

Часть I

Лекция 1 (3.09.15)

Преподаватель: Плотников Сергей Борисович

Информация о семестре

1. Литература:

- (a) Бессонов Л.А. - "Теоретические основы электротехники"
- (b) Ушаков В.Н. - "Электротехника и электроника"
- (c) Данилов И.А. ... - "Общая электротехника с основами электроники"
- (d) Герасимов В.Г. ... - "Сборник задач по электротехнике и основам электроники"

1 Напряженность электрического поля.

Электрическое напряжение и электродвижущая сила.

- 1. Элементарная частица, входящая в состав атомов, имеет отрицательный заряд (электрон) или положительный заряд (протон), поэтому их окружает электромагнитное поле.
- 2. В природе электромагнитное поле может проявлять себя как **электрическое**, например области неподвижных заряженных проводящих тел, как **магнитное** поле, например вблизи постоянных магнитов, или как **электромагнитное**.
- 3. По реакции тел на появление электрического или магнитного поля они делятся на **диэлектрики**, **электропроводящие тела** и **полупроводники**.
 - (a) В электропроводящих телах, под действием электрического поля, не жестко связанные с кристаллической структурой электроны начинают перемещаться однонаправленно, создавая **электрический ток** проводимости. В растворах и ионизированных газах ток создается положительно или отрицательно заряженными ионами.
 - (b) Внесение диэлектрика в электрическое поле приведет к разделению положительных и отрицательных зарядов, и процесс их разделения создаст **ток смещения**.

1.1 Электрическое поле

- 1. **Электрическое поле** - одна из сторон электромагнитного - определяется по силовому воздействию на заряженные тела. Если таким пробным зарядом исследовать пространство электрического поля, то мы увидим, что каждой его точке будет соответствовать своя величина силы и её направления.
- 2. Силовая характеристика электрического поля - **напряженность** электрического поля ($E = \frac{F}{q}$ [В/м]) - равна отношению силы, действующей на заряд, к величине этого заряда.
 - (a) Вектор напряженности электрического поля направлен по касательной к силовой линии в любой точке электрического поля.
 - (b) Если исследовать электрическое поле уединенного заряда, то напряженность электрического поля можно определить как $E = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot \frac{q}{4\pi r^2}$
 - i. ϵ_0 - электрическая постоянная
 - (c) Все вещества реагируют на электрическое поле его увеличением или ослаблением.
 - (d) Если обозначить ϵ как **абсолютную диэлектрическую проницаемость** вещества, то $\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$ - **относительная диэлектрическая проницаемость** вещества. Тогда $E = \frac{1}{\epsilon_r} \cdot \frac{q}{4\pi r^2}$.
- 3. Между двумя пробными зарядами возникают усилия, описываемые законом Кулона $F_k = \frac{1}{\epsilon_r} \frac{q_1 q_2}{4\pi r^2}$.

4. Интеграл от произведения нормальной составляющей вектора напряженности электрического поля на величину поверхности носит название **потока вектора** электрического поля. $\Phi_E = \int_S \vec{E} d\vec{S}$

(а) Теорема Гаусса гласит: поток вектора электрического поля через замкнутую поверхность равен заряду, находящемуся внутри этой поверхности, деленному на $\varepsilon_0 \varepsilon_r$. $\frac{q}{\varepsilon_0 \varepsilon_r} = \int_S \vec{E} d\vec{S}$

1.2 Электрическое напряжение

1. Если в электрическом поле переносить заряд, то мы совершаем работу, и если данную работу отнести к величине заряда, то это соотношение называется электрическим **напряжением**. $U_{AB} = \int_a^b \vec{E} dl_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$

2. Электрическое напряжение - это разность потенциалов между двумя точками электрического поля.

3. Электрическое напряжение измеряется в **вольтах**.

4. Разность потенциалов между двумя точками равна 1 В, если для перемещения между ними заряда в 1 Кл понадобится работа в 1 Дж.

1.3 Электродвижущая сила

1. **Электродвижущая сила** (ЭДС) источника электрической энергии характеризует способность его создавать в замкнутых электрических цепях электрический ток.

(а) ЭДС можно создать электрическим и магнитным полями, химическими источниками, температурно и механически воздействуя на тела.

2. В источнике ЭДС происходит разделение зарядов и на клеммах его появляется разность потенциалов.

2 Электрический ток

1. Электрический ток - направленное движение заряженных частиц в электрических цепях.

2. Физически, электрический ток I сквозь некую поверхность S равен пределу отношения электрического заряда Δq , переносимого через эту поверхность в течение времени Δt при стремлении Δt к 0. $I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}$

3. **Плотность тока** равна пределу отношения тока ΔI сквозь элемент поверхности ΔS при стремлении ΔS к 0. $j = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta I}{\Delta S} = \frac{dI}{dS}$ [А/мм²]

Часть II

Семинар 1 (3.09.15)

Преподаватель: Плотников Сергей Борисович

Резисторы

1. Статистика:

(а) 50% всех компонентов - резисторы

(б) 15% стоимости больших устройств - резисторы

(с) 50% отказов устройств - из-за резисторов

2. **Резистор** - устройство, реализующее сопротивление, предназначенное для установки и регулирования тока в цепях.

3. Резистор содержит **резистивный элемент** и **конструктив** для крепления и включения его в электрическую схему.

(а) Резистивный элемент в резисторах малой мощности выполняется из окислов металлов и полупроводниковой композиции, а при большой мощности - из сплавов металлов.

4. **Электрическая мощность** в резисторе преобразуется в **тепло**.

5. Обозначение: [172]

6. Формулы:

(а) Сопротивление: $R = \rho \frac{l}{S}$

(б) Мощность: $P = I^2 R$

(с) Напряжение на сопротивлении: $U = R \cdot I$ - падение напряжения

(д) $\varepsilon = \sum U = iR_1 + iR_2$ - сумма падений напряжения равна ЭДС источника

Параметры резисторов:

1. Номинальное сопротивление
2. Номинальная мощность рассеяния - предел мощности, не влияющей на срок службы.
3. Электрическая прочность - допустимая разность потенциалов на контактах резистора.
4. Сопротивление резистора переменному току
5. Температурный коэффициент сопротивления (ТКС)

Включение резисторов

1. Последовательное:

(а) $R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$

(б) $I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$

2. Параллельное:

(а) $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}; \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \dots + \frac{1}{R_n}$

(б) $i = i_1 + i_2$

Часть III

Лекция 2 (10.09.15)

2.1 Составляющие тока

1. Ток в общем виде имеет три составляющие:

(а) Ток **проводимости** в металлах, газах, растворах определяется как $f = \gamma \cdot E$.

i. f - плотность тока

ii. E - напряженность электрического поля

iii. $\gamma = \frac{l}{\rho}$ - электропроводность

iv. Для возникновения тока проводимости необходимо наличие

А. замкнутого контура

В. электрического поля

- (b) Ток **переноса**, возникающий вследствие движения заряженных тел в пространстве, пропорционален объемной плотности зарядов и скорости их движения.
- (c) Ток **смещения** возникает под действием электрического поля и существует лишь на время разделения (смещения) зарядов под действием электрического поля.
 - i. Ток смещения пропорционален производной вектора поляризованности по времени.
 - ii. Наблюдается в телах с низкой электропроводностью (диэлектрики).

2.2 Принцип непрерывности электрического тока

1. Полный ток сквозь любую взятую в какой угодно среде замкнутую поверхность равен нулю. $i = \int_S \delta dS = 0$
2. Ток, входящий в площадку S берем со знаком **минус**, а выходящий - со знаком **плюс**.
3. Ток протекает только по замкнутым цепям.

