

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АБУ РАЙХАНА БЕРУНИ**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

по дисциплине

**«ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ
И ЭЛЕКТРОПРИВОД»**

Ташкент - 2018

Составили: проф. Абдуллаев Б.А., доц. Абдураимов Э.Х., доц.Бегматов Ш.Э.

Кафедра «Электротехника и профессиональное образование (энергетика)»

Конспект лекции по предмету «Электротехника, электроника и электропривода» соответствует учебному плану бакалавриата неэлектротехнических направлений.

Конспект лекции рассмотрено и утверждено на заседании кафедры «Электротехника и профессиональное образование (энергетика)» от 20 августа 2013 года. Протокол № 1.

Краткое содержание.

В конспекте лекций изложены основные понятия о предмете «Электротехника, основы электроники и электропривод», описаны основные элементы электрических схем и устройств. Приведены их конструкция и характеристики. Освещены вопросы выбора электрических машин для технологических процессов. Изложены вопросы основ электроники и электропривода.

Тема № 1 **ВВЕДЕНИЕ.**

- План: 1. Общие понятия об электрической энергии, электротехнике, электронике, электроприводе.
2. История развития и перспективы дисциплины.
3. Место дисциплины по подготовке кадров.

1. Общие понятия об электрической энергии, электротехнике, электронике, электроприводе.

Применение электрической энергии резко повышает производительность труда, улучшает культурно-бытовое обслуживание населения, позволяет автоматизировать многие производственные процессы и перейти в ряды случаев к комплексной механизации.

В настоящее время электроснабжение осуществляется на более высоком техническом уровне. В процессе дальнейшего развития будет расширяться применения электрической энергии для осуществления комплексной электрификации производственных процессов.

Успехи в области электрификации всего народного хозяйства стали возможны благодаря бурному развитию электротехники – науки о процессах, связанных с практическим применением электромагнитных явлений. Электротехника как самостоятельная дисциплина занимается также производством, передачей и распределением электрической энергии.

Большое количество электрической энергии при относительно малых потерях передается на огромные расстояния. В настоящее время успешно действуют линии электропередачи протяженностью более тысячи километров. Сравнительно легко электрическая энергия преобразуется в другие виды энергии: механическую, тепловую, лучистую, химическую.

Электротехника – как наука рассматривает вопросы электрических и магнитных явлений и практическое их использование. Энергетика – это в основном электроэнергетика, электрическая энергия вырабатывается электрическими генераторами, преобразовывается на подстанциях и передается по линиям электрических передач и электрическим сетям. Электрическая энергия используется во всех отраслях техники и в быту. Во всех производственных предприятиях используется электропривод, то есть механизмы приводятся во вращение при помощи электрических двигателей. В современных автоматизированных системах управления используются электрические и электромеханические устройства, как в самой системе, так и в исполнительном механизме. Производство электрических машин, трансформаторов, реле, и других электроприборов и устройств и являются основной частью промышленности. Радиотехника и электроника давно выделилась в отдельную отрасль. Широкое применение таких приборов и устройств, требует от специалистов всех областей знания, основных понятий об электромагнитных явлениях.

Электроникой – принято называть отрасль техники, использующую приборы, основанные на управления явлениями электрического тока в плохопроводящей среде сложной структуры, обладающей большим удельным сопротивлением; в электронных приборах этот ток создается направленным движением электронов в высоком вакууме; в ионных приборах – ток в пространстве, заполненном разряженным газом или парами металла.

Электроприводом – называется машинное устройство, осуществляющее преобразования электрической энергии в механическую, и обеспечивающее электрическое управление преобразованной механической энергией. Основными

элементами электропривода являются: электрический двигатель, передаточное устройство и электрическая система управления.

Преобразования электрической энергии в механическую с помощью электродвигателей позволяет наиболее удобно, технически совершенно и экономически эффективно приводить в движения разнообразные рабочие машины и механизмы в сельскохозяйственном производстве.

Современная система электроприводов предполагает, что она не только максимально удовлетворяет требования машин, работающих в различных режимах, но и достигается максимальная типизация и унификация элементов, более широко применяются специальные встроенные электроприводы, а их исполнения соответствуют требованиям окружающей среды.

2. История развития и перспективы дисциплины.

Развитие электротехники относится к первой половине XIX века, когда были открыты основные закономерности магнитных и электрических явлений. Дальнейшее развитие она получает после создания современных электрических машин и трансформаторов. Так, в 1802 году профессор физики В.В.Петров получил электрическую дугу и указал на возможность их практического применения для освещения и плавки металлов.

Русский академик Э.Х.Ленц установил в области электромагнитной индукции закон, носящий его имя. Он так же последовал вопросу о тепловом действии электрического тока (закон Джоуль - Ленца).

В 1834 году Б.С.Якоби изобрёл и в 1838 году построил первый электрический двигатель. В 1873 году русский изобретатель А.Н.Лодигин создал первую лампу накаливания с начала с угольной, а потом с металлической (вольфрамовой) нитью.

Русский изобретатель Н.Н.Бенардос и Н.Г.Славянов осуществляли электрическую дуговую сварку металлов.

Русский электротехник М.О.Доливо-Добровольский в 1888 году разработал систему трёхфазного тока, создал трёхфазный двигатель, трёхфазный трансформатор и осуществил передачу электрической энергии по трёхфазной линии.

В 1885 году А.С.Попов изобрёл радиотелеграф. Больших достижений в области электротехники добились иностранные ученые. Среди них необходимо отметить, прежде всего, Фарадея, английского учёного, установившего законы электролиза и обнаруживший вращение проводника с током вокруг полюса постоянного магнита, открывший явления электромагнитной индукции и Максвелла (1831-1879), английского физика, основоположника теории электромагнитного поля. Он так же доказал существование электромагнитных волн, электромагнитную природу давления света.

Дальнейшее развитие электроэнергетики и электрификации требует подготовки большого числа специалистов вооружённых хорошими знаниями электротехники, так же области техники, которым входит производство, передача, распределения и многообразные применения электрической энергии.

3. Место дисциплины по подготовке кадров производства.

Качественный и количественный рост энергонасыщенности современного государства предопределяет то обстоятельство, что каждый специалист производства, имеющий инженерное образование, должен обладать определённой технической эрудицией, ориентироваться в интересных вопросах электротехники, электроники и электропривода.

Данная дисциплина ставит целью сообщить бакалаврам технических вузов по инженерным специальностям комплекс необходимых сведений из области электротехнического производства.

Контрольные вопросы.

1. Расскажите об особенностях электрической энергии?
2. В чем заключается цели и задачи электротехники, электроники и электропривода?
3. Расскажите историю развития электротехники?
4. Какова роль дисциплины по подготовке кадров?

I. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА.

Тема № 2 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

- План:
1. Общие сведения.
 2. Электрическая цепь и ее основные элементы.
 3. Работа и мощность.

1. Общие сведения.

Направленное движение свободных заряженных частиц под действием электрического поля называется **электрическим током**.

Электрический ток в металлических проводниках представляет собой упорядоченное движение электронов. Таким образом, ток в металлах образуется свободными электронами, поэтому их проводимость называют **электронной**.

Электрический ток в электролитах представляет собой упорядоченное движение ионов. В жидких электролитах, к которым относятся водные растворы солей, кислот и щелочей, всегда имеются положительные и отрицательные ионы. Следовательно, в жидких электролитах ток образуется ионами, поэтому проводимость такого типа называется **ионной**.

Интенсивность электрического тока характеризуется физической величиной, которая называется силой электрического тока.

Сила тока численно равна количеству электричества Q , проходящему через поперечное сечение проводника за 1 секунд. Силу тока обозначают буквой I :

$$I = \frac{dQ}{dt};$$

где Q – количество электричества, проходящей через поперечное сечение проводника за время t . Единица измерения силы тока – ампер (А).

Плотность тока – это отношение силу тока I к площади поперечного сечения F проводника: $\delta = I/F$ единица измерения плотности тока – А/мм².

Электрический ток, сила и направление которого не изменяется с течением времени, называется **постоянным**.

Разные вещества не одинаково проводят электрический ток, поскольку в различной мере противодействуют движению электрических зарядов. Это противодействие характеризуется величиной, которого называют **электрическим сопротивлением** и обозначают буквой R . Единица измерения сопротивления – Ом. Это сопротивление проводника, в котором протекает ток силой а 1 А при напряжении 1 В. Сопротивление зависит от материала проводника и его геометрических размеров (длины ℓ и площади поперечного сечения F).

$$R = \rho \frac{\ell}{F} \quad \text{здесь } \rho - \text{удельное сопротивление проводника Ом м.}$$

Сопротивления проводников изменяются при изменения их температуры. Обозначая сопротивление проводника при температуре 0°C через R_0 , получим формулу для определения сопротивления при любой температуре t .

$$R = R_0(1 + \alpha t).$$

где α - теоретический коэффициент сопротивления, показывающий относительного удельного сопротивления при нагревании проводника на 1°C .

2. Электрическая цепь и ее основные элементы.

Основными элементами *электрической цепи* (рис-1) являются источники ЭДС, приёмники энергии, или потребители, и провода для передачи электроэнергии. Различают внешнюю или внутреннюю части электрической цепи.

Приёмник электрической энергии и соединительные провода составляют её *внешнюю часть*, а источники электрической энергии (источник питания) – *внутреннюю часть*.

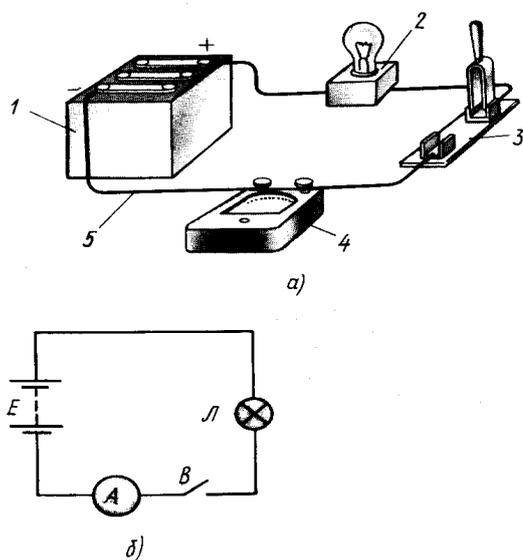


Рис 1. Схема простейшей электрической цепи.

На рис.1. Е – источник электрической энергии (батарея); Л – потребитель электрической энергии (лампа накаливания); В – выключатель.

В качестве *источников электрической энергии* применяют электрические (электромашинные) генераторы, преобразующие механическую энергию в электрическую, первичные элементы и аккумуляторы, преобразующие химическую энергию в электрическую и т.п.

К *приёмникам электрической энергии* относятся электрические двигатели, нагревательные приборы, облучатели. В приёмниках

электрической энергии электрическая энергия преобразуется в другие виды энергии: механическую в электрических двигателях, тепловую в нагревательных приборах, лучистую в облучательных и осветительных установках. Электрические провода являются звеном, связывающим источника и приёмника. В электрические цепи могут входить приборы контроля и управления, а так же преобразующие устройства (трансформаторы и выпрямители и др.).

Электрические цепи разделяют на разветвлённые и неразветвлённые. Разветвлённые цепи содержат несколько параллельных ветвей.

В зависимости от того, для какого тока предназначена электрическая цепь, её называют соответственно: ”электрическая цепь постоянного тока”, “электрическая цепь переменного тока”.

3. Работа и мощность.

Работа, совершаемая электрическим током в единицу времени (секунду), называется мощностью и обозначается буквой Р. Эта величина характеризует интенсивность совершаемой током работы. Мощность определяется по формуле.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{U \cdot I \cdot t}{t} = U \cdot I .$$

Единицей измерения мощности служит Ватт (Вт). Ватт – это мощность, при которой за секунду равномерно выполняется работа в один джоуль.

Кратные единицы мощности: киловатт–1кВт=1000Вт и мегаватт–1 Мвт=1000000 Вт.

Так работа, совершенная за время t может быть записана следующим образом.

$$W = P t .$$

Следовательно, в электрических цепях за единицу применяют работу, совершаемую током при мощности в 1 Вт в течение 1 сек. Она соответствует работе в 1 Дж. Практическая единица измерения электрической энергии – киловатт час (кВт ч) представляет собой

работу, совершаемую при постоянной мощности в 1 кВт в течении 1 ч. При протекании электрического тока через проводник он нагревается.

Количество тепла Q , выделяющегося в проводнике, определяется по формуле.

$$Q = I^2 R \cdot t \text{ (Дж)}.$$

Эта зависимость называется законом Джоуля – Ленца.

Контрольные вопросы.

1. Объясните электрический ток?
2. Чем характерен постоянный ток ?
3. По какой формуле определяется сила и плотность тока?
4. Назовите основные элементы электрических цепей?
5. Объясните мощность электрического тока?
6. Объясните электрическую энергию?

Тема № 3 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА.

План:

1. Законы Кирхгофа.
2. Метод наложения.
3. Метод контурных токов.
4. Метод узловых потенциалов.

1. Законы Кирхгофа

Сложные электрические цепи обычно содержат несколько замкнутых контуров с источниками токов в каждом или хотя бы в некоторых из них. Конфигурация их может быть очень сложной, а число источников тока может превышать число контуров.

Для расчёта электрических цепей наряду с закона Ома применяется два закона Кирхгофа, являющиеся следствиями закона сохранения энергии.

Методы расчета с применением законов Кирхгофа позволяют рассчитать электрическую цепь любой конфигурации и сложности, т.е. являются основными.

Первый закон Кирхгофа применяется для узлов электрической цепи и выражает баланс токов в них, в узле электрической цепи алгебраическая сумма токов равна нулю:

$$\sum I = 0.$$

Второй закон Кирхгофа применяется для контуров электрических цепей и выражает баланс напряжений в них: в контуре электрической цепи алгебраическая сумма электродвужущих сил равна алгебраической сумме падений напряжений на сопротивлениях, входящих в этот контур:

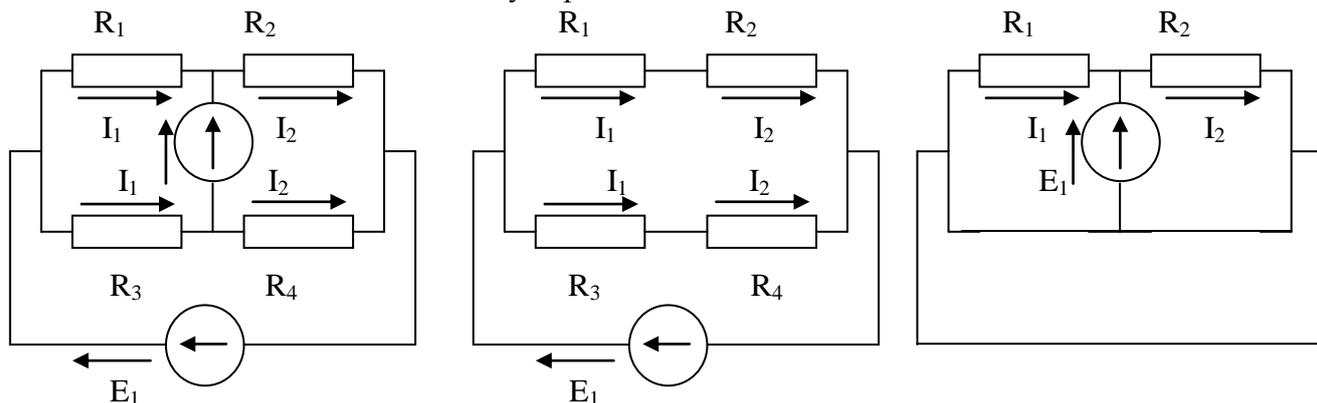
$$\sum E = \sum I \cdot R$$

Наиболее распространёнными методами расчёта сложных цепей являются:

- 1) метод наложения; 2) метод контурных токов; 3) метод узлового напряжения.

2. Метод наложения.

В некоторых случаях расчет цепей можно осуществить относительно просто используя принцип наложения.



а) б) в)

Рис 2. К расчету электрической цепи методом наложения.

Рассмотрим для примера схему, представленную на рис 2 а). В любой ветви схемы ток можно определить как результат наложения частных токов получающихся в этой ветви от каждой Э Д С в отдельности.

Для определения частных токов на основании исходной схемы составляются частные схемы в каждый из которой действует одна Э Д С, а точки цепи, между которыми включены все прочие Э Д С соединяется между собой накоротко. Каждая частная схема рассчитывается отдельно, например методом эквивалентных сопротивлений. Так как в данной ветви исходной схемы определяется алгебраически частных токов этой ветви. Например: $I_1 = I_1' + I_1''$, $I_3 = I_3' + I_3''$ Число членов в правой части этих уравнений должно быть равно числу ЭДС в исходной схеме.

3. Метод контурных токов.

Метод контурных токов можно применять для расчёта сложных электрических цепей, имеющих больше двух узловых точек. На рисунке 3 изображена такая электрическая цепь. В ней три контура, причем средний контур имеет участки, входящие в состав двух соседних контуров, а также участки, которые входят в состав только одного контура.

Сущность метода контурных токов заключается в предположении, что в каждом контуре проходит свой ток (контурный ток). Тогда на общих участках, расположенных на границе двух соединенных контуров, будет протекать ток, равный алгебраической сумме токов этих контуров.

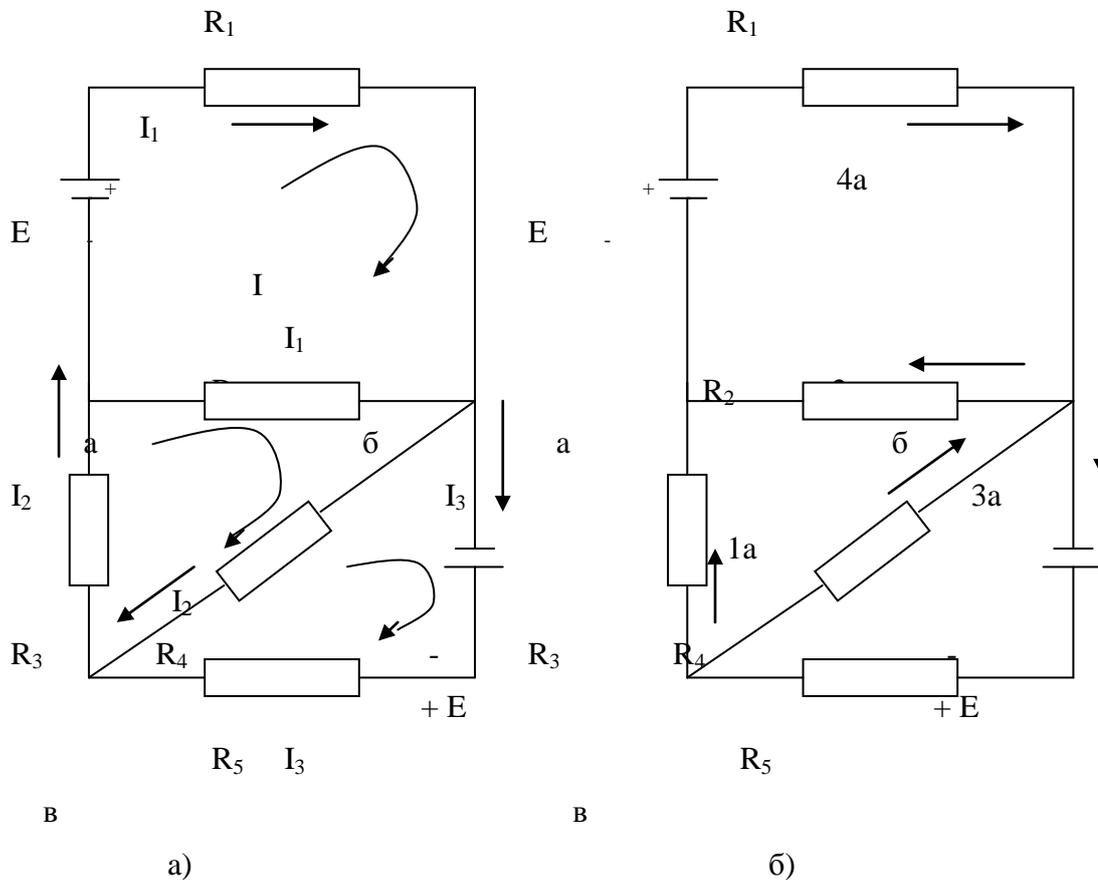


Рис. 3. Схема для расчета по методу контурных токов.

