

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

А. Б. НЕВЗОРОВА, В. А. ПАЦКЕВИЧ, С. Л. КУРИЛИН

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для студентов учреждений
высшего образования по специальностям
«Промышленное и гражданское строительство»,
«Экспертиза и управление недвижимостью»*

Гомель 2014

УДК 621.3 (075.8)
ББК 31.2
Н40

Р е ц е н з е н т ы: кафедра «Электротехника и электроника» Белорусского национального технического университета (зав. кафедрой канд. техн. наук Ю. В. Бладыко); канд. техн. наук А. Г. Ус (кафедра «Электроснабжение» УО «Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого»)

Невзорова, А. Б.

Н40 Электротехника : учеб. пособие / А. Б. Невзорова, В. А. Пацкевич, С. Л. Курилин ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 163 с.
ISBN 978-985-554-349-8

Излагаются основные сведения по электротехнике, электрическим машинам, электроснабжению, электротехнологии на строительной площадке. Рассмотрены общие вопросы электробезопасности и мероприятия по обеспечению безопасного ведения работ с электроустановками.

Предназначено для студентов дневной и заочной форм обучения по специальностям 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство», 1-70 02 02 «Экспертиза и управление недвижимостью». Будет полезно студентам других специальностей и заинтересованным в этой области читателям.

УДК 621.3 (075.8)
ББК 31.2

ISBN 978-985-554-349-8

© Невзорова А. Б., Пацкевич В. А.,
Курилин С. Л., 2014
© Оформление. УО «БелГУТ», 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	
1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАКОНЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ.	
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ	
1.1 Основные понятия.....	
1.2 Основные законы электротехники.....	
1.3 Генерирование электрической энергии.....	
1.4 Виды тока.....	
1.5 Классификация электротехнических материалов.....	
1.5.1 Проводники.....	
1.5.2 Диэлектрики.....	
1.5.3 Полупроводники.....	
1.5.4 Магнитные и другие материалы.....	
2 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ И УСТРОЙСТВА ПОСТОЯННОГО ТОКА	
2.1 Общие понятия.....	
2.2 Передача энергии постоянным током.....	
2.3 Нагрузочная характеристика и схема замещения реального источника электроэнергии.....	
2.4 Вольтамперные характеристики и схемы замещения потребителей.....	
2.5 Питание потребителя переменной мощности.....	
2.6 Последовательное и параллельное соединение потребителей.....	
2.7 Потери в линии электропитания постоянного тока.....	
2.8 Питание потребителя от двух источников.....	
3 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ И УСТРОЙСТВА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	
3.1 Общие понятия.....	
3.2 Переменный ток в индуктивном элементе.....	
3.3 Конденсатор в цепи переменного тока.....	
3.4 Электромагнитное устройство в цепи электрического тока.....	
3.5 Электродинамический ваттметр.....	
3.6 Последовательное соединение элементов цепи переменного тока.....	
3.7 Трехфазные электрические цепи.....	
3.8 Трехфазный трансформатор.....	
3.9 Однофазный трансформатор.....	
3.10 Трехфазная система электроснабжения. Общие положения.....	
4 ПЕРЕДАЧА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ОТ ИСТОЧНИКА К ПОТРЕБИТЕЛЮ	
4.1 Основные сведения об электрической системе.....	
4.2 Распределение энергии по потребителям.....	
4.3 Характеристики и свойства линий электропередач.....	
4.4 Типы счетчиков электроэнергии.....	
4.5 Категории электроприемников по надежности электроснабжения.....	
4.6 Структура электроснабжения.....	
4.7 Воздушные и кабельные линии электропередач.....	
4.8 Трансформаторные подстанции.....	

5 ВРЕМЕННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК	
5.1 Общие положения по расчету мощности, потребляемой строительной площадкой.....	
5.2 Проектирование электроснабжения промышленных и административных объектов.....	
5.3 Определение места расположения и выбор трансформаторной подстанции.....	
5.4 Электрические сети строительных площадок.....	
5.5 Выбор сечения проводов и жил кабелей.....	
5.6 Временное электроснабжение стройплощадки.....	
6 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ДВИГАТЕЛИ	
6.1 Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором.....	
6.2 Асинхронный двигатель с фазным ротором.....	
6.3 Двигатели постоянного тока.....	
6.4 Коллекторные двигатели переменного тока.....	
7 ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ	
7.1 Провода и кабели, применяемые в электропроводах.....	
7.2 Скрытые электропроводки.....	
7.3 Открытые электропроводки.....	
7.4 Электропроводки в кабельных каналах.....	
7.5 Электропроводки в трубах.....	
8 ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК	
8.1 Автоматические выключатели.....	
8.2 Электрифицированный инструмент.....	
8.3 Электросварка.....	
8.4 Электронагрев.....	
8.5 Электровибраторы.....	
8.6 Газоразрядные лампы.....	
9 ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ	
9.1 Опасное действие электрического тока на организм человека.....	
9.2 Защитное заземление и зануление.....	
9.3 Системы заземления.....	
9.4 Устройства защитного отключения.....	
10 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ	
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	
Приложение А ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	
Известные ученые.....	
Интересные факты из истории электротехники.....	

ВВЕДЕНИЕ

Электротехника – область технических наук, изучающая электрические и магнитные явления и законы, а также результаты исследований в этой области для решения прикладных проблем электроэнергетики и электромеханики.

Электротехника включает в себя такие области техники, как электроэнергетика, электроника, системы управления, обработка сигналов, связь и телекоммуникации. Основное отличие от электроники заключается в том, что электротехника изучает проблемы, связанные с силовыми крупногабаритными электронными компонентами: линии электропередачи, электрические приводы, в то время как в электронике основными компонентами являются компьютеры и интегральные схемы.

Преимущество электрической энергии перед другими видами энергии объясняет широкую распространенность электротехники как науки. К таким преимуществам относятся: простота преобразования в другой вид энергии, передачи на любые расстояния, «разделения» энергии, а также управления электрическими приборами.

Единственный недостаток электроэнергии – невозможность сохранять ее запасы в течение долгого времени. Аккумуляторы и гальванические элементы способны содержать в себе энергию, которая годна лишь для работы маломощных устройств. В связи с этим электроэнергия производится в том количестве и тогда, когда она необходима потребителю.

Дисциплина «Инженерные сети и оборудование (Раздел 1. Электротехника)» представляет собой общеинженерный курс, необходимый при изучении других специальных дисциплин, связанных с автоматизацией технологических процессов, электроснабжением и электрооборудованием строительных отрасли и предприятий, практической деятельностью инженера.

Цель учебного пособия – формирование у будущих инженеров-строителей определенного круга знаний, умений и профессиональной компетенции на основе научно-теоретических и практических знаний в электротехнической области, чтобы они знали принципы

действия, конструкцию, свойства, области применения и потенциальные возможности основных электротехнических и электронных устройств, применяемых в строительстве; могли определять параметры и характеристики типовых электротехнических устройств; знали технологию управления электротехническими аппаратами и машинами, могли контролировать их эффективную и безопасную работу.

1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАКОНЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Наука о практическом использовании электрического тока – электротехника – базируется на трех основных положениях:

1 Протекание электрического тока связано с различными явлениями (нагрев, свечение, механическая работа и т.п.). Но в электротехнике рассматриваются только электромагнитные процессы.

2 Электромагнитные процессы в общем случае описываются уравнениями Максвелла в интегральной или дифференциальной форме. И решение этих уравнений достаточно сложное. Но так как в электротехнике рассматриваются синусоидальные колебания частотой до 50 кГц, то в пределах электрической цепи набега фазы (изменения фазы) практически не происходит. В этом случае электромагнитные процессы в электрической цепи можно описывать алгебраическими уравнениями, составленными по законам Ома и Кирхгофа.

3 Все электротехнические устройства могут быть представлены эквивалентными схемами замещения в виде графического изображения электрической цепи идеализированными элементами, которые учитывают явления, происходящие в реальной цепи.

1.1 Основные понятия

Электрическая энергия – это способность электромагнитного поля производить работу, преобразовываясь в другие виды энергии. Электроэнергия – наиболее совершенный и универсальный вид, сравнительно легко преобразующийся в другие виды энергии: механическую, тепловую, световую, химическую и др.

Совершение работы связано с перемещением зарядов через элементы, обладающие сопротивлением. Единица измерения электроэнергии (работы) – джоуль (Дж). Она соответствует работе по перемещению заряда в один кулон между точками цепи с напряжением в один вольт: $1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ Кл}$.

Основной электрической единицей тока в Международной системе единиц (СИ) является ампер (А). Определение эталонного значения величины ампера установлено на основании измерения силы электродинамического взаимодействия двух проводников с током.

Электрическим током I называется направленное движение электрических зарядов (ионов – в электролитах, электронов проводимости в металлах).

Необходимым условием для протекания электрического тока является замкнутость электрической цепи.

Электрический ток измеряется в амперах (А).

Производные единицы измерения тока:

1 килоампер (кА) = 1000 А;

1 миллиампер (мА) = 0,001 А;

1 микроампер (мкА) = 0,000001 А.

Человек начинает ощущать проходящий через его тело ток в 0,005 А. Ток больше 0,05 А опасен для жизни человека.

(Приведем несколько примеров действия тока, дающих представление о том, что такое ампер. Рабочий ток наиболее распространенных обычных ламп накаливания 0,1–1 А, бытовой люминесцентной лампы – 0,02–0,15 А. Электрические плитки в зависимости от мощности потребляют ток примерно 1,5–5 А. Ток электродвигателей средней мощности равен 5–25 А, а в электрометаллургических установках он достигает 50 кА и более.)

При преобразовании других видов энергии в электрическую в преобразователях энергии возникает *электродвижущая сила* (ЭДС), потенциально способная совершать работу по перемещению в электрической цепи электрических зарядов. ЭДС измеряется в вольтах (В) и обозначается латинской буквой ϵ .

Если источник ЭДС подключить к замкнутой цепи, то она окажется под воздействием электромагнитного поля, а на ее участках установятся разности электрических потенциалов или напряжения.

Электрическим напряжением U называется разность потенциалов между двумя точками электрического поля.

Физическая скалярная величина, характеризующая энергетическое состояние поля, называется *потенциалом* данной точки поля. В поле помещается заряд q , он обладает потенциальной энергией W . Потенциал – это характеристика электростатического поля.

Единицей разности электрических потенциалов является вольт (В). $1 \text{ В} = 1 \text{ Вт} : 1 \text{ А}$.

Производные единицы измерения напряжения:

1 киловольт (кВ) = 1000 В;

1 милливольт (мВ) = 0,001 В;

1 микровольт (мкВ) = 0,000001 В.

Сопротивлением участка электрической цепи называется величина, зависящая от материала проводника, его длины и поперечного сечения.

Электрическое сопротивление измеряется в омах (Ом).

$$1 \text{ Ом} = 1 \text{ В} : 1 \text{ А.}$$

Производные единицы измерения сопротивления:

$$1 \text{ килоОм (кОм)} = 1000 \text{ Ом};$$

$$1 \text{ мегаОм (МОм)} = 1\,000\,000 \text{ Ом};$$

$$1 \text{ миллиОм (мОм)} = 0,001 \text{ Ом};$$

$$1 \text{ микроОм (мкОм)} = 0,000001 \text{ Ом.}$$

Электрическое сопротивление тела человека в зависимости от ряда условий колеблется от 100 до 1000 Ом.

Удельным электрическим сопротивлением ρ называется сопротивление проволоки длиной 1 м и сечением 1 мм² при температуре 20 °С.

Величина, обратная удельному сопротивлению, называется удельной электрической проводимостью γ .

Электропроводность – способность тела проводить электрический ток, а также физическая величина, характеризующая эту способность. В Международной системе единиц (СИ) единицей измерения электрической проводимости является сименс (См). $1 \text{ См} = 1/\text{Ом}$.

Мощностью P называется величина, характеризующая скорость, с которой происходит преобразование энергии, или скорость, с которой совершается работа.

Мощностью генератора называется величина, характеризующая скорость, с которой механическая или другая энергия преобразуется генератором в электрическую.

Мощностью потребителя называется величина, характеризующая скорость, с которой происходит преобразование электрической энергии в отдельных участках цепи в другие полезные виды энергии.

Системной единицей мощности в СИ является ватт (Вт). Он равен мощности, при которой за 1 секунду выполняется работа в 1 джоуль: $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж}/1 \text{ с}$.

Производными единицами измерения электрической мощности:

$$1 \text{ киловатт (кВт)} = 1000 \text{ Вт};$$

$$1 \text{ мегаватт (МВт)} = 1000 \text{ кВт} = 1\,000\,000 \text{ Вт};$$

$$1 \text{ милливатт (мВт)} = 0,001 \text{ Вт};$$

$$1 \text{ лошадиная сила (л. с.)} = 736 \text{ Вт} = 0,736 \text{ кВт.}$$

Единицы измерения электрической энергии:

1 ватт-секунда (Вт·с) = 1 Дж = (1 Н) (1 м);

1 киловатт-час (кВт·ч) = $3,6 \cdot 10^6$ Вт·с.

Так как основная единица работы и энергии в системе СИ – джоуль (Дж) – сама по себе мала, то в электроэнергетических цепях практической единицей для измерения работы, совершаемой электрическим током, обычно служит более крупная единица – киловатт-час (кВт·ч). 1 кВт·ч – работа, совершаемая током при непрерывном протекании его в течение одного часа с выделением на протяжении этого времени мощности 1 кВт. Следовательно, $1 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 3\,600\,000 \text{ Дж}$.

Пример. Ток, потребляемый электродвигателем, присоединенным к сети 220 В, составлял 10 А в течение 15 минут. Определим энергию, потребленную двигателем $W = Pt = Ut = 220 \cdot 10 \cdot 15 \cdot 60 = 1980000$ (Вт·с). Разделив эту величину на 1000 и 3600, получим энергию в киловатт-часах: $W = 1980000 / (1000 \cdot 3600) = 0,55 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$.

1.2 Основные законы электротехники

Основными законами электротехники являются законы Ома, Джоуля–Ленца, Ампера, Фарадея.

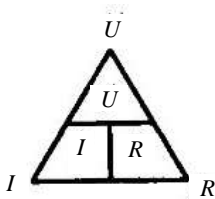
Закон Ома (по имени немецкого физика Г. Ома (1787–1854)): сила тока I в однородном участке цепи прямо пропорциональна напряжению U , приложенному к участку, и обратно пропорциональна электрическому сопротивлению этого участка R :

$$I = U / R, \quad (1)$$

где I – сила тока, А;

U – напряжение, В;

R – сопротивление, Ом.



Закон Ома является главным законом электротехники. Взаимосвязь между падением напряжения на проводнике, его сопротивлением и силой тока легко запоминается в виде треугольника, в вершинах которого расположены символы U , I , R .

Закон Джоуля–Ленца – физический закон, дающий количественную оценку теплового действия электрического тока. Открыт в 1840 году независимо Джеймсом Джоулем и Эмилием Ленцом. Позволяет определить количество тепловой энергии, которая выделяется в проводнике при протекании по нему электрического тока. В случае постоянных силы тока и сопротивления мощ-

ность тепла W , выделяемого в единице объёма среды при протекании электрического тока, пропорциональна произведению квадрата электрического тока на величину электрического сопротивления и на время протекания тока:

$$W = I^2 R t, \quad (2)$$

где t – время протекания тока.

Магнитное поле – это особый вид материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между движущимися электрически заряженными частицами. Оно характеризуется тем, что создается движущимися заряженными частицами и телами, проводниками с током, постоянными магнитами; действует на движущиеся заряженные частицы и тела, на проводники с током, на постоянные магниты, на рамку с током; является вихревым, так как не имеет источника.

Магнитные силы – это силы, с которыми проводники с током действуют друг на друга.

Закон магнитной индукции Ампера устанавливает взаимосвязь между током I в проводнике и силой F_m , действующей на этот проводник, если он находится в равномерном магнитном поле с индукцией B :

$$F_m = I B l \sin\alpha, \quad (3)$$

где l – длина проводника;

α – угол между током и магнитной индукцией (рисунок 1).

Сила Ампера направлена перпендикулярно плоскости, в которой лежат векторы dl и B .

Магнитная индукция – это силовая характеристика магнитного поля. Для определения направления силы, действующей на проводник с током, помещенный в магнитное поле, применяется правило левой руки (см. рисунок 1).

Магнитная индукция – векторная физическая **величина**, являющаяся силовой характеристикой магнитного поля.

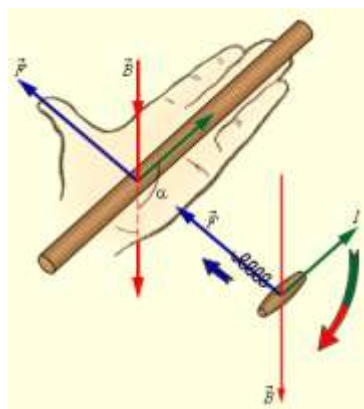


Рисунок 1 – Правило левой руки и правило буравчика
<http://physics.ru/courses/op25part2/content/chapter1/section/paragraf16/theory.html>

Электромагнитная индукция – это **явление** возникновения электрического тока в проводящем контуре при изменении магнитного потока через поверхность, ограниченную этим контуром.

Закон электромагнитной индукции Фарадея является основным законом электродинамики, касающимся принципов работы трансформаторов, дросселей, многих видов электродвигателей и генераторов, и устанавливает связь между индуктированием ЭДС e в электрических цепях и изменением магнитного потока Φ :

$$e = - d\Phi/dt. \quad (4)$$

Или другими словами: генерируемая ЭДС пропорциональна скорости изменения магнитного потока. Знак « \leftarrow » показывает, что ЭДС направлена таким образом, чтобы препятствовать изменению магнитного потока.

1.3 Генерирование электрической энергии

Прежде чем перейти к изучению теоретических и практических основ электротехники, определимся, как генерируется электрический ток. С этой целью используются **генераторы** – устройства, преобразующие энергию того или иного вида в электрическую энергию.

К генераторам относятся гальванические элементы, электростатические машины, термобатареи (в термобатареях используется свойство двух контактов разнородных материалов создавать ЭДС за счет разности температур контактов), солнечные батареи и т. п. Исследуются возможности создания принципиально новых типов генераторов.

Область применения каждого из перечисленных типов генераторов электроэнергии определяется их характеристиками. Так, электростатические машины создают высокую разность потенциалов, но неспособны создать в цепи сколько-нибудь значительную силу тока. Гальванические элементы могут дать большой ток, но продолжительность их действия невелика.

Преобладающую роль в наше время играют электромеханические индукционные генераторы переменного тока. В этих генераторах механическая энергия превращается в электрическую. Их действие основано на явлении электромагнитной индукции. Такие генераторы имеют сравнительно простое устройство и позволяют генерировать большие токи при достаточно высоком напряжении.

В дальнейшем, говоря о генераторах, мы будем иметь в виду именно индукционные электромеханические генераторы.

1.4 Виды тока

Среди видов электрического тока различают:

– постоянный ток: обозначение (–) или DC (Direct Current = постоянный ток).

– переменный ток: обозначение (~) или AC (Alternating Current = переменный ток).

<http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-153-stroitel'naya-tehnika/76.htm>

При постоянном токе (–) ток течет в одном направлении. Постоянный ток поставляют, например, сухие батарейки, солнечные батареи и аккумуляторы для приборов с небольшим потреблением электрического тока. Для электролиза алюминия, при дуговой электросварке и при работе электрифицированных железных дорог требуется постоянный ток большой силы. Он создается с помощью выпрямления переменного тока или с помощью генераторов постоянного тока.

В качестве технического направления тока принято, что он течет от контакта со знаком «+» к контакту со знаком «–».

В случае переменного тока (~) различают однофазный переменный, трехфазный переменный и высокочастотный токи.

При переменном токе ток постоянно изменяет свою величину и свое направление. В нашей энергосети ток за секунду меняет свое направление 50 раз. Частота изменения колебаний в секунду называется частотой тока. Единица частоты – герц (Гц). Однофазный переменный ток требует наличия проводника, проводящего напряжение, и обратного проводника.

Переменный ток применяется на стройплощадке и в промышленности для работы электрических машин, например ручных шлифовальных устройств, электродрелей и круговых пил, а также для освещения стройплощадок и оборудования стройплощадок.

Генераторы трехфазного переменного тока вырабатывают на каждой из своих трех намоток переменное напряжение частотой 50 Гц. Этим напряжением можно снабжать три отдельные сети и при этом использовать для прямых и обратных проводников всего шесть проводов. Если объединить обратные проводники, то можно ограничиться только четырьмя проводами.

Общим обратным проводом будет нейтральный проводник (N). Как правило, он заземляется. Три другие проводника (внешние проводники) имеют краткое обозначение L1, L2, L3. В единой энергоси-

стеме, нашей страны напряжение между внешним проводником и нейтральным проводником, или землей, составляет 220 В, напряжение между двумя внешними проводниками, например между $L1$ и $L2$, – 380 В.

О высокочастотном токе говорят, когда частота колебаний значительно превышает 50 Гц (от 15 кГц до 250 МГц). С помощью высокочастотного тока можно нагревать токопроводящие материалы и даже плавить их, например металлы и некоторые синтетические материалы.

1.5 Классификация электротехнических материалов

Материал – это объект, обладающий определенным составом, структурой и свойствами, предназначенный для выполнения определенных функций. Это может быть обеспечение протекания тока – в проводниковых материалах, сохранение определенной формы при механических нагрузках – в конструкционных материалах, обеспечение непротекания тока, изоляция – в диэлектрических материалах, превращение электрической энергии в тепловую – в резистивных материалах. Обычно материал выполняет несколько функций, например, диэлектрик обязательно испытывает какие-то механические нагрузки, а значит, является конструкционным материалом.

Основные материалы, применяемые в энергетике и электротехнике, можно разделить на несколько классов: *проводниковые, магнитные, диэлектрические*. Общим для них является то, что они эксплуатируются в условиях действия напряжения, а значит, и электрического поля. В них протекают электрические токи, выделяется тепловая энергия, происходят потери электрической энергии, нагревание материалов. Более специфичны магнитные материалы, в них запасается магнитная энергия, происходят ее потери, выделяется тепло при работе в переменном электрическом поле.

От правильного выбора электротехнических материалов, а также их качества и применения зависит экономичность работы электрических приборов, электроустановок, машин, аппаратов их надежность и долговечность.

По способности проводить электрический ток электротехнические материалы классифицируют на *проводниковые, полупроводниковые и электроизоляционные материалы* (таблица 1).

Таблица 1 – Классификация электротехнических материалов

Группа	Вид материала	Вид электропроводности
Проводники	Металлы и сплавы. Электролиты. Ионизированные газы	Электронная, ионная
Полупроводники	Германий, кремний, селен и др.	Электронная
Диэлектрики	Стекло, слюда, фарфор, каучук, пластмассы, газы и др.	Электронная и ионная

1.5.1 Проводники

Способность материала проводить ток, как известно, характеризуется удельным электрическим сопротивлением.

Небольшим удельным сопротивлением (порядка 10^{-6} – 10^{-8} Ом·м) обладают **проводниковые материалы** (таблица 2). Они используются в электроустановках как токоведущие части.

Для характеристики степени противодействия проводников протеканию зарядов используют понятие сопротивления. Его значение зависит от материала, из которого изготовлен проводник, а также от его геометрических формы и размеров.

Таблица 2 – Проводниковые материалы

Материал	Назначение	Удельное сопротивление
Медь. Алюминий. Серебро. Железо. Натрий. Бронза. Латунь	Провода, кабели, токопроводящие детали, контактные элементы и др.	Низкое
Нихром. Фехраль. Константан. Манганин.	Нагревательные элементы, реостаты, резисторы и др.	Высокое
Свинец, олово. Никель, вольфрам. Электротехнический уголь.	Аккумуляторы, припои, электрошпатель и др.	Определяется назначением

О качестве проводников судят по их свойствам. Электрические свойства проводников определяются в основном удельной проводимостью и удельным сопротивлением (таблица 3).

Таблица 3 – Электротехнические характеристики металлов и сплавов (при температуре 21 °С)

Материал	Удельное сопротивление ρ , Ом·м	Удельная электропроводимость γ , См/м
Серебро Ag	$0,016 \cdot 10^{-6}$	$62,5 \cdot 10^6$
Медь Cu	$0,018 \cdot 10^{-6}$	$55,0 \cdot 10^6$
Алюминий Al	$0,027 \cdot 10^{-6}$	$35,0 \cdot 10^6$
Бронза	$(0,021-0,052) \cdot 10^{-6}$	$(47,6-19,2) \cdot 10^6$
Сталь	$(0,103-0,107) \cdot 10^{-6}$	$(9,7-7,29) \cdot 10^6$
Чугун	$0,501 \cdot 10^{-6}$	$1,90 \cdot 10^6$

Изделия из проводников многочисленны и имеют самую различную конструкцию, но по некоторым характерным признакам их можно подразделить на две основные группы:

– *проводники* – провода и кабели, шнуры и шинопроводы, для них характерна значительная длина по сравнению с поперечным сечением. Области применения – весьма разнообразны;

– *токопроводящие детали* – элементы в электрических аппаратах, машинах и других устройствах: зажимы, контакты, связывающие элементы и др.

В зависимости от предназначения и места монтажа токопроводящие детали могут быть *изолированными* и *неизолированными* и иметь различную конструкцию. Их изготавливают из меди или алюминия, а при необходимости большей механической прочности и износостойчивости – из латуни, бронзы, металлокерамики и др.

Соединения между токопроводящими деталями должны быть выполнены так, чтобы обеспечивалась хорошая электропроводимость.

Неразборные соединения изготавливают *прессованием, сваркой или пайкой*.

Сварка используется, главным образом, при создании крупных изделий. В зависимости от материала проводника и его размеров сварка может быть электродуговой, контактной или газопламенной.

Пайку используют для создания изделий с небольшими размерами. Нагревая изделия, подлежащие пайке, и используя соответствующие флюсы и припой, получают механически крепкие с малым переходным сопротивлением соединения.

С возрастанием температуры сопротивление металлических проводников растет.

1.5.2 Диэлектрики

Диэлектриками называют электроизоляционные материалы, которые практически не проводят электричество. Они располагают большим удельным сопротивлением (порядка 10^6 – 10^{17} Ом·м). Используются в электроустановках как изолирующие части для токоведущих частей. Удельное сопротивление некоторых диэлектриков при температуре воздуха 21 °С представлено в таблице 4.

Таблица 4 – Удельное сопротивление некоторых диэлектриков (21 °С)

Вещество	Удельное сопротивление ρ , Ом·м
Бакелит	10^{11} – 10^{12}
Каучук	10^{14}
Полистирол	10^{15} – 10^{17}
Полиэтилен	10^{14} – 10^{15}
Резины для отвода статических зарядов	10 – 10^5
Полихлорвинил	10^{14}
Стекло	10^6 – 10^{15}
Эбонит	10^{13} – 10^{15}
Бензин	10^{10}
Вода	10^3 – 10^4
Воздух (сухой)	10^{14} – 10^{15}

Однако при увеличении напряжения свыше некоторого определенного для данного изоляционного материала значение его сопротивления резко понижается и материал полностью теряет изоляционные свойства. Причина этого явления состоит в том, что в материале образуется канал большой проводимости. Появление канала в газообразных и жидких диэлектриках называют *разрядом*, а в твердых – *пробоем*. После снятия напряжения газообразные и жидкие диэлектрики восстанавливают свои электроизоляционные свойства. Пробой в твердых диэлектриках – необратимый процесс.

Способность изоляционных материалов выдерживать напряжение до определенного значения без пробоя (разряда) называют **электрической** или **пробивной прочностью**.

Пробой может быть чисто *электрическим* или *электротепловым*. Причина электрического пробоя – ионизационные процессы в диэлектрике. Тепловой пробой происходит тогда, когда теплота, образующаяся в диэлектрике вследствие диэлектрических потерь, не успевает рассеяться в окружающей среде. В этом случае температура диэлектрика резко увеличивается и наступает пробой.

Изоляционные материалы по теплоустойчивости подразделяют на семь классов. Самый низкий класс соответствует максимально допустимой температуре 90 °С, самый высокий – температуре свыше 180 °С.

Свойства изоляционных материалов в большой степени зависят от воздействия окружающей среды: влажности, загрязнения, низких и высоких температур, химической активности, механических воздействий и др. Все это тем или иным способом ухудшает изоляционные качества материалов и приводит к их быстрому старению.

Электроизоляционные материалы используют:

- для изоляции токопроводящих частей оборудования между собой, по отношению к земле и другим нетокопроводящим элементам;
- в качестве диэлектрика в конденсаторах;
- для гашения электрической дуги в коммутационных устройствах.

При неправильном выборе изоляционного материала, например по электрической прочности, может произойти электрический пробой и оборудование выйдет из строя. Если ошибка произошла в выборе назначения материала, это может привести к серьезным нарушениям в электроснабжении и тяжелым авариям. Излишнее количество изоляции приводит к удорожанию электротехнического оборудования, поэтому требуется хорошо знать основные свойства наиболее часто применяемых диэлектриков и области их применения в электроизоляционных конструкциях.

При конструировании и создании электрического оборудования очень важно правильно выбрать вид и характеристики изоляционного материала (рисунок 2).

Диэлектрики делятся по химическому составу на **д в а т и п а**: *органические и неорганические*.

К *органическим диэлектрическим материалам* относятся пластмассы (термопластичные и термореактивные), электроизоляционные компаунды, клеи, волокнистые материалы.

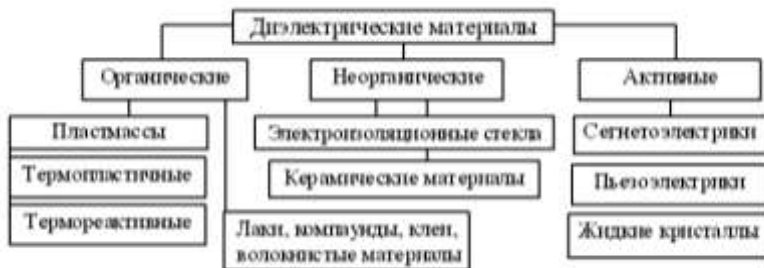


Рисунок 2 – Классификация диэлектрических материалов

Неорганические диэлектрики представлены двумя классами материалов: электроизоляционные стекла и керамические материалы.

Активные диэлектрики представляют собой материалы с нелинейной кривой поляризации. К ним относятся сегнетоэлектрики, пьезоэлектрики, жидкие кристаллы.

Электроизоляционные материалы отличаются также по фазовому состоянию: *твердые и жидкие*.

Электроизоляционные компаунды имеют высокие электроизоляционные свойства. Сам состав во время применения бывает жидкий, а после отвердевает и становится более устойчивым. Пропиточные компаунды используют в пропитке обмоток трансформаторов, электрических аппаратов и машин. Заливочные применяют для заливки полостей с целью герметизации в электромашинах и т.п.

Электроизоляционные лаки и эмали. Лак, по своей сути, это раствор для образования плёночно-защитного вещества. Его задача заключается в создании защитной лаковой плёнки, способствует этому его физико-химический процесс. Разделяются электроизоляционные лаки на три типа: клеящие, пропиточные и покровные.

Непропитанные, волокнистые электроизоляционные материалы – это рулонные и листовые материалы, изготовленные из волокон неорганического и органического происхождения.

Также к композиционным материалам относятся: пластические массы, слоистые электроизоляционные пластмассы, намотанные электроизоляционные изделия, минеральные электроизоляционные материалы, слюдяные электроизоляционные материалы, слюдопластовые электроизоляционные материалы, электрокерамические материалы и стекла, магнитные материалы и т.д.

1.5.3 Полупроводники

По сравнению с диэлектриками и проводниками у полупроводниковых материалов удельное электрическое сопротивление изменяется в значительном интервале – 10^{-5} – 10^8 Ом·м, отчего полупроводники имеют особые свойства в электричестве.

Протекание тока в полупроводнике обусловлено не только перемещением электронов, но и перемещением дырок (положительно заряженных вакансий). Это отличает механизм электропроводности полупроводников от проводников. В полупроводниках под действием

электрического тока в одном направлении перемещаются свободные электроны, а в другом – дырки.

Проводимость полупроводниковых материалов лежит между проводимостью изоляторов и проводников. Чистыми полупроводниковыми элементами являются углерод (C), германий (Ge) и кремний (Si). Германий и кремний — атомарные полупроводники и наиболее подходят для применения в электронике.

Германий – хрупкий серовато-белый элемент, открытый в 1886 году. Порошкообразную двуокись германия получают из золы некоторых сортов угля. Из этого порошка получают твердый чистый германий.

Кремний был открыт в 1823 году. Он широко распространен в земной коре в виде двуокиси кремния, которым богат песок, кварц, агат и кремень. Из SiO_2 химическим путем получают чистый кремний, который является наиболее широко используемым полупроводниковым материалом.

Полупроводниковый материал после получения должен быть модифицирован, чтобы он приобрел качества, необходимые для полупроводниковых устройств.

Полупроводниковые устройства используются в радиоэлектронных устройствах, усилителях электрических сигналов, выпрямителях переменного тока, а также в различных других областях.

1.5.4 Магнитные и другие материалы

Применяемые в электронной технике магнитные материалы подразделяют на две основные группы: магнитотвердые и магнитомягкие. В отдельную группу выделяют материалы специального назначения.

К магнитотвердым относят материалы с большой коэрцитивной силой ($H_s > 4000$ А/м). Они перемагничиваются лишь в очень сильных магнитных полях и служат для изготовления постоянных магнитов.

К магнитомягким относят материалы с малой коэрцитивной силой ($H_s < 4000$ А/м) и высокой магнитной проницаемостью. Они обладают способностью намагничиваться до насыщения в слабых магнитных полях, характеризуются узкой петлей гистерезиса и малыми потерями на перемагничивание. Магнитомягкие материалы используются в основном в качестве различных магнитопроводов: сердечников дрос-

селей, трансформаторов, электромагнитов, магнитных систем электроизмерительных приборов и т. п.

Из электротехнических материалов конструкционного типа изготавливают конструктивные элементы электроустановок. К ним непосредственно имеют отношения различные электроизоляционные и проводниковые материалы. Например, из керамики изготавливают основания электронагревательных приборов и реостатов; из стали – конструкции, на которые крепят токоведущие части, также корпуса электрических машин, электрощиты; из пластмассы – рукоятки рубильников, щитки, различного типа корпуса электроизмерительных приборов (рисунок 3).



Рисунок 3 – Электроизмерительные приборы
(<http://www.sibopt.ru/jelektroizmeritelnye-pribory-phaza.html>)

2 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ И УСТРОЙСТВА ПОСТОЯННОГО ТОКА

2.1 Общие понятия

Цепи постоянного тока – это совокупность объектов и устройств, которые создают путь для движения электрического тока. При этом все происходящие электромагнитные процессы описываются с применением понятий об электродвижущей силе, электрическом напряжении и токе.

Все объекты и устройства, которые входят в цепь постоянного тока, подразделяются на категории. Первая из них – это источники тока. Те источники, в которых идет преобразование неэлектрической энергии в электрическую, называются первичными. К ним относятся гальванические элементы, аккумуляторы, электрогенераторы, фотоэлементы. Если же источник преобразует электрическую энергию, то он называется вторичным. К таким источникам можно отнести выпрямители, трансформаторы, стабилизаторы и преобразователи (<http://electrophysic.ru/elektricheskiy-tok.html>).

Кроме источников тока существуют потребители. В них идет обратный процесс преобразования энергии, т.е. электрическая энергия переходит в другие виды, в частности, в тепловую в нагревательных элементах или в электромагнитную в виде излучения.

И все, что осталось, относится к вспомогательным элементам цепи постоянного тока, т.е. то, что не является ни источником, ни потребителем энергии. Сюда можно отнести соединительные провода, коммутационные разъемы, переключатели, измерительные приборы.

Реальные электрические цепи для упрощения их анализа и расчета изображаются в виде электрических схем (рисунок 4), в которых реальные объекты и устройства заменяются на графические условные обозначения. Реальные источники тока в таких электрических

схемах представляются в виде источника ЭДС с внутренним сопротивлением. Нагревательные элементы и им подобные изображаются в виде эквивалентного электрического сопротивления.

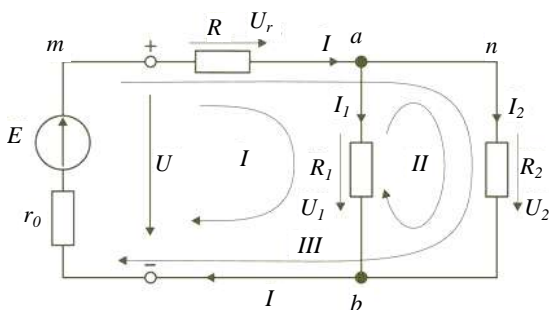


Рисунок 4 – Пример электрической схемы

В случае проведения расчетов с использованием электрических схем выделяют некоторые понятия. Например, ветвь электрической цепи – это такой участок схемы, на котором значение тока неизменно (рисунок 5). В такую ветвь может входить от одного до нескольких элементов, включённых последовательно.

Узлом электрической цепи называется та часть цепи, где происходит соединение минимум трех ветвей (рисунок 6). На практике их может быть значительно больше. А соединение двух ветвей – также одна ветвь без разветвлений, но разбитая на части. И ток в них будет протекать все равно один и тот же. Если две различные ветви соединяют два разных узла, то они называются параллельными.

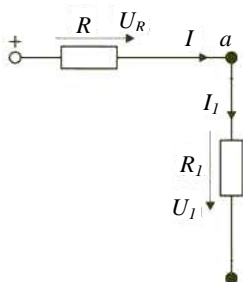


Рисунок 5 – Ветвь электрической цепи

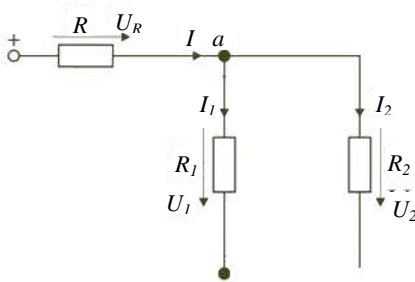


Рисунок 6 – Узел электрической цепи

Ток в цепи постоянного тока не может протекать, если она не замкнута. И та часть цепи, которая состоит из нескольких ветвей и при этом замкнута, называется контуром (рисунок 7).

Любая цепь электрического постоянного тока, состоящая из перечисленных выше элементов, может быть отнесена к одному из двух видов цепей. Первая – это линейная электрическая цепь. В такой цепи присутствуют только такие элементы, параметры которых не изменяются с изменением тока, проходящего через них. В роли такого параметра может выступать сопротивление.

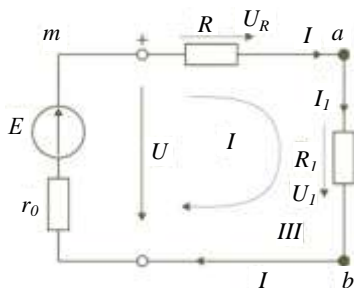


Рисунок 7 – Контур электрической цепи

В нелинейных электрических цепях также могут присутствовать линейные элементы. Но отличаются такие цепи наличием одного или более нелинейного элемента, т.е. в таком элементе изменяется один из параметров при протекании через него тока. Простейшим нелинейным элементом является лампа накаливания. В холодном состоянии спираль имеет более низкое сопротивление, а при прохождении тока через нее сопротивление увеличивается.

