

Электрические сети напряжением выше 1000 В

Выполняются сети воздушными линиями (ВЛ), кабельными линиями (КЛ), шинпроводами и токопроводами.

ВЛ – устройство для передачи эл. энергии по проводам, расположенных на открытом воздухе и прикрепленных с помощью изоляторов и арматур к опорам.

Провода бывают алюминиевые (А, АКП), удельная проводимость Al проводов $\gamma = 32 \frac{М}{Ом \cdot мм^2}$

медные (М, МГ) $\gamma = 53 \frac{М}{Ом \cdot мм^2}$

сталеалюминевые (АС, АСКС, АСКП)

стальные (ПС, ПМС, ПСО)

По условию механической прочности сечение Al проводов должно быть не менее $35 мм^2$, сталеалюминевых и стальных не менее $25 мм^2$. На пересечении с линиями связи, ж/д линиями, наземными трубопроводами, сечение не менее $70 мм^2$.

Кабельные линии прокладывают в местах, где затруднено строительство ВЛ.

Преимущество: закрытая прокладка обеспечивает защиту от атмосферных перенапряжений, надежность, безопасность эксплуатации.

Недостатки: большая стоимость и трудоемкость сооружений.

Сечения проводов и кабеля выбираются по техническим и экономическим условиям.

К техническим условиям: выбор сечения по нагреву расчетным током, по условиям коронирования, по механической прочности, по нагреву токами к.з., по потерям напряжения в нормальном и послеаварийном режимах.

Экономические условия выбора заключаются в определении сечения линии, приведенные затраты на сооружение которой минимальны.

Выбор сечения по нагреву осуществляется по расчетному току. Для параллельно работающих линий в качестве расчетного принимается ток послеаварийного режима, когда одна питающая линия вышла из строя.

Пример: ВЛ 10 кВ; S=5670 кВА. Определить сечение провода по нагреву, при нормальных условиях окружающей среды.

$$I_{расч.} = \frac{S}{\sqrt{3}U} = \frac{5670}{\sqrt{3} \cdot 10} = 327 А$$

по справочным данным, выбираем сталеалюминевый провод с сечением $120 мм^2$ и с $I_{доп} = 330 А$

$$I_{доп} \geq I_{расч.}$$

$$330 \geq 327$$

Если условия отличаются от О.С.

$$I'_{доп} = I_{доп} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$$

коэффициенты выбираются из справочных данных.

По условиям коронирования выбирают ВЛ. Кабели не надо выбирать по условию коронирования и механической прочности.

Воздействие тока к.з. учитывают при выборе КЛ, защищаемой релейной защитой.

Основные критерии выбора линии и кабеля является выбор по экономической плотности тока.

Выбор сетей по экономической плотности тока.

Проводники	j [А/мм ²]		
	T _м 1000-3000	T _м 3000-5000	T _м более 5000
1) не изолированные провода и шины			
Медные	2,5	2,1	1,8
Алюминиевые	1,3	1,1	1,0
2) кабели с бумажной изоляцией, провода с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией			
Медные	3	2,5	2
Алюминиевые	1,6	1,4	1,2
3) кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией			
Медные	3,5	3,1	2,7
Алюминиевые	1,9	1,7	1,6

$$S = \frac{I_{PACЧ.}}{j}$$

По этому критерию проверяют: воздушные, кабельные линии напряжением 6-35 кВ, сети до 1000 В, если число T_м>5000

Пример: Определить по экономической плотности тока j сечение двухцепной ВЛ 35 кВ при S=14000 кВА, T_м =4200

$$I_M = \frac{S}{\sqrt{3}U_{НОМ} \cdot 2} = \frac{14000}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 2} = 116 \text{ A}$$

при T=4200 выбираем провод марки АС.

$$j_{ЭК} = 1,1 \text{ A / мм}^2$$

$$S_{ЭК} = \frac{I_M}{j_{ЭК}} = \frac{116}{1,1} = 105 \text{ мм}^2$$

округлим до стандартного сечения: АС-110: I_{доп} = 380 А

если АС-95: I_{доп} = 333 А

Проверим выбранное сечение по допустимому значению тока. В качестве расчетного примем ток послеаварийного режима, когда одна питающая линия вышла из строя.

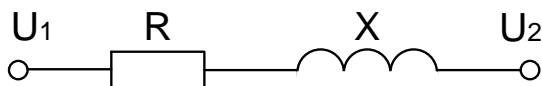
$$I_P = \frac{S}{\sqrt{3}U_H} = 2 \cdot 116 = 232 \text{ A}$$

$$I_P < I_{доп}$$

Не рекомендуют использовать для ВЛ сечение 240, а у кабельных линий > 150 мм².

