

**Рязанское высшее воздушно-десантное командное
училище
(военный институт)
имени генерала армии В.Ф. Маргелова**

В.Д. РОГАЧЁВ, В.Ю. ГУМЕЛЁВ

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
И ЭЛЕКТРОНИКА**

ЭЛЕКТРОННАЯ БАЗА ДАННЫХ

КРАТКИЙ ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ КУРС

ДЛЯ

СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

**Зарегистрирована в реестре
программ для ЭВМ и баз
данных РВВДКУ
21.01.2013 № 134**

**РЯЗАНЬ
2013**

Тема №1 Электрическое поле

Занятие №1, групповое

Предмет электротехника.

Электрическое поле

Учебные вопросы

1 Содержание предмета электротехника

2 Понятие о строении вещества. Свойства электрического поля. Закон Кулона

3 Проводники и диэлектрики в электрическом поле

Предмет электротехника

- Электротехника - наука, изучающая электрические и магнитные явления и их использование в практических целях.
- Можно выделить три основных направления электротехники:
- 1 преобразование различных видов энергии природы в электрическую энергию;
- 2 превращение одних веществ в другие;
- 3 получение и передачу информации.

Быстрое развитие электротехники объясняется:

- а) электрическая энергия легко преобразуется в другие виды: в тепловую энергию, механическую, химическую и наоборот;
- б) КПД электрических установок значительно выше (иногда достигает 98-99%), чем КПД установок, работающих за счет других видов энергии;
- в) электрическая энергия легко делится, т.е. ее можно подводить к потребителям и расходовать в любых количествах;
- г) электрическую энергию можно передавать по проводам (а для связи - без проводов) на значительные расстояния, это обстоятельство дает возможность строить электростанции на месте природных электрических ресурсов и передавать ее к источникам промышленного сырья, не имеющим местной энергетической базы;
- д) широкое применение электрической энергии в народном хозяйстве дает возможность объединить много мелких и крупных электростанций в общую энергосистему, бесперебойно снабжающую электроэнергией целый экономический район или ряд районов.

Понятие о строении вещества. Свойства электрического поля. Закон Кулона

Все вещества состоят из атомов. Атом - это наименьшая частица химического элемента, сохраняющая все свойства.

Атом состоит из ядра, вокруг которого вращаются электроны.

Ядро состоит из протонов и нейтронов

Электрон - это мельчайшая частица вещества, имеющая наименьший отрицательный электрический заряд.

Протон - мельчайшая частица вещества, имеющая наименьший положительный электрический заряд. Существова

Строение вещества

Молекула - это наименьшая частица вещества, которую можно отделить от тела и которая обладает всеми свойствами, присущими всему телу. Молекулы **простого** вещества состоят из одинаковых атомов, например, O_2 . Молекулы **сложного** вещества состоят из нескольких различных по своему строению атомов. Например, молекула воды H_2O . В атомах любого вещества количество электронов равно количеству протонов, а значит, общий отрицательный заряд электронов равен положительному заряду ядра. Эти заряды уравниваются, поэтому атом в обычном состоянии электрически нейтрален и вещества в целом электрически нейтральны.

Под влиянием определенных условий атомы могут терять часть своих электронов или, наоборот, приобретать лишние. В обоих случаях равенство между количеством положительных и отрицательных зарядов нарушается и тело приобретает электрический заряд. Такое тело называется **электрически заряженным** телом, а сообщение телу заряда - **электризацией**.

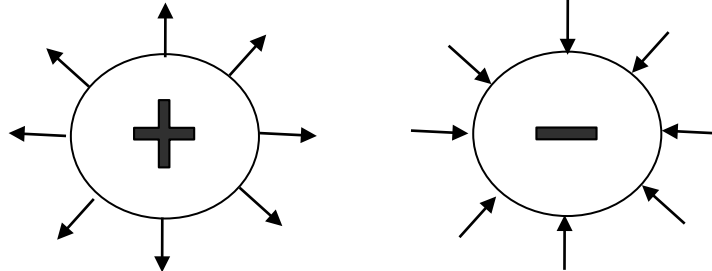
Если атом потерял несколько электронов, то он окажется **положительно** заряженным. Такой атом (или молекула) называется **положительным ионом**. Наоборот, если у атома (или молекулы) окажется избыток электронов, то он станет **отрицательно** заряженным и будет называться **отрицательным ионом**.

Электрическое поле

В природе существуют два вида зарядов - положительный и отрицательный.

Пространство, окружающее электрически заряженное тело, называется электрическим полем.

Для объяснения различных явлений, связанных с заряженными телами, электрическое поле принято изображать силовыми линиями, которые направлены от положительного заряда к отрицательному.



а – положительным, б – отрицательным.

**Силовые линии электрического поля,
образованного точечным зарядом**

Электрическое поле

Электрическое поле, как и всякую форму материи, характеризуют определенные свойства: **непрерывность**, т.е. в пространстве, окружающем заряд, нет такой точки, где не проявились бы свойства поля; **бесконечность; постоянная скорость распространения** //300 000 км/с/. Количественно электрическое поле оценивают параметрами: потенциал, разность потенциалов, напряжение, напряженность.

Характеристики поля

Потенциалом данной точки поля называется количество работы, которую надо совершить для перемещения заряда в один кулон из бесконечности в эту точку.

$$\varphi_b = \frac{A}{Q}$$

Разность потенциалов двух точек поля – называется напряжением и обозначается буквой **U**.

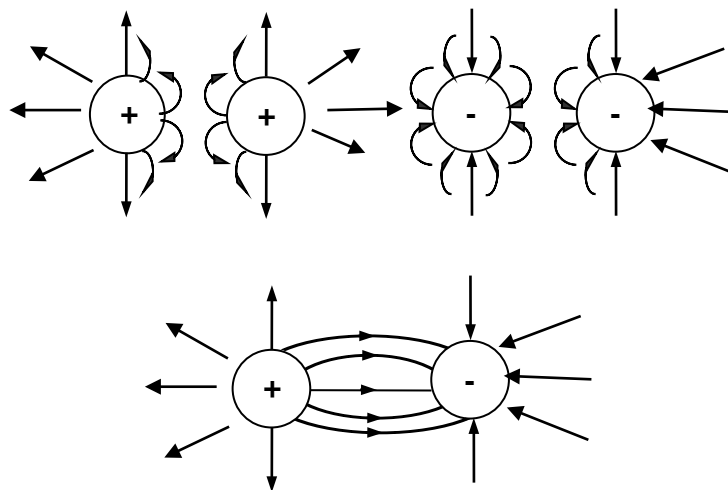
$$U = \varphi_b - \varphi_v$$

Напряженностью поля **E** в данной точке называется сила, с которой поле действует на положительный заряд величиной в один кулон.

$$E = \frac{F}{Q}$$

Закон Кулона

Существование электрического поля вокруг заряженных тел вызывает их взаимодействие. Известно, что одноименно заряженные тела отталкиваются, а разноименно заряженные - притягиваются.



$$F = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{4\pi\epsilon_a \cdot r^2}$$

Проводники и диэлектрики в электрическом поле

По способности проводить электрический ток все материалы можно разделить на три группы - **проводники, полупроводники и диэлектрики**.

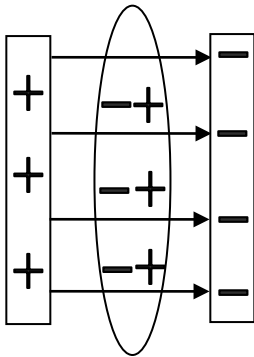
Вещества, имеющие свободные электроны называются **проводниками**. К ним относятся уголь и все металлы. Проводниками являются также водные растворы кислот, щелочей и солей, молекулы которых распадаются на положительные и отрицательные ионы, свободно перемещающиеся по всему раствору.

К **диэлектрикам** (изоляторам) относятся вещества, все электроны которых прочно связаны с ядром и в обычных условиях не могут покинуть своего места и свободно двигаться подобно электронам в проводниках. К диэлектрикам относятся фарфор, стекло, дерево, масла.

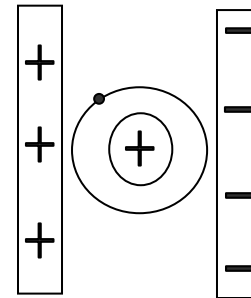
Кроме проводников и диэлектриков известна также группа веществ, которые в одних условиях имеют свойства проводников, а в других - диэлектриков. **Эти вещества называются полупроводниками.**

Проводники и диэлектрики в электрическом поле

Если в электрическое поле поместить проводниковый материал, то под действием сил поля в проводнике начнется перемещение свободных электронов. При этом направление движения электронов будет зависеть от направления силовых линий поля. Положительный электрод вызывает смещение свободных электронов проводника влево. В правой же части будут преобладать положительные заряды



Диэлектрик, помещенный в электрическое поле, также окажется заряженным. Электроны, вращающиеся вокруг ядра, вытягиваются к положительно заряженной пластине, а ядро наоборот, как бы смещается к пластине со знаком минус. Такие атомы называют диполями, а процесс образования их - поляризацией. В результате поляризации все атомы диэлектрика становятся диполями, а на краях диэлектрика, обращенных к электродам, появляются соответствующие заряды.



Задание на самостоятельную работу

Повторить основные понятия: атом, молекула; изучить характеристики электрического поля закон Кулона.

Литература:

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. – 752 с., с. 8-22.

ТЕМА №1 ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

ЗАНЯТИЕ № 2 ГРУППОВОЕ

КОНДЕНСАТОР

Цель:

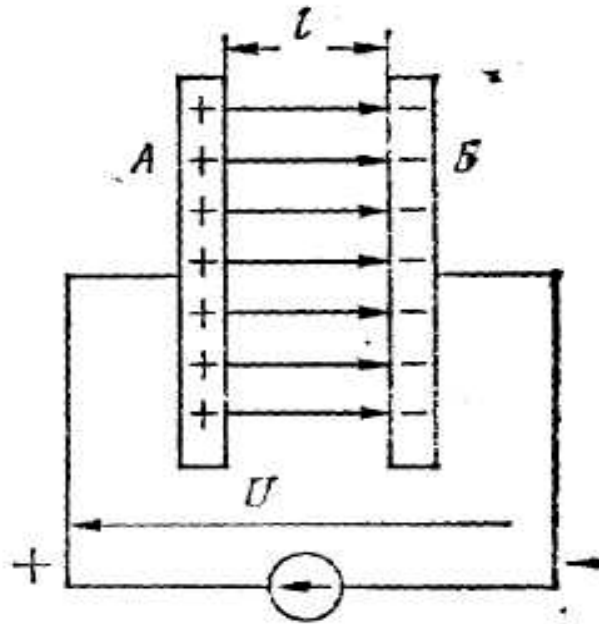
рассмотреть плоский конденсатор, его заряд и разряд, способы соединения конденсаторов;

Учебные вопросы

1 Электрическая емкость. Плоский конденсатор. Заряд и разряд конденсатора. Устройство конденсатора

2 Соединение конденсаторов. Энергия электрического поля

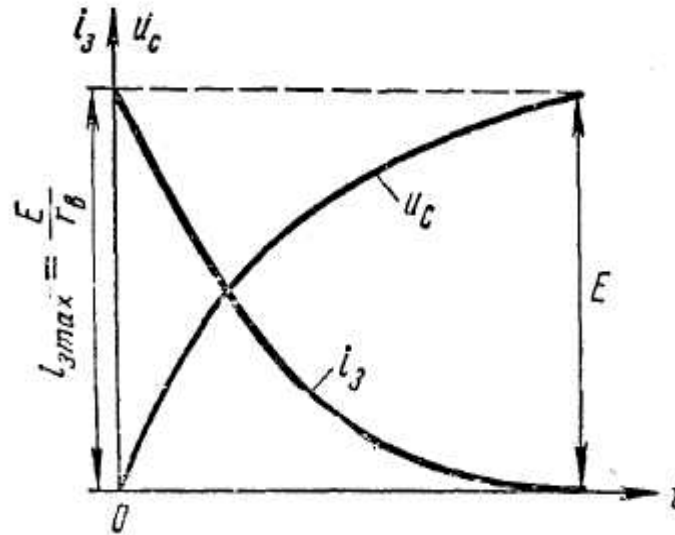
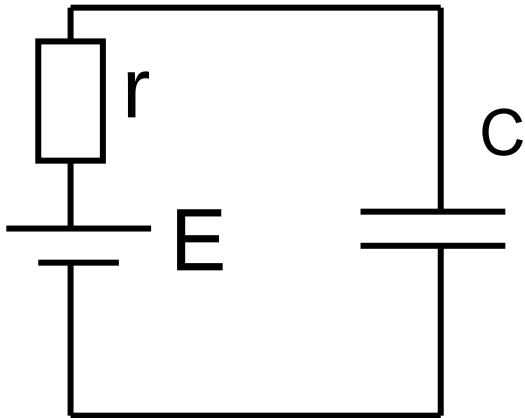
Электрическая емкость. Плоский конденсатор



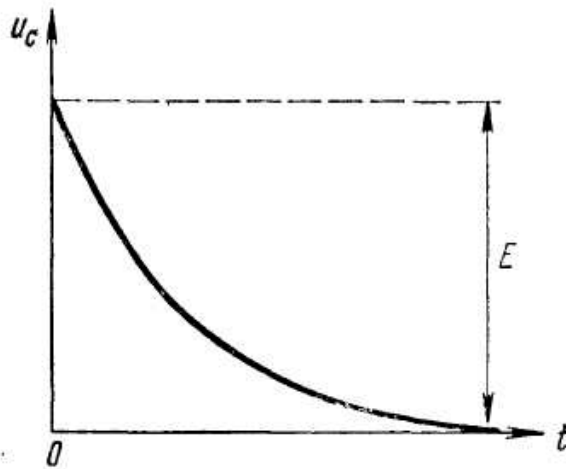
$$Q = C \cdot U$$

$$C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{l}$$

Заряд и разряд конденсатора



$$I_3 = (E - U)/r$$



$$i_p = U_c/R$$

Устройство конденсатора

В зависимости от типа диэлектрика, разделяющего обкладки, конденсаторы бывают: бумажные, слюдяные, керамические, электролитические и воздушные.

Обкладками керамического конденсатора обычно служат два слоя серебра, нанесенные на керамику. Наша промышленность выпускает керамические конденсаторы с емкостью от 1 до 6800 пФ.

Широкое применение нашли слюдяные конденсаторы. Пластины этих конденсаторов разделены между собой слюдяными прокладками. Слюдяные конденсаторы изготавливаются емкостью от 10 пФ до 20 мкФ.

В бумажных конденсаторах диэлектриком служит тонкая парафиновая бумага. Наиболее часто эти конденсаторы используются как блокированные и имеют емкости от 470 пФ до 10 мкФ.

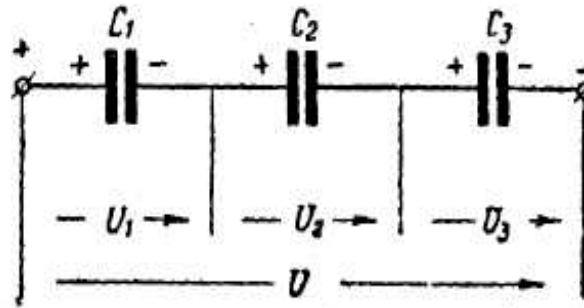
В радиотехнической аппаратуре часто используются электролитические конденсаторы.

Простейший электролитический конденсатор представляет собой две алюминиевые пластины (одной из них обычно служит корпус конденсатора) между которыми находится специальный химический раствор (электролит). На одну из обкладок (пластин) конденсатора наносится оксидная пленка, являющаяся диэлектриком. Электролит служит второй обкладкой конденсатора. Вторая пластина конденсатора предназначена лишь для контакта с электролитом.

Основное достоинство электролитических конденсаторов – возможность получить большую емкость (тысячи микрофарад) при сравнительно небольших геометрических размерах.

Соединение конденсаторов

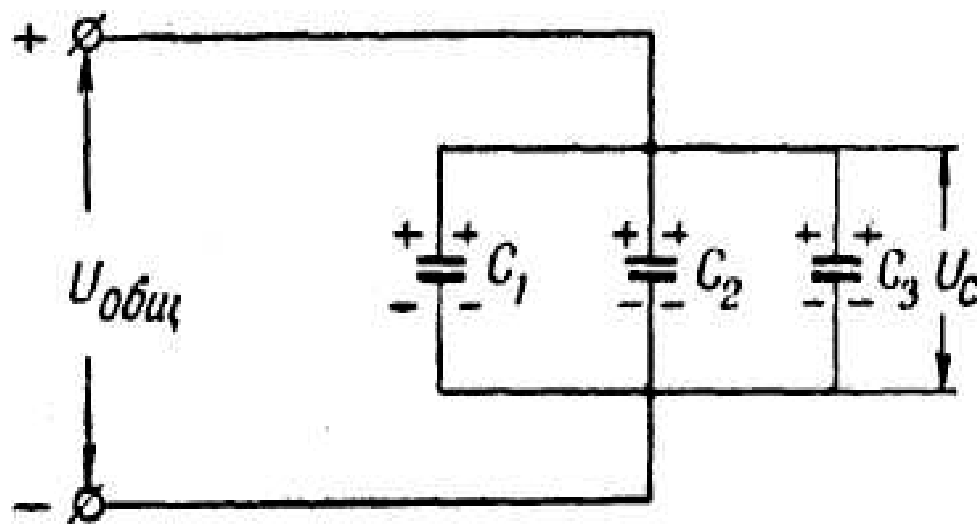
Последовательное соединение



$$\frac{1}{C_{\Sigma}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

$$U_{\text{общ}} = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$$

Параллельное соединение конденсаторов



$$C_{общ} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots,$$

$$U_{общ} = U_{C1} = U_{C2} = U_{C3} = \dots$$

Энергия электрического поля конденсатора определяется:

$$W = \frac{CU^2}{2}$$

Задание на самостоятельную работу

Изучить способы соединения конденсаторов, устройство конденсаторов.

Литература:

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М.Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. – 752 с., с.23-28.

ТЕМА №2 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

ЗАНЯТИЕ № 3 ГРУППОВОЕ ПАРАМЕТРЫ И ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Учебные вопросы

1. Электрический ток в металлах. Сила тока, ЭДС, напряжение
2. Электрическое сопротивление, проводимость. Влияние температуры на сопротивление проводников
3. Способы соединения сопротивлений. Последовательное, параллельное и смешанное соединения

Цель:

повторить разделы физики средней школы об электрическом токе; рассмотреть физический смысл, их единицы измерения, способы соединения элементов электрической цепи;

Электрический ток в металлах. Сила тока, ЭДС, напряжение

Проводники (металлы) характеризуются большим количеством свободных электронов, находящихся в беспорядочном постоянном движении. Если поместить проводники в электрическое поле, то под действием сил поля электроны будут двигаться поступательно в направлении этих сил.

В жидких проводниках (электролитах) происходит непрерывный самопроизвольный распад молекул на составные части (диссоциация молекул). Например, молекула медного купороса CuSO_4 распадаются на положительный ион меди Cu^{+2} и отрицательный ион SO_4^{-2} (кислый остаток).

В целом раствор электрически нейтрален, т.к. количество положительных и отрицательных ионов в нем нейтрален. Если внести такой электролит в электрическое поле, то положительные и отрицательные ионы, находящиеся в растворе, начнут двигаться направлено.

Направленное перемещение свободны электронов и других заряженных частиц под действием электрического поля называют электрическим током.

Ток может быть в металлах, электролитах и газах , где в образовании тока участвуют свободные носители зарядов, которые под действием сил электрического поля начинают двигаться направлено.

Сила тока численно равна количеству электричества, протекающего через поперечное сечение проводника в единицу времени.

$$I=Q/t,$$

где Q – суммарный электрический заряд электронов, проходящий через поперечное сечение проводника, Кл;

t – время прохождения заряда, с.

Единицей силы тока в Международной системе единиц измерения (Си) является ампер (А).

Во всякой замкнутой цепи течет ток, т.е. свободные электроны перемещаются от отрицательного зажима к положительному

Свойство источника электроэнергии поддерживать разность потенциалов на зажимах называется электродвижущей силой источника ЭДС. ЭДС обозначается буквой E и измеряется в вольтах, киловольтах и милливольтмах.

ЭДС численно равна работе, которую совершают сторонние силы при перемещении единичного положительного заряда внутри источника или сам источник, проводя единичный положительный заряд по замкнутой цепи.

- Величина, численно равная работе, которую совершает источник, проводя единичный положительный заряд по данному участку цепи, называется напряжением.**
- Напряжение обозначается символом, U измеряется тоже в вольтах, мкВ, мВ:**

Электрическое сопротивление и проводимость.

Влияние температуры на сопротивление проводников

При движении по проводнику свободные электроны непрерывно сталкиваются с атомами вещества проводника. В результате столкновения электроны теряют часть своей энергии, которая расходуется на нагрев

Свойство проводника препятствовать прохождению тока называется электрическим сопротивлением или сопротивлением.

Сопротивление обозначается латинскими буквами R или r . За единицу сопротивления принят Ом. Сопротивление проводника равно одному Ому, если при напряжении на его концах в 1В в нем устанавливается ток в 1А.

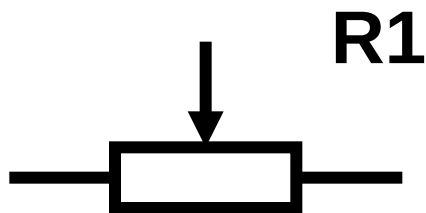
Удельное электрическое сопротивление – это сопротивление прямолинейного цилиндрического проводника площадью поперечного сечения 1 м^2 длиной 1 м, изготовленного из данного материала ρ (Ом $\text{м}^2/\text{м} = \text{Ом м}$), но сечение проводников не м^2 , а в мм^2 , поэтому таблицах ρ (ом $\text{мм}^2/\text{м}$)

$$R = \rho l / S$$

$$g = 1/R,$$

$$R = 1/g$$

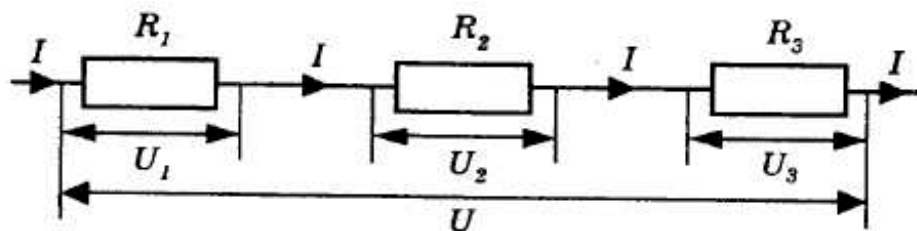
В практике очень часто бывает необходимо регулировать ток или напряжение в цепи, для этого применяют приборы, называемые переменными резисторами (реостатами). Сопротивление реостатами можно плавно изменить. Устройство реостатов основано на зависимости сопротивления проводников от длины.



Способы соединения сопротивлений.

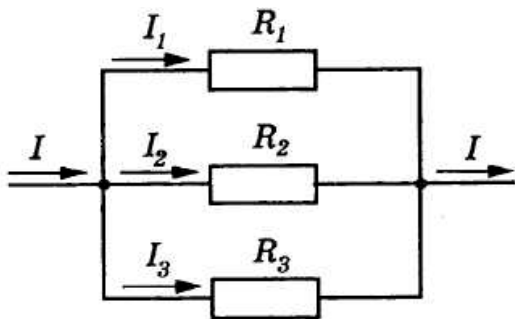
Последовательное, параллельное и смешанное соединения

Последовательным называют такое соединение элементов, при котором элементы включаются последовательно друг за другом так, что через них протекает один и тот же ток.



$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots R_n .$$

При параллельном соединении начала всех проводников соединяют в одной точке, а их концы - в другой



$$U_1 = U_2 = U_3 = U. \quad I = I_1 + I_2 + I_3.$$

$$I_1 = \frac{U}{R_1}; \quad I_2 = \frac{U}{R_2}; \quad I_3 = \frac{U}{R_3}; \quad I = \frac{U}{R},$$

Задание на самостоятельную работу:

изучить определения тока, напряжения, ЭДС; виды соединений элементов

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. – 752 с., с. 28-34, 37-38, 41-50.

ЭЛЕМЕНТЫ И РЕЖИМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Все элементы электрической цепи делятся на три группы: источники электрической энергии, приемники электрической энергии и вспомогательные устройства.

В источниках происходит преобразование неэлектрической энергии (энергии сжигаемого топлива, падающей воды, атомной и химической энергии) в электрическую энергию. Источники электрической энергии характеризуются величиной ЭДС (E) и внутренним сопротивлением r_0

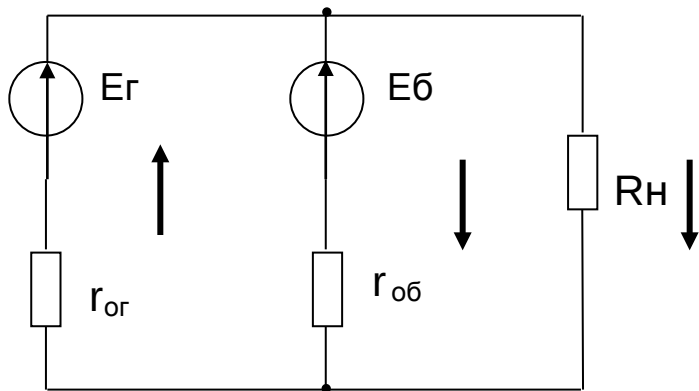
Приемники электрической энергии, наоборот, преобразуют электрическую энергию в другие виды

К вспомогательным устройствам относятся преобразующие элементы (выпрямители, регулирующие устройства), аппараты автоматического управления и защиты, электроизмерительные приборы, выключатели.

Основные и вспомогательные элементы соединяются с помощью проводов и образуют в совокупности электрическую цепь.

Различают активные и пассивные участки цепи. Активные содержат источники электрической энергии, пассивные – источников не содержат.

Графическое изображение электрической цепи при помощи условных изображений ее элементов называется электрической схемой цепи.



Участок электрической цепи, по которому проходит один и тот же ток, называется ветвью.

Узел – место соединения более чем двух ветвей.

Контуром электрической цепи называется любой замкнутый путь, включающий в себя несколько ветвей.

За направление ЭДС между выводами источника (или активного приемника) принимают направление, в котором бы перемещались положительные заряды под действием сторонних сил (неэлектрических), т.е. от меньшего потенциала к большему (от «-» к «+»).

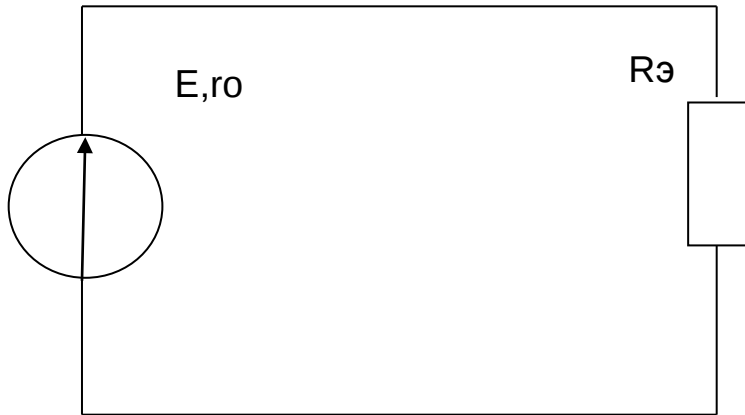
За положительное направление напряжения между какими-либо точками электрической цепи принимают направление, в котором перемещались бы положительные заряды между этими точками под действием сил электрического поля, т.е. от большего потенциала к меньшему (от «+» к «-»).

За положительное направление тока принимают направление движения положительного заряда. Эти направления указанных величин в дальнейшем будут называться действительными.

В зависимости от величины нагрузки различают 4 режима цепи: номинальный, согласованный, холостого хода и короткого замыкания.

ЗАКОНЫ ОМА И КИРХГОФА

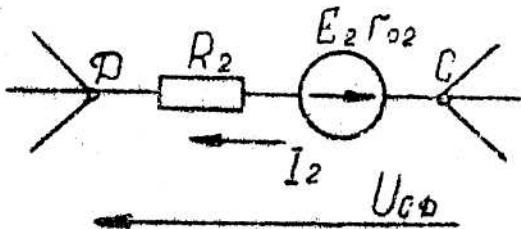
Закон Ома



$$I = \frac{E}{r_0 + R_{\text{э}}}$$

$$I = \frac{U}{R}$$

Обобщённый закон Ома



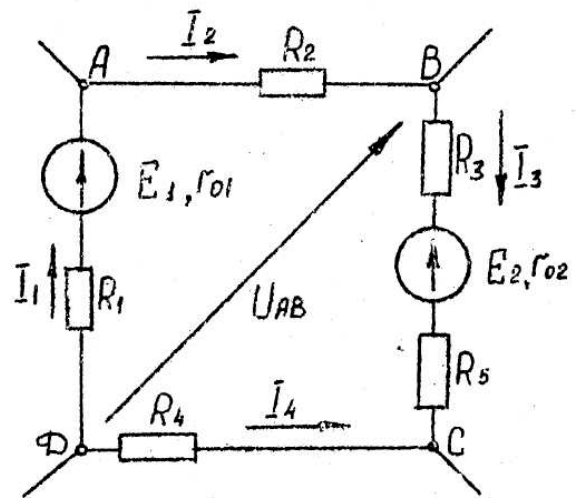
$$I = (\pm E \pm U) \cdot g$$

Первый закон Кирхгофа исходит из того, что в узле не могут накапливаться заряды, поэтому алгебраическая сумма токов ветвей, соединенных в узле, равна нулю:

$$\sum I=0.$$

Второй закон Кирхгофа применяется для контуров электрической цепи. В любом замкнутом контуре алгебраическая сумма ЭДС равна алгебраической сумме падений напряжений на всех резистивных элементах:

$$\sum E_i = \sum I_k R_k .$$



$$E_1 - E_2 = I_1 (R_1 + r_{01}) + I_2 R_2 + I_3 (R_3 + R_5 + r_{02}) - I_4 R_4$$

УРАВНЕНИЕ БАЛАНСА МОЩНОСТИ

$$\sum E_n I_n = \sum I_k^2 R_k$$

РАСЧЕТ СЛОЖНЫХ ЦЕПЕЙ

Число независимых уравнений должно быть равно числу неизвестных. Если при известных параметрах цепи требуется определить токи ветвей, то рекомендуется следующий порядок расчета:

Произвести анализ схемы. Определить число неизвестных токов. Их столько же, сколько ветвей в схеме.

Произвольно выбрать направление токов в ветвях и обозначить в схеме.

Составить необходимое число уравнений, используя законы Кирхгофа. Число уравнений должно быть равно числу неизвестных токов.

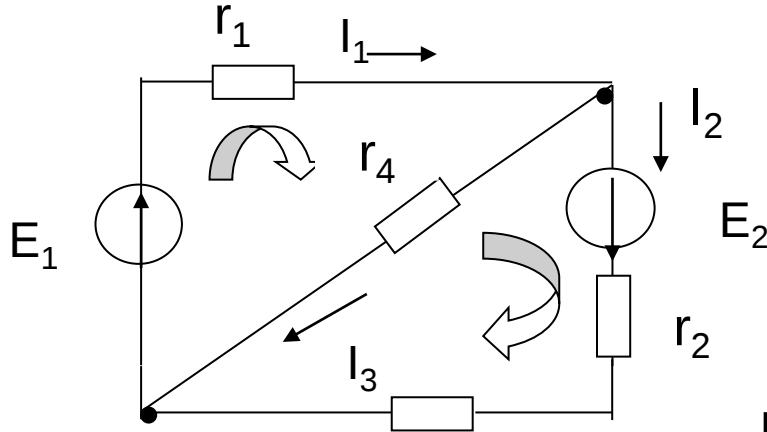
При наличии N_u узлов $N_u - 1$ уравнение составляют по первому закону Кирхгофа (на единицу меньше, чем узлов).

Остальные уравнения составить по II закону Кирхгофа. Чтобы уравнения были независимыми, в каждый следующий контур должна входить хотя бы одна новая ветвь.

Объединить узловые и контурные уравнения с систему. Решив ее, найти токи ветвей.,

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Метод контурных токов



$$\begin{aligned} \text{I контур} &: E1 = I_{11}(r1 + r4) - I_{22}r4 \\ \text{II контур} &: E2 = I_{22}(r3 + r4 + r2) - I_{11}r4 \end{aligned}$$

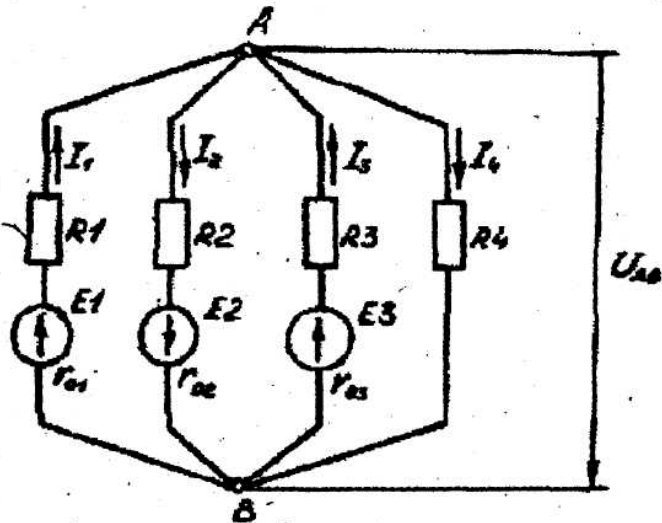
Метод узлового напряжения

$$U_{AB} = \frac{\sum_K E_K g_K}{\sum_n g_n}$$

$$U_{AB} = \frac{E_1 g_1 - E_2 g_2 + E_3 g_3}{g_1 + g_2 + g_3 + g_4}$$

$$I_K = (\pm E_K \pm U_{AB}) g_K$$

$$\begin{aligned} I1 &= (E1 - U_{AB}) g1 \\ I2 &= (E2 + U_{AB}) g2 \\ I3 &= (E3 - U_{AB}) g3, \\ I4 &= U_{AB} g4 \end{aligned}$$



Задание на самостоятельную работу

Изучить элементы электрических цепей и методы расчёта .

Литература:

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М.Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. – 752 с., с. 28-34, 37-38, 41-50 ; 52- 58, 60-66

ТЕМА №2

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

ЗАНЯТИЕ № 4 ГРУППОВОЕ

ЗАКОНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Учебные вопросы

- 1 Элементы и режимы электрической цепи
- 2 Законы Ома и Кирхгофа
- 3 Уравнение баланса мощности
- 4 Расчет сложных цепей

Цель:

изучить законы Ома и Кирхгофа, уравнение баланса мощности

ЭЛЕМЕНТЫ И РЕЖИМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Все элементы электрической цепи делятся на три группы: источники электрической энергии, приемники электрической энергии и вспомогательные устройства.

В источниках происходит преобразование неэлектрической энергии (энергии сжигаемого топлива, падающей воды, атомной и химической энергии) в электрическую энергию. Источники электрической энергии характеризуются величиной ЭДС (E) и внутренним сопротивлением r_0

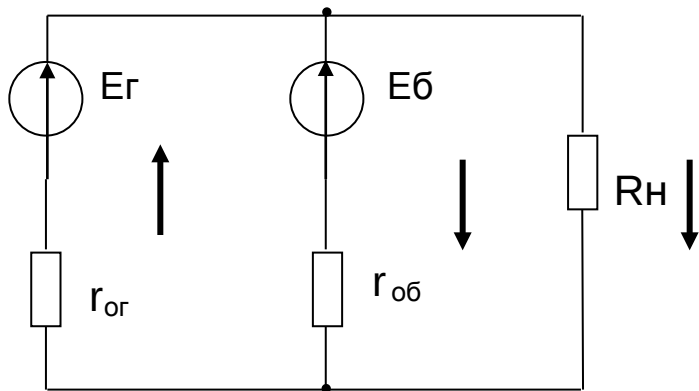
Приемники электрической энергии, наоборот, преобразуют электрическую энергию в другие виды

К вспомогательным устройствам относятся преобразующие элементы (выпрямители, регулирующие устройства), аппараты автоматического управления и защиты, электроизмерительные приборы, выключатели.

Основные и вспомогательные элементы соединяются с помощью проводов и образуют в совокупности электрическую цепь.

Различают активные и пассивные участки цепи. Активные содержат источники электрической энергии, пассивные – источников не содержат.

Графическое изображение электрической цепи при помощи условных изображений ее элементов называется электрической схемой цепи.



Участок электрической цепи, по которому проходит один и тот же ток, называется ветвью.

Узел – место соединения более чем двух ветвей.

Контуром электрической цепи называется любой замкнутый путь, включающий в себя несколько ветвей.

За направление ЭДС между выводами источника (или активного приемника) принимают направление, в котором бы перемещались положительные заряды под действием сторонних сил (неэлектрических), т.е. от меньшего потенциала к большему (от «-» к «+»).

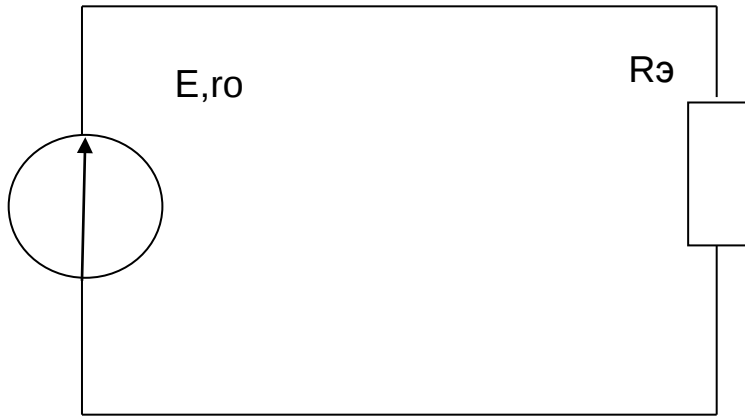
За положительное направление напряжения между какими-либо точками электрической цепи принимают направление, в котором перемещались бы положительные заряды между этими точками под действием сил электрического поля, т.е. от большего потенциала к меньшему (от «+» к «-»).

За положительное направление тока принимают направление движения положительного заряда. Эти направления указанных величин в дальнейшем будут называться действительными.

В зависимости от величины нагрузки различают 4 режима цепи: номинальный, согласованный, холостого хода и короткого замыкания.

ЗАКОНЫ ОМА И КИРХГОФА

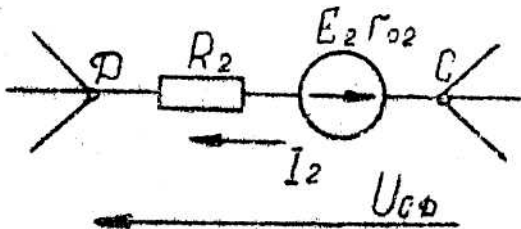
Закон Ома



$$I = \frac{E}{r_0 + R_{\text{э}}}$$

$$I = \frac{U}{R}$$

Обобщённый закон Ома



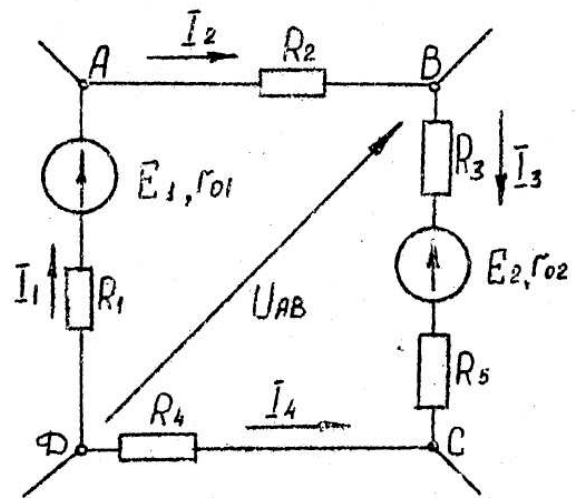
$$I = (\pm E \pm U) \cdot g$$

Первый закон Кирхгофа исходит из того, что в узле не могут накапливаться заряды, поэтому алгебраическая сумма токов ветвей, соединенных в узле, равна нулю:

$$\Sigma I=0.$$

Второй закон Кирхгофа применяется для контуров электрической цепи. В любом замкнутом контуре алгебраическая сумма ЭДС равна алгебраической сумме падений напряжений на всех резистивных элементах:

$$\Sigma E_i =\Sigma I_k R_k .$$



$$E_1 - E_2 = I_1 (R_1 + r_{01}) + I_2 R_2 + I_3 (R_3 + R_5 + r_{02}) - I_4 R_4$$

УРАВНЕНИЕ БАЛАНСА МОЩНОСТИ

$$\sum E_n I_n = \sum I_k^2 R_k$$

РАСЧЕТ СЛОЖНЫХ ЦЕПЕЙ

Число независимых уравнений должно быть равно числу неизвестных. Если при известных параметрах цепи требуется определить токи ветвей, то рекомендуется следующий порядок расчета:

Произвести анализ схемы. Определить число неизвестных токов. Их столько же, сколько ветвей в схеме.

Произвольно выбрать направление токов в ветвях и обозначить в схеме.

Составить необходимое число уравнений, используя законы Кирхгофа. Число уравнений должно быть равно числу неизвестных токов.

При наличии N_u узлов $N_u - 1$ уравнение составляют по первому закону Кирхгофа (на единицу меньше, чем узлов).

Остальные уравнения составить по II закону Кирхгофа. Чтобы уравнения были независимыми, в каждый следующий контур должна входить хотя бы одна новая ветвь.

Объединить узловые и контурные уравнения в систему. Решив ее, найти токи ветвей.,

Задание на самостоятельную работу:

изучить законы Ома и Кирхгофа, метод расчета цепей по законам Кирхгофа, баланс мощностей.

Литература:

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. – 752 с., 34-36, 50-52.

ТЕМА №2 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

ЗАНЯТИЕ № 3 ГРУППОВОЕ ПАРАМЕТРЫ И ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Учебные вопросы

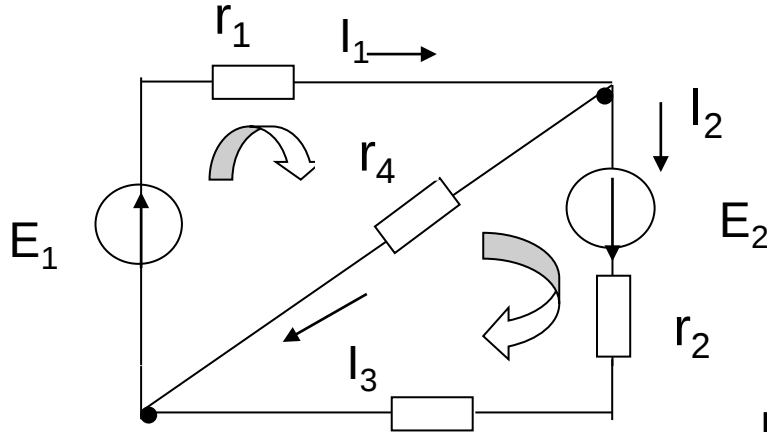
- 1 Метод контурных токов
- 2 Метод узлового напряжения
- 3 Токовая нагрузка проводов и защита их от перегрузок
- 4 Режимы работы и способы соединения источников питания

Цель:

изучить методы расчета электрических цепей постоянного тока

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Метод контурных токов



$$\begin{aligned} \text{I контур} &: E1 = I_{11}(r1 + r4) - I_{22}r4 \\ \text{II контур} &: E2 = I_{22}(r3 + r4 + r2) - I_{11}r4 \end{aligned}$$

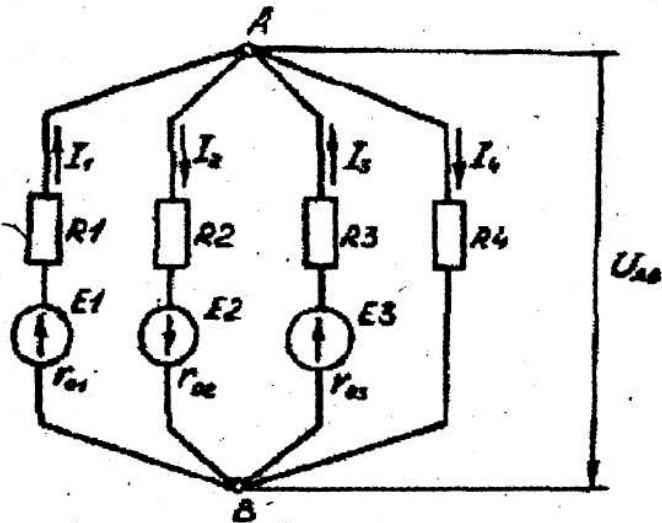
Метод узлового напряжения

$$U_{AB} = \frac{\sum_K E_K g_K}{\sum_n g_n}$$

$$U_{AB} = \frac{E_1 g_1 - E_2 g_2 + E_3 g_3}{g_1 + g_2 + g_3 + g_4}$$

$$I_K = (\pm E_K \pm U_{AB}) g_K$$

$$\begin{aligned} I1 &= (E1 - U_{AB}) g1 \\ I2 &= (E2 + U_{AB}) g2 \\ I3 &= (E3 - U_{AB}) g3, \\ I4 &= U_{AB} g4 \end{aligned}$$



Токовая нагрузка проводов и защита их от перегрузок

Когда в цепи с сопротивлением R существует ток, электроны, перемещаясь под действием поля, сталкиваются с ионами кристаллической решетки вещества проводника. Это приводит к нагреванию проводника (кинетическая энергия электронов передается ионам).

Количество выделенного тепла в проводнике определяется:

$$Q = I^2 R t ,$$

где I – сила тока в проводнике, А;

R – сопротивление, Ом;

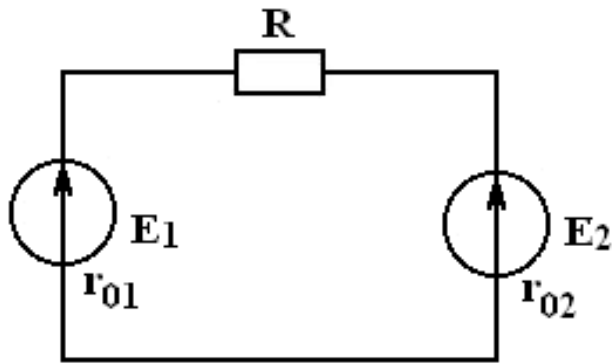
t – время, с.

Приведенная зависимость носит название закона Джоуля – Ленца.

- Преобразование электрической энергии в тепловую имеет широкое практическое значение и широко используется в различных нагревательных приборах. Однако, часто тепловые потери являются нежелательными, т.к. они вызывают непроизводительные расходы энергии, например, в электрических машинах, трансформаторах и других устройствах. При прохождении тока по проводам выделяется тепло. Нагрев провода допускается до температуры порядка 60-800С.
- В соответствии с допустимой температурой вводится величина допустимого тока.
- Допустимым называется ток, при котором устанавливается наибольшая температура.
- Сечение провода в зависимости от таковой нагрузки для медных проводов определяется по таблицам (например, И.Данилов «Общая электротехника», с.50).
- Сечение провода необходимо выбирать так, чтобы расчетный ток не превышал допустимого тока $I_p \leq I_d$.

Режим работы и способы соединения источников питания

Источники питания могут работать в зависимости от rH в четырех режимах: номинальном, холостого хода, короткого замыкания, согласованном.

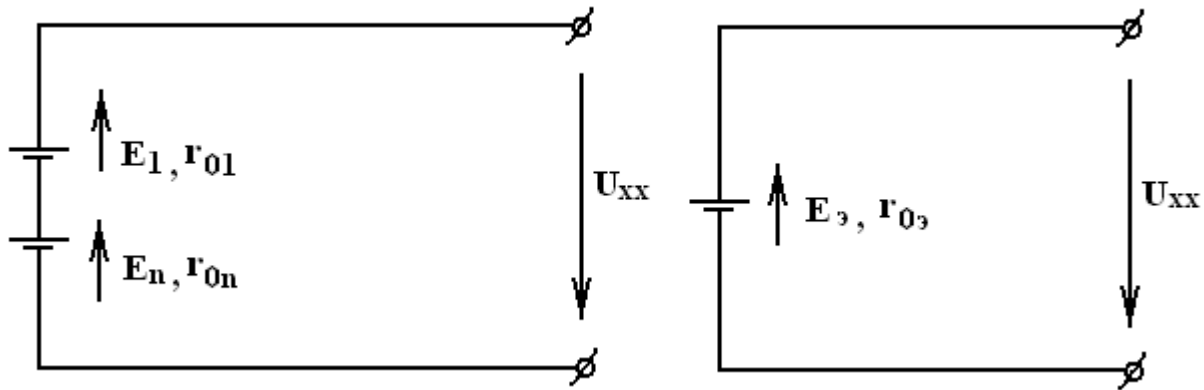


Если два источника включены так, что их ЭДС направлены в разные стороны, то такое соединение называется встречным

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_{\Sigma}}$$

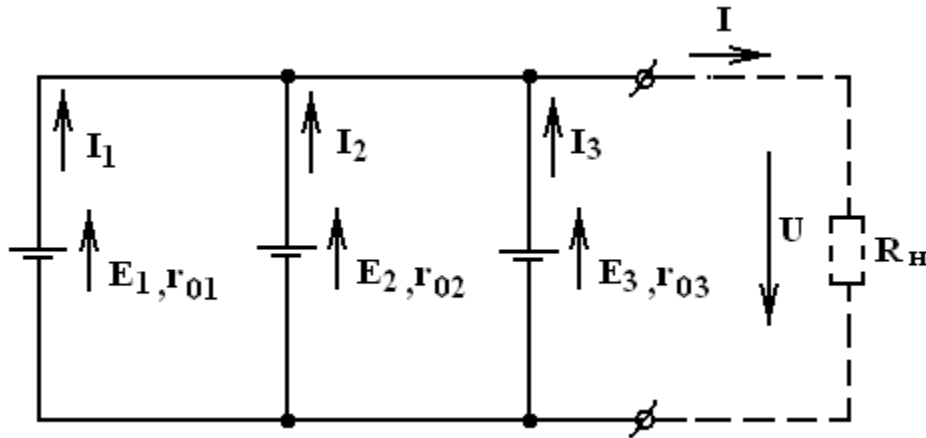
Вывод: при встречном включении источник с меньшей ЭДС будет работать как приемник (потребитель) (например заряд АБ). А источник с большей ЭДС как генератор.

Последовательное соединение источников



$$E_{\text{э}} = E_1 + E_2 + \dots + E_n,$$
$$r_{0\text{э}} = r_{01} + r_{02} + \dots + r_{0n}.$$

Параллельное соединение источников



Характерными для такого соединения является одно и то же напряжение на выводах всех источников

При подключении нагрузки R к такой цепи

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n ; \quad P = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

Следовательно при параллельном соединении источников, ток и мощность внешней цепи равны сумме токов и мощностей источников

Задание на самостоятельную работу:

изучить методы контурных токов, узлового напряжения; режимы работы и способы соединения источников питания.

Литература:

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. – 752 с., с.52- 58, 60-66.

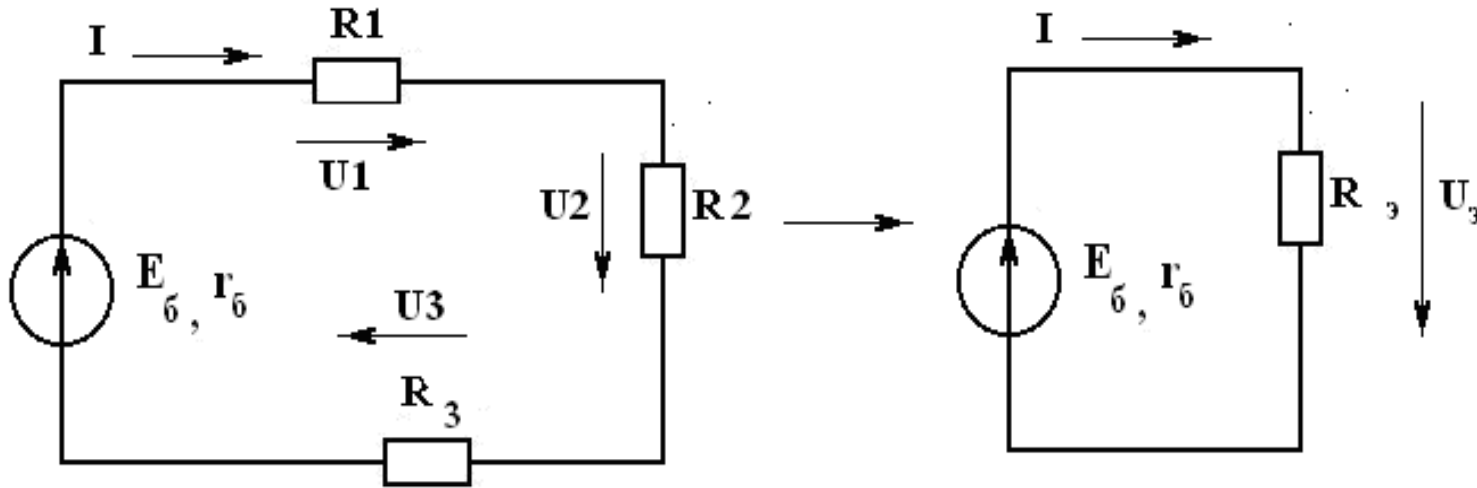
Практическое занятие №1

Расчёт цепей постоянного тока

Учебные вопросы

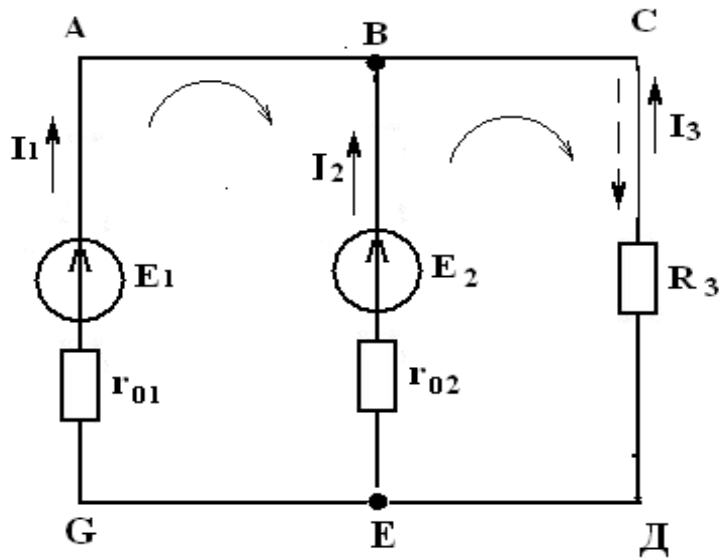
- 1.Расчет электрических цепей по законам Ома
- 2.Расчет электрических цепей по законам Кирхгофа
- 3.Расчет электрических цепей методом контурных токов
- 4.Расчет электрических цепей методом узлового напряжения

Расчет электрических цепей по законам Ома



В цепь с аккумуляторной батареей ($E_0=24\text{В}$, $r_0=0,5\text{ Ом}$) последовательно включены приемники электрической энергии с сопротивлениями $R_1=10,5\text{ Ом}$, $R_2=8\text{ Ом}$, $R_3=5\text{ Ом}$.
Вычислить: R_{Σ} , ток цепи, напряжение на участке U_1, U_2, U_3 , на выводах батареи U_6 , мощность источника $P_{\text{ист}}$, КПД и $P_{\text{пр}}$

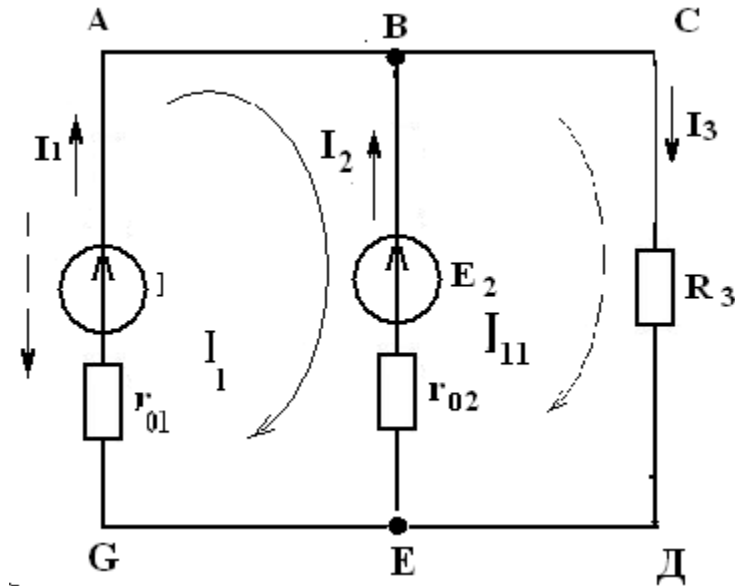
Расчет электрических цепей по законам Кирхгофа



$$\begin{aligned} E_1 &= 12\text{В}, E_2 = 12\text{В}, \\ r_{01} &= 0,2\text{ Ом}, r_{02} = 0,02\text{ Ом}, \\ R_3 &= 1\text{ Ом} \end{aligned}$$

$$\begin{cases} I_1 + I_2 + I_3 = 0 \\ E_1 - E_2 = I_1 r_{01} - I_2 r_{02} \\ E_2 = I_2 r_{02} - I_3 R_3 \end{cases}$$

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ МЕТОДОМ КОНТУРНЫХ ТОКОВ

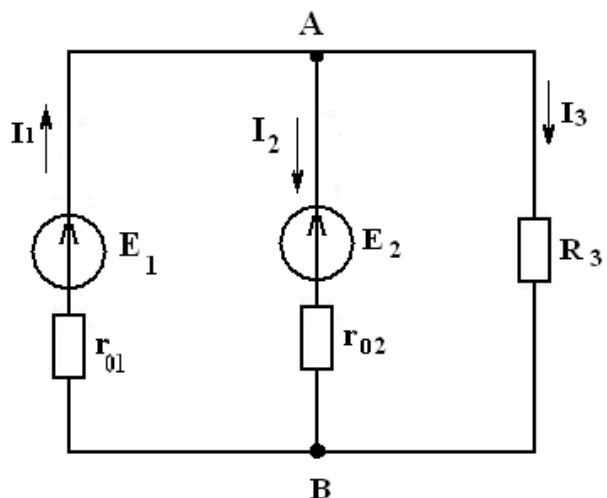


$$E_1 = 9 \text{ В}; E_2 = 12 \text{ В}; R_3 = 1 \text{ Ом}$$

$$r_{01} = 0,2 \text{ Ом}; r_{02} = 0,02 \text{ Ом}$$

$$\begin{cases} E_1 - E_2 = I_I(r_{01} + r_{02}) - I_{II}r_{02} \\ E_2 = I_{II}(r_{02} + R_3) - I_I r_{02} \end{cases}$$

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ МЕТОДОМ УЗЛОВОГО НАПРЯЖЕНИЯ



$$E_1 = 16 \text{ В}, E_2 = 12 \text{ В}, r_{01} = 0.2 \text{ Ом}, r_{02} = 0.02 \text{ Ом},$$

$$R_3 = 1 \text{ Ом}$$

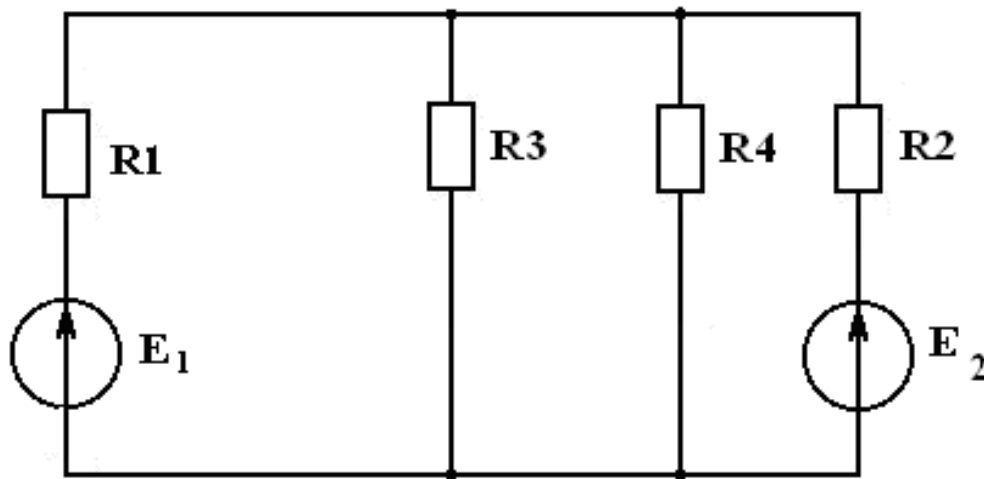
$$U_{AB} = \frac{E_1 g_1 + E_2 g_2}{g_1 + g_2 + g_3} = \frac{16 \cdot 5 + 12 \cdot 50}{5 + 50 + 1} = 12,14 \text{ В}$$

$$I_1 = (E_1 - U_{AB}) g_1 = (16 - 12,14) \cdot 5 = 19,3 \text{ А}$$

$$I_2 = (-E_2 + U_{AB}) g_2 = (-12 + 12,14) \cdot 50 = 7,0 \text{ А}$$

$$I_3 = U_{AB} g_3 = 12,14 \cdot 1 = 12,14 \text{ А}$$

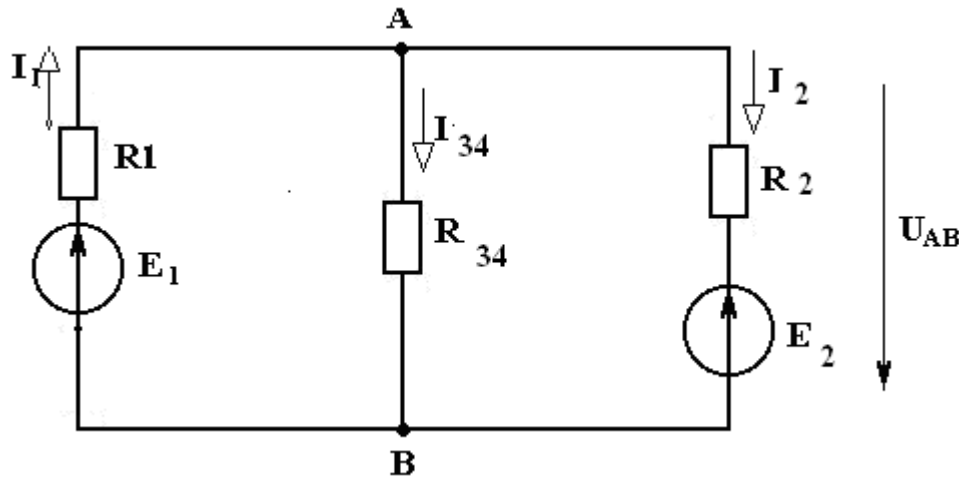
Задача для самостоятельного решения



Определить токи в ветвях, если $E_1 = 12 \text{ В}$, $E_2 = 6 \text{ В}$,
 $R_1 = 10 \text{ Ом}$, $R_2 = 20 \text{ Ом}$, $R_3 = 40 \text{ Ом}$, $R_4 = 50 \text{ Ом}$.

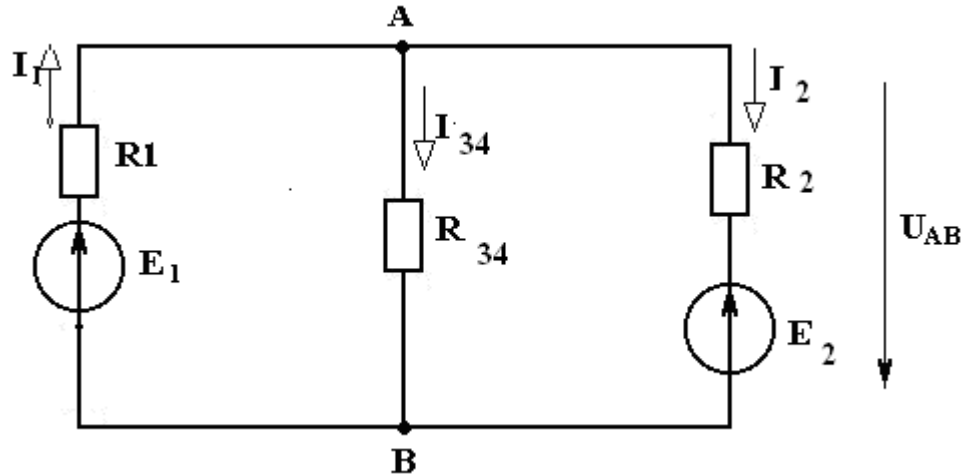
Решить методом узлового напряжения

Преобразуем схему



$$R_{3,4} = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} = \frac{40 \cdot 50}{40 + 50} = \frac{2000}{90} = 22,20 \text{ M}$$

Решение



$$g_1 = \frac{1}{R_1} = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ Ом}^{-1} \quad g_{II} = \frac{1}{R_{3,4}} = \frac{1}{22,2} = 0,045 \text{ Ом}^{-1}$$

$$g_{III} = \frac{1}{R_2} = \frac{1}{20} = 0,05 \text{ Ом}^{-1}$$

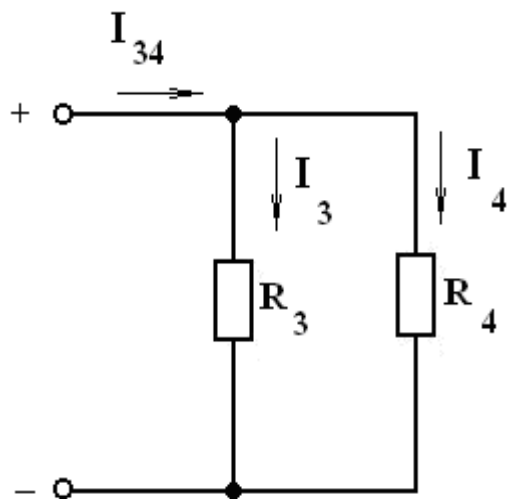
$$U_{AB} = \frac{E_1 g_1 + E_2 g_2}{g_1 + g_2 + g_3} = \frac{12 \cdot 0,1 + 6 \cdot 0,05}{0,1 + 0,045 + 0,05} = \frac{1,5}{0,195} = 7,69 \text{ В}$$

Решение

$$I_1 = (E_1 - U_{AB}) \cdot g_1 = (12 - 7,69) \cdot 0,1 = 0,43 A$$

$$I_{3,4} = U_{AB} \cdot g_2 = 7,69 \cdot 0,045 = 0,35 A$$

$$I_2 = (-6 + 7,69) \cdot 0,05 = 0,08 A$$



$$I_3 = I_{3,4} \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 0,35 \cdot \frac{50}{40 + 50} = 0,19 A$$

$$I_4 = I_{3,4} \cdot \frac{R_3}{R_3 + R_4} = 0,35 \cdot \frac{40}{90} = 0,16 A$$

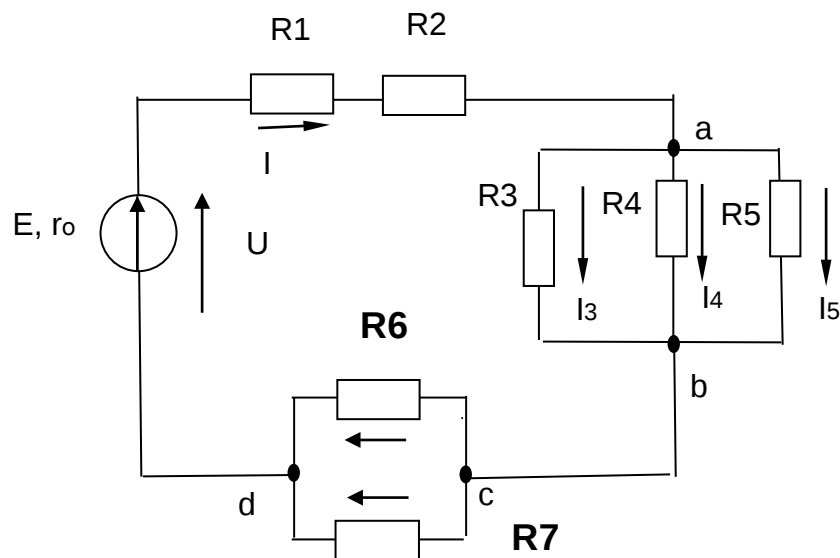
Задание на самостоятельную работу:
повторить методы расчёта электрических цепей

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. – 752 с., С.52- 58, 60-66 .

Тема 2

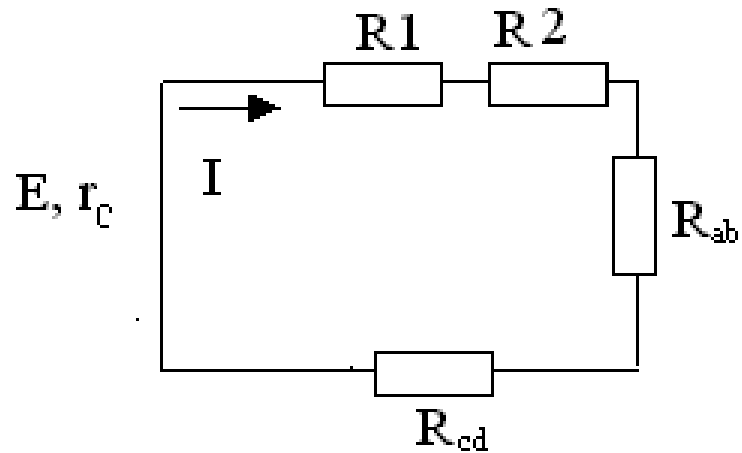
Занятие 5

Расчет электрических цепей



Для цепи, представленной на рисунке $E=120\text{ В}$; $r_0=2\text{ Ом}$; $R_1=11,5\text{ Ом}$; $R_2=10\text{ Ом}$; $R_3=20\text{ Ом}$; $R_4=50\text{ Ом}$; $R_5=100\text{ Ом}$; $R_6=40\text{ Ом}$; $R_7=60\text{ Ом}$. Определить токи и напряжения на всех участках цепи и напряжение на зажимах источника, а также мощность источника и мощности приемников электрической энергии.

Решение

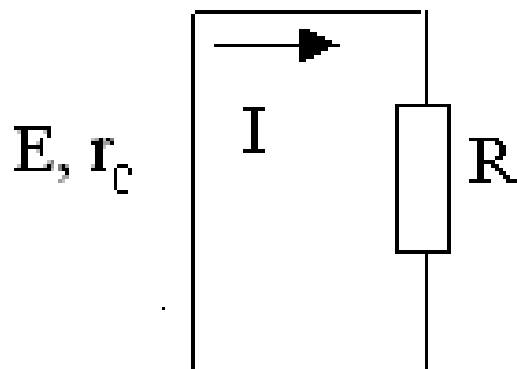


$$1/R_{ab}=1/R_3+1/R_4+1/R_5=1/20+1/50+1/100=8/100 \text{ Ом};$$

$$R_{ab}=12,5 \text{ Ом};$$

$$R_{cd}=R_6 \cdot R_7 / (R_6 + R_7) = 40 \cdot 60 / (40 + 60) = 25 \text{ Ом}$$

Решение



$$R=R1+R2+Rab+Rcd=11,5+10+12,5+24=58 \text{ Ом}$$

$$I=E/(r_0+R)=120/(2+58)=120/60=2 \text{ A.}$$

Определяем напряжение на участках промежуточной схемы:

$$Uab=RabI=12,5 \cdot 2=25 \text{ В;}$$

$$Ucd=RcdI=24 \cdot 2=48 \text{ В.}$$

$$I3=Uab/R3=25/20=1,25 \text{ A;}$$

$$I4=Uab/R4=25/50=0,5 \text{ A;}$$

$$I5=Uab/R5=25/100=0,25 \text{ A;}$$

$$I6=Uab/R6=48/40=1,2 \text{ A;}$$

$$I7=Uab/R7=48/60=0,8 \text{ A.}$$

Проверка

$$\text{Для узла «а» } I-I3-I4-I5=2-1,25-0,5-0,25=0$$

$$\text{Для узла «с» } I-I6-I7=2-1,2-0,8=0,$$

Решение

$$E = U_{вн} + U_1 + U_2 + U_{ab} + U_{cd} = r_0 I + R_1 \cdot I + R_2 \cdot I + R_{ab} I + R_{cd} I.$$
$$2 \cdot 2 + 11,5 \cdot 2 + 10 \cdot 2 + 12,5 \cdot 2 + 24 \cdot 2 = 4 + 23 + 20 + 25 + 48 = 120 \text{ В.}$$

. Мощность источника

$$P_u = EI = 120 \cdot 2 = 240 \text{ Вт.}$$

Мощности на участках:

$$P_{вн} = I^2 R_{вн} = 4 \cdot 2 = 8 \text{ Вт};$$

$$P_1 = I^2 R_1 = 4 \cdot 11,5 = 46 \text{ Вт};$$

$$P_2 = I^2 R_2 = 4 \cdot 10 = 40 \text{ Вт};$$

$$P_3 = U_{ab} I_3 = 23 \cdot 1,25 = 31,25 \text{ Вт};$$

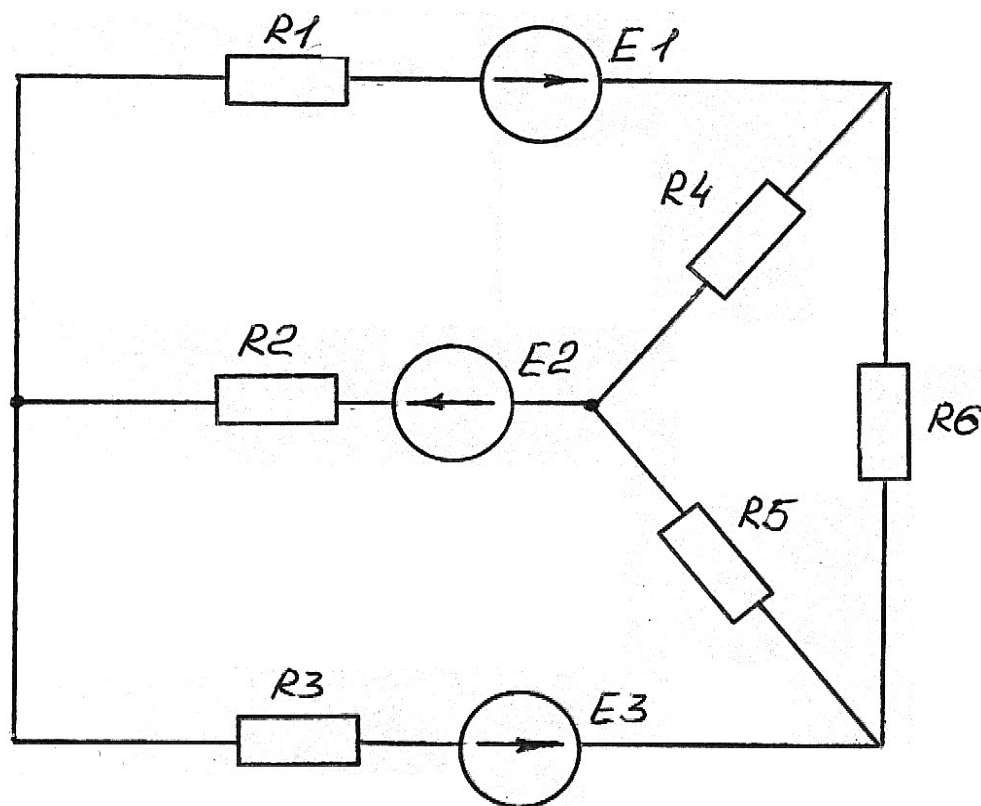
$$P_4 = U_{ab} I_4 = 25 \cdot 0,25 = 12,5 \text{ Вт};$$

$$P_5 = U_{ab} I_5 = 25 \cdot 0,25 = 6,25 \text{ Вт};$$

$$P_6 = U_{cd} I_6 = 48 \cdot 1,2 = 57,6 \text{ Вт};$$

$$P_7 = U_{cd} I_7 = 48 \cdot 0,8 = 38,4 \text{ Вт}$$

Задача для самостоятельного решения



Задание на самостоятельную работу

повторить методы расчёта электрических цепей

- **Данилов, И.А.** Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. – 752 с., с.52- 58, 60-66 .

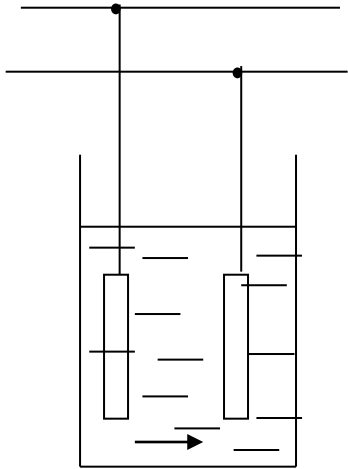
Тема №3 Химические источники тока

Занятие №8 Химические источники тока

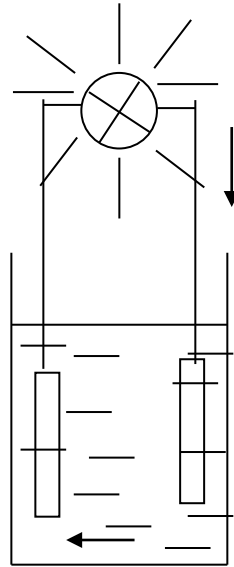
Учебные вопросы

1. Принцип действия аккумуляторов
2. Устройство, основные электрохимические процессы в свинцовом аккумуляторе
3. Основные характеристики и типы кислотных аккумуляторных батарей. Заряд и разряд аккумуляторов

Принцип действия аккумуляторов



Заряд

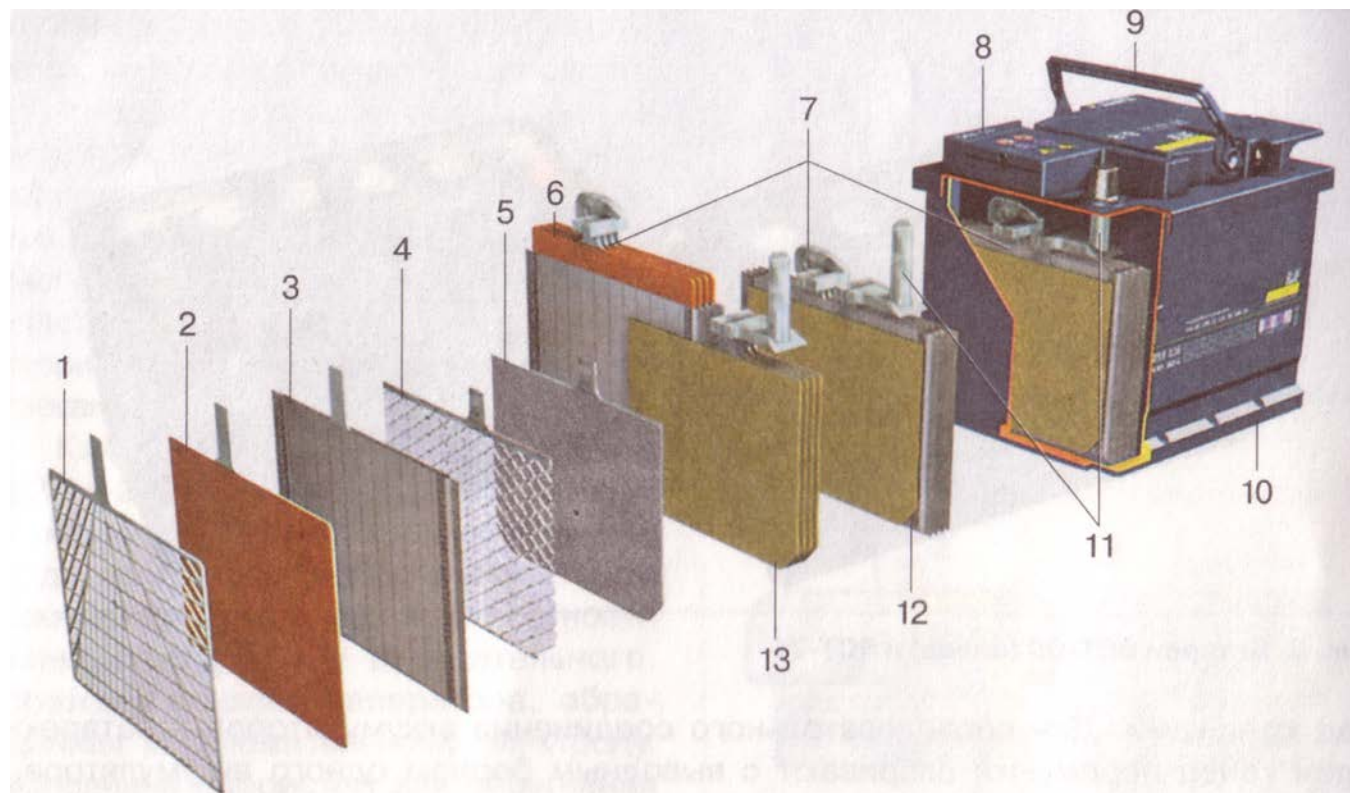


Разряд

Аккумулятором называется химический источник энергии, который способен накапливать (аккумулировать) электрическую энергию и по мере необходимости отдавать ее во внешнюю цепь.