Выбираем положительное направление трех контурных токов I_1, I_2, I_3 так, как указано на чертеже стрелками. Затем составим уравнение по второму закону Кирхгофа, обходя все три контура в одном направлении, например: в направлении движения часовой стрелки.

$$\text{для контура 1: } E_1 = I_1 R_1 + (I_1 + I_2) R_2;$$

$$\text{для контура 2: } 0 = I_2 R_3 + (I_2 - I_1) R_2 + (I_2 + I_3) R_4;$$

$$\text{для контура 3: } E_2 = I_3 R_5 + (I_3 - I_2) R_4; \text{ в).}$$

Как мы видим, число уравнений равно числу контуров, т.е. число уравнений меньше чем при решении задачи по первому и второму закону Кирхгофа. Решая систему уравнений, находим контурные токи, по которым определяется токи в ветвях: I_1, I_2, I_3, I_4 .

4. Метод узловых потенциалов.

В практических задачах встречаются цепи, имеющие всего две узловые точки.

Между узловыми точками может быть включено произвольное количество ветвей. Расчет таких цепей значительно упрощается, если пользоваться методом узлового напряжения.

Рассмотрим сущность этого метода. На рис 4 изображена разветвленная электрическая цепь с двумя узловыми точками А и Б, между которыми включены

четыре параллельные ветви. Три первые ветви имеют источники ЭДС (генераторы) с E_1, E_2, E_3 . Последовательно с генераторами в этих ветвях включены сопротивления R_1, R_2, R_3 . (к ним могут быть отнесены и внутренние сопротивления самих генераторов). В последние ветви включено сопротивление R_4 . Положительное направление токов в каждой ветви выбрано от точки Б к точке А. Если напряжения между узловыми точками А и Б обозначены U то ток в первой ветви.

$$I_1 = \frac{E_1 - U}{R_1} = (E_1 - U) g_1$$

$$\text{так же } I_2 = (E_2 - U) g_2$$

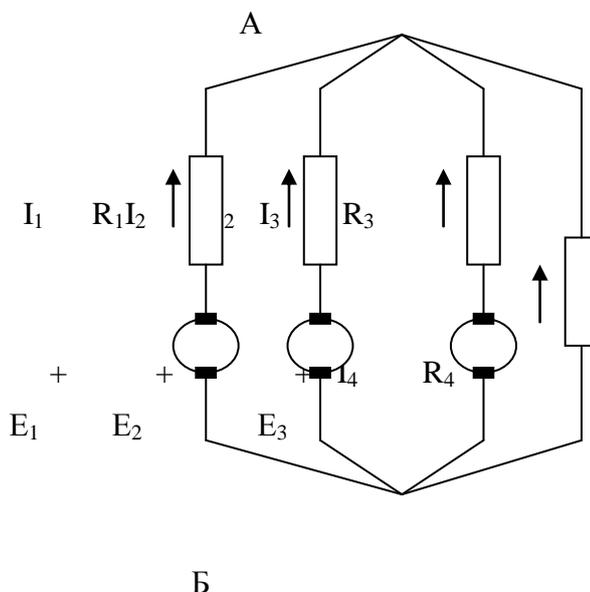
аналогично для остальных ветвей;

$$I_2 = (E_2 - U) g_2; \quad I_3 = (E_3 - U) g_3;$$

$$I_4 = (0 - U) g_4 = -U g_4$$

Применяя для узловой точки А первый закон Кирхгофа, будем иметь

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 0$$



Заменив токи их выражениями,

Рис 4. Разветвленная электрическая цепь

последнее уравнение записываем так:

$$(E_1-U)g_1+(E_2-U)g_2+(E_3-U)g_3-Ug_4=0$$

$$\text{откуда } U = \frac{E_1 \cdot g_1 + E_2 \cdot g_2 + E_3 \cdot g_3}{g_1 + g_2 + g_3 + g_4}$$

Мы получим формулу узлового напряжения (т.е. напряжения между узловыми точками А и Б).

В числителе формулы представлена алгебраическая сумма произведений Э Д С ветвей на проводимости этих ветвей. Если Э Д С какой либо ветви имеет направления обратное тому, которое указано на рис 4 то она входит в формулу для узлового напряжения со знаком минус. В общем виде формулу для узлового напряжения можно записать так:

$$U = \frac{\sum E g}{\sum g}.$$

Контрольные вопросы.

- 1.Расскажите первый закон Кирхгофа?
- 2.Расскажите второй закон Кирхгофа?
- 3.Объясните метод наложения?
- 4.Объясните метод контурных токов?
- 5.Объясните метод узлового напряжения?

Тема № 4 ЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.

- План: 1.Синусоидальный переменный ток и его основные параметры.
- 2.Цепи переменного тока с активном сопротивлением, индуктивностью и емкостью.
 - 3.Мощность в цепях переменного тока.
 - 4.Экономические значения коэффициента мощности и методы его повышения.

1. Синусоидальный переменный ток и его основные параметры.

Ток, изменяющийся во времени по значению и направлению, называется переменным. В практике применяют периодически изменяющийся по синусоидальному закону переменный ток. Синусоидальные величины характеризуется следующими основными параметрами: периодом, частотой, амплитудой, начальной фазой или сдвигом фаз. **Период** обозначается с буквой Т – время (с), в течение которого переменная величина совершает полное колебание.

Частота обозначается с буквой f – число периодов в 1с. Единица измерения частоты – герц (Гц). Один герц равен одному колебанию в секунду.

Период и частота связаны зависимостью $T=1/f$.

В нашей стране применяют переменный ток с частотой 50 Гц. Это значит, что полярность зажимов источника переменного тока с частотой 50 Гц меняется 100 раз в 1с. Изменяясь во времени, синусоидальная величина (напряжения, ток, ЭДС) принимает различные значения. Значения величины в данный момент времени называют мгновенным.

Амплитуда – наибольшее значение синусоидальной величины. Амплитуда тока, напряжения и ЭДС обозначают прописными буквами с индексом I_m , U_m , E_m , а мгновенные значения – строчными буквами i , u , e .

Мгновенное значение синусоидальной величины, например тока, определяют по формуле $i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$, где $\omega t + \varphi$ – фаза-угол, определяющей значение синусоидальной величины в данный момент времени; ω – круговая частота ($\omega = 2\pi f$); φ – начальная фаза, то есть угол, определяющий значение величины в начальный момент времени.

Если синусоидальные величины имеют одинаковую частоту, но разные начальные фазы, то в этом случае говорят, что они сдвинуты по фазе. Разница начальных фаз $\varphi = \varphi_u - \varphi_i$ определяет угол сдвига фаз. На рисунке 5 приведены графики синусоидальных величин (тока и напряжения), сдвинутых по фазе.

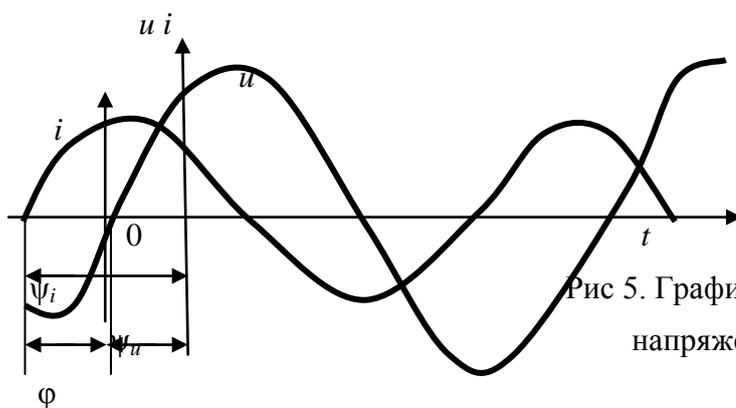


Рис 5. Графики синусоидальных напряжения u и тока i не сдвинутых по фазе.

Когда же начальные фазы двух величин равны ($\varphi_u = \varphi_i$), то разница $\varphi_u - \varphi_i = 0$, значит, сдвига фаз нет $\varphi = 0$ (рис 6). В цепи переменного тока, состоящей из резистора R , напряжения и ток совпадают по фазе: $u = U_m \sin \omega t$, $i = I_m \sin \omega t$.

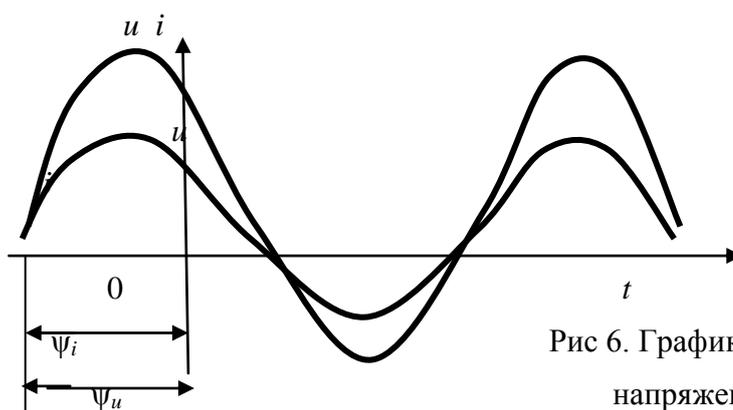


Рис 6. Графики синусоидальных напряжения u и тока i несдвинутых по фазе.

На ряду с аналитическим изображением периодически изменяющихся величин применяют векторные диаграммы. При построении векторной диаграммы выбирают основной вектор и направляют его произвольно, а остальные – в соответствии со сдвигом по фазе относительно основного. Длины векторов выбирают равными (в масштабе) амплитудам изображаемых периодических величин. Поворот вектора против часовой стрелки соответствует опережению по фазе, по часовой – отставанию по фазе. По

правилам векторного сложения легко осуществляют сложение и вычитание векторов, а вместе с этим – сложение и вычитание самих переменных величин.

2. Цепи переменного тока с активным сопротивлением, индук-тью и емкостью.

На рис 7 приведена векторная диаграмма тока и напряжения для цепи с резистором. Средняя за период мощность цепи с резистором называется активной мощностью и равно произведению действующих значений напряжения и тока.

Изменения тока в цепи с индуктивностью L (рис 8) вызывает ЭДС самоиндукции, которая по закону Ленца противодействует изменению тока. При увеличении тока ЭДС самоиндукции действует навстречу току, а при убывании тока она действует направлению тока, противодействующая его уменьшению. Вследствие этого ток в цепи с катушкой индуктивности отстаёт от кривой напряжения на угол $\pi/2$ радиан (четверть периода), как показано на рисунке 8.

Выражения закона Ома для цепи переменного тока, содержащей индуктивность имеет вид $I=U_L/X_L$. Величина X_L называется индуктивным сопротивлением цепи или реактивным сопротивлением индуктивности и измеряется в Омах.



Рис 8. Электрическая цепь с катушкой индуктивности: а) схема, б) графики тока, напряжения и эдс самоиндукции. с) векторная диаграмма.

Индуктивное сопротивление рассчитывают по формуле: $X_L = \omega L$

где $\omega = 2\pi f$ – круговая частота L – индуктивность катушки.

При включении в цепь переменного тока конденсатора происходит непрерывное перемещение электрических зарядов. При увеличении напряжения ток в цепи конденсатора будет зарядным, а при уменьшении напряжения – разрядным. Поэтому ток в цепи, содержащей конденсатор, опережает напряжения на угол $\pi/2$ радиан. Выражение закона Ома для цепи переменного тока, содержащей емкость, имеет вид $I=U_C/X_C$. Величина X_C называется емкостным сопротивлением или реактивным сопротивлением емкости, которое определяется по формуле

$$X_c = 1/2\pi fC = 1/\omega C$$

При последовательном соединении катушки индуктивности и конденсатора их реактивное сопротивление вычисляется $X = X_L - X_c$

Эта величина называется реактивным сопротивлением цепи. Геометрическая сумма активного и реактивного сопротивлений равна полному сопротивлению электрической цепи. $R^2 + X^2 = R^2 + (X_L - X_c)^2 = Z^2$

Эта зависимость показывает, что, используя значение R , X и Z , можно построить треугольник сопротивлений (рис 9).

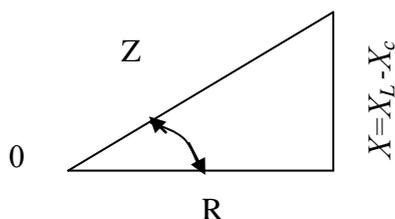


Рис 9. Треугольник сопротивлений электрической цепи переменного тока

3. Мощность в цепях переменного тока.

Умножая значение сторон этого треугольника на силу тока, а цепи, получают треугольник напряжений. Умножая сопротивления на квадрат тока, получают треугольник мощностей.

Электрические установки, работающие в сельском хозяйстве, потребляют активную и реактивную энергию. Лампы накаливания и электрические нагревательные приборы потребляют практически только с активную энергию. Такие электроприёмники, как асинхронные двигатели, трансформаторы, дроссели, линии электропередачи и другие, потребляют активную и реактивную энергии. Электроустановки снабжаются энергией, вырабатываемой генераторами электростанций. Активная энергия преобразуется потребителями в другие виды энергии: тепловую, световую, механическую и др. Реактивная энергия пульсирует между генератором и потребителями, непроизводительно загружая электрическую сеть током.

Активная мощность электроприёмника определяют по формуле $P = UI \cos \varphi$ и измеряют в ваттах (Вт).

Реактивную мощность определяют по формуле $Q = UI \sin \varphi$ и измеряют в вольт – амперах реактивных (вар).

Полную мощность определяют по формуле $S = UI$ и измеряют в Вольт – Амперах (ВА).

Отношение активной мощности P к полной мощности S электроустановки называется коэффициентом мощности $\cos \varphi = P/S = P/\sqrt{P^2 + Q^2}$

где S , P и Q – соответственно полная, активная и реактивная мощность.

4. Экономические значения коэффициента мощности и методы его повышения.

Экономическое значение коэффициента мощности $\cos \varphi$ состоит в том, что от его величины определённым образом зависят капитальные и эксплуатационные расходы, а так же эффективность использования оборудования электрических установок.

Для выяснения влияния коэффициента мощности на экономические показатели электротехнических установок рассмотрим приемник энергии, работающий с постоянной

активной мощностью при постоянном напряжении в сети. Ток в приемнике, а следовательно, и в проводах, соединяющих его с генератором электрической энергии, при этих условиях зависит от $\cos\varphi$.

$$P=UI\cos\varphi \qquad I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi}$$

Чем меньше $\cos\varphi$ приемника, тем больший ток должен быть в самом приемнике, в генераторе, в соединительных проводах, трансформаторе и других элементах сети электроснабжения.

Мощность тепловых потерь, согласно закону Ленца – Джоуля, пропорционально квадрату тока и сопротивлению проводов: $\Delta P=I^2R$. Очевидно, чем больше ток приемника, тем больше потерь энергии в электрической цепи. Стоимость потерь, ной энергии входит в эксплуатационные расходы. Увеличение $\cos\varphi$ приемников ведет к уменьшению тока, сокращению потерь энергии и сокращению расходов.

Если электротехническая установка спроектировано с относительно низким $\cos\varphi$, то оборудование и провода должны быть выбраны на большие токи, чем при высоком $\cos\varphi$. Это значит, что оборудование должно быть установлено относительно больших размеров, а провода – большого сечения. Последнее повлечет за собой увеличение объема зданий, утяжеление фундаментов и опор и т.п.

Контрольные вопросы.

- 1.Как получается переменный ток?
- 2.Что называется периодом и частотой переменного тока?
- 3.Как определить частоты, если известно число полюсов и скорость вращения ротора генератора переменного тока?
- 4.Что называется действующим значением переменного тока?
- 5.Что называется активным и индуктивным сопротивлением?
- 6.Что называется коэффициентом мощности и как можно его повысить?
- 7.Как проявляет емкость включенной в цепях переменного тока?

Тема № 5 РЕЗОНАНС В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ.

- План:
- 1.Общие сведения.
 - 2.Резонанс напряжений.
 - 3.Резонанс токов.

1. Общие сведения.

При рассмотрении различных режимов электрических цепей могут быть случаи равенство реактивных сопротивлений ($X_L=-X_c$) при последовательном соединении и равенства реактивных проводимостей ($B_L =B_c$) при параллельном соединении участков, содержащих индуктивность и емкость. В этих случаях электрическая цепь находится в режиме резонанса, который характеризуется тем, что реактивная мощность на его входных зажимах равна нулю, ток и напряжения совпадают по фазе ($\varphi=0$). Резонанс возникает при определённой для данной цепи частоте источника энергии (частоте вынужденных колебаний), которая называется резонансной частотой ω_p .

2. Резонанс напряжений.

Режим электрической цепи при последовательном соединении участков с индуктивностью и емкостью, характеризующихся равенством индуктивного и емкостного сопротивлений, называется **резонансом напряжений**.

Резонанс напряжений рассмотрим сначала на схеме идеализированной цепи (рис 10), в котором последовательно с активным сопротивлением включены идеальные (без потерь) катушка L и конденсатор C . Реактивные сопротивления X_L и X_C (Рис 9 а) зависят от частоты вынужденных колебаний ω $X_L = \omega L$; $X_C = 1/\omega C$.

$$\text{При резонансе напряжений } X_L = X_C; \quad \omega = \omega_p; \quad \omega_p L = \frac{1}{\omega_p C}$$

Отсюда определяется резонансная частота $\omega_p = \sqrt{\frac{1}{LC}}$

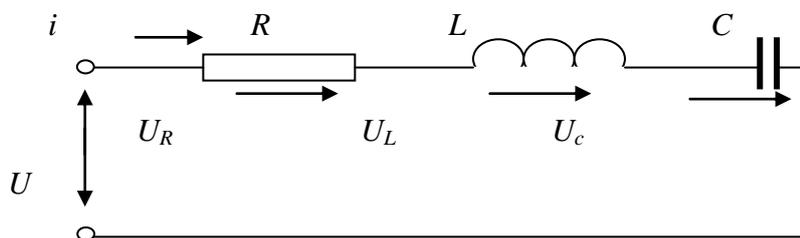


Рис 10. К вопросу о резонансе напряжений.

Резонанс в цепи можно установить двумя путями: изменением параметров L и C (одного из них или обоих вместе) при постоянной частоте источника или изменением частоты источника энергии при постоянных L и C .

В связи с этим большой практический интерес представляет зависимости напряжения и токов на отдельных элементах цепи от частоты. Эти зависимости называются резонансными кривыми. Реактивные сопротивления с изменением частоты изменяются, как показано на рис 11. При увеличении частоты X_L увеличивается пропорционально частоте, а X_C уменьшается по закону обратной пропорциональности.

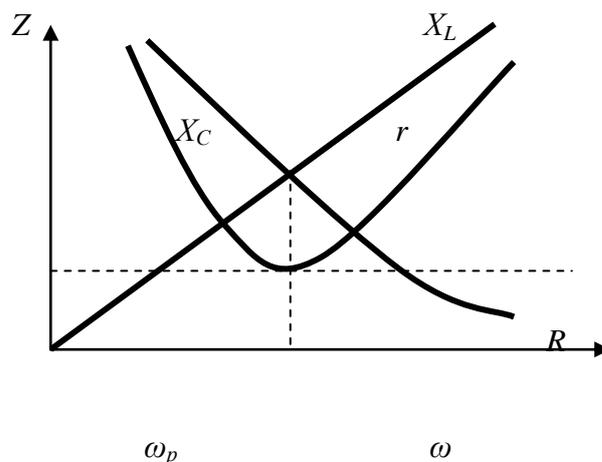


Рис 11. Завысимости X_L , X_C , Z от ω

Соответственно полное сопротивление Z цепи при резонансной частоте ω_p оказывается наименьшим, равным активному сопротивлению R , резонансные явления широко применяются в радиотехнике.

3. Резонанс токов.

Режим электрической цепи при параллельном соединении участков с индуктивностью и емкостью характеризующихся равенством индуктивной и емкостной проводимостей, называется резонансом токов.

Этот режим рассмотрим для схемы идеализированной цепи. В этой схеме параллельно активному сопротивлению R включены идеальная катушка L и конденсатор C , потери энергии в которых не учитываются (рис 12).

Реактивная проводимость зависит от частоты вынужденных колебаний
 Для рассматриваемой схемы активная проводимость $g=1/R$; $b_L=1/\omega L$; $b_C=\omega C$
 При резонансе токов $b_L=b_C$; $\omega=\omega_p$; $1/\omega_p L=\omega_p C$

Отсюда определяется резонансная частота $\omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

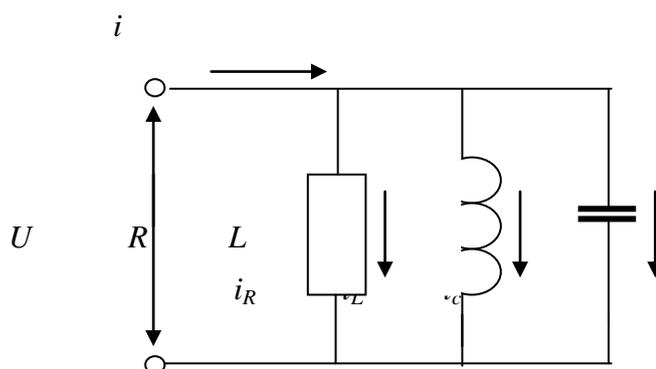


Рис 12. К вопросу о резонансе токов.

