

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
БОУ НПО «Профессиональное училище № 21»

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ
ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ
И ОБУЧАЮЩИХСЯ
НАЧАЛЬНОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ

Омск 2010

Печатается по решению методического совета БОУ НПО
«Профессиональное училище № 21»

Литература

1. Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию: - М.: «Высшая школа», 2002. – 255 с.
2. Бутырин П.А., Толчеев О.В., Шакирзянов Ф.Н. Электротехника: - М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 272 с.
3. Данилов И.А., Иванов П.М. Дидактический материал по общей электротехнике с основами электроники: - М.: Высшее образование, 2007. – 319 с.
4. Федорченко А.А. Электротехника с основами электроники: - М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2009. – 416 с.
5. Шихин А.Я., Белоусова Н.М., Пухляков Ю.Х., Сергеев В.Г., Соколов М.М., Старостин А.Н. Электротехника: - М.: «Высшая школа», 1991. – 336 с.

Рекомендации адресованы преподавателям электротехники и обучающимся начального профессионального образования.

В методическом пособии представлены опорные конспекты по предмету «Электротехника».

Составители: Ханникова Э.Х., преподаватель электротехники бюджетного образовательного учреждения Омской области начального профессионального образования «Профессиональное училище №21»

Компьютерный набор: Плеханова А.В., лаборант бюджетного образовательного учреждения Омской области начального профессионального образования «Профессиональное училище №21»

P – активная мощность, расходуется схемой на совершение полезной работы, Вт.

$$P = U_a \cdot I |Bm|$$

Q_L – реактивная мощность катушки индуктивности, расходуется на создание магнитного поля, ВАр (Вольт Ампер реактивный)

$$Q_L = U_C \cdot I |BAp|$$

Q_C – реактивная мощность конденсатора, расходуется на создание электрического поля между обкладками конденсатора, ВАр.

$$Q_C = U_C \cdot I |BAp|$$

S – полная мощность, ВА.

$$S = U_{об} \cdot I |BA|$$

Угол φ это угол сдвига фаз, его определяют через тригонометрические функции $\cos \varphi$, $\sin \varphi$.

$$\cos \varphi = \frac{U_a}{U_{об}} = \frac{P}{S} = \frac{r}{Z}$$

$$\sin \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_{об}} = \frac{Q_L - Q_C}{S} = \frac{X_L - X_C}{Z}$$

Для измерения φ служат фазометры.



Содержание

Введение	4
Раздел 1. Постоянный ток	5
Тема 1.1. Сила тока и измерение тока	5
Тема 1.2. Электрическое сопротивление и его измерение	6
Тема 1.3. Электрическое сопротивление. Расчет сопротивлений	6
Тема 1.4. Работа и мощность электрического тока	8
Тема 1.5. Законы последовательного соединения	9
Тема 1.6. Законы параллельного соединения	10
Раздел 2. Электромагнетизм	12
Тема 2.1. Проводник с током в магнитном поле	12
Тема 2.2. Закон электромагнитной индукции	12
Тема 2.3. Самоиндукция	13
Тема 2.4. Индуктивность	14
Тема 2.5. Вихревые токи	14
Тема 2.6. Взаимоиндукция	15
Раздел 3. Переменный ток	16
Тема 3.1. Переменный ток	16
Тема 3.2. Активное, индуктивное и емкостное сопротивление	19
Тема 3.3. Последовательное соединение активного, индуктивного и емкостного сопротивления	20
Литература	23

Введение

Методические рекомендации по предмету электротехника разработаны не только для преподавателей электротехники, но и для тех педагогов, кого интересует система опорных конспектов по всем предметам, изучаемых в учреждениях НПО, включая общеобразовательные дисциплины.

Опорные конспекты по теме разрабатываются в соответствии с учебной программой.

В данных методических рекомендациях составлены опорные конспекты по следующим темам программы предмета «Электротехника»:

- Электрические цепи постоянного тока;
- Электромагнетизм и магнитные цепи;
- Электрические цепи переменного тока.

