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.

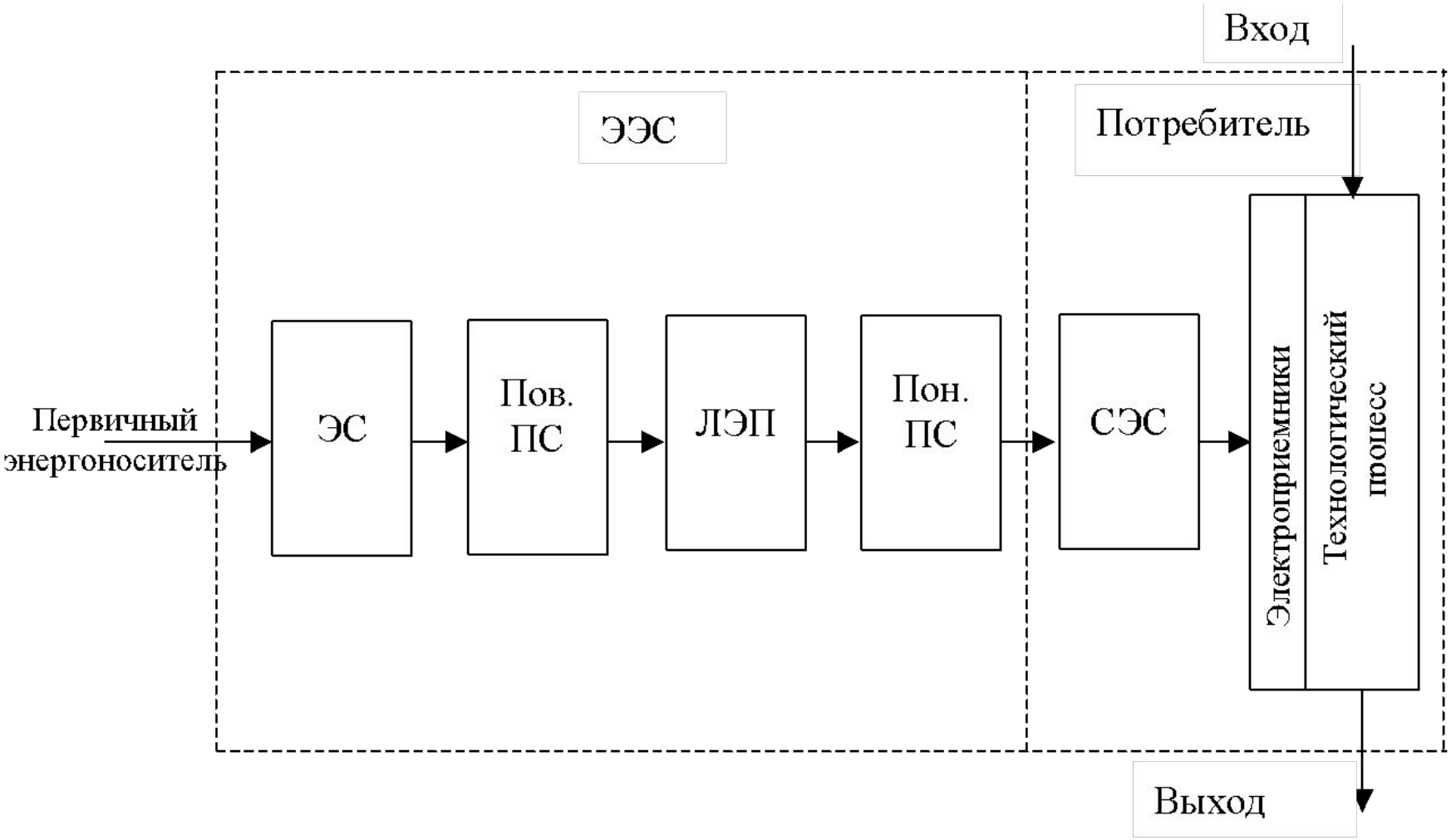
- Потребитель электроэнергии – совокупность электроприемников, расположенных на определенной территории и объединенных единством технологического процесса.

- Система электроснабжения – совокупность электротехнических устройств (линий электропередачи, трансформаторов, электрических аппаратов, сборных шин), предназначенных для передачи, преобразования и распределения электроэнергии среди электроприемников электрифицированной деятельности человека.

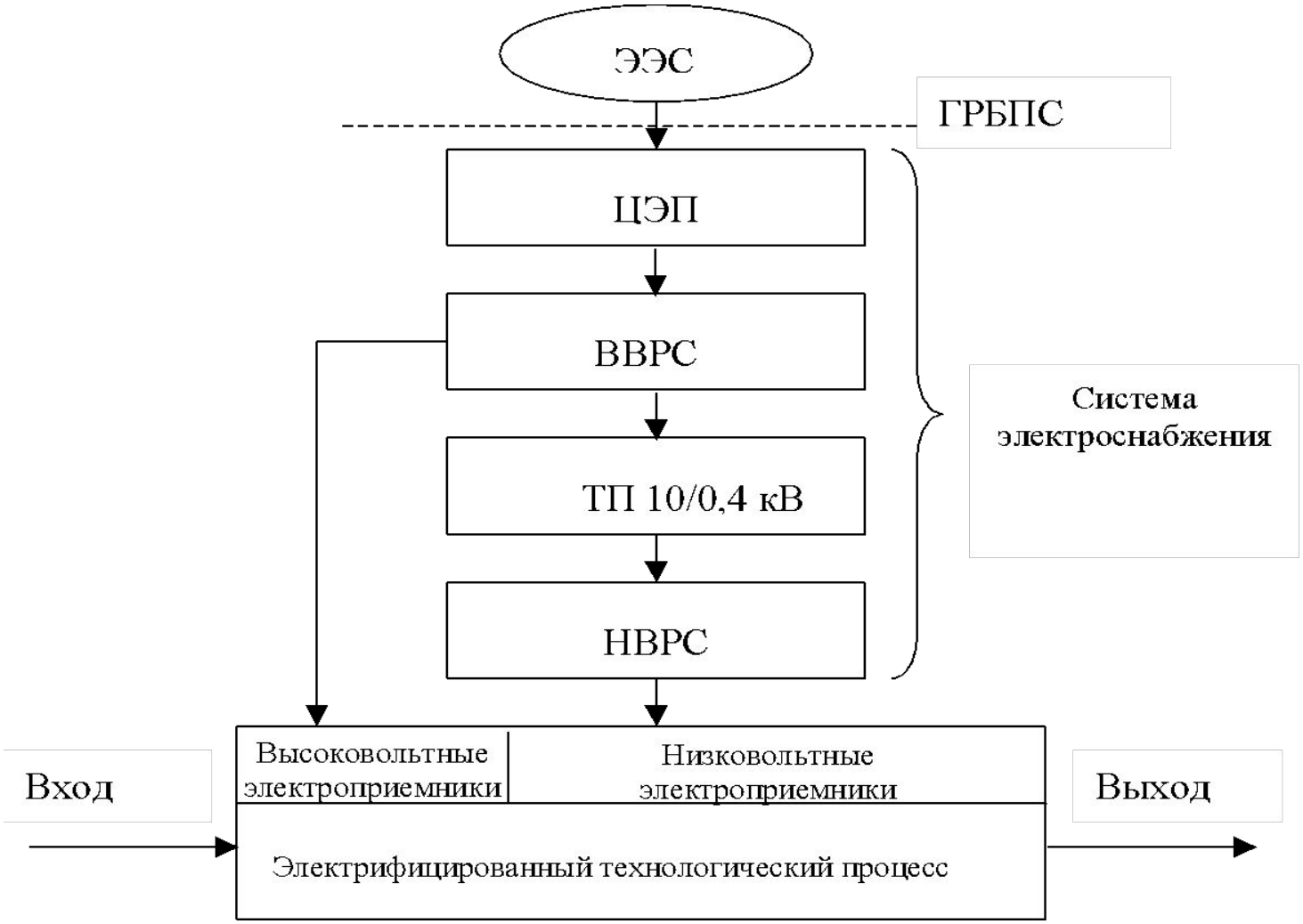
Классификация электроприемников и потребителей электроэнергии:

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.