Расчет цепей на потерю напряжения

Потерей напряжения называется алгебраическая разность м/у напряжением источника питания и напряжением вместе подключения потребителя к сети.



$$\Delta U = U_1 - U_2$$

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U_M}$$

$$R = \frac{1000 \cdot l}{\gamma F}$$

$$X_{\text{кл}} = 0,08 \text{ Ом} / \text{км}$$

$$X_{\text{вл}} = 0,4 \text{ Ом} / \text{км}$$

$$\Delta U \% = \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{U_H} \cdot I \cdot l \cdot (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$$

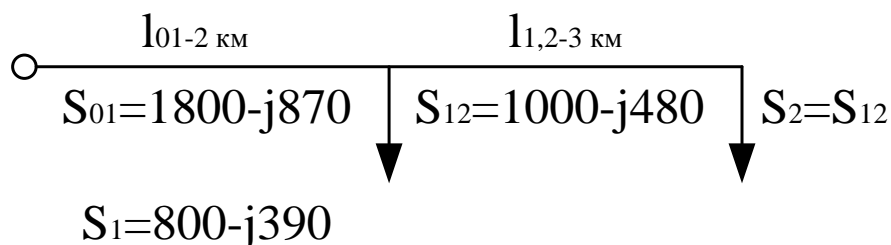
$$\text{или } \Delta U \% = \frac{10^5}{U_H^2} l (PR + QX)$$

Потеря напряжения в линии с несколькими нагрузками, равна сумме потерь напряжений на отдельных участках. Величины допустимых потерь напряжения не нормируются, однако можно считать, что потери напряжения в сетях до 1000 В не должна превышать 6-7 %, а в сетях 6-35 кВ 6-8%.

Метод расчета линий 6-35 кВ.

Предусматривает выбор сечения по экономической плотности тока с последующей проверкой на нагрев, длительным током нагрузки и на потерю напряжения.

Пример:



$$U = 10 \text{ кВ}$$

$$l_{01} = \text{кл}$$

$$l_{12} = \text{вл}$$

$$T_M = 5500 \text{ ч.}$$

Определим токи нагрузки на отдельных участках цепи:

$$I_{01} = \frac{\sqrt{P_{01}^2 + Q_{01}^2}}{\sqrt{3} U_H} = \frac{\sqrt{1800^2 + 870^2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = 116 \text{ А}$$

$$I_{12} = \frac{\sqrt{P_{12}^2 + Q_{12}^2}}{\sqrt{3} U_H} = \frac{\sqrt{1000^2 + 480^2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = 64 \text{ А}$$

Выбираем сечение по экономической плотности тока:

0-1:

$$j_{\text{ЭК}} = 1,2$$

$$S_{\text{ЭК}} = \frac{I_{01}}{I_{\text{ЭК}}} = \frac{116}{1,2} = 96,5 \text{ мм}^2$$

Выбираем сечение 95 мм^2 с $I_{\text{доп}} = 205 \text{ А} > I_p = 116 \text{ А}$

1-2:

Выбираем голый неизолированный провод

$$j_{\text{ЭК}} = 1,0 \quad S_{\text{ЭК}} = 64 \text{ мм}^2$$

Выбираем сечение 70 мм^2 с $I_{\text{доп}} = 265 \text{ А} > I_p = 64 \text{ А}$

Проверяем сеть на потерю напряжения:

$$\Delta U_{01} = \sqrt{3} I_{01} (R_{01} \cos \varphi + X_{01} \sin \varphi)$$

$$R_{01} = l \cdot r_0 = \frac{1000}{\gamma S} l = \frac{1000}{32,3 \cdot 95} \cdot 2 = 0,66 \text{ Ом}$$

$$X_{01} = x_0 \cdot l = 0,08 \cdot 2 = 0,16 \text{ Ом}$$

$$\Delta U_{01} = \sqrt{3} \cdot 116 \cdot \left(0,66 \cdot \frac{1800}{\sqrt{1800^2 + 870^2}} + 0,16 \cdot \frac{870}{\sqrt{1800^2 + 870^2}} \right) = 133 \text{ В}$$

$$\Delta U_{01}, \% = \frac{\Delta U_{01}}{U_H} \cdot 100\% = 1,33\%$$

$$R_{12} = \frac{1000 \cdot 3}{32,3 \cdot 70} = 1,32 \text{ Ом}$$

$$X_{12} = 0,4 \cdot 3 = 1,2 \text{ Ом}$$

$$\Delta U_{12} = 64 \cdot \sqrt{3} \cdot (1,32 \cdot 0,2 + 1,2 \cdot 0,97) = 190 \text{ В}$$

$$\Delta U_{12}, \% = 1,9\%$$

$$\Delta U_{02}, \% = \Delta U_{01}, \% + \Delta U_{12}, \% = 1,33 + 1,9 = 3,23\%$$

Схемы электроснабжения.