Резонанс токов, так же как и резонанс напряжений, можно получить изменением параметров L и C или изменением частоты источника энергии.

На рис 13 показаны зависимости проводимостей от частоты.

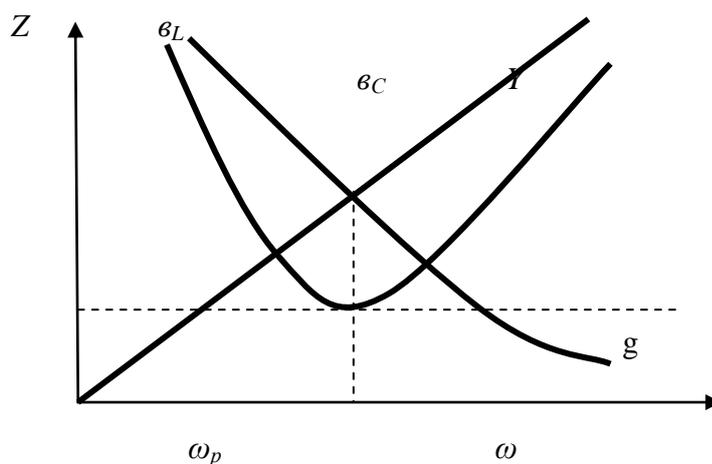


Рис 13. Завысимости b_L , b_C , Y от ω

Полная проводимость цепи Y при резонансной частоте ω_p оказывается наименьшей, равной активной проводимости g .

Контрольные вопросы.

1. Что называется резонансом напряжения?
2. Что называется резонансом токов?
3. По какой формуле определяется резонансная частота?
4. Расскажите об использовании резонансных явлений?
5. Когда возникает резонанс напряжений?
6. Когда возникает резонанс токов?

Тема № 6 ТРЕХФАЗНЫЕ ЦЕПИ.

План: 1. Общие сведения.

2. Соединения трехфазной системы.

3. Способы включения приемников в сеть трёхфазного тока.

1. Общие сведения.

Трёхфазной называется система, состоящая из трех электрических цепей одной частоты, э.д.с. которые сдвинуты по фазе на одну треть периода (120°). Каждая отдельная цепь трёхфазной системы образует фазу.

Рассмотрим схему устройства и принцип действия генератора трёхфазного тока (рис 14). Он состоит из двух основных частей: неподвижной – статора 1 и вращающихся – ротора 2. В пазы статора вложены три обмотки с одинаковым числом витков, сдвинутые на $2\pi/3$ рад (для двухполюсной машины). Каждый виток занимает два противоположных паза. На вал ротора жестко посажен двухполюсный электромагнит с полюсными наконечниками N и S . Обмотка электромагнита питается постоянным током от специального источника.

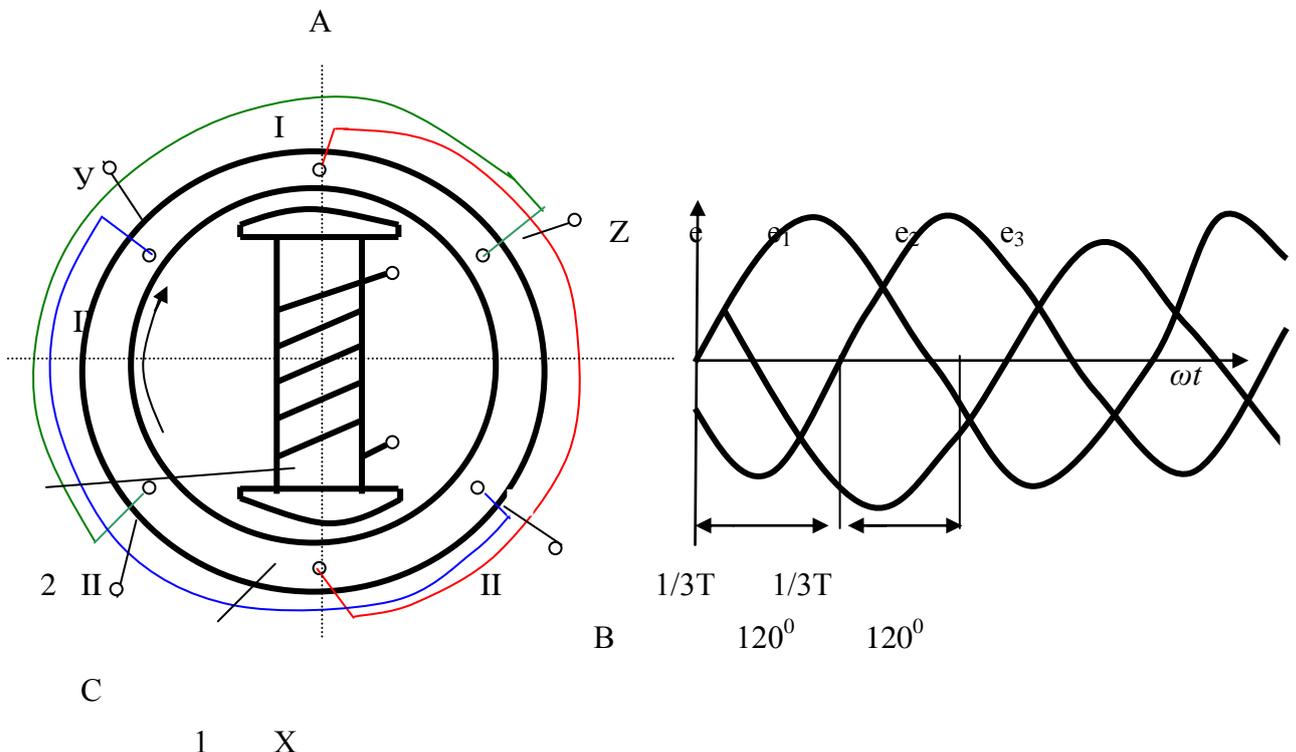


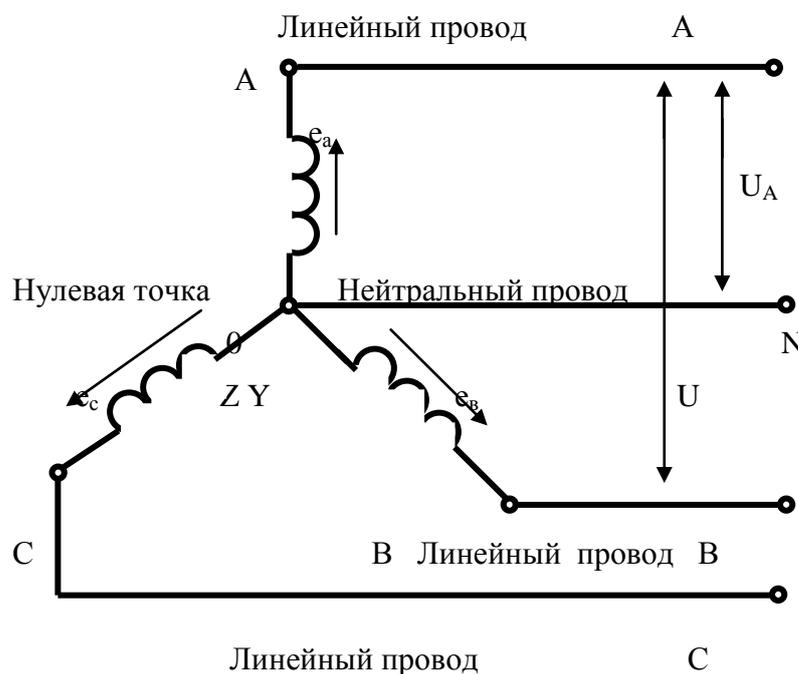
Рис 14. Схема устройства и принцип действия генератора трёхфазного тока.

Ротор генератора приводится во вращение первичным двигателем (турбиной, двигателем внутреннего сгорания и др.), и в фазных обмотках статора индуцируются переменные э.д.с. Так как магнитное поле вращающегося ротора пересекает фазные обмотки не одновременно, то э.д.с. обмоток сдвинуты по фазе относительно друг друга на одну треть периода $2\pi/3$.

Э.д.с. индуцируемые в фазах (обмотках), называют **фазными**. Каждая обмотка трехфазного генератора представляет собой самостоятельный источник и сокращенно называется **фазой** генератора. Все три обмотки фаз генератора имеют одинаковое число витков и изготовлены из провода одного сечения. Поэтому максимальные E_m и действующие E значения э.д.с. этих обмоток одинаковы. Система трех э.д.с. одинаковыми амплитудами и сдвинутыми по фазе относительно друг друга $1/3$ периода называется **симметричной**. Наоборот, при неравенстве амплитуд э.д.с. будет **несимметричной**. На электрических схемах трехфазный генератор условно обозначают в виде трех обмоток, расположенных по отношению друг к другу под углом $2\pi/3$ рад. Начало обмотки первой фазы обозначают буквой А, конец – Х; начало второй фазы – буквой В, конец – У; начало третьей фазы – буквой С, конец – Z.

2. Соединения трехфазной системы

Фазные обмотки трехфазного генератора соединяют по двум основным схемам, названным «звезда» и «треугольник»



Если концы всех трех генератора сведены в одну точку, а начала обмоток подключены к линейным проводам (рис 15), то образуется соединение «звезда» (условное обозначения Y). Точку соединения концов обмоток 0 называют *нулевой точкой* генератора, провода, идущие от начала обмоток генератора к потребителю, — линейными, а провод, соединяющий нулевой точки — нулевым (нейтральным)

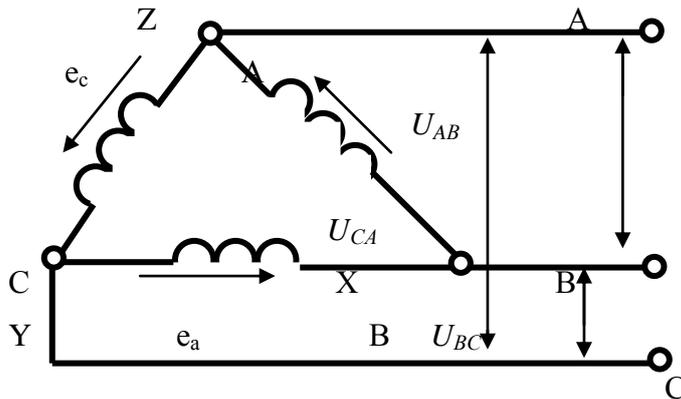
Рис 15. Схема соединения обмоток генератора в звезду.

В линейном проводе протекает линейный ток, а в обмотке (фазе) генератора — фазный. Между линейными проводами действуют линейные напряжения, обозначаемые U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} , или в общем виде U . Напряжения между линейными проводами и нулевым

проводом называют фазными и обозначают U_A , U_B , U_C , или в общем виде U_ϕ . Пренебрегая падением напряжения внутри обмоток трехфазного генератора, можно считать, что фазные напряжения равны фазным э.д.с.

При соединении звездой линейные токи равны фазным ($I=I_\phi$), а линейное напряжение больше фазных в $\sqrt{3}$ раза, то есть $U_l = \sqrt{3} U_\phi$

Если конец первой обмотки трехфазного генератора соединить с началом второй, конец второй – с началом третьей и конец третьей – с началом первой (рис16), то получится соединение “треугольником” (условное обозначение Δ).



К общим точкам соединения обмоток генератора подключаются линейные провода.

При соединении обмоток генератора треугольником линейное напряжение равно фазному ($U=U_\phi$), а линейный ток больше фазного в $\sqrt{3}$ раза, то есть $I = \sqrt{3} I_\phi$.

Рис 16. Схема генератора при соединении обмоток в треугольник.

Активная мощность трехфазной системы при соединении потребителей звездой и треугольником определяется как сумма мощностей отдельных фаз:

$P = P_a + P_b + P_c$ или $P = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA}$. При равной нагрузке всех фаз $P = 3P_\phi$. Мощность одной фазы $P_\phi = U_\phi I_\phi \cos\phi$, где ϕ – угол сдвига фаз между фазными напряжением и током.

Выражая фазные величины через линейные, получим формулу мощности для симметричной трехфазной системы (независимо от соединения звездой или треугольником): $P = 3P_\phi = \sqrt{3} U_l I_l \cos\phi$

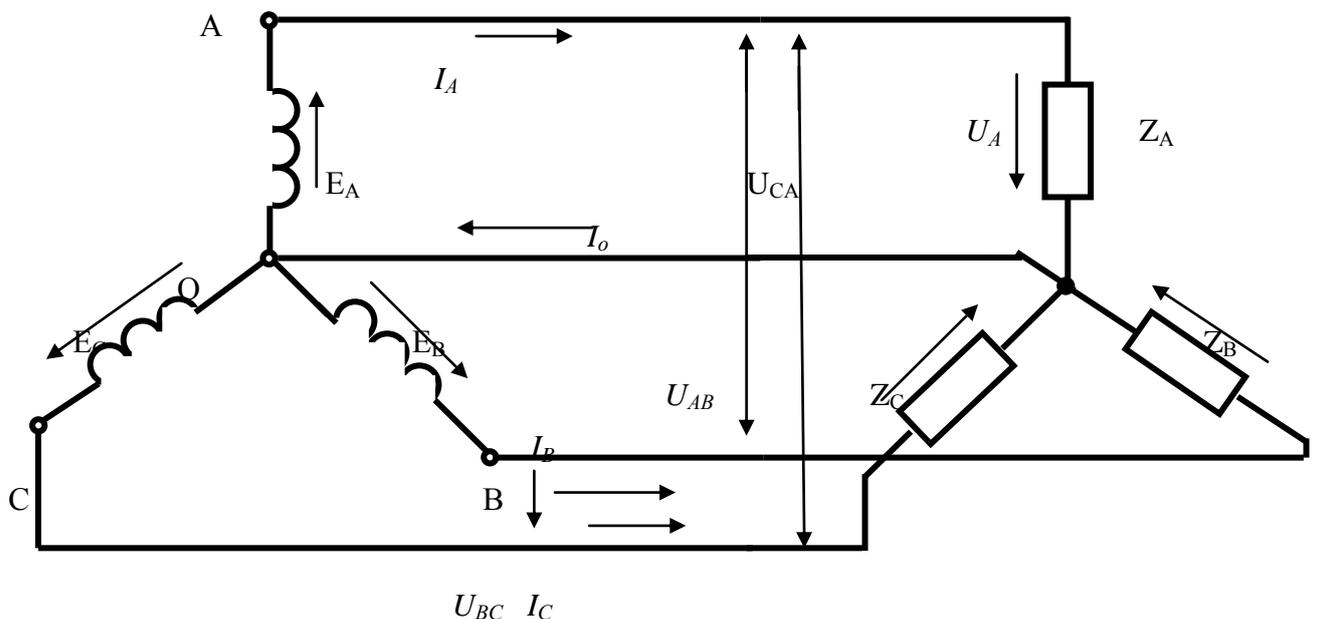


Рис 17. Схема содинения трехфазного генератора и потребителей.

Четерехпроводная трехфазная система (звезда с нулевым проводом), получившая широкое практическое применения (рис 15), позволяет иметь два напряжения, отличающиеся друг от друга в $\sqrt{3}$ раз. К черетёхпроводной системе можно подключать трехфазные и однофазные потребители.

Для низковольтных электросетей приняты стандартные линейные напряжения 220 и 380 В. При линейном напряжении $U=220$ В фазное напряжение $U_{\phi}=\frac{220}{\sqrt{3}}=127$ В, при

$$U=380 \text{ В } U_{\phi}=\frac{380}{\sqrt{3}}=220 \text{ В}$$

3. Способы включения приемников в сеть трёхфазного тока.

В соответствии со стандартными напряжениями электросетей приемники энергии изготовляют на номинального напряжения приемника. Приёмники энергии нужно включать в сеть так, чтобы через них протекал номинальный ток (то есть ток, на который рассчитаны эти приёмники).

А сеть со стандартным линейным напряжением 380 В лампы и электродвигатели, рассчитанные на номинальное напряжение 220 В, включают по схеме звезда, а электродвигатели с номинальным напряжением 380 В – по схеме треугольник.

В сеть с линейным напряжением 220 В лампы и электродвигатели с номинальным напряжением 127 В включают звездой, а лампы и электродвигатели с номинальным напряжением 220 В – треугольником.

Контрольные вопросы.

- 1.Какие системы называются трехфазными?
- 2.Как соединяется трехфазная система?
- 3.Объясните соединения трехфазной системы звёздой?
- 4.Объясните соединения трехфазной системы треугольником?
- 5.Как определяется линейный ток при соединении звёздой?
- 6.Как определяется $U_{л}$ при соединении треугольником?

Тема № 7 ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ.

План. 1. Переходные процессы в процессы в электрических цепях.

2. Электрические цепи периодического несинусоидального тока

1. Переходные процессы в электрических цепях.

Переходные процессы возникают в электрической цепи при включении или отключении источника питания, а также при изменении схемы цепи – включении или отключении ее элементов L , R , C .

Установим важнейшие закономерности переходных процессов в электрических цепях, рассматривая включение через активное сопротивление и индуктивности L (рис 18), или емкости C (рис19) на источник постоянного напряжения.

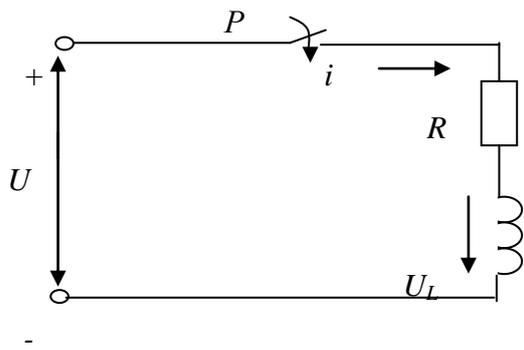


Рис 18. Схема включения катушки индуктивности на постоянное напряжение.

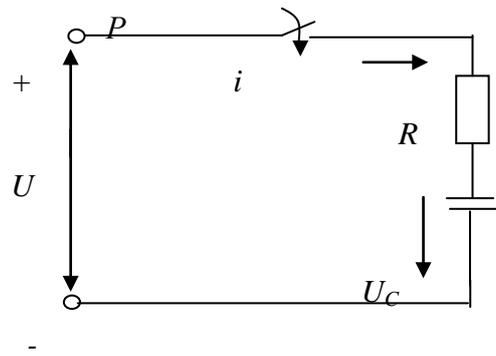


Рис 19. Схема включения конденсатора на постоянное напряжение.

До замыкания рубильника Р установившийся режим характеризуется тем, что напряжения на индуктивности U_L , напряжения на емкости U_C и токи в обеих цепях равны нулю.

Между двумя установившимися режимами, соответствующими разомкнутому и замкнутому положения рубильника Р, некоторое время продолжается переходный процесс, когда ток в катушке от нуля увеличивается до некоторого значения $i=I$, а напряжения на конденсаторе увеличивается от нуля до значения $U_C=U$.

Электрическое состояние цепи рис 17 в переходной период характеризуется уравнением: $U = iR + U_L$

В установившемся режиме при замкнутом рубильнике Р ток в цепи не изменяется, поэтому $\frac{di}{dt} = 0$ и напряжение на индуктивности $U_{L_{уст}} = 0$. Напряжения источника полностью приложено к активному сопротивлению R и ток в цепи

определяется отношением $i_{уст} = I = \frac{U}{R}$

Первый закон коммутации гласит: ток в индуктивности не может изменяться скачком (для этого требуется источник бесконечно большой мощности). По этому мгновенное значение тока в ветви с индуктивностью в первый момент переходного периода останется таким, каким оно было в последний момент предшествующего установившегося режима.

Из него следует, что в начальной момент после замыкания рубильника Р, при $t=0$, ток в цепи рис 17 равен нулю, падения напряжения $iR=0$, напряжения на индуктивности равно напряжению источника $U_{L0} = U$ (цепь как бы разомкнута на индуктивности). Электрическое состояние цепи рис 17 характеризуется уравнением

$$U = U_c + iR = U_c + RC \frac{dU_c}{dt}$$

Рассуждения, аналогично ранее приведенным для цепи с индуктивностью при доказательстве существования переходного периода, можно привести и для цепи с емкостью.

Второй закон коммутации гласит: напряжения на емкости не может изменяться скачком. Поэтому мгновенное значение напряжения на емкости в первый момент переходного периода остается таким же, каким оно было в последний момент предшествующего установившегося режима.

