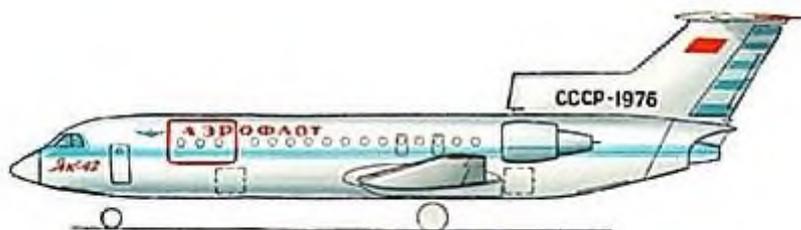


ТРОИЦКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ
филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический
университет гражданской авиации»



УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

По дисциплине «Электротехника и электроника»
«Основные понятия в области электротехники»



Специальность 25.02.01

«Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей»

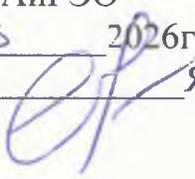
г. Троицк 2026

Разработчик:

Семёнова И.О. – преподаватель ЦК АиРЭО

Рассмотрено и одобрено к утверждению
на заседании цикловой комиссии АиРЭО

Протокол № 12 от «18» 03 2026г.

Председатель комиссии АиРЭО  Я.М.Стриженюк

Раздел 1. Теоретические основы электротехники.
Тема 1.1. Введение. Электрические цепи постоянного тока.
Электрическое поле.

Занятие 1

1. Введение. Общие сведения о содержании предмета.
2. Использование электроэнергии на летательных аппаратах.
3. Общие сведения об электрических цепях. Элементы электрической цепи и условные обозначения.

Введение. Общие сведения о содержании предмета.

Электротехника – это отрасль науки и техники, изучающая получение, передачу, распределение и использование электрической энергии, а также принципы работы электромагнитных устройств.

Предмет включает теорию цепей, электромагнетизм, электромеханику (двигатели, генераторы) и силовую электронику.

Основная задача – практическое применение электрических явлений в промышленности, быту, энергетике и непосредственно на ВС.

Электротехника отличается от электроники фокусом на силовых компонентах и передаче энергии, в то время как электроника работает с информацией и слабыми токами.

Использование электроэнергии на летательных аппаратах.

Использование электроэнергии на летательных аппаратах (ЛА) обеспечивает работу бортовой авионики, освещения, систем управления, навигации, а также систем комфорта (кондиционирование, обогрев).

Основные аспекты использования электроэнергии:

1) Источники питания:

Основными являются генераторы, приводимые в действие двигателями.

Вспомогательные силовые установки (ВСУ) питают системы на земле и в полете при отказе основных источников.

2) Системы электроснабжения:

Современные ЛА используют переменный ток (АС) для мощных систем и постоянный ток (DC), часто с гибридными системами (АС/DC).

Общие сведения об электрических цепях. Элементы электрической цепи и условные обозначения.

Электрическая цепь – это совокупность устройств (источников, приемников, проводов), образующих замкнутый путь для протекания электрического тока. Она предназначена для генерации, передачи и преобразования электрической энергии.

Основные элементы электрической цепи: источники (Батареи, генераторы), приемники (нагрузка), коммутационные аппараты (реле, контакторы), линии передачи (провода).

Источники электрической энергии – устройство, преобразующее различные виды энергии: механическую (генераторы), химическую (аккумуляторы) или световую (фотоэлементы) энергию в электрическую.

Приемники (потребители) – преобразуют электрическую энергию в тепловую, световую, механическую и другие виды.

Вспомогательные элементы: провода, выключатели, предохранители, измерительные приборы (вольтметры, амперметры и т.д.).

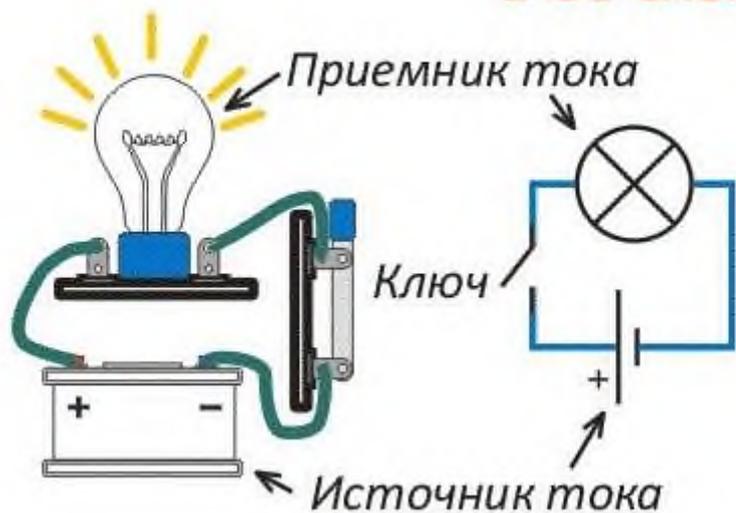
Совокупность соединенных между собой источников, приемников и вспомогательных элементов называется электрической цепью.

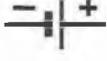
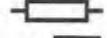
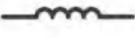
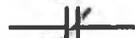
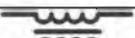
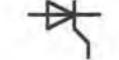
Основные понятия и классификация:

1. Цепи постоянного и переменного тока: подразделяются по характеру изменения тока во времени.
2. Линейные и нелинейные цепи: подразделяются в зависимости от характеристик элементов
3. Замкнутая цепь: ток течет свободно, путь не прерван.
4. Разомкнутая цепь: путь тока прерван (например, выключателем), ток не течет.

5. Типы соединения: последовательное (один путь тока), параллельное (несколько ветвей), смешанное (последовательное и параллельное вместе).

Электрическая цепь и ее схема



Наименование элемента	Условное обозначение	Наименование, элемента	Условное обозначение
Источники электрической энергии: источник напряжения (ЭДС) постоянного тока (идеальный) источник постоянного тока (идеальный) гальванический элемент или аккумулятор источник напряжения (ЭДС) синусоидального тока	   	Проводники электрической цепи: одиночный пересекающиеся, несоединенные пересекающиеся, соединенные	  
Резисторы: Постоянный линейный Переменный линейный Нелинейный	  	Выключатели: однополюсные двухполюсные	 
Индуктивности: Линейная С разомкнутым магнитопроводом С магнитопроводом	  	Конденсаторы Общее обозначение Полярный (электролитический) Нелинейный	  
Трансформатор		Диоды и тиристоры: Выпрямительный диод	
Транзисторы: Биполярный Униполярный (полевой)	 	Стабилитрон Диодный тиристор Триодный тиристор	  

Занятие 2

1. Электрическое напряжение: определение, напряжение в электрических сетях, связь с мощностью, потери напряжения в проводах.
2. Электрический ток: определение, сравнение переменного и постоянного токов, проявления электрического тока, измерение.
3. Электрическое сопротивление: определение, виды сопротивления, соединения сопротивлений, применение сопротивлений.
4. Закон Ома.
5. Электрическая мощность: определение, виды, расчет мощности.

Электрическое напряжение: определение, напряжение в электрических сетях, потери напряжения в проводах.

Электрическое напряжение – физическая величина, численно равная работе, которую совершает электрическое поле по перемещению единичного положительного заряда между двумя точками цепи.

$$U = \frac{A}{q}$$

Где:

U – напряжение, измеряется в Вольтах (В)

A – работа электрического поля, измеряется в Джоулях (ДЖ)

q – величина заряда, измеряется в Кулонах (Кл)

Напряжение определяет количество энергии, передаваемой каждому кулону заряда при его движении в цепи. Повышение напряжения увеличивает потенциальную энергию заряда и, следовательно, работу которую может совершить электрическое поле

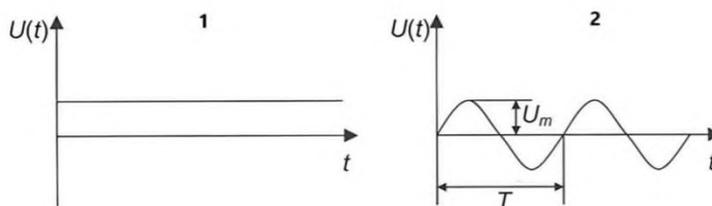
В электротехнике напряжение также называют разностью электрических потенциалов между двумя точками цепи. Эта разность создает условия для протекания электрического тока. При отсутствии напряжения движение электронов невозможно.

Постоянное напряжение (DC): сохраняет величину и направление.

Пример – аккумулятор или батарейка.

Переменное напряжение (АС): меняет полярность и величину с течением времени. Пример – бытовая сеть 230 В, 50 Гц.

Оба типа напряжения применяются в электротехнике: постоянное – в источниках питания и электронике, переменное – в распределении энергии.



Чем выше напряжение – тем меньше ток при той же мощности.

$$P = U \times I$$

Где:

P – мощность, измеряется в Ваттах (Вт)

U – напряжение

I – ток, измеряется в Амперах (А)

Это позволяет уменьшить потери и использовать кабели меньшего сечения, что особенно важно при передаче электроэнергии на большие расстояния (высоковольтные линии).

Например, при передаче мощности 10кВт по линии с напряжением 10кВ ток составит всего 1А, а при 230В – уже около 43А.

Потери напряжения в проводах:

При протекании электрического тока по проводнику часть энергии теряется из-за сопротивления – возникает падение напряжения между началом и концом линии.

Рассчитывается по формуле:

$$\Delta U = I \times R$$

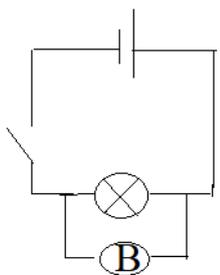
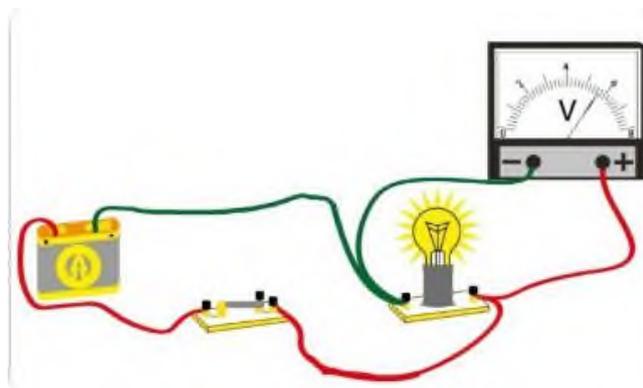
Где:

ΔU – падение напряжения (В)

I – ток в линии (А)

R – сопротивление участка провода (Ом)

Напряжение измеряется вольтметром, который подключается параллельно источнику тока.



Электрический ток: определение, сравнение переменного и постоянного токов, проявления электрического тока, закон Ома, измерение

Электрический ток – это направленное упорядоченное движение носителей электрического заряда (электронов, ионов и др.) в проводящей среде под действием электрического поля.

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Где:

I – ток, измеряется в Амперах (А)

ΔQ – заряд (Кл)

Δt – время (с)

Для существования тока необходимы:

— свободные носители заряда – как правило, это электроны в металлах, которые могут перемещаться под действием силы.

— электрическое поле – эта сила (возникает из-за напряжения) заставляет заряды двигаться, создавая электрический ток.

Проводниками тока могут быть металлы, электролиты, полупроводники, плазма.



Без электрического тока невозможно освещение, работа бытовой техники, компьютеров, транспортов, производства и связи.

Постоянный ток (DC) – ток не меняется со временем. Используется в батарейках, аккумуляторах, источниках постоянного тока

Переменный ток (АС) – ток меняет направление и величину с течением времени по синусоиде. Используется в бытовой электросети (220-230В)

Сравнение переменного и постоянного тока

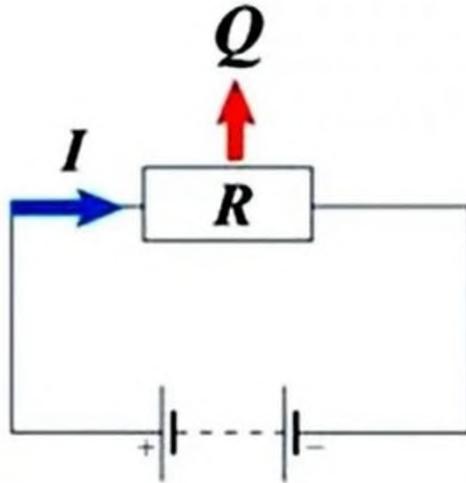
Параметр	Постоянный ток (DC)	Переменный ток (AC)
Направление	Не меняется	Периодически меняется
Источники	Батареи, аккумуляторы, блоки питания	Генераторы, электростанции
Применение	Электроника, зарядка, автомобили	Энергосети, освещение, бытовые приборы
Потери на длинных линиях	Высокие	Меньше (благодаря трансформации)

Проявление электрического тока:

Электрический ток – это не только движение зарядов, но и физические эффекты, которые можно наблюдать и использовать.

Ниже приведены основные проявления тока в различных средах и устройствах:

1) Тепловое действие (эффект Джоуля – Ленца): при прохождении тока через проводник выделяется тепло. Это связано с тем, что движущиеся электроны сталкиваются с атомами решётки и передают им часть своей энергии. Чем больше ток, сопротивление и время – тем больше тепла выделяется. На этом основана работа всех электронагревательных приборов: обогревателей, утюгов, кипятильников, а также плавких предохранителей.



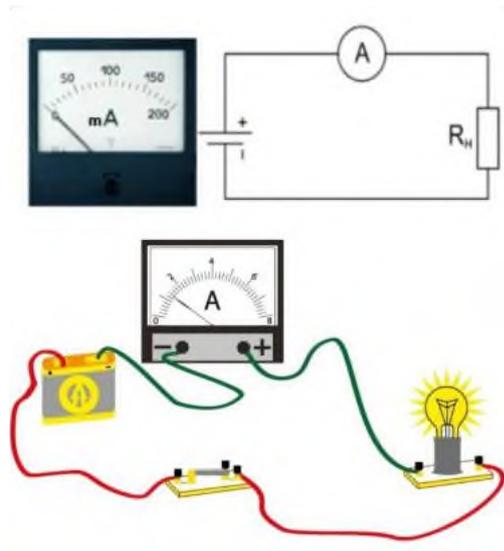
2) Магнитное действие: вокруг проводника с током создается магнитное поле. Этот эффект лежит в основе работы электромагнитов, реле, трансформаторов и всех видов электрических машин – от простого звонка до промышленных электродвигателей.

3) Химическое действие (электролиз): в жидкостях, содержащих ионы (электролитах), ток вызывает химические реакции. Это используется при гальванике, электролизе воды, заряде аккумуляторов. Например, при прохождении тока через раствор медного купороса на катоде осаждается медь.

Существуют несколько способов измерения тока:

- 1) Прямой метод – амперметр подключается последовательно.
- 2) Косвенный – рассчитывается через падение напряжения и сопротивление.
- 3) Бесконтактный – токовые клещи, датчики Холла.

Измеряется ток амперметром, который включается в цепь последовательно



Электрическое сопротивление: определение, виды, соединения, применение.

Электрическое сопротивление – это физическая величина, характеризующая способность материала препятствовать прохождению электрического тока. Оно связано с внутренним трением между движущимися зарядами и кристаллической решеткой проводника.

Сопротивление определяет, насколько сильно напряжение «тормозит» ток. Чем выше сопротивление – тем слабее ток при том же напряжении.

Сопротивление обозначается буквой R и измеряется в омах (Ом).

По закону Ома (используется в готовой электрической цепи, когда известны напряжение и ток):

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

Формула через геометрию проводника (применяется для расчета сопротивления материала, например, кабеля):

$$R = \frac{\rho \times L}{S}$$

Где:

ρ – удельное сопротивление ($\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$)

L – длина проводника (м)

S – площадь поперечного сечения (мм^2)

Эта формула показывает, как физические свойства влияют на сопротивление: чем длиннее провод и меньше сопротивление – тем выше сопротивление.

Виды сопротивления:

1. Активное сопротивление – это реальное, «ощутимое» сопротивление, которое приводит к рассеянию энергии в виде тепла. Оно не зависит от частоты тока и проявляется в любых цепях.

2. Реактивное сопротивление – возникает только в цепях переменного тока и зависит от частоты. Оно связано с накоплением и отдачей энергии (но не с потерями).

Бывает двух типов:

- индуктивное: возникает в катушках индуктивности (обозначается X_L), пример – трансформаторы, электродвигатели.

- Емкостное: возникает в конденсаторах (обозначается X_C), пример – фильтры, импульсные блоки питания.

3. Полное (импеданс) – в цепях переменного тока используется понятие импеданс (Z), которое включает в себя активную и реактивную составляющие.

Соединения сопротивлений:

В электрических цепях резисторы могут соединяться разными способами, что влияет на общее сопротивление, распределение токов и напряжений.

1. Последовательное соединение – резисторы соединены один за другим, ток в цепи – один и тот же для всех элементов. Общее сопротивление – сумма всех:

$$R_{\text{общ}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Особенность: если один резистор перегорит – цепь полностью разорвется.

Используется для создания нужного падения напряжения.

2. параллельное соединение – резисторы подключены к одной паре узлов (у них одинаковое напряжение). Ток делится между двумя ветвями, общее сопротивление считается по формуле:

$$\frac{1}{R_{\text{общ}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Особенность: если один элемент выходит из строя – другие продолжают работать.

Используется для увеличения допустимого тока и надежности.

3. Смешанное соединение – включает в себя и последовательное и параллельное соединение.

Закон Ома.

Это фундаментальный закон электротехники, описывающий взаимосвязь между напряжением, силой тока и сопротивлением в электрической цепи.

Смысл закона прост: чем выше напряжение – тем больше ток. Но при этом: чем больше сопротивление – тем меньше ток.

Есть две основные формулировки – для участка цепи и для полной (замкнутой цепи):

1. Закон Ома для участка цепи

Сила тока в участке цепи прямо пропорциональна напряжению на этом участке и обратно пропорциональна сопротивлению:

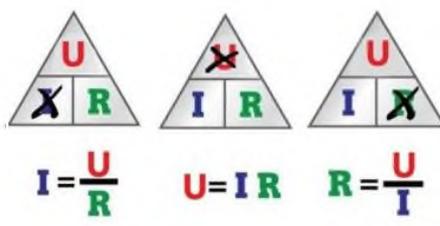
$$I = \frac{U}{R}$$

Из этой формулы можно выразить напряжение и сопротивление:

$$U = I \times R$$

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

Чтобы легче запомнить формулы, используют «треугольник Ома»:



Пример:

Допустим, в цепи к резистору сопротивлением $R = 6$ Ом приложено напряжение $U = 12$ В, найти силу тока.

Согласно закону Ома, ток в цепи:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{12}{6} = 2 \text{ А}$$

Значит, через резистор будет протекать ток 2 ампера. Это и есть применение закона Ома: зная два параметра, находим третий.

2. Закон Ома для полной (замкнутой) цепи:

$$I = \frac{E}{R+r}$$

где:

E — электродвижущая сила (ЭДС) источника, В;

R — внешнее сопротивление цепи, Ом;

r — внутреннее сопротивление источника тока, Ом.

Пример:

Есть источник с ЭДС (E) = 12В, внутренним сопротивлением $r = 1$ Ом и нагрузкой $R = 5$ Ом.

Найдем ток и напряжение на нагрузке:

$$I = \frac{12}{5+1} = 2\text{А}$$

$$U = I \times R = 2 \times 5 = 10\text{В}$$

Потери: $12\text{В} - 10\text{В} = 2\text{В}$ (ушли внутри источника).

Закон Ома применяется в самых разных сферах – от бытовой техники до промышленности и транспорта:

- 1) Расчет параметров цепей – проектирование, проверка, диагностика
- 2) Определение сопротивлений по измеренному току и напряжению
- 3) Подбор компонентов – резисторов, кабелей, предохранителей.
- 4) Проверка электроприборов: если напряжение известно, а ток слишком мал – вероятно, проблема с контактом или сопротивлением.
- 5) Сборка делителей напряжения для питания микроконтроллеров и сенсоров.
- 6) Лабораторные работы – измерения сопротивления, вольтамперных характеристик
- 7) Диагностика в электрике – по просадке напряжения находят плохие соединения.

Закон Ома применим только в линейных участках цепи, где сопротивление постоянно.

Он не работает в случаях, когда:

- Сопротивление зависит от тока или температуры (например, лампы накаливания)
- Цепь содержит нелинейные элементы (диоды, транзисторы).
- В материалах с переменной проводимостью – например, полупроводниках

Электрическая мощность: определение, виды, расчет мощности.

Электрическая мощность – это физическая мощность – это физическая величина, показывающая, с какой скоростью происходит передача или преобразование электрической энергии.

В системах СИ мощность измеряется в ваттах (Вт), где $1 \text{ Вт} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$

Мощность не хранится – она возникает только в момент подключения нагрузки. Генераторы, батареи и аккумуляторы – это источники напряжения. Они становятся источниками мощности, когда начинают отдавать ток.

Сколько мощности отдаст источник – зависит от выходного напряжения, внутреннего сопротивления источника, характера подключенной нагрузки.

При постоянном токе мощность вычисляется по формуле:

$$P = U \times I$$

Где:

P – мощность, Вт

U – напряжение, В

I – ток, А

В цепях переменного тока мощность делится на три составляющие:

1. Активная мощность (P) – преобразуется в полезную энергию (свет, тепло, механическую работу)

$$P = U \times I \times \cos \varphi$$

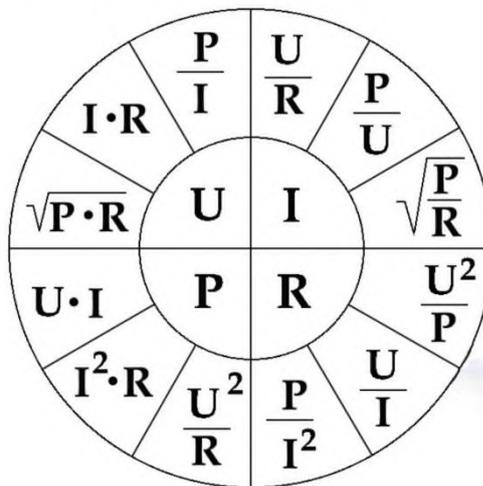
2. Реактивная мощность (Q) – связана с колебаниями энергии в катушках и конденсаторах

$$Q = U \times I \times \sin \varphi$$

3. Полная мощность (S) – геометрическая сумма активной и реактивной мощностей:

$$S = U \times I \quad \text{или} \quad S^2 = P^2 + Q^2$$

 **Круг основных формул**



Занятие 3

1. Электрическое поле и его основные характеристики
2. Конденсаторы. Электрическая емкость. Соединения конденсаторов

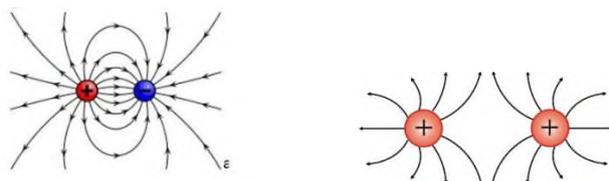
Электрическое поле и его основные характеристики

Электрическое поле – это особый вид материи, который существует вокруг любого электрического заряда и оказывает силовое воздействие на другие заряды. Создается неподвижными или движущимися электрическими зарядами, а также переменными магнитными полями. Обозначается электрическое поле символом – E , изображается воображаемыми силовыми линиями.

Основные характеристики электрического поля:

1) Напряженность (E) - основная силовая характеристика, определяющая величину и направление силы, действующей на единичный положительный заряд в данной точке. Векторная величина, измеряется $\frac{В}{м}$ или $\frac{Н}{Кл}$. Направление вектора совпадает в каждой точке пространства с направлением силы, действующей на положительный пробный заряд.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$



Разноименные заряды – притягиваются, одноименные – отталкиваются.

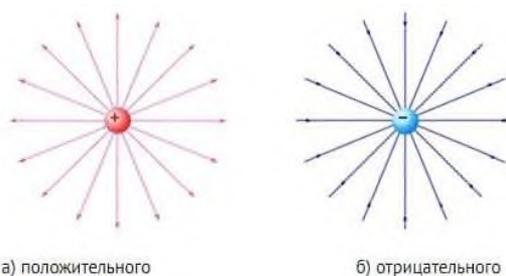
2) Потенциал (Φ) - энергетическая характеристика, показывающая потенциальную энергию единичного положительного заряда, помещенного в данную точку поля. Потенциал измеряется в Вольтах (В) и показывает

работу, которую совершает поле при перемещении единичного заряда между двумя точками (определяет уровень энергии).

$$\varphi = \frac{W_p}{q}$$

3) Силовые линии (линии напряженности) - воображаемые линии, касательные к которым совпадают с вектором E .

Для положительного заряда силовая линия выходит из заряда, для отрицательного заряда силовая линия будет двигаться в направлении заряда.



Свойства электрического поля:

1. Оно материально, т.е. существует независимо от нас и наших знаний о нём.
2. Оно создаётся электрическими зарядами (заряженными телами)
3. Оно обнаруживается по взаимодействию электрических зарядов (заряженных тел)
4. Оно действует на электрические заряды (заряженные тела) с некоторой силой.
5. Электрическое поле непосредственно невидимо, но может наблюдаться по его действию и с помощью приборов.

6. Электрическое поле является одной из составляющих единого электромагнитного поля и проявлением электромагнитного взаимодействия.

7. Для количественного определения электрического поля вводится силовая характеристика напряженность электрического поля.

8. Энергетической характеристикой поля является потенциал.

Закон Кулона:

Два физически точечных заряда q_1 и q_2 , находясь в однородной среде с электрической проницаемостью ϵ на расстоянии r , пропорциональной произведению этих зарядов и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними.

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2},$$

де k — коэффициент пропорциональности, числовое значение которого зависит от используемой системы единиц. В Международной системе единиц (СИ) он равен

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \quad k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н}\cdot\text{м}^2}{\text{Кл}^2}$$

Отсюда следует:

$$F = \frac{|q_1| |q_2|}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2} \quad \epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{(\text{Н}\cdot\text{м})^2}$$

ϵ_0 — электрическая проницаемость пустоты (вакуума).

ϵ — относительная электрическая проницаемость. Она показывает, во сколько раз при прочих равных условиях сила взаимодействия двух зарядов в какой-либо среде меньше, чем в пустоте. Относительная электрическая проницаемость — безразмерная величина.

Конденсаторы. Электрическая емкость. Соединение конденсаторов.

Конденсатор – это устройство, состоящее из двух проводников (обкладок), разделенных диэлектриком, способное накапливать электрический заряд.



Чтобы зарядить конденсатор, нужно его обкладки соединить с полюсами электрической машины. Разноименные заряды, скопившиеся на обкладках конденсатора, связаны между собой электрическим полем. Близко расположенные друг к другу пластины конденсатора, влияя одна на другую, позволяют скопить на обкладках большой электрический заряд при относительно невысокой разности потенциалов между обкладками.

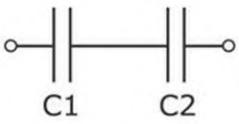
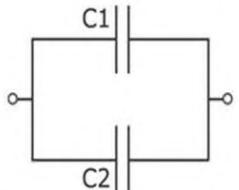
Электрическая емкость (C) – это физическая величина, характеризующая способность конденсатора хранить заряд (q) при определенном напряжении (U), определяемая формулой:

$$C = \frac{q}{U} \quad \text{или} \quad Q = CU$$

Как показывают измерения, емкость конденсатора увеличится, если увеличить поверхность обкладок или приблизить их друг к другу. На емкость конденсатора оказывает влияние также материал диэлектрика. Чем выше электрическая проницаемость диэлектрика, тем выше емкость конденсатора по сравнению с емкостью такого же конденсатора, диэлектриком в котором служит пустота (воздух).

Выбирая диэлектрик для конденсатора, нужно стремиться к тому, чтобы диэлектрик обладал большой электрической прочностью (хорошими изолирующими качествами). Плохой диэлектрик приводит к пробоем его и разряду конденсатора. Несовременный диэлектрик повлечет за собой утечку тока через него и постепенный разряд конденсатора.

Особенности соединения конденсаторов

Вид соединения	Последовательное	Параллельное
Схема соединения		
Напряжение	$U_{\text{общ}} = U_1 + U_2$	$U_{\text{общ}} = U_1 = U_2$
Заряд	$q_{\text{общ}} = q_1 = q_2$	$q_{\text{общ}} = q_1 + q_2$
Эквивалентная емкость	$\frac{1}{C_{\text{общ}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$	$C_{\text{общ}} = C_1 + C_2$

В параллельном соединении общая емкость увеличивается, т.к. площадь пластин складывается. Это удобно при зарядке, фильтрации и накоплении энергии.

В последовательном соединении емкость уменьшается – как при соединении меньших баков друг за другом. Такое соединение используется, когда нужно выдерживать более высокое напряжение.

Занятие 4

1. Расчёт цепей постоянного тока при последовательном и параллельном соединении резисторов.
2. Первый и второй законы Кирхгофа.

Расчёт цепей постоянного тока при последовательном и параллельном соединении резисторов.

Расчет цепей с резисторами базируется на законе Ома ($I=U/R$).
При *ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ* соединении (друг за другом) общее сопротивление

$$R_{\text{общ}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

ток везде будет одинаков, напряжения складываются.

$$I_{\text{общ}} = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

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

Особенность: общее сопротивление всегда больше самого большого из резисторов.

При *ПАРАЛЛЕЛЬНОМ* соединении (ветви) проводимости складываются

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_n}$$

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_1}{2}$$

Напряжение везде одинаково, а токи складываются

$$U_{\text{общ}} = U_1 = U_2 = \dots = U_n$$

$$I_{\text{общ}} = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

Особенности: общее сопротивление всегда меньше наименьшего из сопротивлений.

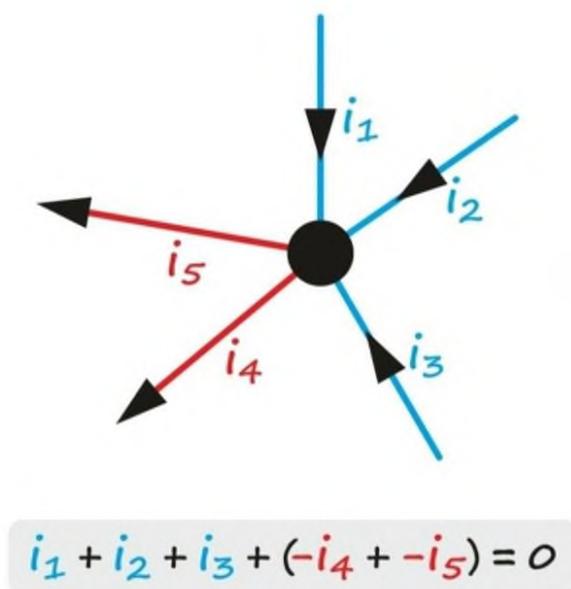
Первый и второй законы Кирхгофа.

Правила Кирхгофа – это фундаментальные законы для анализа любых электрических цепей. Они позволяют рассчитывать токи и напряжения в сложных схемах, где обычного закона Ома недостаточно.

ПЕРВОЕ ПРАВИЛО Кирхгофа гласит: алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю.

$$\sum I = 0$$

Это означает, что сумма всех токов, входящих в узел, равна сумме токов, выходящих из него. Правило основано на законе сохранения электрического заряда: заряд не исчезает и не создается в узле.