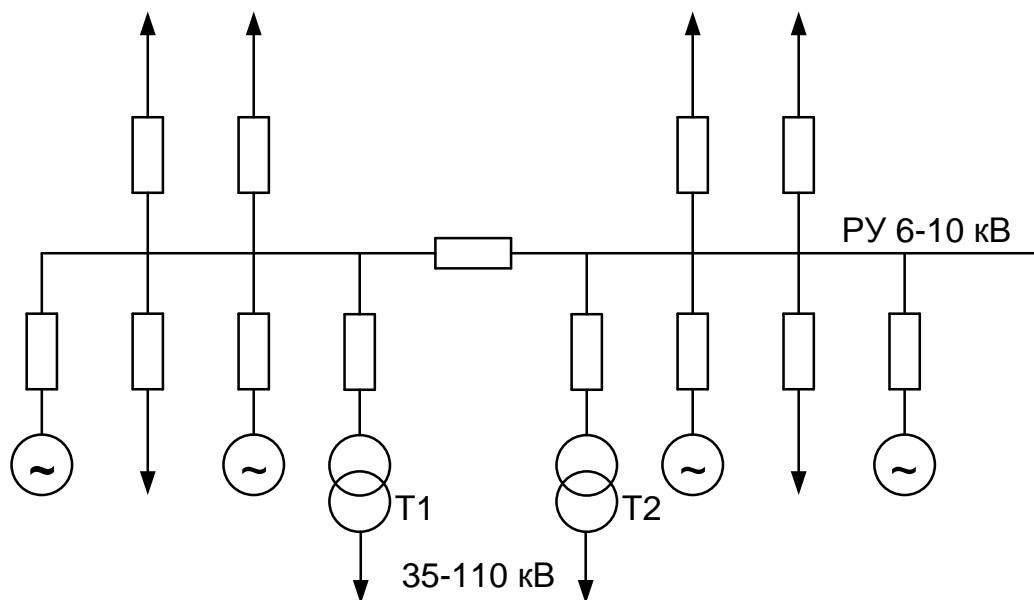
Системы электроснабжения разделяют на системы внешнего электроснабжения (ВЛ от подстанции энергосистемы до ГПП до РП, ЦРП) и систему внутреннего электроснабжения (распределительные линии от ГПП или ЦРП до цеховых ТП).

Внешнее электроснабжение может осуществляться:

1. от собственной электростанции;
2. от энергетической системы;
3. от энергетической системы при наличии собственной электростанции, работающей с ней параллельно.

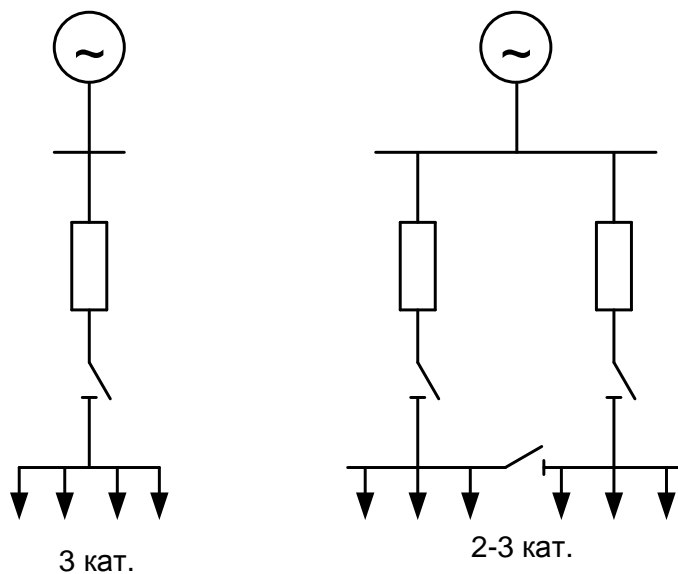
1) Электроснабжение от собственной электростанции.

Если собственная электростанция находится в непосредственной близости от цехов предприятия, а напряжение распределительной сети совпадает с напряжением генераторов электростанции, то используется следующая схема. При этом ближайшее цеховое ТП присоединяют непосредственно к шинам РУ электростанции, а удаленные потребители присоединяют через трансформаторы Т1 и Т2.



Электроснабжение от энергетической системы.

В зависимости от величины напряжения источника питания, схемы могут различаться.



Обе схемы от 6 до 20 кВ.

Эти схемы применяются, если предприятия находятся на расстоянии 5-10 км от подстанции системы.

Если при отключении одной из линий питание секции должно восстанавливаться автоматически, то вводной и секционный разъединители заменяются выключателями.

