

Системы электроснабжения

Гужов Николай Петрович



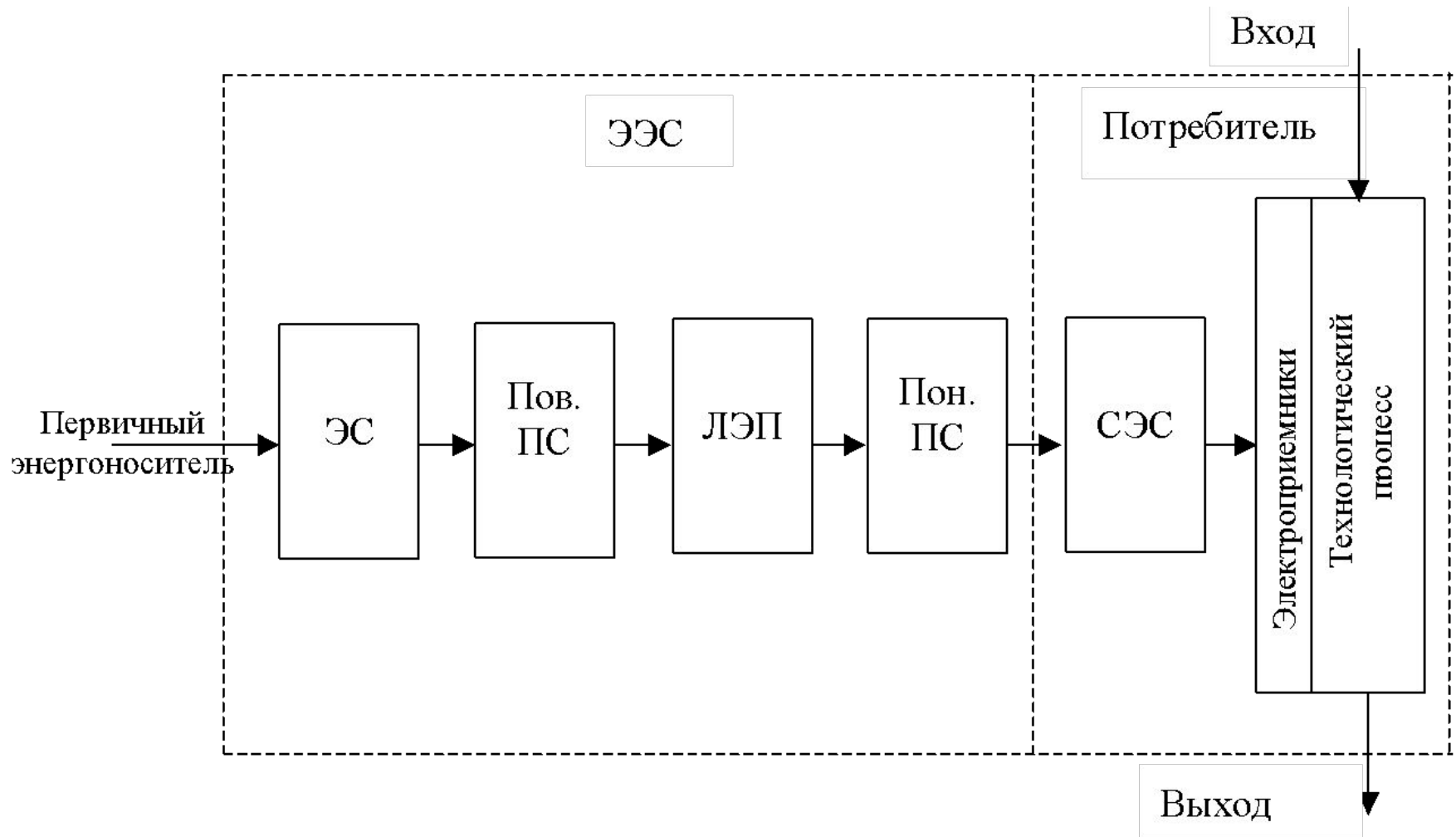
Основные понятия

- 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.

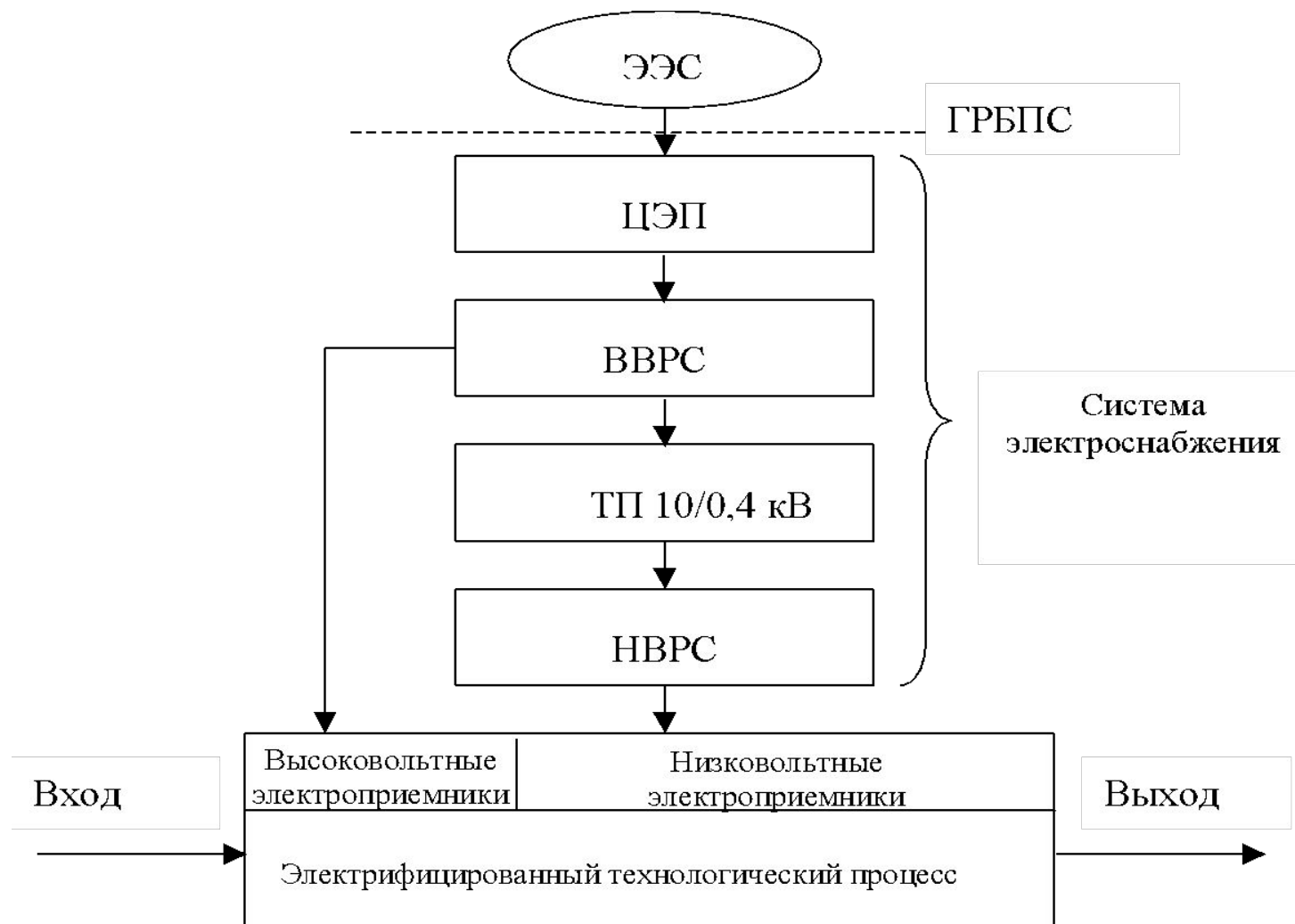
Классификация электроприемников и потребителей электроэнергии:

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.