В нелинейных электрических цепях также могут присутствовать линейные элементы. Но отличаются такие цепи наличием одного или более нелинейного элемента, т.е. в таком элементе изменяется один из параметров при протекании через него тока. Простейшим нелинейным элементом является лампа накаливания. В холодном состоянии спираль имеет более низкое сопротивление, а при прохождении тока через нее сопротивление увеличивается.

В холодном состоянии спираль имеет более низкое сопротивление, а при прохождении тока через нее сопротивление увеличивается.

2.2 Передача энергии постоянным током

При расчете и анализе электрических цепей реальный источник электрической энергии с конечным значением величины внутреннего сопротивления r_0 заменяют расчетным эквивалентным источником ЭДС или источником тока.

Источник с электродвижущей силой (ЭДС) E , В, изображён на рисунке 8 в виде гальванического (химического) элемента и в виде кружка со стрелкой (общее условное изображение). Электродвижущая сила E создаётся за счёт механической, химической, световой, тепловой и/или других видов энергии и поднимает потенциал φ_a точ-

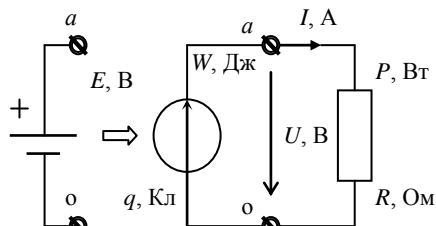


Рисунок 8 – Подключение потребителя к источнику

ки a относительно точки o на величину E .

Если к источнику подключить потребитель мощностью P , Вт, то он окажется под напряжением U .

Напряжение и потенциал, как и ЭДС, измеряют в вольтах.

Образуется замкнутый путь для электрического тока – **электрическая цепь**. Электрические заряды q , Кл, проходят через источник E , В, получая от него энергию W , Дж:

$$W = q E. \quad (5)$$

Мощность энергии – это скорость её преобразования или передачи:

$$P = W/t. \quad (6)$$

Энергия, полученная от источника, создаёт напряжение U , под действием которого через потребитель мощностью P течёт электрический ток силой I , А.

Ампер – единственная основная единица системы СИ, остальные электрические и магнитные единицы – производные.

Преодолевая сопротивление потребителя R , Ом, электрические заряды передают ему энергию, полученную от источника. Сила электрического тока I – это скорость продвижения электрических зарядов ($A = \text{Кл/с}$):

$$I = q/t. \quad (7)$$

Сопротивление потребителя постоянному току R , Ом, – это коэффициент (число), связывающее между собой значения напряжения U и силы I вызванного им тока:

$$R = U / I. \quad (8)$$

Потребитель преобразует полученную от источника электрическую энергию в механическую, световую, тепловую и другие виды энергии (например, в энергию химической связи).

2.3 Нагрузочная характеристика и схема замещения реального источника электроэнергии

У большинства источников (генераторов) ЭДС E холостого хода больше, чем напряжение U под нагрузкой, а допустимое значение силы тока I ограничено. Пример нагрузочной вольтамперной характеристики реального источника приведен на рисунке 9, *a*.

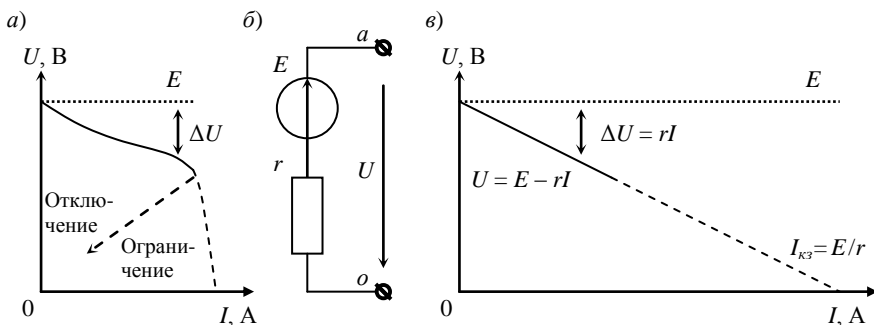


Рисунок 9 – Замена реального источника идеализированным

Здесь сплошной линией выделен рабочий участок, а штриховой – участок отключения или ограничения. На рабочем участке в расчётных целях реальный источник можно заменить последовательно соединёнными идеальным источником E и внутренним сопротивлением r , как показано на рисунке 9, б. Вольтамперная характеристика (ВАХ) идеализированного источника энергии показана на рисунке 9, в. Уменьшение напряжения под нагрузкой ΔU представлено как потеря напряжения на внутреннем сопротивлении r :

$$\Delta U = rI. \quad (9)$$

Уравнение идеализированной нагрузочной характеристики

$$U = E - rI. \quad (10)$$

Она представляет собой отрезок прямой линии, пересекающей вертикальную ось ординат в точке E , а горизонтальную ось абсцисс – в точке $I_{кз}$, соответствующей короткому замыканию. Условное значение тока короткого замыкания идеализированного источника можно определить по формуле

$$I_{кз} = E/r.$$

Чем больше внутреннее сопротивление источника, тем больше просадка напряжения под нагрузкой и тем круче наклон ВАХ.

2.4 Вольтамперные характеристики и схемы замещения потребителей

Потребителями электроэнергии являются электродвигатели, осветительные лампы, электротехнологические и иные устройства.

Зависимость тока потребителя от напряжения удобно представить в виде вольтамперной характеристики (ВАХ), т. е. в виде

зависимости напряжения от тока. Пример ВАХ осветительной лампы приведен на рисунке 10. Эта зависимость существенно отличается от прямой линии, однако при упрощённых расчётах этим отличием пренебрегают и представляют лампочку в виде резистора R , у которого ток пропорционален приложенному напряжению. Резисторами заменяют и другие потребители, вольтамперные характеристики которых не очень отличаются от прямой линии. При номинальном напряжении ток потребителя можно рассчитать по формуле

$$I = P/U. \quad (11)$$

Значение сопротивления потребителя

$$R = U/I = U^2/P. \quad (12)$$

В некоторых случаях схема замещения потребителя выглядит сложнее. Например, для сварочной дуги ВАХ, изображённая на рисунке 11, в пределах рабочего участка может быть заменена отрезком прямой линии. Продолжение этого отрезка пересекает вертикальную ось ординат в точке E , а схема замещения представляет собой последовательно соединённые резистор R и источник электродвижущей силы E . Расчётная формула напряжения U_d восходящей ветви ВАХ сварочной дуги $U_d = E + RI$, например, $U = 20 + 0,05I$,

а формула сварочного тока

$$I = (U_d - E)/R. \quad (13)$$

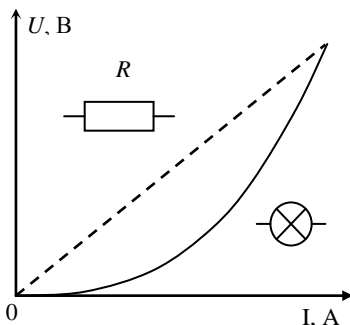


Рисунок 10 – Замена лампочки резистором

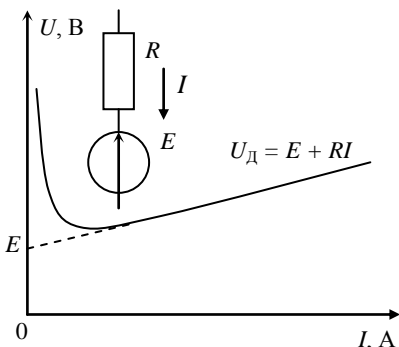


Рисунок 11 – Замена электрической дуги резистором и источником ЭДС

2.5 Питание потребителя переменной мощности

Подключим к идеализированному источнику питания потребитель переменного сопротивления и соответственно переменного сопротивления, как показано на рисунке 9, а. Ток и напряжение потребителя соответствуют точке пересечения нагрузочной ВАХ источника и ВАХ потребителя (рисунок 12, б). Мощность потребителя $P_{\text{п}}$ равна произведению напряжения на силу тока:

$$P_{\text{п}} = UI. \quad (14)$$

Она соответствует площади заштрихованной части прямоугольника. Из геометрических соображений видно, что при сопротивлении потребителя, равном R_3 , мощность имеет максимальное значение. При изменении сопротивления, а следовательно, и тока I потребителя, его мощность $P_{\text{п}}$ изменяется по параболе, изображённой в нижней части рисунка 12, в.

Мощность $P_{\text{и}}$, отдаваемая источником, равна произведению его ЭДС на силу тока

$$P_{\text{и}} = EI \quad (15)$$

и соответствует на рисунке 12, б площади всего прямоугольника, а на рисунке 12, в – наклонной линии.

Потери мощности ΔP внутри источника равны произведению его внутреннего сопротивления r на квадрат силы тока:

$$\Delta P = rI^2. \quad (16)$$

На рисунке 12, б эти потери соответствуют площади незаштрихованной части прямоугольника, а на рисунке 12, в – расстоянию между наклонной линией и параболой:

$$\Delta P = P_{\text{и}} - P_{\text{п}}. \quad (17)$$

Коэффициент полезного действия источника

$$\eta = R/(r + R). \quad (18)$$

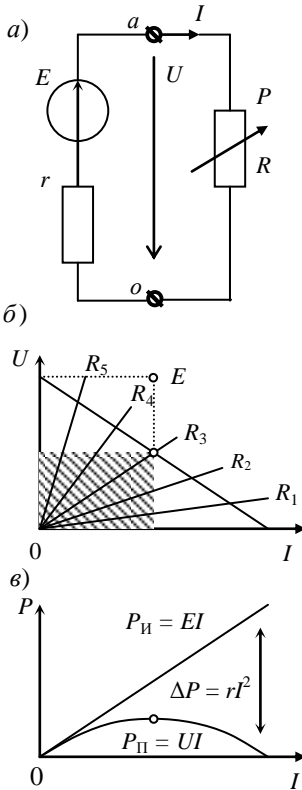


Рисунок 12 – Питание потребителя переменного сопротивления

При коротком замыкании ($R = 0$) вся мощность теряется внутри источника и КПД $\eta = 0$.

Режим максимальной мощности, передаваемой от источника потребителю, называется режимом согласования и для идеализированного источника соответствует равенству сопротивления потребителя и внутреннего сопротивления источника ($R = r$). Коэффициент полезного действия источника при этом $\eta = 0,5$. Для производства и передачи электроэнергии такой низкий КПД неприемлем, здесь заботятся о том, чтобы значение внутреннего сопротивления источника было гораздо меньше, чем потребителя ($r \ll R$). Режим согласования используется для передачи электрических сигналов в технике связи и в некоторых других случаях (например, в стартерах, в аппаратах электродуговой сварки, при индукционном нагреве и т. п.). Для реального источника при определении условий передачи максимальной мощности потребителю на его характеристике следует построить прямоугольник максимальной площади. Диагональ этого прямоугольника и будет вольтамперной характеристикой искомого сопротивления нагрузки R в режиме согласования.

2.6 Последовательное и параллельное соединение потребителей

При **последовательном** соединении потребителей (рисунок 13) эквивалентное сопротивление равно сумме сопротивлений отдельных потребителей:

$$R_{\Sigma} = \sum_1^N R_i = R_1 + R_2 + \dots + R_N. \quad (19)$$

По ним протекает один и тот же ток

$$I = E/R_{\Sigma}. \quad (20)$$

Напряжение на каждом потребителе

$$U_i = R_i I. \quad (21)$$

Общее напряжение U_{Σ} равно сумме отдельных составляющих:

$$U_{\Sigma} = \sum_1^N U_i = U_1 + U_2 + \dots + U_N. \quad (22)$$

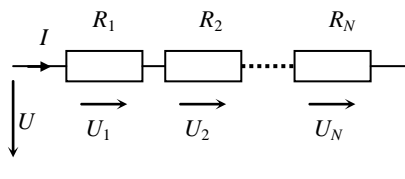


Рисунок 13 – Последовательное соединение потребителей

При последовательном соединении потребителей суммируются их сопротивления и напряжения. Включение/отключение или неисправность одного потребителя приводят к изменению режимов работы остальных.

Для электроснабжения последовательное соединение не подходит.

При **параллельном** соединении потребителей (рисунок 14) они все находятся под одним и тем же напряжением $U_i = U$. Сила тока через каждый потребитель пропорциональна его мощности:

$$I_i = P_i/U. \quad (23)$$

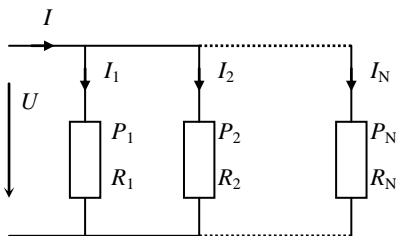


Рисунок 14 – Параллельное соединение потребителей

Сила суммарного тока и суммарная мощность

$$I_{\Sigma} = \sum_1^N I_i = I_1 + I_2 + \dots + I_N \text{ и}$$

$$P_{\Sigma} = \sum_1^N P_i = P_1 + P_2 + \dots + P_N. \quad (24)$$

При параллельном соединении складываются токи и мощность.

Эквивалентное сопротивление R параллельно соединённых резисторов может быть рассчитано по формуле

$$R = R_1 // R_2 // \dots // R_N = \frac{1}{1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_N}. \quad (25)$$

Параллельное соединение применяется для электроснабжения, однако обычно потребители находятся на некотором расстоянии от источника, поэтому следует учитывать сопротивление проводов. В простейшем случае питания двух потребителей по одной линии учёт сопротивления проводов приводит к схеме смешанного соединения резисторов, приведенной на рисунке 15.

Пример 1. Дано: $U = 11 \text{ В}$; $R_1 = 1 \text{ Ом}$; $R_2 = 2 \text{ Ом}$; $R_3 = 3 \text{ Ом}$.

Найти токи во всех резисторах и проверить баланс мощностей.

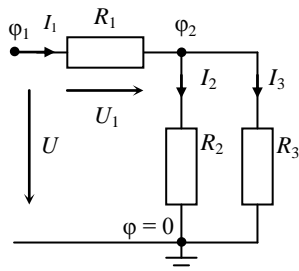


Рисунок 15 – Смешанное соединение резисторов

1 Определим эквивалентное сопротивление:

$$R = R_1 + R_2 // R_3 = 1 + \frac{1}{1/2 + 1/3} = 1 + \frac{1}{5/6} = 2,2 \text{ Ом.}$$

2 Общий ток

$$I_1 = U/R = 11/2,2 = 5 \text{ А.}$$

3 Напряжение на первом резисторе

$$U_1 = R_1 I_1 = 1 \cdot 5 = 5 \text{ В.}$$

4 Потенциал точки 2

$$\varphi_2 = \varphi_1 - U_1 = U - R_1 I_1 = 11 - 5 = 6 \text{ В.}$$

5 Токи второго и третьего резисторов

$$I_2 = \varphi_2/R_2 = 6/2 = 3 \text{ А; } I_3 = \varphi_2/R_3 = 6/3 = 2 \text{ А.}$$

6 Проверим баланс поступающей P_Σ и потребляемых ΣP_i мощностей:

$$P_\Sigma = UI = 11 \cdot 5 = 55 \text{ Вт;}$$

$$\begin{aligned} \Sigma P_i &= \Sigma R_i I_i^2 = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 + R_3 I_3^2 = 1 \cdot 5^2 + 2 \cdot 3^2 + 3 \cdot 2^2 = \\ &= 25 + 18 + 12 = 55 \text{ Вт.} \end{aligned}$$

Рассчитать токи второго и третьего резисторов можно и с помощью формул разброса:

$$I_2 = I_1 \frac{R_3}{R_2 + R_3}; \quad I_3 = I_1 \frac{R_2}{R_2 + R_3}.$$

2.7 Потери в линии электропитания постоянного тока

Если потребитель удалён от источника на некоторое расстояние l , то сопротивление линии можно определить по площади сечения проводов (жил кабеля) и значению удельного сопротивления материала, из которого они изготовлены:

$$r = \rho l/s, \quad (26)$$

где r – сопротивление одного провода (жилы кабеля), Ом;

ρ – удельное электрическое сопротивление материала, Ом·м;

l – расстояние, м;

s – площадь поперечного сечения, м².

Для практических расчётов используют таблицы, в которых указаны значения сопротивления 1 километра провода в зависимости

от материала (алюминий или медь) и площади сечения. В этом случае

$$r = r_0 l, \quad (27)$$

где r_0 – сопротивление 1 километра провода, Ом;
 l – расстояние, км.

Пример 2. Рассчитаем сопротивление медной жилы кабеля длиной 20 м и сечением $1,5 \text{ мм}^2$.

$$\begin{aligned} \rho_{\text{Cu}} &= 17,2 \text{ нОм}\cdot\text{м} = 17,2 \cdot 10^{-9} \text{ Ом}\cdot\text{м}; \\ s &= 1,5 \text{ мм}^2 = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2; \\ r &= 17,2 \cdot 10^{-9} \cdot 20 / 1,5 \cdot 10^{-6} = 0,229 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

По таблице 3 $r_0 = 11,5 \text{ Ом/км}$; $l = 0,02 \text{ км}$; $r = 11,5 \cdot 0,02 = 0,23 \text{ Ом}$.

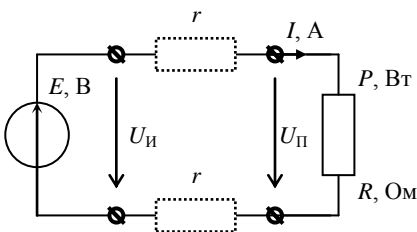


Рисунок 16 – Подключение потребителя к линии

Потери напряжения и мощности в питающей линии (рисунок 16) определяются по приближённым формулам. При их выводе используют тот факт, что напряжение U_n источника и U_n потребителя отличаются всего на несколько процентов, поэтому их заменяют номинальным U_n значением напряжения.

Потеря напряжения

$$\Delta U = U_n - U_n = 2lr_0 I, \quad (28)$$

где $I = P/U_n$.

В процентном выражении потеря напряжения

$$\Delta u_{\%} \approx 2l \frac{r_0 I}{U_n} \cdot 100 \% = 2l \frac{r_0 P}{U_n^2} \cdot 100 \%.$$

Потеря мощности в линии

$$\Delta P = P_n - P_n = 2lr_0 I^2. \quad (29)$$

В процентном выражении потеря мощности

$$\Delta p_{\%} \approx 2l \frac{r_0 I^2}{P} \cdot 100 \% = 2l \frac{r_0 P}{U_n^2} \cdot 100 \%.$$

Для линии постоянного тока формулы потерь напряжения и потерь мощности (в процентном выражении) совпадают.

Пример 3. Рассчитаем потери при передаче мощности 100 Вт от источника напряжением 24 В по жилам кабеля из примера 2:

$$\Delta u_{\%} = 2 \cdot 0,02 \cdot 11,5 \cdot 100 / 24^2 \cdot 100 \% = 8 \%$$

При питании нескольких потребителей, подключённых к одной магистральной линии на разных расстояниях (рисунок 17), потеря напряжения в конце линии определяется по формуле

$$\Delta u_{\%} = 2r_0 \frac{\sum l_i P_i}{U_H^2} \cdot 100 \%$$

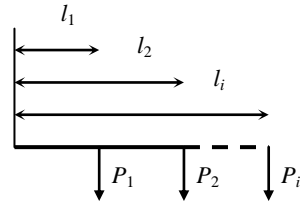


Рисунок 17 – Подключение к магистральной линии

2.8 Питание потребителя от двух источников

В случаях, когда источников питания больше, чем один, электрическую цепь называют сложной и для расчёта токов следует пользоваться правилами Кирхгофа:

1 Правило узлов: в каждом узле цепи сумма втекающих токов равна сумме вытекающих токов. В разветвленной цепи сумма токов в отдельных ветвях равна полному току.

2 Правило контуров: в неразветвленной цепи или в каждом контуре разветвленной цепи алгебраическая сумма ЭДС всех источников равна сумме всех падений напряжения во внутренней и внешней цепи.

На основе этих правил разработаны расчётные методы, применение которых рассмотрим на примере схемы рисунка 18.

Здесь отображен потребитель R , получающий питание централизованно от сети (источник E_1 с внутренним сопротивлением r_1) по линии сопротивлением R_1 , а также от аккумулятора E_2 с внутренним сопротивлением r_2 .

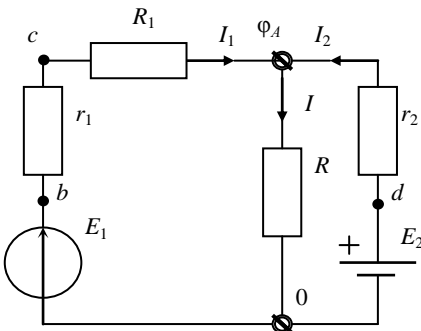


Рисунок 18 – Питание потребителя от двух источников

Для расчёта трёх неизвестных токов можно составить систему из трёх уравнений по правилам Кирхгофа:

$$\begin{cases} I = I_1 + I_2, \\ (R_1 + r_1)I_1 + RI = E_1, \\ r_2 I_2 + RI = E_2. \end{cases} \quad (30)$$

На основе первого правила Кирхгофа разработан метод узловых потенциалов, в котором один из узлов условно заземляют, а

потенциалы остальных рассчитывают из системы уравнений. В простейшем случае для двух узлов достаточно одного уравнения.

Для пояснения метода двух узлов выразим потенциал точки A через токи всех ветвей и выведем формулы токов:

$$\varphi_A = E_1 - r_1 I_1 - R_1 I_1, \quad I_1 = \frac{E_1 - \varphi_A}{R_1 + r_1} = E_1 / (R_1 + r_1) - \varphi_A / (R_1 + r_1);$$

$$\varphi_A = RI, \quad I = \frac{\varphi_A}{R};$$

$$\varphi_A = E_2 - r_2 I_2, \quad I_2 = \frac{E_2 - \varphi_A}{r_2} = E_2 / r_2 - \varphi_A / r_2.$$

Сложив токи первого и второго источников, получим ток потребителя

$$E_1 / (R_1 + r_1) - \varphi_A / (R_1 + r_1) + E_2 / r_2 - \varphi_A / r_2 = \varphi_A / R,$$

откуда
$$\varphi_A = \frac{E_1 / (R_1 + r_1) + E_2 / r_2}{1 / (R_1 + r_1) + 1 / r_2 + 1 / R} \Rightarrow \varphi_A = \frac{\sum \pm E_i g_i}{\sum g_i}. \quad (31)$$

Знак \pm учитывает направление источника, а буквами g обозначены проводимости (величины, обратные сопротивлениям). Узел A можно представить как фонтан, куда источники ЭДС (насосы) подают электричество и откуда оно затем растекается по всем ветвям.

Пример 4.

$E_1 = 14$ В; $E_2 = 12$ В; $R = 5$ Ом; $R_1 = 0,4$ Ом; $r_1 = 0,1$ Ом; $r_2 = 1$ Ом.

$$\varphi_A = \frac{14 / (0,4 + 0,1) + 12 / 1}{1 / 0,5 + 1 + 1 / 5} = 12,5 \text{ В};$$

$$I_1 = \frac{14 - 12,5}{0,4 + 0,1} = 3 \text{ А}; \quad I_2 = \frac{12 - 12,5}{1} = -0,5 \text{ А}; \quad I = \frac{12,5}{5} = 2,5.$$

Питание потребителя происходит от сети, а аккумулятор при этом подзаряжается.

Нарисуем потенциальную диаграмму (рисунок 19). От точки 0 в масштабе сопротивлений влево отложим R_1 и r_1 , а вправо $-r_2$. По вертикали в масштабе напряжений отложим E_1 , E_2 , φ_A и $\varphi_C = E_1 - r_1 I_1$.

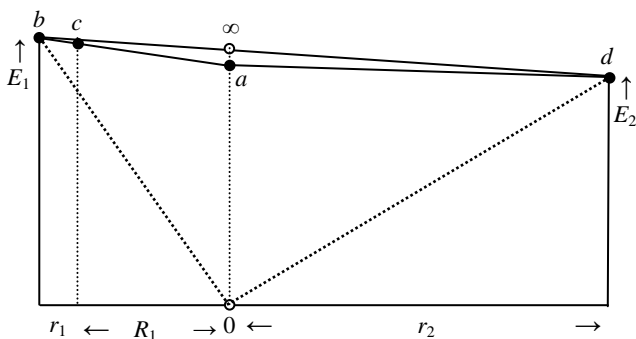


Рисунок 19 – Потенциальная диаграмма для схемы рисунка 18

Наклонная линия ba показывает, как энергия сети поступает к потребителю. Чем больше ток, тем круче наклон линии. Линия ad показывает, что по аккумулятору протекает небольшой ток зарядки. Отключим потребитель, и сопротивление нагрузки станет равно ∞ . При этом ток, потребляемый из сети, уменьшится, а ток зарядки аккумулятора увеличится.

Уменьшим сопротивление потребителя, и ток, потребляемый из сети, возрастёт, а аккумулятор начнёт разряжаться. Предельный случай соответствует перемещению точки a в точку 0 .

Для измерения постоянного напряжения и тока используются приборы магнитоэлектрической системы. В приборах этой системы для перемещения подвижной части используют взаимодействие поля постоянного магнита с проводниками, по которым протекает электрический ток. Чаще всего подвижной частью служит рамка, помещённая в воздушном зазоре постоянного магнита. Ток к обмотке рамки подводится через спиральные пружины или растяжки, которые одновременно служат для создания противодействующего момента. Для измерения силы тока магнитоэлектрические измерительные механизмы используются совместно с шунтами, подключаемыми параллельно, а для измерения напряжения – совместно с добавочными сопротивлениями, подключаемыми последовательно.

3 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ И УСТРОЙСТВА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

3.1 Общие понятия

Переменный ток – электрический ток, величина и направление которого меняются во времени.

Переменный ток, который используется для подключения бытовых или производственных электрических приборов, изменяется по синусоидальному закону:

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i); \quad u = U_m \sin(\omega t + \psi_u), \quad (32)$$

где I_m , U_m – амплитудные значения тока и напряжения;

ω – угловая частота, $\omega = 2\pi f$; f – частота;

ψ_i , ψ_u – значения начальной фазы.

В этом случае потенциал каждого конца проводника изменяется по отношению к потенциалу другого конца проводника попеременно с положительного на отрицательный и наоборот, проходя при этом через все промежуточные потенциалы (включая и нулевой потенциал). В результате возникает ток, непрерывно изменяющий направление: при движении в одном направлении он возрастает, достигая максимума, именуемого амплитудным значением, затем спадает, на какой-то момент становится равным нулю, потом вновь возрастает, но уже в другом направлении и также достигает максимального значения, спадает, чтобы затем вновь пройти через ноль, после чего цикл всех изменений возобновляется (рисунок 20).

Промежуток времени, в течение которого происходит полный цикл изменения тока по величине и направлению, называется *периодом* переменного тока, а число периодов в единицу времени – *частотой* переменного тока

$$f = 1/T. \quad (33)$$

За единицу измерения частоты переменного тока принят Герц (Гц).

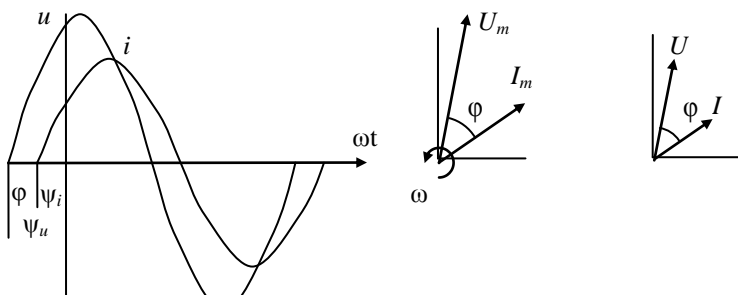


Рисунок 20 – Изображение переменных токов и напряжений вращающимися векторами
(φ – угол сдвига фаз между током и напряжением)

В нашей стране для электрических сетей установлена стандартная частота переменного тока, равная 50 Гц (50 периодов в секунду), которую называют промышленной частотой. Длительность периода T при этом составляет 0,02 с.

В США и некоторых других странах промышленная частота принята 60 Гц.

Угловая частота ω связана с частотой f , Гц, соотношением

$$\omega = 2\pi f. \quad (34)$$

Для промышленной частоты $f = 50$ Гц.

Угловая частота $\omega \approx 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \approx 314 \text{ с}^{-1}$.

Сопротивление проводника в цепи переменного тока всегда больше, чем того же проводника в цепи постоянного тока. Это объясняется тем, что при переменном токе имеет место явление вытеснения тока к поверхностным слоям проводника (поверхностный эффект), что равносильно уменьшению рабочего сечения проводника. Чем больше частота переменного тока, тем больше сказывается поверхностный эффект. При промышленной частоте влияние поверхностного эффекта в большинстве случаев относительно невелико и сопротивление проводника увеличивается на 2–5 %. В некоторых отраслях техники и особенно в связи и радиотехнике применяют более высокие частоты, достигающие в специальных областях радиотехники $3 \cdot 10^{10}$ Гц или 30 ГГц (гигагерц).

Синусоидальную величину удобно представить как проекцию вращающегося вектора на неподвижную вертикальную ось. Отсюда следует, что мгновенные значения синусоидальной величины равны проекции радиуса-вектора, изображающего ее амплитудное значение.

ние, на ось ординат. Совокупность нескольких векторов, изображающих синусоидальные величины (токи, напряжения, ЭДС) одной частоты, называют *векторной диаграммой* (см. рисунок 20).

При построении диаграммы векторы одноименных величин изображаются в одном и том же масштабе и их взаимное расположение не изменяется, так как они вращаются с одинаковой угловой скоростью. Начало отсчета времени для периодической кривой можно выбрать произвольно, поэтому один из векторов на векторной диаграмме тоже располагают произвольно, однако прочие векторы располагают по отношению к нему под углами, определяемыми разностью (т. е. сдвигом) фаз.

Векторные диаграммы позволяют наглядно изобразить соотношения между синусоидальными величинами по значению и по фазе. Они позволяют также легко складывать или вычитать напряжения или токи.

В расчётах и на векторных диаграммах используют действующие значения переменного тока и напряжения. Действующим значением переменного синусоидального тока называют такую его величину, которая численно равна величине постоянного тока, протекающего через то же сопротивление и вызывающего выделение такого же количества тепла за равное время (период). Действующие значения меньше амплитудных в $\sqrt{2}$ раз:

$$I = I_m / \sqrt{2}; \quad U = U_m / \sqrt{2}. \quad (35)$$

Измерительные приборы переменного тока показывают действующее значение тока или напряжения.

Пример 5. В розетке 220 В, 50 Гц. $U_m = 1,41 \cdot 220 = 311$ В. $T = 1/50 = 20$ мс.

На векторной диаграмме токи и напряжения показывают в виде векторов, длина которых равна в соответствующем масштабе действующему значению, а направление соответствует начальной фазе.

В **резисторе** ток и напряжение совпадают по фазе. Их значения связаны законом Ома:

$$U_r = rI. \quad (36)$$

При переменном токе энергия попадает в резистор волнами и полностью потребляется. Такие элементы электрической цепи переменного тока называются активными. Соответственно применяются термины «активное сопротивление» и «активная мощность». Мощность, потребляемая резистором,

$$P = rI^2. \quad (37)$$

3.2 Переменный ток в индуктивном элементе

Индуктивность мешает как нарастанию, так и убыванию тока, таким образом, она оказывает сопротивление переменному току. Механизм этого сопротивления заключается в создании ЭДС самоиндукции e_L , пропорциональной скорости изменения тока:

$$e_L = -L \frac{di}{dt}. \quad (38)$$

Напряжение на индуктивном элементе уравнивает эту ЭДС, оно пропорционально производной от тока

$$u_L = L \frac{di}{dt} = L \frac{d(I_m \sin \omega t)}{dt} = \omega L I_m \sin(\omega t + 90^\circ), \quad (39)$$

где L – индуктивность.

Напряжение на идеальной катушке индуктивности опережает ток по фазе на 90° (электрических), т.е. на четверть периода. Соответственно ток через катушку отстаёт от напряжения. На векторной диаграмме вектор напряжения повернут на 90° против часовой стрелки относительно вектора тока.

Значения напряжения и силы тока в катушке связаны через индуктивное сопротивление x_L :

$$U_L = x_L I, \quad (40)$$

где $x_L = \omega L = 2\pi f L$.

Индуктивное сопротивление является *реактивным*, так как характеризует не потребление, а обмен энергией.

В те промежутки времени, когда ток и напряжение совпадают по направлению, индуктивный элемент потребляет энергию из сети, запасая её в магнитном поле. Максимальная энергия, запасённая в индуктивности,

$$W_{Lm} = 0,5 L I_m^2. \quad (41)$$

При встречном направлении тока и напряжения энергия, запасённая в индуктивности, убывает – возвращается в сеть. Скорость обмена энергией между катушкой индуктивности и питающей сетью представляет собой реактивную (индуктивную) мощность:

$$Q_L = x_L I^2 = \omega L I^2 = 2 \pi f L I^2. \quad (42)$$

Единица измерения реактивной мощности – вольт-ампер реактивный (var, var). Реактивная мощность в электрических сетях вызывает

дополнительные активные потери и падение напряжения. Для устранения перегрузок и повышения мощности коэффициента электрических установок осуществляется компенсация реактивной мощности.

3.3 Конденсатор в цепи переменного тока

В цепи переменного тока конденсатор непрерывно перезаряжается с частотой сети. Напряжение на обкладках конденсатора при этом пропорционально интегралу от протекающего через него тока:

$$u_C = \frac{1}{C} \int idt = \frac{1}{C} \int I_m \sin \omega t = \frac{I_m}{\omega C} \sin(\omega t - 90^\circ),$$

где C – ёмкость.

Напряжение на идеальном конденсаторе отстаёт от тока по фазе на 90° (электрических). На векторной диаграмме вектор напряжения повёрнут на 90° по часовой стрелке относительно вектора тока. Соответственно ток через конденсатор опережает приложенное напряжение. Значения напряжения и силы тока в конденсаторе связаны через емкостное сопротивление

$$U_C = x_C I, \quad (43)$$

где $x_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$.

Емкостное сопротивление является реактивным, измеряется в омах.

Пример 6. Сопротивление 1 мкФ на частоте 50 Гц $x_C = 10^6/314 = 3184$ Ом, а 10 мкФ – 318 Ом.

Из-за сдвига фаз видно, что в течение периода четырежды изменяется соотношение знаков мгновенных значений токов и напряжений (рисунок 21). В те промежутки времени, когда ток и напряжение совпадают по направлению, конденсатор запасает энергию – заряжается. Максимальная энергия, запасённая в конденсаторе,

$$W_C = 0,5 C U_m^2. \quad (44)$$

При встречном направлении тока и напряжения конденсатор разряжается – возвращает энергию в сеть. Обмен энергией между конденсатором и сетью происходит со скоростью Q , для которой используется название «ёмкостная реактивная мощность»:

$$Q_C = x_C I^2 = \frac{U^2}{x_C} = \omega C U^2 = 2\pi f C U^2. \quad (45)$$

Принято индуктивную мощность считать положительной, а ёмкостную – отрицательной. Аналогично индуктивное сопротивление x_L считается положительным, а ёмкостное x_C – отрицательным.

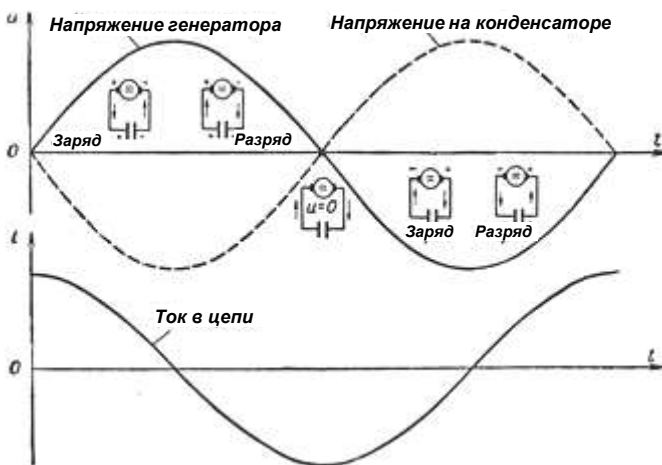


Рисунок 21 – Изменение тока и напряжения в цепи с емкостью

3.4 Электромагнитное устройство в цепи переменного тока

В реальности чисто индуктивных элементов не существует. Любой провод обладает активным сопротивлением и при протекании тока часть энергии преобразуется в тепло. В ферромагнитных сердечниках трансформаторов и электрических машин имеют место потери на перемагничивание и вихревые токи. Электродвигатели, кроме того, потребляют энергию, преобразуя её во вращение.

Таким образом, как потребитель электромагнитное устройство обладает двумя свойствами:

- преобразовывать электроэнергию в другие виды энергии;
- запастись электроэнергией и возвращать её назад в сеть.

В расчетных целях реальное электромагнитное устройство заменяется абстрактной схемой, содержащей идеальные активные и индуктивные элементы. Соответственно применяются термины активное r и реактивное x_L сопротивление, активная P и реактивная Q мощность.

Мощностные характеристики нагрузки можно точно задать одним единственным параметром (активная мощность в ваттах) только для

случая *постоянного тока*, так как в цепи постоянного тока существует единственный тип сопротивления – активное сопротивление.

Мощностные характеристики нагрузки для случая *переменного тока* невозможно точно задать одним единственным параметром, так как в цепи переменного тока существует два разных типа сопротивления – активное и реактивное. Поэтому только два параметра: активная мощность и реактивная мощность – точно характеризуют нагрузку.

Принцип действия активного и реактивного сопротивления совершенно различный. *Активное сопротивление* необратимо преобразует электрическую энергию в другие виды энергии (тепловую, световую и т.д.); примеры: лампа накаливания, электронагреватель .

Реактивное сопротивление – попеременно накапливает энергию, затем выдаёт её обратно в сеть; примеры: конденсатор, катушка индуктивности.

Активная мощность (рассеиваемая на активном сопротивлении) измеряется в ваттах, а *реактивная мощность* (циркулирующая через реактивное сопротивление) измеряется в варах; также для характеристики мощности нагрузки используют ещё два параметра: полную мощность и коэффициент мощности.

Активная мощность: обозначение P , единица измерения: Вт.

Реактивная мощность: обозначение Q , единица измерения: В·Ар (вольт-ампер реактивный).

Полная мощность: обозначение S , единица измерения: В·А (вольт-ампер).

Электромагнитное устройство переменного тока характеризуется активной мощностью P или полной мощностью S :

$$S = UI, \quad (46)$$

а также коэффициентом мощности $\cos \varphi = \frac{P}{S}$.

Коэффициент мощности ($\cos \varphi$) – безразмерная физическая величина, являющаяся энергетической характеристикой электрического тока. Коэффициент мощности является важнейшим показателем приёмника электроэнергии переменного тока.

Последовательная схема замещения катушки индуктивности содержит два последовательно соединённых элемента:

- эквивалентное активное сопротивление r ;
- индуктивность L с эквивалентным реактивным сопротивлением x_L .

При последовательном соединении резистора и катушки индуктивности вектора напряжений отдельных элементов складываются. Получим прямоугольный треугольник напряжений (рисунок 22).

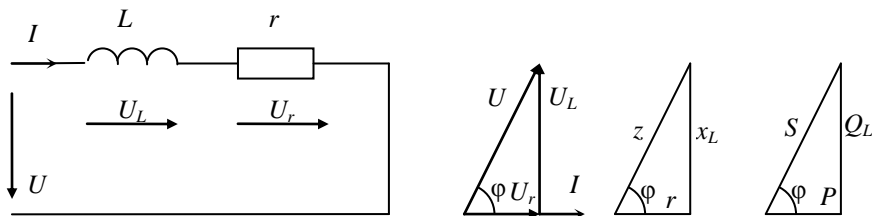


Рисунок 22 – Треугольники напряжений, сопротивлений и мощностей

Напряжение U , приложенное к катушке, можно представить суммой из двух слагаемых: из напряжения U_r на активном сопротивлении r и напряжения U_L на реактивном сопротивлении x_L индуктивности L . Вектор тока I на диаграмме направлен горизонтально. Вектор напряжения U_r совпадает по направлению с вектором тока, а вектор U_L опережает его на 90° .