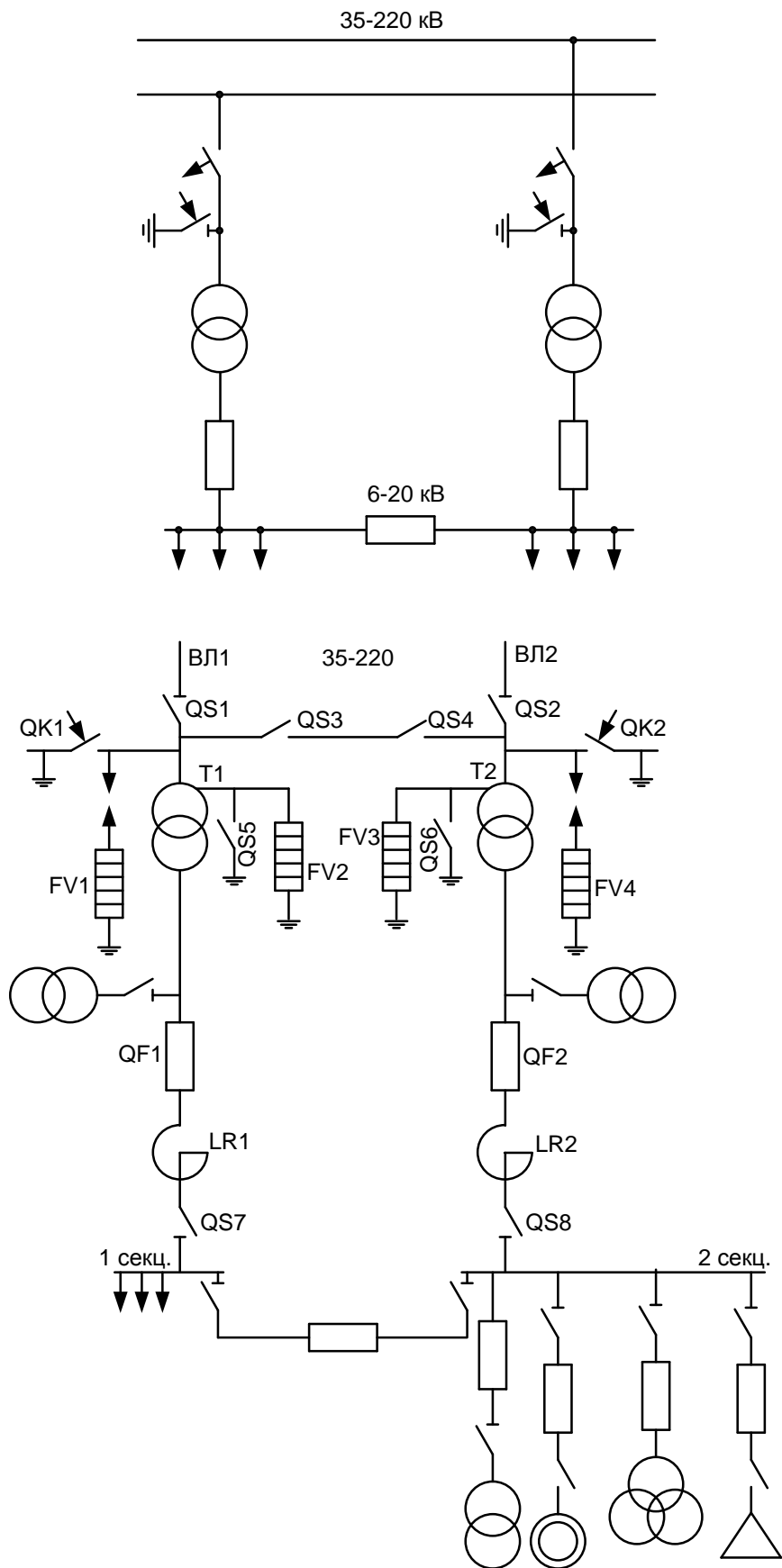
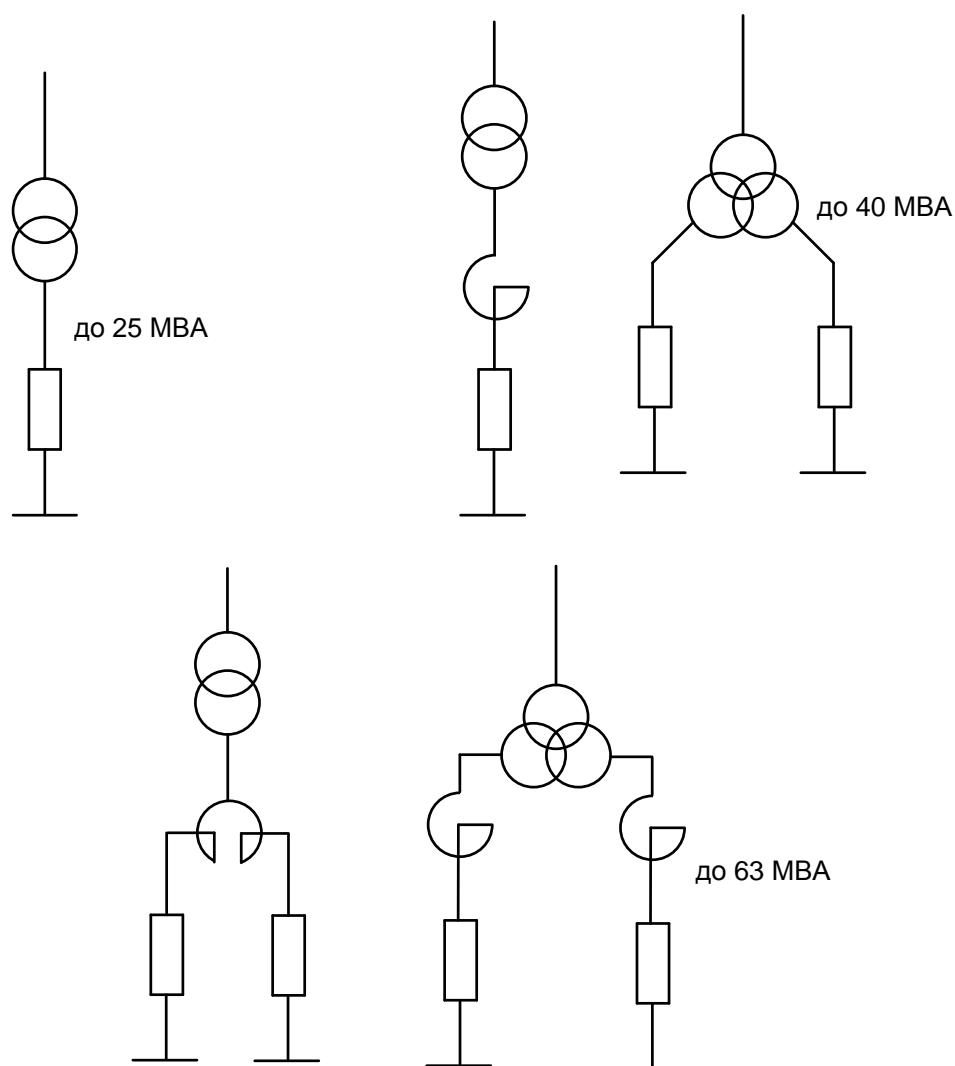


