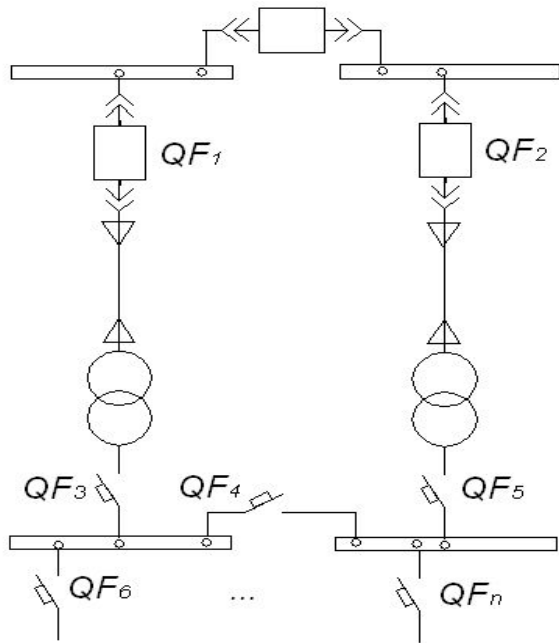
$$\begin{aligned}\Delta W_{\text{Л}} &= \int_0^T 3I_t^2 R dt = 3R \int_0^T I_t^2 dt = 3R \frac{T}{T} \int_0^T I_t^2 dt = 3RT I_{\text{СК}}^2 = \\ &= 3RT(I_{\text{CP}}^2 + \sigma_I^2) = RT \left( \frac{S_{\text{CP}}^2}{U^2} + \frac{\sigma_S^2}{U^2} \right) = \\ &= RT \frac{P_{\text{CP}}^2 + Q_{\text{CP}}^2}{U^2} + RT \frac{\sigma_P^2 + \sigma_Q^2 + 2\rho\sigma_P\sigma_Q}{U^2}\end{aligned}$$

Упрощенная оценка потерь активной  
электроэнергии на годовом интервале  
времени

$$\Delta W_{Л} = \Delta P_{\max} \tau_{\max} = 3I_{\max}^2 R \tau_{\max}$$

$$\Delta W_{Т} = \Delta P_{xx} 8760 + \Delta P_{кз} \frac{S_{\max}^2}{S_{HT}^2} \tau_{\max}$$

# Оптимизация работы 2-х трансформаторных подстанций



$$2\Delta P_{xx} + 2\Delta P_{кз} \left( \frac{S_A}{2S_{HT}} \right)^2 = \Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \left( \frac{S_A}{S_{HT}} \right)^2$$