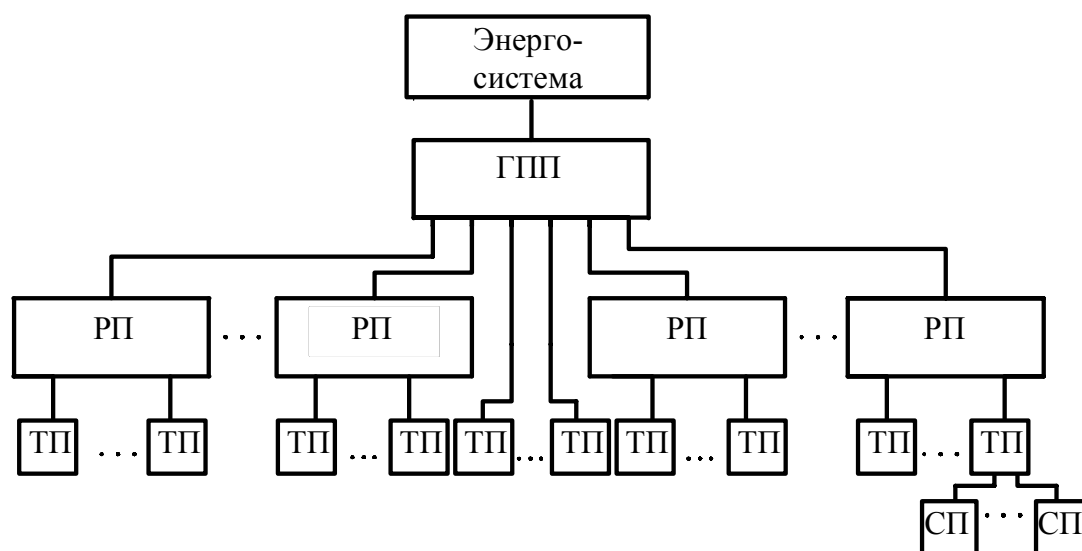


### 3. Режимы работы электроприемников и электрической сети

#### 3.1. Схемы включения электроприёмников

При изображении электрических сетей используется три вида электрических схем:

*Структурная схема* предназначена для общего ознакомления с электрической установкой. В ней даётся упрощенное изображение основных элементов в виде прямоугольников и связей между ними.



**Рис. 3.1. Структурная схема электроснабжения завода:**

ГПП – главная понижающая подстанция;

РП – распределительная подстанция – электроустановка, служащая для приема и распределения электрической энергии;

ТП – трансформаторная подстанция – электроустановка, служащая для приема, распределения и преобразования электрической энергии;

СП – силовой пункт

На функциональной схеме указываются источники, преобразователи с обозначением их мощности, раскрываются некоторые структурные блоки, позволяющие понять функциональные возможности схемы.

*Принципиальная схема* облегчает понимание принципа действия электротехнической установки, электрической сети во всех подробностях и дает исходный материал для составления спецификаций и заявок на основное оборудование, для составления монтажных схем (схем соединения), для разработки конструктивных чертежей.

На принципиальных схемах изображаются все элементы и устройства, необходимые для осуществления и контроля технологических процессов. Изображение осуществляется в соответствии с УГО. Электрические аппараты показываются на схеме в отключенном положении. Принципиальная схема изображается либо в однолинейном, либо в многолинейном изображении.

В случае однолинейного изображения цепи, выполняющие одинаковую функцию, изображаются одной линией, а одинаковые элементы – одним УГО.