Учебный материал имеет не только самостоятельное значение, но и создает основу для изучения последующих разделов и специальных предметов. Опорные конспекты в этом плане играют большую роль.

Опорный конспект содержит только основное в изучаемом материале и подает его в целостном виде (в виде ключевых слов, схем и т.д.).

Опорный конспект – это только наброски того, что нужно рассказать. Однако даются они в такой форме, которая будит мысль к дальнейшему развертыванию, влечет за собой целые цепочки слов, новых мыслей.

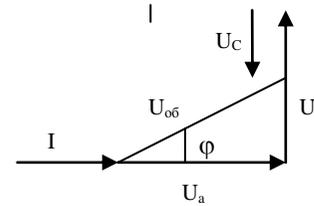
Разработка опорных конспектов состоит из трех этапов:

1. Сбор фактического материала. Этот этап имеет огромную роль в плане повышения профессионального мастерства, эрудиции. На этом этапе подбирается литература, необходимая для изучения данной темы, из нее выбираются основные понятия, формулировка законов, правил.

2. Выделение ядра основных понятий, законов. Здесь производится как бы выжимка подобранного материала, отбрасывание всего второстепенного, несущественного.

3. Составление опорного конспекта. На данном этапе преподаватель на листе бумаги располагает весь подобранный им материал.

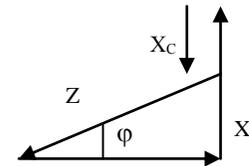
На основании волновой диаграммы построим векторную.



Δ - напряжений

$$U_{об} = \sqrt{U_a^2 + (U_L - U_C)^2}$$

Разделим стороны Δ напряжений на силу тока, получим подобный Δ сопротивлений.



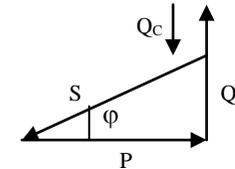
Δ - сопротивлений

Z – импеданс или полное сопротивление

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

Умножим стороны Δ напряжений на силу тока, получим подобный Δ мощностей.

Δ - мощностей



$$S = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2}$$

Емкостное сопротивление

"~" I через конденсатор не проходит, переменный ток проходит за счет заряда и разряда конденсатора. Конденсатор представляет собой для "~" I емкостное сопротивление. Его обозначают X_C и вычисляется по формуле:

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

X_C – емкостное сопротивление, Ом

ω - круговая частота (сек⁻¹)

$\pi = 3,14 = \text{const}$

f - частота "~" I, Гц

C – емкость, ф, рф, нф, мкф

Тема 3.3. Последовательное соединение активного, индуктивного и емкостного сопротивления

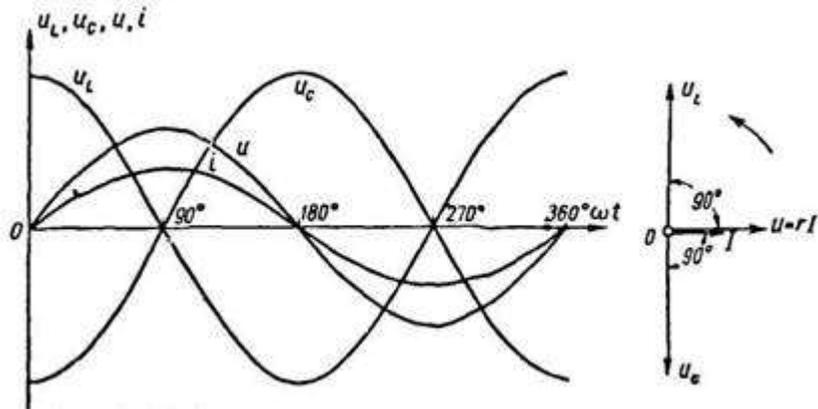


r – активное сопротивление (резистор), Ом

X_L – индуктивное сопротивление (катушка индуктивности), Ом

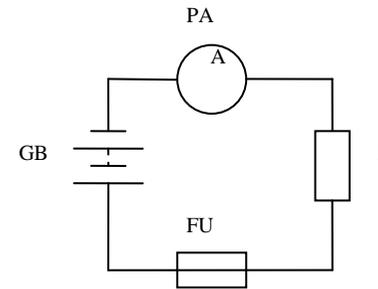
X_C – емкостное сопротивление (конденсатор), Ом

Для нашей схемы построим волновую диаграмму. Построение начинаем с общего параметра – силы тока.