Из него следует, что в начальный момент после замыкания рубильника Р, при $t=0$, напряжения на ёмкости в цепи рис 17 $U_{C0}=0$ (ёмкость как бы замкнута накоротка), напряжение источника полностью приложено к активному сопротивлению R и ток в цепи определяется отношением $i = \frac{U}{R}$.

2. Электрические цепи периодического несинусоидального тока

В технике сильных токов несинусоидальность ЭДС обычно возникает в результате нарушений нормальной работы генераторов, питающих сеть. В технике слабых токов (радиотехнике) несинусоидальные ЭДС, напряжения и токи создаются специально для получения тех или иных эффектов, которые невозможно получить с помощью величины, изменяющихся синусоидально.

Если к цепи (рис20) подведено несинусоидальное напряжение, то, согласно теореме Фурье, можно считать, что к этой цепи поведен узли ряд синусоидальных напряжений, а в общем случае еще и постоянное напряжение. Каждая составляющая напряжения вызывает в цепи ток соответствующей частоты, создает определённую активную мощность и сдвиг фаз, которые можно подсчитать обычными методами, применяющимися для расчета цепей с синусоидальными токами и напряжениями. Например, первая гармоника тока: $I_1 = \frac{U_1}{Z_1}$; $P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1 = I_1^2 R$; $S_1 = U_1 I_1$ и т.д. где U_1 – значения первой гармоники напряжения;

P_1 – активная мощность, создаваемая в цепи первыми гармониками тока и напряжения; φ_1 – угол сдвига фаз между ними.

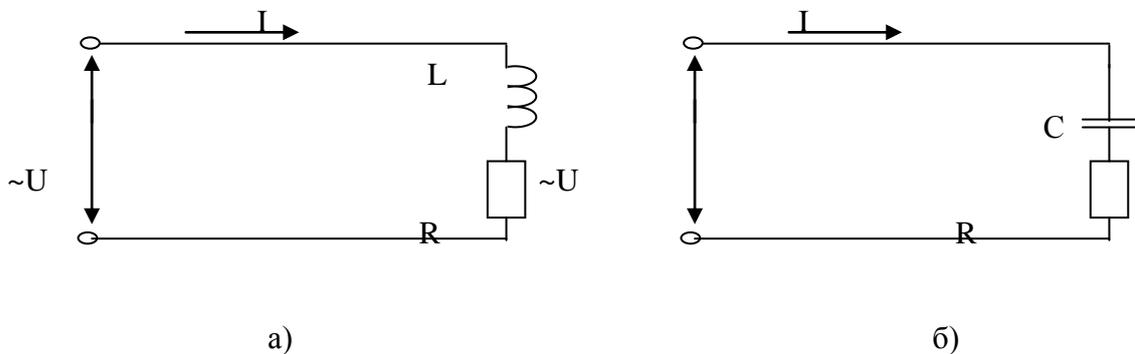


Рис 20. К вопросу несинусоидальных токов в электрических цепях.

Таким образом, действующие значения результирующего несинусоидального тока, напряжения, активной или полной мощности можно подсчитать по формулам:

$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2}$, где I_0 – значения постоянной составляющей тока; I_1, I_2, \dots значения соответствующих гармоник. Соответственно $U = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}$,

$P = P_0 + P_1 + P_2 + \dots + P_n$, $S = I U$; Коэффициент мощности цепи $\cos \varphi = P/S$;

В цепях с несинусоидальными токами реактивная мощность равна сумме реактивных мощностей отдельных гармоник:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n = I_1 U_1 \sin \varphi_1 + I_2 U_2 \sin \varphi_2 + \dots + I_n U_n \sin \varphi_n$$

В цепях содержащие индуктивные сопротивления, ток оказывается по форме ближе к синусоиде, чем приложенное напряжение.

Другими словами, если нагрузку, содержащую активное и реактивное сопротивление, питать несинусоидальным напряжением то она будет работать с меньшим коэффициентом мощности, чем при питании ее синусоидальным напряжением. С этой точки зрения выгоднее питать нагрузку синусоидальным напряжением.

Контрольные вопросы.

1. Какой режим электрической цепи называется установившемся?
2. Какие процессы в электрической цепи называются переходными?
3. Какие причины вызывают возникновения переходных процессов?
4. Почему ток в индуктивности и напряжения на емкости не изменяются скачком?
5. В чем сущность теоремы Фурье?
6. Выгодно ли питать нагрузку несинусоидальным током и почему?

Тема № 8 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ.

- План: 1. Общие сведения
2. Измерения электрических величин.
3. Измерения неэлектрических величин в условиях производства.

1. Общие сведения

Электрические измерения широко используются в сельскохозяйственном производстве для оценки электрических величин (напряжения, силы тока, мощности, энергии, сопротивления, частоты), а также для оценки неэлектрических величин (температура, влажность, уровня, давления и др.).

Электроизмерительные приборы классифицируются по роду измеряемой величины, принципу действия, роду тока, точности и т.п. Название прибора определяется физической природой измеряемой величины.

В основу устройства прибора могут быть положены самые разнообразные действия электрического тока. В соответствии с этим существует большое число систем электроизмерительных приборов: *магнитоэлектрической, электромагнитной, ферродинамической, индукционной, электростатической*. Систему прибора на шкале обозначают специальным значком, представляющим собой схематический чертёж основного узла прибора, определяющего его принцип действия.

На шкалах приборов указывают род электрического тока, при котором могут использоваться прибор и условия эксплуатации.

Для электроизмерительных приборов класс точности прибора, т.е. приведенная погрешность указывают в виде числа.

На шкалах приборов также указывают рабочие положения шкалы прибора

 - вертикальное, $\angle 60^\circ$ – градусов наклонное,  - горизонтальное, испытательное напряжение в кВ, категория защищенности от внешнего магнитного поля – I и II и др.

По способу получения результата электрические измерения разделяют на прямые и косвенные. **Прямые** измерения выполняют приборами, шкала которых проградуирована в искомых величинах. **Косвенные** – выполняют приборами, дающими значения вспомогательных величин, используя которые можно вычислить искомую величину. Например, сопротивление, мощность можно измерить с помощью омметра и ваттметра, а можно вычислить используя показания амперметра (силу тока) и вольтметра (напряжения).

2. Измерения электрических величин.

В условиях сельскохозяйственного производства наиболее часто при эксплуатации электрифицированных машин и механизмов приходится контролировать значения следующих электрических величин: напряжения, силу тока, энергии и сопротивления.

Для измерения электрического тока служат приборы, называемые амперметрами. Амперметр включают в цепь последовательно (рис 19).

Для расширения пределов при измерениях на переменном токе используют измерительные трансформаторы (рис 19 б).

Для расширения пределов при измерениях в цепях постоянного тока применяют шунты – электрические сопротивления, подключаемые параллельно к измерительному прибору (рис 21 в).

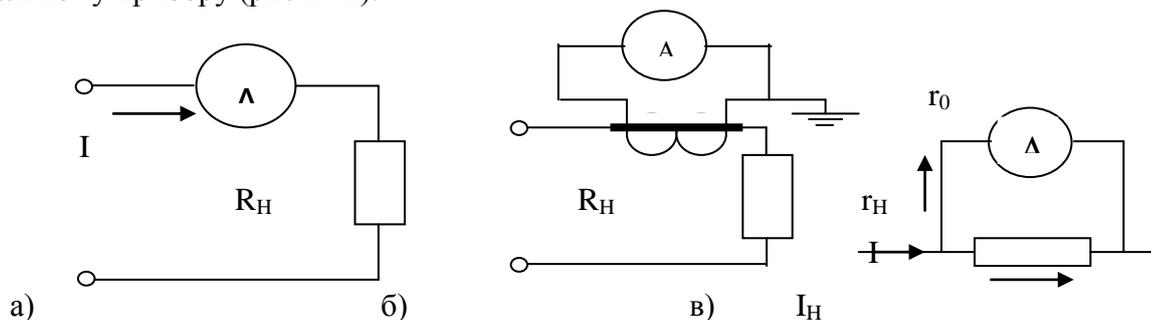


Рис 21. Схема включения амперметра в электрическую цепь.

Для измерения напряжения служат приборы, называемые вольтметрами. Вольтметры всегда включают между теми точками цепи, напряжения между которыми необходимо измерить (рис 21 а).

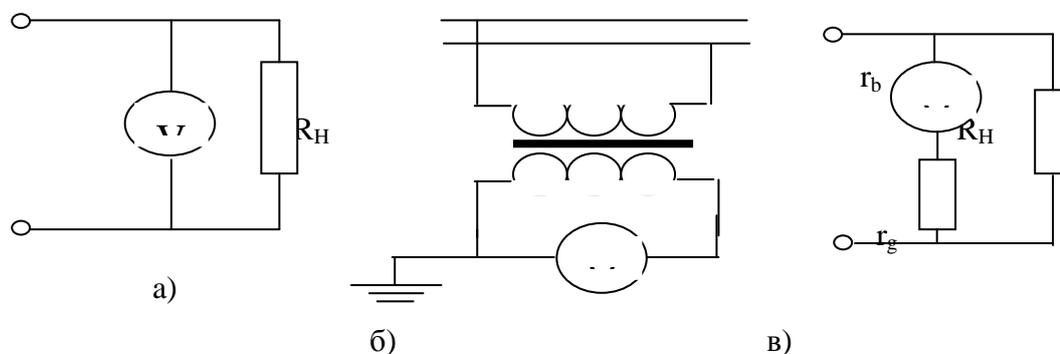
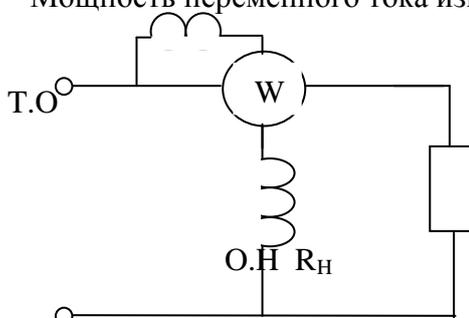


Рис 22. Схема включения вольтметра.

Для расширения пределов измерения вольтметров в цепях переменного тока применяют специальных измерительных трансформаторов напряжения (рис 22 б), также добавочные сопротивления (рис 22 в).

Измерения мощности. Мощность постоянного тока равно произведению силы тока на напряжение и выражается формулой $P=IU$. Следовательно мощность можно вычитат по показаниям амперметра и вольтметра.

Мощность переменного тока измеряется ваттметром (рис 23).



Ваттметр имеет две обмотки, одну токовую (т.о.) и другую обмотку напряжения (о.н.).

Мощность трехфазной системы измеряется трехфазным ваттмет ром.

Рис 23.Схема включения ваттметра.

Измерения сопротивления. Для измерения сопротивлений предназначены оммет ры. Омметр служит для непосредственного измерения величины сопротивления. Однако величину сопротивления можно определить по показаниям амперметра и вольтметра, используя законы Ома.

Измерения электрической энергии. Для измерения электрической энергии служат счётчики. Счетчики бывают активной и реактивной энергии. Соответствен но единица измерения электрической энергии – Вт сек; кВт час и Вар сек; кВАР час. В сельскохозяйственном производстве используются трехфазные счетчики.

3. Измерения неэлектрических величин в условиях производства.

При контроле технологических процессов в производстве приходится выполнять измерения различных неэлектрических величин. Для измерения электрическими приборами неэлектрических величин применяют устройства, предназначенные для преобразования измеряемой неэлектрической величины в функционально связанную с ней электрическую (силу тока, напряжения, сопротивление и т. п.). Такие устройства называют преобразователями или датчиками.

В производстве широко используются следующие преобразователи : реостатные (для измерения перемещения), тензочувствительные

(для измерения механического напряжения и деформации), термисторы (для измерения температуры). Использование электрических приборов значительно расширяет возможности измерения неэлектрических величин и часто являются единственно возможным для этого способами.

Электрические приборы в сочетании с преобразователями для измерения неэлектрических величин позволяют легко осуществлять:

- дистанционные измерения, также определить значения контролируемой величины на значительных расстояниях от объекта измерения;
- автоматические управления и регулирования;
- регистрацию как очень медленно, так и быстро меняющихся величин.

Контрольные вопросы

1. Как можно разделить электроизмерительные приборы по роду измеряемой величины, по роду тока, по физическому принципу, по классу точности?
2. Какие условные обозначения помещаются на шкалах электроизмерительных приборов?
3. Какими приборами можно измерить мощность постоянного тока?
4. Как измерять мощность постоянного тока?
5. Как можно измерить сопротивление в сетях постоянного и переменного токов?

Тема № 9 ТРАНСФОРМАТОРЫ.

- План:
1. Назначение, устройство и принцип работы трансформатора.
 2. Однофазные и трехфазные трансформаторы.
 3. Специальные трансформаторы.

1. Назначение, устройство и принцип работы трансформатора.

При передаче электрической энергии от электростанции к удаленным потребителям напряжению повышают до несколько сотен тысяч вольт для уменьшения потерь энергии в проводах и снижения затрат на сооружения линий электропередачи.

На месте потребления (в хозяйствах) высокое напряжение понижают до потребительского 380, 220 и 127 В. Повышения и понижения напряжения осуществляются при помощи трансформаторов.

Трансформатор – это электромагнитный аппарат, предназначенный для преобразования (понижения или повышения) напряжения электрической энергии переменного тока той же частоты.

Простейший однофазный трансформатор (рис 31) состоит из сердечника 2, набранного из отдельных листов электротехнической стали, на который намотаны две обмотки, изолированные друг от друга и от сердечника.

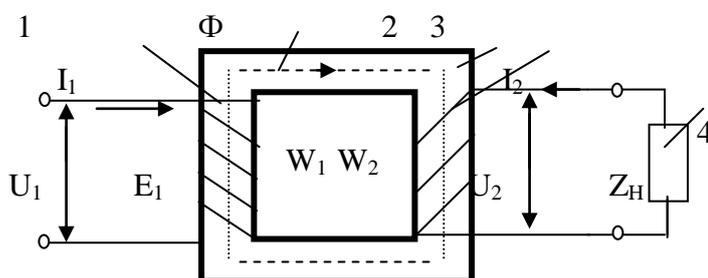


Рис 31. Электромагнитная схема однофазного трансформатора.
1 – первичная обмотка,
2 – сердечник,
3 – вторичная обмотка,
4 – нагрузка.

Обмотку 1, подключаемую к источнику тока, называют *первичной*, а обмотку 3, которой присоединяют нагрузку 4 (потребитель) – *вторичной*. Принцип действия трансформатора основан на явлениях электромагнитной индукции. Когда по первичной обмотке протекает переменный ток, поток Φ , который пересекает витки обеих обмоток, индуцирует в первичной обмотке ЭДС самоиндукции E_1 , а во вторичной – ЭДС взаимной индукции E_2 . При неизменной частоте и неизменном магнитном потоке значения ЭДС в каждой обмотке зависят от числа ее витков.

Коэффициент трансформации трансформатора K определяется по формуле:

$$K = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{U_1}{U_2}$$

где W_1 и W_2 – соответствующие число витков первичной или вторичной обмоток. При $K > 1$ трансформатор называется *понижающим*, при $K < 1$ *повышающим*. Мощности в первичной и во вторичной обмотках примерно равны между собой. $I_1 U_1 = I_2 U_2$ где I_1 I_2 соответственно токи в первичной и вторичной обмотках, U_1 U_2 соответственно напряжения первичной и вторичной обмоток.

Тогда коэффициент трансформации $K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$

Коэффициент полезного действия трансформатора определяется по формуле:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{I_2 U_2 \cos \varphi_2}{I_2 U_2 \cos \varphi_2 + P_M + P_{ст}}$$

где P_1 – активная мощность первичной обмотки, P_2 – активная мощность вторичной обмотки, P_M – потери в меди, $P_{ст}$ – потери в стали. *Трансформаторы различают:*

по числу фаз – однофазные и трехфазные;

по числу обмоток на фазах – двухобмоточные и трехобмоточные;

по назначению – силовые и специальные (сварочные, измерительные, автотрансформаторы);

по способу охлаждения – с воздушным охлаждением (мощность до 10 кВа) и масляным охлаждением.

2. Однофазные и трехфазные трансформаторы.

Для электроснабжения небольших однофазных потребителей применяют *однофазные силовые трансформаторы* типа ОМС и ОМ мощностью от 4 до 25 кВа с высшим напряжением от 6 до 35 кВ и низшим 220 В.

Питание ламп местного освещения и контрольно – измерительной аппаратуры осуществляется от трансформаторов типа ТОСБ (однофазный, сухой, с сердечником броневого типа, ОС и ОСО (однофазный, сухой, осветительный)). Преобразование трехфазного напряжения осуществляется в основном трехфазными трансформаторами, которые состоят из трехстержневого магнитопровода (рис 32).

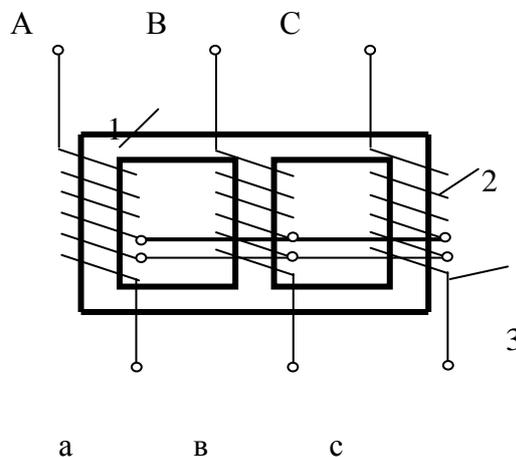


Рис 32. Трехфазный силовой трансформатор.

1-магнитопровод,

2-первичная обмотка,

3-вторичная обмотка.

А,В,С-высокая сторона,

а,в,с-низкая сторона.

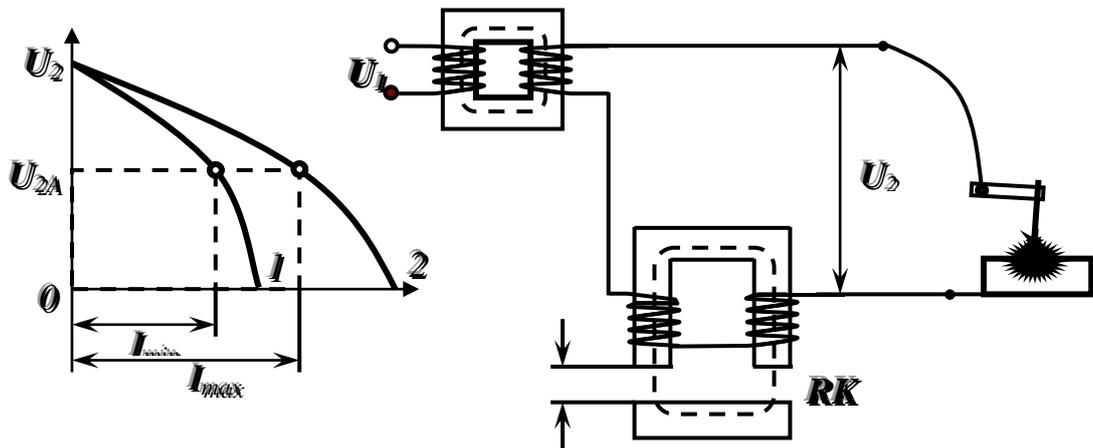
На каждом стержне размещены две обмотки низшего 2 и высокого 3 напряжений, принадлежащие одной фазе. Процессы, проходящие в каждой фазе трехфазного трансформатора, ничем не отличается от процессов в однофазном трансформаторе.

Обмотки низшего и высшего напряжения соединяют по различным схемам и группам, из которых наибольшее распространения получили “звезда-треугольник-одиннадцать” (/ -11), “звезда-звезда с нулем-двенадцать”.

В паспорте силового трансформатора указаны серия, номинальная мощность, номинальные напряжения, номинальный ток первичной и вторичной обмотки, частота тока, схема и группа соединения обмоток и напряжения короткого замыкания.

3. Специальные трансформаторы.

Сварочные трансформаторы типа СТАН, СТН, ТС, СТШ, ТД используют при электрической сварке металлов на переменном токе. Напряжения питающей линии 380 или 220 В, вторичное напряжения холостого хода 50...60 В, рабочее 20...30 В, потребляемая мощность 24...43 кВА. Силу сварочного тока регулируют, изменяя воздушный зазор в сердечнике (СТАН, СТН, СТШ, ТД) или расстояние между обмотками (ТС). С увеличением воздушного зазора и уменьшением расстояния между обмотками сварочный ток увеличивается (или наоборот).



Автотрансформаторы (однофазные и трехфазные) применяют в различных схемах для повышения и понижения напряжения. В отличие от обычных двухобмоточных трансформаторов у них на фазу приходится по одной обмотке: обмотка НН является частью обмотки ВН, то есть обмотки НН и ВН имеют

электрическую связь (рис 33).