Принято считать:

- ток, входящий в узел – положительный
- ток, выходящий из узла – отрицательный

Например:

В аэропорту в распределительном щитке подключены 3 прибора через узел:

- холодильник – 2А
- освещение – 1А
- компьютер – 3А

Общий ток, проходящий с автомата – 6А

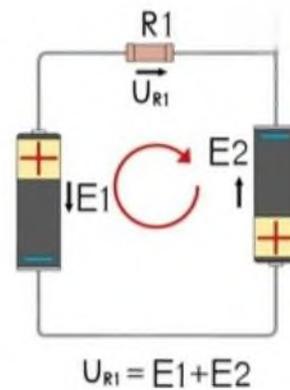
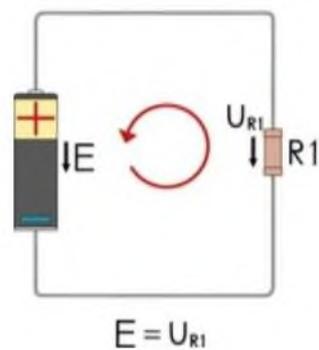
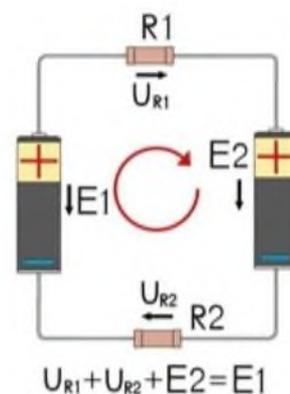
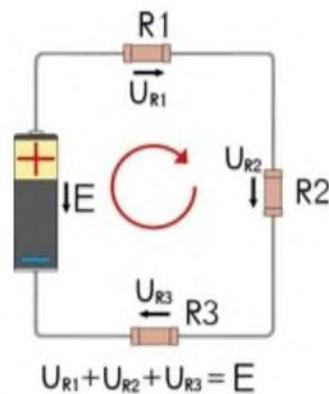
$$(2+1+3 = 6A)$$

Это правило позволяет правильно распределить нагрузку по автоматам и не перегружать линии.

ВТОРОЕ ПРАВИЛО Кирхгофа (правило контуров) гласит: алгебраическая сумма всех напряжений в замкнутом контуре равна сумме ЭДС:

$$\sum U = \sum E$$

Это значит, что вся энергия, отдаваемая источниками (батареями, аккумуляторами), полностью расходуется на падение напряжения в нагрузке и проводах.



Направление обхода контура и знаки напряжений выбираются произвольно, но единообразно:

- ЭДС по ходу обхода – положительная

- Падение напряжения в сопротивлении по ходу тока – отрицательное.

Правила Кирхгофа – это универсальный инструмент анализа любых электрических цепей. Первое правило позволяет сбалансировать токи в узлах, а второе – рассчитать напряжение по контурам.

Вместе с законом Ома эти законы дают полную картину работы цепи: от распределения тока до падения напряжения на каждом элементе.

Эти правила особенно важны при проектировании сложных схем, расчете нагрузок, подборе автоматов, балансе фаз и проверке электроснабжения.

Занятие 5

Лабораторная работа № 1.

“Измерение потери напряжения в проводах”

I. Краткие сведения из теории.

Потребители электроэнергии обычно находятся на некотором расстоянии от источников и электроэнергия к ним подводится по проводам.

Ток, протекающий по проводу, приводит к падению напряжения:

$$\Delta U = I * R_{\text{пров}} = \frac{I\rho L}{S}$$

Это падение напряжения называют также потерей напряжения в проводе.

В двух проводной линии: $\Delta U = \frac{I\rho L}{S}$

Сила тока I в проводе зависит от сопротивления нагрузки. При изменении нагрузки ΔU изменяется, а потому изменяется и напряжение на потребителях. Большие изменения напряжения нежелательны. По существующим нормам для осветительной нагрузки они должны быть в пределах $-2,5.. +5\%$ а для силовой $\pm 5\%$ (в некоторых случаях $+10\%$) по отношению к напряжению в начале линии.

II. Цель работы.

Изучить зависимость потери напряжения от нагрузки и от длины линии.

III. Оборудование.

1. Источник постоянного тока - 30В
2. Потенциометр - 1 шт. - 200 Ом
3. Амперметр - 1 шт. - (0-2)А
4. Вольтметр -- 1 шт. - (0-30)В
5. Два проводника диаметром 0,6 мм и длиной 2,5 м и 5 м (резисторы 10Е и 20Е магазина сопротивлений).
6. Провода: двухлинейные - 4 шт.

IV. Порядок выполнения работы.

1. Определить размещение приборов на столе.

2. Собрать электрическую схему цепи, изображенную на рис. 3, и предъявить ее для проверки преподавателю. Обратить внимание на полярность подключения приборов и на пределы их измерения, указанные на схеме. Начинать сборку схемы нужно от источника тока слева направо.

На измерительных приборах делать узлы нежелательно.

В качестве проводника использовать резистор 10Е.

В узловых точках схемы А, В, С и Д использовать 4 двухлинейных провода.

3. Определить цену деления приборов.

4. Установить ручку потенциометра R в среднее положение.

5. Включить автомат постоянного тока и установить силу тока 0,2А с помощью потенциометра.

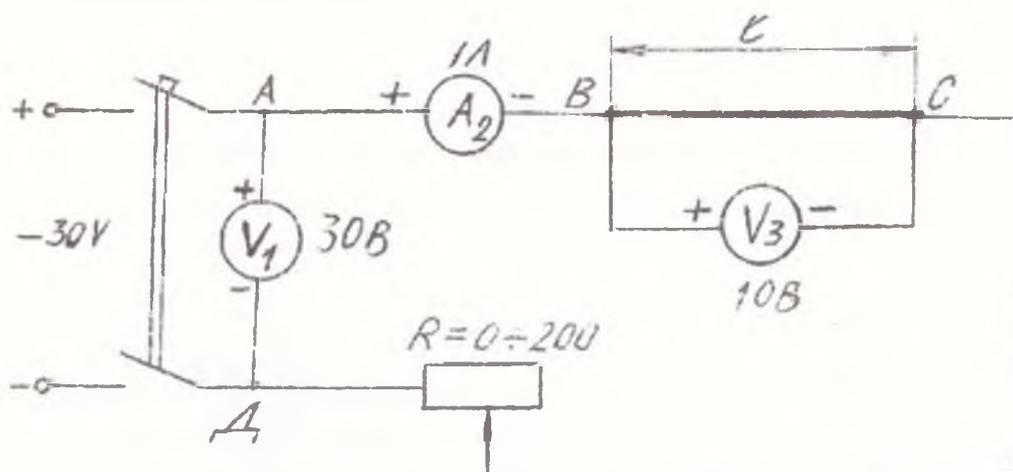


Рисунок 3 – Схема для измерения потери напряжения в проводнике

6. Записать величину потерь напряжения в таблицу 1. Выключить автомат.

7. По измеренным данным определить сопротивление проводника по формуле:

$$R_{\text{пров}} = \frac{\Delta U}{I} (\text{Ом})$$

8. Определить удельное сопротивление провода по формуле:

$$\rho = \frac{R * S}{L} \left(\frac{\text{Ом} * \text{мм}^2}{\text{м}} \right), \text{ где}$$

$$S = \pi R^2 = \frac{\pi d^2}{4} = 0.785 * d^2 (\text{мм}^2)$$

Таблица 1

№ п/п	Проводник и	Измерения			Результаты расчётов				материал провода
		I А	L м	d мм	ΔU В	S мм ²	R _{пров} Ом	ρ $\frac{\text{Ом} * \text{мм}^2}{\text{м}}$	
1	10Е	0,2	2,5	0,6					
2	10Е	0,3	2,5	0,6					
3	20Е	0,2	5	0,6					
4	20Е	0,3	5	0,6					

9. По значению ρ определить материал провода с помощью таблицы 2.

Материал	Удельное сопротивление ρ $\frac{\text{Ом} * \text{мм}^2}{\text{м}}$
Алюминий	0,029
Констант	0,40÷0,51
Медь	0,0175
Манганин	0,42
Нихром	1,1
Сталь	0,1÷0,2

10. Включить автомат и установить значение тока 0.3 А.
11. Выполнить указание пунктов 6 : 9.
12. Повторить опыт при другой длине провода (резистор 20Е) и при тех же нагрузках. Результаты записать в таблицу 1.
13. Сделать вывод.

Занятие 6

Лабораторная работа № 2

“Последовательное соединение резисторов”

I. Краткие сведения из теории.

Соединение резисторов называется последовательным, если при калинке источника питания через все резисторы проходит один и тот же ток (рис.3).

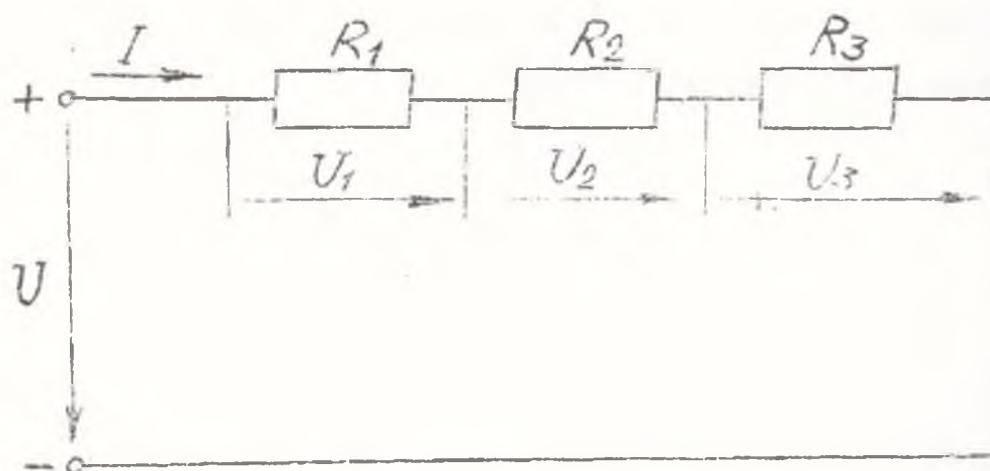


Рисунок 4 – Последовательное соединение резисторов

При последовательном соединении напряжение, приложенное к цепи, равно сумме напряжений на ее отдельных участках:

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

Общее или эквивалентное сопротивление цепи:

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

Напряжения на участках цепи прямопропорциональны их сопротивлениям:

$$U_1 : U_2 : U_3 = R_1 : R_2 : R_3$$

II. Цель работы.

Изучить основные закономерности и особенности последовательного соединения приемников электроэнергии.

III. Оборудование.

1. Источник эл. энергии постоянного тока - 30В
2. Магазины сопротивлений - 3 шт.
3. Вольтметр - 4 шт. (0 : 30)В
4. Амперметр - 1 шт. (0 : 2)А
5. Потенциометр - 1 шт.
6. Провода: 1-линейные - 1шт; 2х- линейные - 2шт; 3х- линейные - 2шт; 4х- линейные - 1 шт.

IV. Порядок выполнения работы.

1. Определить размещение приборов на столе.
2. Собрать эл. схему цепи (рис.5). Обратить внимание на полярность подключения измерительных приборов и на установленные пределы измерения.

В узловых точках схема А и В использовать двухлинейные провода, С и Д - трехлинейные, Е - четырехлинейный провод.

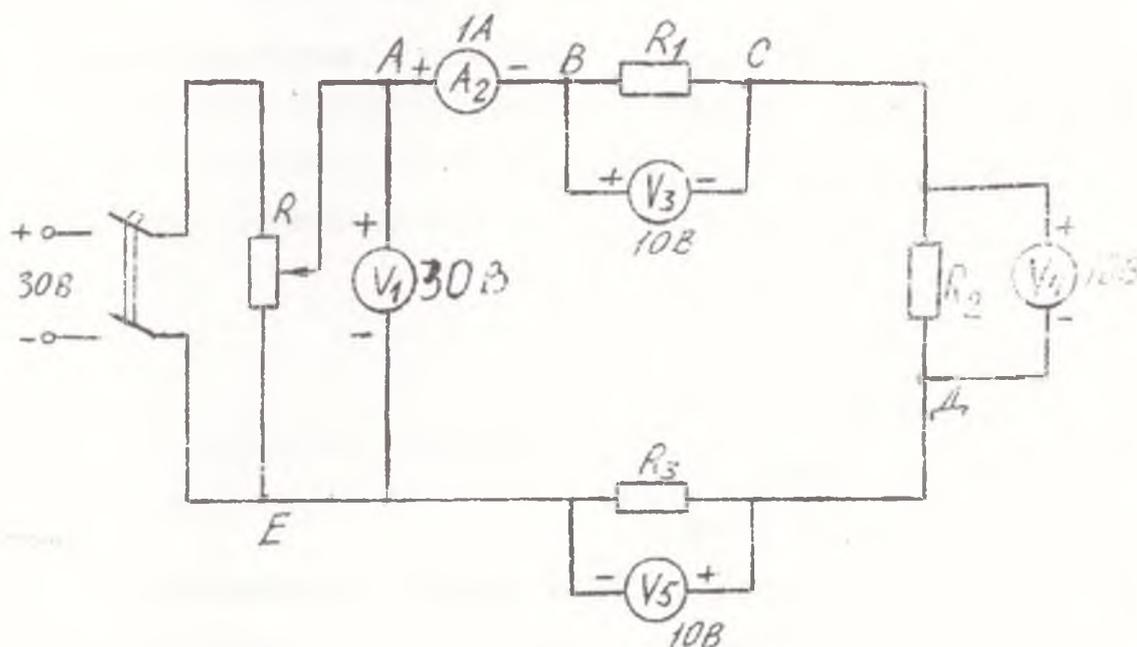


Рисунок 5 – Схема для исследования последовательного соединения резисторов

3. Определить цену деления приборов.
4. Установить параметры сопротивлений на магазинах: $R_1 = 50E$ (Ом); $R_2 = 30E$ (Ом); $R_3 = 20E$ (Ом).
5. Установить ручку потенциометра R в среднее положение.
6. Предъявить схему для проверки преподавателю.
7. Включить автомат постоянного тока и установить при помощи потенциометра напряжение на зажимах цепи 12В.
8. Записать показания приборов в таблицу 3.

Таблица 3

№ п\п	Участок цепи	U	I	P	R
		В	А	Вт	Ом
1	Резистор R1				
2	Резистор R2				
3	Резистор R3				
4	Вся цепь				

9. Определить сопротивление каждого участка и всей цепи по формуле:

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

10. Определить мощность, потребляемую каждым резистором и всей цепью по формуле: $P = I^2 * R$

Результаты записать в таблицу 3.

11. Убедитесь, что

$$U_{\text{ц}} = U_1 + U_2 + U_3$$

$$R_{\text{ц}} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$P_{\text{ц}} = P_1 + P_2 + P_3$$

V. Контрольные вопросы.

1. Какое соединение резисторов называют последовательным?
2. На каком из резисторов создается наибольшее падение напряжения?
3. Как изменятся показания всех приборов схемы на рис.5, если R_1 уменьшить (при неизменном напряжении на зажимах цепи).

Занятие 7

Лабораторная работа № 3.

“Параллельное соединение резисторов”

I. Краткие сведения из теории.

Соединение резисторов называется параллельным, если они присоединены к одной и той же паре узлов электрической цепи, т.е. находятся под действием одного и того же напряжения (рис.6).

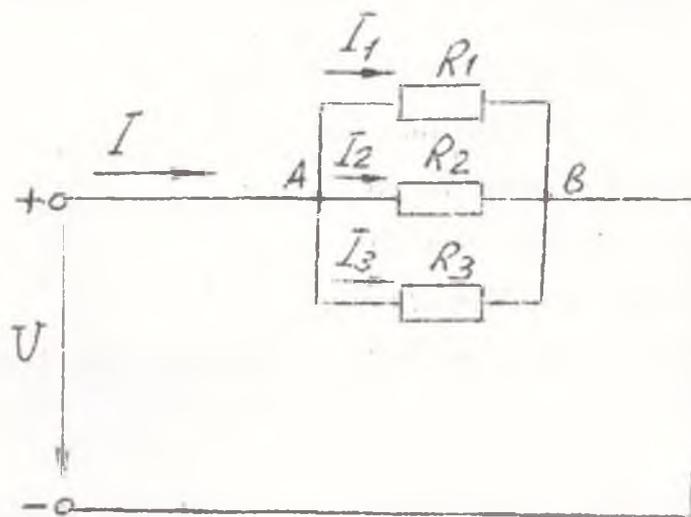


Рисунок 6 – Параллельное соединение резисторов

Ток в неразветвленной части цепи равен сумме токов в параллельно соединенных резисторах: $I = I_1 + I_2 + I_3$

Общее сопротивление цепи определяется по формуле:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Если соединить параллельно n приемников с одинаковыми сопротивлениями, то:

$$R = \frac{R_1}{n}$$

Токи в параллельных ветвях обратно пропорциональны их сопротивлениям:

$$I_1 : I_2 : I_3 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3} = G_1 : G_2 : G_3$$

II. Цель работы

Изучить особенности параллельного соединения приемников электроэнергии.

III. Оборудование

1. Источник эл. постоянного тока – 30В
2. Магазин сопротивлений – 3 шт.
3. Вольтметр - 1 шт, (0 : 30)В
4. Амперметр - 4 шт, (0 : 2)А
5. Потенциометр - 200 Ом
6. Провода: 1-линейные - 4 шт; 2- линейные -1 шт; 3- линейные - 1 шт; 5- линейные - 1 шт.

IV. Порядок выполнения работы

1. Определить размещение приборов на столе.
2. Собрать эл. схему цепи, изображенную на рис.7.
В узле А использовать двухлинейный провод, В - трехлинейный, С – пятилинейный.
3. Определить цену деления приборов, исходя из установленных пределов измерения.
4. Установить параметры сопротивлений на магазинах: $R_1 = K10$; $R_2 = 50E$; $R_3 = 30E$.
5. Установить ручку потенциометра R в среднее положение.
6. Предъявить собранную схему для проверки преподавателю.

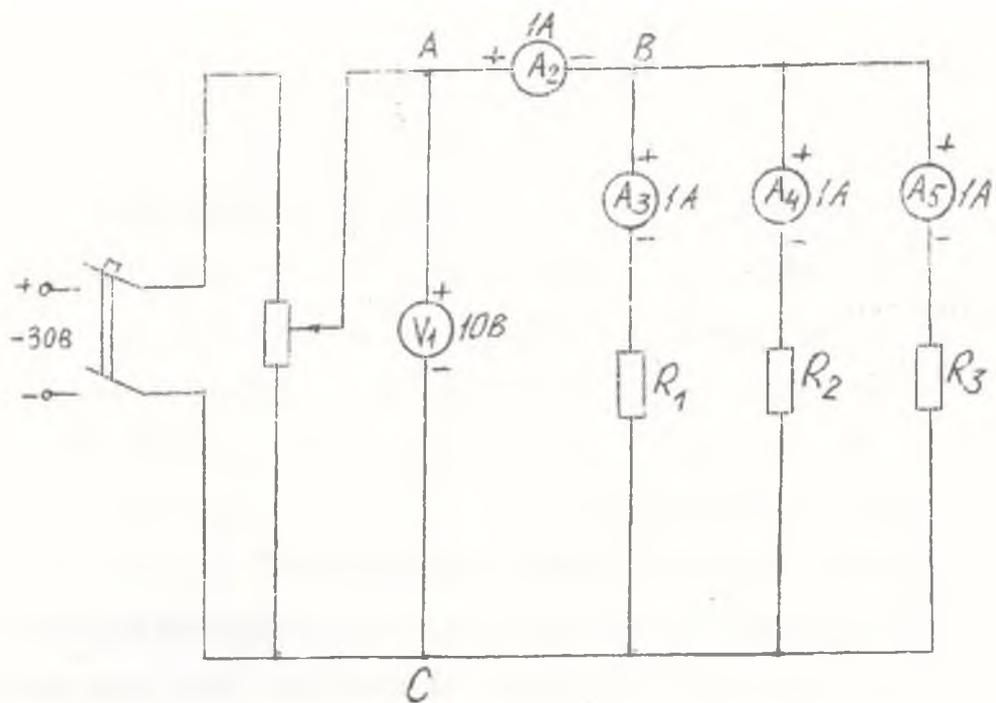


Рисунок 7 - Схема для исследования параллельного соединения резисторов

7. Включить автомат и установить потенциометром напряжение на зажимах цепи равным 5В.

8. Записать показания приборов в таблицу 4.

Таблица 4

№ п\п	Участок цепи	U	I	P	R	G
		В	А	Вт	Ом	См
1	Резистор R1					
2	Резистор R2					
3	Резистор R3					
4	Вся цепь					

9. Определить сопротивление резисторов и всей цепи по формуле:

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

10. Определить проводимость каждой ветви и всей цепи по формуле:

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

11. Определить мощность, потребляемую всей цепью и каждым резистором в отдельности по формуле $P = U \cdot I$

Результаты записать в таблицу 4.

12. Убедиться, что $I = I_1 + I_2 + I_3$; $G = G_1 + G_2 + G_3$

Тема 1.2. Электромагнетизм

Занятие 8

1. Основные свойства и характеристики магнитного поля. Магнитная индукция, магнитный поток, потокосцепление.
2. Электромагнитная индукция. ЭДС в проводнике, движущемся в магнитном поле.
3. Индуктивность. ЭДС самоиндукции. ЭДС взаимной индукции.

Основные свойства и характеристики магнитного поля. Магнитная индукция, магнитный поток, потокосцепление.

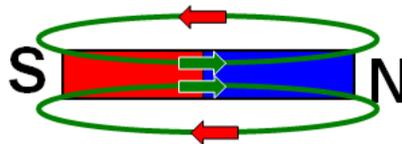
Магнитное поле – особый вид материи, который образуется:

1. Вокруг магнитов;
2. Вокруг движущихся электрических зарядов, т.е. проводников с током;
3. При изменении электрического поля.

Всякое изменение электрического поля образует магнитное поле и наоборот, изменение магнитного поля порождает электрическое. Такое взаимодействие полей называется *ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ*.

Магнитное поле обозначается силовыми линиями, эти линии:

1. Всегда замкнуты;
2. Располагаются не только снаружи, но и внутри источника;
3. Внутри они направлены от S к N;
4. Снаружи от N к S.



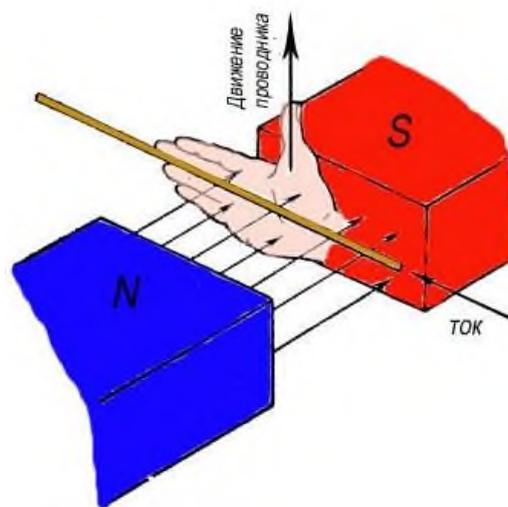
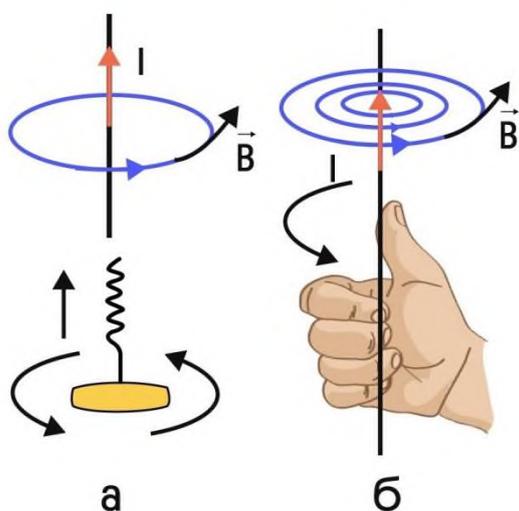
Чтобы показать направление тока в проводнике, изображенном в разрезе, принято условное обозначение. Если мысленно поместить в проводник стрелу по направлению тока, то в проводнике, ток, в котором

направлен от нас, мы увидим хвост оперения стрелы (крестик); если же ток направлен к нам, мы увидим острые стрелы (точку).



ПРАВИЛО ПРАВОЙ РУКИ

Правило правой руки (или правило буравчика) используется в физике для определения направления линий магнитного поля (\vec{B}) вокруг прямого проводника с током или внутри соленоида (катушки). Большой палец правой руки направляется по току (I), а четыре согнутых пальца указывают направление вращения магнитного поля.



Характеристики магнитного поля:

1. Магнитная индукция – векторная физическая величина, которая является силовой характеристикой магнитного поля. Она показывает, с какой силой поле действует на движущийся заряд или проводник с током в данной точке. Обозначается – (B), измеряется в (теслах) - [Тл].

Формула через силу Ампера:

$$B = \frac{F_{max}}{I \cdot l}$$

F – сила, действующая на проводник,

I – сила тока

l – длина проводника

2. Магнитный поток – физическая величина, которая показывает «количество» магнитного поля, проходящего сквозь определенную поверхность (например, проволочный контур). Обозначается – (Φ) , Измеряется в (веберах) - [Вб].

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos(\alpha)$$

3. Потокосцепление – это суммарный магнитный поток, пронизывающий все витки катушки или проводящего контура. Обозначается – (Ψ) , измеряется в (веберах) — [Вб].

Если магнитный поток через один виток равен Φ , а количество витков в катушке – N , то потокосцепление вычисляется по формуле:

$$\Psi = N \cdot \Phi$$

Для катушки с индуктивностью L потокосцепление пропорционально току I

$$\Psi = L \cdot I$$

Электромагнитная индукция. ЭДС в проводнике, движущемся в магнитном поле.

Электромагнитная индукция – это явление возникновения электрического тока в замкнутом проводнике при изменении магнитного поля, которое его пронизывает.

Проще говоря: если двигать магнит рядом с проводом (или наоборот), в проводе «рождается» электричество.

Чтобы ток появился, поле должно меняться. Это можно сделать тремя способами:

- 1) двигать магнит относительно катушки
- 2) включать/выключать ток в соседнем проводе
- 3) вращать сам контур в магнитном поле.

Изменение поля создает электродвижущую силу (ЭДС), которая и заставляет заряды двигаться.

Значение индуцированной ЭДС определяется законом Фарадея:

«Величина ЭДС прямо пропорциональна скорости изменения магнитного потока. Чем быстрее меняется поле, тем сильнее ток».

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

Где:

E – ЭДС индукции (В)

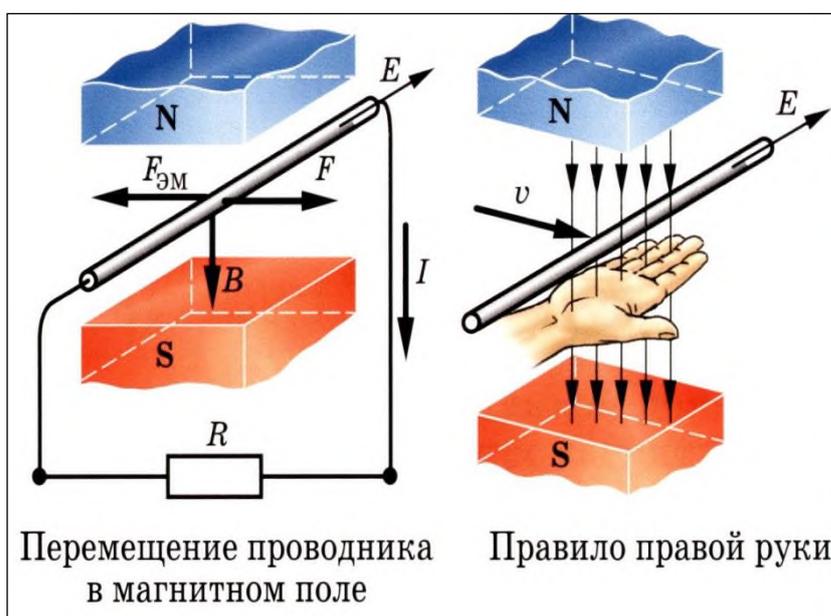
$\Delta\Phi$ – изменение магнитного потока (Вб)

Δt – промежуток времени

Знак «минус» отражает *ПРАВИЛО Ленца* (противодействие изменению поля): «Индуктированный ток всегда направлен так, чтобы своим магнитным полем противодействовать причине, его вызвавшей (своеобразная «инерция» в электромагнетизме)».

Направление ЭДС определяется по *ПРАВИЛУ правой руки*:

«Расположите ладонь правой руки так, чтобы магнитные линии входили в нее, а большой палец указывал на движение проводника – тогда четыре прямых пальца покажут направление ЭДС».



Индуктивность. ЭДС самоиндукции. ЭДС взаимной индукции.

Индуктивность – физическая величина, характеризующая способность проводника или катушки накапливать магнитную энергию и противодействовать изменению протекающего через них тока. Измеряется в Генри (Гн), обозначается – (L).

ЭДС самоиндукции – это возникновение напряжения в проводнике при изменении силы тока, протекающего через него же.

Т.е., когда ток в катушке меняется, меняется и создаваемое им магнитное поле. Это поле пронизывает ту же самую катушку и создает в ней «ответный» ток.

ЭДС самоиндукции всегда направлена против причины, ее вызвавшей (Закон Ленца). Если ток растет – она мешает ему расти, если падает – мешает падать (поддерживает его).

ЭДС взаимной индукции – это явление возникновения электродвижущей силы (ЭДС) в одном проводнике (контуре) при изменении силы тока в другом проводнике.

Т.е., когда по первому контуру течет переменный ток I_1 , он создает вокруг себя переменное магнитное поле. Часть магнитных линий этого поля пронизывает второй контур, создавая в нем магнитный поток Φ_{21} . Если ток изменяется I_1 , то изменяется и поток Φ_{21} . Согласно закону Фарадея, это изменение наводит во втором контуре ЭДС.

Это фундаментальный принцип, на котором основана работа трансформаторов, беспроводных зарядок и многих других устройств.

Занятие 9

1. Электромагнитные силы.
2. Магнитные свойства материалов.
3. Применение электромагнитных устройств на ЛА.

Электромагнитные силы.

Электромагнитные силы – это фундаментальное физическое взаимодействие между электрически заряженными частицами, осуществляемое через электромагнитное поле. Они действуют на расстоянии, притягивая или отталкивая частицы, и лежат в основе структуры вещества, трения, упругости, а также работы электродвигателей. Включают Кулоновские силы (между зарядами), магнитные силы (между токами) и силу Лоренца (на движущийся заряд).

ЗАКОН Кулона – описывает, с какой силой два неподвижных точечных заряда притягиваются или отталкиваются в вакууме.

$$F = \frac{k * (|q1| * |q2|)}{r^2}$$

Где:

F – сила взаимодействия между зарядами,

q1 и q2 – величины зарядов,

r – расстояние между зарядами,

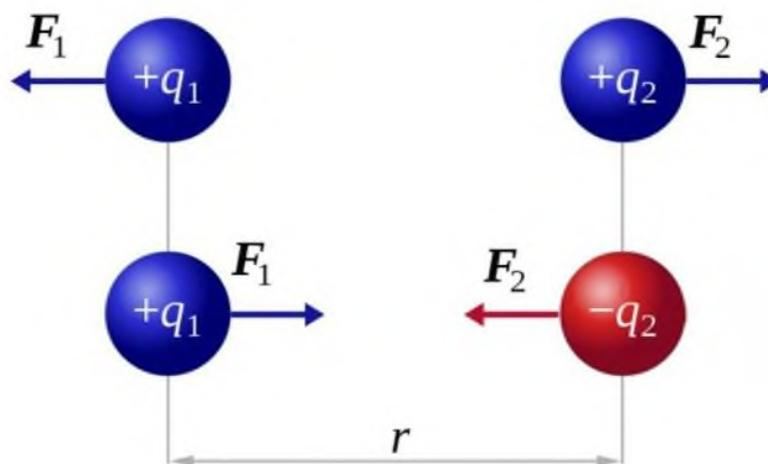
k – постоянная пропорциональности, называемая постоянной Кулона.

Суть *ЗАКОНА* простыми словами:

1) зависимость от заряда: чем больше «мощность» зарядов, тем сильнее они тянутся друг к другу или отталкиваются.

2) зависимость от расстояния: сила слабеет очень быстро при отдалении – если увеличить расстояние в 2 раза, сила упадет в 4 раза (обратно пропорциональна квадрату расстояния).