Раздел 1. Постоянный ток

Тема 1.1. Сила тока и измерение тока



$$I = \frac{q}{t} = \frac{\text{Кл}}{\text{сек}} = \text{А [Ампер]}$$

I – сила тока, А

q – электрический заряд, Кл

t – время, сек

$1 \text{ Кл} = 6,28 \cdot 10^{18}$ электронов

Количество электрических зарядов, протекающих через проводник, в единицу времени называют силой тока.

Чем больше электронов проходит за 1 сек. через поперечное сечение провода, тем больше ток.

Ток обозначают буквой I или i и измеряют в Амперах.

Существуют более мелкие единицы:

mA (миллиамперы) – 10^{-3}

μA (микроамперы) – 10^{-6}

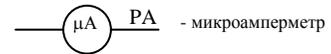
Для измерения тока применяются амперметры



Для измерения небольших токов применяют:



- миллиамперметр



- микроамперметр

Если нужно измерить ток в каком-либо проводе, то надо разорвать провод и в место разрыва включить амперметр, миллиамперметр, микроамперметр. Такое включение называется последовательным. Включенный прибор должен быть рассчитан на ток, заведомо больший, чем измеряемый. При измерении на постоянном токе необходимо соблюдать полярность, на переменном токе соблюдения полярности не требуется.

Амперметр имеет маленькое внутреннее сопротивление, поэтому его нельзя напрямую подключать к источнику тока без нагрузки, иначе он сгорит.

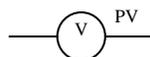
Тема 1.2. Электрическое напряжение и его измерение

Напряжение – это разность потенциалов, обозначается буквой U , измеряется в Вольтах (В).

Для того чтобы в проводнике возник электрический ток, необходимо иметь на концах этого проводника различные электрические потенциалы.

Напряжение – это причина возникновения электрического тока, ток будет протекать в проводнике тогда, когда между концами проводника есть напряжение.

Для измерения напряжения служат приборы, которые называются вольтметрами.



При включении вольтметра цепь не разрывается, его подключают к тем двум точкам, между которыми необходимо измерить U .

Вольтметр в цепь включается параллельно.

При включении вольтметра надо соблюдать те же предосторожности, что и для амперметра, т.е. необходимо соблюдать полярность.

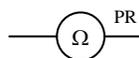
Тема 1.3. Электрическое сопротивление. Расчет сопротивлений

Способность электрической цепи оказывать сопротивление электрическому току называется электрическим сопротивлением.

Электрическое сопротивление обозначается R , измеряется в Ом.

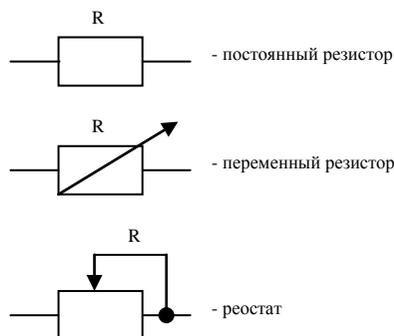
Прибор для измерения электрического сопротивления называется омметром.

Его обозначение



Элементы цепи, обладающие электрическим сопротивлением называются резисторами, реостатами.

Их обозначения:



6. Угловая частота, или круговая частота – это число угловых единиц (рад), на которое повернулся ротор за единицу времени.