Сложив геометрически вектора U_r и U_L , получаем вектор напряжения U , сдвинутый относительно вектора тока на угол φ , меньший чем 90° против часовой стрелки. Таким образом, в цепи с реальной катушкой индуктивности ток отстает по фазе от напряжения на угол φ , меньший чем $\pi/2$.

Треугольнику напряжений соответствует подобный треугольник сопротивлений, катетами которого являются активное и индуктивное сопротивление, а гипотенузой – полное сопротивление:

$$z = \sqrt{r^2 + x_L^2}; \quad \varphi = \arccos \frac{r}{z}.$$

Подобным является также треугольник мощностей, состоящий из активной P , индуктивной Q и полной S мощностей:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}; \quad \varphi = \arccos \frac{P}{S}.$$

Для определения параметров схемы замещения электромагнитного устройства достаточно измерить напряжение U , силу тока I и активную мощность P :

$$z = \frac{U}{I}; \quad r = \frac{P}{I^2}; \quad x_L = \sqrt{z^2 - r^2}; \quad L = \frac{x_L}{\omega} = \frac{x_L}{2\pi f}.$$

При электроснабжении расчетным параметром является мощность потребителя и коэффициент мощности. Здесь удобно применить параллельную схему замещения электромагнитного устройства в виде параллельно подключённых активного потребителя P и индуктивно-го потребителя Q .

3.5 Электродинамический ваттметр

Мощность цепи постоянного тока определяется с помощью амперметра и вольтметра:

$$P = UI, \quad (47)$$

где U – показание вольтметра, включенного на участке, где определяется мощность, В;

I – показание амперметра на том же участке цепи, А.

Для измерения той же мощности может быть использован электродинамический ваттметр. Угол поворота подвижной части этого прибора, включенного в цепь, пропорционален мощности, значения которого нанесены на шкалу прибора $\alpha = KP$.

Активную мощность в цепях переменного тока измеряют также ваттметрами. Для расширения пределов измерения применяются измерительные трансформаторы тока и напряжения.

Ваттметр – измерительный прибор, предназначенный для определения мощности электрического тока или электромагнитного сигнала (рисунок 23).

Для измерения мощности применяются приборы электродинамической и ферродинамической системы. Они состоят из неподвижной катушки и расположенной внутри неё подвижной катушки. Вращающий момент возникает вследствие взаимодействия токов катушек через создаваемые ими магнитные поля.

а)



б)



Рисунок 23 – Электродинамический ваттметр (а) и цифровой измерительный прибор для измерения электрических величин (б)

Ферродинамические приборы имеют сердечники для усиления магнитных полей. Противодействующий момент создаётся спиральными пружинками (или растяжками), через которые ток подаётся во внутреннюю катушку. Угол отклонения стрелки ваттметра пропорционален произведению силы тока на напряжение с учётом косинуса угла сдвига фаз между ними.

Электродинамические и ферродинамические приборы отличаются высокой точностью и пригодностью к работе в цепях как переменного, так и постоянного тока.

3.6 Последовательное соединение элементов цепи переменного тока

При последовательном соединении следует суммировать сопротивления отдельных элементов, а также напряжения на них.

Включим последовательно катушку индуктивности и конденсатор (рисунок 24).

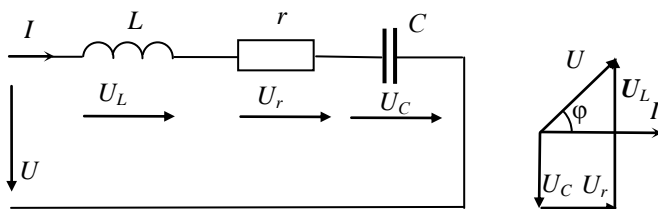


Рисунок 24 – Последовательное соединение L , r и C

Напряжение U равно сумме напряжений U_C , U_r и U_L , каждое из которых равно произведению силы тока на соответствующее сопротивление и направлено соответствующим образом, а именно: напряжение на конденсаторе отстаёт по фазе от тока на 90° , напряжение на резисторе совпадает по фазе с током, а напряжение на индуктивности опережает по фазе ток на 90° .

Полное сопротивление цепи, содержащей последовательно соединённые резистор, катушку индуктивности и конденсатор, определяется по формуле

$$z = \sqrt{r^2 + (x_L - x_C)^2}. \quad (48)$$

Индуктивное сопротивление катушки и ёмкостное сопротивление конденсатора взаимно компенсируют друг друга. Если $x_C = x_L$,

то полное сопротивление минимально и равно активному r , а сила тока I максимальна. Обмен энергией между катушкой индуктивности и конденсатором также достигает максимума, на этих элементах наблюдаются перенапряжения. Такой режим называют резонансом напряжений. При резонансе напряжений сверхтоки могут вызвать перегорание проводов или контактов, а перенапряжения – пробой изоляции, поэтому в электроснабжении резонанс напряжений считается вредным. Однако он широко применяется в технике связи. В общем случае резонанс напряжений можно получить, изменяя значения индуктивности катушки, ёмкости конденсатора или частоты:

$$x_C = x_L; \quad C = \frac{1}{\omega x_C} = \frac{1}{2\pi f x_C} .$$

3.7 Трёхфазные электрические цепи

Трёхфазная система питающих напряжений представляет собой три источника одинаковой частоты с одинаковым значением электродвижущих сил, сдвинутых по фазе на треть периода или 120° (рисунок 25):

$$e_A = E_M \sin \omega t; \quad e_B = E_M \sin(\omega t - 120^\circ); \quad e_C = E_M \sin(\omega t + 120^\circ).$$

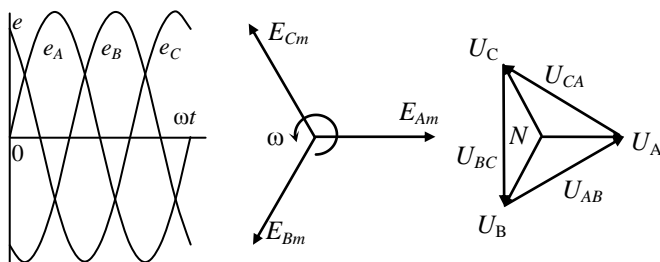


Рисунок 25 – Система из трёх ЭДС и создаваемые ими напряжения

Один из выводов каждого из источников подключён к линейному проводу соответствующей фазы $A(L1)$, $B(L2)$ и $C(L3)$, вторые выводы всех трёх источников объединены в нейтраль, соединённую с нейтральным проводом $N(PEN)$ (рисунок 26).

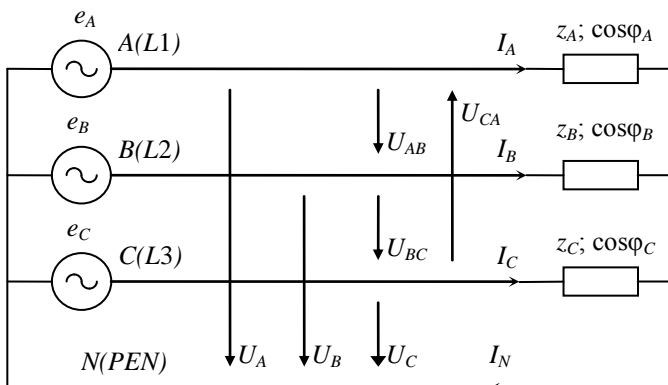


Рисунок 26 – Трёхфазная цепь с подключением нагрузки звездой

Напряжения линейных проводов относительно нейтрали U_A , U_B и U_C называются фазными, а напряжения между линейными проводами питающей линии U_{AB} , U_{BC} и U_{CA} называются линейными. Линейные напряжения больше фазных: $U = \sqrt{3}U_{\phi}$. В обычной распределительной сети линейное напряжение $U = 380$ В, а фазное $U_{\phi} = 220$ В. При обозначении применяется запись 380/220 В. Иногда с целью уменьшения опасности поражения электрическим током применяют трёхфазную сеть пониженного напряжения 220/127 В (линейное напряжение равно 220 В, а фазное – 127 В).

В схеме подключения нагрузки звездой один из выводов каждой фазы потребителя подключается к фазному проводу питающей линии, а вторые выводы соединяются вместе в нейтраль. В трёхпроводной схеме нейтраль потребителя изолирована, такая схема применяется только при симметричной нагрузке, когда в каждую фазу включены одинаковые потребители. В четырёхпроводной схеме нейтраль потребителя подключается к нулевому проводу *PEN* (*protect electric and neutral*). Этот провод одновременно служит для защитного зануления (защитный) и для выравнивания напряжений на фазах при несимметричной нагрузке (рабочий). В последнее время происходит переход на пятипроводную распределительную сеть, в которой применяют отдельные нулевой рабочий проводник *N* (нейтральный) и нулевой защитный проводник *PE*.

Ток нейтрального провода является суммой фазных токов. На векторной диаграмме (рисунок 27, а) видно, что при симметричной нагрузке сумма фазных токов равняется нулю.

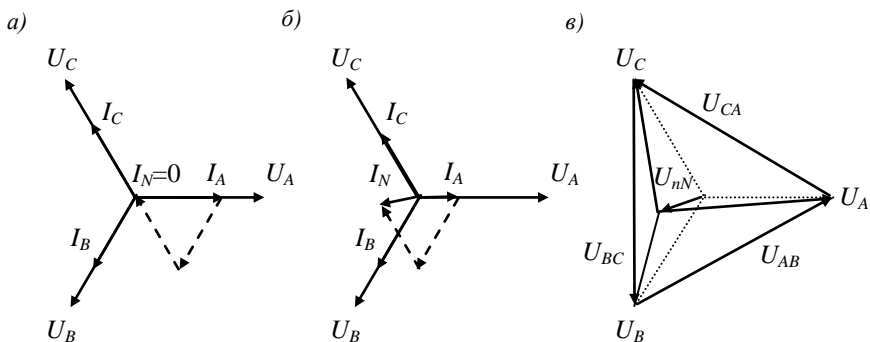


Рисунок 27 – Векторная диаграмма токов при симметричной (а) и несимметричной (б) нагрузке; в – перекос фаз

Таким образом, при симметричной нагрузке отсутствуют потери в нейтральном проводе и из формул потерь напряжения и мощности, выведенных для однофазной линии переменного тока, исчезает двойка:

$$\Delta u_{\%} \approx l \frac{r_0 P + x_0 Q}{U^2} \cdot 100 \% ; \quad \Delta p_{\%} \approx l \frac{r_0 P}{U^2 \cos^2 \varphi} \cdot 100 \% .$$

Кроме того, в формулах используется линейное напряжение, которое больше фазного: $U = \sqrt{3}U_{\phi}$. Поэтому потери напряжения и мощности в линии при трёхфазном подключении в шесть раз меньше, чем при однофазном подключении потребителей такой же мощности.

При несимметричной нагрузке нейтральный провод необходим, по нему должен проходить выравнивающий ток. На векторной диаграмме (см. рисунок 27, б) видно, что при несимметрии фазных токов появляется ток в нейтральном проводе. Если попытаться включить несимметричную нагрузку без нейтрального провода, получится перекос фаз, при котором на нагруженных фазах напряжение понизится, а на разгруженных появляется перенапряжение (см. рисунок 27, в). Снижение напряжения нарушает работу потребителей, а перенапряжение может вывести их из строя.

Потери энергии в нейтральном проводе снижают коэффициент полезного действия линии и ухудшается качество электроснабжения. Поэтому с целью получения симметричной нагрузки однофазные потребители стараются равномерно распределять по фазам.

Мощность трёхфазного потребителя равна сумме мощностей отдельных фаз. При симметричной нагрузке

$$S = 3U_{\phi} I = \sqrt{3} \cdot UI; P = \sqrt{3} \cdot UI \cos \varphi; Q = \sqrt{3} \cdot UI \sin \varphi.$$

Ток в проводах линии электропередачи при подключении симметричного трёхфазного потребителя

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cos \varphi}.$$

3.8 Трёхфазный трансформатор

Сердечник трёхфазного трансформатора состоит из трёх стержней, с двух сторон соединённых ярмом. На каждом стержне уложена секция первичной и вторичной обмоток. Секции первичных обмоток обозначаются $A-X$, $B-Y$, $C-Z$, секции вторичных – соответственно $a-x$, $b-y$, $c-z$. Первичные обмотки соединяются звездой либо треугольником и подключаются к симметричной цепи питающих напряжений. По ним протекают первичные токи I_{1A} , I_{1B} и I_{1C} , создающие магнитные потоки в стержнях Φ_A , Φ_B и Φ_C , изменяющиеся по синусоидальному закону. Магнитные потоки сдвинуты по фазе на 120° и образуют симметричную систему, сумма мгновенных значений магнитных потоков равна нулю. Во вторичных обмотках наводятся ЭДС, одинаковые по величине, но сдвинутые по фазе на 120° . Вторичные обмотки соединяются звездой либо треугольником, к ним подключаются потребители.

Мощность трёхфазного трансформатора $S = \sqrt{3} \cdot U_1 I_1 \approx \sqrt{3} \cdot U_2 I_2$.

Из-за того, что возможны различные схемы соединения обмоток, различают фазный и линейный коэффициенты трансформации.

Фазный коэффициент трансформации равен отношению числа витков первичной и вторичной обмоток $k_{\phi} = W_1/W_2$.

Линейный коэффициент трансформации равен отношению значений первичного и вторичного линейных напряжений $k = U_1/U_{20}$.

Всего возможны 4 варианта соединения обмоток: Y/Y , Δ/Δ , Y/Δ , Δ/Y .

1-й вариант. При соединении обмоток Y/Y коэффициент $k = k_{\phi}$ (рисунки 28).

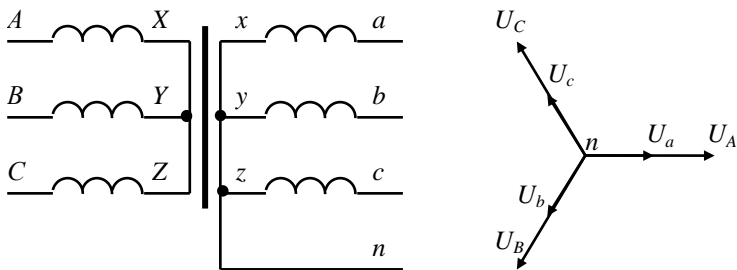


Рисунок 28 – Схема соединения Y/Y и векторная диаграмма напряжений

Линейный первичный ток равен фазному: $I_1 = I_{1\Phi}$.

Линейное первичное напряжение больше фазного в $\sqrt{3}$ раз:
 $U_1 = \sqrt{3} \cdot U_{1\Phi}$.

Линейный вторичный ток равен фазному: $I_2 = I_{2\Phi}$.

Линейное вторичное напряжение больше фазного в $\sqrt{3}$ раз:
 $U_2 = \sqrt{3} \cdot U_{2\Phi}$.

Вторичное напряжение U_a совпадает по фазе с первичным U_A , их векторы направлены в одну сторону, как будто часовая и минутная стрелки часов показывают 0 часов, поэтому схема соединения обозначается Y/Y-0.

2-й вариант. Соединение обмоток Δ/Δ из-за ряда недостатков не применяется, и мы его рассматривать не будем.

3-й вариант. При соединении обмоток Y/ Δ коэффициент $k = \sqrt{3} \cdot k_{\Phi}$ (рисунок 29).

Линейный первичный ток равен фазному: $I_1 = I_{1\Phi}$.

Линейное первичное напряжение больше фазного в $\sqrt{3}$ раз:
 $U_1 = \sqrt{3} \cdot U_{1\Phi}$.

Линейный вторичный ток равен больше фазного в $\sqrt{3}$ раз:
 $I_2 = \sqrt{3} \cdot I_{2\Phi}$.

Линейное вторичное напряжение равно фазному: $U_2 = U_{2\Phi}$.

При пересоединении вторичной обмотки с Y на Δ вторичное напряжение уменьшается в $\sqrt{3}$ раз, при этом допустимое значение вторичного тока увеличивается в $\sqrt{3}$ раз.

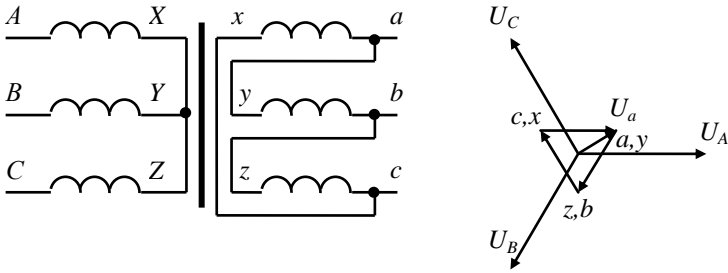


Рисунок 29 – Схема соединения Y/Δ и векторная диаграмма напряжений

Вторичное напряжение U_a опережает по фазе первичное U_A на 30° , их векторы сдвинуты на $1/12$ часть окружности, как будто часовая и минутная стрелки часов показывают 11 часов, поэтому схема соединения обозначается Y/Δ-11.

4-й вариант. При соединении обмоток Δ/Y коэффициент $k = k_\Phi / \sqrt{3}$ (рисунок 30).

Линейный первичный ток больше фазного в $\sqrt{3}$ раз: $I_1 = \sqrt{3} I_{1\Phi}$.

Линейное первичное напряжение равно фазному: $U_1 = U_{1\Phi}$.

Линейный вторичный ток равен фазному: $I_2 = I_{2\Phi}$.

Линейное вторичное напряжение больше фазного в $\sqrt{3}$ раз: $U_2 = \sqrt{3} U_{2\Phi}$.

При пересоединении первичной обмотки с Y на Δ первичное напряжение следует уменьшить в $\sqrt{3}$ раз, при этом допустимое значение первичного тока увеличивается в $\sqrt{3}$ раз.

Вторичное напряжение U_a опережает по фазе первичное U_A на 30° , их векторы сдвинуты на $1/12$ часть окружности, как будто часовая и минутная стрелки часов показывают 11 часов, поэтому схема соединения обозначается Δ/Y-11.

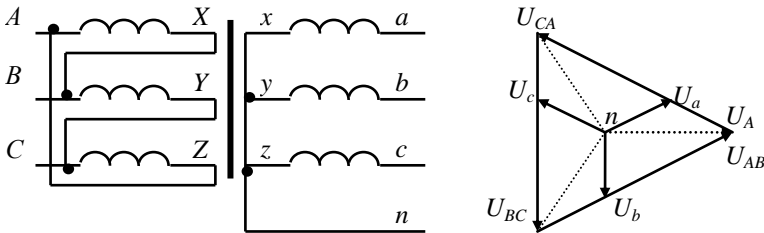


Рисунок 30 – Схема соединения Δ/Y и векторная диаграмма напряжений

3.9 Однофазный трансформатор

Трансформатором (в самом общем значении этого слова) называется специальное электротехническое устройство, предназначенное для изменения величины напряжения в сети переменного тока без изменения частоты системы (напряжения) переменного тока (ГОСТ 16110–82).

Принцип действия трансформаторов основан на явлении электромагнитной индукции. При подключении первичной обмотки к источнику переменного тока в обмотках генерируется магнитное поле, которое вызывает ЭДС во вторичных обмотках. Данная ЭДС пропорциональна числу витков в первичных и вторичных обмотках. Отношение электродвижущей силы в первичной обмотке ко вторичной называется коэффициентом трансформации.

Основными элементами конструкции трансформатора являются первичные и вторичные обмотки и ферромагнитный магнитопровод (обычно замкнутого типа). Обмотки расположены на магнитопроводе и индуктивно связаны друг с другом. Магнитопровод обычно состоит из набора металлических пластин, покрытых изоляцией, для предотвращения возникновения «вихревых» токов внутри магнитопровода.

Пластины сердечников штампуют из листов низкоуглеродистых сталей с добавками до 5 % Si, получивших название кремнистых электротехнических сталей. Кремний увеличивает удельное сопротивление, что снижает вихревые токи, однако делает сталь хрупкой.

Свойства электротехнической стали значительно улучшаются при текстурировании – холодной прокатке и последующем отжиге. Для эффективного использования текстурованных сталей применяют ленточные конструкции сердечников, когда магнитный поток целиком проходит вдоль направления легкого намагничивания, что позволяет уменьшить массу и габариты силовых трансформаторов на 25 %, а радиотрансформаторов – на 40 %.

Зачастую часть вторичной обмотки служит частью первичной и наоборот. Данный тип трансформаторов называют автотрансформаторами.

В зависимости от конструктивных особенностей однофазные трансформаторы могут иметь следующее исполнение (рисунок 31):

- однофазный трансформатор стержневого типа;
- трансформатор с броневым сердечником;
- трансформатор с тороидальнообразным сердечником.

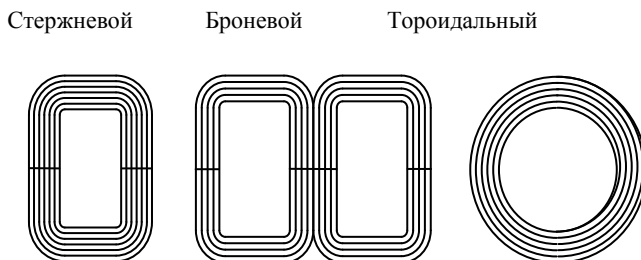


Рисунок 31 – Ленточные сердечники современных трансформаторов

В трансформаторе стержневого типа по половине первичной и вторичной обмоток располагаются на отдельных железных стержнях, концы которых объединены в замкнутую конструкцию при помощи специальных накладок, называемых ярмами. Два стержня и два ярма образуют при этом сплошное кольцо (сердечник), в котором и формируется при работе изделия замкнутый магнитный поток, объединяющий обе обмотки трансформатора.

В трансформаторах броневого типа первичные и вторичные обмотки, состоящие каждая из ряда плоских катушек, расположены на сердечнике, образуемом двумя стержнями двух железных колец. Кольца, окружая обмотки, покрывают их почти целиком как бы броней, поэтому описываемый однофазный трансформатор называется броневым.

Известные модели однофазных трансформаторов по своему назначению делятся на следующие классы: сварочные (рисунок 32), измерительные, испытательные, специального назначения, бытовые.



Рисунок 32 – Сварочные трансформаторы

Измерительные трансформаторы тока и напряжения используются обычно для подключения различных регистрирующих приборов к высоковольтным цепям с целью измерения электрических характеристик действующего в них сигнала (силы тока, напряжения, мощности и т.п.).

Испытательные трансформаторы необходимы для получения высоких напряжений, применяемых в ходе испытаний изоляции электротехнического оборудования и изделий.

Трансформаторы специального назначения используются в электронных устройствах связи, а также в системах автоматики и телемеханики.

Бытовые трансформаторы служат для подключения устройств, эксплуатируемых в домашних условиях (осветительного и сигнального оборудования, специальной аппаратуры и т.п.), а также для работы в качестве стабилизаторов.

Трансформатор способен работать в одном из следующих режимов: *холостой, работа под нагрузкой, режим короткого замыкания.*

Режим холостого хода – это такое состояние трансформатора, когда его вторичная обмотка не подключена к нагрузке, т.е. когда её нагрузочная цепь разомкнута. При этом потребляемый трансформатором ток минимален и представляет собой ток холостого хода. В этом режиме энергия от сети практически не потребляется и в нем работает измерительный трансформатор напряжения.

Режим работы с нагрузкой является основным для любого однофазного трансформатора и реализуется путём подключения к его вторичной обмотке нагрузочных цепей.

В режиме короткого замыкания (КЗ) сопротивление вторичной цепи устройства близко к нулю. В таком режиме работают измерительный трансформатор тока и сварочный трансформатор в момент зажигания дуги.

Для того чтобы защитить преобразующее устройство от перегрузок, возникающих из-за КЗ, необходимо использовать специальные предохранители, устанавливаемые в его первичной или вторичной цепи. Коэффициент полезного действия (КПД) трансформаторов свидетельствует об эффективности преобразования напряжения и учитывает величину потерь, которые неизбежны из-за расхода мощности на нагрев сердечника вихревыми токами.

Возможность трансформации – одна из главных причин повсеместного распространения переменного тока в современной технике. Термин «трансформатор» дословно переводится как «преобразователь». Преобразование происходит за счёт разного числа витков первичной w_1 и вторичной w_2 обмоток. Коэффициент трансформации

$$k = \frac{w_1}{w_2}. \quad (49)$$

Через повышающие трансформаторы электрическая энергия от генераторов подается в высоковольтную линию электропередачи.

У *повышающего трансформатора* во вторичной обмотке витков больше, чем в первичной, $k < 1$. На месте потребления устанавливаются понижающие трансформаторы, обеспечивающие безопасное и удобное использование электроэнергии.

У *понижающего трансформатора* во вторичной обмотке витков меньше, чем в первичной, $k > 1$.

Электрическая энергия передаётся через трансформатор посредством пульсаций магнитного поля, изменяющегося по синусоидальному закону; применение ферромагнитного сердечника позволяет усилить индукцию поля в сотни и тысячи раз.

Рассмотрим электромагнитные процессы преобразования и передачи энергии в двухобмоточном понижающем трансформаторе (рисунок 33). При подключении первичной обмотки w_1 сопротивлением r_1 к питающей сети переменного тока промышленной частоты напряжением u_1 по ней протекает ток холостого хода i_0 . Магнитодвижущая сила $w_1 i_0$, положительное направление которой

на рисунке 33, по правилу буравчика, вверх, создаёт переменное магнитное поле.

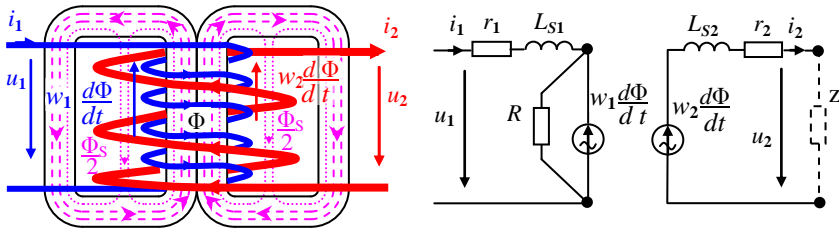


Рисунок 33 – Однофазный трансформатор и схемы замещения его обмоток

Основная часть силовых линий магнитного поля проходит по магнитопроводу, охватывая витки как первичной, так и вторичной обмоток и образуя магнитный поток связи Φ . Небольшая часть силовых линий магнитного поля частично или полностью проходит по воздуху и немагнитным материалам проводов, образуя магнитный поток рассеяния Φ_s , который в сотни раз меньше потока связи (его силовые линии показаны пунктиром). Для учёта магнитного потока рассеяния первичной обмотки в схеме замещения предусматривают индуктивность рассеяния L_{S1} .

Пульсации магнитного потока связи Φ индуцируют в витках первичной обмотки электродвижущую силу самоиндукции $e_1 = -w_1 d\Phi/dt$. Знак « \rightarrow » показывает, что когда магнитный поток нарастает ($d\Phi/dt > 0$), ЭДС самоиндукции направлена навстречу создающему его току и препятствует этому нарастанию, запасая энергию в магнитном поле сердечника. Это учтено в направлении стрелки на схеме замещения. Во вторичной обмотке индуцируется ЭДС $e_2 = -w_2 d\Phi/dt$ такого же направления, как и в первичной. Знак « \leftarrow » показывает, что в рассматриваемый момент она направлена от конца обмотки к началу. У вторичной обмотки также есть индуктивность рассеяния L_{S2} и активное сопротивление r_2 . В материале сердечника также индуцируются электродвижущие силы, под действием которых протекают вихревые токи, нагревающие сердечник. Потери энергии от вихревых токов вместе с потерями из-за гистерезиса учтены на схеме замещения в виде эквивалентного сопротивления R . Таким образом, ток холостого хода i_0 может быть представлен как сумма тока пере-

магничивания сердечника i_M (индуктивного) и тока потерь i_A (активного). Ток перемагничивания существенно несинусоидален, однако при упрощённом расчёте его заменяют эквивалентной синусоидой.

При подключении потребителя Z к вторичной обмотке w_2 по ней протекает ток i_2 , создающий магнитодвижущую силу $w_2 i_2$ (положительное направление на рисунке 33, по правилу буравчика, вниз), которая стремится ослабить магнитный поток связи Φ . Однако снижение Φ приводит к уменьшению ЭДС $e_1 = -w_1 d\Phi/dt$, препятствующей току первичной обмотки. Увеличение первичного тока i_1 вызывает подмагничивание сердечника, и, в результате, магнитный поток Φ уменьшается незначительно (при упрощённых расчётах магнитный поток связи Φ и потери в магнитопроводе считают не зависящими от нагрузки). Отбор энергии от трансформатора по вторичной обмотке автоматически увеличивает её поступление из сети по первичной, а пульсирующий магнитный поток Φ обеспечивает передачу этой энергии с мощностью $S = U_1 I_1 \approx U_2 I_2$ и преобразование с коэффициентом трансформации $k = w_1/w_2$ (уменьшение напряжения с одновременным увеличением тока).

При протекании тока во вторичной цепи часть магнитного потока также рассеивается, что на схеме замещения учитывается в виде индуктивности рассеяния вторичной обмотки L_{S2} .

3.10 Трёхфазная система электроснабжения. Общие положения

Многофазной системой называется совокупность, состоящая из n отдельных одинаковых электрических цепей или электрических схем, в которых режимные параметры (e , u , i) сдвинуты во времени на равные отрезки $\Delta t = T/n$ или по фазе $\Delta \omega t = 2\pi/n = 360^\circ/n$.

Отдельные части системы называются фазами. Термин «фаза» в электротехнике имеет два смысловых значения: первое – как момент времени для синусоидальной функции тока или напряжения, второе – как часть многофазной системы. В технике нашли применение двух-, трех-, шести- и более фазные системы. В электроэнергетике наибольшее распространение получила трехфазная система, обладающая рядом преимуществ перед системами с другим числом фаз (рисунок 34).

Трехфазная система состоит из трех электрических цепей или электрических схем (фаз), параметры режима (u, i) в которых сдвинуты во времени на $\Delta\omega t = 2\pi/3 = 360^\circ/3 = 120^\circ$. Отдельные фазы трехфазной системы согласно ГОСТ обозначаются (иногда называются) заглавными латинскими буквами A, B, C (основное обозначение), или цифрами 1, 2, 3 (допустимое обозначение), или заглавными латинскими буквами R, S, T (международное обозначение).

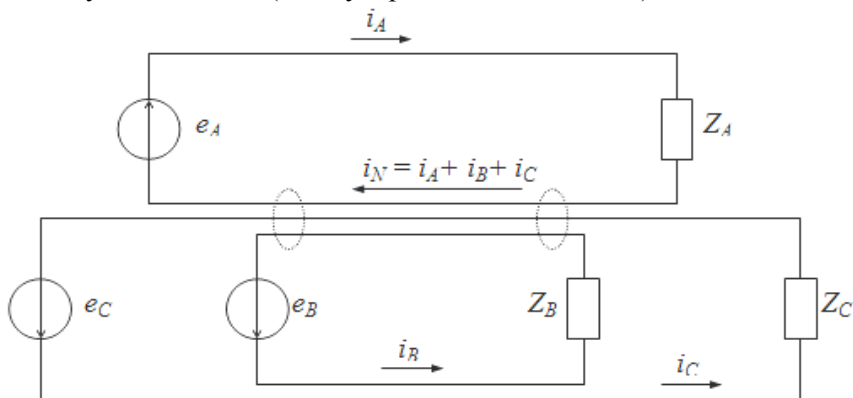


Рисунок 34 – Условная схема фаз трехфазной системы
(<http://toehelp.com.ua/lekcii/036.htm>)

Не имеет значения, какую из трех фаз именовать какой буквой – A, B или C , существенным является их порядок следования друг за другом во времени. Прямым порядком следования фаз называется $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$, при котором параметры режима (u, i) в фазе B отстают от аналогичных параметров в фазе A на 120° , а в фазе C – опережают на 120° . При обратном порядке следования фаз $A \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A$ параметры режима в фазе C отстают от аналогичных параметров в фазе A на 120° , а в фазе B – опережают на 120° .

Если отдельные фазы системы работают изолированно и независимо друг от друга, то система называется несвязанной. Рассмотрим работу простейшей несвязанной трехфазной системы (рисунок 35). Мгновенные значения фазных ЭДС генератора сдвинуты во времени на 120° в порядке следования фаз $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$:

$$e_A = E_m \sin \omega t; \quad (50)$$

$$e_B = E_m \sin(\omega t - 120^\circ); \quad (51)$$

$$e_C = E_m \sin(\omega t - 240^\circ) = E_m \sin(\omega t + 120^\circ). \quad (52)$$

Графические диаграммы этих функций показаны на рисунке 35.

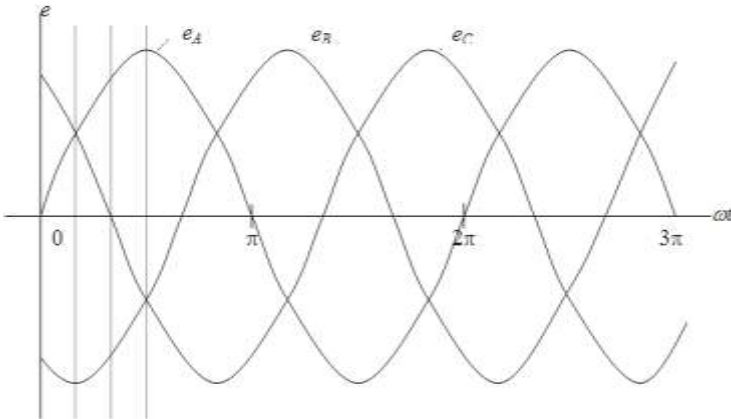


Рисунок 35 – Диаграммы функций сдвига мгновенных значений фазных ЭДС генератора

Достоинства (преимущества) трехфазной системы:

1) Передача энергии от генератора к потребителям трехфазным током наиболее выгодна экономически, чем при любом другом числе фаз. Например, по сравнению с двухпроводной системой достигается экономия проводов в два раза (3 провода вместо 6), соответственно уменьшаются потери энергии в проводах линии.

2) Трехфазная система позволяет технически просто получить круговое вращающееся поле, которое лежит в основе работы всех трехфазных машин (генераторов и двигателей).

3) Элементы трехфазной системы (генераторы, трансформаторы, двигатели) просты по конструкции, надежны в работе, имеют хорошие массогабаритные показатели, сравнительно дешевы, долговечны.

4) На выходе трехфазных генераторов имеется два уровня выходного напряжения – линейное и фазное, отличающиеся в $\sqrt{3}$ раз ($U_{л} / U_{ф} = \sqrt{3}$), что позволяет подключать к такому генератору приемники с различным номинальным напряжением.

4 ПЕРЕДАЧА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ОТ ИСТОЧНИКА К ПОТРЕБИТЕЛЮ

4.1 Основные сведения об электрической системе

Электрическая энергия вырабатывается на электрических станциях, располагаемых, как правило, у источников первичной энергии. Электростанции связаны между собой и с потребителями электрическими сетями, которые объединяют их в централизованно управляемые энергетические системы (энергосистемы). Нагрузку на электростанции распределяют так, чтобы получить наиболее дешевую электроэнергию. Например, если запас воды на гидравлической станции (ГЭС) большой, то ее нагружают на полную мощность, а тепловую (ТЭС) разгружают, экономя топливо. Или же за счет ТЭС удовлетворяют постоянную (базисную) нагрузку в течение суток, а ГЭС включают в часы, когда нагрузка возрастает.

Благодаря энергосистемам не только повышается экономичность электроснабжения, но и значительно увеличивается его надежность, возрастает общая полезная выработка электроэнергии и т. д.

Электрическая система – это часть энергосистемы и питающиеся от нее электроприёмники, объединяющая генераторы, распределительные устройства, трансформаторные подстанции, электрические линии и токоприемники электрической энергии. Основу электрической системы составляют электроустановки.

Электрической сетью называют часть электрической системы, в которую входят трансформаторные подстанции и линии различных напряжений. Электрические сети по назначению делят на распределительные и питающие.

Питающей называют электрическую сеть, по которой электроэнергию подводят к распределительным пунктам или районным трансформаторным подстанциям (рисунок 3б). Эта сеть состоит из *линий электропередачи* (ЛЭП), которые не имеют подключенных потребителей.

Высоковольтная распределительная сеть (ВРС) служит для передачи электрической энергии от источника (электростанции ЭС, районной трансформаторной подстанции РТП) к потребительским трансформаторным подстанциям. Чаще для ВРС используют напряжение 10 кВ, реже (при больших расстояниях) – 20 и 35 кВ. Линии 6 кВ выполняют, главным образом, в тех случаях, когда системы с этим напряжением уже имеются или когда тщательный технико-экономический анализ показывает целесообразность применения именно 6 кВ.

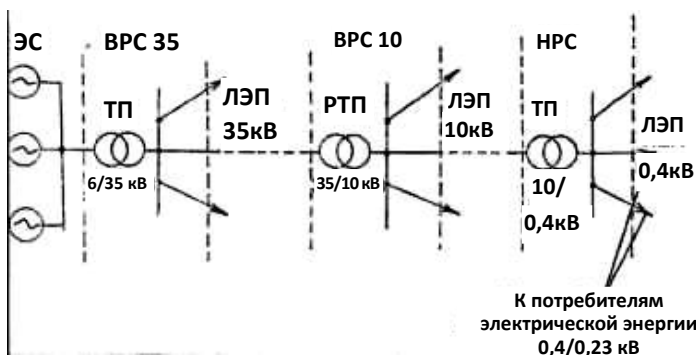


Рисунок 36 – Схема передачи электрической энергии от источника к потребителю: ЭС – электростанция; ТП – потребительская трансформаторная подстанция; ЛЭП – линия электропередачи; РТП – районная трансформаторная подстанция; ВРС и НРС – высоковольтная распределительная сеть и низковольтная потребительская сеть

4.2 Распределение энергии по потребителям

Распределение энергии по потребителям осуществляется по радиальным, магистральным (кольцевым) или смешанным схемам. На рисунке 37 показаны радиальная одиночная разомкнутая линия, обычно применяемая для питания отдельных, обособленных потребителей 3-й категории (а), радиальная сдвоенная кабельная линия – для питания потребителей 2-й и 3-й категорий (б) и радиальная, питаемая от двух самостоятельных источников линия – для потребителей 1-й категории (в). На рисунке 37, г, д приведены две схемы магистральных петлевых линий для питания потребителей 3-й категории (г) и потребителей 2-й и 1-й категорий (д). Могут быть и другие видоизменения магистральных схем.

По распределительной сети (рисунок 38) напряжением до 1000 В (НРС) электрическую энергию передают от понизительных подстанций к потребителям. Такие сети используют обычно внутри населен-

ного пункта, по улице которого прокладывают линию АВ, а от нее к домам, расположенным на одной стороне улицы, идут вводы В, к домам на другой стороне улицы – отводы От.