3) направление: одноименные заряды (+ и + или – и –) отталкиваются, а разноименные – притягиваются. Сила всегда направлена вдоль прямой, соединяющей центры зарядов.



$$|\mathbf{F}_1| = |\mathbf{F}_2| = k_e \frac{|q_1 \times q_2|}{r^2}$$

Закон работает только для точечных зарядов (размеры которых намного меньше расстояния между ними) и только если они неподвижны.

Магнитные свойства материалов.

Магнитные свойства материалов – это способность веществ намагничиваться во внешнем поле.

Материалы делятся на диамагнетики (слабо отталкиваются), парамагнетики (слабо притягиваются) и ферромагнетики (сильно намагничиваются).

Основные характеристики:

1) магнитная восприимчивость (χ): связь между намагниченностью (M) и полем (H)

2) Магнитная проницаемость (μ): способность материала проводить магнитные силовые линии.

3) Гистерезис: отставание намагниченности от изменения поля, образующее петлю.

Применение электромагнитных устройств на ЛА.

Электромагнитные устройства широко используются на ЛА. К примеру, электромагнитное устройство для автоматического управления элеронами самолета, электромагнитная система торможения (самолет Су-33), электромагнитные катапульты.

Занятие 10

Лабораторная работа № 4

“Исследование явления взаимной индукции”

I. Краткие сведения из теории

Явление наведения э.д.с. в каком-либо контуре (катушке) при изменении тока в другом контуре (катушке) называют взаимной индукцией. Это явление отражает взаимную связь двух проводящих контуров, сцепленных общим магнитным потоком.

Ток i_1 протекающий по первой катушке, вызывает магнитный поток, часть которого Φ_{12} пронизывает витки второй катушки, образуя потокосцепление взаимной индукции, $\psi_{12} = W_2 * \Phi_{12}$ где W_2 — число витков второй катушки.

В свою очередь ток i_2 , протекающий по второй катушке, вызывает магнитный поток, часть которого ψ_{21} пронизывает витки первой обмотки, образуя потоко-сцепление взаимной индукции $\psi_{21} = W_1 * \Phi_{21}$ где W_1 - число витков первой катушки. Потокосцепление первой катушки $\psi_{12} = M_{12} * i_2$ второй $\psi_{21} = M_{21} * i_1$ где M_{12} , M_{21} - коэффициенты пропорциональности между соответствующими потокосцеплениями и токами катушек.

$M_{12} = M_{21} = M$, а коэффициент M называют взаимной индуктивностью катушек (контуров).

Взаимная индуктивность имеет ту же размерность, что и индуктивность, т.е. генри.

Взаимная индуктивность M зависит от взаимного расположения катушек (контуров), числа их витков, геометрических размеров и магнитной проницаемости соединяющих их магнитопроводов.

Изменение тока в первой катушке вызывает потокосцепления взаимной индукции ψ_{12} , в результате чего во второй катушке, согласно закону электромагнитной индукции, наводится э.д.с. взаимной индукции.

$$e_2 = - \frac{d\psi_{12}}{dt} = -M \frac{di_1}{dt}$$

Изменение тока во второй катушке обуславливает изменение потокосцепления ДА и индуктирование э.д.с. взаимной индукции в первой катушке

$$e_1 = -\frac{d\Psi_{21}}{dt} = -M \frac{di_2}{dt}$$

Таким образом, э.д.с. взаимной индукции в данной катушке пропорциональна скорости изменения тока в другой катушке, магнитосвязанной с данной.

Взаимная индуктивность двух катушек M связана с индуктивностью этих катушек L_1 и L_2 выражением $M = K\sqrt{L_1 * L_2}$, где K — коэффициент связи двух магнитосвязанных контуров (зависит от взаимного расположения катушек и всегда меньше единицы).

II. Цель работы

Наблюдение явления взаимной индукции и расчет взаимной индуктивности катушек.

III. Оборудование

1. Источник эл. энергии переменного тока – 30В (клеммы А и 0 на четвертом блоке),
2. Амперметр - 1 шт. (0: 2)А
3. Вольтметр - 1 шт. (0: 100)В
4. Катушки - 2 шт.
5. Потенциометр.
6. Провода: 1-линейный - 5 шт; 2-линейный - 1 шт.

IV. Порядок выполнения работы

1. Определить размещение приборов на столе,
2. Собрать эл. схему цепи, изображенную на рис.8.
3. При сборке схемы в точке Д применять двухлинейный провод.

4. Ручку потенциометра R установить в среднее положение.
5. Определить цену деления приборов.
6. Представить собранную схему для проверки преподавателю.

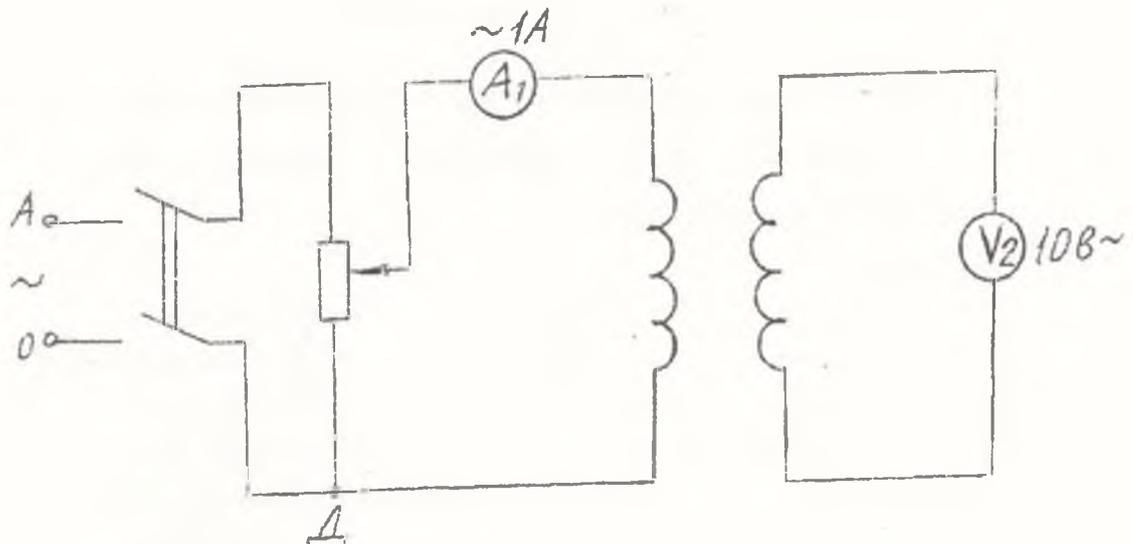


Рисунок 8 – Схема электрической цепи для изучения взаимной индукции

7. Включить автомат и установить в первой катушке силу тока 0,2 А. Катушки расположить так, как показано на рис.9.

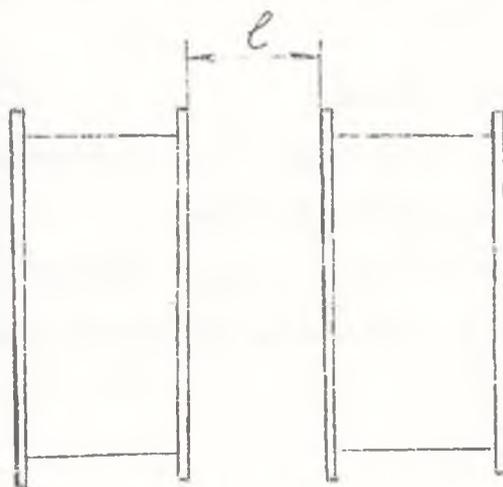


Рисунок 9 – Взаимное расположение катушек

8. Записать в таблицу 5 показание вольтметра V2 при значении ($L=0$ и $L=1\text{см}$).

9. Снять те же показания при силе тока $I_1 = 0,4$ А.

10. Для всех опытов рассчитать взаимную индуктивность катушек по формуле:

$$M = \frac{U_2}{2\pi f I_1}, \text{ где } f - 50\text{Гц}$$

11. Пронаблюдать явление взаимной индукции при других положениях катушек и опытным путем проверить, в каком случае взаимная индуктивность будет наибольшей.

Таблица 5.

№ п/п	L м	U ₂ В	I ₁ А	M Гн

12. Пронаблюдать изменение э.д.с. взаимоиндукции при внесении в катушки стального сердечника.

13. Сделать выводы.

V. Контрольные вопросы

1. В чем заключается сущность явления взаимной индукции?
2. Что такое взаимная индуктивность?
3. От чего зависит взаимная индуктивность?
4. Изменится ли взаимная индуктивность, если в схеме рис.8 поменять катушки местами?

Тема 1.3 Однофазные электрические цепи переменного тока

Занятие 11

1. Переменный ток: определение, период, частота, мгновенное значение, амплитудное и действующее значение.
2. Получение синусоидальной ЭДС.
3. Фаза, начальная фаза, сдвиг фаз.

Переменный ток: определение, период, частота, мгновенное значение, амплитудное и действующее значение.

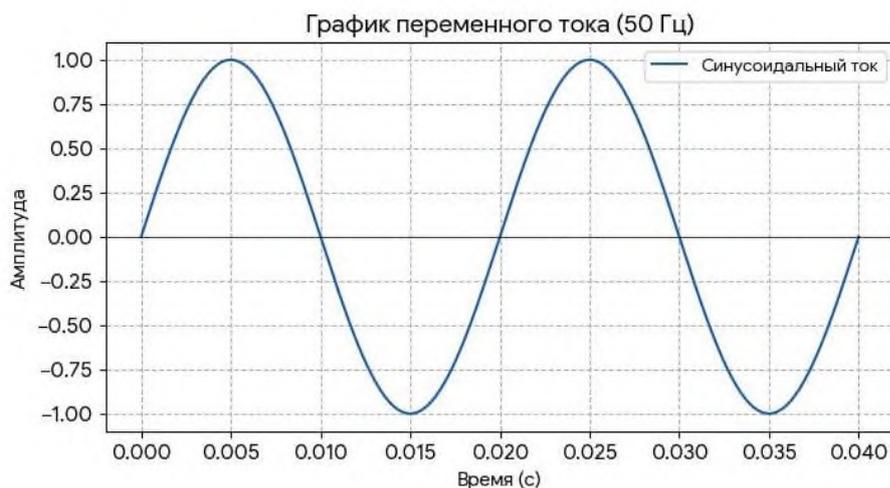
Переменный ток (АС) – это электрический ток, который периодически изменяется по величине и направлению. Чаще всего под этим понимается синусоидальный ток. В отличие от постоянного тока, который течет в одну сторону, электроны в переменном токе совершают колебательные движения

Основные характеристики, описывающие переменный ток:

- 1) Период (Т) – это время, за которое ток совершает одно полное колебание (измеряется в секундах, с).
- 2) Частота (f) – число полных колебаний в одну секунду. Величина обратная периоду (измеряется в Герцах, Гц).

$$f = \frac{1}{T}$$

- 3) Амплитуда (Мгновенное значение) (I_m) – максимальное по модулю значение тока за период (пик волны)
- 4) Действующее (эффективное) значение (I) – это значение постоянного тока, который за то же время выделит в проводнике столько же тепла, сколько и данный переменный ток. Именно его показывают вольтметры и амперметры



Преимущество и применение:

- Эффективная передача: переменный ток легко трансформировать (повышать или понижать напряжение с помощью трансформаторов), что позволяет передавать электроэнергию на огромные расстояния с минимальными потерями.
- Простота генерации: большинство электростанций используют вращающиеся магнитные поля, которые естественным образом создают именно переменный ток.
- Повсеместность: именно переменный ток используется в бытовых электросетях и промышленности для питания электродвигателей.

Получение синусоидальной ЭДС.

Синусоидальная ЭДС получается в результате электромагнитной индукции. Самый простой способ – вращение проволочной рамки в однородном магнитном поле.

Работает это следующим образом: Когда рамка вращается, меняется угол между ее плоскостью и линиями магнитного поля. Из-за этого меняется магнитный поток (Φ), пронизывающий рамку. По закону Фарадея изменение потока во времени создает в рамке ЭДС индукции

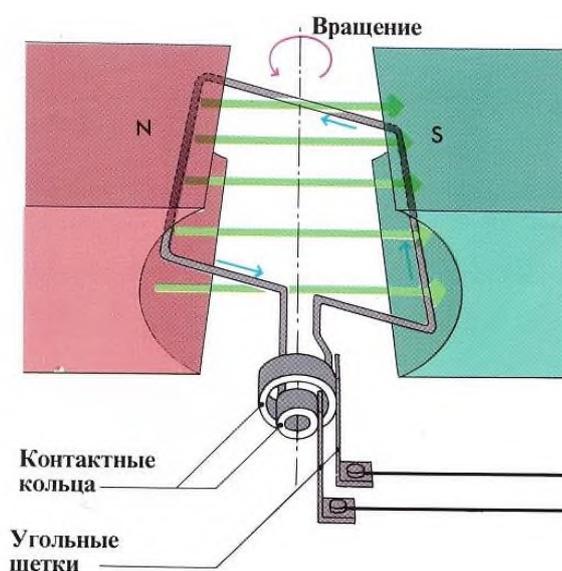
$$E = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Если рамка вращается с постоянной угловой скоростью ω , то мгновенное значение ЭДС описывается уравнением

$$e(t) = E_m \cdot \sin(\omega t),$$

где E_m – максимальное (амплитудное) значение.

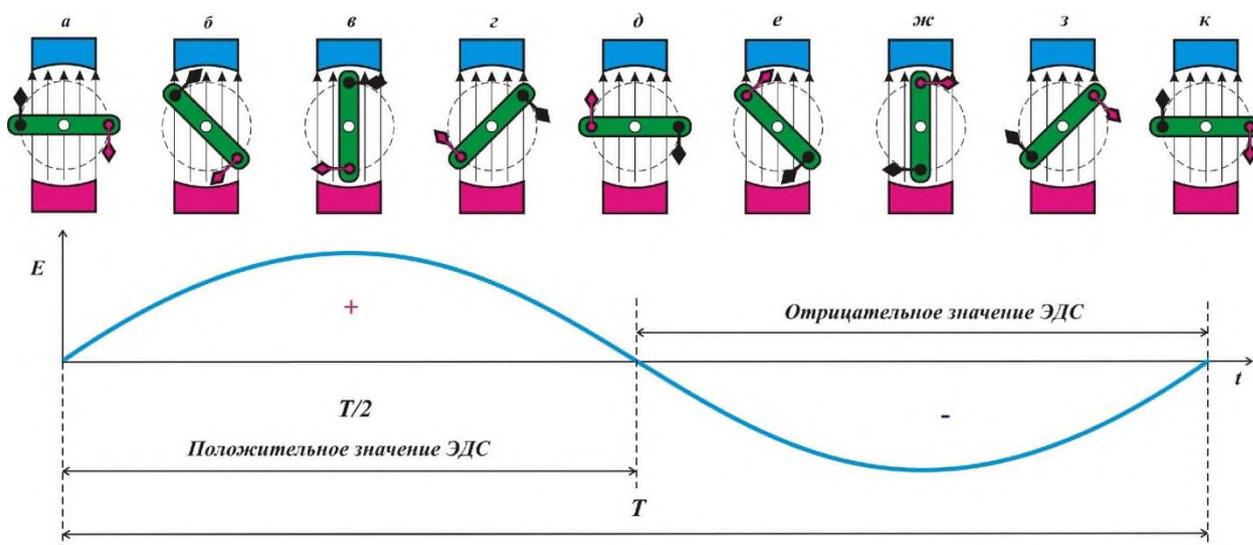
Для наглядного объяснения процесса получения синусоидальной ЭДС используются схемы вращающейся рамки в магнитном поле и соответствующие графики изменения напряжения.



В зависимости от угла поворота рамки относительно магнитных линий, меняется скорость «пересечения» этих линий проводником:

- 1) Когда рамка параллельна линиям поля, ЭДС максимальна (проводники режут поле под прямым углом)
- 2) когда рамка перпендикулярна линиям, ЭДС равна нулю (проводники скользят вдоль линий).

Каждому моменту соответствует точка на синусоиде. Полный оборот рамки (360°) формирует один полный период переменного тока.



Этот принцип лежит в основе работы синхронных генераторов на электростанциях (ТЭС, ГЭС, АЭС).

В реальности чаще вращают не рамку (обмотку), а ротор (мощный электромагнит).

Неподвижная часть (статор) содержит обмотки, в которых за счет вращения магнитного поля ротора «наводится» тот самый синусоидальный ток.

Причина выбора именно синусоиды в том, что синусоидальная форма наиболее «чистая» и удобная для техники:

- она сохраняет свою форму при прохождении через трансформаторы, конденсаторы и катушки индуктивности.
- обеспечивает плавную работу электродвигателей без лишних вибраций и рывков.

Фаза, начальная фаза, сдвиг фаз.

В электротехнике состояние колебательного процесса (например, звуковой волны или переменного тока) в конкретный момент времени описывают такие термины, как: фаза, начальная фаза и сдвиг фаз.

Фаза – это текущее «положение» волны. Она показывает, в какой точке цикла находится колебание: в пике, в нижней точке или в нуле. Измеряется в градусах или радианах.

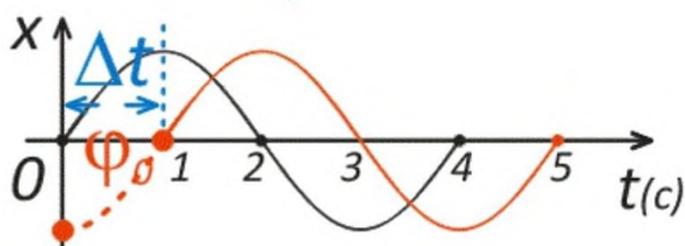
Начальная фаза – это состояние волны в самый первый момент времени ($t = 0$). Она определяет, откуда «стартует» график: из нуля, из максимума или с какой-то промежуточной точки.

Сдвиг фаз – это разница между фазами двух колебаний одинаковой частоты:

- если они совпадают, говорят, что они в фазе (усиливают друг друга).
- если пик одной приходится на спад другой, это противофаза (гасят друг друга).
- если одно колебание отстает от другого, говорят о «запаздывании по фазе».

Сдвиг фаз – одно из самых важных значений в электротехнике. Он возникает, когда в цепь включают катушку индуктивности или конденсатор:

- на катушке: ток «тормозит» и начинает отставать от напряжения.
- на конденсаторе: ток, наоборот, «вырывается вперед» и опережает напряжение.



Представьте двух людей на качелях. Фаза – это то, где качели «сейчас». Начальная фаза – это то, где они были, когда вы запустили секундомер. Сдвиг фаз – это расстояние между качелями первого и второго человека.

Занятие 12

1. Особенности цепей переменного тока
2. Цепь с активным сопротивлением
3. Цепь переменного тока с индуктивностью
4. Цепь переменного тока с емкостью.

Особенности цепей переменного тока.

В цепи постоянного тока при неизменном напряжении источника питания и параметрах цепи остаются постоянными: ток, мощность и энергия электрического и магнитного полей.

Явления, происходящие в цепях переменного тока, существенно отличаются от процессов постоянного тока.

При переменном напряжении на зажимах цепи изменяются электрическое поле и его энергия, а в цепи происходит переменный ток. Магнитное поле этого тока и запасенная в нем энергия также изменяются, и в цепи возникает Э.Д.С. самоиндукции. Изменяется и мощность цепи, характеризующая скорость преобразования электрической энергии в тепловую.

Электрическая цепь, в которой происходит преобразование электрической энергии в тепловую и, в которой происходит изменение энергии электрического и магнитного полей, характеризуется тремя параметрами: сопротивлением r , емкостью C , индуктивностью L .

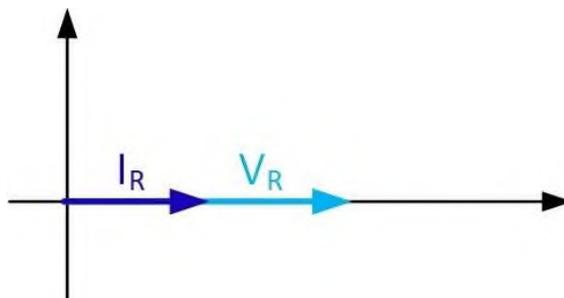
Цепь с активным сопротивлением

В цепи переменного тока с активным сопротивлением (например, лампа накаливания, обогреватель, резистор) вся электрическая энергия необратимо превращается в тепло.

Главные особенности, которые необходимо знать:

1) Фазы совпадают: ток и напряжение изменяются одновременно.

Когда напряжение на максимуме, то тоже на максимуме. Между ними нет никакой задержки (фазовый сдвиг $\phi = 0$).



2) В этом случае, так же, как и в цепях постоянного тока, работает закон Ома: $I = U/R$

3) Потребляется только активная мощность ($P = U \cdot I$). Она всегда положительна, то есть энергия идет только от источника к нагрузке и не возвращается обратно.

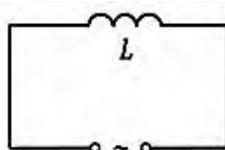
4) В отличие от катушек или конденсаторов, обычный резистор не создает «помех» в виде реактивного сопротивления.

Активное сопротивление обозначается буквой R, а на чертеже прямоугольником.



Цепь переменного тока с индуктивностью

Цепь с индуктивностью (обычно это катушка) – это классический элемент электроники, главная фишка которого в инерции (ток в катушке всегда «опаздывает»). Она сопротивляется любым изменениям силы тока.



Основные моменты, которые необходимо знать:

1) Накопление энергии: Катушка запасает энергию в виде магнитного поля, когда через нее течет ток.

2) По закону Ленца: если вы попытаетесь резко выключить ток, катушка создаст всплеск напряжения (ЭДС самоиндукции), чтобы поддержать его течение. Именно поэтому при выдергивании вилки из розетки иногда проскакивает искра.

3) В цепи переменного тока индуктивность создает сопротивление (реактивное), которое растет вместе с частотой. Проще говоря: постоянный ток она пропускает легко, а высокочастотный «тормозит».

4) Индуктивное сопротивление (X_L): катушка сопротивляется переменному току не за счет нагрева (как резистор), а за счет создания ЭДС самоиндукции. Это сопротивление называется реактивным

$$X_L = \omega L = 2\pi fL$$

Где ω – циклическая частота,

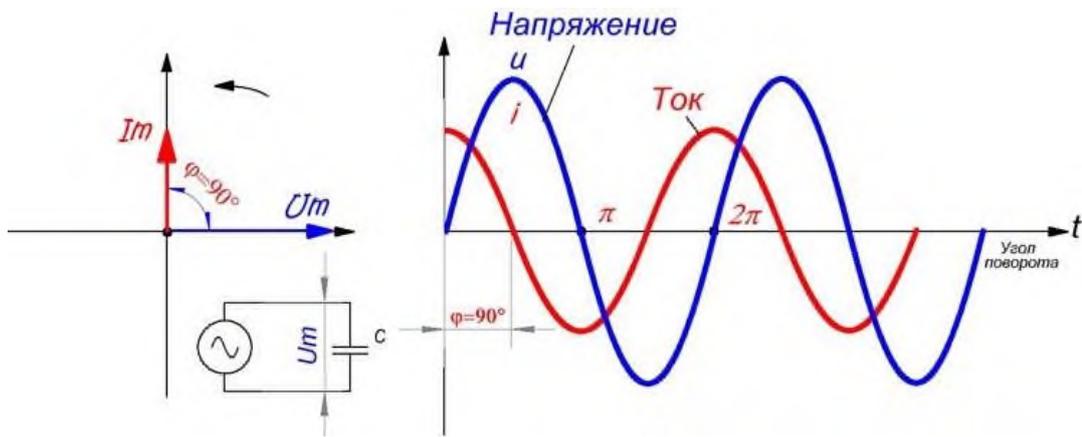
f – частота в Герцах, Гц

L – индуктивность в Генри, Гн

Чем выше частота тока или больше индуктивность, тем сильнее катушка «тормозит» ток.

5) Сдвиг фаз: ток в такой цепи всегда отстает от напряжения. Напряжение опережает тока на 90° . Пока поле строится, ток «раскачивается» с задержкой.

6) Реактивная мощность: в идеальной катушке энергия не расходуется безвозвратно: половину периода катушка запасает энергию в магнитном поле, вторую половину периода она возвращает ее обратно в источник. Активная мощность (которая греет) равна нулю.



Этот вид цепи встречается в блоках питания (фильтры), радиоприемниках (настройка частоты) и электродвигателях.

Цепь переменного тока с емкостью.

Если в цепь постоянного тока включить конденсатор (идеальный – без потерь), то в течение очень короткого времени после включения по цепи потечет зарядный ток, и после того как конденсатор зарядится до напряжения, соответствующего напряжению источника, кратковременный ток в цепи прекратится. Следовательно, для постоянного тока конденсатор представляет разрыв цепи или бесконечно большое сопротивление.

Если же конденсатор включить в цепь переменного тока, то он будет заряжаться попеременно то в одном, то в другом направлении.

При этом в цепи будет проходить переменный ток. Рассмотрим это явление.

В момент включения напряжения на конденсаторе равно нулю. Если включить конденсатор к переменному напряжению сети, то в течение первой четверти периода, когда напряжение сети будет возрастать, конденсатор будет заряжаться.

По мере накопления зарядов на обкладках конденсатора напряжение конденсатора увеличивается. Когда напряжение сети к концу первой

четверти перехода достигнет максимума, заряд конденсатора прекращается, и ток в цепи становится равным нулю.

Во вторую четверть периода напряжение цепи будет уменьшаться, и конденсатор начнет разряжаться. Ток в цепи меняет напряжение на обратное. В следующую половину периода напряжение сети меняет свое направление и наступает перезаряд конденсатора.

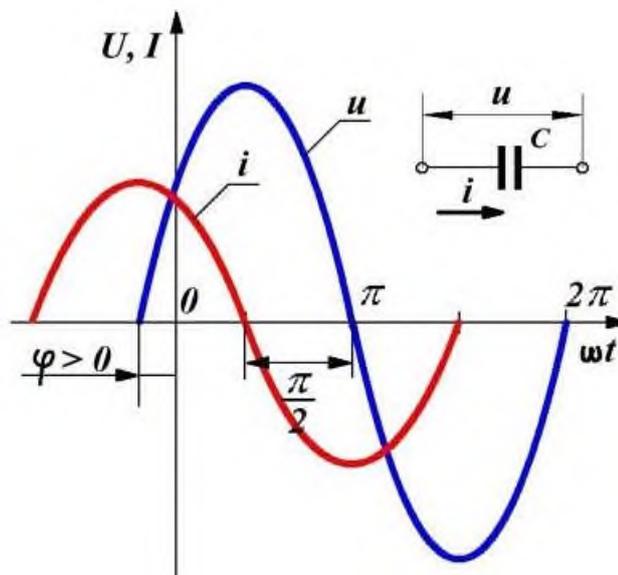
Основные особенности такой цепи:

1) Емкостное сопротивление (X_C): конденсатор сопротивляется току, но не преобразует энергию в тепло (как резистор), а запасает ее в электрическом поле.

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

Чем выше частота, тем меньше сопротивление.

2) Сдвиг фаз: ток и напряжение «не дружат» по времени. В чисто емкостной цепи ток опережает напряжение на 90° (или на $\pi/2$). Сначала течет максимальный ток зарядки, и только потом нарастает напряжение.



3) Закон Ома: для действующих значений он сохраняется

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

4) Мощность: активная мощность (которая совершает работу) здесь равна нулю. Энергия просто циркулирует туда-обратно между источником и конденсатором. Это называется реактивной мощностью.

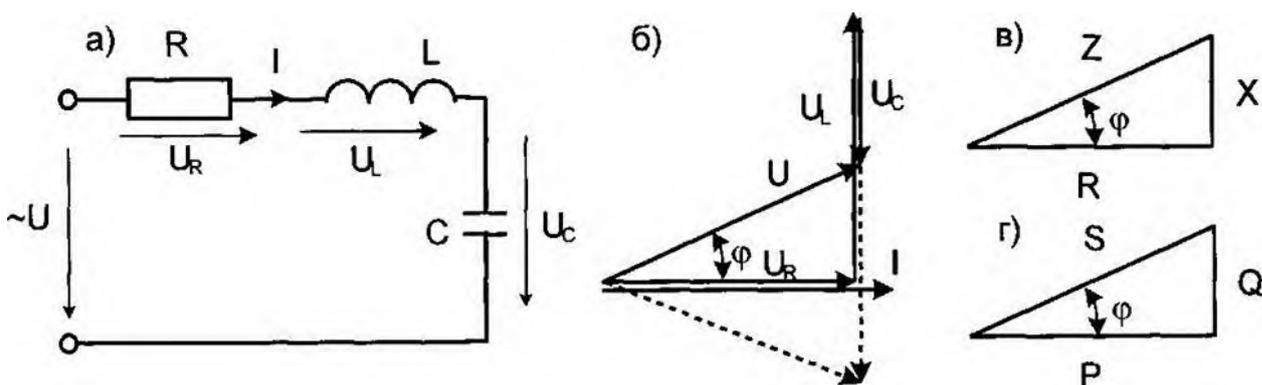
Занятие 13

1. Неразветвленная цепь с активным сопротивлением, индуктивностью и емкостью.
2. Резонанс напряжений.

Неразветвленная цепь с активным сопротивлением, индуктивностью и емкостью.

Это описание последовательного колебательного контура (RLC – цепи). В такой цепи все элементы соединены друг за другом, поэтому через них течет один и тот же ток.

Основные характеристики данной цепи:



1) Общее сопротивление (импеданс): обозначается – (Z).

Оно складывается из активного сопротивления R и реактивного сопротивления X (разность между индуктивным X_L и емкостным X_C).

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

2) Сдвиг фаз: между током и напряжением возникает угол ϕ . Если $X_L > X_C$, цепь носит индуктивный характер, если $X_C > X_L$, то – емкостный.

3) Резонанс напряжений: $X_L = X_C$

Резонанс напряжений.

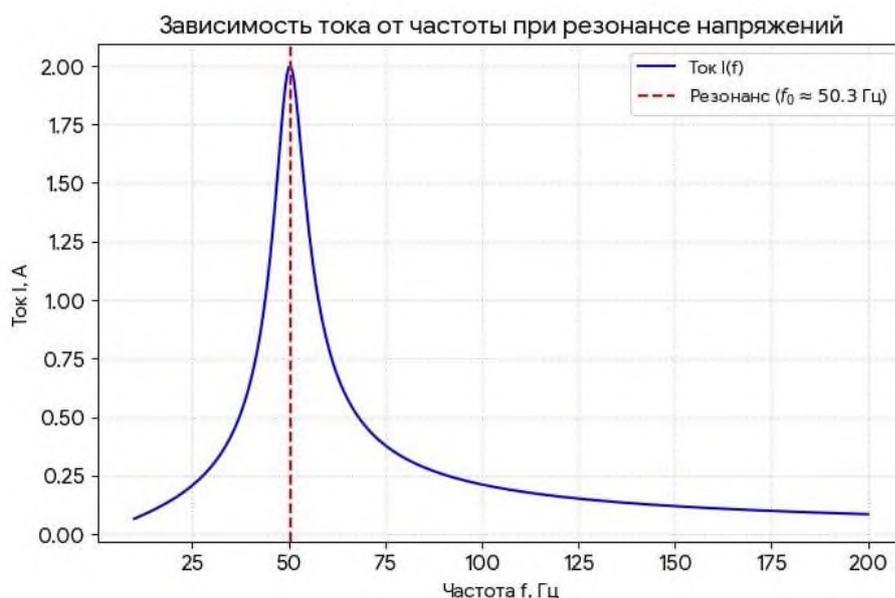
Резонанс напряжений: это особое состояние, когда $X_L = X_C$.

В этот момент:

— общее напряжение минимально и равно R

— ток в цепи достигает максимума.

— напряжение на катушке и конденсаторе могут во много раз превышать напряжение источника.



На графике видно, как при приближении частоты источника к резонансной частоте (f_0) сила тока в цепи резко возрастает.

Это встречается:

— В радиосвязях (польза): позволяет настроить приемник на нужную волну, выделяя слабый сигнал конкретной частоты.

— В энергетике (опасность): считается аварийным режимом.