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad \omega - \text{рад/сек.}$$

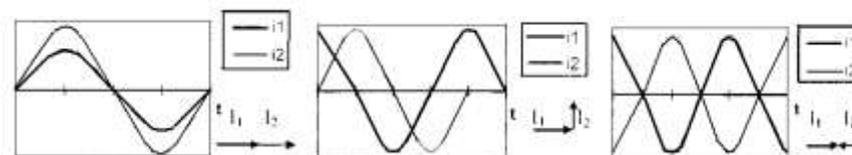
2π - угол в радианах – безразмерная величина

1 рад = 57°

7. Фаза

Сдвиг фаз

Противофаза



Токи меняются одновременно

Токи меняются не одновременно

Токи меняются одновременно, но с противоположными знаками

Тема 3.2. Активное, индуктивное и емкостное сопротивление

R – омическое сопротивление, Ом (это сопротивление постоянному току)

r – активное сопротивление, Ом (это сопротивление переменному току)

Для $F = 50$ Гц, $R=r$

На переменном токе возникает поверхностный эффект (электроны из центра вытесняются к поверхности проводника, $\Rightarrow R < r$).

Активным сопротивлением обладают лампы накаливания, резисторы, нагревательные элементы.

Индуктивное сопротивление

$$X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

X_L – индуктивное сопротивление, Ом

ω – круговая частота (сек^{-1})

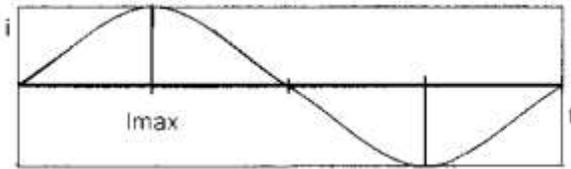
$\pi = 3,14 = \text{const}$

f – частота " ~ " Гц

L – индуктивность, Гн (Генри)

Сопротивление катушки " ~ " называют омическим, а " ~ " – индуктивным.

2. Амплитудное значение, или максимальное значение переменного тока – это наибольшее значение переменного тока.



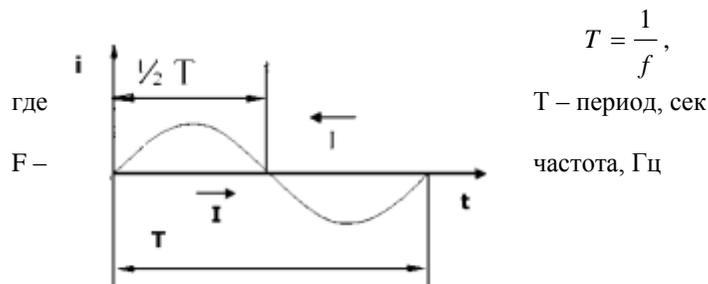
Мгновенные и амплитудные значения переменного тока можно измерить с помощью прибора осциллографа.

3. Действующее значение – это такое значение переменного тока, которое по своим нагревательным свойствам равноценно постоянному току.

Действующее (эффективное) значение силы тока вычисляется по формуле:

$$I_{д} = \frac{I_{Max}}{\sqrt{2}} = \frac{I_{Max}}{1,41} \quad U_{д} = \frac{U_{Max}}{\sqrt{2}} = \frac{U_{Max}}{1,41}$$

4. Период – это время, в течение которого ток полностью изменится по величине и направлению.

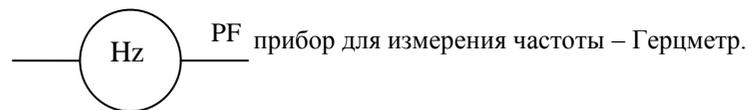


5. Частота – это количество периодов, совершенных током за одну секунду.

Частота – это величина, обратная периоду.

$$f = \frac{1}{T} \quad \left(\frac{1}{сек} \right) = Гц \text{ за стандартную частоту переменного тока}$$

принята частота $f = 50 Гц$.



Сопротивление проводника зависит от длины, площади поперечного сечения, удельного сопротивления.