При заряде происходит превращение электрической энергии в химическую, а при разряде — наоборот

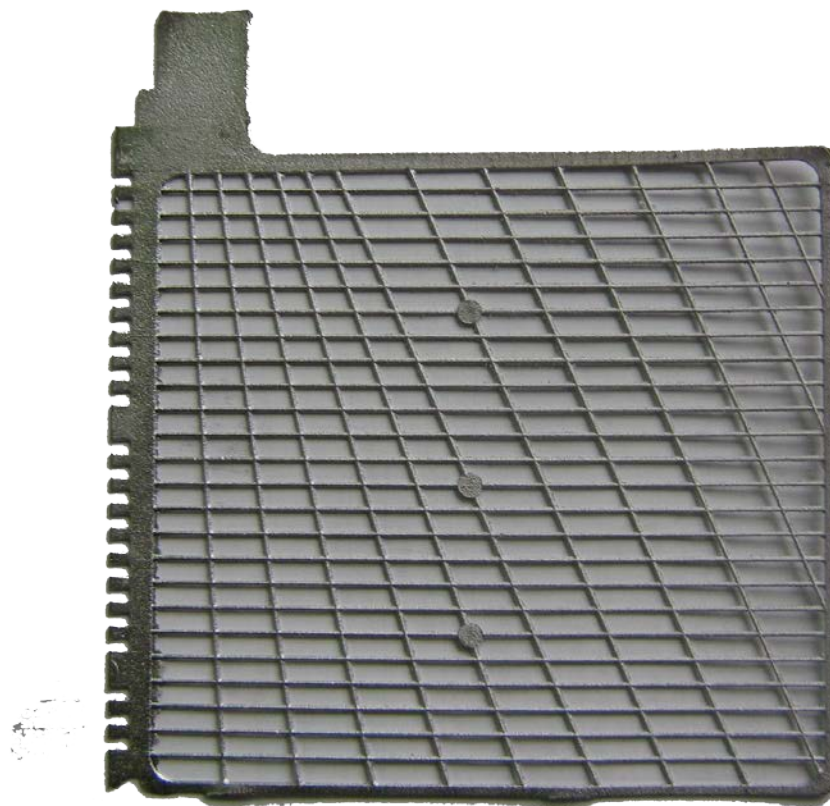
Устройство, основные электрохимические процессы в свинцовом аккумуляторе



1 – положительный токоотвод; 2 – положительный электрод; 3 – положительный электрод в конверте-сепараторе; 4 – отрицательный токоотвод; 5 – отрицательный электрод;

6 – блок положительных электродов; 7 – межэлементное соединение (борн); 8 – крышка батареи (общая); 9 – ручка; 10 – моноблок; 11 – выводной борн; 12 – блок электродов в сборе; 13 – блок отрицательных электродов

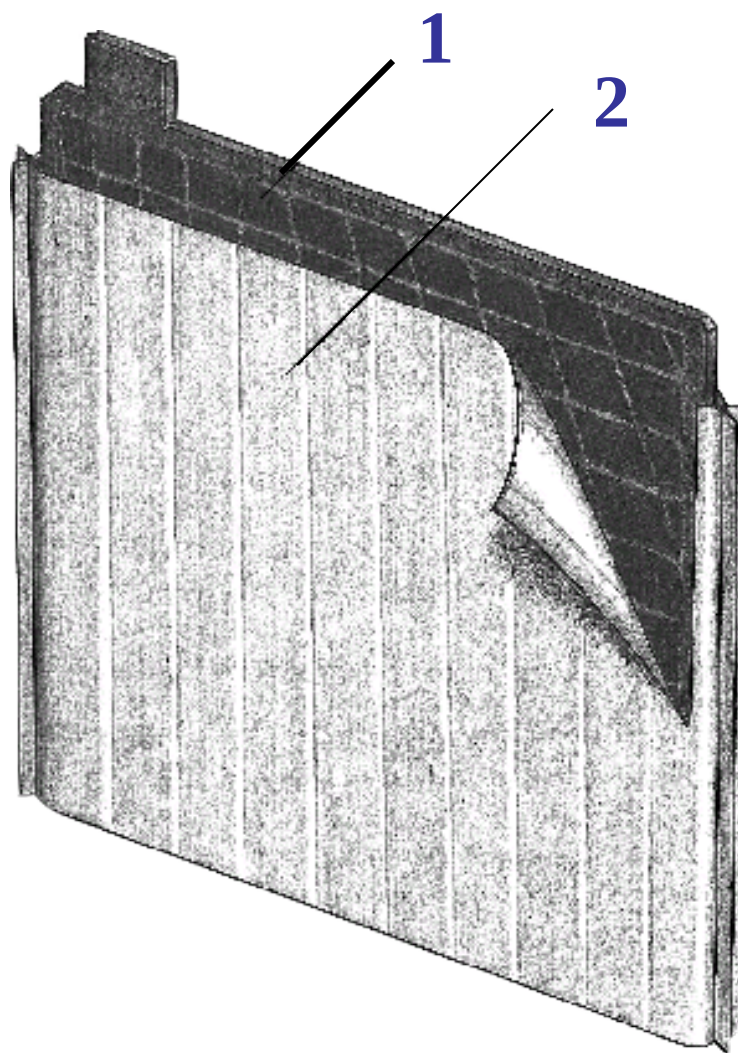
ТОКООТВОД



Pb + Sb

(свинец) + (сурьма)

92 – 94 % 6 – 8 %



1 – электрод; 2 – сепаратор

ПРИМЕНЯЕМОСТЬ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

- ТАНКОВЫЕ АКБ



6 СТ - 140 А МТ - ЛБ
6 СТС - 140 АС



6 СТС - 140АС ГМ - 569
12 СТС - 85АС1

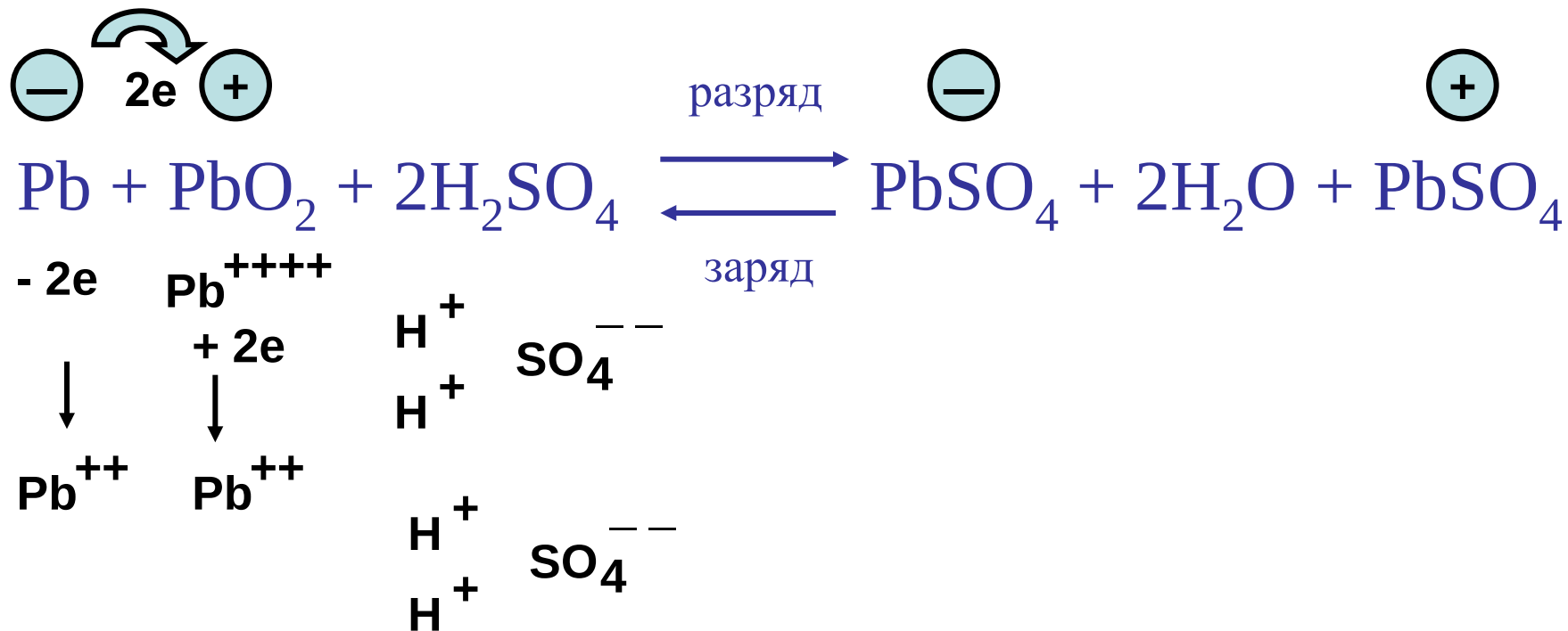


6 СТС - 140АС Т - 80, Т - 90
12 СТС - 85АС1

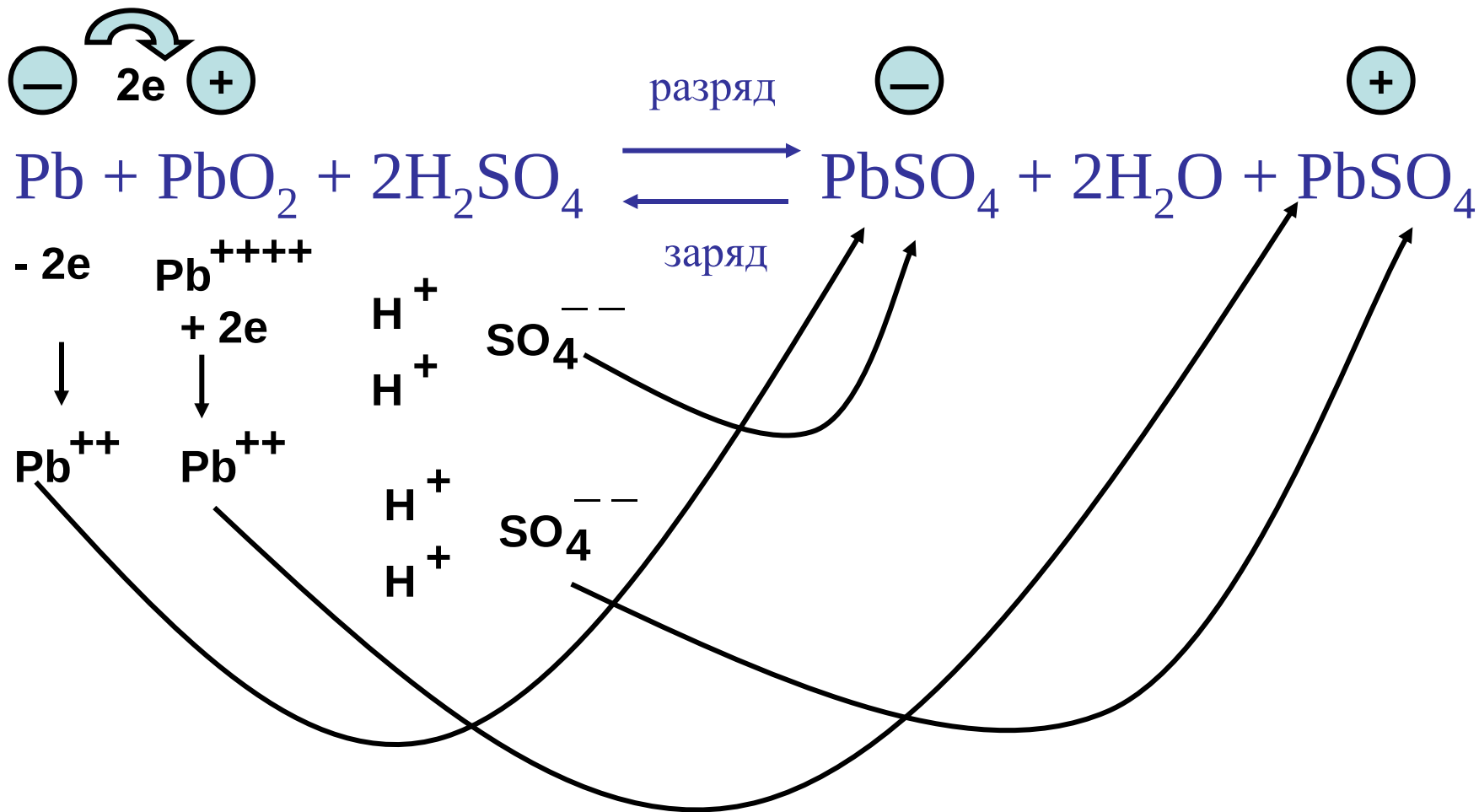




Электрохимические процессы в аккумуляторе



Электрохимические процессы в аккумуляторе



Основные характеристики и типы кислотных аккумуляторных батарей. Заряд и разряд аккумуляторов

ПАРАМЕТРЫ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ АККУМУЛЯТОР

E -электродвижущая сила

U_z, U_p -зарядное и разрядное напряжение

r_0 -внутреннее сопротивление

C_{20}, c_{20} -емкость и удельная емкость

I_p -сила тока холодной прокрутки

η - коэффициент полезного действия

T -срок службы

$T_{то}$ -трудозатраты на техническое обслуживание

ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА

Электродвижущей силой (ЭДС) аккумулятора E_a называется разность его электродных потенциалов, измеренная при разомкнутой внешней цепи, т.е.

$$E_a = \varphi^+ - \varphi^-,$$

где φ^- и φ^+ – соответственно потенциалы положительного и отрицательного электродов при разомкнутой внешней цепи, В.

ЭДС батареи, состоящей из n последовательно соединенных аккумуляторов

$$E_b = n \cdot E_a.$$

Электродвижущая сила E_a аккумулятора, (в вольтах) может быть определена по эмпирической формуле: $E_a = p_{25} + 0,85$

где p_{25} - безразмерная величина, численно равная плотности электролита при 25 °С.

Величина ЭДС исправного аккумулятора зависит от плотности электролита (степени его заряженности) и изменяется от 1,92 до 2,15 В.

При эксплуатации аккумуляторных батарей по величине ЭДС, ориентировочно, определяют их состояние, а также проверяют наличие короткого замыкания между разноименными электродами.

НАПРЯЖЕНИЕ ПРИ ЗАРЯДЕ И РАЗРЯДЕ

Разность потенциалов на полюсных выводах аккумулятора (батареи) в процессе заряда или разряда (при наличии тока во внешней цепи) называется напряжением аккумулятора (батареи).

Наличие внутреннего сопротивления аккумулятора приводит к тому, что его напряжение при разряде всегда меньше ЭДС, а при заряде - всегда больше ЭДС.

Напряжение аккумулятора при заряде $U_{аз}$ (в вольтах) определяется выражением:

$$U_{аз} = E_a + I_з r_a$$

где $I_з$ – сила зарядного тока, А;

r_a – внутреннее сопротивление аккумулятора, Ом.

Напряжение аккумулятора при разряде $U_{ар}$ меньше его ЭДС

E_a на величину падения напряжения на нем:

$$U_{ар} = E_a - I_a r_a$$

где I_a - сила разрядного тока аккумулятора, А.

ВНУТРЕННЕЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Сопротивление, оказываемое аккумулятором протекающему внутри него току (зарядному или разрядному), называется внутренним сопротивлением.

Полное внутреннее сопротивление аккумулятора складывается из сопротивления электродов, электролита, сепараторов, вспомогательных токоведущих деталей и сопротивления поляризации, которая появляется вследствие изменения электродных потенциалов при прохождении электрического тока.

Внутреннее сопротивление аккумулятора зависит от ряда факторов:

1) При разряде аккумулятора сопротивление электродов и электролита возрастает. В разряженном состоянии сопротивление аккумулятора более чем в два раза превышает значение сопротивления у полностью заряженного аккумулятора.

2) Существенное значение на сопротивление аккумулятора оказывает температура. С понижением температуры удельное сопротивление электролита возрастает и при температуре минус 40°C становится, примерно, в 8 раз больше, чем при температуре минус 30°C. Сопротивление сепараторов так же резко возрастает с понижением температуры и в том же интервале увеличивается, примерно, в 4 раза.

ЕМКОСТЬ АККУМУЛЯТОРА

Емкость аккумулятора представляет собой количество электричества, которое может отдать полностью заряженный аккумулятор при разряде его установленным режимом.

Емкость аккумулятора измеряется в ампер-часах и определяется как произведение величины разрядного тока на продолжительность разряда.

Емкость зависит от:

- количества активной массы,
- величины разрядного тока,
- плотности и температуры электролита,
- срока службы аккумулятора.

При большой величине разрядных токов, при низких температурах электролита, а так же в конце срока службы батареи ее емкость снижается. За номинальную емкость аккумулятора принимается емкость, которую должен отдавать аккумулятор при его разряде током 20 или 10-часового режима разряда.

Для аккумуляторных батарей, применяемых в Вооруженных Силах, основным является 10-часовой режим разряда.

СИЛА ТОКА ХОЛОДНОЙ ПРОКРУТКИ

Сила тока холодной прокрутки характеризует максимальную (предельную) пусковую способность данного типа аккумуляторных батарей и представляет собой численное значение разрядного тока, при котором на 30-й секунде разряда, при температуре минус 18°C , разрядное напряжение будет не менее 7,2 В для двенадцати вольтовой аккумуляторной батареи.

Заряд и разряд аккумуляторов

$I_z=0,1 \text{ C}_{20}$ Например батарея 6СТ- 90 $I_z=9 \text{ A}$

Для заряда батареи на 100% необходимо напряжение 2,7 В на один аккумулятор, для батареи 6СТ-90 $U_z=16,2 \text{ В}$

Признаки конца заряда:

- 1) обильное газовыделение;
- 2) нагрев электролита;
- 3) постоянство плотности и напряжения в течение 1 часа заряда

Допустимый разряд батареи – летом 50%, зимой 25%

Разряд производится до минимального напряжения на аккумуляторе 1,7 В

Задание на самостоятельную работу: изучить устройство АБ, основные параметры

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. – 752 с., с. 60-66 .

Тема №4 Электромагнетизм

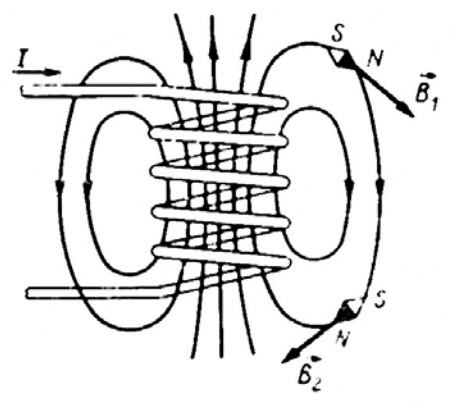
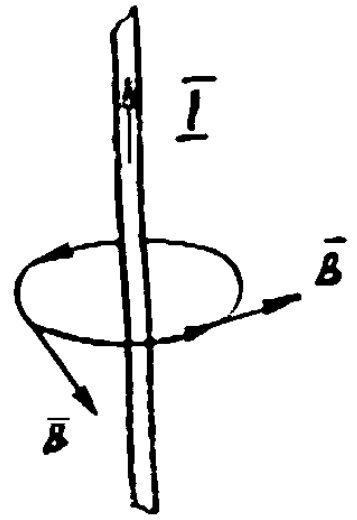
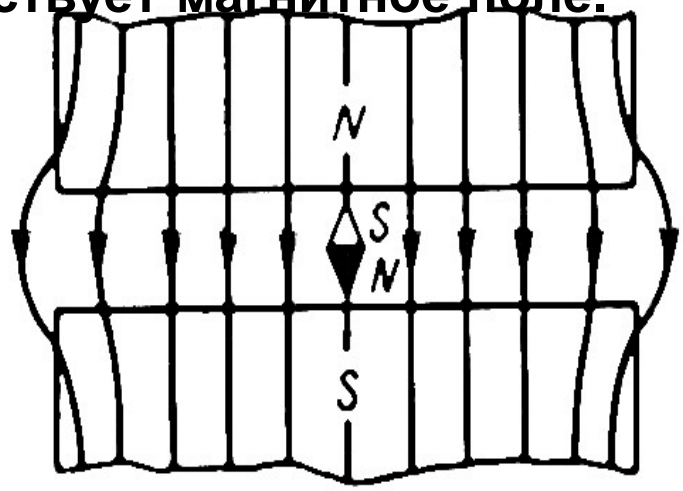
Занятие №9 Магнитное поле

Учебные вопросы

- 1 Характеристики и виды магнитного поля. Диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики. Электромагниты**
- 2 Закон полного тока**
- 3 Проводник с током в магнитном поле**

Характеристики и виды магнитного поля. Диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики. Электромагниты

Вокруг постоянных магнитов и вокруг каждого проводника с током существует магнитное поле.



Характеристики и виды магнитного поля. Диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики. Электромагниты

Пусть катушка состоит из витков и по ней течет ток. Величина намагничивающей силы будет равна: $F = I W, \text{ А}$.

Напряженность магнитного поля – это намагничивающая сила, приходящаяся на единицу длины магнитной силовой линии.

$$H = \frac{I W}{l}$$

Количество магнитных силовых линий, приходящихся на единицу площади, называется магнитной индукцией B . Магнитная индукция измеряется в тесла (Тл).

Отношение магнитной индукции к напряженности магнитного поля называется абсолютной магнитной проницаемостью:

$$\mu_a = \frac{B}{H}$$

Характеристики магнитного поля

Магнитное поле в любой его точке характеризуется по интенсивности и направленности действия на проводник с током или ферромагнитное вещество вектором магнитной индукции $\vec{B}$

При расчетах магнитных цепей пользуются величиной H – напряженностью магнитного поля

$$\vec{B} = \mu_a \vec{H} \quad \mu_a = \mu_0 \mu$$

μ_a – абсолютная магнитная проницаемость

μ_0 – магнитная постоянная $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$

μ – относительная магнитная проницаемость

Магнитный поток – это общее число магнитных силовых линий, пронизывающих данную площадку, перпендикулярную к направлению магнитных линий:

$$\Phi = B S \quad (\text{Тл м}^2 = \text{Вб})$$

Классификация материалов

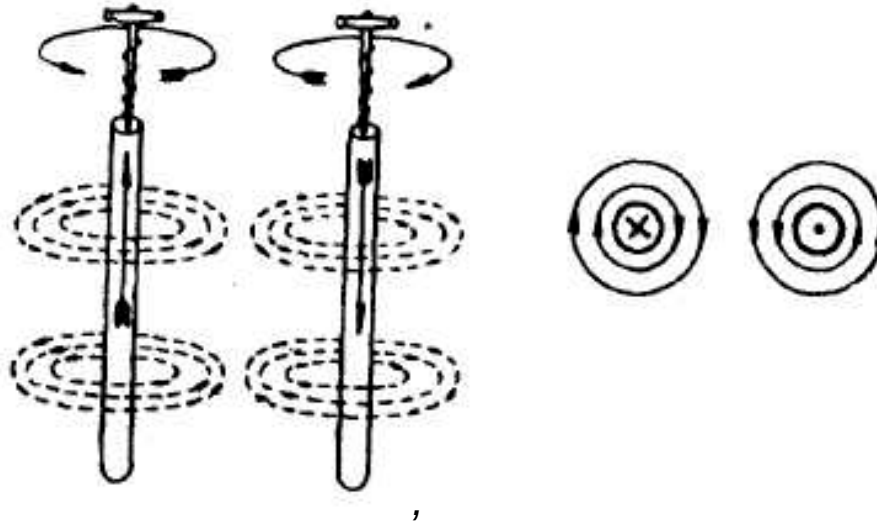
В зависимости от μ все материалы делят на три группы.

Для диамагнетиков меньше 1 (для меди $=0,999\dots$). Кроме меди в эту группу входит серебро, углерод, цинк, ртуть и др.

Парамагнетики имеют магнитную проницаемость несколько больше 1. К парамагнетикам относятся воздух, вольфрам, платина, марганец. (воздуха $=1,000003$).

Ферромагнетики характеризуются магнитной проницаемостью несколько тысяч единиц. Сюда относятся Fe, Ni, Co. Эти материалы используются для получения значительных магнитных индукций.

**Магнитное поле линейного проводника имеет вид
концентрических окружностей**



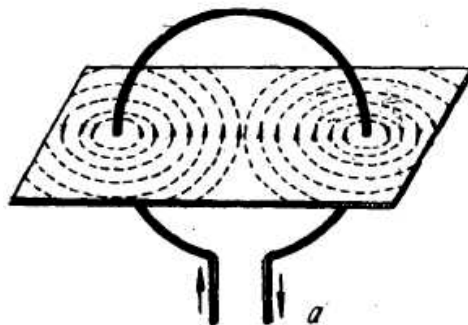
Направление силовых линий поля изучают по правилу буравчика.

$$H_r = \frac{I}{2\pi r}$$

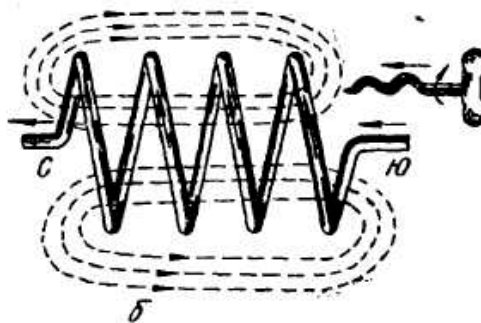
где I - сила тока;

r - радиус силовой линии.

Магнитное поле кольцевого проводника



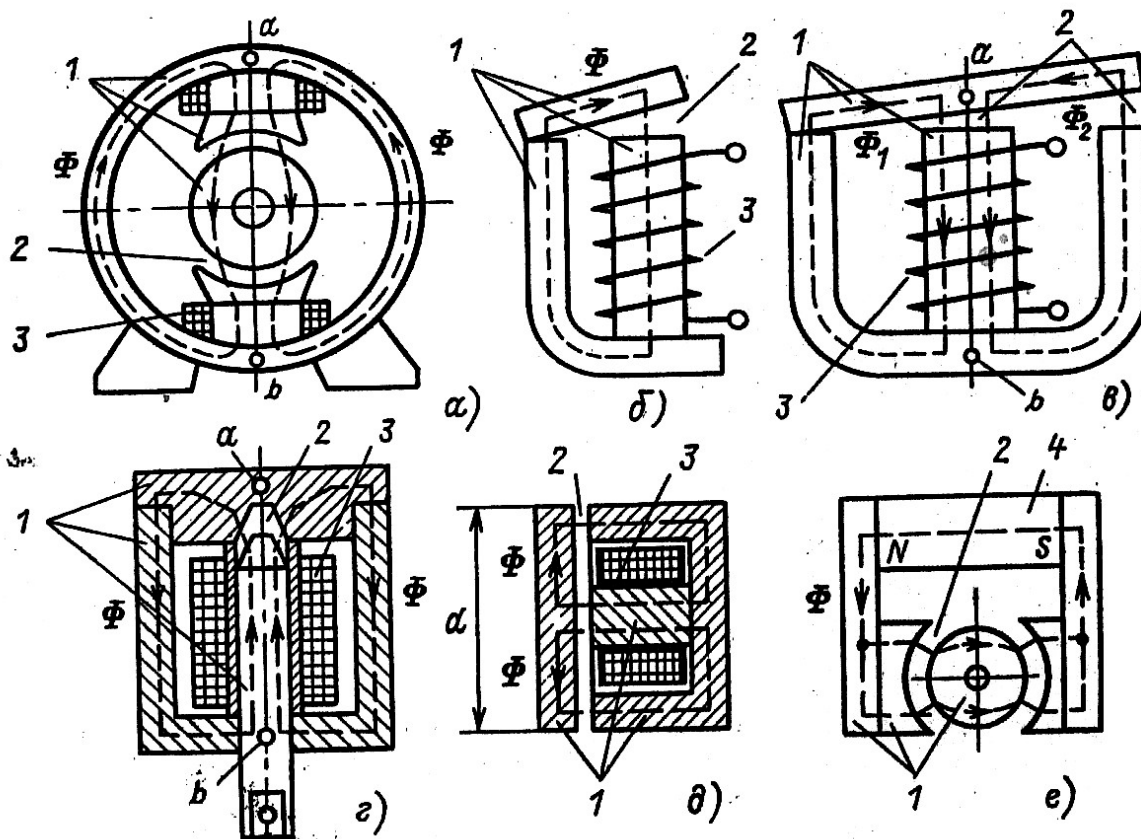
Магнитное поле катушки



Электромагниты

Для увеличения магнитного поля катушки применяются ферромагнитные сердечники, называемые магнитопроводами. Катушку с сердечником называют электромагнитом.

Примеры магнитных цепей



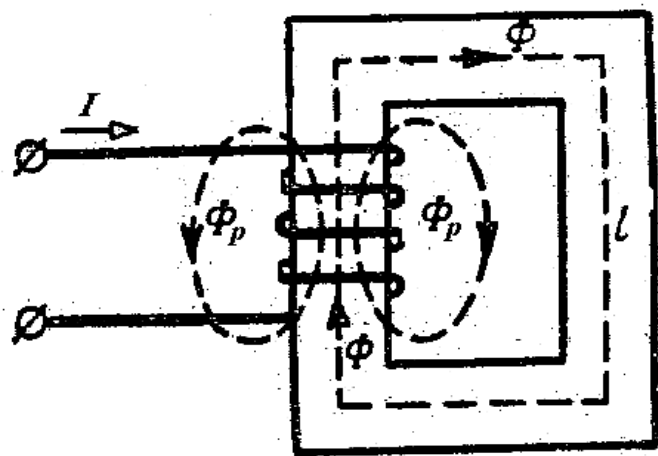
а – машины постоянного тока; **б** и **в** – электромагнитных реле;
г и **д** – тормозных электромагнитов;
е – магнитоэлектрического измерительного прибора

Сравнение параметров электрических и магнитных цепей

Содержание	Электрические цепи	Магнитные цепи
Основные величины	I – ток, А E – электродвижущая сила (ЭДС), В U – напряжение, В R – сопротивление, Ом	Φ – магнитный поток, Вб $F = Iw$ – магнитодвижущая сила (МДС), А $F = Hl$ – магнитное напряжение, А R_m – магнитное сопротивление, А/В·с

Закон полного тока

Магнитное поле и электрический ток связаны друг с другом. Эту зависимость выражает закон полного тока



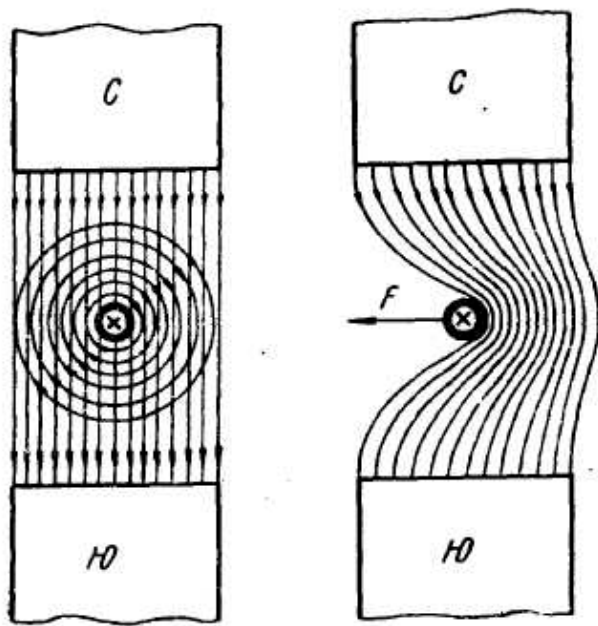
$$\sum \vec{H}l = \sum \vec{I}W$$

$$I \cdot W = F$$

Закон Ома для магнитной цепи

$$\Phi = \frac{F_{нс}}{R_{мц}} = \frac{F_{нс}}{\frac{l}{\mu S}}$$

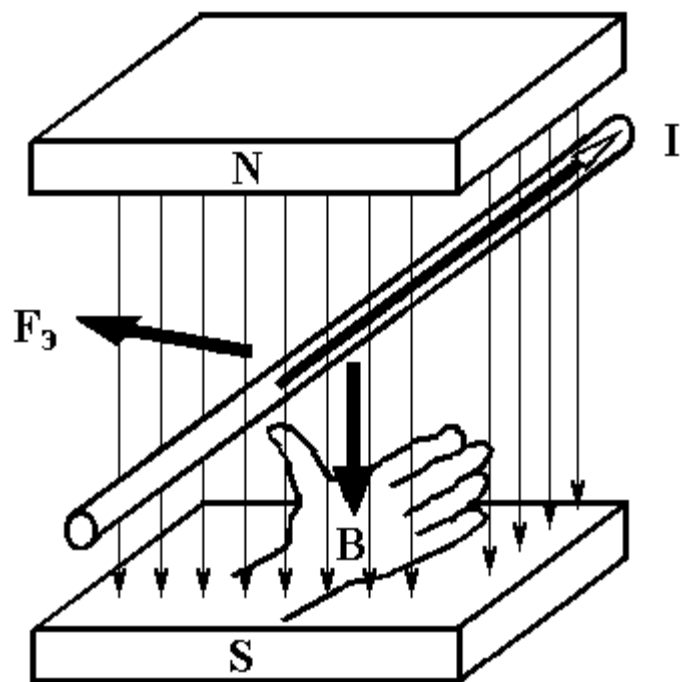
Проводник с током в магнитном поле



В магнитном поле магнита находится проводник, расположенный перпендикулярно плоскости рисунка, по проводнику протекает ток в направлении от нас за плоскость рисунка.

Под действием тока вокруг проводника образуется свое магнитное поле, применяя правило буравчика – направление магнитных линий этого поля совпадает с направлением движения часовой стрелки

Проводник с током в магнитном поле



Величина этой силы будет равна

$$F = B \cdot I \cdot \ell,$$

где B – индукция магнитного поля, Тл;

I – сила тока в проводнике, А;

ℓ – активная длина проводника, м.

Для определения направления движения проводника в магнитном поле можно пользоваться правилом левой руки: если расположить левую руку так, чтобы магнитные линии пронизывали ладонь, а втянутые четыре пальца указывали направление тока в проводнике, то отогнутый большой палец укажет направление движения проводника.

Задание на самостоятельную работу:

изучить характеристики магнитного поля, закон Ампера.

Литература:

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М.Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. – 752 с., с.69-86, 93-95.

ТЕМА №4

ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

Занятие 10, групповое

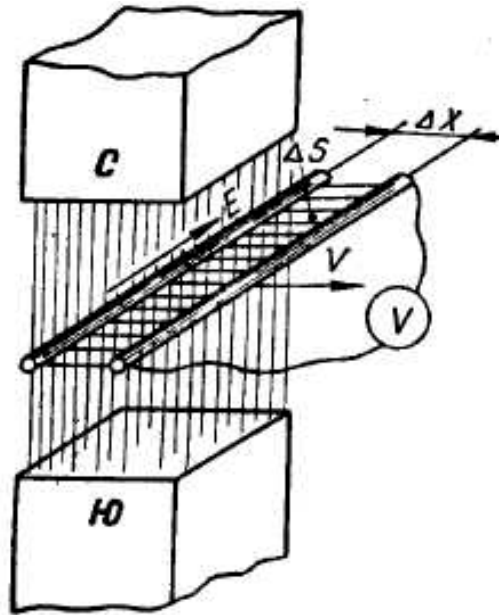
ЗАКОН ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

Учебные вопросы

- 1 Закон электромагнитной индукции. Правило Ленца
- 2 Явление самоиндукции. Вихревые токи. Взаимоиндукция. Переходные процессы в цепи постоянного тока
- 3 Энергия магнитного поля

1 вопрос

1 Закон электромагнитной индукции. Правило Ленца



$$E = B \cdot l \cdot v$$

где

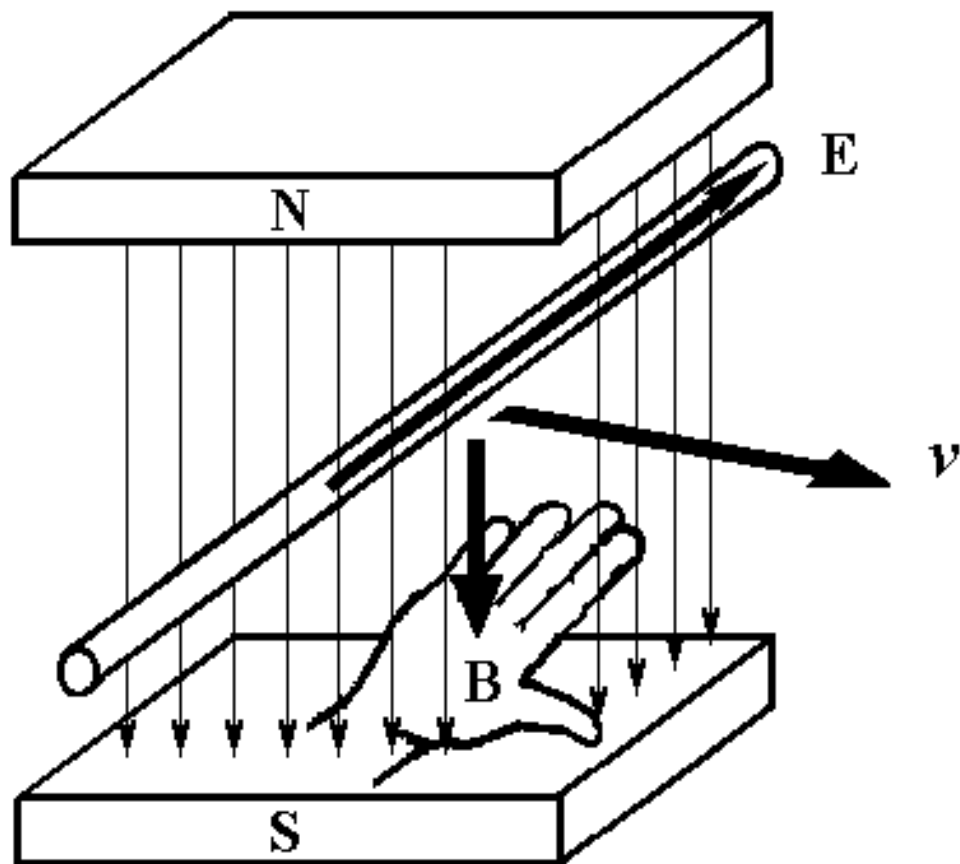
E - ЭДС электромагнитной индукции (В)

B - магнитная индукция (Тл);

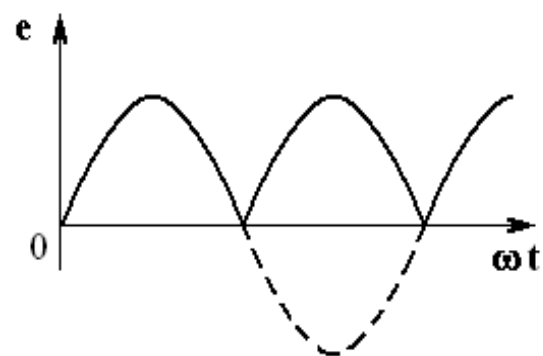
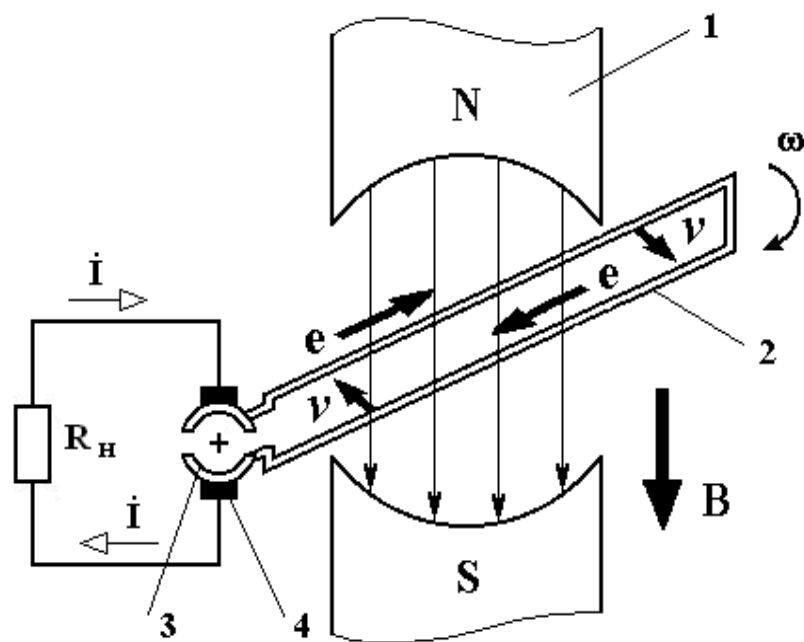
l - длина проводника (м);

v - скорость перемещения проводника, в магнитном поле перпендикулярно направлению магнитных силовых линий

Правило правой руки



Модель генератора



$$E = B \cdot l \cdot V \sin \alpha$$

α – угол между направлением магнитных силовых линий и вектором скорости

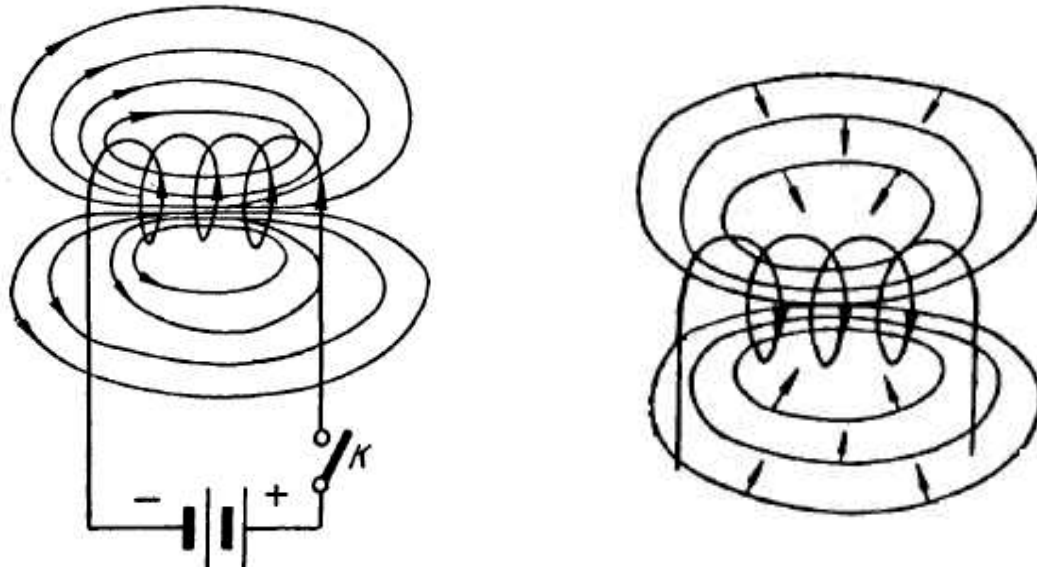
$$E = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Направление индуцированной ЭДС всегда таково, что созданный ею ток противодействует причине, вызвавшей появление этой ЭДС и тока.

2 вопрос

Явление самоиндукции. Вихревые токи. Взаимоиндукция
Переходные процессы в цепи постоянного тока

Явление самоиндукции



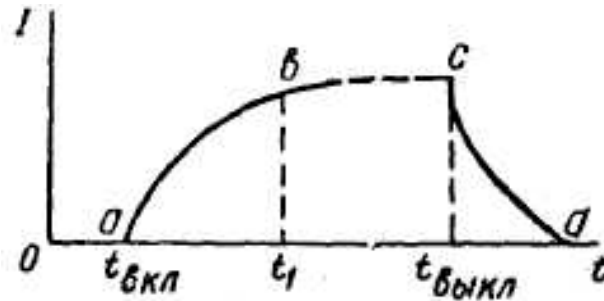
ЭДС, возникающая в катушке при изменении тока в ней называется **электродвижущей силой самоиндукции.**

$$E_L = -L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

$$L = \mu a \frac{W^2 S}{l}$$

Знак «—» указывает, что согласно правилу Ленца, ЭДС самоиндукции имеет такое направление, что всегда препятствует той причине, которая ее вызвала.

Возникающая при включении катушки ЭДС самоиндукции, стремится задержать увеличение тока, а при выключении удержать его уменьшение



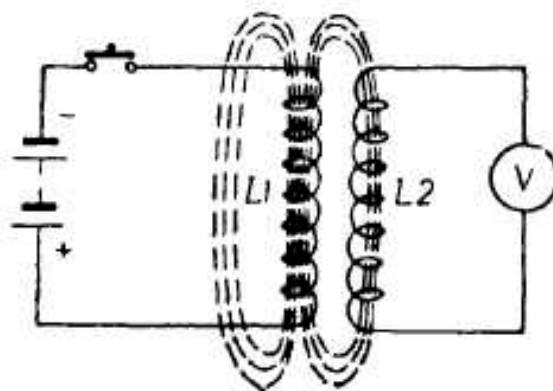
Возникновение индуктивной ЭДС в проводнике (катушке), вызванное изменяющимся магнитным полем рядом расположенного проводника, называется **взаимоиндукцией**.

$$E_{\text{вз}} = -M \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

где $E_{\text{вз}}$ – ЭДС взаимоиндукции;

$\frac{\Delta i}{\Delta t}$ – скорость изменения тока;

M – взаимная индуктивность (Гн), которая учитывает форму, размеры и взаимное расположение катушек, а также магнитную проницаемость среды, в которой они находятся.



Вихревые токи

Если поместить укрепленный на оси металлический диск в изменяющийся магнитный поток или вращать диск в неизменном магнитном потоке, в диске индуцируются кольцевые или, как их обычно называют **вихревые токи**.

Для уменьшения вихревых токов сердечники машин набирают из тонких (0,1-0,5) мм изолированных друг от друга листов стали.

Переходные процессы в цепях постоянного тока

Процессы перехода электрической цепи из одного стационарного состояния в другое называется переходным процессом.

Коммутацией называется всякое принудительное изменение параметров цепи.

Первый закон коммутации

Ток, протекающий через катушку индуктивности, не может изменяться скачком.

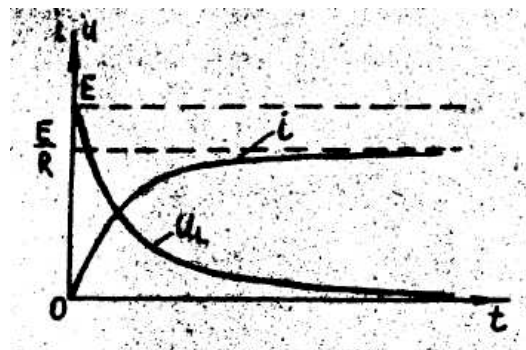
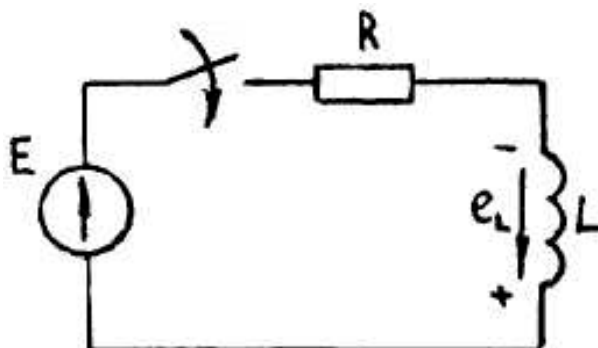
$$e_L = -L \frac{di}{dt},$$

Второй закон коммутации

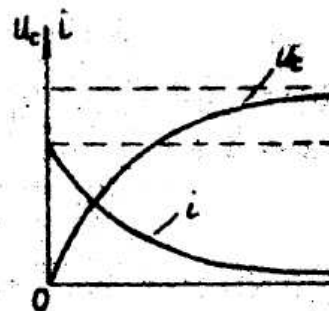
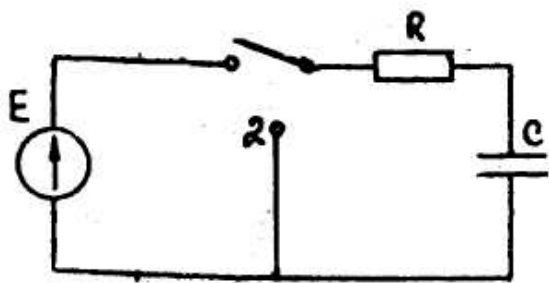
Напряжение на конденсаторе не может изменяться скачком.

$$i_C = C \frac{dU_C}{dt}$$

Переходные процессы в цепях с последовательным соединением активного сопротивления и ИНДУКТИВНОСТИ.



Переходные процессы в цепях с активным сопротивлением и конденсатором



Энергия магнитного поля

При включении источника в цепь, содержащую сопротивление R и индуктивность L , ток не сразу достигает своего установившегося значения:

$$I = \frac{U}{R}.$$

При постепенном возрастании тока возникает магнитное поле и в нем происходит накопление энергии, израсходованной источником. Накопление в магнитном поле энергии W_m при возрастании тока в цепи

$$W_m = \frac{LI^2}{2}$$

Задание на самостоятельную работу:

изучить закон электромагнитной индукции, правило Ленца, явления самоиндукции и взаимоиндукции, переходные процессы цепях постоянного тока.

Литература:

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. – 752 с., с.96-104, 111-116.

Тема №5 Электрические измерения

Занятие 11

Электроизмерительные приборы

Учебные вопросы

- 1. Методы электрических измерений. Погрешности и классификация электроизмерительных приборов**
- 2. Приборы магнитоэлектрической, электромагнитной и электродинамической систем**
- 3. Измерение токов, напряжений, сопротивлений и мощности**

Методы электрических измерений. Погрешности и классификация электроизмерительных приборов

Измерением какой-либо величины называется ее сравнение с некоторым ее значением, принятым за единицу.

Устройства, с помощью которых осуществляется измерение различных электрических величин, называют электроизмерительными приборами.

Разность между показаниями прибора и действительными значениями измеряемой величины называется абсолютной погрешностью и обозначается буквой Δ (дельта).

$$\Delta = A_{\text{и}} - A_{\text{д}},$$

где $A_{\text{и}}$ – измеренное значение,

$A_{\text{д}}$ – действительное.

$$\rho = \frac{\Delta A}{A_{\text{д}}} \cdot 100\% \quad - \text{относительная погрешность.}$$

Приведенной погрешностью называется, выраженное в %, отношение абсолютной погрешности к номинальному показанию прибора Аном:

$$\gamma_{пр} = \frac{\Delta A}{A_{ном}} \cdot 100\%$$

Номинальное показание прибора Аном - это наибольшая величина, которую можно измерить с помощью прибора.

По допустимой основной (приведённой) погрешности электроизмерительного прибора определяется класс точности

Государственным стандартом установлены 8 классов точности: класс точности 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 4.

Измерительные приборы первых 3-х классов точности применяются для лабораторных измерений, проверки приборов более низких классов точности. Приборы с классами точности от 0,5 до 2,5 служат для технических измерений.

Классификация электроизмерительных приборов

Электроизмерительные приборы классифицируются по принципу действия, роду тока, классу точности.

В зависимости от принципа действия электроизмерительных механизмов приборы разделяются на следующие системы: **магнитоэлектрическую, электромагнитную, электродинамическую, индукционную и др.**

Приборы изготавливаются для измерения в цепях переменного и постоянного тока, а также универсальные пригодные для постоянного и переменного токов.

Условные обозначения на шкале электроизмерительных приборов

Измеряемая величина: $A, mA, kA; V; \Omega, k\Omega, M\Omega; W; kW$

Измерительная система: 

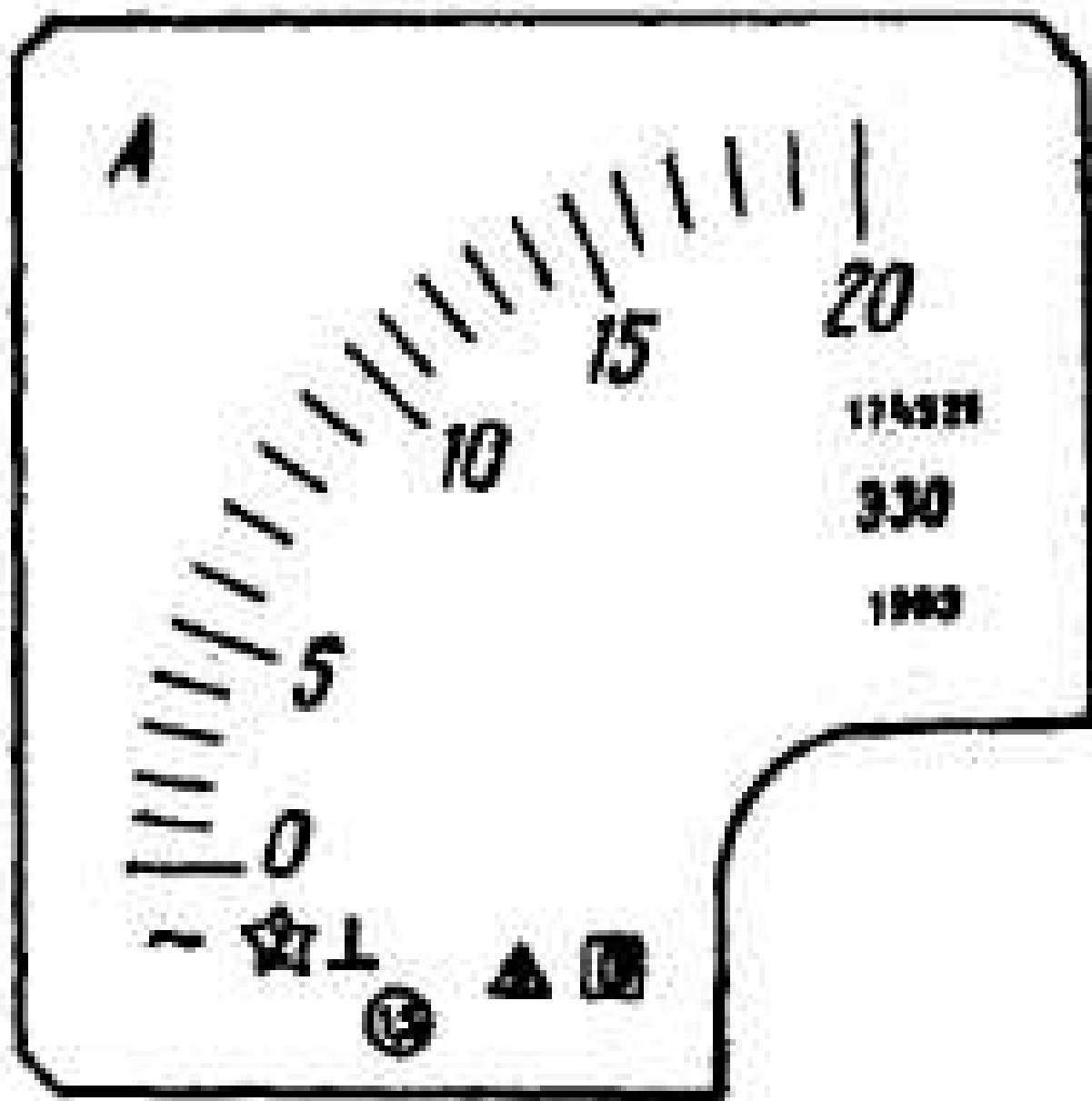
Род тока: — , ~ , $\approx$, $\overline{\sim}$

Положение прибора:  30

Эксплуатационная группа: А – для отапл. помещений

В – для неотапл. помещений

С – для полевых условий



2 Приборы магнитоэлектрической, электромагнитной и электродинамической систем

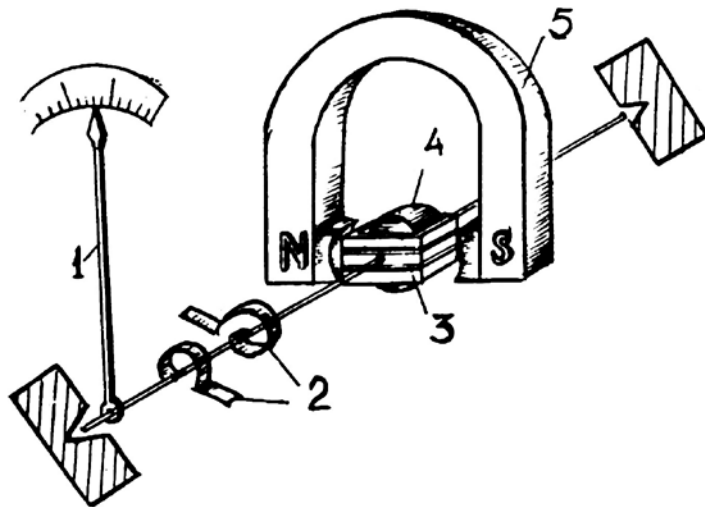
Приборы магнитоэлектрической системы

Принцип действия приборов данной системы основан на воздействии поля постоянного магнита на подвижную катушку с током, помещенную в это поле

При включении прибора по виткам рамки течет ток, который взаимодействует с полем постоянного магнита, вызовет поворот рамки и указателя. Угол поворота подвижной системы пропорционален силе тока рамки: чем больше ток в рамке, тем больше углы поворота подвижной системы.

Угол поворота стрелка такого прибора α связан с током I прямо пропорциональной зависимостью:

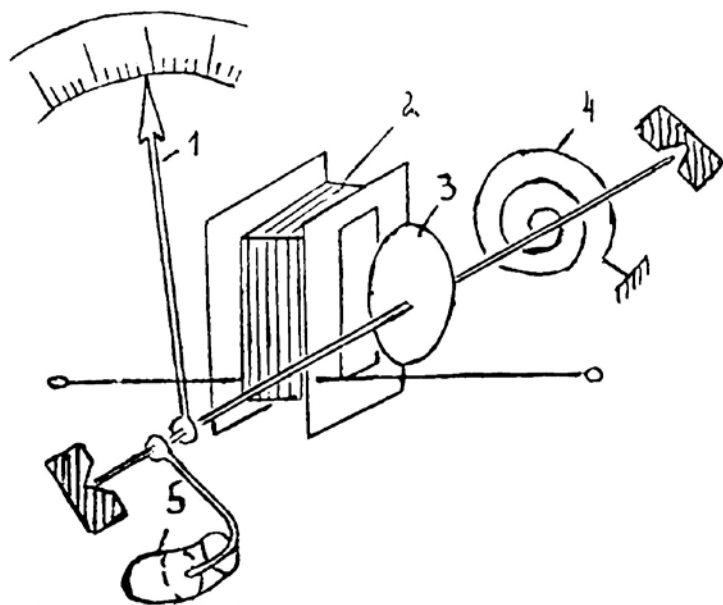
$$\alpha = wBSI \cdot \frac{1}{K}$$



1 – стрелка; 2 – спиральные пружины;
3 – подвижная катушка;
4 – стальной сердечник; 5 –
постоянный магнит

Рисунок 1 – Измерительный механизм
магнитоэлектрической системы

Приборы электромагнитной системы



Принцип действия таких приборов основан на механизме втягивания подвижного ферромагнитного сердечника внутрь неподвижной катушки под действием ее магнитного поля, создаваемого в катушке проходящим через нее измеряемым током.

Сердечник, имеющий форму лепестка, при прохождении тока через катушку, втягивается в нее на угол $\alpha \sim I^2$.

Можно применять для измерений как в цепях постоянного, так и переменного тока

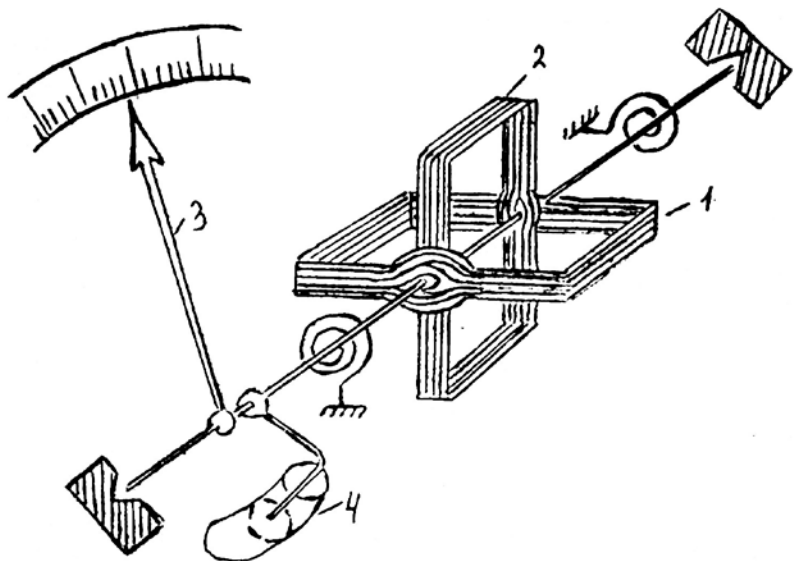
Недостатками являются неравномерность шкалы, большая потребляемая мощность

1 – стрелка; 2 – катушка; 3 – ферромагнитный сердечник; 4 – пружина;

5 – поршень успокоителя

Рисунок 2 – Измерительный механизм электромагнитной системы

Приборы электродинамической системы

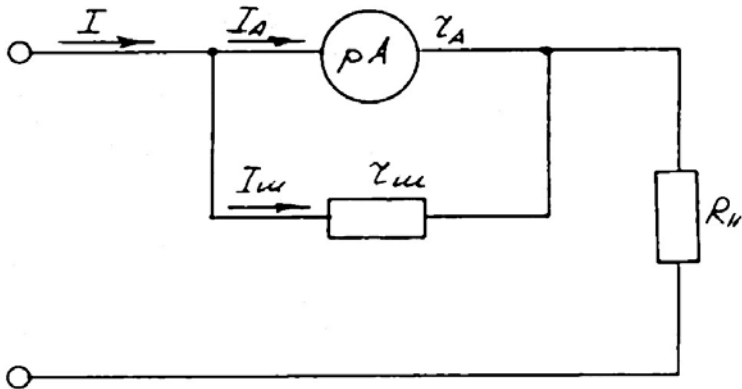


Принцип действия приборов электродинамической системы основан на взаимодействии двух катушек с токами. Прибор этой системы состоит из двух катушек: неподвижной 1, состоящей из двух секций, соединенных между собой последовательно, и подвижной 2, закрепленной на оси и вращающейся на ней внутри неподвижной катушки.

Электродинамический прибор можно использовать для измерения в цепях переменного и постоянного тока. Это объясняется тем, что измерение тока происходит одновременно в обеих катушках, благодаря чему направление силы взаимодействия между ними остается неизменным.

Измерение тока

Для измерения силы электрического тока применяются амперметры, мА и мкА. Они включаются в электрическую цепь последовательно, и через обмотки этих приборов течет весь рабочий ток цепи. Поэтому приборы для измерения тока должны иметь малое внутреннее сопротивление, чтобы при их включении не изменялась сила тока в цепи. Для расширения пределов измерения силы тока применяются шунты – постоянные резисторы с малым электрическим сопротивлением.



Сопротивление шунта подбирается из условия:

$$I_A \cdot r_A = (I - I_A) \cdot r_{ш}$$

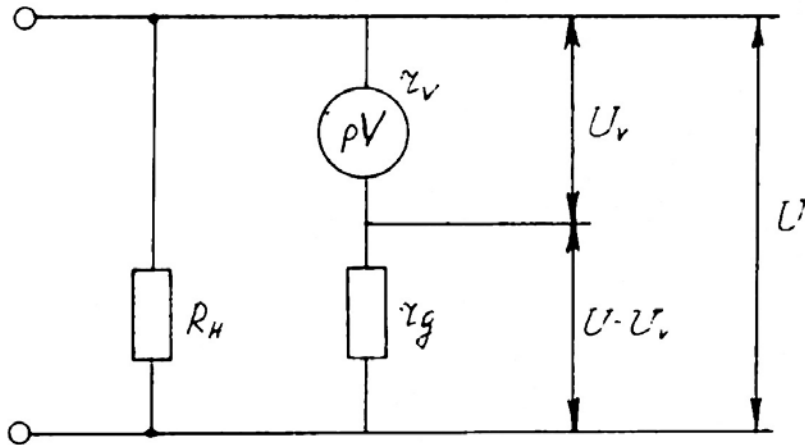
$$r_{ш} = \frac{I_A}{I - I_A} \cdot r_A = \frac{r_A}{n - 1}$$

$$n = \frac{I}{I_A} \quad - \text{множитель шкалы}$$

Измерение напряжения

Напряжение измеряется вольтметром. Этот прибор включается параллельно тому участку цепи, напряжение на котором нужно измерить

Для расширения пределов измерения вольтметров применяются добавочные сопротивления



Величина добавочного сопротивления определяется из условия: .

$$\frac{U_V}{r_V} = \frac{U - U_V}{r_d}$$

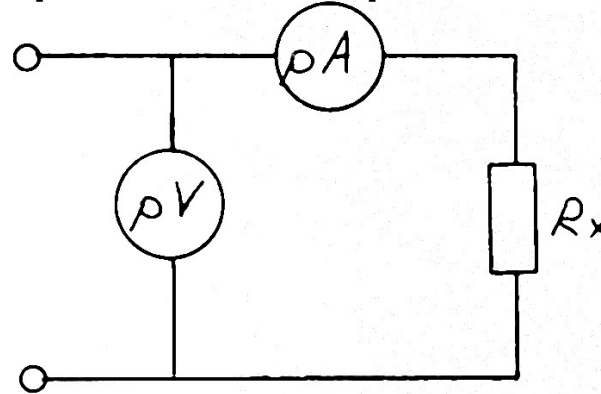
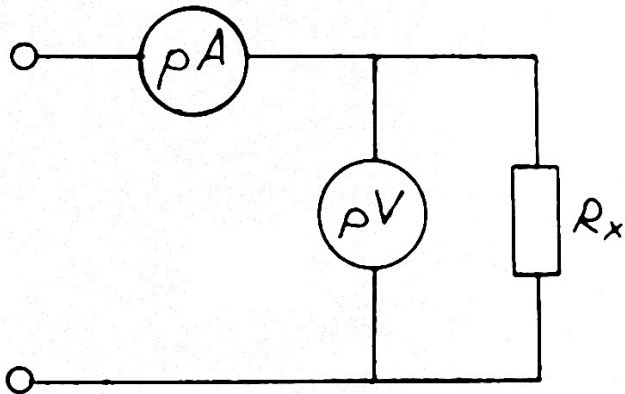
$$r_d = \frac{U - U_V}{U_V} \cdot r_V = r_V (m - 1)$$

$$m = \frac{U}{U_V}$$

– коэффициент расширения пределов измерения вольтметром

Измерение сопротивлений

С помощью амперметра и вольтметра

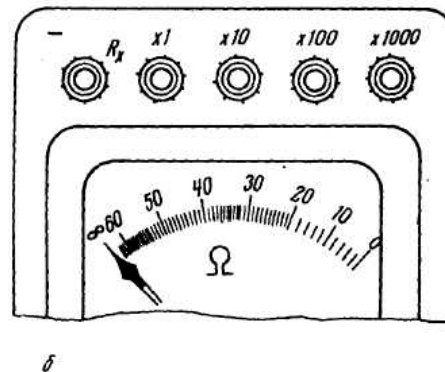
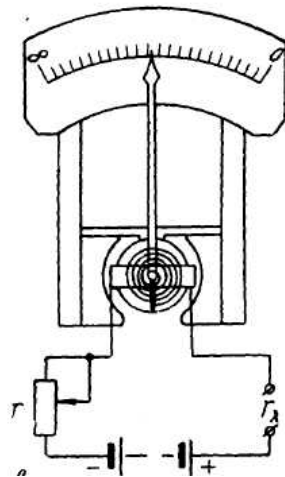


$$R_x = \frac{U}{I}$$

Для малых сопротивлений

Для средних и больших сопротивлений

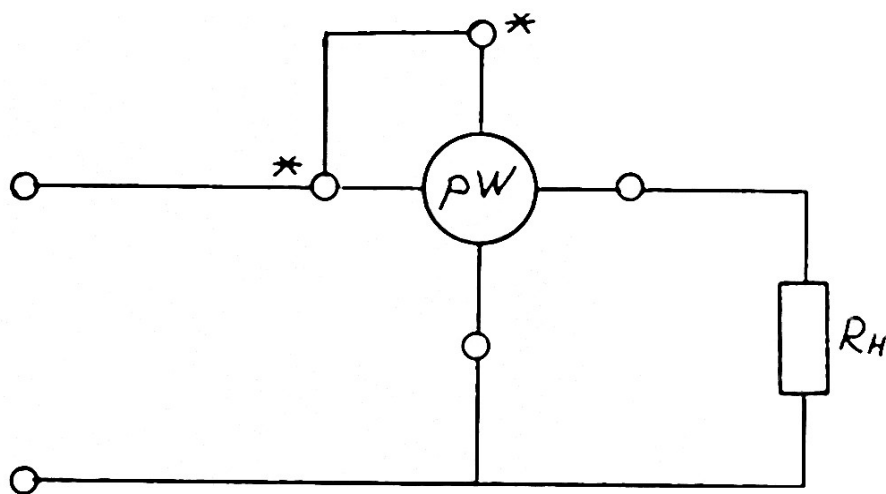
Измерение омметром



Измерение мощности электрического тока

Зная ток в цепи I и напряжение U на зажимах нагрузки, величину расходуемой мощности P определяют по формуле: $P=I*U$,

Непосредственное измерение мощности в цепях как постоянного, так и переменного тока производится с помощью электродинамического ваттметра. Неподвижная катушка такого ваттметра имеет малое сопротивление и включается последовательно. Ее называют токовой обмоткой ваттметра. Подвижная катушка имеет большое сопротивление, включается параллельно и называется обмоткой напряжения. Схема включения ваттметра в цепях переменного тока представлена на рисунке



Задание на самостоятельную работу:

изучить системы измерительных приборов, схемы подключения приборов для измерения тока, напряжения, сопротивления, мощности.

Литература:

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. – 752 с., с.318-324, 324-340, 342-347,354-357.

ТЕМА №5

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

ЗАНЯТИЕ № 12 ПРАКТИЧЕСКОЕ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Цель:

научиться определять погрешности измерений и по ним оценивать результаты измерений, давать характеристику приборам по условным обозначениям на шкалах, изучить схемы включения приборов для измерения параметров;

вырабатывать у обучаемых аккуратность в вычерчивании схем.

Учебные вопросы

- 1 Расчет действительного значения напряжения**
- 2 Расчет относительной погрешности измерения**
- 3 Определение класса точности приборов**
- 4 Определение цены деления измерительных приборов и показаний амперметров и вольтметров**
- 5 Расчет сопротивления шунта**
- 6 Расчет сопротивления добавочного резистора**

Контрольные вопросы.

- 1 Какие системы измерительных механизмов применяются в измерительных приборах?**
- 2 Что показывает класс точности прибора?**
- 3 Каково назначение шунта, как выбрать величину его сопротивления?**
- 4 Какие погрешности и как определяют при измерениях?**
- 5 Для чего применяют добавочные сопротивления к вольтметру и как подбирают их по величине?**
- 6 Как подготовить омметр к выполнению измерений?**

1 Расчет действительного значения напряжения

Пример №1

С помощью вольтметра измерено напряжение **$U_n = 50 \text{ В}$** .

На шкале приборов указан класс точности **1,5**.

Номинальное напряжение **$U_{ном} = 150 \text{ В}$** .

Определите абсолютную и относительную погрешности измерения, а также действительное значение напряжения.

Решение:

$$\gamma_{\text{упр}} = 1,5\%$$

$$\Delta U = \gamma_{\text{упр}} \cdot U_{\text{ном}} / 100\% = \pm 1,5\% \cdot 150 / 100\% = \pm 2,25\text{В}$$

У

.

Действительное значение напряжения может быть в пределах

$$U_{\partial} = U_{\text{н}} \pm \Delta U = (50 \pm 2,25)\text{В},$$

$$\rho = \Delta U \cdot 100\% / U_{\partial} = \pm 2,25 \cdot \% \cdot 100\% / 50 \pm 2,25 = 4,3\% - 4,7\% .$$

Вывод

Из выражения $\rho = \gamma_{\frac{A_{ном}}{A_0}}$

следует, что относительная погрешность возрастает при уменьшении измеряемой величины.

Поэтому при измерении следует избегать пользоваться начальной частью прибора.

2 Расчет относительной погрешности измерения

Пример №2

Класс точности прибора равен **1,5**.

Рассчитать относительную погрешность, если прибор предназначен для измерения токов до **15 А**:

а) при измерении **10 А**;

б) при измерении **1 А**

Решение

$$Y_{\text{упр}} = 1,5\%$$

$$\Delta I = I_u - I_{\partial},$$

$$Y_{\text{упр}} = \frac{\Delta I \cdot 100\%}{I_{\text{ном}}}$$

$$\Delta I = 15 \cdot 1,5 / 100\% = 0,225(\text{A}),$$

$$\rho = \Delta I \cdot 100\% / I_{\partial},$$

$$\text{a) } \rho = \Delta I \cdot 100\% / I_{\partial} = 0,225 \cdot 100\% / 10 = 2,25\%,$$

$$\text{б) } \rho = \Delta I \cdot 100\% / I_{\partial} = 0,225 \cdot 100\% / 1 = 22,5\%.$$

Вывод

Этот пример показывает, что при точных измерениях прибор надо подбирать так, чтобы измеряемая величина приходилась на вторую половину шкалы.

3 Определение класса точности приборов

Класс точности прибора $1,0$.

Чему равна приведенная погрешность прибора.
 $1; 1,5; 1\%$

Ответ:

1%, приведенная погрешность выражается в процентах.

4 Определение цены деления измерительных приборов и показаний амперметров и вольтметров

Измерительные приборы используются для измерения токов и напряжений. Шкалы всех приборов имеют до **15 делений** и отградуированы по постоянному току и напряжению; у амперметров **от 0 до 3 А**, у вольтметров **от 0 до 150 В**.

Определить цену деления и показания амперметров и вольтметров в цепи постоянного тока с напряжением 120В и током 2 А

Решение

Цена деления :

у амперметров $3/15 = 0,2$ А/дел,

у вольтметров – $150 / 15 = 10$ В/дел

Поэтому показания амперметра в цепи постоянного тока $I=2$ А, соответствует $2/0,2=10$ делениям шкалы, а показания вольтметра= 120 В $120/10=12$ делениям шкалы.

5 Расчет сопротивления шунта

Обмотка измерительного прибора магнитоэлектрической системы имеет сопротивление $r_A = 20$ Ом и рассчитана на предельный длительный ток 10 мА, при котором часть прибора получает наибольшее отклонение.

Прибор желают использовать в качестве амперметра с пределом измерения 5 А.

Определить сопротивление шунта, который нужно присоединять к выводам прибора и сопротивление полученного таким образом амперметра.

Решение:

$$n = I / I_A = 5/10 \cdot 10^3 = 500,$$

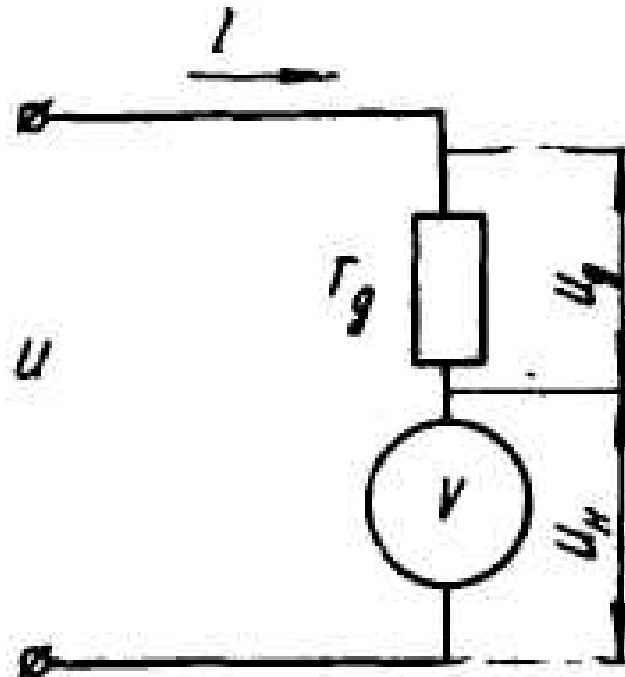
$$R_{\omega} = R_A / n - 1 = 20 / 500 - 1 = 0,04(\text{Ом}),$$

$$R_{\Sigma} = R_A \cdot R_{\omega} / R_{\omega} + R_A ,$$

$$R_{\Sigma} = 0.04 \cdot 20 / 20,04 = 0,04(\text{Ом}).$$

6 Расчет сопротивления добавочного резистора

Определить сопротивление добавочного резистора, который нужно последовательно соединить с прибором ($R_V=20$ Ом, прибор рассчитан на $U=0,2$ В) для измерения $U=100$ В и, полученное, таким образом, эквивалентное сопротивление нового вольтметра.



Решение:

$$R_{доб} = R_v \cdot (m - 1),$$

$$\text{так как } U = I_v \cdot (R_v + R_{доб});$$

$$U_v = I_v \cdot R_v;$$

$$U/U_v = 1 + R_{доб} / R_v;$$

$$R_{доб} = R_v \cdot (m - 1)$$

$$m = U / U_v; m = 100 / 0,2 = 500;$$

$$R_{доб} = 20(500 - 1) = 9980(\text{Ом});$$

Сопротивление нового вольтметра

$$R_{э} = R_v + R_{доб}$$

$$R_{э} = 20 + 9980 = 10000(\text{Ом}) = 10(\text{кОм})$$

Пример №7

Вольтметр с номинальным показанием 50 В имеет внутреннее сопротивление 100 Ом .

Определить величину добавочного сопротивления для расширения измерения до 400 В .

Решение:

$$R_{доб} = R_v \cdot (m - 1);$$
$$m = U / U_v = 400 / 50 = 8$$

Величина добавочного сопротивления:

$$R_{доб} = 100(8 - 1) = 700(\text{Ом}).$$

Задание на самостоятельную работу:

повторить системы измерительных приборов, схемы подключения приборов для измерения тока, напряжения, сопротивления, мощности.

Литература:

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. – 752 с., с.318-324, 324-340, 342-347, 354-357.

Тема №6 ОДНОФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

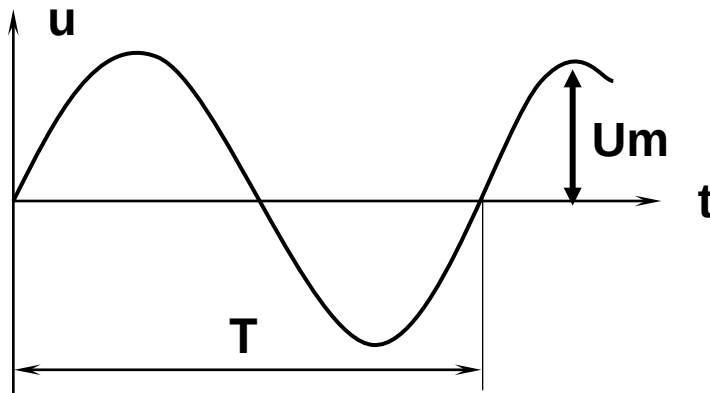
ЗАКОН ОМА В ЦЕПЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Учебные вопросы

- 1 Основные параметры переменного тока**
- 2 Закон Ома для цепи с активным сопротивлением**
- 3 Закон Ома для цепи с индуктивностью**
- 4 Закон Ома для цепи с емкостью**

Основные параметры переменного тока

Переменным называется ток, периодически изменяющий свое направление и величину, причем среднее значение этого тока за период равно нулю



Число периодов в секунду называется частотой, следовательно, частота $f=1/T$.