2.3 Законы электрических цепей постоянного тока

1. **Расчет** электрической цепи - определение токов во всех ветвях этой цепи.
2. Участок электрической цепи, на котором не изменяется ток, называется **ветвью**.
3. Место соединения трех или более ветвей называется **узлом**.
4. Закон Ома

(a) $\eta = \gamma E$

(b) $i = \frac{u}{r}$

(c) $u = i \cdot r$

i. $r = \frac{\rho l}{d}$

5. Первый закон Кирхгофа: Алгебраическая сумма токов в проводниках, сходящихся к узлу электрической цепи равна нулю.
6. Второй закон Кирхгофа: Сумма ЭДС источников в любом замкнутом контуре электрической цепи равна сумме падений напряжения на всех участках этого контура.

(a) $\sum_{k=1}^n E_k = \sum_{k=1}^n i_k r_k$

- (b) При составлении уравнений на основе закона Кирхгофа необходимо учитывать знаки ЭДС.

- i. Если при обходе контура мы идем через источник от “-” к “+”, то в уравнении эта ЭДС ставится со знаком “+”.
- ii. Падение напряжения берется со знаком “+”, когда направление обхода контура совпадает с направлением тока.

7. Закон Джоуля-Ленца: Мощность, необходимая для поддержания тока i в проводнике (устройстве), к которому приложено напряжение u , равна $P = u \cdot i$ [В·А]

(a) $P = i^2 r$ - потеря мощности

8. **Линейной** электрической цепью будем называть цепь, в которой ток линейно зависит от приложенного напряжения.
9. **Постоянным током** будем считать ток, неизменный по времени и по направлению.

2.4 Источник ЭДС и источник тока

1. Источник электрической энергии характеризуется величиной ЭДС (E), мощностью (P) и внутренним сопротивлением ($R_{\text{вн}}$).
2. Если при разомкнутой цепи мы измеряем напряжение на клеммах источника, мы получаем ЭДС.
3. Если появляется ток в цепи, то этот вольтметр начинает показывать величину, меньшую ЭДС, равную напряжению, которое выдает источник в цепь. $u = E - i \cdot R_{\text{вн}}$
 - (a) $i \cdot R_{\text{вн}}$ - падение напряжения на внутреннем сопротивлении источника.
 - (b) Если внутреннее сопротивление равно 0, то напряжение, выдаваемое в цепь, всегда одинаково (идеальный источник).
4. Источник тока поддерживает в цепи неизменный ток при любом значении его напряжения.

2.5 Расчет линейных электрических цепей

1. Неразветвленная электрическая цепь: во всех элементах протекает одинаковый ток. Если есть несколько ветвей, то может быть разный ток.
2. К участку электрической цепи может быть применено понятие напряжения (падения напряжения). $u_{AB} = i \cdot r$

Часть IV

Семинар 2 (17.09.15)

1. Во сколько раз изменится сопротивление (r) провода, если его длину (l) увеличить в два раза, а сечение (s) уменьшить в два раза?
 - (a) $R = \frac{\rho l}{S}$
 - (b) $R_2 = \frac{\rho 2l}{\frac{S}{2}} = 4R$
 - (c) Ответ: $R_2 = 4R$
2. Как надо изменить время прохождения тока через проводник, чтобы выделившееся количество теплоты осталось тем же, как и при уменьшении тока в 4 раза.
 - (a) $Q = I^2 R t$
 - (b) $Q_1 = Q = (\frac{I}{4})^2 R \cdot 16t$
 - (c) Ответ: $t_1 = 16t$
3. Какую мощность можно передать по проводу с сечением $S = 10\text{мм}^2$ при плотности тока $i = 5\text{А}/\text{мм}^2$ и напряжении $U = 100\text{В}$?
 - (a) $W = UI$
 - (b) $I = jS$
 - (c) $W = UjS = 100 * 5 * 10 = 5000\text{Вт} = 5\text{кВт}$
 - (d) Ответ: $W = 5\text{кВт}$
4. В электрической сети ЭДС на зажимах источника $\varepsilon = 110\text{В}$, напряжение под нагрузкой $U = 102\text{В}$, назвать причину разницы напряжения.
 - (a) $U = \varepsilon - IR_{\text{внутреннее}}$
5. Какой способ соединения источника помогает увеличить напряжение, подаваемое в сеть?

- (а) Последовательно
6. Как нужно включить источники, чтобы увеличить мощность, выдаваемую в сеть?
- (а) Параллельно
7. Чем определяется ток короткого замыкания.
- (а) $I_{кз} = \frac{\varepsilon}{R_{\text{внутреннее}}}$
8. Как изменится напряжение на клеммах реального источника, к которому подключена цепь с резистором R , если параллельно ему включить еще один резистор с сопротивлением $4R$?
- (а) $R_1 = \frac{4R^2}{5R} = \frac{4}{5}R$
 (б) $U = \varepsilon - IR$
 (с) $U_1 = \varepsilon - \frac{4}{5}IR$
 (д) $\frac{U}{U_1} = \frac{\varepsilon - IR}{\varepsilon - \frac{4}{5}IR} = \frac{1}{1 - 0.8} = 5$
 (е) Ответ: $\frac{U}{U_1} = 5$
9. Источник электрической энергии имеет в качестве нагрузки реостат R с переменным сопротивлением, ЭДС источника $\varepsilon = 24\text{В}$, а его внутреннее сопротивление $R_{\text{вн}} = 1\text{Ом}$. Построить графики зависимости от изменения сопротивления нагрузки в диапазоне от $R = 0\text{Ом}$ до $R = 100\text{Ом}$ следующих величин: напряжения на зажимах источника, мощности, развиваемой источником $P_{\text{ист}}$, мощности, полученной нагрузкой $P_{\text{нагр}}$ и КПД η источника.
- (а) $U = \varepsilon - IR_{\text{вн}}$
 i. $R = 0: U = 24 - 24 \cdot 1 = 0\text{В}$
 ii. $R = 1: U = 24 - \frac{24}{2} = 12\text{В}$
 iii. $R = 100: U = 24 - \frac{24}{101} = 23,76\text{В}$
 iv. $R = x: U = 24 - \frac{24}{x+1}$ - гипербола
10. Как можно зарядить конденсатор с номинальным напряжением 20В от источника с напряжением 100В ?

Часть V

Лекция 3 (17.09.15)

1. $I_{аб} = \frac{U_{аб} + E}{r}$ - ток на участке цепи

2.6 Составление уравнений и расчет электрической цепи с помощью уравнений Кирхгофа [173]

1. Обозначаем направление тока в ветвях электрической цепи.
2. Выбираем направление обхода контуров.
3. По первому закону Кирхгофа составляем уравнения, число которых равно числу узлов без единицы.

(а) $I_3 - I_1 - I_2 = 0$

4. По второму закону Кирхгофа составляем уравнения, число которых равно числу ветвей минус число уравнений по первому закону.