Эта зависимость выражается формулой:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}$$

R – электрическое сопротивление, Ом

ρ – удельное электрическое сопротивление, Ом·мм²/М (табличная величина)

S – площадь поперечного сечения, мм²

Также электрическое сопротивление зависит от температуры.

Величина, обратная сопротивлению называется проводимостью.

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{Ом} = См [сменс]$$

Если $R \uparrow$, то $G \downarrow$

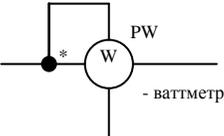
Расчет сопротивлений

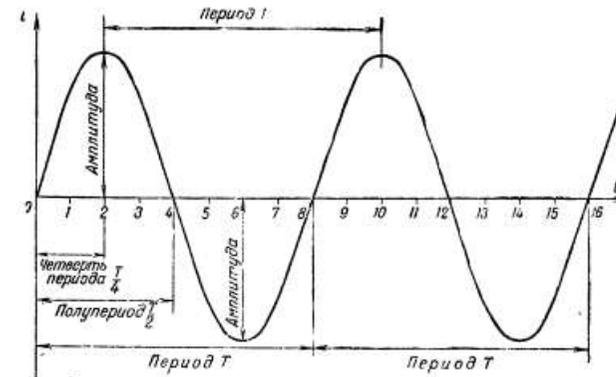
Сопротивление рассчитывается по формуле:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \text{ или } S = 0,8d^2$$

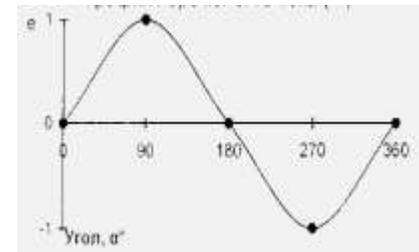
$$S = \pi \cdot r^2 \quad \text{⊗ - сечение} \quad S = a \cdot b \quad \text{▨ - сечение}$$

Тема 1.4. Работа и мощность электрического тока

Работа	Мощность
<p>Электрический ток протекая по цепи совершает работу, Превращая при этом электрическую энергию в другие виды энергии (световую, тепловую, звуковую и т.д.). Чем больше потребителей тока (электролампы, двигатели и т.д.) и чем дольше они включены, тем больше электрическая энергия преобразуется в другую форму энергии.</p> <p>$W = UIt$</p> <p>W – электрическая работа (энергия), Дж U – напряжение, В I – сила тока, А T – время, сек</p> <p>$W = Pt$</p> <p>P – мощность, Вт T – время, сек</p> <p>$W = I^2Rt$</p> <p>$W = \frac{U^2}{R} t$</p> <p>Квтч = 1000Вт · 3600сек = 3600000Дж Для измерения энергии электрического тока служат счетчики.</p> <p>$\frac{PI}{KWh}$ - счетчик</p>	<p>Мощность – это быстрота совершения работы. Мощность – есть расход электрической энергии в одну секунду. Единицей измерения мощности является Ватт (Вт). Чем больше U и I, тем больше P. Мощность обозначается буквой P.</p> <p>1) $P = \frac{W}{t} = \frac{Дж}{сек} = Вт$</p> <p>2) $P = UI$ $U = \frac{P}{I}$ $I = \frac{P}{U}$</p> <p>3) $P = I^2R$ $I = \sqrt{\frac{P}{R}}$ $R = \frac{P}{I^2}$</p> <p>4) $P = \frac{U^2}{R}$ $U = \sqrt{P \cdot R}$ $R = \frac{U^2}{P}$</p> <p>Дольные и кратные единицы P: 1 милливатт (мВт) = 0,001Вт = 10⁻³Вт 1 киловатт (кВт) = 1000Вт = 10³Вт 1 мегаватт (МВт) = 1000000Вт = 10⁶Вт 1 л.с. = 736 Вт</p> <p>Для измерения мощности служат ваттметры.</p> 



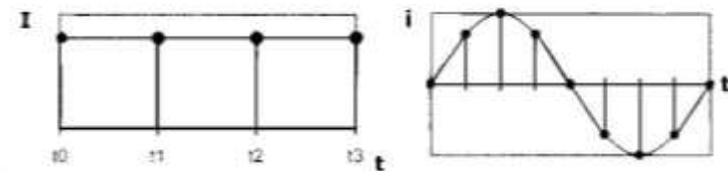
Переменным током называют ток, который с течением времени меняет свою величину и направление.