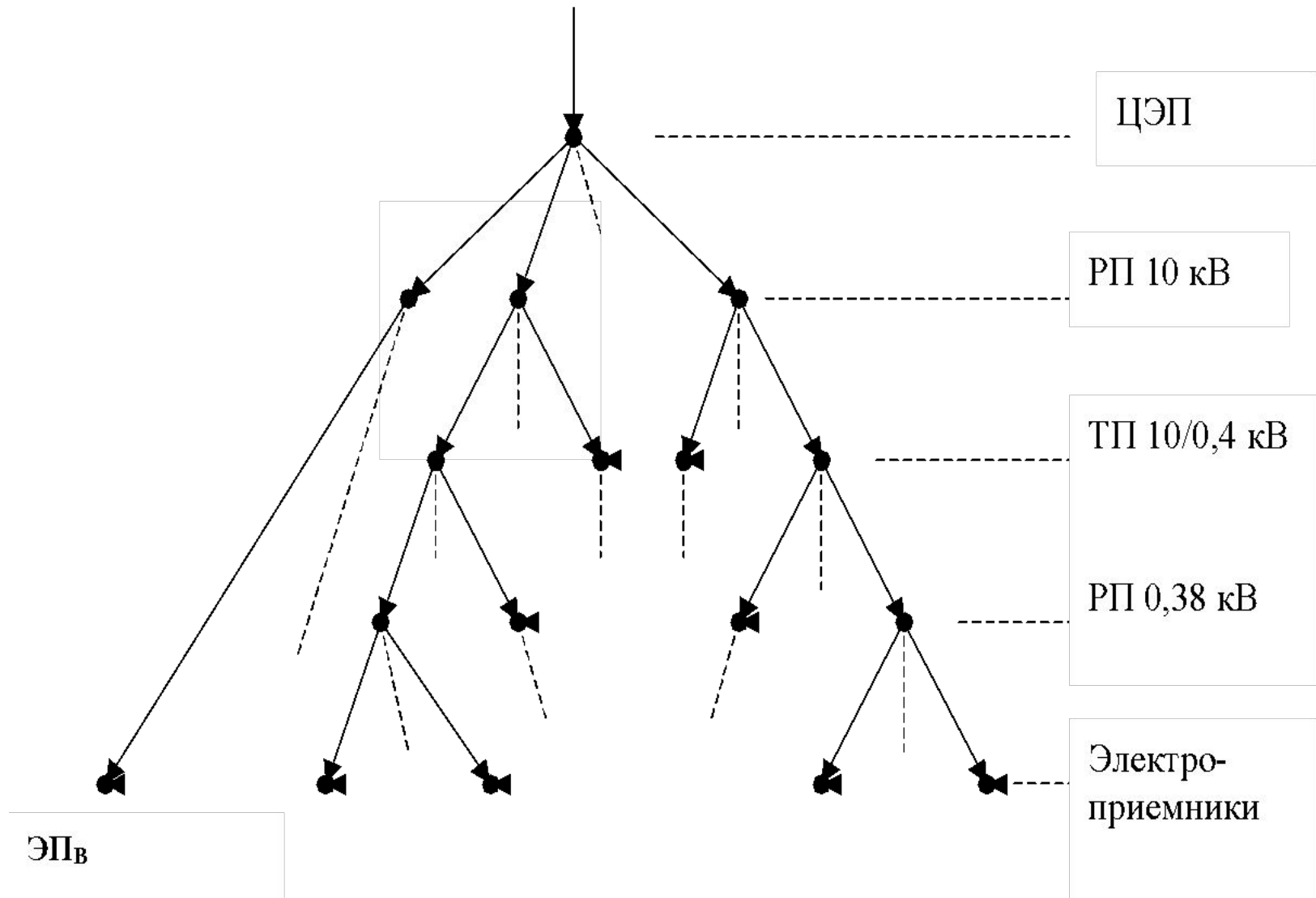
Структурная схема электроэнергетики



Обобщенная структура СЭС



Дерево-схема системы электроснабжения



Центр электрического питания

·ГПП

ГПП

Без РУ ВН

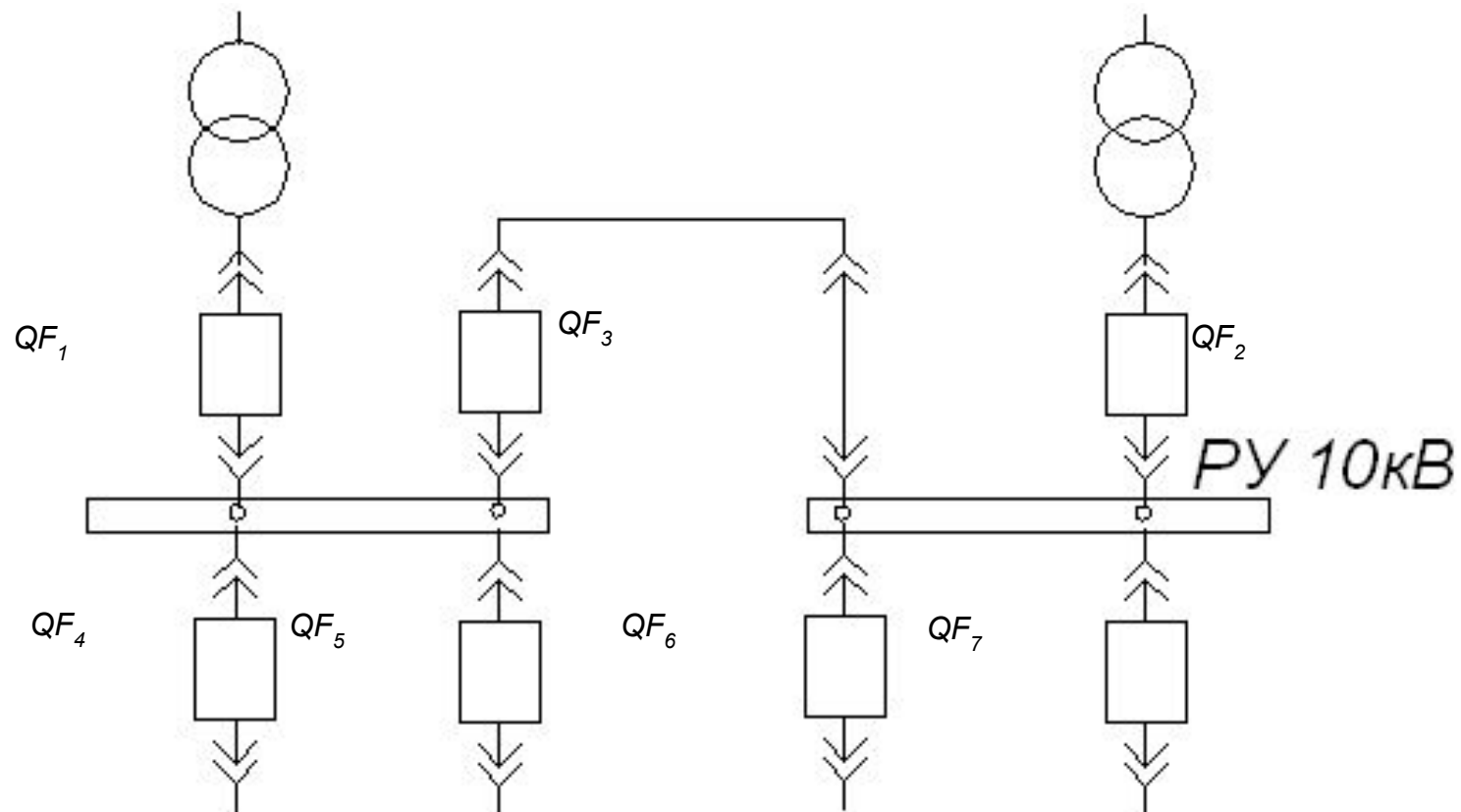