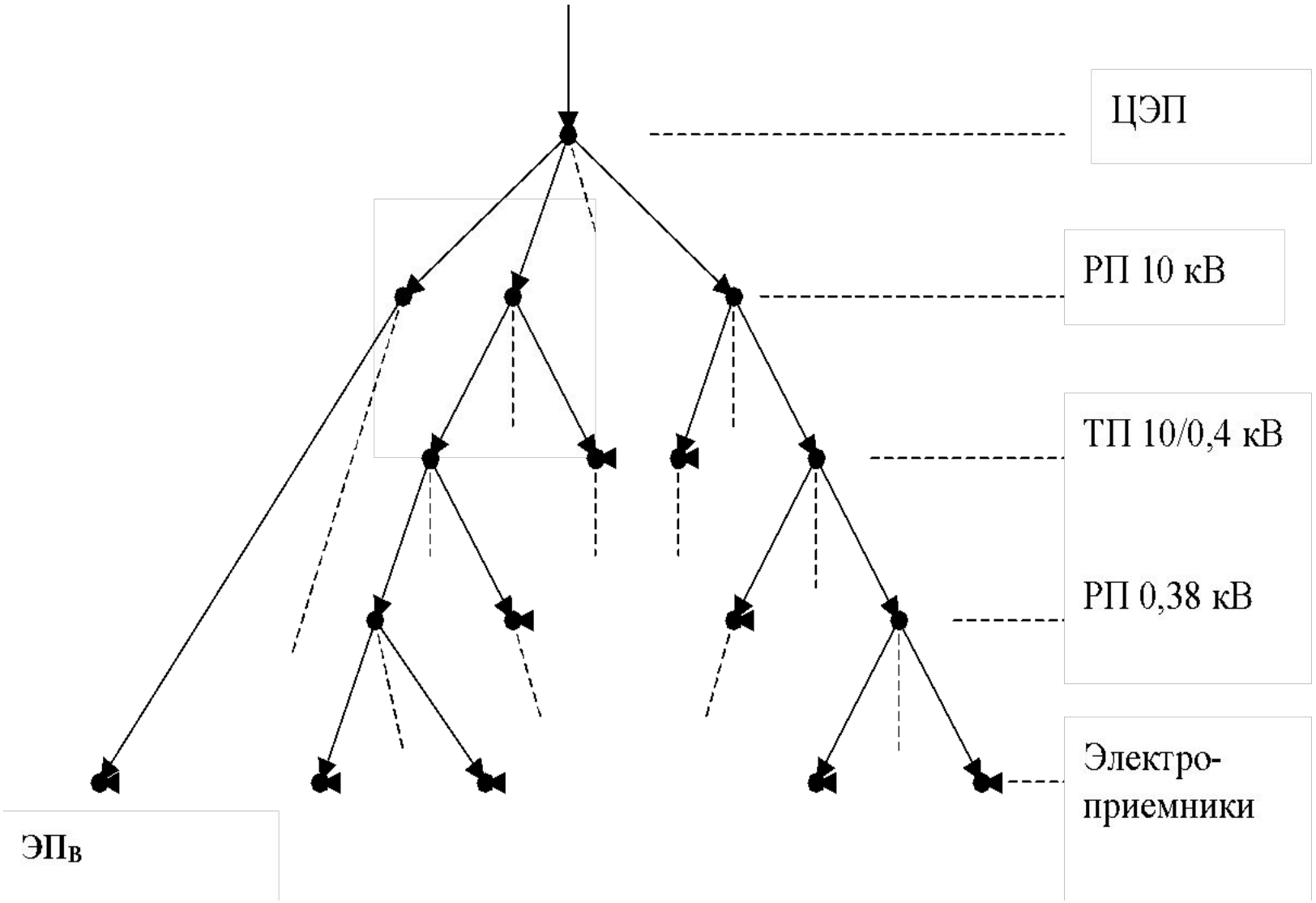
Структурная схема электроэнергетики



Обобщенная структура СЭС

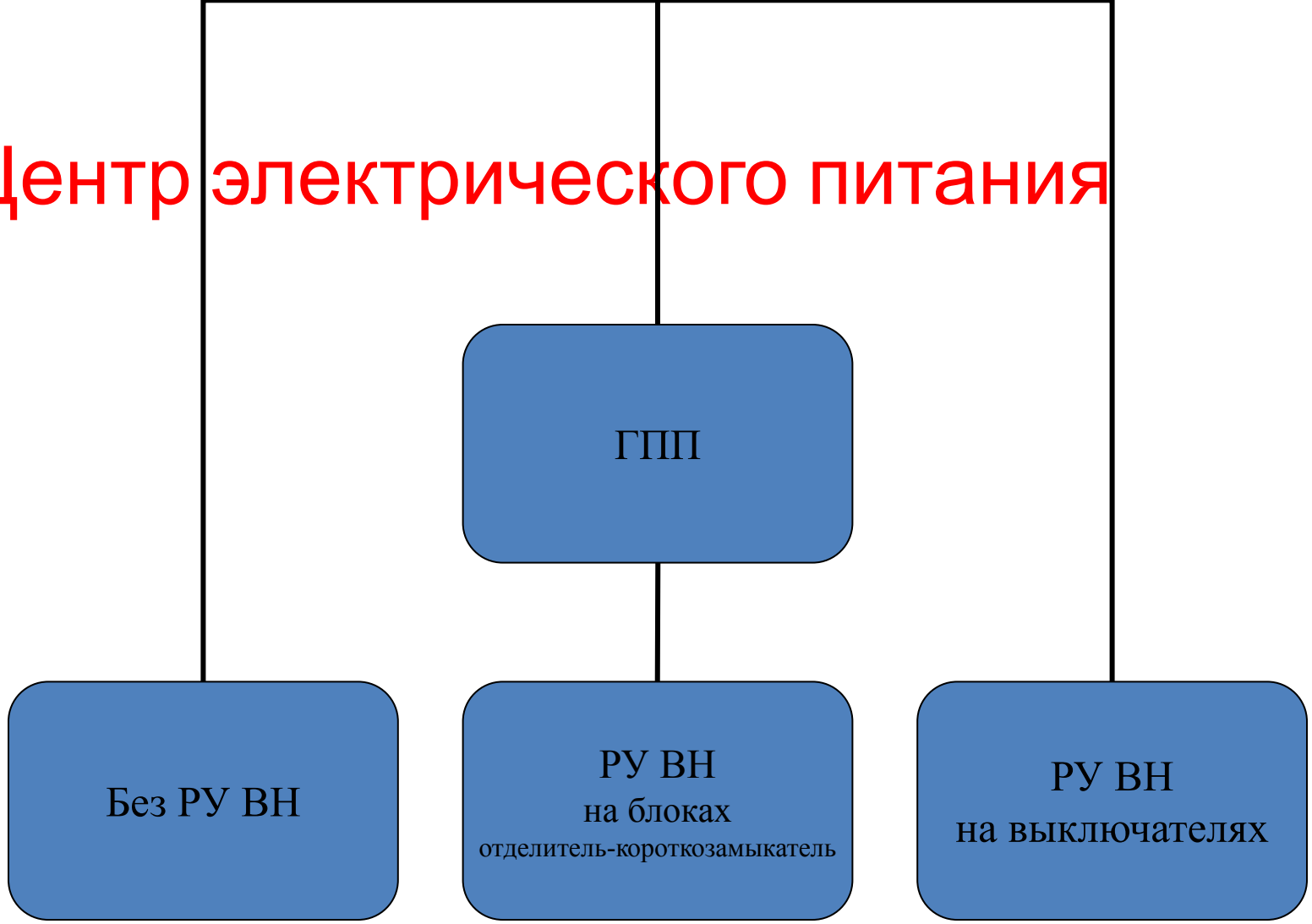


Дерево-схема системы электроснабжения



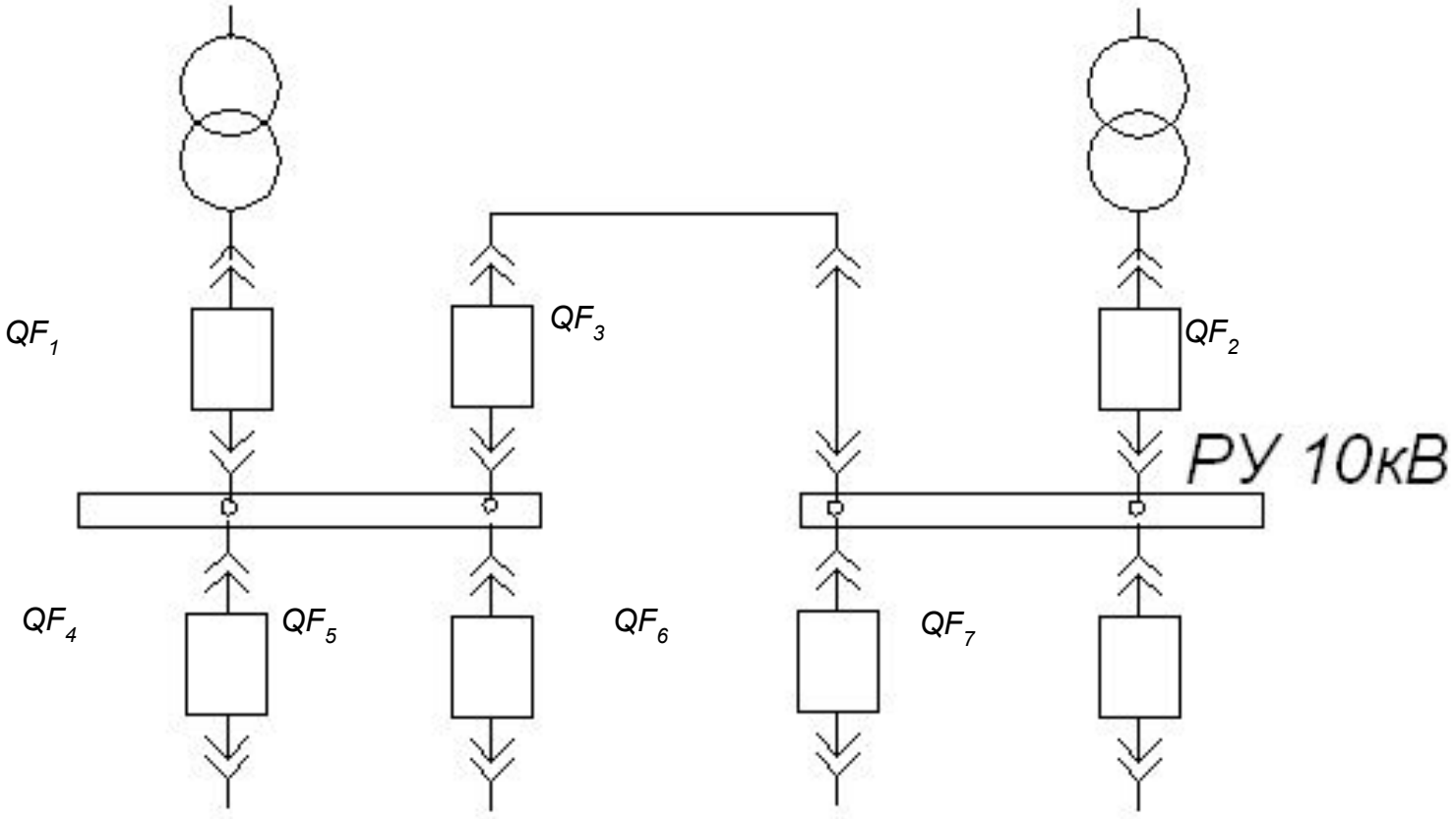