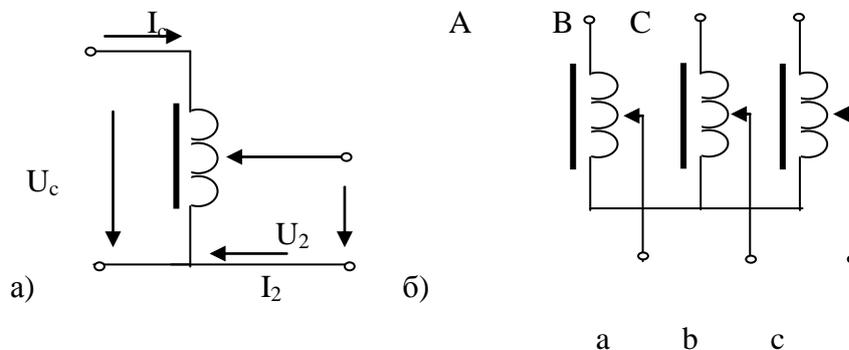


Рис 33. Автотрансформаторы. а) однофазный, б) трехфазный.

Многообмоточные трансформаторы. Вышеуказанные трансформаторы имеют одну первичную и несколько вторичных обмоток рассчитанные на

различные напряжения (рис 34).

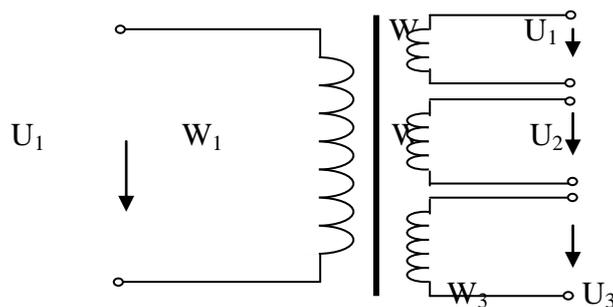


Рис 34. Многообмоточный трансформатор напряжения.

Измерительные трансформаторы тока и напряжения применяют для расширения пределов измерения приборов (амперметра, вольтметра, ваттметра, счетчиков и др.) в цепях переменного тока и обеспечения безопасности обслуживающего персонала. Один вывод вторичной обмотки и корпус трансформатора тока и напряжения заземляют.

Контрольные вопросы.

1. Для чего предназначены трансформаторы?
2. Как устроен однофазный трансформатор и объясните принцип работы?
3. Что называется коэффициентом трансформации и как его определить?
4. Какова особенность устройства трехфазного трансформатора?
5. Как устроены, работают и для чего служат автотрансформаторы?

Тема № 10 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА.

- План:
1. Принцип действия и устройства машин постоянного тока.
 2. Генераторы постоянного тока.
 3. Электродвигатели постоянного тока.

1. Принцип действия и устройства машин постоянного тока.

Принцип действия машин постоянного тока (МПТ) – генераторов и двигателей – основан на явлениях электромагнитной индукции и явлениях взаимодействия проводника, по которому проходит ток, с магнитным полем.

Следует заметить, что МПТ, как и электрические машины вообще, обладают свойством обратимости, то есть каждая машина может работать и в генераторном, и в двигательном режимах. Рассмотрим устройство электрической машины ПТ (рис 35). Она состоит из двух основных частей: неподвижной части – статора и вращающегося – якоря.

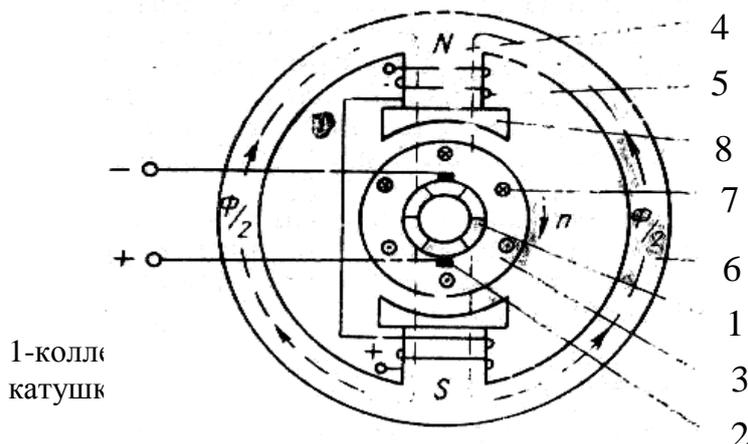


Рис 35. Устройство электрической машины постоянного тока.

1-коллекторные
катушки

2-якорь, 5-полюсная
статорная обмотка

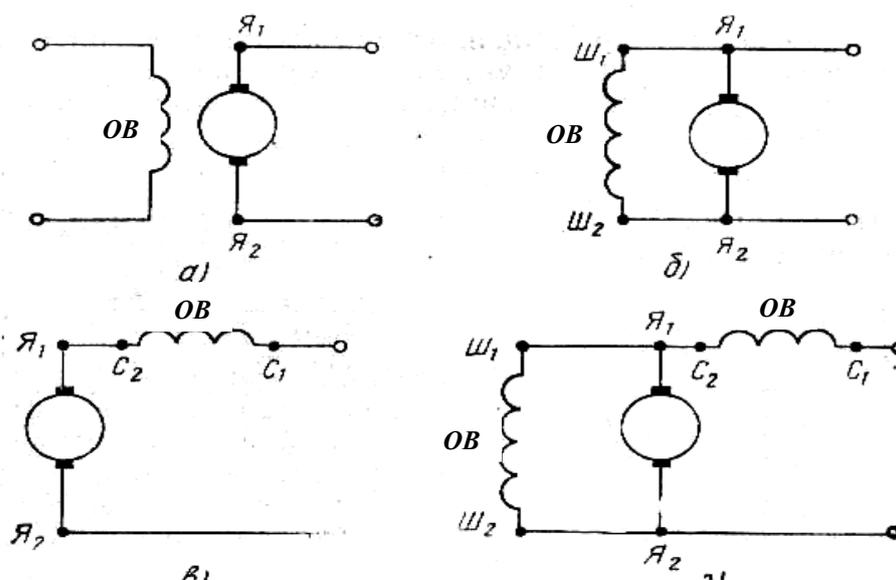
6, на внутренней поверхности которой укреплены сердечники главных полюсов 4 с полюсными катушками 5 и добавочные полюса. Якорь состоит из вала, сердечника якоря 3, обмотки якоря 7 и коллектора 1.

Коллектор ГПТ служит для преобразования переменного тока в постоянной и для электрического соединения вращающейся обмотки якоря с внешней сетью при помощи неподвижных щеток 2. Вентилятор предназначен для создания воздушного потока охлаждающего машину. Щетки создают электрический контакт с поверхностью коллектора. Их располагают и закрепляют в щеткодержателях.

На станине или на переднем подшипниковом щите располагают панель (клеммный щиток), куда выводят концы обмоток. Выводы маркируют следующим образом: обмотка якоря – Я1 и Я2, обмотка возбуждения последовательная – С1 и С2, обмотка добавочных полюсов – Д1 и Д2. Цифрой 1 обозначают начала обмотки, а цифрой 2 – концы. К станине машины приклепывают табличку (паспорт), где указаны все необходимые номинальные данные машины.

2. Генераторы постоянного тока

Генераторы постоянного тока с электромагнитным возбуждением разделяют на генераторы независимого возбуждения, в которых обмотка возбуждения питается от постороннего источника тока (аккумуляторные батареи или другая машина постоянного тока), и генераторы с самовозбуждением, в которых обмотка возбуждения получает



питание непосредственно от схемы включения обмотки возбуждения различают (рис 36):

Рис 36. Схемы возбуждения генераторов. а) независимое, б) параллельное,

в) последовательное, г) смешанные.

генераторы с параллельным возбуждением – у них обмотка возбуждения включена параллельно с обмоткой якоря;

генераторы с последовательным возбуждением – здесь обмотка возбуждения включена последовательно с обмоткой якоря;

генераторы со смешанным возбуждением – у них две обмотки возбуждения, одна из которых включена параллельно обмотке якоря, а другая – последовательно.

Электродвижущую силу E (В) генератора постоянного тока определяют по формуле $E = Cn\Phi$: где C – постоянная величина машины; n – частота вращения якоря, об/мин; Φ – магнитный поток, Вб:

3. Электродвигатели постоянного тока.

Уже отмечалось, что электрические машины постоянного тока обратимы, они могут работать и двигателем. Поэтому устройство электродвигателей постоянного тока такое же, как у генераторов.

Принцип действия электродвигателей постоянного тока основан на явлениях взаимодействия проводника, по которому проходит ток, с магнитным полем.

Когда электродвигатель подключают к источнику электрической энергии постоянного тока, в его обмотках появляется ток. В результате взаимодействия этого тока и магнитного поля, создаваемого полюсами электромагнитов, на валу якоря возникает электромагнитный момент M , вращающий якорь двигателя. При вращении обмотка якоря пересекает магнитное поле и в ней индуцируется Э.Д.С. E_u , направленная противоположно току $I_{\text{я}}$ в якоре и напряжению источника (сети), в чем легко убедиться, применяя правило правой руки. Поэтому э.д.с. индукции E_u называют противоэлектродвижущей силой (противо э.д.с.) якоря.

Напряжение, приложенное к якору двигателя, уравнивается противо э.д.с. якоря и падением напряжения в обмотке якоря:

$$U = E_{\text{я}} + I_{\text{я}} r_{\text{я}}$$

Значения противо э.д.с. E_u определяют по ранее приведенной формуле для э.д.с., наводимой в якорной обмотке генератора.

$$E_u = c n \Phi$$

Решая эти уравнения относительно тока и частоты вращения, получим формулы, удобные для анализа свойств электродвигателей постоянного тока:

$$I_{\text{я}} = \frac{U - E_u}{r_{\text{я}}} = \frac{U - c n \Phi}{r_{\text{я}}}, \text{ откуда:}$$
$$n = \frac{U - I_{\text{я}} r_{\text{я}}}{c \Phi}$$

Электромагнитный (вращающий) момент двигателя постоянного тока

$$M = k I_{\text{я}} \Phi_{\text{я}} \quad \text{где } k \text{ – постоянная величина машины.}$$

В начальный момент пуска двигателя частота вращения якоря $n=0$, поэтому противо э.д.с. также равно нулю и ток в якоре двигателя определяется соотношением

$$I_{\text{пуск}} = \frac{U}{r_{\text{я}}}$$

С целью ограничения пускового тока в цепь обмотки якоря включают пусковой реостат. По мере разгона двигателя пусковой реостат выводят полностью.

Для регулирования частоты вращения электродвигателя служат регулировочный реостат в цепи обмотки возбуждения. Чтобы изменить направление вращения якоря двигателя, достаточно изменить направления тока в обмотке возбуждения или в обмотке якоря.

По способу возбуждения электродвигателя постоянного тока, так же как и генератора, в соответствии со схемой включения обмотки возбуждения относительно обмотки якоря подразделяют на двигатели параллельного, последовательного и смешанного возбуждения. Электрические схемы включения этих двигателей аналогично схемам включения генераторов, прив. на рис 36.

Электродвигатели постоянного тока преимущественно используется где требуется регулирование скорости в широких диапазонах (троллейбусах, трамваях, электропоездах, электрокарах и т.п.).

Контрольные вопросы.

1. Объясните принцип действия ГПТ?
2. От чего зависит Э.Д.С. ГПТ?
3. Как устроена и из каких основных частей состоит МПТ?
4. Как маркирует выводы обмоток ГПТ?
5. Как классифицируется ГПТ?
6. Изложите принцип действия ЭД ПТ?
7. Напишите формулы для определения тока и частоты вращения якоря ЭД ПТ?
8. Объясните назначения пускового реостата в двигателях ПТ?

Тема № 11 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.

- План:
1. Общие сведения.
 2. Асинхронные электродвигатели.
 3. Синхронные электродвигатели.

1. Общие сведения.

Машины переменного тока – двигатели и генераторы – принято разделять на две большие группы – машины асинхронные и синхронные.

К группе асинхронных относят машины переменного тока, у которых частота вращающегося магнитного поля и частота вращения подвижной части (ротора) всегда различны и не могут быть одинаковыми по характеру основных физических процессов, происходящих в машине.

Группа синхронных машин объединяет машины переменного тока, частота вращения ротора которых всегда равна (синхронна) частоте вращающегося магнитного поля.

По числу фаз различают трехфазные и однофазные машины переменного тока.

Как и электрические машины вообще, машины переменного тока обратимы, то есть каждая из них может работать и генератором и двигателем. Это, однако, не означает, что практически безразлично, в каком режиме (двигательном или генераторном) использовать данную машину. Синхронном, асинхронном, однофазным и трехфазным машинам переменного тока присущи специфические свойства, которые определяют сферу их применения. Так, более мощные и экономически трехфазные машины распространены значительно шире, чем однофазные. Синхронные машины используют в основном в качестве генераторов (ими оснащены все современные мощные электростанции): синхронные двигатели применяют реже, в отдельных процессах и производствах.

Из всех электрических машин наибольшее распространение и в промышленности, и в сельском хозяйстве получил трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором (около 95 % всех двигателей асинхронные). Это простые по конструкции, надежные в работе, удобные в обслуживании и дешевые машины.

2. Асинхронные электродвигатели.

Асинхронный электродвигатель состоит из двух основных частей, неподвижная часть – статор, подвижная часть – ротор. Статор состоит из чугунного или алюминиевого корпуса, сердечника с пазами, набранного из отдельных изолированных листов электротехнической стали толщиной 0,35 или 0,5 мм, и обмотки, выполненной

обычно из медной изолированной проволоки. В статор укладывают три обмотки (по числу фаз), сдвинутые в пространстве по отношению друг к другу на угол 120° , а их выводы помещают в коробку, размещенную на корпусе и определенным образом маркируют.

Ротор состоит из вала, сердечника и обмотки. В пазы сердечника ротора укладывают стержневую обмотку, но чаще заливают расплавленный алюминий. Это называется асинхронный двигатель с коротко замкнутым ротором. У электродвигателей с фазным ротором в пазы укладывают трехфазную обмотку, соединенную звездой.

Фазные обмотки статора могут быть соединены между собой звездой или треугольником в зависимости от напряжения сети (рис 37).

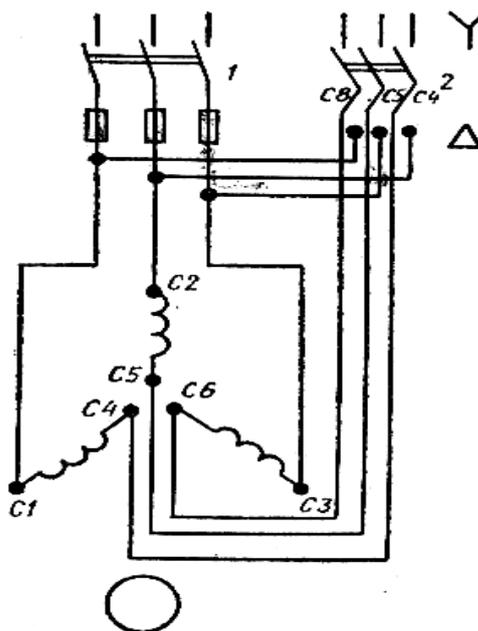


Рис 37. Схема соединения обмоток трехфазного двигателя. Частоту вращения магнитного поля статора подсчитывают по формуле

$$n_0 = \frac{60 f}{P} = \frac{3000}{P}$$

где f – частота тока, равная 50 Гц; P – число пар полюсов на фазу.

При перегрузке двигателя частота вращения ротора уменьшается, а ток возрастает. У асинхронного двигателя частота вращения ротора не совпадает с частотой вращения магнитного поля и меняется в зависимости от нагрузки.

Наиболее широко распространены двигатели с 3000, 1500 и 720 об/мин.

Величина, характеризующая отставание частота вращения ротора от частоты вращения магнитного поля статора называется *скольжением*. Оно обычно выражается в процентах и определяется по формуле.

$$S = \frac{n_0 - n_p}{n_0} \cdot 100$$

где S – скольжение %, n_0 – частота вращения магнитного поля, n_p – частота вращения ротора.

Например, в паспорте ЭД указано, что его обмотка выполнена на напряжения 220/380 В. Это означает что ЭД можно включаться в сеть напряжением 220 В соединив обмотки треугольником, или в сеть 380 В, соединив обмотки звездой.

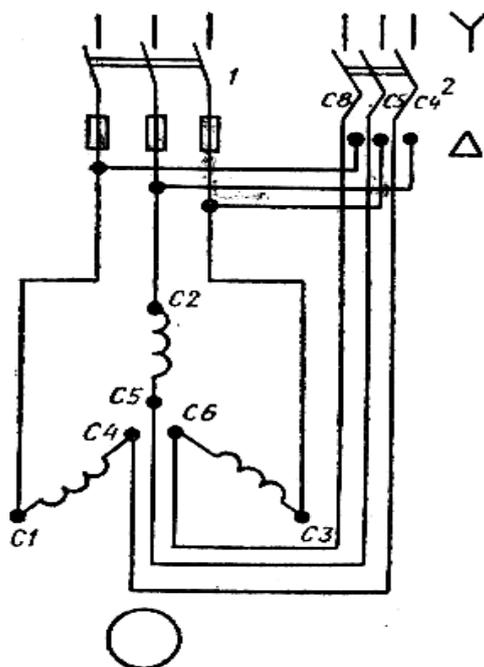


Рис 38. Схема пуска электродвигателя с переключением обмоток.

Асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором обладает одним существенным недостатком. В момент пуска от потребляемый из сети ток в 5-8 раз больше номинального, отчего понижается напряжения в сети. Для уменьшения пусковых токов у электродвигателя обмотки включают в «звезду», а когда он наберёт нормальное число оборотов, обмотки быстро переключают на «треугольник». Это способ уменьшения пусковых токов применим, если ЭД предназначен для включения в сеть треугольником.

Включения двигателя с фазным ротором (двигатель с контактными кольцами). Основное отличие такого двигателя от к.з. двигателя заключается в устройстве ротора, который имеет трехфазную обмотку, выполненную изолированным проводом и соединённую в звезду. Концы обмоток ротора соединены с контактными кольцами, изолированными друг от друга и от вала (рис 39).

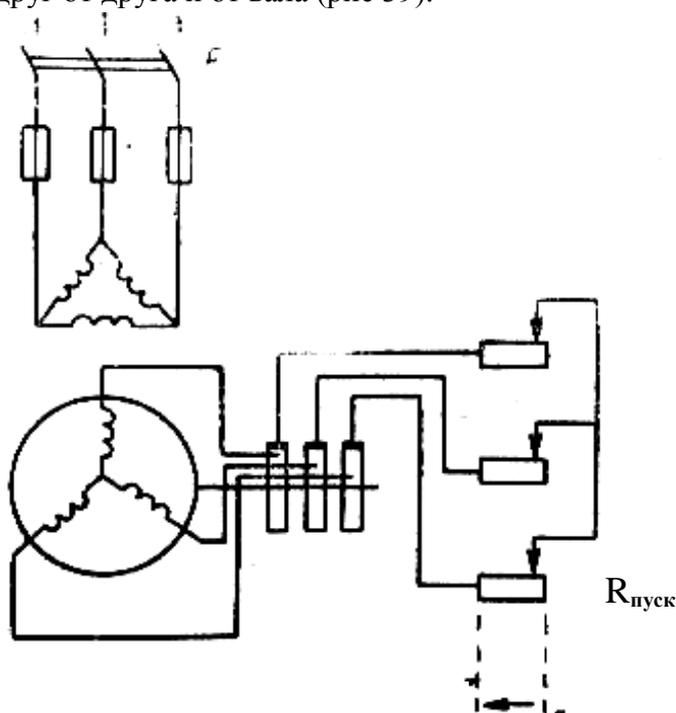


Рис 39. Схема включения электродвигателя с фазным ротором.

Перед включением ЭД в сеть дополнительные сопротивления реостата должны быть включены полностью в цепь обмоток ротора. Общие сопротивления цепи его обмоток от этого увеличивается. При включении в сеть двигателя с реостатом, ток потребляемой из сети будет меньше, чем при включении этого же двигателя без реостата.

3. Синхронные электродвигатели.

У синхронных электродвигателей частота вращения ротора не зависит от нагрузки и равна частоте вращения магнитного поля статора, а скольжение S равно нулю. Они бывают трехфазные и однофазные. Устройство синхронного электродвигателя трехфазного тока аналогично синхронному генератору. Они не имеют пускового момента, поэтому в ротор таких электродвигателей укладывают короткозамкнутую пусковую обмотку, состоящую из медных стержней.