(а) $R_1 - E_1 - R_2 - E_2: E_1 + E_2 = R_1 I_1 - R_2 I_2$

- (б) Каждый последующий обход по контуру должен выполняться так, чтобы в уравнение была включена хотя-бы одна дополнительная ветвь.

$$(c) E_2 - R_2 - R_3 - R_4: -E_2 = R_2 I_2 + R_3 I_3 + R_4 I_3$$

$$\begin{aligned} 5. I_1 &= 14A \\ I_2 &= -15A \\ I_3 &= -1A \end{aligned}$$

2.7 Расчет электрической схемы методом наложения [174]

1. Контурный ток в любом контуре равен сумме всех токов, вызываемых каждой из ЭДС отдельно.
2. Раскладываем схему на несколько схем для каждой из ЭДС и считаем частичные токи

(a) Для E_1 :

$$\begin{aligned} \text{i. } i'_1 &= \frac{E_1}{R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}} \\ \text{ii. } i'_2 &= i'_1 - \frac{R_3}{R_2 + R_3} \\ \text{iii. } i'_3 &= i'_1 - \frac{R_2}{R_2 + R_3} \end{aligned}$$

(b) Для E_2 :

$$\begin{aligned} \text{i. } i''_2 &= \frac{E_2}{R_2 + \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3}} \\ \text{ii. } i''_1 &= i''_2 - \frac{R_3}{R_1 + R_3} \\ \text{iii. } i''_3 &= i''_2 - \frac{R_1}{R_1 + R_3} \end{aligned}$$

3. Считаем полные токи:

$$\begin{aligned} \text{(a) } I_1 &= i''_1 - i'_1 \\ \text{(b) } I_2 &= i''_2 - i'_2 \\ \text{(c) } I_3 &= i''_3 - i'_3 \end{aligned}$$

3 Основные сведения о теории магнетизма и магнитных материалах

1. Магнитные поля в технических устройствах создаются постоянными магнитами или обмотками с током.
2. Основной характеристикой магнитного поля является вектор магнитной индукции \vec{B} , определяемый по силовому воздействию \vec{F} магнитного поля на тонкий проводник длиной l , с током i , расположенный в магнитном поле нормально к его направлению. $\vec{F} = i[\vec{B}, \vec{l}]$
3. Индукция магнитного поля в электрических устройствах измеряется в Теслах [Тл = $\frac{В \cdot сек}{м^2}$]
4. Магнитное поле удобно изображать графически с помощью силовых линий, проведенных так, что в любой точке линии, касательная к ней совпадает с вектором \vec{B} , а плотность силовых линий пропорциональна $|\vec{B}|$.
5. Интеграл вектора магнитной индукции по некоторой поверхности называется **магнитным потоком** через эту поверхность. $\Phi = \int_s \vec{B} d\vec{S}$ [Вб = В·сек]
6. Одной из основных величин, характеризующих магнитное поле, является напряженность магнитного поля \vec{H} .

$$\text{(a) } H = \frac{i}{2\pi r} \text{ [А/м]}$$

i. r - расстояние от проводника

(b) Напряженность магнитного поля не связана со свойствами среды, где оно существует.

$$\text{(c) Для нескольких проводников: } H = \frac{i \cdot w}{2\pi r}$$

i. w - количество витков

ii. $F = iw$ - МДС - магнито-движущая сила

7. $U \rightarrow I \rightarrow (F = iw) \rightarrow H \rightarrow \Phi(B)$

8. Если магнитный поток F создается с числом витков w , то говорят, что потокоцепление этой обмотки $\Psi = \Phi \cdot w$

9. Создавая в обмотке w ток I (МДС $I \cdot w$) мы создаем напряженность H , которая не зависит от свойств среды. Значение B (индукции) и F (магнитного потока), создаваемой за счет H , зависят от свойств среды.

(a) $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-2} \text{Гн/м}$ - магнитная проницаемость вакуума

(b) Если магнитное поле в обмотке создается в вакууме, то $B = \mu_0 H$

Часть VI

Лекция 4 (01.10.15) [Пропущено]

1. По реакции на создание магнитного поля все вещества можно поделить на следующие группы:

(a) **Диомагнитные вещества**, у которых μ меньше единицы. Поле, возникающее в таких веществах, ослабляется этими же веществами. Примеры: медь, серебро, золото.

(b) **Парамагнитные вещества**, у которых μ немного больше единицы. Эти вещества немного усиливают индукцию магнитного поля. Пример: алюминий.

(c) **Сильномагнитные вещества** (ферромагнетики), у которых значение μ достигает десятков тысяч единиц. Примеры: железо, никель, кобальт.

3.1 Принцип непрерывности магнитного потока

1. **Закон полного тока**: линейный интеграл напряженности магнитного поля, взятый по замкнутому контуру, равен алгебраической сумме токов, охватываемых этим контуром. $Hl = iw$

(a) w — количество витков

(b) i — сила тока

(c) H — магнитная напряженность

2. **Законы Кирхгофа** для магнитной цепи

(a) Первый закон Кирхгофа: Алгебраическая сумма магнитных потоков, сходящихся в узле магнитной цепи равна нулю.

(b) Второй закон Кирхгофа: алгебраическая сумма МДС обмоток в замкнутом контуре магнитной среды равна алгебраической сумме магнитных напряжений на отдельных участках цепи.

3. МДС iw вызывает магнитный поток в магнитной цепи подобно ЭДС, вызывающей ток в электрической цепи. К магнитной цепи может быть применено понятие магнитного напряжения или падения магнитного потенциала.

Часть VII

Семинар 3 (8.10.15)

1. $S = 35 \text{мм}^2$

$j = 5 \text{А/мм}^2$

$U_1 = 110 \text{В}$

$U_2 = 220 \text{В}$

С каким напряжением выгодней передавать электричество по проводам?

P —?

- (a) $P_1 = UjS = 110 \cdot 5 \cdot 35 = 19250 \text{Вт}$
 (b) $P_2 = UjS = 220 \cdot 5 \cdot 35 = 38.5 \text{кВт}$
 (c) $P = Q = I^2 R \Rightarrow$ ток выгоднее передавать при меньшем токе и большем напряжении
2. $U \rightarrow R_1 \xrightarrow{I_1} R_2 - R_3 \xrightarrow{I_2} R_4 \xrightarrow{I_3}$; $U = 15 \text{В}; R_1 = 5 \text{Ом}; R_2 = 15 \text{Ом}; R_4 = 50 \text{Ом}; U_3 = 5 \text{В}; R_3 - ?$
- (a) $U_1 = I_1(R_1 + R_4) \Rightarrow I_1 = \frac{U_1}{R_1 + R_4} = \frac{15}{55} \text{А} \approx 0.3 \text{А}$
 (b) $U_1 = I_1 R_1 = \frac{U_1 R_1}{R_1 + R_4} = \frac{75}{55} \approx 1.2 \text{В}$
 (c) $U_{23} = U - U_1 = 15 - 1.2 = 13.8 \text{В}$
 (d) $U_2 = U_{23} - U_3 = 13.8 - 5 = 8.8 \text{В}$
 (e) $I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{8.8}{15} \approx 0.6 \text{А}$
 (f) $R_3 = \frac{U_3}{I_2} = 8.3 \text{Ом}$
3. $E_1 \leftarrow R_1 - (A) - R_2 - E_2 \rightarrow (B) - R_3$; $E_1 = 60 \text{В}; E_2 = 180 \text{В}; R_1 = 10 \text{Ом}; R_2 = 20 \text{Ом}; R_3 = 30 \text{Ом}; U_{AB} - ?$
- (a) $E_o = E_2 - E_1 = 120 \text{В}$
 (b) $R_o = R_1 + R_2 + R_3 = 60 \text{Ом}$
 (c) $I_o = \frac{120}{60} = 2 \text{А}$
 (d) $U_2 = I_o \cdot R_2 = 2 \cdot 20 = 40 \text{В}$
 (e) $U_{AB} = 120 - 40 = 80 \text{В}$
4. $R_1 = 30 \text{Ом}; R_2 = 60 \text{Ом}; R_3 = 90 \text{Ом}; I_3 = 12 \text{А};$ параллельное соединение; $U, I, P - ?$
- (a) $U_3 = 12 \cdot 90 = 1080 \text{В} = U_2 = U_1 = U_0 = U$
 (b) $I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{1080}{60} = 18 \text{А}$
 (c) $I_1 = \frac{1080}{30} = 36 \text{А}$
 (d) $P = UI_{\text{общ}} = 1080 \cdot (36 + 18 + 12) \approx 71 \text{кВт}$