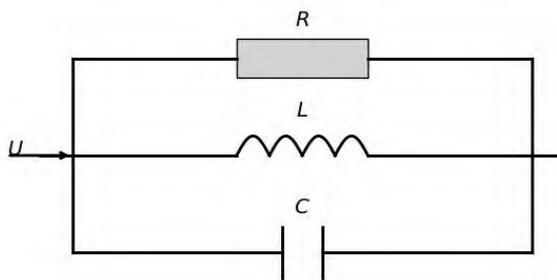
Чрезмерно высокое напряжение на элементах может привести к пробое изоляции, выходу из строя оборудования и авариям в промышленных сетях.

Занятие 14

1. Разветвленная цепь переменного тока.
2. Резонанс токов.
3. Применение переменного тока на ЛА.

Разветвленная цепь переменного тока.

Разветвленная цепь переменного тока – это электрическая цепь, в которой ток от источника распределяется по двум и более параллельным ветвям. В отличие от последовательной цепи, где ток везде одинаков, здесь в каждой ветви может протекать свой ток, зависящий от сопротивления этой ветви.



Основные характеристики и законы:

- Напряжение: на всех параллельных ветвях напряжение U одинаково.
- Первый закон Кирхгофа: общий ток в неразветвленной части цепи равен векторной сумме токов во всех параллельных ветвях:

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

- Сопротивление ветвей: каждая ветвь может содержать активное сопротивление (R), индуктивность (L) и емкость (C). Полное сопротивление ветви (импеданс) обозначается как Z .

Методы расчета:

- 1) Метод комплексных амплитуд: токи и напряжения представляются в виде комплексных чисел, что позволяет заменить дифференциальные уравнения алгебраическими.

2) Векторные диаграммы: наглядный графический метод, где токи изображаются векторами. Общий ток находится как геометрическая сумма векторов токов отдельных ветвей.

3) Метод проводимостей: удобен при параллельном соединении. Общая проводимость цепи Y находится как сумма комплексных проводимостей ветвей.

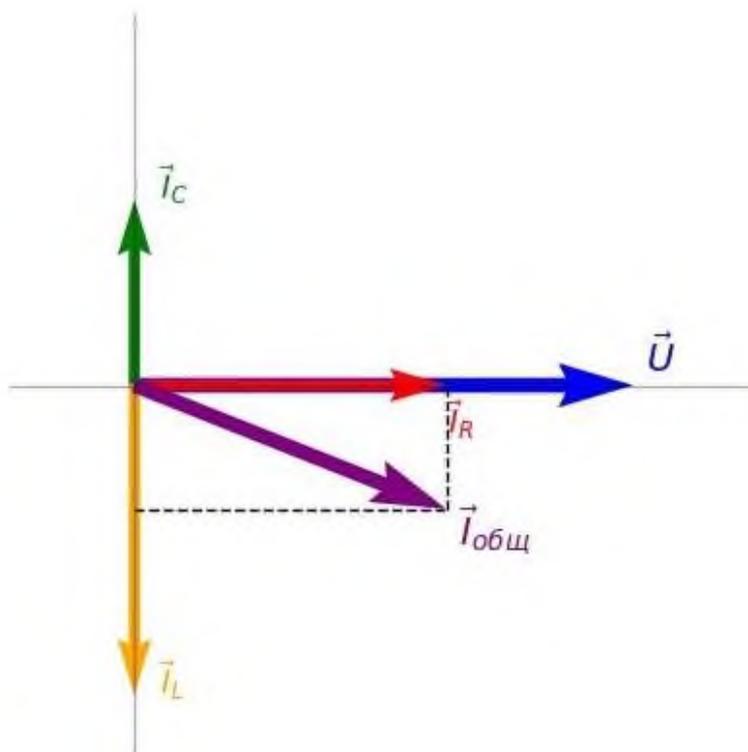
Резонанс токов.

В разветвленных цепях с катушкой индуктивности и конденсатором в разных ветвях может возникнуть резонанс токов.

В этом режиме:

- Реактивная составляющая общего тока становится равной нулю.
- Общий ток в неразветвленной части цепи минимален и совпадает по фазе с напряжением.
- Токи в отдельных ветвях (индуктивной и емкостной) могут значительно превышать общий ток.

Векторная диаграмма токов



На диаграмме вектор напряжения U принимается за базис (горизонталь), так как он общий для всех ветвей:

- Ток I_R совпадает по фазе с напряжением.
- Ток I_C опережает напряжение на 90° (направлен вверх)
- Ток I_L отстает от напряжения на 90° (направлен вниз)

Ключевые выводы из диаграммы:

1. Общий ток $I_{\text{общ}}$ является геометрической суммой токов всех ветвей.
2. Если $I_C = I_L$, то реактивные токи компенсируют друг друга, и наступает резонанс токов. В этом случае общий ток минимален и равен только активному току I_R .

Применение переменного тока на ЛА.

Основная система электроснабжения ЛА запитывается переменным трехфазным током определенного напряжения и частоты. Генераторы являются основными источниками питания трехфазного переменного тока. Обычно генераторы представляют собой многополюсную машину переменного тока. Трехфазная обмотка переменного тока выполняется на роторе и соединена по схеме звезда. Все три обмотки выведены на контактные кольца, с которых осуществляется съем тока. Этот ток поступает на трансформаторы и преобразователи ПУ и ПТ, которые, в свою очередь, изменяют ток в разные напряжения и преобразуют его в однофазный и трехфазный. Далее по коммутационным шинам он поступает к потребителям, к числу которых относятся: приборы, реле, устройства и различные приспособления.

Занятие 15

Лабораторная работа № 5

“Исследование цепи переменного тока с катушкой, имеющей активное и индуктивное сопротивление”

I. Краткие сведения из теории

Цепь состоит из двух участков, свойства которых известны.

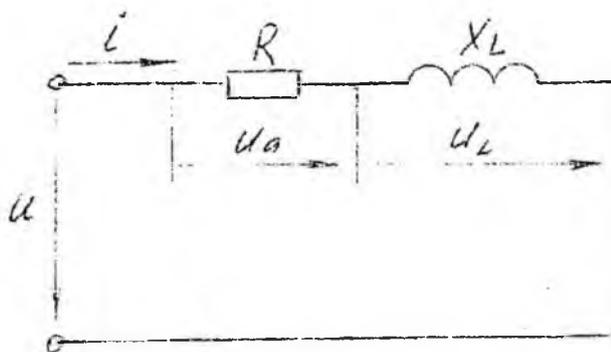


Рисунок 10 – Цепь переменного тока с катушкой

Вектор напряжения на зажиме цепи $U = U_a + U_L$

Векторы U_a , U_L и U образуют треугольник напряжений (11.)

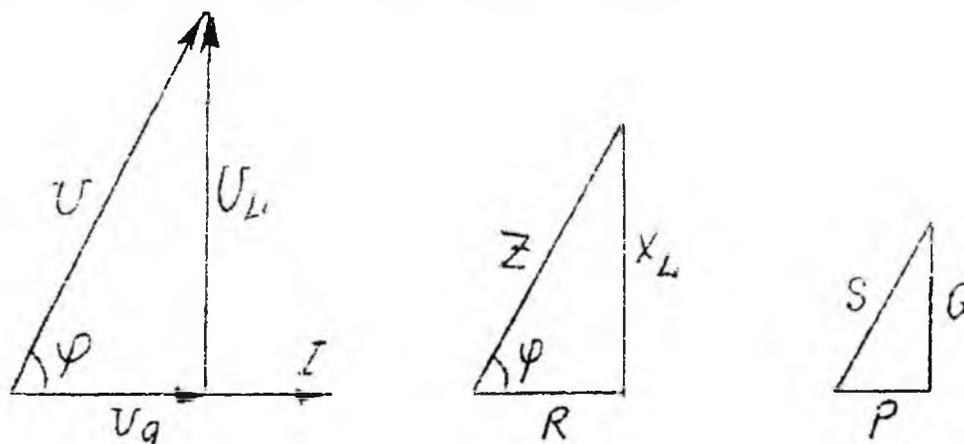


Рисунок 11 – Треугольник напряжений, сопротивлений и мощностей

На основании теоремы Пифагора

$$U = \sqrt{U_a^2 + U_L^2} = \sqrt{(IR)^2 + (IX_L)^2} = I \sqrt{R^2 + X_L^2} = IZ$$

где Z - полное сопротивление.

Суммарное напряжение опережает ток по фазе на угол φ .

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z}$$

Средняя, или активная, мощность $P = UI \cos \varphi$

Реактивная мощность $Q = UI \sin \varphi$

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

II. Цель работы

На основании наблюдений научиться рассчитывать цепи переменного тока и строить векторные диаграммы.

III. Оборудование

1. Источник эл. энергии переменного тока $\sim 30\text{В}$
(клеммы А и 0 на четвертом блоке).
2. Амперметр - 1 шт. (0 : 2)А
3. Вольтметр - 1 шт. (0 : 100)В
4. Катушка - 1 шт.
5. Потенциометр - 1 шт.
6. Провода: 1 -линейные - 2 шт, 2- линейные- 1 шт; 3-линейные - 1 шт.

IV. Порядок выполнения работы

1. Собрать эл. схему цепи, изображенную на рис.12.
2. Установить ручку потенциометра в среднее положение.
3. Предъявить собранную схему преподавателю.
4. Включить автомат и установить напряжение на зажимах цепи 10 В.
5. Записать показания приборов в таблицу 6.

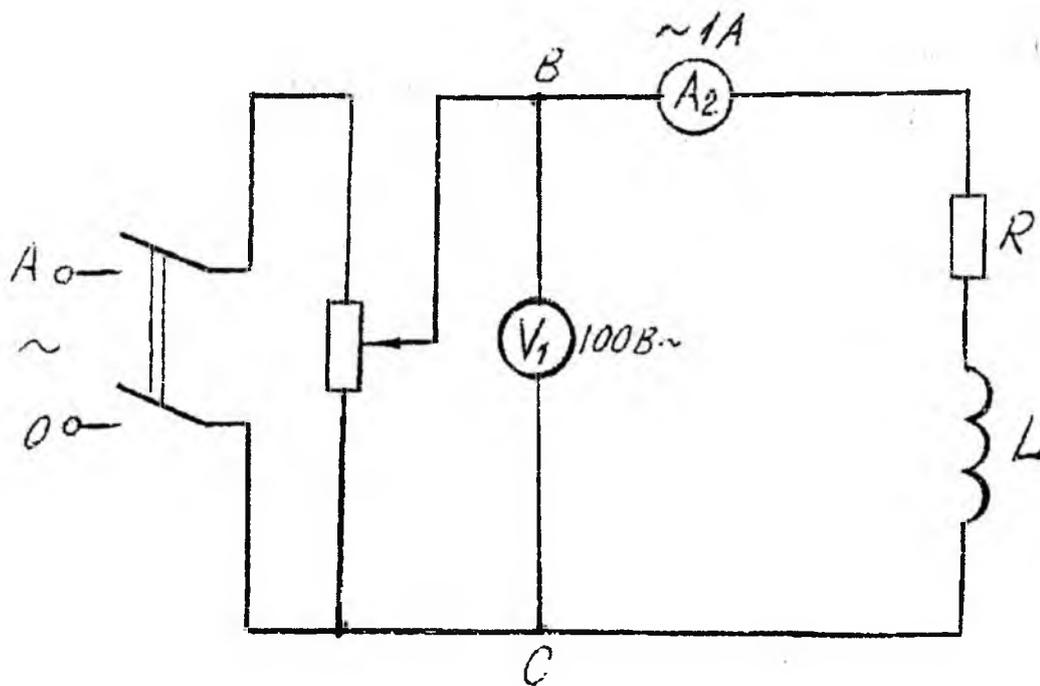


Рисунок 12 – Схема для исследования электрической цепи переменного тока с катушкой

6. Рассчитать величины, указанные в таблице 6. по формулам

$$Z = \frac{U}{I}; X_L = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

угол $\cos \varphi$ находим по таблице:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi$$

$$S = U \cdot I$$

$$U_a = I \cdot R$$

$$U_L = I \cdot X_L$$

Активное сопротивление R указано на катушке.

7. По результатам расчетов построить векторную диаграмму напряжений, треугольники сопротивлений и мощности в масштабе.

8. Сделать выводы.

Таблица 6

U	I	R	Z	X_L	cos φ	φ	P	Q	S	sin φ	U_a	U_L
В	А	Ом	Ом				Вт	ВАр	ВА			

V. Контрольные вопросы

1. Какими сопротивлениями обладает катушка?
2. Каков сдвиг по фазе между током и напряжением в катушке?
3. Как определить полное сопротивление катушки?
4. Что такое полная мощность?

Раздел 2. Трехфазные электрические цепи

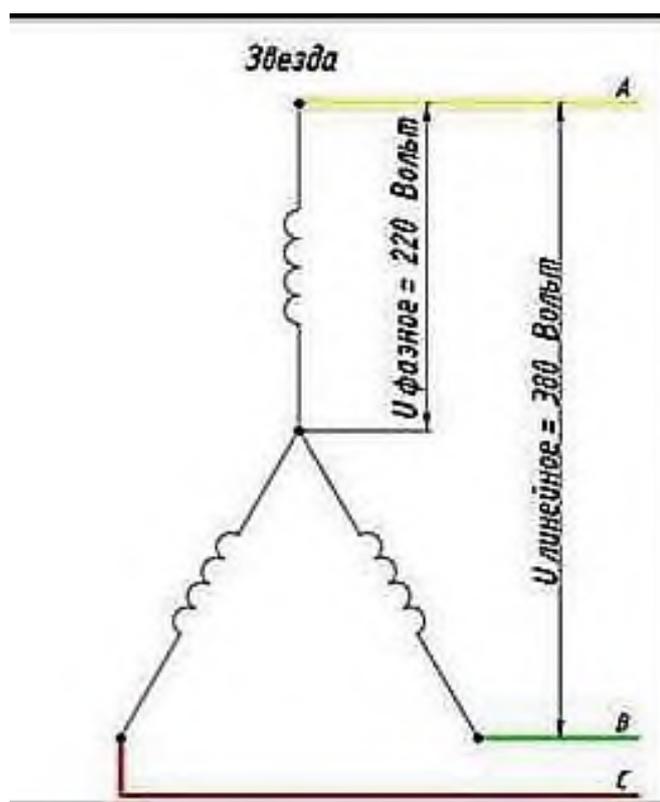
Тема 2.1. Соединение обмоток генераторов и потребителей звездой

Занятие 16

1. Трехфазная система. Принцип получения трехфазной ЭДС. Трехфазная цепь.
2. Фазные линии и линейные напряжения. Роль нулевого провода.
3. Соединение обмоток потребителей энергии «звездой».

Трехфазная система. Принцип получения трехфазной ЭДС. Трехфазная цепь.

Трехфазная система – это совокупность трех цепей переменного тока, в которых действуют синусоидальные ЭДС одной частоты, создаваемые общим источником, но сдвинутые друг относительно друга по фазе на 120 градусов.

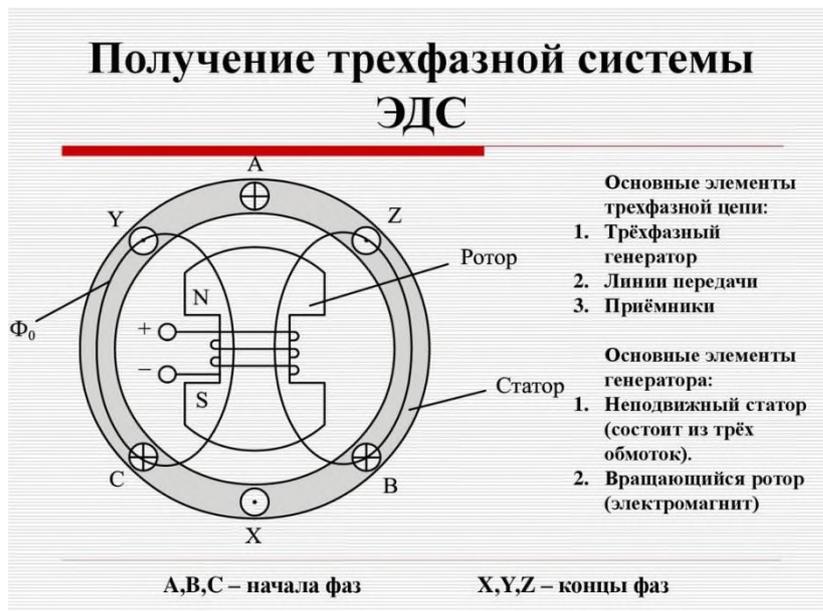


Принцип получения.

В основе лежит закон электромагнитной индукции. Процесс выглядит следующим образом: берется генератор, в статоре которого размещены три

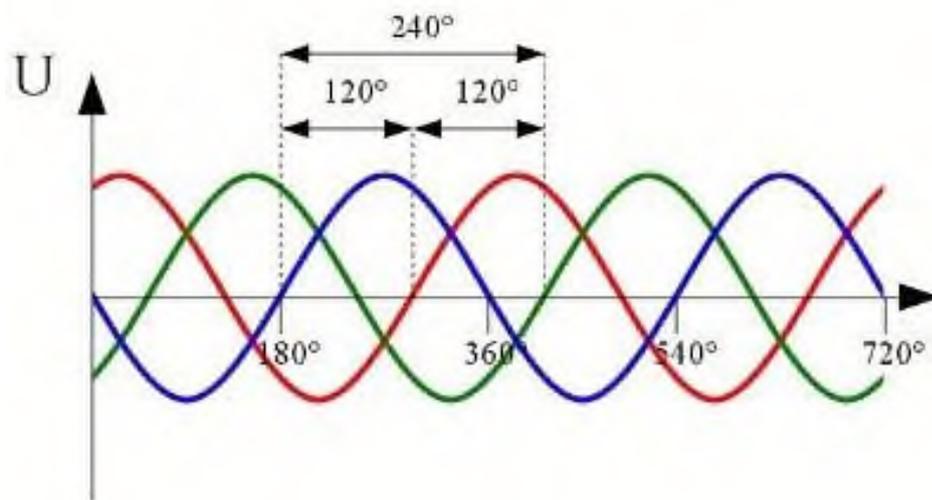
одинаковые обмотки (фазы). Они смещены в пространстве относительно друг друга на угол 120° .

Внутри статора вращается ротор (электромагнит или постоянный магнит). Он создает постоянный по величине магнитный поток.



При вращении ротора его магнитные силовые линии пересекают витки обмоток статора. Поскольку обмотки расположены в разных местах, магнитный поток достигает максимума в каждой из них не одновременно, а по очереди.

В результате, в каждой обмотке индуцируется переменная ЭДС. Из-за геометрического сдвига катушек на 120° , полученные графики напряжений также оказываются сдвинуты во времени на $1/3$ периода.



Если соединить эти обмотки в одну систему (звездой или треугольником), получается экономичный и эффективный способ передачи энергии, который позволяет создавать вращающееся магнитное поле в электродвигателях.

Фазные линии и линейные напряжения. Роль нулевого провода.

В электротехнике важно различать, что и относительно чего мы измеряем.

Фазное напряжение (U_{ϕ}) – это напряжение между одной фазой и нулевым проводом. В бытовой сети это привычные 220 В (или 380 В).

Линейное напряжение ($U_{л}$) – это напряжение между двумя фазами. Оно всегда больше фазного в $\sqrt{3}$ раз (примерно в 1,73 раза). В стандартной сети это 380 В (или 400 В).

Нулевой провод выполняет две критические функции:

1) Формирование фазного напряжения: без «нуля» не возможно получить 220 В из трехфазной сети 380 В. Он служит общей точкой возврата тока для однофазных потребителей.

2) Выравнивание потенциалов (при «звезде»): в идеальной ситуации нагрузки на всех трех фазах должны быть равны. Но в жизни в одной квартире включен чайник, а в другой только лампочка. Возникает перекоп.

Нулевой провод забирает на себя разностный ток, не давая напряжению на «недогруженной» фазе подскочить до опасных 300 – 380 В, а на «перегруженной» упасть.

Если нулевой провод отгорает в щитке (обрыв нуля), возникает «перекос фаз». Напряжение распределяется пропорционально нагрузке: там, где включено мало приборов, оно взлетает (техника сгорает), а там, где много – падает (техника не включается или портится).

Соединение обмоток потребителей энергии «звездой».

При соединении приемников и потребителей энергии звездой концы всех трёх фаз нагрузки (обмоток электродвигателя или групп ламп) соединяются в одну общую точку, которую называют нейтралью или нулевой точкой.

Основные характеристики:

Между фазным и линейным проводом действует фазное напряжение, U_{ϕ} (в быту – 220 В).

Между двумя фазными проводами – линейное напряжение, $U_{\text{л}}$ (в быту – 380 В).

Соотношение: $U_{\text{л}} = \sqrt{3} \cdot U_{\phi}$

Линейный ток в проводах равен току, протекающему через нагрузку:

$$I_{\text{л}} = I_{\phi}$$

Нейтральный провод соединяет точку генератора с нулевой точкой нагрузки. Он нужен для того, чтобы при неравномерной нагрузке (например, в жилом доме) напряжение на каждой фазе оставалось стабильным.

Преимущества:

Возможность использовать два вида напряжения (220 В и 380 В) в одной сети.

Безопасность для оборудования: при наличии нейтрали исключается перекос фаз и выход приборов из строя.

Плавный пуск электродвигателей (часто используют схему «звезда» для запуска, а затем переключают в «треугольник»).

Для расчета и построения векторной диаграммы при соединении «звездой» нужно определить токи и углы их сдвига относительно напряжений.

Порядок расчета:

1. Определяем фазное напряжение:

Если линейное $U_L = 380\text{В}$, то фазное будет

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

2. Находим фазные токи: по закону Ома

$$I_A = \frac{U_A}{Z_A}, \quad I_B = \frac{U_B}{Z_B}, \quad I_C = \frac{U_C}{Z_C}$$

(В симметричной системе токи равны)

3. Определяем углы сдвига (ϕ):

Зависят от характера нагрузки (резистивная, индуктивная или емкостная).

$$\cos \phi = \frac{R}{Z}$$

4. Ток в нейтрали (I_N) находится как векторная сумма:

$$I_N = I_A + I_B + I_C$$

(При симметричной нагрузке $I_N = 0$)

5. Расчет мощности:

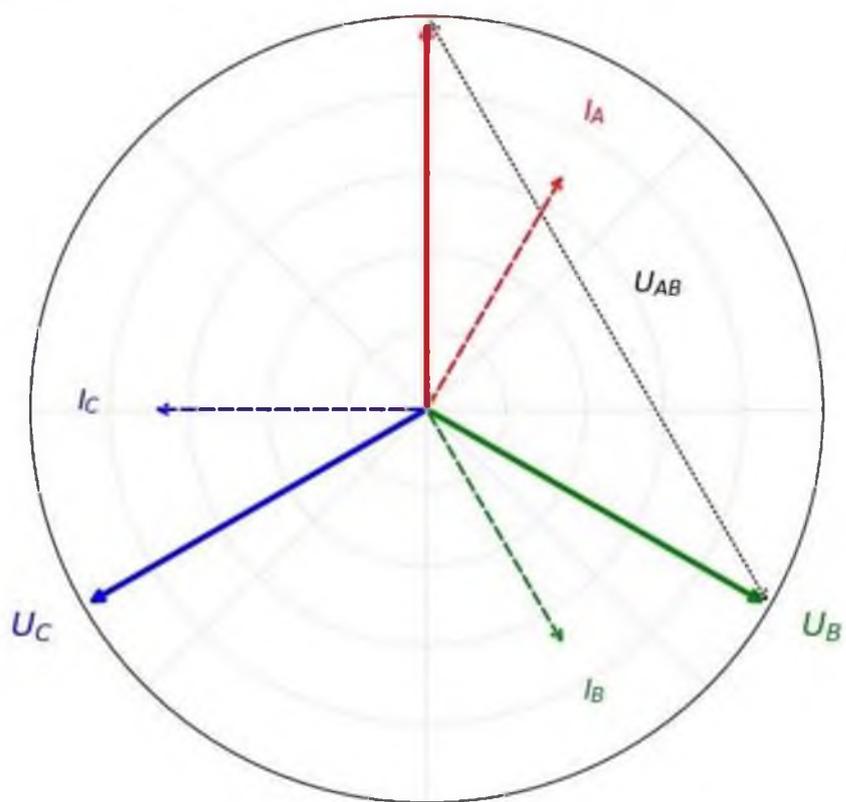
Общая реактивная мощность

$$P = \sqrt{3} \cdot U_\phi \cdot I_\phi \cdot \cos \phi$$

Или через линейные величины

$$P = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos \phi$$

Векторная диаграмма (Звезда, симметричная индуктивная нагрузка)



Занятие 17

Лабораторная работа 6

“Исследование работы трехфазной цепи при соединении потребителей энергии в звезду”

I. Краткие сведения из теории

В четырехпроводной цепи трехфазного тока линейное напряжение больше фазного в $\sqrt{3}$ раз.

Потребители включаются между линейными проводами и нулевым проводом.

Фазные токи равны соответствующим линейным токам.

Все потребители находятся под одним и тем же фазным напряжением.

Ток в нулевом проводе: $I_0 = I_A + I_B + I_C$

Угол сдвига фаз между фазными напряжениями и фазными токами находят через конусы:

$$\cos\varphi_a = \frac{R_a}{Z_a}; \cos\varphi_B = \frac{R_B}{Z_B}; \cos\varphi_c = \frac{R_c}{Z_c}$$

В случае активной нагрузки: $\varphi_A = \varphi_B = \varphi_C = 0$

Мощность всей цепи: $P_{3\phi} = P_A + P_B + P_C$

II. Цель работы

1. Убедиться, что $U_{л} = \sqrt{3}U_{\phi}$

III. Оборудование

1. Трехфазный источник переменного тока.
2. Амперметр - 4 шт. (0 : 2)А
3. Вольтметр - 1 шт. (0 : 100)В
4. Магазин сопротивлений - 3 шт.
5. Провода: 1-линейные - 3 шт; 2-линейные - 4 шт; 3-линейные - 1 шт.

IV- Порядок выполнения работы

1. Определить размещение приборов на столе.
2. Собрать эл. схему, изображенную на рис.14

В узлах Д, Е, F, Н использовать двухлинейные провода, O' - трехлинейный провод.

3. Определить цену деления приборов.

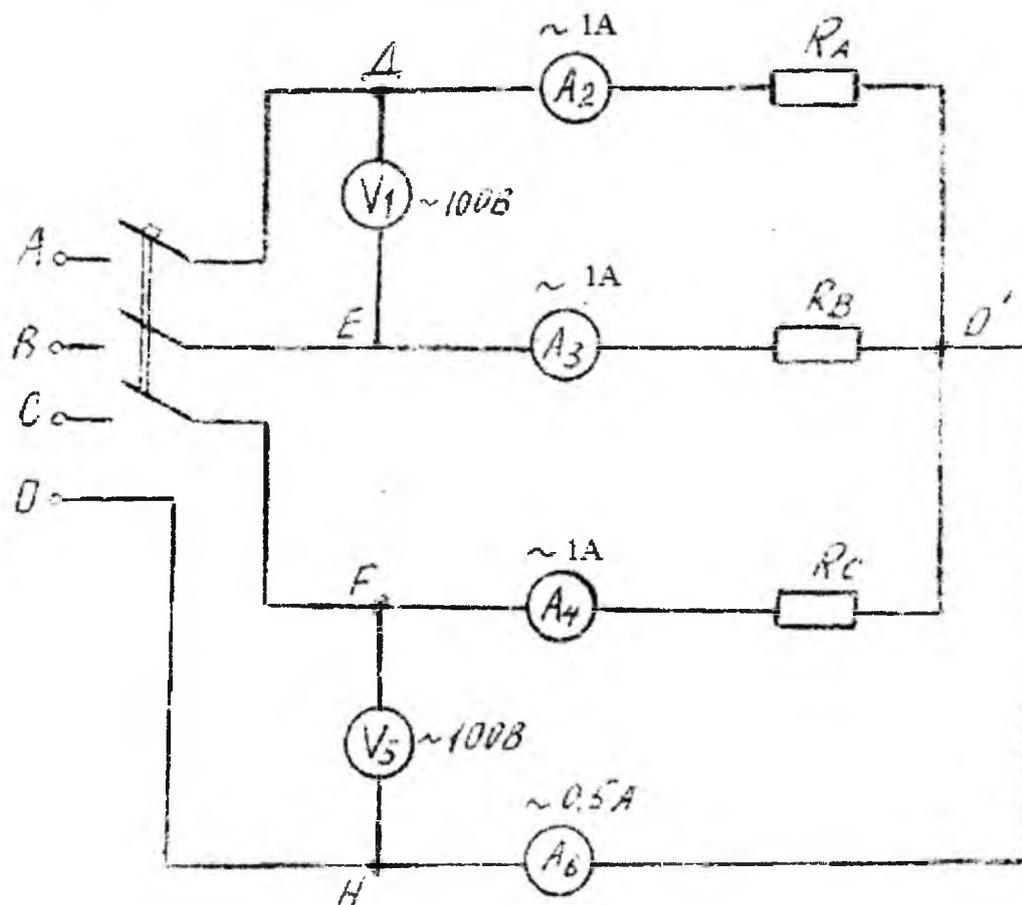


Рисунок 14 -. Схема соединения потребителей энергии звездой

4. Включить на магазинах сопротивлений значение $R_A=350\text{Ом}$, $R_C=100\text{ Ом}$
5. Предъявить собранную схему для проверки преподавателю.
6. Включить автомат переменного трехфазного тока и записать показания приборов в таблицу 8.
7. Повторить опыт при других сопротивлениях потребителей. ($R_A = 200\text{Ом}$, $R_B = 400\text{ Ом}$, $R_C = 160\text{ Ом}$).

8. Вычислить активную мощность в каждой фазе по формуле:

$$P_{\Phi} = U_{\Phi} \cdot I_{\Phi}$$

9. Определить мощность всей цепи: $P_{3\Phi} = P_A + P_B + P_C$ Результаты записать в таблицу 8.

10. Сделать выводы.

Таблица 8

№ п/п	Вид нагрузки	I_A	I_B	I_C	I_0	$U_{\text{л}}$	U_{Φ}	P_A	P_B	P_C	$P_{3\Phi}$
		А	А	А	А	В	В	Вт	Вт	Вт	Вт
1	$R_A=350 \text{ Ом}$ $R_B=150 \text{ Ом}$ $R_C=100 \text{ Ом}$										
2	$R_A=200 \text{ Ом}$ $R_B=400 \text{ Ом}$ $R_C=160 \text{ Ом}$										

V. Контрольные вопросы

1. Как подключаются потребители при соединении звездой?
2. Каково соотношение между линейными и фазными напряжениями при соединении звездой?
3. Какую роль играет нулевой провод и всегда ли он необходим?
4. От чего зависит угол сдвига по фазе между током и напряжением в каждой фазе?

Тема 2.2 Соединение обмоток генераторов и потребителей «треугольником»

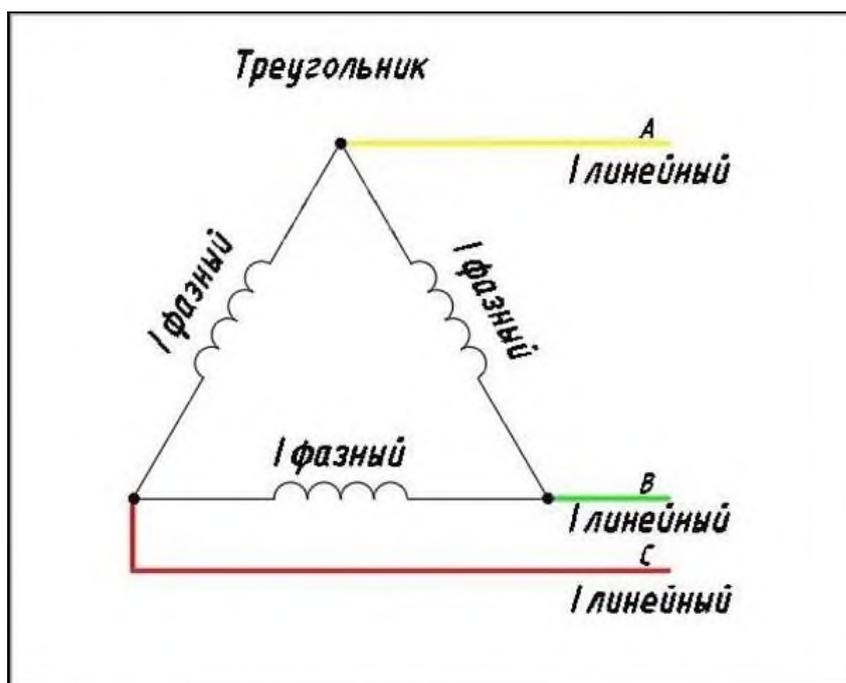
Занятие 18

1. Соединение обмоток источников и потребителей энергии «треугольником».
2. Применение трехфазной системы на ЛА.