Принцип действия синхронного электродвигателя основан на взаимодействии магнитного поля статора и ротора: северный полюс статора увлекает за собой южный полюс ротора, а южный полюс статора – северный полюс ротора. Синхронные электродвигатели применяют в непрерывно действующих установках для привода машин и механизмов, требующих постоянства частоты вращения, в качестве *синхронных компенсаторов* для улучшения $\cos \varphi$. Синхронный компенсатор – это синхронный двигатель работающих перевозбуждением в холостом ходе.

Контрольные вопросы.

1. Какие двигатели относятся к двигателям переменного тока?
2. Какие бывают асинхронные двигатели?
3. Расскажите конструкцию электродвигателей?
4. Объясните принцип работы АД?
5. Как определяется частота вращения асинхронного двигателя?
6. От чего зависит частота вращения ротора?
7. Что называется скольжением?
8. Как соединить обмотку статора в звезду?
9. Перечислите основные части АД?
10. Изложите конструкцию синхронного двигателя?
11. Объясните принцип работы синхронных компенсаторов?
12. Какая из машин переменного тока получила преимущественные распространения?

II. ЭЛЕКТРОНИКА.

Тема № 12 ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ.

План. 1. Общие сведения.

2. Место и значения электроники в научно – техническом развитии.
3. Перспективы развития современных устройств электроники.

1. Общие сведения.

Промышленная электроника – одно из направлений электротехники. Оно изучает принципы действия и технику использования приборов, основанных на явлениях электрического тока в вакууме (электронные приборы) разреженных газах (ионные приборы) и полупроводниках. На основе этих приборов осуществляется преобразование переменного тока в постоянный (выпрямители) и постоянного тока в переменный

(инверторы) а также автоматическое поддержание постоянства напряжения, регулирование частоты вращения электродвигателей, преобразование видов энергии и т.п.

Электроника являясь основой современной автоматики т.е. позволило относительно простыми средствами решать сложные задачи автоматизации производственных процессов благодаря характерным для электронной аппаратуры высокой чувствительности (10^{-3} В, 10^{-6} – 10^{-7} А) и малой инерционности (быстродействия).

Большое быстродействие и высокая надежность электронной аппаратуры явилось базой современной счетно – решающей техники. В любой развивающихся отрасли промышленности для обеспечения высокого качества продукции применяется электроника. Приборы электроники подразделяют на три группы:

электронные, ионные и полупроводниковые.

2. Место и значения электроники в научно – техническом развитии.

Микроэлектронная техника во все возрастающей пени становится основой научно – технического прогресса, одним из важнейших рычагов экономического развития общества. Мы являемся свидетелями исключительно быстрого проникновения средств и методов микроэлектронной технологий даже в те области человеческой деятельности, которые считается давно и прочно установившемся, имеющими своей специфической инструментарий.

Работы в области автоматизации различных отраслей, ее технического перевооружени на основе электроники и электронно вычислительной техники давно вышли за стены научно исследовательской техники давно вышли за стены лабораторий, можно утверждать, что лишь на рубеже 70 – 80 годов прошлого века с появлением массовых дешевых и высокопроизводительных средств микро электроники начали складываться условия для революционирующего воздействия электронной техники на все отрасли сельскохозяйственного производства.

Наиболее впечатляющим достижением в области микроэлектроники является создание микропроцессора – интегральной схемы, в которой заключены функциональные возможности центрального узла ЭВМ, осуществляющего программное управление процессами вычислений и обработки информации. Производительность современных микропроцессоров, их логическая мощность и гибкость на несколько порядков превосходят соответствующие характеристики ЭВМ, предшествующих поколений. Результатом разработки и массового применения микропроцессоров явилась, “интеллектуализация” измерительной техники, регуляторов, средств сбора, предварительной обработки и передачи информации. Микропроцессор стал основой персональных ЭВМ, и других вычислительных и управляющих устройств, предназначенных для локальной обработки информации, т.е. непосредственно там, где она возникает или используется.

Можно ожидать, что создания эффективных систем управления для сельского хозяйство на основе микроэлектронной техники будет способствовать ознакомлению с наиболее интересными зарубежными разработками в этой области.

3.Перспективы развития современных устройств электроники.

Разработки в области электронных устройств, немедленно окажут большое влияние на производству, поскольку как отмечалось в предисловии, все нуждаются в более точной и своевременной информации для обеспечения рентабельности производства в условиях усиливающихся конкуренции. Электронное оборудование помогает решить эту задачу несколькими путями. Во – первых оно дает им средства

контроля технологических процессов, возможность согласования измерений различных данных в виде, удобном для принятия обоснованных решений по вопросам эксплуатации и управления производством. Во – вторых, это оборудование позволяет осуществить автоматическое управление многими процессами. Использование электронных приборов совместно с электрическими электронными управляющими устройствами даёт возможность освободит людей от влияния утомительных и многотонных работ и облегчить ручное управление процессами. В – третьи, электронное оборудование позволяет использовать возможности ЭВМ при управление производством, включая сбор и анализ информации, поступающих из многих источников, находящихся как на производстве, так и за ее пределами.

Контрольные вопросы.

- 1.Что такое дисциплина электроника?
- 2.Как подразделяется элементы электроники?
- 3.Объясните элементы электроники?
- 4.Расскажите перспективы устройств электроники?

Тема № 13 ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ.

План 1. Общие понятия.

- 2.Диоды, транзисторы и тиристоры.
- 3.Электронные устройства.

1.Общие понятия.

Приборы, действия которых основаны на электронных процессах в полупроводниках, называются полупроводниковыми приборами. Значительную роль в развитии полупроводниковой техники сыграл селен; селеновые выпрямители долгое время оставались основными полупроводниковыми приборами, получившие массовое применение. Однако с начала 70-х годов прошлого века наибольшее распространение получают полупроводниковые приборы, изготовленные на базе кремния и германия.

Полупроводниковые приборы можно разделить на следующие группы: преобразовательные приборы, которые преобразуют одни электрические величины в другие (полупроводниковый диод, транзистор, тиристор); оптоэлектронные приборы преобразующие световые сигналы в электрические и наоборот (оптрон, фоторезистор, светоизлучающий диод); термоэлектрические приборы, преобразующие тепловую энергию в электрическую (терморезистор); пьезоэлектрические и тензометрические приборы, которые реагирует на давление или механическое смещение.

Все вышеперечисленные приборы находят в последнее время широкое применение в сельском хозяйстве. Как известно, у металлов удельная электрическая проводимость равна $> 10^6$ См/м, у полупроводников от $< 10^6$ до 10^{-10} См/м, у диэлектриков - $< 10^{-10}$ См/м.

При нагревании полупроводника происходит разрыв ковалентных связей, что приводит к появлению свободных электронов и возникновению собственной электронной проводимости.

Когда в кристаллическом чистом полупроводнике электрон получает энергию и уходит со своего места, то возникает избыточный положительный заряд – образуется **дырка**. Электрическая проводимость, обусловленная упорядоченным перемещением дырок, называется **собственной дырочкой проводимостью**.

Область многокристаллического полупроводника, в котором происходит смена проводимости с электронной на дырочную (или наоборот), называется *электронно – дырочным переходом (P-n переходом)* (рис 24).

Запирающий электронный слой

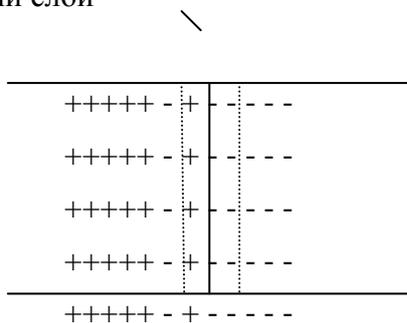


Рис-24. Структура электронно – дырочного перехода p-n перехода.

На границе p-n перехода в результате диффузии электронов из n – полупроводника в p – полупроводник и дырок из полупроводника в n образуется *запирающий электр ический слой*, имеющий повышенное сопротивление по сравнению с остальными объемами полупроводника (рис 20). Внешнее электрическое поле влияет на сопротивление запирающего слоя, это придаёт электронно – дырочному переходу свойство однородной проводимости, которое широко используется в технике.

2. Диоды, транзисторы и тиристоры.

Полупроводниковым диодом называют двухэлектродный электронный прибор на основе полупроводникового кристалла. В полупроводниковых диодах используется выпрямительные свойства p – n – переходов.

Подключение напряжения к полупроводнику в прямом (а) и обратном (б) направлении представлены на рис 25.

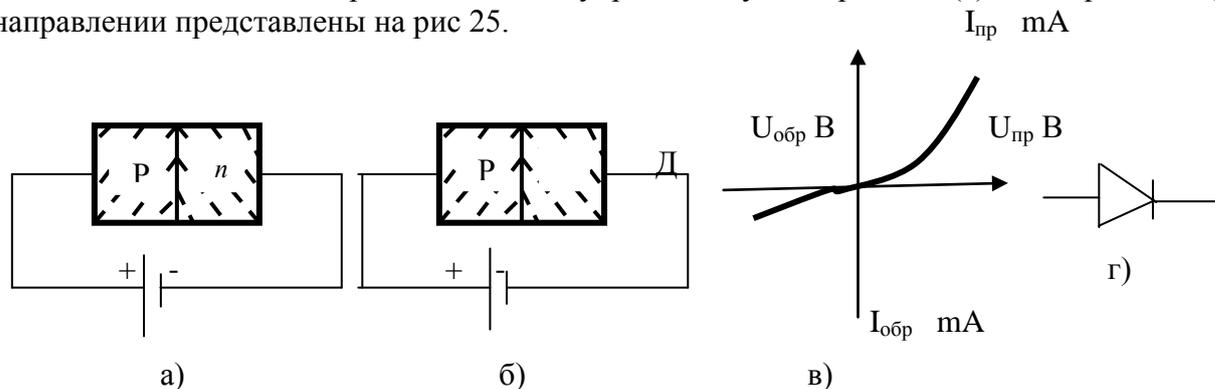


Рис 25. Подключения напряжения к полупроводнику в прямом а) и обратном б) направлении. Вольт – амперная характеристика в) и условное обозначение г).

Полупроводниковый диод является основным элементом выпрямительных устройств, служащих для преобразования переменного тока в постоянный.

Транзистором называют электронный прибор на основе полупроводникового кристалла, имеющий три вывода и предназначенный для преобразования и генерирования электрических колебаний. По конструкции транзистор состоит из трех областей: из полупроводника одного типа проводимости и двух примыкающих полупроводников с противоположным типом проводимости. Эти три области об-

разуют в одном монокристалле два электронно–дырочных перехода (рис26). Сред- ная область (оно обычно очень тонкая) называется базой, две другие – эмиттером и коллектором. База отделена от эмиттера и коллектора эмиттерно–дырочным пере-ом

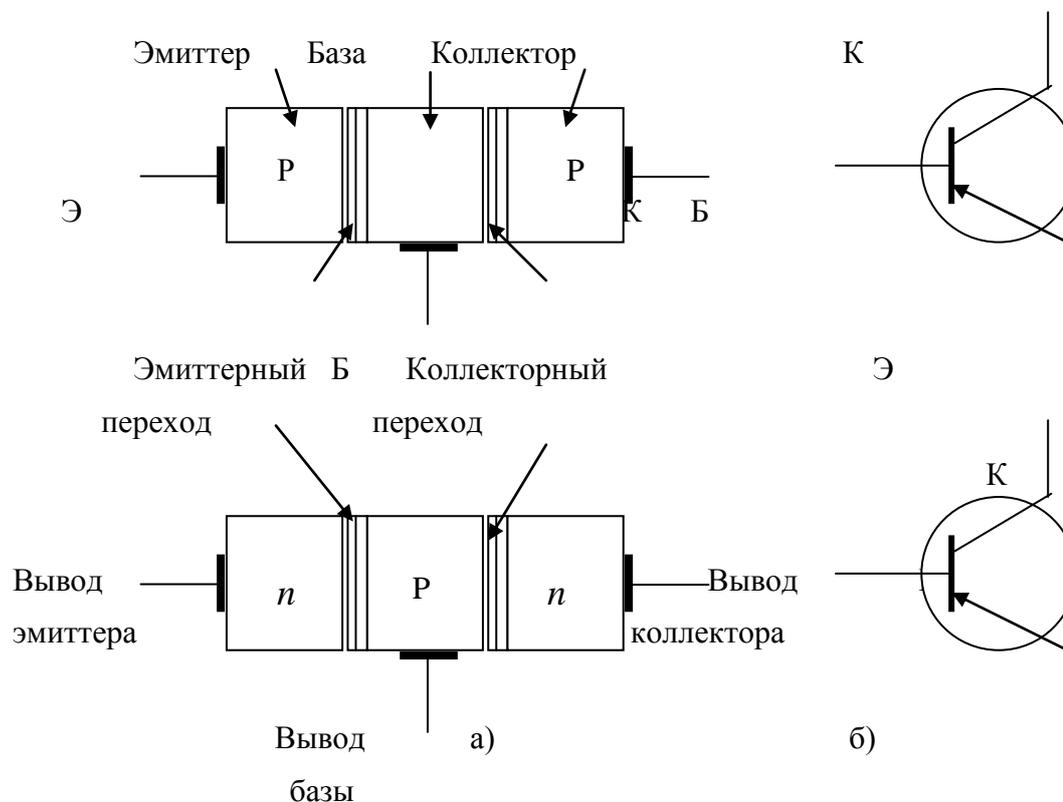


Рис 26. Устройство и обозначения транзистора; а) P – n – P типа; б) n – P – n типа.

В транзисторе различают три значения тока: эмиттера $I_э$, коллектора $I_к$, базы $I_б$ и три значения напряжения в цепях: эмиттер – база ($U_{эб}$), база – коллектор ($U_{бк}$) и коллектор – эмиттер ($U_{кэ}$). Эти величины связаны формулами:

$$I_э + I_к + I_б = 0; \quad U_{эб} + U_{бк} + U_{кэ} = 0$$

Когда транзистор используется как усилитель, один электрод является входным, другой – выходным, третий общим. При этом интерес представляют два тока: входной и выходной и два напряжения: входное и выходное.

Возможны три схемы включения транзистора (рис 27): с общим эмиттером (усилитель по мощности), общим коллектором (усилитель по току) и общей базой (усилитель по напряжению).

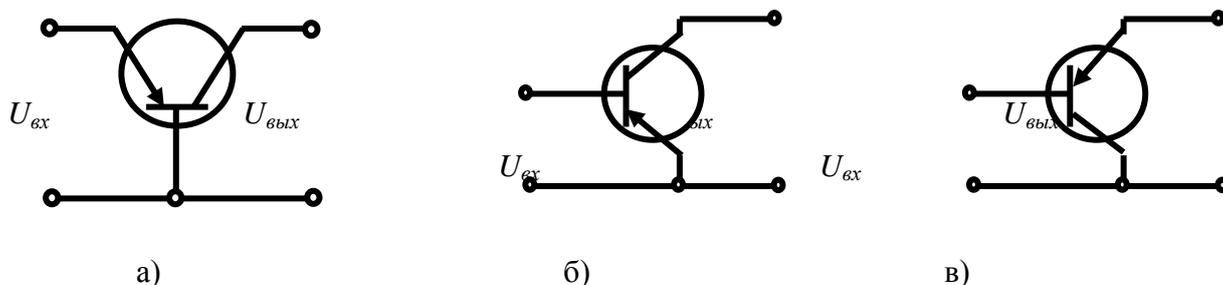


Рис 27. Основные схемы включения транзистора. а) с общей базой, б) с общим эмиттером, в) с общим коллектором.

Тиристоры. Для управления мощными нагрузками применяют полупроводниковые приборы – тиристоры и симисторы, которые выпускают на токи до 1000 А.

Тиристоры (управляемые диоды) имеют четырехслойную структуру типа $P-n-P-n$ и три электрода: анод, катод и управляющий электрод (рис 28).

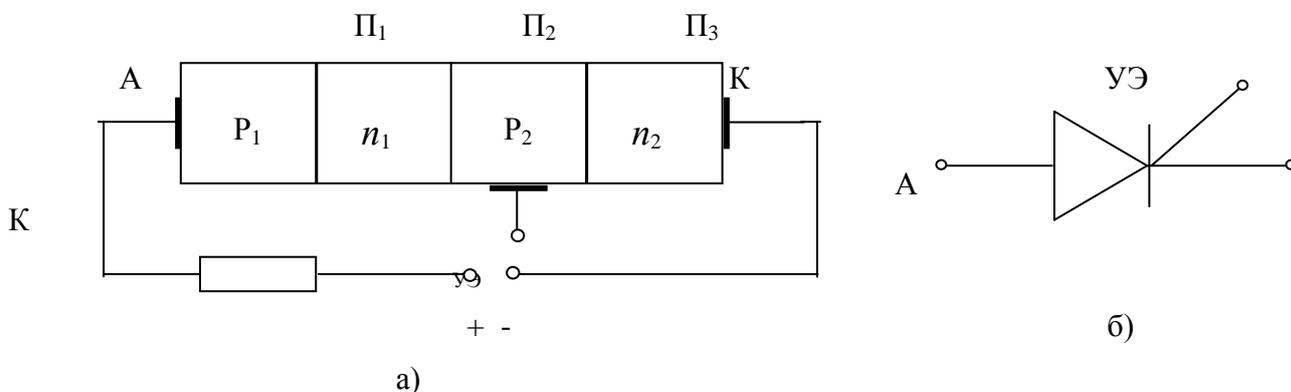


Рис 28. Тиристор. а) структура, б) условное обозначение.

Если анод тиристора подключить к минусу источника тока, а катод к плюсу, то переходы Π_1 и Π_3 будут закрыты и тиристор будет заперт. В цепи будет протекать небольшой ток утечки не превышающий 0,01 % номинального прямого тока.

Если к электродам тиристора приложено напряжение в прямом направлении, то переходы Π_1 и Π_3 открыты, а переход Π_2 закрыт и тиристор заперт. Ток утечки увеличится незначительно. Открыт тиристор можно двумя способами. Можно увеличить приложенное напряжение анод – катод до значения напряжения переключения. При этом сопротивление тиристора резко уменьшается и он открывается. Второй способ заключается в том, что в цепь управляющий электрод – катод подключают источник постоянного тока, вследствие чего в цепи управления появляется ток, при этом тиристор включается при меньшем анодном напряжении.

3. Электронные устройства.

Выпрямительные устройства бывают однофазными, используемыми главным образом в маломощных устройствах питания цепей автоматики и телемеханики, и трехфазными для питания мощных установок промышленного типа. Схемы полупроводниковых выпрямителей приведены на рисунках 29 и 30.

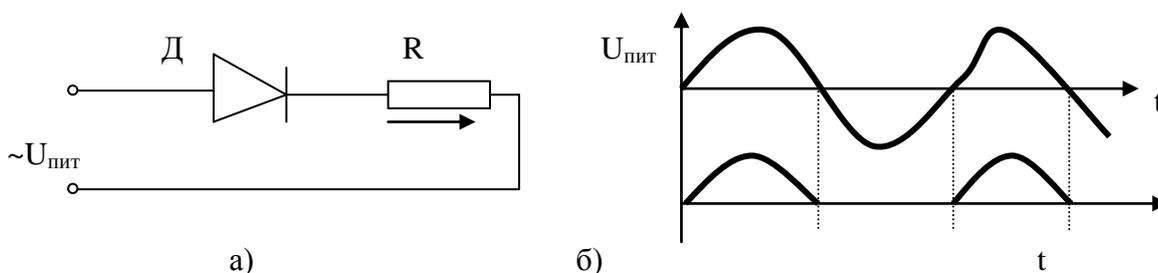


Рис 29. Однополупериодное выпрямление переменного тока: а) электрическая схема; б) графики питающего напряжения и тока в нагрузке.

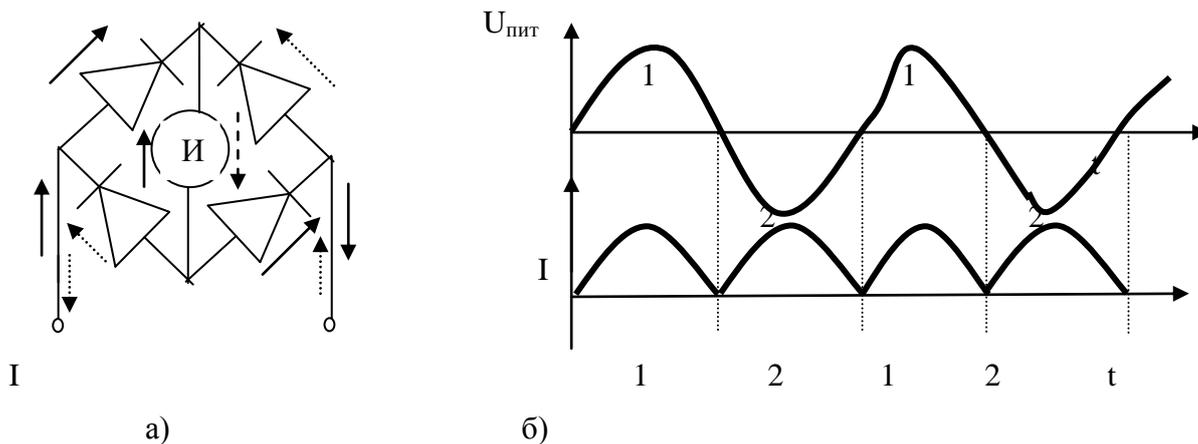


Рис 30. Двухполупериодное выпрямление переменного тока: а) схема моста на четырёх диодах; б) графики питающего напряжения и тока в нагрузке.