Часть VIII

Лекция 5 (8.10.15)

- $B = \mu \mu_0 H$
- $U_m = \int_a^b H_{ab} l_{ab}$ — магнитное напряжение
- Магнитное сопротивление** участка цепи ферромагнитного магнитопровода определяется как $R_m = \frac{U_m}{\Phi} = \frac{l}{\mu_0 \mu S}$
- Закон Ома для магнитной цепи** выглядит следующим образом: $F = \Phi \cdot R_m$
- $\frac{1}{R_m} = \Lambda_m \left[\frac{1}{\text{Гн}} \right]$ — магнитная проводимость
- При расчете магнитных систем решается одна из двух задач:
 - Прямая задача: определение МДС, которая должна быть создана обмоткой для получения данной индукции или потока в каком-либо участке магнитной цепи.
 - Разбиваем магнитопровод на участки одинакового сечения
 - Определяем индукции на участках магнитной цепи
 - По значениям индукции на участках с графика зависимости $B = f(H)$ мы получаем значения напряженностей на участках

- iv. МДС, расходуемая на проведение магнитного потока по магнитопроводу, определится как $F_m = (Iw) = \sum_{i=1}^n H_i l_i$
- v. МДС, расходуемая на проведение магнитного потока через воздушный зазор δ , определится как $F_\delta = \frac{B\delta \cdot \delta}{\mu_0}$, $W = \frac{B^2 V}{2\mu_0}$
- vi. Общая МДС обмотки определится как $F = F_m + F_\delta$
- (б) Обратная задача: Даны ампер*витки обмотки, конструкция. Нужно определить, какая индукция (поток) будет в магнитной системе.
- Задача решается методом последовательных приближений
 - Задаемся произвольной индукцией в зазоре и решая прямую задачу определяем МДС. Если рассчитанная МДС меньше заданной, то задаемся большим значением МДС и проводим повторный расчет и наоборот.

3.2 Явление электромагнитной индукции

- При всяком изменении магнитного потока, сцепленного с контуром, в контуре **наводится ЭДС**, равная: $\varepsilon = \oint_{\Gamma} E dl = -\frac{d\Psi}{dt} = -w \cdot \frac{d\Phi}{dt}$
- В общем случае, потокосцепление контура является функцией геометрических координат и времени, поэтому ЭДС содержит две составляющие: за счет изменения потокосцепления и ЭДС движения, вызванная перемещением контура в поле. Если проводник длиной l перемещается в магнитном поле индукции B со скоростью v и эти величины ортогональны, то **ЭДС движения** $\varepsilon_{дв} = l \cdot B \cdot v$
- Если имеется уединенный контур с током, то он обладает **потокосцеплением самоиндукции** $\Psi_L = L \cdot i$
 - $L = \frac{\Psi}{i} = \Lambda_m w^2$ [Гн] — индуктивность
- $\varepsilon = -\frac{d(Li)}{dt}$; $\varepsilon = -L \frac{di}{dt} = -i \frac{dL}{dt}$
- $W = \frac{Li^2}{2}$ — энергия магнитного поля
- Если имеются два и более контуров с взаимным проникновением магнитных полей друг в друга, то можно говорить о **потокосцеплении взаимной индукции**. Общий поток контуров, например созданный током первого контура i_1 и пронизывающий второй контур, $\Psi_{12} = M_{12} i_1$
 - $M_{12} = \Lambda_m w_1 w_2$
- Если меняется потокосцепление взаимной индукции контуров, то во вторичном контуре наводится ЭДС $\varepsilon_2 = -\frac{d\Psi_{12}}{dt} = -M_{12} \frac{di_1}{dt}$

3.3 Переходные процессы в линейных электрических цепях

- Переходные процессы — это процессы, связанные с включением/отключением/изменением тока в цепях. Включение/отключение — **коммутация**.
- Переходные процессы могут происходить от десятых долей секунды до наносекунд.

3.3.1 Законы коммутации

- Первый закон коммутации: Ток через индуктивный элемент до коммутации равен току после коммутации.
 - $i_L(0) = i_L(0+)$
 - Ток через индуктивность мгновенно изменить нельзя.
- Второй закон коммутации: Напряжение на емкостном элементе до коммутации равно напряжению на емкостном элементе после коммутации.

- (a) $u_c(0) = u_c(0+)$
- (b) Напряжение на емкостном элементе мгновенно изменить нельзя.

Часть IX

Семинар 4 (15.10.15) ТР1

1. **Типовой расчет №1:** Составить электрическую схему, содержащую не менее трех контуров, в каждой из ветвей которых не менее двух резисторов, включенных последовательно или параллельно, и не менее одного источника ЭДС. Величины напряжений источников выбираются в диапазоне 10 – 50В, а сопротивлений 1 – 20Ом. Расчитать электрическую схему с применением законов Кирхгофа.

(a) Примеры: [173,174]

2. Вб – поток
Гн – индуктивность
Гн/м – погонная индуктивность
Тл – индукция магнитного поля
3. Может ли отсутствовать потокосцепление между магнитным потоком и витком, помещенным в него? От чего зависит потокосцепление витка? Каким способом можно создать в нем ЭДС от внешнего магнитного поля?
4. $a = 2\text{см}$; $B = 1.2\text{Тл}$
 - (a) $S = 4 * 10^{-4} \text{ м}^2$
 - (b) $B = \frac{\Phi}{S}$
 - (c) $\Phi = SB = 1,2 \cdot 4 \cdot 10^{-4} = 4,8 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$

Часть X

Лекция 6 (15.10.15)

3.3.2 Контур из последовательно соединенных резистора и индуктивности

1. Выключение тока
 - (a) Исходное положение выключателя (1): в цепи протекает установившийся ток
 - (b) Баланс напряжений: $u_L + u_r = E$
 - (c) Если перевести переключатель в положение (2), то баланс примет вид: $u_L + u_r = 0$
 - (d) $L \frac{dI}{dt} + IR = 0$
 - (e) $\frac{dI}{dt} + \frac{IR}{L} = 0$
 - (f) $I = I_0 e^{-\frac{R}{L}t}$, где I_0 – установившийся ток до переключения
 - i. $\frac{R}{L} = \delta$ – коэффициент затухания
 - ii. $\frac{L}{R} = \tau$ – постоянная времени – величина, показывающая, насколько уменьшится ток за единицу времени
 - (g) Продолжение тока после выключения источника говорит о том, что индуктивность начинает отдавать накопленную электромагнитную энергию $W = \frac{LI^2}{2}$ в цепь, которая рассеивается на резисторе. Эта мощность называется **реактивной мощностью**.
 - (h) При увеличении индуктивности L , время затухания тока возрастает
 - (i) Если последовательно с сопротивлением R включен резистор R_1 , то ток $I = I_0 e^{-\frac{R+R_1}{L}t}$

- (j) На клеммах переключателя при его размыкании возникает индуктивное напряжение, которое в момент коммутации превосходит напряжение источника E в соотношении $\frac{R+R_1}{R}$

2. Включение контура на постоянную ЭДС

- (a) $L \frac{dI}{dt} + IR = E$
 (b) $I = \frac{E}{R}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$

3.3.3 Контур из последовательно соединенных сопротивления и конденсатора

1. Разряд конденсатора на сопротивление

- (a) Исходное состояние: конденсатор заряжен, цепь разомкнута
 (b) При замыкании цепи начинает протекать ток $I = C \frac{dU_c}{dt}$
 (c) При замыкании выключателя баланс для цепи $U_r + U_c = 0$
 (d) $U_R = IR = RC \frac{dU_c}{dt}$
 (e) $U = U_c e^{-\delta t} = U_c e^{-\frac{t}{\tau}}$
 (f) $I = -\frac{U_c}{R} e^{-\delta t}$
 (g) При замыкании ключа, напряжение на конденсаторе уменьшается по экспоненте, а ток увеличивается скачком от амплитуды $\frac{U_c}{R}$, а далее уменьшается по экспоненте
 (h) Вся энергия, накопленная в конденсаторе $W = \frac{CU^2}{2}$, при замыкании выключателя рассеивается на резисторе.