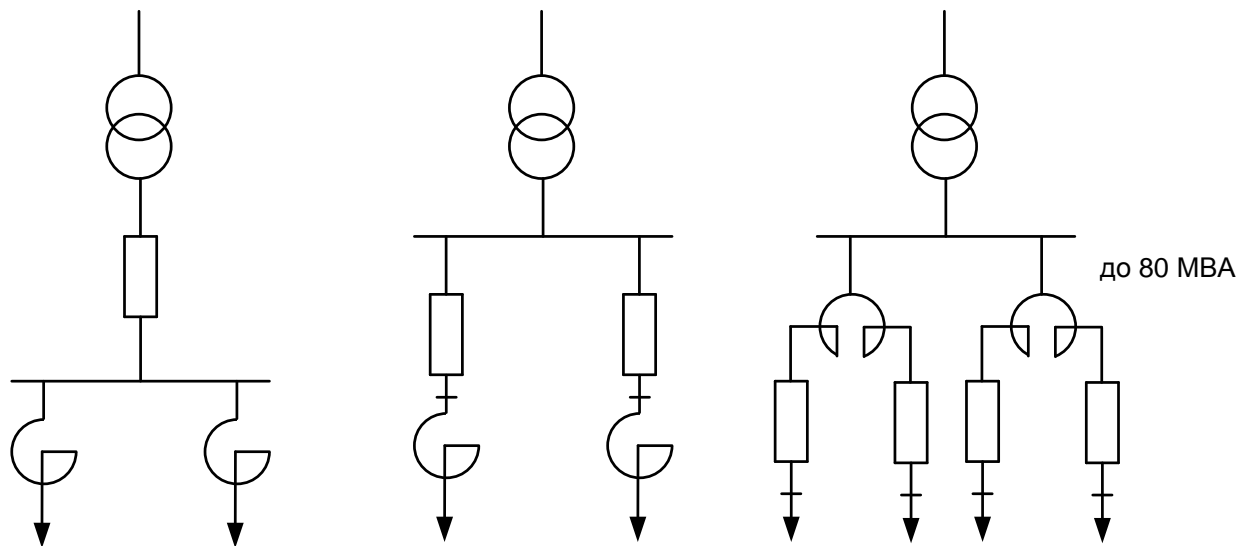
Схема ГПП, получающая энергоснабжение по двум радиальным линиям.

Трансформаторы Т1 и Т2 подключаются к линиям только через разъединители QS1 и QS2, т.к. при радиальной схеме нет необходимости в отделителях. На вводах трансформаторов устанавливают короткозамкватели QK1, QK2 (в сетях с глухозаземленной нейтралью в одной фазе, в сетях с изолированной нейтралью в двух). Короткозамкватели автоматически включаются при срабатывании релейной защиты, в результате внутренних повреждений в трансформаторах ГПП, к которым не чувствительна защита, с помощью головных выключателей линии ВЛ1 и ВЛ2 энергосистемы. При включении короткозамкателя создается искусственное КЗ, на входах высшего напряжения трансформатора. На такое КЗ реагирует релейная защита линии в системе и

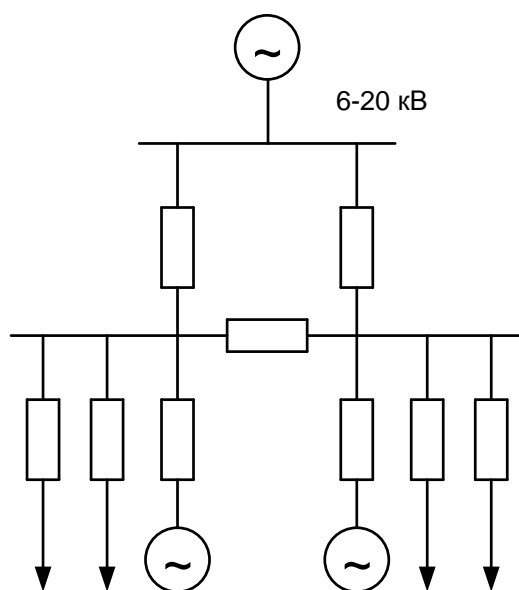
отключает соответствующую линию. Включение нейтралей трансформаторов, осуществляется через разъединители QS5 и QS6, последние включают не всегда. Число включенных на землю нейтралей регулируют так, чтобы ток одно- и двухфазных КЗ не превышал установленные пределы. Для защиты изоляции трансформаторов от пробоя, при возникновении перенапряжений, предусмотрены разрядники FV2 и FV3 в нейтрали. Также разрядники устанавливают на вводе высокого напряжения трансформаторов во всех трех фазах, для защиты от набегающих по линиям волн перенапряжений (FV1 и FV4). Трансформаторы ГПП подключают к сборным шинам вторичного напряжения 6-10 кВ через выключатели QF1 и QF2 и разъединители QS7 и QS8. Если требуются ограничители тока КЗ сети предприятия 6-10 кВ, то устанавливают реактор LR1 и LR2. Включают перемычку из двух разъединителей QS3 и QS4, она позволяет питать каждый трансформатор не только от своей линии, но и от соседней. Сборные шины напряжением 6-10кВ РУ ГПП секционируют выключателем. Благодаря этому при повреждении или ремонте сборных шин отключается только одна секция, остальные электроприемки получают питание от других. При внезапном исчезновении напряжения первой секции (при отключении питающей линии с помощью устройств АВР, включается секционный выключатель, обеспечивая питание секции). Секционный выключатель выбирают по нагрузке одной секции шин, а выключатель ввода трансформатора по нагрузке двух секций после аварийном режиме ГПП. Для ограничения токов КЗ секционный выключатель нормально отключен. Также к вводам трансформатора подключаются трансформаторы собственных нужд, для обеспечения питания собственных приемников.