Получение переменного тока

При вращении проводника в магнитном поле постоянного магнита, на основании электромагнитной индукции появится ток, который изменяется по синусоидальному закону. Синусоидальный ток получил наиболее широкое применение в электроэнергетике. Генераторы всех электростанций мира генерируют электрический ток синусоидальной формы.

1. Мгновенное значение.



Величина переменного тока, соответствующая данному моменту времени называется мгновенным значением переменного тока.

Раздел 3. Переменный ток

Тема 3.1. Переменный ток

«Мгновенное значение» и «амплитуда» говорят о работоспособности тока в данный момент: «эффективное значение или действующее» - в среднем за длительное время.

С постоянным током просто, т.к. он не меняется нужно знать одну цифру.

С переменным током сложнее, т.к. его величина непрерывно меняется.



$$I_{эфф} = 0,7 \cdot I_{ампл}$$

$$I_{ампл} = 1,4 \cdot I_{эфф}$$

$$I_{действ} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{I_m}{1,41}$$

$$U_{эфф} = 0,7 \cdot U_{ампл}$$

$$U_{ампл} = 1,4 \cdot U_{эфф}$$

$$U_{действ} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{U_m}{1,41}$$

Все КИП Показывают действующие значения U, I

Для элементов цепей "∩" I, как правило, указывают их действующие (эффективные) напряжения и токи: если на лампочке или утюге, написано "220В", то имеется ввиду именно действующее (эффективное) напряжение.

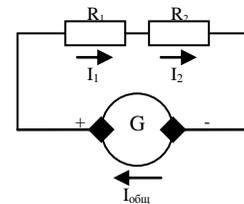
В сети 220*1,41=308 В.

Тема 1.5. Законы последовательного соединения

1. Электроприемники при последовательном соединении работают в зависимости друг от друга и при выходе одного из строя вся цепь не работает.

$$2. I_{общ} = I_1 = I_2$$

При этом соединении ток в любой точке схемы одинаковый.



При последовательном соединении I не разветвляется

$$3. R_{общ} = \sum R = R_1 + R_2 + R_i + R_{пр}$$

∑ - знак суммы;

R_i – внутреннее сопротивление проводника, Ом

При последовательном соединении общее сопротивление равно сумме всех сопротивлений.

4. Законы Ома

а) для полной цепи

$$I = \frac{E}{R_{общ}}$$

I – сила тока, А

E – ЭДС, В

R – сопротивление, Ом

б) для участка цепи

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

I – сила тока, А

U – напряжение, В

R – сопротивление, Ом

5. Второй закон Кирхгофа

Напряжение, измеренное на отдельном участке цепи, называется

падением напряжения.

$$\sum E = \sum U$$

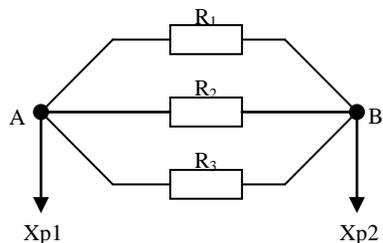
Формулировка закона:

Алгебраическая сумма ЭДС равна алгебраической сумме падений напряжений.

6. Там, где ↑R, там будут ↑U, ↑P, ↑W.

В электротехнике последовательно включенные резисторы используются как делители напряжения.

Тема 1.6. Законы параллельного соединения



Точки А и В – узловые (узлы)

Узел – это место соединения нескольких проводников.

Ветвь – это участок цепи, соединяющий два соседних узла.

Контур – замкнутая электрическая цепь, образуемая одной или несколькими ветвями.