Центр электрического питания

- ГПП



- ЦРП

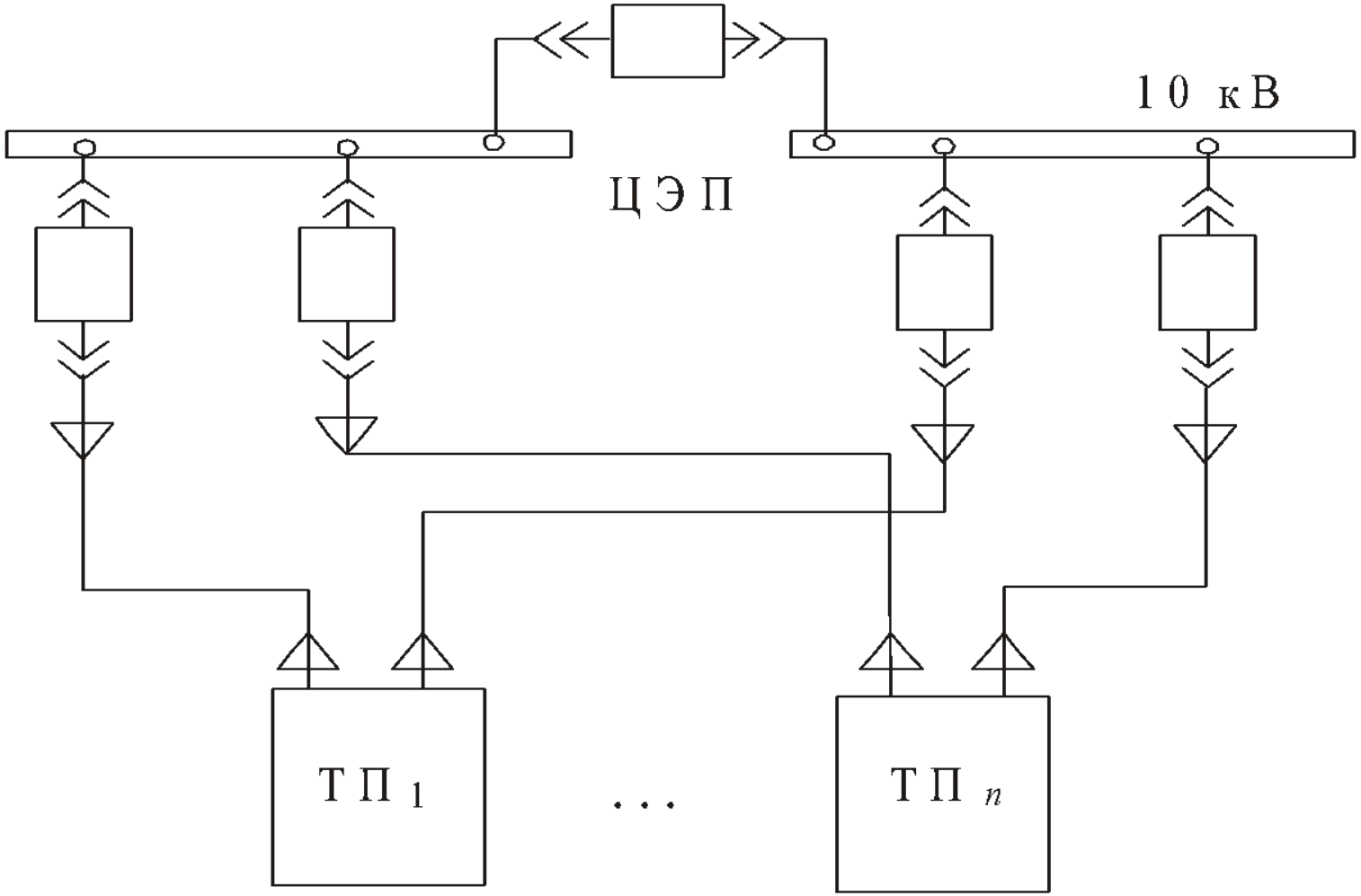
СХЕМА РУ 10 кВ



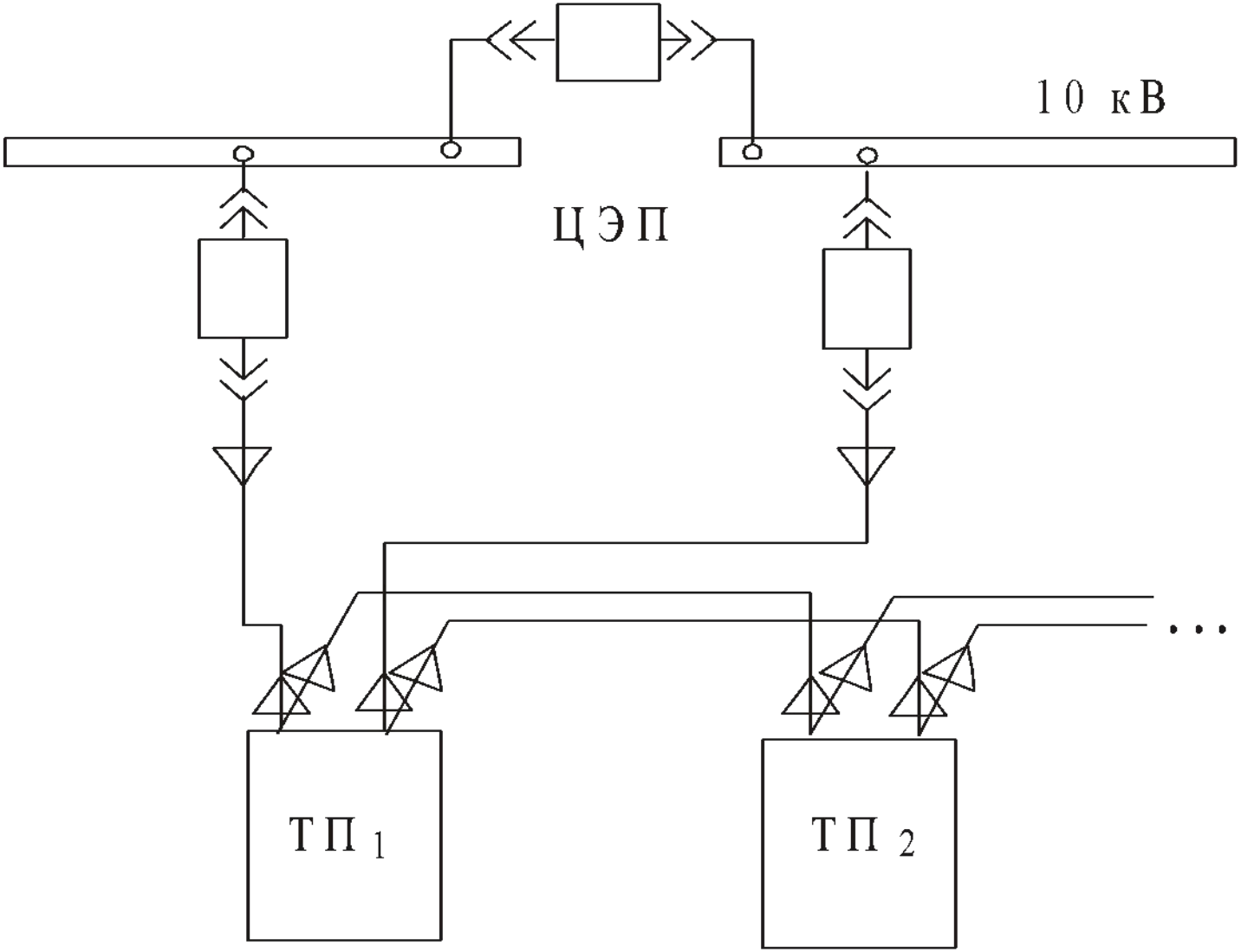
Высоковольтная распределительная сеть

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