Нарисуем схемы подключения вводов трансформатора ГПП к собственным шинам РУ 6-10 кВ.





Энергоснабжение от энергетической системы и собственной электростанции.



Эта система применяется, когда предприятие питается от энергосистемы 6-20 кВ, совпадающим с генераторным напряжением, и когда собственная электростанция расположена в центре нагрузок. В этом случае РУ электростанции совмещается с ЦРП предприятия. Самостоятельное здание для ЦРП сооружается тогда, когда электростанция расположена далеко от центра нагрузок предприятия.

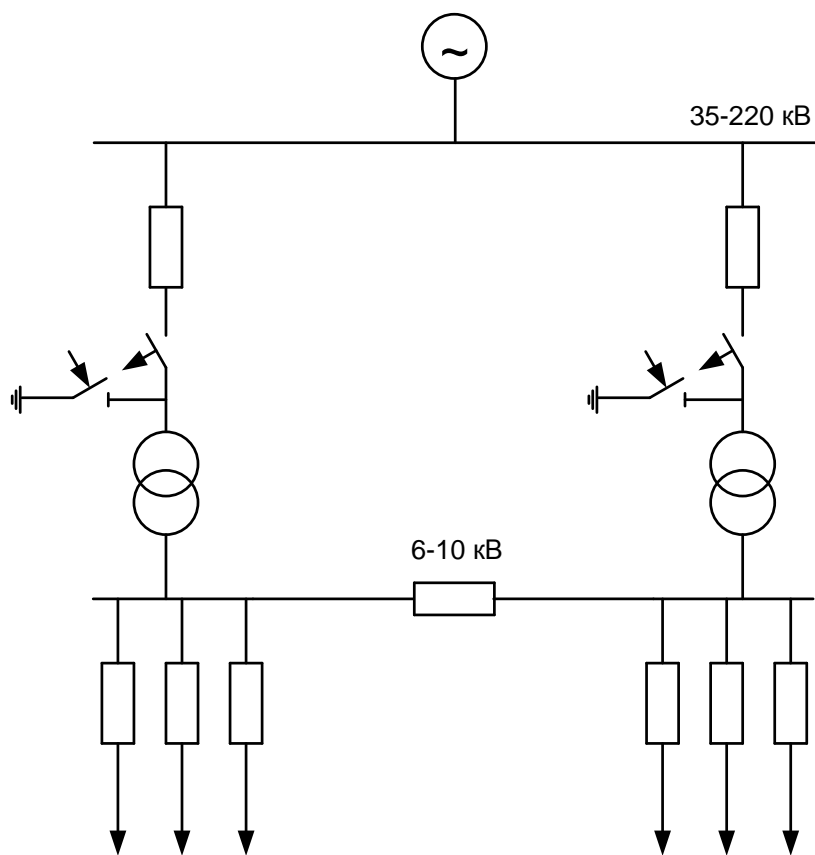


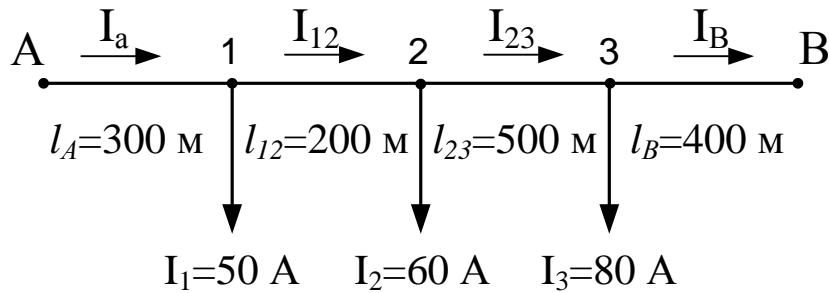
Схема применяется когда предприятие питается от энергосистемы повышенным напряжением, которое понижается на территории предприятия до напряжения генераторов электростанции. РУ ГПП желательно располагать в центре нагрузок, а место распределения РУ собственной электростанции предприятия диктуется другими условиями.

Расчет замкнутых электрических сетей

Замкнутой называется сеть, в которой потребители могут получать питание не менее чем с двух сторон.