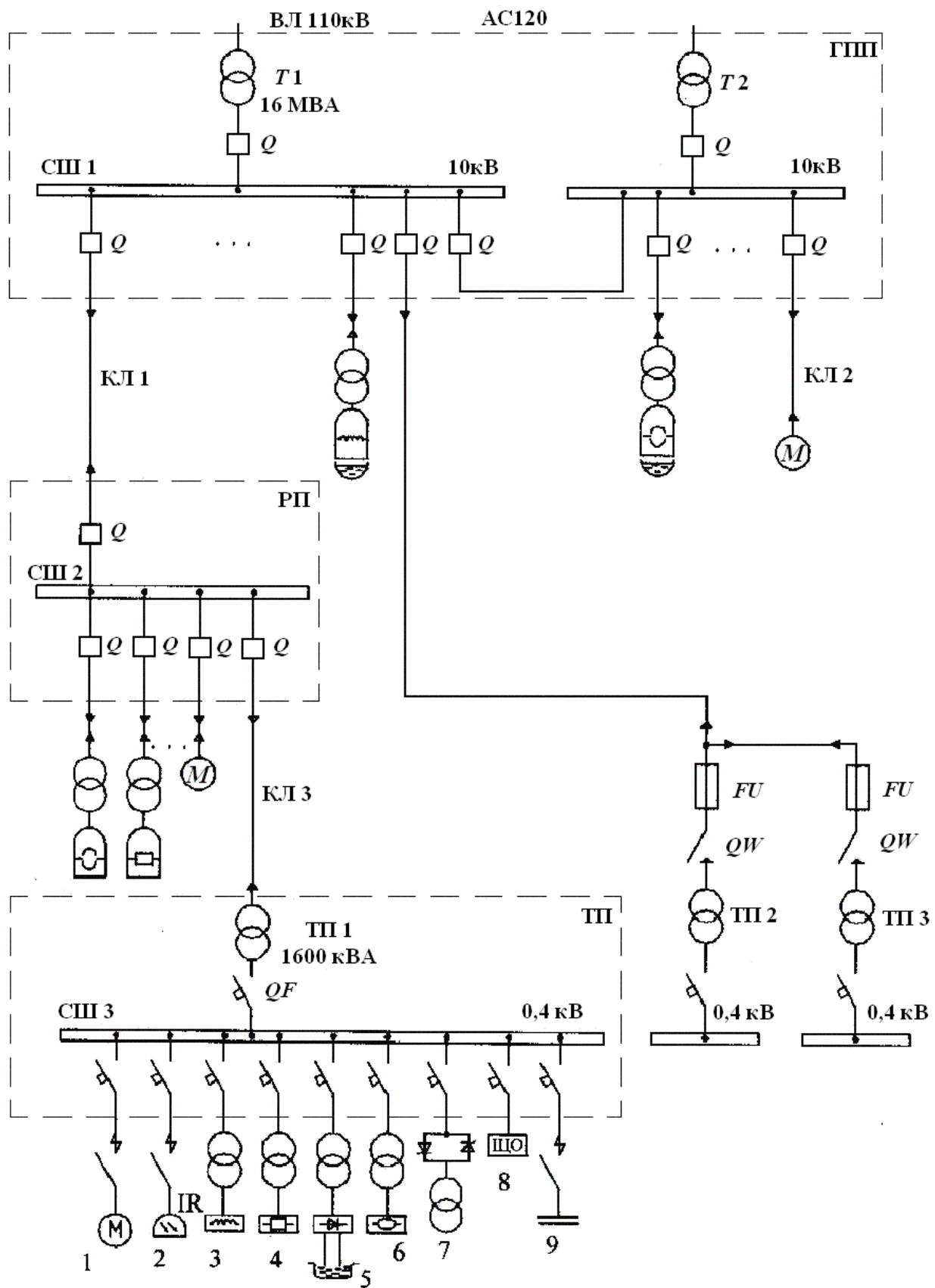


Рис. 3.2. Фрагмент принципиальной схемы электроснабжения завода, выполненной в однолинейном изображении

При многолинейном изображении каждая электрическая цепь изображается отдельной линией, а элементы цепи – отдельным УГО.