Усилители. Существуют большое число различных схем усилителей, работающих на транзисторах. Основные параметры и характеристики усилителей являются общими для всех типов. Любой усилитель должен усиливать входной сигнал по мощности. Усилители бывают как переменного, так и постоянного тока. Однако усилители постоянного тока (УПТ) используют там, где нужно усиливать медленно изменяющиеся сигналы. *Напомним*, что на основе полупроводниковых приборов можно собрать различные фильтры, стабилизаторы, логические элементы.

Контрольные вопросы.

1. Перечислите известные полупроводниковые приборы?
2. Что такое запирающий слой?
3. Нарисуйте вольт – амперные характеристики диода?
4. Начертите схему двухполупериодного выпрямителя?
5. Что такое транзистор и где его используют?
6. Назовите основные области применения тиристоров?

III. ЭЛЕКТРОПРИВОД.

Тема № 14 ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА.

- План:
1. Общие сведения.
 2. Классификация электроприводов.
 3. Развитие электропривода и его значения в производстве.
 4. Механические характеристики электроприводов.

1. Общие сведения.

Электроприводом называется машинное устройство, преобразующее электрическую энергию в механическую. Оно состоит из электродвигателя, передаточного механизма и аппаратуры управления и защиты. Электропривод обеспечивает управление преобразованной механической энергией. В некоторые типы электропривода входят преобразовательные устройства: выпрямители, преобразователи частоты, инверторы.

Электропривод, применяемый в производственных процессах, делят на три основных типа: групповой (трансмиссионный), одиночный и многодвигательный.

Групповым называется такой электропривод, в котором от одного электродвигателя с помощью одной или нескольких трансмиссий движение передается группе рабочих машин. Такой электропривод из-за технического несовершенства находит очень ограниченное применение.

Одиночным называется такой электропривод, который с помощью отдельного электродвигателя приводят в движение одну машину или производственный механизм. Различают **простой одиночный привод и индивидуально – одиночный**. В простом одиночном приводе электродвигатель с рабочей машиной соединяется плоской или клиноременной передачей через редуктор или непосредственно с помощью муфт. Такой электропривод имеют измельчители кормов «Волгарь - 5М», «ИГК – 30Б», дробилки кормов «КДУ – 2,0», «КДМ – 2,0» и др.

Многодвигательным называется такой электропривод, когда в одной рабочей машине для привода рабочих органов используется отдельные электродвигатели (например, зерноочистительная машина ЗВС – 20, очиститель вороха ОВП – 20А, гранулятор ОГМ – 0,8А и др.). С развитием производства и его технической оснащенности в классификации электроприводов введены дополнительные характеристики основных типов приводов.

В **индивидуально – одиночным** приводе имеется конструктивная связь деталей электродвигателя с рабочей машиной. (машинка для стрижки овец со встроенным электродвигателем, электродрель и т.п.).

В **многодвигательном электроприводе** различают простой многодвигательный привод, когда электродвигатель с рабочими органами соединяется непосредственно без конструктивных изменений двигателя, то есть с помощью муфт, ременных передач и редукторов. В индивидуально – многодвигательным приводе детали электродвигателя служат одновременно и деталями рабочих органов машин.

2. Классификация электроприводов.

Электрические приводы могут быть классифицированы по ряду признаков: по условиям применения (стационарные и передвижные), по способу управления (автоматизированные, частично автоматизированные и неавтоматизированные), по числу скоростей (односкоростные и многоскоростные), по роду используемой электрической энергии (постоянный ток, однофазный и трехфазный) и др.

Стационарные – электроприводы выпускаются на заводе вместе с приводом рабочих органов. Передвижные выпускается на заводе для использования на разных установленных местах. Автоматизированные электроприводы выпускаются на заводе с автоматическими комплексными установками.

3. Развитие электропривода и его значения в производстве.

Развитию электропривода и разнообразию его типов во многом способствуют следующие преимущества электропривода перед другими видами приводов: быстрый и простой пуск электродвигателя, благодаря которому легко осуществить частые пуски и остановки машины; возможность точного учета расхода энергии на отдельные производственные операции, что позволяет оценивать и сравнивать влияние этой составляющей на стоимость продукции а также сравнивать между собой рабочие машины различных типов. Способность электродвигателя выдерживать значительные перегрузки: электродвигатели могут работать погруженными в воду, в безвоздушном пространстве и в прочих условиях среды, где другие двигатели работать не могут. Электродвигатели имеют более длительный срок службы, меньшие габариты и металлоемкость, просты в обслуживании и надежны в эксплуатации: при электроприводе легче осуществить автоматизацию работы отдельных машин, так и всего производственного процесса в

целом: возможность использования электрической машины, как в двигательном, так и в тормозном (генераторном) режиме; возможность изготовления электропривода практически любой мощности (от долей ватта до сотен и тысяч киловатт), на различную частоту вращения; и возможность конструктивного упрощения рабочей машины, ее совершенствования; экономия обтирочных и других материалов, чистота в помещениях, улучшение условия труда.

4. Механические характеристики электроприводов.

Механической характеристикой называется зависимость частоту вращения привода от его момента. Эти характеристики можно будет разделить на характеристику электродвигателей и рабочих органов. Принцип действия электропривода зависит от отношений этих характеристик. Механической характеристикой рабочих органов называется соотношения частоты вращения с моментом сопротивления. Оно определяется по формуле

$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P}$. По характеру момента сопротивлений, механические

характеристики могут быть разными. Их по графику можно представить (рис 40).

1. Характеристика механизма, в котором момент сопротивления не зависит от частоты вращения ($X=0, M=const$).

2. Характеристика механизма, в котором момент сопротивления изменяется в зависимости

от частоту вращения ($X=1, M_k = M_0 + \frac{M_{кн} - M_0}{n_H} n$).

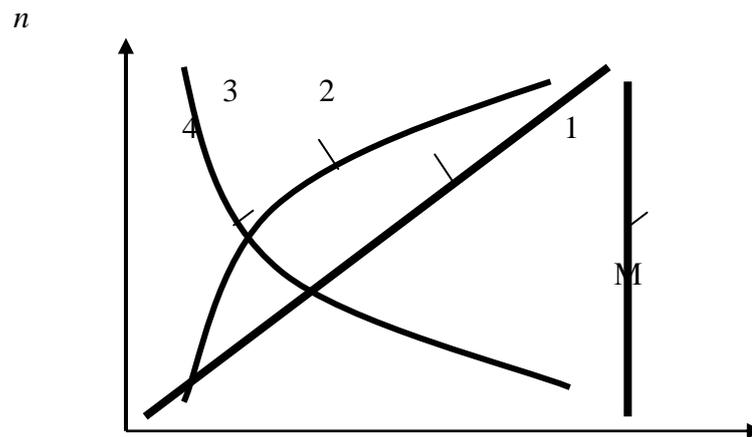


Рис 40. Механические характеристики электроприводов.

3. Характеристика механизма, в котором момент сопротивления изменяется в зависимости от частоты вращения не синусоидально

$$(X=2, M_k = M_0 + \frac{M_{кн} - M_0}{n_H} n^2).$$

4. Характеристика механизма, в котором момент сопротивления уменьшается в зависимости от частоту вращения не синусоидально ($X=-1, M_c \leq M_{дв}$).

Контрольные вопросы.

1. Что называется электроприводом?
2. Чего обеспечивает электропривод?
3. Какие типы электроприводов вы знаете?
4. Что называется групповым электроприводом?
5. Расскажите классификацию электроприводов?

Тема № 15 МЕХАНИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ.

- План: 1. Механические характеристики электродвигателей.
2. Особенности электродвигателей разных типов.

1. Механические характеристики электродвигателей.

Механическая характеристика электродвигателя выражает зависимость момента (произведения усилия на радиус приложения силы) от частоты вращения. От того, как изменяется нагрузка на валу при изменении частоты вращения, двигатели работают в абсолютно жестком, жестком или мягком режимах.

Двигатели, работающие в абсолютно жестком режиме, независимо от нагрузки всегда имеют постоянную частоту вращения (линия 1 Рис 41). Частота вращения двигателя, работающего в жестком режиме (линия 2 Рис 41), в зависимости от нагрузки на валу изменяется незначительно. В жестком режиме работают двигатели постоянного тока с параллельным возбуждением и асинхронные переменного тока. У двигателей с мягким режимом работы (линия 3 Рис 41, электродвигатели постоянного тока с последовательной обмоткой возбуждения) частота вращения в значительной степени зависит от нагрузки на валу. С увеличением нагрузки частота вращения двигателя резко снижается.

Механические характеристики электродвигателей подразделяются на естественные и искусственные. *Естественная* механическая характеристика выражает зависимость скорости вращения двигателя от нагрузки на его валу при нормальных условиях работы электродвигателя, т.е. при номинальном напряжении на его обмотках и без дополнительных сопротивлений в цепях обмоток.

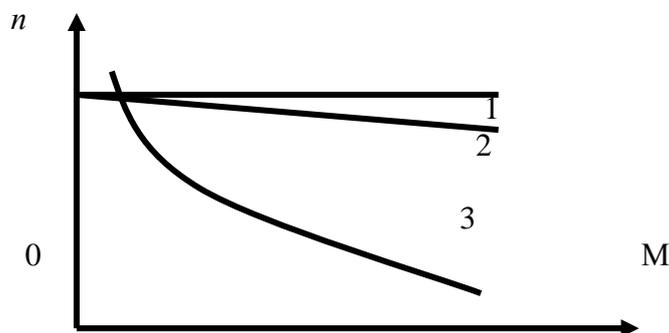


Рис 41. Механические характеристики электродвигателей.

Искусственная механическая характеристика выражает зависимость частоты вращения двигателя от нагрузки на его валу при ненормальных условиях, т.е. при напряжении, отличном от номинального, и при дополнительном сопротивлении в цепи якоря или ротора. На большинстве сельскохозяйственных производственных машин установлены асинхронные электродвигатели.

2. Особенности электродвигателей разных типов.

Электрические двигатели подразделяются на двигатели постоянного и переменного тока. Двигатели постоянного тока бывают с параллельным, последовательным и смешанным возбуждением.

У двигателей параллельным возбуждением (иногда их называют шунтовыми) при изменении нагрузки на валу частота вращения изменяется незначительно (линия 2, рис 37). Эти двигатели устанавливают там, где необходимо постоянная рабочая скорость машины или механизма как при работе вхолостую, так и под нагрузкой. Частоту вращения

двигателей с параллельным возбуждением можно плавно регулировать в широких пределах.

У двигателей с последовательным возбуждением (серийных) частота вращения зависит от нагрузки на валу – с уменьшением нагрузки частота увеличивается (линия 3, рис 41) и наоборот. Работа такого двигателя вхолостую недопустима, так как скорость может несколько увеличиться, что якорь механически разрушится центробежными силами. Двигатели этого типа выдерживают относительно большие перегрузки, чем двигатели с параллельным возбуждением.

Двигатели с последовательным возбуждением устанавливаются на трамваях, на троллейбусах, электровозах и на некоторых подъемных механизмах.

Двигатели смешанного возбуждения (компаундные) по своим свойствам занимают промежуточное положение между шунтовыми и серийными. Эти ЭД используются для привода машин с резко меняющейся нагрузкой, падающей до 0.

Наиболее широко в сельском хозяйстве применяются электродвигатели переменного тока. Двигатели переменного тока бывают синхронные, асинхронные и коллекторные, трехфазного и однофазного тока. Синхронные электродвигатели работают абсолютно жестком режиме (линия 1 рис 41). У асинхронного двигателя ротор вращается с меньшей частотой, чем магнитное поле статора. В зависимости от нагрузки на валу ротор изменяет частоту вращения в небольших пределах. Асинхронные двигатели трехфазного тока бывают с короткозамкнутой или с фазной обмоткой ротора.

Контрольные вопросы.

1. Что такое механическая характеристика двигателя?
2. Частота вращения как влияет на характеристику?
3. Какие механические характеристики вы знаете?
4. Расскажите о типах электродвигателей?
5. Как различаются двигатели постоянного тока?
6. Какие двигатели называются асинхронными?
7. Почему двигатели называются синхронными?
8. Расскажите о режимах работы электродвигателей?

Тема № 16. ОСНОВЫ ДИНАМИКИ И ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ.

- План:
1. Основные уравнения движения электропривода.
 2. Способы расчета переходных процессов в электроприводах.
 3. Динамические процессы при пуске и торможении.

1. Основные уравнения движения электропривода.

Механическая энергия, развиваемая электродвигателем при работе электропривода, расходуется на преодоление сопротивления рабочей машины. Рабочий процесс нередко протекает с переменной скоростью, которая может изменяться вследствие колебания нагрузки рабочей машины, непостоянство напряжения сети и других причин. Всякое изменение скорости вызывает изменение запаса кинетической энергии в движущихся частях привода, а следовательно, и нарушение равновесия момента привода. По этому при вращательном движении уравнение движения можно записать следующим образом:

$$M - M_c = M_{дин} = J \frac{dw}{wt}$$

где M , M_c - момент, развиваемый двигателем, и момент сопротивления, Нм.
 $J = mr^2$ - момент инерции системы, приведенный к валу двигателя, кг м².

m - масса тела, кг. r - радиус инерции, м. $M_{дин} = J \frac{dw}{wt}$ - динамический момент, Н м.

Динамический момент проявляется только во время переходных режимов, когда изменяется угловая скорость.

Из уравнения моментов следует, что характер движения привода зависит от знака моментов двигателя и нагрузки; при ускорении и при замедлении.

Движущий момент двигателя M в уравнении принимают положительным, если его действия совпадает с направлением вращения, условно принимаемым за положительное. Если же момент двигателя направлен встречно движению (торможения), он считается отрицательным.

Статические моменты бывают активными и реактивными. Активными моментами сопротивления считаются такие, которые обусловлены потенциальными силами и не меняют направления действия при изменении направления движения (например, в подъемных кранах и лебедках). Реактивные моменты сопротивления всегда препятствуют движению и меняют свой знак при изменении направления движения (например, силы трения, резания, сжатия и т.д.).

Таким образом, как момент двигателя, так и момент сопротивления могут иметь различные знаки, в связи с чем уравнение в общем случае можно записать так

$$\pm M \mp M_c = J \frac{dw}{dt}$$

Момент инерции можно выразить через маховой момент GD^2 который обычно приводится в каталогах электродвигателя:

$$J = \frac{GD^2}{4}$$

Поэтому иногда вместе J используют маховой момент GD^2 (кг м²), а вместо w - частоту вращения n - (мин⁻¹), тогда уравнение принимает вид:

$$M - M_c = \frac{GD^2}{38,2} \frac{dn}{dt}$$

В случае прямолинейного поступательного движения уравнение движения по аналогии с вращательным можно записать так:

$$F - F_c = m \frac{dv}{dt}$$

где F и F_c - движущая сила и сила статического сопротивления, Н:

v - скорость поступательного движения, м/с: $m \frac{dv}{dt}$ - динамическая сила, Н.

2. Способы расчета переходных процессов в электроприводах.

Многие машины, применяемые в сельскохозяйственном производстве, имеют сравнительно невысокие частоты вращения. Однако электродвигатели, исходя из экономических соображений, изготавливают в основном на частоту вращения 750...3000 мин⁻¹. По этому при несоответствии частоты вращения рабочей машины и приводного двигателя используют различного рода передачи.

Для удобства решения уравнения движения машинного агрегата необходимо моменты движущихся сил и сил сопротивления привести к валу двигателя.

Приведенный момент сопротивления определяют из условия закона сохранения энергии. В период установившегося движения мощность на валу электродвигателя равняется мощности рабочей машины и потерям в передачах, которые учитываются коэффициентом полезного действия η .

Следовательно, на основании равенства мощности имеем:

$$M_{c.пр} \omega_D = M_c \omega_c \frac{1}{\eta} \quad \text{или} \quad M_{c.пр} = M_c \frac{\omega_c}{\omega_D \eta} = \frac{M_c}{i \eta}$$

где ω_D ω_c - угловая скорость вала двигателя и вала рабочей машины, рад с⁻¹, $i = \frac{\omega_D}{\omega_c}$ -

общее передаточное число от двигателя к рабочей машине,

M_c - момент сопротивления рабочей машины, Н м,

$M_{c.пр}$ - тот же момент сопротивления, приведенный к валу двигателя.

Приведение усилий поступательного движения к вращательному осуществляется на принципе равенства:

$$M_c \omega_D = \frac{Fv}{\eta} \quad \text{или} \quad M_c = \frac{Fv}{\omega_D \eta}$$

где F - сила сопротивления рабочей машины, обусловленная массой груза G , Н;

v - скорость поступательного движения груза, м/с.

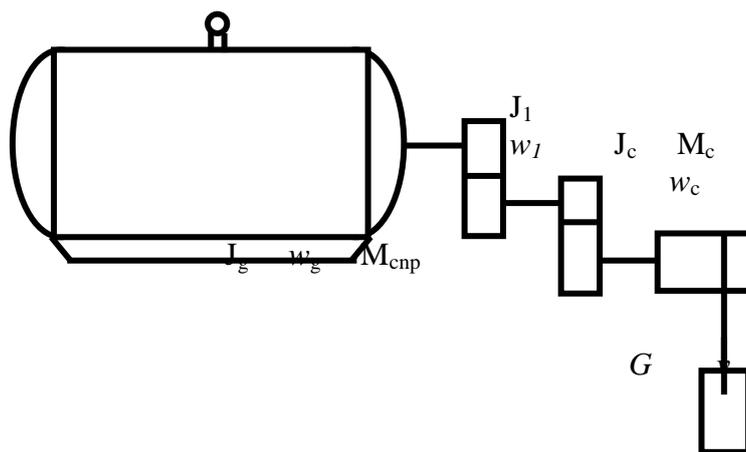


Рис 42. Кинематическая схема электропривода.

Приведение моментов инерции и маховых моментов к одному валу основано на равенстве запаса кинетической энергии системы. Иными словами, $J_{пр}$ должен равняться запасу кинетической энергии всей приводимой системы (рис 42).

$$J_{пр} \frac{\omega_D^2}{2} = J_D \frac{\omega_D^2}{2} + J_1 \frac{\omega_1^2}{2} + J_c \frac{\omega_c^2}{2}$$

Разделив уравнение на $\frac{\omega_D^2}{2}$, получим: $J_{пр} = J_D + \frac{J_1}{i_1^2} + \frac{J_c}{i_c^2}$

где $i_1 = \frac{\omega_D}{\omega_1}$, $i_c = \frac{\omega_D}{\omega_c}$ - передаточные числа между валом двигателя и валом отдельных вращающихся частей.

3. Динамические процессы при пуске и торможении.

Переходные процессы, возникающие при пуске и торможении являются неотъемлемым элементом рабочего цикла любого привода. Сокращение их длительности во многих случаях значительно повышает производительность установок.

Основное уравнение электропривода дает возможность определить продолжительность переходного процесса при пуске, торможении, а также при переходе от одной угловой скорости к другой.

При пуске двигателя вхолостую, т.е. при $M_c=0$, время пуска $t_n = \frac{J \omega_1}{M} = \frac{J \omega_1}{\alpha M_H}$

где J – момент инерции, Н м^2 , M_H – номинальный момент, Н м , α – коэффициент равным 1, 2, ...3.

Время торможения, когда двигатель отключен от сети ($M=0$).

$$t_T = \frac{J \omega_H}{M_c}$$

В переходных режимах, особенно во время пуска и торможения при включении, по обмоткам двигателя протекают токи, в несколько раз превышающие номинальные. Они вызывают дополнительный нагрев обмоток и двигателя в целом. Следовательно, для правильного выбора электродвигателя необходимо учитывать влияние потерь энергии в процессе пуска и торможения. Формулы для определения этих потерь приводятся в специальных литературах.

Контрольные вопросы.

1. С какой целью момент сопротивления и моменты инерции приводят к одному валу?
2. Что такое переходной процесс и для чего нужно знать его длительность?
3. Как влияет величина момента инерции на длительность переходного процесса?
4. Влияет ли нагрузка двигателя на величину потерь?
5. Как можно определить время разбега и торможение?