2. Подключение конденсатора и сопротивления к источнику постоянного тока

- (a) $U_r + U_c = E$
 (b) $RC \frac{dU_c}{dt} + U_c = E$
 (c) $U_c = E(1 - e^{-\delta t})$
 (d) $I = C \frac{dU_c}{dt} = \frac{1}{R} E e^{-\delta t}$

4 Полупроводниковые вентили

4.1 Диод

- Диод — элемент односторонней проводимости, у которого, при приложении $+$ на анод, полупроводниковая структура переходит в проводящее состояние, то есть её внутреннее сопротивление падает почти до нуля и через диод развивается прямой ток, величина которого определяется сопротивлениями внешней цепи.
- При приложении $+$ на катод, полупроводниковая структура диода переходит в непроводящее состояние, её сопротивление увеличивается настолько, что током, равным току утечки, можно пренебречь.
- Диод характеризуется вольт-амперной характеристикой
- Характеристики диодов:
 - Номинальный ток
 - Номинальное обратное напряжение
 - Частотность

4.2 Тиристор (управляемый диод)

- Тиристор переходит в непроводящее состояние во время бестоковой паузы.

5 Контакты. Коммутационные аппараты

1. Под **контактным устройством** будем понимать устройство, обеспечивающее протекание тока при механическом соединении двух металлических элементов и прерывающее протекание тока при их рас-соединении. Под **контактом** будем понимать физические, химические и прочие процессы, протекающие под ним.
2. Типы коммутационных устройств:
 - (a) Неразъемные к.у. (спайка, сварка, скрутка и т.д.)
 - (b) Разъемные к.у. (предназначены для периодического включения и выключения устройства **без то-ка**)
 - (c) Скользящие к.у. (предназначены для постоянного контактирования при взаимном перемещении контактов)
 - (d) Разрывные к.у. (включение и выключение устройств **под током**)
3. Контактное устройство характеризуется
 - (a) Переходным (контактным) сопротивлением R_n (R_k)
 - i. R_n тем меньше, чем больше усилие сжатия контактов, чем больше точек контактирования и мощность тока.
 - (b) Максимальным напряжением в выключенном положении контактов
 - (c) Максимальным током во включенном положении контактов
 - (d) Временем включения и временем отключения
 - (e) Типом нагрузки, для которой предназначено к.у.
 - (f) Ресурсом
 - (g) ...
4. В нормальных условиях материал проводников и контактов подвержен воздействию кислорода и других агрессивных смесей. Под их воздействием контакты покрываются окисной пленкой.
 - (a) **Золото** не окисляется
 - (b) **Серебро** покрывается тонкой окисной пленкой, сгорающей при $t = 200^\circ C$
 - (c) **Медь** покрывается окисной пленкой, развивающейся внутрь со временем
 - (d) **Алюминий** покрывается высокотемпературной твердой пленкой
 - (e) ... поэтому маломощные, низковольтные контакты к.у. выполняются из меди с покрытием серебром или золотом.
 - (f) В мощных цепях медь спаивается, алюминий скрепляется механически.
5. Наиболее тяжелый режим коммутации происходит у к.у., предназначенных для включения и выключе-ния под напряжением.

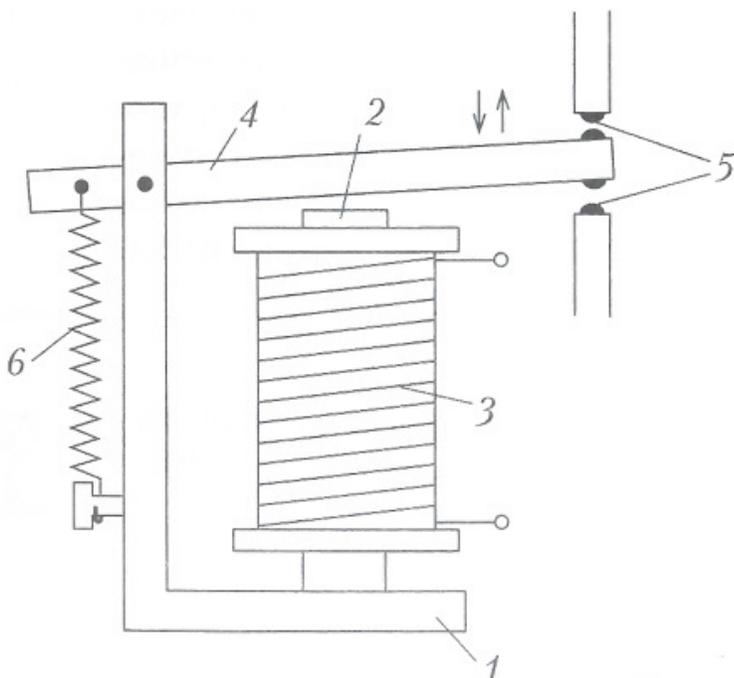
5.1 Коммутационные аппараты

1. Коммутационные аппараты предназначены для включения, выключения или изменения режима работы электронных схем.
2. Различают:
 - (a) Контактные к.а.
 - (b) Бесконтактные к.а.
 - (c) ... у которых изменение тока происходит за счет изменения сопротивления полупроводниковой структуры.

3. Классификация:

- (a) Реле — слаботочные к.а., предназначенные для защиты, управления, сигнализации маломощных сетей.
- (b) Пускатели, контакторы — мощные к.а., предназначенные для частого включения и выключения с некоторыми функциями защиты цепи.
- (c) Автоматические выключатели — мощные к.а. для редких коммутаций с развитыми защитными функциями.

5.2 Электромагнитные реле постоянного тока

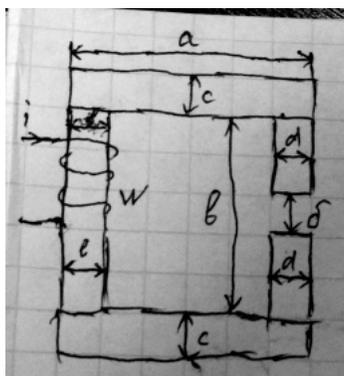


1. Если на обмотку 3 подать напряжение, то возникнет ток, создающий магнитный поток, замыкающийся через неподвижный магнитопровод 1, якорь 4 и воздушный зазор δ . Возникает электромагнитное усилие F_m , направленное в сторону уменьшения воздушного зазора. При этом якорь через тягу размыкает нзк (нормально замкнутый контакт) и замыкает нрк (нормально разомкнутый контакт).
2. Электромагнитное усилие, действующее на якорь определяется из выражения $F_{эм} = -\frac{(Iw)_{\delta}^2}{2} \cdot \frac{d\sigma_{\delta}}{d\delta}$
 - (a) Знак “-” говорит о том, что магнитное усилие направлено в сторону уменьшения δ
 - (b) Электромагнитное усилие между двумя полюсами: $F_{эм} = \frac{B^2 S}{2\mu_0}$

Часть XI

Семинар 5 (29.10.15) ТР2

1. **Типовой расчет №2:** Магнитная система имеет МДС (Iw), воздушный зазор (δ) и размеры, указанные в таблице 2. Материал магнитопровода имеет зависимость $B(H)$, приведенную в таблице 1.
 - (a) Задание:
 - i. Построить кривую намагничивания материала магнитопровода
 - ii. Найти индукцию в воздушном зазоре, пренебрегая потоками рассеяния и выпучивания
 - (b) Схема:



i.