Значение переменной электрической величины в какой-нибудь момент времени называется, мгновенным значением и ее обозначают малыми буквами i , u , e .,

Наибольшее из мгновенных значений ЭДС, напряжение, тока имеющее место в течение периода, называется амплитудным (E_m , U_m , I_m).

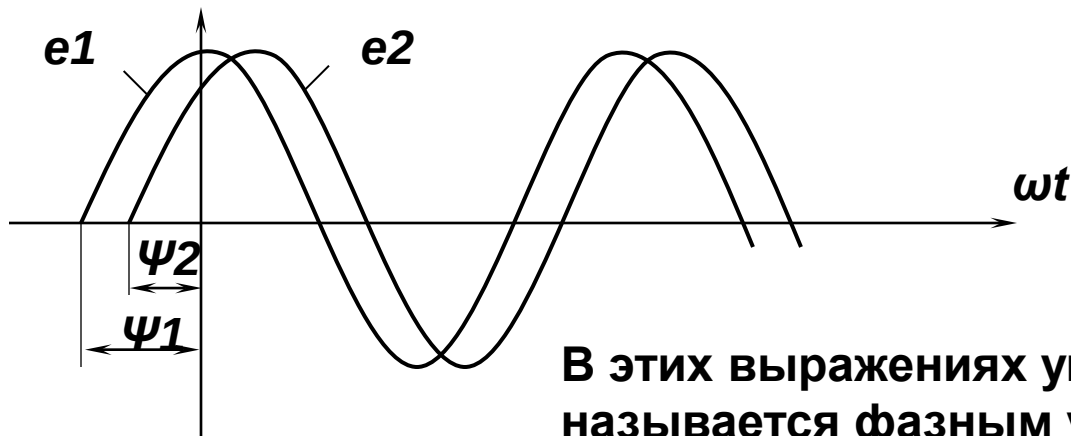
Для расчета цепей переменного тока пользуются понятием действующего значения переменного тока (E , U).

$$U=U_m/\sqrt{2}$$

$$\omega=2\pi f,$$

ω -круговая частота

Основные параметры переменного тока



В этих выражениях угол $(\omega t + \psi)$ называется фазным углом или фазой.

Углы ψ_1 и ψ_2 , определяющие значение ЭДС в начальный момент времени ($t = 0$), называются начальными фазами.

Разность начальных фаз двух синусоидальных величин $\varphi = \psi_1 - \psi_2$ называется углом сдвига фаз или сдвигом фаз

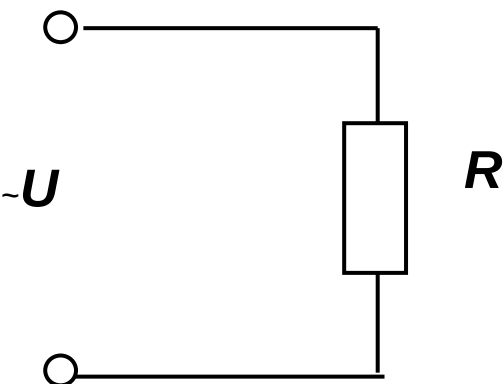
$$e_1 = E_m \sin \cdot (\omega t + \psi_1)$$
$$e_2 = E_m \sin \cdot (\omega t + \psi_2)$$

Стадии измерения переменной величины называют **ФАЗОЙ**

Закон Ома для цепи с активным сопротивлением

Любая электрическая цепь характеризуется тремя параметрами: активным сопротивлением R , индуктивностью L , емкостью C .

Активным называется такое сопротивление, в котором электрическая энергия преобразуется в другой вид энергии



Дано значение R и $u = U_m \sin \omega t$

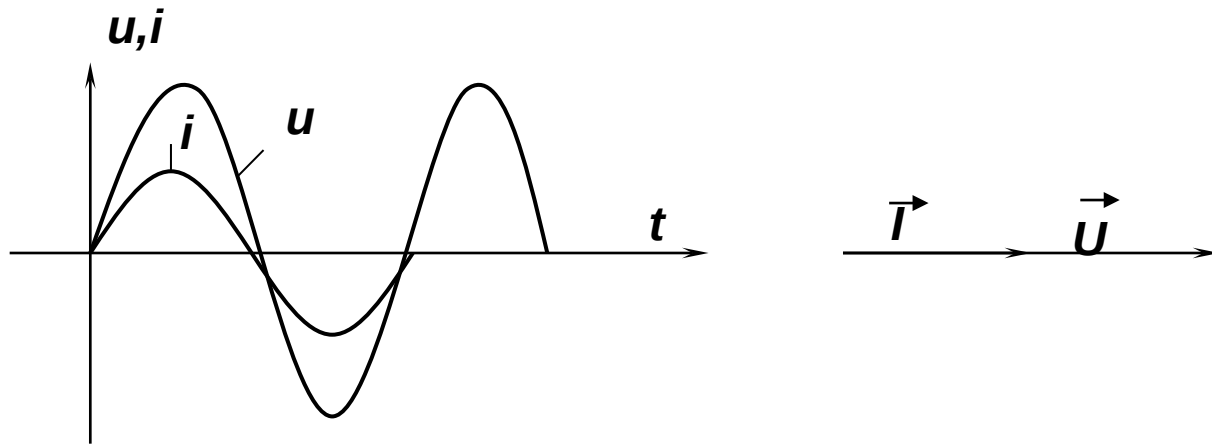
$$i = \frac{U}{R} = \frac{U_m}{R} \cdot \sin \omega t = I_m \sin \omega t$$

Выражение $I_m = \frac{U_m}{R}$ или для действующего значения $I = \frac{U}{R}$

- закон Ома для цепи с активным сопротивлением.

Закон Ома для цепи с активным сопротивлением

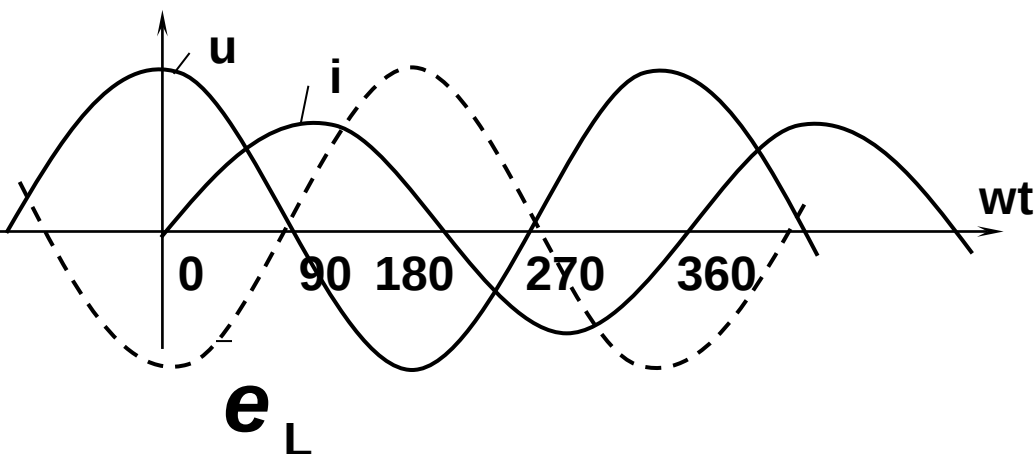
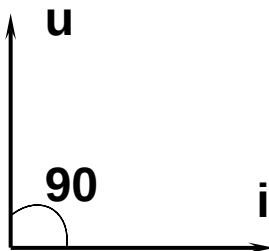
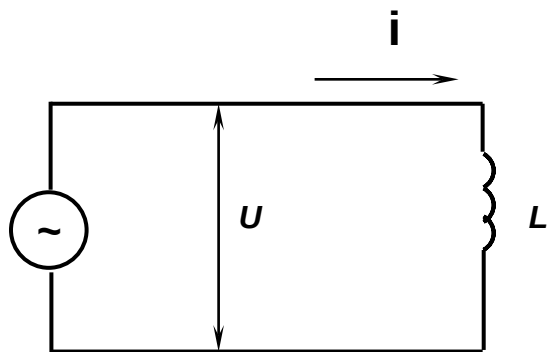
Из выражения для мгновенных значений $i = I_m \sin \omega t$, $u = U_m \sin \omega t$, следует, что напряжение и ток в цепи с активным сопротивлением совпадают по фазе



Векторное изображение синусоидальных величин

При расчете электрических цепей переменного тока пользуются простым способом графического изображения синусоидальных величин с помощью векторов.

Закон Ома для цепи с индуктивностью

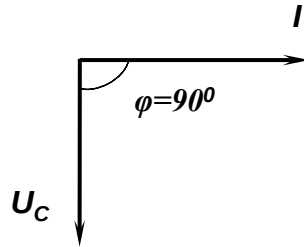
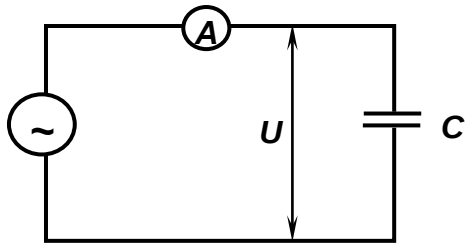


Величина индуктивного сопротивления может быть подсчитана по формуле $XL = \omega \cdot L$,
где XL - индуктивное сопротивление катушки или проводника, Ом;
 ω - угловая частота переменного тока, рад/с;
 L - индуктивность катушки, Гн.

$U = I \cdot XL = I \cdot \omega L$, $I = U / XL$ - закон Ома для цепи с индуктивностью (для действующих значений) при $f=0$, $XL=0$.

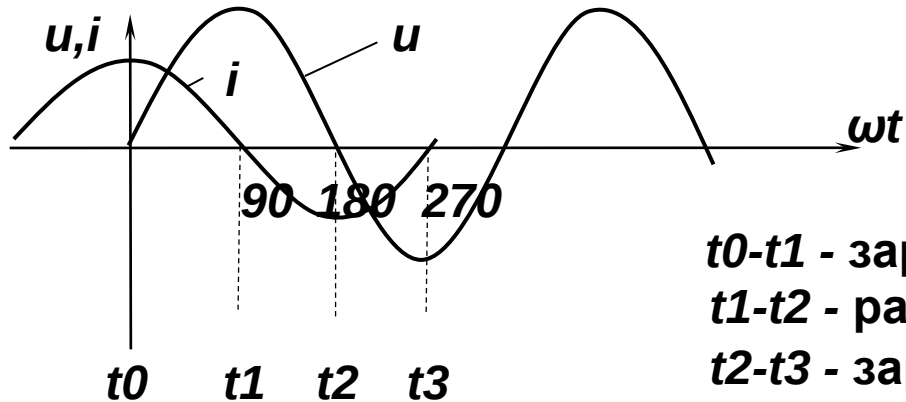
Закон Ома для цепи с емкостью

$$u = U_m \sin \omega t$$



$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

Закон Ома для цепи с емкостью



t_0-t_1 - заряд
 t_1-t_2 - разряд
 t_2-t_3 - заряд

$$I = \frac{U}{X_C} \text{ или } I_m = \frac{U_m}{X_C}$$

Задание на самостоятельную работу:

изучить основные параметры переменного тока, закон Ома для цепи с активным сопротивлением, с индуктивностью и с емкостью.

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. — 752 с., с.116-129, 134-141.

Тема №6 ОДНОФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

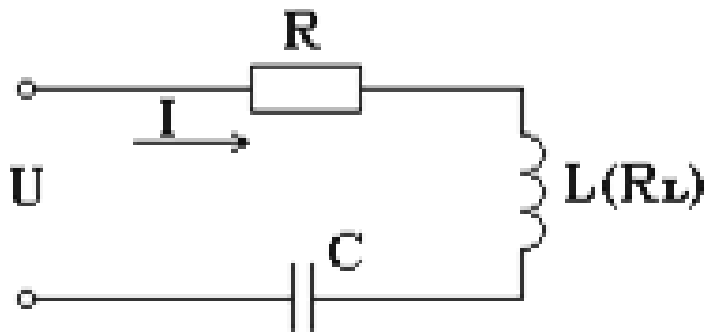
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Учебные вопросы

- 1 Последовательное соединение активных, индуктивных и емкостных сопротивлений**
- 2 Решение задач**

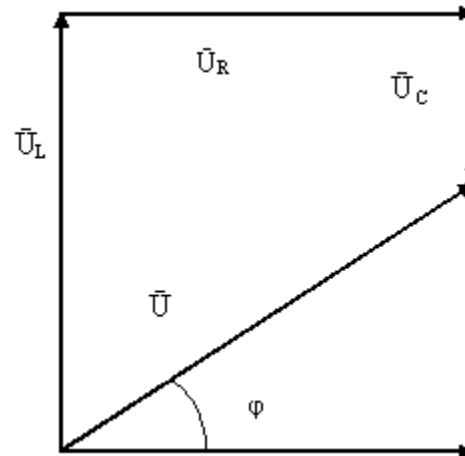
Последовательное соединение активного, индуктивного и емкостного сопротивления

Электрическую цепь, в которой происходит преобразование электрической энергии в тепловую и в которой происходит изменение энергии, характеризуют тремя параметрами: сопротивлением R (r), индуктивностью L и емкостью C

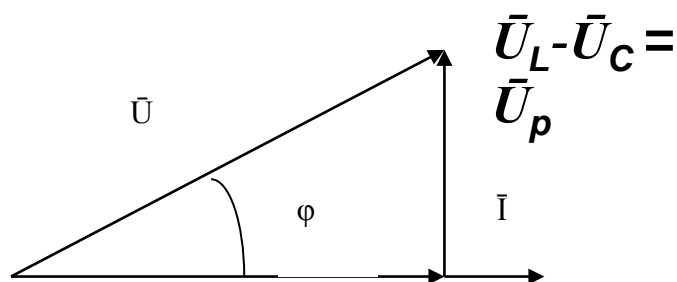


$$U_R = I R \quad U_L = I X_L \quad U_C = I X_C$$

$$\bar{U} = \bar{U}_R + \bar{U}_L + \bar{U}_C$$



Последовательное соединение активного, индуктивного и емкостного сопротивления



$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$$

$$U = \sqrt{(IR)^2 + (IX_L - IX_C)^2} = I \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = I \cdot Z$$

$$I = \frac{U}{Z} \quad Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Полное сопротивление графически может быть представлено гипотенузой прямоугольного треугольника сопротивлений, который можно получить из треугольника напряжений.

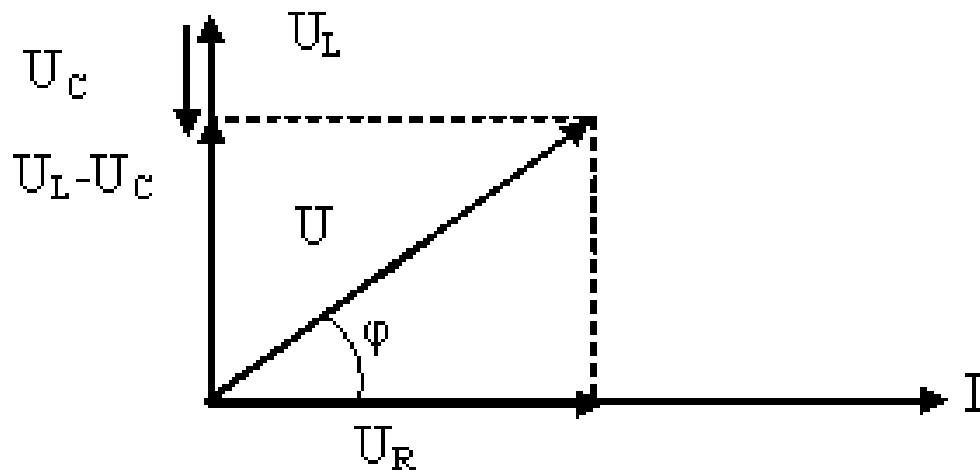
Угол сдвига между током и напряжением цепи можно определить через $\cos \phi = \frac{U_R}{U} = \frac{R}{Z}$

Выражение $I = \frac{U}{Z}$ - закон Ома для полной цепи.

Последовательное соединение активного, индуктивного и емкостного сопротивления

В зависимости от соотношения индуктивного и емкостного сопротивлений различают три режима работы цепи переменного тока:

1) $X_L > X_C$



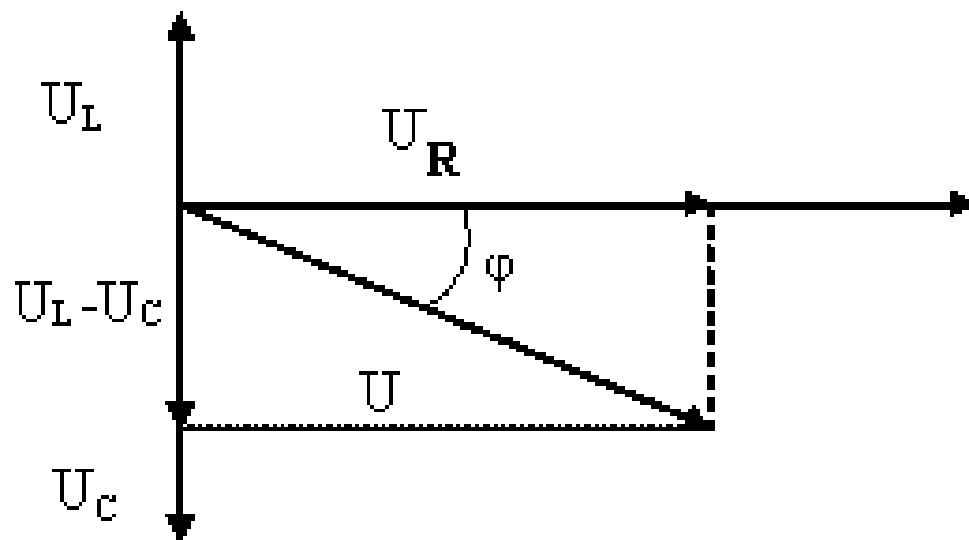
В этом случае ток, протекающий по цепи, отстаёт по фазе от напряжения, т. к. $U_L > U_C$ цепь носит индуктивный характер, наиболее характерный для цепи переменного тока.

Последовательное соединение активного, индуктивного и емкостного сопротивления

2) $X_L < X_C$

$$U_L < U_C$$

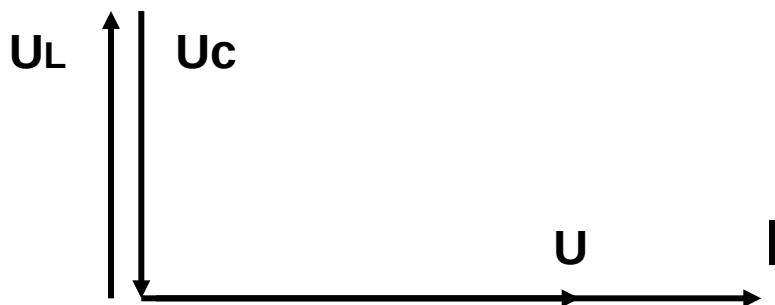
цепь носит ёмкостный характер, ток опережает напряжение



Последовательное соединение активного, индуктивного и емкостного сопротивления

3) $X_L = X_C$

В этом случае $U_L = U_C$. Общее напряжение совпадает по фазе с током и равно активному напряжению.



Решение задач

Дано:

$$U = 220 \text{ В}$$

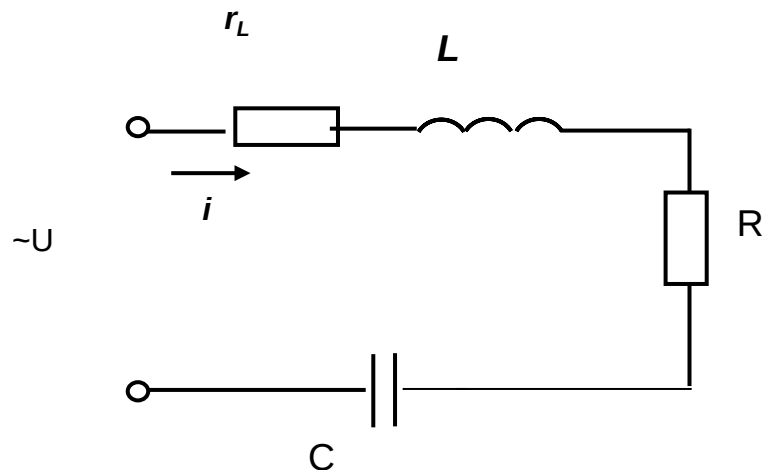
$$L = 319 \text{ мГн} = 0.319 \text{ Гн}$$

$$C = 80 \text{ мкФ} = 80 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$R = 70 \text{ Ом}$$

$$r_L = 10 \text{ Ом}$$

Определить $I, U_a, U_L, U_C, \cos \varphi$



Решение задач

1

$$I = \frac{U}{Z} \rightarrow Z = \sqrt{(R + r_L)^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$R + r_L = 70 + 10 = 80(\text{Ом})$$

$$X_L + 2\pi fL = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,319 = 100(\text{Ом})$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 80 \cdot 10^{-6}} = 40(\text{Ом})$$

$$Z = \sqrt{64 \cdot 10^2 + (100 - 40)^2} =$$

$$\sqrt{64 \cdot 10^2 + 36 \cdot 10^2} = 100(\text{Ом})$$

$$I = \frac{220}{100} = 2,2\text{А}$$

$$U_R = 2,2 \cdot 70 = 154(\text{В})$$

$$U_r = 2,2 \cdot 10 = 22(\text{В})$$

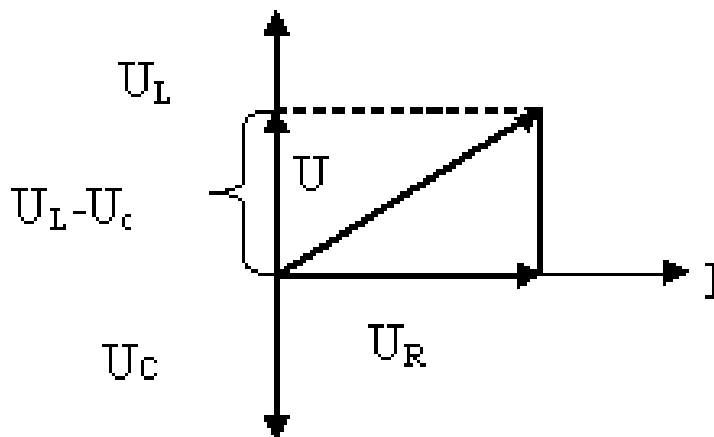
$$U_a = U_r + U_R = 176(\text{В})$$

$$U_L = 2,2 \cdot 100 = 220(\text{В})$$

$$U_C = 2,2 \cdot 40 = 88(\text{В})$$

$$U_L - U_C = 220 - 88 = 132(\text{В})$$

$$\cos\varphi = \frac{U_a}{U} = \frac{R}{Z} = \frac{176}{220} = \frac{80}{100} = 0,8$$



Задание на самостоятельную работу:

изучить особенности цепи с
последовательным соединением активного,
индуктивного и емкостного сопротивлений

Данилов, И.А. Общая электротехника с
основами электроники. [Текст] Учебное
пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-
06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. –
752 с., с.147- 150.

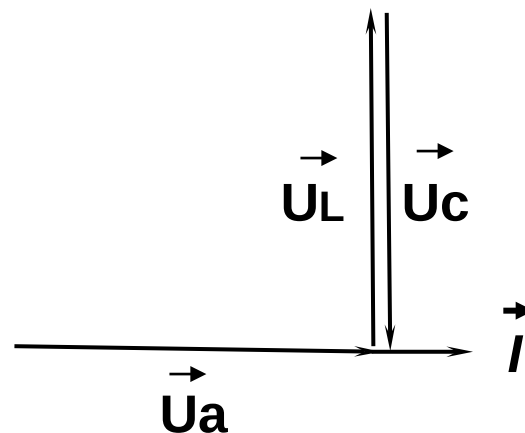
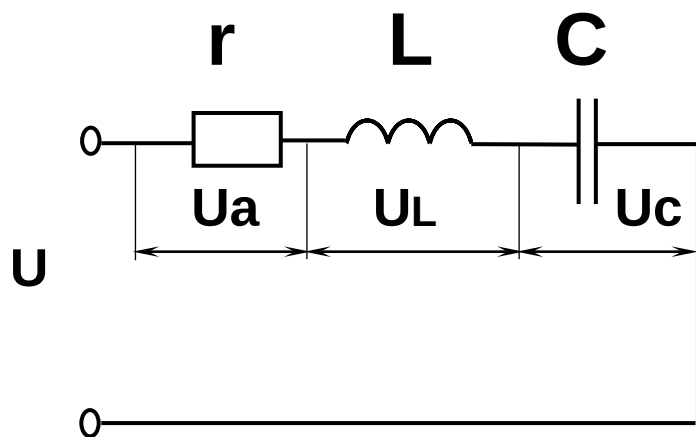
Тема №6 ОДНОФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

РЕЗОНАНС НАПРЯЖЕНИЙ И ТОКОВ

Учебные вопросы

- 1 Резонанс напряжений**
- 2 Резонанс токов**
- 3 Мощность переменного тока. Коэффициент мощности и его значение**

Резонанс напряжений



$$U = \sqrt{U_a^2 + (U_L - U_C)^2} = \sqrt{(Ir)^2 + (IX_L - IX_C)^2} = I\sqrt{r^2 + (X_L - X_C)^2} = IZ$$

При $X_L = X_C$ ($U_L = U_C$) имеет место резонанс напряжений, при котором полное сопротивление цепи равно активному сопротивлению

$$I = \frac{U}{r} \quad \omega L = \frac{1}{\omega C} \longrightarrow \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0 \text{ -резонансная круговая частота}$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{I}{2\pi\sqrt{LC}} = f_0$$

Резонанс напряжений

Если $X_L = X_C > r$, напряжения U_L и U_C будут в $\frac{X_L}{r}$ раз превышать напряжение цепи:.

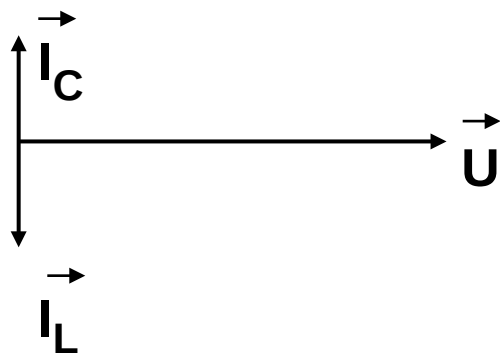
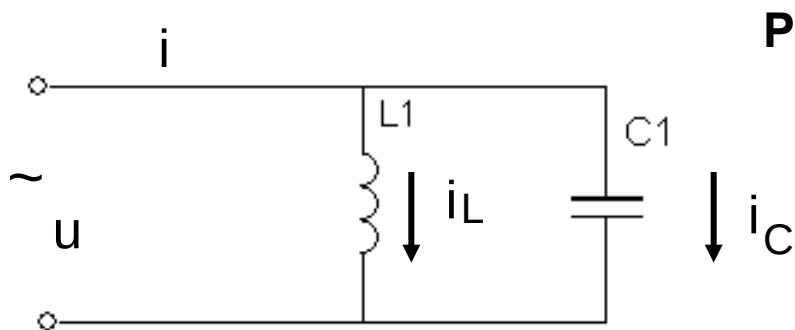
$$\left(\frac{U}{U_L} = \frac{U}{U_C} = \frac{IZ}{IX_L} = \frac{IZ}{IX_C} = \frac{r}{X_L} = \frac{r}{X_C} \rightarrow U_L = U_C = U \frac{X_L}{r} = U \frac{X_C}{r} \right)$$

Резонанс напряжений характерен тем, что в цепи происходит периодический обмен энергией между магнитным и электрическим полями.

Резонанс токов

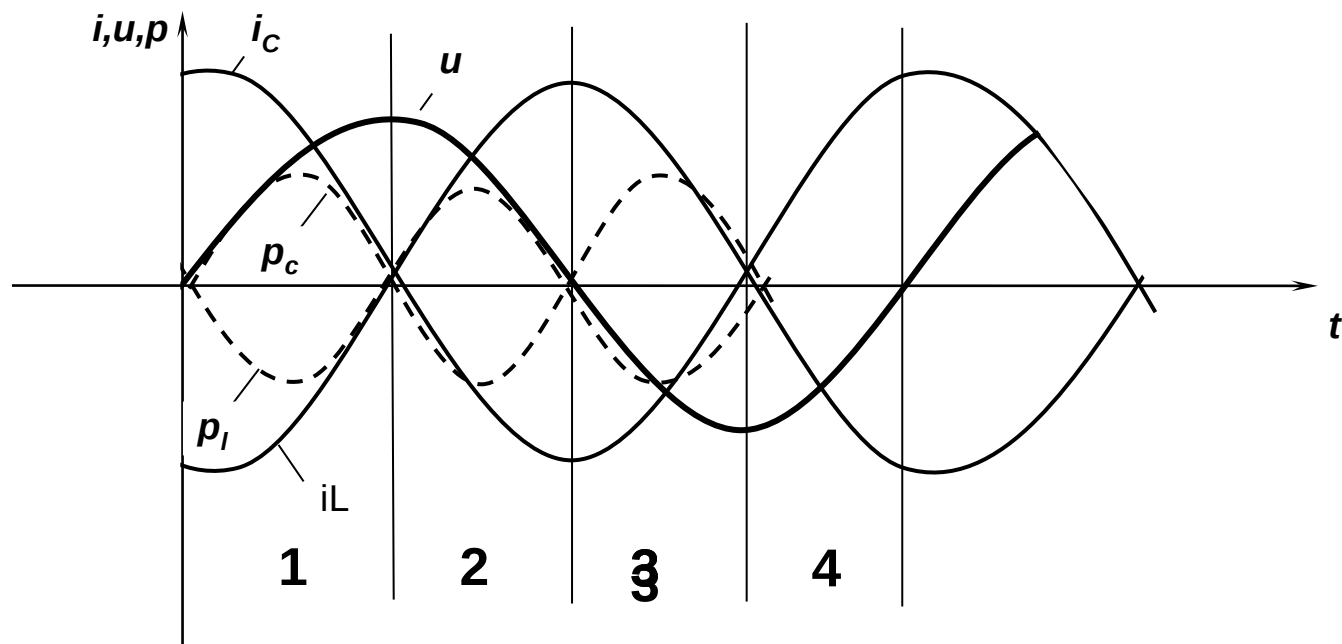
Резонанс токов наступает при равенстве:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$



$$I = 0$$

Резонанс токов

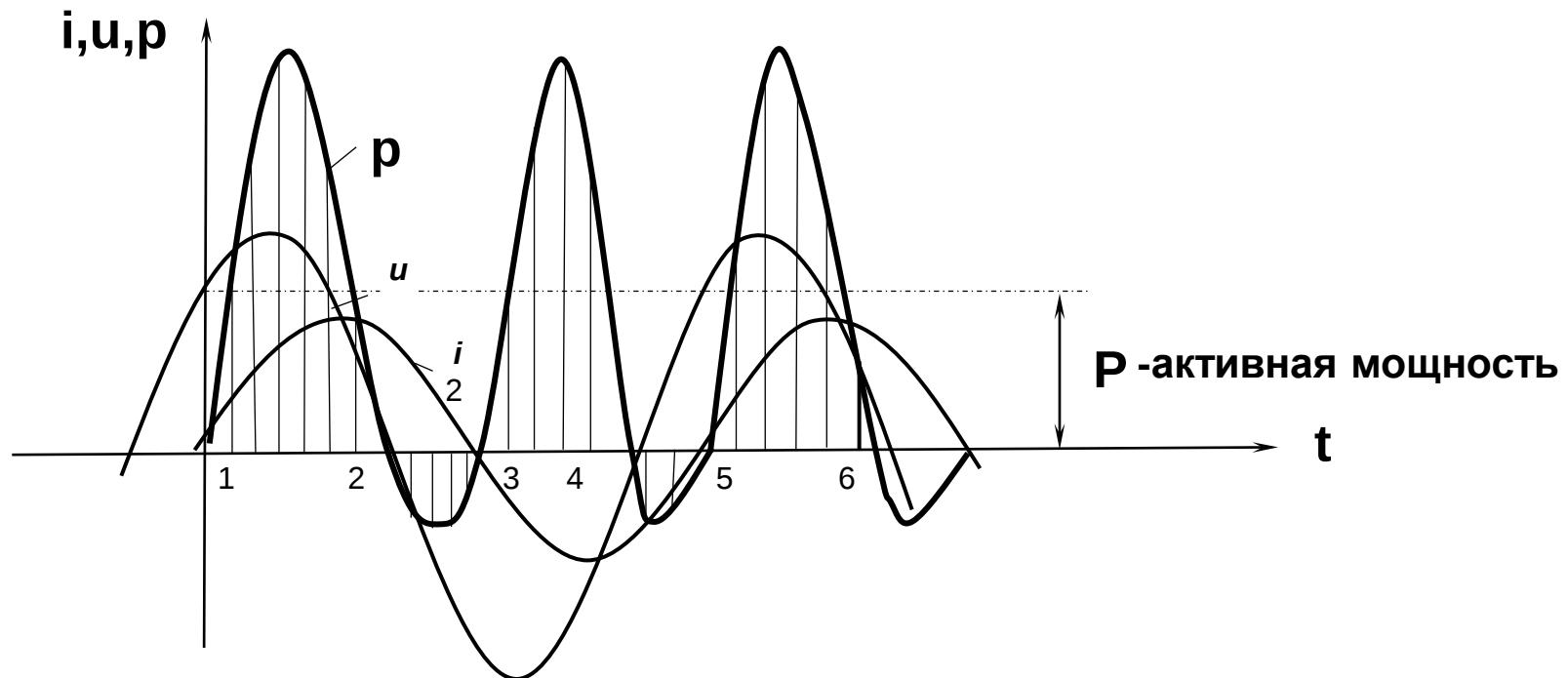


$$W = \frac{CU_m^2}{2}$$

$$W_{Lm} = \frac{LI_{Lm}^2}{2}$$

Мощность переменного тока

Мгновенное значение мощности переменного тока равно произведению мгновенных значений напряжения и силы тока $p = iu$.



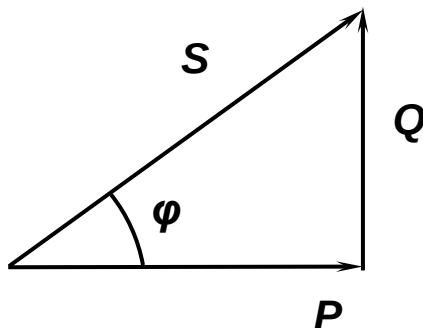
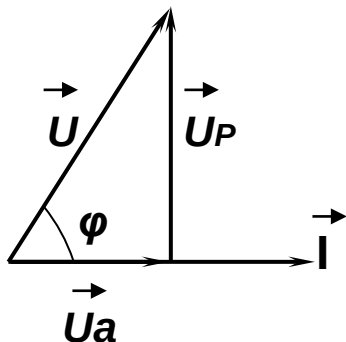
Из кривой мгновенной мощности видно, что часть периода энергия (то есть площадь, ограниченная кривой p) имеет отрицательное значение. Это объясняется тем, что в эти моменты энергия магнитного (или электрического - в случае цепи с емкостью) поля возвращается энергоприемником обратно генератору.

Мощность переменного тока

Сдвиг фаз между током и напряжением в цепи создает «отрицательную» или «обменную» мощность.

Обменная энергия не создает активной мощности и является мерой реактивной мощности, которая обозначается буквой Q и измеряется в вольтамперах реактивных (Var). Не совершая полезной работы, реактивные токи загружают источник и провода линии электропередачи, вызывая в них потери энергии.

Полная мощность обозначается буквой S и измеряется в вольтамперах (ВА).



$$S = UI$$

$$P = UaI$$

$$P = S \cos \varphi \quad P = UI \cos \varphi$$

$$Q = UpI$$

$$Q = S \sin \varphi \quad Q = UI \sin \varphi$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

-полная мощность цепи переменного тока представляет собой геометрическую сумму активной и реактивной мощностей

Мощность переменного тока

Активная мощность p – это среднее значение мгновенной мощности за период (мгновенная мощность на резистивном элементе).

Мгновенная мощность на резистивном элементе в любой момент положительна, то есть происходит необратимое преобразование электрической энергии источника в другие виды.

$$P = U_R I_R = U_{Rm} I_{Rm} \sin^2 \omega t$$

На индуктивном элементе мгновенная мощность

$$p_L = u_L i_L = U_L I_L \sin 2\omega t,$$

где U_L и I_L – действующие значения тока и напряжения.

Одну четверть периода энергия накапливается в магнитном поле элемента ($+p$), в другую четверть – индуктивный элемент ее отдает ($-p$).

Синусоидальный ток в индуктивном элементе не совершает работы, поэтому энергетический режим индуктивного элемента принято определять реактивной мощностью Q_L

$$Q_L = U_L I_L = I X_L = I^2 X_L$$

В емкостном элементе мгновенная мощность – также синусоидальная величина, частота которой вдвое больше частоты тока. В емкостном элементе, как и в индуктивном, синусоидальный ток не совершает работы.

$$Q_C = U_C I_C = I X_C = I^2 X_C$$

Коэффициент мощности и его значение

Отношение активной мощности к полной мощности называется коэффициентом мощностей

$$\cos \varphi = P/S$$

Уменьшение $\cos \varphi$, зависящего от потребляемой энергии, вызывает увеличение тока, следовательно, и увеличение мощности потерь на нагревание в проводах и генераторе.

У большинства двигателей $\cos \varphi$ зависит от нагрузки, изменяясь от 0,1-0,3 при холостом ходе до 0,8-0,9 при номинальной нагрузке.

Повышение $\cos \varphi$ требует повышения загрузки установленных двигателей. Кроме того, для повышения $\cos \varphi$ параллельно двигателям включают батареи конденсаторов.

Повышение $\cos \varphi$ электрических устройств является важной народнохозяйственной задачей, обеспечивающей экономию энергии.

Электродвигатель мощностью 10 кВт работает при напряжении 240 В $\cos \varphi_1 = 0,6$ ($\varphi_1 = 53^\circ 10'$, $\sin \varphi_1 = 0,8$). Частота $f = 50$ Гц. Определить емкость конденсатора, необходимого для повышения $\cos \varphi$ установки до значения $\cos \varphi_2 = 0,9$ ($\varphi_2 = 25^\circ 50'$, $\sin \varphi_2 = 0,436$).

Задание на самостоятельную работу:

изучить особенности резонанса напряжений
и ТОКОВ

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. — 752 с., с.150-162.

ТЕМА №6

ОДНОФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

ЗАНЯТИЕ № 17 ПРАКТИЧЕСКОЕ

РАСЧЕТ ОДНОФАЗНЫХ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Учебные вопросы

**1 Методика расчета параметров
электрической цепи переменного тока**

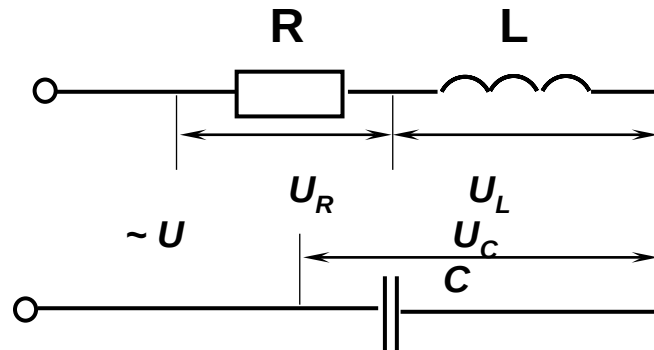
2 Решение задач

1 Методика расчета параметров электрической цепи переменного тока

Задача №1

Катушка с индуктивностью $L = 254,6$ мГн и активным сопротивлением $R = 40$ Ом (рисунок 1) включена последовательно с конденсатором $C = 73,6$ мкФ под напряжением $U = 220$ В. Частота переменного тока $f = 50$ Гц.

Найти реактивное X , полное Z сопротивление, ток I , угол φ , напряжение на участках цепи, активную P , реактивную Q и полную S мощности цепи и построить векторную диаграмму.



Решение

1. Определить X_L , X_C , X

$$X_L = \omega L = 2\pi fL; \quad X_L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 254,8 \cdot 10^{-3} = 80 \text{ Ом},$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 73,6 \cdot 10^{-6}} = 50 \text{ Ом},$$

$$X = X_L - X_C.$$

2 Определяем полное сопротивление цепи Z

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} ,$$

$$Z = \sqrt{40^2 + 30^2} = 50 \text{ Ом}$$

3 Находим ток в цепи:

$$I = \frac{U}{Z}$$

$$I = \frac{220}{50} = 4,4 \text{ А}$$

4 Определяем сдвиг фаз между током в цепи и напряжением источник

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X}{R} ; \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{30}{40} = 0,75;$$

$$\varphi = \operatorname{arctg} 0,75; \quad \varphi = 37^{\circ}$$

5 Напряжение на участках цепи:

$$U_a = I \cdot R_n; \quad U_a = 4,4 \cdot 40 = 176 \text{ В},$$

$$U_L = I \cdot X_L = 4,4 \cdot 80 = 352 \text{ В},$$

$$U_C = I \cdot X_C = 4,4 \cdot 50 = 220 \text{ В}.$$

6 Коэффициент мощности $\cos \varphi$ определяем из треугольника сопротивлений

$$\cos \varphi = \frac{\mathbf{R}}{\mathbf{Z}} = \frac{40}{50} = 0,8,$$

активная мощность цепи:

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi = 220 \cdot 4,4 \cdot \cos 37^\circ = 774,4 \text{ Вт},$$

реактивная:

$$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi = 220 \cdot 4,4 \cdot \sin 37^\circ = 580,8 \text{ Вар},$$

полная мощность цепи:

$$S = U \cdot I = 220 \cdot 4,4 = 968 \text{ ВА} .$$

Примечание

Ток и напряжение на активном сопротивлении совпадают по фазе, поэтому U_R и I должны совпадать по направлению. Напряжение на индуктивности опережает ток на 90° . Поэтому U_L отложить против часовой стрелки на 90° по отношению к I .

Напряжение на конденсаторе отстает от тока на 90° . Поэтому U_C отложить по часовой стрелке на 90° по отношению к I .

Масштаб:

для вектора тока: $mI = 1\text{A/см}$

для вектора напряжения: $mU = 100\text{В/см}$

Выбрав масштаб для векторов тока и напряжения, определим длину векторов:

$$I = I/mI = 4,4/1 = 4,4\text{см}$$

$$U_a = U_a/mU = 176/100 \approx 1,8\text{см}$$

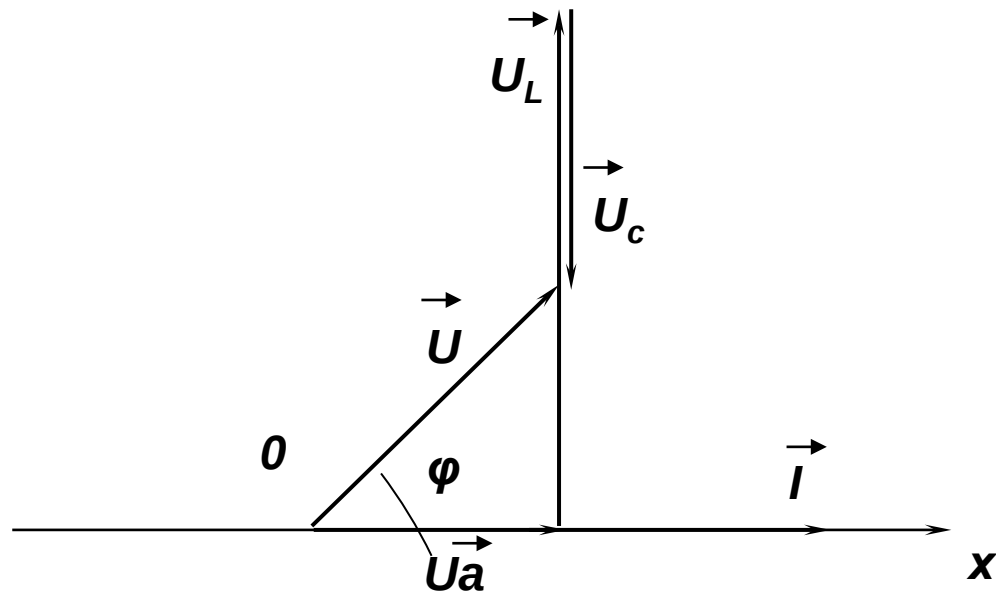
$$U_L = U_L/mU = 352/100 \approx 3,3\text{см}$$

$$U_c = U_c/mU = 220/100 = 2,2\text{см}$$

Векторная диаграмма

$$U = U_a + U_p,; \quad U_p = U_L - U_C$$

$$\vec{U} = \vec{U}_a + \vec{U}_p$$



Задача №2

Для цепи переменного тока(рисунок 2) известно:

$$\begin{aligned}U_{\text{сети}} &= 25\text{В}, \\I &= 0,16\text{А}, \\P &= 3\text{Вт}, U_C = 28\text{В}, U_K = 89\text{В} \quad U_R=13\text{В}\end{aligned}$$

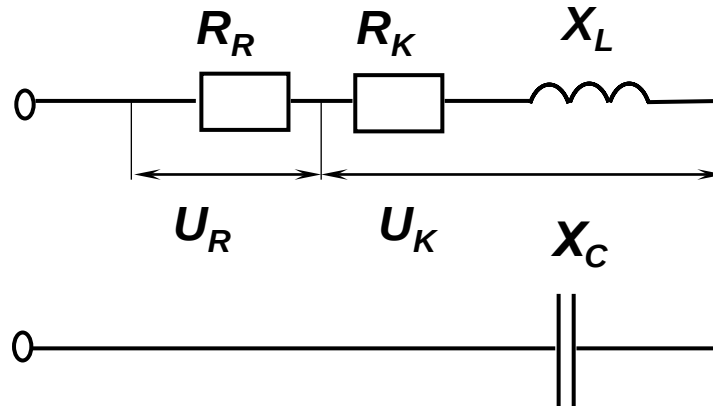


Рисунок 2

Найти все сопротивления: активное сопротивление резистора R_R , активное сопротивление катушки индуктивности R_K , реактивные сопротивления X_L , X_C индуктивность катушки L и емкость конденсатора C . Построить векторную диаграмму.

1 Полное сопротивление цепи:

$$Z = \frac{U_{\text{сети}}}{I} = \frac{25}{0,16} = 156 \text{ Ом}$$

2 Полное сопротивление катушки индуктивности:

$$Z_L = \frac{U_K}{I} = \frac{8,9}{0,16} = 55,6 \text{ Ом}$$

3 Активное сопротивление цепи:

$$R = R_K + R_R = \frac{P}{I^2} = \frac{3}{0,16^2} = 120 \text{ Ом}$$

4 Активное сопротивление резистора:

$$R_R = \frac{U_R}{I} = \frac{13}{0,16} = 81,25 = 81 \text{ Ом}$$

5 Активное сопротивление катушки индуктивности:

$$R_K = R - R_R = 120 - 81 = 39 \text{ Ом}$$

6 Индуктивное сопротивление катушки индуктивности:

$$X_L = \sqrt{Z_L^2 - R_K^2}$$

$$X_L = \sqrt{56^2 - 39^2} = 40,1 \text{ Ом}$$

7 Емкостное сопротивление конденсатора:

$$X_C = \frac{U_C}{I} = \frac{28}{0,16} = 175 \text{ Ом}$$

8 Напряжение на индуктивности:

$$U_L = X_L \cdot I = 40 \cdot 0,16 = 6,4 \text{ В}$$

9 Напряжение на активном сопротивлении катушки индуктивности:

$$U_{RL} = 0,16 \cdot 39 = 6,24 B$$

$$C = \frac{1}{2\pi f x_c} = \frac{1}{2 \cdot 175 \cdot 3,14 \cdot 50} = 18 \mu\text{кФ}$$

$$X_L = 2\pi f L \rightarrow L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{40,1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,13 \text{ Гн}$$

Примечание

Ток и напряжение на активном сопротивлении совпадают по фазе, поэтому U_{RL} и U_R , а также U_a ($U_a = U_{RL} + U_R$) и I должны совпадать по направлению.

Напряжение на индуктивности опережает ток на 90° , поэтому U_L отложить против часовой стрелки на 90° по отношению к I .

Напряжение на конденсаторе отстает от тока на 90° . Поэтому U_c отложить по часовой стрелке на 90° по отношению к I .

Так как элементы соединены последовательно, то за основной (базовый) вектор примем вектор тока, отложив его по горизонтали, совместив его направление с положительным направлением оси ОХ

Масштаб:

для векторов тока: $mI = 0,01 \text{ A/cm}$

для векторов напряжения: $mU = 2 \text{ В/cm}$

Выбрав масштаб для векторов напряжения и тока, определим длину векторов:

$$I = I/mI = 0,16/0,01 = 16 \text{ см}$$

$$U_a = U_a/mU = 19,2/2 = 9,6 \text{ см}$$

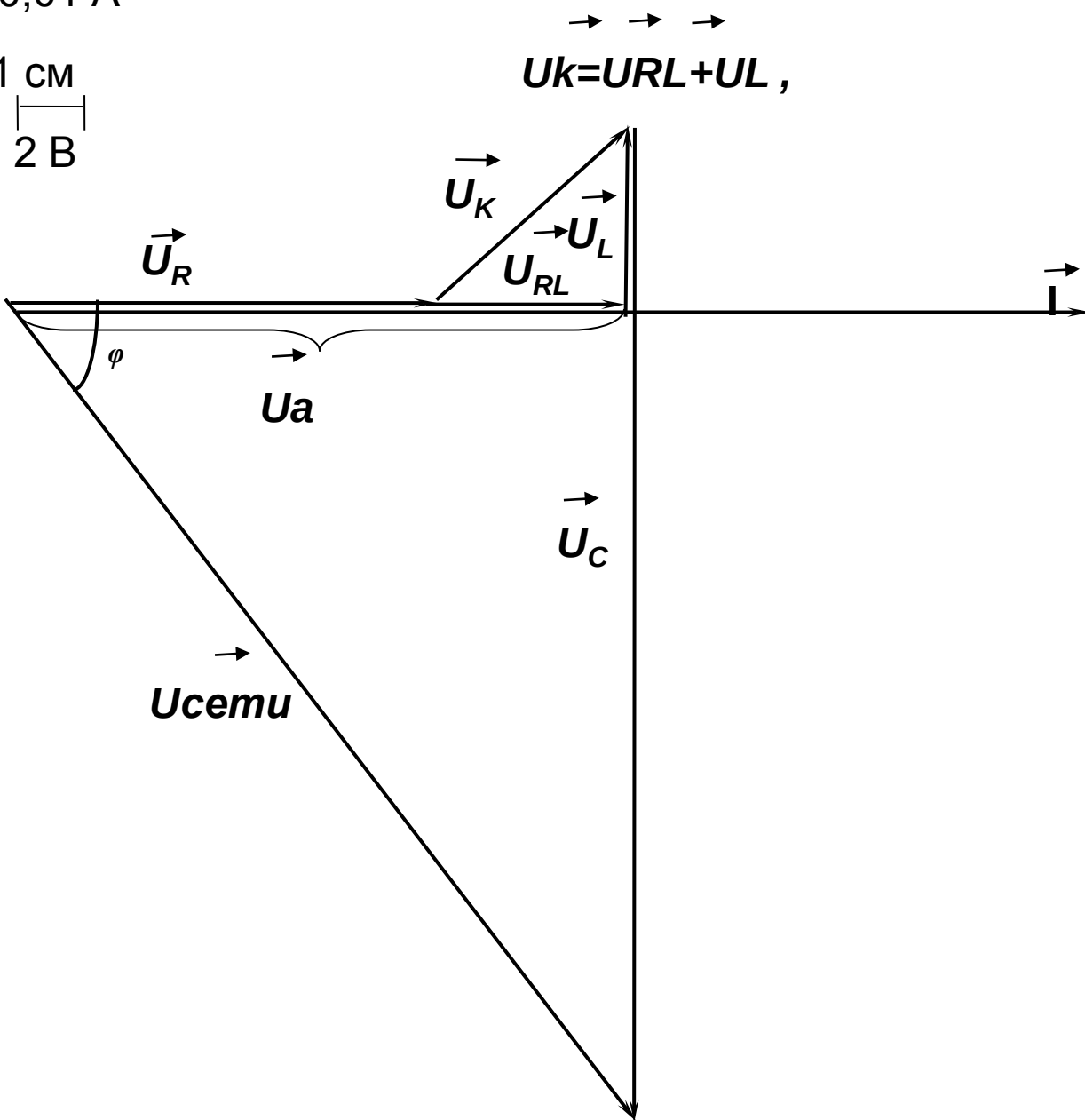
$$U_L = U_L/mU = 6,4/2 = 3,2 \text{ см}$$

$$U_c = U_c/mU = 28/2 = 14 \text{ см}$$

Векторная диаграмма

1 CM
0,01 A

1 CM
2 B



$$U_{RL}=6,24 \text{ B},$$

$$U_L=6,4 \text{ B},$$

$$U_R=I_R R = 0,16 \cdot 81 \approx 13 \text{ B},$$

$$U_R=13 \text{ B},$$

$$U_C=28 \text{ B}$$

2 Решение задач

Задачи для самостоятельного решения

Задача №3

Для цепи однофазного тока известно:

$$r_1 = 5 \text{ Ом},$$

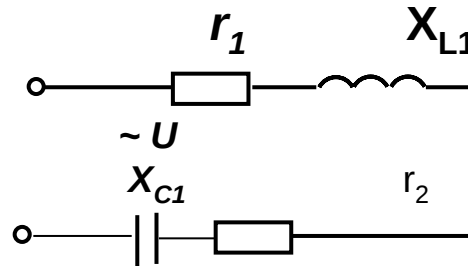
$$r_2 = 8 \text{ Ом},$$

$$X_{L1} = 20 \text{ Ом},$$

$$X_{C1} = 4 \text{ Ом},$$

$$Q = 1600 \text{ ВАР}.$$

Определить: I , P , S , Z , U , $\cos\varphi$ построить векторную диаграмму.



Задача №4

Для цепи однофазного тока известно:

$$r_1 = 9 \text{ Ом},$$

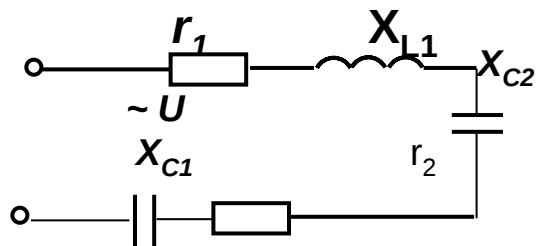
$$X_{L1} = 20 \text{ Ом},$$

$$X_{C1} = 4 \text{ Ом},$$

$$X_{C2} = 4 \text{ Ом},$$

$$I = 2 \text{ А}.$$

Определить: P , Q , S , Z , U , $\cos\varphi$ построить векторную диаграмму.



Задача №5

Для цепи однофазного тока известно:

$$r_1 = 5 \text{ Ом},$$

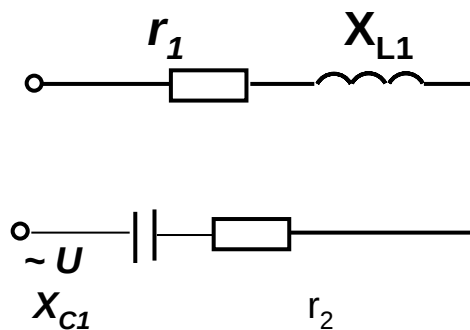
$$r_2 = 0,$$

$$X_{L1} = 20 \text{ Ом},$$

$$X_{C1} = 4 \text{ Ом},$$

$$Q = 1600 \text{ ВАР}.$$

Определить: I , P , S , Z , U , $\cos\varphi$ построить векторную диаграмму.



Задача №6

Для цепи однофазного тока известно:

$$r_1 = 10 \text{ Ом},$$

$$r_2 = 3 \text{ Ом},$$

$$X_{L1} = 4 \text{ Ом},$$

$$X_{L2} = 6 \text{ Ом},$$

$$X_{C1} = 26 \text{ Ом},$$

$$U = 100 \text{ В}.$$

Определить: I , P , Q , S , Z , $\cos\varphi$ построить векторную диаграмму.

Задание на самостоятельную работу:

подготовиться к лабораторной работе №3а, исследование цепей однофазного тока по лабораторному практикуму по курсу «Основы электротехники и электроники», ч. 1 (отчет не готовить), (с. 28-39).

Литература:

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. – 752 с., с.154-157.

ТЕМА 6 Занятие 17 **Контрольная работа №2**

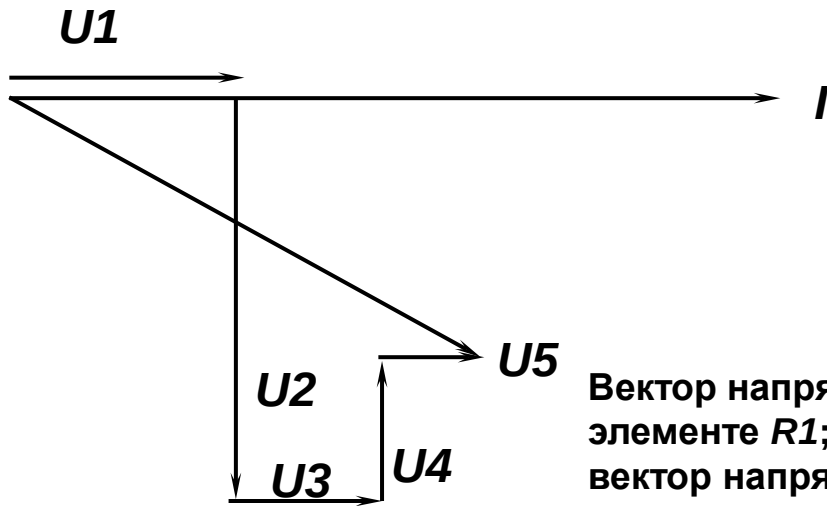
Расчёт цепей переменного тока

1 Примеры расчета электрических цепей переменного тока

2 Контрольная работа по вариантам

Пример 1

Дано: $U_1 = 30 \text{ В}$, $U_2 = 30 \text{ В}$, $U_3 = 20 \text{ В}$
 $U_4 = 20 \text{ В}$, $U_5 = 30 \text{ В}$, $I = 10 \text{ А}$.



Пользуясь векторной диаграммой и данными задачи, начертить схему и определить величины: R_1 , R_2 , R_3 , xL_1 , xC_1 , U , Z , P , Q , S .

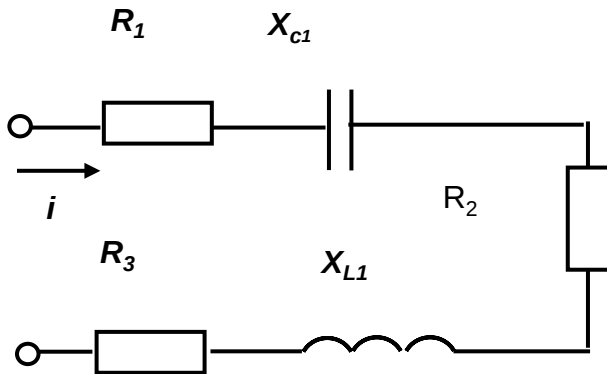
Вектор напряжения U_1 – это падение напряжения на активном элементе R_1 ;
вектор напряжения U_2 – это падение напряжения на емкостном элементе xC_1 ; вектор напряжения U_3 – это падение напряжения на активном элементе R_2 ; вектор напряжения U_4 – это падение напряжения на индуктивном элементе xL_1 ; вектор напряжения U_5 – это падение напряжения на активном элементе

Решение

Вектор напряжения U_1 – это падение напряжения на активном элементе R_1 ;

вектор напряжения U_2 – это падение напряжения на емкостном элементе x_{C1} ; вектор напряжения U_3 – это падение напряжения на активном элементе R_2 ; вектор напряжения U_4 – это падение напряжения на индуктивном элементе x_{L1} ; вектор напряжения U_5 – это падение напряжения на активном элементе

$$R_1 = \frac{U_1}{I} = \frac{30}{10} = 3 \text{ Ом} \quad x_{C1} = \frac{U_2}{I} = \frac{30}{10} = 3 \text{ Ом}$$



$$R_2 = \frac{U_3}{I} = \frac{20}{10} = 2 \text{ Ом} \quad x_{L1} = \frac{U_4}{I} = \frac{20}{10} = 2 \text{ Ом}$$

$$R_3 = \frac{U_5}{I} = \frac{30}{10} = 3 \text{ Ом}$$

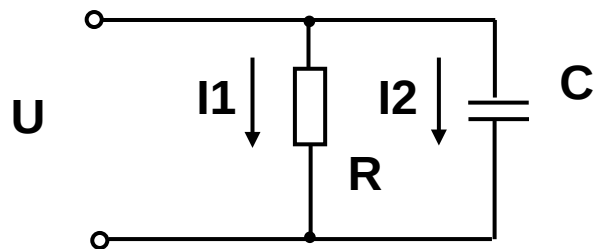
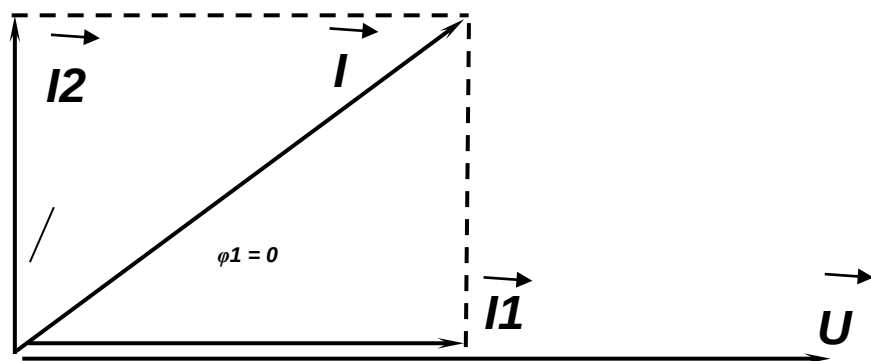
$$Z = \sqrt{(R_1 + R_2 + R_3)^2 + (x_{L1} - x_{C1})^2} = \sqrt{(3 + 2 + 3)^2 + (2 - 3)^2} = 8,05 \text{ Ом}$$

$$U = IZ = 10 \cdot 8,05 = 80,5 \text{ В} \quad P = I^2 R = I^2 (R_1 + R_2 + R_3) = 10^2 \cdot 8 = 800 \text{ Вт}$$

$$Q = I^2 X = I^2 (x_{L1} - x_{C1}) = 10^2 \cdot (2 - 3) = -100 \text{ Вар} \quad S = UI = 80,5 \cdot 10 = 805 \text{ ВА}$$

Пример 2

Дано: $I_1 = 8 \text{ A}$; $I_2 = 6 \text{ A}$; $U = 100 \text{ V}$



Решение

$$R_1 = \frac{U}{I_1} = \frac{100}{8} = 12,5 \text{ Ом} \quad x_{C2} = \frac{U}{I_2} = \frac{100}{6} = 16,6 \text{ Ом}$$

$$\cos\varphi = \frac{I_a}{I} \quad I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2} = \sqrt{8^2 + 6^2} = 10 \text{ А}$$

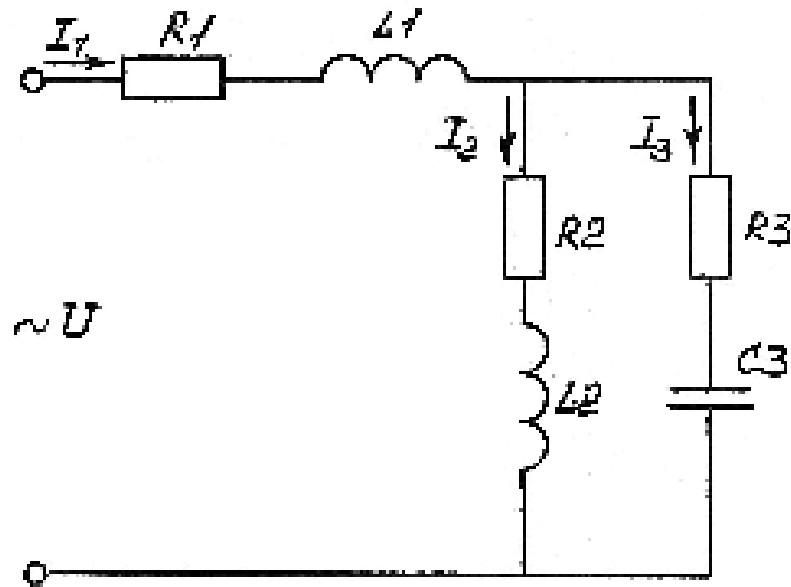
$$\cos\varphi = \frac{8}{10} = 0,8 \quad \sin\varphi = \frac{I_p}{I} = \frac{6}{10} = 0,6$$

$$P = UI\cos\varphi = 100 \times 10 \times 0,8 = 800 \text{ Вт}$$

$$Q = UI\sin\varphi = 100 \times 10 \times 0,6 = 600 \text{ Вар}$$

$$S = UI = 100 \times 10 = 1000 \text{ ВА}$$

Варианты заданий



Дано:

$$R_1 = 0,4 \text{ Ом}; \quad X_{L1} = 2,2 \text{ Ом};$$

$$R_2 = 3 \text{ Ом}; \quad R_3 = 8 \text{ Ом}$$

$$X_{L2} = 4 \text{ Ом}$$

$$X_{C3} = 6 \text{ Ом}$$

Варианты заданий

Вариант	Дополнительные данные	Определить
1	$U=100\text{В}; R_2=\infty$	$I; Z; P; Q; S; \cos \varphi$; напряж. на всех уч.
2	$U=100\text{В}; R_1=0; L_1=0; R_3=\infty$	$I_1; I_2; I_3; P; Q; S; \cos \varphi$;
3	$U=100\text{В}; R_3=\infty; L_2=0$	$I; Z; P; Q; S; \cos \varphi$
4	$U=100\text{В}; R_1=0; L_1=0; R_3=0; R_2=0$	$I; I_1; I_2; P; Q; S; \cos \varphi$
5	$I_1=2\text{А}; R_3=\infty$	$U; Z; P; Q; S; \cos \varphi$; напряж. на всех уч.
6	$I_1=2\text{А}; R_1=0; L_1=0; R_2=0; R_3=0$	$I_2; I_3; U; P; S; \cos \varphi$
7	$I_1=2\text{А}; R_3=0; L_2=0$	$U; Z; P; Q; S; \cos \varphi$; напряж. на всех уч
8	$I_1=2\text{А}; R_1=0; L_1=0; R_2=0; R_3=0$	$I_2; I_3; U; P; Q; S; \cos \varphi$
9	$U=120\text{В}; R_2=\infty$	$I; Z; P; Q; \cos \varphi$; напряж. на всех уч
10	$U=120\text{В}; R_1=0; L_1=0; R_2=0; R_3=0$	$I; I_2; I_3; P; Q; S; \cos \varphi$

Задание на самостоятельную работу:

повторить расчёт цепей однофазного тока

- **Данилов, И.А.** Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. – 752 с., с. 147-150 .

Тема №7 ТРЁХФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

ЗАНЯТИЕ №18(групповое)

СОЕДИНЕНИЕ ФАЗ ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ И ПРИЁМНИКА ЗВЕЗДОЙ

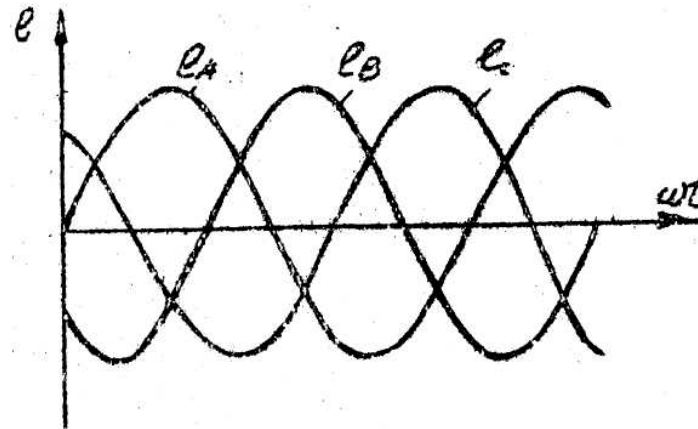
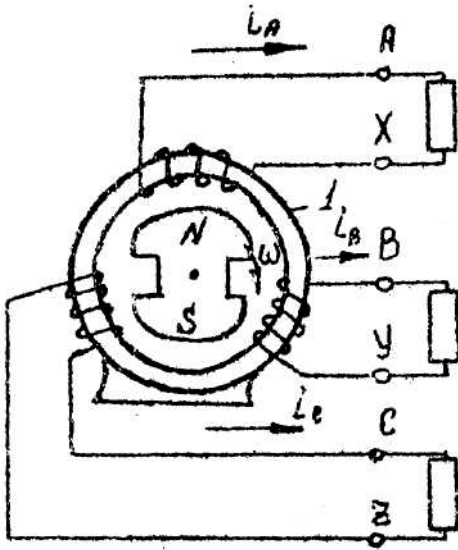
Цель занятия: ознакомиться с трехфазными электрическими цепями и способами соединения нагрузки звездой;
научить строить векторные диаграммы и читать их,
при соединении в звезду

Учебные вопросы

- 1 Принцип получения трехфазной ЭДС**
- 2 Соединение фаз источника энергии и приемника звездой**
- 3 Назначение нулевого провода в четырехпроводной цепи.**

Принцип получения трехфазной ЭДС

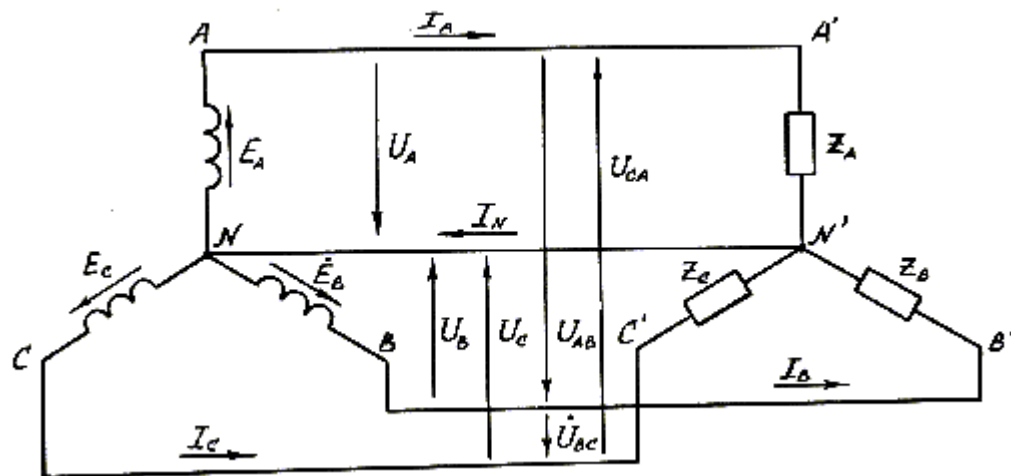
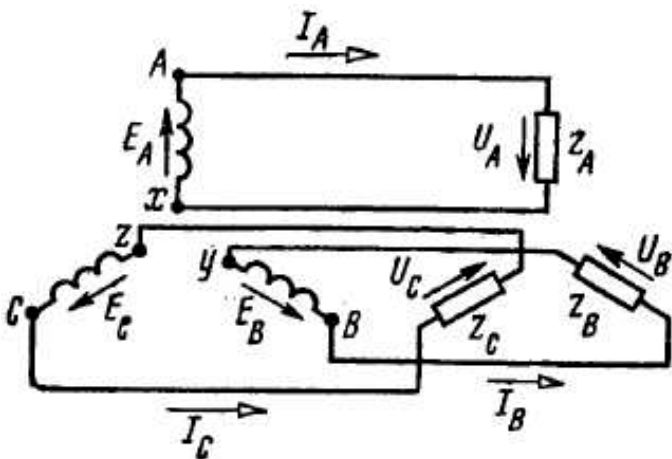
Трехфазной системой электрических цепей называется совокупность трех однофазных электрических цепей, в которых действуют три синусоидальные ЭДС одной и той же частоты и амплитуды, сдвинутые относительно друг друга на угол 120° , создаваемые одним источником.



В симметричной трехфазной системе сумма ЭДС (или напряжений) в любой момент времени равна нулю.

Второе свойство трехфазной системы: трехфазный переменный ток образует в пространстве вращающееся магнитное поле.

СОЕДИНЕНИЕ ФАЗ ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ И ПРИЁМНИКА ЗВЕЗДОЙ



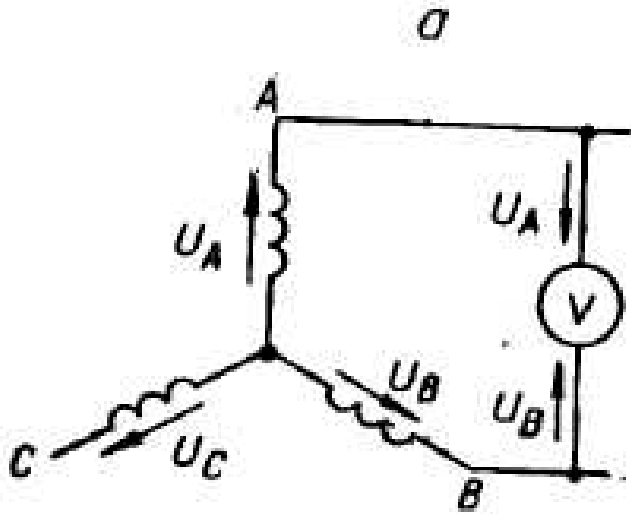
Токи, текущие по обмоткам генератора или по фазе приемника называются **фазными токами**: $I_{\phi a}$, $I_{\phi b}$, $I_{\phi c}$

Токи, в проводах, соединяющий генератор с нагрузкой называются **линейными**: I_a , I_b , I_c .

Если нагрузка симметрична, то от генератора к приемникам потекут одинаковые по силе токи $I_{\phi a} = I_{\phi b} = I_{\phi c}$

$$\begin{array}{ccc} \rightarrow & \rightarrow & \rightarrow \\ I_{\phi a} + I_{\phi b} + I_{\phi c} = 0 \end{array}$$

СОЕДИНЕНИЕ ФАЗ ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ И ПРИЁМНИКА ЗВЕЗДОЙ



Фазные напряжения генератора, работающего с симметричной нагрузкой равны

$$U_A = U_B = U_C$$

При построении векторной диаграммы следует помнить, что при соединении звездой линейное напряжение – это векторная разность соответствующих фазных напряжений.

$$U_{AB} = U_A - U_B$$

Если нагрузка чисто активна, то фазные токи и напряжения будут сдвинуты относительно друг друга на угол $\varphi = 0$

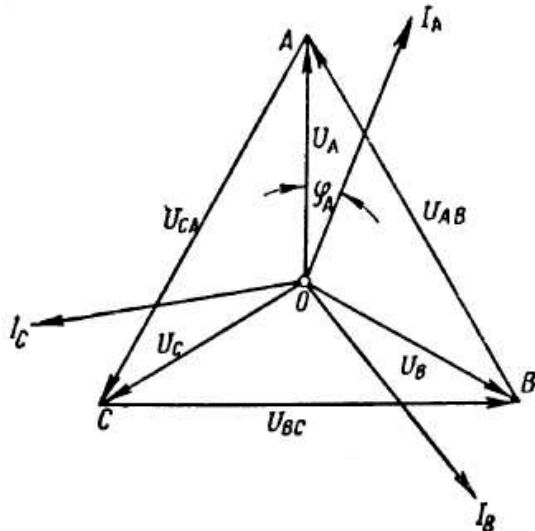
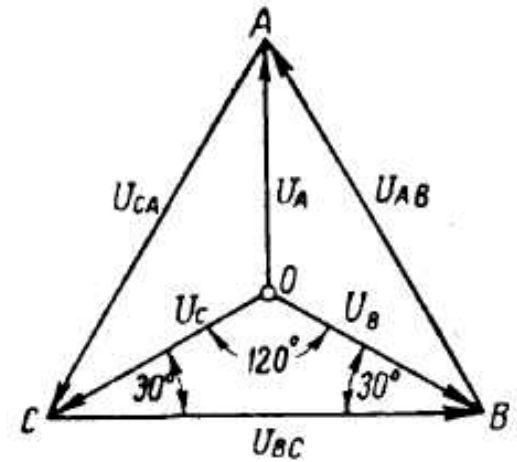
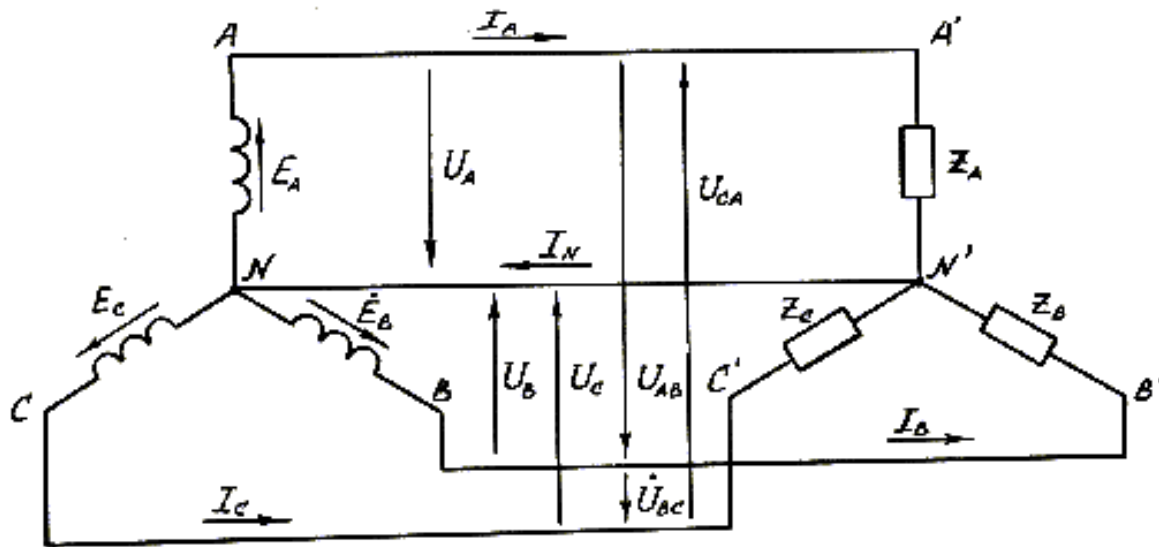
При комплексной нагрузке $\varphi = \arccos R_{\phi} / Z_{\phi}$

$$Z_A = \sqrt{r_A^2 + X_A^2}$$

$$Z_B = \sqrt{r_B^2 + X_B^2}$$

$$Z_C = \sqrt{r_C^2 + X_C^2}$$

СОЕДИНЕНИЕ ФАЗ ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ И ПРИЁМНИКА ЗВЕЗДОЙ



Из векторной диаграммы видно:

$$U_{AB}/2 = U_A \cos 30^\circ$$

$$U_{AB}/2 = U_A \sqrt{3}/2$$

$$U_{AB} = \sqrt{3} U_A$$

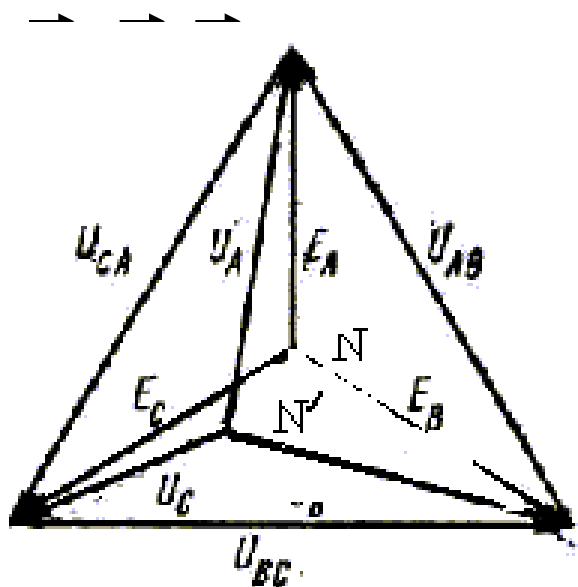
$U_l = \sqrt{3} U_\phi$ - для симметричной нагрузки при соединении в звезду

Назначение нулевого провода в четырёхпроводной цепи

Ток в нулевом проводе равен нулю при строго симметричной нагрузке

При симметрии фазных напряжений и несимметричных нагрузках в нулевом проводе есть ток. Представим, что нулевой провод оборвался и $I_N=0$.