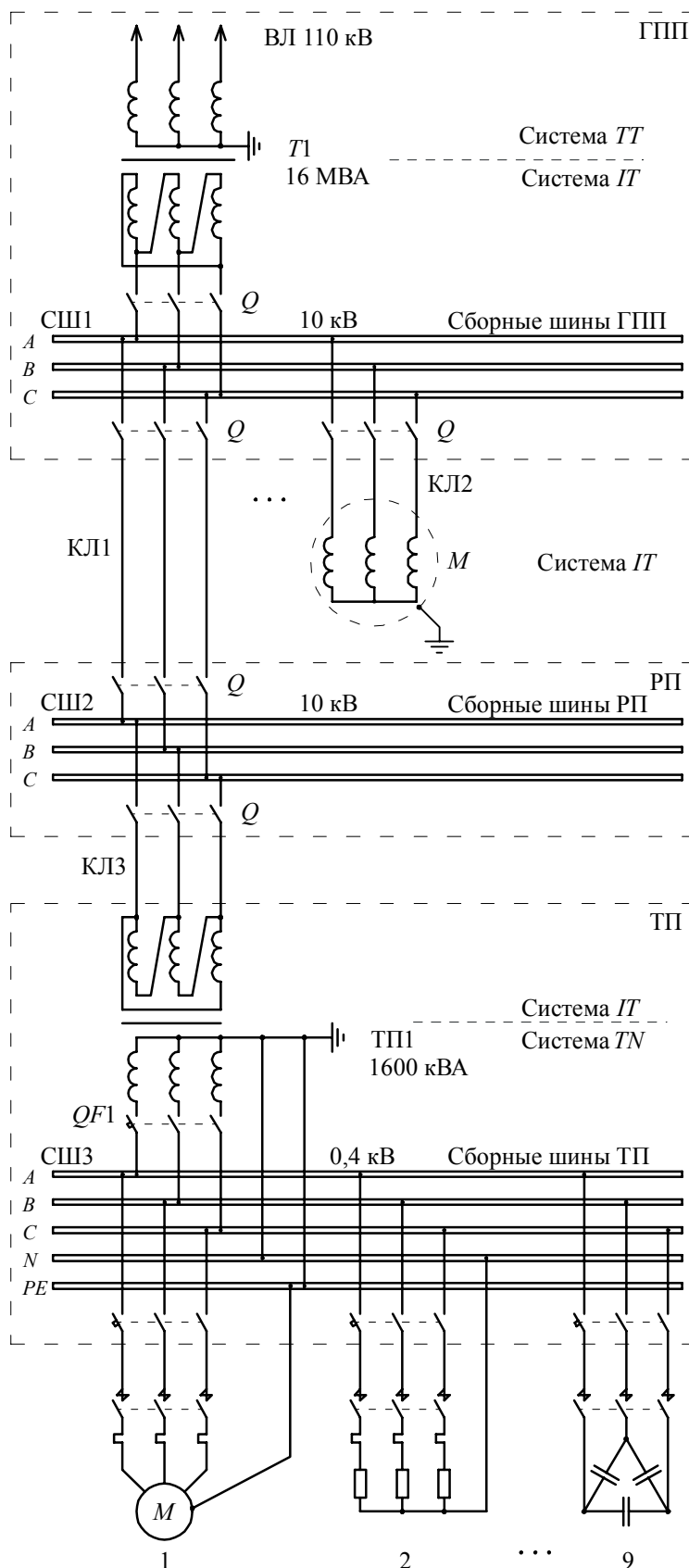


Рис. 3.3. Фрагмент принципиальной схемы электроснабжения завода, выполненной в многолинейном изображении

*Электрическая сеть* – совокупность подстанций, распределительных устройств и соединяющих их электрических линий, размещённых на определённой территории (район, населённый пункт, завод, цех).

*Подстанция* – электроустановка, служащая для приёма, преобразования и распределения электрической энергии.

### **Классификация электрических сетей**

Системы электрических сетей классифицируются по ГОСТ 505712-94 (МЭК-364-3-93). Для классификации используются две буквы, указывающие характер заземления:

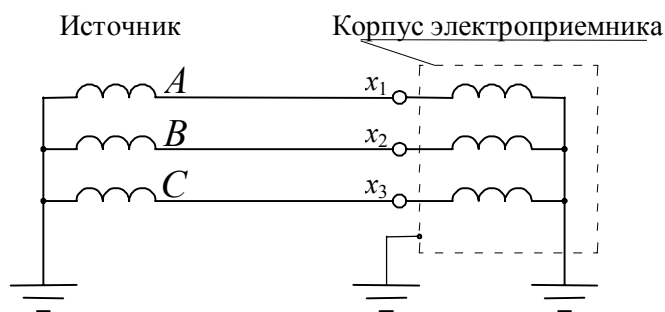
- *первая буква* – указывает характер заземления нейтрали источника;
- *вторая буква* – указывает характер заземления открытых проводящих нетоковедущих частей электроустановок (корпуса).

В обозначении используются начальные буквы французских слов:

- **T** (terre) – заземлено;
- **N** (neutre) – занулено (присоединено к нейтрали источника питания);
- **I** (isole) – изолировано.

Выделяется три системы сетей (см. рис. 3.4 - 3.6):

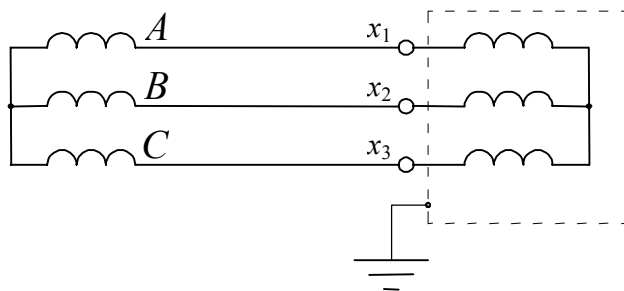
1. **Система TT** – нейтраль источника и корпуса электроприемников заземлены;



**Рис. 3.4. Система TT**

На территории России по такой системе выполняются электрические сети напряжением 110 кВ и выше.

2. **Система IT** – нейтраль источника *изолирована*, а корпуса электроприемников *заземлены*;



**Рис. 3.5. Система IT**

На территории России по такой системе выполняются электрические сети напряжением 6, 10, 35 кВ.

3. Система **TN** – нейтраль источника заземлена, а корпуса электроприемников занулены. Как правило, это сети напряжением 0,4 кВ. Система **TN** имеет 3 модификации.

В системе **TN-C** (common) – функции нулевого рабочего (*N*) и нулевого защитного (*PE*) проводников объединены в одном проводнике, который называется *PEN*.

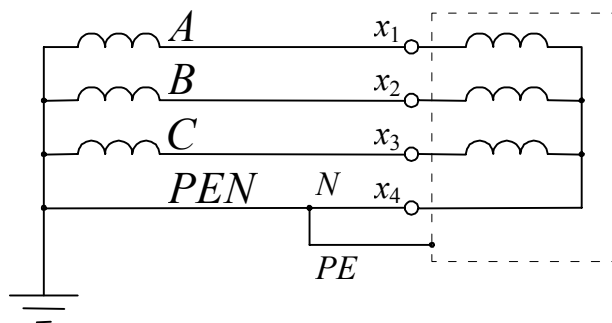


Рис. 3.6. Система **TN-C**

В системе **TN-S** (select) – функции нулевого рабочего и нулевого защитного проводников обеспечиваются отдельными проводниками, соответственно *N* и *PE*.