(c) Таблица 1:

H , А/м	200	400	600	800	1600	2400
B , Тл	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5

i.

(d) Таблица 2:

Вариант	δ , мм	iw , А*витки	a , мм	b , мм	c , мм	d , мм	e , мм
1. Акимов	0,1	100	50	40	5	5	10
3. Высоков	0,3	150	70	50	15	10	20
6. Елисеев	0,6	225	100	70	15	10	20
i. 10. Карих	1	325	60	90	5	10	5
11. Коваленко	0,1	350	70	90	10	5	10
13. Меркулов	0,3	150	90	100	5	15	10
14. Нефедов	0,4	200	100	110	10	5	15
19. Федоров	0,3	100	40	30	5	6	20

(e) Ход работы:

- i. Разбиваем схему на участки и определяем индукцию B на всех участках
 - ii. По зависимости $B(H)$ определяем напряженности на всех участках
 - iii. Определяем МДС, расходуемую на каждом участке
 - iv. Определяем МДС, расходуемую на зазор
 - v. Полная МДС обмотки равна сумме МДС на магнитопроводе и на зазоре
2. Как изменяется абсолютная магнитная проницаемость ферромагнитного магнитопровода при росте тока в обмотке?
 - (a) Уменьшается
 3. Можно ли получить ЭДС индукции в проводнике, расположенном неподвижно в магнитном поле, создаваемом обмоткой, подключенной к аккумулятору.
 - (a) Можно, двигая обмотку
 4. Предложить методы увеличения электрической мощности, передаваемой из одной обмотки в другую.
 - (a) Уменьшить расстояние между обмотками
 - (b) Увеличить количество витков
 - (c) Увеличить магнитную проницаемость среды

Часть XII

Лекция 7 (29.10.15)

1. Электромагнитное реле срабатывает, когда на всем ходе якоря $F_{эм} > F_{мех}$

2. Электромагнитное реле характеризуется:

- (a) Ток, напряжение (мощность управления)
- (b) Ток, напряжение (мощность коммутации)
- (c) Время включения/выключения
- (d) Износоустойчивость
- (e) Чувствительность

3. У реле **переменного тока** сто раз в секунду ток становится равным нулю, а следовательно и $F_{ЭМ}$. В реле переменного тока для стабилизации $F_{ЭМ}$ обмотку разделяют на две части и сдвигают фазу одного из токов или шунтируют часть полюса.

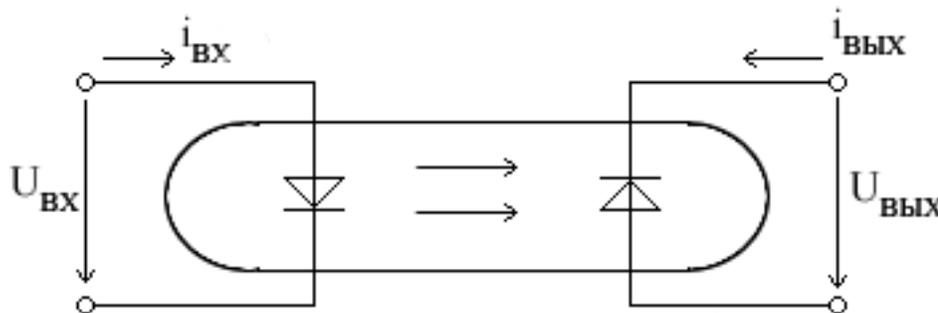
5.3 Герконы

1. Достоинства:

- (a) Высокое быстродействие
- (b) Ресурс
- (c) Высокая чувствительность

5.4 Оптронные коммутационные элементы

- 1. ОКЭ содержит входную цепь (светодиод) и выходную (силовую) цепь, которая может представлять собой диод, тиристор, семистор, триод и т.д.
- 2. Между входной и выходной цепью существует открытый или закрытый световой канал.
- 3. Во входной цепи в светодиоде электрическая энергия преобразуется в световой поток, который в выходном каскаде меняет проводящее состояние полупроводникового элемента, включая или выключая выходную цепь.



4. Диодная оптопара:

5.5 Выпрямительное устройство

1. Выпрямитель — устройство, преобразующее переменное напряжение в постоянное.

2. Характеристики выпрямителя:

- (a) Входные:
 - i. Напряжение
 - ii. Ток
 - iii. Мощность
 - iv. Частота
- (b) Выходные:

- i. Напряжение
- ii. Ток
- iii. Мощность
- iv. Коэффициент пульсации $k_{\text{п}} = \frac{U_{\text{осн}}}{U_0} \cdot 100\%$
 - A. U_0 — постоянная составляющая
 - B. $U_{\text{осн}}$ — переменная составляющая
 - C. $k_{\text{п}} < 0,05\%$ в электронных устройствах и $k_{\text{п}} < 1\%$ в энергетических

Часть XIII

Семинар 6 (05.11.15)

1. Определить магнитное сопротивление $R_{\text{м}}$ кольцевого ферромагнитного магнитопровода при значении $\mu = 2000$, если внешний диаметр $D = 60\text{мм}$, внутренний $d = 40\text{мм}$, толщина $h = 20\text{мм}$.

(a) $l = \pi \frac{(D+d)}{2}$
 (b) $S = (D - d) * h$
 (c) $R_{\text{м}} = \frac{l}{\mu\mu_0 S} = \frac{50 \cdot 10^{-3} \cdot \pi}{20 \cdot 10^{-3} * 20 \cdot 10^{-3}} = 4 * 10^4 \frac{1}{\text{Ом}}$

2. На ферромагнитном магнитопроводе размещена обмотка $w = 500$. Магнитопровод имеет круглое сечение с диаметром $d = 2\text{см}$, длина средней силовой линии $l_{\text{ср}} = 0,3\text{м}$, индукция $B = 1,5\text{Тл}$. Определить индуктивность L устройства.

В, Тл	0	1	1.5	1.75	2
Н, А/м	0	200	400	600	1000

- (a) Первый способ:
- i. $\Phi = BS = 1,5 * \frac{0,0004}{4} \pi = 4,71 * 10^{-4} \text{ Вб}$ — поток
 - ii. $\Psi = \Phi w = 4,71 * 10^{-4} * 500 = 0,23 \text{ Вб}$ — потокосцепление
 - iii. $Hl = iw; i = \frac{Hl}{w} = \frac{400 * 0,3}{500} = 0,24 \text{ А}$ — ток
 - iv. $L = \frac{\Psi}{i} = \frac{0,23}{0,24} = 0,96 \text{ Гн}$ — индуктивность

- (b) Второй способ:
- i. $B = \mu\mu_0 H; \mu = \frac{B}{\mu_0 H} = \frac{1,5}{12,56 * 10^{-7} * 400} = 2985$
 - ii. $L = w^2 \frac{\mu S}{l} = 500^2 * 2985 * 0,02^2 / (4 * 0,3)$

3. Какая МДС расходуется на каждый миллиметр воздушного зазора для создания магнитной индукции $B = 1 \text{ Тл}$? $\mu_0 = 4\pi * 10^{-7} \text{ Гн/м}$

(a) $Hl = iw; H = \frac{iw}{l}; B = \mu_0 H = \mu_0 \frac{iw}{l}$
 (b) $F = iw = \frac{Bl}{\mu_0} = \frac{1 * 10^{-3}}{4\pi * 10^{-7}} = \frac{10^4}{4\pi} = 796 \text{ А*В}$

4. Два одинаковых магнитопровода тороидальной формы имеют радиус средней силовой линии $R_{\text{ср}} = 10\text{см}$, а сечение магнитопровода $S = 2\text{см}^2$. Материал одного магнитопровода имеет магнитную проницаемость $\mu = \mu_0$, а второго согласно таблице 1. $w = 500, I = 1\text{А}$. Определить магнитные потоки Φ_1, Φ_2 .