РУ ВН
на блоках

отделитель-короткозамыкатель

РУ ВН
на выключателях

·ЦРП

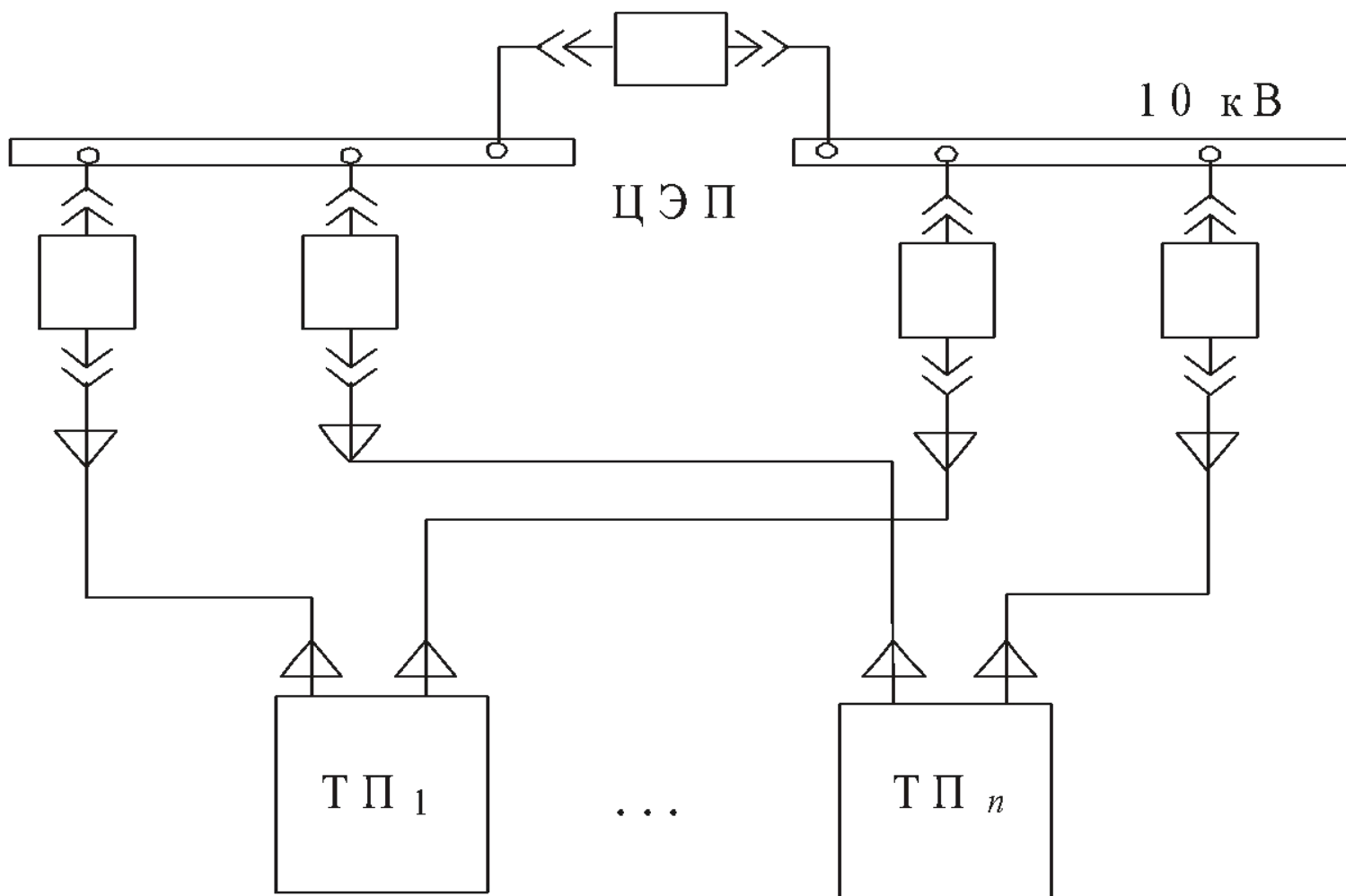
CXEMA PY 10 κB



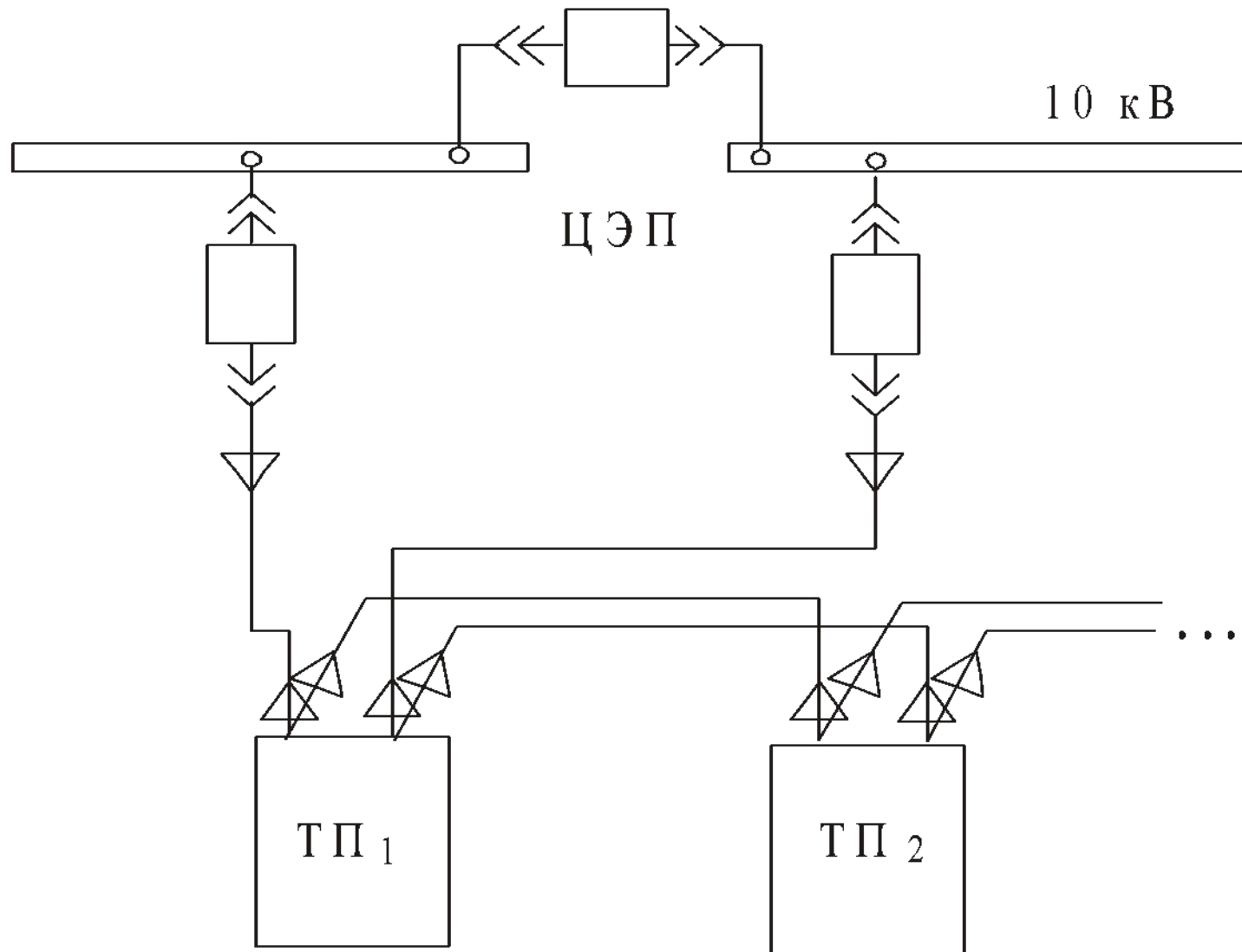
Высоковольтная распределительная сеть