При этом токи I_A , I_B , I_C должны изменяться так, чтобы их векторная сумма оказалась равной нулю:



При заданных сопротивлениях нагрузки Z_A , Z_B , Z_C токи могут измениться только за счет изменения фазных напряжений.

При несимметрии нагрузки и отсутствии нулевого провода фазные напряжения U_A , U_B , U_C будут различными и точка N' займет на векторной диаграмме положение, отличное от точки N .

Нулевой провод в четырехпроводной цепи предназначен для обеспечения симметрии фазных напряжений при несимметричной нагрузке.

Задание на самостоятельную работу:

изучить способ получения трехфазной ЭДС, схемы соединения этих цепей, соотношения между фазными и линейными величинами.

Литература:

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М.Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. – 752 с., с. 164-175 .

ТЕМА №7

ТРЕХФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

Занятие 19

**СОЕДИНЕНИЕ ФАЗ ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ И
ПРИЕМНИКА ТРЕУГОЛЬНИКОМ**

Цель:

**изучить соединение нагрузки треугольником;
научить курсантов построению векторных
диаграмм при соединении нагрузки треугольником;
изучить методику расчета мощности трехфазной
цепи;**

Учебные вопросы

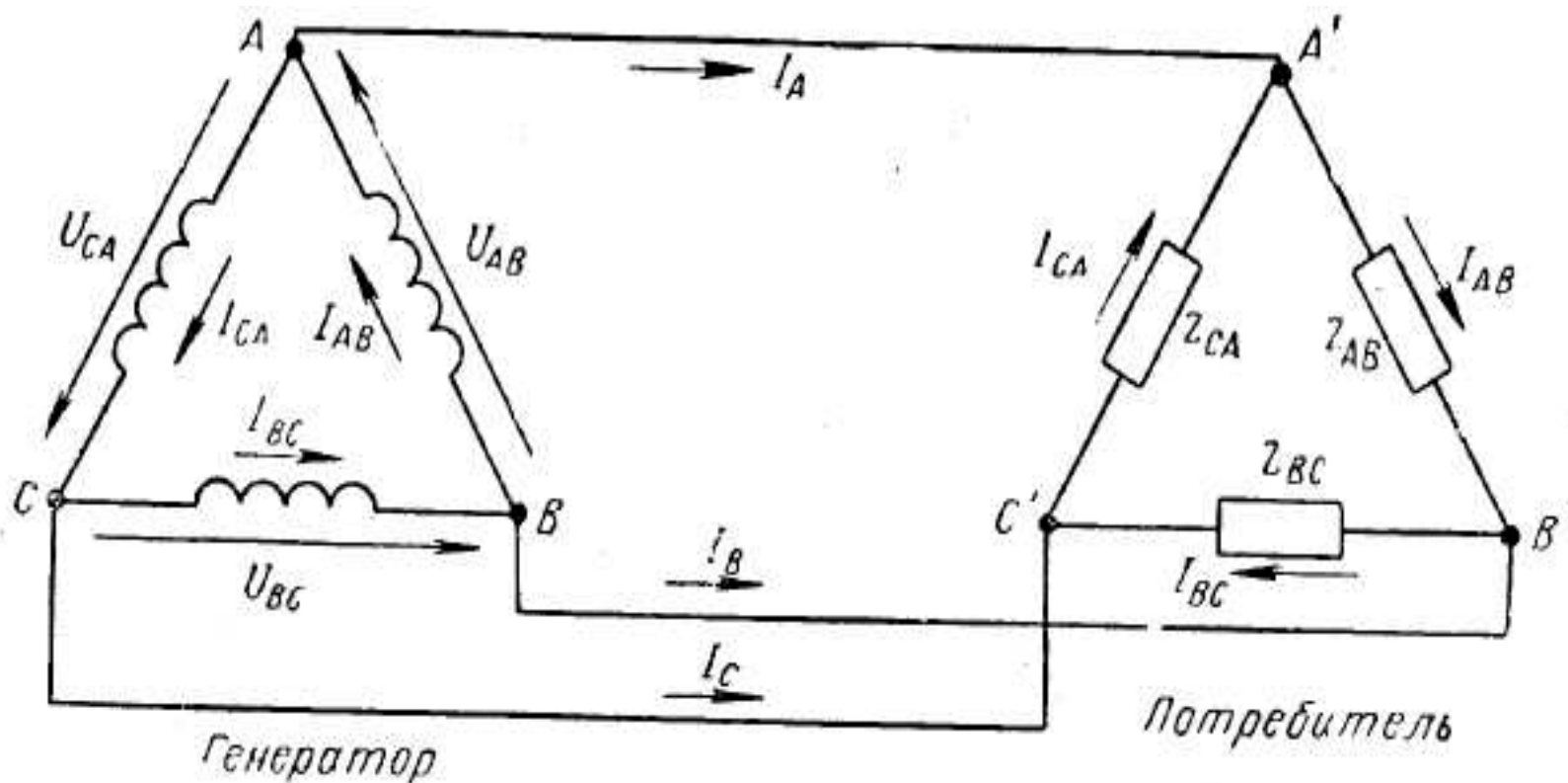
- 1 Соединение фаз источника энергии и приемника треугольником**
- 2 Мощность трехфазной цепи**

Контрольные вопросы

- Какая цепь называется трехфазной?
- Дать определение трехфазной симметричной системы ЭДС.
- Какое соединение нагрузки называется соединением в звезду?
- Какая нагрузка называется симметричной?
- Дать определение $I_{\text{л}}$, $U_{\text{л}}$, $I_{\text{ф}}$, $U_{\text{ф}}$.
- Математическая связь между $U_{\text{л}}$ и $U_{\text{ф}}$, $I_{\text{л}}$ и $I_{\text{ф}}$ для соединения звездой при симметричной нагрузке.
- Назначение нулевого провода

1 Соединение фаз источника энергии и приемника треугольником

Соединение в треугольник – это такое соединение, при котором к концу первой фазы присоединяется начало второй, а конец третьей фазы соединен с началом первой (рисунок 1). В результате три обмотки генератора или три фазы приемника образуют замкнутый контур, который можно изобразить в виде треугольника.



Обозначим **линейные токи** буквами I_A, I_B, I_C ,
фазные токи I_{AB}, I_{BC}, I_{CA} .

Для узла А составим уравнение по 1
закону Кирхгофа

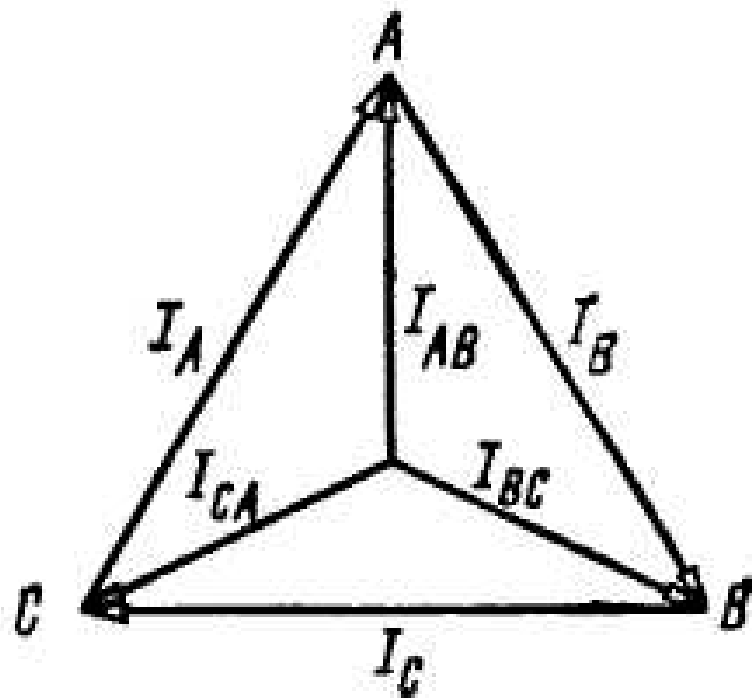
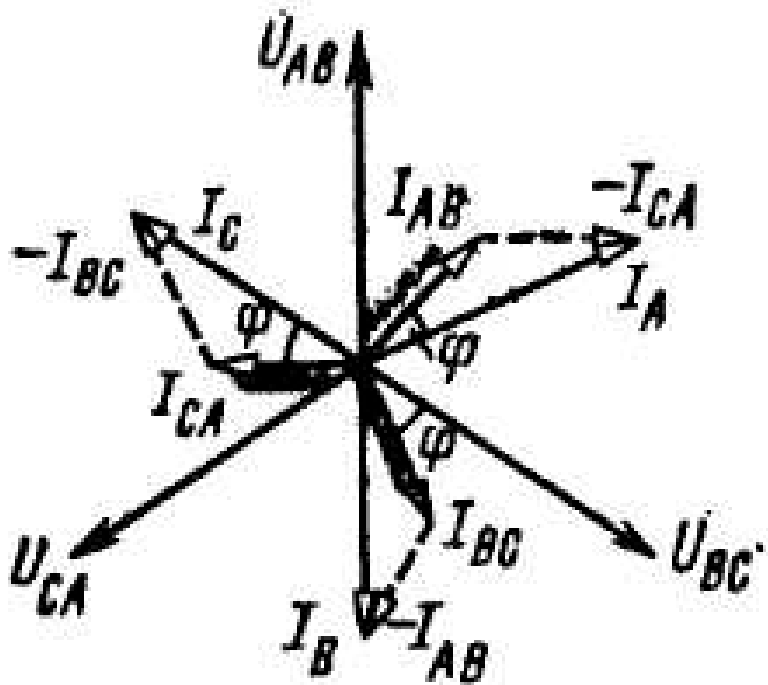
$$\vec{I}_A = \vec{I}_{AB} - \vec{I}_{CA}$$

Аналогично, $\vec{I}_B = \vec{I}_{BC} - \vec{I}_{AB}$ и $\vec{I}_C = \vec{I}_{CA} - \vec{I}_{BC}$.

Из схемы видно, что

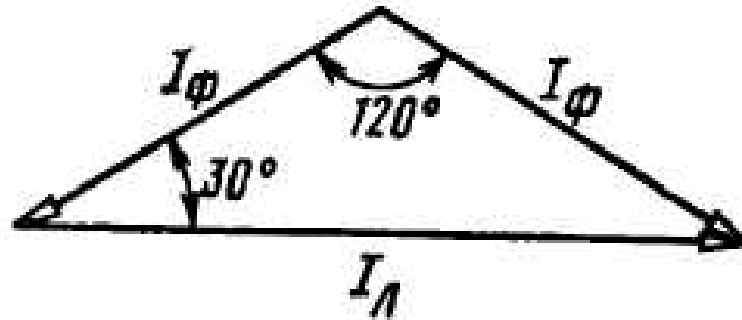
$$U_L = U_\phi.$$

Построим векторную диаграмму. В основу векторной диаграммы положим три вектора линейных напряжений U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} .



На векторной диаграмме линейные напряжения представлены векторами равными по величине (симметричная система) и сдвинутыми на 120° . Эти напряжения создают в каждой фазе фазные токи $I_{AB'}$, I_{BC} и I_{CA} .

Пусть нагрузка симметрична, т.е. $I_{AB} = I_{BC} = I_{CA} = I_\phi$



Из векторной диаграммы

$$I_L/2 = I_\phi \cdot \cos 30^\circ$$

$$I_L = \sqrt{3} \cdot I_\phi.$$

ВЫВОД

При соединении в треугольник при симметричной нагрузке

$$I_{\text{л}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{ф}} ,$$

$$U_{\text{л}} = U_{\text{ф}} .$$

2 МОЩНОСТЬ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ

Активная мощность трехфазной цепи равна сумме активных мощностей ее фаз

$$P = P_A + P_B + P_C .$$

Реактивная мощность трехфазной цепи равна сумме реактивных мощностей ее фаз

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C .$$

Очевидно, что при симметричной нагрузке

$$P_A = P_B = P_C = P_\phi \text{ и } Q_A = Q_B = Q_C = Q_\phi.$$

Тогда

$$P = 3 P_\phi \text{ и } Q = 3 Q_\phi.$$

Мощность одной фазы определяется по формулам для однофазной цепи

$$P_\phi = U_\phi I_\phi \cos \varphi \text{ и } Q_\phi = U_\phi I_\phi \sin \varphi.$$

Примечание

Эти формулы можно использовать для подсчета мощности симметричной трехфазной цепи. Однако измерение фазных напряжений и токов связаны с некоторыми трудностями, т.к. необходим доступ к нулевой точке. Проще измерить токи и напряжения непосредственно на клеммах щита питания. Поэтому формулы мощности трехфазной системы записывают через линейные токи и напряжения.

При соединении звездой

$$P = 3 U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi = 3 U_{л} I_{л} \cos \varphi / \sqrt{3} = \sqrt{3} U_{л} I_{л} \cos \varphi.$$

При соединении треугольником

$$P = 3 U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi = 3 U_{л} I_{л} \cos \varphi / \sqrt{3} = \sqrt{3} U_{л} I_{л} \cos \varphi.$$

Таким образом, в обоих случаях **активная** мощность симметричной цепи

$$P = \sqrt{3} U_{л} I_{л} \cos \varphi.$$

Аналогично, **реактивная** мощность

$$Q = \sqrt{3} U_{л} I_{л} \sin \varphi.$$

Полная мощность $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{3} \cdot U_{л} \cdot I_{к}$

Коэффициент мощности трехфазной цепи при симметрично нагрузке находится как отношение активной и полной мощностей:

$$\cos \varphi = P / \sqrt{3} U_{л} I_{л} = P / S.$$

Задача 1

Определить схему соединения осветительной нагрузки, если $U_{\text{сети}} = 380\text{В}$, $U_{\text{лампы}} = 220\text{В}$

.

Решение

:

Прежде всего устанавливаем, что лампы должны быть включены на трехфазное напряжение. Действительно, $U_{\phi} = U_{л}/\sqrt{3} = 380/\sqrt{3} = 220V$.

Поэтому выбираем схему соединения звездой. Поскольку нагрузка осветительная, надо предложить ее несимметричность и для обеспечения симметрии фазных напряжений включить нулевой провод. Следовательно, заданным условиям удовлетворяет схема соединения звездой с нулевым проводом

Задача 2

Определить схему соединения осветительной нагрузки, если $U_{\text{сети}} = 220\text{В}$, $U_{\text{лампы}} = 220\text{В}$.

Решение:

В рассматриваемом случае лампы должны быть включены непосредственно на линейное напряжение. Выбираем схему соединения треугольником ($U_{\phi} = U_{л}$).

Симметрия линейных напряжений обеспечивается генераторами, питающими сеть.

Задача 3

Выбрать схему соединения обмоток (фаз) трехфазного двигателя если $U_{\text{сети}} = 380\text{В}$, $U_{\text{обм}} = 220\text{В}$.

Решение

Обмотки трехфазного двигателя образуют симметричную нагрузку, следовательно, в нулевом проводе нет необходимости. Если обмотки двигателя соединить треугольником, то каждая из них окажется под линейным напряжением 380В и перегреется. Следовательно, обмотки двигателя надо соединить звездой. Тогда к каждой обмотке будет приложено напряжение, на которое она рассчитана.

Задание на самостоятельную работу:

изучить соединение нагрузки треугольником,
решить задачи, предложенные
преподавателем

Литература:

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. – 752 с., с.176-180.

Тема №8 ТРАНСФОРМАТОРЫ

ЗАНЯТИЕ №21 ГРУППОВОЕ

ОДНОФАЗНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР

Цель занятия: изучить устройство и принцип действия однофазного трансформатора

Учебные вопросы

- 1 Назначение трансформаторов и их применение**
- 2 Принцип действия и устройство однофазного трансформатора. Режимы работы трансформатора**
- 3 Виды трансформаторов**

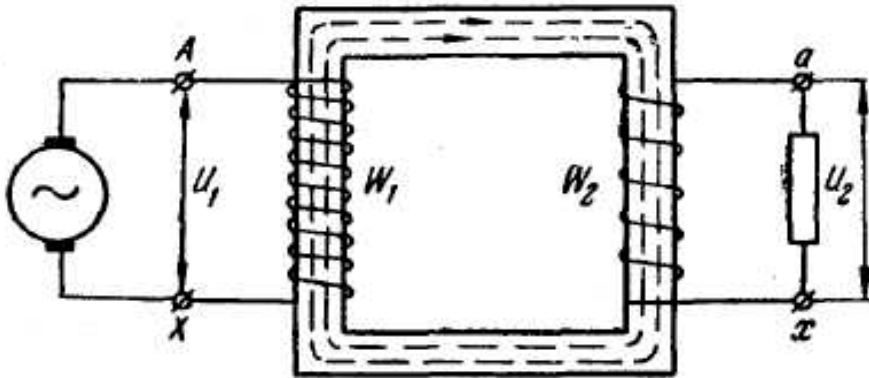
Назначение трансформаторов и их применение

Трансформатор — статический (без движущихся частей) электромагнитный аппарат, преобразующий параметры электрической энергии переменного тока, передающий эту энергию из одной цепи в другую по средствам магнитного поля.

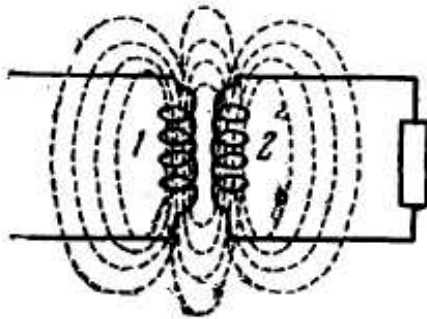
Трансформаторы используются для преобразования величины напряжения и тока без изменения частоты и мощности.

Трансформаторы бывают: трансформаторы напряжения, тока, силовые, измерительные, автотрансформаторы

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И УСТРОЙСТВО ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА



Простейший трансформатор состоит из двух обмоток и сердечника. Обмотка с числом витков W_1 , включенная на зажимы источника переменного тока, называется первичной. Обмотка, имеющая число витков W_2 и питающая приемник электроэнергией, называется вторичной.



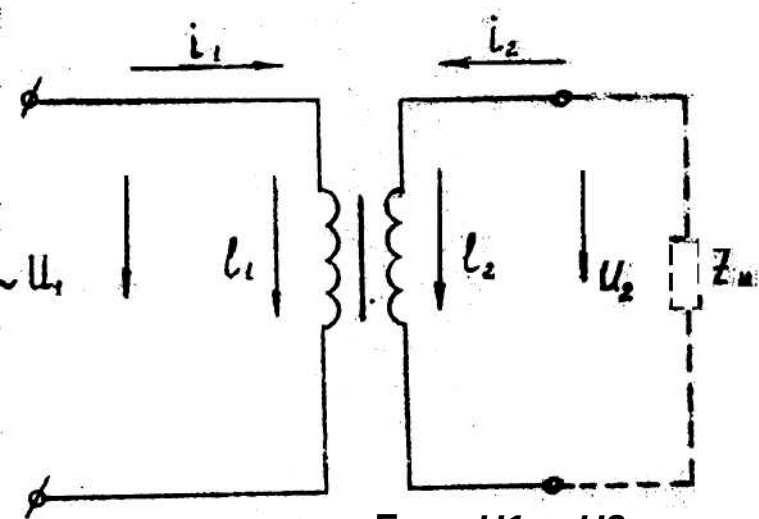
В работу трансформатора положен принцип взаимной индукции. Когда по первичной обмотке течет переменный ток, то вокруг нее создается переменное магнитное поле, которое индуцирует ЭДС в каждой из витков вторичной обмотки.

$$E_1 = 4,44 W_1 f \Phi_m$$

$$E_2 = 4,44 W_2 f \Phi_m$$

где f - частота переменного тока в первичной цепи, Гц;
 Φ_m - амплитуда магнитного потока, пересекающего витка обеих обмоток, Вб.

Параметры трансформатора



Если пренебречь падением напряжения в обмотках, то $E_1=U_1$, $E_2=U_2$.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2} = K$$

K- коэффициент трансформации

Если $U_1 > U_2$ - трансформатор называется понижающим, для него $K > 1$
 Если $U_1 < U_2$ - трансформатор называется повышающим, для него $K < 1$

Важнейшей характеристикой трансформатора является полная мощность, отдаваемая его вторичной обмоткой при номинальном токе и номинальном напряжении.

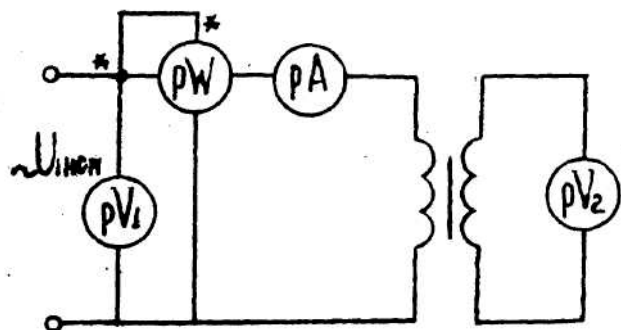
Пренебрегая потерями можно записать: $S_1 \approx S_2$.

$$U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2, \text{ или } \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Вывод: в обмотке более высокого напряжения течет меньший ток, чем в обмотках более низкого напряжения.

РЕЖИМ ХОЛОСТОГО ХОДА ТРАНСФОРМАТОРА

Режим холостого хода (ХХ) - это такой режим при котором первичная обмотка подключена к источнику электроэнергии, а концы вторичной обмотки разомкнуты



Подадим в первичную обмотку номинальное напряжение. Когда по ней течет ток ХХ в сердечнике создается синусоидальный магнитный поток $\Phi_{10} = \Phi_m \sin \omega t$

Силовые линии этого потока индуктируют в обеих обмотках E_1 и E_2 .

Т.к. $I_2 = 0$, то $E_2 = U_2$ ($I_2 Z_2 = 0$)

$E_1 = U_1$ (т.к. I_0 – мал и сопротивление мало)

Следовательно, пользуясь режимом ХХ, можно определить

$$K = \frac{U_1}{U_2}$$

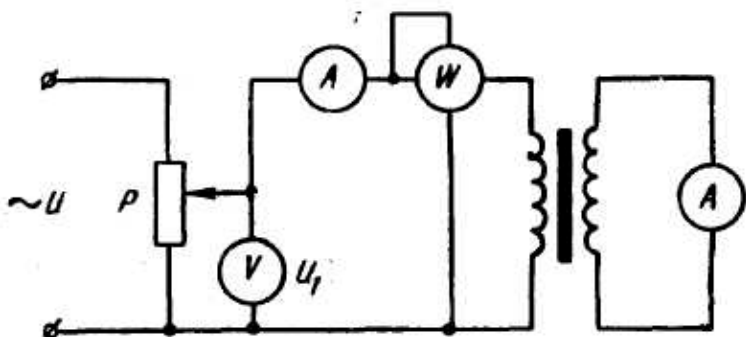
Ток ХХ трансформатора можно рассматривать как геометрическую сумму двух токов $\vec{I_0} = \vec{I_{cm}} + \vec{I_\phi}$

Ток I_{cm} вызывает потери энергии на перемагничивание стали сердечника и на вихревые токи.

I_ϕ - создает магнитный поток Φ в сердечнике и является реактивной составляющей тока ХХ трансформатора.

Т.к. I_0 – мал, ваттметр показывает мощность, которая расходуется только на покрытие потерь в стали P

РЕЖИМ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА



Опыт короткого замыкания выполняется при испытаниях и служит для определения: мощности потерь в обмотках (ΔP_m) и напряжения короткого замыкания $\Delta U_{кз}\%$. Для опыта короткого замыкания вторичная обмотка трансформатора замыкается накоротко.

Изменяя U_1 устанавливают $I_2 = I_{2ном}$

Это напряжение называют напряжением короткого замыкания трансформатора (обычно приводится в %). $\Delta U_{кз}\% = U_1 / U_{1ном} \cdot 100\%$

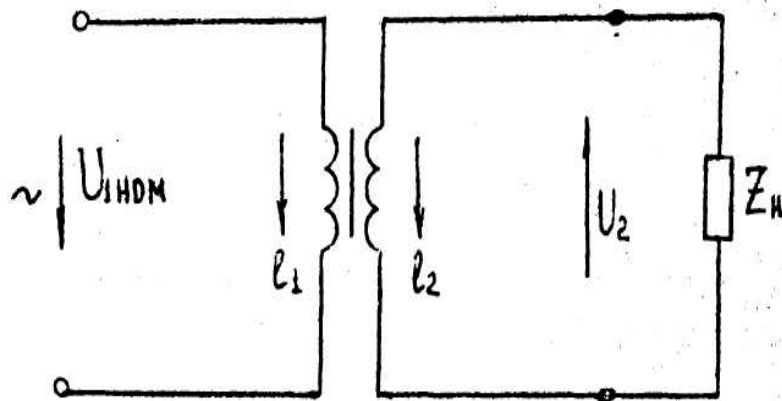
Ваттметр показывает $P_{кз} = P_{ст} + P_m$, $P_{ст} \approx 0$, $P_{кз} = P_m$;

$P_{ст}$ – потери в стали определили в результате опыта холостого хода.

P_m – потери мощности на нагрев первичной и вторичной обмоток трансформатора это потери меди.

РАБОТА ТРАНСФОРМАТОРА ПОД НАГРУЗКОЙ

В рабочем режиме первичная обмотка трансформатора включена на номинальное напряжение U_1 , а к концам вторичной обмотки подключен приемник электроэнергии, имеющий сопротивление Z



Ток первичной обмотки I_1 создает в магнитопроводе магнитный поток Φ_1 , который индуцирует во вторичной обмотке E_2 . Вторичная обмотка замкнута на сопротивление нагрузки, то во вторичной цепи потечет ток I_2 .

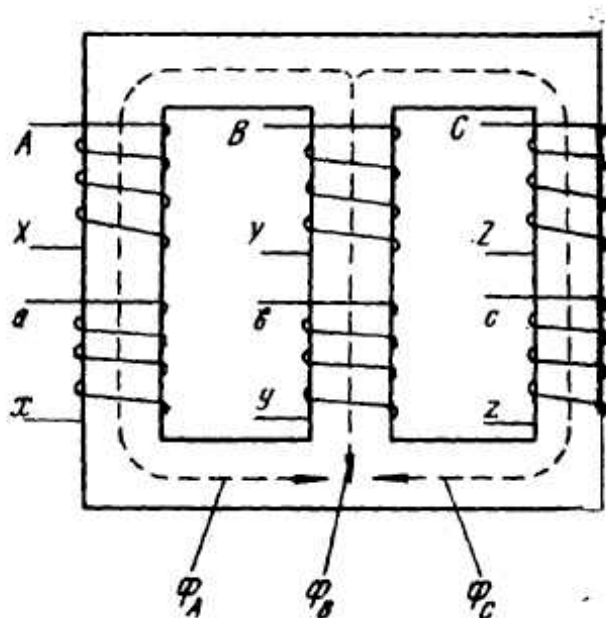
Этот ток создает Φ_2 . По правилу Ленца Φ_1 и Φ_2 направлены встречно однако общий магнитный поток не изменяется, потому, что произойдет изменение I_1 . Но в магнитопроводе будет действовать постоянный магнитный поток, не зависящий от нагрузки.

Пусть I_2 , увеличился. Если увеличился I_2 , то возрастет размагничивающий поток Φ_2 и величина ЭДС (E_1) должна уменьшиться.

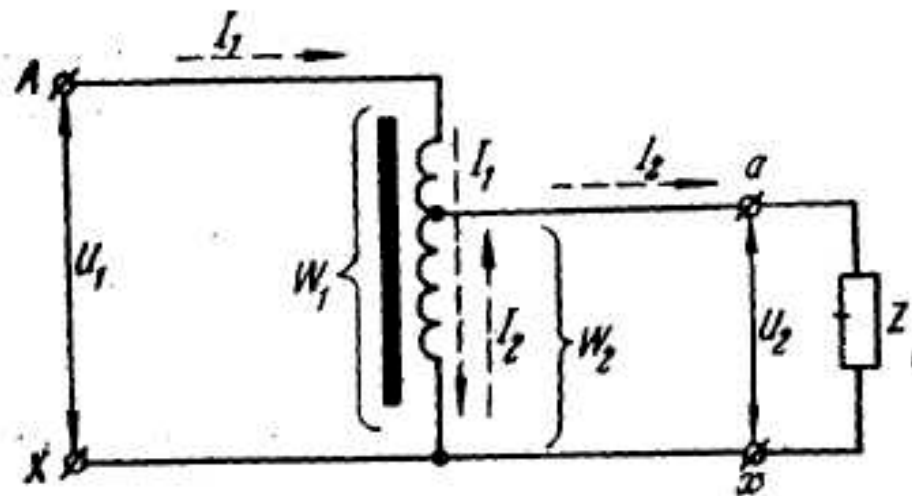
Чтобы U_1 осталось постоянным надо чтобы I_1 увеличивался.

$$U_1 = -e_1 + i_1 r_1$$

Виды трансформаторов



Трехфазный трансформатор



Автотрансформатор

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Задание на самостоятельную
работу: **изучить принцип работы и режимы
работы трансформатора**

Данилов, И.А. Общая электротехника с
основами электроники. [Текст] Учебное
пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-
06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. –
752 с., с. 182-199 .

Тема №8 ТРАНСФОРМАТОРЫ

ЗАНЯТИЕ №21 ГРУППОВОЕ

ОДНОФАЗНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР

Цель занятия: изучить устройство и принцип действия однофазного трансформатора

Учебные вопросы

- 1 Назначение трансформаторов и их применение**
- 2 Принцип действия и устройство однофазного трансформатора. Режимы работы трансформатора**
- 3 Виды трансформаторов**

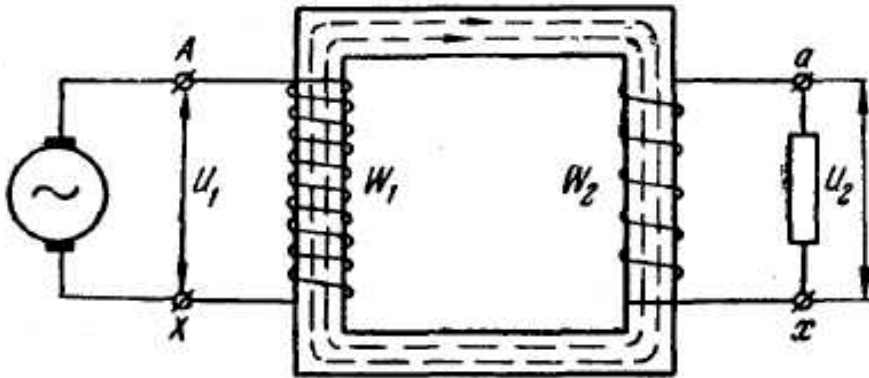
Назначение трансформаторов и их применение

Трансформатор — статический (без движущихся частей) электромагнитный аппарат, преобразующий параметры электрической энергии переменного тока, передающий эту энергию из одной цепи в другую по средствам магнитного поля.

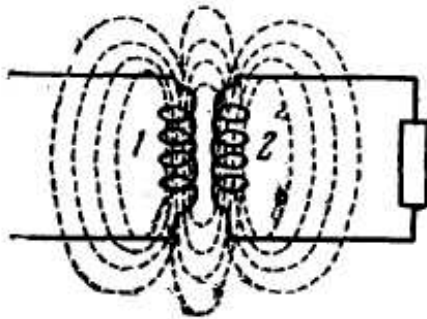
Трансформаторы используются для преобразования величины напряжения и тока без изменения частоты и мощности.

Трансформаторы бывают: трансформаторы напряжения, тока, силовые, измерительные, автотрансформаторы

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И УСТРОЙСТВО ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА



Простейший трансформатор состоит из двух обмоток и сердечника. Обмотка с числом витков W_1 , включенная на зажимы источника переменного тока, называется первичной. Обмотка, имеющая число витков W_2 и питающая приемник электроэнергией, называется вторичной.



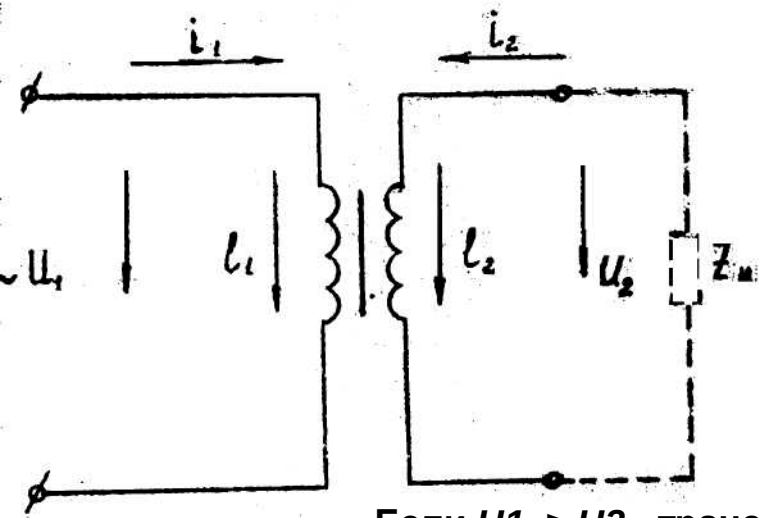
В работу трансформатора положен принцип взаимной индукции. Когда по первичной обмотке течет переменный ток, то вокруг нее создается переменное магнитное поле, которое индуцирует ЭДС в каждой из витков вторичной обмотки.

$$E_1 = 4,44 W_1 f \Phi_m$$

$$E_2 = 4,44 W_2 f \Phi_m$$

где f - частота переменного тока в первичной цепи, Гц;
 Φ_m - амплитуда магнитного потока, пересекающего витка обеих обмоток, Вб.

Параметры трансформатора



Если пренебречь падением напряжения в обмотках, то $E_1=U_1$, $E_2=U_2$.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2} = K$$

K- коэффициент трансформации

Если $U_1 > U_2$ - трансформатор называется понижающим, для него $K > 1$
Если $U_1 < U_2$ - трансформатор называется повышающим, для него $K < 1$

Важнейшей характеристикой трансформатора является полная мощность, отдаваемая его вторичной обмоткой при номинальном токе и номинальном напряжении.

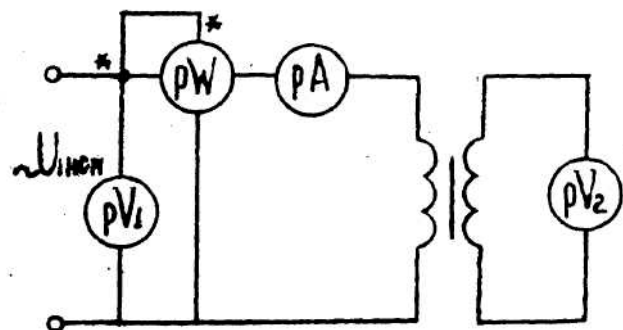
Пренебрегая потерями можно записать: $S_1 \approx S_2$.

$$U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2, \text{ или } \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Вывод: в обмотке более высокого напряжения течет меньший ток, чем в обмотках более низкого напряжения.

РЕЖИМ ХОЛОСТОГО ХОДА ТРАНСФОРМАТОРА

Режим холостого хода (ХХ) - это такой режим при котором первичная обмотка подключена к источнику электроэнергии, а концы вторичной обмотки разомкнуты



Подадим в первичную обмотку номинальное напряжение. Когда по ней течет ток ХХ в сердечнике создается синусоидальный магнитный поток $\Phi_{10} = \Phi_m \sin \omega t$

Силовые линии этого потока индуктируют в обеих обмотках E_1 и E_2 .

Т.к. $I_2 = 0$, то $E_2 = U_2$ ($I_2 Z_2 = 0$)

$E_1 = U_1$ (т.к. I_0 – мал и сопротивление мало)

Следовательно, пользуясь режимом ХХ, можно определить

$$K = \frac{U_1}{U_2}$$

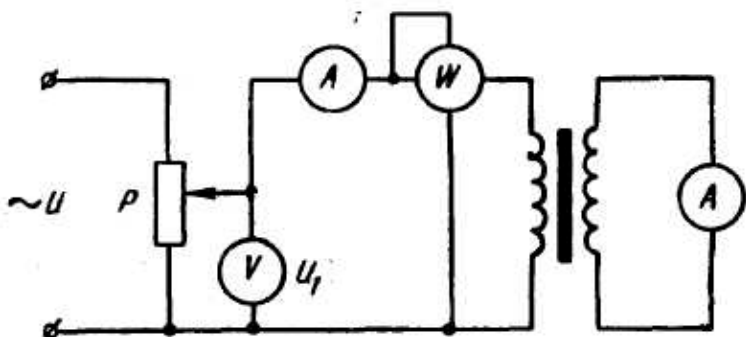
Ток ХХ трансформатора можно рассматривать как геометрическую сумму двух токов $\vec{I_0} = \vec{I_{cm}} + \vec{I_\phi}$

Ток I_{cm} вызывает потери энергии на перемагничивание стали сердечника и на вихревые токи.

I_ϕ - создает магнитный поток Φ в сердечнике и является реактивной составляющей тока ХХ трансформатора.

Т.к. I_0 – мал, ваттметр показывает мощность, которая расходуется только на покрытие потерь в стали P

РЕЖИМ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА



Опыт короткого замыкания выполняется при испытаниях и служит для определения: мощности потерь в обмотках (ΔP_m) и напряжения короткого замыкания $\Delta U_{кз}\%$. Для опыта короткого замыкания вторичная обмотка трансформатора замыкается накоротко.

Изменяя U_1 устанавливают $I_2 = I_{2ном}$

Это напряжение называют напряжением короткого замыкания трансформатора (обычно приводится в %). $\Delta U_{кз}\% = U_1 / U_{1 ном} \cdot 100\%$

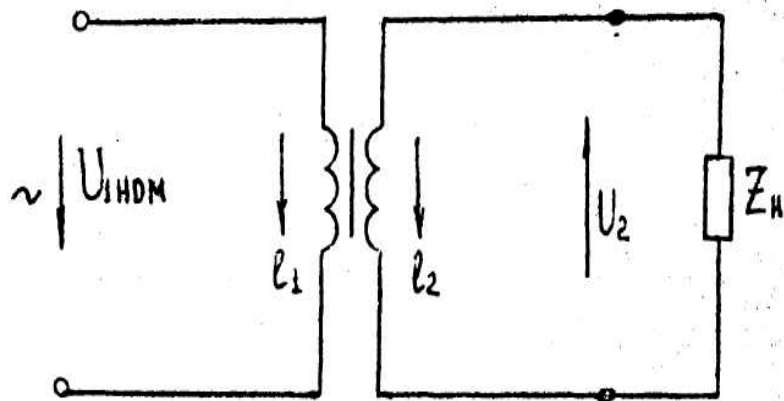
Ваттметр показывает $P_{кз} = P_{ст} + P_m$, $P_{ст} \approx 0$, $P_{кз} = P_m$;

$P_{ст}$ – потери в стали определили в результате опыта холостого хода.

P_m – потери мощности на нагрев первичной и вторичной обмоток трансформатора это потери меди.

РАБОТА ТРАНСФОРМАТОРА ПОД НАГРУЗКОЙ

В рабочем режиме первичная обмотка трансформатора включена на номинальное напряжение U_1 , а к концам вторичной обмотки подключен приемник электроэнергии, имеющий сопротивление Z



Ток первичной обмотки I_1 создает в магнитопроводе магнитный поток Φ_1 , который индуцирует во вторичной обмотке E_2 . Вторичная обмотка замкнута на сопротивление нагрузки, то во вторичной цепи потечет ток I_2 .

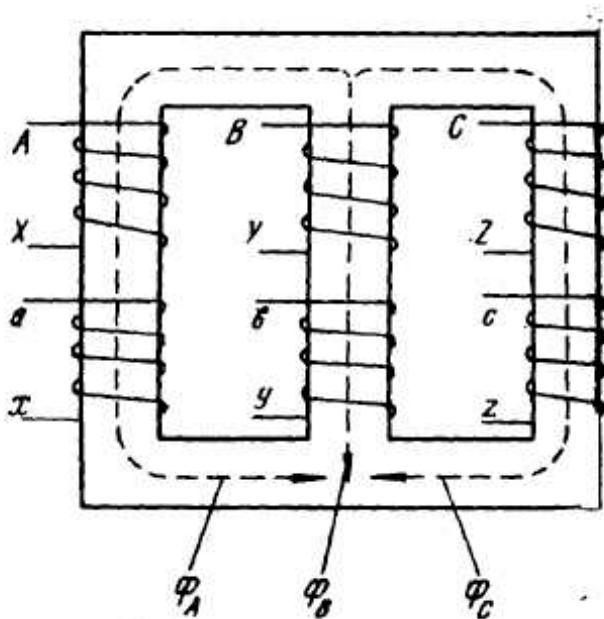
Этот ток создает Φ_2 . По правилу Ленца Φ_1 и Φ_2 направлены встречно однако общий магнитный поток не изменяется, потому, что произойдет изменение I_1 . Но в магнитопроводе будет действовать постоянный магнитный поток, не зависящий от нагрузки.

Пусть I_2 , увеличился. Если увеличился I_2 , то возрастет размагничивающий поток Φ_2 и величина ЭДС (E_1) должна уменьшиться.

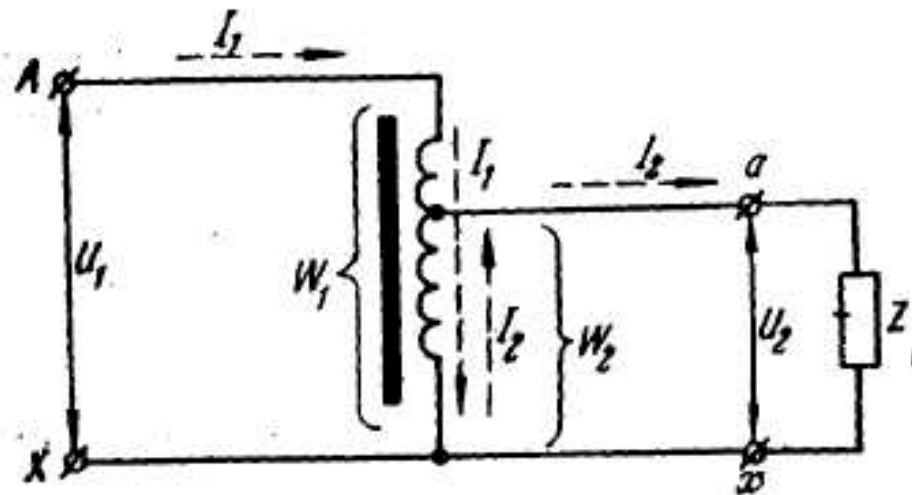
Чтобы U_1 осталось постоянным надо чтобы I_1 увеличивался.

$$U_1 = -e_1 + i_1 r_1$$

Виды трансформаторов



Трехфазный трансформатор



Автотрансформатор

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Задание на самостоятельную
работу: **изучить принцип работы и режимы
работы трансформатора**

Данилов, И.А. Общая электротехника с
основами электроники. [Текст] Учебное
пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-
06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. –
752 с., с. 182-199 .

ТЕМА №8

ТРАНСФОРМАТОРЫ

ЗАНЯТИЕ № 22 ПРАКТИЧЕСКОЕ

РАСЧЁТ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Цель:

**получить навыки расчета основных параметров
трансформатора**

Учебные вопросы

1 Расчёт трансформатора

2 Самостоятельная работа

Теоретические сведения

- 1 Номинальная мощность $S_{\text{н}}$ – это полная мощность (в кВА)
- 2 Номинальное первичное напряжение $U_{\text{ном1}}$ – это линейное напряжение в первичной обмотке
- 3 Номинальное вторичное напряжение $U_{\text{ном2}}$ линейное напряжение на выводах вторичной обмотки при холостом ходе
- 4 Номинальные линейные токи первичной $I_{\text{ном1}}$ и вторичной обмоток $I_{\text{ном2}}$
- 5 Для однофазного трансформатора : $I_{\text{ном1}} = S_{\text{ном}} / U_{\text{ном1}} \cdot \eta$; $I_{\text{ном2}} = S_{\text{ном}} / U_{\text{ном2}}$
Для трехфазного трансформатора : $I_{\text{ном1}} = S_{\text{ном}} / \sqrt{3} U_{\text{ном1}} \cdot \eta$; $I_{\text{ном2}} = S_{\text{ном}} / \sqrt{3} U_{\text{ном2}}$
- 6 Коэффициент нагрузки $K_{\text{н}} = S_2 / S_{\text{ном}}$
- 7 Активная мощность трансформатора: $P_{2\text{ном}} = S_{\text{ном}} \cos \varphi_{\text{ном}}$
- 8 Реактивная мощность равна $Q_{2\text{ном}} = S_{\text{ном}} \sin \varphi_{\text{ном}}$
- 9 Отношение линейных напряжений в трехфазных трансформаторах называют линейным коэффициентом трансформации, если они имеют одинаковые схемы соединений

$$K = \frac{U_{\text{ном1}}}{U_{\text{ном2}}} = \frac{W_1}{W_2},$$

$$K = \frac{U_{\text{ном1}}}{U_{\text{ном2}}} = \frac{\sqrt{3} W_1}{W_2}; (\text{при } Y / \Delta);$$

$$K = \frac{U_{\text{ном1}}}{U_{\text{ном2}}} = \frac{W_1}{\sqrt{3} W_2}; (\text{при } \Delta / Y);$$

Теоретические сведения

Электродвижущая сила, возникающая в обмотке трансформатора:

$$E = 4,44 f W \Phi_{max} = 4,44 f W B_{max} S_{cm},$$

Коэффициент полезного действия трансформатора

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\beta S_{ном} \cos \varphi_2}{\beta S_{ном} \cos \varphi_2 + \Delta P_0 + \beta^2 \Delta P_{кз}},$$

$\beta = I_2/I_{2ном}$ — коэффициент загрузки трансформатора

$\Delta P_0 = \Delta P_{ст}$ — потери холостого хода (т. е. в стальном сердечнике трансформатора), Вт;

$\Delta P_{кз}$ — потери в обмотках трансформатора при коротком замыкании и номинальном токе, Вт.

Пример расчёта

Трёхфазный трансформатор, обмотки которого соединены в Δ / Y

$S_{ном} = 1000$ кВА, $U_{ном1} = 10$ кВ, $U_{ном2} = 400$ В.

Потери в стали $P_{ст} = 2,45$ кВт, потери в обмотках $P_{0ном} = 12,2$ кВт

Сечение магнитопровода $Q = 450$ см² ; магнитная индукция $B_m = 1,5$ Тл ;

$f = 50$ Гц ; От трансформатора потребляется активная мощность $P_2 = 810$ кВт
при коэффициенте мощности $\cos\varphi = 0,9$

- **Определить:**
- Номинальные токи в обмотках и токи при фактической нагрузке.
- Числа витков обмоток.
- КПД трансформатора при номинальной и фактической нагрузках.

РАСЧЁТ

1 Номинальные токи в обмотках:

$$I_{ном1} = S_{ном} / \sqrt{3} \cdot U_{ном1} = 1000 / 1,73 \cdot 10 = 58 \text{ A}$$

$$I_{ном2} = S_{ном} / \sqrt{3} \cdot U_{ном2} = 1000 / 1,73 \cdot 400 = 1145 \text{ A}$$

2 Мощность трансформатора при фактической нагрузке:

$$S_2 = \frac{P_2}{\cos \varphi_2} = \frac{810}{0,9} = 900 \text{ кВА.}$$

3 Коэффициент нагрузки трансформатора:

$$K_n = \frac{S_2}{S_{ном}} = \frac{900}{1000} = 0,9$$

4 Токи в обмотках при фактической нагрузке:

$$I_I = K_n \cdot I_{номI} = 0,9 \cdot 58 = 52 \text{ A} \quad I_2 = K_n \cdot I_{ном2} = 0,9 \cdot 1145 = 1300 \text{ A}$$

5 Фазные ЭДС, наводимые в обмотках : $U_{ном1} = E_{1\phi}$

$$E_{1\phi} = 4,44 f W_1 \Phi_m = 4,44 f W_2 B_m Q \quad W_1 = E_{1\phi} / (4,44 f B_m Q) = 10000 / (4,44 \cdot 50 \cdot 1,5 \cdot 0,045) = 667$$

ВИТКОВ

$$\text{Здесь } Q = 450 \text{ см}^2 = 0,045 \text{ м}^2, \quad U_{ном2} = \sqrt{3} E_{2\phi}$$

$$W_2 = W_1 \cdot E_{2\phi} / E_{1\phi} = 667 \cdot 230 / 10000 = 15 \text{ ВИТКОВ}$$

РАСЧЁТ

6 КПД трансформатора при номинальной нагрузке:

$$\eta_{ном} = S_{ном} \cdot \cos \varphi_2 \cdot 100 \% / (S_{ном} \cdot \cos \varphi_2 + P_{см} + P_{0ном}) =$$

$$= \frac{1000 \cdot 0,9 \cdot 100\%}{1000 \cdot 0,9 + 2,45 + 12,2} = 98,4\%$$

КПД при фактической нагрузке:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{K_H \cdot S_{ном} \cdot \cos \varphi_2 \cdot 100\%}{K_H \cdot S_{ном} \cdot \cos \varphi_2 + P_{см} + K_H^2 \cdot P_{оном}} = \\ &= \frac{0,9 \cdot 1000 \cdot 0,9 \cdot 100\%}{0,9 \cdot 1000 \cdot 0,9 + 2,45 + 0,9 \cdot P_{оном}} = 98,5\%. \end{aligned}$$

Пример 2

Однофазный понижающий трансформатор: $S_{ном} = 500 \text{ ВА}$; $U_{ном1} = 380 \text{ В}$,
 $U_{ном2} = 24 \text{ В}$

К трансформатору присоединены десять ламп накаливания мощностью
 40 Вт ; $\cos\varphi_2 = 1,0$; $\Phi_m = 0,005 \text{ Вб}$. Частота тока в сети $f = 50 \text{ Гц}$.

Потерями в трансформаторе пренебречь

- Определить:
- номинальные токи в обмотках;
- коэффициент нагрузки трансформатора;
- токи в обмотках при действительной нагрузке;
- числа витков обмоток;
- коэффициент трансформации

Решение

1 Номинальные токи в обмотках:

$$I_{ном1} = \frac{S_{ном}}{U_{ном1}} = \frac{500}{380} = 1,32 A \quad I_{ном2} = \frac{S_{ном}}{U_{ном2}} = \frac{500}{24} = 20,8 A$$

2 Активная мощность: $P_2 = P_{л} \cdot n = 40 \cdot 10 = 400 Bm$

3 Коэффициент нагрузки трансформатора:

$$S_2 = \frac{P_2}{\cos \varphi_2} = \frac{400}{1} = 400 BA \quad K_n = \frac{S_2}{S_{ном}} = \frac{400}{500} = 0,8$$

4 Токи в обмотках при действительной нагрузке:

$$I_1 = K_n \cdot I_{ном1} = 0,8 \cdot 1,32 = 1,06 A \quad I_2 = K_n \cdot I_{ном2} = 0,8 \cdot 20,8 = 16,6 A$$

5 В режиме холостого хода $E_2 \approx U_{ном2}$; $E_1 \approx U_{ном1}$ (Опр. число витков)

$$W_1 = \frac{E_1}{4,44 f \Phi_m} = \frac{380}{4,44 \cdot 50 \cdot 0,005} = 340 \quad W_2 = \frac{E_2}{4,44 f \Phi_m} = \frac{24}{4,44 \cdot 50 \cdot 0,005} = 22$$

6 Коэффициент трансформации

$$K = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{340}{22} = 15,5$$

Задание на самостоятельную работу

- **Данилов, И.А.** Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. – 752 с., с.69-86,93-95.

ЗАНЯТИЕ №23 групповое

АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Цель занятия: изучить устройство, принцип действия, физические процессы работы асинхронного двигателя и его характеристики

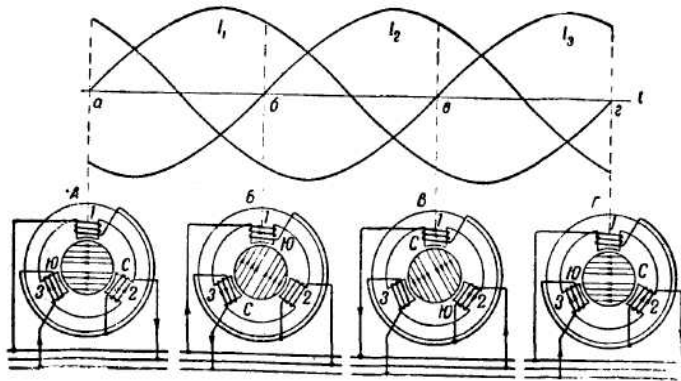
Учебные вопросы

- 1 Устройство и принцип действия асинхронного двигателя**
- 2 Характеристики асинхронного двигателя, пуск и регулирование скорости**
- 3 КПД и коэффициент мощности**

Устройство и принцип действия асинхронного двигателя

В асинхронных машинах частота вращения ротора не совпадает с частотой вращения магнитного поля.

Совокупность магнитных полей, создаваемых токами трех катушек, является вращающим магнитным полем



Частота вращения поля n_1 определяется частотой питающего тока f_1

$$n_1 = 60 f_1$$

Если увеличивать число катушек в фазе в P_1 раз. Тогда $n_1 = (60 f_1) / P_1$, где P_1 – желаемое число пар полюсов.

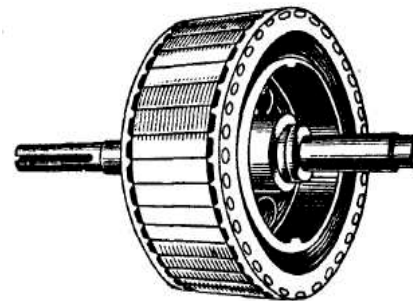
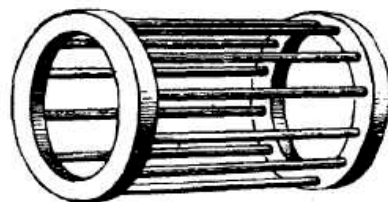
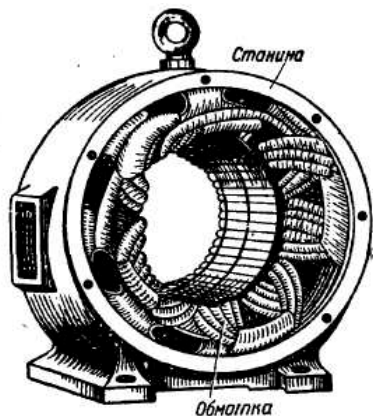
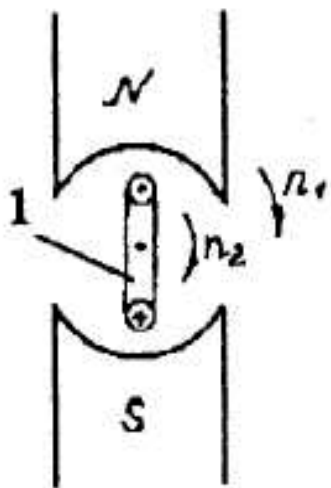
Устройство и принцип действия асинхронного двигателя

Принцип работы АД может быть рассмотрен на простой модели

Между полюсами магнита NS свободно на оси расположен короткозамкнутый виток.

ЭДС и ток в витке могут возникнуть только при условии, что виток пересекается магнитным полем, поэтому частота вращения витка $n_2 < n_1$, т.е. вращения витка асинхронное.

Асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором состоит из двух основных частей: неподвижной части – статора, и подвижной – ротора



Корпус двигателя имеет паспортную табличку, на которой указывается тип, номинальное напряжение, номинальная мощность, ток, число оборотов, КПД, $\cos \phi$ двигателя, завод изготовитель и год выпуска.

Характеристики асинхронного двигателя. Пуск и регулирование скорости двигателя

Отставание ротора от вращающегося магнитного поля статора характеризуется величиной скольжения

$$S = n_1 - n_2 / n_1$$

$$S = [(n_1 - n_2) / n_1] \cdot 100\%$$

При $0 < S < 1$ машина работает в режиме двигателя. Если ротор раскрутить до частоты $n_2 (n_2 > n_1)$, то машина перейдет в режим генератора ($S < 0$).

Пусть нагрузка возрастает на валу, т.е. $M_{пр}$ (при устойчивой работе $M_{вр} = M_{пр}$).

По этой причине начинает падать n_2 , S , т.к. $n_2 \downarrow - E_2 \uparrow - I_2 \uparrow - M_{вр} \uparrow$ до тех пор, пока $M_{вр} = M_{пр}$, но с более низкой частотой вращения.

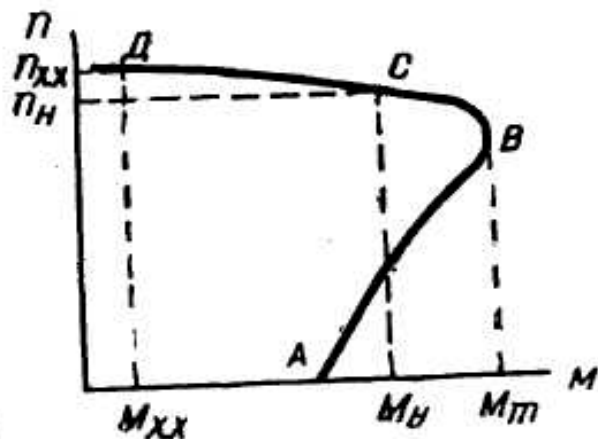
$M_{вр} \sim U^2$ – квадрату приложенного напряжения, т.к. $\Phi \sim U$ и $I_2 \sim U$. Поэтому изменение напряжения в сети вызывает значительное изменение вращающего момента.

Механическая характеристика

Механическая характеристика – это зависимость $n_2 = f(M_{вр})$.

Когда двигатель приводит в действие механизм и работает с номинальной нагрузкой, его вращающему моменту M_n соответствует номинальная

CKD

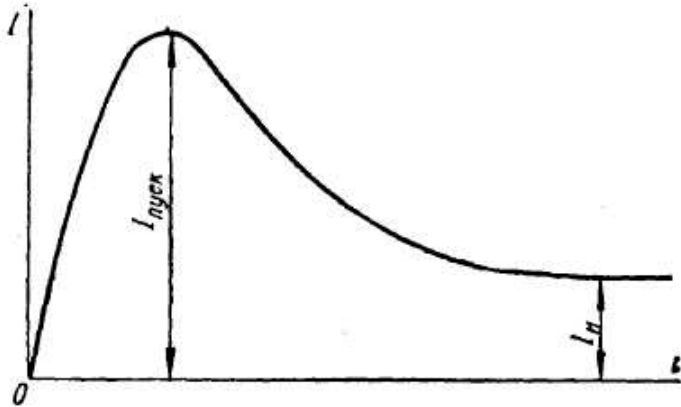


Из графика видно, что при увеличении нагрузки от 0 до номинальной скорость n падает незначительно, всего на 4-8%. В этом случае говорят, что двигатель имеет жесткую механическую характеристику

Если противодействующий момент рабочего механизма станет больше, чем $M_{\max}$, то вращающий момент двигателя уменьшится, скорость вращения ротора быстро падает и двигатель останавливается (участок BA).

В каталогах для каждого двигателя указывается краткость пускового тока ($I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}}$) и кратность пускового момента ($M_{\text{пуск}}/M_{\text{ном}}$).

Пуск асинхронного двигателя



В момент включения, когда ротор двигателя неподвижен, его обмотка пересекается вращающимся полем статора с наибольшей скоростью, поэтому E_2 имеет наибольшее значение. Следовательно, I_2 имеет большую величину

Сила пускового тока зависит от конструкции электродвигателя и может превышать номинальный ток в 5-7 раз.

ПРЯМОЙ ПУСК применяют для двигателей малой и средней мощности, если мощность АД меньше мощности сети.

ПУСК ПРИ ПОНИЖЕННОМ НАПРЯЖЕНИИ применяют, когда мощность двигателя соизмерима с мощностью сети.

$\downarrow U \rightarrow \downarrow I_{\text{пуск}}$ и $\downarrow M_{\text{пуск}}$ ($M_{\text{вр}} \sim U^2$), поэтому такой пуск применяется, когда есть возможность отключить нагрузку на момент пуска.

ПУСК при переключении обмоток с «треугольника» на «звезду»

Трансформаторный (автотрансформаторный) пуск

Регулирование частоты вращения

$$n_2 = n_1(1 - S) = 60 f_1 / P(1 - S)$$

Регулировать частоту вращения ротора можно:

- 1) изменением частоты питающей сети
- 2) изменением числа пар полюсов

Для изменения направления вращения ротора электродвигателя, надо изменить направление вращения магнитного поля. Это осуществляется путем переключения двух соседних фаз

КПД и коэффициент мощности

$$\eta = \left[P_1 - (P_m + P_c + P_{\text{мех}} + P_{\text{доб}}) \right] P_1 \times 100\%$$

где P_1 – мощность, потребляемая двигателем из сети

$P_m \sim I^2$ – потери в обмотках (потери меди)

P_c – потери стали (потери на гистерезис и вихревые токи)

$P_{\text{мех}}$ – механические потери, обусловленные трением

$P_{\text{доб}}$ – определяется пульсациями магнитного потока, зависит от нагрузки

При нормальном режиме его значение лежит в пределах $\eta = 0,9 - 0,95$.

$\cos \varphi$ показывает, какая часть полной мощности, поступающая из сети, расходуется на покрытие потерь и преобразуется в механическую работу. $\cos \varphi = 0,7 - 0,9$ – при нормальном режиме. $\cos \varphi = 0,2 - 0,3$ – при холостом ходе.

Задание на самостоятельную
работу: **изучить характеристики, пуск и
управление работой асинхронных двигателей**

Данилов, И.А. Общая электротехника с
основами электроники. [Текст] Учебное
пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-
06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. –
752 с., с. 199-219, 222-230 .

Тема №9 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

ЗАНЯТИЕ №24 групповое

СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР

Цель занятия: изучить работу, устройство и характеристики синхронных генераторов, особенности работы синхронных генераторов на автомобиле

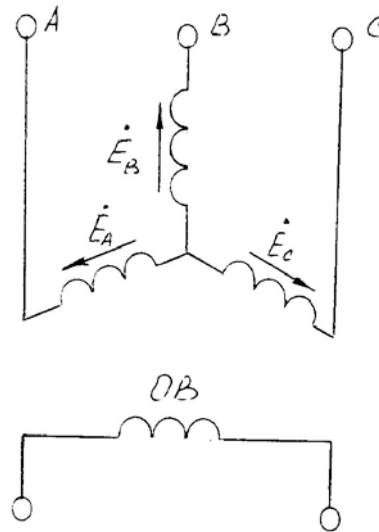
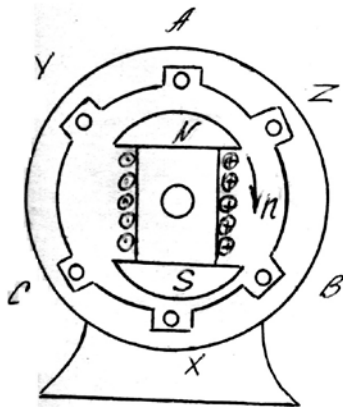
Учебные вопросы

- 1 Принцип действия и устройство синхронного генератора**
- 2 Основные характеристики и особенности работы синхронного генератора на автомобилях**
- 3 Понятие о синхронном двигателе**

Принцип действия и устройство синхронного генератора

Синхронными называются электрические машины, в которых частота вращения ротора совпадает с частотой вращения магнитного поля статора

Устройство статора(**якоря**) синхронной машины не отличается от устройства статора асинхронной машины. В пазах сердечника располагается трехфазная обмотка AX, BY, CZ .



Ротор представляет собой электромагнит(**индуктор**). Обмотки ротора OB питаются постоянным током и возбуждают в машине основной магнитный поток. Ротор может выполняться и многополюсным с числом пар полюсов $P2$

В этом случае увеличивают $P1$
 $P1=P2$

Принцип действия и устройство синхронного генератора

При вращении ротора с частотой n_2 обмотках статора наводится ЭДС:

$$\begin{aligned} e_1 &= E_m \sin(2\pi f_1 t) \\ e_2 &= E_m \sin(2\pi f_1 t - 120^\circ) \\ e_3 &= E_m \sin(2\pi f_1 t + 120^\circ) \end{aligned} \quad f_1 = \frac{P n_2}{60}$$

Если обмотку статора подключить к какой-либо нагрузке, то в статоре появится трехфазная система тока, которая создает вращающееся магнитное поле, частота вращения которого:

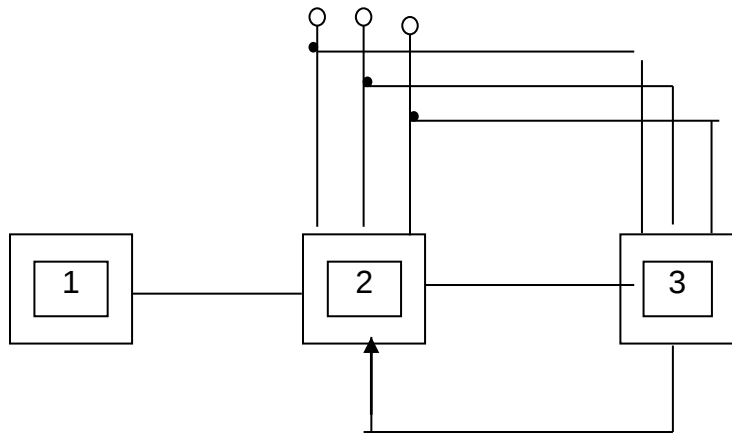
$$n_1 = \frac{60 f_1}{P} \quad \text{То есть } n_1 = n_2$$

ЭДС в обмотках статора $E = 4,44 K f_2 w_1 \Phi = C_E n_2 \Phi$

В промышленных генераторах регулирование ЭДС с целью поддержания $U = \text{const}$ можно вести только изменением Φ , а обороты ротора поддерживают строго постоянными, так как $f = 50$ Гц

$$\vec{U} = \vec{E} - I_{\text{я}} Z_{\text{я}}$$

Возбуждение генераторов



- 1 – первичный двигатель,
2 – синхронный генератор,
3 – трехфазный выпрямитель

Постоянный ток для ОВ в мощных генераторах с независимым возбуждением может подводиться через щетки и контактные кольца от генераторов постоянного или переменного тока с выпрямителем.

Генераторы меньшей мощности выполняется с самовозбуждением: обмотки возбуждения в этом случае питаются от основных обмоток генератора через выпрямитель

В машине, работающей под нагрузкой, магнитное поле машины создается не только потоком ротора (индуктора), но и потоком статора (якоря) – это называется реакцией якоря

$$\Phi_{рез} = \Phi_{ОВ} + \Phi_{Я}$$

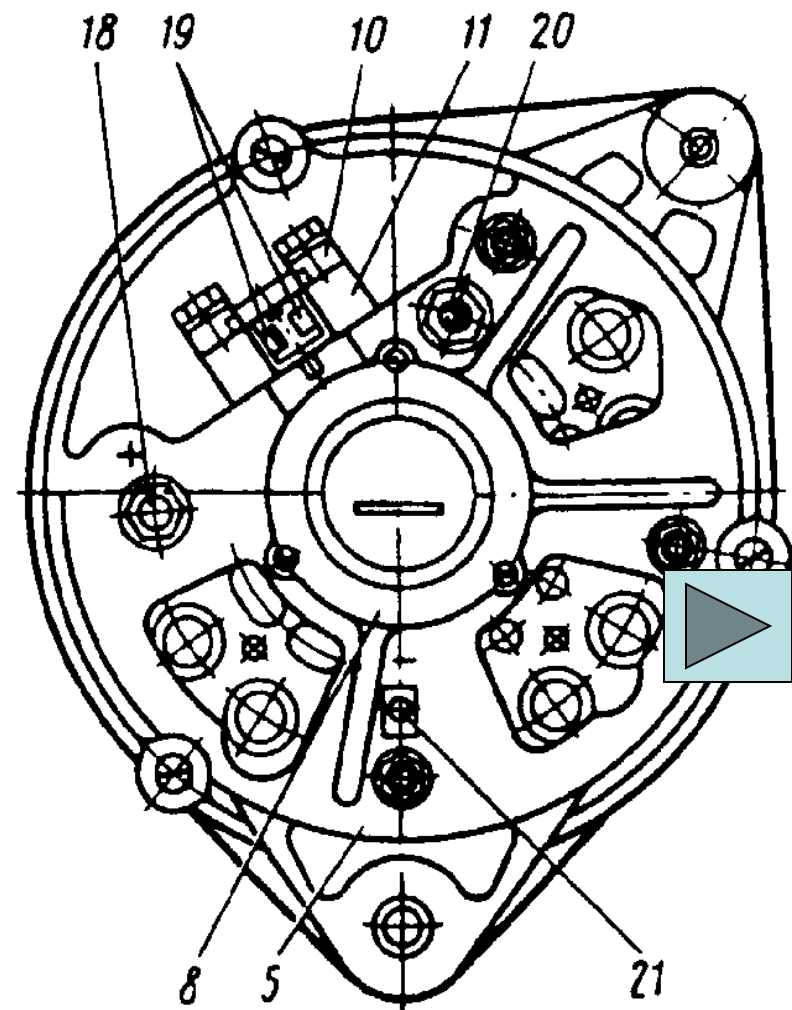
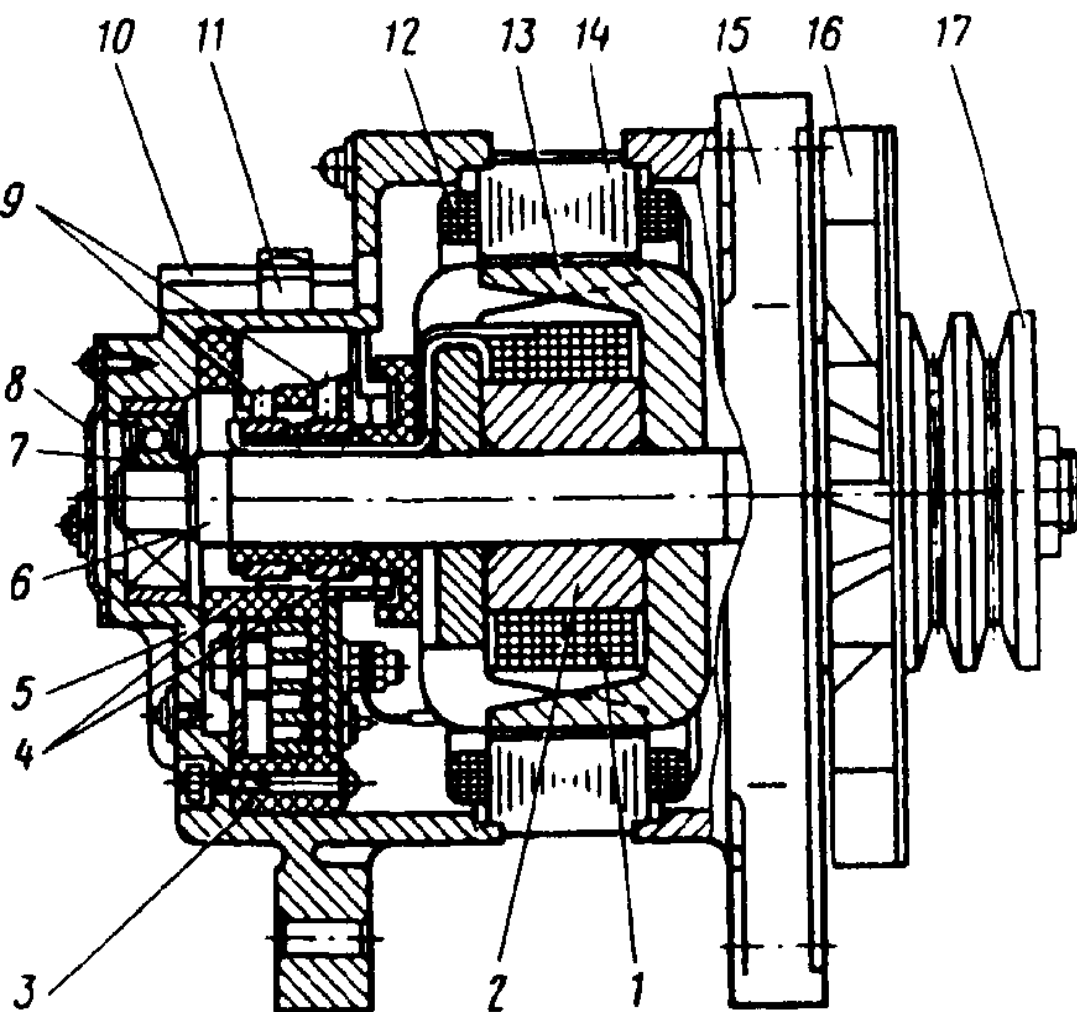
Под воздействием реакции якоря изменяется результирующий поток в машине (уменьшается или увеличивается в зависимости от нагрузки),

Основные характеристики и особенности работы синхронного генератора на автомобилях

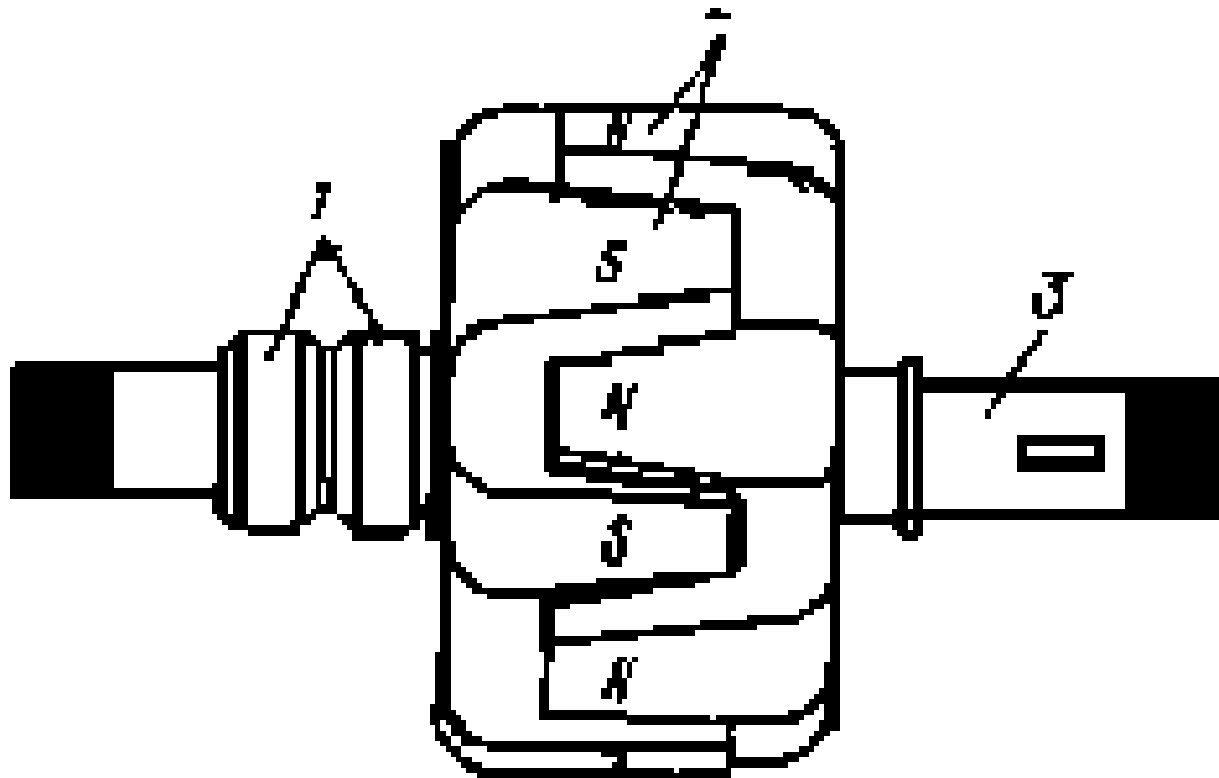
Требования к генераторам:

- $U_g = \text{const}$ (14 или 28В) во всём диапазоне изменения I_g и n
- Обеспечивать положительный баланс энергии
- Иметь ресурс больше ресурса двигателя
- Сохранять работоспособность после преодоления брода

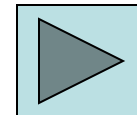
Генератор Г288Е



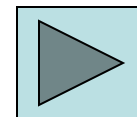
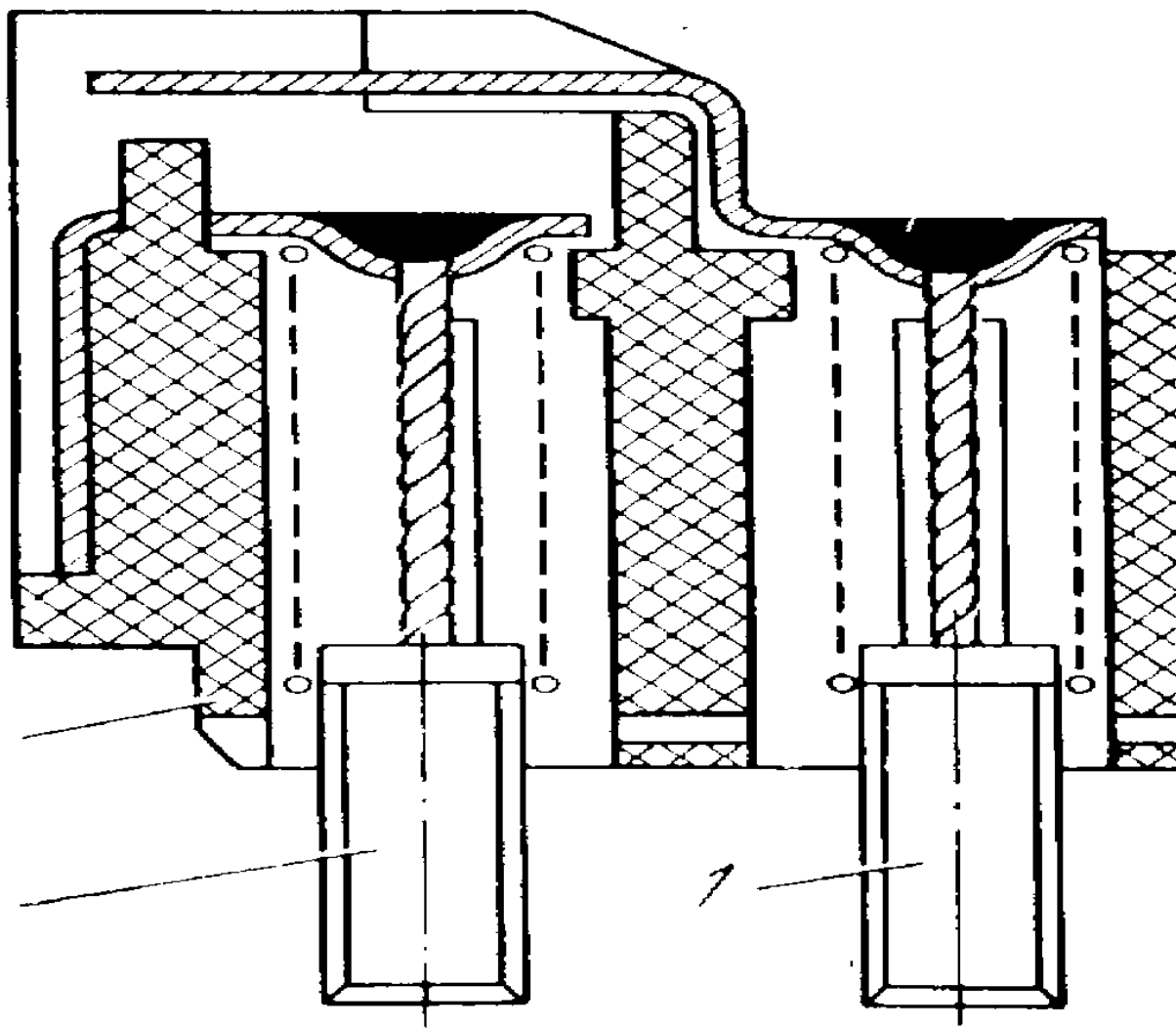
Ротор генератора переменного тока



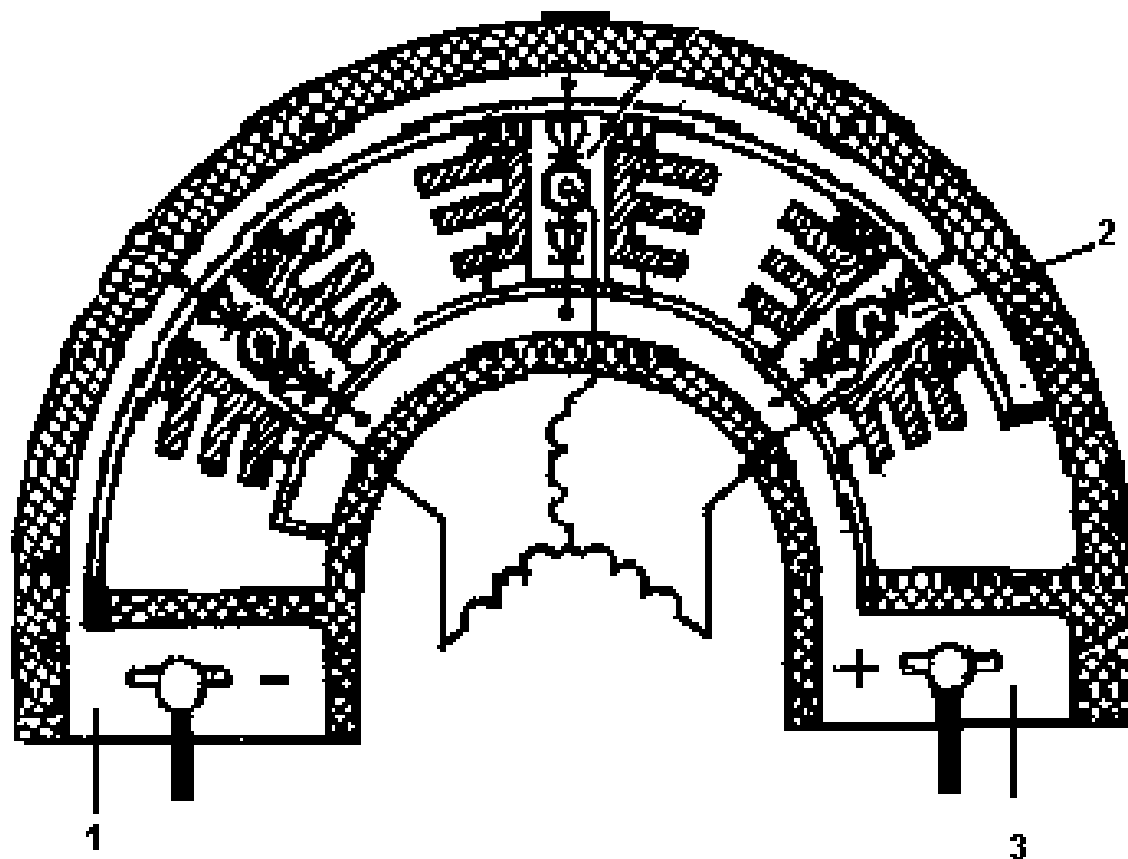
1 – контактные кольца; 2 – полюсные наконечники;
3 – вал.