Соединение обмоток источников и потребителей энергии «треугольником».

При соединении «треугольником» конец первой обмотки соединяется с началом второй, конец второй – с началом третьей, а конец третьей – с началом первой.

Точки соединений подключаются к линейным проводам.



Основные характеристики:

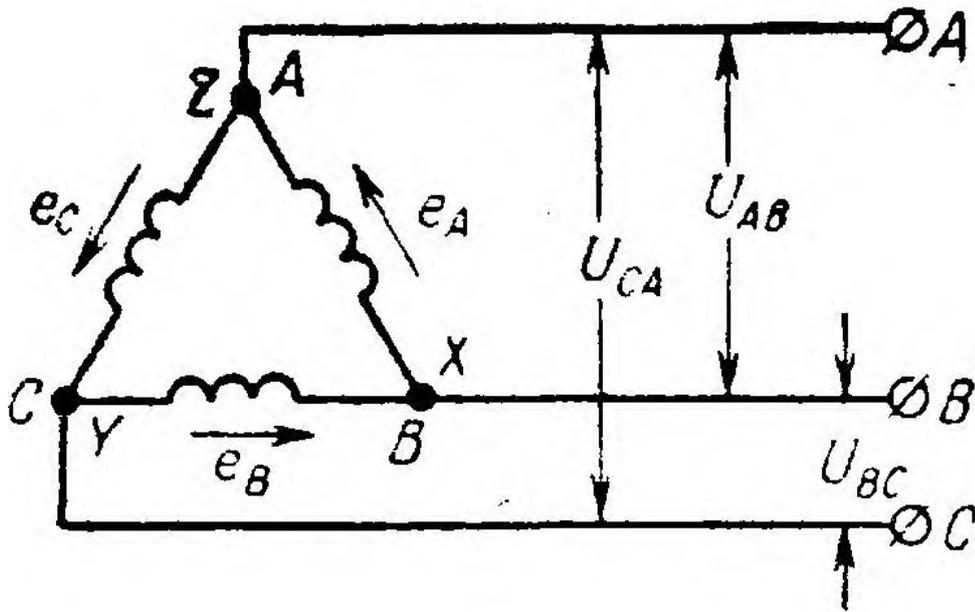
1. Линейное напряжение равняется фазному напряжению

$$U_{л} = U_{ф}$$

Это значит, что на каждую нагрузку подается полное межфазное напряжение (например, 380 В).

2. Линейный ток I_L в $\sqrt{3}$ раз больше фазного I_ϕ при симметричной нагрузке.

$$I_L = \sqrt{3} \cdot I_\phi \approx 1,73 \cdot I_\phi$$



Плюсы и особенности:

- 1) нет нулевого провода: для подключение требуется всего 3 провода.
- 2) Надежность: если одна из фаз потребителя выйдет из строя, остальные продолжают работать (хоть и в измененном режиме).
- 3) Применение: чаще всего так подключают мощные электродвигатели и первичные обмотки трансформаторов.

Важное отличие от «звезды»:

В «треугольнике» к каждой обмотке приложено большее напряжение, чем в «звезде» (при той же сети). Поэтому часто двигатели запускают по схеме «звезда – треугольник»: сначала на звезде (чтобы снизить пусковые токи), а после разгона переключают на треугольник для выхода на полную мощность.

Применение трехфазной системы на ЛА.

Переменным трехфазным током запитываются устройства и приборы, конструкция которых позволяет использовать переменный трехфазный ток определенного напряжения. Например, топливные насосы, гидравлические станции, кухонное оборудование, выпрямители, вентиляторы рециркуляции.

Данные устройства и приборы подключаются к генераторным шинам трехфазного тока, а трансформатор выдает нужное трехфазное напряжение.

Занятие 19

Лабораторная работа 7

“Исследование работы трехфазной цепи при соединении потребителей энергии треугольником”

I. Краткие сведения из теории

При соединении каждый потребитель оказывается включенным на линейное напряжение (рис. 14).

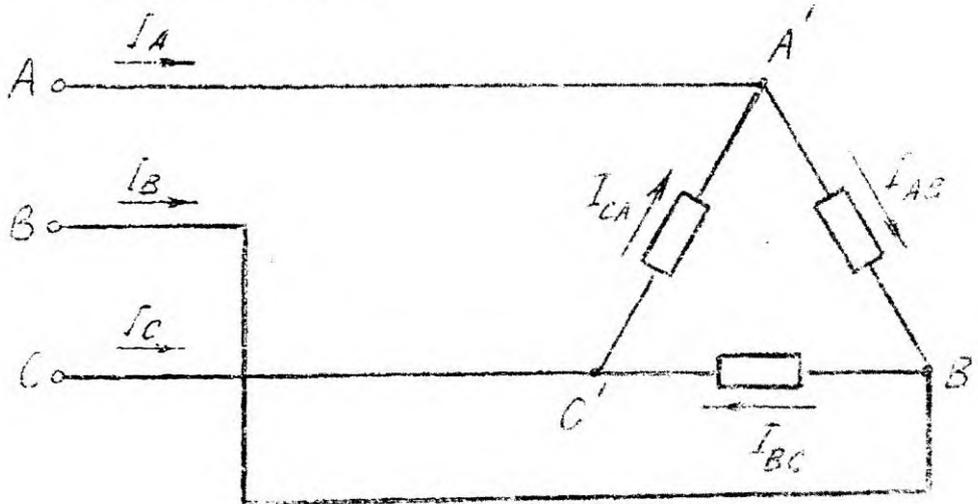


Рисунок 14 – Соединение треугольником

Токи I_{AB} , I_{BC} , I_{CA} называются фазными

$$I_{AB} = \frac{U_A}{Z_{AB}}; \quad \cos\varphi_{AB} = \frac{R_{AB}}{Z_{AB}}$$

$$I_{BC} = \frac{U_B}{Z_{BC}}; \quad \cos\varphi_{BC} = \frac{R_{BC}}{Z_{BC}}$$

$$I_{CA} = \frac{U_C}{Z_{CA}}; \quad \cos\varphi_{CA} = \frac{R_{CA}}{Z_{CA}}$$

В случае активной нагрузки $\varphi_{AB} = \varphi_{BC} = \varphi_{CA} = 0$

В линейных проводах протекают линейные токи I_A, I_B, I_C

Линейные токи можно найти, применив для узлов A', B', C' первый закон Киргофа:

$$I_A = I_{AB} - I_{CA}$$

$$I_B = I_{BC} - I_{AB}$$

$$I_C = I_{CA} - I_{BC}$$

При неравномерной нагрузке токи в линейных проводах неодинаковы.

При равномерной нагрузке (асинхронные и синхронные электродвигатели, термические печи с электрическими нагревателями).

$$I_A = I_B = I_C$$

$$I_L = \sqrt{3} * I_\Phi$$

II Цель работы

1. Убедиться, что при неравномерной нагрузке $I_L = \sqrt{3} * I_\Phi$

III. Оборудование

1. Источник переменного тока с $U_\Phi = 30V$, $U_A = 52V$
2. Амперметр - 6 шт. (0 : 2)A
3. Магазин сопротивлений - 3 шт.
4. Провода: 1-линейные - 6 шт; 2-линейные - 3 шт.

IV. Порядок выполнения работы

1. Определить размещение приборов на столе.

2. Собрать эл. схему , изображенную на рис 15 .

В узлах Д, Е, F использовать двухлинейные провода.

3. Определить дему деления приборов.

4. Включить на магазинах сопротивлений значения $R_{AB} = R_{AC} = R_{CA} = 200 \text{ Ом}$.

5. Предъявить собранную схему преподавателю.

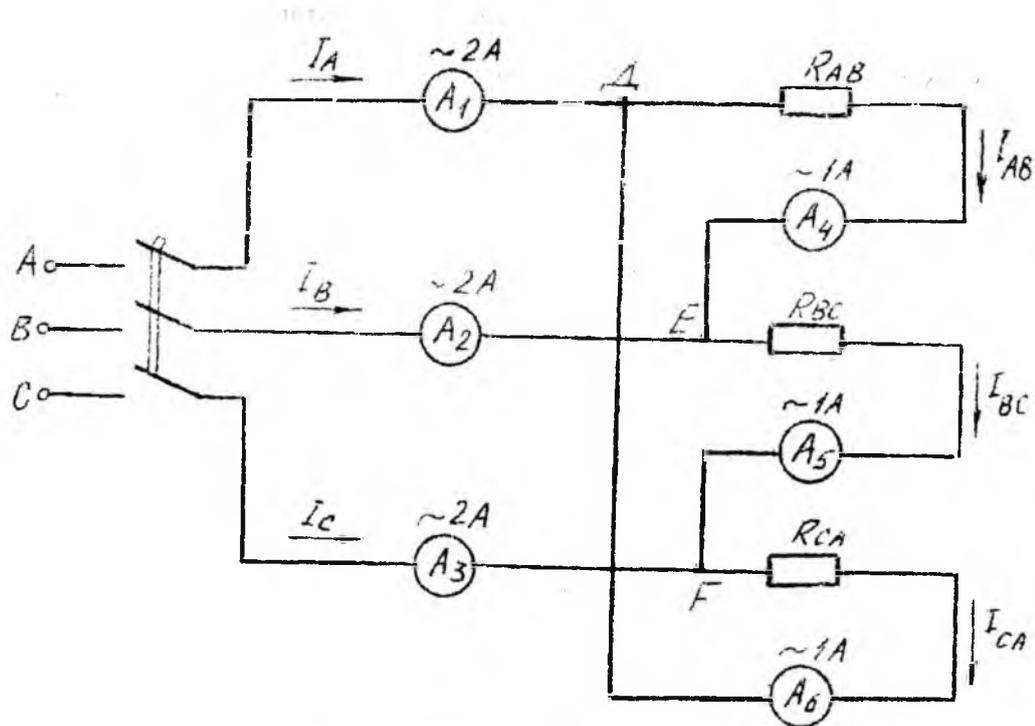


Рисунок 15 – Схема соединения треугольником

6. Включить автомат переменного тока и записать показания в таблицу 9.

Таблица 9

№ п/п	Вид нагрузки	I_A	I_B	I_C	I_0	U_L	U_Φ	P_A	P_B	P_C	$P_{3\Phi}$
		А	А	А	А	В	В	Вт	Вт	Вт	Вт
1	$R_{AB}=200 \text{ Ом}$ $R_{BC}=200 \text{ Ом}$ $R_{CA}=200 \text{ Ом}$										
2	$R_{AB}=200 \text{ Ом}$ $R_{BC}=100 \text{ Ом}$ $R_{CA}=80 \text{ Ом}$										

7. Повторить опыт при неравномерной нагрузке

($R_{AB} = 200 \text{ Ом}$, $R_{BC} = 100 \text{ Ом}$, $R_{CA} = 80 \text{ Ом}$.)

8. Вычислить активную мощность в каждой фазе по формуле. $\Phi_\Phi = U_\Phi$

* $I_\Phi \cdot \cos\varphi_\Phi$

9. Определить мощность всей цепи $P_{3\Phi} = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA}$

Результаты записать в таблицу 9.

10. Сделать выводы.

Раздел 3. Электрические измерения

Тема 3.1 Измерительные механизмы.

Занятие 20

1. Общие сведения об электрических измерениях и приборах. Классификация электроизмерительных приборов.
2. Погрешности измерений.
3. Логометры. Измерительные механизмы приборов магнитоэлектрической, электромагнитной и электродинамической системы.

Общие сведения об электрических измерениях и приборах.

Классификация электроизмерительных приборов.

Электрические измерения – это процесс определения значений электрических величин (силы тока, напряжения, сопротивления и др.) с помощью специальных технических средств.

Результатом измерения является значение физической величины, выраженное в установленных единицах (Амперы, Вольты, Ватты). Точность измерений зависит от погрешности прибора – разности между показанием прибора и истинным значением величины.

Электроизмерительные приборы делятся на группы по нескольким ключевым признакам:

1. По измеряемой величине:

- Амперметры – сила тока (А)
- Вольтметры – напряжение (В)
- Ваттметры – мощность (W)
- Омметры – электрическое сопротивление (Ω)
- Счетчики – электрическая энергия (кВ · ч)

2. По роду тока:

- Приборы постоянного тока
- Приборы переменного тока
- Универсальные (постоянного и переменного тока)

3. По способу выдачи результатов:

- Аналоговые (показывающие): имеют шкалу и стрелку. Значение считывается по положению стрелки.
- Цифровые: выводят результат в виде чисел на электронное табло. Они точнее и удобнее в считывании.
- Регистрирующие: записывают изменения величины во времени (самописцы).

4. По принципу действия (физическому явлению):

- Магнитоэлектрические: самые точные, работают только на постоянном токе.
- Электромагнитные: дешевые и надежные, работают в цепях и постоянного, и переменного тока.
- Электродинамические: используются для высокоточных измерений мощности.

5. По классу точности:

Приборы делятся на классы (0.05; 0.1; 0.5; 1.0; 1.5; 2.5; 4.0). Чем меньше число, тем выше точность прибора. Приборы классов 0.05 – 0.5 считаются образцовыми (лабораторными), а 1.5 – 4.0 – техническими (рабочими).

Погрешности измерений.

Погрешность – это «промах» прибора, разница между тем, что он показал, и тем, что есть на самом деле. Их разделяют по нескольким признакам:

1. По способу выражения (форма представления):

- Абсолютная (Δ – дельта): разница в единицах измерения (например, вольтах).

Формула: $A_{\text{изм}} - A_{\text{ист}}$

- Относительная (δ): отношение абсолютной погрешности к истинному значению в процентах. Показывает качество конкретного размера.

- Приведенная (γ): отношение абсолютной погрешности к максимальному значению шкалы. Именно она определяет класс точности прибора.

2. По причине возникновения:

- Инструментальные: зависят от качества самого прибора (трение в подшипниках, плохая балансировка стрелки).
- Методические: возникают из-за несовершенства метода или влияния самого прибора на цепь (например, вольтметр «забирает» часть тока на себя)
- Личные (субъективные): ошибки человека при считывании показаний (неправильный угол зрения на шкалу).

3. По характеру проявления:

- Систематические: повторяются при каждом замере (например, стрелка не стоит на нуле). Их можно вычислить и исключить.
- Случайные: возникают хаотично из-за микроизменений среды (вибрации, скачки температуры). Снижаются путем многократных измерений.
- Грубые (промахи): резкие ошибки из-за невнимательности или поломки. Такие результаты просто отбрасывают.

4. По условиям эксплуатации:

- Основная: погрешность в нормальных условиях (комнатная температура, отсутствие магнитных полей).
- Дополнительная: возникает, если условия изменились (например, прибор сильно нагрелся или работает на морозе).

Логометры. Измерительные механизмы приборов магнитоэлектрической, электромагнитной и электродинамической системы.

Логометр – это электроизмерительный прибор, предназначенный для измерения отношения сил двух электрических токов.

Его ключевое отличие от обычного амперметра заключается в том, что показания зависят не от абсолютного значения тока, а от их соотношения,

что делает измерения независимыми от колебаний напряжения источника питания.

В магнитоэлектрических логометрах используется постоянный магнит специальной (эллиптической) формы, что создает неравномерное магнитное поле, необходимое для установления равновесия в разных положениях стрелки.

Принцип действия:

Подвижная часть состоит из двух рамок, жестко закрепленных под углом друг к другу. При протекании токов возникают противоположно направленные вращающие моменты. Рамки поворачиваются до тех пор, пока эти моменты не уравновесятся.

Поскольку оба тока (в измерительной и сравнительной цепях) зависят от одного источника, при изменении напряжения токи меняются пропорционально, и их отношение остается неизменным.

В зависимости от системы измерения выделяют:

- Магнитоэлектрические логометры
- Электродинамические и ферродинамические
- Электромагнитные.

Особенности эксплуатации:

- Отсутствие «нуля»: у логометра нет пружин, возвращающих стрелку в начальное положение. При выключенном питании стрелка может находиться в любом месте шкалы.
- Арретирование: при транспортировке подвижную часть прибора необходимо закреплять (арретировать), чтобы избежать повреждений.

МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА:

В основе лежит рамка с намотанным проводом, помещенная в поле постоянного магнита. Когда через рамку идет ток, возникает вращающий момент ($M = B \cdot I \cdot S \cdot w$)

Ему противодействует спиральная пружина.



Принцип: Сила Лоренса отклоняет рамку пропорционально току.

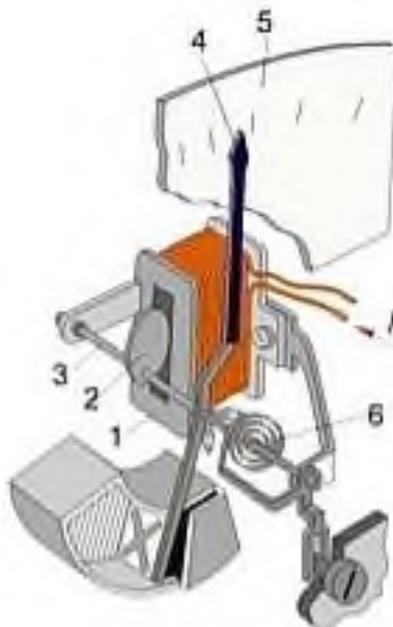
Плюсы: малое потребление энергии, очень высокая точность (до класса 0.1), на нее почти не влияют внешние магнитные поля.

Минусы: измеряет только постоянный ток. При переменном токе рамка просто будет дрожать на месте из-за инерции.

Применяются в лабораторных амперметрах и вольтметрах.

2. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СИСТЕМА:

Здесь ток проходит через неподвижную катушку, внутри которой находится подвижный железный сердечник (лепесток) на оси.



Ток создает магнитное поле, которое намагничивает сердечник и притягивает его внутрь катушки. Вращающий момент пропорционален квадрату тока (I^2).

Плюсы: дешевизна, работает на переменном и постоянном токе, устойчивость к перегрузкам.

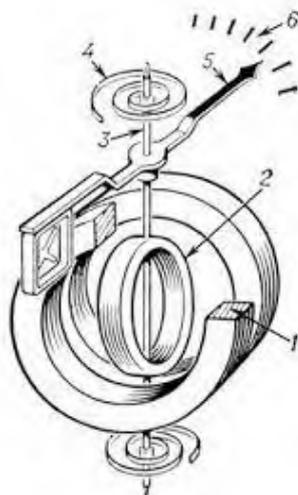
Минусы: неравномерная шкала (сжата вначале), низкая точность, чувствительность к внешним полям.

Применяются в щитовых приборах на заводах и в распределительных щитках.

3. ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА:

Вместо постоянного магнита здесь используется вторая катушка. Есть неподвижная катушка и подвижная (внутри нее). Поля двух катушек взаимодействуют. Момент пропорционален произведению токов в них:

$$M = I_1 \cdot I_2$$



Плюсы: самые точные приборы для переменного тока. Если в одну катушку подать ток, а во вторую – напряжение, прибор станет ваттметром (измерит мощность).

Минусы: дорогие, боятся тряски и внешних полей.

Тема 3.2. Измерение электрических и неэлектрических величин.

Занятие 21

1. Измерение тока. Шунты.
2. Измерение напряжения. Добавочные сопротивления.
3. Измерение сопротивления.
4. Измерение мощности и энергии.
5. Измерение неэлектрических величин.

Измерение тока. Шунты.

Измерение тока с помощью шунта – это преобразование силы тока в напряжение по закону Ома. Шунт включается последовательно с нагрузкой, а измерительный прибор подключается параллельно шунту, считывая падение напряжения на нем.

Шунт – это низкоомный резистор (проводник с очень малым сопротивлением), который включается в электрическую цепь последовательно с нагрузкой.

Принцип работы:

1. Разделение тока: при использовании с аналоговым амперметром шунт подключается параллельно прибору. Большая часть тока проходит через шунт, а лишь малая (безопасная_ часть – через измерительную головку.

2. Косвенное измерение: если используется вольтметр или контроллер, ток рассчитывается по формуле закона Ома

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

Где U – измеренное напряжение на шунте

R – его известное сопротивление.

Чтобы рассчитать сопротивление шунта ($R_{ш}$) используется формула

$$R_{ш} = \frac{U_{ном}}{I_{ном}}$$

Например, для шунта на 100 А с падением напряжения 75мВ:

$$R_{ш} = \frac{0,075 \text{ В}}{100 \text{ А}} = 0,00075 \text{ Ом} = 0,75 \text{ мОм}$$

Основные правила подключения:

- Последовательно с нагрузкой: шунт всегда ставится в разрыв цепи, ток которой нужно измерить.
- В «минусовой» или «плюсовой» провод: чаще всего шунт ставят в минусовой провод, т.к. это проще технически и безопаснее для измерительных схем.
- Точечное подключение: для высокой точности измерительные провода должны подключаться непосредственно к потенциальным зажимам шунта, а не к силовым болтам.

Измерение напряжения. Добавочные сопротивления.

Измерение напряжения – это процесс определения разности электрических потенциалов между двумя точками цепи. Основной единицей измерения является Вольт (В).

Специализированный прибор для измерения напряжения – вольтметр, также можно измерить мультиметром и осциллографом.

Измерительный прибор всегда подключается параллельно участку цепи или источнику, на котором нужно узнать напряжение.

Добавочное сопротивление – это резистор, который подключается последовательно с измерительным прибором (вольтметром) для расширения его предела по напряжению.

Принцип работы:

Когда измеряемое напряжение превышает максимальное напряжение, на которое рассчитан вольтметр, добавочное сопротивление принимает на себя избыточную часть напряжения. В результате через прибор проходит ток, не превышающий допустимый предел.

Подключается только последовательно с обмоткой измерительного механизма.

Добавочные сопротивления расширяют диапазон измерения в цепях постоянного тока (до 1000 – 4500 В), также использование добавочных резисторов снижает температурную погрешность прибора.

Для увеличения предела измерения в «n» раз ($n = U/U_v$) необходимо подобрать сопротивление по формуле:

$$R_d = R_v \cdot (n - 1)$$

Где:

R_v – внутренне сопротивление вольтметра

n – коэффициент расширения (отношение нового предела к старому).

Например: если вольтметр с внутренним сопротивлением 80 Ом рассчитан на 30 В, а нужно измерить 360 В, то

$$n = 360/30 = 12$$

$$\text{Тогда } R_d = 80 \cdot (12 - 1) = 880 \text{ Ом.}$$

Измерение сопротивления.

Сопротивление измеряется:

Мультиметром – самый распространенный универсальный прибор для бытовых и профессиональных нужд.

Омметром – специализированный прибор для непосредственного отсчета активных сопротивлений.

Мегаометром – используется для измерения очень больших сопротивлений, например, сопротивления изоляции кабелей (до тысяч МОм или ГОм).

Микрометром – предназначен для измерения сверхмалых сопротивлений (контактов, обмоток).

Методы измерения:

1. Метод амперметра и вольтметра: основан на законе Ома ($R = U/I$).

Измеряется ток в цепи и падение напряжения на участке, после чего вычисляется сопротивление.

2. Мостовой метод: Использование измерительного моста (например, моста Уитстона) для высокоточных измерений путем сравнения с эталонным резистором.

3. Метод непосредственной оценки: использование цифрового или аналогового омметра, который сразу показывает значение на дисплее.

4. Потенциометрический метод: применяется для особо точных измерений.

Чтобы измерить сопротивление мультиметром необходимо: Обесточить цепь (измерение сопротивления под напряжением выведет прибор из строя или даст ложные данные), настроить прибор (выбрать режим и подходящий предел), подключить щупы, приложить щупы к концам проверяемого элемента, стараясь не касаться металлических частей щупов руками, чтобы сопротивление тела не исказило результат.

Измерение мощности и энергии.

Мощность измеряется ваттметром, также может вычисляться через произведение тока и напряжения с помощью амперметра и вольтметра по формуле:

$$P = I \cdot U$$

В цепях переменного тока также учитывается коэффициент мощности ($\cos \varphi$), и различают активную (вт), реактивную (вар) и полную ($V \cdot A$) мощности.

Энергия – это суммарная работа, совершенная устройством за определенный период времени. Измеряется в Джоулях или чаще в быту кВт·ч.

Прибор для измерения – электрический счетчик (индукционный или электронный), он интегрирует мгновенную мощность по времени.

$$\text{Формула: } A = P \cdot t \text{ (время работы)}$$

Например: если прибор мощностью 1000 Вт (1 кВт) работал 2 часа, он потребил 2 кВт ·ч энергии.

Измерение неэлектрических величин.

Измерение неэлектрических величин (температуры, давления, перемещения, усилия и др.) чаще всего осуществляется электрическими методами.

Основной принцип заключается в преобразовании измеряемой физической величины в электрический сигнал (ток, напряжение или изменение параметров цепи), который затем измеряется стандартными приборами.

Типовое устройство для таких измерений состоит из трех основных узлов:

1. Датчик (преобразователь): воспринимает неэлектрическую величину и преобразует ее в электрическую.
2. Промежуточное звено: усиливает, фильтрует или преобразует сигнал (например, мостовые схемы, усилители).
3. Измерительный прибор или указатель: отображает результат (вольтметр, цифровой индикатор)

Преимущества электрических методов: высокая точность, возможность дистанционных измерений и легкая передача данных в компьютерные системы контроля.

Занятие 22

Практическое занятие «Измерение электрических величин ампервольтметром типа АВО-5М»

Ампервольтметр типа «АВО-5М» представляет собой многопредельный электроизмерительный прибор, используемый для измерения напряжения и величины переменного и постоянного тока, а также и измерения сопротивления до 30 мОм. Многопредельный переносной ампервольтметр магнитоэлектрической системы типа «АВО-5М1» предназначен для измерения силы тока и напряжения в цепях постоянного и переменного токов, а также измерение сопротивления по постоянному току. Прибор применяется при температуре окружающей среды от -10°C до $+50^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха 30-80%. Прибор имеет пределы измерения:

Как и тестер ТТ-1 ампервольтметр типа АВО-5М представляет собой многопредельный электроизмерительный прибор, используемый для измерения напряжения и величины постоянного тока и переменного тока низкой частоты.

Прибор позволяет измерять:

- а) постоянный ток на пределах 0-60-300 мкА, 0-3-30-120 мА и 0-1,2-12
- б) переменный ток на пределах 0-3-30-20 мА и 0-1,2-12 А;
- в) напряжения постоянного и переменного тока на пределах 0-3-12-30-300-600-1200-6000 В;
- г) сопротивления на пределах 0-3-300 кОм и 0-30 мОм.

Погрешности при измерениях: на постоянном токе +3%, на переменном токе +5% и при измерении сопротивлений +10%. Питание омметра осуществляется: при измерении на пределах 0-3-300 ком от сухого элемента 2СА-9Е с э.д.с. 1,5 В и на пределе 30 мОм от сухой батареи с э.д.с. 22,5 В, которая состоит из 6 батарей типа КБС, соединенных последовательно. Входное сопротивление вольтметра

постоянного тока 20 кОм на 1 в, а вольтметра переменного тока 2 кОм на 1 в.

Внешний вид прибора:

На передней панели расположены; измеритель магнитоэлектрической системы с четырехрядной шкалой; ручка «установки нуля»; переключатель рода измеряемых величин на шесть положений — «60 мка», «300 мка», «—», «~», «r_x», «выключено»; переключатель пределов измерения на 12 положений; кнопка «проверка нуля»; зажимы для подключения соединительных проводников - «—общ.»; «V- r_x»; «~12A»; «~ 1,2A»; «+12A»; «+1.2A»; «~ mA»; «+mA, +мкA». В комплект прибора входят шнуры с щупами и два высоковольтных провода с добавочными сопротивлениями для измерения напряжений до 6000 в на постоянном и переменном токе.

Измерение величины постоянного тока:

Переключатель рода измеряемых величин установить в положение «—» (при измерении токов до 60 мка поставить в положение «60 мкA», а при измерении токов до 300 мка — в положение «300 мкA»). Переключатель пределов измерения поставить в соответствующее положение, в зависимости от величины измеряемого тока. Подсоединить щупы: один к зажиму «—общ.», а второй — к одному из зажимов «+mA, +мкA» или «+1,2A»; «+12A». Затем для данного предела измерения необходимо определить цену деления шкалы с индексом «VA-», после чего можно включать свободные концы щупов в цепь.

Измерение величины переменного тока:

Переключатель рода измеряемых величин установить в положение «~». Переключатель пределов измерения поставить в соответствии с величиной измеряемого тока. Один из щупов подключить к зажиму «—общ.», а другой — к одному из зажимов' «~ mA» или «~1,2A», «~12A». Отсчет производится по шкале «VA~» с учетом цены деления на данном пределе измерения.

Измерение напряжения переменного тока:

Производится в той же последовательности, как и измерение постоянного напряжения, только при этом переключатель рода измеряемых величин ставится в положение «—» и пользуются шкалой «VA~».

Измерение напряжений на пределе 6000 В :

При измерении напряжения как постоянного, так и переменного тока переключатель предела измерения ставится в положение 3V/6000V). Проводник марки «магнето» без колодки подключается к зажиму «—общ.», а проводник с колодкой, соответствующей роду измеряемого напряжения, подключается к зажиму «V~ -; r_x».

Измерение сопротивлений:

Переключатель рода измеряемых величин ставится в положение ««r_x»». Переключатель диапазона измерений ставится в положение «Ω» или «Ωx100» или «Ωx10000», в зависимости от величины измеряемого сопротивления.

Соединительные проводники подключаются: один к зажиму «—общ.», а другой—к зажиму «V~ -; r_x». Затем следует нажать кнопку «проверка нуля» и ручкой «установка нуля» установить стрелку на нуль по шкале «Ω». После этого концы щупов подключаются к измеряемому сопротивлению. Отсчет по шкале «Ω» умножается на соответствующий множитель переключателя поддиапазонов.

Раздел 4. Трансформаторы

Тема 4.1. Однофазные трансформаторы

Занятие 23

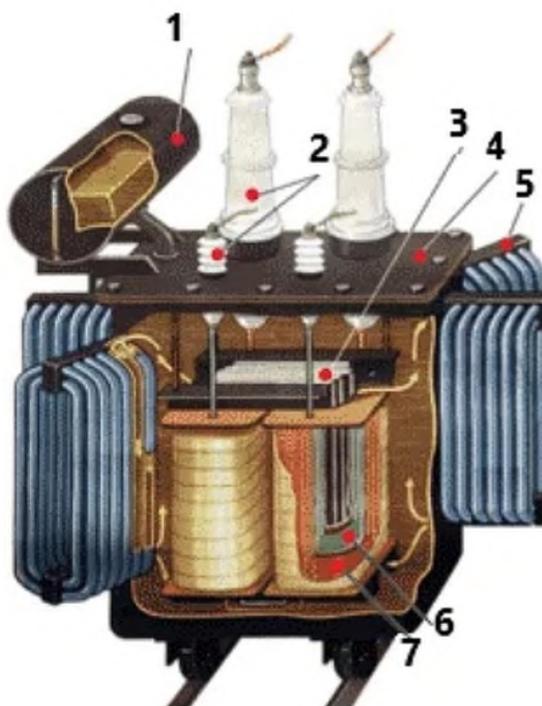
1. Назначение, устройство и принцип действия, классификация однофазных трансформаторов.
2. Режимы работы трансформаторов
3. Потери энергии и КПД трансформаторов.
4. Применение трансформаторов на ЛА.