В, Тл	0.8	1	1.1	1.2	1.4
Н, А/м	150	250	400	600	1600

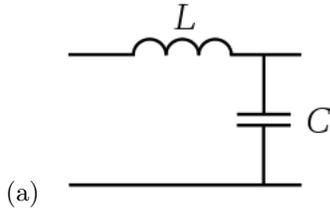
Часть XIV

Лекция 8 (05.11.15)

5.6 Фильтр

1. Характеризуется величиной уменьшения коэффициента пульсации на выходе по сравнению со входом.

2. Простейший фильтр “L-C”



- (a)
- (b) В промежутках времени а-б росту выпрямленного напряжения противодействует ЭДС самоиндукции в дросселе L и растущий зарядный ток конденсатора.
- (c) На отрезке б-в уменьшению напряжения противодействует изменившая знак ЭДС самоиндукции и поддерживающая напряжение на нагрузке энергия конденсатора
- (d) С простом L и C амплитуда пульсаций уменьшается
3. Кроме “L-C”, “R-C”, “C”, “R” (пассивных фильтров) существуют активные фильтры на полупроводниках, где сопротивление полупроводниковой структуры увеличивается с ростом приложенного на вход фильтра напряжения, поддерживая на нагрузке постоянное напряжение.

5.6.1 Дроссель

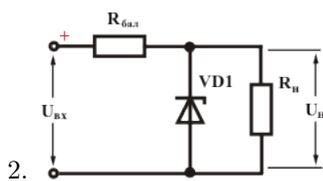
1. Дроссель — устройство, реализующее индуктивность
2. Дроссель в виде обмотки без магнитопровода обладает индуктивностью, не зависящей от тока в обмотке, однако её величина мала из-за того, что магнитный поток распространяется в среде с низкой магнитной проницаемостью μ_0 . $L = \frac{\mu_0 S w^2}{l}$
3. Дроссель с замкнутым магнитопроводом без зазора обладает большой индуктивностью $L = \frac{\mu_a S w^2}{l}$, так как $\mu_a \gg \mu_0$. Однако величина индуктивности тем меньше, чем больше ток в обмотке, т.е. эффективность такого дросселя непостоянна.
4. Для уменьшения зависимости $L_d(I)$ в магнитной системе создают зазор. Чем больше зазор, тем меньше индуктивность, но тем меньше она зависит от тока. $L = \frac{w^2 S}{\frac{l}{\mu_0} + \frac{l}{\mu_a}}$

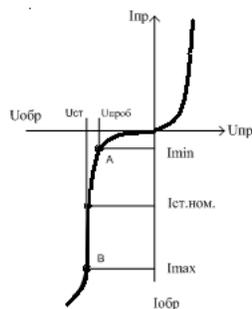
5.7 Стабилизаторы напряжения и тока

1. Предназначены для поддержания неизменного напряжения на выходе фильтра.
2. Характеризуется коэффициентом стабилизации
3. Стабилизаторы можно разделить на:
 - (a) Компенсационные — сложные электронные схемы с обратными связями.
 - (b) Параметрические

5.7.1 Параметрические стабилизаторы на стабилитроне

1. Стабилитрон — полупроводниковый диод, включаемый в обратном (непроводящем) направлении.





3. ВАХ стабилитрона ($VD1$):

4. Если ток через стабилитрон меняется в диапазоне (I_{min}, I_{max}) (что выставляется величиной R_6), то падение напряжения на стабилитроне меняется незначительно, т.е. незначительно меняется напряжение на нагрузке.
5. Для увеличения коэффициента стабилизации создают последовательные каскады со стабилитронами. Для увеличения мощности их включают параллельно.

5.8 Инвертор

1. Устройство, преобразующее постоянное напряжение в переменное.

5.9 Конвертор

1. Устройство, преобразующее постоянное напряжение в постоянное.

5.10 Преобразователь частоты

1. Устройство, преобразующее одну частоту в другую.

5.11 Умножитель напряжения

1. Умножитель — электронное устройство, на выходе которого можно получить напряжение, в любое количество раз превышающее напряжение на входе.
2. В первый полупериод через диод $VD2$ емкость $C1$ заряжается до амплитудного напряжения (+ справа) при смене полярности напряжения к ёмкости $C2$ прикладывается удвоенное амплитудное напряжения, так как складывается напряжение на обмотке и на емкости $C1$. Увеличивая количество каскадов можно увеличить напряжение на нагрузке.

5.12 Трансформаторы

1. Трансформатор — статическое электромагнитное устройство для преобразования электрической энергии с параметрами U_1, I_1 в электрическую энергию с параметрами U_2, I_2 при сохранении частоты.
2. Трансформатор содержит замкнутый магнитопровод и минимум две обмотки, одна из которых, подключенная к источнику, — входная обмотка w_1 , а другая (другие), подключенная к нагрузке — выходная обмотка w_2 .
3. Если к первичной обмотке w_1 подключить переменное напряжение, то в обмотке создастся ток, а МДС $F_1 = I_1 w_1$ создаст переменный магнитный поток, который в своей собственной обмотке w_1 наведет ЭДС самоиндукции E_1 , а во вторичной обмотке ЭДС взаимной индукции E_2 .
4. Мгновенное значение ЭДС $e = -w \frac{d\Phi}{dt}$, значит при равенстве числа витков $w_1 = w_2$ ЭДС самоиндукции e_1 будет равна ЭДС взаимной индукции e_2 .
5. Если ко вторичной обмотке подключить нагрузку, то под действием e_2 в обмотке и нагрузке пойдет ток I_2 .
6. Если напряжение синусоидально, то действующее значение ЭДС в обмотках $E = 4.44 w f \Phi_m$

7. $\frac{e_1}{e_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} = k$ - коэффициент трансформации

- (а) Если число витков $w_1 = w_2$ то ЭДС на вторичной обмотке равна напряжению на первичной обмотке
- (б) Если $w_2 < w_1$, то трансформатор **понижающий**. Напряжение на вторичной обмотке меньше, чем на первичной.
- (с) Если $w_2 > w_1$, то трансформатор **повышающий**. Напряжение на вторичной обмотке больше, чем на первичной.

8. $\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}; U_1 I_1 = U_2 I_2$

9. Большинство трансформаторов выполняются многообмоточными. Возникает вопрос в согласовании обмоток.