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

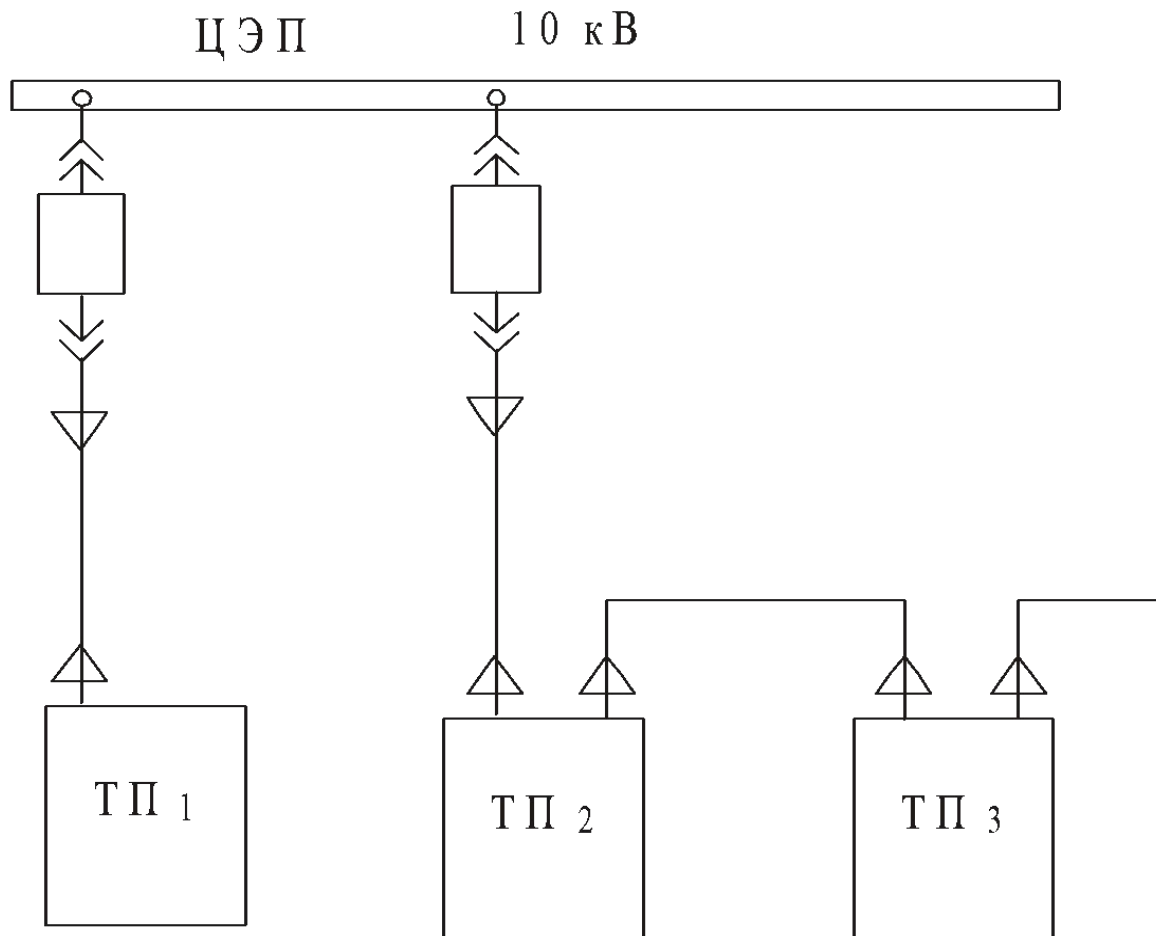
РАДИАЛЬНАЯ СХЕМА



МАГИСТРАЛЬНАЯ СХЕМА



СМЕШАННАЯ СХЕМА



КОЛЬЦЕВАЯ СХЕМА

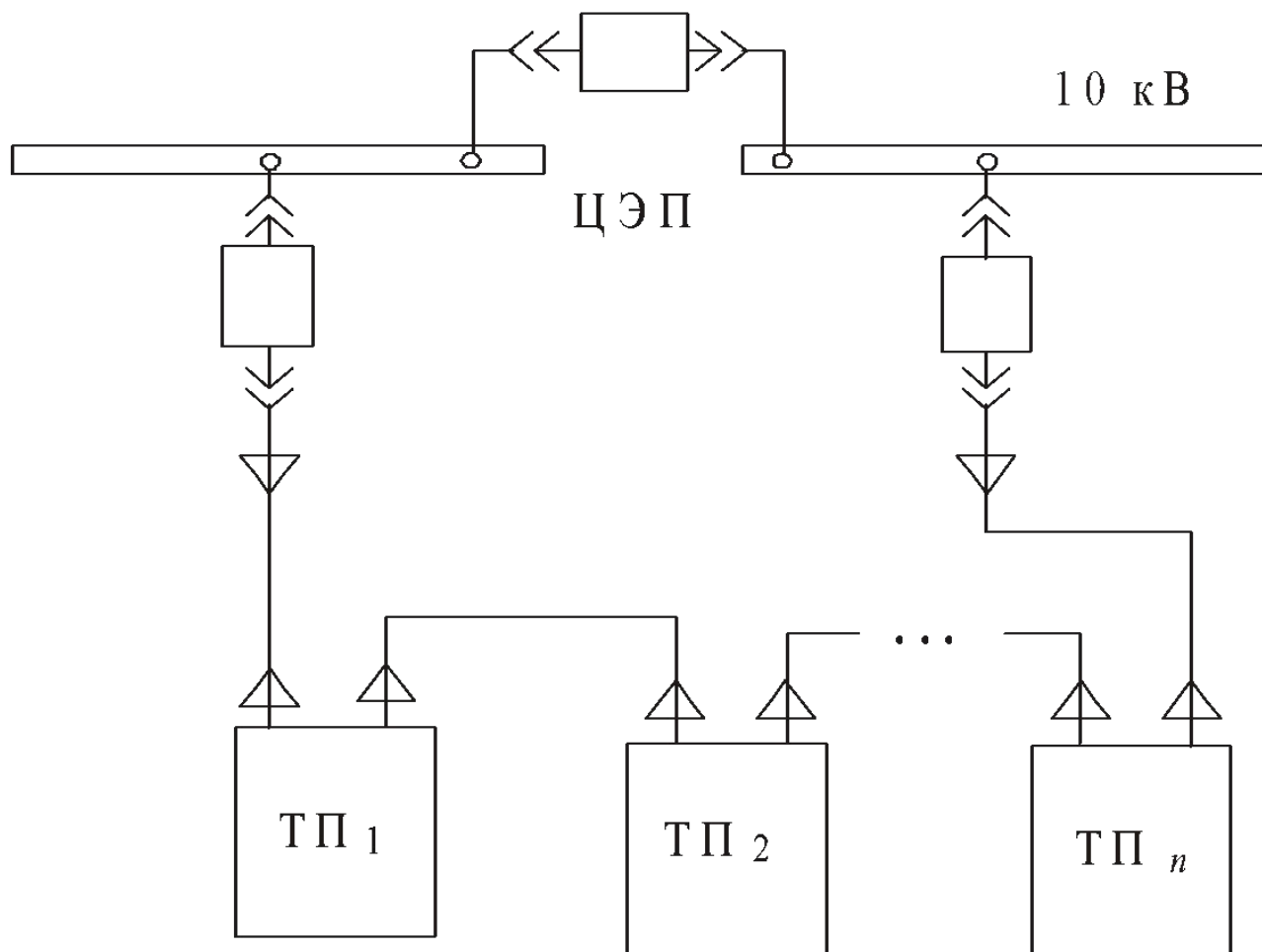
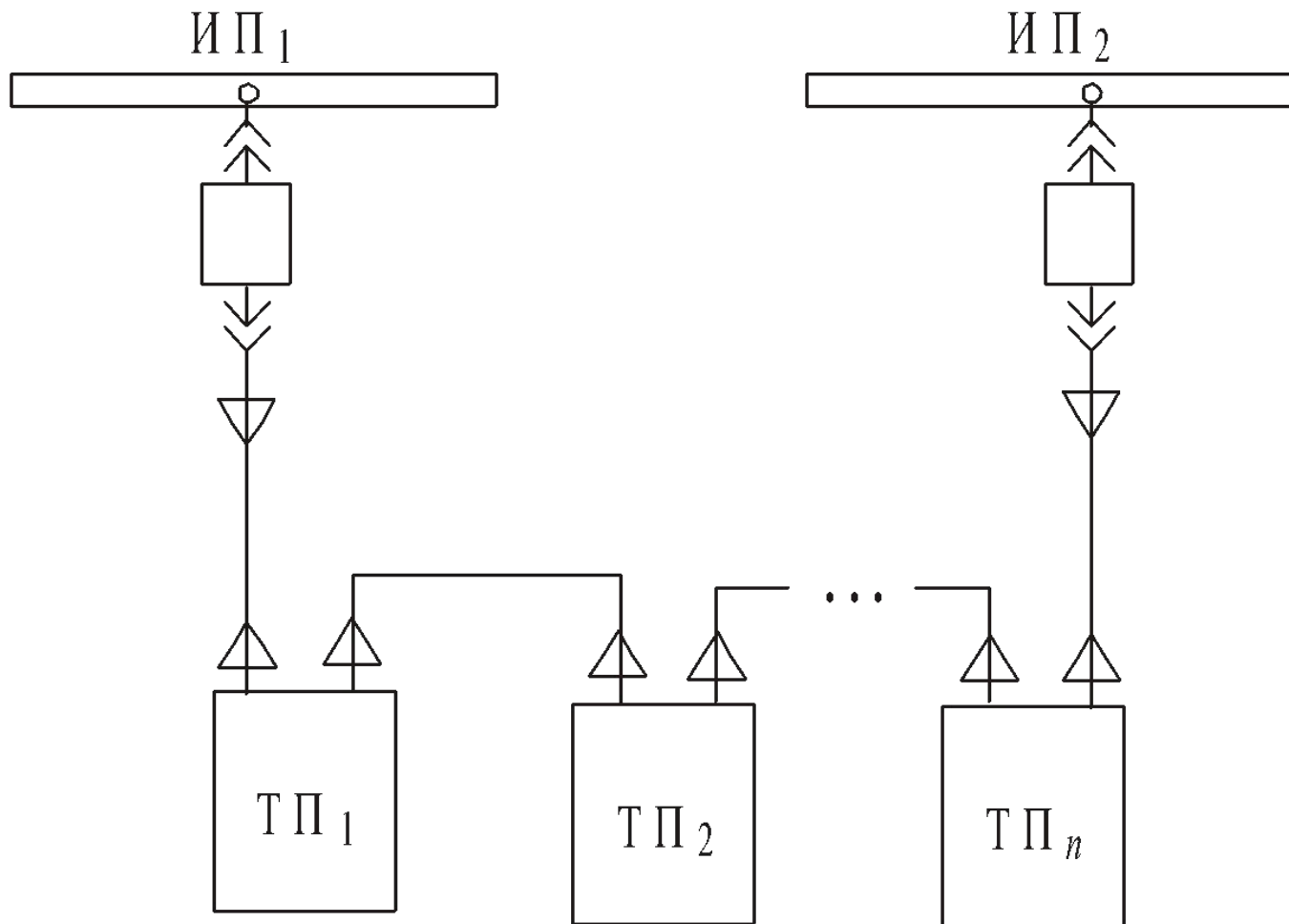