Назначение, типы, устройство и принцип действия однофазных трансформаторов.

Трансформатор – это статическое электромагнитное устройство, предназначенное для преобразования переменного тока на основе явления электромагнитной индукции. Он способен изменить величину напряжения, не изменяя частоту – то есть «переводит» ток одного уровня в другой, сохраняя его ритм (частоту).

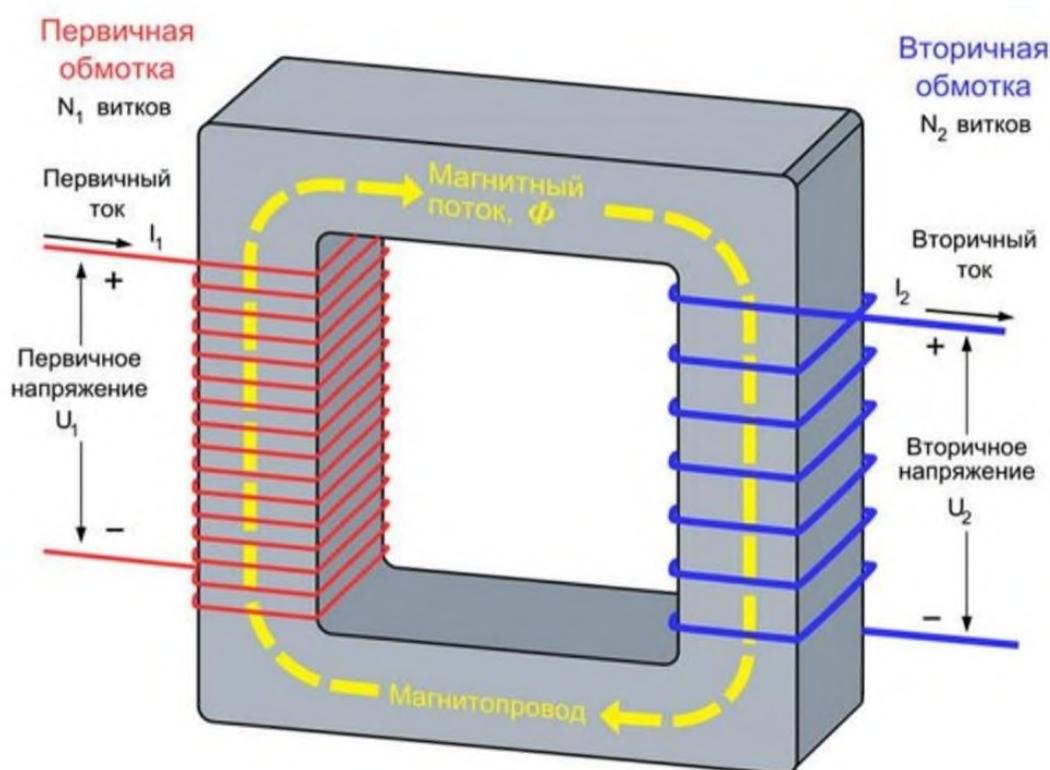
Благодаря трансформаторам можно эффективно передавать электрическую энергию на большие расстояния с минимальными потерями – они играют ключевую роль во всей энергосистеме.

Устройство трансформатора:



- 1 – расширительный бак – компенсирует объем масла при нагреве.
- 2 – Изолятор – защищает токоведущие части.
- 2 – Сердечник – замкнутая магнитная система, по которой «течет» магнитный поток.
- 4 – Крышка бака.
- 5 – Радиаторы – охлаждают трансформатор.
- 6 – Обмотка Низкого напряжения.
- 7 – Обмотка высокого напряжения.

Принцип действия:



Когда трансформатор подключают к источнику переменного тока, в первичной обмотке создается переменное магнитное поле. Это поле наводит электродвижущую силу (ЭДС) во вторичной обмотке – и если к ней подключена нагрузка, там появляется ток. Чем больше витков в обмотке – тем выше напряжение.

Классификация трансформаторов.

По назначению:

- Силовые – передача и распределение энергии (подстанции, электростанции)
- Измерительные – точные замеры параметров сети.

По конструкции и охлаждению:

- Сухие – охлаждаются воздухом, заливаются лаком. Удобны в помещениях.
- Масляные – используют масло для охлаждения и изоляции. Часто применяются на подстанциях.

По числу фаз:

- Однофазные – применяются в быту.
- Трехфазные – применяются в промышленности и энергетике.

Режимы работы трансформаторов.

Основные режимы работы однофазного трансформатора подразделяются на три базовых состояния, которые определяются наличием и типом нагрузки на вторичной обмотке.

1. Режим холостого хода.

Это режим, при котором к первичной обмотке подведено номинальное напряжение, а вторичная обмотка разомкнута, ток течет только в первичной обмотке (нагрузка отсутствует, $I_2 = 0$).

Потребляемая энергия тратится только на перемагничивание сердечника и нагрев его стали (потери в стали).

Используется для определения коэффициента трансформации и оценки качества стали сердечника.

2. Рабочий режим (под нагрузкой).

Основной эксплуатационный режим, при котором к вторичной обмотке подключен потребитель (резистор, лампа, двигатель и т.д.)

Цепи обеих обмоток замкнуты. Появление тока I_2 во вторичной обмотке заставляет ток в первичной обмотке I_1 увеличиться, чтобы скомпенсировать размагничивающее действие нагрузки и передать нужную мощность. Ток во вторичной обмотке создает свой магнитный поток, который, согласно закону Ленца, направлен против основного потока. Чтобы поддержать баланс, ток в первичной обмотке автоматически увеличивается. Энергия передается из первичной цепи во вторичную через магнитное поле сердечника без электрического контакта.

3. Режим короткого замыкания (КЗ).

Состояние, при котором выводы вторичной обмотки соединены напрямую, без полезной нагрузки (сопротивление нагрузки равно нулю). При номинальном входном напряжении токи возрастают до критических значений, что ведет к аварии (расплавлению изоляции).

Аварийный КЗ: происходит при поломке сети. Токи мгновенно возрастают в десятки раз, что ведет к перегреву и разрушению изоляции.

Опытный КЗ: лабораторный режим, когда на первичную обмотку подают сильно пониженное напряжение (обычно 5-15% от номинала), чтобы токи в обмотках достигли номинальных значений. Используется для измерения потерь в меди (на нагрев проводов).

Также существуют дополнительные два режима работы трансформаторов:

- Параллельная работа: режим, когда несколько трансформаторов питают общую сеть. Для этого должны соблюдаться условия: равенство коэффициентов трансформации, напряжений КЗ и совпадения фаз.

- Перегрузка: работа с током, превышающим номинальный.

Допускается только кратковременно в соответствии с техническими нормативами.

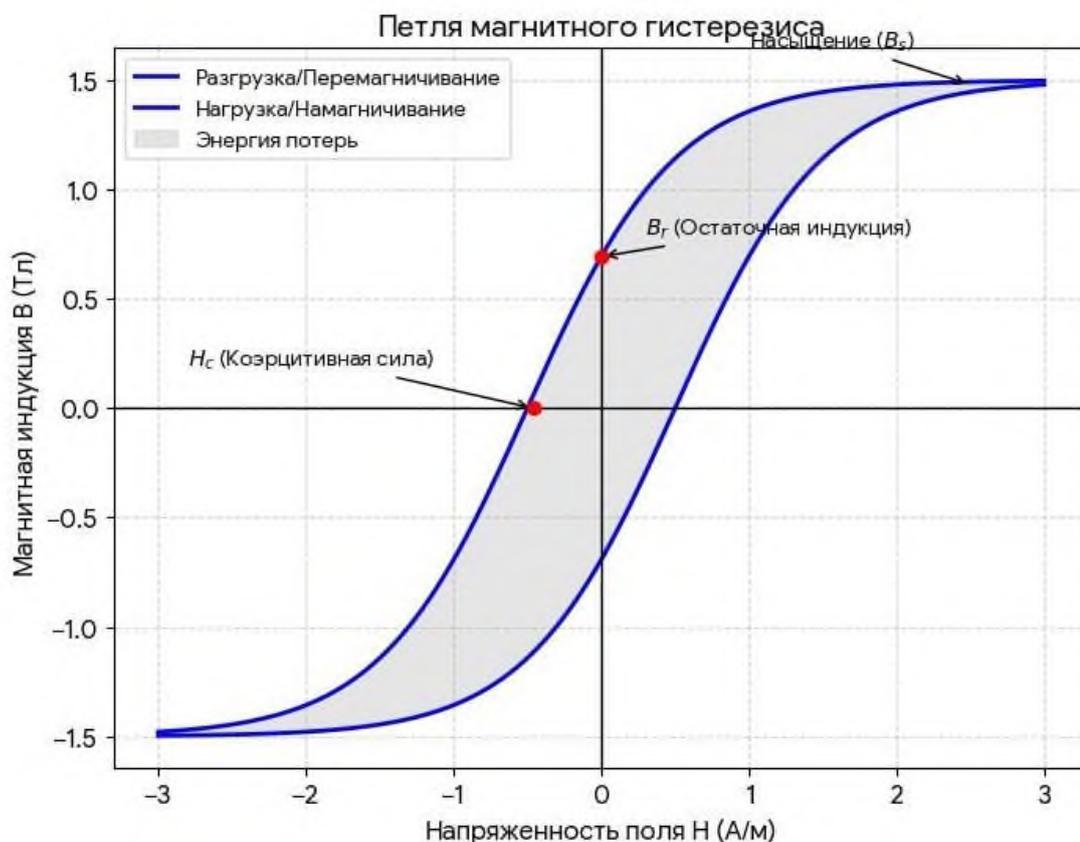
Потери энергии и КПД трансформаторов.

В трансформаторах энергия теряется при передаче из первичной обмотки во вторичную. Эти потери делятся на две основные группы:

1. Потери в стали («потери в меди» или «холостой ход»).

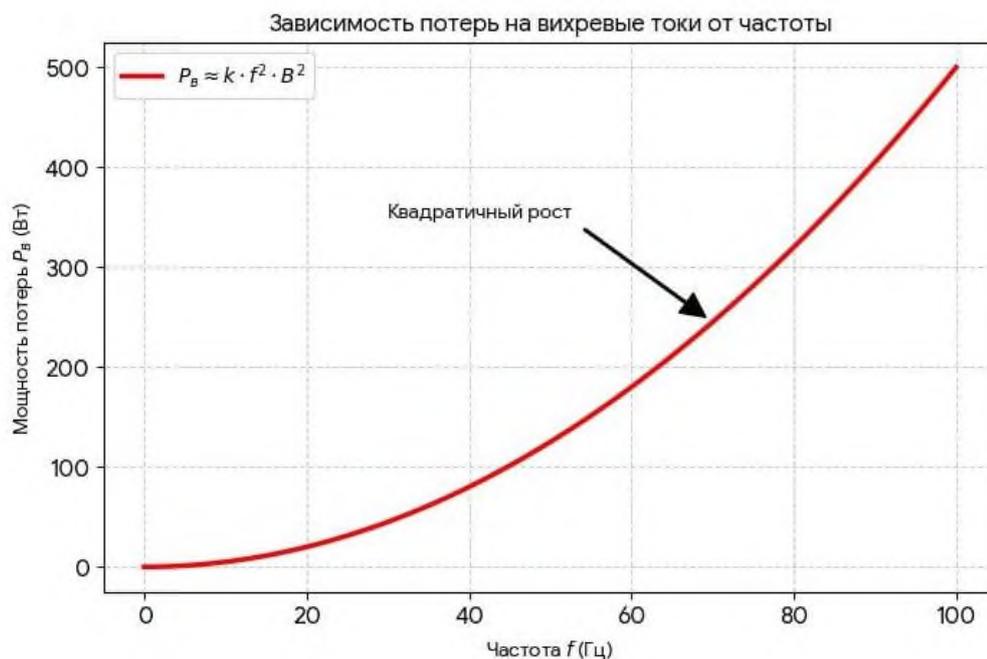
Эти потери называют постоянными, так как они зависят только от напряжения и частоты сети, а не от того, сколько приборов подключено к трансформатору. Они происходят в сердечнике и не зависят от нагрузки:

- **Магнитный гистерезис:** это «магнитное трение». Энергия тратится на постоянное перемагничивание сердечника (атомы железа в сердечнике работают как маленькие магниты, которые разворачиваются 50 раз в секунду, при частоте 50 Гц. На это преодоление внутреннего сопротивления материала тратится энергия). Чтобы бороться с этим используют специальную электротехническую сталь с добавлением кремния.



Ключевые понятия на графике:

- B_r (Остаточная индукция): значение индукции, которое сохраняется в материале после снятия внешнего магнитного поля ($H=0$).
 - H_c (Коэрцитивная сила): величина размагничивающего поля, которое нужно приложить, чтобы индукция в материале стала равной нулю ($B=0$).
 - Площадь петли (серая область): физически это потери энергии за один цикл, которые переходят в тепло. В трансформаторах стремятся использовать материалы с «узкой» петлей (магнитомягкие), чтобы минимизировать этот нагрев.
 - Насыщение (B_s): состояние, при котором почти все магнитные домены выровнены, и дальнейший рост поля H почти не увеличивает индукцию B .
- Вихревые токи (токи Фуко): переменное магнитное поле наводит ток не только в обмотках, но и в самом железе сердечника. Эти токи «бегают» по кругу внутри металла, разогревая его. Чтобы их снизить, сердечник делают не цельным, а набирают из тонких листов электротехнической стали, изолированных друг от друга. Это разбивает большие пути для токов на маленькие, снижая нагрев.



Потери растут пропорционально квадрату частоты (f^2) и квадрату индукции (B^2)

2. Потери в меди («нагрузочные потери»).

Они возникают в обмотках и напрямую зависят от силы тока (нагрузки). Энергия уходит в тепло согласно закону Джоуля-Ленца

$$(Q = I^2 R t).$$

Чем выше ток, тем выше потери.

3. Магнитное рассеяние.

Не все магнитные линии, созданные первой катушкой, попадают во вторую. Часть «теряется» в окружающем пространстве, создавая помехи и не передавая полезную энергию.

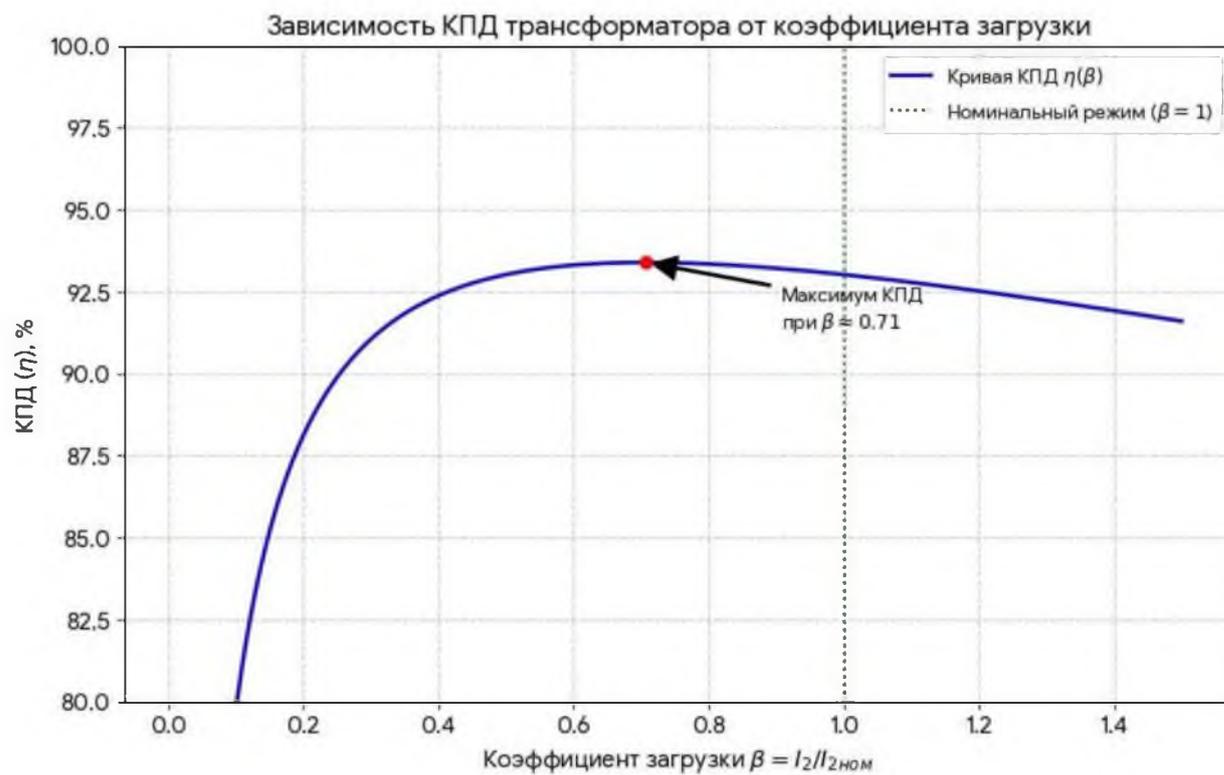
КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ (КПД)

КПД трансформатора не постоянен. Он меняется в зависимости от того, на сколько сильно нагружен аппарат.

При малой нагрузке: КПД низкий, так как потери в стали (которые есть всегда) велики по сравнению с полезной мощностью.

Максимальный КПД: достигается, когда потери в меди становятся равны потерям в стали. Обычно это происходит при нагрузке 50 – 70 % от номинальной.

При перегрузке: КПД снова падает, так как потери в меди растут в квадрате от тока.



У мощных силовых трансформаторов КПД достигает 98 – 99,5 %, у маломощных (бытовых) – около 80 – 90 %.

Формула КПД (η):

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{P_2}{P_2 + P_{ст} + P_M} \cdot 100\%$$

Где:

P_2 – активная мощность на выходе

P_1 – мощность на входе

$P_{ст}$ – потери в стали

P_M – потери в меди

Максимальный КПД достигается тогда, когда потери в стали примерно равны потерям в меди.

Занятие 24

Лабораторная работа 9

«Однофазный трансформатор».

Цель работы:

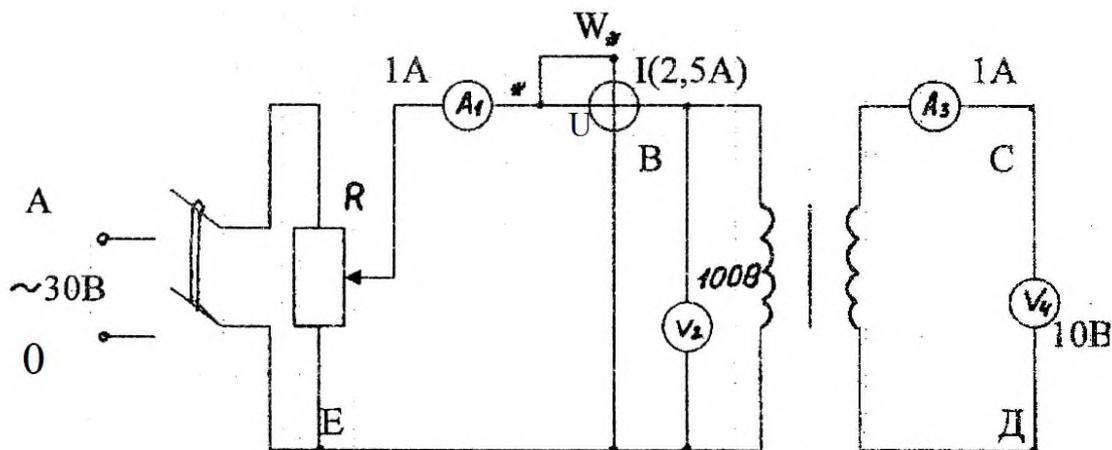
Убедиться для какой цели применяются трансформаторы

Оборудование:

1. Источник переменного тока – 30В (клеммы А и 0 на четвертом блоке)
2. Трансформатор (на шестом блоке)
3. Амперметры – 2шт
4. Вольтметры – 2 шт
5. Ваттметр – 1 шт
6. Потенциометр
7. Провода однолинейные – 6 шт, четырёхлинейные – 1 шт.

Порядок выполнения работы:

1. Определить размещение приборов на столе
2. Собрать электрическую схему.
3. Установить ручку потенциометра R в среднее положение
4. Определить цену деления приборов
5. Предъявить схему для проверки преподавателю.



6. Провести опыт холостого хода трансформатора, для чего:

6.1. Включить автомат и установить при помощи потенциометра напряжение на первичной обмотке 18В.

6.2. Записать показания в таблицу.

7. Рассчитать КПД трансформатора по формуле:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} * 100\% \quad , \text{ где } P_2 = U_2 * I_2$$

8. Сделать выводы.

п/п	Вид опыта	1	2	1	2	1	Т
	Холостой ход						

Раздел 5. Электрические машины переменного тока

Тема 5.1 Асинхронные электродвигатели

Занятие 25

1. Общие сведения о машинах переменного тока и их применение на ЛА.
2. Получение вращающегося магнитного поля
3. Устройство и принцип действия трехфазного асинхронного двигателя. Скольжение ротора.
4. Вращающий момент асинхронного двигателя
5. Пуск асинхронного двигателя.
6. Понятие об однофазных и двухфазных асинхронных двигателях.

Общие сведения о машинах переменного тока и их применение на ЛА.

Машины переменного тока (МПТ) – это электромеханические устройства, которые либо преобразуют механическую энергию в электрическую (генераторы), либо наоборот (двигатели), используя принцип электромагнитной индукции.

МПТ делятся на два главных типа:

1. Синхронные: частота вращения ротора совпадает с частотой магнитного поля статора. На самолетах это основной тип генераторов.
2. Асинхронные: ротор вращается медленнее поля статора (со «скольжением»). Чаще используются двигатели благодаря простоте и надежности.

Работа на переменном токе лучше для авиации, т.к.:

- В данных машинах отсутствуют щетки и коллектор (в современных моделях), это исключает искрение, что критично на больших высотах, и упрощает обслуживание.
- Напряжение переменного тока легко менять с помощью легких статических трансформаторов.
- При равной мощности МПТ легче и компактнее машин постоянного тока.

Машины переменного тока применяются на воздушных судах для:

1. Генерации электроэнергии:

- Основная сеть: современные лайнеры используют систему переменного тока 115/200 В с частотой 400 Гц (высокая частота позволяет уменьшить вес трансформаторов и двигателей).
- Привод постоянных оборотов: для поддержания стабильных 400 Гц генераторы часто соединяются с двигателем через специальный редуктор.

2. Электрические приводы:

- Топливные насосы: асинхронные двигатели качают топливо из баков
- Вентиляция и охлаждение: привод вентиляторов в системе кондиционирования (СКВ)
- Гидравлика: электродистанционные насосные станции для выпуска шасси или закрылков в резервных режимах.

3. Гироскопические приборы:

- Малогабаритные МПТ вращают гироскопы в авиагоризонтах и навигационных системах, обеспечивая высокую точность за счет стабильных оборотов.

Получение вращающегося магнитного поля.

Для получения вращающегося магнитного поля обычно используют систему неподвижных катушек, через которые пропускают переменный ток. Чаще всего это реализуется двумя способами:

1. Трехфазная система (самый распространенный).

На статоре двигателя размещают три обмотки друг относительно друга в пространстве на 120° . На эти обмотки подают трехфазное напряжение, где токи также смещены по фазе на 120° . При этом магнитные потоки каждой катушки суммируются в один результирующий вектор. Этот вектор имеет постоянную величину, но непрерывно вращается в пространстве с частотой, зависящей от частоты тока.

2. Двухфазная система.

Используются две обмотки, расположенные под углом 90° . Токи в них должны быть сдвинуты по фазе на 90° (чего в однофазной сети добиваются с помощью пускового конденсатора).

Основные условия:

1. Пространственный сдвиг: катушки должны быть физически повернуты друг относительно друга.
2. Временной сдвиг: токи в катушках должны запаздывать или опережать друг друга по фазе.

Если оба условия соблюдены, суммарное магнитное поле будет «бежать» по кругу, увлекая за собой ротор.

Устройство и принцип действия трехфазного асинхронного двигателя. Скольжение ротора.

Трехфазный асинхронный двигатель – это электрическая машина переменного тока, в которой скорость вращения ротора всегда меньше скорости вращения магнитного поля статора.

Основные узлы двигателя – это неподвижный статор с обмотками и вращающийся ротор. Чаще всего используется короткозамкнутый ротор («беличья клетка»).

Статор имеет три независимые обмотки, сдвинутые в пространстве на 120° . При подаче тока они создают вращающееся поле.

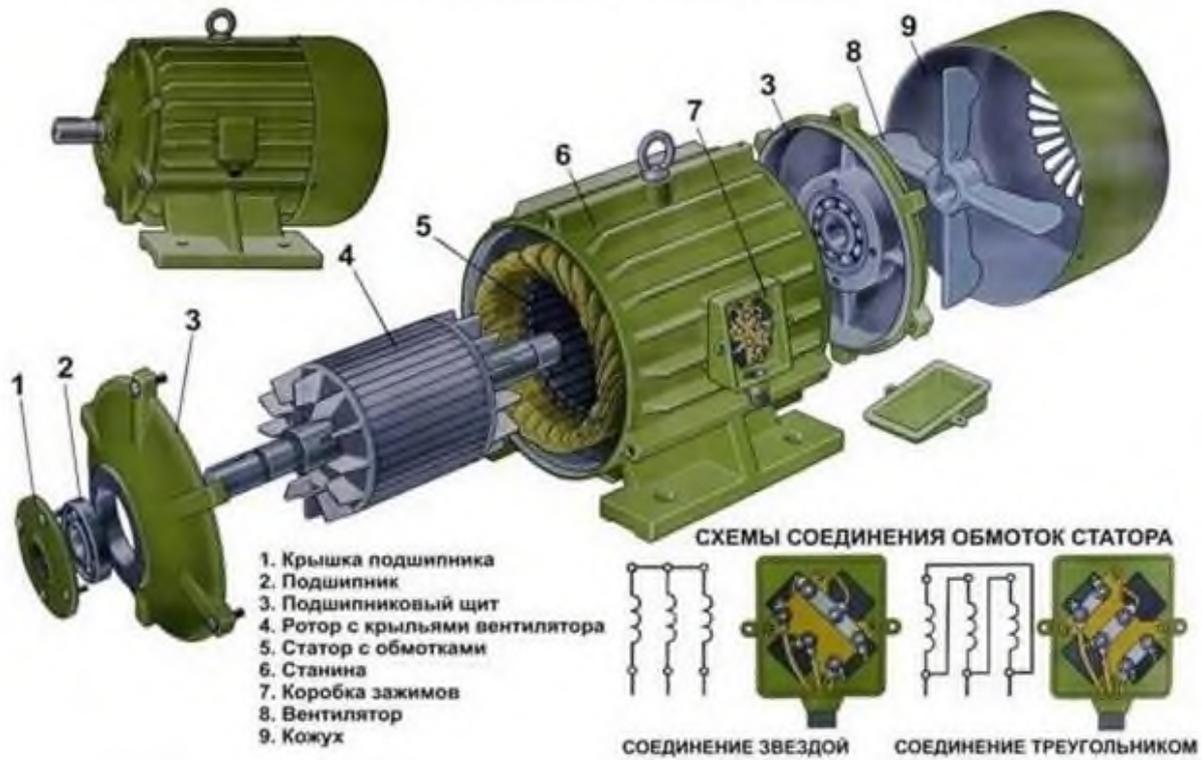
Ротор состоит из сердечника и проводящих стержней, замкнутых кольцами. Это и есть «беличья клетка».

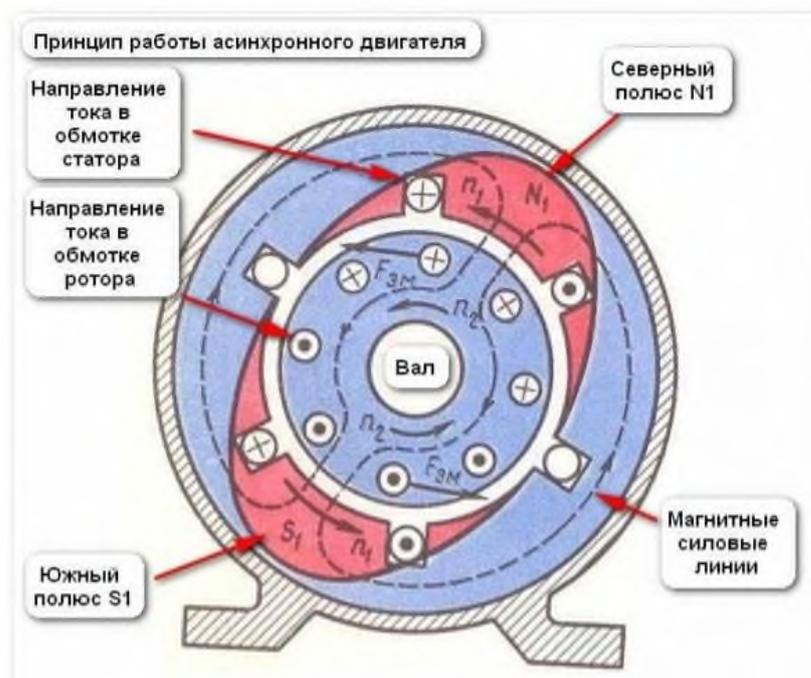
Работа двигателя основана на законах Фарадея и Ленца.

При подаче трехфазного напряжения на обмотки статора возникает вращающееся магнитное поле, которое вращается с частотой n_1 (синхронная скорость). Магнитные линии поля пересекают стержни ротора и наводит в них электродвижущую силу. Поскольку обмотка ротора замкнута, в ней начинает течь ток. Взаимодействие поля статора и тока ротора создает

механическую силу, которая заставляет ротор вращаться в сторону вращения поля.

ДВИГАТЕЛЬ АСИНХРОННЫЙ ТРЁХФАЗНЫЙ





Скольжение ротора (s) – это относительная разность между скоростью вращения магнитного поля статора n_1 и реальной скоростью ротора n_2 .

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

Скольжение ротора необходимо, т.к. если бы ротор не вращался со скоростью поля ($n_2 = n_1$), магнитные линии перестали бы пересекать его обмотку. Индукция тока прекратилась бы, исчезла бы движущая сила, и ротор замедлился бы под действием трения или нагрузки.

Вращающий момент асинхронного двигателя.

Вращающий момент асинхронного двигателя (M) возникает благодаря взаимодействию магнитного потока статора и тока, который наводится в роторе.

Этот момент непостоянен и сильно зависит от скольжения (а значит, и от оборотов).

Основные точки на графике момента:

Пусковой момент ($M_{\text{п}}$): значение в правой части графика (при $s = 1$, когда ротор неподвижен). Это сила, с которой двигатель начинает вращение.

Критический момент (M_{\max}): пик кривой. Это максимальное усилие, которое может развить двигатель. Если нагрузка на валу станет больше этого пика, двигатель «опрокинется» (резко остановится).

Рабочая область: участок от $s = 0$ до M_{\max} . Здесь двигатель работает стабильно. В номинальном режиме ($M_{\text{ном}}$) скольжение очень мало (обычно от 0,02 до 0,05).