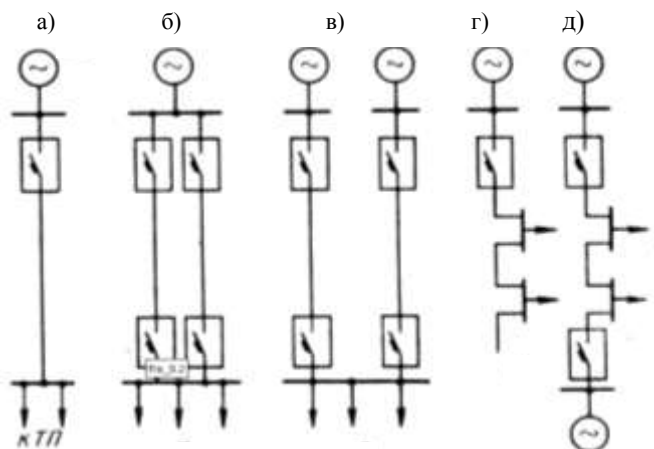


Рисунок 37 – Схема распределительных электрических сетей:
а, б, в – радиальные; г, д – магистральные

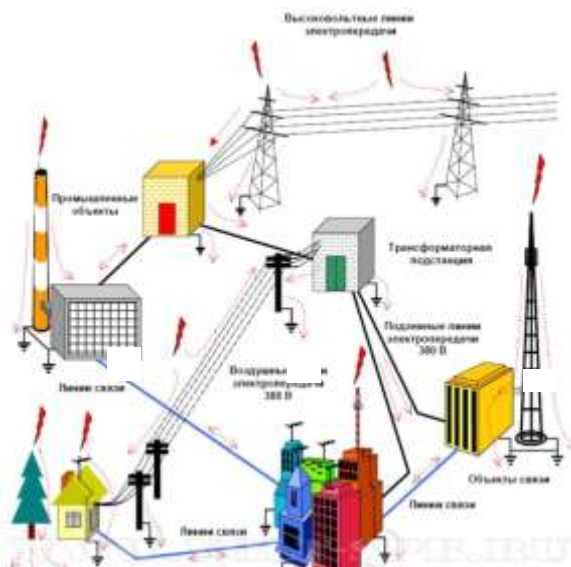


Рисунок 38 – Схема линий электропередач

Сети могут быть воздушными или кабельными (подземными). Потребительские сети внутри помещений называют внутренними проводками.

В зависимости от расстояния, на которое передается электрическая энергия, используется то или иное стандартное напряжение. Чем больше расстояние, тем выгоднее применять более высокое напряжение, на котором передается электрическая энергия. С увеличением напряжения значительно снижаются потери энергии в проводах и расход металла на провода.

4.3 Характеристики и свойства линий электропередач

При передаче электроэнергии на расстояние неизбежны потери напряжения и мощности, обусловленные сопротивлением проводов линии электропитания. Пропускная способность линии ограничивается допустимой токовой нагрузкой на жилы проводов и кабелей по условиям нагрева, а также допустимой потерей напряжения. Экономичность линии определяется из соотношения между капитальными затратами на её сооружение и стоимостью электроэнергии, теряемой на нагрев проводов при её эксплуатации. Минимуму суммарных затрат соответствует так называемая «экономическая плотность тока».

Выбор сечения проводов производится:

- 1) по экономической плотности тока;
- 2) допустимым длительным токовым нагрузкам на жилы проводов и кабелей (из условий нагрева);
- 3) допустимой потере напряжения в линии;
- 4) механической прочности.

Провода и жилы кабелей должны также выдерживать кратковременный перегрев и механические усилия, возникающие при коротких замыканиях, без нарушения изоляции и механического разрушения. На проводах высоковольтных линий не должен возникать коронный разряд (рисунок 39), т.к. это приводит к значительным потерям энергии.

Экономическая плотность тока является основным условием для выбора сечения проводов линий электропередачи, значительную часть суток находящихся под током. Рекомендуемые значения приводятся в справочных таблицах в зависимости от вида линии (провода или жилы кабелей), материала (медь или алюминий) и продолжительности работы (часов в год).



Рисунок 39 – Образование коронных разрядов на высоковольтной линии (<http://www.15mscience.org>)

Допустимая токовая нагрузка является основным условием для выбора сечения проводов и жил кабелей коротких линий, питающих отдельные потребители, работающие в кратковременном или повторно-кратковременном режиме. Температура проводов не должна превышать допустимого значения даже в жаркое время года, иначе их изоляция быстро износится. Для медных и алюминиевых проводов и жил кабелей различных сечений в «Правилах устройства электроустановок» приводятся допустимые длительные токовые нагрузки в зависимости от материала изоляции и условий прокладки. Обычно при расчёте коротких линий сечение проводов выбирается по допустимой длительной токовой нагрузке, а затем проверяется по допустимой потере напряжения и, при необходимости, увеличивается. Сечение проводов длинных линий целесообразно сразу выбирать исходя из условия допустимого падения напряжения.

Потери напряжения в проводах линии вызывают колебания напряжения на зажимах потребителя. При отключении потребителей напряжение возрастает, при подключении – падает. Отклонение напряжения ухудшает работу электрических ламп. Например, снижение напряжения на 10 % уменьшает световой поток ламп накаливания на 30 %; повышение же на 10 % сокращает срок службы ламп на 60 %. Менее чувствительны люминесцентные лампы, но и на них вредно отражаются отклонения напряжения от номинального значения. Вращающий момент асинхронного электродвигателя при снижении напряжения питания резко уменьшается, и он может не запуститься под нагрузкой. Даже кратковременный импульс повышенного напряжения может вывести из строя электронную аппаратуру, в том числе и компьютер.

Допустимые колебания напряжения на зажимах потребителя регламентируются в пределах $\pm 2,5-5\%$, в отдельных случаях допускается кратковременное снижение напряжения питания потребителя на $10-12\%$.

Механическая прочность является основным критерием для воздушных линий и открытых электропроводок малой мощности.

Выведем приближённые формулы для определения потерь напряжения и мощности в короткой двухпроводной линии передачи переменного тока при подключении к ней потребителя с полной мощностью S и коэффициентом мощности $\cos \varphi$. Активная P и реактивная Q мощности такого потребителя

$$P = S \cos \varphi; \quad Q = S \sin \varphi. \quad (53)$$

Активное r и индуктивное x сопротивления проводов линии, активная g и ёмкостная b проводимости изоляции

$$r = 2lr_0; \quad x = 2lx_0 = 2l \omega L_0; \quad g = lg_0; \quad b = lb_0 = l\omega C_0,$$

где l – длина линии, км;

r_0, L_0, g_0 и C_0 – километрические значения параметров.

Ток потребителя $I = S / U$. Пренебрегая токами через изоляцию по сравнению с током потребителя считаем его равным току линии.

Напряжение источника $U_{\text{и}}$ можно получить, если к напряжению потребителя $U_{\text{п}}$ добавить напряжение на активном сопротивлении проводов $U_r = rI$, а также напряжение на реактивном сопротивлении проводов $U_L = xI$ (рисунок 40):

$$\vec{U}_{\text{и}} = \vec{U}_{\text{п}} + \vec{U}_r + \vec{U}_L. \quad (54)$$

Потеря напряжения ΔU приблизительно равна сумме проекций векторов U_r и U_L на горизонтальную ось (рисунок 41):

$$\Delta U \approx rI \cos \varphi + xI \sin \varphi. \quad (55)$$

Относительная потеря напряжения

$$\Delta u_{\%} \approx \frac{\Delta U}{U} \cdot 100 \% = \frac{rI \cos \varphi + xI \sin \varphi}{U} \cdot 100 \% = 2l \frac{r_0 P + x_0 Q}{U^2} \cdot 100 \%.$$

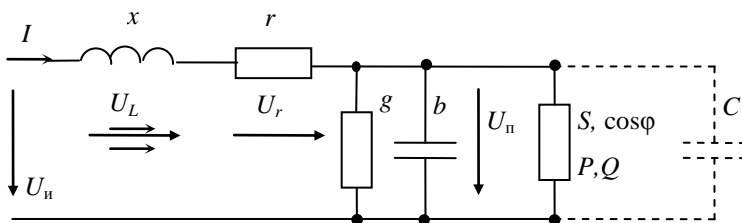


Рисунок 40 – Схема замещения короткой линии электропередачи

Пренебрегая потерями в изоляции, учитываем только потери мощности в проводах линии $\Delta P = rI^2$.

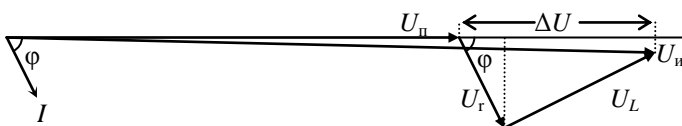


Рисунок 41– Векторная диаграмма линии электропередачи

Относительная потеря мощности

$$\Delta p_{\%} \approx \frac{\Delta P}{P} \cdot 100 \% = \frac{rI^2}{UI \cos \varphi} \cdot 100 \% = 2l \frac{r_0 P}{U^2 \cos^2 \varphi} \cdot 100 \%$$

Потребляемый ток, а также потери в линии можно уменьшить, если скомпенсировать индуктивную мощность электромагнитного устройства с помощью емкостной мощности конденсатора C (показан на рисунке 41 пунктиром):

$$C = \frac{Q}{\omega U^2}. \quad (56)$$

При меньшем значении компенсирующей ёмкости происходит частичная компенсация, которая также полезна и широко применяется. При большем значении компенсирующей ёмкости происходит перекомпенсация, которая приводит к увеличению потерь, поэтому вредна.

4.4 Типы счетчиков электроэнергии

Электрический счетчик – электроизмерительный прибор, который предназначен для учета потребленной электрической энергии (переменного или постоянного тока) и измеряется в кВт/ч или А/ч.

В настоящее время производятся однофазные и трехфазные счетчики, индукционные или электронные, однотарифные, двухтарифные, трехтарифные (они же многотарифные).

Электрический счетчик включается в сеть через трансформаторы тока (непрямого включения) и без них (прямого включения). Для включения в сеть напряжением до 380 В применяются счетчики на ток от 5 до 20 А.

На лицевой стороне счетчика указывается число оборотов диска, соответствующее 1 кВт·ч электроэнергии. Например, 1 кВт·ч – 1250 оборотов диска.

В настоящее время используются главным образом два типа электросчетчиков – индукционные и электронные. По функциональности счетчики бывают многотарифные (двухтарифные и трехтарифные). При этом первые занимают доминирующее положение, поскольку они устанавливались вплоть до середины 90-х годов прошлого века.

Принцип работы индукционного счетчика электроэнергии (рисунок 42, а) заключается во взаимодействии магнитных сил катушек индуктивности тока и напряжения с токами алюминиевого диска, в результате взаимодействия число оборотов диска прямо пропорционально отражает расход электроэнергии специальным счетным механизмом. Многие потребители не спешат переходить на более современные электронные счетчики, хотя индукционные счетчики являются физически устаревшими и не поддерживают многотарифный учет электроэнергии и возможность дистанционной передачи показаний.

В отличие от индукционных электронные счетчики электроэнергии построены на основе микросхем, не содержат вращающихся частей и производят преобразование сигналов, поступающих с измерительных элементов, в пропорциональные величины мощности и энергии. Электронные счетчики электроэнергии отличаются более высокой точностью и надежностью по сравнению с индукционными электросчетчиками (рисунок 42, б). Счетчик активной энергии переменного тока электронный непосредственного подключения САЭ1-М-02, ТУРБ 100024511-039–2004 обеспечивает измерение активной электрической энергии в однофазных сетях переменного тока (СТБ ГОСТ Р 52320–2007).

Область применения счетчика – коммерческий учет электрической энергии в быту, на промышленных предприятиях и в энергосистемах. Применяется автономно и в системе АСКУЭ. Передача данных

происходит по интерфейсу RS-485 (<http://www.by.all.biz/schetchik-aktivnoj-energii-peremennogo-toka-g115884>).

а)



б)



Рисунок 42 – Счетчики электроэнергии:
а – индукционный, б – электронный

Основные технические параметры счетчиков электроэнергии:

Класс точности – указывает на уровень погрешности измерений прибора (максимально допустимый уровень погрешности до 1996 г. составлял 2,5 %). В 1996 году был введен новый стандарт точности приборов учета, используемых в бытовом секторе, – 2,0.

Тарифность – функциональная возможность современных электронных счетчиков, позволяющая вести учет электроэнергии по зонам суток и временам года.

Однофазным электрическим счетчиком называется электроизмерительный прибор, предназначенный для учета электрической энергии в двухпроводных сетях переменного тока напряжением 220 В.

Трехфазным электрическим счетчиком называется электроизмерительный прибор, предназначенный для учета электрической энергии в трех- и четырехпроводных сетях переменного трехфазного тока номинальной частоты 50 Гц.

(Типы счетчиков электроэнергии и их возможности. http://ckc.dp.ua/cataloguelist_577.htm)

4.5 Категории электроприёмников по надёжности электроснабжения

Приемником электрической энергии (**электроприемником**) называется аппарат, агрегат, механизм, предназначенный для преобразования электрической энергии в другой вид энергии для ее использования.

Потребителем электрической энергии называется электроприемник или группа электроприемников, объединенных технологическим процессом и размещающихся на определенной территории.

Электроприёмниками являются промышленные, строительные, транспортные, торговые, сельскохозяйственные и иные предприятия, культурно-зрелищные сооружения, а также жилые посёлки и жилые микрорайоны городов.

По надёжности электроснабжения электроприёмники делятся на три категории:

1-я категория – электроприёмники, нарушение электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, значительный ущерб народному хозяйству, повреждение оборудования, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, нарушение особо важных элементов городского хозяйства.

В городских электрических сетях к 1-й категории относятся электроприёмники театров, крупных кинотеатров, стадионов, универмагов с площадью торгового зала свыше 1800 м² и т. п., сооружений с массовым скоплением людей, действующих при искусственном освещении, комплексы электроприёмников особых лечебных помещений (операционных блоков больниц и родильных домов, пунктов неотложной помощи и т. п.); технические и силовые электроприёмники жилых зданий выше 16 этажей (пожарные насосы, лифты, средства автоматического дымоудаления), аварийное освещение лестничных клеток, коридоров, вестибюлей, холлов, заградительные огни на кровлях зданий высотой 50 м и более, а также электроприёмники технических и силовых установок узлов радиосвязи, телеграфа, телефонных, водопроводных и канализационных станций и групп городских потребителей с общей нагрузкой более 10000 кВт·А.

Электроприёмники первой категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых источников питания. Перерыв в электропитании таких приемников допустим только при автоматическом включении резервного питания (АВР), т. е. на время переключения питающей линии или запуска автоматизированного дизель-генератора.

Из первой категории электроприёмников выделяется *особая группа*, бесперебойная работа которой необходима для безаварийной остановки производства во избежание угрозы для жизни людей,

взрывов, пожаров и повреждения дорогостоящего оборудования, а также для обеспечения надёжной работы аппаратуры связи. Для особой группы электроприёмников автономный резерв обязателен. При аварии в питающей сети потребители особой группы переводятся на питание от дизель-генератора или от аккумуляторной батареи либо непосредственно, либо через инвертор, преобразующий энергию постоянного тока в сетевое напряжение переменного тока.

2-я категория – электроприёмники, перерыв в электроснабжении которых связан с массовым срывом выпуска продукции, простоем рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушением нормальной деятельности значительного числа городских жителей.

К этой категории относятся: жилые здания от 6 до 16 этажей включительно, а также меньшей этажности, но оборудованные стационарными кухонными электроплитами, лечебные и детские учреждения, школы и другие учебные заведения; силовые установки, технология которых ограничивает допускаемые перерывы в электроснабжении, столовые и кафе с числом посадочных мест от 100 до 500, магазины с площадью торгового зала от 220 до 1800 м² и т. п.; группы городских потребителей с нагрузкой от 300 до 10000 кВ·А для кабельных сетей и от 1000 кВ·А и более для воздушных сетей.

Для питания электроприёмников второй категории рекомендуется иметь две линии, однако допускается и одна. Обычно если питание осуществляется по воздушной ЛЭП, то используется одна линия, если по кабелю – подключаются две кабельные линии. Перерыв в работе таких потребителей допустим на время включения резервного питания дежурным персоналом либо на время устранения неисправности питающей линии выездной оперативной бригадой.

3-я категория – наименее ответственные электроприёмники. К третьей категории, в частности, относятся газифицированные дома высотой 5 и менее этажей, небольшие поселки и т. п. Электроприёмники третьей категории получают питание по одной линии с перерывами не более суток.

4.6 Структура электроснабжения

При построении электрических сетей используют радиальный и магистральный принципы электроснабжения.

При радиальном электроснабжении к каждому потребителю прокладывается отдельная линия. Достоинства: независимость от

других потребителей, если линия выходит из строя, то отключается только один потребитель. Недостаток: очень дорого.

При магистральном электроснабжении потребители подключены в разных точках одной линии. Это ведет к упрощению схемы подключения, однако при обрыве линии оказываются обесточенными все потребители, подключённые дальше места повреждения. В чистом виде этот принцип реализуется при питании устройств, расположенных вдоль железных дорог.

Существенным улучшением надёжности магистрального электроснабжения является замыкание магистрали в кольцо. При этом каждый потребитель питается с двух сторон, и обрыв линии не приводит к его обесточиванию. Для линейных магистралей применяют питание с двух сторон. При этом резервируется не только линия, но и источник, при отключении одного питающего пункта для профилактики или ремонта второй питает всех потребителей.

Часто используют комбинацию радиального и магистрального принципов с целью удешевить линии либо обеспечить повышенную надёжность. В жилых кварталах одноэтажной застройки магистральные линии расходятся в разные стороны от трансформаторной подстанции пункта, разветвляясь при этом. К ним подключаются частные дома. В жилых кварталах многоэтажной застройки каждый дом подключается к ТП радиальной линией. Внутри дома по подъездам разводятся магистральные линии для подключения квартир. Внутри квартиры или одноэтажного дома электропроводка разветвляется с помощью разветвительных коробок. Здесь возможны, например, магистрали из розеток (<http://elektrsystem.ru/elektricheskie-sistemy-i-seti/6-klissifikacija-jelektricheskikh-setej.html>; <http://www.ing-proekt.ru/elektroinfo5.html>).

Электрические сети также классифицируются:

- по роду тока;
- номинальному напряжению;
- конструктивному исполнению;
- расположению;
- конфигурации;
- степени резервированности;
- выполняемым функциям;
- характеру потребителей;
- назначению в схеме электроснабжения;
- режиму работы нейтрали.

По роду тока различают сети переменного и постоянного тока. Основное распространение получили сети трехфазного переменного тока.

Однофазными выполняются внутриквартирные сети – как ответвление от трехфазной четырехпроводной сети.

Сети постоянного тока используются в промышленности (электрические печи, электролизные цеха), для питания городского электротранспорта и для передачи энергии на большие расстояния.

Но на постоянном токе работает только ЛЭП: в начале и конце ЛЭП строятся преобразовательные подстанции, на которых происходит преобразование переменного тока в постоянный и обратно. Использование постоянного тока обеспечивает устойчивую параллельную работу генераторов ЭС.

Постоянный ток используется для организации связи электроэнергетических систем. При этом отклонение частоты в каждой системе практически не отражается на передаваемой мощности.

По напряжению согласно ГОСТ сети делятся на сети напряжением до 1000 В и сети напряжением выше 1000 В. Однако в технической литературе встречается деление сетей:

- низких напряжений (220–660 В);
- средних напряжений (6–35 кВ);
- высоких напряжений (110–220 кВ);
- сверхвысоких напряжений (330–750 кВ);
- ультравысоких напряжений (более 1000 кВ).

По конструктивному исполнению различают воздушные и кабельные сети, проводки и токопроводы.

Токопровод – это установка для передачи и распределения электроэнергии, которая используется на промышленных предприятиях. Состоит из неизолированных или изолированных проводников, изоляторов, защитных оболочек и опорных конструкций.

Электропроводки предназначены для выполнения электрических сетей в зданиях.

По расположению сети делятся на наружные и внутренние. Наружные выполняются неизолированными (голыми) проводами и кабелями, внутренние – изолированными проводами.

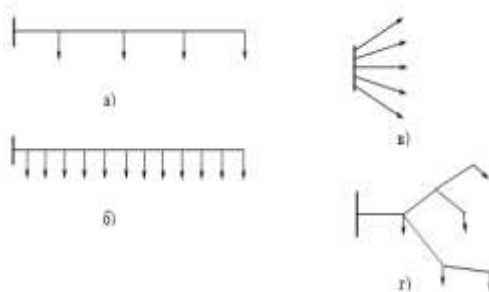
По конфигурации сети делятся на разомкнутые и замкнутые.

Разомкнутые сети питаются от одного источника питания и передают электроэнергию к потребителям только в одном направлении.

Разомкнутые сети бывают магистральными, радиальными и радиально-магистральными (разветвленными) (рисунок 43). В разомкнутых резервированных сетях при нарушении питания по одной из ЛЭП вручную или автоматически включается резервная перемычка, по которой восстанавливается электроснабжение отключенных потребителей.

Рисунок 43 – Виды разомкнутых сетей:

а – магистраль; *б* – линия с равномерно распределенной нагрузкой; *в* – радиальная схема; *г* – радиально-магистральная схема



По степени резервированности сети делятся на нерезервированные и резервированные. Магистральные сети, выполненные одной цепью, являются нерезервированными, так как часть или все потребители теряют питание в зависимости от места повреждения и мест установки коммутационной аппаратуры. Магистральные сети, выполненные двумя цепями, являются резервированными.

По выполняемым функциям различают системообразующие, питающие и распределительные сети.

Системообразующие – это сети напряжением 330 кВ и выше. Выполняют функцию формирования энергосистем, объединяя мощные ЭС и обеспечивая их функционирование как единого объекта управления.

Питающие сети предназначены для передачи электроэнергии от подстанций системообразующей сети и от шин 110–220 кВ ЭС к районным подстанциям.

Распределительная сеть предназначена для передачи электроэнергии на небольшие расстояния от шин низшего напряжения районных ПС непосредственно к потребителям. Такие сети выполняют по разомкнутым схемам.

По характеру потребителей сети делятся на городские, промышленные и сельские.

Городские сети характеризуются высокой плотностью электрических нагрузок (до 12 МВ·А/км²) и большим количеством разнородных потребителей.

К *промышленным* относятся сети промышленных предприятий. Они делятся на сети внешнего и внутреннего электроснабжения. Напряжение зависит от близости к питающей ПС. Если она расположена вблизи предприятия, то напряжение внешнего электроснабжения – 6–10 кВ, а внутреннего – до 1000 В.

Сельские сети (напряжением 0,4–110 кВ) предназначены для питания небольших населенных пунктов, сельскохозяйственных предприятий. Отличаются большой протяженностью и малой плотностью нагрузки (до 15 кВ·А/км²). Сельские сети выполняются, в основном, воздушными ЛЭП по разомкнутым схемам.

По назначению в схеме электроснабжения сети делятся на местные и районные.

Местные сети охватывают площади радиусом до 30 км. Они имеют малую плотность нагрузки и напряжение до 35 кВ включительно. Это сельские, коммунальные и заводские сети. К местным сетям относятся “глубокие вводы” напряжением 110 кВ.

Районные сети охватывают большие районы и имеют напряжение 110 кВ и выше. По ним осуществляется передача электроэнергии от ЭС в места ее потребления (ТКП 385–2012 (02230)). К районным сетям относятся основные сети системы, магистральные ЛЭП внутри-системной и межсистемной связи.

4.7 Воздушные и кабельные линии электропередач

Линии электропередач (ЛЭП) – это сооружение, состоящее из проводов или кабелей, а также опорных, изолирующих и вспомогательных устройств, предназначенное для передачи и распределения электроэнергии (рисунок 44).



Рисунок 44 – Реальное изображение ЛЭП

В простейшем представлении ЛЭП – это проводники, протянутые на большое расстояние, по которым передается электрическая энергия. Возможность передачи электроэнергии обусловлена главным образом большим напряжением, при котором потери при передаче снижаются до приемлемого уровня.

Конструктивно различают воздушные ЛЭП с неизолированными проводами, которые подвешивают над поверхностью земли (воды) на опорах с помощью изоляторов, и подземные (подводные) ЛЭП с электрическими кабелями, прокладываемыми под землёй или под водой.

Напряжение ЛЭП определяется её протяжённостью и передаваемой по ней мощностью: оно может быть низким (до 1 кВ), средним (3–35), высоким (110–220), сверхвысоким (330–1000) и ультравысоким (св. 1000 кВ).

Воздушная линия электропередачи (ВЛЭП) – устройство, предназначенное для передачи или распределения электрической энергии по проводам, находящимся на открытом воздухе и прикрепленным с помощью траверс (кронштейнов), изоляторов и арматуры к опорам или другим сооружениям (мостам, путепроводам). На воздушных линиях обычно применяют алюминиевые и сталеалюминиевые провода (вокруг сердечника из стальных проволок навивают несколько слоёв проволоки из алюминия) (рисунок 45).

Их удельное сопротивление постоянному току в среднем равно $r = 29,1 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{км}$. Активное сопротивление переменному току больше сопротивления постоянному току вследствие поверхностного эффекта, однако для частоты 50 Гц это различие несущественно. Активное сопротивление в электрических схемах ВЛЭП является параметром, определяющим процесс диссипации (рассеивания) энергии в виде отдачи тепла в окружающее пространство.

Конструкция ВЛЭП, её проектирование и строительство регулируются ТКП 339–2011. Устройства и габариты ВЛЭП определяются значением напряжения между проводами. Различают линии низкого – до 1 кВ (чаще всего 0,4 кВ), среднего – 6; 10; 20; 35 кВ и высокого напряжения – 110; 220 кВ и выше.

В ТКП 181–2009 определены наименьшие допустимые расстояния по вертикали и горизонтали от проводов ВЛ до поверхности земли, строений и зелёных насаждений, поверхности рек, автомобильных и



Рисунок 45 – Стале-алюминиевый провод

железных дорог, а также проводов других линий. Для линий напряжением до 1 кВ эти расстояния должны быть не меньше, м:

- по вертикали до земли – 6;
- по горизонтали до глухих стен – 1;
- до балконов, террас, окон – 1,5.

Для ВЛЭП напряжением выше 1 кВ эти расстояния значительно больше.

Опоры. В зависимости от назначения линии, её напряжения, количества проводов и тросов, их расположения, климатических и других условий применяют различные конструкции деревянных, железобетонных или металлических опор.

Для изготовления деревянных опор применяют древесину хвойных пород, при напряжении линии 6 кВ и выше брёвна пропитывают антисептиками заводским способом. Деревянные опоры применяют совместно с железобетонными приставками. Такие опоры служат 25–30 лет. Для крепления изоляторов в деревянные опоры ввинчиваются крюки.

Железобетонные опоры получили широкое распространение из-за долговечности (более 50 лет), стойкости к коррозии, простоты эксплуатации, меньшего расхода металла и меньшей стоимости по сравнению с металлическими опорами.

Металлические опоры применяются на ВЛ напряжением 110, 220 и 330 кВ в качестве анкерных и угловых, а на ВЛ напряжением 500 кВ и выше – во всех случаях. Металлические опоры изготавливают на заводах в виде набора отдельных секций с отверстиями для болтовых соединений и собирают на месте установки.

Изоляторы. На ВЛЭП применяют стеклянные и керамические (фарфоровые) изоляторы, штыревые и подвесные. При напряжениях до 35 кВ включительно применяют штыревые изоляторы, а при больших – подвесные, из которых изготавливают гирлянды. Изоляторы должны отличаться высокой механической и электрической прочностью, а также теплостойкостью, т. к. они подвергаются изменению температуры воздуха.

Провода. На ВЛЭП до 1 кВ могут применяться одно- и многопроволочные провода, на ВЛ выше 1 кВ – как правило, многопроволочные неизолированные провода (алюминиевые, из алюминиевого сплава, биметаллические сталеалюминиевые, стальные).

Кабельные линии электропередач представляют собой линии, которые предназначены для передачи электроэнергии, которая состоит из кабелей (один или несколько параллельных), соединительных, стопорных и концевых муфт, крепежных деталей.

Классификация кабельных линий электропередач аналогична классификации воздушных линий. По условиям прохождения по месту кабельные линии электропередач бывают: по сооружениям, подземные, подводные.

Обычно кабельные линии электропередач используют для прокладки в тех местах, где строительство воздушных линий невозможно или затруднено в силу объективных причин (рисунок 46). Их прокладка возможна и на территориях промышленных предприятий, и в городах, и в дачных или коттеджных поселках. Основным преимуществом таких линий перед воздушными считается прокладка закрытого типа, которая надежно защищает кабельные линии электропередач от различных атмосферных воздействий, и высокая степень надежности, безопасности в процессе эксплуатации. Данные преимущества позволяют широко применять кабельные линии в сетях как внешнего, так и внутреннего энергоснабжения.

Силовые кабели различают:

- по роду металла токопроводящих жил: кабели с алюминиевыми и медными жилами;
- роду материалов, которыми изолируются токопроводящие жилы: кабели с бумажной, пластмассовой и резиновой изоляцией;
- роду защиты изоляции жил кабелей от влияния внешней среды: кабели в металлической, пластмассовой и резиновой оболочке;
- способу защиты от механических повреждений: бронированные и небронированные;
- количеству жил: одно-, двух-, трёх-, четырёх- и пятижильные.

Токопроводящие **жилы** изготавливают однопроволочными и многопроволочными. Алюминиевые жилы сечением до 35 мм^2 изготавливают однопроволочными, $50\text{--}240 \text{ мм}^2$ – как одно-, так и многопроволочными, $300\text{--}800 \text{ мм}^2$ – многопроволочными. Медные жилы сечением до 16 мм^2 включительно изготавливают однопроволочными, $25\text{--}95 \text{ мм}^2$ – как одно-, так и многопроволочными, $120\text{--}800 \text{ мм}^2$ – многопроволочными.



Рисунок 46 – Прокладка кабельных линий в земляных и каменных траншеях с подсыпкой снизу

Изоляция обеспечивает необходимую электрическую прочность токопроводящих жил по отношению друг к другу, а также к заземлённой оболочке или земле. Применяется бумажная, резиновая и пластмассовая (поливинилхлоридная и полиэтиленовая) изоляция. В последнее время всё шире применяется изоляция из сшитого полиэтилена.

Оболочки. Алюминиевая, свинцовая, стальная гофрированная, пластмассовая или резиновая негорючая (наиритовая) оболочка кабеля предохраняет внутренние элементы кабеля от разрушения влагой, кислотами, газами и т. д. В некоторых случаях алюминиевую оболочку допускается использовать в качестве четвёртой (нулевой) жилы. Силовые кабели в свинцовой оболочке применяются в особых случаях (для подводных линий и в шахтах).

Защитные покровы предохраняют оболочки кабелей от внешних воздействий (коррозии, механических повреждений). К ним относятся подушка, бронепокров и наружный покров. В зависимости от конструкции кабеля применяют один, два или три защитных покрова.

Броня из стальных лент или проволок служит для защиты оболочки кабеля от механических повреждений. Проволочная броня воспринимает растягивающие усилия, которые возникают при прокладке кабеля по вертикальным, крутонаклонным трассам или по болотам. Для предохранения брони от коррозии её покрывают наружным покровом, выполненным из слоя кабельной или стеклянной пряжи, пропитанной битумным составом, а в некоторых случаях поверх слоёв пряжи и битума накладывают выпрессованный поливинилхлоридный или полиэтиленовый шланг.

Монтаж кабельных линий электропередач выполняется в четком соответствии с проектной и технической документацией. При разработке необходимой документации следует учитывать все факторы, влияющие на строительство линий электропередач (особенности трассы, рельефа, результаты геодезических изысканий и прочее), а также условия их эксплуатации. Прокладка кабелей осуществляется в специальных кабельных сооружениях, к которым относятся *кабельные туннели, каналы, шахты, кабельный этаж*.

К кабельным сооружениям линий электропередач относятся также *кабельные блоки, двойной пол, кабельная камера, кабельная эстакада, кабельная галерея*.

4.8 Трансформаторные подстанции

Трансформаторная подстанция – электроустановка, предназначенная для приема, преобразования (повышения или понижения) напряжения в сети переменного тока и распределения электроэнергии в системах электроснабжения потребителей (рисунок 47). Состоит из силовых трансформаторов, распределительных устройств первичного и (или) вторичного напряжения, устройства автоматического управления и защиты, а также вспомогательных сооружений.

Трансформаторные подстанции классифицируются на *повышающие и понижающие*.

Повышающие трансформаторные подстанции (сооружаемые обычно при электростанциях) преобразовывают напряжение, вырабатываемое генераторами, в более высокое напряжение (одного или нескольких значений), необходимое для передачи электроэнергии по линиям электропередачи (ЛЭП).

Понижающие трансформаторные подстанции преобразуют первичное напряжение электрической сети в более низкое вторичное. В зависимости от назначения и от величины первичного и вторичного напряжений подразделяются на районные, главные понижающие и потребительские.

Районные трансформаторные подстанции принимают электроэнергию непосредственно от высоковольтных ЛЭП и передают её на главные понижающие трансформаторные подстанции, а те (понижив напряжение до 6, 10 или 35 кВ) – на местные и цеховые подстанции, на которых осуществляется последняя ступень трансформации (с понижением напряжения до 690, 400 или 230 В) и распределение электроэнергии между потребителями ([http://ru.wikipedia.org/wiki/ Комплектная трансформаторная подстанция](http://ru.wikipedia.org/wiki/Комплектная_трансформаторная_подстанция)).

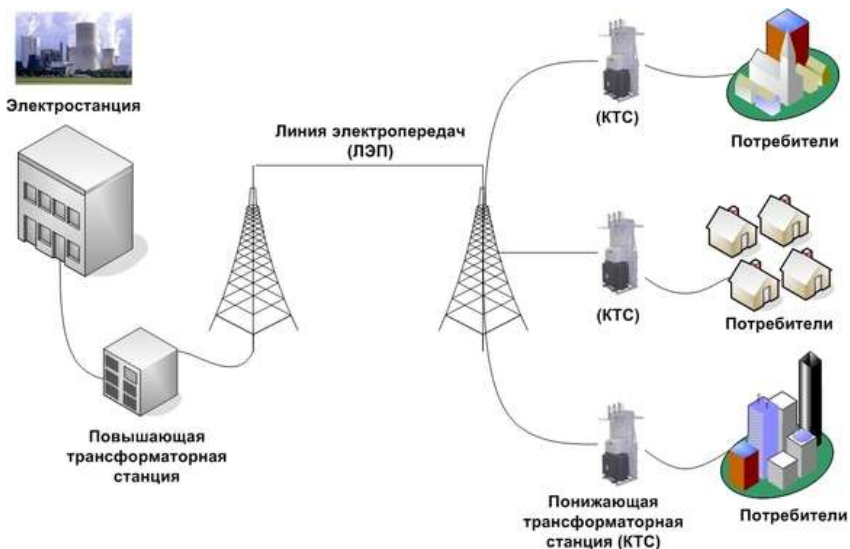


Рисунок 47 – Общая схема установки трансформаторных подстанций
(www.sil-trans-form.ru)

В настоящее время как для промышленных, так и для общественных зданий и сооружений используются в качестве основных источников электроснабжения трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ, получающие питание от высоковольтных сетей энергосистемы.

Среди трансформаторных подстанций выделяют стационарные, комплектные блочной конструкции и мобильные.

По конструктивному исполнению *стационарные трансформаторные подстанции* подразделяются на закрытые, расположенные в закрытых помещениях, открытые (оборудование которых устанавливается на открытом воздухе).

Комплектные трансформаторные подстанции блочной конструкции изготавливают для внутренней (КТПВ) и наружной (КТПН) установок (рисунок 48). Последние представляют собой сборный корпус с тремя отсеками: для аппаратуры – 6–10 кВ, силового трансформатора, распределительного устройства – 0,4 кВ.

В качестве примера на рисунке 48 приведена блочно-модульная комплектная трансформаторная подстанция наружной установки (БКТП) белорусского производства, предназначенная для приёма,

транзита электрической энергии трёхфазного переменного тока частотой 50 Гц, напряжением 10(6) кВ, преобразования её на напряжение 0,4 кВ и распределения среди потребителей.



Рисунок 48 – Внешний вид блочно-модульной комплектной трансформаторной подстанции

(www.legir.by/sitefiles/2/142/1489/1493/1494/katalog.pdf) (18.05.2012)

Мобильные трансформаторные подстанции проектируются комплектными и часть из них – это блок-контейнеры из стали без ходовой части, в которых размещено оборудование и установлен один или два трансформатора. Для питания некоторых электроприемников строительных площадок используют передвижные трансформаторные подстанции, монтируемые на железнодорожных платформах, автоприцепах и т.д. Они обеспечивают работу экскаваторов, земснарядов и другого строительного оборудования (<http://www.e3.by/plans/5/> Трансформаторные подстанции 6, 10/0,4 кВ).

5 ВРЕМЕННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК

5.1 Общие положения по расчету мощности, потребляемой строительной площадкой

Электрическая энергия является основным видом энергии на строительных площадках. Она используется для приведения в действие электродвигателей строительных машин, для электросварки, освещения строительных площадок, технологических целей (электропрогрев бетона, оттаивание мерзлого грунта и др.).

Проект электроснабжения строительства разрабатывают в следующем порядке: выполняют расчет мощности источников электроэнергии, необходимой для удовлетворения потребностей строительства на разных его стадиях; выбирают источники электроэнергии; проектируют электросети. При этом определяют напряжение высоковольтных и низковольтных сетей, количество, мощность, типы и расположение трансформаторных подстанций, марки и сечения проводов.

Мощность источников электроэнергии при разработке проектов организации строительства определяют по укрупненным показателям на 1 млн руб. сметной стоимости годового объема строительно-монтажных работ по различным отраслям промышленности с учетом особенностей района строительства. *Необходимую электрическую мощность определяют расчетным путем.* Примерная блок-схема для расчета электроснабжения строительной площадки приведена на рисунке 49.

Полученные на основании укрупненных показателей данные о потребной мощности источников электроэнергии можно использовать ориентировочно при проектировании временного электроснабжения строительства. Более точный подсчет можно сделать лишь после выявления электрических нагрузок токоприемников (электродвигатели, сварочная аппаратура, осветительная, технологическая и другие виды нагрузок).