СХЕМА С ДВУХСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ



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

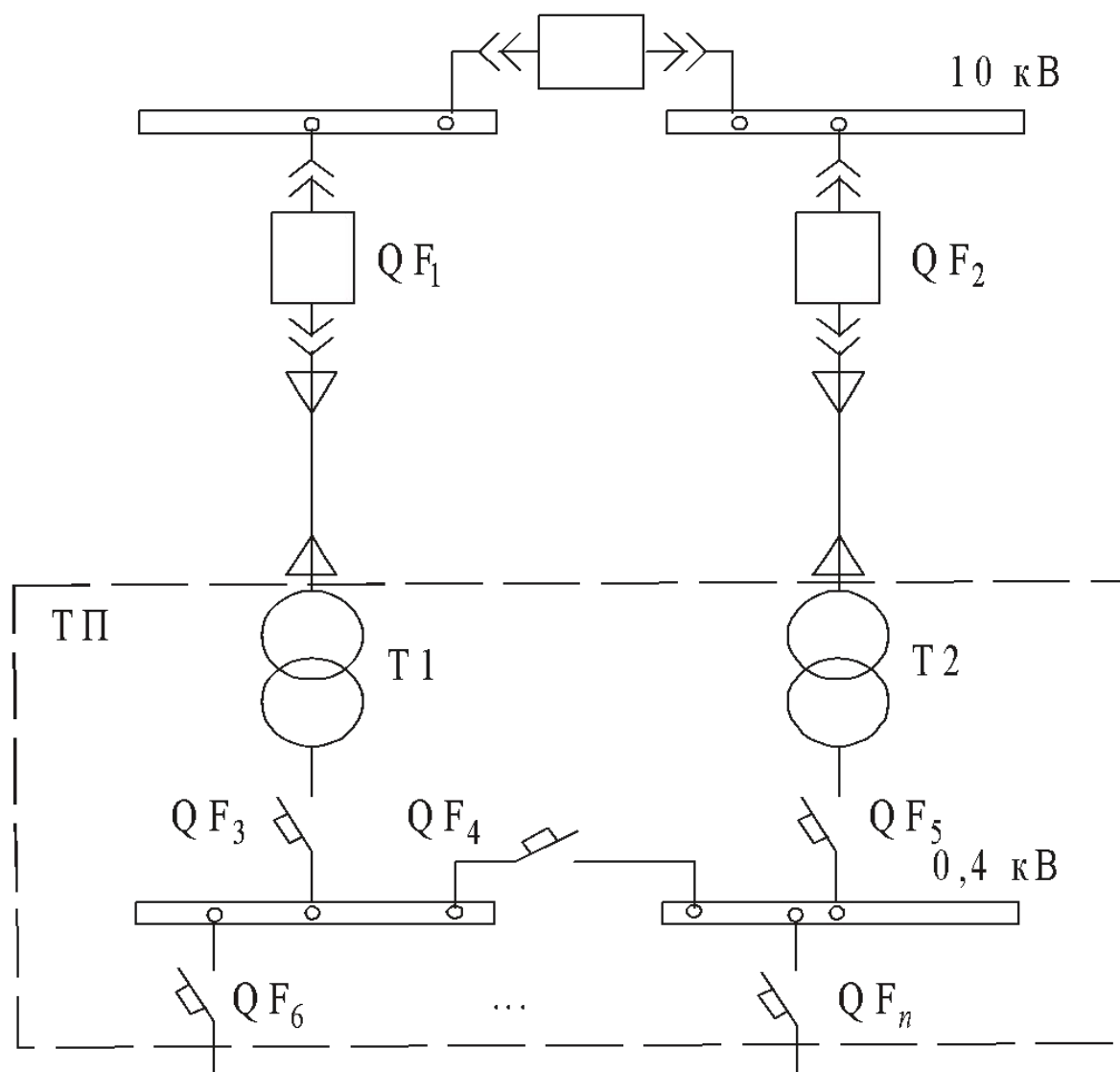


СХЕМА ТП, ПРИСОЕДИНЕННОЙ К МАГИСТРАЛЬНОЙ СЕТИ

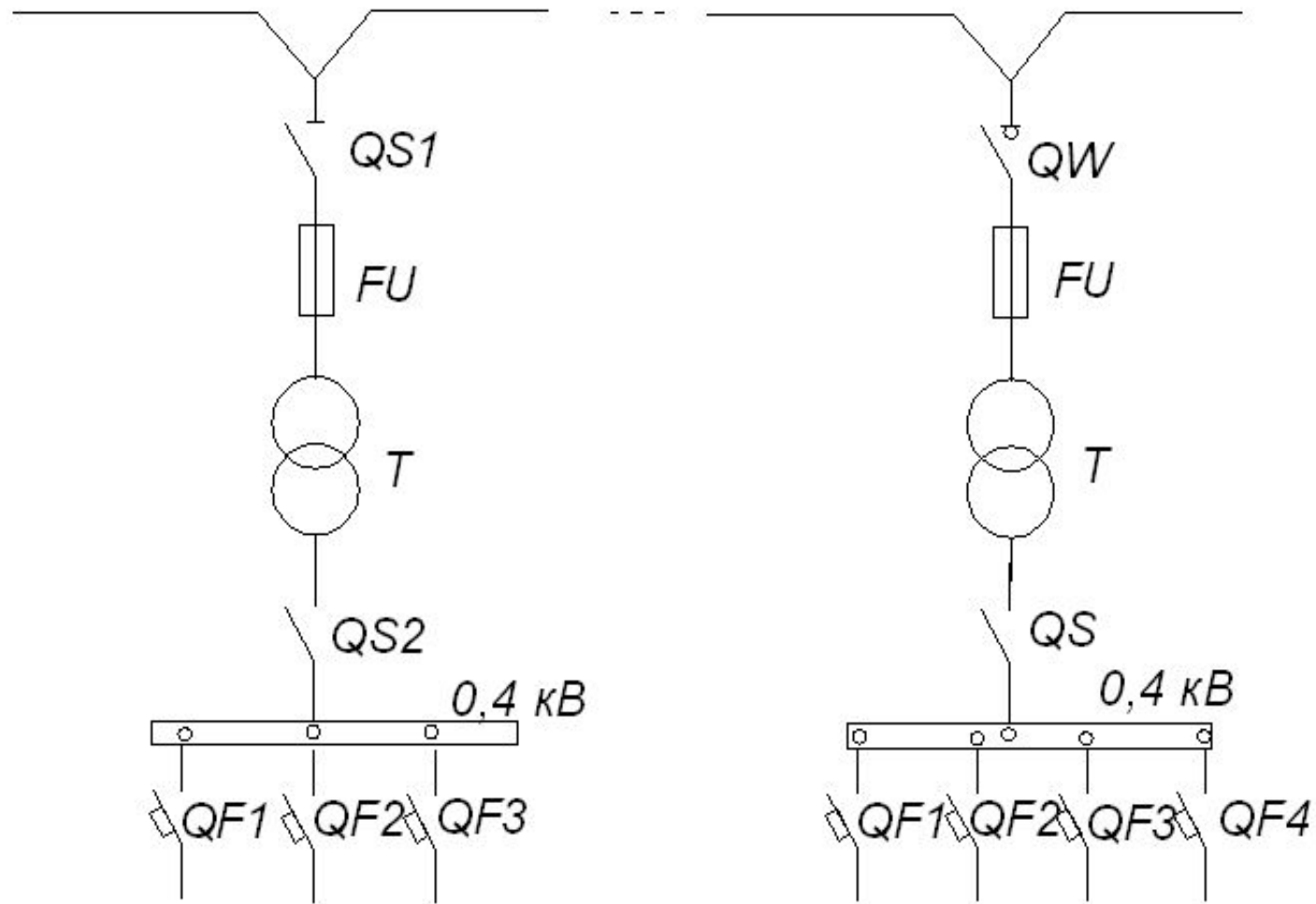
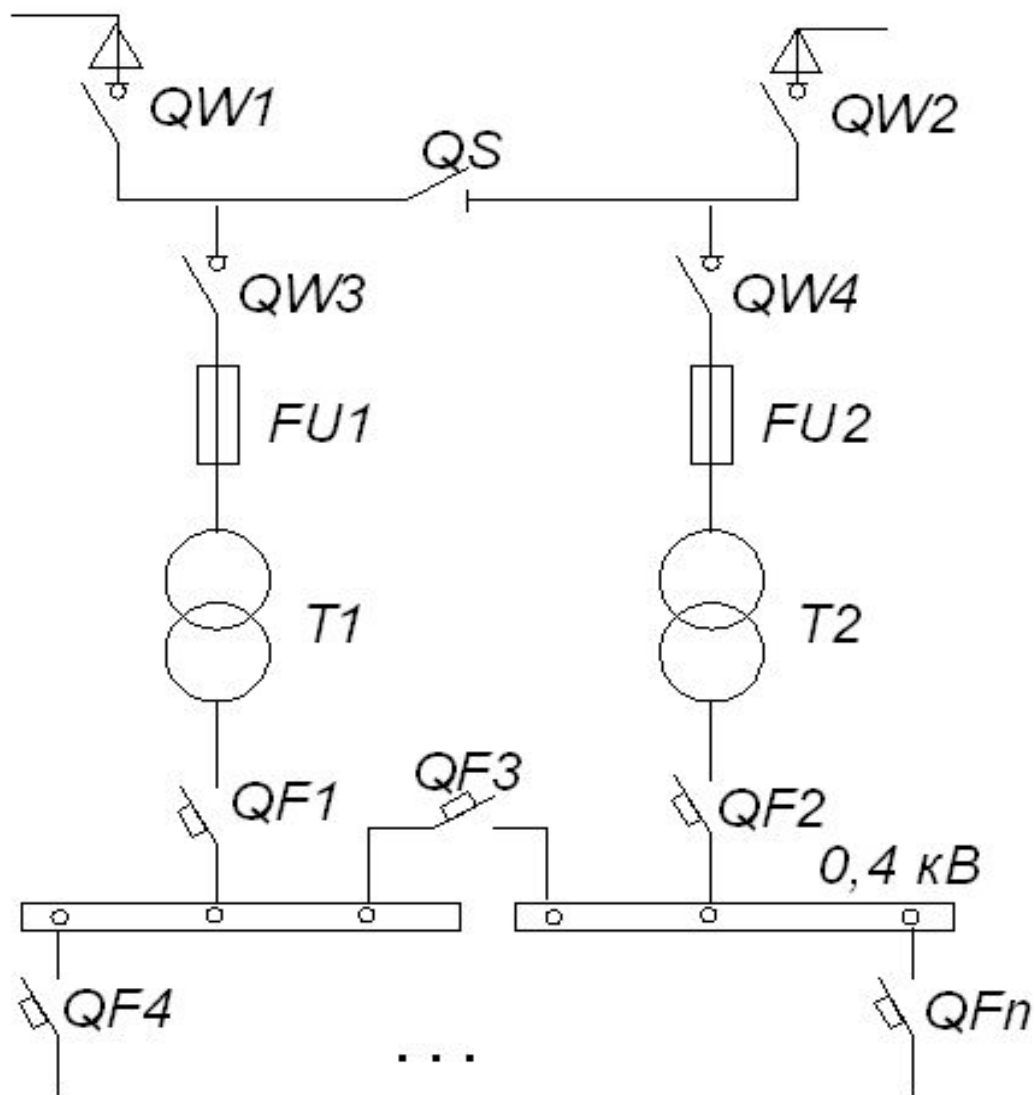


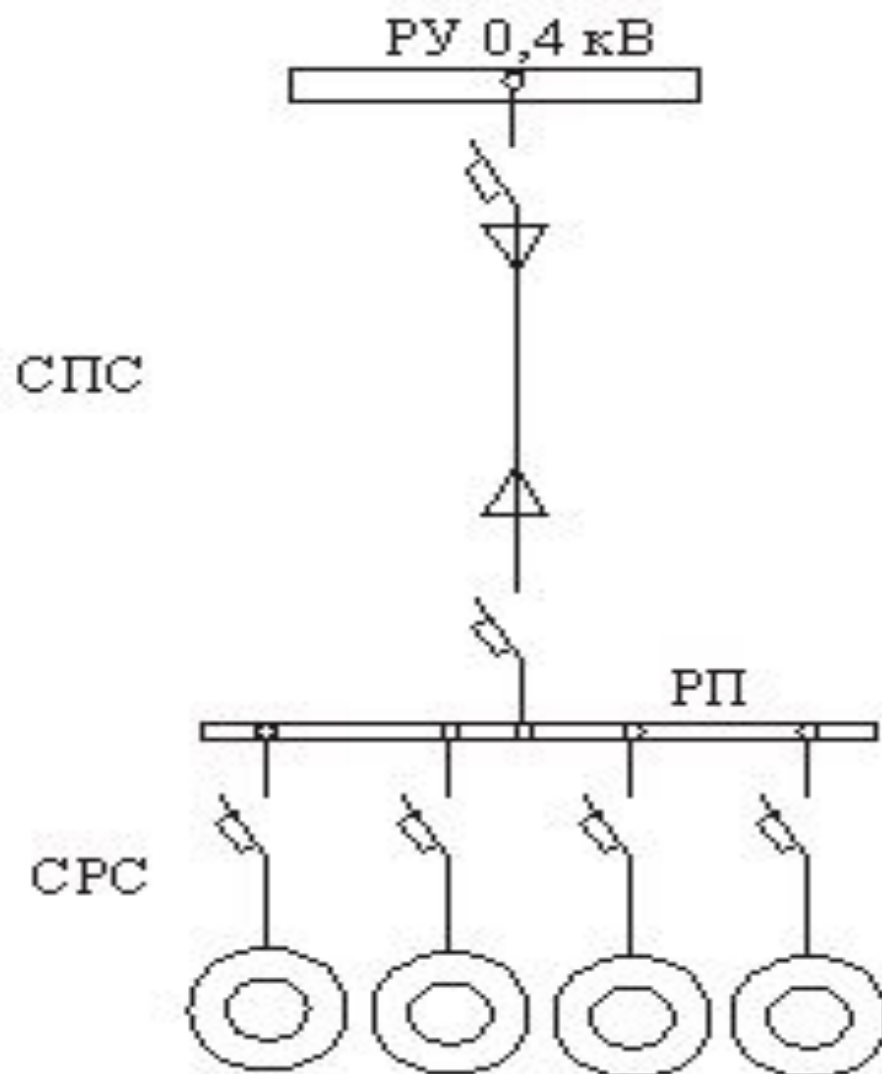
СХЕМА ТП, ПРИСОЕДИНЕННОЙ К КОЛЬЦЕВОЙ СЕТИ