Тема № 17. РАСЧЕТ И ВЫБОР МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ.

- План:
1. Режимы работы электродвигателей.
 2. Нагрев и охлаждения электродвигателей.
 3. Выбор электродвигателей.

1. Режимы работы электродвигателей.

Номинальным режимом работы электрической машины называют такой, для которого предназначается машина и который указан на ее щитке. По стандарту предусматривается восемь номинальных режимов работы электрических машин. Промышленность выпускает электродвигатели для трех основных режимов работы – продолжительного (длительного), кратковременного и повторно–кратковременного. Режимы работы обозначают на щитках электродвигателей соответственно S1, S2, S3.

В **продолжительном режиме** электродвигатель работает с постоянной или переменной нагрузкой в течение времени, достаточного для того, чтобы его температура достигла установившегося значения.

Повторно – кратковременный режим предполагает чередование рабочего периода t_p и паузы t_0 . Время одного цикла $t_{\Sigma} = t_p + t_0$ не превышает 10 мин. За рабочий период температура электродвигателя не достигает установившегося значения, а за

период паузы не успевает снизиться до температуры окружающей среды. Этот режим характеризуется продолжительностью включения:

$$ПВ \% = \frac{t_p}{t_p + t_0} 100 \%$$

Значение ПВ% указывают в паспорте электродвигателя (ПВ%=15, 25, 40 и 60%).

При **кратковременном режиме** температура электродвигателя не достигает установившегося значения, а после его отключения успевает снизиться до температуры окружающей среды. В паспорте таких электродвигателей указаны мощность и время, в течение которого они ее развивают ($t_p=10, 30, 60$ и 90 мин).

2. Нагрев и охлаждения электродвигателей.

Нагрев электродвигателя происходит из-за потерь энергии в обмотках и потерь на вихревые токи в сердечнике статора и ротора. Характер нагрева электродвигателя в зависимости от нагрузки графически изображен на рисунке 43.

С момента пуска температура электродвигателя увеличивается. Затем, когда температура достигает установившегося значения, ее рост прекращается. Это значит, все выделенное тепло отдается в окружающую среду. При номинальной нагрузке $P_{ном}$ электродвигателя и стандартной температуре $\tau_{н.с.}=40^{\circ}C$ окружающей среды устанавливается допустимая температура

$$\tau_{уст. доп} = \tau_{пр} + \tau_{н.с.}$$

где $\tau_{пр}$ – предельное превышение температуры частей электродвигателя над стандартной (для изоляций класса А $\tau_{пр}=65^{\circ}C$, класса Е - $\tau_{пр} = 80^{\circ}C$, класса В - $\tau_{пр}=90^{\circ}C$), $\tau_{н.с.}$ – стандартное значение температуры.

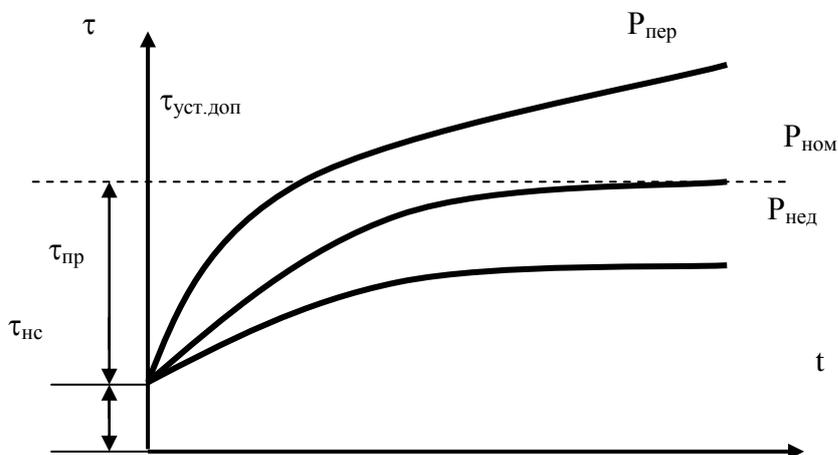


Рис 43. Характер нагрева электродвигателя в зависимости от нагрузки.

Если действительная температура окружающей среды $\tau_{окр}$ отлична от стандартной $\tau_{н.с.}$, то мощность P_x (кВт), до которой можно загрузить электродвигатель, определяют по формуле

$$P_x = P_{ном} \sqrt{1 + \frac{\tau_{н.с.} - \tau_{окр}}{\tau_{пр}} (\alpha + 1)}$$

где $P_{ном}$ – номинальная мощность электродвигателя, кВт. α - отношения постоянных потерь к переменным, для асинхронных электродвигателей $\alpha=0,5 \dots 0,7$.

Тепловой режим электродвигателя является основным критерием для определения его мощности. Поэтому при эксплуатации необходимо постоянно заботиться об условиях охлаждения электродвигателя, так как перегрев вызывает старение изоляции обмоток, ухудшает смазку подшипников и в целом сокращает срок его службы.

3. Выбор электродвигателей.

Электродвигатели к машинам и механизмам выбирают в зависимости от условий окружающей среды, частоты вращения, рода тока и напряжения, мощности и характера нагрузки. В сухих помещениях применяют электродвигатели А, А2, 4А; в сырых, влажных, пыльных и пожароопасных – АО, АО2, 4А; в особо сырых – АО2 ... В, 4А ... СХ, 4А ... ВМ; в особо сырых с химически активной средой – КОМ, ВЗГ.

По частоте вращения ротора электродвигатели выбирают с учетом частоты вращения приводного вала машины и данных передаточного механизма.

Напряжения питающей сети, род и частота тока должны соответствовать паспортным данным электродвигателя. Для машин и механизмов, работающих с продолжительной постоянной или переменной нагрузкой, выбирают электродвигатели единой серии А2, АО2, 4А.

При постоянной нагрузке расчетная мощность P_p (кВт) электродвигателя

$$P_p = \frac{P_m}{\eta_n}$$

где P_m – мощность на валу машины, взятая из паспорта машины или справочника, кВт
 η_n – к.п.д. передачи.

Очень часто расчетную мощность электродвигателя определяют по эмпирическим (опытным) формулам. Например, мощность (кВт) двигателя для привода сверлильного станка – по формуле $P_p = (0,05 \dots 0,07)d$ где d – наибольший диаметр сверла, мм.

По величине расчетной мощности в каталоге выбирают электродвигатель, исходя из условия $P_{н.дв} \geq P_p$. При переменной нагрузке мощность электродвигателя выбирают по нагрузочной диаграмме, которая может представлять собой график изменения вращающегося момента, мощности или тока в зависимости от времени работы. По нагрузочной диаграмме определяют эквивалентную силу тока, момент и мощность как среднеквадратичные значения.

Например, эквивалентная мощность $P_{экв}$ – это такая постоянная длительная мощность, которая вызывает такой же нагрев, как и действительная нагрузка;

$$P_{экв} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}$$

где P_1, P_2, \dots, P_n – значения мощностей, взятые из нагрузочной диаграммы; t_1, t_2, \dots, t_n – моменты времени, соответствующие действиям мощностей P_1, P_2, \dots, P_n . Исходя из условий $P_{н.дв} \geq P_{экв}$ по каталогу выбирают электродвигатель.

Электродвигатели с повышенным пусковым моментом АОП, АОП-2 применяют в приводе машин, отличающихся большой статической и инерционной нагрузкой в период пуска (молотковые дробилки).

В приводе машин с большой частотой пусков, с большими массами, неравномерной ударной или пульсирующей нагрузкой используют электродвигатели АОС, АОС2 (в их паспорте указана величина ПВ%).

Для привода машин, работающих в режиме кратковременной нагрузки, выпускают специальные электродвигатели, в паспорте которых указаны кратковременная мощность и время в течение которого двигатель может работать при данной мощности.

Электродвигатели с фазным ротором АОК, АОК2 применяют в случае необходимости регулирования частоты вращения рабочего органа машины, при особо тяжелых условиях пуска и больших мощностях, когда пуск короткозамкнутого электродвигателя вызывает недопустимые колебания напряжения.

Многоскоростные электродвигатели используют для привода механизмов со ступенчатой регулировкой частоты вращения (например, для привода вентиляторов).

Контрольные вопросы.

1. Какие виды электродвигателей вы знаете?
2. Назовите основные режимы работы ЭД?
3. По какой формуле определяют мощность ЭД?
4. По какому способу можно выбирать мощность ЭД?
5. Как выбирается двигатель постоянной или переменной нагрузке?

Тема № 18. УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ.

- План:
1. Общие требования к пусковой и защитной аппаратуре.
 2. Аппаратура ручного управления.
 3. Контактторы и магнитные пускатели.

1. Общие требования к пусковой и защитной аппаратуре.

Правильный выбор аппаратуры управления и защиты является главным условием надежной работы электродвигателей. Причиной выхода их из строя часто бывает именно неправильный выбор аппаратуры; последний не реагирует на аварийный режим работы двигателя и не отключает его от сети в критический момент.

Нарушения режима приводит, как правило, к превышению силы тока в обмотках электродвигателя (в 80 – 90 % всех аварийных случаев) или замыканию между витками из-за отсыривания изоляции, повреждения подшипников или других причин (10 – 20 % аварийных случаев).

Нарушения режима приводит, как правило, к превышению силы тока в обмотках электродвигателя (в 80 – 90 % всех аварийных случаев) или замыканию между витками из-за отсыривания изоляции, повреждения подшипников или других причин (10 – 20 % аварийных случаев).

Превышение силы тока в обмотках может быть вызвано технологической перегрузкой, потерей фазы в сети, снижением напряжения. В результате двигатель сгорает, т.е. обжигается изоляция обмоток.

Технологическая перегрузка электродвигателя вызывается увеличением количества подаваемого в машину обрабатываемого продукта, неисправностью машины, остыванием или отсутствием смазки. Превышение сила тока возможно до полного торможения (опрокидывания) двигателя. При перегрузке электродвигателя хотя бы на 10% должна срабатывать тепловая или температурная защита, которая автоматически отключает электродвигатель при перегрузке электродвигателя на 20% за 20 – 25 мин, а при пяти – и шестикратном токе – за 9 – 11 с.

Снижения напряжения в сети может быть причиной выхода электродвигателя из строя в том случае, если его мощность строго соответствует мощности, потребляемой рабочей машиной. При номинальном напряжении электродвигатель потребляет из сети номинальный ток, а при снижении напряжения, например на 10%, электродвигатель средней мощности потребляет из сети ток примерно на 10% больше номинального, что приводит к недопустимому перегреву его обмотки. Для предупреждения выхода из строя электродвигателя необходимо, чтобы его мощность на 10 - 15% превышала мощность рабочей машины. При возможном снижении напряжения в сети более 10% необходимо иметь хорошо отлаженную тепловую защиту, так как электродвигатель может выйти из строя при перегрузке всего на 10 – 15%.

2. Аппаратура ручного управления.

Аппаратуры управления и защиты, являющие составной частью электропривода, предназначена для управления электроприводом (пуск, остановка, торможение) защиты электродвигателя при аварийных режимах и для обеспечения работы электродвигателя в заданных режимах в соответствии с требованиями технологической операции.

По способу управления ее можно разделить на аппаратуру неавтоматического (ручного) и аппаратуру автоматического управления.

Рубильники—простейшие аппараты ручного управления изготавливаются одно двух- и трехполюсными, с центральной или боковой ручкой, с боковыми или центральным рычажным приводом. Рубильники с центральной рукояткой используют для размыкания обесточенных цепей, в то время как с боковой ручкой или приводом могут применяться и для управления цепями под нагрузкой. Промышленность выпускает рубильники типа Р, РБ, РПБ, РПЦ: Р– рубильник; Б– боковая рукоятка или боковой привод; П– наличие привода; Ц– центральный привод. Первая цифра после буквенного обозначения указывает число контактов (1,2 или 3), а вторая – условные значения номинального тока – 1 (100 А), 2 (250 А), 4 (400 А) и 6 (600 А). Например, обозначение рубильника расшифровывается следующим образом: РБ31 – рубильник с боковой рукояткой трехфазный на 100 А.

Пакетные выключатели используют вместо рубильников, а также и в качестве пускателей для мелких электрических двигателей. Они могут быть одно- и многополюсными (до семи полюсов) с номинальным током от 6 до 100 А при напряжении 220 В. При напряжении 380 В номинальные токи снижаются на 40%. Пакетный выключатель состоит из изоляционных секций 1, в каждой из которых расположены пластины неподвижных контактов 2. Подвижная часть контактов 3 находится на четырехгранном валике 4, который поворачивается при помощи рукоятки 5.

Барабанные и кулачковые переключатели (контролеры) применяются для ручной коммутации цепей переменного и постоянного тока, управления тяговыми и крановыми электродвигателями. Барабанные переключатели изготавливаются защищенного и открытого исполнения типа БП, БП1, БПК (Б – барабанный, П – переключатель, К – обозначения серий). Переключатели БП, БПК используют для управления электродвигателями, поэтому в их обозначения вводится число переключаемых скоростей, одна, или две первые цифры указывают число контактных элементов, а последняя цифра не расшифровывается.

Командные переключатели (командноконтролеры) командоаппараты применяются в цепи оперативного тока в отличие от контролеров, которые используются в силовых цепях. По этому контактная система контролеров рассчитана на ток 10 А. Командо контролеры выпускаются следующих серий: КК, КК–Т, ЭК, ЭК–Т, где К – крановый, Э– эксковаторный, буква К– кулачковый, Т– тропическое исполнение.

Конечные выключатели предназначены для коммутации цепей управления в зависимости от пройденного механического пути. Их устанавливают там, где необходимо осуществить остановку. Конечные выключатели бывают контактными и бесконтактными, нажимными и рычажными, с самовозвратом и без него, мгновенного и немгновенного действия.

Бесконтактные выключатели обладают значительно большей надежностью и долговечностью. Они бывают индуктивными и полупроводниковыми.

3. Контактторы и магнитные пускатели.

Для дистанционного включения и выключения электрических установок применяются контакторы переменного тока КТВ второй, третьей, четвертой и пятой величин. Контактторы второй величины предназначены для установки в цепях с током до

75 А, что соответствует мощности трехфазного электродвигателя 20 кВт при 220 В и 30 кВт при 380 В и т.п.

Схема включения контактора показана на рис 44. При нажатии на кнопку “Пуск” катушка контактора втягивает сердечник и контакты силовой цепи Л и С, блокировочные контакты БК замыкаются. При нажатии на кнопку “Стоп” цепь катушки размыкается и якорь магнитной системы отпадает, цепи силовых и блокировочных контактов размыкаются. Блокировочные контакты включены параллельно кнопке “Пуск”. Они заменяют эту кнопку в цепи питания катушки контактора после включения. Ток протекает по цепи Л₃ – катушка – блок-контакты – кнопка “Стоп” – линейный провод Л₁. Контактors переменного тока с замыкающими главными контактами, рассчитанные на малую мощность (до 75 кВт) и имеющие тепловую защиту от перегрузок, называются магнитными пускателями. Они снабжены одной парой блок-контактов. Для цепей управления и сигнализации могут быть установлены дополнительные блокировочные контакты, как замыкающие, так и размыкающие.

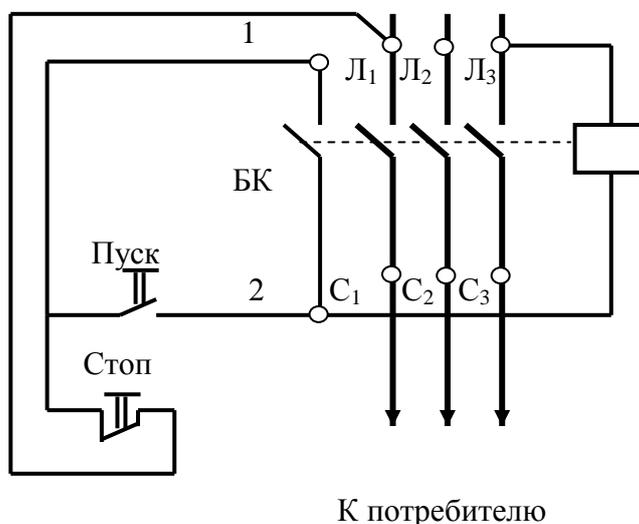


Рис 44. Схема включения контактора.

Л₁ Л₂ Л₃ – линейные контакты, С₁ С₂ С₃ – силовые контакты, БК – блокировочный контакт, К – катушка, С – сердечник подвижной системы контактора.

Магнитные пускатели используют для местного и дистанционного управления электросиловой установкой, а также для защиты электродвигателя от перегрузки или от самопроизвольного включения установки после снятия напряжения в сети и последующего включения.

Для изменения направления вращения электродвигателя предназначены реверсивные магнитные пускатели (сдвоенные).

В целях защиты электроустановки от коротких замыканий последовательно силовым контактом магнитного пускателя устанавливают предохранители, которые должны быть рассчитаны на ток, не превышающий четырехкратный ток уставки теплового реле. В противном случае при коротком замыкании может сгореть нагревательный элемент теплового реле.

Контрольные вопросы.

1. Что называется аппаратом управления? 2. Что такое защитные аппараты?
3. Что называется рубильником? 4. Объясните конструкцию рубильника?
5. Когда используют пакетный выключатель? 6. Где используют контакторы переменного тока? 7. Объясните схему включения контактора?
8. Что такое магнитный пускатель?

ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ.

Основные:

1. Электротехника ва электроника, в 3^х-томах. Под редакцией проф. В.Г. Герасимова, М., Энергоатомиздат, 1998.
2. Бутырин П.А., Васьковская. Диагностика электрических цепей по частям. Изд. МЭИ, М., 2003.
3. Касаткин А.С., Немцов М.В. «Электротехника», М, «Академия».2005.
4. Синдеев Ю.Г.«Электротехника с основами электроники»: М, «Феникс». 2010, Серия: Начальное профессиональное образование.
5. Музин Ю.М. Основы электротехники и электроники «Виртуальная электротехника», С-Пб, «Питер» 2010.

Дополнительные:

7. Электротехнический справочник в 3-х томах. Изд. «Энергия», 1980 г.
8. Абдуллаев Б., Бегматов Ш.Э. Виртуальные лабораторные работы по электротехнике. ТашГТУ, каф. «Общая электротехника», электронная версия, 2004 й.
9. Виртуальная электротехника. Компьютерные технологии в электротехнике и электронике . И.И Алиев. М. 2003.
10. Хернитер Марк.Е. Multisim 7*: Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств. Перевод с англ. Осипов А.И. М.: Издательский дом ДМК пресс, 2006.
11. Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях. Практикум по Electronics Workbench: В 2-х томах под общей ред. Д.И.Панфилова. М. 2000.
12. Abdullaev B. va boshqalar. Elektrotexnika va elektronika asoslari fanidan laboratoriya ishlarini bajarishga o'quv-uslubiy qo'llanma. Toshkent, ToshDTU, 2011.

Интернет ресурсы;

1. www.ni.com/multisim/ - сайт на Интернете
2. Сайт содержит электронный учебник по курсу «Общая Электротехника») - <http://www.toe.stf.mrsu.ru/demoversia/book/index.htm>
3. www.kgau.ru/distance/etf_03/el-teh-ppp/soderg.htm Электротехника и электроника, ч.1 ... Выполнение виртуальных лабораторных работ по электрическим цепям; Анализ работы электрических машин ...
4. market.yandex.ru/model.xml?modelid=1405543&hid=90958
Компьютерные технологии в электротехнике и электронике ... порядок сборки и анализа простейших виртуальных электрических цепей постоянного и
5. www.bankreferatov.ru/db/.../1028A1CA908298E543257A08006FE..
Виртуальная электротехника. Компьютерные технологии в электротехнике и электронике: Учебное пособие. книжный каталог, Основы электротехники и электроники 2010 г. ... Музин Ю.М.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Введение	3
-------------------	---

I. Электротехника.

2. Электрические цепи постоянного тока	6
3. Расчет электрических цепей постоянного тока	9
4. Линейные цепи переменного тока	14
5. Резонанс в электрических цепях переменного тока	19
6. Трехфазные цепи	22
7. Переходные процессы	29
8. Электрические измерения	32
9. Трансформаторы	32
10. Электрические машины постоянного тока	36
11. Электрические машины переменного тока	40

II. Электроника.

12. Основы электроники	47
13. Полупроводниковые приборы	52

III. Электропривод.

14. Основы электропривода	56
15. Механические и электромеханические характеристики электродвигателей	58
16. Основы динамики и переходные процессы в электроприводах	60
17. Расчет и выбор мощности электродвигателей	62
18. Управление электроприводами	66
19. Информационные ресурсы	71