1. При параллельном соединении электроприемники работают независимо друг от друга.

$$2. U_{\text{сети}} = U_1 = U_2 = U_3$$

При параллельном соединении напряжение на электроприемниках одинаково.

3. При параллельном соединении $R_{\text{общ}}$ уменьшается, а проводимость возрастает.

$$\frac{1}{R_{\text{общ}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$$

(когда много и все разные)

$$R_{\text{общ}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

(для двух резисторов с различными сопротивлениями)

$$R_{\text{общ}} = \frac{R}{N}$$

N – число резисторов в группе, в цепи

R – сопротивление одного резистора

4. Законы Ома:

а) для полной цепи

$$I = \frac{E}{R_{\text{общ}}}$$

I – сила тока, А

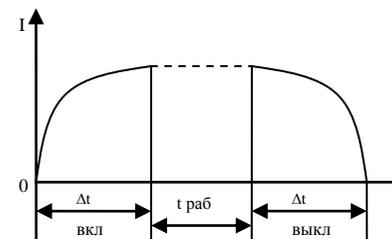
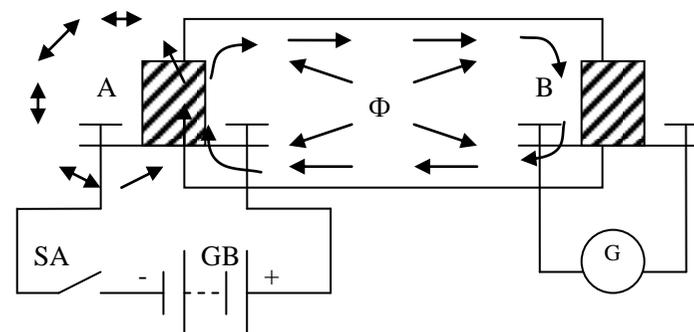
E – ЭДС, В

$R_{\text{общ}}$ – сопротивление, Ом

б) для ветви

$$I = \frac{U}{R_{\text{ветви}}}$$

Тема 2.6. Взаимоиндукция



А, В – катушки индуктивности
 G – гальванометр, прибор, измеряющий малые значения тока.
 Φ – магнитный поток, Вб
 SA – ключ
 GB – батарея

Катушки А и В электрически между собой не соединены. В момент коммутации изменяется ток, а следовательно, и создаваемый им магнитный поток (Φ). Этот меняющийся Φ пронизывает витки катушки В и создает в ней ЭДС, которую называют ЭДС взаимной индукции. Для того, чтобы уменьшить сопротивление Φ катушки А и В соединяют между собой магнитной цепью. ЭДС взаимной индукции на постоянном токе существует только в моменты коммутации, а на переменном токе всегда.

Явление взаимной индукции положено в основу создания трансформаторов.

Тема 2.4. Индуктивность

Величина L называется индуктивностью. Единицей индуктивности является Гн (Генри). Индуктивность ↑, если проводник выполнен в виде катушки.

Катушка индуктивности

Катушки индуктивности делают без сердечника или с сердечником из феррита, пермаллоя, электротехнической стали.

Индуктивность катушки вычисляется по формуле:

$$L = \frac{\mu_a \cdot W^2 \cdot S}{l}$$

L – индуктивность, Гн

μ_a – магнитная проницаемость сердечника, $\frac{\text{Гн}}{\text{М}}$

W – количество витков

S – площадь поперечного сечения катушки, м^2

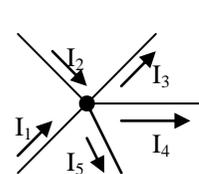
l – длина катушки, м

Чем больше W и l , тем больше магнитный поток.