Простая замкнутая линия- это линия с двухсторонним питанием от двух источников, напряжение которых в общем случае могут отличаться по величине и по фазе.

Кольцевая линия, питающая от одного источника, тоже считается простой замкнутой т.к. если ее разрезать по источнику питания и развернуть, то получим сеть с двухсторонним питанием.



$$I_A = \frac{\sum_1^n I_n \cdot l_n}{L_{AB}}$$

$$I_B = \frac{\sum_1^n I_n \cdot l_n}{L_{AB}}$$

$$I_A = \frac{50 \cdot (200 + 500 + 400) + 60 \cdot (500 + 400) + 80 \cdot 400}{300 + 200 + 500 + 400} = 101 \text{ A}$$

$$I_B = \frac{80 \cdot (300 + 200 + 500) + 60 \cdot (300 + 200) + 50 \cdot 300}{1400} = 89 \text{ A}$$

$$I_A + I_B = I_1 + I_2 + I_3$$

$$I_{12} = 101 - 50 = 51 \text{ A}$$

$$I_{23} = 51 - 60 = -9 \text{ A}$$

$$I_B = I_A - I_1 - I_2 - I_3 = -89 \text{ A}$$

Потребитель подключенный в точке 2 получает питание одновременно от двух источников, такая точка называется точкой токораздела. Выбор сечения проводников в сетях с двухсторонним питанием производится для двух режимов: нормального, когда питание осуществляется одновременно от двух источников; и послеаварийного, при питании от одного источника. Для нормального режима выбор сечения производится по экономической плотности тока и нагреву, либо только по нагреву исходя из нагрузки на отдельных участках сети при питании от двух источников.

Потери напряжения определяют отдельно от каждого источника до точки токораздела. В послеаварийном режиме происходит перераспределение нагрузки на отдельных участках, выбор сечения выполняется только по нагреву с учетом допустимой перегрузки сети на 30% и последующей проверке на потерю напряжения.

А- отключен

$$I_A = 0$$

$$I_{12} = 50$$

$$I_{23} = 110$$

$$I_B = 190$$

В- отключен

$$I_A = 190$$

$$I_{12} = 140$$

$$I_{23} = 80$$

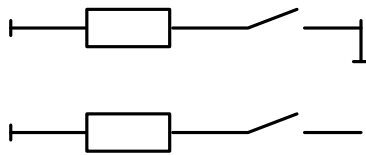
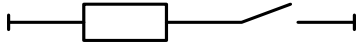
$$I_B = 0$$

Схемы внутреннего электроснабжения

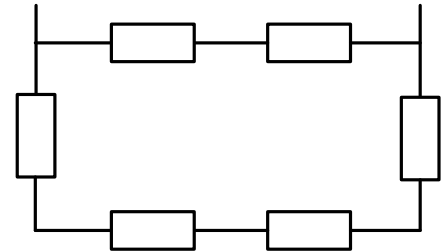
Снабжение от ГПП до цеховых подстанций – внутреннее электроснабжение и оно может осуществляться по радиальным, магистральным и смешанным схемам.

Радиальные схемы применяют для питания сосредоточенной нагрузки и мощных электроприводов.

Для потребителей I и II второй категории предусматриваются двух цепные радиальные схемы, а для III одноцепные.



Для II (I) категории



Для I категории

Для потребителей III категории, если к ней подключить устройства АПВ, то ее можно использовать для II категории, а при наличии аварийных источников питания для I категории.

Достоинства:

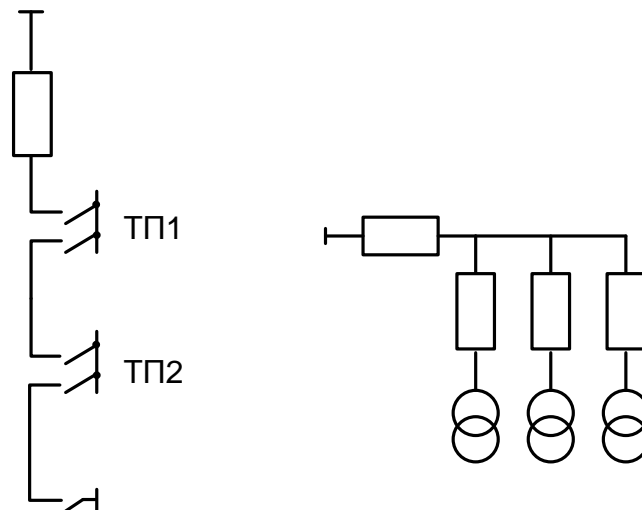
- 1) Простота выполнения и надежность эксплуатации электрических сетей.
- 2) Возможность применения быстродействующей защиты и автоматики.

Недостатки:

Применение радиальных схем увеличивает количество используемой высоковольтной аппаратуры, что увеличивает стоимость.

Магистральные бывают: одиночные, сквозные с двухсторонним питанием, кольцевые, двойные.