При разработке проекта электроснабжения площадки на стадии проекта производства работ потребную мощность источников электроэнергии (кВ·А) определяют по формуле

$$P = \Sigma p_{1i} + \Sigma p_{2i} + \Sigma p_{3i} + \Sigma p_{4i} + \Sigma p_{5i} . \quad (57)$$

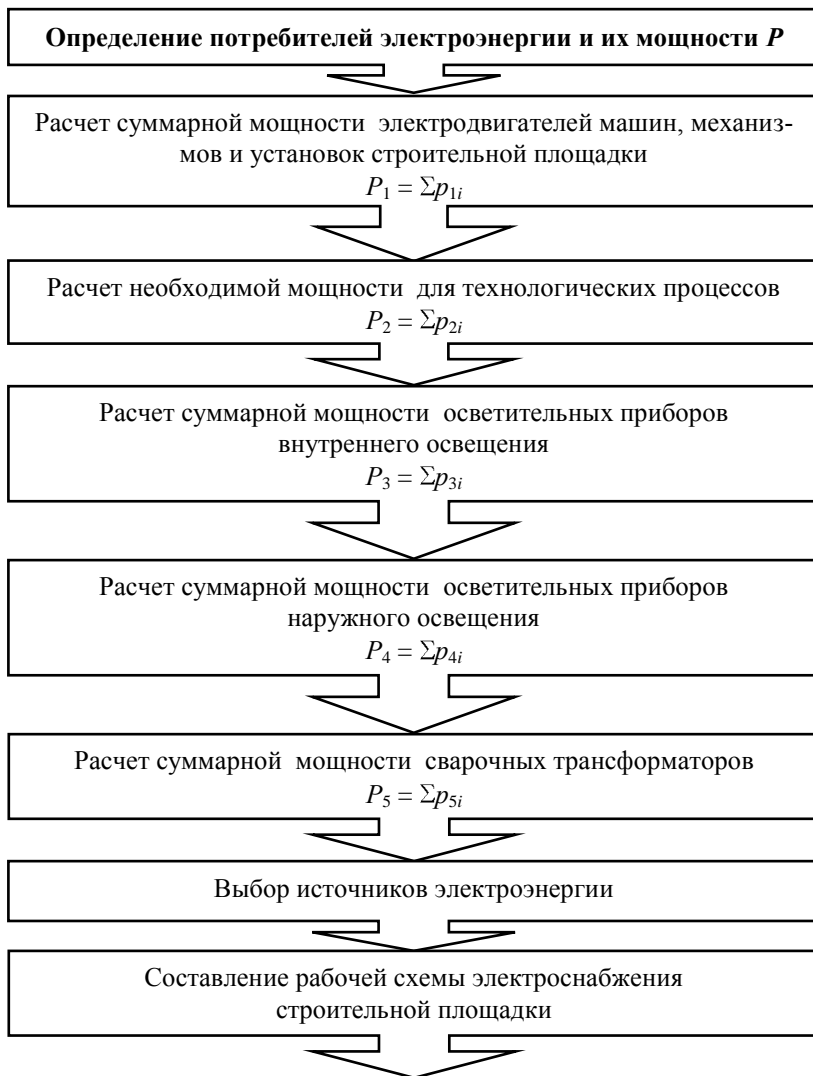


Рисунок 49 – Блок-схема электроснабжения строительной площадки
(<http://www.stroylist.ru/doc/pic/Image29774.gif>)

Необходимые данные об установленной мощности электродвигателей строительных машин приведены в технических характеристиках этих машин, а мощности, необходимые для технологических целей, определяют в проекте производства работ в зависимости от характера, вида и объема производимых работ. Если известна сменная или часовая интенсивность работ, можно ориентировочно определить требуемую мощность на технологические нужды, пользуясь укрупненными удельными расходами электроэнергии для этих целей.

Потребную мощность для наружного и внутреннего освещения определяют по нормам на 1 м² площади фронта работ или помещений, на 1 м проездов и т. п. После определения потребной мощности выбирают источники питания строительных площадок электроэнергией.

5.2 Проектирование электроснабжения промышленных и административных объектов

Подключение сложного электротехнического оборудования к электросети требует профессионального подхода. Проектированием электроснабжения на предприятии должен заниматься главный энергетик, который проводит полный анализ электротехнического оборудования на предприятии, а также разрабатывает техническую документацию с указанием требуемого силового электрооборудования, способа прокладки кабелей, расчета токов короткого замыкания, расчета электронагрузок, схемы электроснабжения всего предприятия или отдельного его участка.

Если установка электротехнического оборудования планируется в новом здании, будет спроектировано наружное и внутреннее освещение постройки, заземление и молниезащита, а также схема коммерческого учета электроэнергии.

Проектирование временного электроснабжения должно отвечать следующим требованиям: оптимальное соотношение цены и качества; возможность электроснабжения всех объектов строительства; надежность системы снабжения электричеством; выработка нужного объема электроэнергии с заданными параметрами; возможность перевозки источника энергии с одного производственного/ строительного объекта на другой; экономичность электроснабжения; надежность электрических сетей; использование доступного на стройплощадке топлива (газ, бензин, дизель и т.д.).

Надежность сетей гарантируется за счет выбора наиболее совершенных электроаппаратов, трансформаторов, кабелей и проводников. При проектировании электроснабжения необходимо учитывать соответствие электронагрузок (как в нормальном, так и в аварийном режиме) номинальным нагрузкам соответствующих элементов, а также наличие структурного резервирования и секционирование электросети.

Монтаж электросетей для повышения или понижения мощности подстанций в системах электрического снабжения сопряжен с большими материальными затратами. Поэтому во время проектирования нужно провести детальный анализ экономичности различных проектных решений (http://www.eneca.by/ru_design_electric/).

Проектирование электросетей должно осуществляться с учетом требований, перечисленных в действующей нормативно-технической документации:

- ПУЭ (Правила устройства электроустановок) (6-е изд.).
- ТКП 339–2011. Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электро-силовые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий. Правила устройства и защитные меры электробезопасности. Учет электроэнергии. Нормы приемо-сдаточных испытаний.
- ТКП 336–2011. Молниезащита зданий, сооружений и инженерных коммуникаций.
- ТКП 45-4.04-149–2009. Системы электрооборудования жилых и общественных зданий.
- СНиП II-35–76. Нормы проектирования. Котельные установки (с учетом Изм. 1–6).
- П1-03 к СНиП II-35–76. Проектирование автономных и крышных котельных (с учетом Изм. 1).
- СН 357–77. Инструкция по проектированию силового и осветительного электрооборудования промышленных предприятий.
- СН 174–75. Инструкция по проектированию электроснабжения промышленных предприятий (с учетом Изм. 1).
- ГОСТ 30331.1–15. Электроустановки зданий.
- СНиП 3.05.06–85. Электротехнические устройства.
- ТКП 45-2.04-153–2009. Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы проектирования.

- СН 541–82. Инструкция по проектированию наружного освещения городов, поселков и сельских населенных пунктов.
- СНиП II-11–77. Защитные сооружения гражданской обороны.
- ТКП 45-3.01-155–2009. Генеральные планы промышленных предприятий.
- ТКП 181–2009. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей.
- МПОТ (Межотраслевые правила по охране труда при работе в электроустановках): Постановление Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь и Министерства энергетики Республики Беларусь, 30.12.2008, № 205/59.
- Нормы технологического проектирования электротехнической части котельных при установке на них генерирующих мощностей.
- НПБ 5–2005. Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
- РСН 8.03.208–2007. Ресурсно-сметные нормы на монтаж оборудования. Сб. 8. Электротехнические установки.

5.3 Определение места расположения и выбор трансформаторной подстанции

Наиболее рационально использовать в период строительства сети и устройства, предусмотренные проектом постоянного электроснабжения. Это позволит в значительной мере сократить протяженность сетей и стоимость временного электроснабжения.

До начала строительства целесообразно сооружать трансформаторные подстанции и ответвления от высоковольтной сети. Подстанции могут быть стационарные, предусмотренные проектом постоянного электроснабжения строящегося промышленного предприятия, жилого поселка, микрорайона, градостроительного комплекса и т. п., или временные.

Питание трансформаторов, обслуживающих строительные площадки, производится обычно от сетей напряжением 6 и 10 кВ, напряжение на низкой стороне 380/220 В.

Если невозможно осуществлять электроснабжение строительных площадок от высоковольтной сети или такое решение экономически нецелесообразно (например, при большой удаленности строительства от линии электропередачи), для электроснабжения используют временные передвижные электростанции (ПЭС). Иногда целесооб-

разно применять смешанный вариант электроснабжения, когда, например, основные строительные объекты на площадке обслуживаются от постоянных сетей, а удаленные от строительной площадки объекты – от временных передвижных электростанций. Последние используют также для электроснабжения строительства в начальный его период до того времени, когда будет обеспечено электроснабжение от основного источника.

Учет расхода электроэнергии на строительстве в целом, а также на отдельных его подразделениях (строительные участки, предприятия и др.) осуществляется счетчиками, устанавливаемыми в трансформаторной подстанции. За электроэнергию обычно платят по двухставочному и двухставочно-дифференцированному по зонам суток тарифам на активную электрическую мощность и энергию с основной платой за фактическую величину наибольшей потребляемой активной мощности в часы максимальных нагрузок энергосистемы.

Такая система оплаты стимулирует использование электроэнергии наиболее экономно (<http://askue.energosbyt.by/askue14.html>).

Комплектные трансформаторные подстанции (КТП) предназначены для приёма, преобразования и распределения электрической энергии трёхфазного переменного тока частотой 50 Гц, для электроснабжения отдельных населённых пунктов, небольших промышленных объектов и прочих потребителей электроэнергии, относящихся к III категории по надёжности электроснабжения.

Потребительские трансформаторные подстанции выпускают комплектные мощностью от 25 до 250 кВА напряжением 10 кВ, а в отдельных случаях и до 1000, 1600, 2500 кВА напряжением не только 10, но и 6 кВ (ТУ РБ 00457969.016–97).

КТП представляет собой трансформаторную подстанцию с одним трансформатором, с воздушными или кабельными вводами высокого напряжения, воздушными или кабельными выводами низкого напряжения. Принципиальная электрическая схема подключения КТП представлена на рисунке 50.

КТП имеет следующие составные части:

- устройство со стороны высшего напряжения (УВН);
- распределительное устройство со стороны низшего напряжения (РУНН);
- трансформатор силовой наружной установки;
- площадка для обслуживания шкафа РУНН;

– разъединитель наружной установки.

КТП подключается к ЛЭП 10 кВ посредством разъединителя наружной установки, который устанавливается на ближайшей от КТП опоре ЛЭП. Разъединитель имеет стационарные заземляющие ножи со стороны КТП.

В целях обеспечения безопасной работы обслуживающего персонала и исключения ошибочных переключений на подстанции установлены защитные и блокировочные устройства.

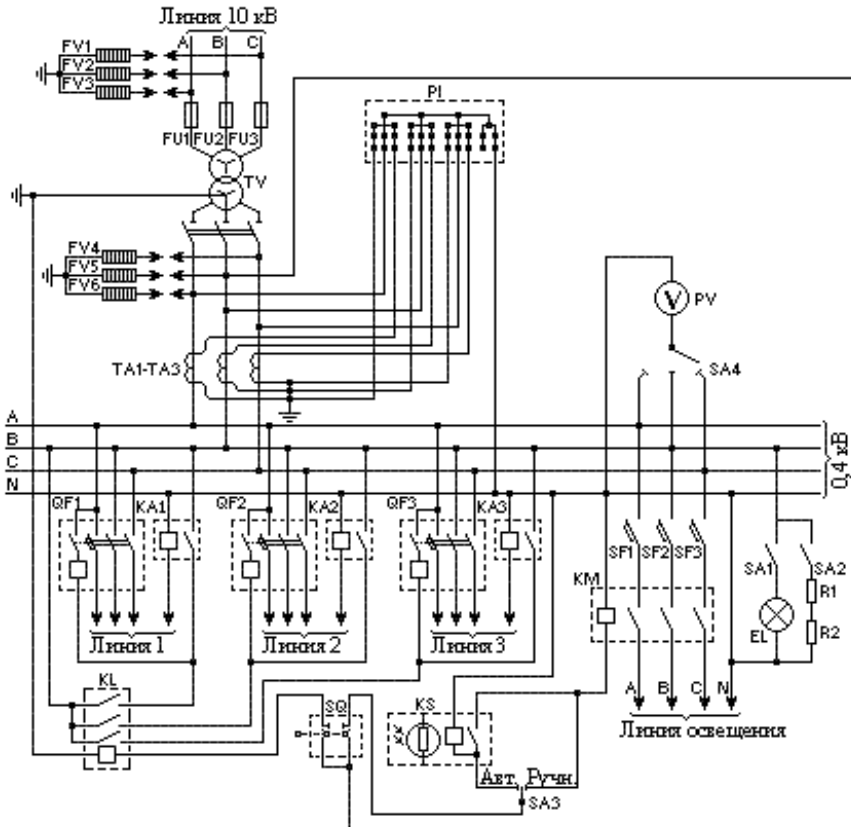


Рисунок 50 – Схема электрическая принципиальная подключения трансформаторной подстанции

Источники электроснабжения строительных площадок подразделяются на стационарные и автономные (передвижные электростанции).

Предпочтительным является питание от стационарного источника (районных электрических сетей). Для преобразования напряжения и распределения электрической энергии от стационарного источника электроснабжения до потребителей строительной площадки применяются трансформаторные подстанции, мощность которых выбирается по расчетной нагрузке и с учетом рекомендуемых коэффициентов загрузки в зависимости от категории надежности электроснабжения питаемых электроприёмников. Для повышения надежности электроснабжения на подстанции устанавливают два трансформатора, чтобы при выходе из строя одного из них другой смог бы обеспечить нагрузку строительной площадки. В этом случае мощность каждого из них определяется как

$$S_T = 0,65 S_{\text{стр.пл.}} \quad (58)$$

Как правило, трансформаторные подстанции необходимы для понижения напряжения линии электропередачи (6, 10 или 35 кВ) до рабочего напряжения строительных машин и механизмов – 0,4 кВ. По конструктивному выполнению различают открытые, закрытые и передвижные трансформаторные подстанции. На строительных площадках используются комплектные трансформаторные подстанции: КТП – для внутренней установки (закрытые) и КТПН – для наружной установки (открытые).

Размещать КТПН рекомендуется с максимальным приближением к центру питаемых нагрузок. Трансформатор (или передвижную электроустановку) следует размещать на стройплощадке вне опасной зоны крана.

В случае, когда объект расположен далеко от стационарного источника электроэнергии, а строительные работы необходимо форсировать, или когда стационарный источник электроснабжения не может обеспечить нужной мощностью, а также когда строительной площадке необходим резервный источник питания используется автономный источник питания.

Схемы электроснабжения (распределения электроэнергии на строительной площадке) представляют собой различные сочетания питающих, магистральных и радиальных линий.

Питающие линии предназначены для передачи электроэнергии от источника питания до трансформаторной подстанции (ТП) или

от трансформаторной подстанции до распределительного пункта или отдельного электроприемника.

Магистральные линии предназначены для передачи электроэнергии к нескольким распределительным пунктам или к электроприемникам, присоединенным к линии в разных точках.

Радиальные линии предназначены для передачи электроэнергии отдельному электроприемнику или потребителю по отдельной питающей линии, идущей от трансформаторной подстанции или распределительного пункта.

В общем комплексе электроснабжения строительных площадок следует применять комбинированные схемы – магистральные и радиальные: распределение электроэнергии между участками объекта осуществляется магистральными линиями, каждая из которых питает ряд распределительных пунктов, а от этих пунктов к электроприемникам отходят радиальные линии. Другим вариантом комбинированной схемы электроснабжения строительных площадок является распределение электроэнергии среди крупных потребителей по радиальным линиям, а среди мелких потребителей – по магистральным (рисунок 51).

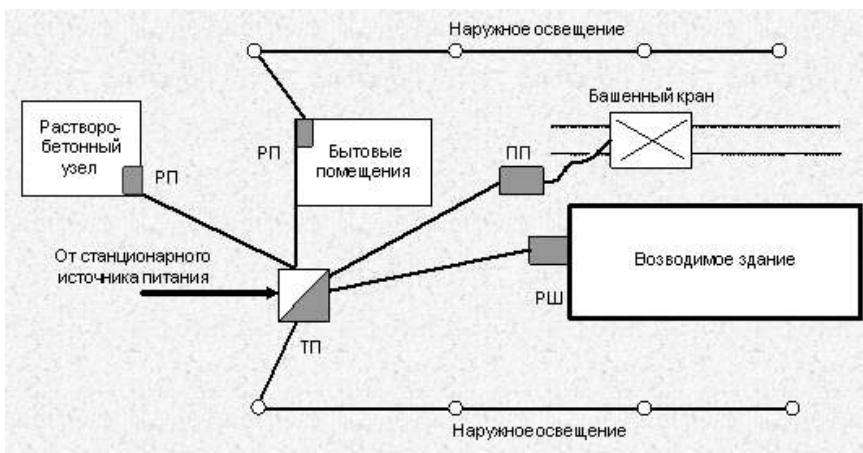


Рисунок 51 – Комбинированная схема электроснабжения строительной площадки: ТП – трансформаторная подстанция; РШ – распределительный шкаф; ПП – пункт подключения; РП – распределительный пункт (http://edu.dvgups.ru/METDOC/ITS/STRPRO/UPR_STR/METOD/UHCEB_POS/Genplan_6.htm)

5.4 Электрические сети строительных площадок

Распределение электроэнергии на строительных площадках осуществляется посредством воздушных и кабельных линий электропередачи. При этом предпочтение следует отдавать воздушным линиям, так как кабельные значительно дороже. Кабельные линии применяются только в тех случаях, когда питание по воздушным линиям трудновыполнимо. В опасных зонах строительных машин и механизмов следует использовать только кабельные линии (для питания башенного крана, электроинструмента и т. п.).

На строительных площадках наибольшее распространение получила четырехпроводная электрическая сеть с системой напряжений 380/220 В. К такой четырехпроводной сети можно подключать и трехфазную силовую нагрузку на 380 В, и осветительную нагрузку на 220 В. В сетях 6, 10, 35 кВ применяются трехпроводные линии.

Электрические сети для освещения и силового электрооборудования рекомендуется выполнять раздельными.

Воздушная линия электропередачи для питания силовых электроприемников выполняется из голых (неизолированных) проводов, которые прокладываются на опорах (деревянных или железобетонных) при помощи изоляторов и арматуры. При выборе трассы воздушной линии электропередачи следует стремиться к тому, чтобы она была по возможности прямой.

По условиям механической прочности на ВЛ могут применяться алюминиевые провода марки А с площадью сечения не менее 16 мм² и сталеалюминиевые провода марки АС с площадью сечения не менее 10 мм².

Электрические сети для наружного освещения (осветительные установки любых открытых пространств и наружных частей зданий и сооружений) могут выполняться голыми медными или алюминиевыми проводами с минимальным сечением 6 или 16 мм² соответственно. Провода наружного освещения могут прокладываться на тех же опорах, что и провода ВЛ.

Электрические сети для внутреннего освещения (осветительные установки помещений зданий различного назначения) могут выполняться изолированными медными или алюминиевыми проводами с минимальным сечением 2,5 или 4 мм² соответственно.

Рекомендации для выбора той или иной схемы групповой линии зависят от протяженности, количества светильников, их расположения [22].

Для питания передвижных механизмов, применяемых в строительном производстве, при переменном трехфазном напряжении до 0,66 кВ используют трехжильные шланговые (переносные) кабели с резиновой изоляцией: повышенной гибкости с медными жилами или силовые гибкие с алюминиевыми жилами.

Для прокладки в земле применяются силовые бронированные кабели преимущественно с алюминиевыми жилами в алюминиевой оболочке.

Кабели следует прокладывать в земляной траншее глубиной 800 мм на подсыпку из просеянной земли. На трассе, где возможны механические повреждения кабелей, их защищают кирпичами или бетонными плитами. Кабели укладывают слегка волнистой линией (змейкой) для некоторого запаса в длине на растяжение при сдвигах почвы.

Наименьшее расстояние (по горизонтали) между силовым кабелем и подземными сетями водопровода, канализации, водостоков, кабелей связи принимается 0,5 м. Силовые кабели должны укладываться в трубах на всем протяжении сближения с сетями.

5.5 Выбор сечения проводов и жил кабелей

При выборе и проверке проводов или кабелей для временного электроснабжения строительной площадки используются различные методики [24]. Обычно рекомендуется выбор сечений проводов и кабелей производить по следующим *двум факторам: допустимому нагреву и допустимой потере напряжения*. Из двух величин сечения, определенных по указанным факторам, выбирают большее, округляя его до ближайшего стандартного сечения. Причем для воздушных линий, как правило, решающим фактором для выбора сечения является величина расчетной нагрузки и протяженность электрической сети, а для переносных шланговых кабельных линий электропроводок и подземных кабельных линий небольшой протяженности – допустимый нагрев.

Нагрев проводов вызывается прохождением по ним расчетного тока I_p , который должен быть меньше предельно допустимого ($I_p < I_{доп}$).

Для трехфазной сети при равномерной нагрузке фаз расчетный ток I_p определяется по формуле

$$I_p = S_p / \sqrt{3} \cdot U_n, \quad (59)$$

где S_p – расчетная полная мощность нагрузки трех фаз, кВт·А,

$$S_p = P_p / \cos\varphi; \quad (60)$$

U_n – номинальное линейное напряжение сети, кВ (принимается при 220 В $U_n = 0,22$, а при 380 В $U_n = 0,38$).

Отдав предпочтение материалу проводов (для воздушных линий) или токопроводящих жил (для кабелей), по справочным данным выбирается соответствующее сечение провода или жилы кабеля с учетом того, чтобы допустимый ток на выбранное сечение был больше или равен расчетному. Допустимые значения $I_{доп}$ (например, для кабелей с медными жилами и бумажной пропитанной изоляцией, в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемые в земле/воздухе) приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Допустимые длительные токовые нагрузки (по нагреву)

В амперах

Площадь сечения жилы, мм ²	Двухжильные кабели до 1 кВ	Трехжильные кабели до 3 кВ	Четырехжильные кабели до 1 кВ
2,5	45/30	40/28	–
4	60/40	55/37	50/35
6	80/55	70/45	60/45
10	105/75	95/60	85/60
16	140/95	120/80	115/80
25	185/130	160/105	150/100
35	225/150	190/125	175/120
50	270 /185	235/155	215/145
70	325/225	285/200	265/185
95	380/275	340/245	310/215
150	500/375	435/330	395/300

Допустимые отклонения напряжения от номинального у различных электроприёмников следующие: на зажимах электродвигателей – не более ± 5 %; снижение напряжения у наиболее удаленных прожекторных установок – не более 2,5 %, а у наиболее удаленных ламп светильников наружного освещения – не более 5 %.

Далее выбранное сечение проверяется на потерю напряжения по формулам, приведенным для однофазных и трёхфазных потребителей. При необходимости сечение увеличивается.

В настоящее время все чаще применяются кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (рисунок 52).



Рисунок 52 – Конструкции силовых кабелей

<http://www.realty-information.ru/stroyka-i-remont/228-konstruc-silov-kabel.html>
29.03.2012)

Маркировка. Проводники, принадлежащие разным фазам, маркируют разными цветами. Разными цветами маркируют также нейтральный и защитный проводники. Это делается для обеспечения надлежащей защиты от поражения электрическим током, а также для удобства обслуживания, монтажа и ремонта электрических установок и электрического оборудования. В разных странах маркировка проводников имеет свои различия. Однако многие страны придерживаются общих принципов цветовой маркировки проводников, изложенных в стандарте Международной Электротехнической Комиссии МЭК 60445:2010.

5.6 Временное электроснабжение стройплощадки

Общие требования к проектированию временного электроснабжения строительной площадки (http://ru.pgs.wikia.com/wiki/Временное_водо_и_электроснабжение_стройплощадки):

- обеспечение электроэнергией в необходимом количестве и качестве;
- гибкость электрической схемы, т.е. возможность питания потребителя на всех участках строительства;
- надежность электропитания;
- минимум затрат на временное устройство и минимальные потери в сети.

Порядок проектирования:

- проводят расчет электронагрузок;
- определяют количество и мощность трансформаторных подстанций;
- выявляют объекты первой категории, которые требуют резервного электропитания (электропрогрев, водоснабжение и т.д.);
- располагают на стройгенплане трансформаторные подстанции, силовые и осветительные сети;
- составляют схему электроснабжения площадки.

Расчет электрических нагрузок выполняют:

- по удельной электрической мощности (в составе проекта организации строительства);
- установленной мощности токоприемников (в составе проекта производства работ (ППР)).

В основу первого метода приняты статистические данные о расходе электрической энергии на 1 млн руб. годового объема строительно-монтажных работ. Он зависит от вида строительства и его отраслевой структуры. При проектировании ППР расчет выполняют по установленной мощности отдельного потребителя (по каждой машине). Расход принимают для обеспечения работы строительных машин. Расчет складывается из нужд на выполнение строительных и монтажных работ (электропрогрев, электровибратор, перфораторы, электрорубанки и т.п.), для наружного освещения стройплощадки и для внутреннего освещения.

Итоговый расчет выполняют по следующей формуле:

$$P = 1,1(\Sigma (P_T K_T / \cos\varphi) + \Sigma (P_{\text{СМР}} K_{\text{СМР}} / \cos\varphi) + \Sigma (P_{\text{ОВ}} K_{\text{ОВ}}) + \Sigma P_{\text{ОН}}, \quad (61)$$

где 1,1 – коэффициент, учитывающий потери в сети;

P_T , $P_{\text{СМР}}$, $P_{\text{ОВ}}$, $P_{\text{ОН}}$, – работа соответственно техники, на СМР, внутреннего освещения, наружного освещения;

K – коэффициенты спроса, зависящие от количества потребителей (выбираем в максимальной фазе потребности);
 $\cos\varphi$ – коэффициент мощности, зависящий от количества и загрузки силовых потребителей.

Например, для наиболее распространенных потребителей электроэнергии коэффициенты K и $\cos\varphi$ имеют следующие значения: башенный кран – $K = 0,7$, $\cos\varphi = 0,5$; установки электропрогрева – $K = 0,5$, $\cos\varphi = 0,85$; наружное электроосвещение – $K = 1,0$, $\cos\varphi = 1,0$; внутреннее электроосвещение $K = 0,8$, $\cos\varphi = 1,0$.

Мощность потребителей электроэнергии определяется для силовых установок или технологических процессов по справочникам и каталогам. Для устройств освещения внутреннего и наружного – по удельным потребительным показателям мощности на освещаемую площадь.

Источниками электроснабжения являются трансформаторные подстанции стационарного или передвижного типа. Стационарные сооружают в подготовительный период строительства. Передвижные подстанции используют на объектах, не имеющих постоянного электропитания. Передвижные бывают средней мощности до 100 кВт или с дизельным двигателем до 1000 кВт.

Схема временного электроснабжения включает: источники электроснабжения, потребителей электроэнергии, силовые пункты, распределительные сети.

Обычно проектируют сети замкнутого контура, а также радиального или смешанного типа.

6 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ДВИГАТЕЛИ

6.1 Трёхфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором

Асинхронный электродвигатель (АЭД) предназначен для преобразования электрической энергии в механическую. Принцип работы АЭД основан на взаимодействии вращающегося магнитного поля, возникающего при прохождении трёхфазного переменного тока по обмоткам статора, с током, индуцированным полем статора в обмотках ротора, в результате чего возникают механические усилия, заставляющие ротор вращаться в сторону вращения магнитного поля при условии, что частота вращения ротора n меньше частоты вращения поля n_1 . Таким образом, ротор совершает асинхронное вращение по отношению к полю.

На рисунке 53 приведен вид асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в разрезе: 1 – станина (корпус); 2 – обмотка статора; 3 – сердечник ротора с короткозамкнутой обмоткой; 4 – сердечник статора; 5 – вал.

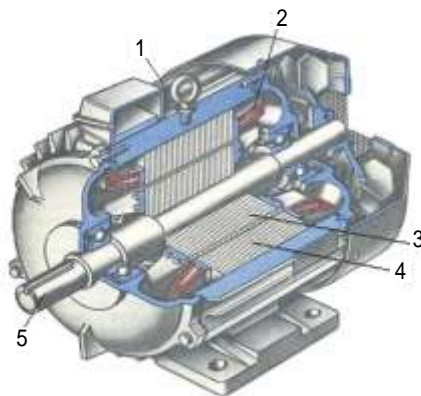


Рисунок 53 – Асинхронный двигатель переменного тока

Корпус АЭД защищает статор и ротор от механических повреждений и служит для крепления в нем подвижной и неподвижной частей АЭД.

Статор (неподвижная часть) асинхронного двигателя представляет собой полый цилиндр, собранный из пластин электро-технической стали, изолированных друг от друга слоем лака. В пазах на внутренней стороне статора размещаются три фазных обмотки, которые соединяются между собой звездой или треугольником и подключаются к трёхфазной сети. Обмотки сдвинуты в пространстве. Токи фазных обмоток сдвинуты по фазе на треть периода, т. е. на 120° (электрических). Они возбуждают вращающееся магнитное поле с числом пар полюсов p , равным числу катушечных групп в каждой фазной обмотке.

Поле вращается с частотой

$$n_1 = \frac{60f_1}{p}, \quad (62)$$

где f_1 – частота питающего тока, Гц.

При частоте тока $f_1 = 50$ Гц и числе пар полюсов $p = 1$ частота вращения магнитного поля составляет 3000 об/мин. Такие двигатели называют быстроходными. При числе пар полюсов, равном 2 и 3, частота вращения магнитного поля равна соответственно 1500 и 1000 об/мин. Это двигатели средней скорости. При числе пар полюсов 4 и более частота вращения составляет 750 и менее оборотов в минуту. Это тихоходные двигатели.

Ротор (подвижная часть) асинхронного двигателя представляет собой цилиндрический сердечник, собранный из пластин электро-технической стали, изолированных друг от друга слоем лака. В пазах ротора располагаются стержни из меди или алюминия, по торцам соединённые кольцами из того же материала (беличья клетка). Часто короткозамкнутая обмотка изготавливается путём заливки пазов ротора расплавленным алюминием.

Силовые линии вращающегося магнитного поля пересекают проводники роторной обмотки, наводя в них электродвижущие силы (ЭДС). Так как ротор короткозамкнутый, то эти ЭДС создают в нём токи. Частота и сила токов тем больше, чем больше скорость пересечения. Вращающееся магнитное поле, взаимодействуя с наводимыми токами, тянет их за собой, увлекает ротор и приводит его во

вращение с частотой

$$n = n_1(1 - s), \quad (63)$$

где s – коэффициент скольжения, показывает, насколько ротор отстаёт от поля; измеряется в долях или процентах.

Рассмотрим график механической характеристики, который связывает между собой две механические величины: вращающийся момент (M), развиваемый асинхронным двигателем, и скорость вращения n (рисунок 54).

На графике отмечены точки номинального, критического и пускового режимов. На холостом ходу, когда момент сопротивления равен 0, частота вращения ротора n приближается к частоте вращения магнитного поля n_1 . По мере появления и увеличения момента нагрузки до номинального M_n частота вращения ротора уменьшается до номинальной n_n , соответствующей номинальному скольжению S_n .

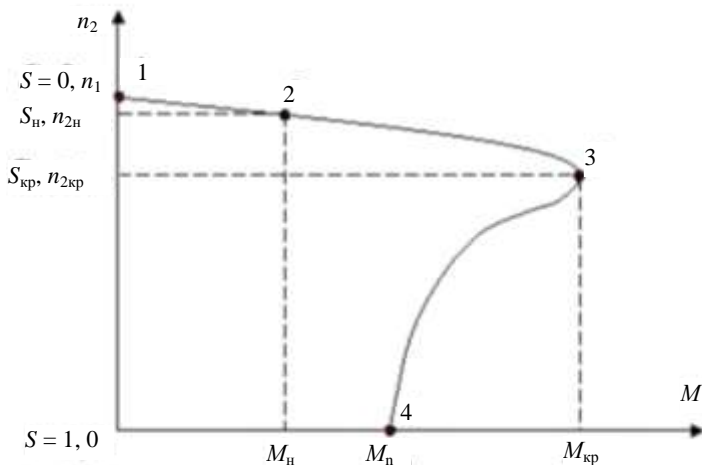


Рисунок 54 – График механической характеристики асинхронного двигателя

Дальнейшее увеличение момента нагрузки до максимального M_m приводит к дальнейшему уменьшению частоты вращения до значения, соответствующего критическому скольжению $S_{кр}$. При превышении моментом максимального значения двигатель останавливается ($n = 0$; $s = 1$), его обмотки начинают гореть; он должен быть отключен. Эта же точка графика соответствует первоначальному моменту.

Номинальный момент двигателя

$$M_H = \frac{60 P_H}{2\pi n_H}. \quad (64)$$

Перегрузочная способность двигателя λ – это отношение максимального момента к номинальному:

$$\lambda = M_M / M_H. \quad (65)$$

Номинальное скольжение

$$s_H = \frac{n_1 - n_H}{n_1}. \quad (66)$$

Критическое значение скольжения

$$S_{кр} = s_H (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}). \quad (67)$$

Для построения механической характеристики задаются значениями коэффициента скольжения s и определяют по нему соответствующее значение частоты вращения ротора n , а также момент M по формуле Клосса

$$M = \frac{2M_M}{\frac{S_{кр}}{s} + \frac{s}{S_{кр}}}. \quad (68)$$

Пусковой момент двигателя

$$M_{п} = k_M M_H, \quad (69)$$

где k_M – кратность пускового момента.

Сила тока, потребляемого двигателем из сети при номинальной нагрузке,

$$I_H = \frac{P_H}{\eta_H \sqrt{3} U_H \cos \varphi_H}, \quad (70)$$

где P_H – номинальная мощность, Вт;

η_H – номинальный коэффициент полезного действия;

U_H – номинальное напряжение питания;

$\cos \varphi$ – номинальный коэффициент мощности.

В момент пуска асинхронный двигатель потребляет из сети ток $I_{п}$ в несколько раз больше номинального. Кратность пускового тока

$$k_I = \frac{I_{II}}{I_{II}}. \quad (71)$$

Если двигатель работает с соединением обмоток по схеме «треугольник», то для уменьшения его пускового тока можно на время пуска соединить его обмотки по схеме «звезда», а затем, после разгона, перекоммутировать их в «треугольник». При этом пусковой ток в фазах двигателя уменьшится в $\sqrt{3}$ раз, а в проводах линии – в 3 раза. Однако такая операция возможна, только если двигатель запускается на холостом ходу или с маленькой нагрузкой, потому что пусковой момент снижается в 3 раза.

В схеме подключения асинхронного двигателя используются кнопки «Пуск» и «Стоп», магнитный контактор KM и реле тепловой защиты KK (рисунок 55).

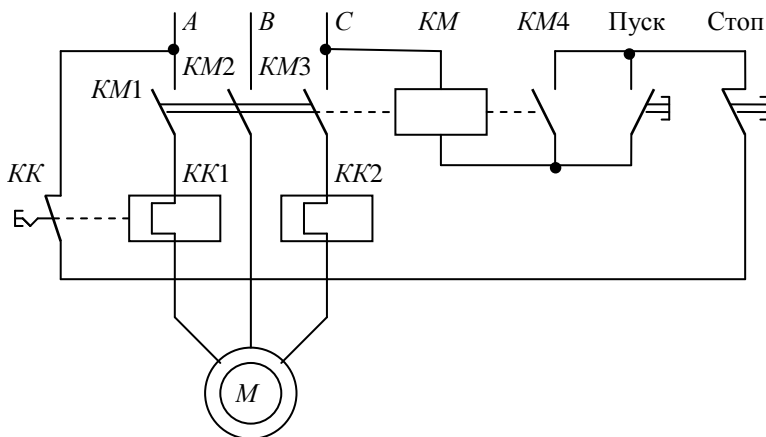


Рисунок 55 – Схема управления асинхронным двигателем

При нажатии кнопки «Пуск» создаётся цепь для протекания электрического тока: фаза C – обмотка магнитного контактора; KM – замыкающийся контакт кнопки «Пуск» – замкнутый контакт кнопки «Стоп» – замкнутый контакт реле тепловой защиты KK – фаза A .

При поступлении тока в обмотку контактора замыкаются контакты $KM1... KM1$ и в обмотки двигателя подаётся ток. Двигатель приходит во вращение. Одновременно замыкается контакт $KM4$, который шунтирует контакт кнопки «Пуск»; кнопку можно отпустить.

Для выключения двигателя нужно нажать кнопку «Стоп», контакт которой разорвёт цепь питания обмотки магнитного контактора. При работе двигателя сила тока в его обмотках контролируется датчиками реле тепловой защиты *KK1* и *KK2*, которые представляют собой биметаллические пластинки. При превышении током допустимого значения биметаллические пластинки, нагреваясь, изгибаются настолько, что включают расцепитель, размыкающий контакт *KK* теплового реле. При этом разрывается цепь питания обмотки контактора и двигатель выключается. После остывания биметаллических пластинок контакт реле тепловой защиты может быть восстановлен нажатием на специальный флажок.

Основные недостатки асинхронного двигателя – малый пусковой момент и большой пусковой ток – могут быть также устранены, если на время пуска увеличить значение активного сопротивления роторной обмотки. Для этих целей применяют специальные двигатели:

- с фазным ротором;
- с двойной клеткой, а также с бутылочными или глубокими пазами.

6.2 Асинхронный двигатель с фазным ротором

Фазный ротор применяют для увеличения пускового момента и уменьшения пускового тока (рисунок 56).

Искусственное увеличение активного сопротивления роторной обмотки приводит к опусканию механической характеристики на горизонтальную ось. Этот эффект используется в двигателях с фазным ротором. Фазный ротор имеет трёхфазную обмотку, выполненную изолированным проводом и соединённую Y или Δ . Концы трёхфазной обмотки присоединены к трём латунным кольцам. С помощью щёток ЭДС роторной обмотки выводят наружу. К ним подключаются пусковые реостаты.

В начальный момент пуска к роторной обмотке присоединены все реостаты R , сопротивление максимально. Разгон двигателя до $t. 1$ происходит по нижней линии. По мере разгона ток, потребляемый двигателем, уменьшается. Это чувствует специальное токовое реле, которое включает контактор $K1$, закорачивающий половину пусковых реостатов. Рабочая точка двигателя перескакивает на среднюю линию, и разгон двигателя происходит до $t. 2$. Увеличившийся в мо-

мент переключения ток вновь снижается, и с помощью токового реле включается контактор $K2$. Все пусковые реостаты закорочены, рабочая точка двигателя перескакивает на верхнюю (короткозамкнутую) линию.

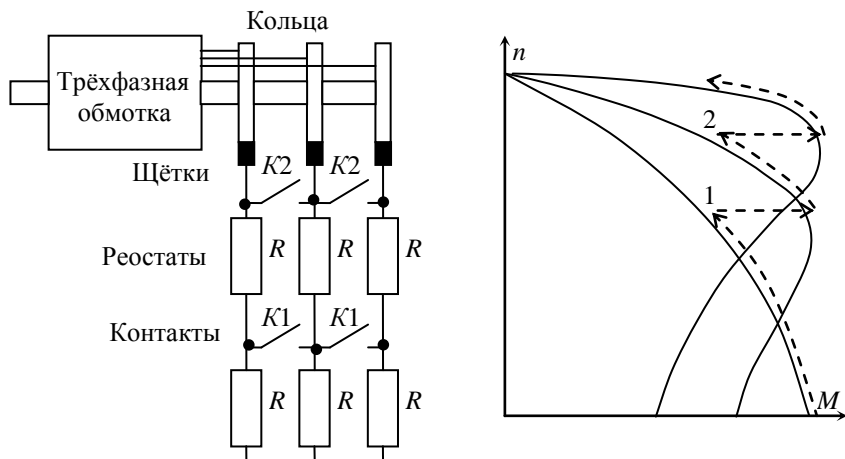


Рисунок 56 – Фазный ротор и его механические характеристики

Фазные роторы применяют для двигателей, работающих в режиме тяжёлых пусков, например на грузоподъёмных механизмах.

Эффекта автоматического увеличения активного сопротивления ротора в момент пуска можно добиться и в короткозамкнутом роторе за счёт его особой конструкции. Это двигатели с двойной клеткой, с бутылочными и с глубокими пазами. Здесь используется поверхностный эффект и зависимость глубины проникновения переменных токов вглубь ротора от их частоты. В пазы ротора укладываются стержни двух короткозамкнутых обмоток. Медные стержни большого сечения с малым сопротивлением укладывают в глубине, а латунные стержни малого сечения, с большим сопротивлением – на поверхности. В первый момент пуска скольжение $s = 1$, частота $f_2 = f_1/p$ велика и глубина проникновения переменного электромагнитного поля вглубь ротора мала, ток идёт по латунным стержням большого сопротивления, лежащим на поверхности (рисунок 57). Латунной беличьей клетке соответствует наклонная линия 1 графика механической характеристики. По мере разгона двигателя скольжение уменьшается, уменьшается частота тока ротора $f_2 = f_1 s/p$, электромагнитное

поле проникает вглубь ротора, доходит до медных стержней малого сопротивления, лежащих в глубине. Медной беличьей клетке соответствует обычная механическая характеристика 2. Результирующая механическая характеристика 1+2 получается сложением горизонтальных координат.