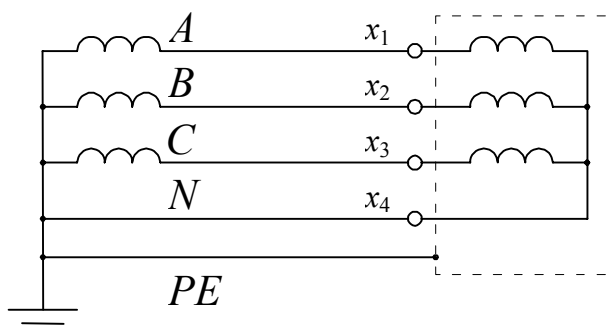


Рис. 3.7. Система **TN-S**

В системе **TN-C-S** – нулевые проводники на головных участках объединены в проводник *PEN*, а далее разделены на проводники *N* и *PE*.

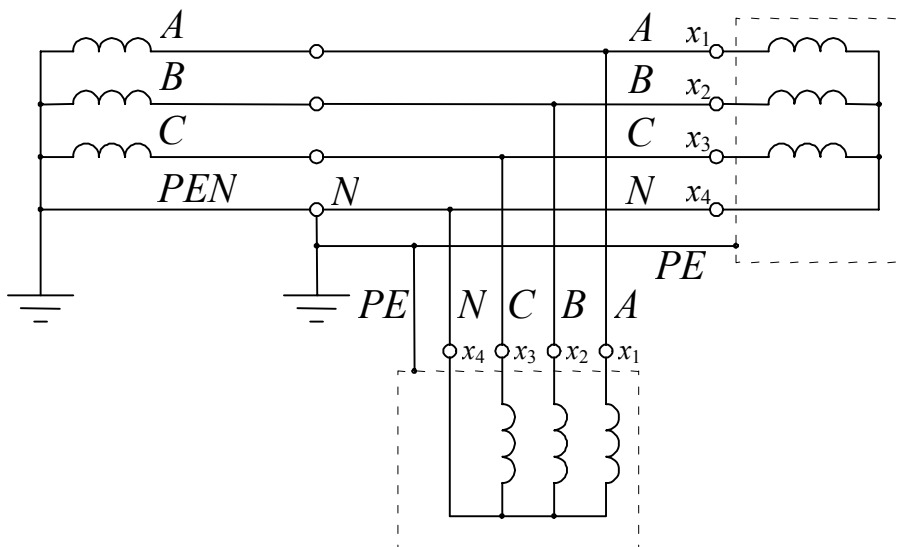


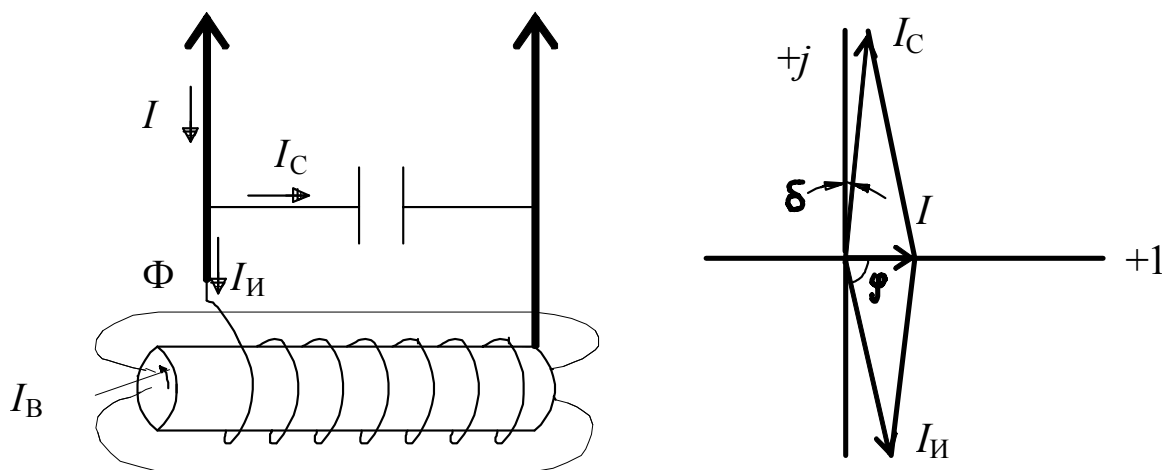
Рис. 3.8. Система **TN-C-S**

Рассмотрим принципиальные схемы электроприемников (порядковые номера соответствуют номерам на рис. 3.2).

1. *Электропривод* – электроустановка, предназначенная для преобразования электрической энергии в механическую (как правило, энергию вращения тела). Принципиальная схема показана на рис. 2.2.

2. *Установка инфракрасного нагрева* – установка для преобразования электрической энергии в энергию электромагнитного излучения в инфракрасной области спектра с длиной электромагнитной волны ( $\lambda = 0,8 \div 4$  мкм). Принципиальная схема показана на рис. 3.3. В изображениях единичных сопротивлений, соединенных в звезду с нулем, сосредоточены десятки ламп инфракрасного нагрева. В быту – электрокамин.