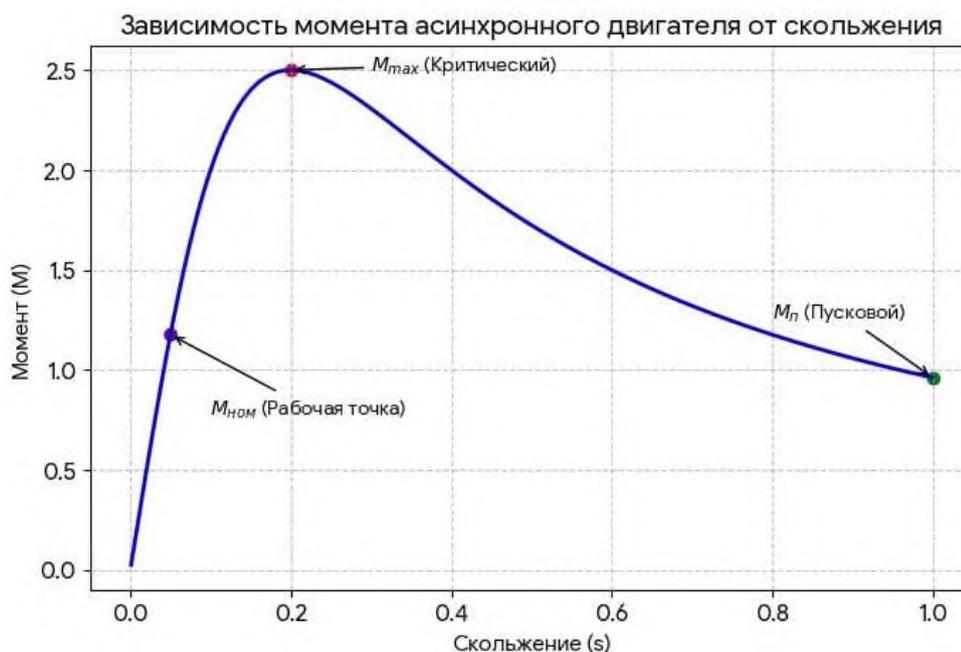
Синхронная скорость ($s = 0$): левый край графика. Здесь момент равен нулю, т.к. ротор вращается со скоростью поля и ток в нем не индуцируется.

$$M = k \cdot \Phi \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2$$

I_2 – ток ротора

Φ – магнитный поток

k – коэффициент, $\cos \varphi_2$ – коэффициент мощности ротора.



Момент зависит от следующих параметров:

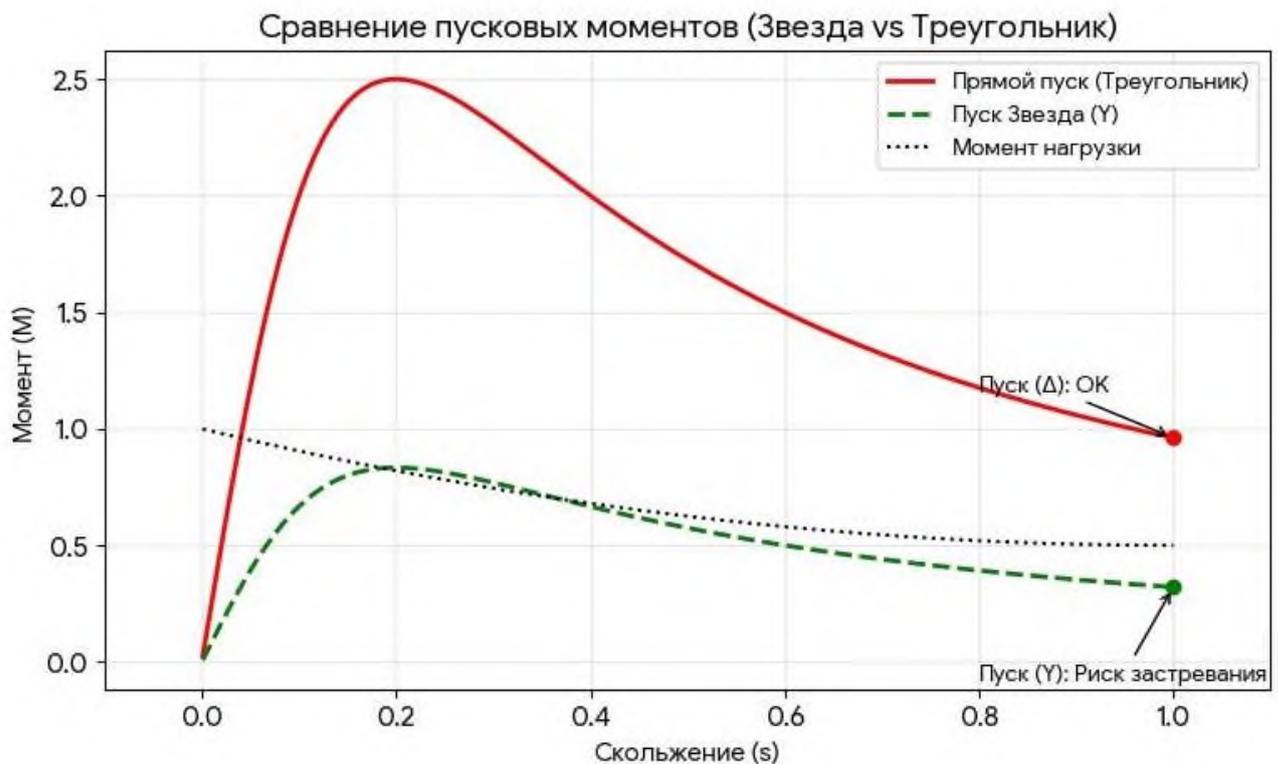
- Напряжение (U): момент пропорционален квадрату напряжению. Если напряжение в сети упадет на 10%, момент снизится почти на 20%. Это главная причина, почему двигатели плохо запускаются при «просадках» сети.

- Конструкция ротора: у двигателей с фазным ротором можно увеличить пусковой момент, добавив сопротивление (реостат), что позволяет плавно запускать тяжелые механизмы.
- Частота тока: современные частотные преобразователи управляют моментом, меняя частоту и напряжение одновременно.

Пуск асинхронного двигателя.

Пуск асинхронного двигателя – вращающее усилие, которое двигатель развивает в самый первый момент включения, когда ротор еще неподвижен. Это самый тяжелый режим его работы. В момент включения, когда ротор неподвижен ($s = 1$), двигатель потребляет ток, в 5-7 раз превышающий номинальный. Это может привести к перегреву обмоток и «просадке» напряжения в сети.

Существует несколько основных способов пуска:



1. Прямой пуск.

Самый простой способ: обмотки статора подключаются напрямую к сети через контактор или автомат. Этот способ имеет плюсы благодаря дешевизне, простоте и максимальному пусковому моменту, но также имеет и свои минусы из-за огромного скачка тока и резких ударов в механической части (редукторы, муфты).

2. Переключение «Звезда – треугольник».

Двигатель запускается по схеме «Звезда» (напряжение на фазах ниже в $\sqrt{3}$ раз), а после разгона переключается на «Треугольник». В результате пусковой ток снижается в 3 раза, но пусковой момент тоже падает в 3 раза.

3. Использование устройства плавного пуска.

УПП постепенно повышает напряжение на статоре с помощью тиристоров. Ток растет плавно, нет механических ударов, можно настроить время разгона, но момент на низких скоростях все равно ограничен.

4. Частотный пуск.

Самый современный и эффективный метод. Частотный преобразователь меняет и частоту, и напряжение. Этот метод позволяет запустить двигатель с полным моментом при минимальном токе. Идеален для лифтов, кранов, насосов. Из минусов – высокая стоимость оборудования.

5. Реостатный пуск.

В цепь ротора через контактные кольца вводятся пусковые сопротивления. В результате снижается пусковой ток и одновременно увеличивается пусковой момент. По мере разгона ступени сопротивления выводятся.

Понятие об однофазных и двухфазных асинхронных двигателях.

У однофазных двигателей на статоре только одна рабочая обмотка, которая создает не вращающееся, а пульсирующее магнитное поле. Оно не может сдвинуть ротор с места, поэтому у двигателя нет пускового момента.

Чтобы мотор начал вращаться, ротор нужно крутануть вручную или использовать пусковую обмотку.

Такие двигатели в «чистом» виде (с одной обмоткой) практически не применяются в авиации из – за отсутствия пускового момента и вибраций. Используются лишь во вспомогательном оборудовании очень малой мощности, где допустим запуск через фазосдвигающий элемент (конденсатор или короткозамкнутый виток), например: небольшие вентиляторы обдува радиоэлектронной аппаратуры в кабине или внутри блоков.

У двухфазных двигателей на статоре расположены две обмотки, сдвинутые друг относительно друга на 90° . Одна обмотка включается в сеть напрямую, а вторая – через конденсатора. Конденсатор сдвигает фазу тока, благодаря чему возникает полноценное вращающееся магнитное поле. Преимущество в том, что двигатель запускается самостоятельно и работает более стабильно и плавно, чем однофазный.

Такие двигатели являются основным типом исполнительных двигателей в авиационных системах автоматики. Используются в следящих приводах, механизмах управления закрылками, триммерами и в пилотажных приборах. Они позволяют плавно регулировать скорость и направление вращения (реверс) путем изменения напряжения на одной из обмоток (обмотке управления). Часто их называют «малоинерционными», т.к. у них полый алюминиевый ротор («стаканчик»), который мгновенно откликается на сигнал.

Тема 5.2 Синхронные электрические машины.

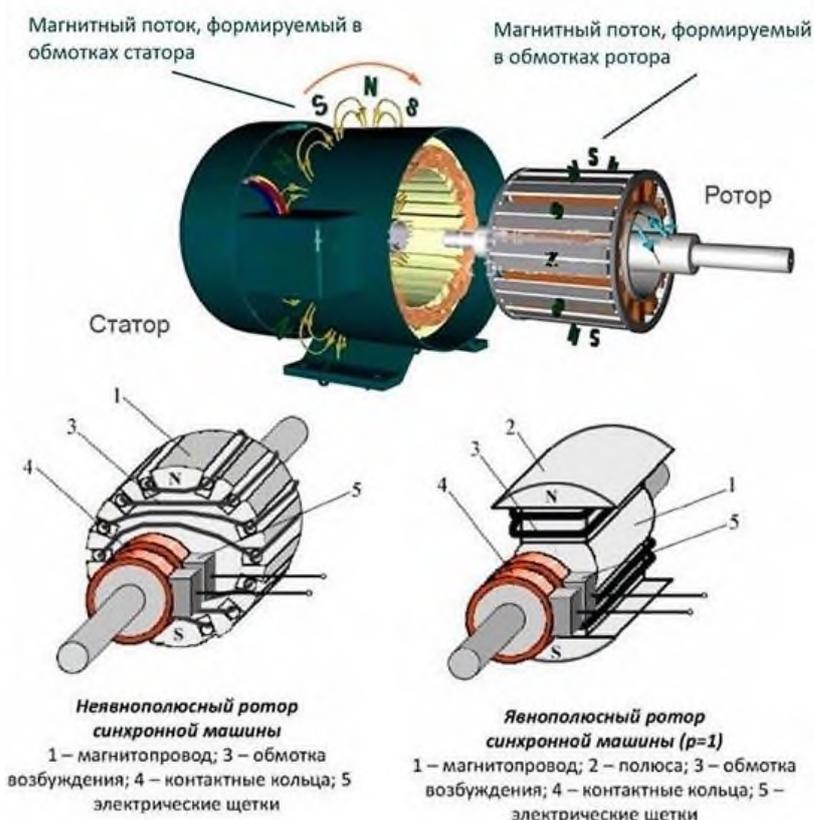
Занятие 26

1. Понятие о синхронном электродвигателе.
2. Синхронный генератор.
3. Краткие сведения о вращающихся трансформаторах и сельсинах.

Понятие о синхронном электродвигателе

Синхронный электродвигатель – это машина переменного тока, у которой скорость вращения ротора совпадает со скоростью вращения магнитного поля статора. Между ними нет «проскальзывания» – они работают в идеальном синхронизме.

Состоит также из статора и ротора. На статор подается переменный ток, обмотки статора создают вращающееся магнитное поле. А на ротор постоянный ток (через щетки или бесконтактно) для создания собственного магнитного поля. Ротором является либо мощный постоянный магнит, либо электромагнит (обмотка, на которую подается постоянный ток).



Поскольку ротор сам по себе является магнитом, он «цепляется» за вращающееся поле статора и следует за ним. Если поле делает 3000 оборотов в минуту, то и ротор делает ровно столько же.

Эти двигатели могут не только потреблять, но и отдавать реактивную энергию в сеть, что помогает улучшить коэффициент мощности предприятия.

Главные плюсы в том, что обороты не падают, даже если нагрузка на валу растет (пока она не станет критической и двигатель не «выпадет из синхронизма»), высокий КПД (они эффективнее асинхронных, т.к. меньше энергии тратится на нагрев ротора, а также может работать в режиме генератора (синхронную машину легко заставить работать в обратную сторону. Почти все генераторы на электростанциях и в самолетах – именно синхронные).

Обычно это мощные установки, где важна постоянная скорость: огромные насосы, компрессоры, вентиляторы.

В современных самолетах (например, в приводах топливных насосов или в качестве стартер – генераторов) все чаще используют вентильные двигатели. Это продвинутая версия синхронного мотора с постоянными магнитами, где электроника точно управляет фазами.

Основной их минус в том, что синхронный двигатель сложнее запустить – ему нужно либо вспомогательное устройство, либо умная электроника (частотный преобразователь), чтобы постепенно «раскрутить» ротор до нужной скорости.

Синхронный генератор.

Синхронный генератор – это устройство, которое преобразует механическую энергию вращения в электрическую энергию переменного тока.

Принцип работы строится на законе электромагнитной индукции: на ротор подается постоянный ток, превращая его во вращающийся магнит. Внешняя сила (турбина, ТЭЦ, ГЭС или двигатель внутреннего сгорания)

раскручивает ротор. Магнитное поле ротора пересекает обмотки неподвижного статора и наводит в них переменное напряжение.

В таких генераторах частота тока всегда пропорциональна скорости вращения вала, он является основным источником энергии для единой энергосистемы (от атомных станций до портативных бензогенераторов), работает с нагрузкой, позволяя точно регулировать напряжение путем изменения тока возбуждения на роторе.

На воздушных судах синхронные машины играют критическую роль, обеспечивая генерацию основной электроэнергии и работу наиболее ответственных приводов.

Краткие сведения о вращающихся трансформаторах и сельсинах.

Это специальные электрические микромашины, которые используются для передачи углового положения вала в виде электрического сигнала.

Сельсины работают по принципу «электрического вала» и работа происходит парой (сельсин датчик и сельсин приемник). Если повернуть вал одного сельсина (датчика), вал другого «приемника» повернется на тот же угол. Состоят из статора с трехфазной обмоткой и ротор с однофазной обмоткой. Применяются в индикаторах положения закрылков, рулей, шасси и дистанционных указателях приборов в кабине пилотов. Бывают индикаторные (передают положение стрелки) и трансформаторные (передают сигнал рассогласования для следящих систем).

Вращающиеся трансформаторы – это высокоточные датчики угла поворота, которые преобразуют угол в переменное напряжение.

Состоят из статора и ротора, на которых расположено по 2 обмотки, сдвинутые друг относительно друга на 90° . При вращении ротора амплитуда выходного сигнала меняется по закону синуса и косинуса угла поворота. Применяются в бортовых вычислительных системах наведения, антенных приводах и современных системах управления бесколлекторными двигателями.

Сельсины удобны для прямой визуальной индикации (связка «датчик – прибор»)

Вращающиеся трансформаторы гораздо точнее и надежнее (особенно бесконтактные модели), они легко стыкуются с цифровыми системами управления.



Раздел 6. Электрические машины постоянного тока.

Тема 6.1 Генераторы постоянного тока.

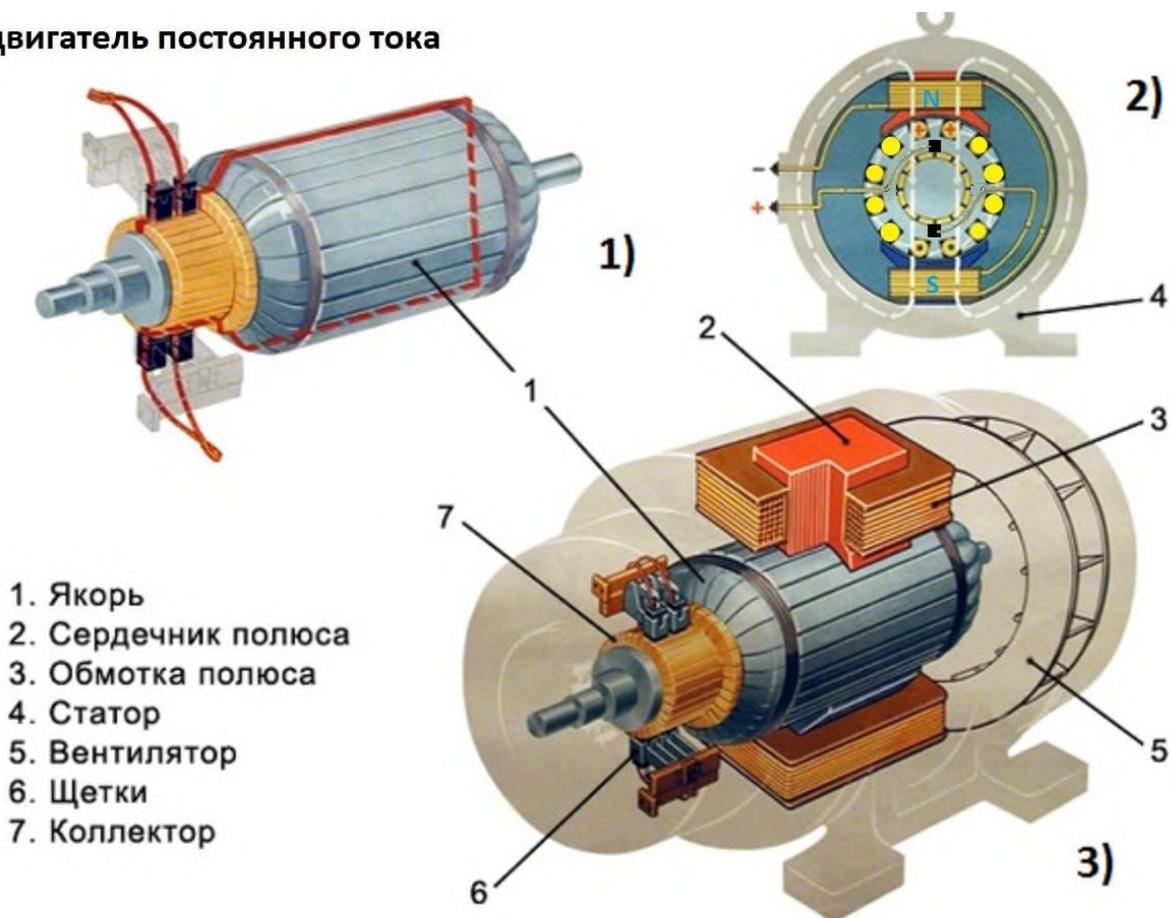
Занятие 27

1. Электрические машины постоянного тока: общие сведения, устройство и принцип действия.
2. Типы генераторов постоянного тока и их характеристики.
3. Понятие о реакции якоря.

Электрические машины постоянного тока: общие сведения, устройство и принцип действия.

Электрические машины постоянного тока (МПТ) – это устройства, которые преобразуют механическую энергию в электрическую (в режиме генератора) или электрическую в механическую (в режиме двигателя). Особенностью таких машин является их обратимость: одно и то же устройство может работать в обоих режимах.

двигатель постоянного тока



Любая машина постоянного тока состоит из двух основных частей:

- Статора (индуктор) – неподвижная часть. Она создает основное магнитное поле с помощью постоянных магнитов или обмоток возбуждения, расположенных на сердечнике.
- Ротора (якорь) – вращающаяся часть. В пазах сердечника якоря уложена обмотка, в которой при вращении индуцируется переменная ЭДС.

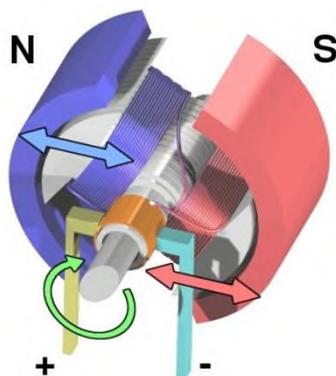
А также включает в себя и другие важные элементы:

- Коллектор – устройство в виде цилиндра из медных пластин, жестко закрепленное на валу якоря. Он выполняет роль механического выпрямителя (в генераторах) или переключателя тока (в двигателях).
- Щетки – графитовые или угольные бруски, которые скользят по коллектору и обеспечивают электрический контакт между вращающимся якорем и внешней цепью.

Работа МПТ основана на законе электромагнитной индукции и силе Лоренца (взаимодействии магнитного поля и тока):

1. В режиме генератора при подаче напряжения на обмотки якоря и статора возникают магнитные поля. Взаимодействие поля статора с током в проводниках якоря создает электромагнитный момент, заставляющий якорь вращаться.

2. В режиме генератора при вращении якоря сторонним двигателем его проводники пересекают магнитные линии поля статора, из-за чего в них индуцируется ЭДС. Коллектор преобразует переменный ток в постоянный для внешней цепи.



Типы генераторов постоянного тока и их характеристики.

Такие машины различаются по тому, как создается магнитный поток индуктора:

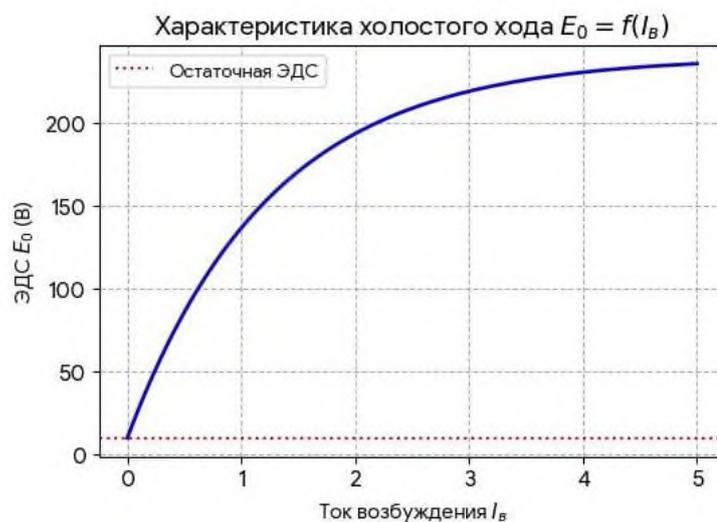
- С независимым возбуждением (обмотка возбуждения питается от отдельного источника).
- С самовозбуждением (обмотка возбуждения подключается в самому якорю). Бывает трех типов:
 - параллельное (шунтовое). Обмотка подключена параллельно якорю.
 - Последовательное (серийное). Обмотка включена последовательно.
 - Смешанное – есть обе обмотки (параллельная и последовательная).

Преимущества МПТ в плавной регулировке частоты вращения в широких пределах, высокие пусковые моменты, возможность работы в тяжелых режимах пуска.

Недостатками таких машин является наличие коллекторно – щеточного узла, который делает машину более сложной, дорогой и требующей регулярного обслуживания из – за искрения и износа щеток.

Свойства генераторов оценивают по нескольким ключевым зависимостям:

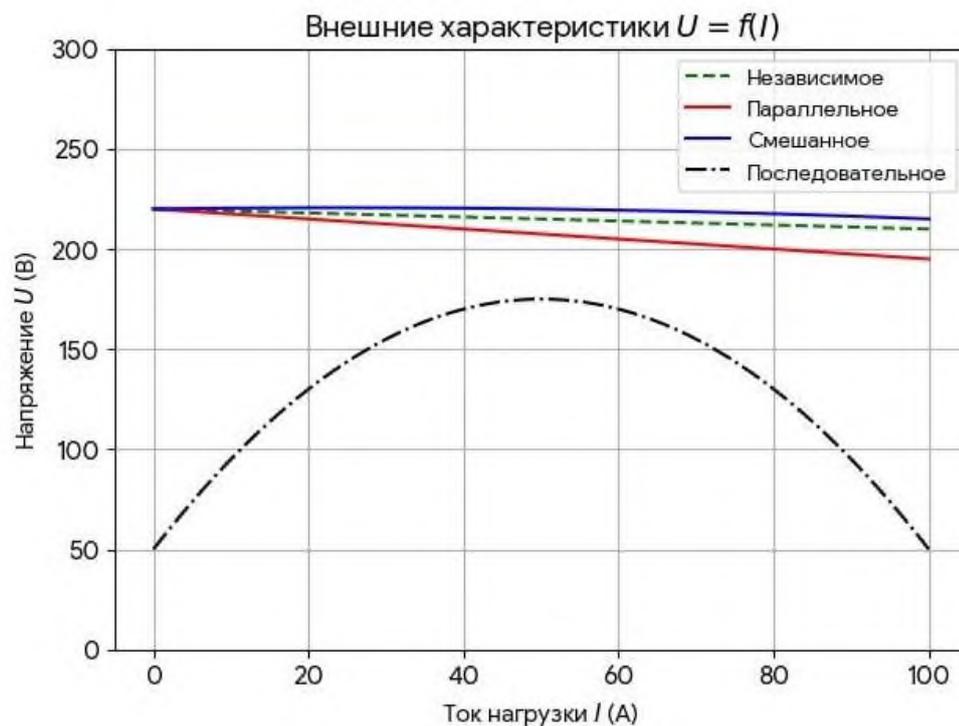
1. Характеристика холостого хода: зависимость ЭДС (E) от тока возбуждения (I_B) при отсутствии нагрузки. Показывает способность машины намагничиваться.



Вид кривой: начинается не из нуля (из-за остаточного магнетизма), идет почти линейно, а затем переходит в «насыщение», когда рост тока возбуждения почти не дает прироста ЭДС.

2. Внешняя характеристика: зависимость напряжения на зажимах (U) от тока нагрузки (I).

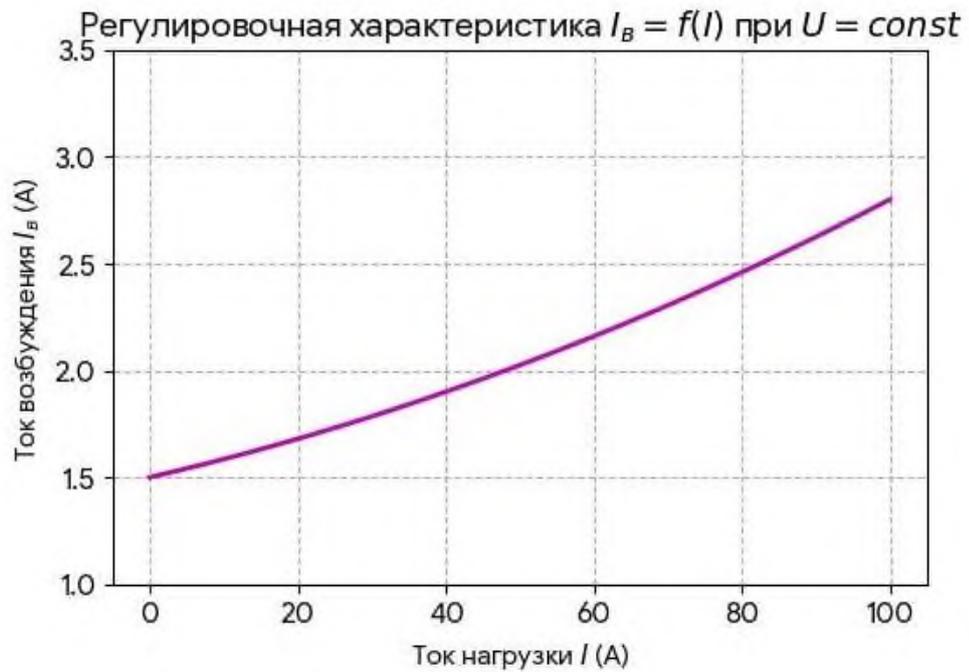
- у генераторов параллельного возбуждения напряжение плавно падает при росте нагрузки.
- у смешанного возбуждения напряжение может оставаться практически постоянным за счет компенсации падения напряжения последовательной обмоткой.



По графику:

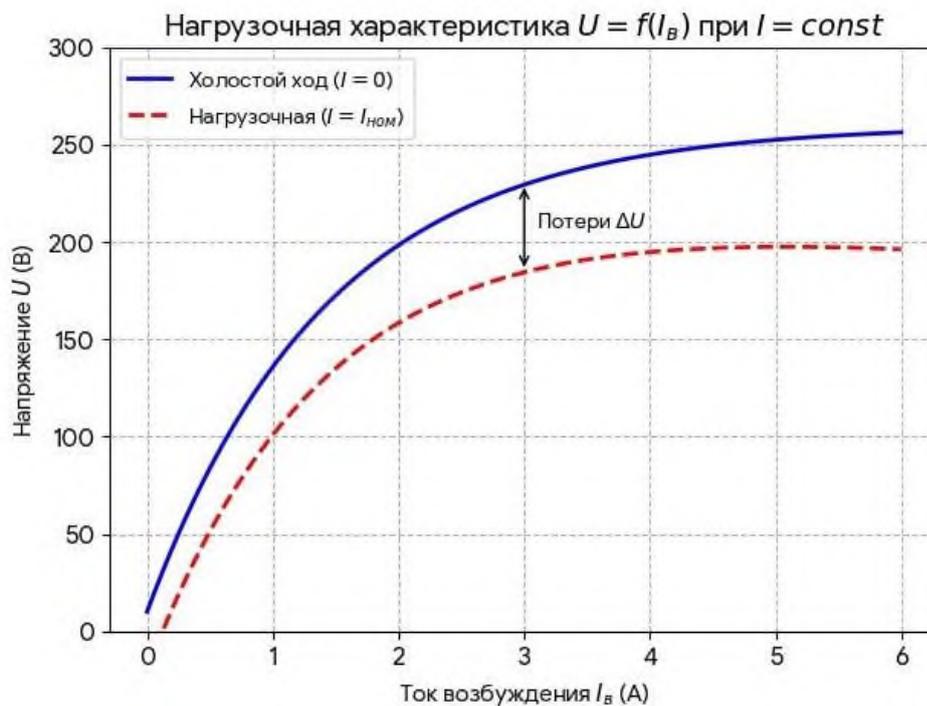
- 1) независимое возбуждение: напряжение падает незначительно (только из-за внутреннего сопротивления и реакции якоря).
- 2) параллельное (шунтовое) возбуждение: падает сильнее, т.к. с уменьшением напряжения падает и ток возбуждения самого генератора.
- 3) смешанное возбуждение: напряжение почти постоянно.
- 4) последовательное (сериесное) возбуждение: напряжение сначала резко растет вместе с током, а затем падает при насыщении.

3. Регулировочная характеристика: показывает, как нужно менять ток возбуждения (I_B), чтобы поддерживать постоянное напряжение ($U = \text{const}$) при изменении нагрузки.



По мере роста нагрузки (I) в генераторе происходят потери: падает напряжение на внутреннем сопротивлении и сказывается «реакция якоря» (магнитное поле нагрузки ослабляет основное поле). Чтобы компенсировать это и удержать U на одном уровне, приходится увеличивать ток возбуждения.

4. Нагрузочная характеристика: зависимость напряжения (U) от тока возбуждения (I_B) при неизменном токе нагрузки.



Разница между точками при одном и том же токе возбуждения вызвана двумя факторами:

- 1) падение напряжения на сопротивлении якоря (чисто электрические потери в проводах обмотки).
- 2) реакция якоря: магнитное поле, создаваемое током нагрузки, «размагничивает» основные полюса, из-за чего реальная ЭДС становится меньше, чем при холостом ходе.

Понятие о реакции якоря.

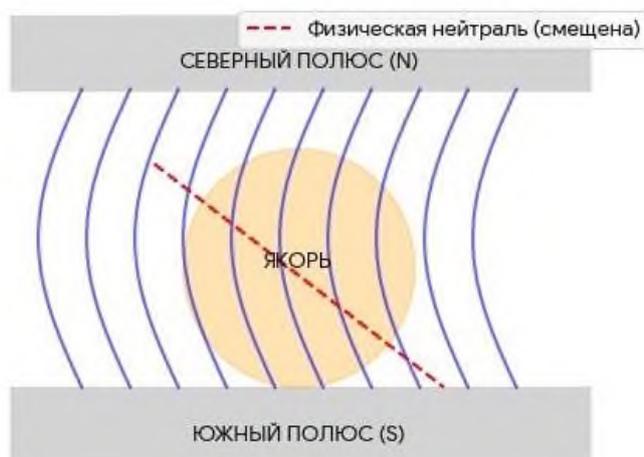
Реакция якоря – это влияние магнитного поля, создаваемого током в обмотке якоря, на основное магнитное поле генератора (создаваемое полюсами возбуждения).