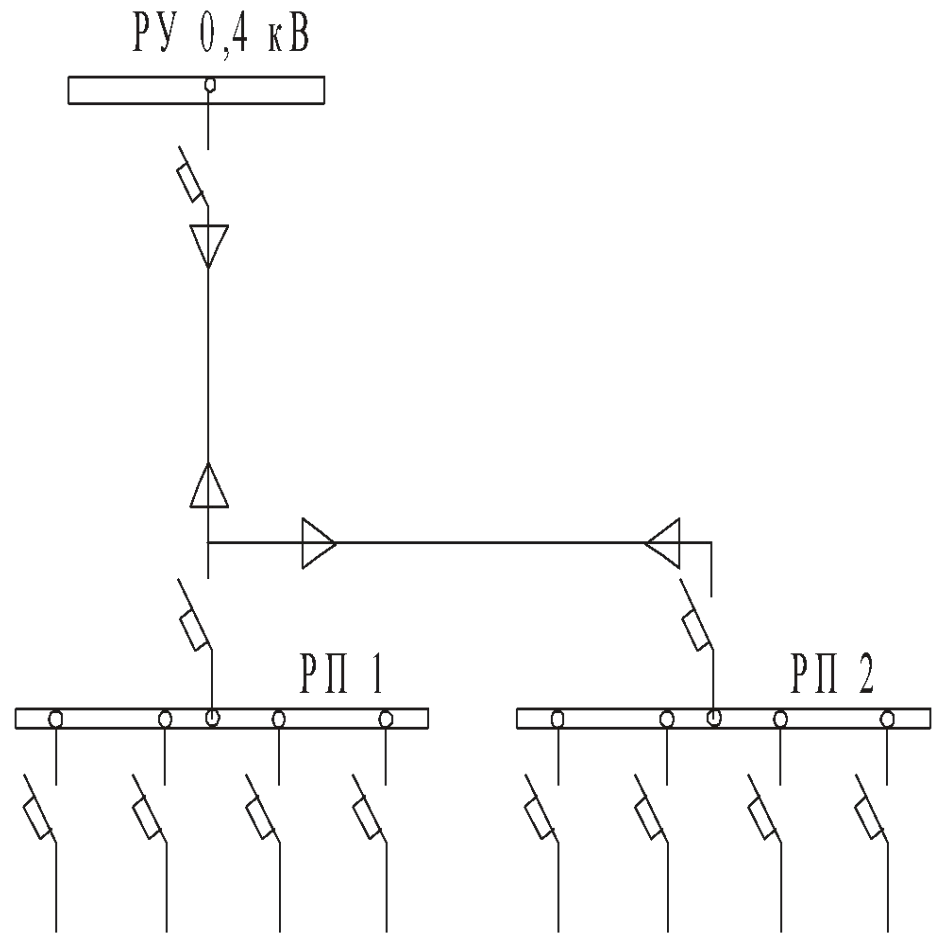
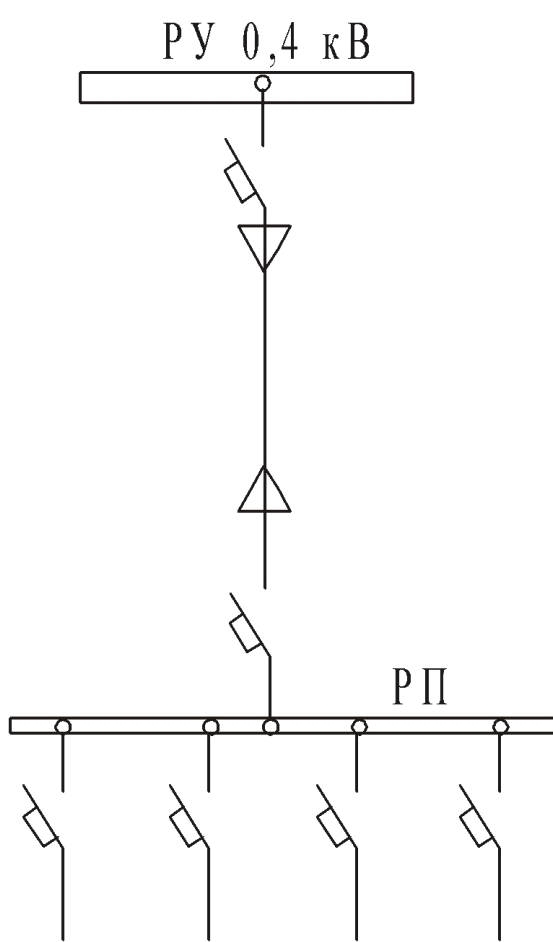
Низковольтная распределительная сеть

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

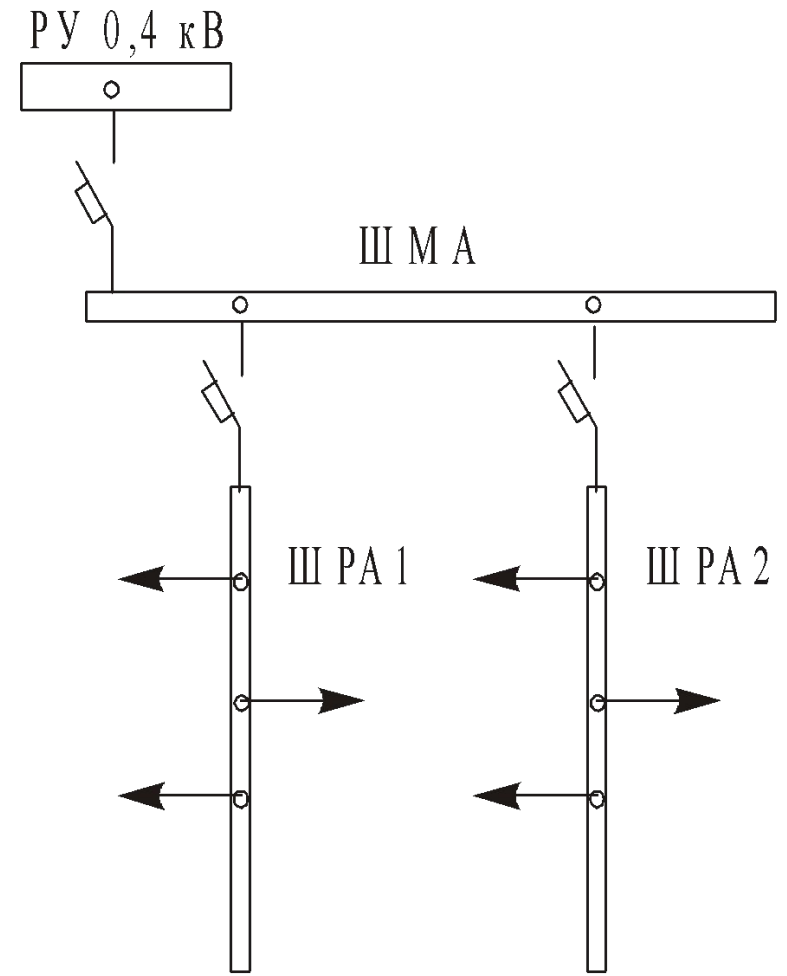
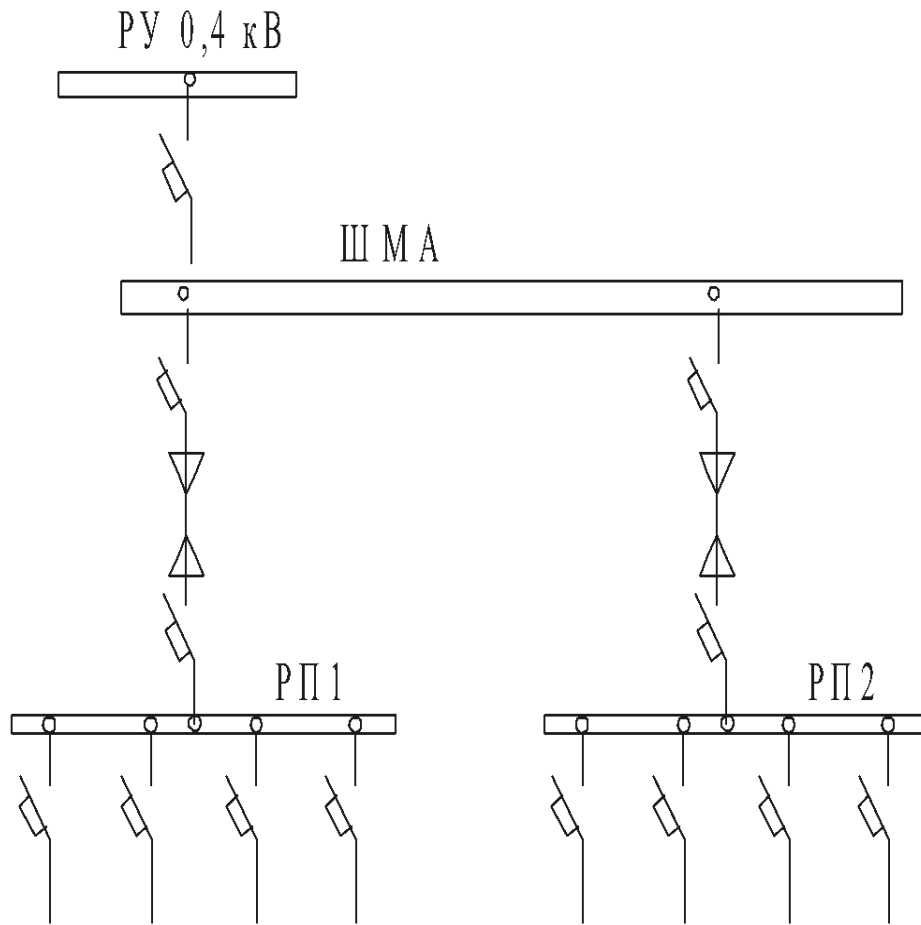
СТРУКТУРА НВРС