3. *Установка индукционного нагрева* – установка для преобразования электрической энергии в тепловую посредством электромагнитного поля.



**Рис. 3.9. Принципиальная схема установки индукционного нагрева и векторная диаграмма токов**

Ток, протекающий по индуктору, создаёт магнитный поток  $\Phi$ , пронизывающий заготовку. Согласно закону электромагнитной индукции, в заготовке индуцируется ЭДС, прямо пропорциональная скорости изменения электромагнитного поля. Под действием ЭДС, согласно закону Ома, в заготовке протекает ток:

$$i_B = \frac{e}{z}. \quad (3.1)$$

При протекании тока, согласно закону Джоуля-Ленца, происходит преобразование электрической энергии в тепловую энергию:

$$W_Q = I_B^2 \cdot R \cdot t. \quad (3.2)$$

Создание большого значения  $I_B$  требует большого значения  $Iи$ . Но непосредственная передача его по сети приводит к большим потерям активной энергии в подводящей сети:

$$\Delta W = I_{\text{и}}^2 \cdot R_{\text{ПС}} \cdot t. \quad (3.3)$$

Уменьшить их можно двумя способами:

а) за счет снижения сопротивления подводящей сети  $R_{\text{ПС}}$ . Для этого приходится увеличивать сечение проводников сети до тех пор, пока явление поверхностного эффекта позволяет сделать это;

б) за счет размещения в непосредственной близости от индуктора конденсаторной установки. В этом случае потери в элементах электрической сети (линиях, преобразователях) уменьшаются, так как суммарный (совместный) ток  $I$  значительно меньше, чем ток индуктора  $I_{\text{и}}$ :

$$\Delta W = I^2 \cdot R_{\text{ПС}} \cdot t. \quad (3.4)$$

4. Установка нагрева методом электрического сопротивления (печь сопротивления) – установка для преобразования электрической энергии в тепловую. Схема подключения аналогична подключению установки инфракрасного нагрева.

5. Электролизная установка – установка для преобразования электрической энергии в химическую.

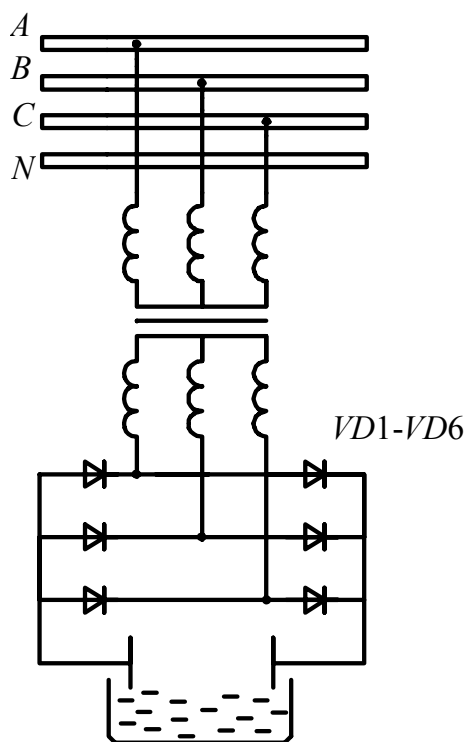
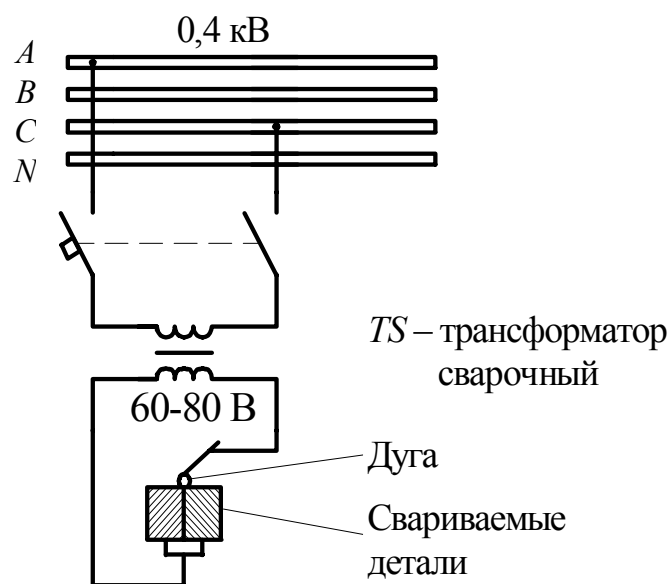