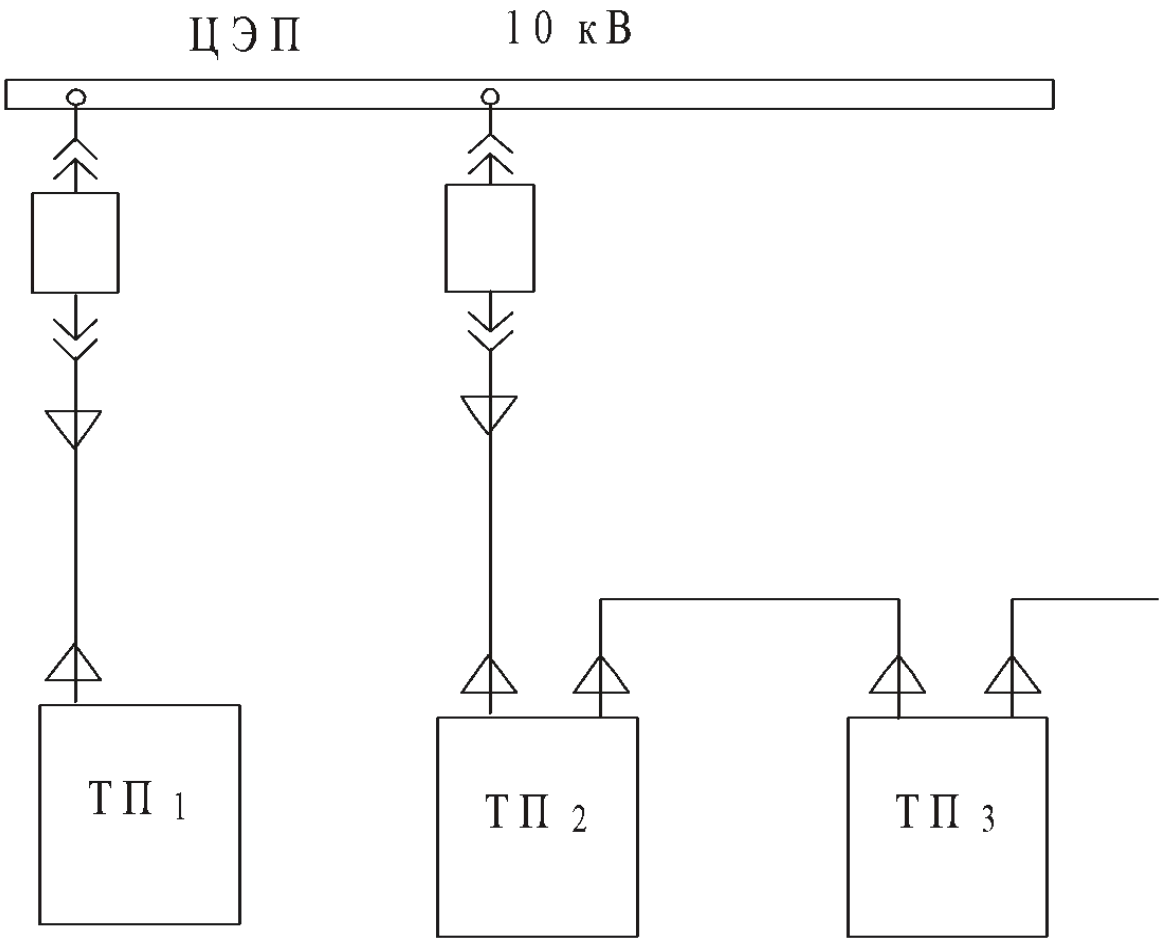
РАДИАЛЬНАЯ СХЕМА



МАГИСТРАЛЬНАЯ СХЕМА



СМЕШАННАЯ СХЕМА



КОЛЬЦЕВАЯ СХЕМА

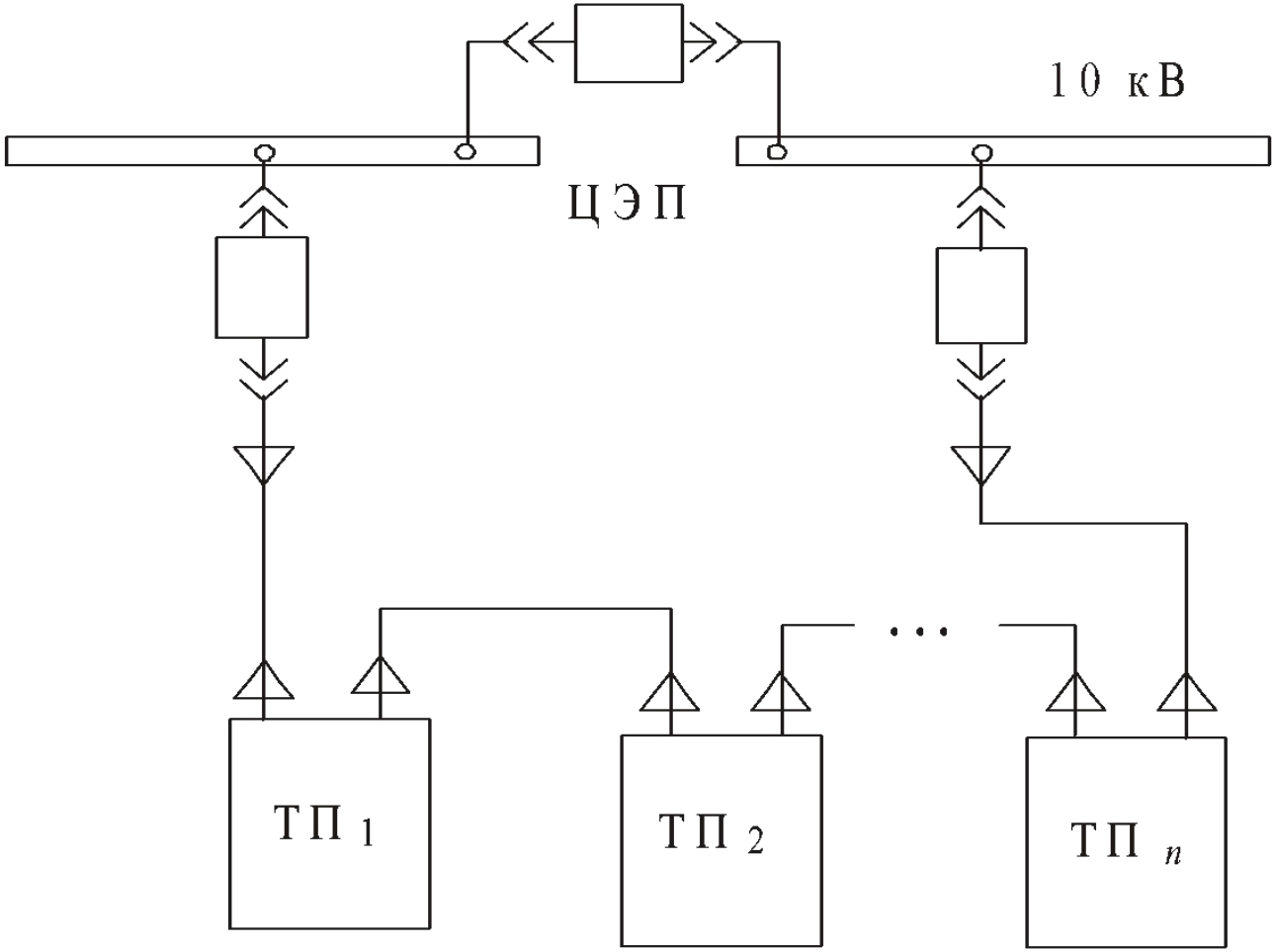
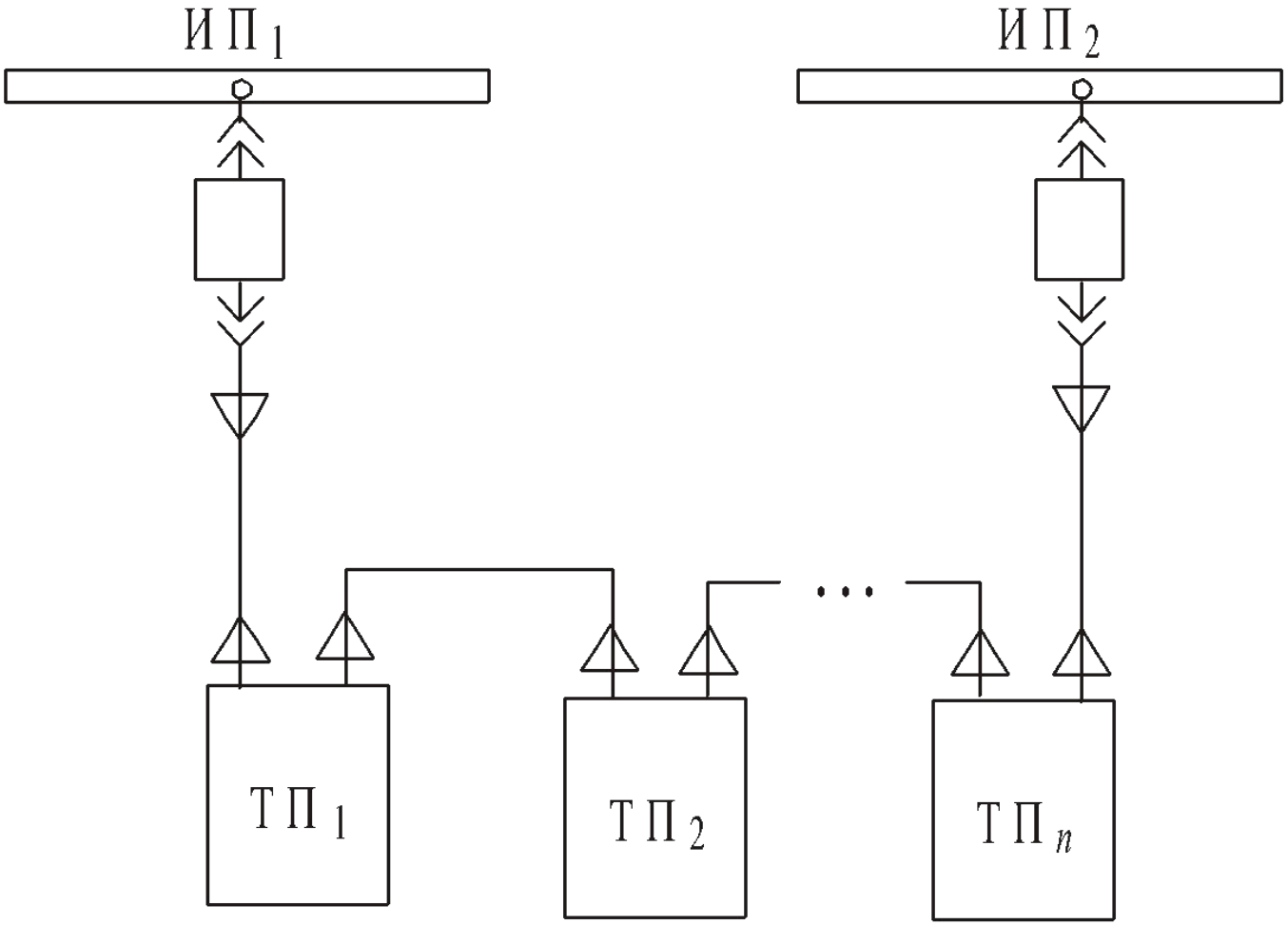