Щеткодержатель

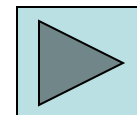


Выпрямительный блок ВБГ 1



1-отрицательная контактная пластина

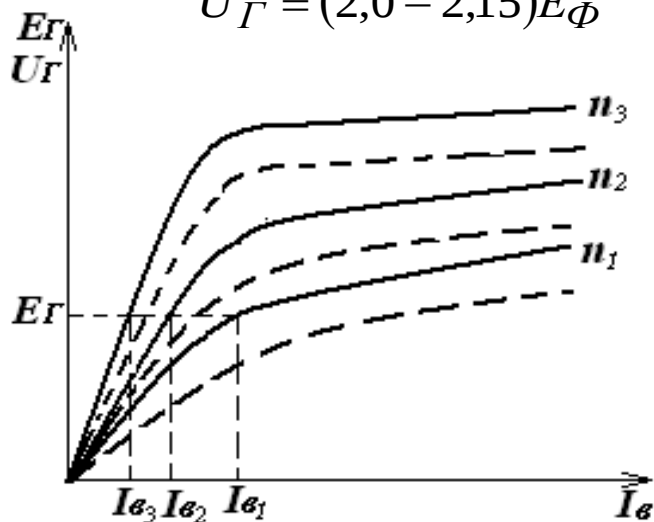
2-моноблок 3-положительная контактная пластина



$$E_{\Gamma}, U_{\Gamma} = f(I_{\theta}) \text{ при } n = \text{const}$$

$$E_{\Gamma} = \sqrt{3}E_{\Phi} \quad E_{\Phi} = 4,44K_{об} f w \Phi$$

$$U_{\Gamma} = (2,0 - 2,15)E_{\Phi}$$



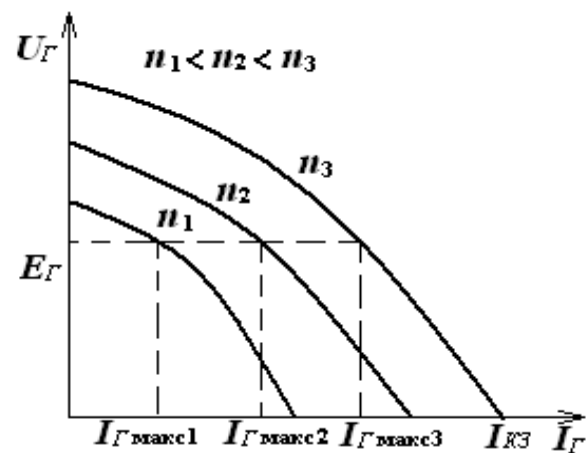
— - характеристика холостого хода $I_H = 0$
 - - - - - нагрузочная характеристика

$$U_{\Gamma} = E_{\Gamma} - I_H \cdot r_{\Gamma}$$

Рисунок 1 – Семейство характеристик холостого хода и нагрузочных генератора

$$U_{\Gamma} = f(I_{\Gamma}) \text{ при } n = \text{const}$$

$$U_{\Gamma} = c_e n \Phi - I_H r_{\Gamma}$$



$$I_{кз} = \frac{E_{\Gamma}}{r}$$

Рисунок 2 - Семейство внешних характеристик генератора

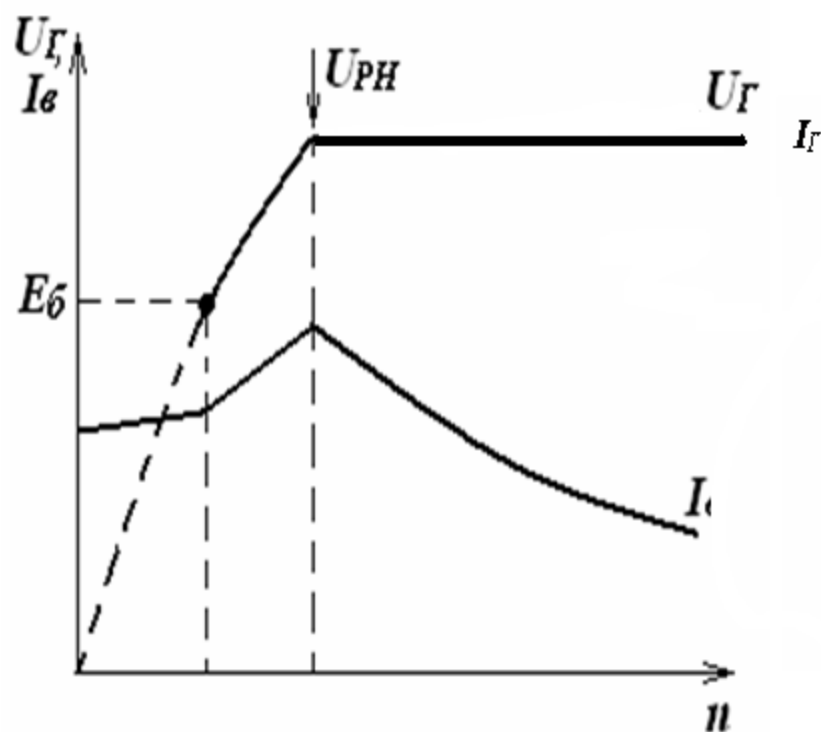


Рисунок 5 – Регулировочная характеристика генераторной установки переменного тока

Генератор переменного тока

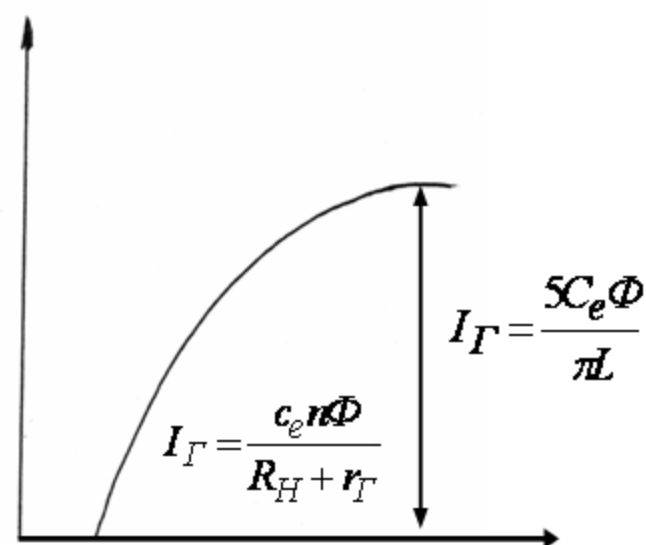
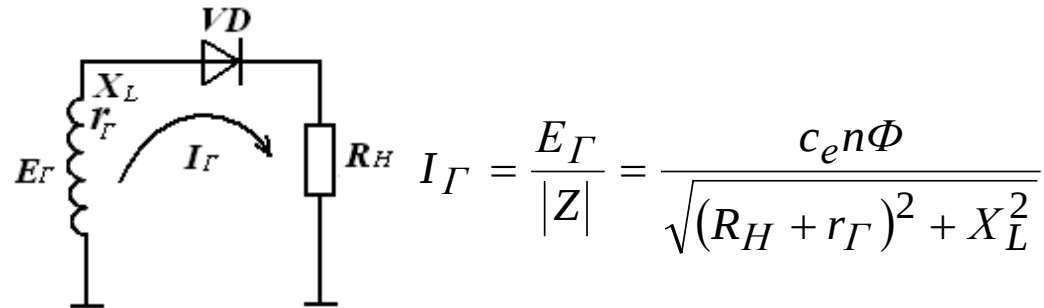


Рисунок 4 – Токоскоростная характеристика генератора постоянного и переменного тока



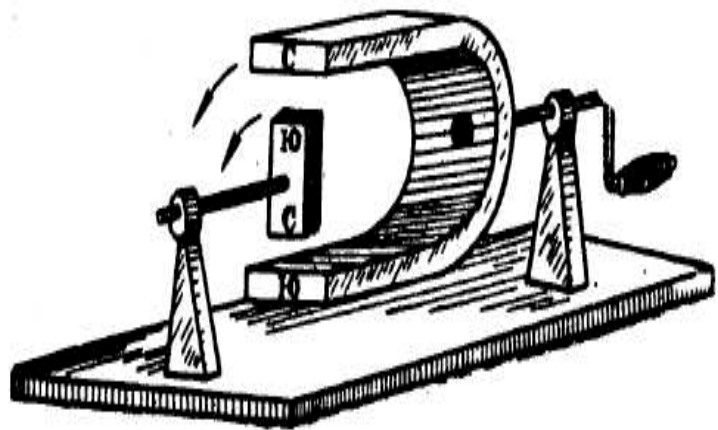
$$1) \ n \rightarrow 0, X_L \rightarrow 0, \quad I_{\Gamma} = \frac{c_e n \Phi}{R_H + r_{\Gamma}}$$

$$2) \ n \rightarrow \infty, X_L \rightarrow \infty, \quad I_{\Gamma} = \frac{c_e n \Phi}{X_L} = \frac{c_e n \Phi}{2\pi f L} = \frac{c_e n \Phi}{2\pi \frac{np}{60} L}$$

$$p=6 \quad I_{\Gamma} = \frac{5c_e \Phi}{\pi L}$$

Рисунок 5 – Вывод выражений для тока генератора

Понятие о синхронном двигателе



Ротор у реальной машины массивный, а скорость магнитного поля статора от 0-3000 об/мин, а на один оборот требуется 0,02 с. Поэтому мгновенно оказавшись в быстро вращающемся магнитном поле, тяжелый ротор будет только вибрировать с f , соответствующей скорости вращения магнитного поля, но вращение так и не начнется.

Поэтому необходимо с помощью постороннего воздействия раскрутить ротор. Для пуска синхронного двигателя можно применять асинхронный пуск

Синхронные двигатели применяются в технике, когда требуется получить строгое постоянство скорости вращения при изменении механической нагрузки, причем допускается пуск двигателя без нагрузки.

Задание на самостоятельную работу: изучить устройство, работу и характеристики синхронного генератора, особенности его работы на автомобиле

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. — 752 с., с. с.233-238 .

Тема №10 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

ЗАНЯТИЕ №26 групповое

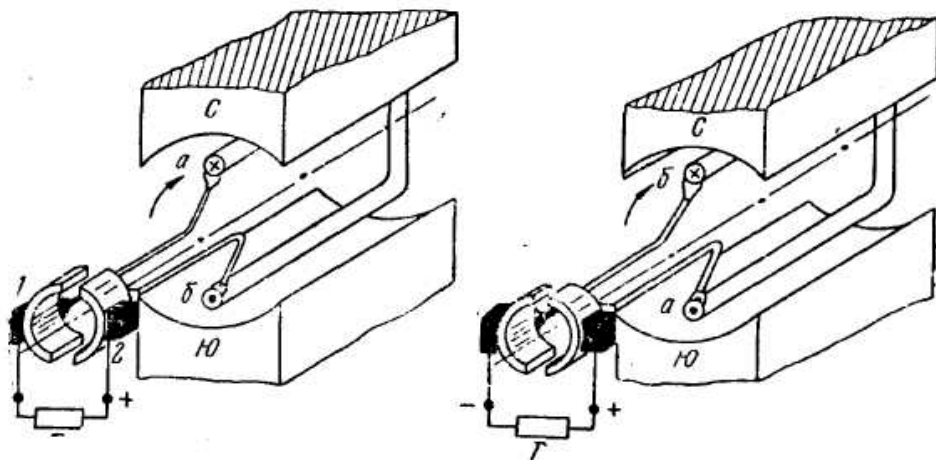
ГЕНЕРАТОРЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель занятия: изучить устройство и действие генераторов постоянного тока

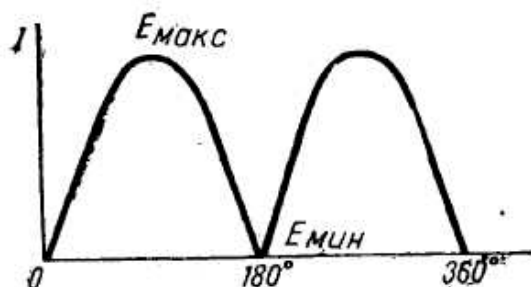
Учебные вопросы

- 1 Принцип действия генератора постоянного тока**
- 2 Устройство машины постоянного тока**
- 3 ЭДС и реакция якоря**

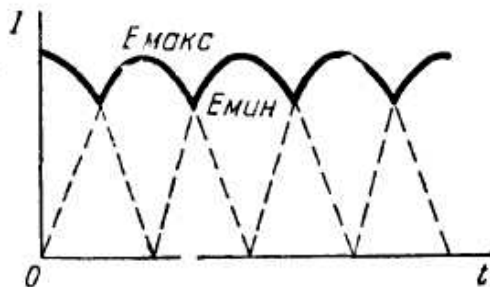
Принцип действия генератора постоянного тока



При вращении рамки с проводниками *a* и *б* в поле постоянного магнита в проводниках будут индуцироваться ЭДС. Направление этих ЭДС определяются по правилу правой руки



Выпрямленный ток имеет пульсирующий характер, причем, при одном витке величина пульсации составляет 100%. При увеличении количества витков пульсации сглаживаются



Так при двух витках, расположенных под углом 90 град. пульсации составляют всего 17%

В реальных машинах, выполняемых всегда с достаточно большим числом витков, пульсации ЭДС не превышают 0,1% и практически неощутимы.

Устройство машины постоянного тока

Основными частями генератора являются:

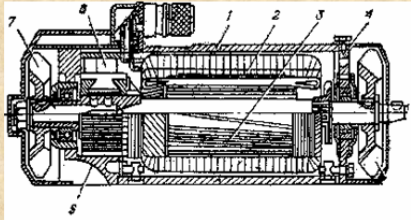


Рисунок 3.1 1-корпус; 2-обмотка возбуждения; 3- якорь;
4- крышка со стороны привода 5 и 7- вентиляторы; 6- крышка
со стороны коллектора; 8- щеткодержатель со щетками.

Генератор состоит из двух функциональных узлов: **якоря и индуктора**.

Якорь та часть – где наводится ЭДС, **индуктор** создаёт магнитное поле.

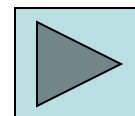
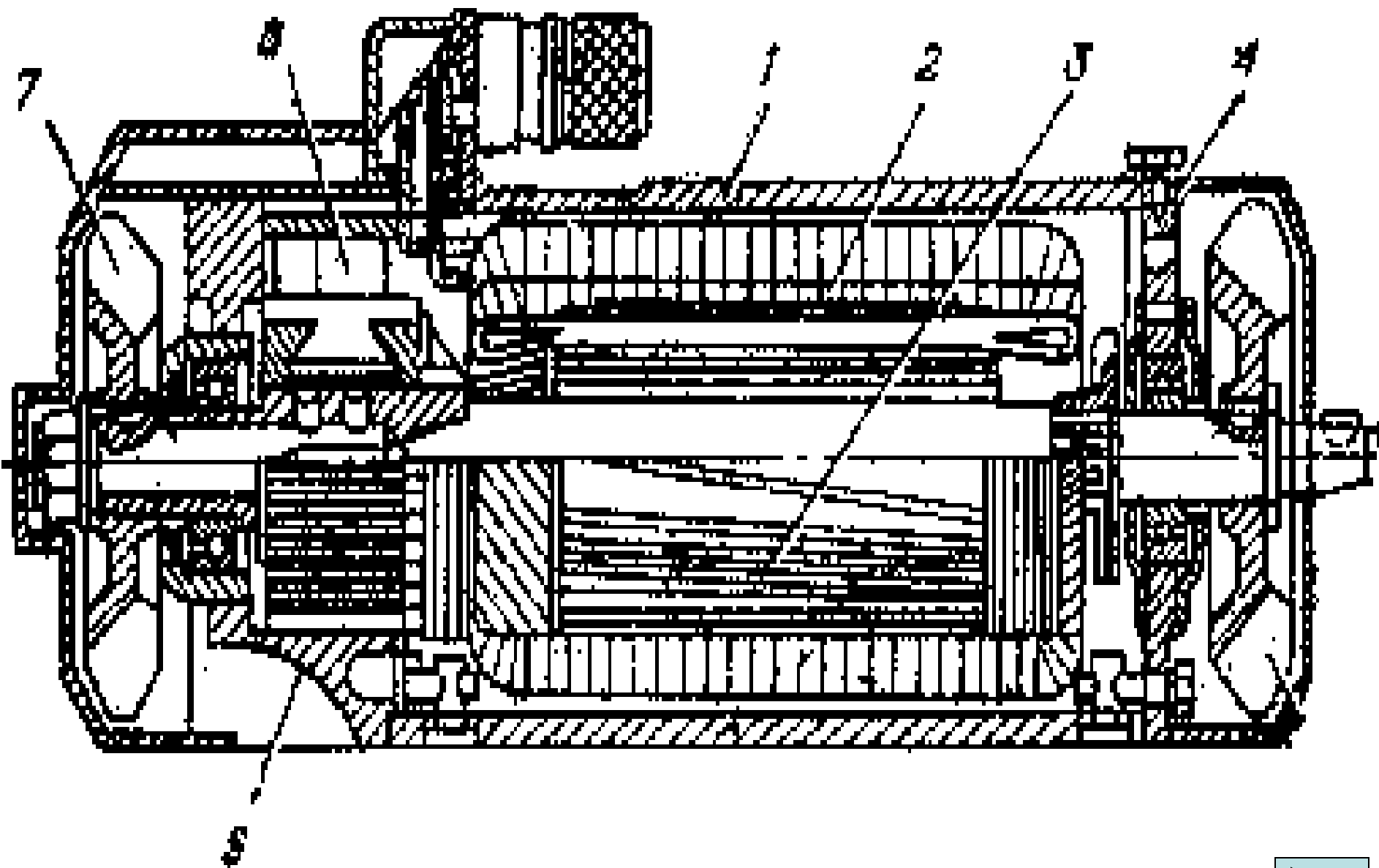
Конструктивно – из трёх частей: **статора, ротора, щётчного узла**.

Статор выполняет функцию индуктора и состоит: станина (корпус), полюса с катушками обмотки возбуждения. Станина и полюса являются магнитопроводом.

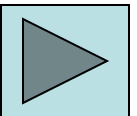
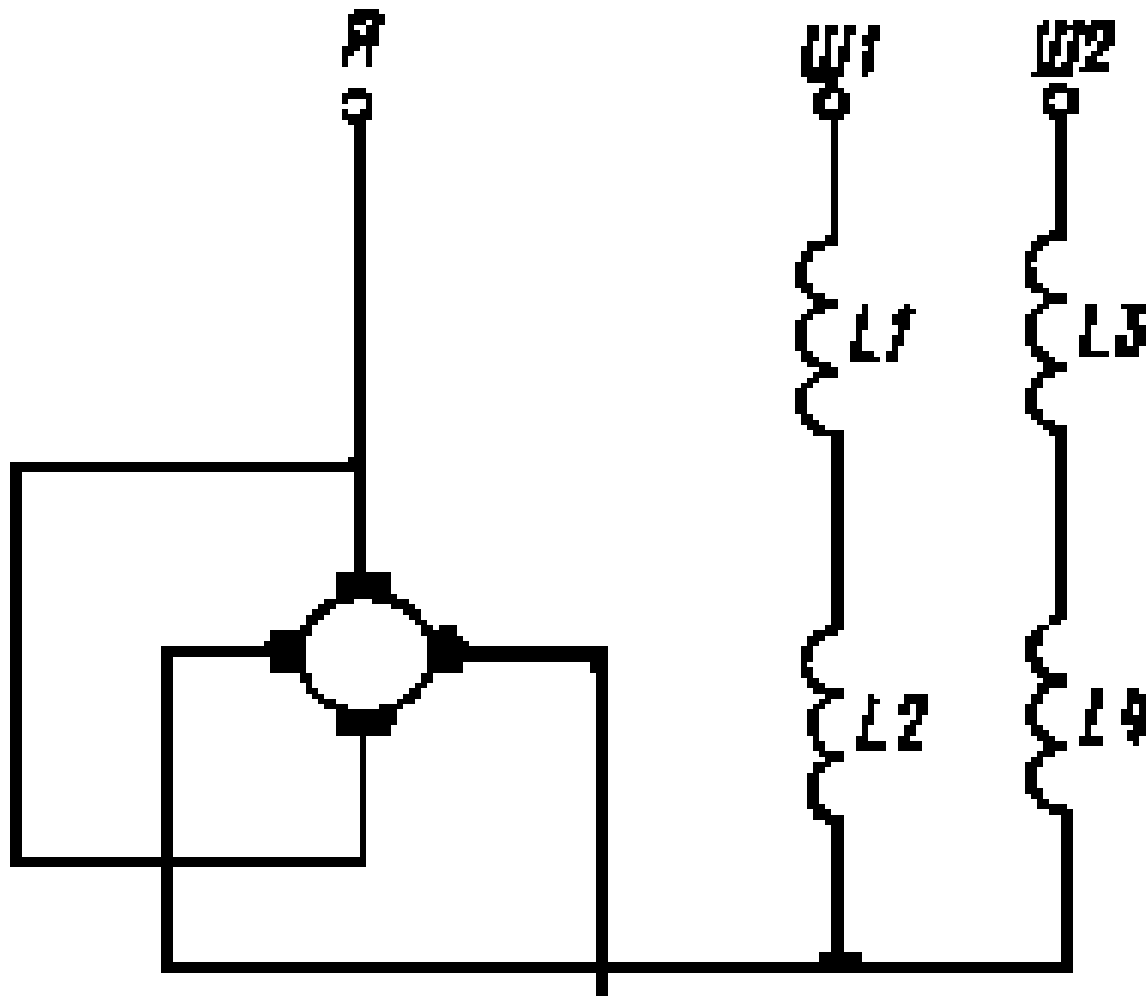
Ротор выполняет функцию якоря (вал, сердечник, обмотка, коллектор).

Сердечник якоря собран из пластин и выполняет роль магнито – провода.

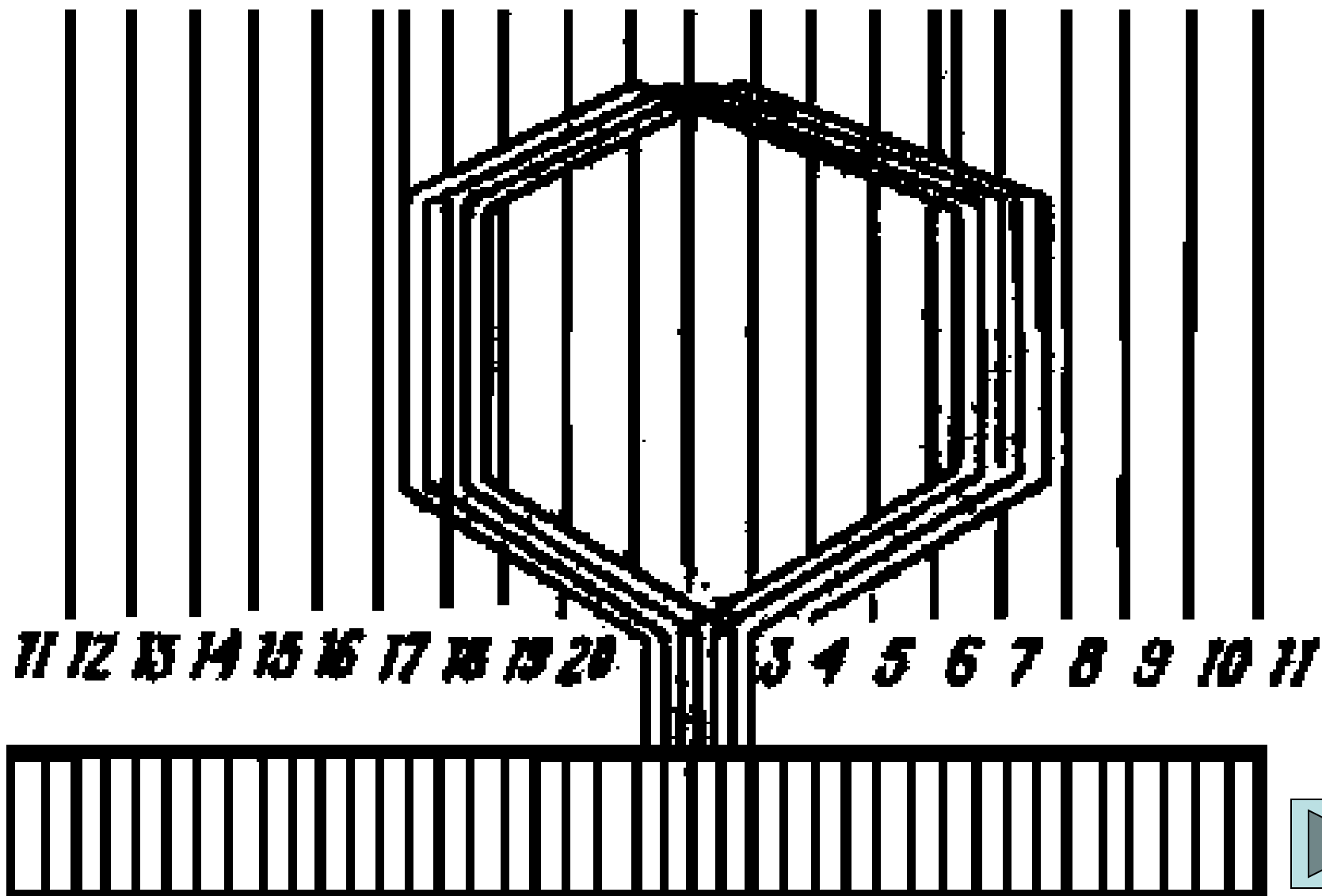
Коллектор выполняет роль выпрямителя



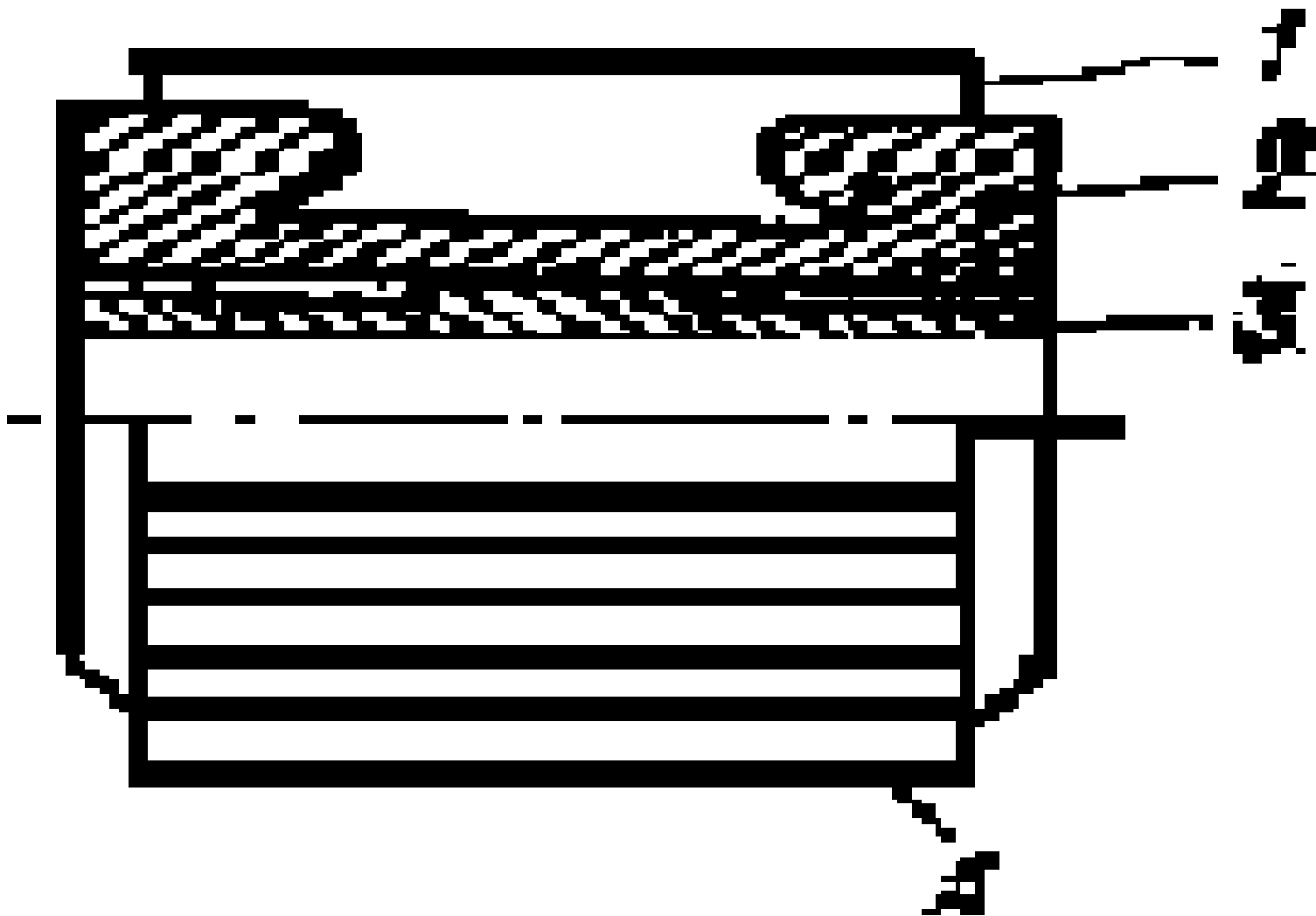
Электрическая схема генератора Г74



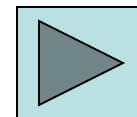
Развертка петлевой обмотки на плоскости.



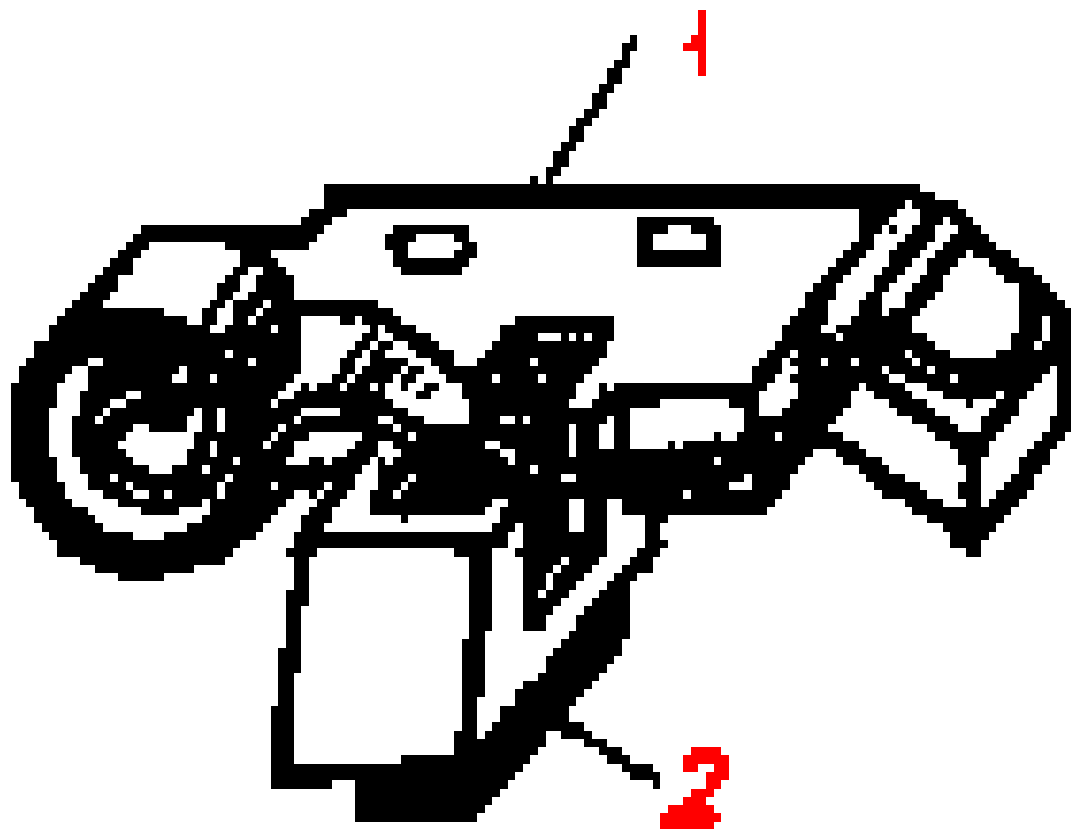
Коллектор



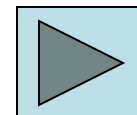
1—ламель; 2— пластмасса; 3 – втулка; А –
рабочая поверхность коллектора



Щеткодержатель генератора коробчатого типа



1 – щеткодержатель; 2 – щетка



ЭДС и реакция якоря

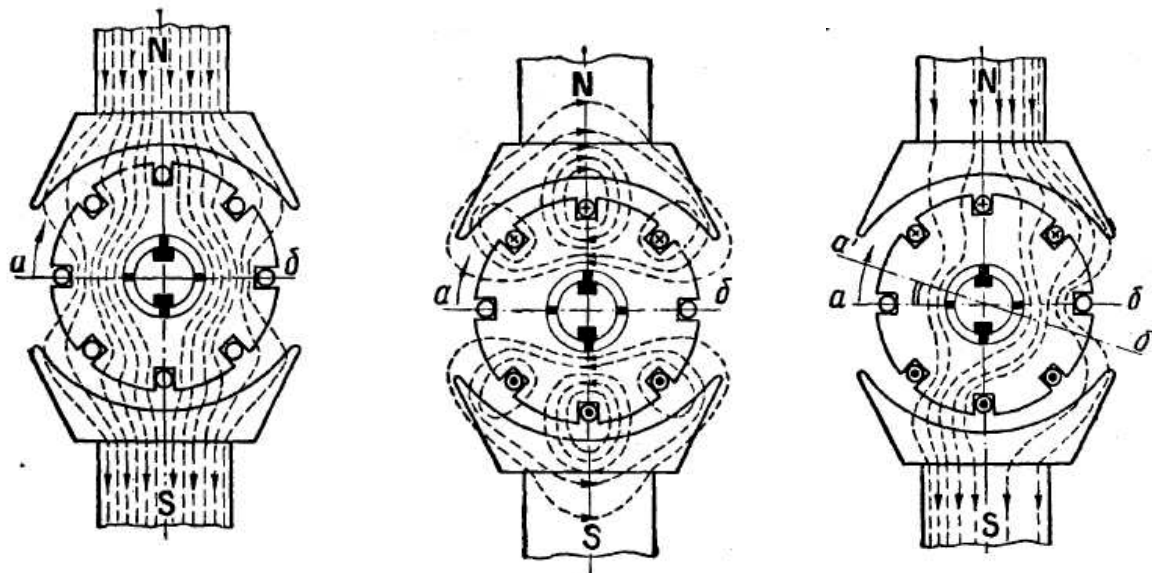
ЭДС, индуктированная в обмотке якоря, определяется выражением

$$E = C_E n \Phi$$

Величина электромагнитного момента определяется выражением:

$$M_{\text{эм}} = C_M I_a \Phi,$$

Явление воздействия магнитного поля, создаваемого током якоря, на магнитное поле главных полюсов называется реакцией якоря.



Задание на самостоятельную работу: изучить устройство и действие генератора постоянного тока

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. — 752 с., с. 239-260

Тема №10 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

ЗАНЯТИЕ №27 групповое

ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕНЕРАТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА

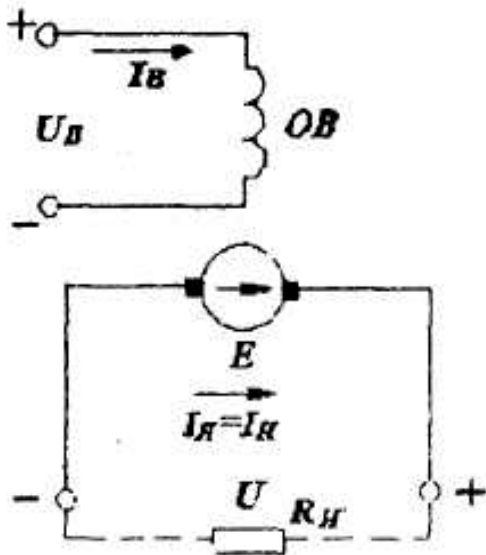
Цель занятия: изучить характеристики генераторов постоянного тока с независимым возбуждением, с самовозбуждением

Учебные вопросы

- 1. Генераторы с независимым возбуждением**
- 2. Генераторы с самовозбуждением**
- 3. КПД генератора постоянного тока**

Генераторы с независимым возбуждением

Различают генераторы с независимым возбуждением и с самовозбуждением

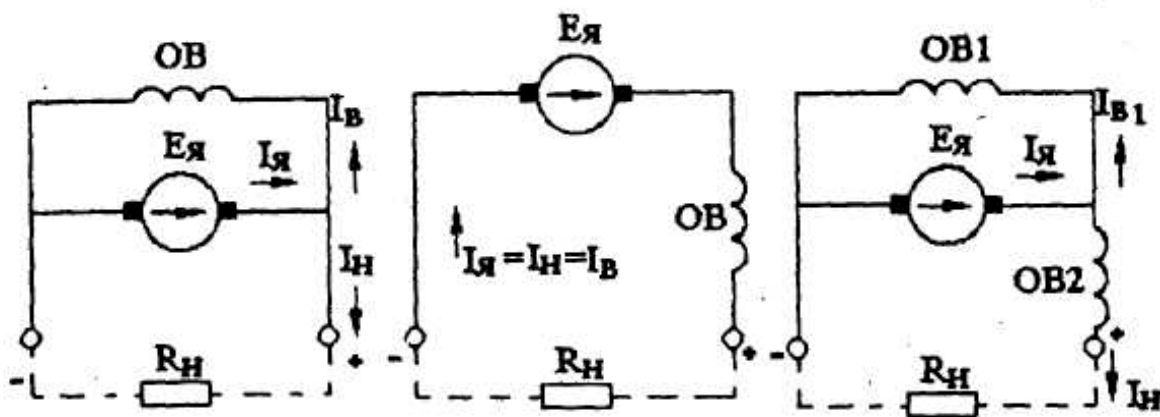


В генераторах с независимым возбуждением обмотка возбуждения $ОВ$ питается от независимого источника сети постоянного тока, батареи или вспомогательного источника, называемого возбудителем

Генераторы с самовозбуждением

Генераторы с самовозбуждением по способу соединения обмоток возбуждения и якоря разделяются на:

- генераторы с параллельным возбуждением /шунтовые/
- генераторы с последовательным возбуждением /сериесные/
- генераторы со смешанным возбуждением /компаудные/



$$I_A = I_B + I_H$$

$$I_A = I_B = I_H$$

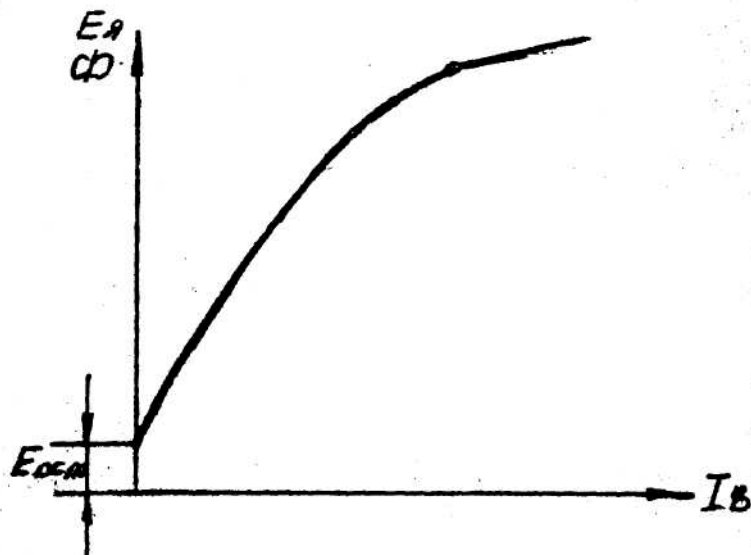
$$I_A = I_{B1} + I_{B2}$$

Наибольшее распространение получили генераторы с самовозбуждением. Возбуждение происходит за счёт остаточного магнетизма полюсов Фост

Характеристики генератора параллельного возбуждения

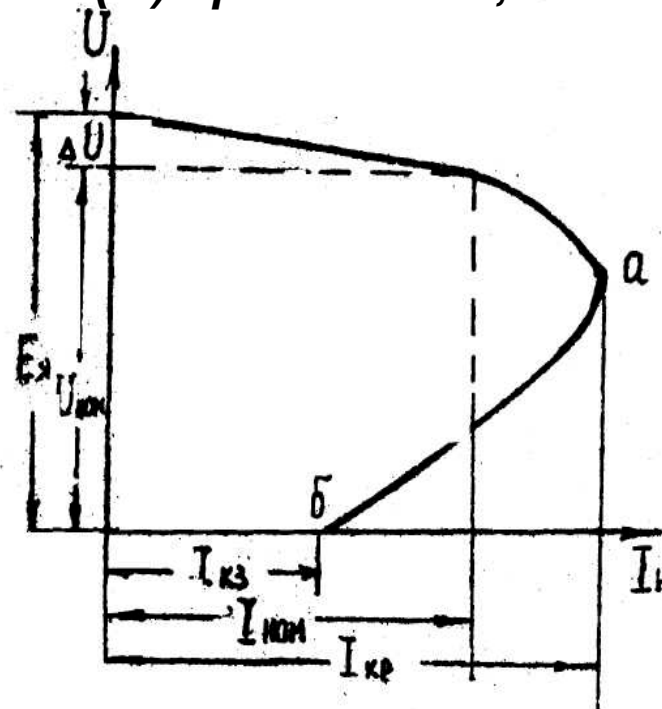
Характеристика холостого хода

$E_a = f(I_b)$ при $n = \text{const}$ и $I_H = 0$



Внешняя характеристика

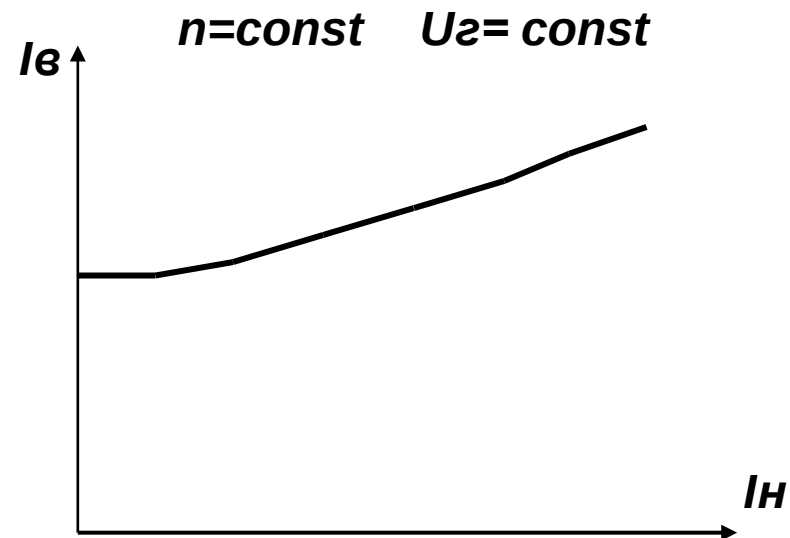
$U = f(I_H)$ при $n = \text{const}$, $I_b = \text{const}$



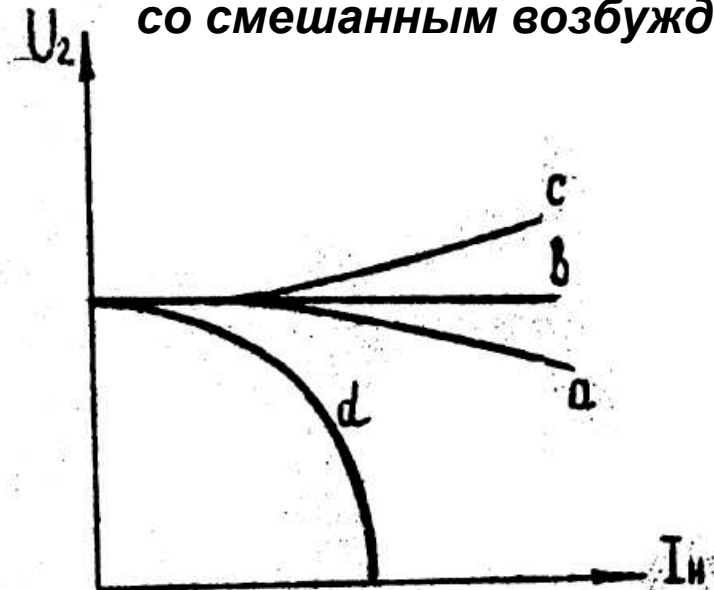
$$U = E_a - I_a r_a = C_e n \Phi - (I_H + I_b) r_a$$

Характеристики генератора

Регулировочная характеристика



Внешняя хар-ка генератора со смешанным возбуждением



а, в, с-согласованное вкл. послед. ОВ

д – встречное вкл. послед. ОВ

У автомобильных генераторов большой диапазон изменения нагрузки и частоты вращения

$U = E_a - I_a r_a = C_e n \Phi - I_a r_a$ следует, что $U = f(\Phi)$ т.е. регулировать напряжение генератора можно изменяя магнитный поток, т.е. меняя ток обмотки возбуждения.

КПД генератора постоянного тока

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% \quad P_2 = P_1 - \sum \Delta P \quad \eta = \frac{P_2}{P_2 + \sum \Delta P} \times 100\%$$

$\sum$ -
сумм
арна
я

$$\sum \Delta P_{\text{пот}} = P_{\text{эл.пот}} + P_{\text{мех}} + P_{\text{магн}} + P_{\text{возб}}$$

ь
пот

$$P_{\text{эл.пот}} = I_{\text{я}}^2 \times r_{\text{я}}$$

$$P_{\text{возб}} = I_{\text{ОВ}} \times U_{\text{я}}$$

Номинальное значение КПД машины мощностью от 1 до 100 кВт примерно 0,74-0,92. КПД машин малой мощности ниже

Задание на самостоятельную работу: изучить характеристики генераторов постоянного тока с независимым возбуждением, с самовозбуждением.

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. — 752 с., с. 260-268

Тема №10 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

ЗАНЯТИЕ №28 групповое

ДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель занятия: изучить принцип действия, устройство и характеристики двигателя постоянного тока

Учебные вопросы

- 1 Типы двигателей постоянного тока и их характеристики**
- 2 Двигатели последовательного возбуждения**
- 3 Двигатели смешанного возбуждением и сравнительная оценка ДПТ**
- 4 Управление работой ДПТ. Потери мощности и КПД ДПТ**

Типы двигателей постоянного тока и их характеристики

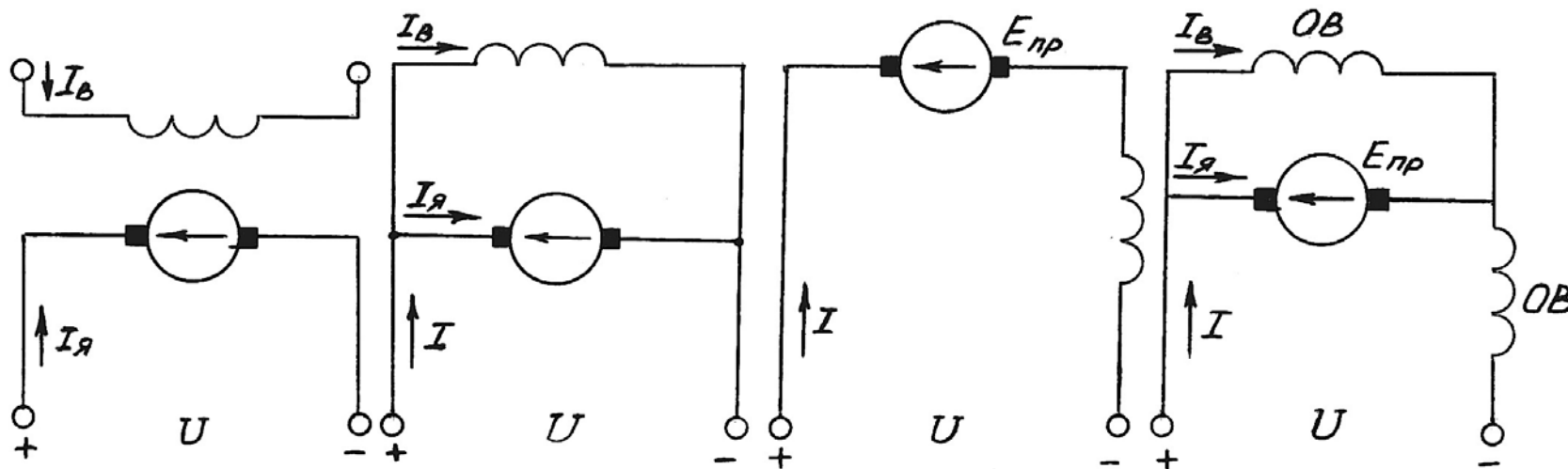
Первый ДПТ был изготовлен и использован в 1838 г. в России Б.С. Якоби.

ДПТ позволяют осуществлять плавное регулирование частоты вращения в любых пределах, создавая при этом большой пусковой момент.

Машины постоянного тока обладают свойством обратимости
Свойства ДПТ во многом определяются способом питания обмотки возбуждения ОВ.

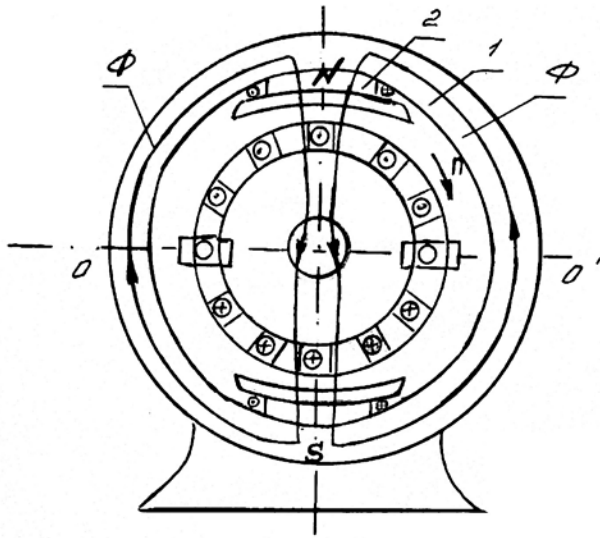
*Независимое
питание ОВ*

*Питание обмоток якоря и ОВ от одного
источника, при их соединении :*



параллельно последовательно смешанно

Типы двигателей постоянного тока и их характеристики



Электромагнитный момент $M_{эм}$, вызванный взаимодействием магнитного потока Φ и тока якоря $I_{я}$ равен $M_{эм} = C_m I_{я} \Phi$.

$$M_{вр} = M_{эм} = C_m I_{я} \Phi$$

$$M_{вр} = M_c$$

При вращении якоря в магнитном поле согласно закону электромагнитной индукции в его обмотке возникает ЭДС $E_{пр} = C_e \Phi n$,

Для двигателя параллельного возбуждения

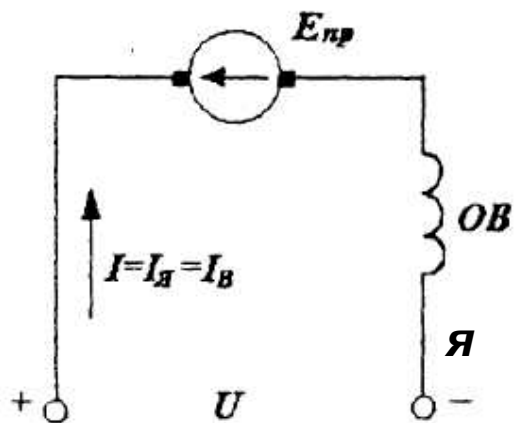
$$U = E_{пр} + I_{я} \cdot r_{я} \longrightarrow I_{я} = \frac{U - E_{пр}}{r_{я}} \rightarrow n = \frac{U - I_{я} r_{я}}{C_e \Phi}$$

Для двигателя последовательного и смешанного возбуждения

$$U = E_{пр} + I_{я} \cdot (r_{я} + R_{ов}) \longrightarrow I_{я} = \frac{U - E_{пр}}{r_{я} + R_{ов}} \rightarrow n = \frac{U - I_{я} (r_{я} + R_{ов})}{C_e \Phi}$$

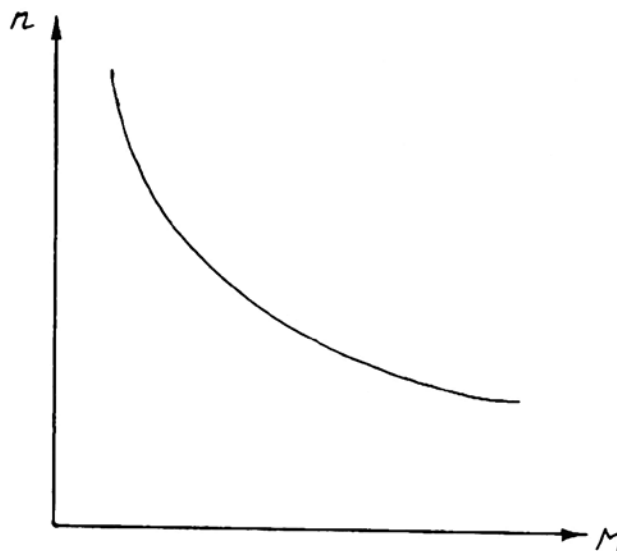
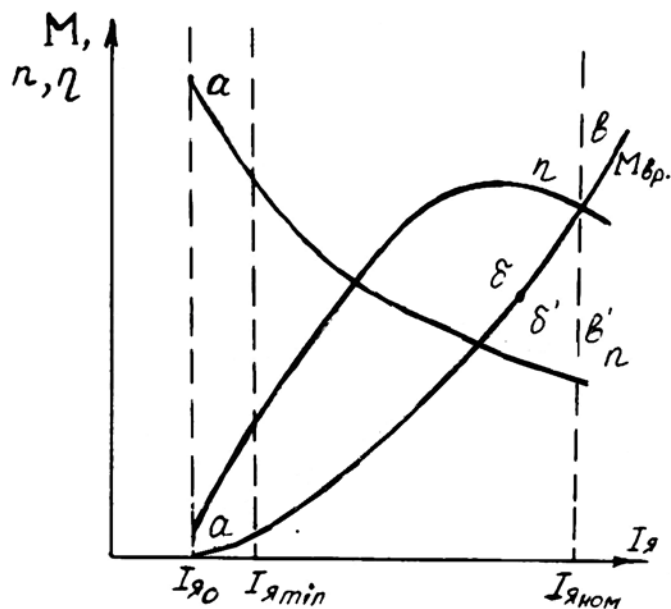
Для оценки свойства электродвигателей используют: а) механическую характеристику $n = f(M)$; б) моментную характеристику $M_{вр} = f(I_{я})$; в) скоростную характеристику $n = f(I_{я})$.

Двигатель последовательного возбуждения

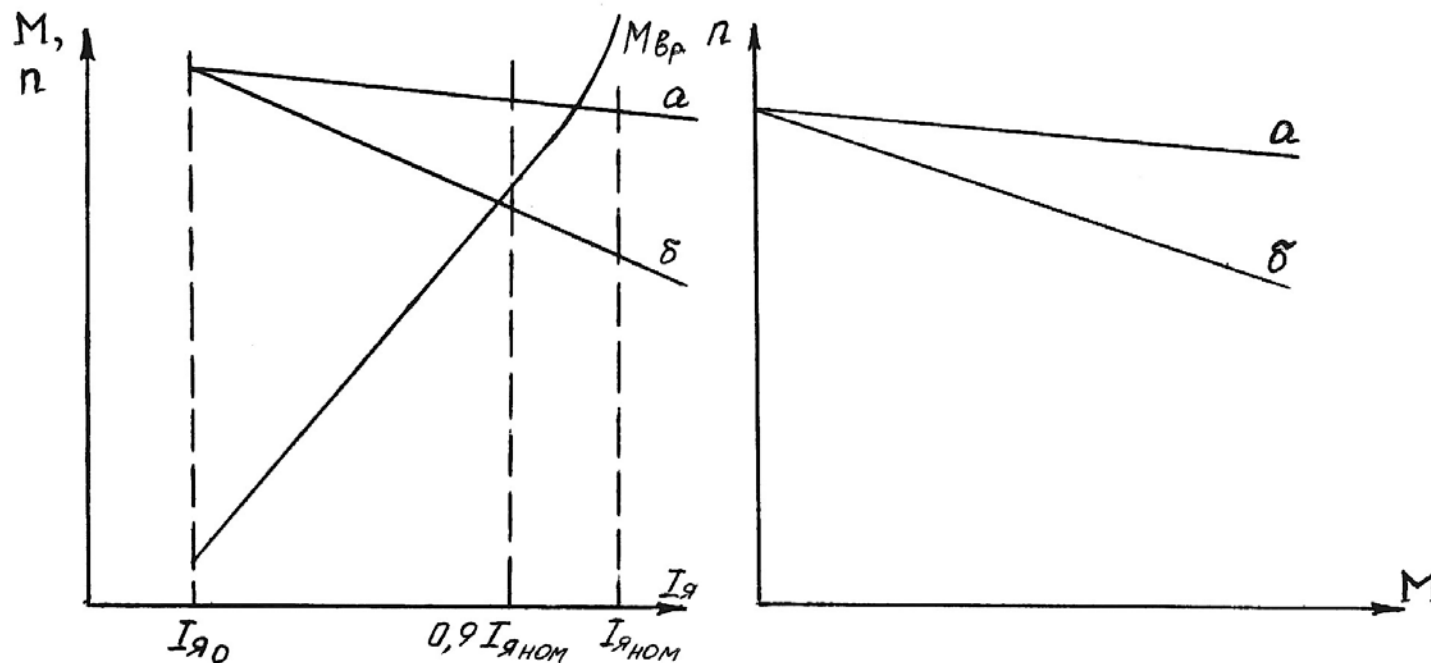


$$M_{вр} = C_m I_{я} \Phi = K I_{я}^2$$

$$n = \frac{U - I_{я} (r_{я} + R_{ов})}{C_m \Phi}$$



Двигатели параллельного возбуждения



Т.к. $\Phi = const$ для двигателей параллельного возбуждения при изменении I_a , то $M_{вр} = C_m I_a \Phi$ — линейная зависимость. Скоростная характеристика двигателя также линейна
Механическая характеристика жесткая

Двигатели смешанного возбуждения и сравнительная оценка ДПТ

По своим свойствам двигатель занимает промежуточное положение между двигателями параллельного и последовательного возбуждения. Одним из достоинств двигателя является то, что он обладает мягкой характеристикой, может работать на холостом ходу, т.к. его частота вращения n_0 имеет конечное значение.

Свойства двигателей зависят от схемы возбуждения. Двигатели независимого и параллельного возбуждения имеют «жесткую» механическую характеристику, вследствие чего, их применяют, когда допускается незначительное изменение частоты вращения при изменении нагрузки.

Двигатели последовательного возбуждения имеют «мягкую» характеристику

Особенностью двигателей последовательного возбуждения является невозможность их работы вхолостую

Двигатели смешанного и особенно последовательного возбуждения допускают большую кратковременную перегрузку по моменту вращения по сравнению с двигателями параллельного возбуждения. Это позволяет осуществить пуск и торможение в более короткое время.

Управление работой двигателей постоянного тока.

Потери мощности и КПД

При пуске двигателя ток якоря возрастает по сравнению $I_{я\text{ ном}}$ в 10-20 раз, поэтому пуск ДПТ осуществляется включением реостата в цепь якоря. Безопасными считается превышение тока в пределах $I_{я\text{ пуск}} = (2 \div 2,5) I_{я\text{ ном}}$. После пуска двигателя реостат выводится.

Регулирование частоты вращения

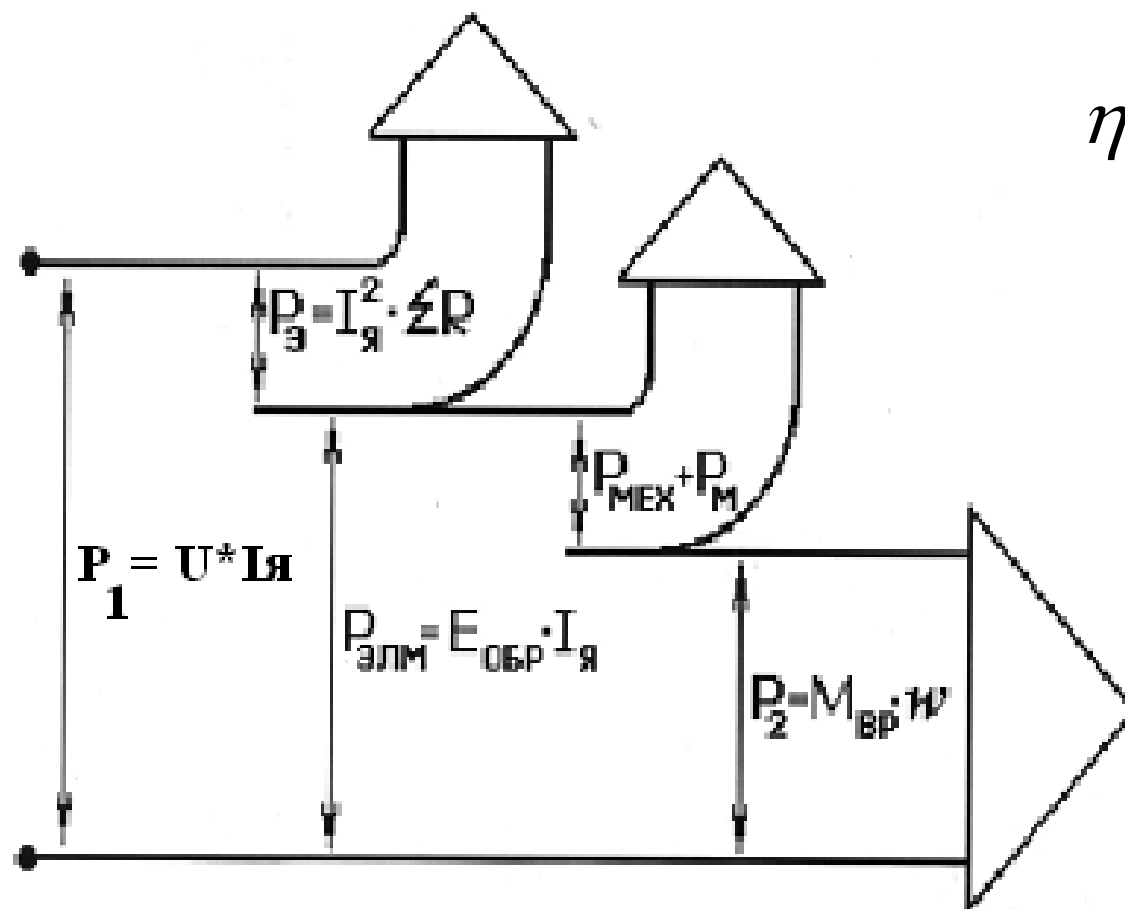
$$n = \frac{U - I_{я} r_{я}}{C_E \Phi}$$

Существует 3 способа регулирования n :

- а) изменение магнитного потока Φ , ($I_{в}$)/реостатом в цепи возбуждения/*
- б) изменение тока $I_{я}$ /реостатом в цепи якоря/*
- в) изменение питающего напряжения.*

Реверсирование двигателя производится путём изменения направления Тока в обмотке якоря или возбуждения

КПД двигателей постоянного тока



$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\%$$

Задание на самостоятельную

работу: изучить основные уравнения рабочего процесса электродвигателей постоянного тока, их характеристики, управление работой двигателей.

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. — 752 с., с. 269-280

Тема №10 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Контрольная работа

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Цель: рассмотреть методику расчета типовых задач по машинам переменного и постоянного тока.

- 1 Примеры расчета параметров электрических машин
переменного и постоянного тока 20 мин**
- 2 Контрольная работа по вариантам.....-65 мин**

Задача

Асинхронный трехфазный двигатель с короткозамкнутым ротором на 220/380 В включен в сеть с линейным напряжением 380 В, имеет следующие данные:

$P_{2H} = 20$ кВт (номинальная мощность на валу);

$n_2 = 970$ об/мин. (частота вращения);

$\eta = 88$ %;

$\cos \varphi_{1H} = 0,84$; $\frac{I_{1П}}{I_{1H}} = 4,5$ - (кратность пускового тока);

$\frac{M_{max}}{M_H} = 1,2$ - (кратность максимального момента);

$f = 50$ Гц (частота).

Изобразить схему включения двигателя.

Найти: I_{1H} ; $I_{1П}$; M_H ; M_{max} ; S_H ; p (число пар полюсов магнитного поля).

РЕШЕНИЕ

1) Определение тока $I_{1H} = I_L$.

I_{1H} находим из формулы для мощности, потребляемой из сети:

$$P_1 = U_L \cdot I_L \cdot \cos \phi_{1H}$$

$$I_{1H} = I_L = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos \phi_{1H}} \quad P_1 = \frac{P_{2H}}{\eta} = \frac{20 \cdot 10^3}{0,88} = 22,7 \text{ кВт}$$

$$I_L = \frac{22,7}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,84} = \frac{22,7 \cdot 10^3}{561,44} = 40,4 \text{ А}$$

2) $\frac{I_{1П}}{I_{1H}} = 4,5; I_{1П} = I_{1H} \cdot 4,5 = 40,4 \cdot 4,5 = 181,8 \text{ А}$

3) $M_H = 9550 \cdot \frac{P_{2H}}{n} = 9550 \cdot \frac{20}{970} = 197 \text{ Нм}$

РЕШЕНИЕ

$$4) \quad \frac{M_{MAX}}{M_H} = 1,2; M_{MAX} = M_H \cdot 1,2 = 197 \cdot 1,2 = 236,4 \text{ Нм}$$

$$5) \quad S_H = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100\%; S_H = \frac{1000 - 970}{1000} \cdot 100\% = 3\%$$

$$6) \quad p = \frac{60 \cdot f}{n_1} = \frac{60 \cdot 50}{1000} = 3$$

Контрольная работа по вариантам

- **Вариант № 1**

- Устройство и принцип действия АД.
- Пояснить смысл и ход регулировочной характеристики ГПТ.
- Каким образом осуществляется ступенчатое регулирование скорости вращения АД? Пояснить подробно с помощью формул.
- Известны следующие параметры короткозамкнутого трехфазного АД:
- $P_{2ном} = 3 \text{ кВт}$ (на валу) $\eta_{ном} = 83,5 \%$ $\cos \varphi_{ном} = 0,84$

$$\frac{I_{пуск}}{I_{л.потр.}} = 7$$

- (кратность пускового тока) 220/380 В $f = 50$ Гц – частота сети
- Определить: 1) по какой схеме включить обмотки статора в сеть напряжением 380В;
- 2) пусковой ток I_p .
- Почему напряжение на зажимах вторичной обмотки трансформатора уменьшается при увеличении нагрузки?
- Пояснить с использованием формул внешней характеристики и принципа действия трансформатора. (Схема электрическая для этого режима)

Задание на самостоятельную работу

- **Данилов, И.А.** Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. – 752 с., с.69-86,93-95.

Тема №11 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ , МАГНИТНЫЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМАТИКИ

ЗАНЯТИЕ №30 групповое

РЕЛЕ И ДАТЧИКИ

Цель занятия: познакомить курсантов с элементами автоматики, принципом работы, устройством и назначением

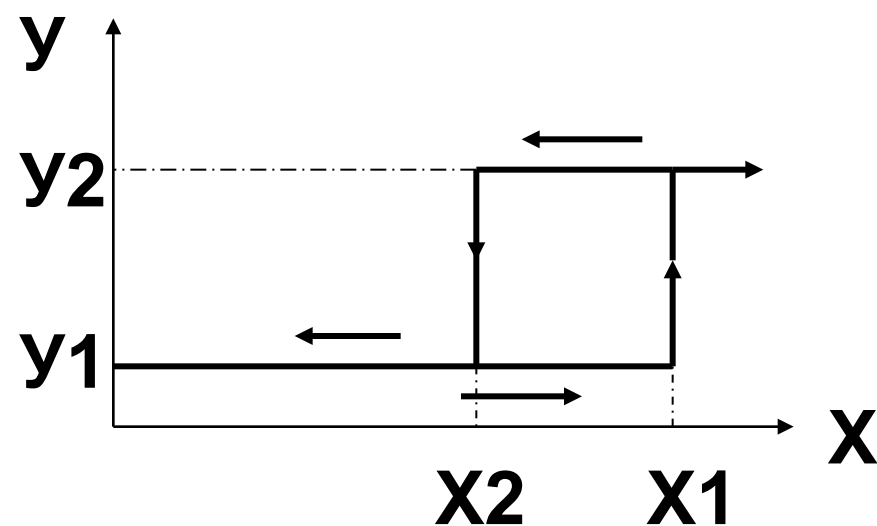
Учебные вопросы

1 Электромагнитное реле

2 Датчики

Электромагнитное реле

Реле – аппарат, в котором при достижении определенного значения входной величины, выходная величина изменяется скачками



X – входная величина, Y – выходная величина

По принципу действия реле подразделяются на

- электромагнитные (постоянного и переменного тока);
- электромагнитные поляризованные;
- магнитоэлектрические;
- электронные;
- тиратронные;
- тепловые;
- пневматические и др.

Работу электромагнитного реле характеризуют две величины входного параметра ток срабатывания и ток отпускания ($I_{ср} > I_{отп}$).

Коэффициентом возврата называется отношение входного параметра при отпускании реле X_2 к величине параметра при срабатывании X_1

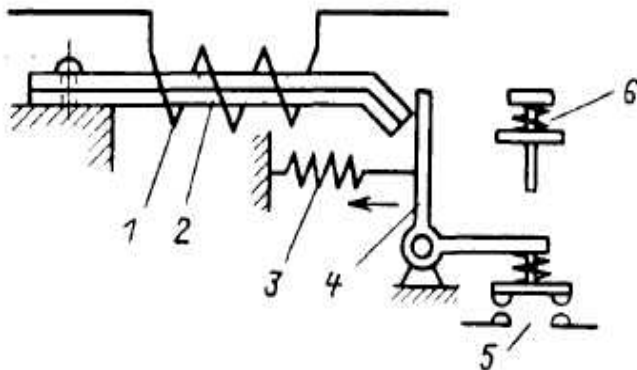
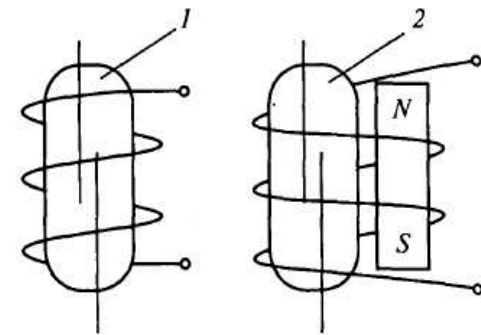
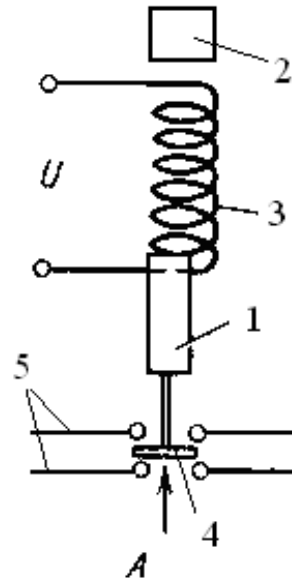
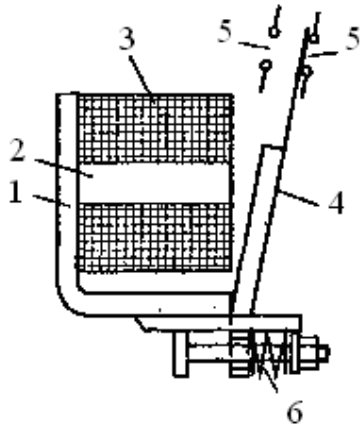
$$K_v = X_2 / X_1$$

$$K_v < 1$$

Электромагнитные реле постоянного тока

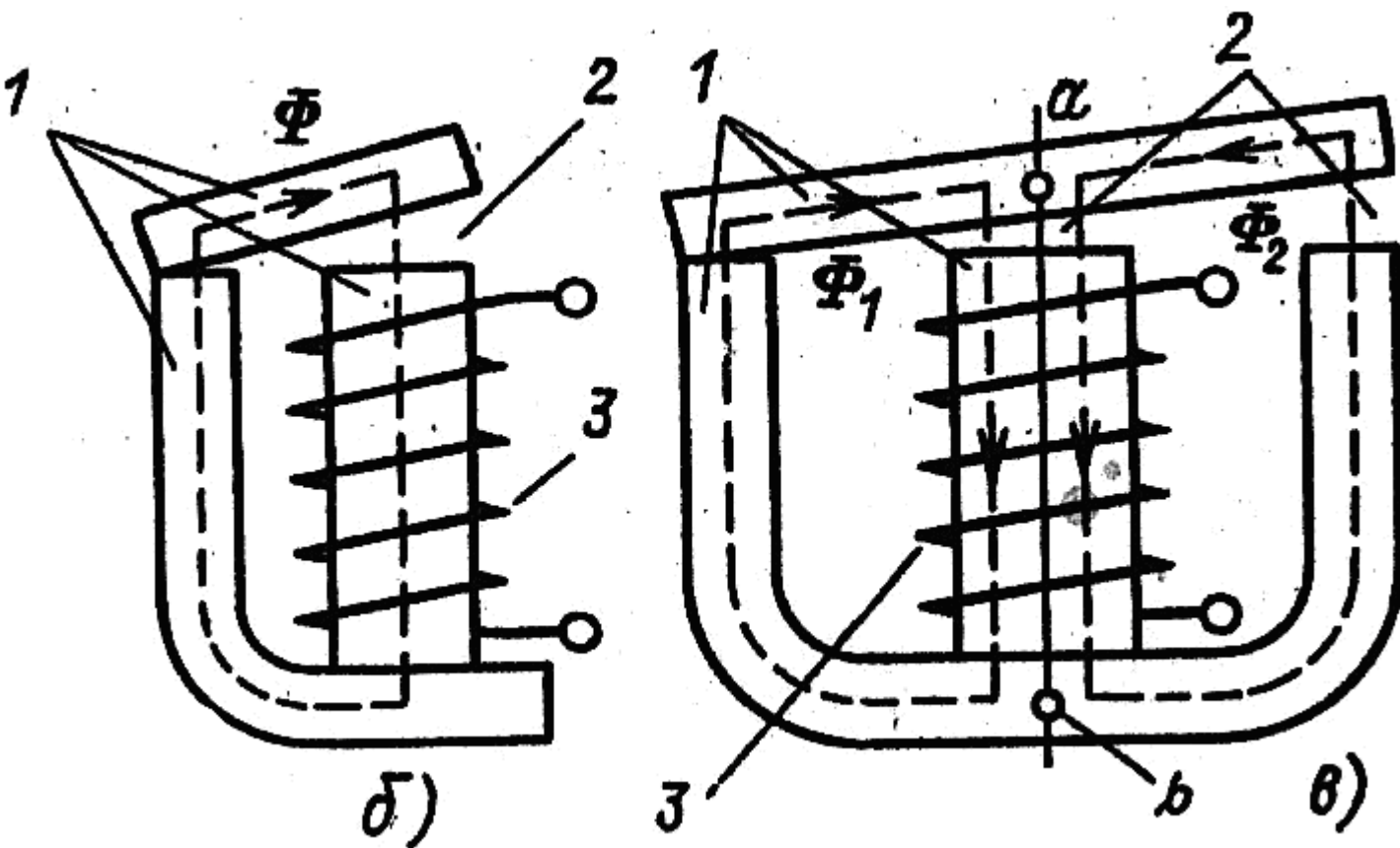
По характеру движения якоря основные типы реле делятся на три группы:

1) поворотное; 2) с втяжным якорем; 3) язычковые.