СХЕМЫ НВРС

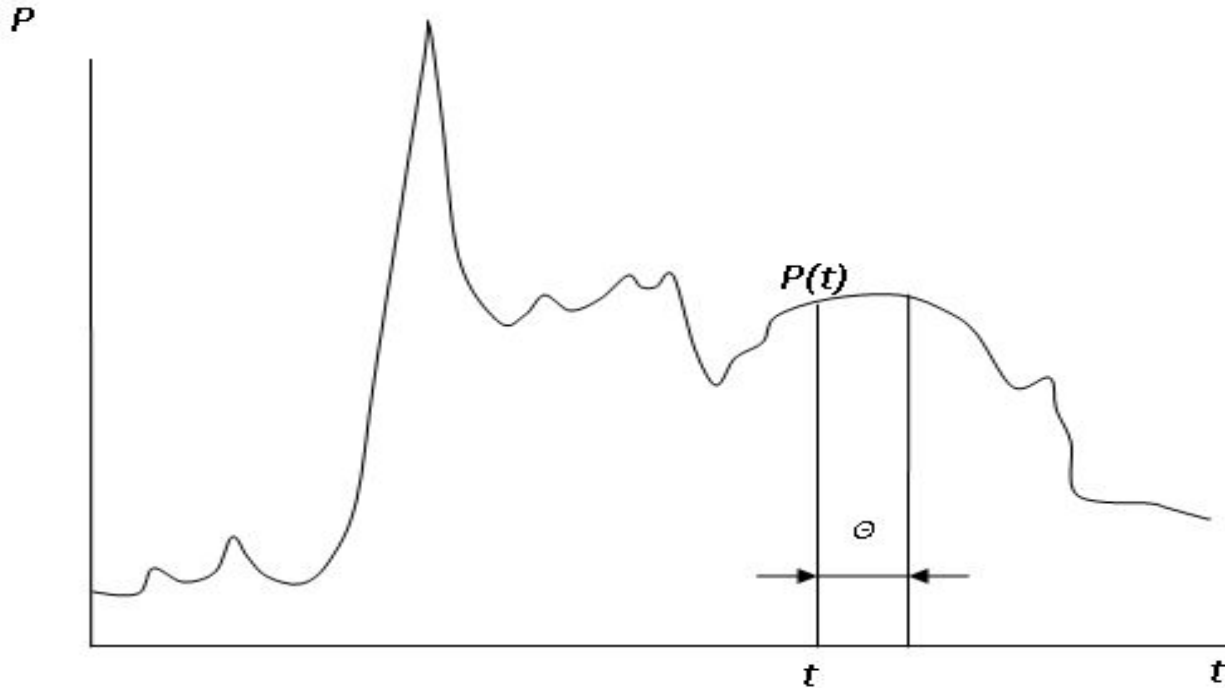


СХЕМЫ НВРС



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 $I_{ck} = I_{эф} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i^2}$
- 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 $K_p = \frac{I_{min}}{I_{max}} \leq 1$

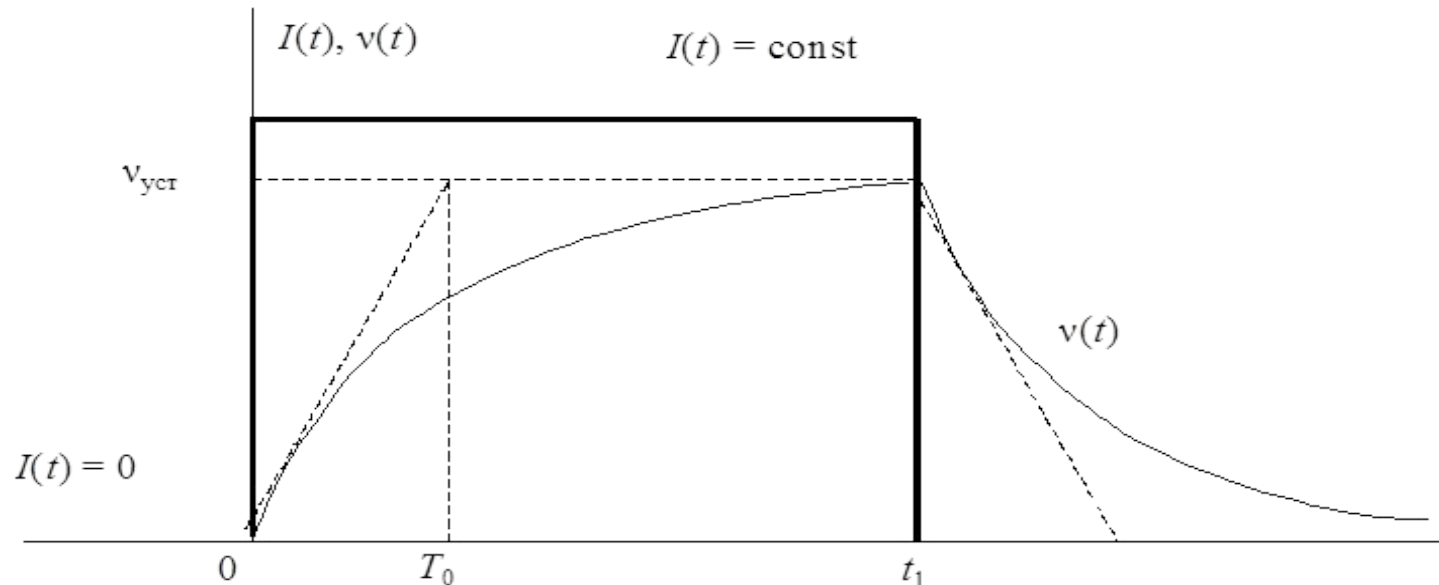
В частном случае, если $I_i = const$, $K_{max} = 1$, $K_{\phi} = 1$, $I_{эф} = I_{cp} = I_{max} = I_{min}$

Нагрев элемента электрической сети

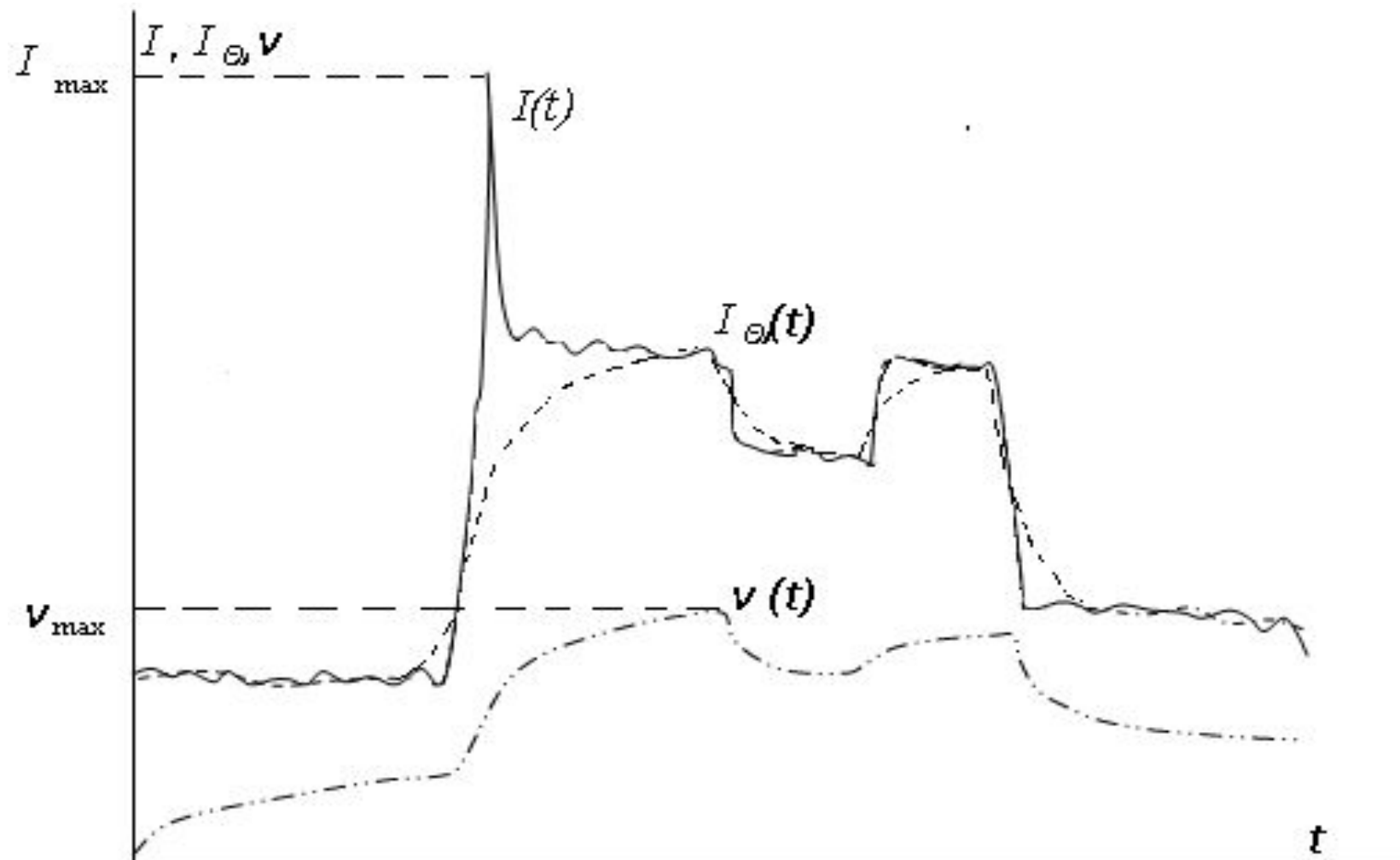
$$3I^2 R (1 + \alpha v) dt = c dv + A v dt$$

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

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



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.