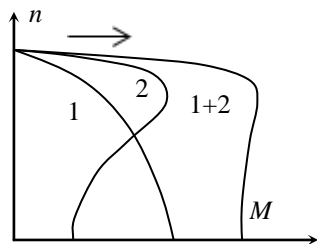


Рисунок 57 – Механическая характеристика ротора с двойной клеткой

Аналогичный эффект временного увеличения сопротивления ротора наблюдается при залитых алюминием пазах, если эти пазы в сечении имеют форму бутылки с узким горлышком на поверхности и расширением в глубине паза. Менее выраженный, но тоже заметный эффект увеличения пускового момента имеют двигатели с глубокими пазами ротора.

6.3 Двигатели постоянного тока

Электрический двигатель постоянного тока (ЭДПТ) – электродвигатель, питание которого осуществляется постоянным током. Он преобразует электрическую энергию постоянного тока в механическую энергию. Широко используется в разных отраслях промышленности благодаря возможности регулировки частоты вращения. Диапазон мощности ЭДПТ от долей ватт (для привода устройств автоматики) до нескольких тысяч киловатт (для привода прокатных станов, шахтных подъемников и других механизмов).

Основные преимущества двигателей постоянного тока по сравнению с бесколлекторными двигателями переменного тока – хорошие пусковые и регулировочные свойства, возможность получения частоты вращения более 3000 об/мин, а недостатки – относительно высокая стоимость, некоторая сложность в изготовлении и пониженная надежность. Все эти недостатки двигателей постоянного тока обусловлены наличием в них щеточно-коллекторного узла, который к тому же является источником радиопомех и пожароопасности.

ЭДПТ являются обратимыми электрическими машинами и в определенных условиях способны работать как генераторы.

Основными узлами двигателя постоянного тока (рисунок 58) являются якорь 3 с обмоткой и коллектором 2, щеточно-коллекторное устройство 1, статор 6 с магнитными полюсами 4, содержащими обмотки возбуждения 5.

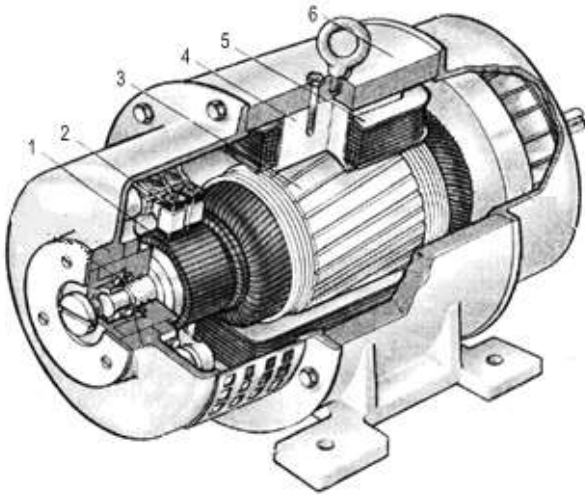


Рисунок 58 – Разрез электродвигателя постоянного тока

На *статоре* ЭДПТ располагаются в зависимости от конструкции: постоянные магниты; обмотки возбуждения – катушки, наводящие магнитный поток возбуждения.

Ротор (якорь) вращается в магнитном поле, и для уменьшения вихревых токов его сердечник набирают из кольцевых пластин кремнистой электротехнической стали. В пластинах проштампованы пазы, а также круглые отверстия для воздушного охлаждения.

Провода якорной обмотки укладывают в пазы ротора. Якорная обмотка состоит из отдельных секций, подключённых к коллекторным пластинам и образующих общую электрическую цепь. Для подключения якорной обмотки к внешней электрической цепи используют щётки, изготовленные из угля, графита или медно-графитной композиции. Эти материалы не прихвываются к коллекторным пластинам при искрении. Щётки прижаты к коллектору пружинами.

Для того чтобы двигатель работал, его нужно возбудить, т. е. создать в нём магнитное поле. Только в микромашинах для этих целей могут быть использованы постоянные магниты. В большинстве случаев магнитный поток создаётся электрическим током. Для этого на полюса укладывается обмотка возбуждения ОВ, по которой пропускают постоянный ток возбуждения I_v . Для усиления магнитного потока станину, полюса и сердечник якоря делают из материалов с большой магнитной проницаемостью, а воздушные зазоры по возможности малыми.

Коллектор собирает отдельные витки (секции обмоток) в общую электрическую цепь – якорную обмотку. Различают несколько типов обмоток: простые (петлевая, волновая) и более сложные. В зависимости от вида обмотки в ней может быть две, четыре и более параллельных ветвей. При вращении якоря щётки скользят по коллекторным пластинам, при этом секция якорной обмотки, подключённая между этими пластинами, переходит из одной параллельной ветви в другую. Этот процесс называют коммутацией. Коммутация необходима для того, чтобы изменить направление тока в секции якорной обмотки при перемещении её от одного полюса к другому.

Проводники якорной обмотки испытывают действие механических сил, которые пропорциональны значению магнитной индукции, силе тока в якорной обмотке и активной длине проводника. Складываемые силы, действующие на отдельные проводники, и учитывая плечо действия этих сил, т. е. их расстояние до оси вала, можно получить выражение для электромагнитного момента M через значение магнитного потока Φ и силу тока якорной обмотки $I_{я}$:

$$M = c_M \Phi I_{я}. \quad (72)$$

Электромагнитный момент пропорционален величине магнитного потока и силе тока якорной обмотки. Коэффициент c_M называют механической постоянной электрического двигателя.

Под действием вращающего электромагнитного момента якорь приходит в движение. Витки якорной обмотки пересекают силовые линии магнитного поля, в каждом из них наводится электродвижущая сила

$$e = \nu B l, \quad (73)$$

где ν – линейная скорость проводника;

B – значение индукции магнитного поля;

l – активная длина проводника.

Результирующая ЭДС якорной обмотки

$$E = c_E n \Phi, \quad (74)$$

где c_E – электрическая постоянная двигателя;

n – частота вращения;

Φ – магнитный поток.

Якорь двигателя разгоняется до тех пор, пока ЭДС его обмотки E не уравнивает приложенного напряжения U за вычетом падения напряжения на сопротивлении якорной цепи $r_{я}$:

$$E = U - r_{\text{я}} I_{\text{я}}. \quad (75)$$

Выражая ЭДС и ток якоря через магнитный поток, получим

$$c_E n \Phi = U - \frac{r_{\text{я}} M}{c_M \Phi}, \quad (76)$$

откуда определим частоту вращения двигателя n

$$n = \frac{U}{c_E \Phi} - \frac{r_{\text{я}} M}{c_E c_M \Phi^2} = n_0 - \Delta n, \quad (77)$$

где n_0 – частота вращения ротора в условиях идеального холостого хода;

Δn – уменьшение частоты под нагрузкой.

Таким образом, принцип работы ЭДПТ заключается в том, что на проводник с током, расположенный в магнитном поле, действует сила магнитной индукции перпендикулярная как магнитному полю, так и току, и создающая вращающийся момент ротора.

Регулировать частоту вращения можно как путём изменения питающего напряжения, так и за счёт изменения магнитного потока. При увеличении напряжения питания частота вращения двигателя возрастает. При увеличении магнитного потока двигатель замедляет своё вращение, так как требуемое значение ЭДС достигается при меньшей скорости движения проводников. Под нагрузкой двигатель замедляет своё вращение; уменьшение частоты вращения Δn пропорционально моменту нагрузки.

6.4 Коллекторные двигатели переменного тока

Коллекторные электродвигатели переменного тока предназначены для привода различных механизмов и аппаратов и имеют хорошие регулировочные и пусковые свойства.

Возможность применения коллекторных двигателей на переменном токе обусловлена тем фактом, что при изменении полярности питающего напряжения при переходе от положительной полуволны переменного тока к отрицательной направление вращающего момента не изменяется. Это происходит потому, что одновременно с изменением направления тока в якорной обмотке, происходит изменение направления тока в обмотке возбуждения, то есть изменяется полярность полюсов. Однако для работы на переменном токе подходят

только двигатели последовательного возбуждения. У двигателей параллельного возбуждения в этом случае был бы слишком большой сдвиг фаз между якорным током и током возбуждения из-за большой индуктивности обмотки возбуждения.

Электромагнитный момент двигателя последовательного возбуждения является пульсирующим. Он имеет постоянную составляющую и переменную, изменяющуюся с удвоенной частотой сети. Однако пульсации момента не нарушают работу двигателя, так как сглаживаются за счёт инерции вращающегося якоря.

В конструктивном отношении коллекторные двигатели переменного тока имеют существенное отличие от машин постоянного тока. Магнитопровод статора коллекторного двигателя делается шихтованным из листовой электротехнической стали. Это даёт возможность сократить потери от вихревых токов, которые при работе двигателя от сети переменного тока повышаются, так как переменный ток в обмотке возбуждения вызывает перемагничивание всей магнитной цепи, включая станину и сердечники полюсов.

Основной недостаток коллекторных двигателей переменного тока – тяжелые условия коммутации из-за наведения дополнительной трансформаторной ЭДС, наводимой переменным магнитным потоком возбуждения. Недостатками их являются также сравнительно высокая стоимость, пониженная надёжность и ограниченная мощность (до нескольких кВт).

7 ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ

Электропроводкой называется совокупность проводов и кабелей с относящимся к ним креплением, а также поддерживающими и защитными конструкциями и деталями.

Электропроводки могут быть выполнены с применением изолированных установочных проводов всех сечений, а также небронированных силовых кабелей с резиновой или пластмассовой изоляцией, в металлической, резиновой или пластмассовой оболочке с сечением фазных жил до 16 мм².

Проходы проводов и кабелей через несгораемые стены и междуэтажные перекрытия должны быть выполнены в отрезках труб или в коробах, или в проёмах, а через сгораемые – в отрезках стальных труб. Зазоры между проводами, кабелями и трубой в местах прохода через стены с обеих сторон следует заделывать легко удаляемой массой из несгораемого материала.

Отверстия в стенах выполняют с помощью пиротехнического, электро- и пневмоинструмента, применяя при этом свёрла и коронки с пластинами из твердых сплавов. Для пробивки отверстий в перекрытиях применяют специальные приспособления: ударные пиротехнические колонки и электродрель, укрепленную на стойке с винтовым домкратом.

7.1 Провода и кабели, применяемые в электропроводках

Для электропроводки следует применять провода и кабели с медными жилами в двойной изоляции или защищённые. Только в трёх случаях допускается прокладка проводов в одинарной изоляции: 1 – на роликах и изоляторах; 2 – в трубах; 3 – в кабельных каналах.

Провода и кабели изготавливаются одножильными и многожильными (у которых в одной оболочке имеется несколько проводящих жил, изолированных одна от другой). Жилы могут быть однопрово-

лочными (сплошными) или многопроволочными. Жилы проводов и кабелей изготавливаются стандартных сечений, например 1,5; 2,5; 4; 6; 10; 16 мм² и т.д.

Защищенные провода имеют поверх электрической изоляции металлическую или другую оболочку, предназначенную для герметизации и защиты от внешних воздействий находящихся внутри неё частей провода. Незащищенные провода не имеют такой оболочки, но могут иметь оплётку пряжей, которая не рассматривается как защита провода от механических повреждений.

Допустимый радиус изгиба проводов с резиновой изоляцией не менее $6d$, с пластмассовой изоляцией – $10d$, а с гибкой медной жилой – $5d$, где d – наружный диаметр провода.

Расшифровка некоторых букв в обозначении проводов:

А – алюминиевый провод, если А отсутствует, то провод медный;

П – провод, или плоский, или полиэтилен;

В – полихлорвиниловая изоляция;

С – сплошное расположение жил (без разделительного основания);

Р – резиновая изоляция;

Д – двухжильный;

Т – с несущим тросом;

Н – изоляция из наирита (негорючей резины).

Например: АВТ, ППВС.

Наряду с проводами для силовых электропроводок широко используются небронированные кабели, представляющие собой одну или несколько скрученных вместе изолированных жил, заключённых в общую резиновую, пластмассовую или металлическую оболочку.

7.2 Скрытые электропроводки

Скрытой называется электропроводка, проложенная внутри конструктивных элементов зданий и сооружений – в стенах, полах, фундаментах, перекрытиях, за непроходными подвесными потолками, поверх перекрытий в подготовке пола, непосредственно под полом и т. п. Провода могут быть проложены под слоем штукатурки, в бороздах, вырезанных в гипсовых перегородках, в пустотах и каналах стен, перегородок и перекрытий, а также могут быть выполнены в пластмассовых трубах, замоноличенных внутри элементов строительных конструкций при их изготовлении на заводах железобетонных изделий и домостроительных комбинатах.

Скрытые электропроводки **под слоем штукатурки** выполняются

проводами в двойной изоляции или защищёнными проводами, проложенными параллельно архитектурно-строительным линиям. Разметку трасс электропроводки, мест установки ответвительных коробок, выключателей, штепсельных розеток и крюков для подвески светильников, а также прокладку проводов производят после окончания основных строительных работ, но до выполнения штукатурных работ и укладки чистого пола. Горизонтальную прокладку проводов по стенам обычно выполняют на расстоянии 50–100 мм от потолка или 50–100 мм от балки или карниза. Провода также могут быть уложены в щели между перегородкой и перекрытием или балкой. Спуски и подъёмы к выключателям, штепсельным розеткам и светильникам выполняют вертикально. Горизонтальные штепсельные линии прокладывают по линиям высоты установки штепсельных розеток (800 или 300 мм). Для выхода проводов в пустоты плит перекрытия или в трубы, укладываемые поверх перекрытия, а также для выхода проводов к светильнику и для его подвески в плитах пробивают или просверливают отверстия.

В тонкостенных перегородках из гипсобетонных блоков проводка выполняется в швах между перегородкой и плитой перекрытия, а также в бороздах, изготавливаемых с помощью специальных бороздорезов с наконечниками из твердых сплавов. Провода укладываются в борозды и заделываются раствором заподлицо с чистой поверхностью перегородки.

В сборных гипсокартонных перегородках электропроводка выполняется проводом ПВ в винилпластовых трубах диаметром 20–25 мм либо защищенным проводом ПРФ без труб.

В стенах из крупных бетонных блоков электропроводка выполняется в швах между блоками, а отдельные участки – в штробах.

В строительных панелях электропроводка выполняется в специально предусмотренных внутренних каналах или замоноличенных пластмассовых трубах. Толщина защитного слоя над каналом (трубой) должна быть не менее 10 мм, длина каналов между протяжными нишами или коробками – не более 8 м.

Замоноличенные электропроводки применяют при изготовлении на прокатных станах гипсобетонных перегородок размером «на комнату», а также при изготовлении шлакобетонных, керамзитобетонных и железобетонных стеновых панелей и перекрытий. Для таких проводок используют провода в двойной изоляции и защищённые провода, выводы которых защищают плотно насаженными резиновыми или поливинилхлоридными трубками. В местах перехода про-

водов из стеновых панелей в перекрытия на расстоянии около 200 мм до края панели ставят ответвительную коробку и далее предусматривают борозду. Для соединения проводов смежных панелей в одной из них устанавливают соединительную коробку, в другой предусматривают запас проводов. Этот запас сворачивают в бухточку, для защиты надевают пакет из пластика и замазывают слабым алебастровым или цементным раствором толщиной не более 5 мм. Место заделки пакета отмечают краской. При соединении между собой участков моноличной электропроводки находят по маркировке место запаса проводов, освобождают его от защитного слоя и прокладывают концы проводов к соединительной коробке соседней панели.

Электропроводки **за подвесными потолками** также являются скрытыми и выполняются на лотках.

Лотком называется открытая конструкция, предназначенная для прокладки в ней проводов и кабелей. Лотки не являются защитой от внешних механических повреждений, стенки у них могут быть сплошными, перфорированными или решетчатыми. Лотки изготавливаются в виде готовых элементов, набор которых обеспечивает создание трассы с необходимыми поворотами и разветвлениями. В набор входят секции прямые разнообразной длины, угловые, крестообразные, тройниковые, а также устройства для крепления лотков к строительным конструкциям и зажимы для фиксации проводов и кабелей внутри лотка. Для того чтобы обеспечить непрерывную электрическую связь вдоль всей трассы, контактные поверхности лотков зачищаются до металлического блеска и смазываются техническим вазелином.

Модульная электропроводка применяется для выполнения совмещенных (силовых, осветительных и слаботочных) сетей в полах помещений большой площади. Модульная система представляет собой сеть пластмассовых или стальных труб, в узлах которой расположены разветвительные коробки. Для укладки такой сети цементная стяжка пола должна быть не тоньше 75 мм. Коробки имеют съёмную перегородку, разделяющую силовое и слаботочное отделения. Ответвления проводов от модульной сети выполняют с помощью сжимов. Модульная проводка обеспечивает возможность быстро изменить расположение рабочих мест и технологического оборудования без переделки электрических сетей.

7.3 Открытые электропроводки

Открытой называется электропроводка, проложенная по поверхности стен, потолков, по деревянным и другим строительным эле-

ментам зданий и сооружений, по опорам и другим несущим конструкциям. Открытую проводку выполняют на высоте не менее 2,5 метров от уровня пола.

Открытую прокладку незащищённых изолированных проводов **на роликах и штыревых изоляторах** выполняют по стенам и потолкам производственных и складских помещений (сухих, влажных, сырых и особо сырых), а также снаружи зданий и сооружений. Ролики могут быть закреплены шурупами или гвоздями на штукатурке или на обшивке деревянных зданий, крюки и кронштейны с изоляторами должны закрепляться только на основном материале стен. Изоляторы крепятся на крюк и штырь с помощью полиэтиленовых колпачков. Нагретый в горячей (80–90 °С) воде колпачок насаживают на крюк (штырь) лёгкими ударами деревянного молотка и наворачивают изолятор по резьбе до упора.

Провода к изоляторам крепят мягкой стальной проволокой либо при помощи колец или шнура из полихлорвинила. В сырых помещениях и в наружных проводках применяют стальную оцинкованную вязальную проволоку. Во избежание повреждения изоляции в местах привязки выполняют обмотку провода изоляционной лентой в два слоя. На промежуточных штыревых изоляторах провода укладывают на шейках или на головках, на угловых – только на шейках. Ответвления проводов выполняют только на изоляторах. Прикрепляют провода к изоляторам сначала на опорах, на которых выполнены ответвления, затем на средних опорах между оставшимися и т. д.

Проходы проводов через стены и междуэтажные перекрытия выполняют в трубах, причём каждый провод заключают в самостоятельную трубу (за исключением перехода из одного сухого помещения в другое, когда все провода допускается прокладывать в одной трубе). Трубы оконцовывают: в сухих помещениях – втулками, в сырых помещениях и при наружных проводках – воронками, направленными раструбами вниз.

Открытые электропроводки **по поверхности стен** выполняют защищёнными проводами и кабелями, прокладывая их непосредственно по поверхности стен с креплением скобами и пряжками или привязывая к полосам и струнам металлическими или пластмассовыми бандажами с расстояниями 500 мм между точками крепления, а также 10–15 мм от начала изгиба трассы и 100 мм – от ввода в ответвительные коробки. Несущие полосы, ленты и струны соединяют в непрерывную электрическую цепь и заземляют (зануляют) в начале и конце трассы.

Проводки в **электротехнических плинтусах** согласно ПУЭ также относятся к открытым. Этот вид электропроводки применяют в жилых домах, гостиницах, санаториях, где кроме сетей освещения необходимо также прокладывать сети телефона, телевидения и сигнализации. Электротехнические плинтусы изготавливаются из металла или пластмассы. Они представляют собой короб с крышкой, в котором предусмотрено несколько отделений (полок), предназначенных для прокладки проводов различных сетей. Устройство плинтусной коробки должно обеспечивать раздельную прокладку силовых и слаботочных проводов. Крепление плинтуса должно обеспечивать плотное прилегание к стене и полу (зазор не более 2 мм) с усилием на отрыв не менее 196 Н.

Тросовыми называют открытые электропроводки, у которых провода или кабели укреплены на натянутом несущем тросе. Основным преимуществом таких проводов являются возможность применения больших пролётов между креплениями, простота и высокая индустриальность монтажа. Наиболее просты и удобны в монтаже осветительные электропроводки, выполненные специальными тросовыми проводами АВТ, АВТУ, АВТВ, АВТВУ, в которых несущий трос вмонтирован в провод. Ответвления выполняют с помощью сжимов без разрезания провода.

При прокладке других типов проводов и кабелей в качестве несущего троса применяют стальной оцинкованный канат диаметром 3–6,5 мм, а также обычную стальную проволоку диаметром 5–8 мм, оцинкованную или имеющую лакокрасочное либо полихлорвиниловое покрытие. На концах троса делают петли, затем устанавливают тросовый зажим и натяжную муфту и крепят их к стенам с помощью анкерных болтов или штырей. Кроме этого трос крепят к элементам конструкций – фермам или балкам – через каждые 6–12 метров (в зависимости от длины строительных пролётов). Натяжение троса регулируют так, чтобы стрела провеса была в пределах 1/40–1/60 от расстояния между креплениями.

Незащищённые изолированные провода укрепляют на тросе с помощью пластмассовых подвесок на два или четыре провода с промежутками не более 0,5 м. В сухих и влажных помещениях допускается крепить такие провода непосредственно к тросу перфорированной поливинилхлоридной лентой с кнопками или пряжками. Защищённые провода и кабели прикрепляют к тросам с помощью металлических подвесок или стальных полосок – пряжек.

Для подвески светильников массой до 5 кг применяют специальные ответвительные коробки, внутри которых имеются сжимы для ответвления проводов, а также устройства для закрепления троса, крюка и подвески – струны из стальной оцинкованной проволоки диаметром 1,5–2 мм.

На обоих концах тросовой электропроводки выполняют заземление (зануление) несущего троса путем присоединения его к нулевому проводу или к заземляющему проводнику.

7.4 Электропроводки в кабельных каналах

Электропроводка в кабельных каналах находится на стыке открытого и скрытого способов прокладки проводов. Кабель-каналы (короба) – закрытые полые конструкции прямоугольного или иного сечения, предназначенные для прокладки в них проводов и кабелей и защиты их от механических повреждений. Кабель-каналы могут быть глухими или с крышками, со сплошными или перфорированными стенками.

С одной стороны, сохраняются все преимущества открытой проводки, с другой стороны, проводка в кабель-каналах более электро- и огнебезопасна и имеет довольно эстетичный вид. Кроме того, в кабель-канал вместе с электропроводкой можно уложить провода слабых систем (компьютерные сети, телевизионный кабель, телефонный провод и т. д.). Например, в кабель-канале с пятью отделениями можно разместить провода групповой электросети (два отделения), провода радиотрансляции, телефонный и телевизионный кабели (три отделения).

Этот вид проводки применяется сегодня практически повсеместно. Для прокладки компьютерных сетей, пожарной и охранной сигнализации такой способ является стандартным. Системы кабель-каналов, как правило, имеют в своем составе набор совместимых аксессуаров, которые позволяют монтировать электроустановочные изделия в короб и прокладывать трассы внешней электропроводки, повторяя линии стен, полов и потолков помещений и зданий. В погоне за минимизацией стоимости погонного метра наибольшее распространение получили пластиковые короба, однако иногда употребляются и металлические (из стального и алюминиевого профиля).

Кабель-каналы выпускаются в виде полых коробов различного сечения длиной 2 метра, а также в виде полого плинтуса с внутрен-

ними перегородками для укладки кабеля. Прямые и угловые сочленения осуществляются с помощью специальной фурнитуры: различного рода тройники канала, крестовины, угольники, арки, компенсационные муфты, крепежные лапки, крышки каналов, крестовин и угольников и тому подобные удобные дополнения.

Кабель-каналы чаще всего производят в белом (офисном) исполнении: белоснежные, молочной белизны, слоновая кость. Но существуют и эксклюзивные варианты отделки «под дерево»: палисандр, дуб, ясень. Пластиковые кабель-каналы изготавливают из поливинилхлорида, вследствие чего они не поддерживают горения, устойчивы к химически агрессивной среде. При монтаже кабель-каналы легко соединяются между собой за счёт разнообразных монтажных изделий: углов внешних и внутренних, плоских (90 градусов), тройников, заглушек и соединений на стык. Монтаж кабель-каналов может производиться саморезами – на бетонной, кирпичной, деревянной стене или приклеиванием жидкими гвоздями – на керамической плитке.

7.5 Электропроводки в трубах

Открытые и скрытые электропроводки в трубах требуют затраты дефицитных материалов и трудоемкости в монтаже. Поэтому их применяют в основном при необходимости защиты проводов от механических повреждений или защиты изоляции и жил проводов от разрушения при воздействии агрессивных сред. Раньше использовались только стальные трубы. В настоящее время все шире применяются полимерные трубы – полиэтиленовые, винипластовые, полипропиленовые, обладающие высокой коррозионной и химической устойчивостью, хорошими электроизолирующими свойствами, достаточной механической прочностью, гладкой поверхностью. Применение полимерных труб повышает надежность работы электропроводок в агрессивных средах, уменьшает вероятность замыкания электрических сетей на землю, снижает трудовые затраты.

Полиэтиленовые трубы используют для скрытых сменяемых электропроводок в негорючих конструкциях (элементы сборного железобетона, фундаменты, бетонные полы). Недостатком полиэтиленовых труб является их горючесть.

Винипластовые применяют как для скрытых, так и для открытых электропроводок по негорючим или трудногорючим конструкциям и поверхностям.

Винипластовые, полиэтиленовые и полипропиленовые трубы нельзя применять в пожаро- и взрывоопасных зонах, в детских учреждениях, спальнях и больничных корпусах, вычислительных центрах, домах-интернатах для престарелых и инвалидов, животноводческих помещениях, а также в горячих цехах, где производится работа с горячими материалами. В этих случаях следует применять стальные трубы. В сырых помещениях и наружных установках толщина стальных труб должна быть не меньше 2 мм. В местах выхода проводов из стальных труб их защищают от механических повреждений втулками.

Для определения необходимого диаметра труб вначале в зависимости от длины участков, а также числа и углов изгибов определяют группу сложности трубной трассы (I, II или III), затем в зависимости от числа проводов и их наружного диаметра по таблицам или номограмме – внутренний диаметр трубы.

На горизонтальных участках трубы укладываются с уклоном, чтобы в них не скапливалась влага. Соединение пластмассовых труб выполняют с помощью термоусаживаемых муфт или сваркой. Для соединения стальных труб применяют резьбовые муфты либо опрессовку в отрезке трубы большего диаметра с помощью порохового пресса. В последнем случае обеспечивается непрерывная электрическая цепь заземления (зануления) вдоль всей трассы. При скрытой прокладке труб перед засыпкой грунта или бетонированием составляют акт на скрытые работы. Толщина слоя бетона над трубами должна быть не меньше 20 мм. При открытой прокладке трубы крепятся к строительным конструкциям скобами или хомутами.

Соединения и ответвления проводов, проложенных в трубах, выполняют в коробках и ящиках. Соединение проводов непосредственно в трубах запрещается. По окончании затяжки и соединения проводов их маркируют в соответствии с проектом и кабельным журналом.

8 ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ 8 СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК

8.1 Автоматические выключатели

Автоматические выключатели предназначены для применения в электрических цепях переменного тока, защиты при перегрузках и токах короткого замыкания, пуска и остановки асинхронных электродвигателей и обеспечения безопасности изоляции проводников. Также могут использоваться для нечастых оперативных включений и отключений указанных цепей.

Конструкция автоматического выключателя (рисунок 59) включает основные элементы:

- механизм управления;
- электромагнитный и тепловой расцепители;
- дугогасительную камеру и т. д.

Чаще всего автоматические выключатели имеют два типа защиты: тепловую (выполнена на биметаллической пластине), предназначенную для защиты от длительных токовых перегрузок, и динамическую (выполнена на электромагнитной катушке) – для защиты от токов короткого замыкания. Контактная система состоит из неподвижных контактов, закрепленных на корпусе, и подвижных контактов, шарнирно насаженных на полуоси рычага механизма управления, и обеспечивает, как правило, одинарный разрыв цепи. Дугогасительное устройство устанавливается в каждом полюсе выключателя и предназначается для локализации электрической дуги в ограниченном объеме. Комбинированные зажимы из посеребрянной меди и анодированной стали обеспечивают надежный контакт с медными и алюминиевыми проводниками сечением от 1 до 25 мм².

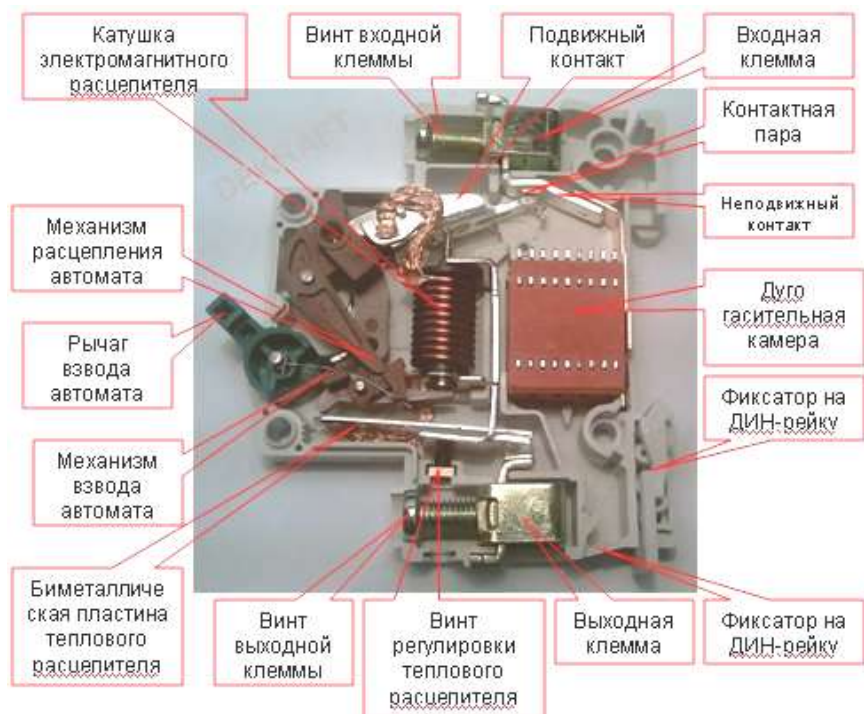


Рисунок 59 – Устройство автоматического выключателя

(<http://выключатель-автоматический.рф/Устройство%20автоматического%20выключателя.html>)

Автоматические выключатели имеют такую конструкцию механизма управления и механизма свободного расцепления, которая обеспечивает время включения и замыкание контактов мгновенно, независимо от скорости движения рукоятки управления. Установленная металлическая пластина на боковой стенке в районе размыкающихся контактов предохраняет корпус от прогорания. При изготовлении корпуса используются высококачественные негорючие материалы с высокими огнеупорными, противоударными характеристиками и обладающие высокой механической прочностью. Контактные зажимы, глубоко погруженные внутрь корпуса, обеспечивают высокую степень безопасности при случайном прикосновении человека к корпусу прибора. Биметаллическая пластина соединена с механизмом свободного расцепления без люфта, что улучшает чувствительность прибора на её изгиб.

Автоматические выключатели выпускаются в одно-, двух-, трёх- и четырёхполюсном исполнении. Они предназначены для ручного включения и автоматического или ручного отключения электрических потребителей под нагрузкой. Расцепители могут встраиваться в один, два или три полюса в зависимости от типа исполнения автомата.

Принцип действия автоматического выключателя. При перегрузках в защищаемой цепи протекающий ток нагревает биметаллическую пластину. При нагреве пластина изгибается и толкает рычаг, воздействующий на механизм свободного расцепления. Выдержка времени отключения уменьшается с ростом тока.

При коротком замыкании в защищаемой цепи ток, протекающий через электромагнитную катушку, многократно возрастает, соответственно возрастает магнитное поле, которое перемещает сердечник, переключающий рычаг свободного расцепления.

В обоих случаях подвижный контакт отходит от неподвижного, автомат выключается, происходит разрыв цепи, тем самым электрическая цепь защищается от перегрузок и токов короткого замыкания. При перегрузках и токах короткого замыкания отключение автоматического выключателя производится независимо от того, удерживается ли рукоятка управления во включенном положении. Собственное время срабатывания автоматического выключателя – сотые доли секунды.

Автоматические выключатели иногда оснащают независимыми расцепителями, с помощью которых выполняют их дистанционное отключение (рисунок 60).



Рисунок 60 – Электромагнитный расцепитель

После подачи напряжения на цепь управления независимого расцепителя его электромагнитный механизм воздействует на удерживающее собление автоматического выключателя, инициируя размыкание контактов его главной цепи. Управляющий вал для независимого расцепителя может быть сформирован вручную, например, с помощью кнопочного ключателя с замыкающим контактом, или сгенерирован каким-либо коммутационным или электронным устройством.

вом, выполняющим роль датчика, по выполнению каких-то predetermined условий, например, таймером при наступлении определённого часа.

Включение автоматического выключателя после осуществления его дистанционного отключения с помощью независимого расцепителя производят вручную.

Автоматические выключатели могут быть также укомплектованы расцепителями минимального напряжения, отключающими их при снижении напряжения в заданных точках электроустановки здания ниже определённых значений.

Расцепитель минимального напряжения может инициировать размыкание автоматического выключателя при снижении напряжения в своей цепи управления до 70 % от его номинального значения (например, равного 230 В переменного тока) и менее, а также допускает замыкание автоматического выключателя, если напряжение в этой цепи не менее 85 % от номинального. Расцепитель минимального напряжения может иметь замыкающие и размыкающие контакты, которые используют для дополнительных цепей и цепей управления автоматическим выключателем. Некоторые модификации расцепителей минимального напряжения имеют кратковременную задержку на срабатывание и допускают регулировку напряжения срабатывания.

Включение автоматического выключателя после осуществления его отключения с помощью расцепителя минимального напряжения обычно также производят вручную. Независимый расцепитель, а также расцепитель минимального напряжения крепят к автоматическому выключателю с помощью пружинных скобок или винтов.

Общие указания и порядок установки автоматических выключателей. Перед установкой АВ необходимо проверить автомат на отсутствие внешних повреждений, также произвести несколько включений и отключений, чтобы убедиться, что механизм работает исправно. Маркировка на автомате должна соответствовать требуемым условиям. Для подсоединения необходимо использовать медные проводники (кабели) или медные соединительные шины. Подвод напряжения к выводам АВ от источника питания осуществляется сверху, а отвод – снизу. Автоматические выключатели допускают монтаж без промежутков между ними. Не надо также забывать, что для однофазной сети выпускаются однофазные автоматы, для трехфазной – трехфазные. Если вы поставите три однофазных

автомата на электродвигатель, то при срабатывании одного автомата двигатель останется в работе на двух фазах, что может привести к сгоранию двигателя. Также запрещается устанавливать отдельный автомат защиты на ноль. Для таких особенных случаев существуют двухполюсные автоматы, которые отключают и фазу, и ноль одновременно.

8.2 Электрифицированный инструмент

Электрические **дрели** (рисунок 61) предназначены для сверления отверстий в дереве и металле, имеют коллекторный двигатель с регулятором частоты вращения до 3000 об/мин и мощностью 500–800 Вт.



Рисунок 61 – Примеры конструкции электроинструментов
(<http://leg.co.ua/info/instrumenty-i-mehanizmy/instrument.html>)

Миксеры имеют меньшую частоту вращения (до 700 об/мин), большую мощность (до 1600 Вт) и снабжены фигурной насадкой, предназначенной для смешивания компонентов при изготовлении строительных растворов. Имеют двуручный держатель для преодоления большого вращающего момента.

Шуруповёрты, а также **электроотвёртки** имеют малую частоту вращения, у них предусмотрен реверс (изменение направления вращения для откручивания шурупов и винтов). Могут быть сетевыми, но чаще выпускаются аккумуляторными (с литий-ионными либо никель-кадмиевыми аккумуляторами).

Ударные дрели имеют вибрацию сверла с ультразвуковой частотой 45000–63000 Гц, благодаря чему успешно справляются с кирпичом, бетоном, камнем.

У **перфораторов** мощность больше, а частота вращения меньше, чем у дрелей. Они снабжены ударным механизмом с частотой ударов 4000–6000 Гц, помогающим делать отверстия в кирпичных, каменных и бетонных конструкциях с помощью свёрл с твёрдосплавным наконечником. Электрический перфоратор можно назвать универсальным инструментом, так как он может выполнять несколько операций (долбление, безударное и ударное сверление) и работать с разными по прочности материалами (бетон, кирпич, камень, сталь, древесина). Технические характеристики перфоратора подразумевают его использование для капитальных работ.

Электрические **отбойные молотки** предназначены для демонтажа капитальных бетонных и кирпичных конструкций, устройства в стенах зданий ниш и проёмов, рубки металла, разрушения замёрзшего грунта, смены дорожного покрытия и других целей. От перфоратора отличаются упрощённым устройством и увеличенной силой удара. Находящийся внутри его корпуса специальный боёк наносит удар по рабочей части молотка – пике, которая производит быстрые возвратно-поступательные движения с очень высокой скоростью, что и способствует разрушению любого материала.

Пилы циркулярные и торцовочные имеют электропривод от коллекторного двигателя с частотой вращения от 4500 до 6000 об/мин. Могут быть по дереву, металлу, камню и плиткорезы (у плиткорезов частота холостого хода 13000 об/мин). Выпускаются также **электроножовки** с частотой хода 800 об/мин и **электрোলобзики** с частотой хода до 3000 об/мин.

Угловые **шлифовальные машинки** (болгарки) выпускаются с коллекторным двигателем мощностью от четверти киловатта до нескольких киловатт, имеют частоту вращения диска 10000–12000 об/мин.

Борозделелы (штроборезы) применяются при прокладке пазов необходимого размера в бетоне, кирпиче или камне, в которые помещается электропроводка, трубы, устанавливаемые при монтаже систем отопления или газоснабжения или другие коммуникации. Они представляют собой двухдисковые инструменты, позволяющие регулировать расстояние между дисками и глубину реза. Имеют коллекторный двигатель мощностью от 1 до 2,5 кВт.

Электрорубанки имеют мощность коллекторного двигателя привода от 600 до 900 Вт при скорости вращения барабана от 10000 до 18000 об/мин.

Строительные фены используют для удаления старых лакокрасочных покрытий, пайки и изменения формы пластиковых труб, при установке линолеума или рубероида, размораживания замёрзших труб отопления или водопровода, ускорения процесса склеивания и сушки. Мощность фенов – до 2 кВт при воздушном потоке 300–500 л/мин.

Электрические краскопульты позволяют равномерно распределить краску по поверхности любого объёма и фактуры, делая её идеально гладкой и ровной. Мощность 280–350 Вт при производительности 110–150 г/мин.

8.3 Электросварка

Электросварка – один из способов сварки, использующий для нагрева и расплавления металла электрическую дугу. Температура электрической дуги (до 5000 °С) превосходит температуры плавления всех существующих металлов ([http://ru.wikipedia.org/wiki/ Электрическая дуговая сварка](http://ru.wikipedia.org/wiki/Электрическая_дуговая_сварка)).