Тепловое реле используют для защиты электроустановок от токов перегрузки. При $I > I_{ном}$ нагревательный элемент настолько нагревает биметаллическую пластину, что она изгибается и ее незакрепленный конец изгибается. Рычаг поворачивается и контакты размыкаются

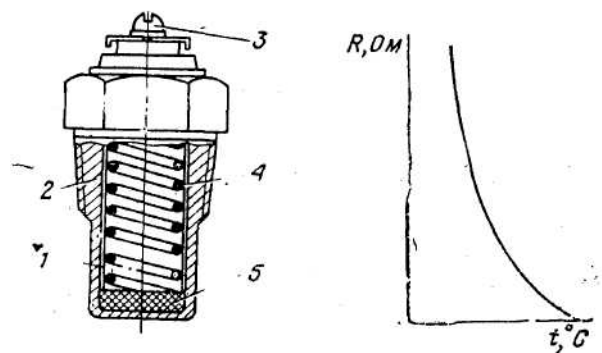
Магнитные цепи реле



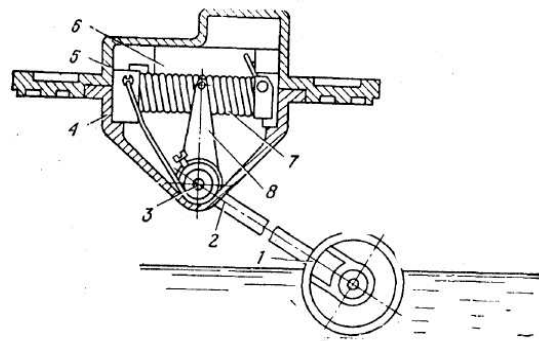
Датчики

Для контроля за техническим состоянием и режимами работы узлов, агрегатов и машины в целом применяются системы контрольно-измерительных приборов.

КИП состоят из датчика и указателя, соединенных между собой проводами. В месте контроля устанавливается датчик прибора, а в месте наблюдения – указатель.



Датчик термометра



Датчик указателя уровня топлива

Сигнализаторы служат для предупреждения водителя о том, что измеряемый параметр достиг своего предельного значения. Датчик сигнализатора температуры воды имеет термобиметаллическую пластину, управляющую контактами. При достижении предельной температуры пластина изгибается и замыкает контакты, которые включают сигнальную лампу в кабине водителя. Датчик устанавливают в верхнем бачке радиатора

**Задание на самостоятельную
работу:** изучить устройство и принцип действия реле и датчиков

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. — 752 с., с. 281-295

Тема №11 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ , МАГНИТНЫЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМАТИКИ

ЗАНЯТИЕ №31 групповое

КОНТАКТОРЫ И МАГНИТНЫЕ ПУСКАТЕЛИ

Цель занятия: познакомится с защитной аппаратурой, аппаратурой автоматического управления

Учебные вопросы

1 Защитная аппаратура

2 Контакторы и магнитные пускатели

Защитная аппаратура

Электрические цепи надо защищать от аварийных режимов (К.З и перегрузки). Для этого в электрических цепях ставят приборы, которые в случае, если $I > I_{ном}$ автоматически отключают цепь.

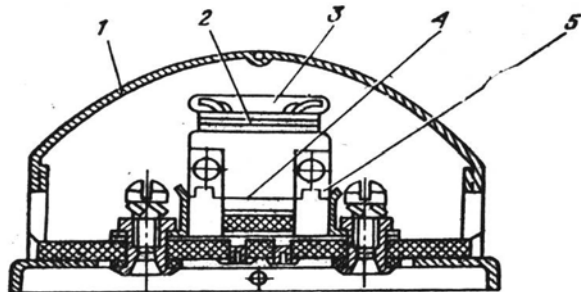
Предохранители

- плавкие
- биметаллические

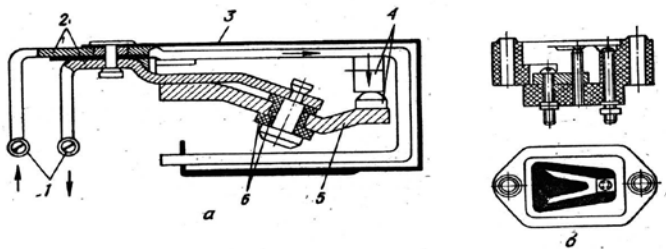
Автоматы защиты

- а) электромагнитные, осуществляющие мгновенное отключение аппарата при достижении тока определенной величины
- б) тепловой, осуществляющий защиту от токов перегрузки, чем больше нагрузка, тем скорее отключится аппарат
- в) комбинированный, имеющий электромагнитный и тепловой элементы

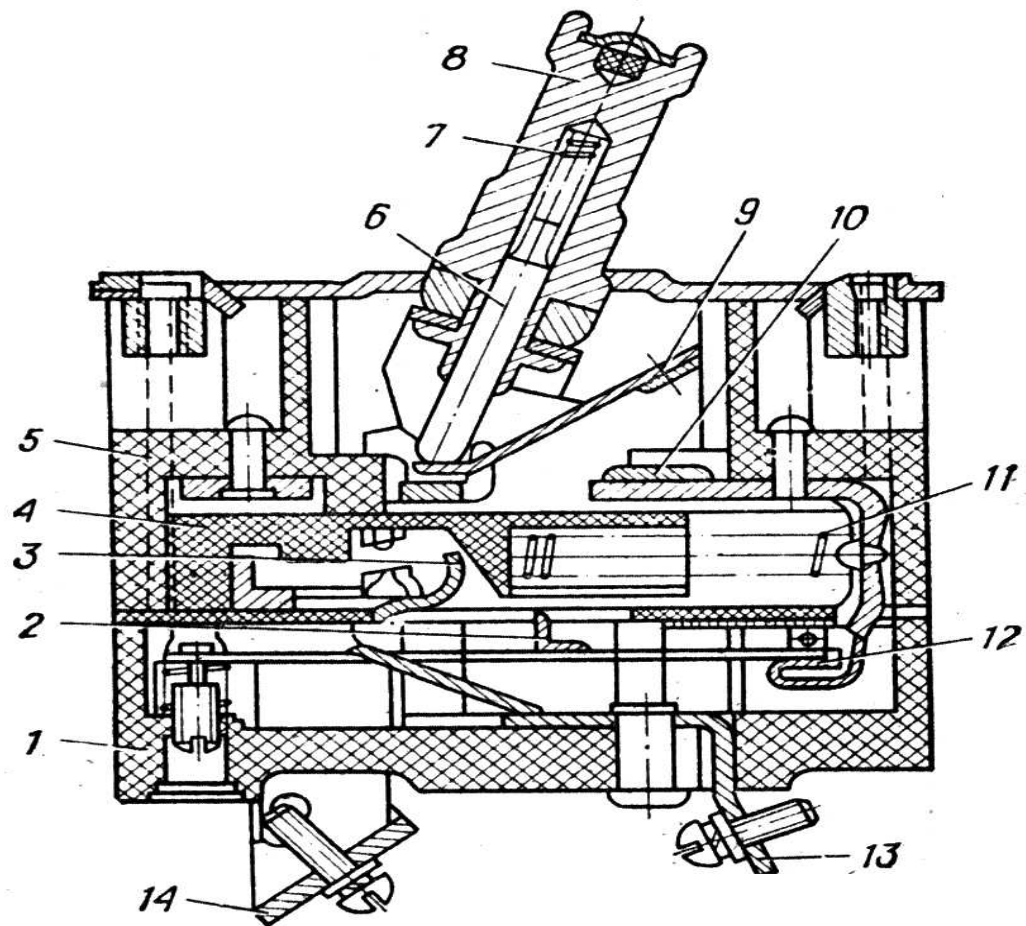
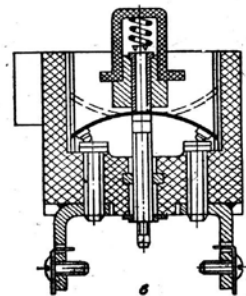
Защитная аппаратура



Плавкий предохранитель

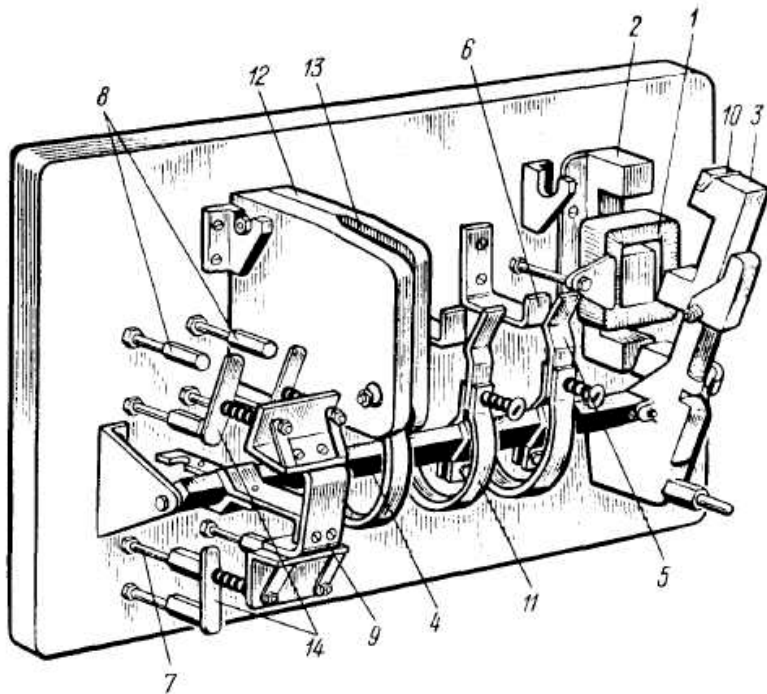


Биметаллические
предохранители



A3C

Контакторы и магнитные пускатели



Основными частями контакторов являются: магнитная система, обмотка (катушка), дугогасительная камера, главные контакты, вспомогательные контакты (блок контакты). Главные контакты осуществляют переключения в силовых цепях, а блок - контакты – в цепях управления и сигнализации.

Кнопки управления и кнопочные станции применяются для управления контакторами. Для управления электродвигателями больше применяются кнопочные станции из двух и из трех элементов. Первая с кнопками "ПУСК" и "СТОП" используется в схемах полуавтоматического пуска и остановки электродвигателей. Вторая с кнопками "ВПЕРЕД", "НАЗАД" и "СТОП" – в схемах реверсирования электродвигателей.

Контакторы и магнитные пускатели

Магнитный пускатель предназначен для дистанционного пуска и остановки электродвигателя нажатием кнопки управления, а также для автоматического отключения при перегрузке и недопустимом понижении напряжения в сети (ниже 85%).

Пускатель состоит из трех полюсного контактора (обычно с прямолинейным ходом якоря) и, двух тепловых реле, осуществляющих тепловую защиту электродвигателя от перегрузок. Пускатель, предназначенный не только для пуска, но и реверсирования электродвигателей, имеет 2 контактора.

Задание на самостоятельную работу:

**изучить устройство и принцип
автоматических выключателей и контакторов**

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. — 752 с., с. 381-385

Тема № 12 ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

ЗАНЯТИЕ №32 групповое

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

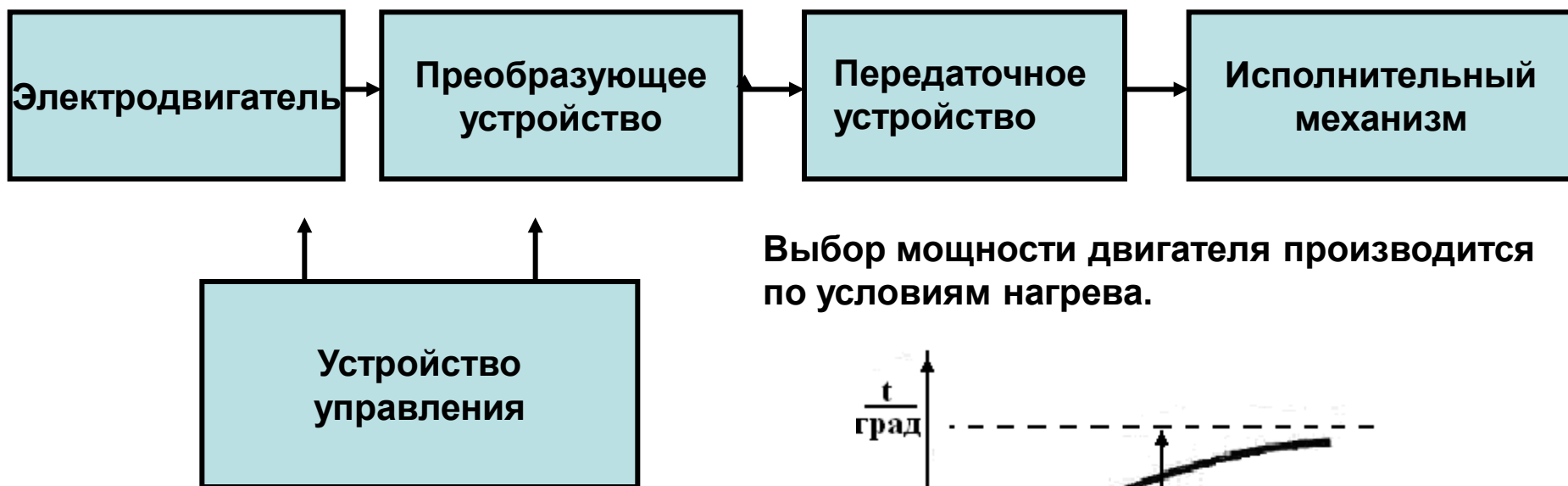
Цель занятия: изучить элементы электропривода и применение некоторых элементов автоматики в электрических схемах

Учебные вопросы

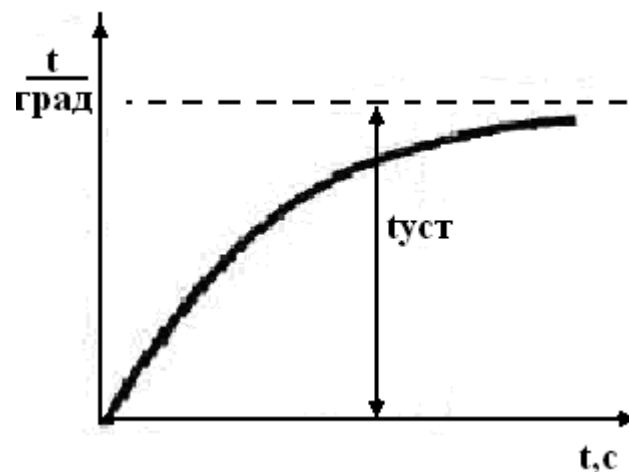
- 1 Понятие об электроприводе**
- 2 Электрическая схема включения нереверсивного асинхронного двигателя**
- 3 Электрическая схема управления реверсивным асинхронным двигателем**

Понятие об электроприводе

Электроприводом называется электромеханическая система, состоящая из электродвигательного, преобразовательного, передаточного и управляющего устройства, предназначенная для приведения в движение исполнительных органов рабочей машины и управлением этим движением.



Выбор мощности двигателя производится по условиям нагрева.



Когда нагрузка механизма, приводимого в движение электродвигателем, неизменна, температура двигателя стремится к установившемуся значению

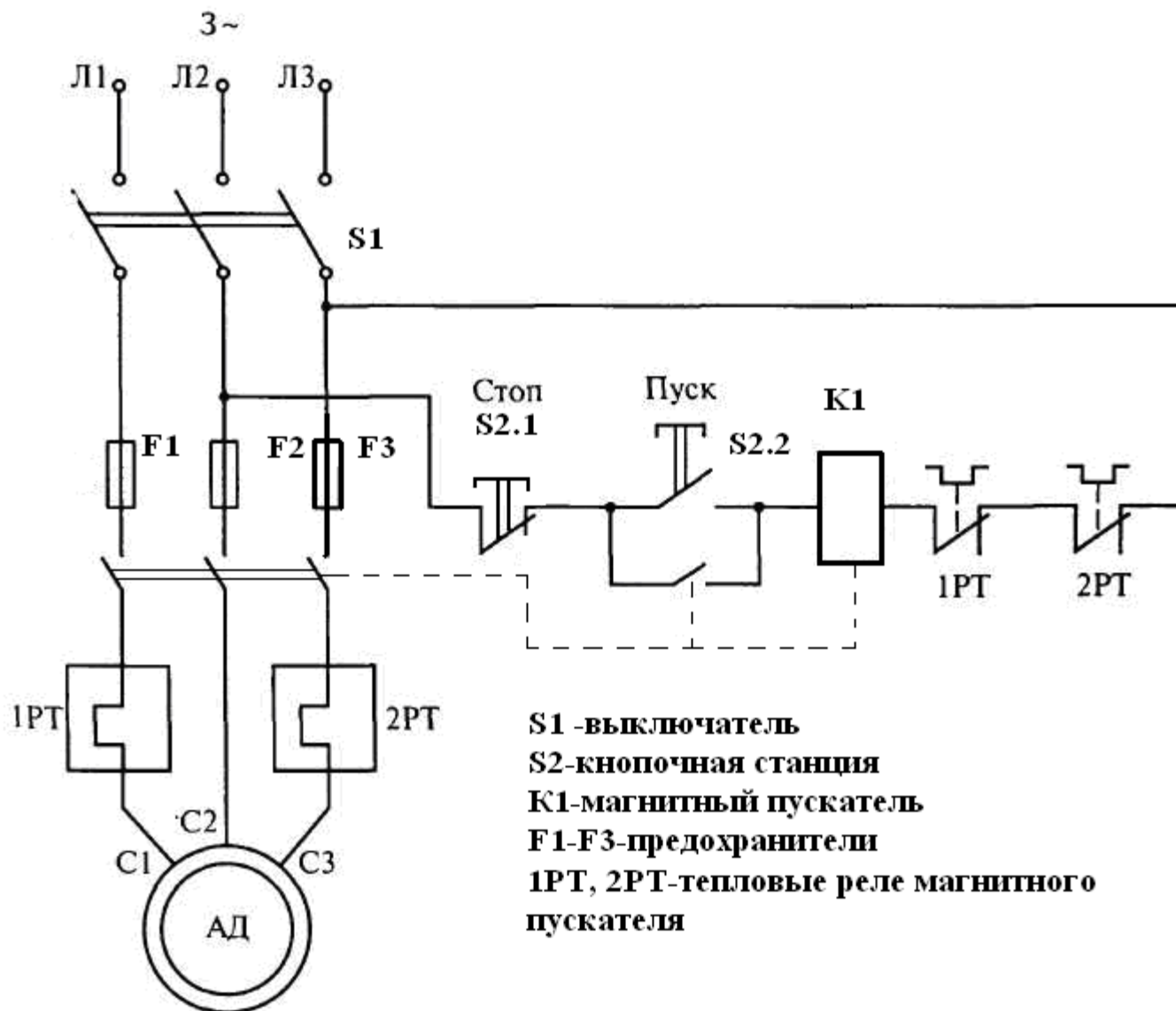
Методика выбора мощности двигателя

По заданной нагрузке механизма P определяют из каталога величину номинальной мощности двигателя P_n или ближайшую большую величину с учетом КПД механизма и промежуточных передач $P_n = P/\eta$

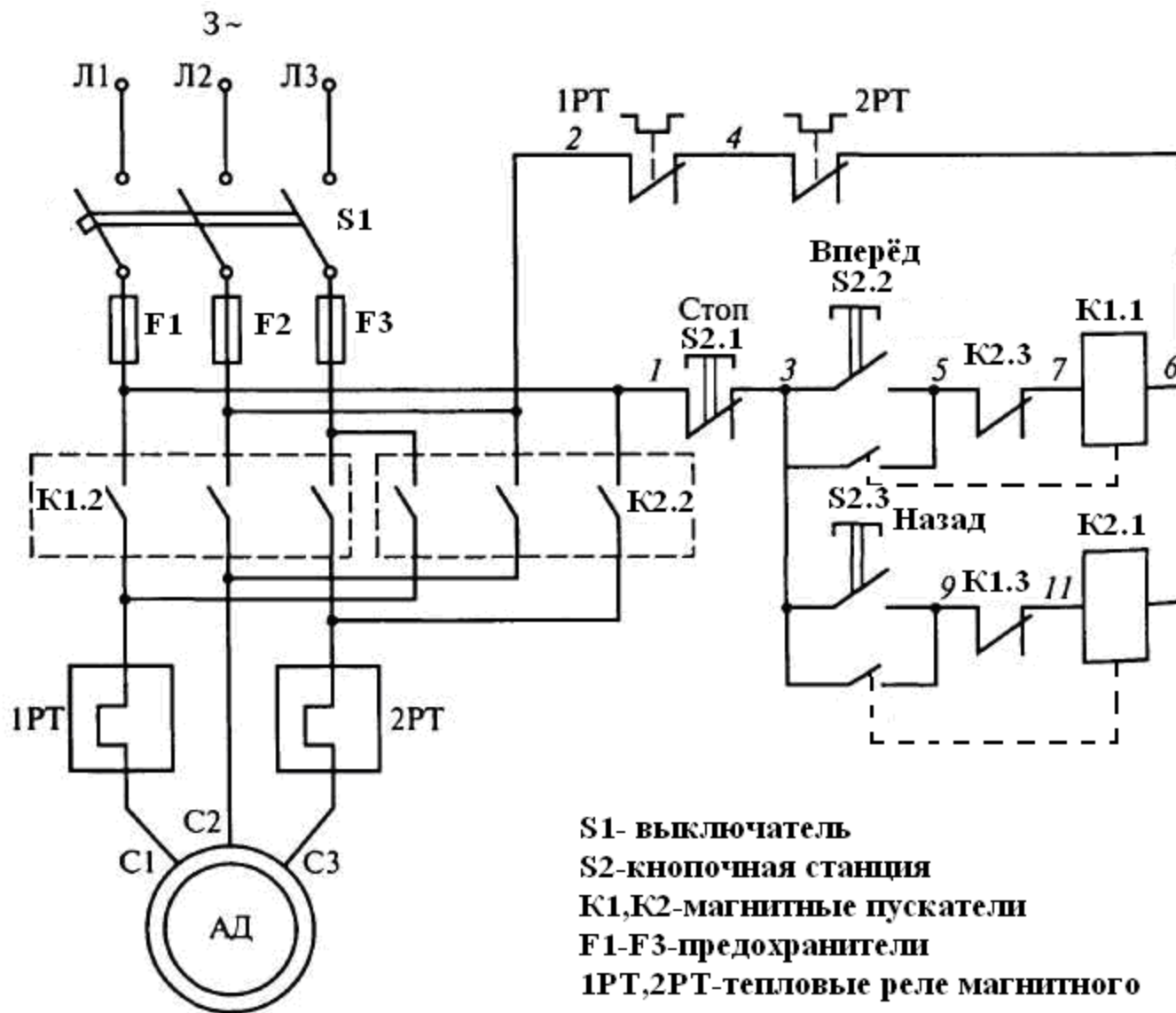
Задача

Двигатель работает в длительном режиме при неизменной нагрузке $P=120\text{кВт}$ и КПД механизма $\eta=80\%$. Выберите мощность двигателя, если в каталоге указаны следующие данные 120; 140; 160; 180 кВт и т.д.

Электрическая схема включения нереверсивного асинхронного двигателя



ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ РЕВЕРСИВНЫМ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ



S1- выключатель

S2-кнопочная станция

K1,K2-магнитные пускатели

F1-F3-предохранители

1РТ,2РТ-тепловые реле магнитного пускателя

Задание на самостоятельную работу: ИЗУЧИТЬ РАБОТУ СХЕМ РЕВЕРСИВНОГО И НЕРЕВЕРСИВНОГО МАГНИТНОГО ПУСКАТЕЛЯ

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. — 752 с., с. 398-412

ТЕМА №13 ПРЕОБРАЗОВАНИЕ, ПЕРЕДАЧА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

ЗАНЯТИЕ №33 групповое

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ, ПЕРЕДАЧА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Цель занятия: изучить виды электрических станций; уяснить достоинства и недостатки передачи электрической энергии

Учебные вопросы

- 1 Электрические станции**
- 2 Передача электроэнергии на расстояние**
- 3 Распределение электроэнергии.
Энергосистемы**

Электрические станции

Электрической станцией называется предприятие, предназначенное для выработки электрической энергии путем преобразования других видов энергии

Электростанции можно разделить на:

тепловые, гидравлические, атомные, станции, использующие энергию ветра; станции, использующие энергию солнца; и станции, использующие энергию горячих подземных источников.

Тепловые станции в качестве первичных двигателей могут иметь паровые машины, паровые турбины, двигатели внутреннего сгорания и газовые турбины.

Станции, на которых в качестве первичных двигателей используют паровые турбины (паротурбинные станции), в свою очередь, подразделяются на конденсаторные и теплофикационные.

Станции с паровым и паротурбинным двигателями обычно строят вблизи природных залежей дешевого твердого топлива (торф, бурый уголь, антрацитовый штыб, сланцы и др.). Теплоэнергоцентральные стоят вблизи городов, так как передача тепла на расстоянии связана с большими потерями

Атомные электростанции используют энергию, выделяемую при распаде атома, для получения электрической энергии. При делении ядер урана ^{235}U выделяется большое количество энергии в виде теплоты, которая и преобразуется затем в электрическую. Таким образом, атомная электростанция – это тепловая станция

Коэффициент полезного действия тепловых станций сравнительно низок. Так как при их работе для получения электроэнергии необходимо трехкратное превращение энергии: энергия топлива при сжигании превращается во внутреннюю энергию водяного пара в котле (в теплоту), а затем энергию пара в паровой турбине превращается в механическую энергию и только потом механическая энергия турбины превращается в электрическую энергию в генераторе; каждое превращение энергии сопровождается неизбежными потерями.

Гидравлические электростанции или гидростанции (ГЭС) в качестве первичных двигателей используют гидравлические турбины, приводимые во вращение за счет энергии падающей воды. Коэффициент полезного действия гидравлических станций достигает 80-90%. Производство электроэнергии на них гораздо проще и дешевле, чем на тепловых станциях

Ветроэлектростанции (ВЭС) в качестве первичных двигателей используют ветровое колесо с лопастями, приводимое во вращение энергией ветра

Гелиоэлектрические станции преобразуют лучшую энергию солнца в электрическую. Для этой цели на значительной площади устанавливают систему зеркал, направляющую солнечные лучи на зачерненную площадь парового котла

Геотермальные станции преобразуют энергию горячих подземных вод, имеющих в местах интенсивной вулканической деятельности, в электрическую энергию.

Передача электроэнергии на расстояние

На современном уровне развития электротехники невозможно ограничиваться применением только одного рода тока – постоянного или переменного, так как тот и другой имеют достоинства и недостатки как в производстве, так и в передаче и использовании

Напряжение переменного тока легко преобразуется с помощью весьма простого и совершенного аппарата – трансформатора. Исключительно прост, дешев и надежен в работе, асинхронный трехфазный двигатель.

К недостаткам переменного тока относится низкая пропускная способность электролиний и особенно кабельных линий из-за наличия емкости между проводами и проводами и землей.

Устойчивая передача переменным током практически возможна на расстоянии до 450-500 км при напряжении 400-500 кВ.

Постоянный ток неэкономичен в производстве и использовании. Генераторы постоянного тока из-за наличия скользящих контактов в цепи нагрузки сложны по конструкции и эксплуатации. Они могут быть построены на мощности до 20МВт при КПД до 94%.

Однако постоянный ток имеет преимущества. Сюда относится отсутствие реактивной мощности, отсутствие необходимости синхронизации параллельно работающих генераторов, а следовательно отсутствие предела устойчивости и дальности передачи; возможность значительного повышения напряжения (свыше миллиона вольт).

Передача электроэнергии постоянным током экономически оправдывает себя только при передаче больших мощностей на большие расстояния.

Распределение электроэнергии. Энергосистемы

В течение суток, а также в течение года потребление электроэнергии неодинаково. Возможности выработки электроэнергии некоторыми типами электростанций (например ГЭС), также изменяются в течение этих же периодов времени. Но эти изменения не совпадают во времени. Не всякая электростанция может быстро изменить режим своей работы. Поэтому всегда стремятся объединить несколько электростанций, работающих в разных условиях и использующих разные виды природной энергии, в одну общую систему – энергетическую систему, внутри которой легко осуществлять перераспределение нагрузки.

Сначала загружают ТЭЦ, затем – ГЭС, а остаток нагрузки предназначается для тепловых станций, причем ГЭС загружают так, чтобы полнее использовалась энергия суточного водного потока.

Благодаря объединению многих электростанций в единую энергосистему удастся значительно снизить себестоимость электроэнергии, повысить ее качество (постоянство напряжения и частоты) и надежность в бесперебойном снабжении потребителя. При этом генераторы отдельных станций оказываются в наиболее благоприятных условиях.

Значительные колебания нагрузки в отдельных районах не перегружают генераторов станций, находящихся в этих районах и объединенных в энергосистему, так как необходимая энергия потребляется из мощной энергосистемы.

Особенно большой эффект получается от объединения разнотипных электростанций. В этом случае полезная выработка электроэнергии может быть повышена на 30-80%.

В мощных энергосистемах снижается максимум нагрузки из-за неодновременности максимумов на отдельных станциях; значительно снижается резервная мощность; создается возможность легкого пуска мощных электродвигателей; значительно сокращаются расходы на содержание обслуживающего персонала благодаря автоматизации по управлению работой станций.

**Задание на самостоятельную
работу: изучить виды электрических
станций, способы передачи электроэнергии на
расстоянии.**

Данилов, И.А. Общая электротехника с
основами электроники. [Текст] Учебное
пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-
06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. —
752 с., с. 362, 373-379

ТЕМА №14 ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫЕ, ИНДИКАТОРНЫЕ И ФОТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ

ЗАНЯТИЕ №34 групповое

ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫЕ, ИНДИКАТОРНЫЕ И ФОТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ

Цель занятия: изучить процессы в
электронных лампах, индикаторные и
фотоэлектронные приборы

Учебные вопросы

- 1 Физические процессы в электронных лампах**
- 2 Электрические разряды в газовой среде.
Искровой разряд между электродами свечи**
- 3 Индикаторные приборы. Дисплеи.
Фотоэлектронные приборы**

Физические процессы в электронных лампах

Электровакuumный прибор – это прибор, в котором проводимость осуществляется посредством электронов и ионов, движущихся между электродами через вакуум или газ. Электровакuumные приборы подразделяются на электронно-управляемые, газоразрядные и электронно-лучевые приборы (ЭЛП).

В электронно-управляемых приборах (лампах) прохождение электрического тока осуществляется в вакууме только свободными электронами

В классификационной схеме электронно-управляемые и газоразрядные приборы занимают позиции, название каждой из которых происходит от числа электродов (для электронно-управляемых) или типа разряда внутри лампы (для газоразрядных приборов).

Основным электродом каждого электровакuumного прибора является катод, эмитирующий электроны под действием электронной эмиссии.

Электронной эмиссией называется процесс выхода электронов из твердых или жидких тел в вакуум или газ. Чтобы вызвать электронную эмиссию, надо сообщить электронам добавочную энергию, которую называют работой выхода.

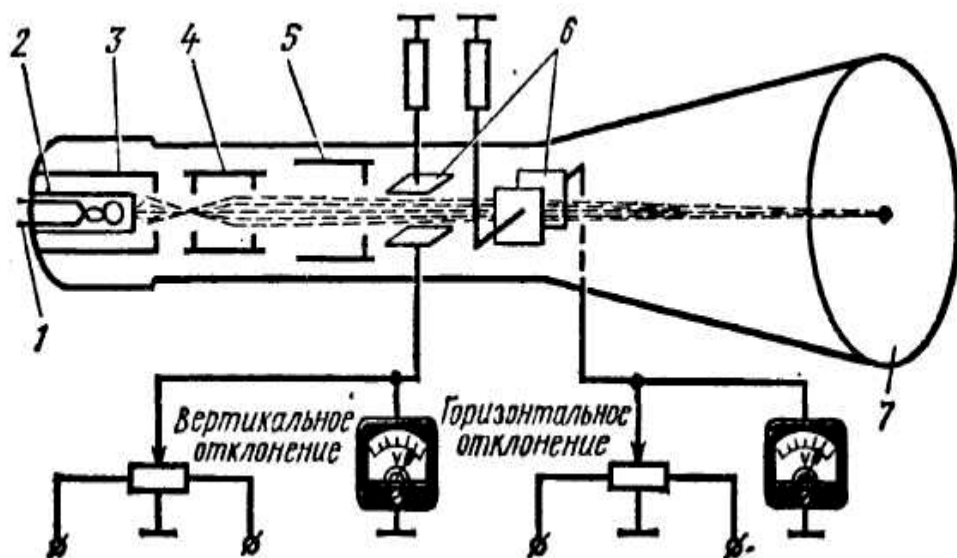
В зависимости от вида дополнительной энергии, используемой для того, чтобы электроны могли совершить работу выхода, различают несколько видов электронной эмиссии:: термоэлектронную, фотоэлектронную, вторичную и электростатическую.

Физические процессы в электронных лампах

- Термоэлектронной эмиссией называется процесс излучения электронов с поверхности нагретого металла. Этот вид электронной эмиссии используется для выхода электронов с катода.
- Фотоэлектронной эмиссией называется процесс выхода электронов с поверхности металла, облучаемого лучистой энергией.
- Вторичная электронная эмиссия – это эмиссия электронов с поверхности металла при облучении его потоком электронов.
- Электростатическая (автоэлектронная) эмиссия – это эмиссия электронов с поверхности металла под действием сильного ускоряющего электрического поля ($10^6 - 10^8$ В/см)

Электронно-лучевая трубка

Электронно-лучевой трубкой называется электровакуумный прибор, в котором электронный поток формируется в электронный луч и используется для преобразования электрических сигналов в световые.



- 1-подогреватель(накал)
- 2 катод
- 3-модулятор
- 4,5-аноды
- 6-вертикально и горизонтально отклоняющие пластины
- 7-экран

Электрические разряды в газовой среде.

Искровой разряд между электродами свечи

Прохождение электрического тока через газы называются газовым разрядом. В обычных условиях газ не проводит электрический ток, но под воздействием внешнего ионизатора атомы газа ионизируются

Искра возникает в том случае, когда мощность источника недостаточна для поддержания непрерывного дугового или тлеющего разряда. После пробоя разрядного промежутка напряжение на электродах падает ниже потенциала зажигания (т.к. проводимость газа в следствии образования ионов резко возрастает).

В системах зажигания между электродами свечи возникает искровой разряд.

Искровой разряд состоит из двух фаз – ёмкостной и индуктивной.

В ёмкостной фазе происходит расход энергии накопленной во вторичной цепи катушки зажигания. Он продолжается доли микросекунды. По характеру разряд дуговой, сила тока в импульсе достигает 300 А.

Индуктивный разряд по характеру тлеющий, с фиолетовым свечением. В этой фазе выделяется основная часть энергии. Сила тока индуктивной части разряда $I=80-100$ мА. Продолжительность индуктивного разряда в 100-1000 раз больше времени ёмкостью разряда. Чем больше энергии и длительность разряда, тем эффективнее зажигание.

Индикаторные приборы. Дисплеи.

В современной РЭА широко применяются различные индикаторные приборы, называемые знаковыми и цифровыми.

Некоторые из них относятся к газовым приборам тлеющего разряда, но существуют и электровакуумные индикаторы. Разработаны полупроводниковые индикаторные приборы (например светоизлучающие диоды)

Знаковые индикаторы тлеющего разряда широко распространены. При подаче напряжения между анодом и катодом возникает свечение газа (около катода), то есть виден светящийся знак.

Жидкокристаллические индикаторы (ЖКИ) основаны на использовании жидких кристаллов (ЖК).

Дисплеи – это окончание устройства информационных систем, служащие для визуального отображения информации и связи человека с машиной. Дисплеи можно разделить на две группы: излучающие свет и моделирующие свет.

Светоизлучающие дисплеи могут быть:

- электронно-лучевыми;
- на светоизлучающих диодах;
- на газоразрядных элементах (плазменные или газоразрядные плазменные панели ГИП);
- жидкокристаллическими и другими.

Фотоэлектронные приборы

Фотоэлектронная эмиссия – электронная эмиссия под воздействием электромагнитного излучения

$$h\nu = W_0 + \frac{mv^2}{2}$$

Электровакуумный фотоэлемент – это диод. Анодом является кольцо

Поток электронов образуется в вакууме или инертном газе.

Фотоэлектронные умножители (ФЭУ), применяются для измерения малых световых потоков.

Задание на самостоятельную работу: **изучить процессы в электронных лампах, индикаторные и фотоэлектронные приборы**

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. — 752 с., с. 414-418, 442-455, 510-524

ТЕМА №15 ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

ЗАНЯТИЕ №35 групповое

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Цель занятия: изучить физические явления в полупроводниках на границе $p - n$ областей

Учебные вопросы

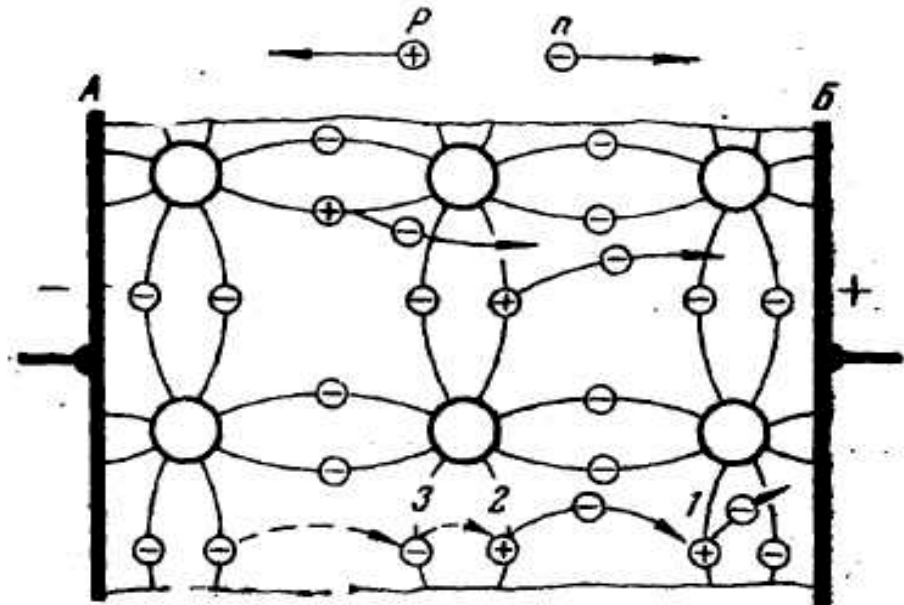
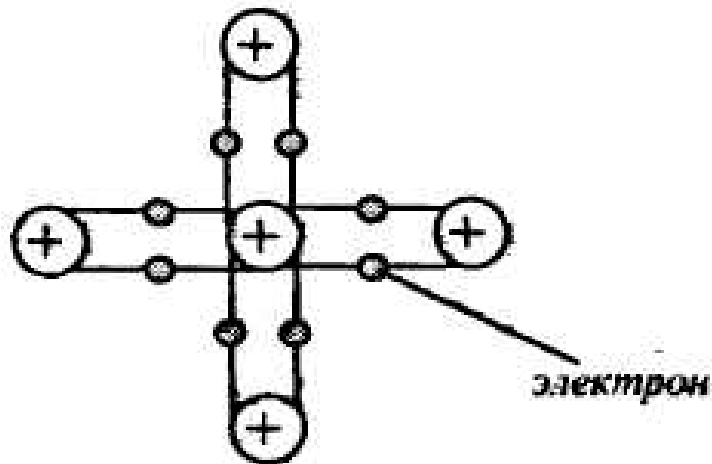
- 1 Собственная электропроводность полупроводников**
- 2 Понятие примесной проводимости**
- 3 Электронно-дырочный переход**

Собственная электропроводность полупроводников

Существует ряд материалов, которые с точки зрения проводимости занимают промежуточное положение между проводниками и диэлектриками.

Наибольшее применение в полупроводниковой технике получили кремний, германий, галлий, селен, а также химические соединения – арсенид галлия, карбид кремния, сульфит кадмия и др.

Германий является четырехвалентным элементом и каждый его атом связан с четырьмя расположенными рядом атомами. Эта связь осуществляется четырьмя электронами, расположенными на внешней орбите каждого атома



Таким образом, движение электронов в одном направлении сопровождается перемещением дырок в противоположную сторону

Понятие примесной проводимости

Чистый полупроводник имеет малую проводимость, т.к количество носителей заряда в нем не велико.

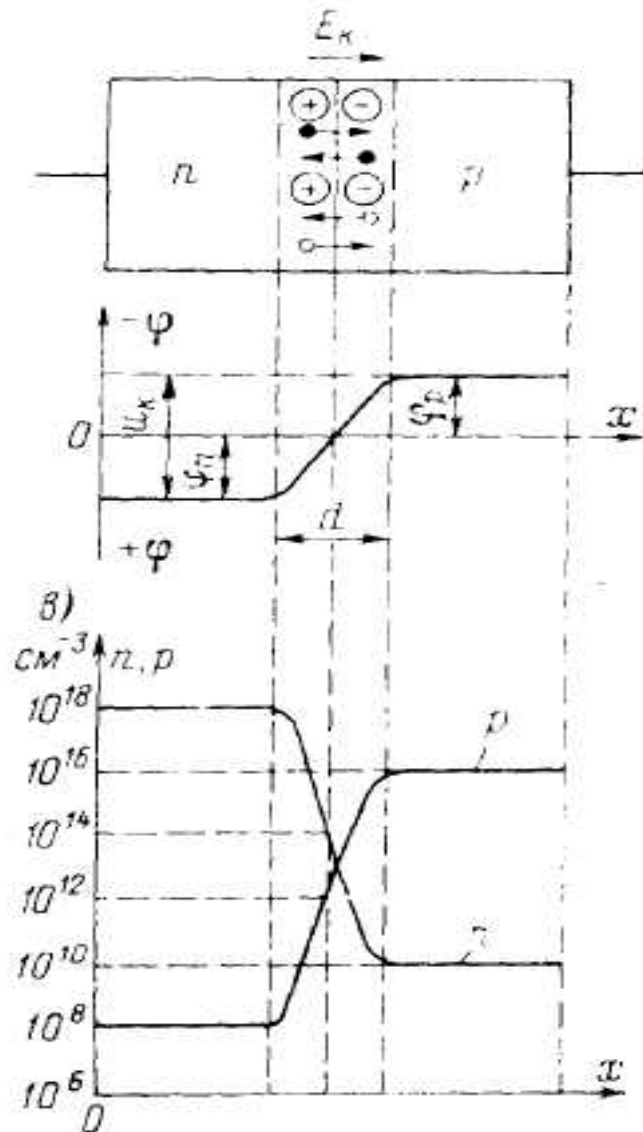
Чтобы получить полупроводник с n- проводимостью, к германию добавляется примесь какого-либо пятивалентного элемента, например, сурьмы или мышьяка.

Четыре валентных электрона прочно связываются с валентными электронами атомов германия, а пятый электрон оказывается лишним и имеет слабые связи. Такие электроны легко становятся свободными и определяют n - проводимость. Примеси, создающие в материале полупроводника избыток свободных электронов, называются донорами.

Если в качестве примеси используются трехвалентные элементы – индий или галлий, то полупроводник приобретает свойства p- проводимости. Три валентных электрона индия образуют прочные связи с тремя валентными электронами атомами германия, четвертая же связь остается незаполненной. Недостаток одного электрона для связи можно рассматривать как появление дырки. Примеси, обуславливающие p- проводимость, называются акцепторными, полупроводники с преобладанием дырочной проводимости называются полупроводниками p- типа.

Проводимость полупроводникового вещества, полученная введением примесей, называется *примесной* проводимостью. Электроны в материале с n- проводимостью и дырки в материале с p- проводимостью являются основными носителями зарядов, которые и определяют тип проводимости.

Электронно-дырочный переход

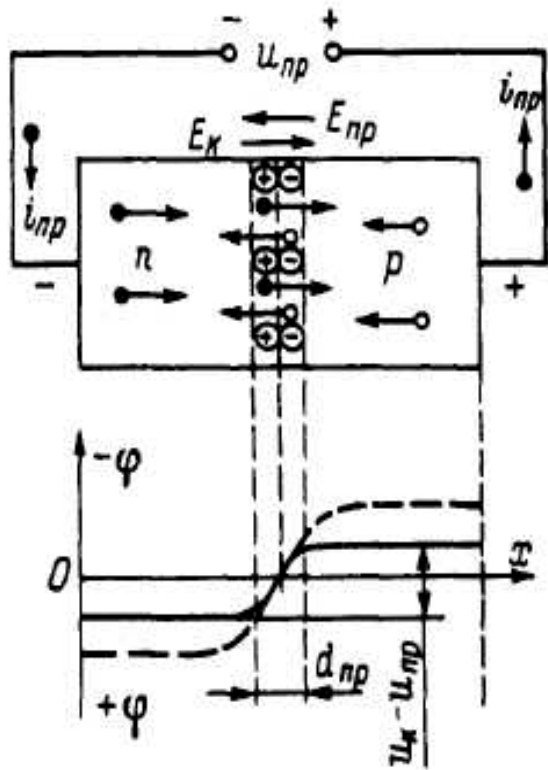


Односторонняя проводимость тока в полупроводниковой структуре происходит вследствие образования на границе областей с электронной и дырочной проводимостью электронно-дырочного перехода

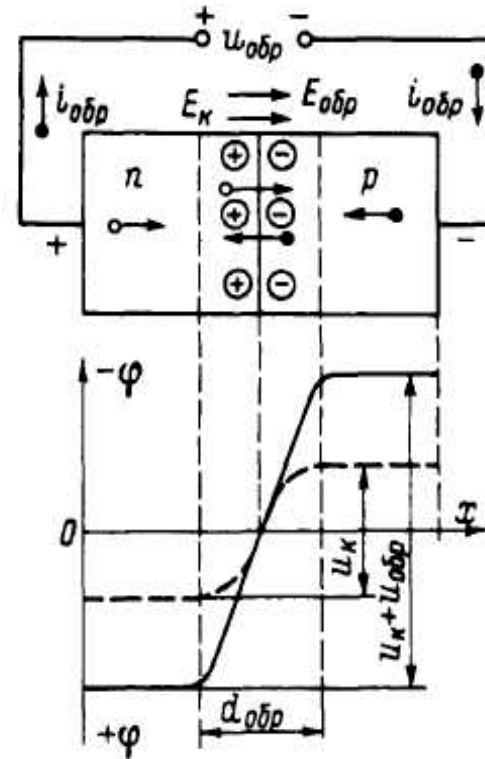
При соприкосновении полупроводников разных проводимостей начинается диффузия электронов из полупроводника п- типа в полупроводник р- типа, в обратном направлении диффундируют дырки. В результате диффузии носителей по обе стороны границы раздела создаются объёмные заряды разных знаков. Величины их для большинства р-п переходов составляет десятые доли вольта.

Толщина р-п перехода не превышает нескольких микрон. Возникшее поле препятствует дальнейшей диффузии основных носителей, наступит состояние равновесия и ток через р-п переход не протекает.

Электронно-дырочный переход



Если приложить внешнее напряжение в прямом направлении, то разность потенциалов на переходе и его толщина уменьшаются. Для случая $U_{np} = U_k$ потенциальный барьер на границе раздела основных носителей устраняется. В цепи возникает значительный ток I_{np}



При подаче на переход внешнего обратного напряжения $U_{обр}$, скачок потенциала р-п перехода увеличивается на величину $U_{обр}$, толщина р-п перехода $d_{обр}$ также возрастает. В цепи будет протекать очень небольшой ток $I_{обр}$

**Задание на самостоятельную
работу: изучить проводимость
полупроводников; физические процессы
на р-п переходе при приложении напряжения**

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. — 752 с., с. 457 – 481

ТЕМА №15 ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

ЗАНЯТИЕ №36 групповое

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДИОД

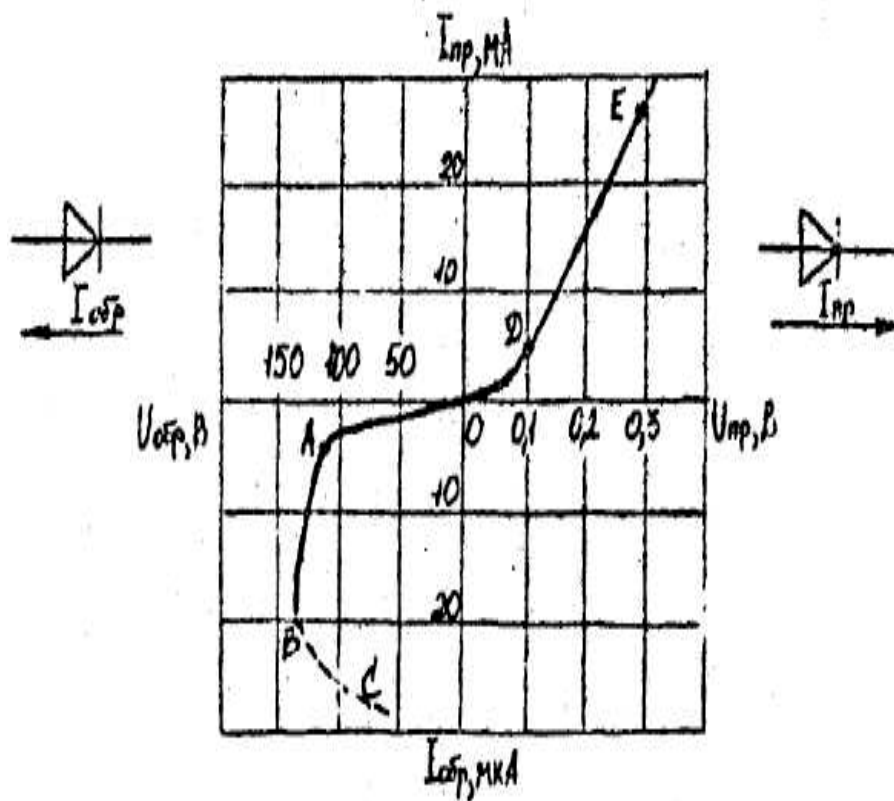
Цель занятия: изучить вольтамперную характеристику диода, дать понятие о принципе действия стабилитрона

Учебные вопросы

- 1 Вольт - амперная характеристика диода**
- 2 Виды пробоя р-n перехода.
Температурный режим.Проверка диода**
- 3 Стабилитрон**

Вольт амперная характеристика диода

Полупроводниковым диодом называется прибор, содержащий элемент с одним p-n переходом. Принцип действия диодов основан на использовании односторонней электропроводимости, электрического пробоя и других свойств p-n перехода.



При подаче на полупроводниковый диод прямого напряжения $U_{пр}$ через него течёт прямой ток $i_{пр}$, возрастающий при увеличении напряжения (участок ОЕ). Этот ток обусловлен движением основных носителей через p-n переход

При подаче обратного напряжения $U_{обр}$ возникает незначительный обратный ток $i_{обр}$, который слабо зависит от $U_{обр}$ при изменении его величины в достаточно широких пределах. Ток $i_{обр}$ обусловлен движением неосновных носителей через p-n переход.

Виды пробоя р - n перехода.

При определенном значении $U_{обр}$ начинается быстрый рост $I_{обр}$. Это явление называется ПРОБОЕМ р-п перехода. Следует различать **ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ** и **ТЕПЛОВОЙ ПРОБОЙ**.

Электрический пробой является **обратимым**, т.е. при нём не происходит необратимого разрушения структуры вещества.

Существует два вида электрического пробоя: **лавинный** и **туннельный**.

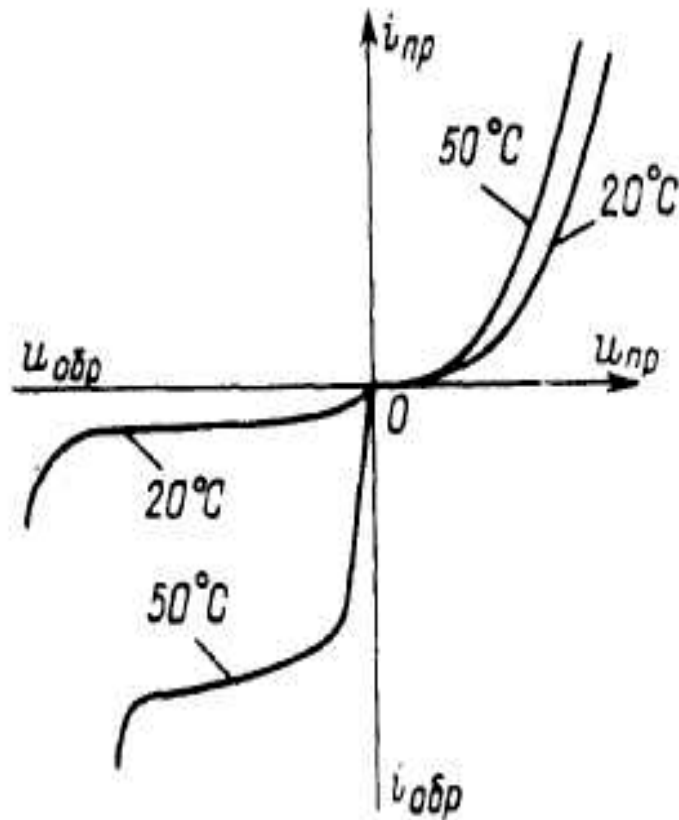
Лавинный пробой обусловлен лавинным размножением носителей за счёт ударной ионизации при наличии переходов большой толщины и сравнительно малой концентрации примесей в полупроводниках. Пробивное напряжение для лавинного пробоя составляет десятки - сотни вольт.

Сущность туннельного пробоя состоит в том, что в р-п переходах $E = 10^5$ в/см электроны могут просачиваться через переход, не изменяя своей энергии. Такой туннельный эффект возможен лишь при высоких концентрациях примесей и очень тонких р-п переходах. Пробивное напряжение в этом случае не превышает единицы вольт.

При дальнейшем увеличении $U_{обр}$ наступает тепловой пробой (участок ВС). В этом случае количество теплоты, выделяемое током $I_{обр}$ на р-п переходе, превышает отводимое от перехода.

Наступает перегрев перехода, сопровождающийся разрушением структуры вещества. Тепловой пробой - явление необратимое, приводящее к выходу полупроводникового диода из строя.

Температурный режим



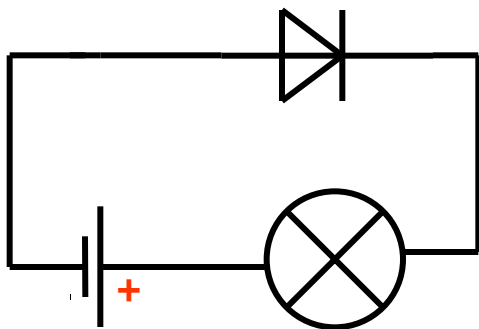
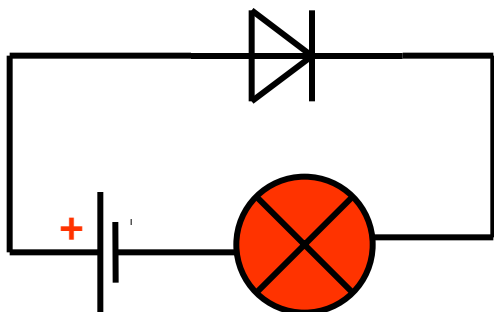
При повышении температуры усиливается генерация пар носителей заряда, т.е. увеличивается их концентрация и проводимость растёт. Очень резко увеличивается $i_{обр}$

У германиевых диодов $i_{обр}$ возрастает примерно в 2 раза при повышении температуры на каждые 100С. Кроме того с повышением температуры у германиевых диодов снижается напряжение электрического пробоя.

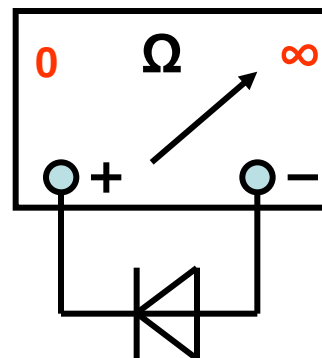
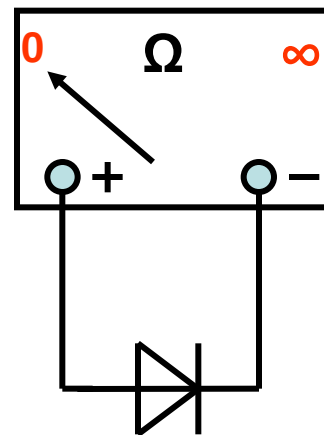
Прямой ток при нагреве диода растёт не так сильно, как обратный (т.к. $i_{пр}$ возникает за счёт примесной проводимости, а концентрация примесей не зависит от температуры).

Проверка диода

С помощью источника
и лампочки

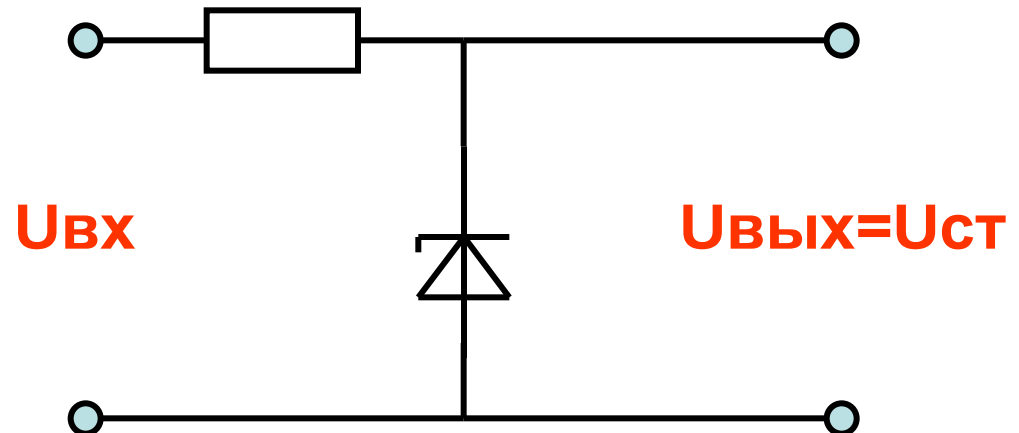
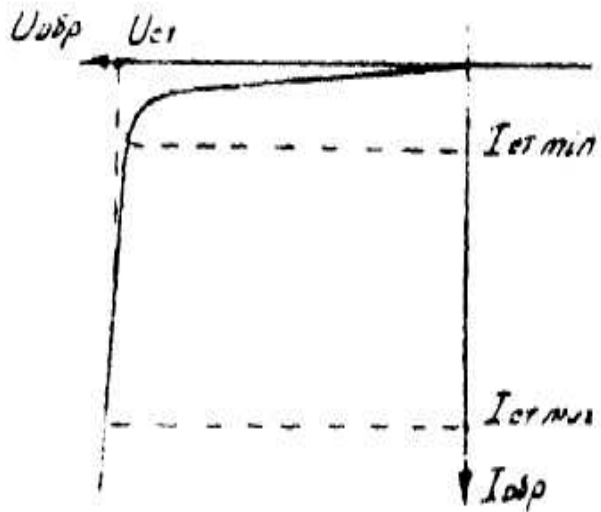


С помощью омметра



Стабилитрон

Стабилитроны - разновидность диодов, предназначенных для стабилизации напряжения.



Задание на самостоятельную работу: изучить

**вольт – амперную характеристику
диода, пробой p-n перехода,
проверку исправности диода**

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. – 752 с., с. 482-488

ТЕМА №15 ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

ЗАНЯТИЕ №37 групповое

БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

Цель занятия: изучить принцип действия, характеристики и параметры биполярных транзисторов

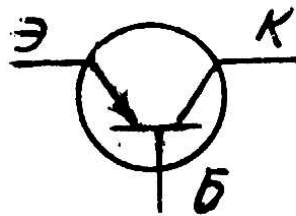
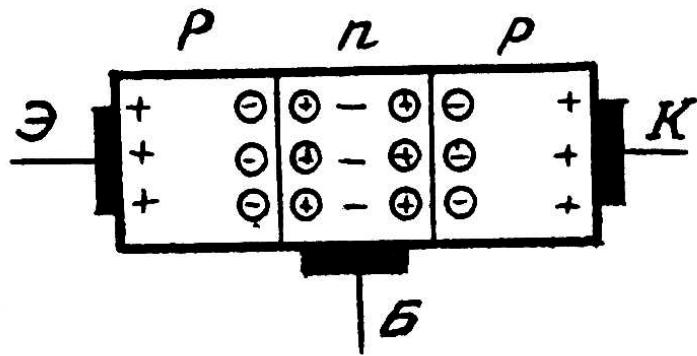
Учебные вопросы

- 1 Устройство и принцип работы биполярного транзистора**
- 2 Параметры и способы включения**
- 3 Понятие о тиристорах**

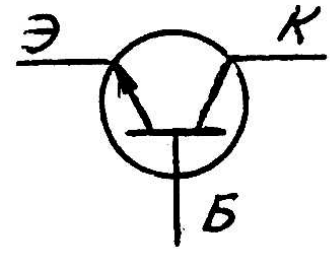
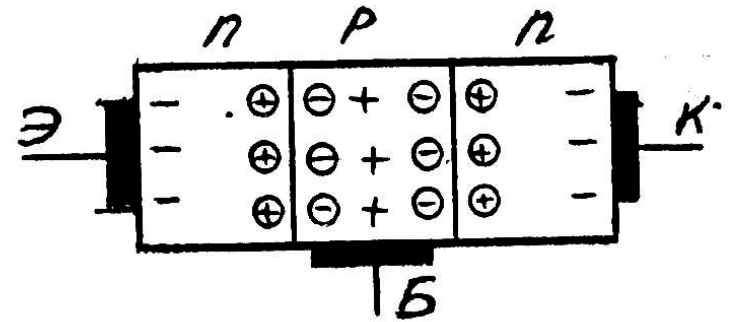
Контрольные вопросы:

- какой проводимостью обладает полупроводник?
- какая проводимость в полупроводниках называется проводимостью p – типа и какая n – типа?
- какие носители называются основными и какие не основными?
- какие носители участвуют в образовании $i_{пр}$, $i_{обр}$ в полупроводниковом диоде?
- что называется контактной разностью потенциалов?
- какой полупроводник называется полупроводником p типа и какой n типа?
- объяснить ВАХ диода

1 Устройство и принцип работы биполярного транзистора



а)



б)

Структура и условные обозначения транзисторов типа *p-n-p* (а) и *n-p-n* (б)

По принципу действия транзисторы подразделяются на **биполярные и полевые**. Работа биполярных транзисторов основана на использовании носителей зарядов обоих знаков, в то время как в полевых транзисторах используются носители зарядов одного знака.

Транзисторы применяются для усиления и генерирования электрических колебаний и для коммутации электрических цепей

Обозначение транзисторов

ГТ605А

Первый элемент обозначает исходный полупроводниковый материал (Г или К – германий, К или 2-кремний). **Второй элемент** – буква классифицирует транзисторы по принципу действия: Т - биполярный транзистор, П - полевой транзистор. **Третий элемент** – цифры – определяют функциональные возможности транзистора. Например: 1 – транзисторы с рассеиваемой мощностью не более 1Вт и граничной частотой $f_{гр} \leq 30$ МГц. **Четвертый элемент** – двухзначное число, обозначающее номер разработки. **Пятый элемент** – буква – определяет классификацию по параметрам транзистора (необязателен).

ГТ605А – германиевый, биполярный, средней мощности, $f_{гр} \leq 30$ МГц, номер разработки 0,5, группа А.

Среднюю область транзистора называют **базой** или основанием

Одну из крайних областей транзистора, предназначенную для инжекции в базу неосновных носителей зарядов, называют **эмиттером** (от латинского слова *emitto* – испускаю).

. Вторую крайнюю область, основным назначением которой является изъятие (экстракция) из базы неосновных носителей зарядов, называют **коллектором** (т.е. собирателем носителей заряда), а переход между коллектором и базой – коллекторным.

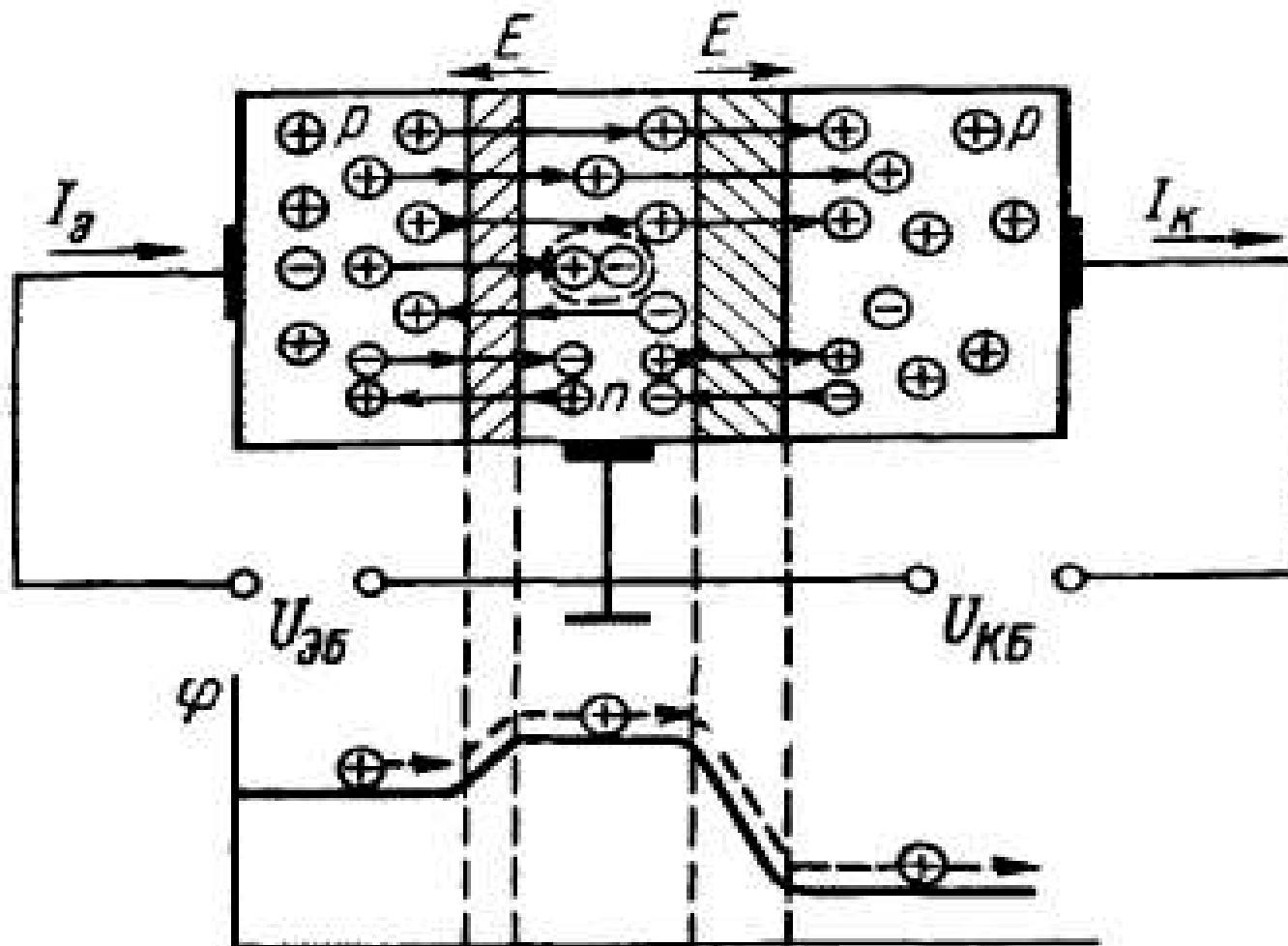
Режимы работы транзистора

Если один переход смещен в прямом направлении, а другой – в обратном, режим называется **активным**.

Если оба p-n –перехода - в обратном направлении, транзистор в режиме **ОТСЕЧКИ**.

Если оба перехода- в прямом направлении, транзистор работает в режиме **НАСЫЩЕНИЯ**. Режим отсечки и насыщения используется в режиме ключа. Режим отсечки соответствует состоянию «отключения», режим насыщения – «включено».

Принцип работы транзистора



$$I_E = I_K + I_B, \quad \text{где } I_B \ll I_K, \quad I_K \approx I_E.$$

2 Параметры и способы включения транзистора

Дифференциальный коэффициент передачи тока эмиттера в коллектор

$$\alpha = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_E} \quad \text{при } U_{кэ} = \text{const.}$$

Дифференциальным коэффициентом передачи тока базы
называется отношение приращения тока коллектора к приращению тока базы

$$\beta = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} \quad \text{при } U_{кэ} = \text{const.}$$

Коэффициент усиления по току K_i называют отношение амплитуд выходного и входного переменных токов

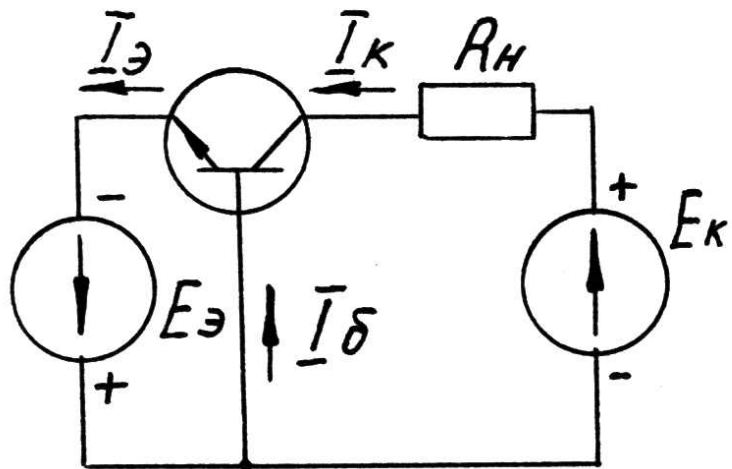
$$K_i = \frac{I_{m \text{ вых}}}{I_{m \text{ вх}}}$$

Коэффициент усиления по мощности K_p равен отношению Выходной и Входной мощности, т.е.

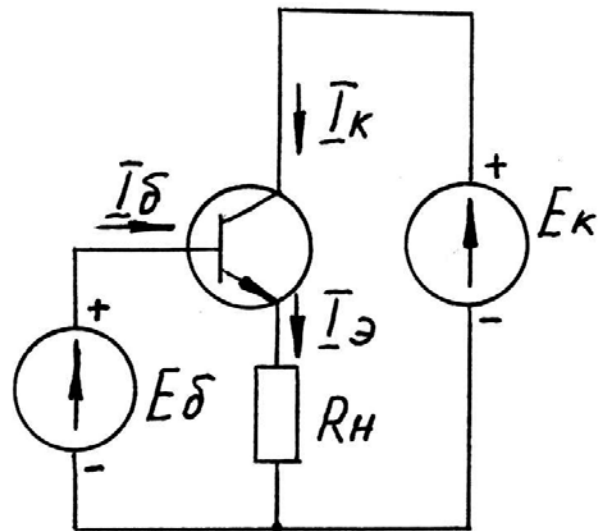
$$K_p = \frac{P_{вых}}{P_{вх}}$$

Схемы включения:

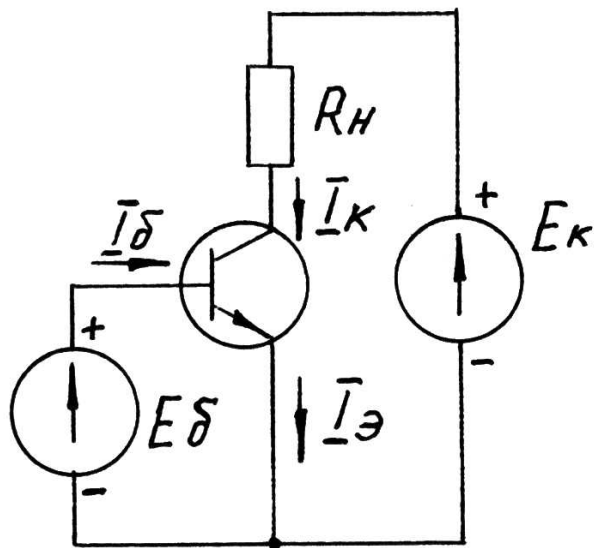
- схема с общей базой, ОБ
- схема с общим эмиттером, ОЭ
- схема с общим коллектором, ОК



ОБ



ОЭ



ОК

Наилучшими усилительными свойствами обладает схема с **ОЭ**. K_p в этой схеме может превышать несколько тысяч. К ее достоинствам относится и то, что на коллектор и базу относительно эмиттера подается напряжение одного знака. Это позволяет использовать для питания схемы один источник ЭДС. Недостаток схемы с ОЭ – сильная зависимость коэффициентов K_i и K_p от температуры транзистора и частоты усиливаемого сигнала.

Для схемы с ОЭ $R_{вх}$ невелико и составляет сотни Ом – единицы кОм. Выходные сопротивления $R_{вых}$ находятся в пределах единиц – десятков кОм. Отличительной особенностью схемы с ОЭ является то, что выходное напряжение сдвинуто по фазе на 180° относительно входного.

Особенностью схемы с **ОК** является то, что коэффициент усиления по напряжению в ней немного меньше единицы.

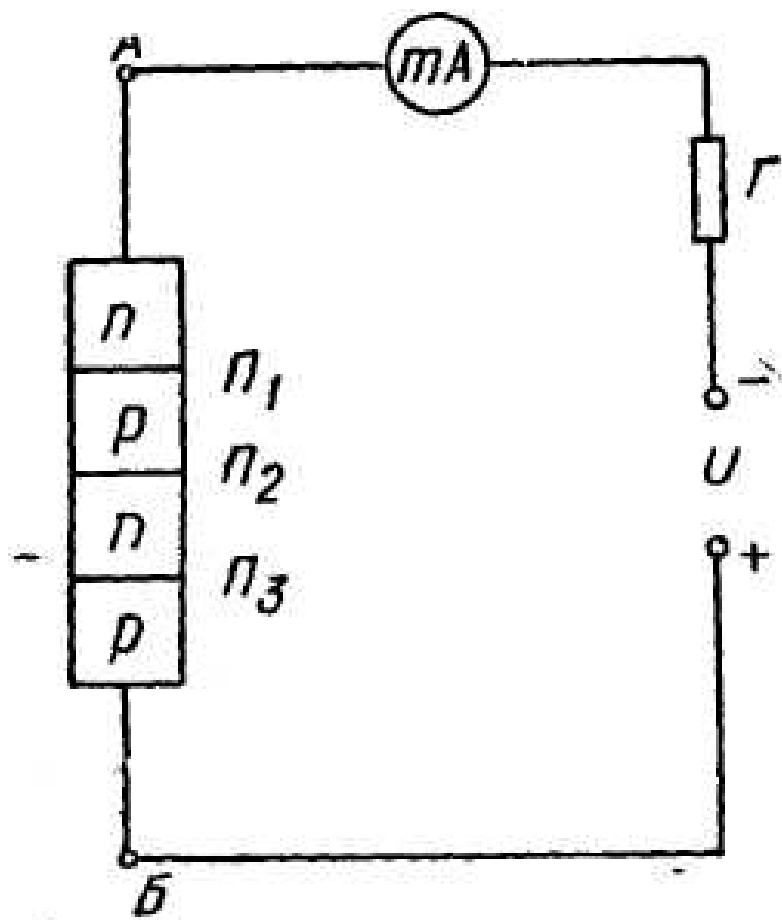
Каскад, собранный по схеме с ОК, часто называют **эмиттерным повторителем**. Достоинством схемы является высокое сопротивление (больше, чем выходное). Основное назначение эмиттерного повторителя – согласование каскадов, либо согласование нагрузки с выходным усилителем.

Понятие о тиристорах

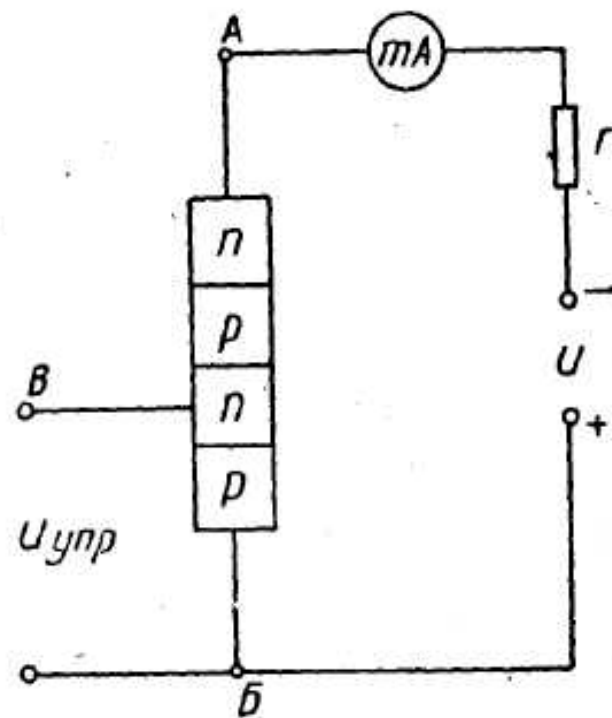
Тиристор – это полупроводниковый прибор с двумя устойчивыми состояниями, имеющий три или более переходов, который может переключаться из закрытого состояния в открытое и наоборот. Переход тиристора из закрытого состояния в открытое производится воздействием внешнего напряжения (тока).

Тиристоры используются для переключения больших токов ($1-2 \cdot 10^3$ А) и напряжений ($100-4 \cdot 10^3$ В). Тиристор представляет собой четырехслойную структуру, которая содержит три p-n перехода

Неуправляемый



Управляемый



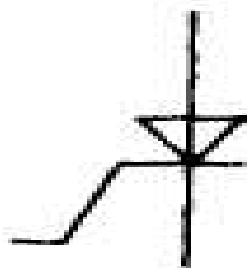
При малых напряжениях прибор заперт (т.к. П2 – включен в обратном направлении)

При увеличении напряжения происходит лавинный пробой перехода П2. При этом тиристор начинает свободно проводить ток от зажима А к зажиму Б.

Вывод: тиристор начинает проводить ток не при любом, а лишь при определенном напряжении.

Изменяя величину управляемого напряжения, можно регулировать момент включения прибора.

Условное обозначение тиристора



**Задание на самостоятельную
работу: изучить
устройство и принцип работы биполярного
транзистора, параметры и способы включения**

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. — 752 с., с. 489-499, с.503-510

ТЕМА №15 ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

ЗАНЯТИЕ №38 групповое

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНЗИСТОРОВ

Цель занятия: изучить статические и динамические характеристики биполярных транзисторов; принцип действия полевых транзисторов

Учебные вопросы

- 1 Статистические характеристики транзисторов**
- 2 Динамические характеристики транзисторов**
- 3 Полевой транзистор**

Контрольные вопросы:

- принцип работы биполярного транзистора (активный режим по схеме с ОБ);
- способы включения транзистора;
- K_j , K_U и K_P для схемы с ОЭ, с ОБ и с ОК;
- достоинства схемы с ОЭ.

Статистические характеристики транзисторов

Зависимости между токами и напряжениями в транзисторах выражаются статистическими характеристиками, снятыми при постоянных токах и отсутствии нагрузки в выходной цепи.