Рис. 3.10. Принципиальная схема электролизной установки

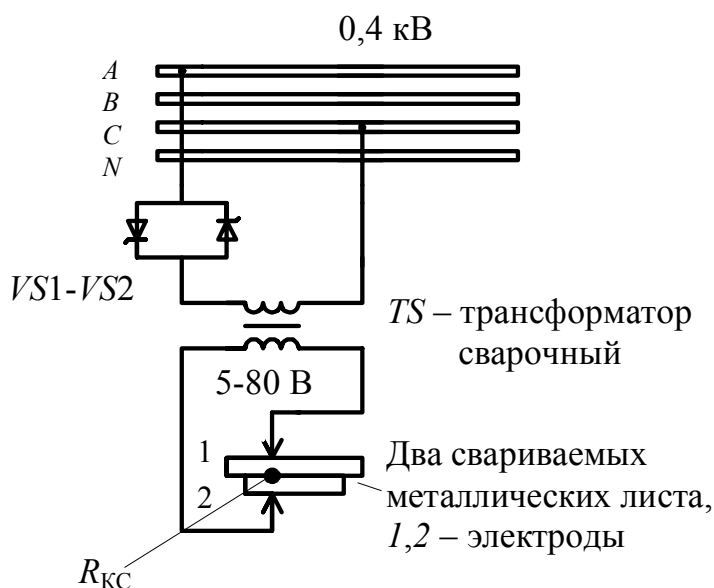
6. Электросварочная установка (например, установка дуговой сварки) – установка, предназначенная для соединения и разъединения деталей.



**Рис. 3.11. Принципиальная схема установки дуговой сварки**

Температура столба дуги 7000-8000 К.

7. Установка контактной сварки – установка, предназначенная для соединения деталей за счет энергии, выделяющейся в контактном сопротивлении.



**Рис. 3.12. Принципиальная схема установки контактной сварки**

Ток, проходя через электроды детали, преобразуется в тепловую энергию в месте контактного сопротивления (согласно закону Джоуля-Ленца):

$$W_Q = I^2 \cdot R_{КС} \cdot t_{СВ}, \quad (3.5)$$

где  $W_Q$  – тепловая энергия;

$R_{КС}$  – контактное сопротивление (сопротивление в месте контактирования деталей друг с другом, в точке между деталями по линии сжатия электродов);



$t_{CB}$  – время протекания тока, составляет для различных режимов работы  $0,01 \div 1$  с.

Эффективность установки контактной сварки будет зависеть от того, насколько сопротивление  $R_{КС}$  будет больше сопротивления всей подводящей сети (обмотка трансформатора, провода, электроды). Например, если  $R_{КС} = R_{ПС}$ , то коэффициент полезного действия передачи энергии будет равен 0,5:

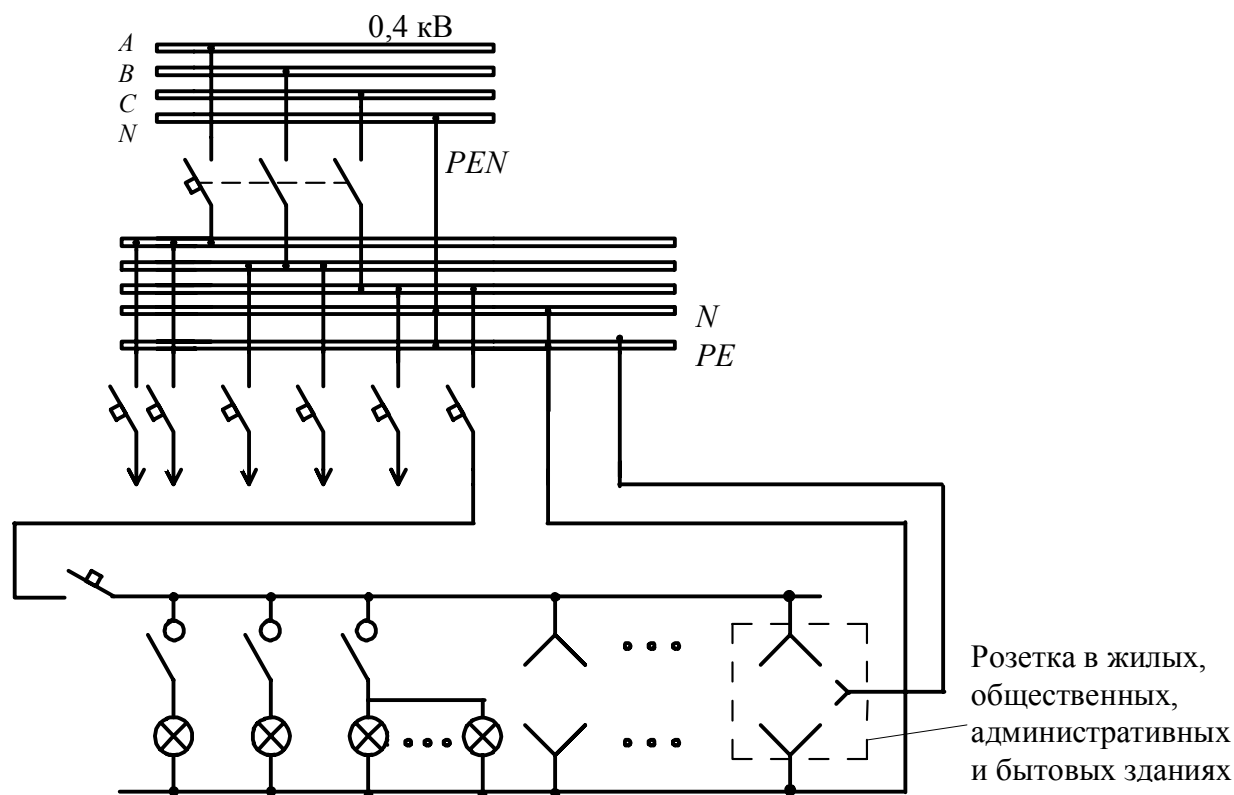
$$\eta = \frac{W_{КС}}{W_{КС} + W_{ПС}} = \frac{1}{1 + \frac{R_{ПС}}{R_{КС}}} \quad (3.6)$$