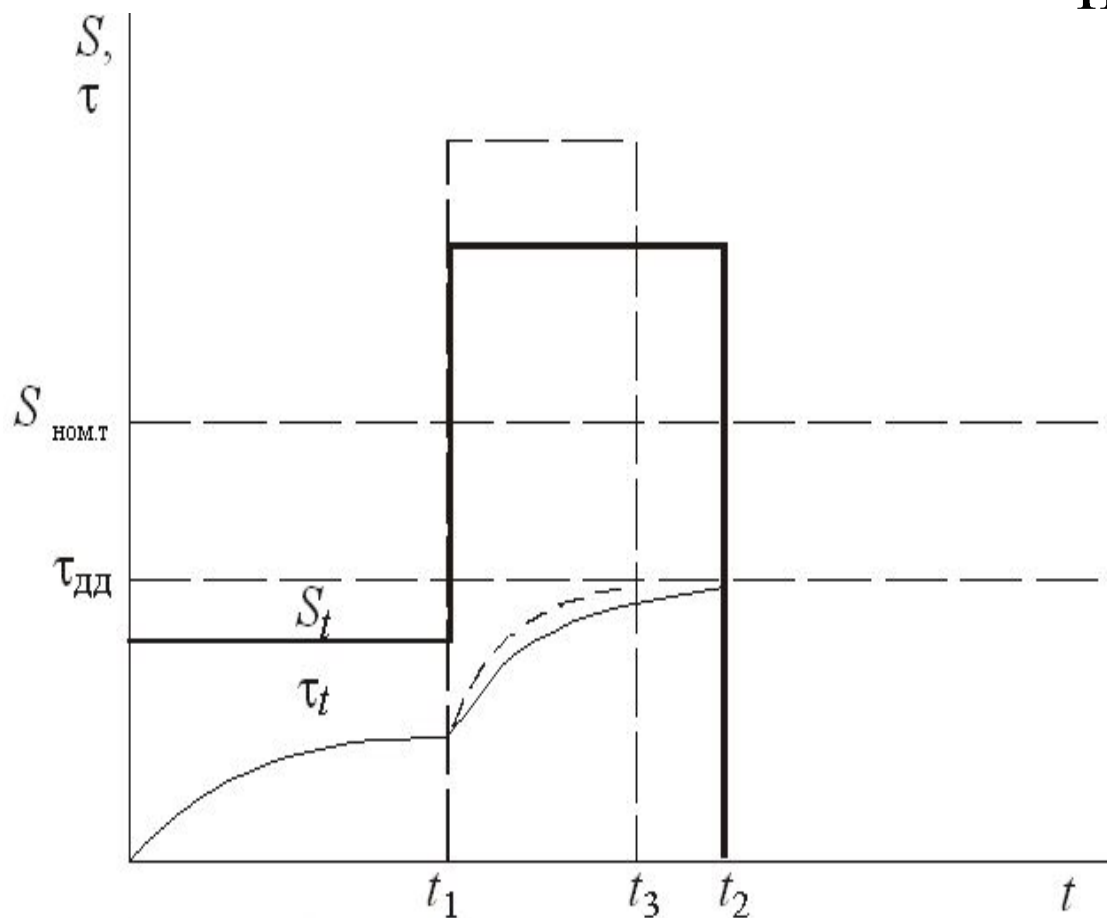
ВЫБОР МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРА

для однотрансформаторной 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

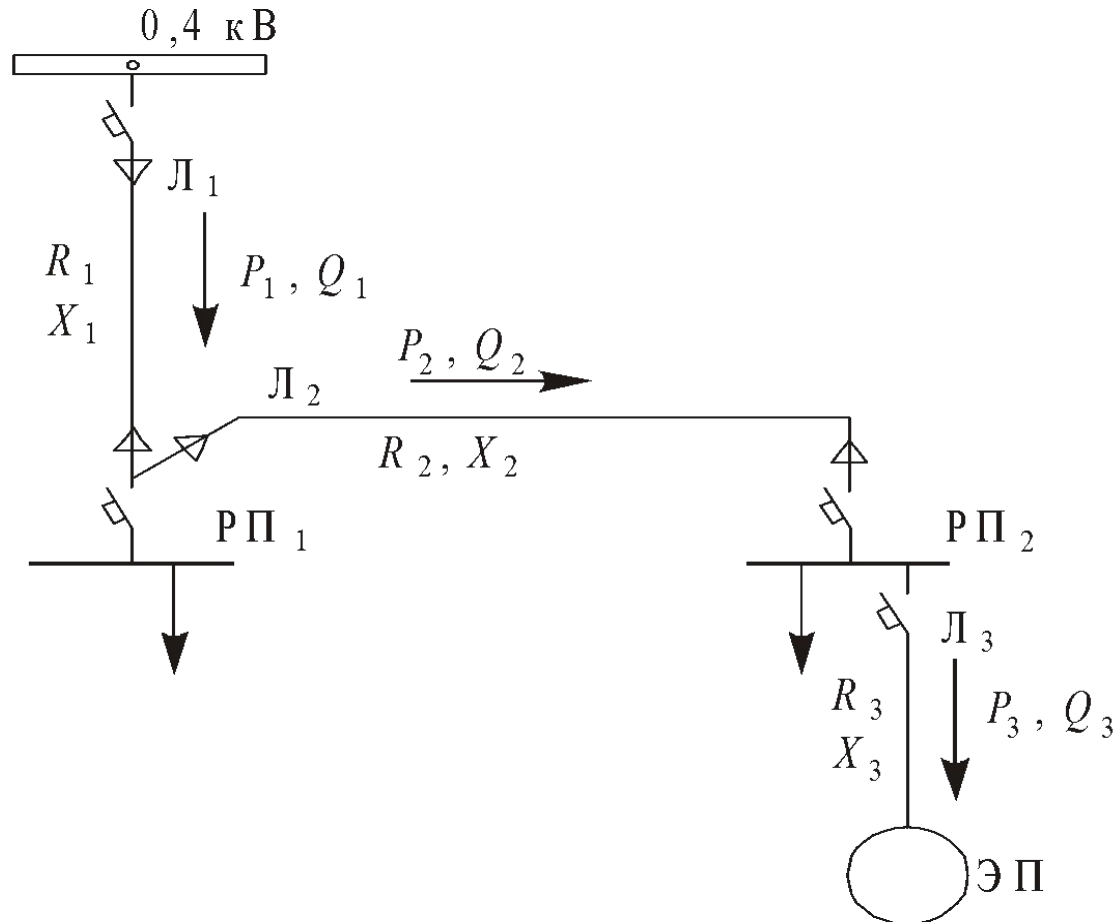
- условие $I_{\text{рд}} = I_{\text{max}} \leq I$

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

$$\Delta P_T = \Delta P_{xx} + \Delta P_{\kappa 3} k_3^2 = \Delta P_{xx} + \Delta P_{\kappa 3} \frac{S^2}{S_{HT}^2}$$

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

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

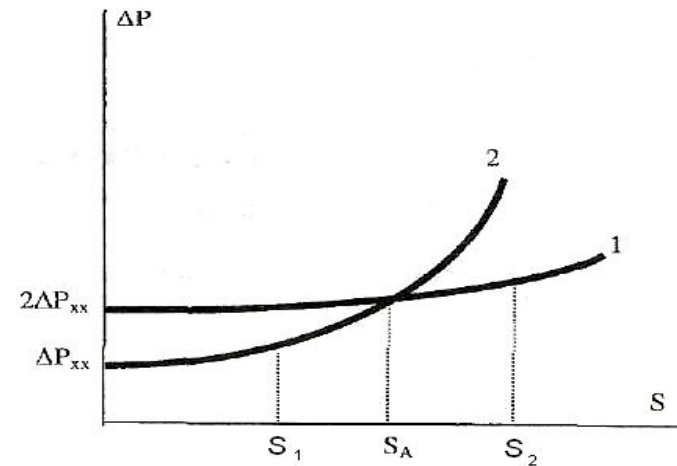
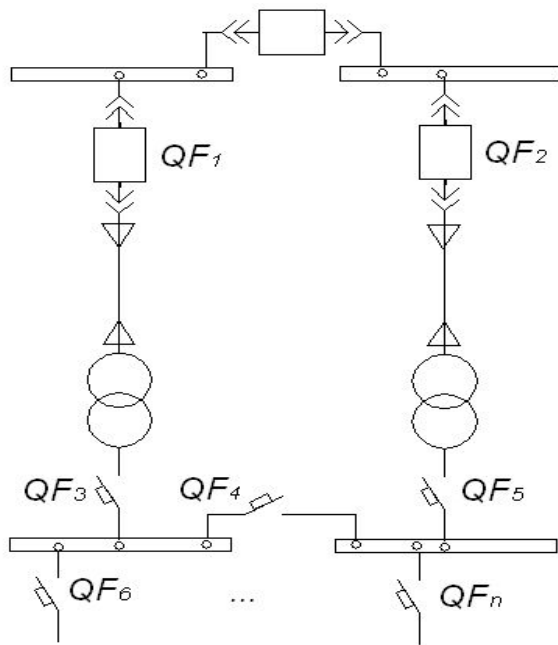
$$\begin{aligned}\Delta W_{\text{Л}} &= \int_0^T 3I_t^2 R dt = 3R \int_0^T I_t^2 dt = 3R \frac{T}{T} \int_0^T I_t^2 dt = 3RT I_{\text{СК}}^2 = \\ &= 3RT(I_{\text{cp}}^2 + \sigma_I^2) = RT\left(\frac{S_{\text{cp}}^2}{U^2} + \frac{\sigma_S^2}{U^2}\right) = \\ &= RT \frac{P_{\text{cp}}^2 + Q_{\text{cp}}^2}{U^2}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

Упрощенная оценка потерь активной электроэнергии на годовом интервале времени

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

$$\Delta W_T = \Delta P_{xx} 8760 + \Delta P_{\kappa 3} \frac{S_{\text{max}}^2}{S_{HT}^2} \tau_{\text{max}}$$

Оптимизация работы 2-х трансформаторных подстанций



$$2\Delta P_{xx} + 2\Delta P_{\kappa 3} \left(\frac{S_A}{2S_{HT}} \right)^2 = \Delta P_{xx} + \Delta P_{\kappa 3} \left(\frac{S_A}{S_{HT}} \right)^2$$