СХЕМА С ДВУХСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ



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

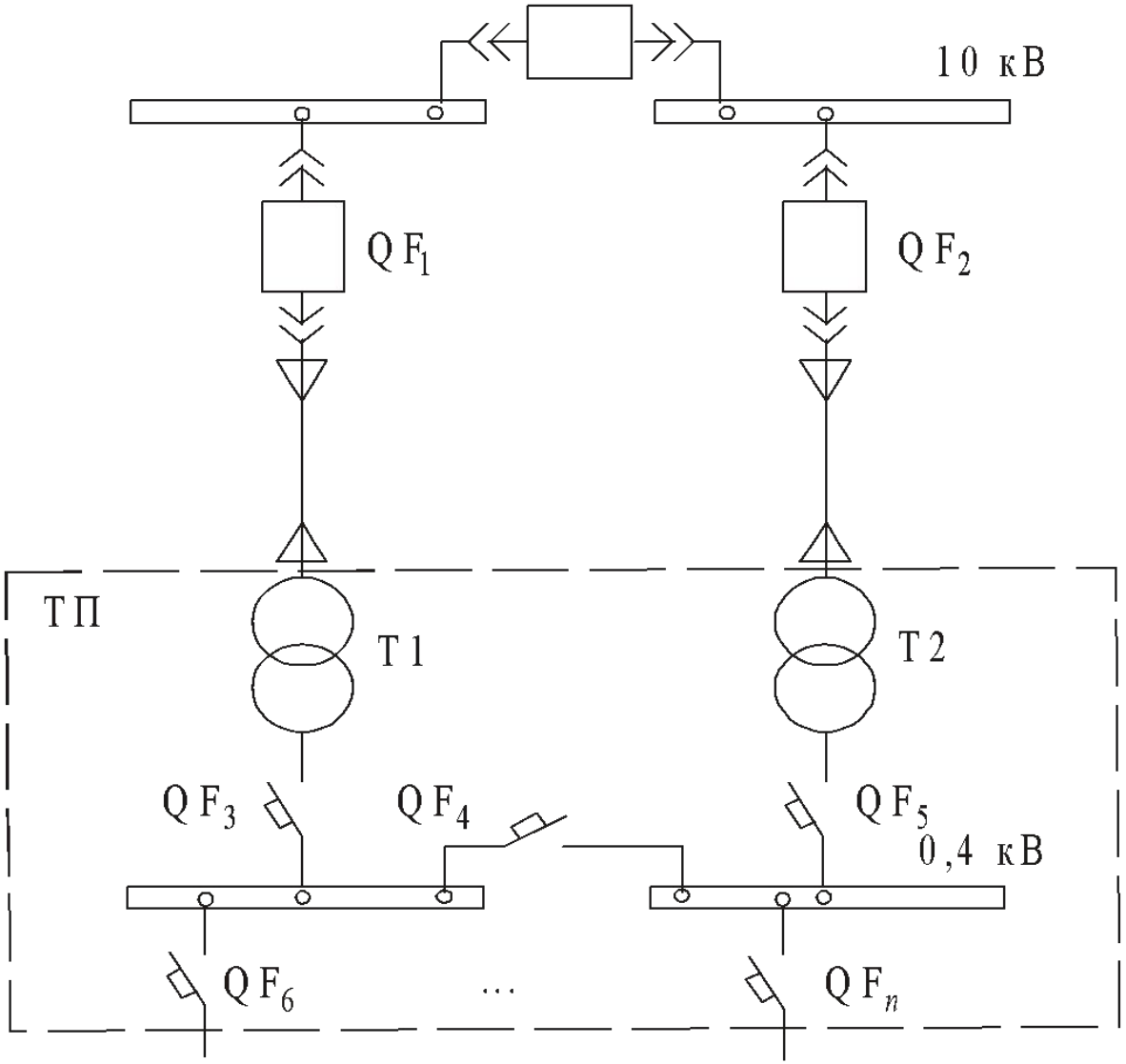


СХЕМА ТП, ПРИСОЕДИНЕННОЙ К МАГИСТРАЛЬНОЙ СЕТИ

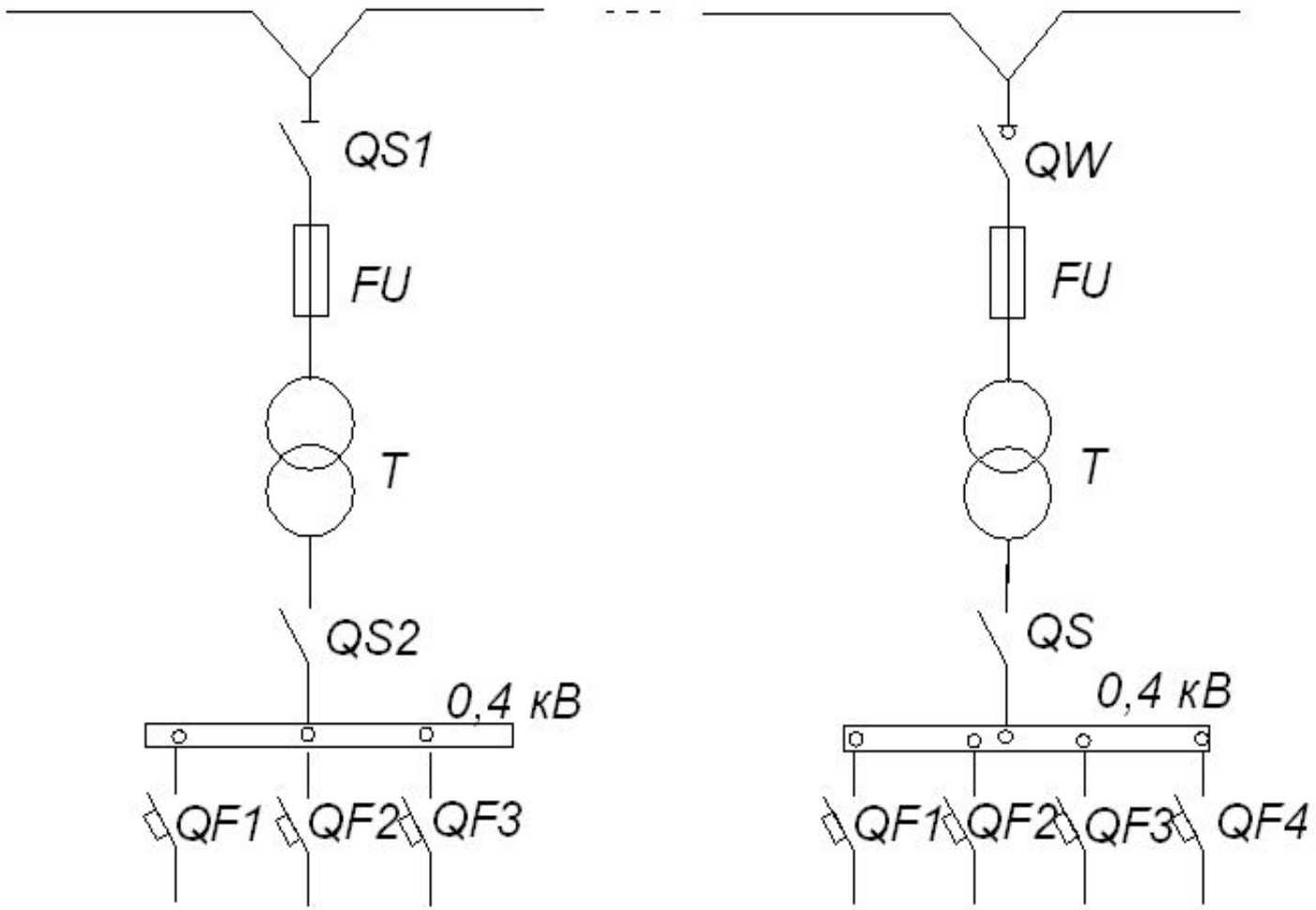
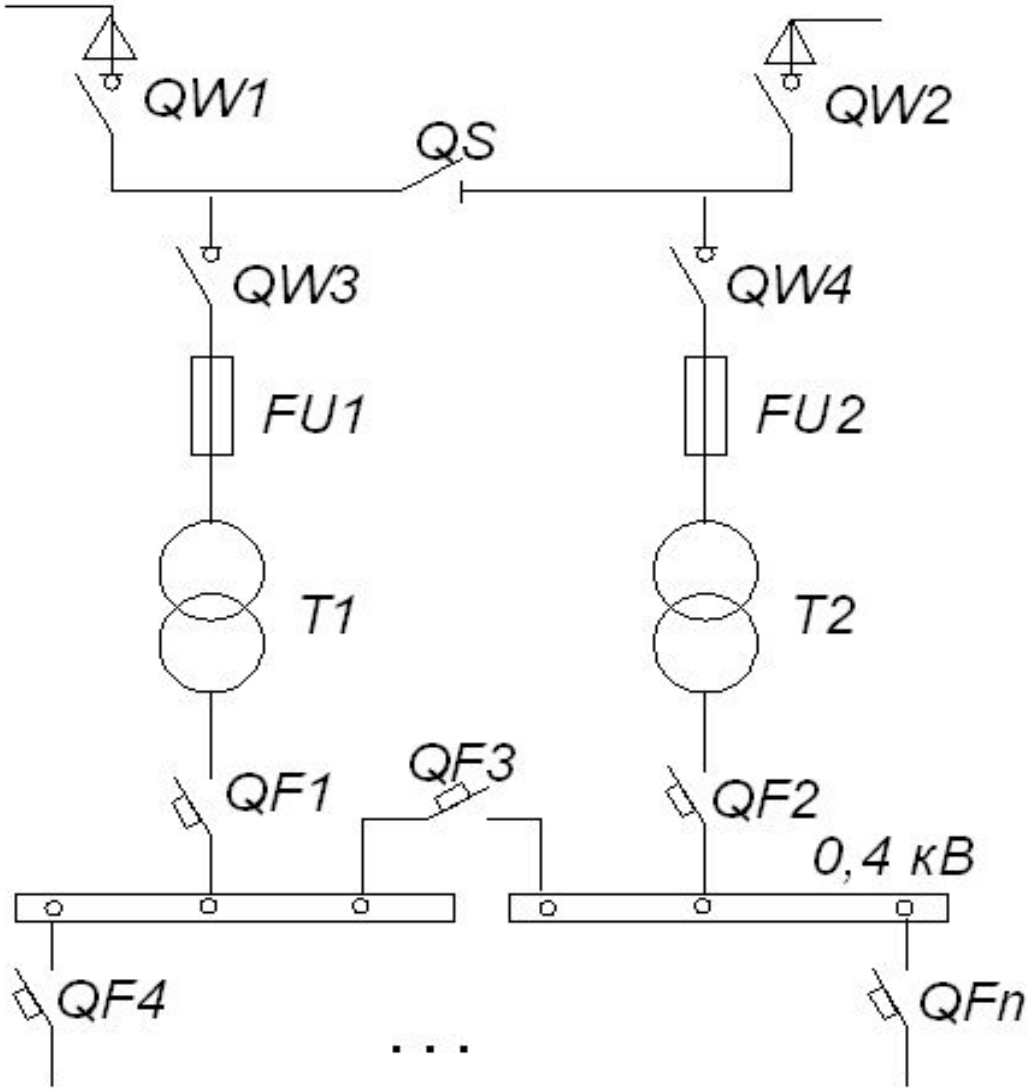


СХЕМА ТП, ПРИСОЕДИНЕННОЙ К КОЛЬЦЕВОЙ СЕТИ



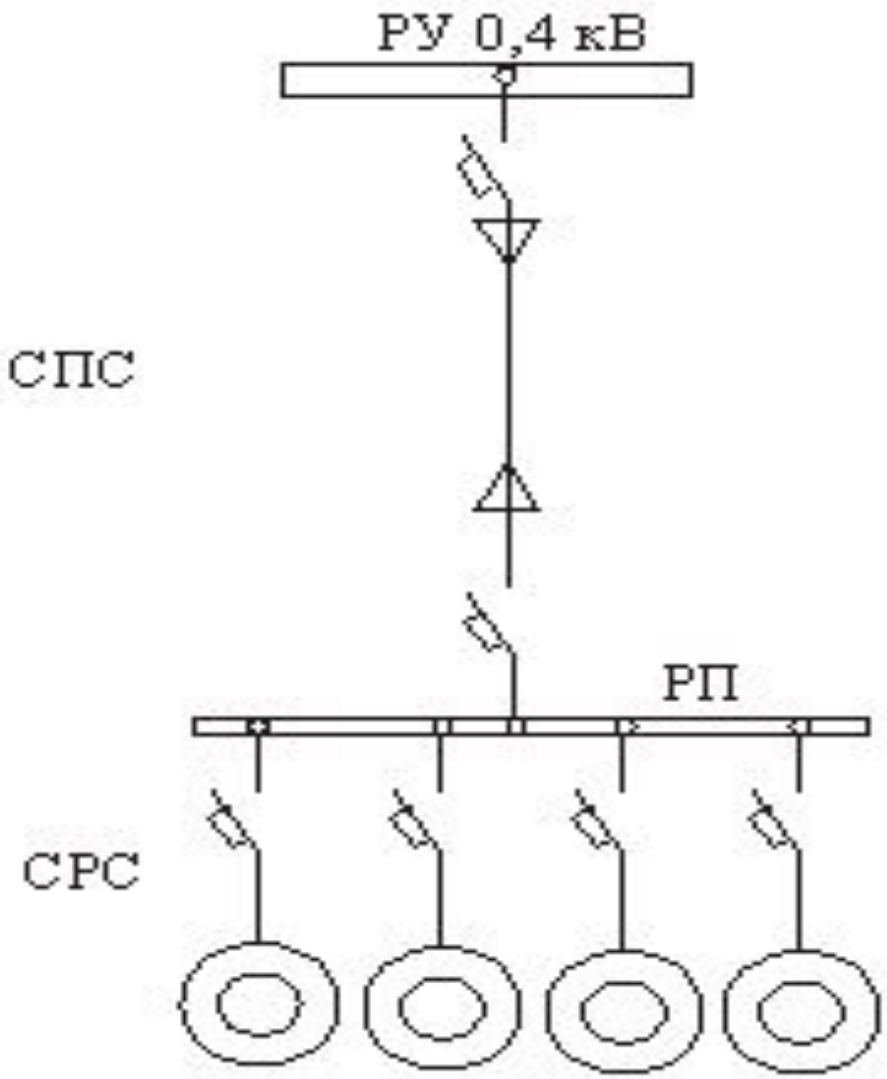
Низковольтная распределительная сеть

- Питающая:

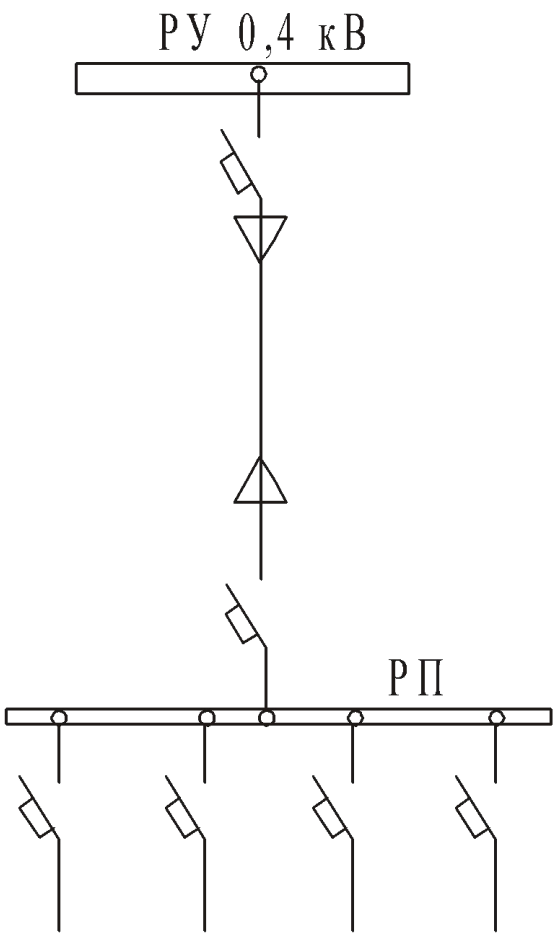
  1. Радиальная
  2. Магистральная
  3. Смешанная
  4. Кольцевая
  5. С двухсторонним питанием