Тиристорный контактор  $VS1-VS2$  предназначен для создания небольших длительностей протекания тока (до 0,1 с) и обеспечения высокой коммутационной износостойкости.

Установки 2-7 называются электротехнологическими установками.

*Электротехнологические установки* – это технологические установки, принцип действия которых основан на использовании энергии электрического тока, подводимой непосредственно в зону обработки и преобразуемой там в другие виды энергии.

8. *Щит освещения для питания осветительных установок*, то есть таких, где электроэнергия преобразуется в световую энергию видимого излучения ( $\lambda = 0,38 \div 0,78$  мкм).



**Рис. 3.13.** Принципиальная схема подключения распределительного щита освещения и фрагмент принципиальной схемы осветительной сети и переносных электроприемников

Рабочие нулевые проводники присоединяют к шине  $N$ , а защитные проводники к шине  $PE$ .

9. *Конденсаторная установка* – установка для компенсации реактивной энергии группы электроприемников с целью уменьшения тока и снижения потерь в подводящей электрической сети.

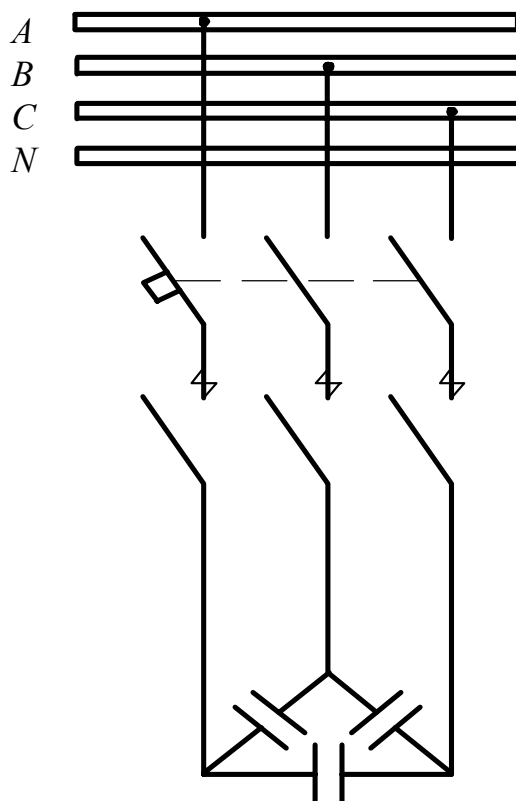
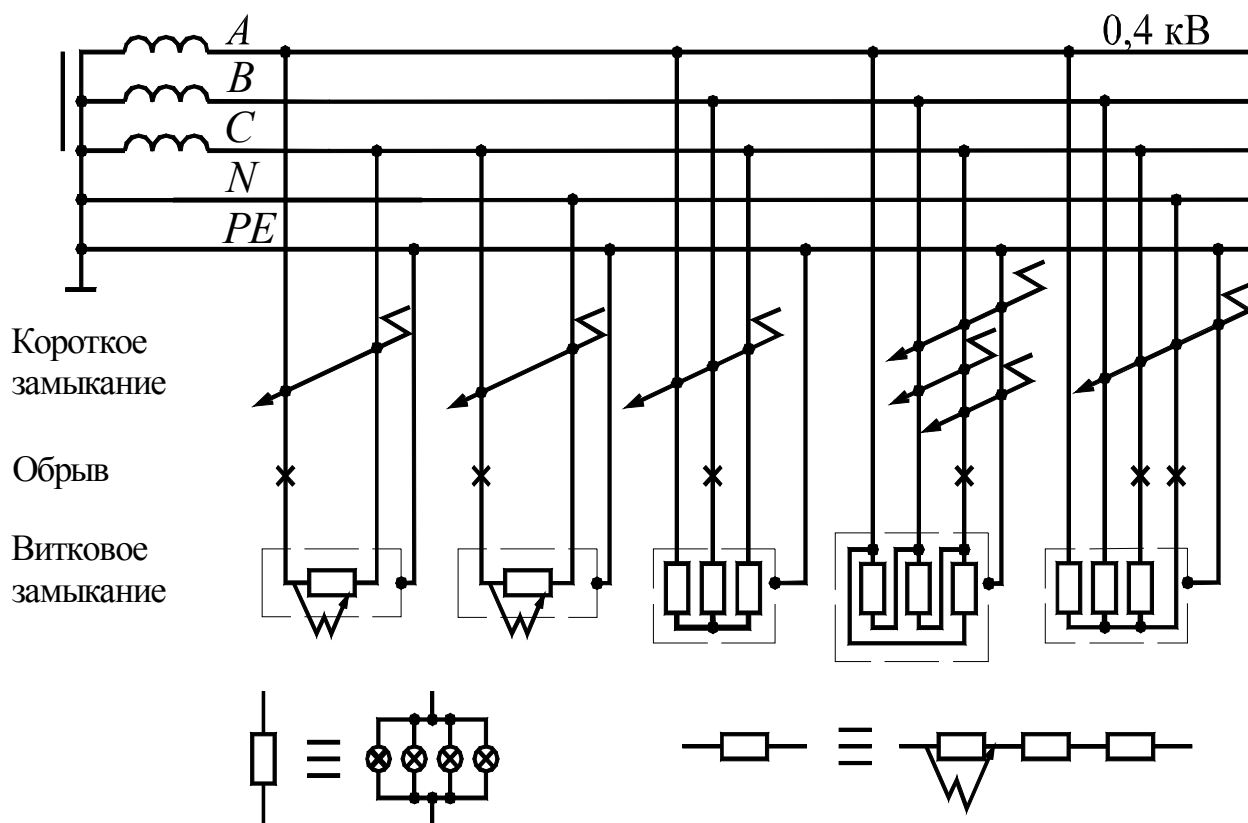