Одиночные:



Для III категории

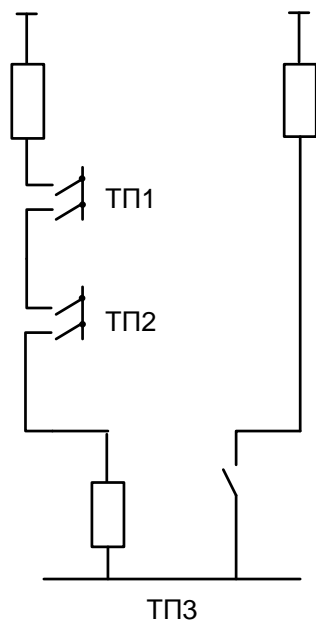
Достоинства:

Схема требует меньшее число линий и выключателей.

Недостатки:

Отсутствует резерв электроснабжения на случай повреждения линии.

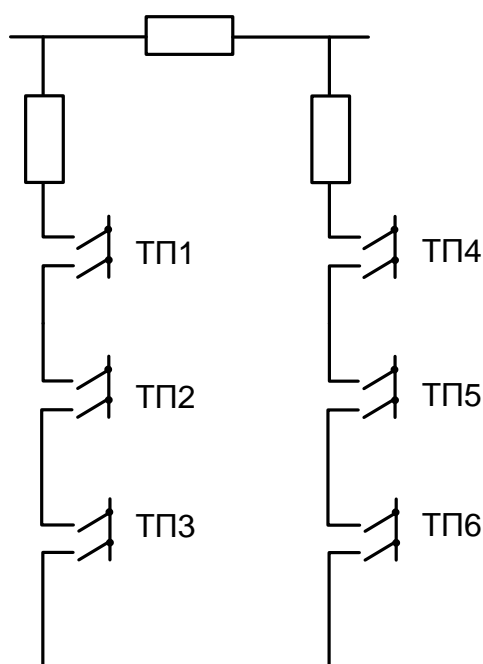
Сквозная с двухсторонним питанием:



Для II категории

Она надежна, магистраль присоединяют к разным источникам питания, в нормальных условиях она разомкнута на одной из подстанций.

Кольцевая:



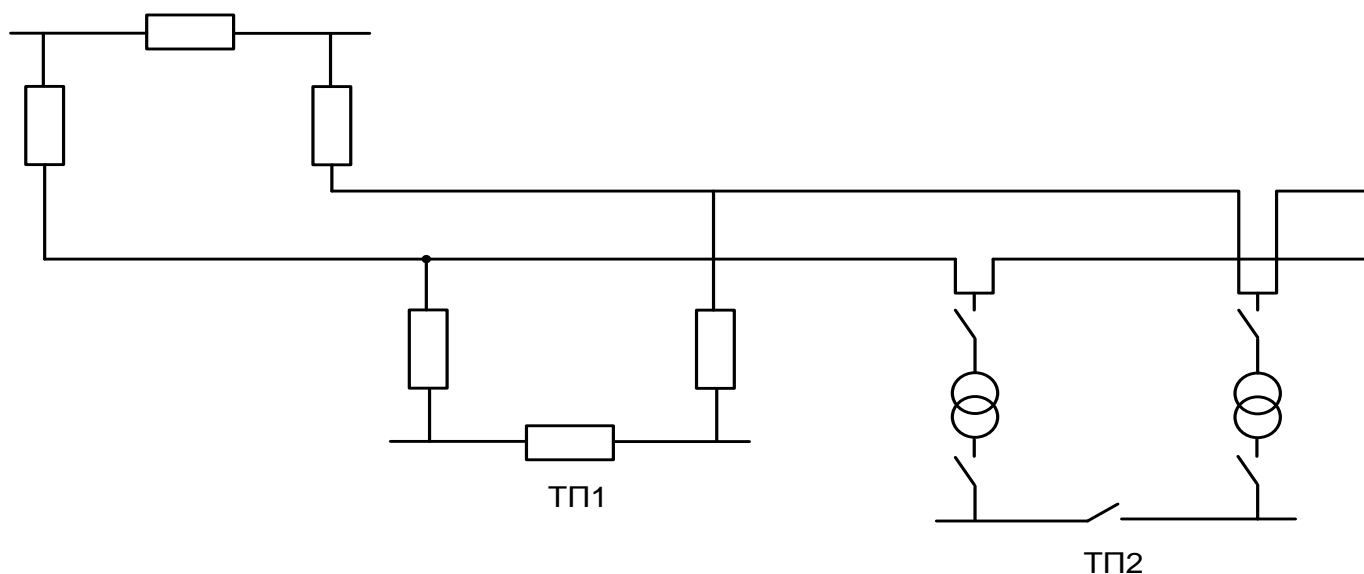
Для II категории

Кольцевая схема создается путем соединения двух одиночных магистралей перемычкой напряжением 6-10 кВ, в нормальном режиме кольцо разомкнуто и питание подстанции осуществляется по одиночным магистралям, но при выходе любого участка сети питания ТП, прерывается лишь на время операции по отключению в ремонт поврежденного участка и включению разъединителя перемычки.

Двойная:

Эта схема достаточно надежна, т.к. при любом повреждении на линии или в трансформаторе все потребители могут получить питание на второй линии.

Недостаток: Дорога.



Для I категории

Существуют смешанные схемы которые сочетают элементы магистральных и радиальных схем. Например, основное питание каждого из потребителей осуществляется по радиальным, а резервная по одной сквозной магистрали.