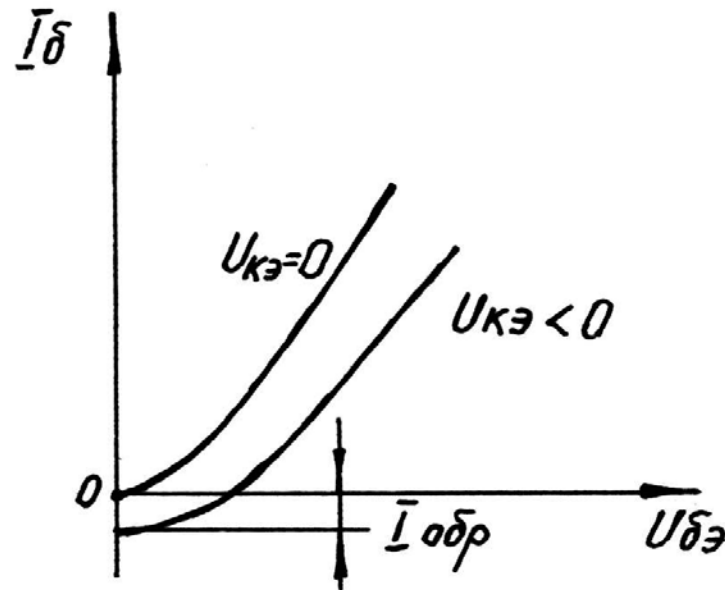
Различают 2 семейства статических характеристик – входные и выходные

Входные характеристики представляют собой зависимости:

$$I_{вх} = f(U_{вх}) \text{ при } U_{вых} = \text{const}$$

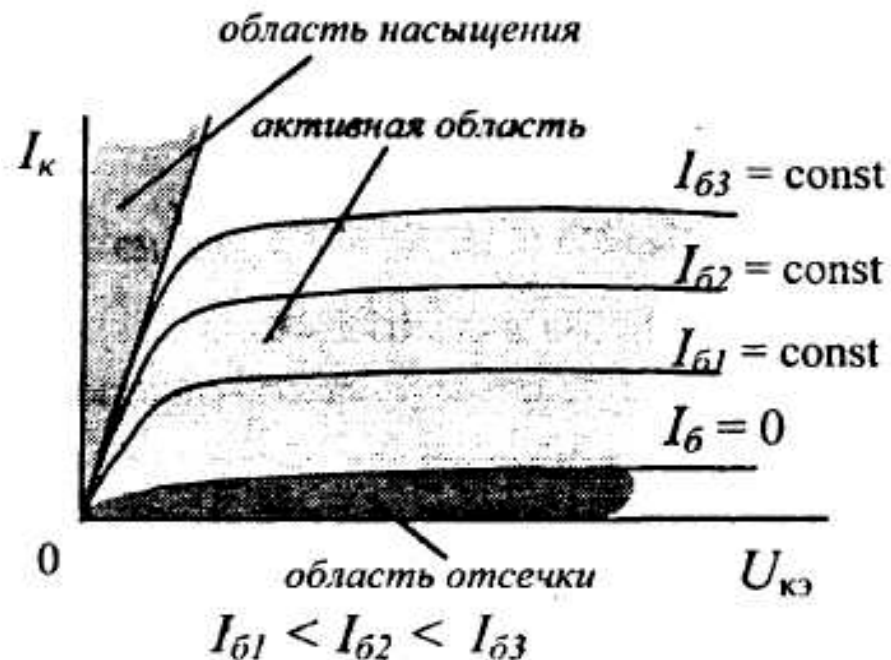
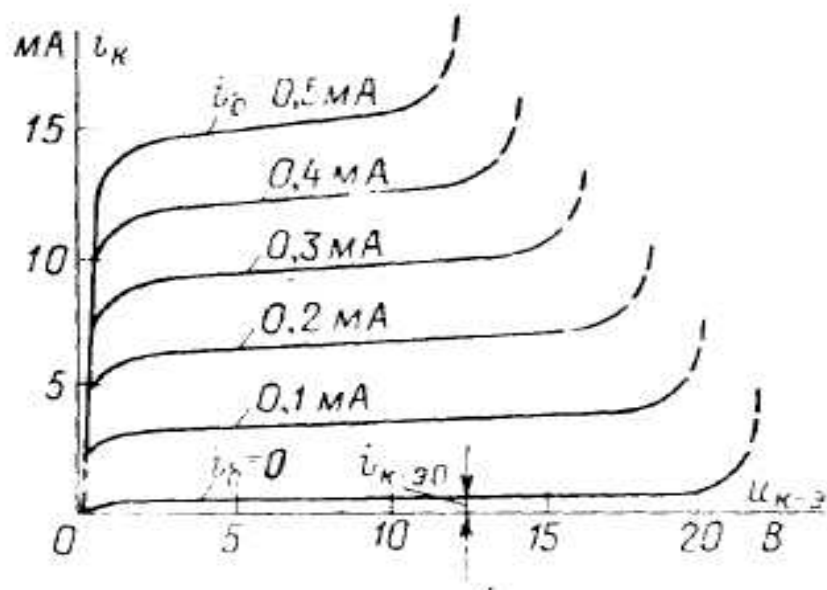
Выходные зависимости:

$$I_{вых} = f(U_{вых}) \text{ при } I_{вх} = \text{const}$$



Выходные характеристики (статические)

$$I_K = f(U_{KЭ}) \text{ при } I_B = \text{const}$$



Рабочая область выходных статических характеристик транзистора ограничивается тремя факторами:

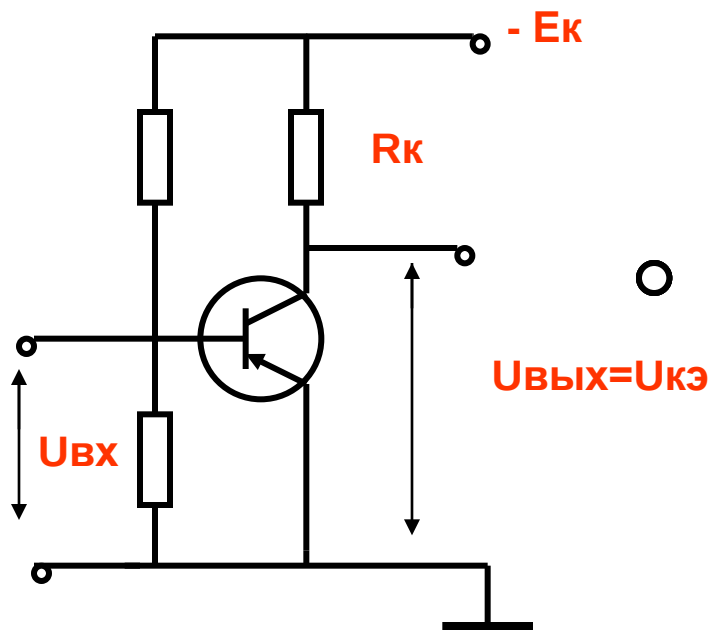
1 максимально допустимое напряжение $U_{KЭ\max}$

2 максимально допустимый ток $I_{K\max}$,

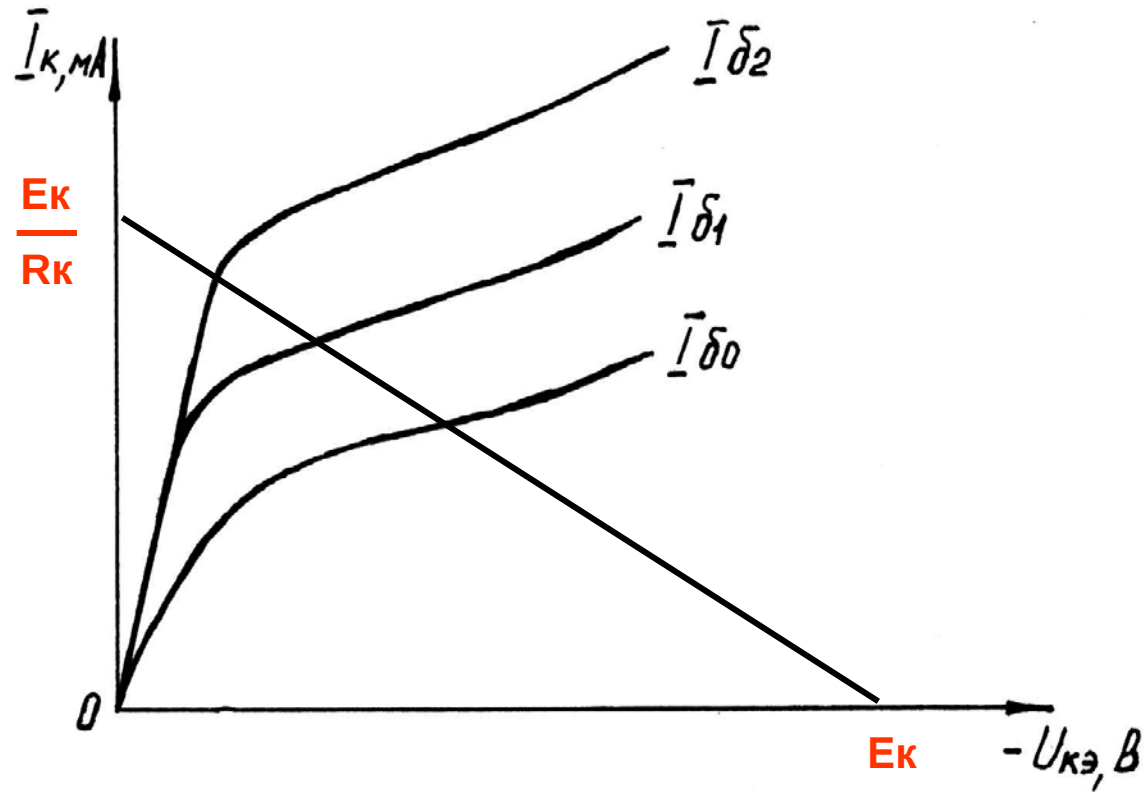
3 максимально допустимая мощность, рассеиваемая на коллекторе $P_{K\max}$.

Динамические характеристики транзисторов

Динамические характеристики транзисторов определяются режимом работы транзистора, в выходной цепи которого, имеется нагрузка, а на вход подается усиливаемый сигнал. Динамический режим отличается от статического сильным взаимным влиянием параметров транзистора и элементов схемы.



$$U_{кэ} = E_k - I_k R_k$$



Полевой транзистор

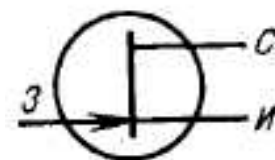
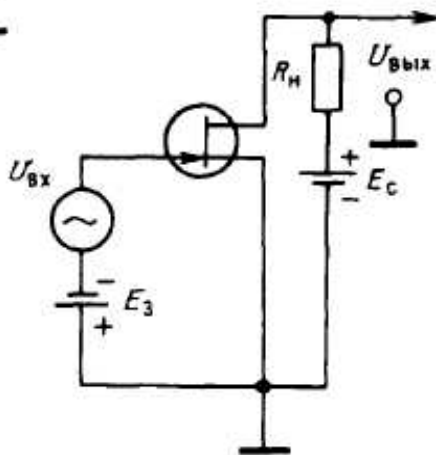
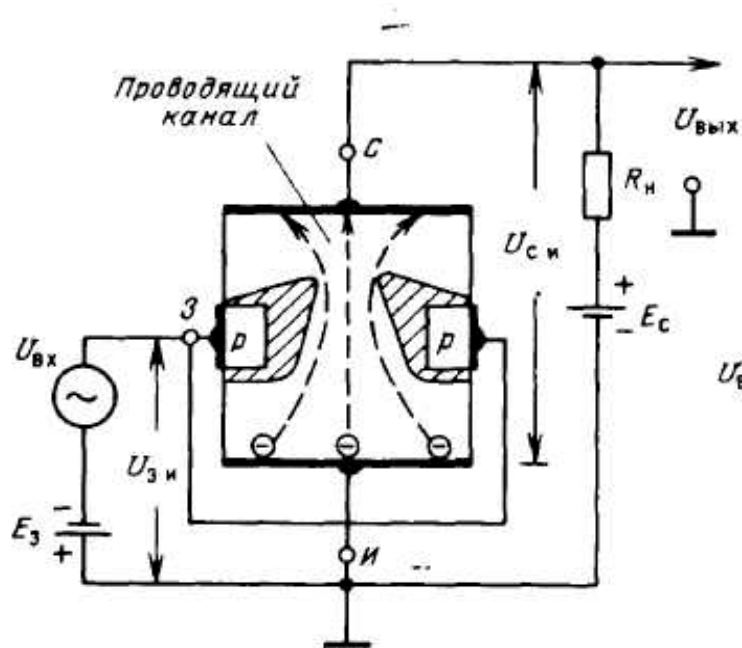
Полевым транзистором называется прибор, усилительные свойства которого обусловлены потоком основных носителей, протекающим через проводящий канал и управляемый электрическим полем, а не током, как в биполярном транзисторе.

Работа полевых транзисторов основана на использовании только одного типа носителей – основных. Поэтому их еще называют униполярными.

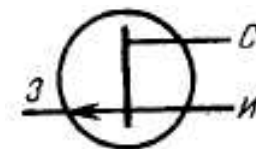
Различают две разновидности полевых транзисторов:

Транзистор с управляющим р-п переходом и МДП- транзистор (структура металл – диэлектрик - полупроводник).

Обозначение полевых транзисторов на схемах

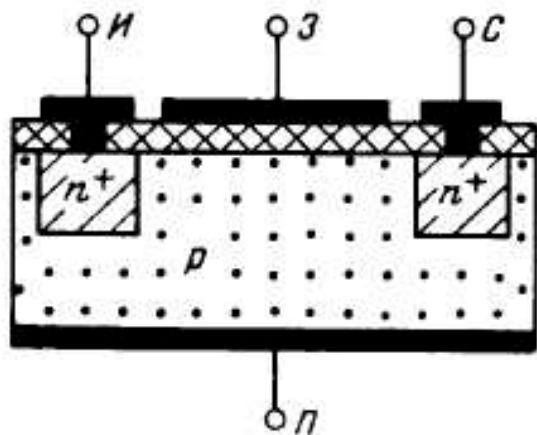


Канал р-типа

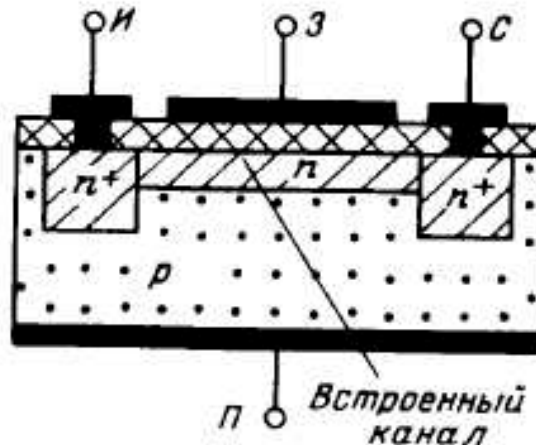
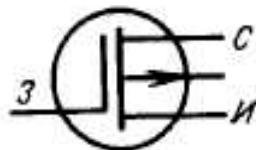


Канал n-типа

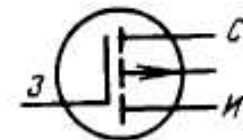
Полевой МДП-транзистор



с индуцированным каналом



с встроенным каналом



МДП –транзисторы отличаются от полевых транзисторов с управляющим $p-n$ переходом тем, что электрод затвора изолирован от полупроводниковой области канала слоем диэлектрика.

Области с высокой концентрацией носителей p^* образуют с полупроводником $p-n$ переходы, один из них при любой полярности напряжения на стоке относительно истока оказывается включенным в обратном направлении и препятствует протеканию тока I_c .

В МДП – транзисторе со встроенным каналом ток I_c возможен при нулевом напряжении затвора. Отрицательное напряжение на затворе выталкивает из канала электроны и втягивает дырки, т.е. обогащает канал основными носителями и повышает его проводимость.

При положительном напряжении $U_{зи}$ канал будет обедняться основными носителями (дырками), а его проводимость уменьшается

**Задание на самостоятельную
работу: изучить
статические характеристики биполярного
транзистора;
устройство и принцип работы полевого
транзистора.**

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. — 752 с., ., с. 496-502.

ТЕМА №15

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

ЗАНЯТИЕ № 39 ПРАКТИЧЕСКОЕ

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ
ТРАНЗИСТОРОВ

Цель:

**получить навыки расчета h -параметров
транзистора**

Учебные вопросы

1 Параметры транзисторов

2 Определение h – параметров транзисторов по схеме с ОЭ

Параметры транзисторов

Очень часто в справочной литературе вместо таких параметров, как коэффициент усиления, входное сопротивление приводятся данные по так называемым h – параметрам.

Все параметры транзисторов можно разделить на **собственные или первичные и вторичные**.

Собственные параметры характеризуют свойства самого транзистора независимо от схемы включения, а вторичные изменяются в зависимости от схемы включения.

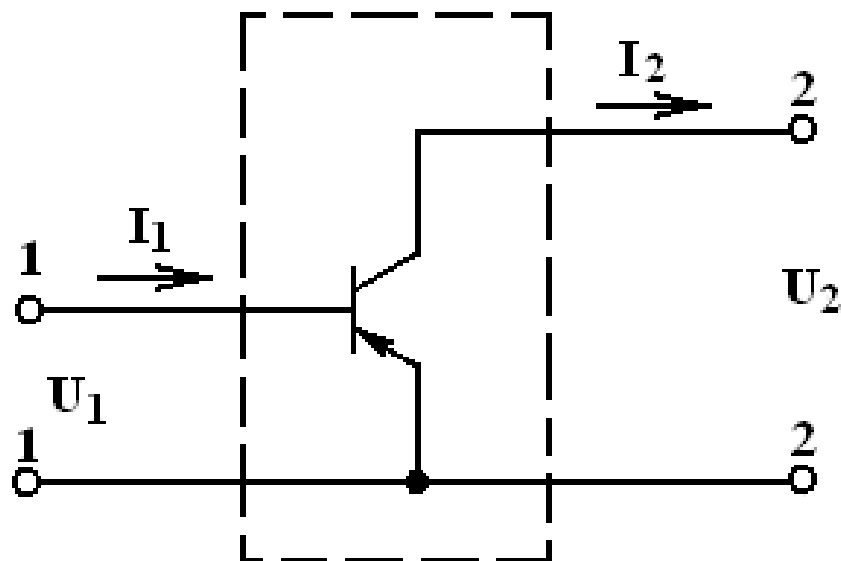
h – параметры транзисторов относятся к системе вторичных параметров.

Определение h – параметров основано на том, что транзистор рассматривается как четырехполюсник, имеющий два входных и два выходных зажима. **h – параметры связывают между собой входные и выходные точки напряжения.**

Определение h – параметров транзисторов по схеме с ОЭ

В систему h – параметров входят величины

- 1) входное сопротивление по переменному току $h_{11} =$ при $U_2 = \text{const}$, то есть при условии отсутствия переменного сигнала на выходе;
- 2) коэффициент обратной связи по напряжению $h_{12} =$ при $I_1 = \text{const}$, то есть при условии отсутствия переменного сигнала на входе;
- 3) выходная проводимость $h_{22} =$ при $I_1 = \text{const}$;
- 4) коэффициент передачи тока $h_{21} =$ при $U_2 = \text{const}$

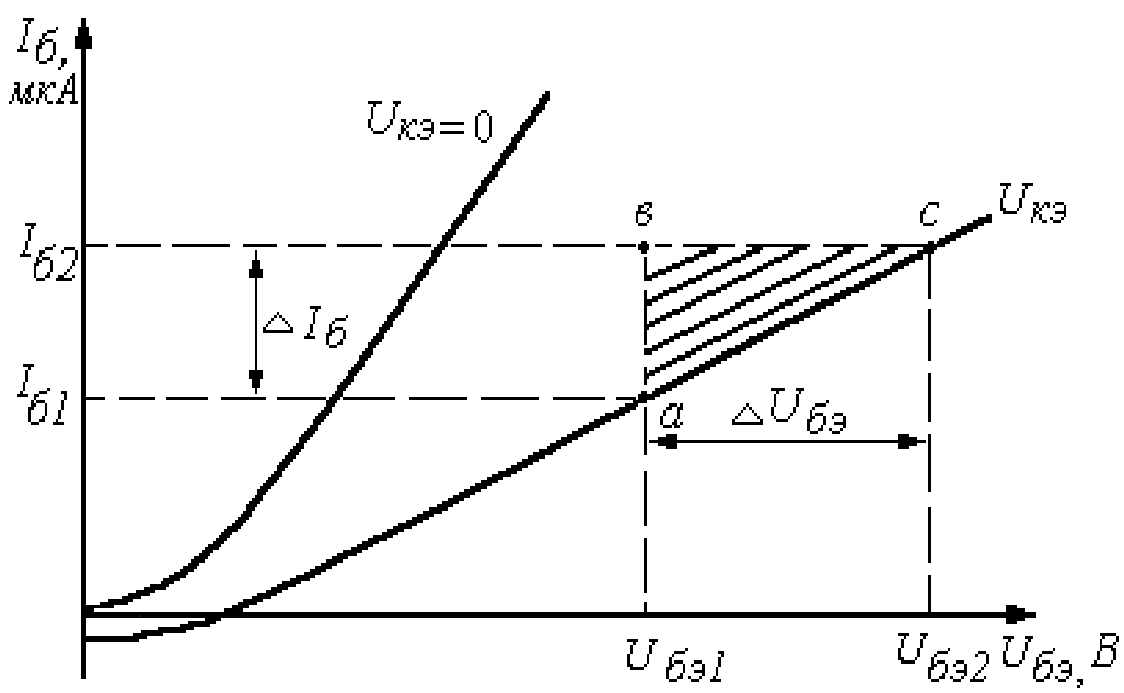


Определение h – параметров транзисторов по схеме с ОЭ

Входное сопротивление h_{11}

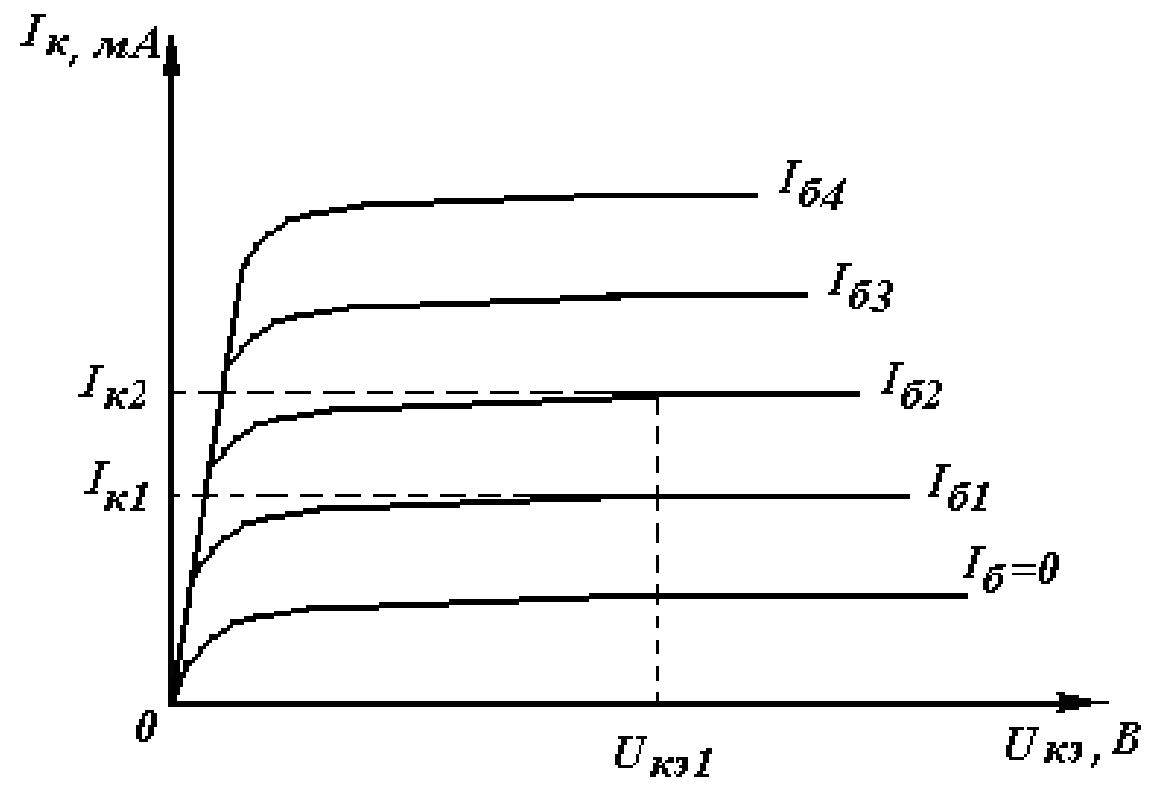
$$h_{11} = \frac{\Delta U_{бэ}}{\Delta I_{б}}$$

при $U_{кэ} = const$



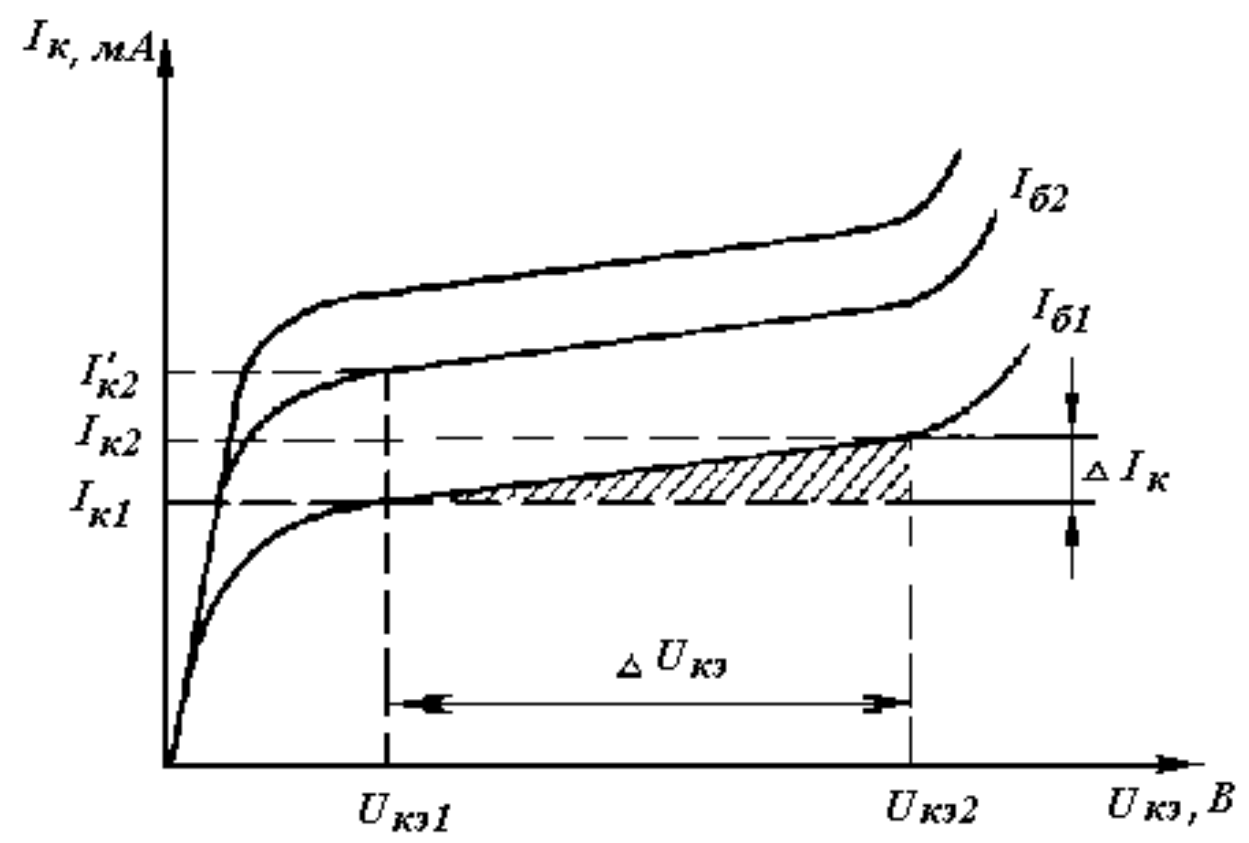
Определение h – параметров транзисторов по схеме с ОЭ

Коэффициент усиления по току $h_{21} = \frac{\Delta I_{\kappa}}{\Delta I_{\delta}}$



Определение h – параметров транзисторов по схеме с ОЭ

Выходная проводимость $h_{22} = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{KЭ}}$ при $I_B = \text{const}$



Определение h – параметров транзисторов по схеме с ОЭ

- ЗАДАЧА № 2
- Рассчитать K_i , K_u , K_r по статическим и динамическим характеристикам, предложенным преподавателем.
- ЗАДАЧА № 3
- Рассчитать h -параметры (h_{11} , h_{21} , h_{22} ,) по статическим характеристикам, предложенным преподавателем.
- ЗАДАЧА № 4
- Используя таблицу параметров, дать сравнительную оценку 3-х схем включения транзистора.

Задание на самостоятельную работу

Изучить статические характеристики биполярного транзистора и определение по ним h – параметров.

Литература:

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. – 752 с., с.489-499.

ТЕМА №16 ЭЛЕКТРОННЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ И СТАБИЛИЗАТОРЫ

ЗАНЯТИЕ №40 групповое

ОДНОФАЗНЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

Цель занятия: изучить однофазные
выпрямители на полупроводниковых
приборах, работу фильтров

Учебные вопросы

- 1 Однофазные выпрямители**
- 2 Электрические фильтры**

Контрольные вопросы:

- статические характеристики транзисторов:
 - а) входные;
 - б) выходные;
- устройство и принцип работы полевых транзисторов:
 - а) с управляющим р-п переходом;
 - б) МДП – транзисторы.

Однофазные выпрямители

Выпрямителем называется устройство для преобразования электрического переменного тока в постоянный

Выпрямители классифицируются:

по типу вентиля (электронные, ионные, полупроводниковые); по типу схемы однополупериодная, двухполупериодная; по характеру нагрузки (с активной нагрузкой, активно- ёмкостной)

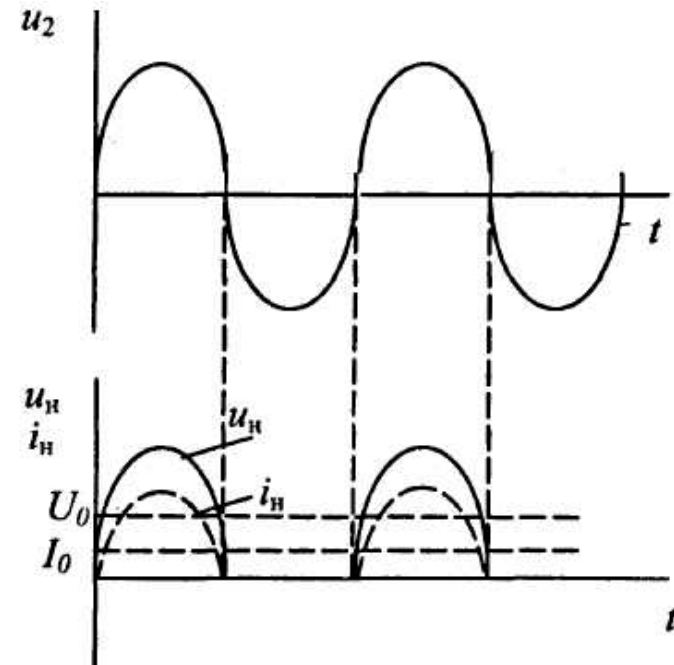
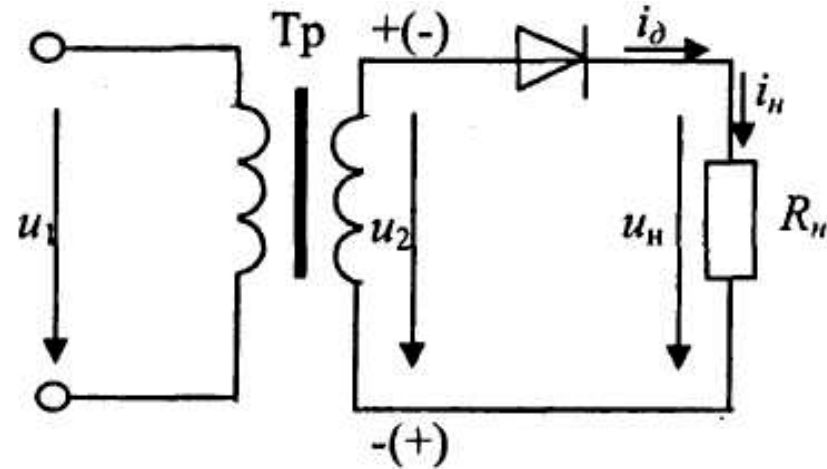
Основными параметрами выпрямителей являются:

I_2 и U_2 – действующее значение тока и напряжения на вторичной обмотке трансформатора при заданном значении линейного выпрямленного тока I_o и напряжения на нагрузке U_o , а также коэффициент пульсации выпрямленного напряжения K_p .

При расчете выпрямителей для выбора типа диодов необходимо знать: $U_{обрмаx}$ и $I_{вмаx}$ максимальный ток через вентиль.

Однополупериодное выпрямление

Основными элементами выпрямителя являются: **трансформатор и вентили**



Выпрямленное напряжение и ток в нагрузке уже не является синусоидальным, а имеет вид повторяющихся импульсов одной полярности. Такое напряжение (ток) можно представить как сумму гармоник

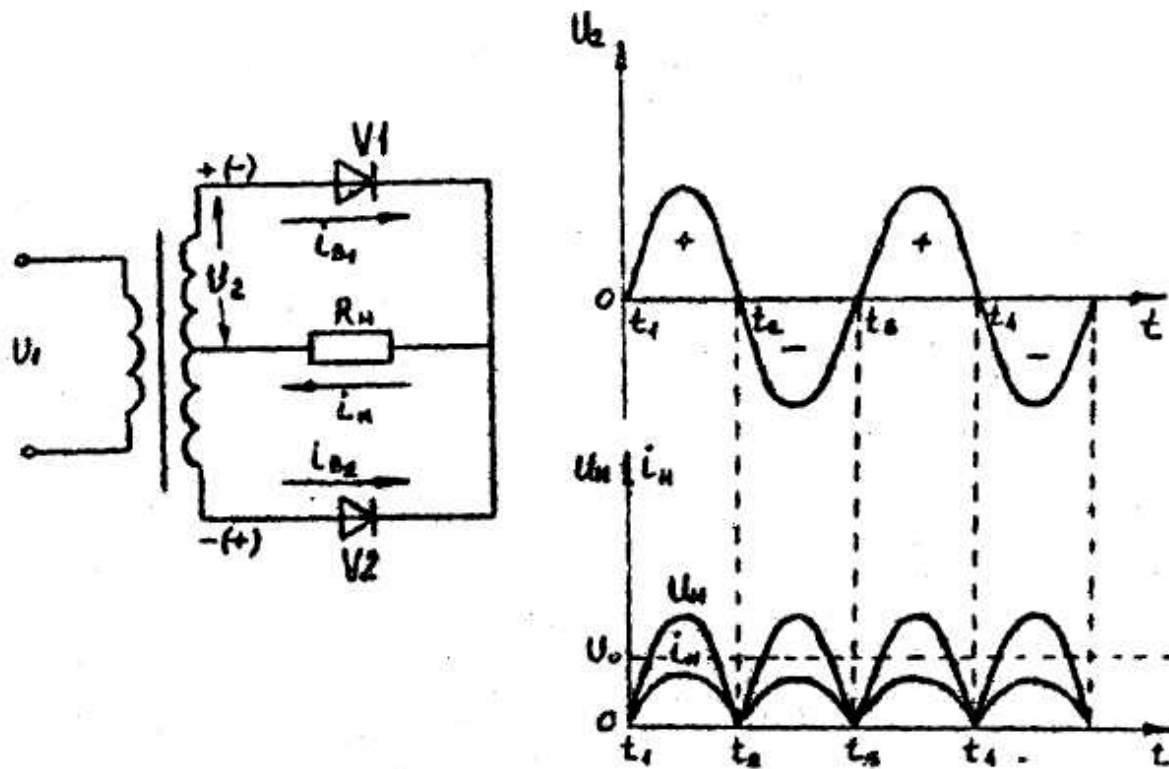
$$i = I_0 + \sum_{n=1}^m I_{nm} \cdot \sin n\omega t$$

$$Kn = \frac{I_{1m}}{I_0} = \frac{U_{1m}}{U_0} - \text{коэффициент пульсаций}$$

Для данной схемы:

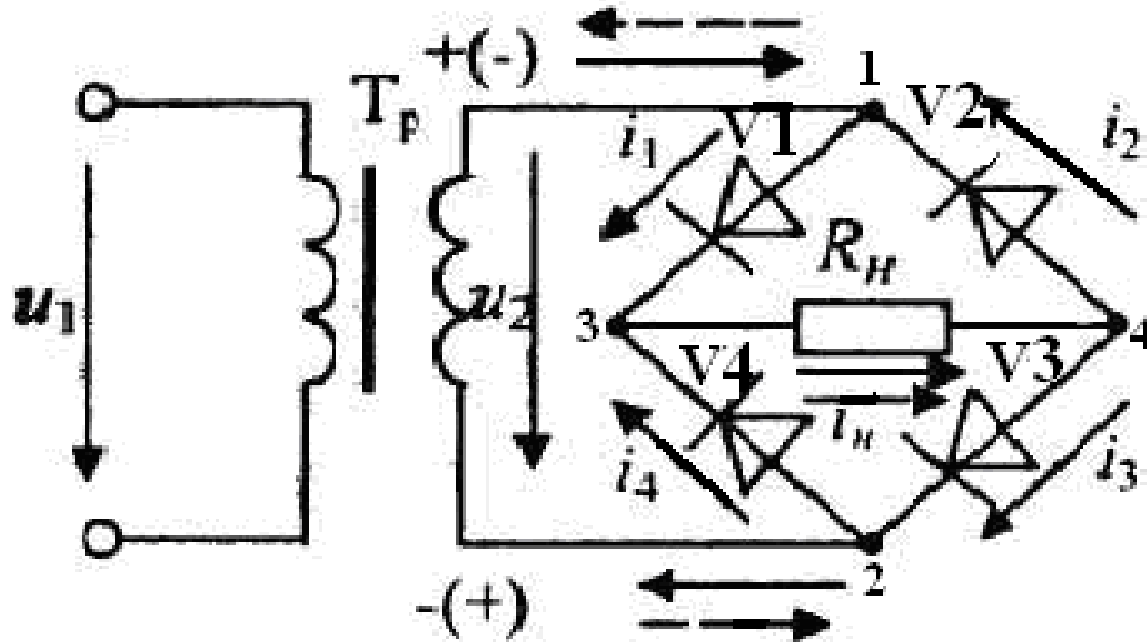
$$U_2 = 2,22U_0 ; P_{mp} = 3,14P_0$$

Двухполупериодная схема выпрямления



Для этой схемы $K_p = 0,67$, а среднее значение U_0 вдвое больше, чем у однополупериодной схемы: габариты и масса трансформатора значительно меньше, меньше пульсации.

Мостовая схема выпрямления



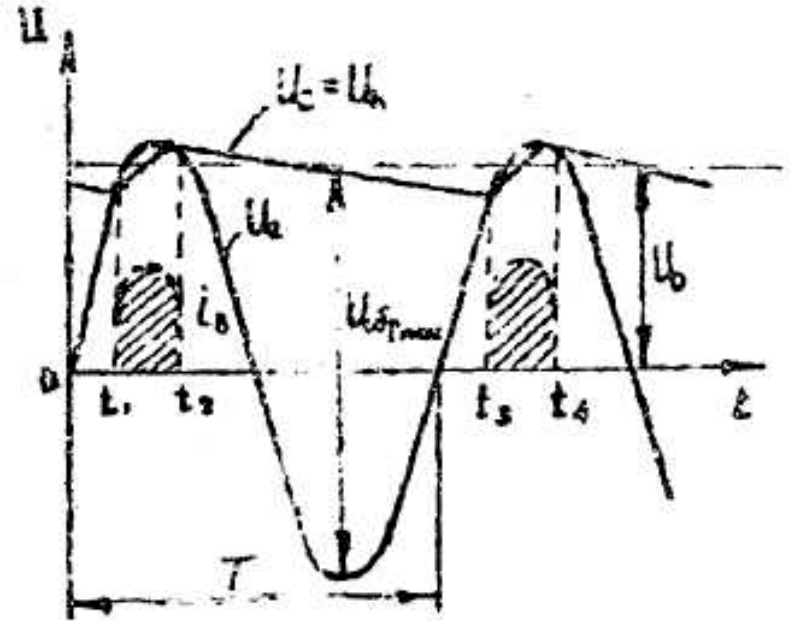
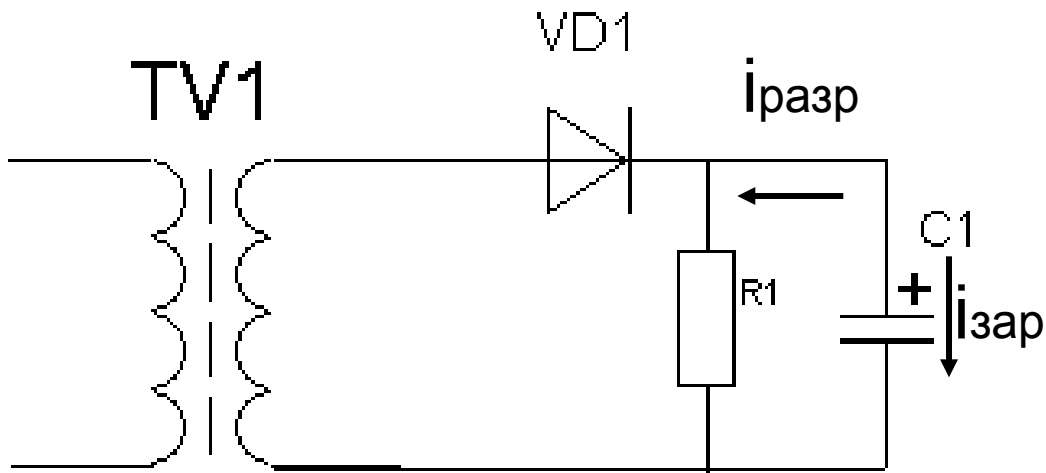
Достоинства мостовой схемы: не нужен отвод от средней точки трансформатора, габариты и масса трансформатора меньше, меньше $U_{обр}$ на каждом вентиле.

Недостатки: применение 4 вентилях вместо 2, внутреннее сопротивление выпрямителя больше т.к. ток протекает через два последовательно включенных диода.

Сравнительная таблица параметров выпрямителей

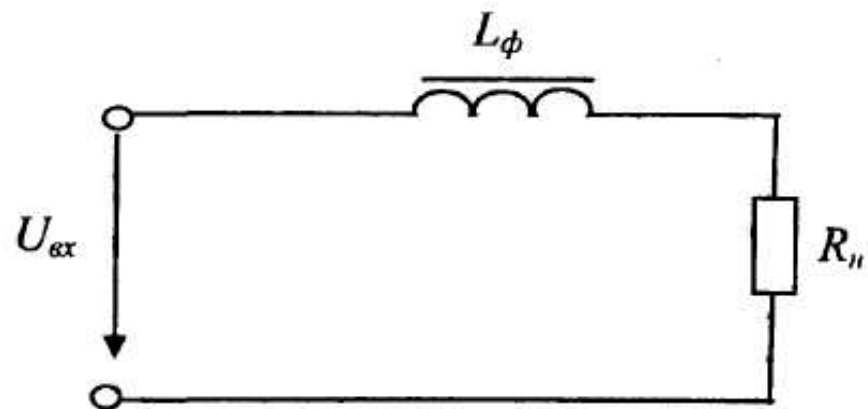
Схемы	U_0	I_2	$U_{обр\ max}$	$I_{в\ max}$	$K_{п}$	P_{mp}/P_o
однополупериодная	0,45 U_2	1,57 I_o	3.14 U_0	3.14 I_o	1,57	3.1
двухполупериодная	0,94 U_2	0,78 I_o	3.14 U_0	1,57 I_o	0.67	1,48
мостовая	0,94 U_2	1,11 I_o	1,57 U_0	1,57 I_o	0.67	1.23

Электрические фильтры

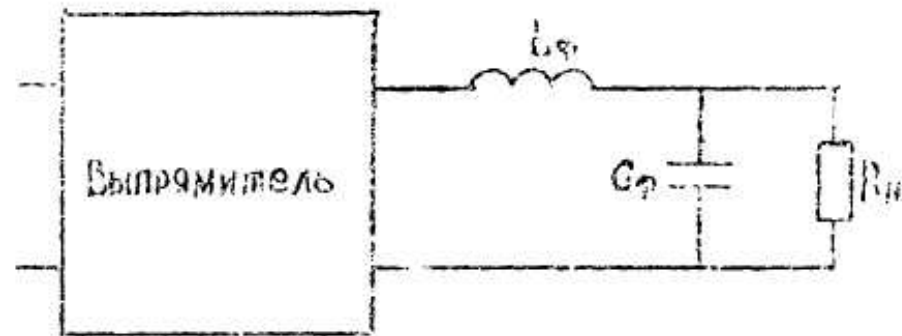


$$X_c = \frac{1}{2\pi f c} \leq R_n$$

Электрические фильтры



$$X_L \gg R_H, \quad 2\pi f L_\phi \gg R_H$$



$$X_c = \frac{1}{2\pi f c} \leq R_H$$

**Задание на самостоятельную
работу: изучить
однофазные выпрямители на
полупроводниковых приборах, работу фильтров**

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. — 752 с., с. 306-311.

ТЕМА №16 ЭЛЕКТРОННЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ И СТАБИЛИЗАТОРЫ

ЗАНЯТИЕ №41 групповое

ТРЕХФАЗНЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

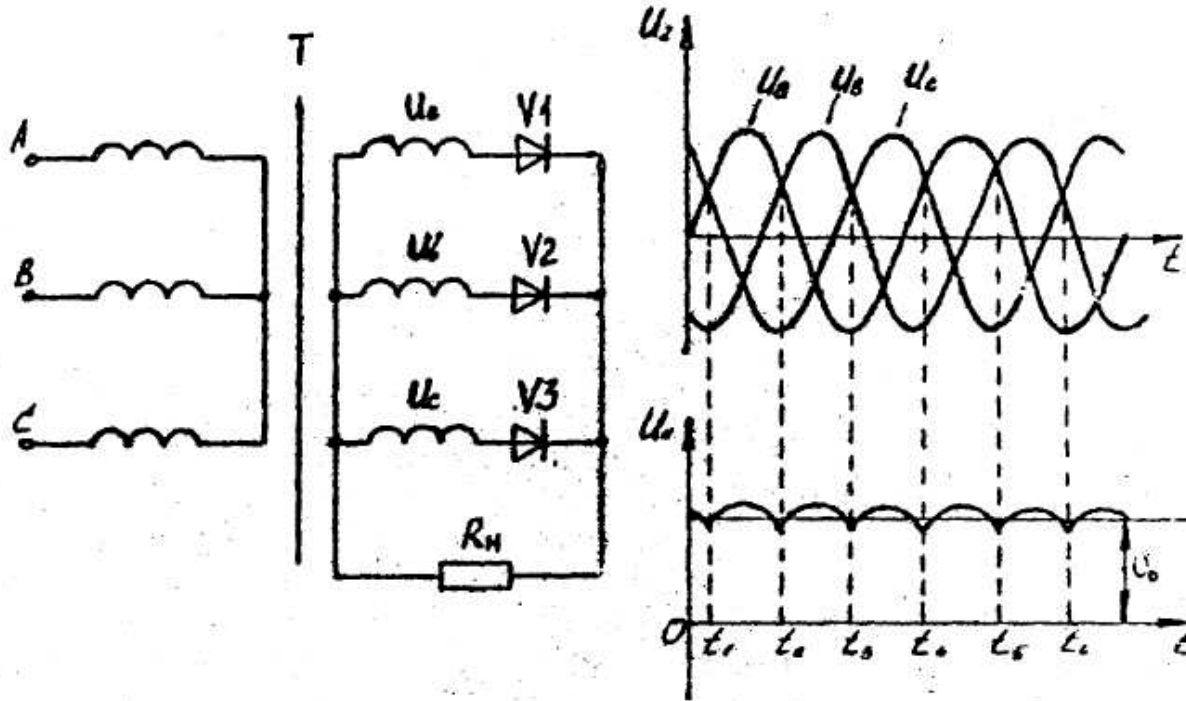
Цель занятия: изучить трёхфазные
выпрямители на полупроводниковых
приборах

Учебные вопросы

1 Схема Миткевича

2 Схема Ларионова

Схема Миткевича



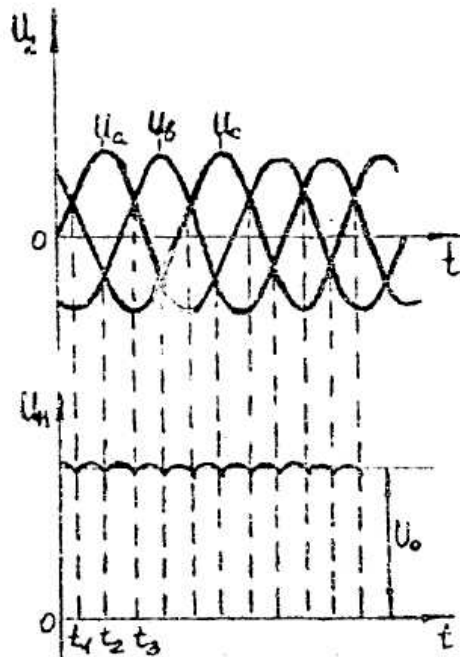
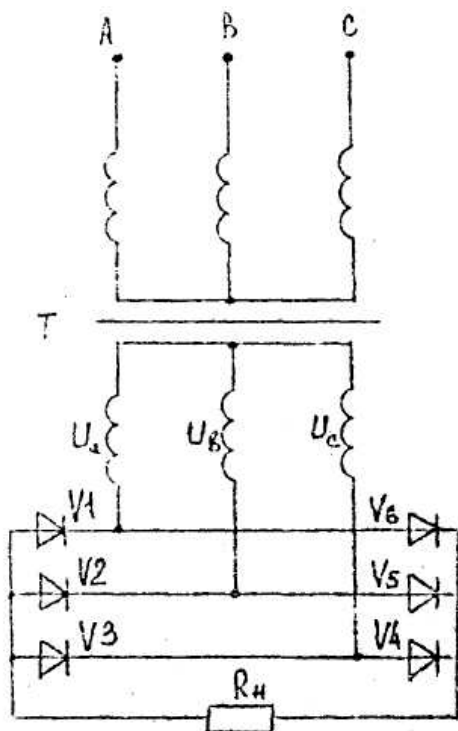
Выпрямленный ток является суммарным током поочередно действующих диодов, а выпрямленное напряжение имеет форму огибающих кривых фазных напряжений.

Достоинства схемы по сравнению с однофазными схемами: обеспечивает меньшую амплитуду и большую частоту пульсаций выпрямленного тока

$K_p = 0,25$

Недостатки: постоянное подмагничивание трансформатора.

Схема Ларионова



В каждый момент под воздействием линейного напряжения двух фаз работают два вентиля.

Подмагничивание трансформатора в этой схеме отсутствует, т.к. каждая фаза работает дважды за период, с противоположно направленными токами. Переключение вентиля происходит в момент равенства фазных напряжений смежных фаз – пять раз за период.

Достоинства: высокая частота и незначительная амплитуда пульсации

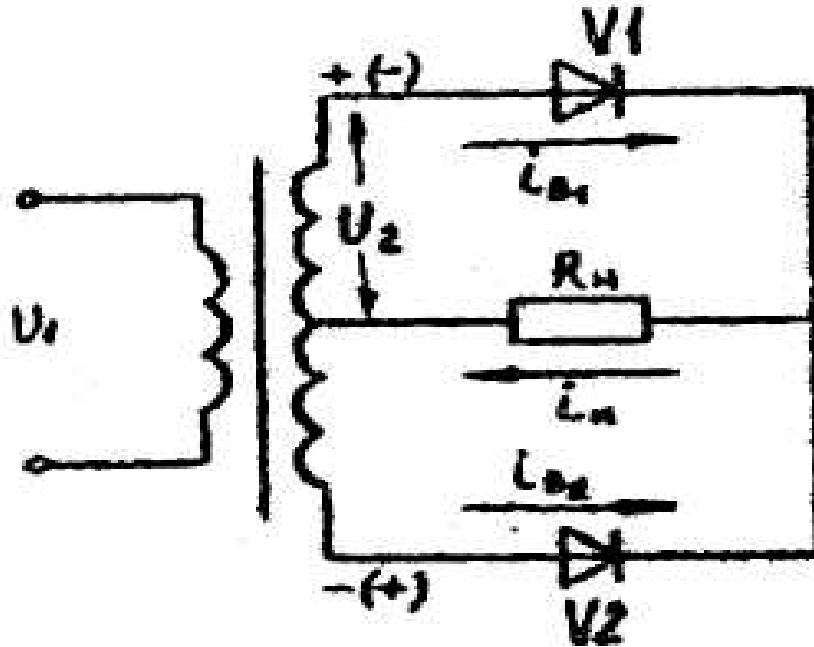
$$K_p = 0,057,$$

хорошее использование вентиля по напряжению $U_{обрма} = 1,05 U_o$, малые габариты трансформатора в связи с отсутствием подмагничивания ($P_{тр} = 1,05 P_o$).

Недостатки схемы: увеличение числа вентиля до шести.

Задача

Двухполупериодный выпрямитель работает на активную нагрузку. Амперметр, включенный в цепь вторичной обмотки трансформатора РА, показывает 0,01 А. Рассчитать максимальное обратное напряжение на каждый диод, если $R_H = 1,8 \text{ кОм}$.



Сравнительная таблица параметров выпрямителей

Схемы	U_0	I_2	$U_{обр\ max}$	$I_{в\ max}$	$K_{п}$	P_{mp}/P_o
однополупериодная	0,45 U_2	1,57 I_o	3.14 U_0	3.14 I_o	1,57	3.1
двухполупериодная	0,94 U_2	0,78 I_o	3.14 U_0	1,57 I_o	0.67	1,48
мостовая	0,94 U_2	1,11 I_o	1,57 U_0	1,57 I_o	0.67	1.23

Решение

По таблице соотношений основных параметров схем выпрямления:

$$U_{обр\max} = 3,14 U_0$$

U_0 – среднее значение выпрямленного напряжения на нагрузке.

$$U_0 = I_0 \cdot R_n .$$

Амперметр показывает действующее значение тока вентиля

$$I_B = 0,78 I_0, \quad I_0 = \frac{I_B}{0,78} = \frac{0,01}{0,78} = 0,013 \text{ A}$$

$$U_0 = 0,013 \cdot 1,8 \cdot 10^3 = 23,4 \text{ (В)}$$

$$U_{обр\max} = 3,14 \cdot 23,4 = 72,2 \text{ (В)}.$$

.

**Задание на самостоятельную
работу: изучить
трёхфазные выпрямители на
полупроводниковых приборах**

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. — 752 с., с. 531-534, 537-541 .

ТЕМА №16 ЭЛЕКТРОННЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ И СТАБИЛИЗАТОРЫ

ЗАНЯТИЕ №42 групповое

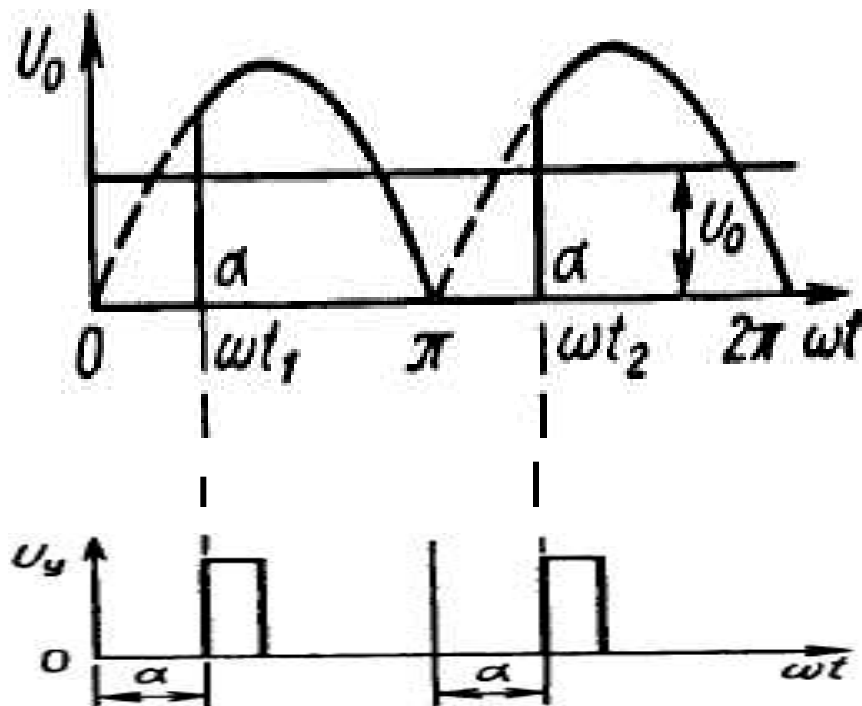
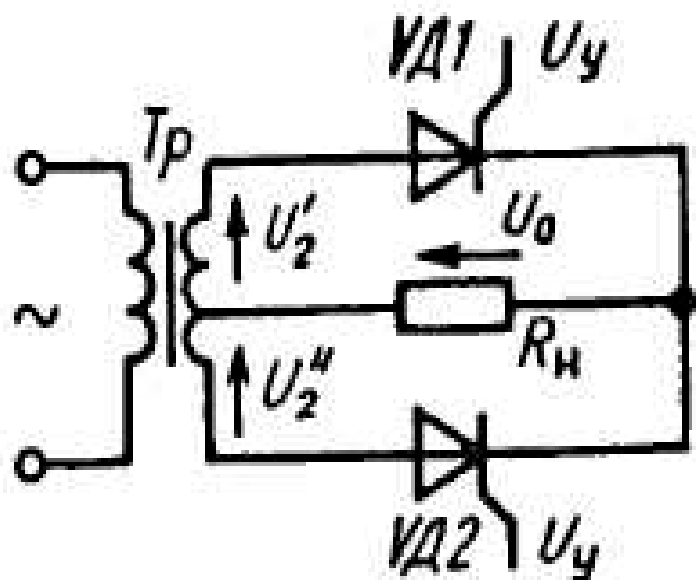
УПРАВЛЯЕМЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

Цель занятия: изучить работу управляемых
выпрямителей и стабилизаторов
напряжения

Учебные вопросы

- 1 Понятие об управляемых выпрямителях**
- 2 Стабилизаторы напряжения**

Понятие об управляемых выпрямителях



В схеме вместо диодов применяются управляемые тиристоры. Момент открывания тиристоров $VD1$ и $VD2$ определяется моментом подачи на их управляющие электроды импульсов U_y . В момент прихода импульсов тиристоры открываются. Происходит задержка открытия тиристоров по отношению к моменту перехода напряжения через нуль. Эта задержка равна α . Угол α называется углом управления

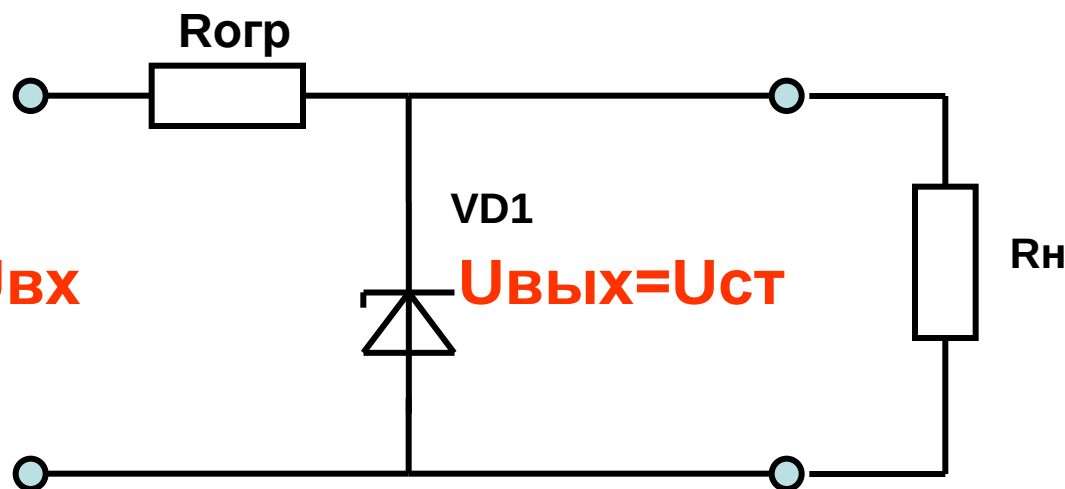
Недостаток: увеличиваются пульсации выпрямленного напряжения

Применение: станция СРЗ-А (УЗА-200-60); в зарядных агрегатах типа ВАК (ВАК-12-115; ВАК-6-115)

Стабилизаторы напряжения

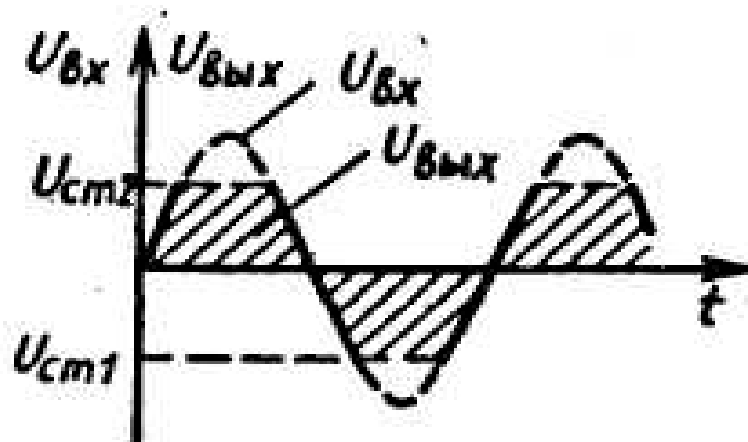
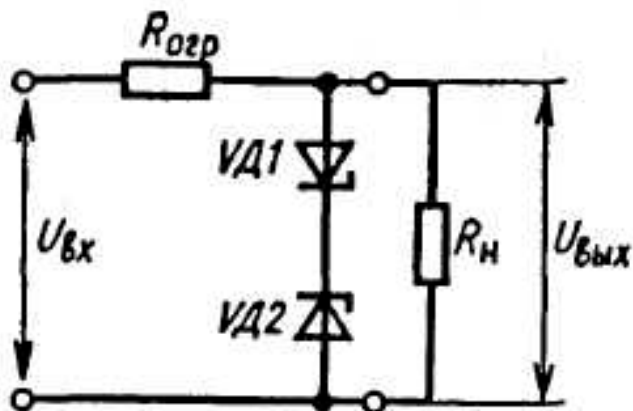
Стабилизатором постоянного напряжения называется устройство, поддерживающее с требуемой точностью напряжение на нагрузке при изменении в заданных пределах напряжения сети и сопротивления нагрузки.

Стабилизаторы постоянного напряжения подразделяются на **параметрические** и **компенсационные**.



$$R_{огр} = \frac{U_{вх} - U_{вых}}{I_H + I_{ст}}$$

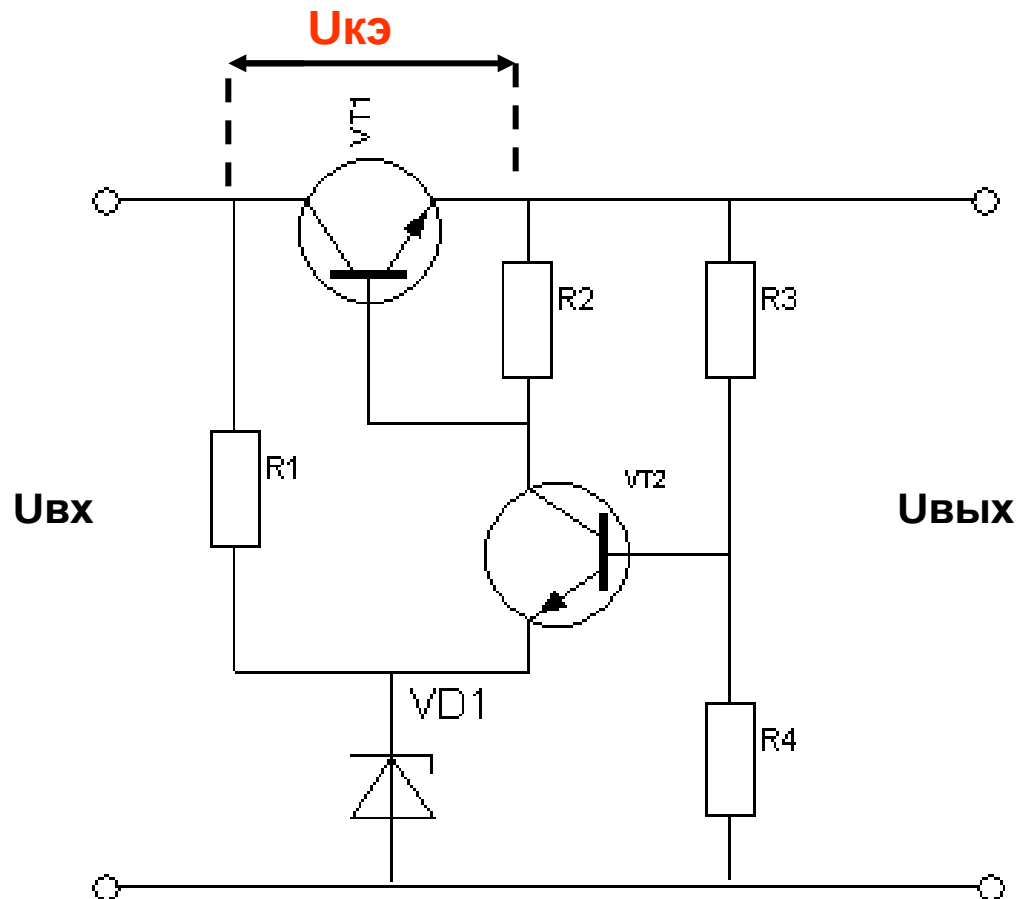
Стабилизатор переменного напряжения



Стабилизацию постоянного напряжения можно также получить с помощью диода, включенного в прямом направлении. Кремневые диоды, предназначенные для этой цели, называют стабисторами. Для изготовления стабисторов применяют кремний с большой концентрацией примесей.

В отличие от стабилитронов стабисторы имеют малое напряжение стабилизации (около 0,7 В). Для расширения диапазона напряжения стабилизации используют последовательное соединение в одном корпусе нескольких стабисторов.

Стабилизатор компенсационного типа



Работа стабилизаторов компенсационного типа основана на сравнении фактического значения выходного напряжения с заданным.

$$U_{вых} = U_{вх} - U_{кэ}$$

**Задание на самостоятельную
работу: изучить
работу управляемых выпрямителей
и стабилизаторов напряжения**

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. — 752 с., с. 534-536.

ТЕМА №17 ЭЛЕКТРОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ

ЗАНЯТИЕ №44 групповое

ТРАНЗИСТОРНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

Цель занятия: изучить работу усилителя
на биполярном транзисторе

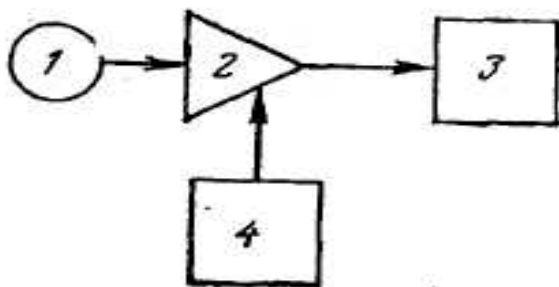
Учебные вопросы

- 1 Усилительный каскад на биполярном транзисторе**
- 2 Принцип усиления переменного сигнала**
- 3 Способы подачи напряжения смещения**
- 4 Амплитудная и частотные характеристики**

Усилительный каскад на биполярном транзисторе

Устройства, с помощью которых путем затраты небольшого количества электрической энергии управляют энергией существенно большей, называют усилителями.

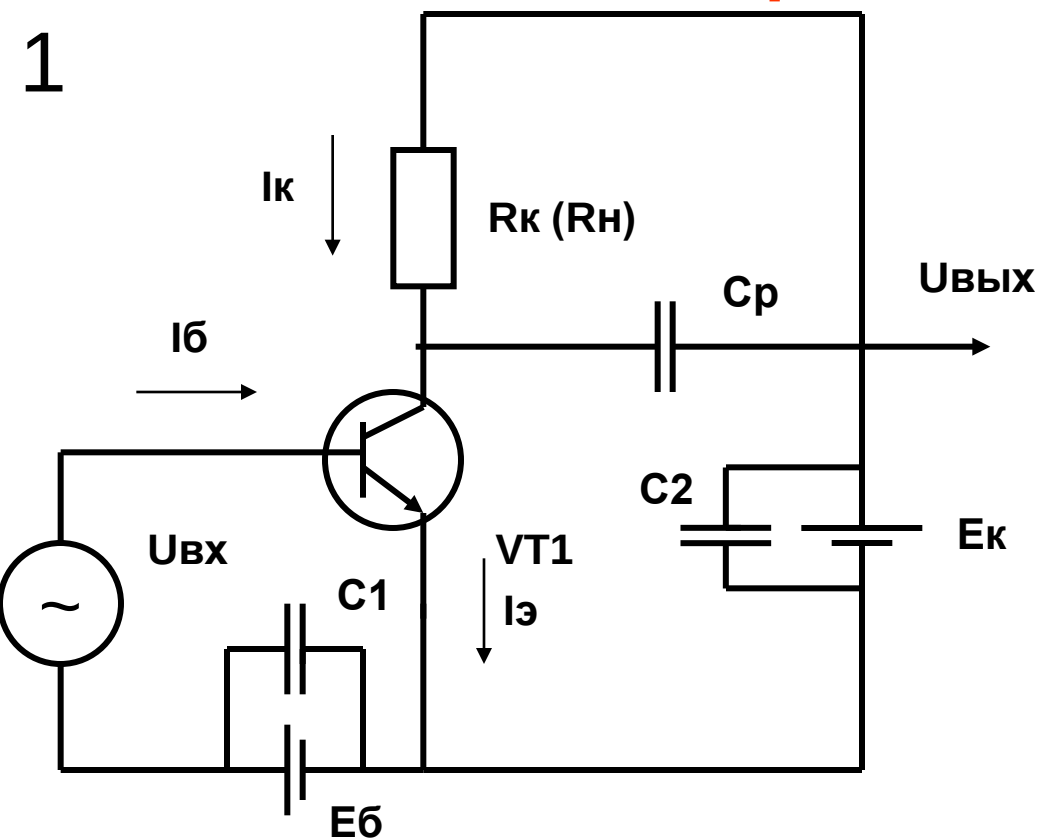
- В состав усилителя входят усилительный (активный) элемент, пассивный элементы и источники питания. Назначение усилительного элемента - преобразование электрической энергии источника питания в энергию усиливаемых сигналов. Усиливаемый сигнал, подаваемый на вход усилителя, осуществляет управление процессом преобразования этой энергии. В результате выходной сигнал является функцией входного сигнала.
- Мощность выходного сигнала за счет энергии источника питания во много раз больше мощности усиливаемого сигнала. Пассивные элементы усилителя служат для обеспечения нужного режима работы усилительного элемента



1-источник сигнала, 2-усилитель
3-нагрузка, 4-источник питания

- В зависимости от используемых усилительных элементов усилители делятся на транзисторные, ламповые, диодные, магнитные

Усилительный каскад на биполярном транзисторе



Все резисторы, конденсаторы-
пассивные элементы

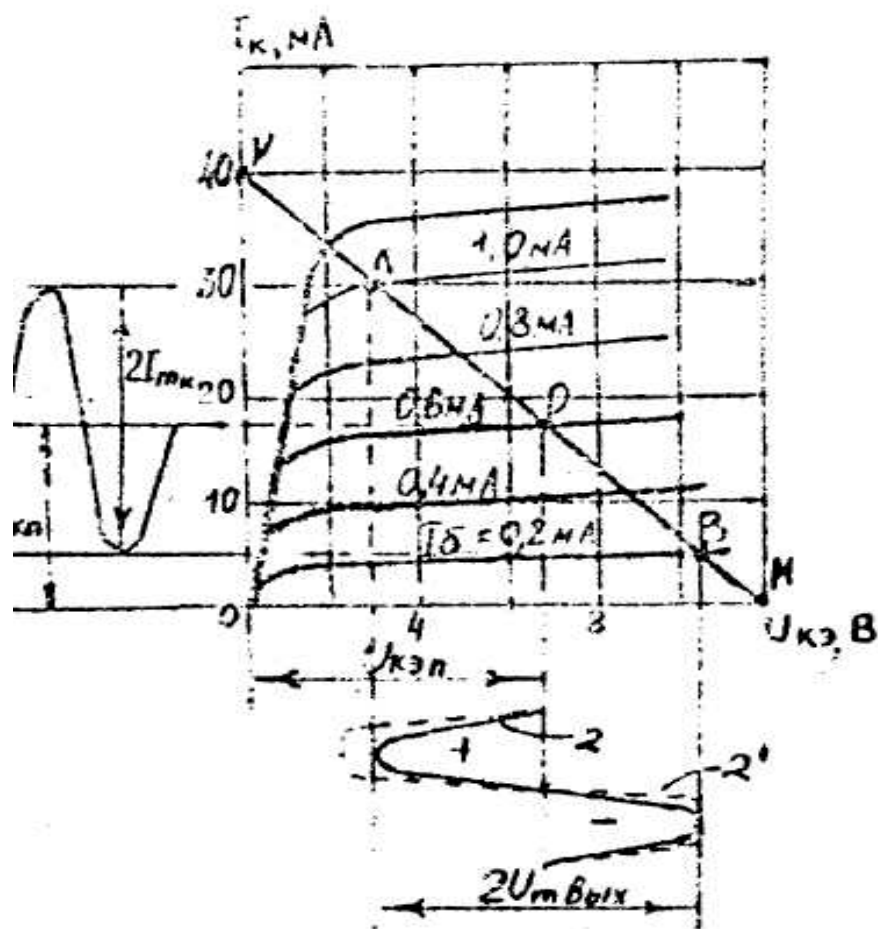
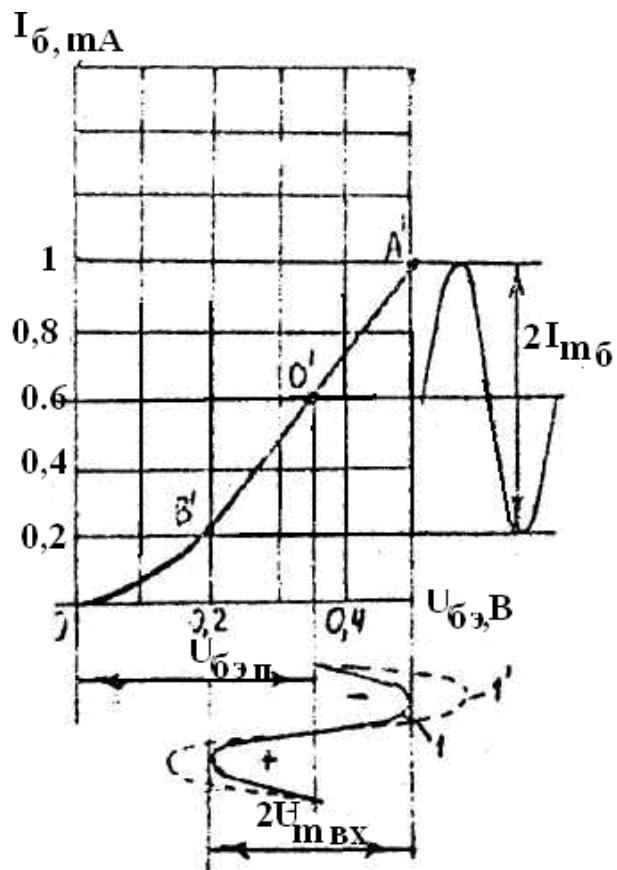
R_k – резистор нагрузка в цепи коллектора; E_k – источник питания в цепи коллектора, C_p – разделительная емкость; $VT1$ – транзистор (усилительный элемент); E_b – источник питания в цепи базы; R_h (R_k) – нагрузка в цепи; $C1$, $C2$ – конденсаторы, шунтирующие внутренние сопротивления источников питания по переменному току

По второму закону Кирхгофа для коллекторной цепи можно записать
 $E_k = U_{кэ} + I_k R_k$ (1)

Если E_k и R_k постоянны, то уравнение (1), есть уравнение прямой, которая называется нагрузочной прямой (линией нагрузки).

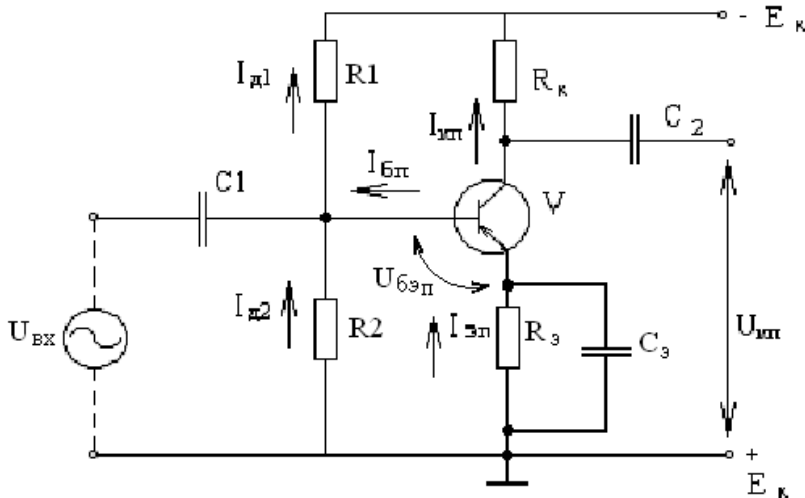
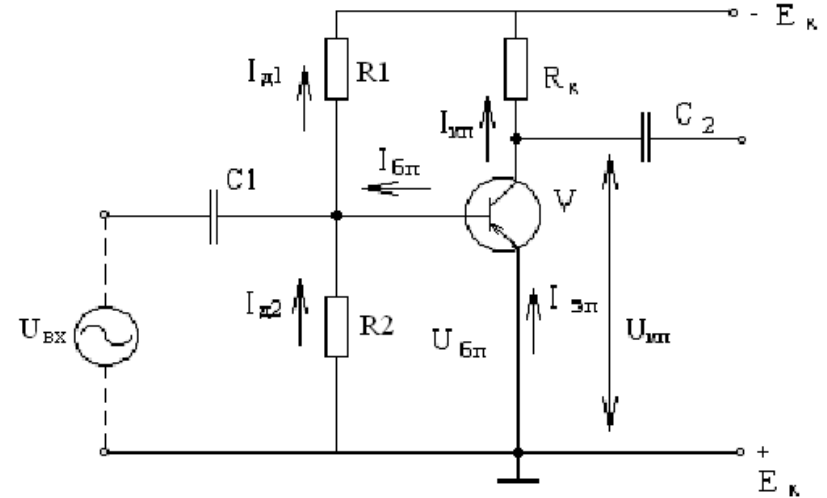
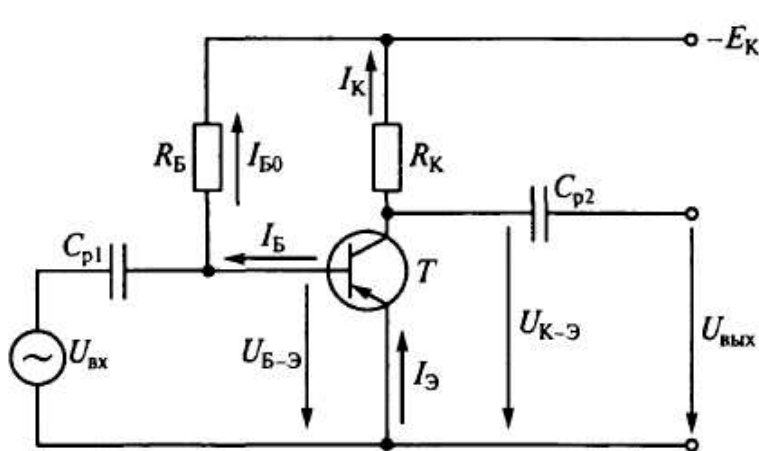
$$U_{вых} = U_{кэ} = E_k - I_k R_k$$

Принцип усиления переменного сигнала



$$U_{\text{вх}} = U_{\text{кэ}} = E_{\text{к}} - I_{\text{к}} R_{\text{к}}$$

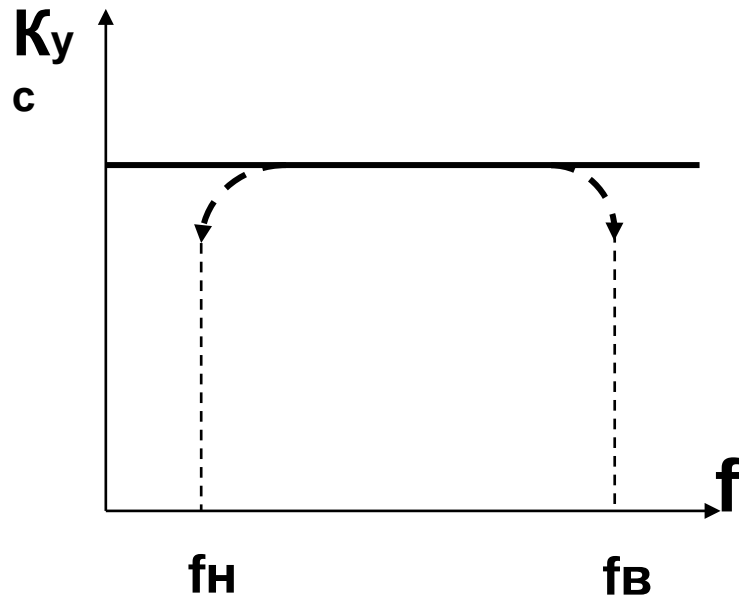
Способы подачи напряжения смещения



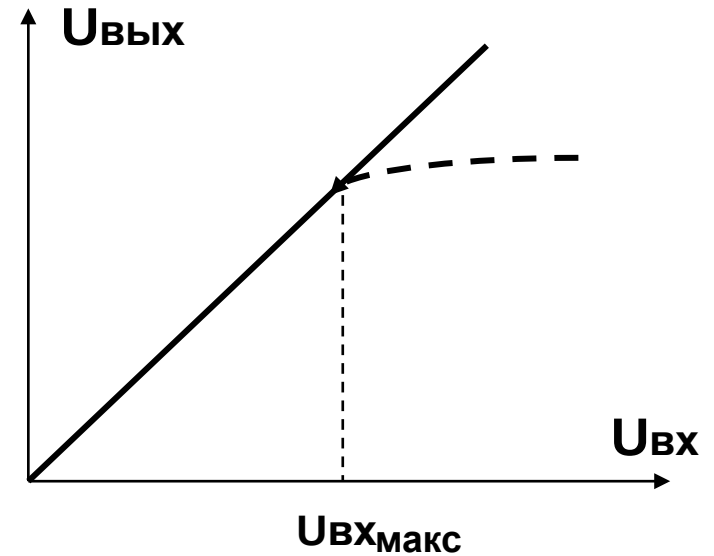
R_3 обеспечивает температурную стабилизацию рабочей точки через уменьшение входного напряжения при возрастании выходного и наоборот. Иначе говоря, резистор R_3 обеспечивает отрицательную обратную связь по току.

$$x_{сэ} = \frac{1}{2\pi f C_Э} \ll R_Э$$

Амплитудная и частотные характеристики



Частотная характеристика



Амплитудная характеристика

Задание на самостоятельную работу:
изучить работу усилителя на биполярном
транзисторе

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. — 752 с., с. 541-547.