Рис. 3.14. Принципиальная схема конденсаторной установки

Предназначена для компенсации реактивной энергии группы электроприемников. Конденсаторные батареи соединяются в треугольник для создания большего реактивного тока.

### 3.2. *Нормальные и аварийные режимы работы цеховой электрической сети и электроприёмников*

Большинство принципиальных схем электроприемников в цеховой сети можно представить в виде схем замещения, состоящих из полных сопротивлений  $Z_H$ , представляющих собой электрическую нагрузку. Данная нагрузка может быть представлена в виде сопротивлений, соединенных последовательно или параллельно и подключенных на фазное или линейное напряжение (для однофазных ЭП), а также в треугольник, звезду, звезду с нулем (для трехфазных ЭП).



**Рис. 3.15. Аварийные режимы работы цеховой электрической сети и электроприемников**

Нормальные режимы – все электроприёмники подключены по нормальным схемам. В этих случаях протекают нормальные токи, величина которых определяется по закону Ома, согласно величины сопротивления нагрузки  $Z_n$  и сопротивления проводников подводящей сети  $Z_{пс}$ :

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{\dot{Z}_n + \dot{Z}_{пс}}. \quad (3.7)$$

Аварийные режимы возникают при коротком замыкании, витковых замыканиях и обрывах.

1. *Коротким* называется такое замыкание, когда электроприёмник шунтируется (замыкается) накоротко. Сопротивление электроприёмника выводится из схемы и ток определяется только сопротивлением проводников:

$$\dot{I}_k^{(1)} = \dot{U} / (\sqrt{3} \cdot 2 \cdot Z_{пс}), \quad \dot{I}_k^{(2)} = \dot{U} / (2 \cdot Z_{пс}), \quad \dot{I}_k^{(3)} = \dot{U} / (\sqrt{3} \cdot Z_{пс}). \quad (3.8)$$

При замыканиях на корпус ток короткого замыкания  $\dot{I}_k^{(1)}$  протекает под действием фазного напряжения (меньшего, чем линейное напряжение). Этот ток будет определяться только сопротивлением фазного и нулевого проводников.

2. *Витковое замыкание* – это замыкание, исключаящее из схемы часть сопротивления нагрузки, например, половину, что также увеличивает ток в электрической цепи:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{0,5 \cdot \dot{Z}_H + \dot{Z}_{\text{пс}}} \quad (3.9)$$

### 3. *Обрывы.*

При обрывах в цепях электродвигателей ток в цепях, оставшихся в работе, увеличивается, так как для создания такого же по величине вращающегося электромагнитного поля (для обеспечения достаточного механического момента на валу электродвигателя) меньшим количеством обмоток требуется большее значение тока.

Аварийный режим, как правило, сопровождается увеличением тока по сравнению с нормальным режимом. Увеличение тока приводит к повышенному нагреву проводников (согласно закону Джоуля-Ленца). Под действием этого нагрева происходит разрушение изоляции. Также возникают большие ЭДУ, под действием которых возможно разрушение электрических аппаратов и сетей. Поэтому электроприемник и электрические сети требуют защиты от токов при аварийных режимах, которая осуществляется за счет быстрого отключения поврежденного участка от источника питания. Наиболее часто эта защита выполняется автоматическими выключателями и предохранителями.

Обрывы ведут к незначительному увеличению тока и отключение допускается производить с некоторой задержкой по времени с использованием тепловых реле.

Замыкания на корпус всегда должны отключаться мгновенно при помощи автоматических выключателей или предохранителей. Это связано с тем, что с корпусом может соприкасаться человек (персонал), который может оказаться под напряжением. Данная защита наиболее эффективно обеспечивается устройством защитного отключения (УЗО).