Ручная электродуговая сварка стали штучными электродами широко применяется при выполнении строительно-монтажных работ (рисунок 62).



Рисунок 62 – Пример выполнения ручной электросварки (а) и источник питания (б)

Слой обмазки электрода обеспечивает устойчивое горение дуги и защиту расплавленного металла от окисления. Сварку выполняют на переменном и на постоянном токе (как при прямой, так и при обратной полярности). Прямой полярности соответствует подключение отрицательного полюса к сварочному электроду, а положительного – к материалу. На постоянном токе устойчивее горит дуга, лучше качество шва, можно сваривать детали меньших размеров и применять электроды, обмазка которых содержит меньше вредных веществ. Однако источники постоянного тока сложнее, дороже и менее надежны в

эксплуатации. Для ручной дуговой сварки требуется крутопадающая внешняя характеристика источника тока.

Механизированная (полуавтоматическая) сварка получила широкое распространение при изготовлении конструкций из тонколистовой стали. По гибкому шлангу к сварочной горелке одновременно подаются электродная проволока и защитный углекислый газ, в струе которого и горит дуга. Для регулировки процесса сварки изменяют скорость подачи проволоки. Преимущества полуавтоматов – высокая производительность и лучшее качество шва. Для полуавтоматической сварки требуется жёсткая внешняя характеристика источника тока.

В качестве источников питания сварочной дуги применяют сварочные генераторы, трансформаторы, выпрямители, инверторы.

Сварочный генератор, коллекторный или вентильный, с приводом от бензинового или дизельного двигателя называют сварочным агрегатом.

Коллекторный сварочный генератор имеет последовательную обмотку возбуждения, которая включена таким образом, что создаваемый ею магнитный поток направлен против магнитного потока, создаваемого намагничивающей обмоткой. В результате этого с ростом сварочного тока суммарный поток в воздушном зазоре генератора уменьшается, уменьшается и ЭДС, наводимая в обмотке якоря, и напряжение на зажимах сварочного генератора. Получается крутопадающая внешняя характеристика.

Вентильный сварочный генератор представляет собой трехфазную индукторную машину переменного тока с выпрямителем. Необходимые для ручной дуговой сварки крутопадающие внешние статические характеристики вентильного сварочного генератора формируются в основном за счет внутренних индуктивных сопротивлений самой электрической машины. Плавное изменение сварочного тока осуществляется за счёт регулировки тока возбуждения генератора.

Сварочный трансформатор для устойчивого горения дуги при ручной дуговой сварке штучными электродами должен иметь крутопадающую внешнюю характеристику. Такая характеристика также помогает ему легко переносить короткие замыкания сварочного промежутка, возникающие при зажигании дуги, а также в процессе сварки.

В самом распространённом варианте сварочного трансформатора с подвижными обмотками сердечник делают удлиненной формы. В ниж-

ней части сердечника располагается первичная обмотка, состоящая из двух секций 1А и 1Б. Они расположены на подвижном каркасе, способном перемещаться с помощью винтового привода. В верхней части сердечника неподвижно закреплены две секции вторичной обмотки 2А и 2Б. В диапазоне больших токов обе секции как первичной, так и вторичной обмоток соединены параллельно, в диапазоне малых – последовательно. Напряжение холостого хода в диапазоне больших токов составляет около 60 В. Для увеличения напряжения холостого хода в диапазоне малых токов секции первичных обмоток включаются с неполным числом витков с помощью промежуточных отводов. При таком подключении уменьшается коэффициент трансформации, а следовательно, повышается вторичное напряжение холостого хода до 80 В.

Сварочный выпрямитель представляет собой преобразователь переменного тока в постоянный для использования во время процессов дуговой сварки. Состоит из сварочного трансформатора, способствующего регулированию силовой энергии сети и согласованию значений выходного и сетевого напряжения; выпрямительного блока, а также дополнительной аппаратуры, производящей процесс измерения, пускорегулирования и защиты от перегрузок и нарушения охлаждения. Сварочные выпрямители могут работать по принципу однофазной или трехфазной мостовой схемы выпрямительного блока. Однофазная схема способствует получению высоких амплитуд пульсации тока, что хорошо для использования сварочного аппарата в быту. Для промышленных выпрямителей используют трехфазный ток. В качестве выпрямительных вентилях используются тиристоры, за счёт управления которыми осуществляют регулировку сварочного тока и получение требуемой внешней характеристики.

Сварочный инвертор – самое современное и востребованное на сегодняшний день оборудование для сварки. Он содержит выпрямитель токов промышленной частоты, высокочастотный транзисторный преобразователь постоянного тока в переменный, высокочастотный понижающий трансформатор, вторичный высокочастотный выпрямитель и импульсный транзисторный регулятор сварочного тока. Всеми процессами преобразования энергии в инверторе управляет микропроцессор. Он позволяет сформировать требуемую внешнюю характеристику, настроить на заданную толщину и материал свариваемых деталей, диаметр и марку сварочных электродов или проволоки, а также обеспечить увеличенное значение сварочного тока в начале сварки (для разогрева) и уменьшенное значение в конце (для

заварки кратера). Ощутимым преимуществом сварочных инверторов является меньшая масса по сравнению с источниками сварочного тока, использующими промышленную частоту.

8.4 Электронагрев

В строительстве применяется электропрогрев бетона, электропрогрев грунта, электроотопгрев трубопроводов и нагрев воздуха.

Электропрогрев бетона применяется при бетонировании конструкций при ожидаемой среднесуточной температуре наружного воздуха ниже 5 °С и минимальной суточной температуре ниже 0 °С согласно СНиП 3.03.01–87 «Несущие и ограждающие конструкции».

Целью электропрогрева бетона является недопущение замораживания свежешелюженного бетона, которое сопровождается образованием вокруг арматуры и зерен заполнителя ледяных плёнок. Основным способом электропрогрева – электродный – заключается в том, что выделение тепла происходит непосредственно в бетоне при пропускании через него электрического тока. Электропрогрев данным способом осуществляется преимущественно для стен, реже для небольших перекрытий. Также применяется для предварительного прогрева бетона перед его заливкой в опалубку. Прогрев производится только переменным током, так как постоянный ток вызывает электролиз.

Электрооборудование для прогрева бетона состоит из понижающего трансформатора, распределительного устройства, электропроводки и электродов. Трансформатор может быть трехфазным со ступенчатым регулированием вторичного напряжения в широких пределах либо однофазным (сварочным). Электроды могут быть стержневыми, струнными, пластинчатыми и полосовыми. Стержневые электроды из отрезков арматурной стали диаметром 6–10 мм закладываются в бетон через отверстия, просверленные в опалубке, или устанавливаются непосредственно через открытую поверхность конструкции. Расстояние между электродами должно быть таким, чтобы рассеиваемая в бетоне мощность при данном напряжении соответствовала тепловому расчёту. Струнные продольные электроды из арматурной стали диаметром 6–10 мм укладываются в опалубку перед бетонированием параллельно оси конструкции отдельными звеньями длиной 2,5–3 м и закрепляются при помощи крючьев или бетонных изоляторов. Пластинчатые и полосовые электроды изготавливаются из кровельной или полосовой стали и устраиваются с внутренней стороны опалубки.

Для достижения заданной прочности бетонной или железобетонной конструкции должен быть выбран соответствующий режим электропрогрева. Учитывая недопустимость потери прочности бетона при его замораживании необходимо во всех случаях выдерживать такой режим прогрева, который обеспечивал бы критическую прочность во время охлаждения бетона до 0 °С. Критическая прочность бетона принимается равной половине нормальной 28-дневной прочности.

Недостатки электропрогрева бетона: большой ток (требует наличия на строительной площадке большой электрической мощности – от 1000 кВт для 3–5 куб.м бетонной смеси), при высыхании бетона прекращается его нагрев, требуется повышение напряжения для поддержания температуры бетона.

Сущность электрического прогрева бетонных (далее ЭПБ) конструкций проводом заключается в том, что в конструкцию закладываются специальные провода, служащие источником тепла (рисунок 63). При этом электрический ток, вызывающий тепловыделение, течет (в нормальном режиме) по изолированным проводам, а не через бетон, как при электродном прогреве. Под системой электрического прогрева бетона (СЭПБ) понимается комплекс электроустановок, обеспечивающих прогрев бетонных конструкций за счет тепловыделения заложенного в них провода.



Рисунок 63 – Прогрев бетона электродами в зимних условиях

ТЭНы для электропрогрева бетона. В наиболее простом случае ТЭНом является отрезок провода марки ПНСВ, отмеренный для получения определенного рабочего тока. ТЭНы различаются по марке используемого провода, способу включения, рабочему напряжению.

Для ЭПБ используется, в основном, провод марки ПНСВ различных сечений. Наиболее употребим провод Ø1,2 мм, однако в ряде случаев экономичнее оказывается провод Ø1,4 мм. Провод ПНСВ представляет собой стальную жилу 1 в изоляционной оболочке 2 (рисунок 64). Жила может быть оцинкована. Изоляционная оболочка изготавливается из полиэтилена или поливинилхлоридного пластика. Номинальный ряд диаметров ПНСВ: 1,0, 1,1, 1,2, 1,3, 1,4 мм. Далее в тексте под проводом ПНСВ понимается провод с токопроводящей жилой не менее Ø1,2 мм.



Рисунок 64 – Провод ПНСВ (ТУ 16.К71-013-88)

<http://kabel-rus.ru/category/kabel-provod/provod-progrevochnyj-pnsv/provod-pnsv>

Свойства ПНСВ таковы, что рабочий ток погруженного в бетон провода следует выбирать в 14–16 А. При этом значении тока провод ПНСВ способен нормально работать в бетоне, однако на воздухе, из-за худших условий отвода тепла, быстро выходит из строя. Ввиду этого ТЭНы оснащаются так называемыми «холодными концами», то есть отрезками провода, способного на воздухе выдерживать рабочий ток ТЭНа. Как правило, «холодные концы» выполняются из провода АПВ-4 (из соображений механической прочности по току допустим АПВ-2.5), хотя возможно выполнение «холодных концов» из двух соединенных параллельно отрезков ПНСВ. Длина «холодных концов» выбирается из требований монтажной схемы и составляет, как правило, 0,5–1 м.

По способу включения следует различать одно- и трехфазные ТЭНы.

Первый из них представляет собой отрезок провода ПНСВ, длина которого отмерена так, что при включении под напряжение ток в проводе (погруженном в бетон) составляет 14-16 А. В дальнейшем такой ТЭН будет именоваться «нитка». Нитка при заготовке оснащается «холодными концами», скрутки изолируются хлопчатобумажной изоляционной лентой.

Второй представляет собой три отрезка провода ПНСВ, соединенные в звезду; длина отрезков отмерена так, что при подключении к трехфазному источнику питания ток в проводах (погруженных в бетон) составляет те же 14–16 А. В дальнейшем такой ТЭН будет именоваться как «тройка». Тройка при заготовке «холодными концами», как правило, не оснащается, единственная скрутка изолируется хлопчатобумажной изоляционной лентой. Отрезки, из которых собирается тройка, имеют длину примерно в $1,73 (\sqrt{3})$ меньше длины нитки.

ТЭНы могут быть рассчитаны на различное напряжение. В случае применения специальных трансформаторных подстанций КТПТО рабочее напряжение следует принимать равным 75 В (3-я ступень регулирования напряжения). Возможно также греть небольшие объемы бетона трансформаторами 380/36 В, например, марки НТС.

Электропрогрев грунта осуществляется с помощью горизонтальных (струнных) или вертикальных (стержневых) электродов, а также при помощи электрообогревательных печей (электрощитов). Первый способ, как правило, следует применять при рытье неглубоких (до 0,7 м) котлованов или траншей. Горизонтальные электроды длиной 2,5–3 м укладываются на очищенную поверхность грунта. Расстояние между электродами должно составлять 40–50 см при напряжении 220 В, 70–80 см при напряжении 380 В. Вся поверхность отогреваемого участка засыпается слоем опилок толщиной 15–20 см, смоченных в водном растворе соли. Опилки следует утрамбовать и покрыть досками или матами.

Обогрев вертикальными электродами применяется при необходимости оттаивания грунта на глубину более 0,8 м. Между электродами рекомендуется пробить бороздки глубиной 6 см, залить их раствором соли и засыпать отогреваемую поверхность грунта слоем сухих опилок.

Для отогрева грунта также используют электрощиты размером 1x1 и 0,5x1,5 м (рисунок 65). Этими щитами можно покрыть траншею или котлован любой ширины. Их располагают на расстоянии 20–25 см от края котлована и на 40–50 см друг от друга. Перед укладкой электрощитов грунт очищают от снега и по возможности от наледи. Для уменьшения тепловых потерь щиты следует утеплить матами из соломы, рогожи, опилок и т. п. Мощность щитов принимается равной 0,5–0,8 кВт на 1 м², в зависимости от влажности грунта, первоначальной температуры мерзлого грунта, глубины промерзания.

Отогревание трубопроводов можно производить, пропуская электрический ток по их стенкам (рисунок 66). Может быть использован как переменный, так и постоянный ток. Напряжение источника питания должно быть в пределах 30–65 В, мощность 8–10 кВт для трубопроводов диаметром до 40 мм, 30–40 кВт для трубопроводов диаметром до 200 мм (хорошо подходят сварочные трансформаторы). Сечение провода выбирается из расчёта не более 4 А/мм². Трубы в местах подключения тщательно (до блеска) очищают от краски и ржавчины. Провода присоединяют к трубам стальными хомутами.



Рисунок 65 – Нагреватели
грунта



При отогреве замерзших водопроводных труб вырабатывается электроэнергия большой мощности от 20 до 80 кВт.

Для подключения к трубам диаметром 57, 76, 89, 108, 200 мм используются коммутационные устройства и кабели длиной 100–150 м, перевозимые на специализированном прицепе.



Рисунок 66 – Электрообогрев металлического трубопровода
(<http://www.gerset.ru/article/372/50/>)

Для **нагрева воздуха** используется электрическая тепловая пушка (рисунок 67) – это мощный электрический воздушонагреватель, с по-

мощью которого можно просушить окрашенные стены или штукатурку. Состоит из нагревательного элемента и вентилятора. Обычно температура воздуха на выходе не слишком высокая, но тепловые пушки создают большой воздухообмен, за счет этого помещение быстро прогревается. Большинство тепловых пушек прямоугольной формы с нагревательным элементом в виде сетки. Но есть и другие модели – с цилиндрическим корпусом с нагревательным элементом, закрученным по спирали, такие пушки выдают большую температуру воздуха на выходе. Могут быть однофазными 220 В и трёхфазными 380 В. Мощность от 3 до 15 кВт, предусмотрена ступенчатая регулировка мощности. Оборудованы системой защиты, предотвращающей перегрев. Для нагрева меньших объемов воздуха используют строительные фены мощностью до 2 кВт.



Рисунок 67 – Электрическая тепловая пушка «Мастер» с четырехступенчатым переключателем (<http://www.ecoair.com.ua/product/master-b-33-epb/>)

8.5 Электровибраторы

Уплотнение бетонной смеси является одной из наиболее ответственных операций. При вибрировании частицы бетонной смеси сближаются, вытесняя пузырьки воздуха и излишнюю влагу на поверхность. Обычно применяют вибрации частотой от 25 до 400 Гц и амплитудой от 0,1 до 3 мм.

По способу возбуждения колебаний различают электромеханические и электромагнитные вибраторы, а по способу передачи колебаний: глубинные, поверхностные, наружные, виброплощадки (рисунок 68).

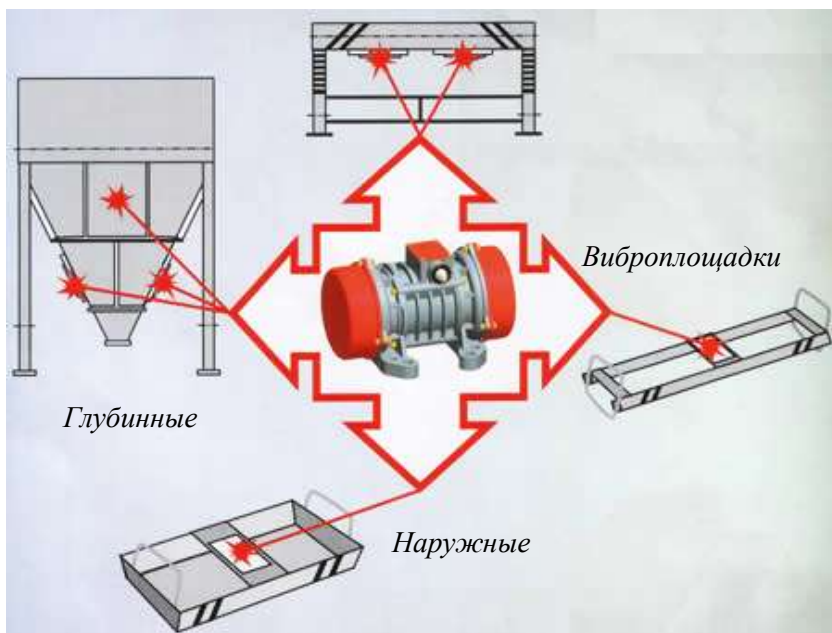


Рисунок 68 – Электровибраторы серии ВБ со стальными подшипниковыми узлами и крепежными лапами с диапазоном вынуждающей силы от 2 до 20 кН (<http://www.putsrv.ru/product/elektro/html/link/evb.htm>)

В глубинных (погружаемых) электромеханических вибраторах применяют трёхфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, которые вращают неуравновешенные инерционные элементы – дебалансы. В поверхностных, наружных вибраторах и на виброплощадках применяют электромагнитный возбуждатель. Он состоит из корпуса и подвижной части, связанных через пружины. Подвижная часть состоит из плиты с прикреплённым к ней Ш-образным сердечником, в окна которого уложена обмотка. При протекании по обмотке тока частотой 50 Гц сердечник притягивается к корпусу 100 раз в секунду, передавая ему вибрации.

8.6 Газоразрядные лампы

Всё реже для освещения применяют лампы накаливания, и всё шире – газоразрядные (люминесцентные ЛЛ, дуговые ртутные, дуговые натриевые, ксеноновые), а в последнее время – светодиодные, индукционные.

В газоразрядных лампах светится люминофор под действием электрического разряда, происходящего в ионизированном газе. Они требуют пусковой и регулирующей аппаратуры.

Рассмотрим применение пуско-регулирующей аппаратуры на примере люминесцентной лампы низкого давления. Она представляет собой стеклянную трубку, покрытую изнутри слоем люминофора (вредного для здоровья) и заполненного аргоном при пониженном давлении и капелькой ртути (ядовитой). Поэтому неисправные лампы надо не выбрасывать, а утилизировать.

В комплект люминесцентного светильника входят также стартер и дроссель. При подаче напряжения на светильник оно оказывается приложенным между контактами стартера, один из которых представляет собой биметаллическую пластинку. В колбочке стартера возникает разряд, от которого биметаллическая пластинка нагревается, от нагрева разгибается и прижимается к другому контакту. Ток, проходящий по цепи через дроссель, нить накаливания, стартер и вторую нить подогревает концы лампы и подготавливает её к запуску. Биметаллическая пластинка при этом остывает и сгибается. В момент размыкания контактов стартера возникает импульс перенапряжения 600–800 В за счёт энергии, запасённой в дросселе. От этого импульса газ внутри лампы пробивается и происходит первая вспышка. Далее вспышки следуют с частотой 100 раз в секунду, а дроссель ограничивает силу тока через лампу.

У других газосветных ламп пускорегулирующая аппаратура выполняет аналогичные функции.

Все применяемые пускорегулирующие аппараты подразделяются на аппараты, обеспечивающие импульсное (стартерное), быстрое (с накальным трансформатором) и мгновенное (электронные схемы – схемы умножения напряжения, высокочастотные схемы) включение.

Светоотдача газосветных ламп в несколько раз выше, а срок службы дольше, чем у ламп накаливания.

9 ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

9.1 Опасное действие электрического тока на организм человека

При эксплуатации и ремонте электрического оборудования и сетей человек может оказаться в сфере действия электрического поля или непосредственном соприкосновении с находящимися под напряжением проводками электрического тока. В результате прохождения тока через человека может произойти нарушение его жизнедеятельных функций. Опасность поражения электрическим током усугубляется тем, что, во первых, ток не имеет внешних признаков и, как правило, человек без специальных приборов не может заблаговременно обнаружить грозящую ему опасность; во вторых, воздействие тока на человека в большинстве случаев приводит к серьезным нарушениям наиболее важных жизнедеятельных систем, таких как центральная нервная, сердечно-сосудистая и дыхательная, что увеличивает тяжесть поражения; в третьих, переменный ток способен вызвать интенсивные судороги мышц, приводящие к неотпускающему эффекту, при котором человек самостоятельно не может освободиться от воздействия тока; в четвертых, воздействие тока вызывает у человека резкую реакцию отдергивания, а в ряде случаев и потерю сознания, что при работе на высоте может привести к травмированию в результате падения.

Электрический ток, проходя через тело человека, может оказывать биологическое, тепловое, механическое и химическое действие. Биологическое действие заключается в способности электрического тока раздражать и возбуждать живые ткани организма, тепловое – в способности вызывать ожоги тела, механическое – приводить к разрыву тканей, а химическое – к электролизу крови.

Воздействие электрического тока на организм человека может явиться причиной электротравмы – это травма, вызванная воздей-

ствием электрического тока или электрической дуги. Условно электротравмы делят на местные и общие. При местных электротравмах возникает местное повреждение организма, выражающиеся в появлении электрических ожогов, электрических знаков, в металлизации кожи, механических повреждениях и электроофтальмии (воспаление наружных оболочек глаз).

Общие электротравмы, или электрические удары, приводят к поражению всего организма, выражающемуся в нарушении или полном прекращении деятельности наиболее жизненно важных органов и систем – легких (дыхания), сердца (кровообращения).

Характер воздействия электрического тока на человека и тяжесть поражения пострадавшего зависит от многих факторов. Оценивать опасность воздействия электрического тока на человека можно по ответным реакциям организма. С увеличением тока четко проявляются три качественно отличные ответные реакции. Это прежде всего ощущение, более судорожное сокращение мышц (неотпускание для переменного тока и болевой эффект постоянного) и, наконец, фибрилляция сердца. Электрические токи, вызывающие соответствующую ответную реакцию, подразделяют на: осязаемые, неотпускающие и фибрилляционные.

К факторам, влияющим на исход поражения электрическим током, относят величину тока, величину напряжения, время действия, род и частоту тока, путь замыкания, сопротивление человека, окружающую среду.

Величина тока. По величине токи подразделяются на неощущаемые (0,6–1,6 мА), осязаемые (3 мА), отпускающие (6 мА), неотпускающие (10–15 мА), удушающие (25–50 мА), фибрилляционные (100–200 мА), тепловые воздействия (5 А и выше).

Величина напряжения и время действия (по ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ «Предельно допустимые величины напряжений и токов. Электробезопасность»). Факторы величины напряжения и время воздействия электрического тока приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Допустимые величины напряжений и токов

Время действия, с	Длительно	До 30	1	0,5	0,2	0,1
Величина тока, мА	1	6	50	100	250	500
Величина напряжения, В	6	36	50	100	250	500

При кратковременном воздействии (0,1–0,5 с) ток порядка 100 мА не вызывает фибрилляции сердца. Если увеличить длительность воздействия до 1 с, то этот же ток может привести к смертельному исходу. С уменьшением длительности воздействия значение допустимых для человека токов существенно увеличивается. При изменении времени воздействия от 1 до 0,1 с допустимый ток возрастает в 10 раз.

Род и частота тока. Постоянный и переменный токи оказывают различные воздействия на организм, главным образом, при напряжениях до 500 В. При таких напряжениях степень поражения постоянным током меньше, чем переменным той же величины. Считают, что напряжение 120 В постоянного тока при одинаковых условиях эквивалентно по опасности напряжению 40 В переменного тока промышленной частоты. При напряжении 500 В и выше различий в воздействии постоянного и переменного токов практически не наблюдаются. Исследования показали, что самыми неблагоприятными для человека являются токи промышленной частоты (50 Гц). При увеличении частоты (более 50 Гц) значения неотпускающего тока возрастает. С уменьшением частоты (от 50 Гц до 0) значения неотпускающего тока тоже возрастает и при частоте, равной нулю (постоянный ток – болевой эффект), они становятся больше примерно в три раза. Значения фибрилляционного тока при частотах 50–100 Гц равны, с повышением частоты до 200 Гц этот ток возрастает примерно в 2 раза, а при частоте 400 Гц – почти в 3,5 раза.

Путь замыкания тока. При прикосновении человека к токоведущим частям путь тока может быть различным. Всего существует 18 вариантов путей замыкания тока через человека. Основные из них: голова – ноги; рука – рука; правая рука – ноги; левая рука – ноги; нога – нога.

Степень поражения в этих случаях зависит от того, какие органы человека подвергаются воздействию тока, и от величины тока, проходящего непосредственно через сердце.

Сопротивление человека. Величина тока, проходящего через какой-либо участок тела человека, зависит от приложенного напряжения (напряжения прикосновения) и электрического сопротивления, оказываемого току данным участком тела. Между воздействующим током и напряжением существует нелинейная зависимость: с увеличением напряжения ток растет быстрее. Это объясняется, главным образом, нелинейностью электрического сопротивления тела человека. На участке между двумя электродами электрическое сопротивление тела человека в основном состоит из сопротивлений двух тонких наружных слоев кожи, касающихся электродов, и внутреннего сопротивления

остальной части тела. Плохо проводящий ток наружный слой кожи, прилегающий к электроду, и внутренняя ткань, находящаяся под плохо проводящим слоем, как бы образуют обкладки конденсатора. С увеличением частоты тока сопротивление тела человека уменьшается и при больших частотах становится равным внутреннему сопротивлению.

При напряжении на электродах 40–45 В в наружном слое кожи возникают значительные напряженности поля, которые полностью или частично нарушают полупроводящие свойства этого слоя. При увеличении напряжения сопротивление тела уменьшается и при напряжении 100–200 В падает до значения внутреннего сопротивления тела. Это сопротивление для практических расчетов может быть принято равным 1000 Ом.

Окружающая среда. Влажность и температура воздуха, наличие заземленных металлических конструкций и полов, токопроводящая пыль и другие факторы окружающей среды оказывают дополнительное влияние на условие электробезопасности. Во влажных помещениях с высокой температурой или наружных электроустановках складываются неблагоприятные условия, при которых обеспечивается наилучший контакт с токоведущими частями. Наличие заземленных металлических конструкций и полов создает повышенную опасность поражения вследствие того, что человек практически постоянно связан с одним полюсом (землей) электроустановки. Токопроводящая пыль также улучшает условия для электрического контакта человека как с токоведущими частями, так и с землей.

9.2 Защитное заземление и зануление

При эксплуатации электроустановки возможно нарушение изоляции токоведущих частей, в результате которого корпус, а также другие металлические части оказываются под напряжением. Для защиты человека от поражения электрическим током эти предметы заземляют или зануляют.

Заземление – преднамеренное соединение предмета с землей с помощью заземляющего проводника и заземлителя, естественного или искусственного. Защитный эффект заземления состоит в шунтировании тела человека малым сопротивлением.

Принцип действия защитного заземления – снижение напряжения между корпусом, оказавшимся под напряжением, и землей до безопасного значения.

Естественные заземлители. В первую очередь, для заземления электроустановок используются естественные заземлители. Если эти заземлители имеют сопротивление, удовлетворяющее требованию ПУЭ, то искусственные заземлители не применяют.

В качестве естественных заземлителей используют:

- железобетонные фундаменты зданий и сооружений;
- проложенные под землей водопроводные и другие металлические трубопроводы, за исключением: трубопроводов для горючих жидкостей и газов, чугунных трубопроводов, а также временных трубопроводов строительных площадок;
- обсадные трубы и другие металлические конструкции, имеющие соединение с землёй;
- свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле.

Алюминиевые оболочки кабелей и неизолированные алюминиевые провода использовать в качестве заземлителей запрещается.

Искусственные заземлители должны применяться лишь в случае, если естественные заземлители не удовлетворяют требованиям ПУЭ по значениям сопротивления заземляющего устройства и по напряжению прикосновения. По форме и расположению в грунте искусственные заземлители подразделяют на группы:

- *углубленные* – изготавливают из круглой или полосовой стали, укладывают горизонтально на дно котлованов по периметру фундаментов зданий и сооружений;
- *вертикальные* – стержни, изготовленные из круглой стали, либо отрезки угловой стали вертикально ввинчивают, вдавливают или забивают в грунт;
- *горизонтальные* – стержни круглого сечения или стальные полосы укладывают горизонтально в траншею.

В практике часто применяют комбинированные заземлители, состоящие из вертикальных стержней и соединяющих их горизонтальных полос (рисунок 69).

Обычно для заземлителей применяют круглую сталь диаметром 10–16 мм, полосовую сталь сечением 40 x 4 мм и угловую сталь 50 x 50 x 5 мм. Применять трубы не рекомендуется из-за их дороговизны.



Рисунок 69 – Установка заземлителя

Длина вертикальных заземлителей принимается равной: ввинчиваемых – 4,5–5 м, забиваемых – 2,5–3 м. Вертикальные заземлители в плане располагают в соответствии с проектом. При уменьшении расстояния между ними суммарное сопротивление заземляющего устройства увеличивается из-за взаимного экранирования.

Каждая заземляемая или зануляемая часть электроустановки присоединяется к сети заземления (зануления) при помощи отдельного ответвления. Площадь сечения заземляющего или зануляющего провода регламентируется в зависимости от их материала (сталь, медь, алюминий) и места прокладки (в земле, помещении, в составе питающего кабеля). При заземлении нескольких электроустановок используют магистральную стальную шину, один конец которой соединен с заземлителем. Магистраль прокладывается в непосредственной близости от заземляемого электрооборудования (обычно прибивается по низу стены дюбелями) и имеет короткие ответвления с отверстиями для болтов. Каждый заземляющий проводник должен подключаться к отдельному болту, недопустимо подключение нескольких проводников под один болт.

Если корпус электрооборудования не заземлен и оказался в контакте с фазой, то прикосновение к такому корпусу равносильно прикосновению к фазе. В этом случае ток, проходящий через человека (при малом сопротивлении обуви, пола и изоляции проводов относительно земли), может достигать опасных значений.

Если же корпус заземлен, то величина тока, проходящего через человека, безопасна для него. В этом назначении заземления, и поэтому оно называется защитным.

Стационарные искусственные защитные заземления состоят из следующих элементов: заземляющих проводников; соединительных контуров; заземлителей – электродов, которые вбивают в землю на глубину от 3 до 10 метров.

При этом верхний конец электрода должен быть на глубине 0,7 метра от поверхности земли. Между собой электроды соединяются при помощи стальной полосы или круглой стали. Немаловажную роль при этом играет состав и влажность почвы, в которую погружается заземлитель. С изменением влажности любой почвы будет меняться и её сопротивление, и, как следствие, изменится ток растекания. Соединение полос или круглой стали с электродами выполняют только сваркой. Искусственные заземлители не должны окрашиваться. Конструктивно искусственные заземляющие устройства бывают горизонтального и вертикального исполнения.

Сопротивление заземляющих устройств в электроустановках до 1 кВ с изолированной нейтралью должно быть не больше 4 Ом, а в электроустановках 220, 380 и 660 В с глухозаземлённой нейтралью – не больше соответственно 8, 4 и 2 Ом.

Занулением называется преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам.

Решается эта задача быстрым отключением поврежденной электроустановки от сети.

При занулении, если оно надежно выполнено, всякое замыкание на корпус превращается в однофазное короткое замыкание (т.е. замыкание между фазами и нулевым проводом). При этом возникает ток такой силы, при которой обеспечивается срабатывание защиты (предохранителя или автомата) и автоматическое отключение поврежденной установки от сети.

Вместе с тем зануление (как и заземление) не защищает человека от поражения электрическим током при прямом прикосновении к токоведущим частям. Поэтому возникает необходимость (в помещениях, особо опасных в отношении поражения электрическим током) в использовании, помимо зануления, и других защитных мер, в частности, защитного отключения и выравнивания потенциала (<http://ohranatruda.of.by/zazemlenie-i-zanulenie-elektroustanovok.-ix-zashitnoe-deiestvie.html>) (<http://www.electrika.by/component/content/article/47/110>)

В Беларуси требования к заземлению и его устройству регламентируются ТКП 181–2009 «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей».

Проводники защитного заземления во всех электроустановках, а также нулевые защитные проводники в электроустановках напряжением до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью, в том числе шины, должны иметь буквенное обозначение РЕ и цветовое обозначение чередующимися продольными или поперечными полосами одинаковой ширины (для шин от 15 до 100 мм) желтого и зеленого цветов. Нулевые рабочие (нейтральные) проводники обозначаются буквой N и голубым цветом. Совмещенные нулевые защитные и нулевые рабочие проводники должны иметь буквенное обозначение PEN и цветовое обозначение: голубой цвет по всей длине и желто-зеленые полосы на концах (рисунок 70).



Рисунок 70 – Отличие защитного заземления и защитного "нуля"

9.3 Системы заземления

В настоящее время в нашей стране активно ведется работа по повышению уровня электробезопасности в электроустановках жилых и общественных зданий путём перехода от старой системы заземления *TN-C* к новой – *TN-S* в соответствии с рекомендациями Международной электротехнической комиссии – МЭК.

Условные обозначения систем расшифровываются следующим образом:

- первая буква – состояние нейтрали источника относительно земли, *T* – заземленная нейтраль; Если нейтраль источника изолирована от земли, то ставится буква *I*;

- вторая буква – состояние открытых проводящих частей относительно земли, *N* – открытые проводящие части присоединены к глухо заземлённой нейтрали источника питания. Если открытые проводящие части заземлены, то ставится буква *T*.

Последующие (после буквы *N*) буквы – совмещение в одном проводнике или разделение функций нулевого рабочего и нулевого защитного проводников:

- S* – нулевой рабочий (*N*) и нулевой защитный (*PE*) проводники разделены;

- C* – функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике (*PEN*-проводник).

- C-S* – функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике в какой-то ее части, начиная от источника питания.

Старая система *TN-C* – четырехпроводная система, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике *PEN* на всем её протяжении (рисунок 71).

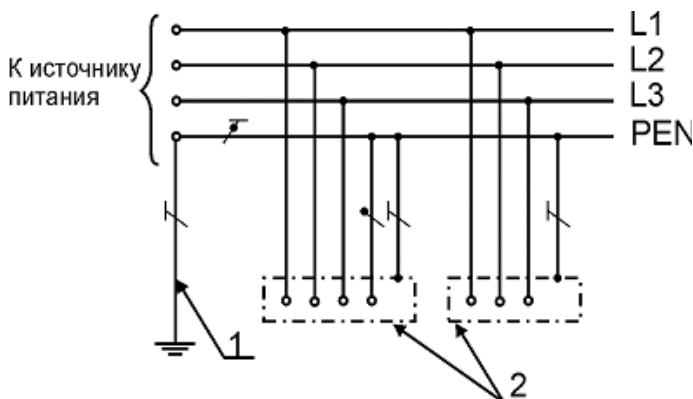


Рисунок 71 – Система *TN-C* переменного тока:

1 – заземлитель нейтрали источника переменного тока; 2 – открытые проводящие части

Нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике *PEN*.

Новая система *TN-S* – пятипроводная система, в которой нулевой защитный *PE* и нулевой рабочий *N* проводники разделены на всем ее протяжении (рисунок 72).

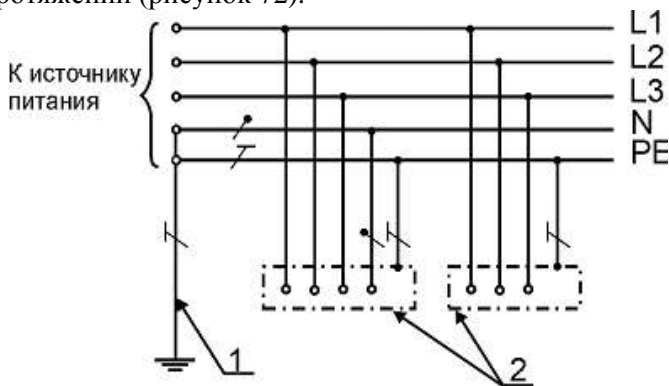


Рисунок 72 – Система *TN-S* переменного тока:

1 – заземлитель нейтрали источника переменного тока; 2 – открытые проводящие части

Нулевой защитный *PE* и нулевой рабочий *N* проводники разделены.

Промежуточная система *TN-C-S* – система *TN*, в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике в какой-то ее части, начиная от источника питания (рисунок 73).

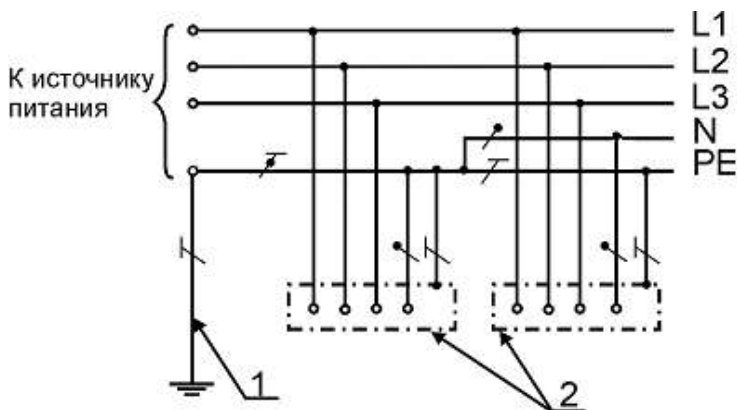


Рисунок 73 – Система *TN-C-S* переменного тока:

1 – заземлитель нейтрали источника переменного тока; 2 – открытые проводящие части

Нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике в части системы.

Приняты следующие графические обозначения проводников:

$N - \text{—}$ – нулевой рабочий (нейтральный) проводник;

$PE - \text{—}$ – защитный проводник (заземляющий проводник, нулевой защитный проводник, защитный проводник системы уравнивания потенциалов);

$PEN - \text{—}$ – совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводники.

При монтаже электроустановок правила предписывают применять для защитного проводника (*PE*) провод в желто-зеленой полосатой изоляции.

Наиболее перспективной для нашей страны является система *TN-C-S*, позволяющая в комплексе с широким внедрением УЗО обеспечить высокий уровень электробезопасности в электроустановках без их коренной реконструкции.

В системе *TN-C-S* во вводно-распределительном устройстве электроустановки совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводник *PEN* разделен на нулевой защитный *PE* и нулевой рабочий *N* проводники.

Нулевой защитный проводник *PE* соединен со всеми открытыми проводящими частями и может быть многократно заземлен, в то время как нулевой рабочий проводник *N* не должен иметь соединения с землей.

Внесены изменения в Правила устройства электроустановок (ПУЭ), в гл. 7.1 «Электрооборудование жилых и общественных зданий». В 7-м издании ПУЭ требования к выполнению групповых сетей сформулированы следующим образом:

– п. 7.1.13. Питание электроприемников должно выполняться от сети 380/220 В с системой заземления *TN-S* или *TN-C-S*;

– в п. 7.1.33 введён дополнительный абзац:

«В жилых и общественных зданиях линии групповой сети, прокладываемые от групповых щитков до штепсельных розеток, должны выполняться трехпроводными (фазный, нулевой рабочий и нулевой защитный проводники). Питание стационарных однофазных электроприемников следует выполнять трехпроводными линиями. При этом нулевой рабочий и нулевой защитный проводники не следует подключать на щитке под один контактный зажим»;

– п. 7.1.36. Во всех зданиях линии групповой сети, прокладываемые от групповых, этажных и квартирных щитков до светильников общего освещения, штепсельных розеток и стационарных электроприемников, должны выполняться трехпроводными (фазный – *L*, нулевой рабочий – *N* и нулевой защитный – *PE*-проводники).