Тема№17 Электронные усилители

ЗАНЯТИЕ № 45 ПРАКТИЧЕСКОЕ

ПРОВЕРКА ИСПРАВНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Цель:

**научиться определять неисправности
полупроводниковых приборов**

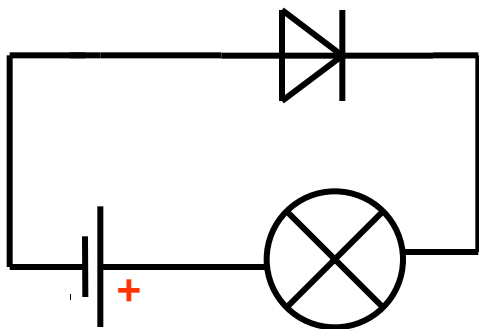
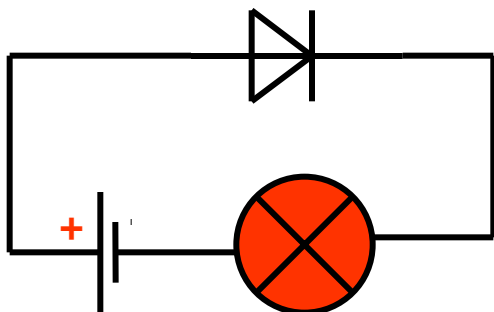
Учебные вопросы

1 Проверка диодов

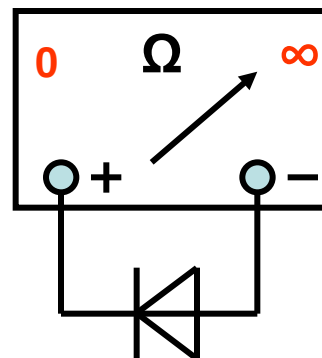
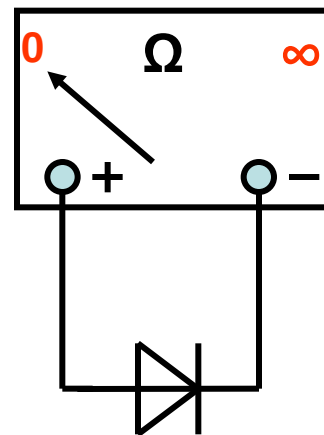
2 Проверка транзисторов

Проверка диода

С помощью источника
и лампочки

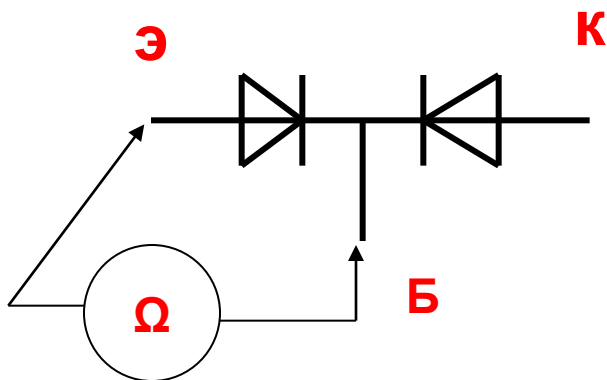


С помощью омметра



Проверка транзисторов

1



Выполняем 6 проверок,подключая омметр между двумя выводами при разной полярности омметра.

Получаем сопротивления:

БЭ- в одну сторону-малое
в другую- большое

БК- в одну сторону-малое
в другую-большое

ЭК- в обе стороны большое

Если база имеет малое сопротивление с эмиттером и коллектором при отрицательном выводе омметра на базе- транзистор прямой проводимости, а при положительном- обратной

Задание на самостоятельную работу:

повторить устройство и принцип
действия диода и транзистора

Литература:

Данилов, И.А. Общая электротехника с
основами электроники. [Текст] Учебное
пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов,
ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая
школа, 2004. – 752 с., с. 489 – 499 .

ТЕМА №17 ЭЛЕКТРОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ

ЗАНЯТИЕ №46 групповое

РАБОТА ТРАНЗИСТОРА В РЕЖИМЕ КЛЮЧА

Цель занятия: изучить работу транзистора
в режиме ключа

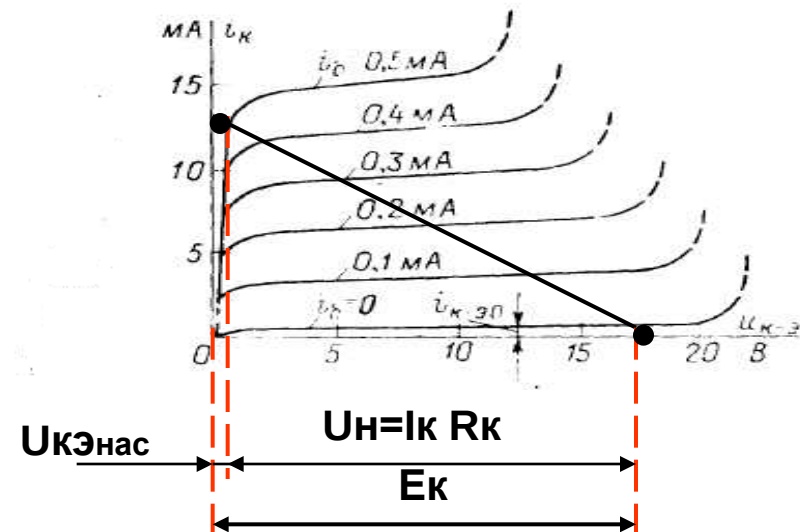
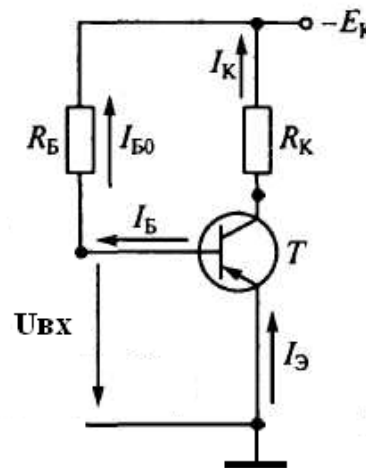
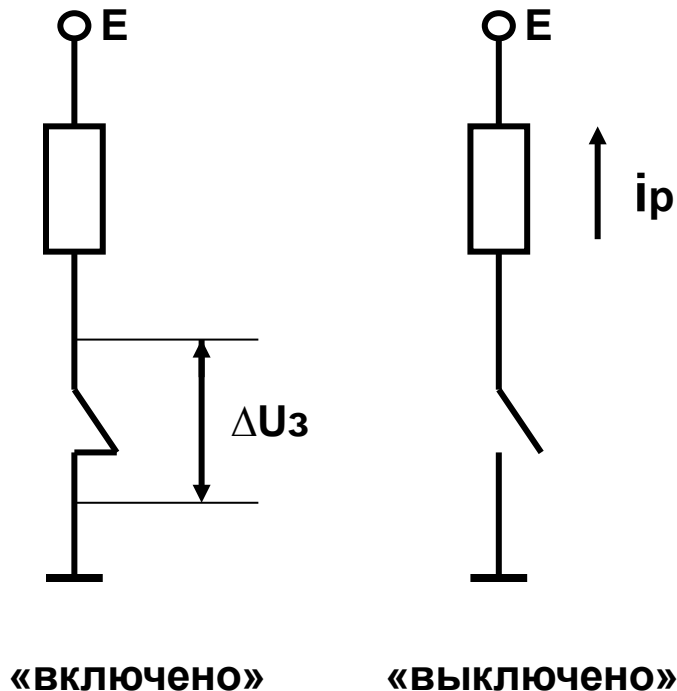
Учебные вопросы

- 1 Работа транзистора в режиме ключа**
- 2 Способы запираания транзистора**
- 3 Способы защиты транзистора**

Работа транзистора в режиме ключа

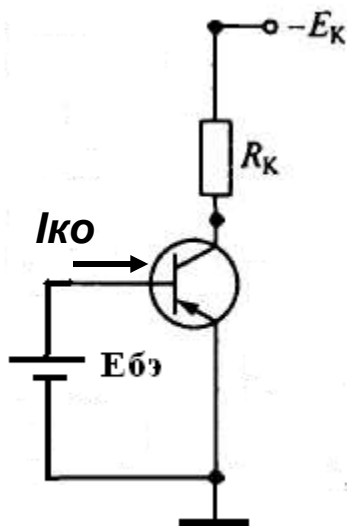
По аналогии с механическим ключом, требования, предъявляемые к электронным ключам:

- 1) падение напряжения в замкнутом состоянии на ключе ΔU_z - минимально (r ключа – минимально)
- 2) сила тока через ключ в разомкнутом состоянии I_p - минимальна
- 3) время перехода ключа из одного состояния в другое $t_{перекл}$ – минимально



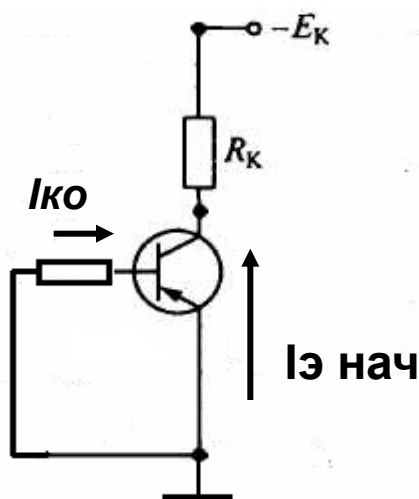
$$I_K = (E_K - U_{KЭ}) / R_K$$

Способы запираания транзистора



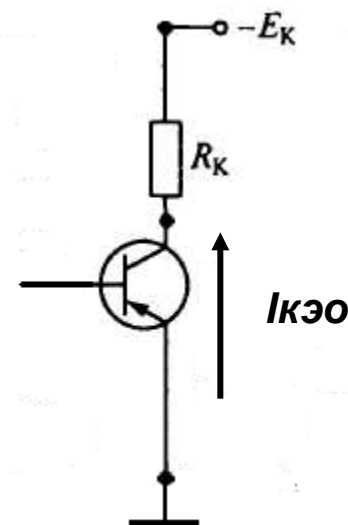
Способ активного запираания

В этом состоянии в цепи коллектора, протекает тепловой ток $I_{ко}$, вызванный движением неосновных носителей базы и коллектора. Ток $I_{ко}$ мал, что обеспечивает хорошее качество ключа.



Замыкание цепи базы

В этом случае тепловой ток коллектора $I_{ко}$ создает на поперечном сопротивлении базы r_b падение напряжения и тем самым открывает эмиттерный переход. Это вызывает появление дополнительного тока $I_{з нач} = I_{з нач} + I_{ко}$, что ухудшает качество ключа



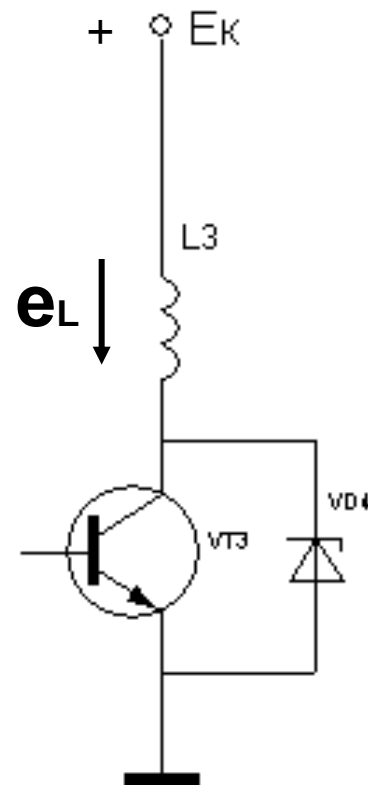
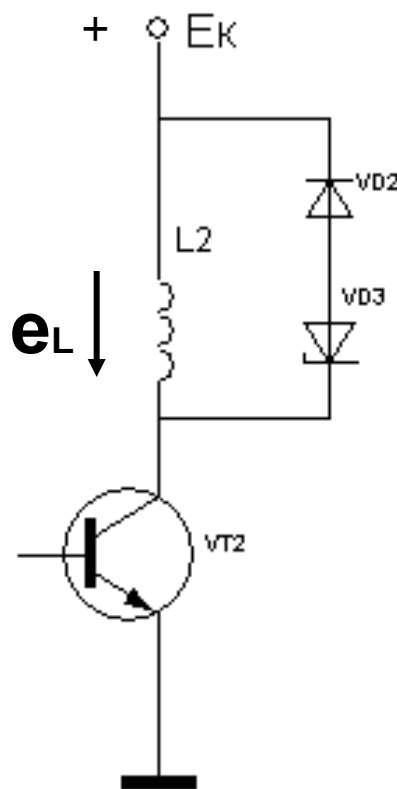
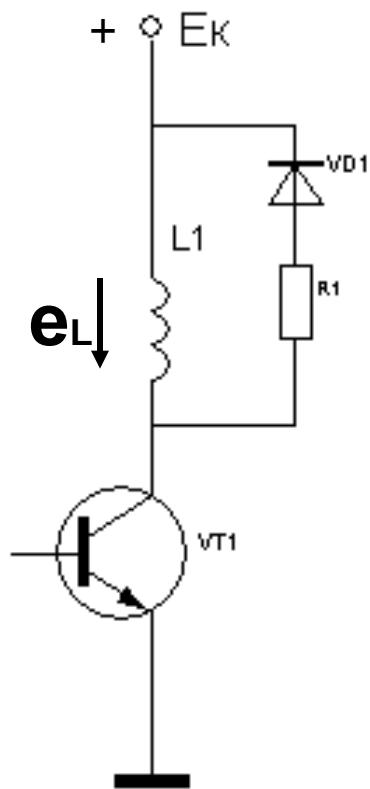
Обрыв цепи базы

При обрыве цепи базы через транзистор проходит начальный ток $I_{кэо}$. Этот ток значительно больше $I_{ко}$, поэтому не разрешается разрывать цепь базы без выключения питания коллектора.

Способы защиты транзистора

В индуктивной нагрузке в цепи коллектора транзистора при его закрытии наводится ЭДС e_L , поэтому напряжение на коллекторе закрытого транзистора будет равно:

$$U_K = E_K + e_L$$



Задание на самостоятельную работу:
изучить работу транзистора в режиме
ключа

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. — 752 с., с. 558-560 .

ТЕМА №18 ЭЛЕКТРОННЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

ЗАНЯТИЕ №47 групповое

ЭЛЕКТРОННЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

Цель занятия: изучить простые схемы электронных генераторов

Учебные вопросы

- 1 Электронные генераторы и их классификация**
- 2 Генераторы прямоугольного напряжения**
- 3 Генераторы пилообразного напряжения**

Электронные генераторы и их классификация

Электронными генераторами называются автоколебательные системы, в которых энергия источников питания постоянного тока преобразуется в энергию незатухающих электрических сигналов переменного тока требуемой формы, частоты и мощности.

В зависимости от формы колебаний различают автогенераторы синусоидальных и импульсных (релаксационных) колебаний

Автогенераторы (генераторы с самовозбуждением) используются в качестве возбудителей колебаний требуемых частот, то есть задающих генераторов.

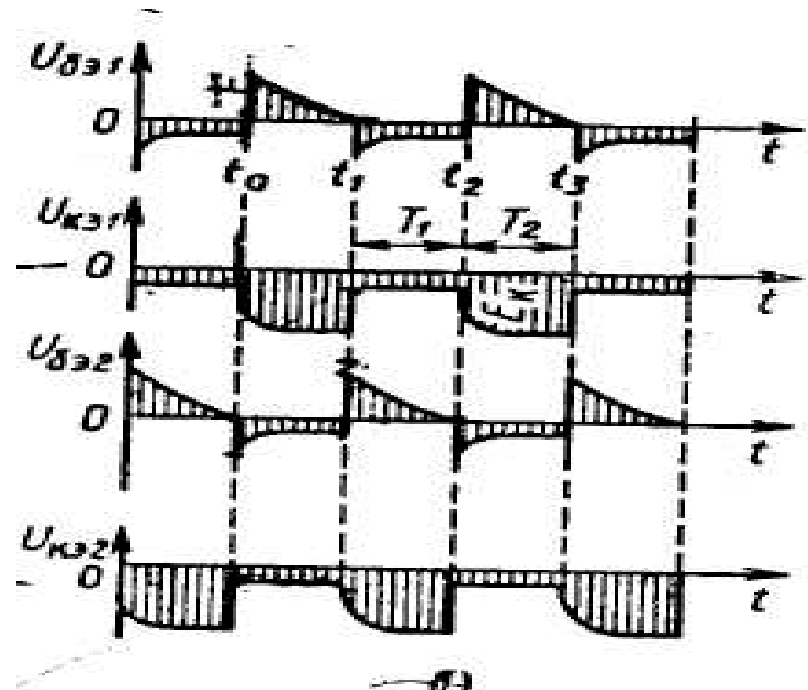
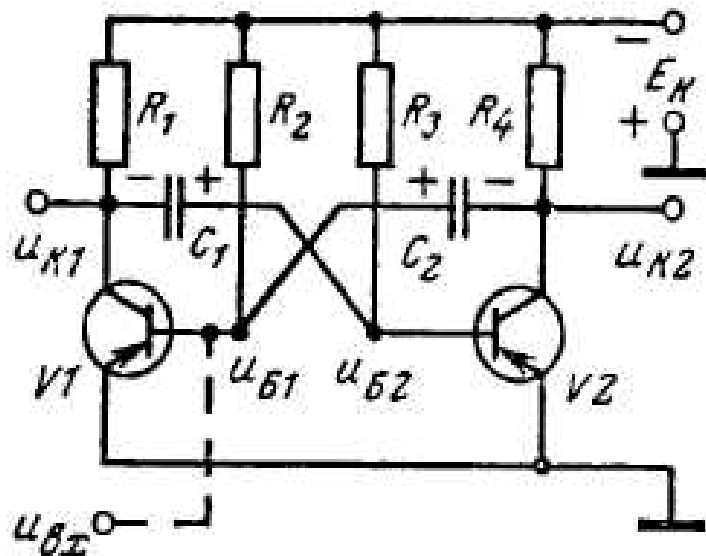
Любой усилитель может быть превращен в автогенератор, если его охватить положительной обратной связью и обеспечить выполнение условия $\beta k \geq 1$ где β – коэффициент передачи цепи обратной связи.

Высокочастотные автогенераторы от 100 кГц до 100 МГц, выполненные на основе схемы резонансного усилителя, часто называются генераторами LC – типа. Низкочастотные автогенераторы от 0,01 Гц до 100 кГц, построенные на основе схемы усилителя на резисторах, называются генераторами RC – типа.

Генераторы прямоугольного напряжения

Импульсными генераторами называются электронные устройства, преобразующие энергию источников постоянного напряжения в энергию электрических импульсов.

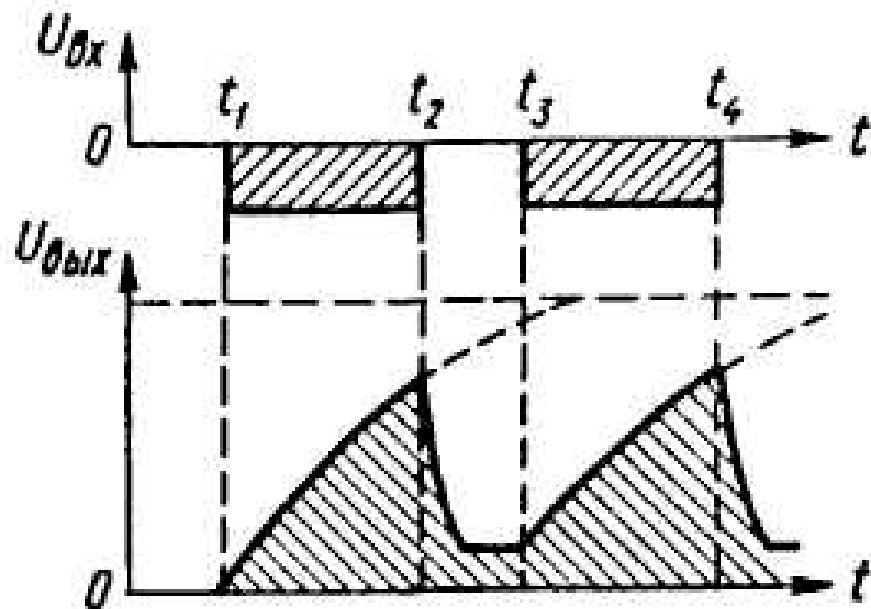
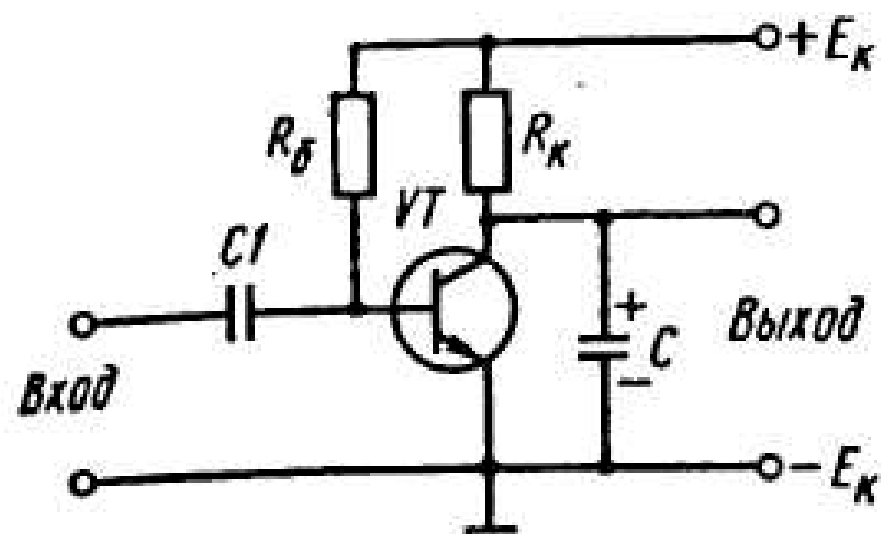
Мультивибратором называют автогенератор прямоугольных импульсов, представляющий собой двухкаскадный резистивный усилитель со 100 % - ной положительной обратной связью.



Для симметричного мультивибратора $R_{B1} = R_{B2} = R_B$ и $C_1 = C_2 = C$, поэтому $T = 1,4 R_B C$.

Генераторы пилообразного напряжения (ГПН)

Пилообразным называется напряжение, которое сравнительно медленно нарастает по линейному закону, а затем быстро уменьшается до первоначального значения. Пилообразное напряжение (U) получают при заряде конденсатор



Задание на самостоятельную работу:
изучить работу электронных генераторов

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. – 752 с., с. 565-568, 569-570.

ТЕМА №19 ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА АВТОМАТИКИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

ЗАНЯТИЕ №48 групповое

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ НА АВТОМОБИЛЯХ

Цель занятия: изучить работу
электронных регуляторов напряжения и
систем зажигания

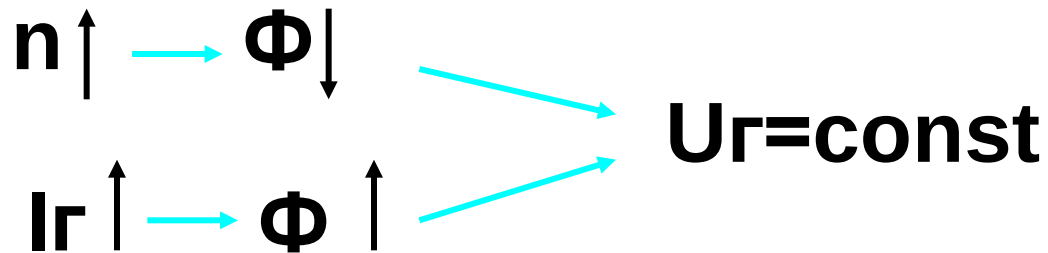
Учебные вопросы

- 1 Применение полупроводниковых приборов в генераторных установках**
- 2 Применение полупроводниковых приборов в системе зажигания**

Применение полупроводниковых приборов в генераторных установках

Принцип регулирования напряжения генератора

$$U_r = E_r - I_r \cdot r_r = C_e \cdot n \cdot \Phi - I_r \cdot r_r = \text{const}$$



$$\Phi = W \cdot I_{ov} / R_{мц}$$

Напряжение генератора поддерживается постоянным за счёт изменения магнитного потока, который регулируется изменением тока обмотки возбуждения

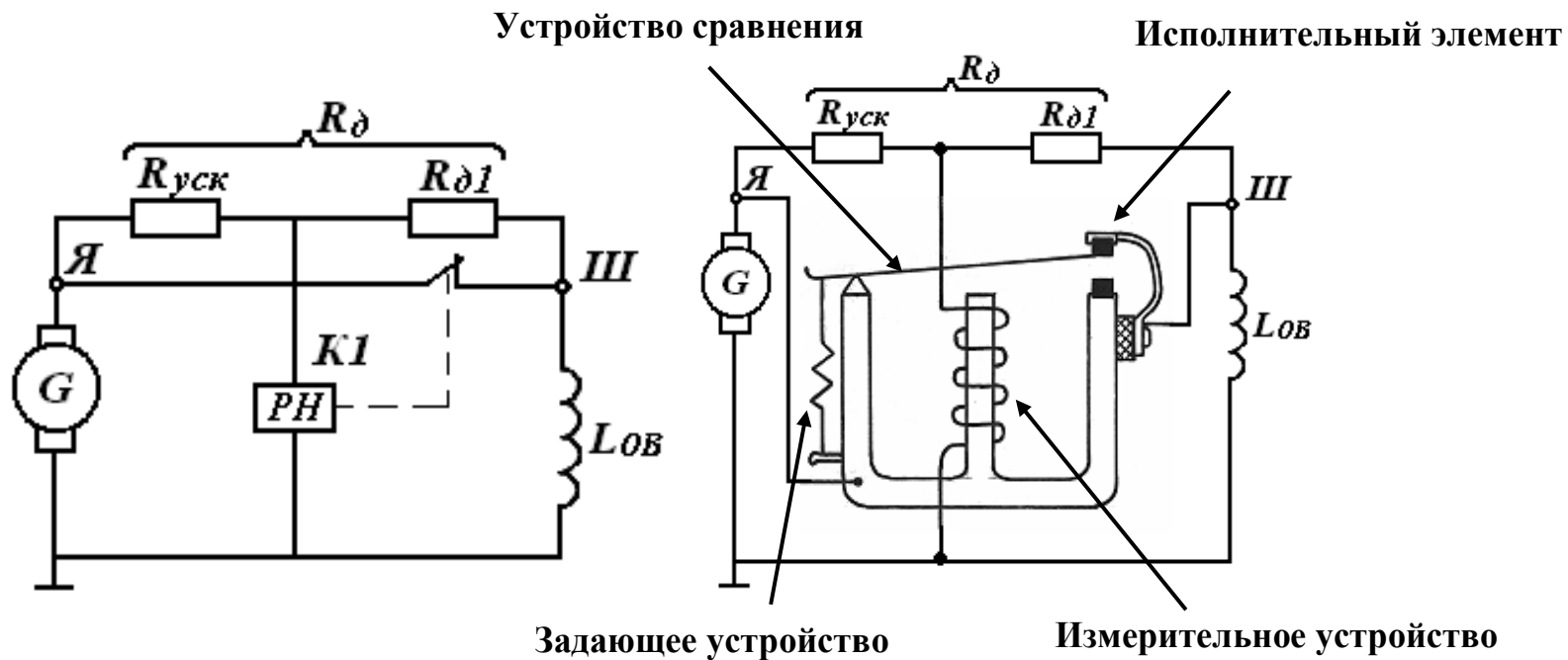


Рисунок 3 – Принципиальная схема и схема включения вибрационного регулятора напряжения

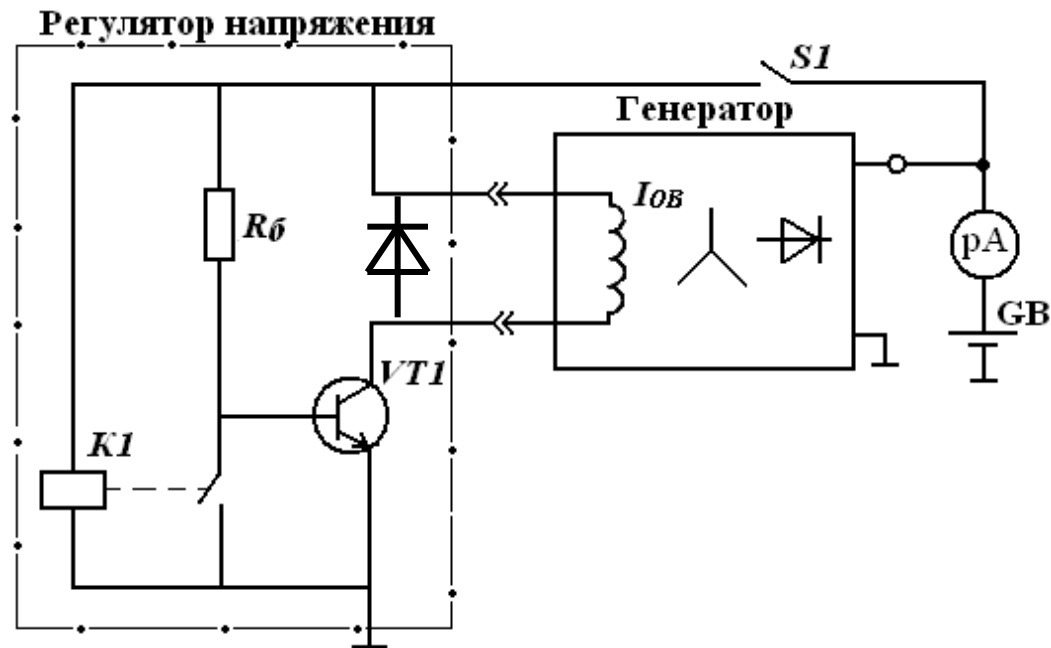
Работа контактного РН

1) Контакты замкнуты $I_{OB} = \frac{U_{\Gamma}}{R_{OB}}$

2) Контакты разомкнуты $I_{OB} = \frac{U_{\Gamma}}{R_{OB} + R_{\Gamma}}$

$$I_{OB} = \frac{U_{\Gamma}}{R_{OB} + \tau R_{\Gamma}} ; \quad \tau = \frac{t_p}{t_p + t_3}$$

Контактно-транзисторный регулятор напряжения

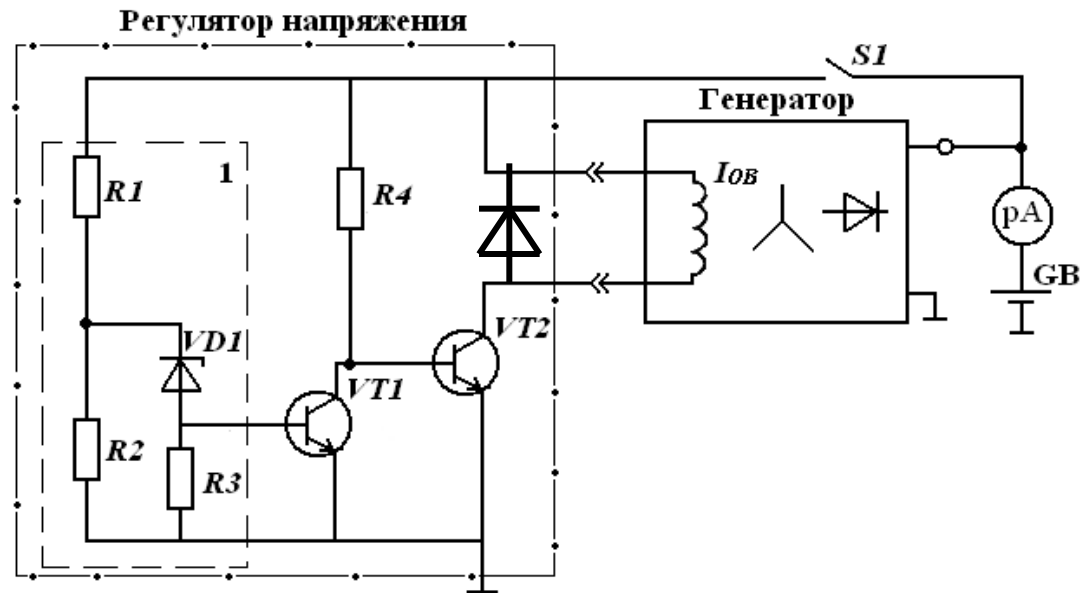


$K1$ – задающее, измерительное и сравнивающее устройства;

$VT1$ – исполнительный элемент

Рисунок 6 – Принципиальная схема простейшего
контактно – транзисторного регулятора напряжения

Бесконтактный регулятор напряжения



1 – задающее, измерительное и сравнивающее устройства;

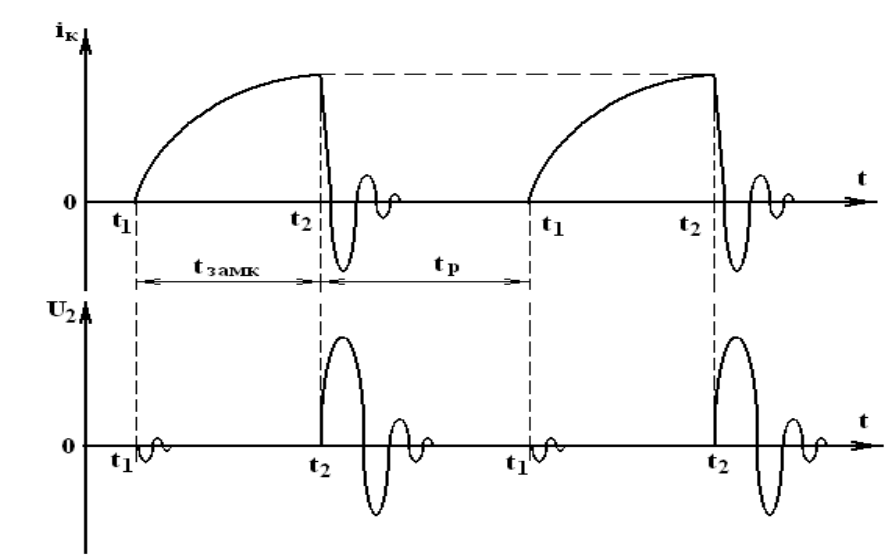
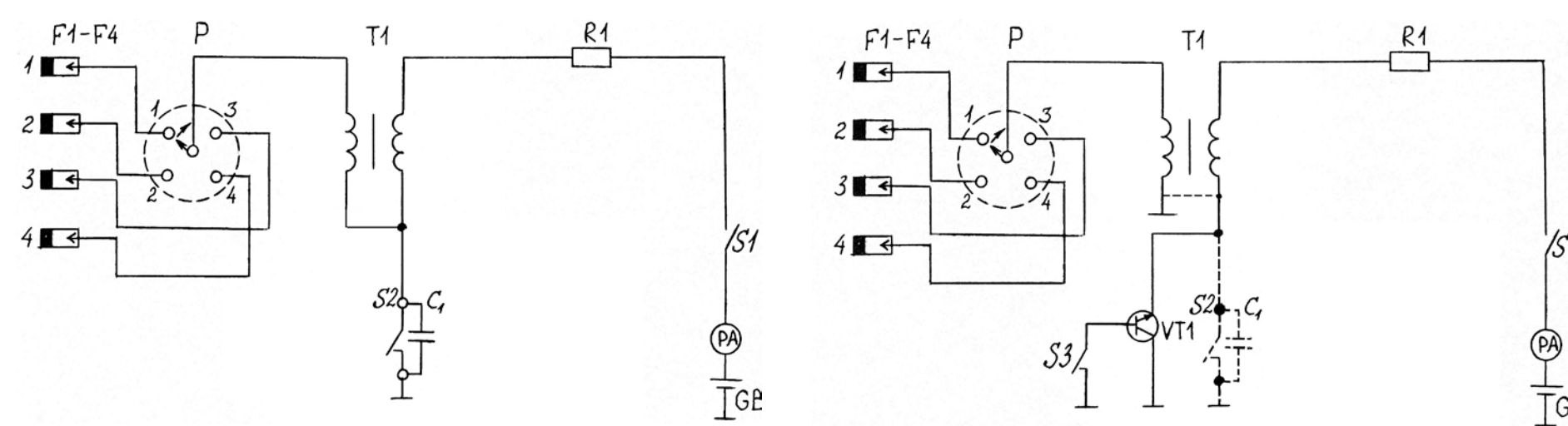
VT1 – усилительный каскад;

VT2 – исполнительный элемент

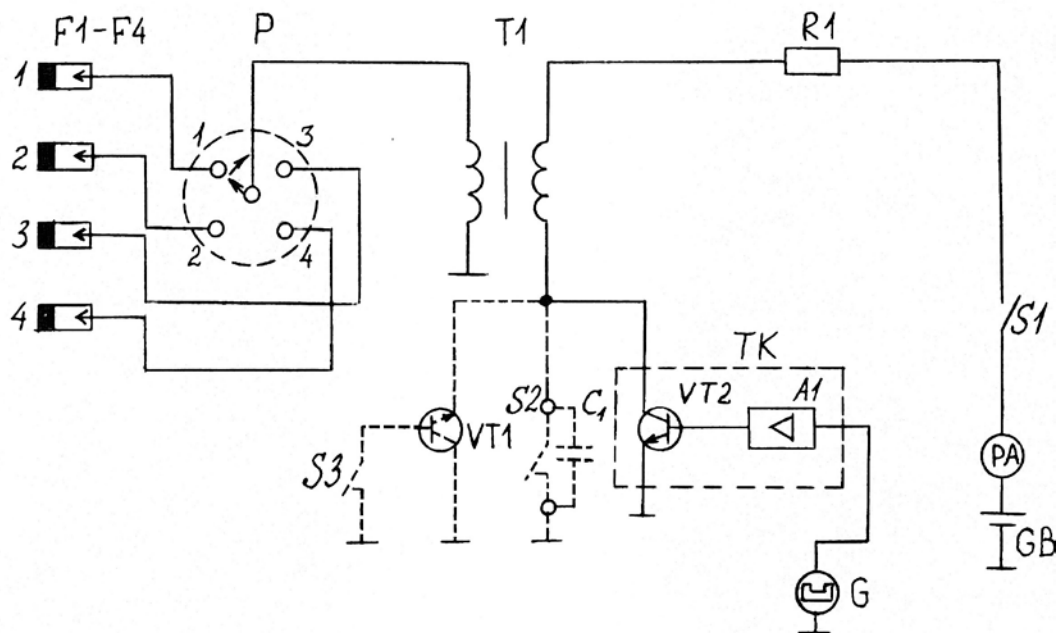
Рисунок 7 – Принципиальная схема простейшего бесконтактного регулятора напряжения

Применение полупроводниковых приборов в системе зажигания

Контактно-транзисторная система зажигания



Бесконтактная система зажигания



Задание на самостоятельную работу:
изучить работу электронных регуляторов
напряжения и систем зажигания

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. — 752 с., с. 558-560 .

ТЕМА №19 ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА АВТОМАТИКИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

ЗАНЯТИЕ №49 групповое

ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Цель занятия: изучить логические функции булевой алгебры и логические элементы, которые выполняют эти логические функции

Учебные вопросы

1 Понятие о булевой алгебре

2 Логические элементы

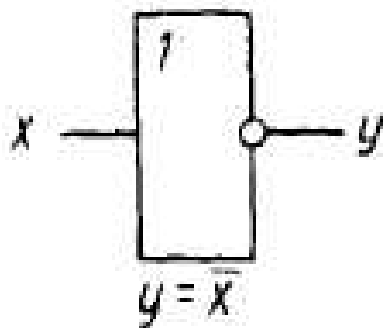
Понятие о булевой алгебре

Булева алгебра или алгебра логики изучает логические функции и логические операции над ними. Алгебра логики имеет дело с логическими величинами, которые будем обозначать $X_1, X_2, X_3, \dots, Y_1, Y_2, Y_3, \dots$

Функция отрицания

Если понятие «не X » обозначить буквой Y , то Можно записать $Y = \bar{X}$. Эта простейшая логическая функция называется операцией отрицания, инверсией или функцией «не». Функция отрицания является функцией одного аргумента.

Таблица зависимости выходных переменных от входных
(таблица истинности)



Кружок на выходе
означает инверсию

x	y
1	0
0	1

Дизъюнкция, логическое сложение или функция «ИЛИ»

$$Y = X_1 + X_2$$

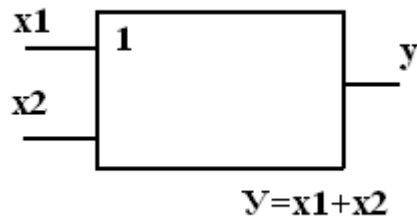


Таблица истинности

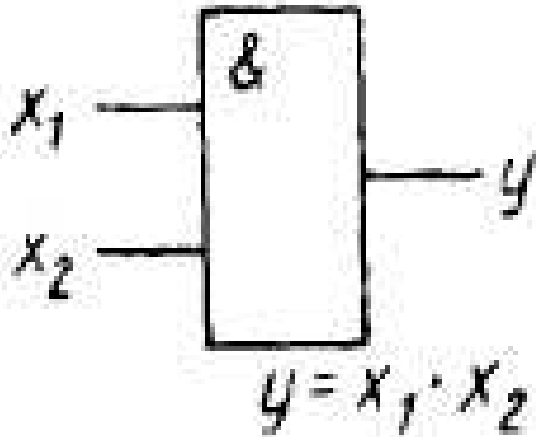
X_1	X_2	y
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1

Конъюнкция, логическое умножение или функции «И»

$$Y = X_1 \cdot X_2$$

Таблица истинности

X1	X2	y
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1



Логические элементы

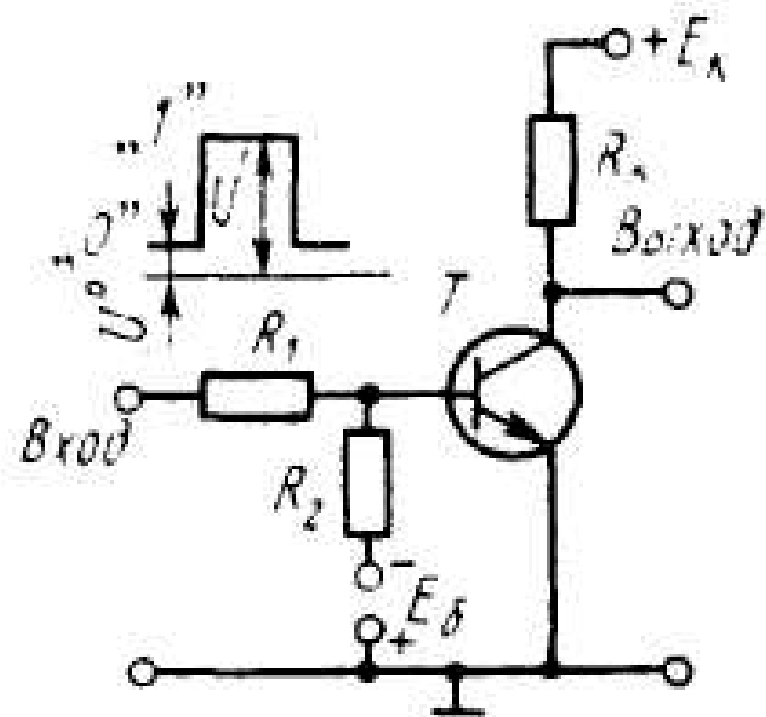
Простейшее в функциональном отношении логические устройства, выполняющие одну определенную логическую операцию над входными сигналами называются **логическим элементом**.

Если сигналы подают в виде высокого (положительной или отрицательной полярности) и низкого (близкого к нулю) уровня напряжения, то такой способ подачи называется потенциальным. Если высокому уровню напряжения U^1 придают значение «единица», а низкому U^0 – «нуль», то логику называют положительной (позитивной)

Если сигналы подают в импульсной форме, то такой способ подачи сигнала называют импульсным. При этом логической подачи сигнала соответствует наличие импульса, логическому нулю – отсутствие импульса (положительная логика).

Используется резистивно-транзисторная (РТЛ) логика; диодно-транзисторная (ДТЛ) логика; транзисторно-транзисторная (ТТЛ) логика и т.д.

Логический элемент НЕ (инвертор)



Логический элемент НЕ имеет один вход и один выход и выполняет операцию НЕ. Он представляет собой усилительный каскад на биполярном или полевом транзисторе, работающий в ключевом режиме. Биполярный транзистор включен по схеме с ОЭ. Элемент предназначен для работы с сигналами положительной полярности в положительной логике.

При подаче на вход элемента сигнала низкого уровня $U_{вх} = U_0$, соответствующего логическому 0, транзистор остается закрытым, коллекторный ток равен нулю, т.е. через резистор R_k ток не проходит и на выходе напряжений $U_{вых} = +E_k$, т.е. высокого уровня U_1 , соответствующего логической 1.

При высоком уровне напряжение на входе $U_{вх} = U_1$ транзистор находится в режиме насыщения, появляется коллекторный ток и на резисторе R_k создается падение напряжения, примерно равное E_k , а на выходе напряжение примерно равно нулю ($U_{вых} = U_0$), т.е. будет логический нуль.

Задание на самостоятельную работу:
изучить логические функции булевой алгебры и
логические элементы, которые выполняют эти
логические функции

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. — 752 с., с. 610-615 .

ТЕМА №19 ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА АВТОМАТИКИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

ЗАНЯТИЕ №50 групповое

Триггеры

Цель занятия: изучить схемы и работу триггеров и счётчиков импульсов

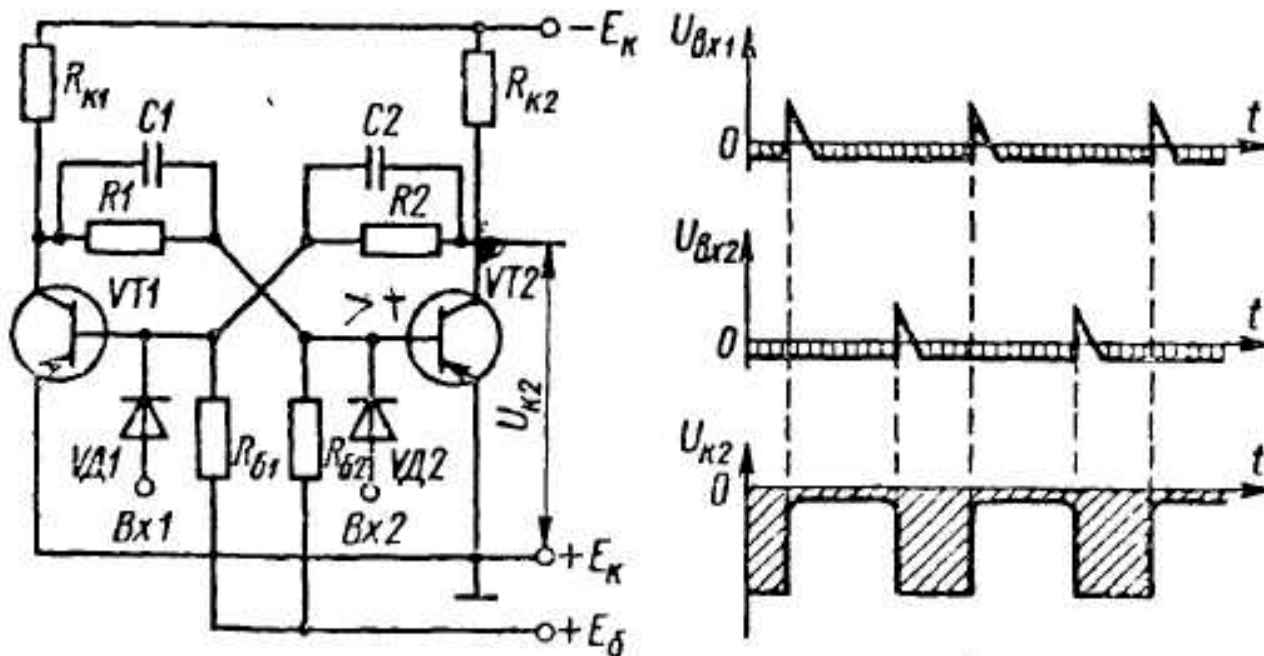
Учебные вопросы

1 Триггеры

2 Счётчики импульсов

Триггеры

Триггером называют устройство, имеющее два устойчивых состояния равновесия и способное скачком переходить из одного состояния в другое под воздействием внешнего (запускающего) сигнала.



Для перевода схемы в другое устойчивое состояние необходимо подвести ко входу одного из транзисторов запускающий импульс – ко входу открытого транзистора следует подвести импульс положительной полярности, а ко входу закрытого транзистора – импульс отрицательной полярности.

Счетчики импульсов

Счетчиком называется цифровое устройство, осуществляющее счет импульсов, поступающих на его вход. Числа в счетчике представляются в двоичной системе счисления в виде комбинации состояний триггеров, образующих разряды счетчика. В двоичной системе используется только две цифры 1 и 0.

Так как максимальная десятичная цифра 9 в двоичном коде содержит четыре цифры, то все числа первого десятка записываются в виде четырех цифр (такая запись использует четыре двоичных разряда и называется тетрадной)

$$0(10)=0000(2)$$

$$1(10)=0001(2)$$

$$2(10)=0010(2)$$

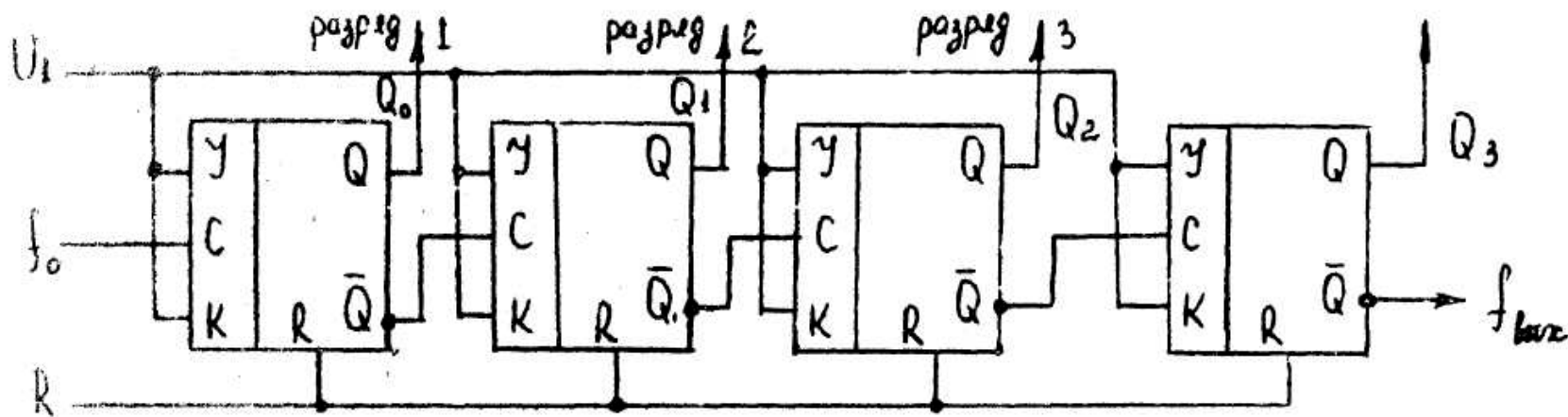
$$3(10)=0011(2)$$

.....

$$9(10)=1001(2)$$

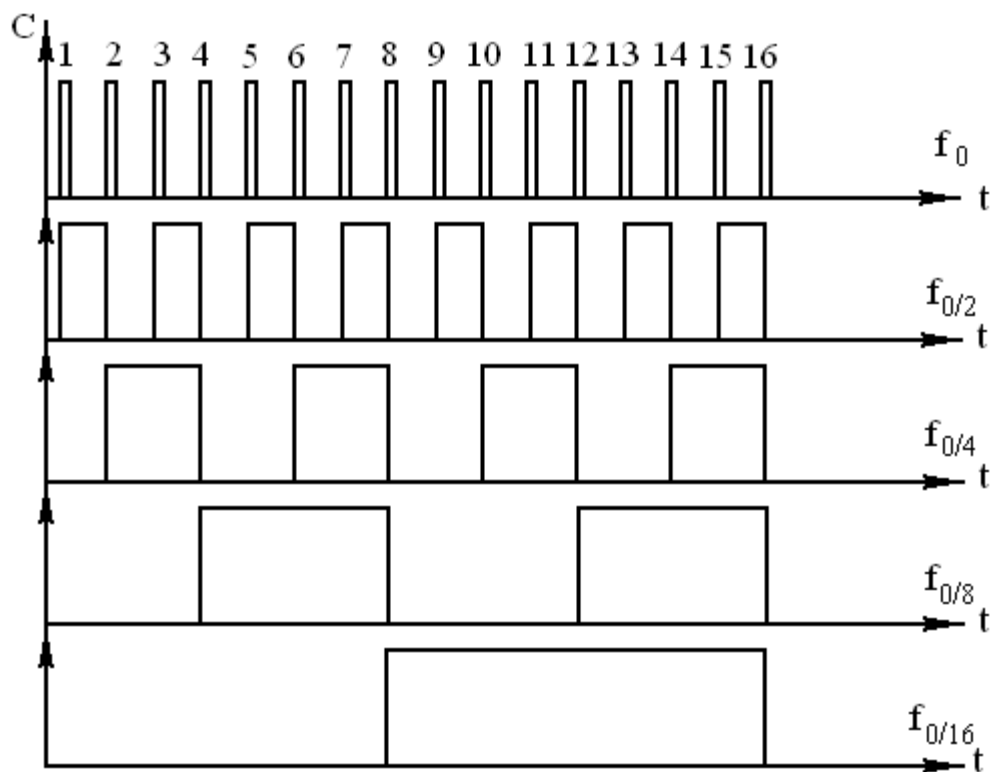
По функциональному признаку счетчики подразделяют на суммирующие, в которых числа, представленные в виде последовательности импульсов, складываются с записанным ранее числом; вычитающие, когда входные импульсы вычитаются из начального числа, и реверсивные, производящие одно из указанных выше операций в зависимости от знаков входных сигналов. По принципу подачи сигналов счетчики бывают последовательные (асинхронные), параллельные (синхронные) и смешанные. В асинхронных счетчиках входной сигнал поступает только на вход первого триггера.

Схема простейшего 4-разрядного счетчика



Такой счётчик может осуществить счет импульсов до $N=2^n=2^4=16$

Состояния в различных разрядах счётчика



После прохождения $2^4=16$ импульсов процесс счета повторяется, и счетчик работает «по кругу». Для любого числа импульсов (от 1 до 15) совокупность состояний триггеров однозначна. На пример, после воздействия семи входящих импульсов состояние триггеров можно выразить набором 0111.

Таблица состояний в различных разрядах счётчика

<u>№</u>	Q_0	Q_1	Q_2	Q_3
0	0	0	0	0
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	1	1	0	0
4	0	0	1	0
5	1	0	1	0
6	0	1	1	0
7	1	1	1	0
8	0	0	0	1
9	1	0	0	1
10	0	1	0	1

Задание на самостоятельную работу:
изучить логические функции булевой алгебры;
логические элементы, которые выполняют эти
логические функции; триггеры

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. — 752 с., с. 610-615 .

ТЕМА №20 ЭЛЕКТРОННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

ЗАНЯТИЕ №52 групповое

ЭЛЕКТРОННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

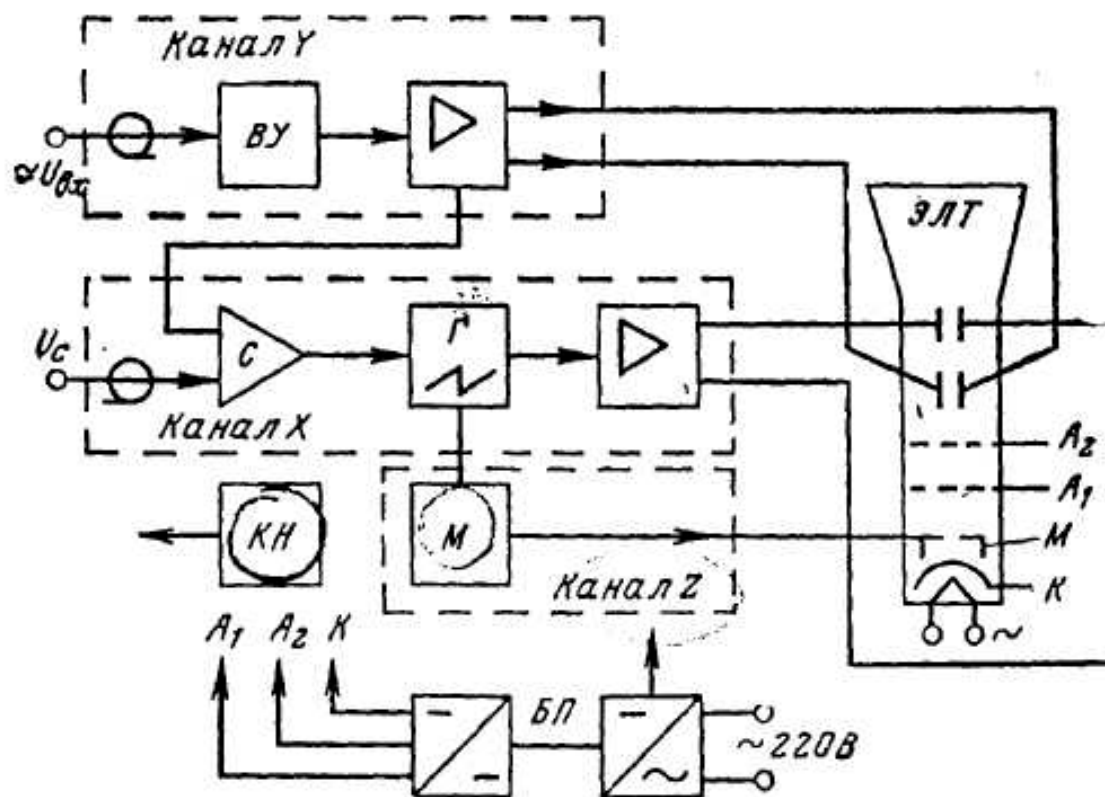
Цель занятия: изучить принцип действия электронного осциллографа и электронно-цифрового вольтметра

Учебные вопросы

- 1 Принципы действия электронного осциллографа**
- 2 Электронно-цифровые вольтметры**

Принцип действия электронного осциллографа

Электронным осциллографом называется измерительный прибор, высвечивающий электронным лучом на экране графики электрических сигналов. Электронный осциллограф позволяет исследовать как временные, так и параметрические зависимости.



Принцип действия электронного осциллографа

Важнейшей составной частью являются электронно-лучевая трубка – ЭЛТ. Управление процессами, протекающими в ЭЛТ, осуществляется по трем каналам:

канал вертикального отклонения Y ;

канал горизонтального отклонения X ;

канал яркости свечения Z

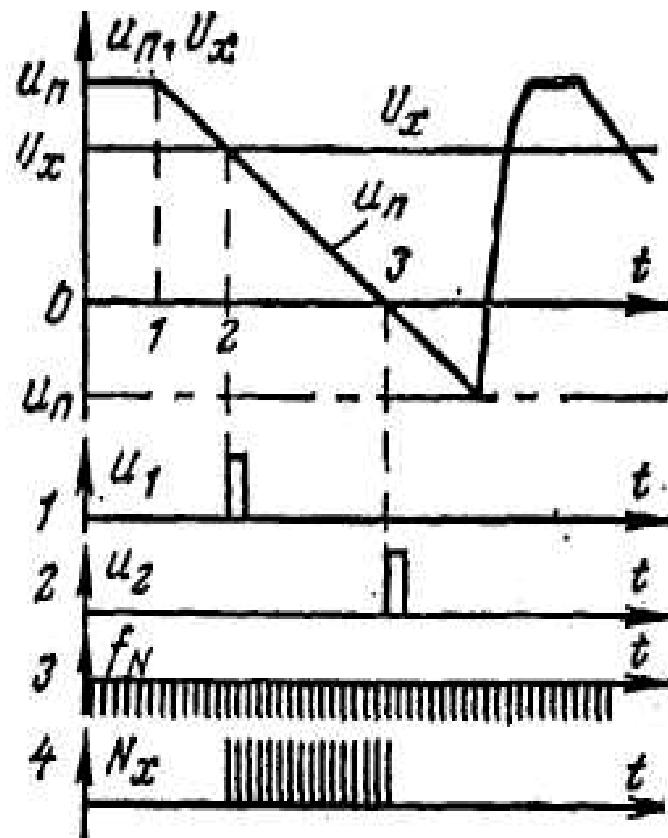
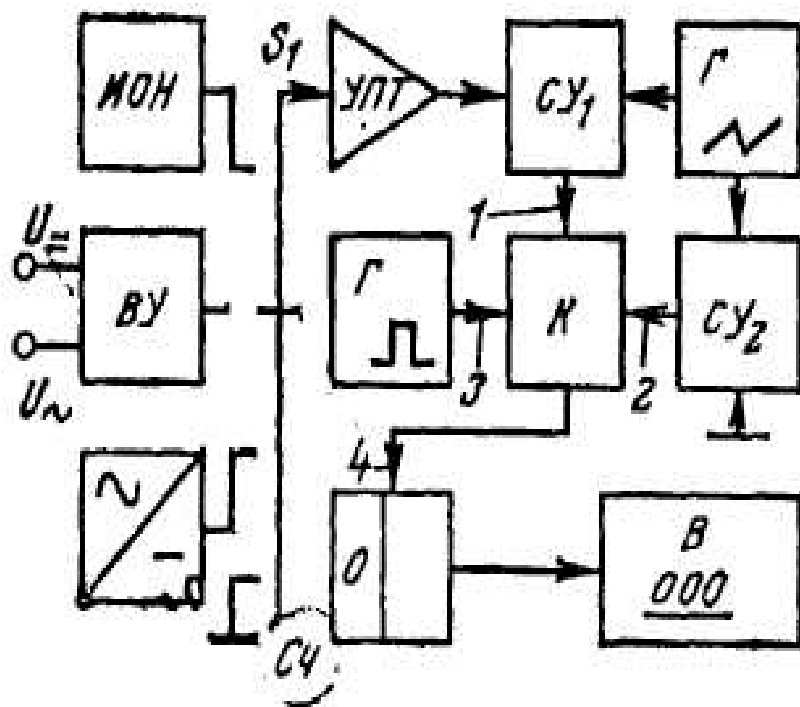
Электронный луч вычерчивают на экране график-осциллограмму – результат суммарного воздействия двух управляющих напряжений

Чтобы светящийся график сигнала был устойчивым, необходимо соблюсти требования:

- 1) Обеспечить равенство или кратность частот развертки и исследуемого сигнала
- 2) синхронизировать начало рабочего хода развертывающего напряжения с одной из характерных точек сигнала.

Электронно-цифровые вольтметры

Электронным цифровым вольтметром называется прибор, состоящий из аналого-цифрового преобразователя АЦП и цифрового индикатора. В цифровом вольтметре измеряемое напряжение автоматически сравнивается с опорным и готовый результат высвечивается в цифровой форме.



Электронно-цифровые вольтметры

Основными блоками вольтметра являются: входное устройство ВУ, усилитель постоянного тока УПТ, сравнивающее устройство СУ1 И СУ2, генераторы пилообразного и прямоугольного напряжения, счетчик импульсов Си и цифровой индикатор напряжения В. В вольтметре имеется также источник опорного напряжения ИОН и преобразователь переменного напряжения в постоянное (детектор).

СРАВНИВАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА СУ1 и СУ2 выполняют функции сравнения напряжений: в СУ1 сравнивается входное напряжение с пилообразным, а в СУ2 – напряжение нулевого значения с тем же пилообразным. В моменты равенства напряжений СУ вырабатывают управляющие сигналы 1 и 2.

Генератор пилообразного напряжения (ГПН) – должен вырабатывать линейно-изменяющееся напряжение.

Отсчетным устройством В являются цифровое табло, состоящее из цифровых (знаковых) индикаторов. Индикаторами могут быть газоразрядные цифровые лампы, люминесцентные знаковые индикаторы или индикаторы с лампами накаливания. В электронном счетчике сигналы преобразуются с помощью дешифраторов в десятичный код и затем поступают на разряды (единицы, десятки, сотни) отсчетного устройства.

Задание на самостоятельную работу:
изучить принцип действия электронного
осциллографа и электронно-цифрового
вольтметра

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. — 752 с., с. 571-583 .

ТЕМА №21 МИКРОПРОЦЕССОРЫ И МИКРО-ЭВМ

ЗАНЯТИЕ №53 групповое

МИКРОПРОЦЕССОРЫ И МИКРОЭВМ

Цель занятия: получить понятие о микропроцессорах и микроЭВМ, их устройстве, логическом и арифметическом обеспечении; о их применении

Учебные вопросы

1 Микропроцессор

2 МикроЭВМ

3 Применение микропроцессора

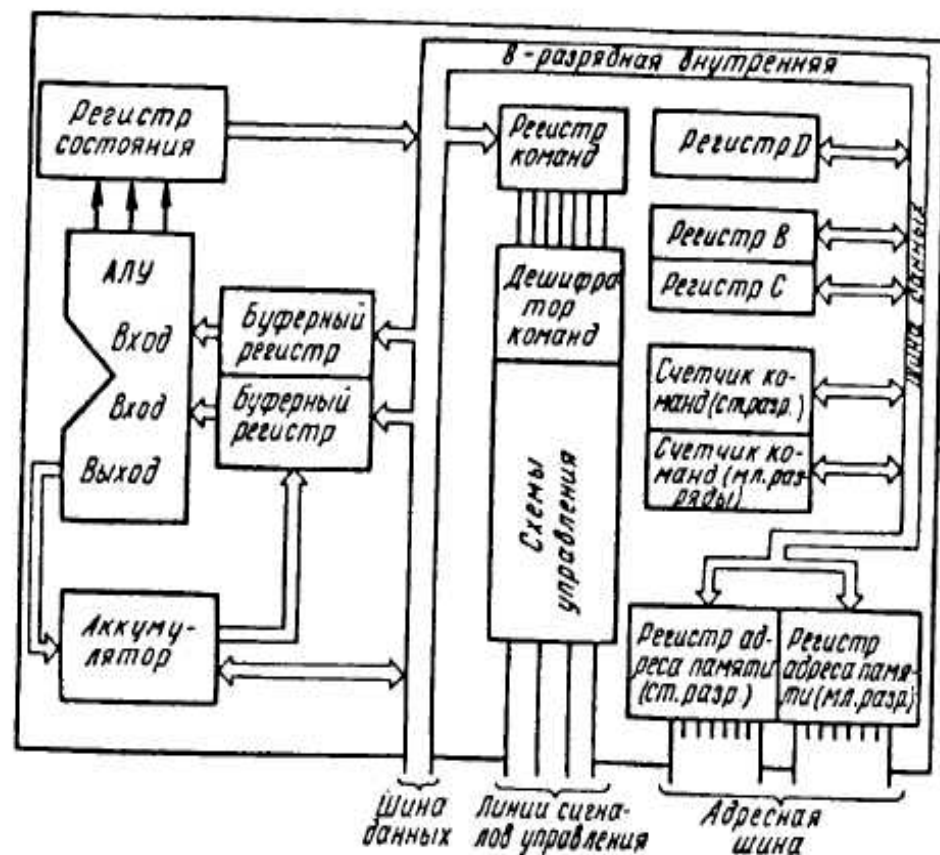
Микропроцессор

Микропроцессор — одна или несколько больших интегральных схем (БИС), которые выполняют функции центрального обрабатывающего узла ЭВМ — процессора. В нем под управлением программы производятся все арифметические и логические действия над вводимыми данными.

Микропроцессор (МП) — программно-управляемое устройство, предназначенное для обработки цифровой информации и управления процессом этой обработки, выполненное в виде одной (или нескольких) интегральной схемы с высокой степенью интеграции электронных элементов.

Микропроцессор, соединенный с БИС оперативной памяти, БИС управления вводом — выводом информации, представляет собой микроЭВМ

Архитектура микропроцессора



АЛУ выполняет арифметические и логические операции над данными, хранящимися во внутренних регистрах (команд и адресов) микропроцессора с помощью сумматоров и логических схем.

Дешифратор команд внутренняя постоянная память, с помощью которой код команд преобразуется в микрокоманды, исполняемые процессором.

Блок управления и синхронизации преобразует микрокоманды в импульсы управления и синхронизации.

Шины служат для передачи данных, адресов и управляющих сигналов в блоки микропроцессора

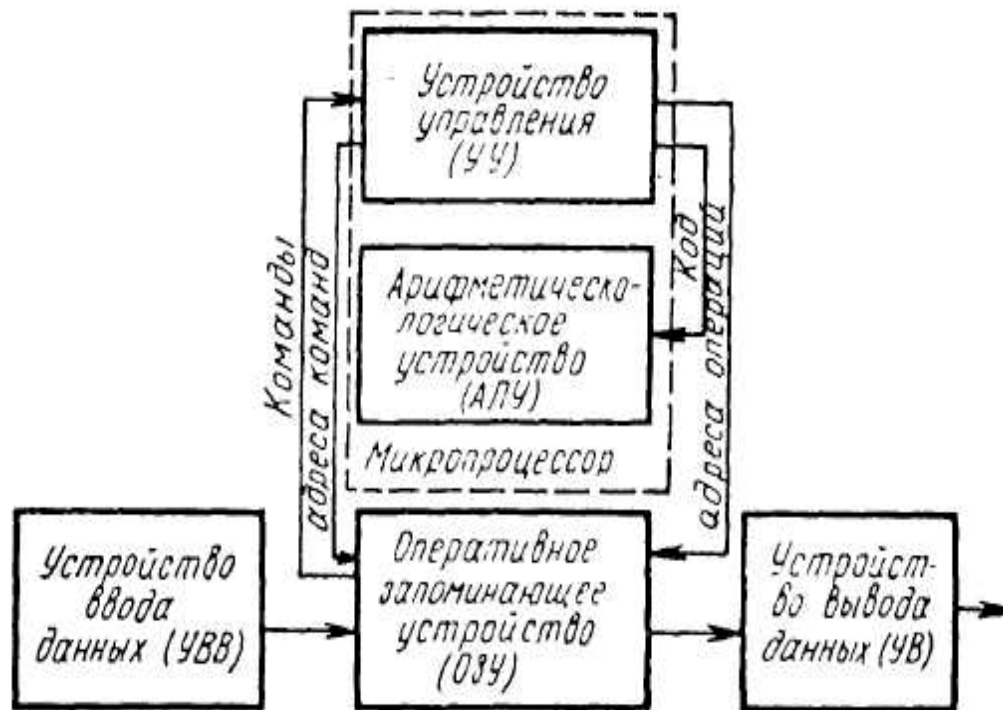
Программа вычислений записывается в памяти микропроцессора в виде последовательности команд. Команда определяет: вид операции, выполняемой в данном цикле работы; адреса операндов, участвующих в операции; место засылки результата операции; адрес расположения следующей команды

Адрес следующей команды задается **счетчиком команд**. Переход к следующей команде получается путём прибавления единицы в счетчике команд.

Управление операциями в микропроцессорах осуществляется управляющими сигналами.

Программа—упорядоченный набор команд для выполнения определенной задачи В программе может быть часть—**подпрограмма**, которая используется несколько раз в процессе ее выполнения. Подпрограмма записывается только один раз и используется машиной по специальной команде—прерыванию команды. Это позволяет укоротить запись всей программы.

МикроЭВМ



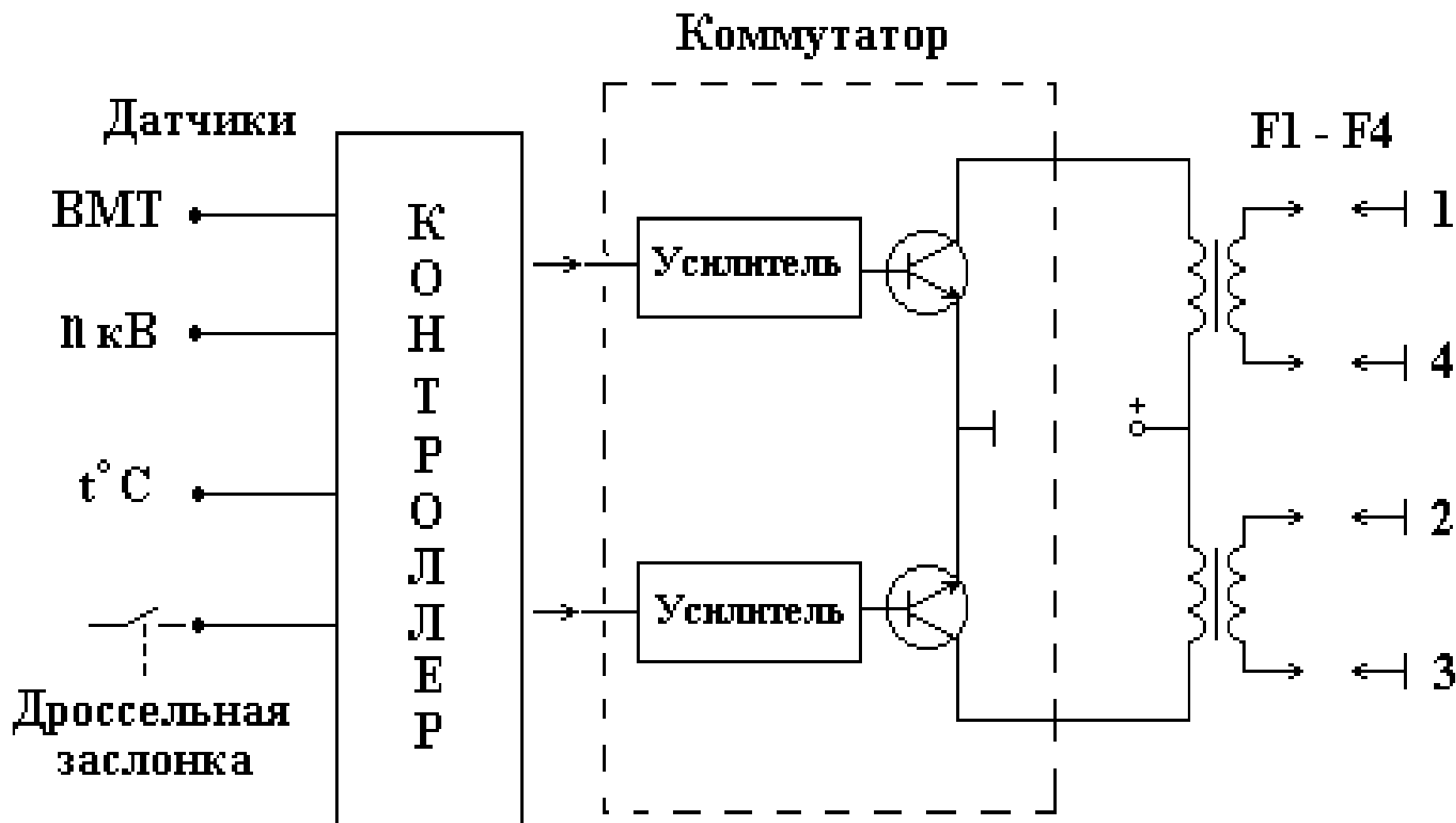
Устройство ввода данных служит для (ведения в оперативное запоминающее устройство ОЗУ) — оперативную память — ЭЦВМ исходных данных и программы вычислений.

Программа — это последовательность команд. команда содержит указания, где находятся числа и какую операцию над ними надо произвести. Каждая команда состоит из двух частей: оператора и операнда. Оператор указывает, какую именно операцию должен выполнить процессор (арифметическую, логическую или операцию управления), а операнд данные или адрес в памяти, над которыми должна быть выполнена операция.

Устройство управления и арифметическо-логическое устройство объединены в микропроцессор. Арифметическо-логическое устройство (АЛУ) выполняет основные операции над числами и логические операции (И, НЕ, ИЛИ и их комбинации). Это устройство содержит сумматоры, блоки умножения, блоки деления и логические схемы.

Устройство вывода данных—дисплей (экран) или автоматическое печатающее устройство служит для получения окончательных результатов вычислений. Результаты автоматически с помощью специальных устройств, пересчитываются из двоичной системы в десятичную и выводятся в виде таблиц или графиков на дисплеях.

Применение микропроцессоров



Задание на самостоятельную работу:
получить понятие о микропроцессорах и микроЭВМ, их устройстве, логическом и арифметическом обеспечении; о их применении

Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники. [Текст] Учебное пособие / И.А.Данилов, П.М. Иванов, ISBN 5-06-003737-1. - М.: Высшая школа, 2004. — 752 с., с. 662-666, 669-671 .