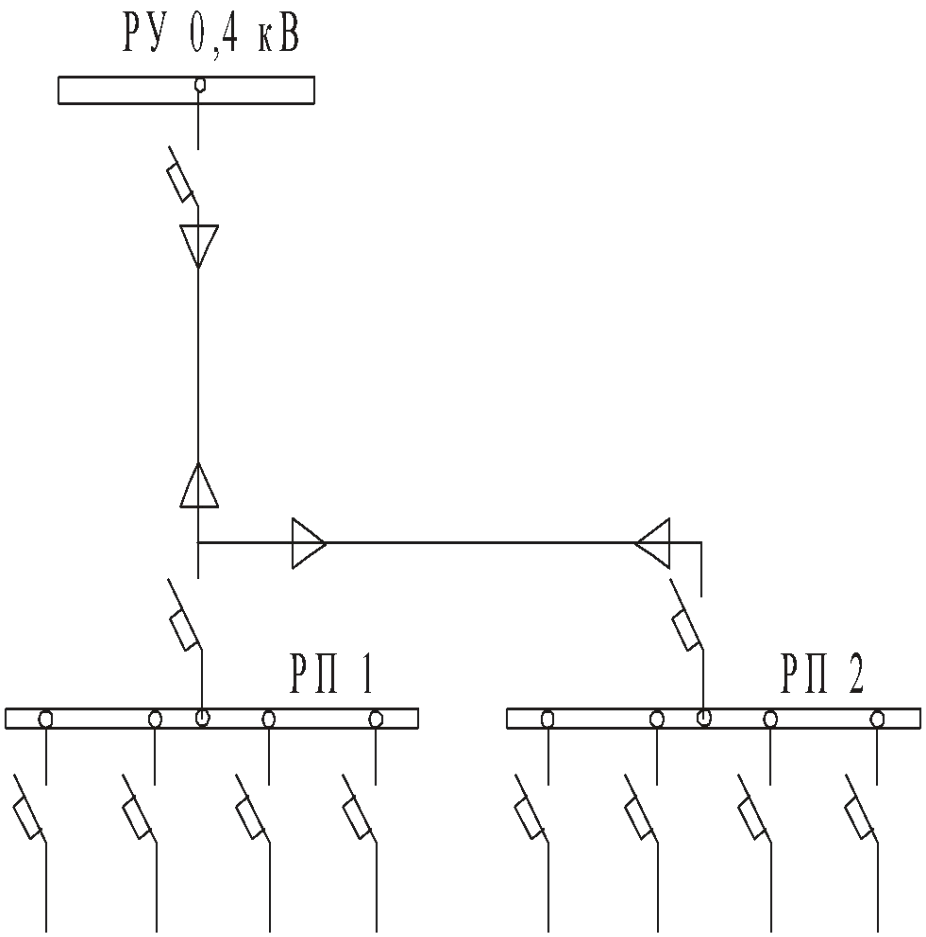
- Распределительная – только радиальная

СТРУКТУРА НВРС

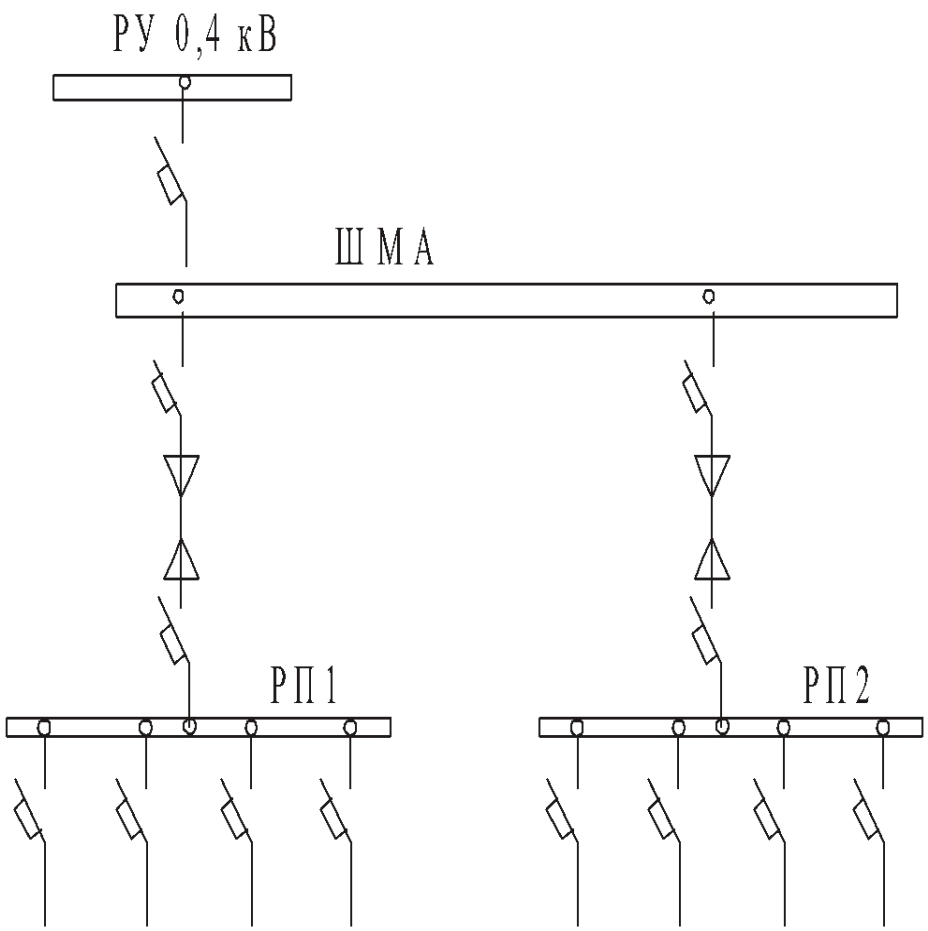


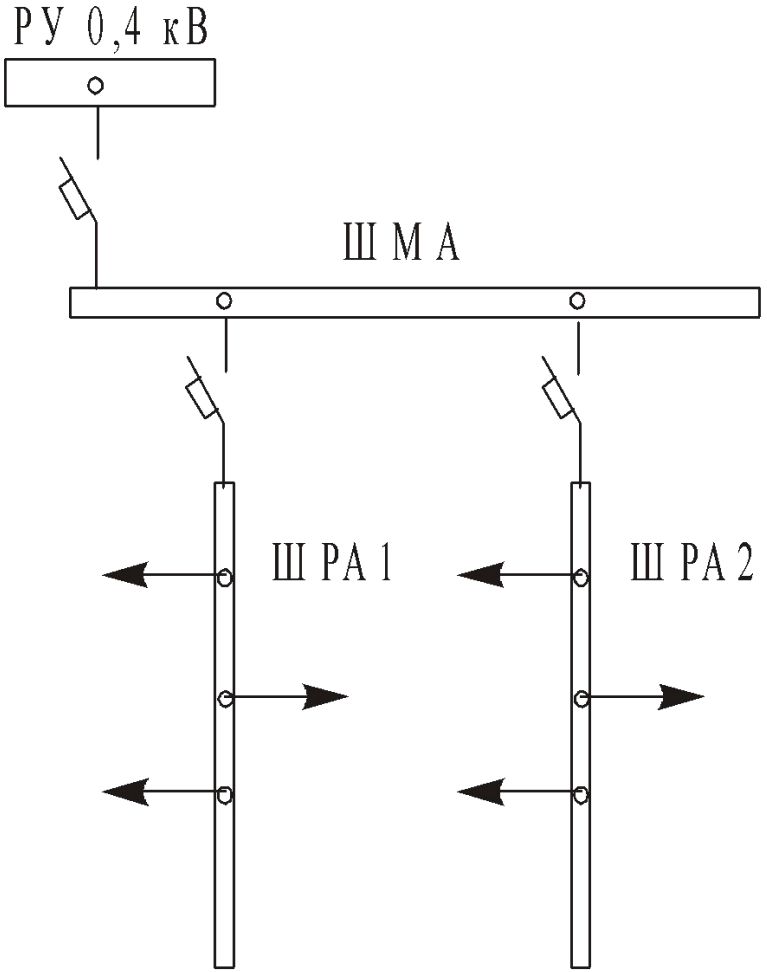
СХЕМЫ НВРС





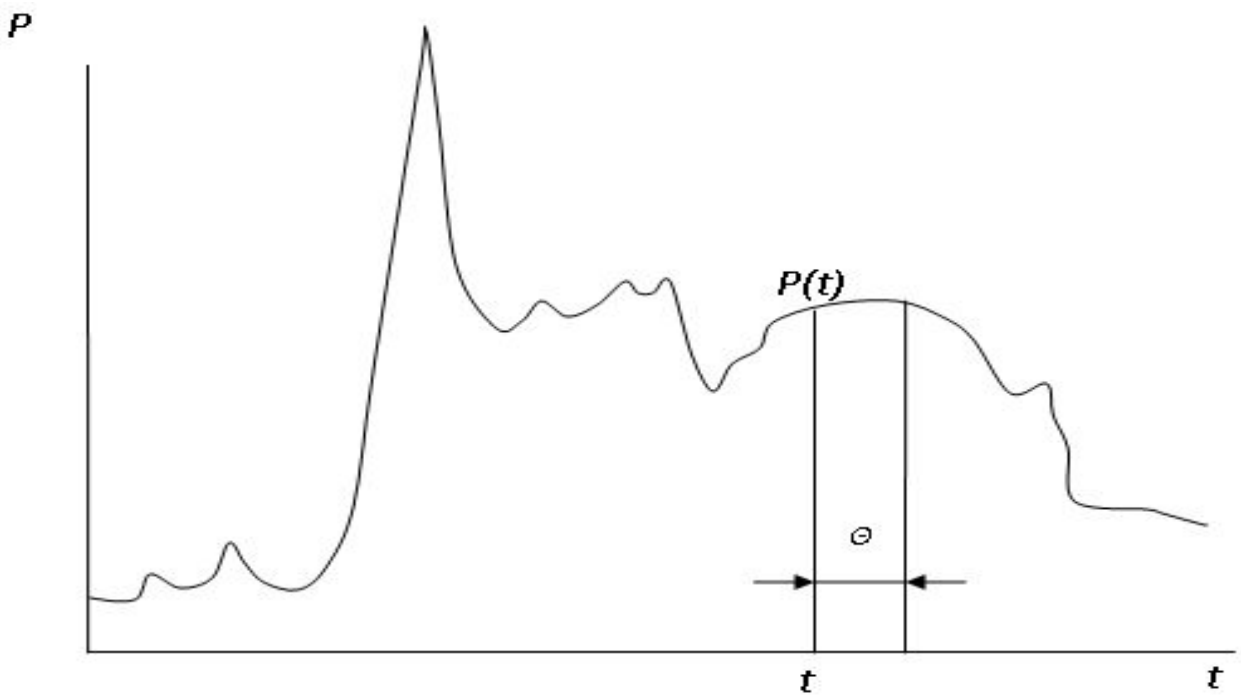
СХЕМЫ НВРС





СУТОЧНЫЙ ГРАФИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

реализация



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

Числовые характеристики

- Среднее значение $I_{ср} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} I_i$
- Среднеквадратическое значение $I_{ск} = I_{эф} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} I_i^2}$
- Дисперсия $D_I = \sigma_I^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(I_i - I_{ср})^2$
- Коэффициент максимума $K_{\max} = \frac{I_{\max}}{I_{ср}} \geq 1$
- Коэффициент формы графика $K_ф = \frac{I_{ск}}{I_{ср}} \geq 1$
- Коэффициент заполнения $K_{зап} = \frac{I_{ср}}{I_{\max}} \leq 1$
- Коэффициент равномерности $K_р = \frac{I_{\min}}{I_{\max}} \leq 1$

В частном случае, если $I_t = const$, $K_{\max} = 1$, $K_ф = 1$, $I_{эф} = I_{ср} = I_{\max} = I_{\min}$

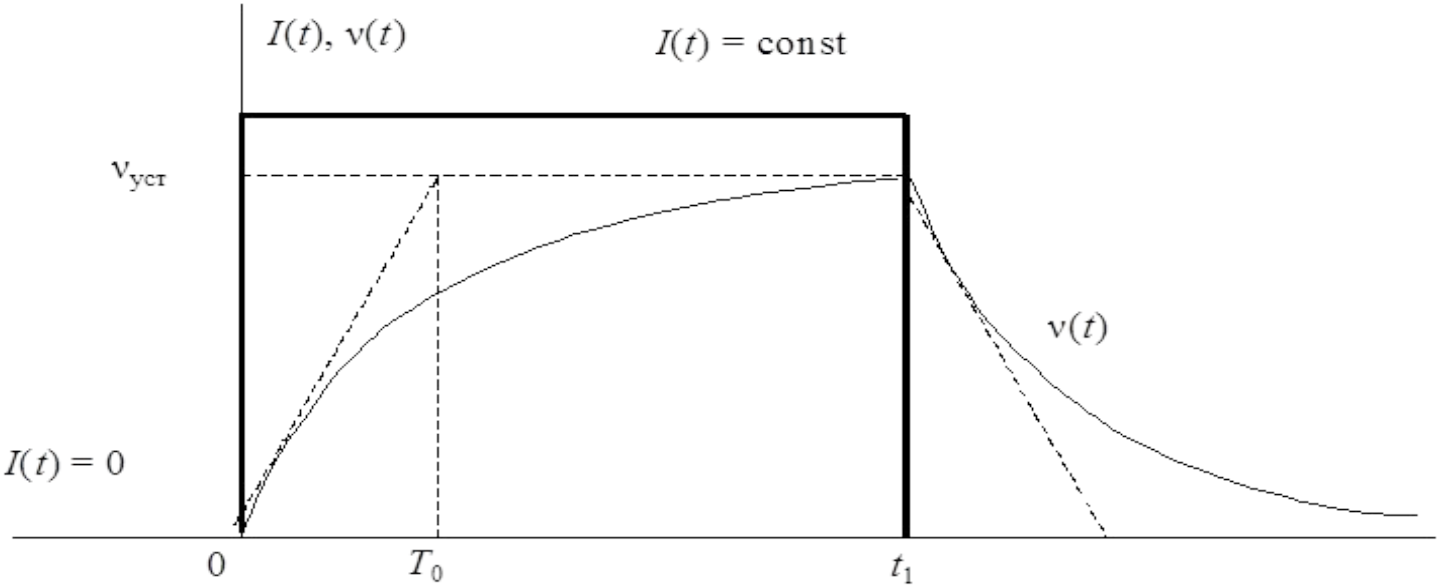
Нагрев элемента электрической сети

$$3I^2R\ (1+\alpha\nu)dt = cd\nu + A\nu dt$$

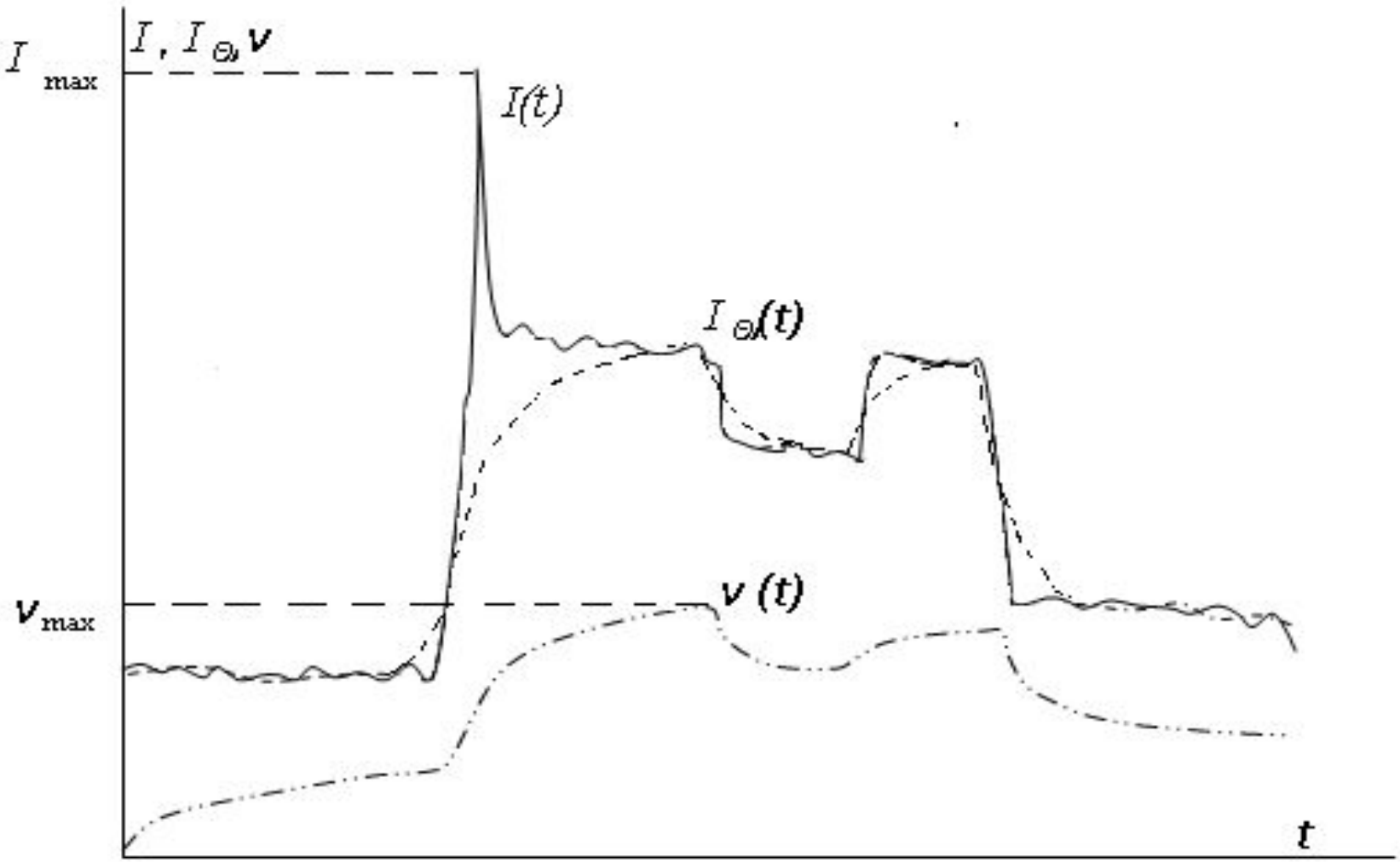
$$\frac{3I^2R}{A} = \frac{c}{A}\frac{d\nu}{dt} + \nu \qquad T_0 = \frac{c}{A} \qquad \nu_{уст} = \frac{3I^2R}{A}$$

$$\nu_{уст} = T_0\frac{d\nu}{dt} + \nu$$

$$\nu(t) = \nu_{уст} - (\nu_{уст} - \nu_0)e^{-\frac{t}{T_0}}$$



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.