Не допускается объединение нулевых рабочих и нулевых защитных проводников различных групповых линий.

Нулевой рабочий и нулевой защитный проводники не допускается подключать под общий контактный зажим.

9.4 Устройства защитного отключения

Для защиты от поражения человека электрическим током при нарушении изоляции используется система защитного отключения, которая основана на контроле токов утечки.

Для контроля токов утечки применяют специальный датчик (трансформатор тока), который устанавливают: в однофазной цепи – на оба провода, идущих к потребителю; в трехфазной – на все три либо четыре провода (в зависимости от схемы подключения). Таким образом, датчик тока фиксирует сумму всех токов, протекающих через потребитель, а в соответствии с первым правилом Кирхгофа эта сумма должна быть равна нулю. Если у потребителя есть утечка тока через изоляцию любого из фазных проводов на корпус, а следовательно, и на землю, на выходе датчика появляется сигнал, который вызывает защитное отключение потребителя. Такие устройства сокращённо называют УЗО.

Функционально УЗО можно определить как **быстродействующий защитный выключатель, реагирующий на дифференциальный ток в проводниках, подводящих электроэнергию к защищаемой электроустановке.**

Основные функциональные блоки устройства защитного отключения представлены на рисунке 74. Важнейшим функциональным блоком УЗО является дифференциальный трансформатор тока 1. Пусковой орган (пороговый элемент) 2 выполняется, как правило, на чувствительных поляризованных магнитоэлектрических реле прямого действия или электронных компонентах. Исполнительный механизм 3 включает в себя силовую контактную группу с механизмом привода.

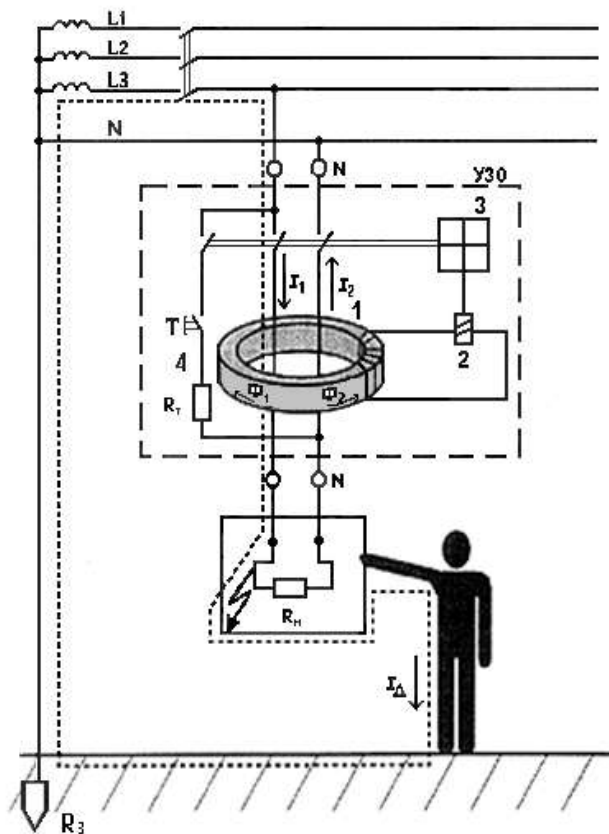


Рисунок 74 – Принцип действия УЗО

В нормальном режиме при отсутствии дифференциального тока – тока утечки через нарушенную изоляцию – в силовой цепи по проводникам, проходящим сквозь окно магнитопровода трансформатора тока 1, протекает рабочий ток нагрузки. Если обозначить ток, протекающий по направлению к нагрузке как I_1 , а от нагрузки – как I_2 , то можно записать равенство $I_1 = I_2$. Равные токи во встречно включенных обмотках наводят в магнитном сердечнике трансформатора тока равные, но встречно направленные магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 . Результирующий магнитный поток равен нулю, ток во вторичной обмотке дифференциального трансформатора также равен нулю. Пусковой орган 2 находится в этом случае в состоянии покоя.

При прикосновении человека к открытым токопроводящим частям или к корпусу электроприёмника, на котором произошел пробой изоляции, по фазному проводнику через УЗО кроме тока нагрузки I_1 протекает дополнительный ток – ток утечки (I_{Δ}), являющийся для трансформатора тока дифференциальным (разностным). Неравенство токов в первичных обмотках ($I_1 = I_2 + I_{\Delta}$) вызывает небаланс магнитных потоков и, как следствие, возникновение во вторичной обмотке трансформированного дифференциального тока. Если этот ток превышает значение установленного порогового элемента пускового органа 2, последний срабатывает и воздействует на исполнительный механизм 3.

Исполнительный механизм, обычно состоящий из пружинного привода, спускового механизма и группы силовых контактов, размыкает электрическую цепь. В результате защищаемая УЗО электроустановка обесточивается. Для осуществления периодического контроля исправности (работоспособности) УЗО предусмотрена цепь тестирования 4.

При нажатии кнопки «Тест» искусственно создается отключающий дифференциальный ток. Срабатывание УЗО означает, что оно в целом исправно.

Различают **три типа УЗО**:

АС – реагирующие на переменный дифференциальный ток;

A – реагирующие на переменный и пульсирующий постоянный дифференциальные токи;

B – реагирующие на переменный, пульсирующий постоянный и сглаженный постоянный дифференциальные токи.

Чувствительность УЗО общего применения – 30 мА. В помещениях с повышенной температурой и влажностью (бани, бассейны, ванные комнаты и т. п.) применяют УЗО с чувствительностью 10 мА.

10 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Расчетно-графическая работа (РГР) на тему «Электроснабжение строительной площадки» предназначена для закрепления теоретических знаний по курсу «Инженерные сети и оборудование (электротехника)».

В РГР необходимо рассчитать требуемую мощность при электропрогреве бетона, определить электрическую нагрузку на шинах низшего напряжения трансформаторной подстанции и провести расчёт кабельной сети строительной площадки. В состав РГР входит генплан строительной площадки, выполненной в масштабе 1:100, перечень электроприёмников с указанием их технических данных и месторасположения на плане.

РГР должна быть выполнена в соответствии с нормами, предъявляемыми к технической документации (ГОСТ 7.32–2001, ГОСТ 21.208–93) и включать в себя основные разделы в указанной ниже последовательности:

Введение

1 Расчет электрической нагрузки потребителей строительной площадки

2 Определение мощности и месторасположения трансформаторной подстанции на плане электрических сетей

3 Защита электрических сетей

4 Выбор сечения проводов по допустимой температуре нагрева

Список литературы

Рекомендуемый объем – не менее 20 страниц.

В разделе «Введение» приводятся:

- основные потребители электроэнергии на строительной площадке;
- назначение трансформаторов;
- необходимость электропрогрева бетона в холодный период года;

- описание необходимого типа электросети;
- данные для расчета согласно заданию на РГР.

В разделе 1 «Расчет электрической нагрузки потребителей строительной площадки» составляется план размещения объектов на строительной площадке, приводятся расчеты электрической нагрузки, определяемой методом коэффициента спроса K_c по активной мощности (отношение расчетной активной мощности к номинальной (установленной)).

K_c определяются для всех характерных групп силовых электроприёмников и технологического процесса электропрогрева бетона, сумма которых составляет общую активную мощность силовой нагрузки строительной площадки P_p .

Далее определяют реактивную нагрузку площадки Q_p и средневзвешенный коэффициент реактивной мощности $\text{tg}\varphi_c$, необходимость установки компенсирующего устройства – комплектной конденсирующей установки мощностью Q_k .

После данных расчетов находим полную мощность строительной площадки S .

Раздел 2 «Определение мощности и месторасположения трансформаторной подстанции на плане электрических сетей».

Количество трансформаторных подстанций (ТП) определяется исходя из рассчитанной S и размеров строительной площадки. Не рекомендуется делать отходящие линии длиной более 200–300 м.

Если потребители строительных площадок относятся ко второй и третьей категории надежности электроснабжения, то для них применяются однотрансформаторные подстанции, обеспечивающие минимальные капитальные затраты. Тип ТП выбирают по каталогам белорусских предприятий-производителей ТП в интернете в зависимости от мощности трансформатора S .

Находятся теоретические координаты ТП в центре электрических нагрузок, т.к. в этом случае будут минимальные потери напряжения и мощности в электрической сети стройплощадки.

Используя строительный генплан, наносят на него координатные оси x и y , совмещая их с границами строительной площадки. Масштаб по координатным осям получается исходя из расстояния между осями зданий. Для каждого электроприёмника, изображённого на стройгенплане, определяются координаты, которые записываются в табличной форме. Месторасположение ТП должно быть максимально приближено к теоретическому центру нагрузок.

Разрабатывается схема внутренних электрических сетей, на которой размещаются распределительные щиты (РЩ) таким образом, чтобы протяженность линии электропередачи от РЩ до электроприёмников была минимальной. Марки РЩ выбирают по каталогам исходя из расчетных токов электроприёмников. При выборе типа и числа РЩ учитываются типы предохранителей, а также характер распределения электроприёмников по строительной площадке.

Расчетные номинальные токи заносятся в таблицу, в которой указывается название механизма, номер на стройгенплане и значение расчетного тока.

В разделе 3 «Защита электрических сетей» производят расчет и выбор плавких вставок предохранителей, ориентируясь на условие, что номинальный ток расцепителя автоматического выключателя или плавкой вставки предохранителя должен быть равен или несколько больше номинального тока электроприёмника. Данные заносятся в таблицу, в которой указываются название механизма, номер на стройгенплане, значение расчетного тока плавкой вставки, тип предохранителя и номинальный ток плавкой вставки.

В разделе 4 «Выбор сечения проводов по допустимой температуре нагрева» проводится определение сечения проводов, при котором длительный ток нагрузки не вызовет перегрева проводников. При этом необходимо использовать данные из таблицы раздела 2 расчетный ток каждого потребителя строительной площадки. Сечение, соответствующее найденному значению допустимого тока, является искомым сечением проводников (жил кабеля). Рассчитанные и выбранные значения заносятся в таблицу «Сечение жил кабелей распределительной сети стройплощадки», в которой указывается наименование механизма, номер на стройгенплане, расчетный ток, сечение жилы, допускаемый ток, сопротивление.

Затем определяется потеря напряжения для кабелей, питающих наиболее удаленных от РЩ потребителей. Значения заносятся в таблицу «Потери напряжения в линиях распределительной сети», в которой указывается наименование механизма, расчетная потеря напряжения $\Delta U\%$, допускаемое значение $\Delta U\%$ по ТКП.

Расчетно-графическая работа выполняется на практических занятиях под руководством преподавателя с использованием современной справочной и нормативной литературы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **ТКП 339–2011 (0223)**. Электроустановки напряжением до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки жилых и общественных зданий. Правила устройства и защитные меры электробезопасности. Учет электроэнергии. Нормы приемо-сдаточных испытаний. – Введ. 2011–08–23. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2011. – 598 с.

2 **ТКП 181–2009**. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – Введ. 2009–09–01.– Утвержден и введен в действие постановлением Министерства энергетики Республики Беларусь от 20 мая 2009 г. № 16. – Минск: Министерство энергетики Республики Беларусь, 2009. – 356 с.

3 **ТКП 45.4.04-149–2009 (02250)**. Системы электрооборудования жилых и общественных зданий. Правила проектирования. – Введ. 2010–01–01. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2010. – 80 с.

4 **ТКП 355–2011**. Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Порядок метрологического обеспечения автоматизированных систем контроля и учета электрической энергии. – Введ. 2011–12–12. – Минск: Минэнерго, 2012. – 21 с.

5 **СТБ ГОСТ Р 51778–2002**. Щитки распределительные для производственных и общественных зданий. Общие технические требования. – Введ. 2002–01–01. – Минск: Госстандарт, 2002. – 32 с.

6 **СТБ МЭК 60173–2001**. Расцветка жил гибких кабелей и шнуров. – Введ. 2002–07–01. – Минск: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2002. – 4 с.

7 **ГОСТ 2.709–89**. Единая система конструкторской документации. Обозначения условные проводов и контактных соединений электрических элементов, оборудования и участков цепей в электрических схемах. – Введ. 1990-01-01. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1990. – 8 с.

8 **ГОСТ 1494–77**. Электротехника. Буквенные обозначения основных величин. – Введ. 1978–07–01. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1978. – 38 с.

9 **ГОСТ 1983–2001**. Трансформаторы напряжения. Общие технические условия. – Введ. 2003–01–01. – М.: Межгосударственный Совет по стандартизации метрологии и сертификации, 2001. – 29 с.

10 **ГОСТ 7746–2001**. Трансформаторы тока. Общие технические условия. – Введ. 2003–01–01. – М.: Межгосударственный Совет по стандартизации метрологии и сертификации, 2001. – 35 с.

11 **Касаткин, А. С.** Электротехника : учеб. для вузов / А. С. Касаткин, М. В. Немцов. – М.: Академия, 2005. – 544 с.

12 **Зайцев, В. Е.** Электротехника. Электроснабжение, электротехнология и электрооборудование строительных площадок : учеб. пособие для СПО / В. Е. Зайцев, Т. А. Нестерова. – М.: Академия, 2006. – 186 с.

13 **Свириденко, Э. А.** Основы электротехники и электроснабжения / Э. А. Свириденко, Ф. Г. Китуневич. – Минск : Дизайн ПРО, 2000. – 284 с.

14 **Кононенко, В. В.** Электрические сети и электрооборудование строящихся жилых зданий / В. В. Кононенко. – Ростов н/Д: Рост. гос. акад. стр-ва, 1996.–246 с.

15 **Кононенко, В. В.** Электротехника и электрика : учеб. пособие для вузов / В. В. Кононенко. – Ростов н/Д: Феникс, 2005. – 355 с.

16 **Безопасность жизнедеятельности: учеб. для вузов / С. В. Белов [и др.]; под ред. С.В. Белова. – М. : Высш. шк., 2007. – 616 с.**

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(справочное)

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Абонент – потребитель, электрические сети и электроустановки которого непосредственно присоединены к сетям энергоснабжающей организации, имеющей с ней границу балансовой принадлежности электрической сети и заключенный договор на снабжение электрической энергией.

Вольтамперные характеристики (ВАХ) – характеристики, изображающие связь между током, протекающим через какой либо элемент электрической цепи, и падением напряжения на нем в статическом режиме.

Двухставочный тариф – тариф для промышленных и приравненных к ним потребителей, предусматривающий основную плату (за договорную или фактическую величину наибольшей получасовой совмещенной активной мощности, потребляемой в часы максимальных нагрузок энергосистемы) и дополнительную плату (за фактическое количество потребленной активной энергии) за расчетный период.

Двухфазное прикосновение – одновременное прикосновение к двум фазам электроустановки, находящейся под напряжением.

Диэлектрик (изолятор) – это материал, который плохо проводит или совсем не проводит электрический ток.

Дополнительная ставка двухставочного тарифа – цена 1 кВт.ч потребляемой активной энергии, принимаемая в соответствии с декларацией об уровне тарифов на электрическую энергию.

Допустимые условия эксплуатации – совокупность допустимых значений всех воздействующих факторов.

Заземлитель – проводник (электрод) или совокупность электрически соединенных между собой проводников, находящихся в контакте с землей или ее эквивалентом, например, с неизолированным от земли водоемом.

Заземляющий проводник – защитный проводник, соединяющий заземляемые части электроустановки с заземлителем.

Закон Фарадея – закон, устанавливающий взаимосвязь между магнитными и электрическими явлениями. ЭДС электромагнитной индукции в контуре численно равна и противоположна по знаку скорости изменения магнитного потока сквозь поверхность, ограниченную этим контуром.

Зануление (защитное зануление) – преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.

Защитное заземление – преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.

Защитное отключение – быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности поражения током.

Земля – проводящая масса земли, потенциал которой принимается равным нулю (СТ МЭК 50 (151)-78).

Кабель (нидерл. kabel) – это изделие из одного или нескольких изолированных друг от друга проводников, которые находятся в общей оболочке. Также помимо проводников и изоляции кабель может содержать в себе силовые элементы, экран и другие детали.

Киловатт-час (кВт·ч) – общепринятая в энергетике единица измерения потреблённой или выработанной электроэнергии. 1 кВт·ч – это энергия, которую выработает или потребит за 1 час устройство мощностью в киловатт. Например, электролампа мощностью 100 Вт (или 0,1 кВт) за 5 часов потребит $0,1 \cdot 5 = 0,5$ кВт·ч.

Коммутативность – свойство инвариантности при перестановке элементов.

Контрольный счетчик – счетчик электрической энергии, используемый для технического учета и контроля вырабатываемой (генерируемой), отпускаемой или потребляемой электрической энергии и мощности, величины которых подлежат контролю.

Короткое замыкание – аварийное состояние системы, когда между точками с различными потенциалами возникает проводник или же они соприкасаются. Следствием короткого замыкания является протекающий в цепи ток, значительно превышающий значение, на которое рассчитана электрическая цепь. При этом система перегревается, возможно возникновение искрения, оплавление токопроводов, повышается вероятность пожара.

Линия электропередачи (ЛЭП) – система опор с натянутыми проводами, по которым происходит передача электроэнергии.

Неотпускающий ток – электрический ток, вызывающий при прохождении через человека непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, в которой зажат проводник.

Ноль – единый проводник, который замыкает электрическую цепь всех трёх фаз обратно к источнику напряжения.

Обмотка – часть электротехнического устройства, представляющая собой совокупность витков или катушек, которые служат для создания магнитного поля.

Обмотка трансформатора – электрическая цепь, состоящая из совокупности витков, в которых наводятся и суммируются ЭДС для получения нужного напряжения.

Ом (обозначение: Ом) – единица измерения сопротивления. Сопротивление проводника равно одному ому, если при протекании через него силы тока в один ампер на нём создаётся разность потенциалов один вольт.

Основная ставка двухставочного тарифа – цена 1 кВт договорной или фактической величины наибольшей потребляемой активной мощности, принимаемая в соответствии с декларацией об уровне тарифов на электрическую энергию, реализуемую организациями Белорусского государственного энергетического концерна (далее декларация об уровне тарифов на электрическую энергию), утверждаемой в установленном порядке Министерством экономики Республики Беларусь.

Открытая проводящая часть – неизолирующая часть, доступная прикосновению человека, которая может оказаться под напряжением при нарушении изоляции токоведущих частей.

Падение напряжения, напряжение – разность потенциалов между двумя точками электрической цепи, положительным направлением которого считается направление к точке с более низким потенциалом.

Переменный ток – это электрический ток, который со временем меняется по величине и направлению. Переменный ток может преобразовываться в постоянный с помощью устройств-выпрямителей.

Понижающий трансформатор – трансформатор, в котором его обмотка высшего напряжения выполняет функцию первичной обмотки.

Постоянный ток – движение постоянного количества заряженных частиц в одном направлении. При этом понимается, что модуль тока не изменяется и частота тока равна нулю (он не меняет направления).

Потребитель электрической энергии – юридическое или физическое лицо, осуществляющее пользование электрической энергией (мощностью).

Приемник электрической энергии (далее электроприемник) – электрический аппарат, агрегат, машина или устройство, предназначенные для преобразования электрической энергии в другой вид энергии.

Присоединенная мощность – суммарная номинальная мощность силовых трансформаторов и электроприемников потребителя напряжением выше 1000 В, присоединенных к электрической сети энергоснабжающей организации.

Проводник – токопроводящий элемент электрической системы. Также проводниками называют все материалы, обладающие способностью хорошо проводить электрический ток. К таким материалам относятся все металлы, уголь, графит, вода, растворы кислот и щелочей. Способностью проводить ток обладают также газы в состоянии плазмы. Проводимость материала характеризует особая физическая величина – электрическое сопротивление. Оно зависит от формы проводника, его состава, температуры, давления и ряда других величин.

Рабочая изоляция – электрическая изоляция токоведущих частей электроустановки, обеспечивающая ее нормальную работу и защиту от поражения электрическим током.

Расчетная автоматизированная система контроля и учета электрической мощности и энергии (далее расчетная автоматизированная система) – совокупность технических средств, с помощью которых у абонента (субабонента) осуществляется централизованный контроль (и фиксация) наибольшей получасовой совмещенной электрической мощности, потребляемой (или генерируемой) в часы максимальных и минимальных нагрузок энергосистемы, и учет потребляемой (или генерируемой) электрической энергии (в том числе раздельный по тарифным зонам суток), величины которых подлежат оплате.

Расчетный период – период времени (месяц), за который должны быть учтены и оплачены абонентом (субабонентом) потребленная электрическая энергия и мощность.

Расчетный счетчик – счетчик электрической энергии, используемый для расчетного учета и контроля вырабатываемой (генерируемой), отпускаемой или потребляемой электрической энергии и мощности, величины которых подлежат оплате.

Расчетный учет электрической энергии – учет вырабатываемой (генерируемой), отпускаемой или потребляемой электрической энергии для денежного расчета за нее.

Розетка – механизм, с помощью которого электроприборы подключаются к электрической сети. Розетки бывают внутренние и внешние, а также применяются в переносных удлинителях.

Ротор – вращающаяся часть электрической машины.

Сетевое напряжение – значение действующего напряжения, к которому потребитель получает доступ и на которое рассчитано большинство электропотребителей. В России это 220 вольт, в США – 110 вольт. Также сетевое напряжение характеризуется частотой переменного тока в сети. В России принята частота 50 герц, в США – 60 герц. Поэтому применение одних и тех же приборов в странах с разными параметрами сети недопустимо.

Силовой кабель – изолированный проводник (или группа проводников в общей изоляции), предназначенный для передачи энергии от производителя к потребителю или же между объектами энергосистемы.

Система электроснабжения общего назначения – совокупность электроустановок и электрических устройств энергоснабжающей организации, предназначенных для обеспечения электрической энергией различных потребителей (приемников электрической энергии).

Стартер – зажигающее устройство для запуска разрядных ламп, функция которого – предварительный подогрев электродов ламп. Включается в

схему разрядных ламп последовательно балласту для создания импульсного напряжения.

Статор – неподвижная часть, совокупность элементов электрической машины – магнитопровода и обмоток.

Стационарное электрооборудование – электрооборудование, место установки которого постоянно и не предусмотрена его эксплуатация с перемещением относительно этого места.

Субабонент – потребитель, электрические сети и электроустановки которого непосредственно присоединены к электрическим сетям абонента энергоснабжающей организации, имеющий с ним границу балансовой принадлежности электрической сети и заключенный договор на снабжение электрической энергией.

Тарифная зона суток – промежутки времени суток, в течение которых на протяжении расчетного периода действует установленный тарифный коэффициент.

Тарифный коэффициент – коэффициент (повышающий, понижающий или равный 1,0) к дополнительной ставке двухставочного тарифа.

Ток короткого замыкания – сверхток, обусловленный повреждением с пренебрежимо малым полным сопротивлением между точками, находящимися под разными потенциалами в нормальных рабочих условиях.

Ток повреждения – ток, появившийся в результате повреждения или перекрытия изоляции.

Ток утечки – ток, который протекает в землю или на сторонние проводящие части в электрически неповрежденной цепи.

Тоководущая часть – электропроводящая часть электроустановки, находящаяся в процессе ее работы под рабочим напряжением.

Точка общего присоединения – точка электрической сети общего назначения, электрически ближайшая к сетям рассматриваемого потребителя электрической энергии (входным устройствам рассматриваемого приемника электрической энергии), к которой присоединены или могут быть присоединены электрические сети других потребителей (входные устройства других приемников).

Трансформатор – статический электромагнитный аппарат, предназначенный для преобразования одной (первичной системы переменного тока) в другую (вторичную, имеющую другое напряжение и ток при неизменной частоте).

Устройство защитного отключения (УЗО) – это устройство, которое размыкает контакты электрической цепи при достижении током определенных значений. УЗО предназначен для защиты человека от поражения электричеством, а также от возникновения пожара.

Устройство защиты от короткого замыкания – устройство, указанное изготовителем, которое должно быть установлено последовательно с УЗО-Д с целью защиты от токов короткого замыкания.

Фаза – состояние синусоидально изменяющегося напряжения в сети в данный момент времени. Фаза измеряется в градусах и позволяет, зная закон изменения тока или напряжения, определить мгновенное значение параметра. В электротехнике фазой называют один из трёх проводов трёхфазной сети, по которому подаётся напряжение потребителю. Как правило, на непромышленных объектах в помещении заводится только одна фаза.

Характеристика – отношение между какими-либо переменными величинами, параметрами, характеризующее особенности работы электротехнического устройства.

Центр питания – распределительное устройство генераторного напряжения электростанции или распределительное устройство вторичного напряжения понизительной подстанции энергосистемы, к которым присоединены распределительные сети данного района.

Щит электрический – устройство, в котором находится электрический счетчик, отключающие устройства, средства защиты электрических сетей.

Экран – специальное устройство, предназначенное для полной нейтрализации или снижения воздействий полей в определенных местах.

Электрическая сеть – совокупность электроустановок для передачи и распределения электрической энергии, состоящая из подстанций, распределительных устройств, токопроводов, воздушных и кабельных линий электропередачи.

Электрическая цепь – совокупность электрооборудования, соединенного проводами и кабелями, через которое может протекать электрический ток.

Электрическое сопротивление – физическая величина, позволяющая сравнивать проводящие свойства различных материалов в различных условиях работы. Для определения сопротивления предмета достаточно разделить величину приложенного напряжения на величину проходящего через тело тока. По значению сопротивления все вещества делятся на проводники, сопротивление которых мало, и диэлектрики (изоляторы), сопротивление которых весьма значительно. Проводящие способности материала определяются его химическим строением и внешними факторами.

Электробезопасность – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества

Электродвижущая сила (ЭДС) – разность потенциалов между двумя точками электрической цепи, положительным направлением которой считается направление к точке с более высоким потенциалом.

Электрозащитные средства – переносимые и перевозимые изделия, служащие для защиты людей, работающих с электроустановками, от поражения электрическим током, от воздействия электрической дуги и электромагнитного поля

Электромагнитная индукция – возникновение электродвижущей силы в проводнике, движущемся в магнитном поле или в замкнутом проводящем контуре (вследствие движения контура в магнитном поле или изменения самого поля). Явление электромагнитной индукции используется в электро- и радиотехнических устройствах: генераторах, трансформаторах, дросселях и др.

Электрооборудование – любое оборудование, предназначенное для производства, преобразования, передачи, распределения или потребления электрической энергии, например: машины, трансформаторы, аппараты, измерительные приборы, устройства защиты, кабельная продукция, электроприемники.

Электропотребление – потребление электрической мощности и энергии.

Электротравма – травма, являющаяся результатом воздействия электротока или электрической дуги на органы и ткани организма.

Электроустановка – совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенных для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования ее в другой вид энергии.

Энергетическая система (далее – энергосистема) – совокупность электростанций и электрических сетей, соединенных между собой и связанных общностью режима в непрерывном процессе производства, преобразования и распределения электрической энергии при общем управлении этим режимом.

Энергоснабжающая организация – организация Белорусского государственного энергетического концерна, осуществляющая на договорной основе снабжение электрической энергией потребителей через присоединенные электрические сети.

ИЗВЕСТНЫЕ УЧЕНЫЕ

Кирхгоф (Kirchhoff) Густав Роберт (1824–1887). Член Петербургской Академии наук. Установил правила описания электрических цепей. Открыл цезий и рубидий. Ввел понятие абсолютно черного тела и закон излучения.

Ом (Ohm) Георг Симон (1787–1854). Установил основной закон электрических цепей. Автор ряда трудов по акустике и кристаллооптике.

Фарадей (Faraday) Майкл (1791–1867). Член Петербургской Академии наук. Основоположник учения об электромагнитном поле. Открыл электромагнитную индукцию, законы электролиза, явление вращения плоскости поляризации света в магнитном поле и др.

Максвелл (Maxwell) Джеймс Клерк (1831–1879). Создатель классической электродинамики, один из основоположников статистической физики, создатель теории электромагнитного поля. Автор ряда трудов по колориметрии, оптике, теории упругости, термодинамике и др.

Ленц Эмилий Христианович (1804–1865). Член Петербургской Академии наук. Установил связь между током и создаваемым им магнитным потоком, экспериментально обосновал преобразование электрической энергии в тепловую. Создал методы расчета электромагнитов.

Джоуль (Joule) Джеймс Прескотт (1818–1889). Экспериментально обосновал закон сохранения энергии, определил механический эквивалент теплоты.

Генри (Henry) Джозеф (1797–1878). Построил мощные электромагниты и электрический двигатель. Независимо от Фарадея открыл явление самоиндукции. Установил колебательный характер разряда конденсатора.

Сименс (Siemens) Эрнст Вернер (1816–1892). Член-корреспондент Петербургской Академии наук. Создал электромашинный генератор с самовозбуждением, телеграф. Основатель и владелец электротехнических заводов в Европе.

Ампер (Ampere) Андре Мари (1775–1836). Член Петербургской Академии наук. Один из основоположников электродинамики. Открыл механическое взаимодействие токов. Создал первую теорию магнетизма.

Вольт (Volta) Алессандро (1745–1827). Один из основоположников учения об электричестве. Создал первый химический источник тока. Открыл контактную разность потенциалов.

Вебер (Weber) Вильгельм Эдуард (1804–1891). Член Петербургской Академии наук. Автор ряда трудов по электричеству и магнетизму. Совместно с Гауссом разработал систему электрических и магнитных единиц.

Тесла (Tesla) Никола (1856–1943). Описал явление вращающегося магнитного поля. Разработал многофазные электрические машины и системы распределения энергии.

ИНТЕРЕСНЫЕ ФАКТЫ ИЗ ИСТОРИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Напряжение внутри молнии – порядка 100 000 000 вольт.

Первая батарейка была найдена в Египте и состояла она из медного цилиндра и вложенного в него железного стержня. В цилиндр заливалась жидкость, но стержень при этом не прикасался к стенкам сосуда.

Электрические угри могут поразить электрическим током напряжением около 500 вольт для самообороны и во время охоты.

Электричество играет важную роль в здоровье человека. Мышечные клетки в сердце сокращаются и производят электроэнергию. Электрокардиограмма (ЭКГ) измеряет ритм сердца благодаря этим импульсам.

В далекие 1880-е была “война токов” между Томасом Эдисоном (который придумал постоянный ток) и Никола Тесла (который открыл переменный ток). Оба хотели, чтобы их системы широко использовались, но победил переменный ток за простоту получения, большой КПД и меньшую опасность.

Интересно, что один из отцов-основателей США Бенджамин Франклин был не только политиком, но и ученым. Он провел обширные исследования электричества в XVIII веке и изобрел громоотвод.

Древние греки считали, что больше всего янтаря находят на побережье Северного моря. Именно там Фэтон был повержен молнией на землю. Вероятно, они видели связь между молнией и свойствами янтаря.

Словарь Академии Российской издания 1794 года так описывал когда-то электричество: “Вообще это означает действие вещества весьма текучего и тонкого, свойствами своими весьма различного от всех жидких известных тел; имеющее способность сообщаться почти со всеми телами, но с иными более, с другими менее, движущееся с необъятной скоростью и производящее своим движением весьма странные явления”.

В старину место разряда молнии в землю указывало грабителям скифских курганов, что именно здесь зарыты сокровища. Понятно, что молнии бьют в курганы, содержащие металлическую “начинку”.

На Руси место, куда попала молния, считалось лучшим для рытья колодца. Вероятность близкой воды была очень высока!

Не зря знаменитого Луиджи Гальвани, вовсе даже не физика, прозвали когда-то волшебником. Он заставлял шевелиться трупы телят, кошек, мышей и лягушек! В его честь названы химические источники тока – гальванические элементы.

Изучение статического электричества начиналось с помощью простейшего прибора: металлический диск, стеклянная ручка, кошка, сургучная подушка, палец. Именно с таким “набором инструментов” работал знаменитый Алессандро Вольта.

В детстве Томас Эдисон не показывал особых дарований, считаясь трудным ребёнком. После того, как однажды учитель обозвал его “безмозглым тупицей”, мать забрала его из школы, в которой он смог проучиться только 3 месяца и решила самостоятельно обучать Томаса. При этом она читала ему книги, одними из которых были “Краткое руководство для школ по естественной и экспериментальной философии” Ричарда Паркера и “Азбука Морзе”.

Вероятно, одной из первых электрических цепей была живая электрическая цепь, составленная из 180 взявшихся за руки солдат Людовика XV, которые содрогались от проходившего через них разряда Лейденской банки во время опыта при дворе короля.

В 1827 году немец по имени Георг Ом, снискавший позднее всемирную славу, не сдал экзамен и не был допущен к преподаванию физики в школе из-за крайне низкого уровня знаний и отсутствия педагогических способностей.

Интересно, что к широкому использованию переменного тока, полученного еще в 30-х годах XIX века, приступили лишь спустя 70 лет! Передачу переменного тока с помощью высоковольтных ЛЭП пытались даже запретить законом. Среди “противников переменного тока” был и Томас Эдисон!

Не все знают, что Томас Эдисон, являясь самым известным изобретателем, который только в США получил 1093 патента на изобретения и около 3 тысячи в других странах, был еще и крупным предпринимателем, который в работе неизменно пользовался девизом: «Никогда не изобретай то, на что нет спроса».

Ученые считают, что мы все могли неоднократно наблюдать движение частиц со скоростью, вдвое меньшей скорости света, по каналу диаметром в 1,27 см. Это всякий раз происходит в молнии!

История создания и эксплуатации электрического счетчика

Величайшим изобретением XIX века было изобретение “метода изобретений”. Этот афоризм английского математика и философа Альфреда Норда Вайтхэда (1891–1947) прекрасно отражает историю создания электрического счетчика, который совершенствовался с каждым новым изобретением, следовавшим одно за другим, основываясь на научных достижениях и стимулируя дальнейшее развитие.

Первая половина XIX века принесла блестящие открытия в области электромагнетизма. В 1820 году француз Андре-Мари Ампер (1775–1836) открыл явление взаимодействия электрических токов. В 1827 году немец Георг Симон Ом (1787–1854) установил зависимость между силой тока и напряжением в проводниках. В 1831 году англичанин Майкл Фарадей (1791–1867) открыл закон электромагнитной индукции, который лежит в основе принципа действия генераторов, двигателей и трансформаторов.

Не удивительно, что когда настало время, ключевые изобретения совершаются почти одновременно в разных частях света. Венгр Отто Титус Блати, изобретатель индукционного электросчетчика и соизобретатель трансформатора, вспоминая в 1930 году этот захватывающий период, говорил: "В мое время было легко. Наука походила на тропический лес. Все, что было нужно, это хороший топор, и куда бы ты ни ударил, мог срубить огромное дерево".

С изобретением динамо-машины (Аньош Йедлик в 1861 г., Вернер фон Сименс в 1867 г.) появилась возможность вырабатывать электроэнергию в больших количествах. Первой областью массового применения электричества стало освещение. Но когда электроэнергию начали продавать, возникла необходимость определить цену. Однако было неясно, в каких единицах следует вести учет и какие принципы измерения были бы наиболее удобными.

Первым электросчетчиком стал счетчик часов работы лампы Самюэля Гардинера (США), запатентованный в 1872 году. Он измерял время, в течение которого электроэнергия подавалась в точку нагрузки, при этом все лампы, подключенные к этому счетчику, контролировались одним выключателем. С появлением электрической лампочки Эдисона стало практиковаться разветвление цепей освещения, и такой счетчик вышел из употребления.

Далее были изобретены:

- **электролитический счетчик** (1881), который использовал электрохимический эффект тока;
- **маятниковый счётчик** (1881–1884) позволял измерять ампер-часы или ватт-часы, но его можно было использовать исключительно для сетей постоянного тока;
- **моторный счетчик** (1889). Такой счетчик использовался преимущественно для постоянного тока. Большим недостатком моторных электросчетчиков являлся коллектор;
- **индукционный счетчик** (1885) для измерения электроэнергии переменного тока.

Благодаря **изобретению трансформаторов** (1884) появилась возможность применения электрических систем переменного тока. Начиная с 20-го столетия они постепенно сменили системы постоянного тока.

Дальнейшие усовершенствования. В последующие годы было достигнуто много усовершенствований: уменьшение веса и габаритов, расширение диапазона нагрузки, компенсация изменения коэффициента нагрузки, напряжения и температуры, устранение трения путем замены подпятников шарикоподшипниками, а затем двойными камнями и магнитными подшипниками, а также продление срока стабильной работы за счет улучшения качественных характеристик тормозных электромагнитов и удаления масла изопоры и счетного механизма. К очередному столетию были разработаны

трехфазные индукционные счетчики, использующие две или три системы измерения, установленные на одном, двух или трех дисках.

Новые функциональные возможности. Индукционные счётчики, известные также как счетчики Феррариса, и счетчики, основанные на принципах счетчика Блати, все еще производятся в больших количествах и выполняют основную работу по учету энергии благодаря их низкой стоимости и отличным показателям надёжности.

По мере распространения электричества быстро появилась концепция многотарифного электросчетчика с локальным или дистанционным управлением, счетчика максимальной нагрузки, счётчика предварительно оплаченной электроэнергии и "Максиграфа".

Электронные счётчики и дистанционное считывание показаний. Начало бурно развиваться, когда в 1970-х годах появились первые аналоговые и цифровые интегральные микросхемы.

Дистанционные измерения. Идея считывания показаний счетчиков на расстоянии появилась в 1960-х годах. В настоящее время счетчики с развитыми функциональными возможностями основываются на новейших электронных технологиях с применением цифровой обработки сигналов, причем большинство функций предусмотрены встроенным программным обеспечением.

Стандарты и точность измерения. Необходимость в тесном сотрудничестве между производителями и энергетическими компаниями осознана относительно рано. Первый стандарт измерений, Код C12 Американского Национального Института Стандартов (ANSI) для измерения электроэнергии, был разработан еще в 1910 году. Первый известный стандарт измерения Международной Электротехнической Комиссии (МЭК), Издание 43, датируется 1931 годом.

Высокий стандарт точности – это отличительная характеристика, которую установила и продолжает сохранять измерительная индустрия. Уже в 1914 году в проспектах описываются счетчики с точностью 1,5 % при диапазоне измерений от 10 % и менее до 100 % максимального тока. Стандарт МЭК 43:1931 устанавливает класс точности 2.0. Такой уровень точности до сих пор считается удовлетворительным для большинства счетчиков, находящихся сегодня в коммунально-бытовом применении, даже для стационарных счетчиков.

Классификация электроизмерительных приборов:

вольтметр – для измерения электрического напряжения;

амперметр – для измерения силы электрического тока;

омметр – для измерения электрического сопротивления электрического тока;

ваттметр – для измерения мощности электрического тока;

частотомер – для измерения частоты колебаний электрического тока;

мультиметры (иначе тестеры, авометры) – комбинированные приборы;

электрические счетчики – для измерения потребляемой энергии.

Классификация электроизмерительных приборов

Вольтметр –
для измерения
электрического
напряжения

Амперметр–
для измерения силы
электрического тока

Омметр –
для измерения
Электрического
сопротивления

Ваттметр –
для измерения
мощности
электрического тока

Частотомер –
для измерения
частоты колебаний
электрического тока

Мультиметры
(иначе тестеры, авометры) —
комбинированные приборы

Электрические счетчики –
для измерения
потребляемой энергии