Тема 2.5. Вихревые токи

В массивных деталях ЭМ под действием ЭДС самоиндукции, взаимной индукции возникают токи под действием которых детали сильно нагреваются. Что приводит к необоснованному расходу электроэнергии. Для того чтобы уменьшить потери электроэнергии от действия вихревых токов магнитные цепи делают не сплошными, а наборными, причем каждая пластина изолирована друг от друга специальным лаком или покрытием. Кроме того применяют специальные магнитные материалы: электротехническая сталь, пермаллой. В технике тепловое действие вихревых токов используют для сварки труб, для сушки древесины, закалки металлов в счетчиках электроэнергии. В этих случаях вихревые токи оказывают положительное влияние.

5. Первый закон Кирхгофа



$$\sum I = 0$$

$$I_{\text{общ}} - I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$I_{\text{общ}} = I_1 + I_2 + I_3$$

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5 \text{ или}$$

$$I_1 + I_2 + (-I_3) + (-I_4) + (-I_5) = 0$$

В общем виде $\sum I = 0$

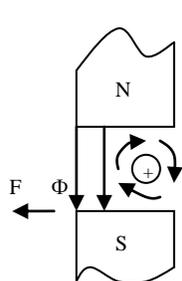
Формулировка закона:

Алгебраическая сумма токов в узловой точке электрической цепи равна нулю или сумма токов, подходящих к узлу равна сумме токов, уходящих от этого узла, причем токи, подходящие к узлу принято считать положительными, а утекающие от узла – отрицательными.

6. Там, где ↓R, ↑I, ↑P, ↑W.

Раздел 2. Электромагнетизм

Тема 2.1. Проводник с током в магнитном поле



⊕ - ток идёт от нас

⊙ - ток идёт на нас

$$F = B \cdot l \cdot I \cdot \sin\alpha$$

F – выталкивающая сила, Н [Ньютон]

B – магнитная индукция, Тл [Тесла]

l – длина проводника, м

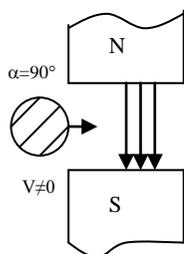
I – сила тока, А

α – угол пересечения, м.с.л.

Когда по проводнику не протекает ток, то существует только одно магнитное поле – это поле постоянного магнита. Если по проводнику пропустить ток, то возникает второе магнитное поле, направление которого определяют по правилу буравчика. Эти два магнитных поля, т.е. магнитное поле магнита и магнитное поле проводника с током взаимодействуют друг с другом, в результате чего проводник выталкивается из магнитного поля. Направление выталкивания определяют по правилу левой руки.

Это явление положено в основу создания моторов или двигателей постоянного тока, магнитоэлектрических приборов, громкоговорителей.

Тема 2.2. Закон электромагнитной индукции



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

E – ЭДС электромагнитной индукции, В

B – магнитная индукция, Тл

l – длина проводника, м

V – скорость перемещения, м/сек

α – угол поворота, °

Когда проводник взаимодействует с магнитными силовыми линиями, то в нем наводится (индуцируется) ЭДС, которую называют ЭДС электромагнитной индукции. Величина этой ЭДС зависит от ЭДС электромагнитной индукции, магнитной индукции, длины проводника, скорости перемещения, угла поворота.

Явление электромагнитной индукции положено в основу создания всех типов генераторов и микрофонов. Направление индуцируемой ЭДС определяют по правилу правой руки, по которому можно определить направление силовых линий магнитного поля катушки.

Тема 2.3. Самоиндукция

Самоиндукцию можно наблюдать, например, при размыкании и замыкании цепи тока.

В момент размыкания вследствие исчезновения магнитного потока в цепи индуцируется ЭДС самоиндукции, которая стремится поддерживать неизменное значение тока. В момент замыкания магнитный поток (Φ), создаваемый проходящим по цепи током, \uparrow , а появляющаяся ЭДС самоиндукции препятствует нарастанию тока. Таким образом. При замыкании цепи вследствие противодействия ЭДС самоиндукции ток не может мгновенно достигнуть полной величины, а при размыкании вследствие противодействия ЭДС самоиндукции исчезновение тока в цепи наступает не мгновенно, а постепенно. Явление самоиндукции присуще не только обмоткам, но и прямолинейным проводникам.