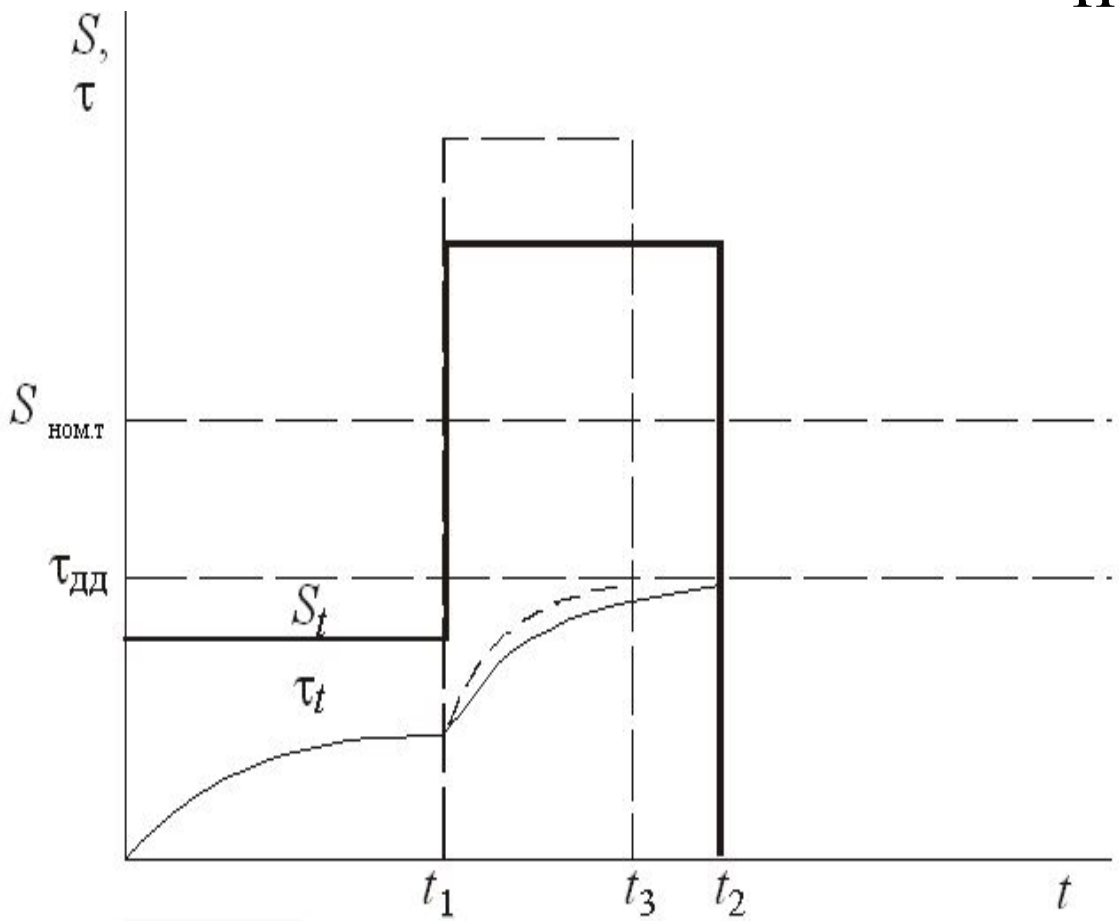
ВЫБОР МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРА

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

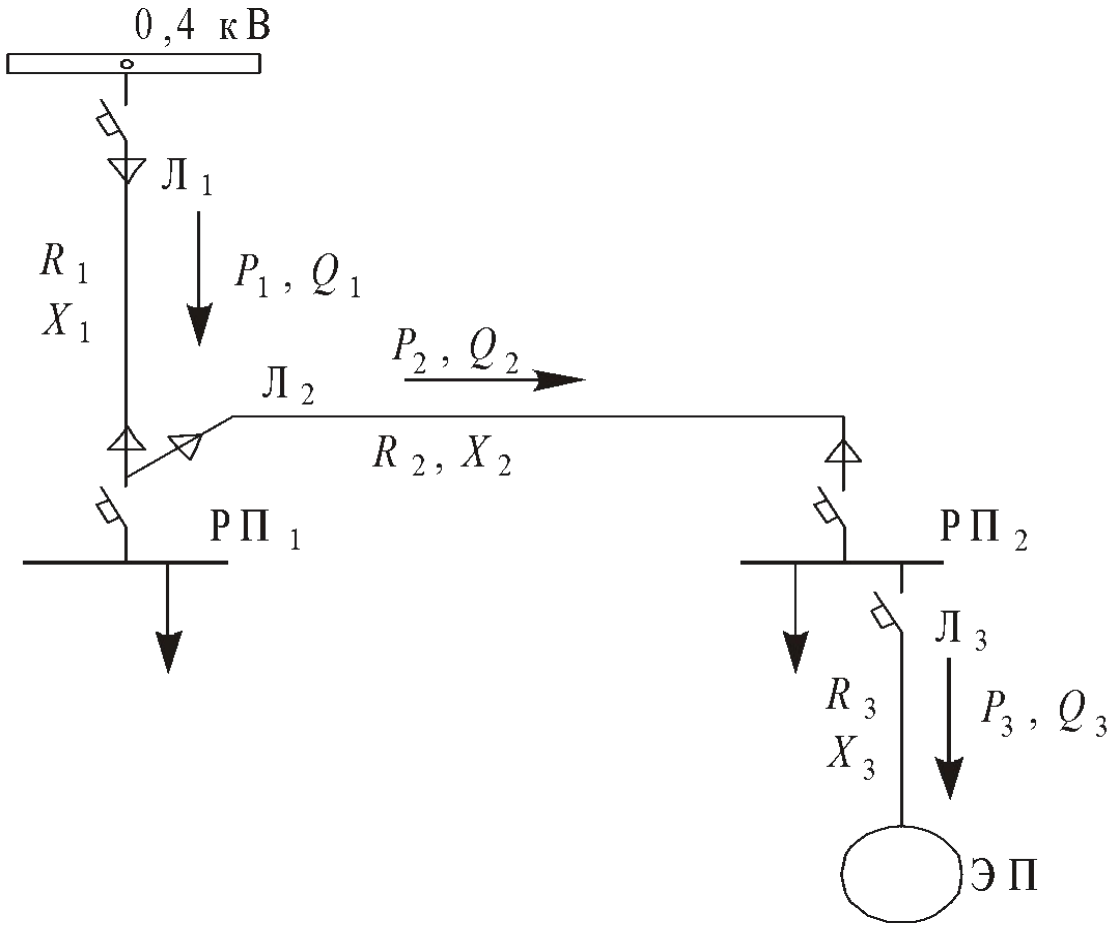
- условие $I_{\text{рд}} = I_{\max} \leq I$

Экономическая плотность тока

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

Допустимая потеря напряжения

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



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

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

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

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

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

Потери активной электроэнергии в трансформаторе

$$W_T = \int_0^T (\Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \frac{S_t^2}{S_{HT}^2}) dt = \Delta P_{xx} T + \Delta P_{кз} \frac{1}{S_{HT}^2} \frac{T}{T} \int_0^T S_t^2 dt =$$

$$= \Delta P_{xx} T + \Delta P_{кз} \frac{T}{S_{HT}^2} (S_{cp}^2 + \sigma_S^2) =$$

$$= \Delta P_{xx} T + \Delta P_{кз} T \frac{P_{cp}^2 + Q_{cp}^2}{S_{HT}^2} + \Delta P_{кз} T \frac{\sigma_P^2 + \sigma_Q^2 + 2\rho\sigma_P\sigma_Q}{S_{HT}^2}$$

Потери активной электроэнергии в линии электропередачи

$$\Delta W_{Л} = \int_0^T 3 I_t^2 R dt = 3R \int_0^T I_t^2 dt = 3R \frac{T}{T} \int_0^T I_t^2 dt = 3RTI_{ск}^2 =$$

$$= 3RT(I_{ср}^2 + \sigma_I^2) = RT(\frac{S_{ср}^2}{U^2} + \frac{\sigma_S^2}{U^2}) =$$

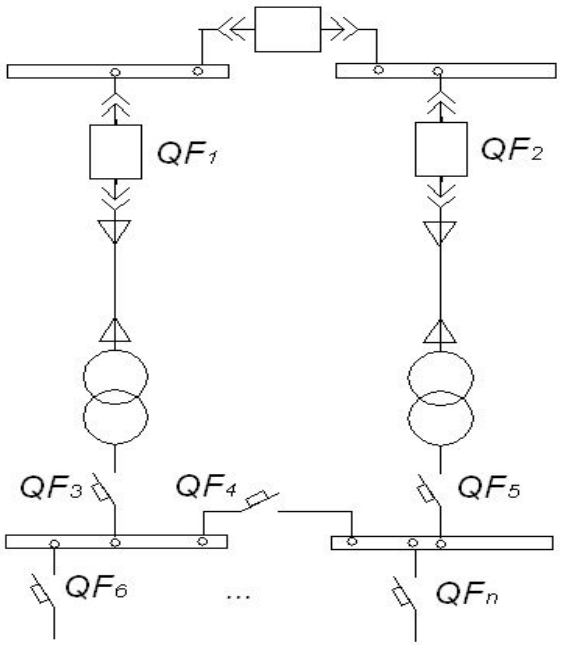
$$= RT\frac{P_{ср}^2 + Q_{ср}^2}{U^2} + RT\frac{\sigma_P^2 + \sigma_Q^2 + 2\rho\sigma_P\sigma_Q}{U^2}$$

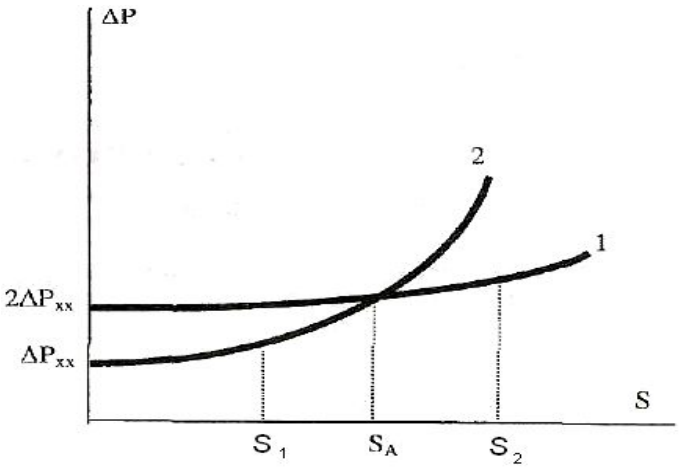
Упрощенная оценка потерь активной электроэнергии на годовом интервале времени

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

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

Оптимизация работы 2-х трансформаторных подстанций





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