Простыми словами, когда генератор работает вхолостую, магнитное поле «чистое» и симметричное. Как только подключают нагрузку, по якорю течет ток, который создает свое собственное магнитное поле. Это поле накладывается на основное и портит его.

Это приводит к следующим последствиям:

1. Размагничиванию (ослабление поля): поле якоря «подрезает» края основного поля. Из-за насыщения стали в одной половине полюса поле усиливается меньше, чем ослабляется в другой. В итоге общий магнитный поток падает, а значит, падает и ЭДС генератора.

2. Искажению формы поля: магнитные линии сгущаются у одного края полюса и разрежаются у другого. Максимум индукции смещается.



3. Искрению на щетках: из-за искажения поля геометрическая нейтраль (место, где ЭДС в секции равна нулю) смещается. Щетки оказываются в зоне, где есть напряжение, что вызывает сильное искрение и быстрый износ коллектора.

Чтобы с этим бороться используют:

- Дополнительные полюса: маленькие полюса между основными, которые создают поле, равное и противоположное полю якоря. Это самый эффективный метод.
- Компенсационную обмотку: закладывается прямо в пазы основных полюсов для нейтрализации поля якоря в широком диапазоне нагрузок.
- Сдвиг щеток.

Тема 6.2 Электродвигатели постоянного тока.

Занятие 28

1. Типы электродвигателей постоянного тока.
2. Характеристики электродвигателей постоянного тока.
3. Пуск в ход и регулирование частоты вращения.

Типы электродвигателей постоянного тока.

Электродвигатели постоянного тока классифицируются по двум основным признакам: наличию щеточно – коллекторного узла и способу создания магнитного поля (типу возбуждения).

1. По конструкции (способ коммутации)

- Коллекторные двигатели: традиционный тип, где передача тока на ротор происходит через механический узел – щетки и коллектор.
- Бесколлекторные (вентильные) двигатели: современные двигатели, где роль коллектора выполняет электронный инвертор, переключающий фазы статора. Они надежнее и долговечнее из-за отсутствия трущихся контактов.

2. По способу возбуждения (для коллекторных)

Эта классификация определяет, как создается магнитный поток в статоре:

- С постоянными магнитами: магнитное поле создается встроенными магнитами. Такие моторы компактны, но их мощность ограничена характеристиками магнитов.
- С электромагнитным возбуждением: поле создается специальными обмотками. В зависимости от схемы их подключения выделяют:
 - с независимым возбуждением: обмотка возбуждения питается от отдельного источника тока, не связанного с цепью якоря. Это позволяет точно и плавно регулировать скорость.
 - с параллельным возбуждением (шунтовые): обмотка возбуждения подключается параллельно якорю. Скорость вращения у них остается стабильной даже при изменении нагрузки.

— с последовательным возбуждением: имеют две обмотки (параллельную и последовательную). Это сочетает преимущества обоих типов (стабильность и высокий крутящий момент).

3. Специальные типы.

Универсальные коллекторные двигатели, способные работать как от постоянного, так и от переменного тока.

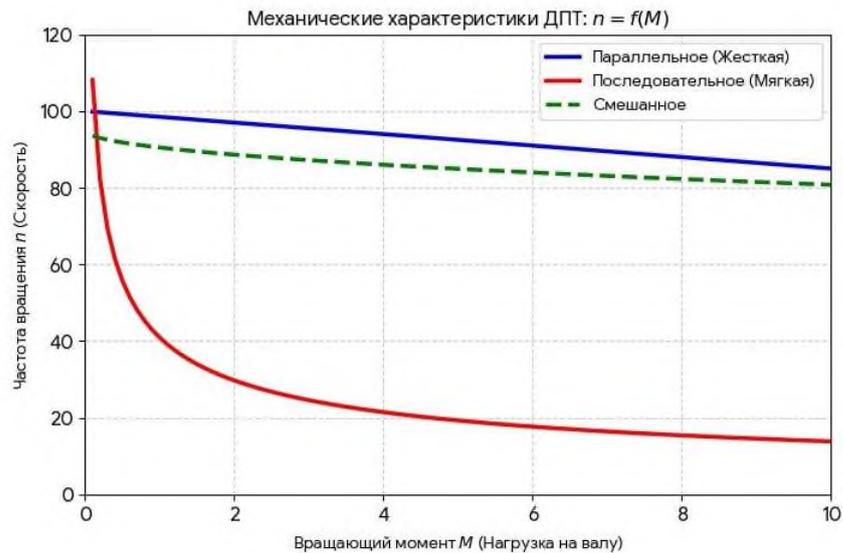
Характеристики электродвигателей постоянного тока.

Характеристики ДПТ описывают зависимость между основными величинами: скоростью вращения, моментом, током и мощностью. Их делят на две основные группы:

1. Механическая характеристика – зависимость частоты вращения (n) от момента на валу (M). Она определяет «жесткость» двигателя – то, как сильно падают обороты при росте нагрузки.

Механическая характеристика делится на следующие виды:

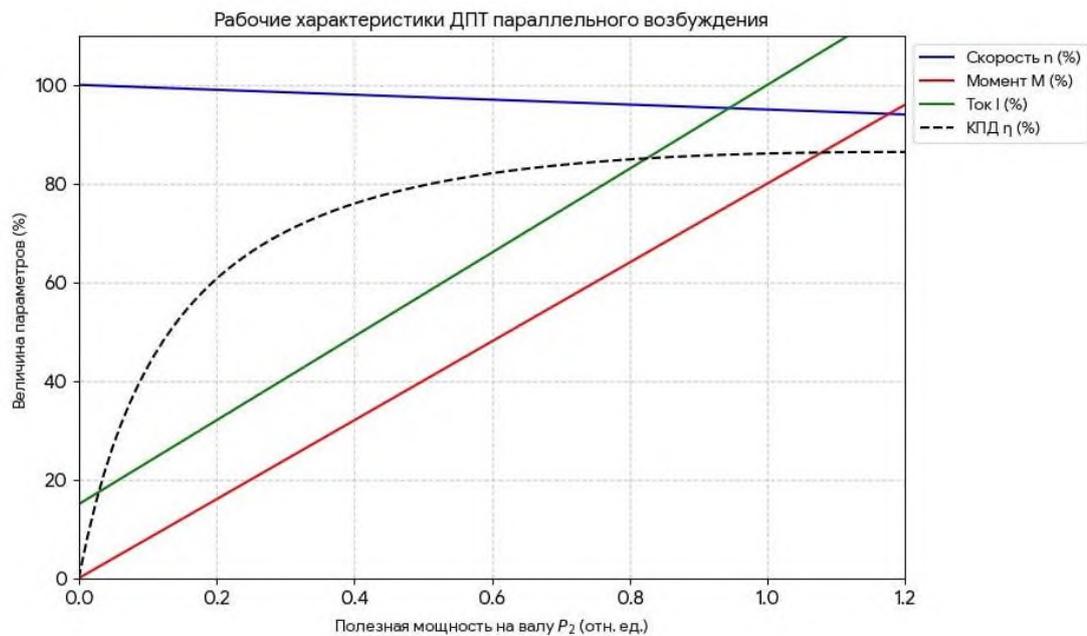
- Жесткая (параллельное возбуждение): обороты почти не меняются при росте нагрузки.
- Мягкая (последовательное возбуждение): при росте нагрузки обороты резко падают, но крутящий момент сильно растет. Это защищает мотор от перегрузок и идеально для транспорта (трамваи, краны).
- Смешанная (компаундная): средний вариант между первыми двумя.



2. Рабочие характеристики – зависимость параметров от полезной мощности на валу (P_2).

Подразделяются на следующие ха-ки:

- Скоростная $n = f(P_2)$: как меняются обороты при изменении мощности.
- Моментная $M = f(P_2)$: зависимость вращающего момента (почти всегда линейная).
- Токовая $I = f(P_2)$: потребление тока из сети. При холостом ходе ток минимален, с ростом нагрузки растет.
- КПД (η): эффективность преобразования энергии. У двигателей постоянного тока он обычно составляет 75 – 95 % . Максимальный КПД достигается при нагрузке, близкой к номинальной.



3. Пусковые и регулировочные свойства:

- Пусковой момент: у ДПТ он очень высокий, что позволяет запускать механизмы под нагрузкой.
- Диапазон регулирования: ДПТ – лидеры по плавности и глубине регулировки скорости (изменением напряжения или магнитного потока).

Пуск в ход и регулирование частоты вращения.

Для работы с двигателем постоянного тока важно учитывать две основные задачи: как безопасно его запустить и как эффективно менять скорость.

1. Пуск двигателя.

Заключается в обеспечении плавного разгона якоря при ограничении опасных бросков тока.

Главная проблема при пуске – огромный пусковой ток, который может в 10 – 50 превышать номинальный. Это опасно для щеток и обмоток.

- Прямой пуск: допустим только для двигателей очень малой мощности.

- Реостатный пуск: в цепь якоря вводят пусковой реостат. По мере разгона сопротивление ступенчато выводят, пока двигатель не выйдет на естественную характеристику.

- Пуск при пониженном напряжении: напряжение на якоре поднимают плавно (используется в современных системах с тиристорными или транзисторными преобразователями).

2. Регулирование частоты вращения.

Скорость ДПТ зависит от напряжения, тока возбуждения и сопротивления цепи:

- Изменение напряжения на якоре: самый качественный способ. Скорость меняется плавно, КПД высокий. Требуется регулируемый источник питания.

- Изменение магнитного потока (ток возбуждения): ослабление поля ведет к увеличению скорости выше номинальной. Способ экономичный, но диапазон регулирования ограничен устойчивостью двигателя.

- Введение резисторов в цепь якоря: самый простой, но невыгодный способ. Скорость только падает, а на резисторах теряется много энергии (низкий КПД).

Занятие 29

Лабораторная работа 10

«Двигатель постоянного тока с последовательным возбуждением».

I. Краткие сведения из теории.

Электродвигатели с последовательным возбуждением нашли широкое применение в электрооборудовании самолетов, в автомобилях (стартеры), в крановых устройствах, в мощных экскаваторах и др.

Во всех этих устройствах допустимо значительное изменение скорости вращения при изменении тормозного момента на валу.

Обмотка возбуждения двигателя соединена последовательно с обмоткой якоря.

Скорости вращения двигателя:

$$n = \frac{U - I_{\text{я}}(R_{\text{я}} + R_{\text{с}})}{C_E \Phi}$$

С увеличением нагрузки скорость резко падает. При нагрузках, меньших (25 - 30)% номинальной величины электродвигатель вращается с недопустимо большой скоростью вследствие малого значения магнитного потока.

Такой режим не допускается ввиду опасности механического повреждения якоря.

К достоинствам электродвигателя с последовательным возбуждением относится то, что он имеет большой пусковой момент ($M_{\text{п}} = (3 \div 5) M_{\text{н}}$), не боится перегрузок, устойчиво работает при падении напряжения. Подводимая к двигателю мощность изменяется плавно с изменением нагрузки.

II. Цель работы.

Снять характеристики электродвигателя: зависимость частоты вращения якоря и вращающего момента от мощности нагрузки.

III. Оборудование.

1. Источник постоянного тока.
2. Вольтметр - 1 шт. (0 : 30) В.
3. Преобразователь ПО - 45 - 1 шт.
4. Амперметр-1шт. (0 :10) А,
5. Реостат -1шт.
6. Амперметр, проградуированный на число: оборотов в мин.
7. Соединительные провода.

IV. Устройство установки.

Для снятия характеристики двигателя используем, преобразователь ПО -45, который состоит из двигателя постоянного тока и генератора переменного тока и одном корпусе. Якорь обеих машин находятся на валу. Переменное напряжение с зажимов генератора подаётся потребителю. Нагрузкой двигателя служит электрическая нагрузка генератора - ток, текущий по якорю генератора и нагрузочному реостату.

V. Порядок выполнения работы.

1. Соберите схему электрической цепи, изображенную на рис. 16

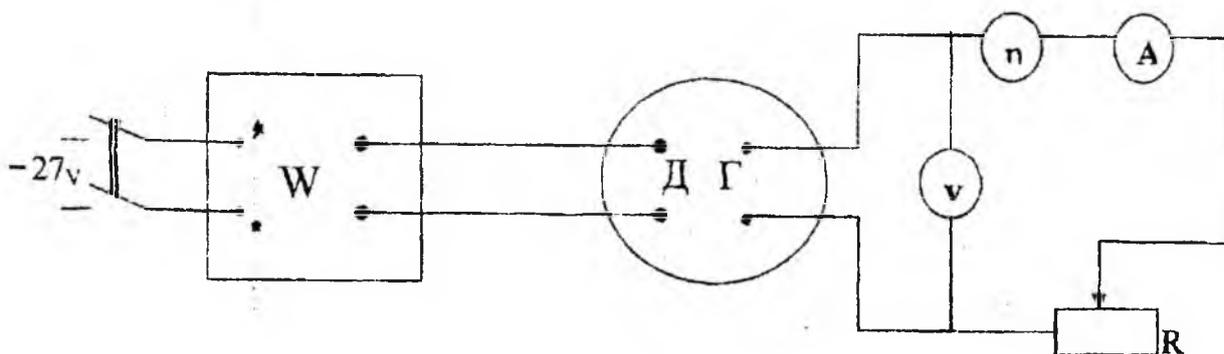


Рисунок 16 – Схема двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением

2. Предъявите преподавателю собранную схему для проверки.
3. Поставьте ползунок реостата на максимальное сопротивление.

4. Включите установку в сеть и установите при помощи реостата величину тока 2 А. Запишите показания приборов в таблицу 10. То же сделайте при токах 3А, 4А, 5А, 6А, 7А, 8А, 9 А.

Таблица 10

№ п/п	P ₁ по ваттметру	I	U	n	P ₂	M	η
		А	В	об\мин	Вт	Нм	%
1		2					
2		3					
3		4					
4		5					
5		6					
6		7					
7		8					
8		9					

5. Для всех опытов вычислите:

-мощность нагрузки $P_2 = U \cdot I$

-вращающий момент

$$M = \frac{P_2}{\omega} = \frac{P_2 \cdot 60}{2\pi n}$$

-К.П.Д. установки

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\%$$

6. Выберите масштаб и постройте характеристики: $n = f(P_2)$ и $M = f(P_2)$

7. Сделайте вывод, в котором на основании опыта укажите, как изменяются вращающий момент и частота вращения в зависимости от мощности нагрузки.

VI. Контрольные вопросы.

1. Каковы достоинства двигателя постоянного тока последовательного возбуждения?

2. Возможно ли включение двигателя последовательного возбуждения на холостом ходу?

3. Как определить вращающий момент двигателя?

Раздел 7. Основы электропривода

Тема 7.1 Общие сведения об авиационном электроприводе.

Занятие 30

1. Понятие об электроприводе. Структурная схема. Элементы авиационного электропривода.
2. Методы управления электроприводами: генераторный и дискретный.

Понятие об электроприводе. Структурная схема. Элементы авиационного электропривода.

Электропривод – это электромеханическая система, которая преобразует электрическую энергию в механическую и позволяет управлять этим процессом. Его задача – заставить механизм двигаться с нужной скоростью, силой и в нужном направлении. В авиации он заменяет или дополняет гидравлику и пневматику для перемещения рулей, выпуска шасси или работы насосов.

По структурной схеме в общем виде путь энергии выглядит так: источник питания → силовой преобразователь → электродвигатель → передаточное устройство (редуктор) → исполнительный орган.

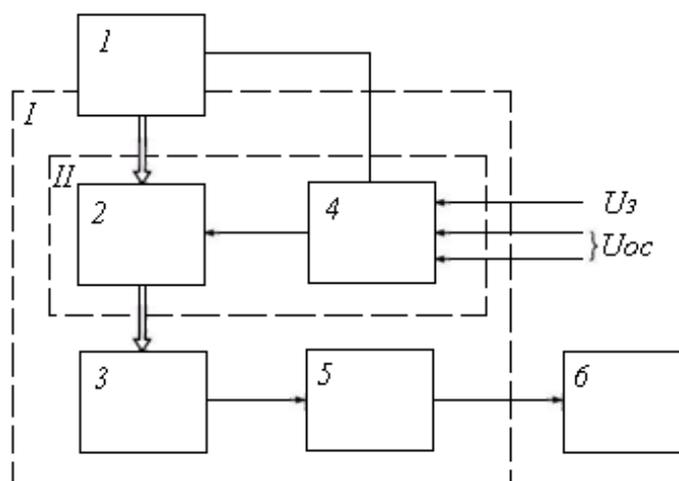


Рис. 1. Структурная схема электропривода:

I - электропривод; II - система управления; 1 - источник электроэнергии; 2 - силовой преобразователь; 3 - электродвигатель; 4 - блок управления; 5 - передаточное устройство; 6 - рабочая машина

Дополнительно в схему входит система управления, которая получает команды от пилота (или автопилота) и данные от датчиков обратной связи, чтобы точно контролировать положение или скорость.

Основной элемент электропривода — электромеханизм, который предназначен для приведения в движение исполнительного элемента. Это комплексный механизм, состоящий из электродвигателя, электромагнитной муфты, редуктора, ограничительного устройства, выходного устройства.

Электродвигатель преобразует электрическую энергию в механическую. Для получения электроэнергии требуемых параметров между двигателем и источником энергии включают силовой преобразователь.

Редуктор предназначен для уменьшения скорости вращения крутящего момента на выходном валу, а также для преобразования одного вида движения в другой.

Ограничительное устройство служит для отключения эл.двигателя при крайних положениях управляемого объекта, используя концевые выключатели и профилируемые шайбы.

Выходное устройство – обеспечивает связь электромеханизма с управляемым объектом. Исполнители шестерни, ходовой винт, зубчатая рейка.

Электромагнитные муфты – для более точной фиксации углов отклонения управляемого объекта. С их помощью может обеспечиваться расцепление эл.двигателя с редуктором (муфта сцепления) или торможение вала эл.двигателя (тормозная муфта) или одновременно и то и другое (муфта сцепления-торможения).

Управление преобразователем осуществляется от блока управления, на вход которого поступают задающий сигнал U_z и сигналы U_{oc} обратной связи (ОС), содержащие информацию о характере движения исполнительных органов, работе отдельных узлов, аварийных режимах. Преобразователь вместе с блоком управления образуют систему управления.

Жирными стрелками на рис.1 показаны силовые каналы передачи электрической и механической энергии, а тонкими - каналы передачи сигналов управления.

Методы управления электроприводами: генераторный и дискретный.

ПРИ ГЕНЕРАТОРНОМ МЕТОДЕ управление двигателем осуществляется путем изменения значения напряжения источника энергии, питающего электрический двигатель постоянного тока независимого возбуждения.

В качестве источника энергии может быть использован как генератор постоянного тока, так и электромашинный усилитель (ЭМУ).

В авиации генераторный метод управления электроприводами (система «генератор – двигатель») используется для прецизионного регулирования мощных механизмов, таких как лебедки, приводы антенн РЛС или системы поворота винтов.

Система состоит из авиационного генератора (часто постоянного тока) и исполнительного электродвигателя.

Регулирование скорости осуществляется изменением тока в обмотке возбуждения генератора. Это позволяет плавно менять выходное напряжение генератора и, соответственно, частоту вращения двигателя от нуля до максимума.

Реверсирование выполняется простым изменением полярности тока в обмотке возбуждения генератора, что меняет направление вращения двигателя без использования громоздких контакторов в силовой цепи.

При быстром снижении возбуждения генератора двигатель переходит в режим генератора, возвращая энергию обратно. В авиации это критично для быстрой остановки массивных механизмов или удержания грузов.

ПРИ ДИСКРЕТНОМ МЕТОДЕ управление двигателем осуществляется путем периодического подключения цепи якоря двигателя к источнику

питания. В этом случае используются двигатели с независимым возбуждением или с самовозбуждением от постоянных магнитов, а в качестве импульсных элементов, включающих и отключающих цепь якоря двигателя, - электронные схемы с широтно-импульсными модуляторами.

Такие системы управления применяются в большинстве случаев в следящих системах небольшой мощности: пилотажно-навигационных комплексах и радиотехнических системах.

Раздел 8. Передача и распределение электроэнергии на ЛА.

Тема 8.1. Электрические и магнитные элементы коммутации и защитной аппаратуры.

Занятие 31

1. Коммутационная и защитная аппаратура.
2. Аппаратура релейно-контакторного управления.

Коммутационная и защитная аппаратура.

Коммутационная и защитная аппаратура – это «нервная система» и «щит» любой электроустановки. Она отвечает за управление потоками энергии и предотвращение аварий.

Коммутационная аппаратура – предназначена для включения электрических цепей в нормальных режимах работы: выключатели, контакторы и пускатели, переключатели.

Защитная аппаратура – ее главная задача мгновенно отключить питание, если параметры сети вышли за безопасные пределы, чтобы спасти оборудование и людей:

- Автоматические выключатели (автоматы): защищают от коротких замыканий и перегрузок.
- УЗО (устройства защитного отключения): защищают человека от удара током при утечке (например, если повреждена изоляция и корпус прибора «бьется»).
- Дифференцированные автоматы: комбинированное устройство – «автомат + УЗО» в одном корпусе.
- Предохранители: одноразовые элементы, которые перегорают при критическом скачке тока.
- Реле напряжения – отключают технику, если напряжение в сети слишком низкое или слишком высокое (защита от «скачков»).

Аппаратура релейно-контакторного управления электродвигателем.

Аппаратура релейно – контакторного управления электродвигателем (РКУ) – это комплекс электротехнических устройств, предназначенных для пуска, реверсирования, торможения и защиты электродвигателей, а также управления вспомогательными цепями.

В основе работы такой аппаратуры лежит электромагнитный принцип: подача тока на катушку управления создает магнитное поле, которое перемещает якорь и замыкает силовые контакты.

Аппаратура делится на силовую (коммутационную) и вспомогательную (управляющую и защитную).

Среди этих устройств выделяют основные компоненты системы:

1. Контакторы – силовые двухпозиционные аппараты для частых дистанционных включений и выключений силовых цепей под нагрузкой.



2. Электромагнитные реле – вспомогательные устройства, которые реагируют на изменение параметров (тока, напряжения, времени) и передают команды в цепи управления.

3. Реле контроля (защиты) – тепловые реле (от перегрузок), реле максимального тока (от КЗ) и реле минимального напряжения.



4. Командные аппараты – кнопки, ключи управления, путевые и конечные выключатели, контроллеры.

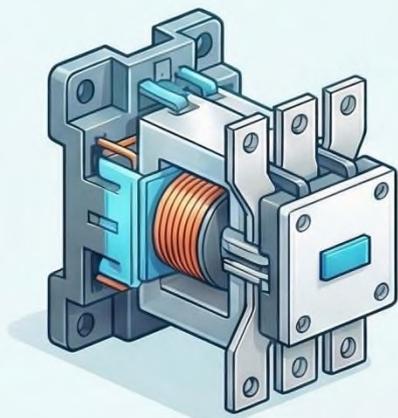


5. Магнитные пускатели – комбинированные устройства. Обычно состоящие из контактора и теплового реле в одном корпусе, оптимизированные для управления асинхронными двигателями.

Контактор vs. Магнитный Пускатель: В чём разница?

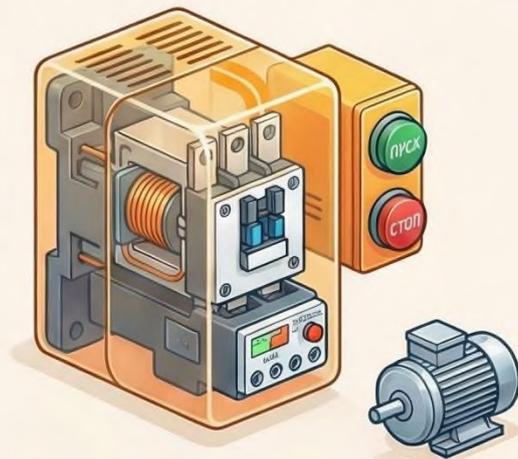
Контактор и магнитный пускатель — это устройства для коммутации силовых электрических цепей. Однако пускатель является усовершенствованной и более комплексной версией контактора, специально предназначенной для управления и защиты электродвигателей.

Контактор



-  **Назначение:** Универсальная коммутация любых мощных нагрузок
-  **Функционал:** Только включение и отключение цепи
-  **Конструкция:** Базовый силовой узел (часто без корпуса)
-  **Ключевые компоненты:** Силовые контакты и катушка управления

Магнитный Пускатель



-  **Назначение:** Пуск, остановка и защита электродвигателей
-  **Функционал:** Коммутация + защита от перегрузок
-  **Конструкция:** Готовое устройство в корпусе с доп. элементами
-  **Ключевые компоненты:** Контактор + тепловое реле и кнопки управления

Система РКУ реализует стандартные алгоритмы работы электропривода: прямой пуск, реверсивное управление, пуск «звезда – треугольник», торможение, блокировку.

Содержание

Содержание:

Раздел 1. Теоретические основы электротехники.

Тема 1.1. Введение. Электрические цепи постоянного тока.

Электрическое поле.

Введение. Общие сведения о содержании предмета.....	3
Использование электроэнергии на летательных аппаратах.....	3
Общие сведения об электрических цепях. Элементы электрической цепи и условные обозначения.....	4
Электрическое напряжение: определение, напряжение в электрических сетях, потери напряжения в проводах.....	7
Электрический ток: определение, сравнение переменного и постоянного токов, проявления электрического тока.....	9
Электрическое сопротивление: определение, виды, соединения, применение.....	13
Закон Ома.....	15
Электрическая мощность: определение, виды, расчет мощности.....	18
Электрическое поле и его основные характеристики.....	20
Конденсаторы. Электрическая емкость. Соединение конденсаторов.....	23
Расчёт цепей постоянного тока при последовательном и параллельном соединении резисторов.....	25
Первый и второй законы Кирхгофа.....	26
Лабораторная работа 1 «Измерение потерь напряжения в проводах».....	29
Лабораторная работа 2	

Последовательное соединение резисторов.....	32
Лабораторная работа 3	
«Параллельное соединение резисторов».....	35

Тема 1.2. Электромагнетизм

Основные свойства и характеристики магнитного поля. Магнитная индукция, магнитный поток, потокосцепление.....	39
Электромагнитная индукция. ЭДС в проводнике, движущемся в магнитном поле.....	41
Индуктивность. ЭДС самоиндукции. ЭДС взаимной индукции.....	43
Электромагнитные силы.....	44
Магнитные свойства материалов.....	45
Применение электромагнитных устройств на ЛА.....	46
Лабораторная работа 4	
«Исследование явления взаимной индукции».....	47

Тема 1.3 Однофазные электрические цепи переменного тока

Переменный ток: определение, период, частота, мгновенное значение, амплитудное и действующее значение.....	51
Получение синусоидальной ЭДС.....	52
Фаза, начальная фаза, сдвиг фаз.....	54
Особенности цепей переменного тока.....	56
Цепь с активным сопротивлением.....	56
Цепь переменного тока с индуктивностью.....	57
Цепь переменного тока с емкостью.....	59
Неразветвленная цепь с активным сопротивлением, индуктивностью и	61

емкостью.....	
Резонанс напряжений.....	61
Разветвленная цепь переменного тока.....	63
Резонанс токов.....	64
Применение переменного тока на ЛА.....	65
Лабораторная работа 5	
«Исследование цепи переменного тока с катушкой, имеющей активное и индуктивное сопротивление».....	66

Раздел 2. Трехфазные электрические цепи

Тема 2.1. Соединение обмоток генераторов и потребителей звездой

Трехфазная система. Принцип получения трехфазной ЭДС.	
Трехфазная цепь.....	70
Фазные линии и линейные напряжения. Роль нулевого провода.....	72
Соединение обмоток потребителей энергии «звездой».	73
Лабораторная работа 6	
«Исследование работы трехфазной цепи при соединении потребителей энергии в звезду».....	76

Тема 2.2 Соединение обмоток генераторов и потребителей «треугольником»

Соединение обмоток источников и потребителей энергии «треугольником».....	79
Применение трехфазной системы на ЛА.....	81
Лабораторная работа 7	
«Исследование работы трехфазной цепи при соединении потребителей энергии треугольником».....	82

Раздел 3. Электрические измерения

Тема 3.1 Измерительные механизмы.

Общие сведения об электрических измерениях и приборах.	
Классификация электроизмерительных приборов.....	85
Погрешности измерений.....	86
Ометры. Измерительные механизмы приборов магнитоэлектрической, стромангнитной и электродинамической системы.	87

Тема 3.2. Измерение электрических и неэлектрических величин.

Измерение тока. Шунты.....	91
Измерение напряжения. Добавочные сопротивления.....	92
Измерение сопротивления.....	93
Измерение мощности и энергии.....	94
Измерение неэлектрических величин.....	95
Практическое занятие 8 «Измерение электрических величин ампервольтметром типа АВО-5М».....	96

Раздел 4. Трансформаторы

Тема 4.1. Однофазные трансформаторы

Назначение, типы, устройство и принцип действия однофазных трансформаторов.....	99
Режимы работы трансформаторов.....	101
Потери энергии и КПД трансформаторов.....	103
Лабораторная работа 9 «Однофазный трансформатор».....	108

Раздел 5. Электрические машины переменного тока

Тема 5.1 Асинхронные электродвигатели

Общие сведения о машинах переменного тока и их применение на ЛА.	110
Получение вращающегося магнитного поля.....	111
Устройство и принцип действия трехфазного асинхронного двигателя.	
Скольжение ротора.....	112
Вращающий момент асинхронного двигателя.....	114
Пуск асинхронного двигателя.....	116
Понятие об однофазных и двухфазных асинхронных двигателях.....	117

Тема 5.2 Синхронные электрические машины

Понятие о синхронном электродвигателе.....	119
Синхронный генератор.....	120
Краткие сведения о вращающихся трансформаторах и сельсинах.....	121

Раздел 6. Электрические машины постоянного тока.

Тема 6.1 Генераторы постоянного тока.

Электрические машины постоянного тока: общие сведения, устройство и принцип действия.....	123
Типы генераторов постоянного тока и их характеристики.....	125
Понятие о реакции якоря.....	129

Тема 6.2 Электродвигатели постоянного тока.

Типы электродвигателей постоянного тока.....	131
Характеристики электродвигателей постоянного тока.....	132
Пуск в ход и регулирование частоты вращения.....	134

Лабораторная работа 10

«Двигатель постоянного тока с последовательным возбуждением»..... 136

Раздел 7. Основы электропривода

Тема 7.1 Общие сведения об авиационном электроприводе.

Понятие об электроприводе. Структурная схема. Элементы
авиационного электропривода..... 139

Методы управления электроприводами: генераторный и дискретный... 141

Раздел 8. Передача и распределение электроэнергии на ЛА.

Тема 8.1. Электрические и магнитные элементы коммутации и
защитной аппаратуры.

Коммутационная и защитная аппаратура..... 143

Аппаратура релейно-контакторного управления электродвигателем..... 144

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о размещении авторского материала на сайте infourok.ru

НАСТОЯЩИМ ПОДТВЕРЖДАЕТСЯ, ЧТО

Семенова Ирина Олеговна

Преподаватель

Троицкий АТК - филиал МГТУ ГА

опубликовал(а) на сайте infourok.ru методическую разработку,
которая успешно прошла проверку и получила высокую
оценку от проекта «Инфоурок»:

Учебное пособие по Электротехнике "Основные
понятия в области электротехники"

Web-адрес публикации:

<https://infourok.ru/uchebnoe-posobie-po-elektrotehnike-osnovnye-ponyatiya-v-oblasti-elektrotehniki-8175459.html>



И.В. Жаборовский
Руководитель учебного центра
«Инфоурок»



ЯЕ96017540

25.03.2026



Лицензия на осуществление
образовательной деятельности
№5201 от 02.04.2018