Часть XV

Семинар 7 (12.11.15)

1. Магнитопровод электромагнита содержит неподвижный магнитопровод (1) и подвижный магнитопровод (2) (якорь), который перемещается под действием электромагнитного усилия $F_{эм}$. Внутренний полюс электромагнита цилиндрический, а внешний — кольцевой. Площади их поперечных сечений одинаковы. Определить площади и диаметры полюсов, при которых с индукцией $B_\delta = 1\text{Тл}$ сила $F_{эм} = 10000\text{Н}$

(а) $F = \frac{B^2 S}{2\mu_0}$

(б) $S = 20 * 10^3 * 12.56 * 10^{-7} = 25.12 * 10^{-3} \text{ м}^2$

(с) $D = 0.13\text{м}$

Часть XVI

Лекция 9 (12.11.15)

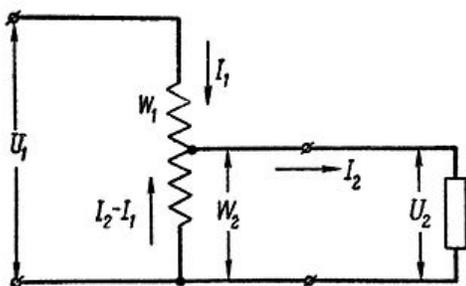
1. Режим холостого хода: Вторичная обмотка разомкнута

- (а) В режиме холостого хода затрачивается взятая из сети электрическая энергия, которая идет на омические потери в $(iw)_1$ и расходуется на потери в стали магнитопровода. Эти потери невелики, поэтому потребляемая мощность и ток в режиме х.х. минимальны.
- (б) Если подключить нагрузку ко вторичной обмотке, то в её цепи начинает протекать электрический ток и появляется расходуемая в нагрузке мощность, забираемая из сети питания. С ростом тока I_2 растет ток I_1 , причем величина магнитного потока в магнитопроводе не меняется.

2. КПД трансформатора: $\eta = \frac{P - P_{акт} - P_{ст}}{P} \approx 0.98$

3. Трехфазный трансформатор

4. Автотрансформатор: позволяет плавно регулировать выходное напряжение.



(а)

6 Электрические цепи однофазного синусоидального тока

1. I_m — амплитудное значение тока
 φ — сдвиг фазы
 T — период
2. $f = \frac{1}{T}$ — частота тока
 (а) $f = 50$ Гц; $T = 20$ мс
3. $I = I_m \sin(\omega t + \varphi)$
4. **Среднее значение** синусоидальной изменяющейся величины — её среднее значение за полупериод
 (а) $I_{\text{ср}} = \frac{2I_m}{\pi} \approx 0.638I_m$
 (б) $U_{\text{ср}} = \frac{2U_m}{\pi}$
 (в) $E_{\text{ср}} = \frac{2E_m}{\pi}$
5. **Действующее** (эфффективное среднеквадратическое) значение синусоидальной величины определяется как $I_d = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \approx 0,707I_m$
 (а) Действующее значение тока численно равно значению постоянного тока, который выделяет то же количество синусоидальной энергии, что и синусоидальный.

6.1 Анализ процессов, сопровождающих протекание синусоидального тока в простейших электрических цепях

1. Резистивный элемент в цепи синусоидального тока
 (а) Резистивный элемент устанавливает величину тока в цепи. Его характеризует величина сопротивления, т.е. зависимость напряжения на нем от тока через него.
 (б) В резистивном элементе напряжение и синусоидальный ток совпадают по фазе.
 (в) $U = IR = U_m \sin \omega t$; $I = I_m \sin \omega t$
 (д) $P = UI = U_m I_m \sin^2 \omega t = \frac{U_m I_m}{2} (1 - \cos 2\omega t)$
 i. Мощность в резистивном элементе имеет постоянную составляющую $\frac{u_m I_m}{2}$, всегда положительна, т.е. независимо от направления тока в резисторе электрическая энергия преобразуется в резисторе в тепло.
2. Индуктивный элемент в цепи синусоидального тока
 (а) Выделение индуктивных элементов электрических цепей переменного тока позволяет учитывать изменение тока под действием магнитного потока, наведение ЭДС, накопление, расходование или возврат в источник электрической энергии индуктивными элементами.
 (б) Индуктивный элемент характеризуется вебер-амперной характеристикой или индуктивностью
 (в) $U = U_m \sin(\omega t + 90^\circ) = \omega L I_m \sin(\omega t + 90^\circ)$
 i. $\chi_L = \omega L$ — индуктивное сопротивление
 (д) $P = \frac{I_m U_m}{2} \sin 2\omega t$
 (е) В период роста тока энергия из источника ($\frac{LI^2}{2}$) поуступает в индуктивность, а в промежутке времени от I_m до 0 полностью возвращается обратно к источнику.
 (ф) Реальная индуктивность кроме индуктивной составляющей сопротивления имеет активное сопротивление. Значит и падение напряжения происходит в активном и индуктивном сопротивлении.
 (г) $\text{tg } \varphi = \frac{R}{\omega L} = \frac{1}{Q}$
 i. Q — добротность
 ii. $Q = \frac{\omega L}{R}$

3. Емкостной элемент в цепи синусоидального тока

- (a) Емкостной элемент позволяет учесть токи смещения и накопление электрической энергии в цепях.
- (b) Емкостной элемент характеризуется емкостью — отношением заряда к напряжению $C = \frac{q}{U}$
- (c) Если приложенное к конденсатору напряжение не меняется, то заряд $q = cU$ постоянен и ток через конденсатор $i = \frac{dq}{dt} = 0$.
- (d) Если напряжение на конденсаторе изменяется по синусоидальному закону $u = u_m \sin \omega t$, то также будет меняться и заряд $q = CU_m \sin \omega t$. Ток, протекающий через конденсатор, определится как $i = \frac{U_m}{1/\omega c} \sin(\omega t + 90^\circ)$
 - i. $\chi_c = \frac{1}{\omega c}$ — емкостное сопротивление
- (e) Амплитуда тока через конденсатор $I_m = \frac{u_m}{\chi_c}$. Тогда мощность через конденсатор $P = \frac{U_m I_m}{2} \sin 2\omega t$
- (f) В четверть периода, когда напряжение источника растет, мощность положительна, т.е. энергия $\frac{CU^2}{2}$ поступает в конденсатор. Когда напряжение уменьшается до нуля, вся энергия из конденсатора возвращается в источник.
- (g) Ток через конденсатор: $I_c = C \frac{dU_c}{dt}$
- (h) Напряжение на конденсаторе: $U_c = \frac{1}{C} \int i \cdot dt$
- (i) Реальный конденсатор кроме чисто емкостного сопротивления из-за токов утечки имеет активную составляющую.
- (j) $\operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{Q}$

6.2 Закон Ома для цепи переменного тока

1. $i = \frac{U}{R + \omega L - \frac{1}{\omega C}}$
2. $U = IR + L \frac{dI}{dt} + \frac{1}{C} \int i \cdot dt$

6.3 Активная, реактивная и полная мощность

1. Активная мощность представляет собой энергию, которая выделяется в единицу времени на участке цепи с сопротивлением R .
 - (a) $P = UI \cos \varphi = I^2 R$ [Вт]
2. Реактивная мощность $P_{\text{реакт}} = UI \sin \varphi$ [В*А]
 - (a) Реактивная мощность имеет переменную и постоянную составляющую.
 - i. Постоянная составляющая это энергия, поступающая из источника в нагрузку после включения цепи. Назад в источник не возвращается.
 - ii. Переменная составляющая дважды за период поступает в нагрузку и дважды возвращается в источник.
3. Полная мощность $S = UI$ [В*А]; $S^2 = P_{\text{акт}}^2 + P_{\text{реакт}}^2$

6.4 Резонанс в электрических цепях

1. Резонанс — явление в электрических цепях, содержащих емкостное, индуктивное и активное сопротивление, когда емкостное и индуктивное сопротивление взаимно компенсируют друг друга и цепь ведет себя как чисто активное сопротивление.
2. При резонансе ток по фазе совпадает с напряжением.
3. Резонанс может наблюдаться во всей цепи или её части.

6.4.1 Резонанс в цепи из последовательно соединенных R , L и C

1. В последовательной RLC цепи наблюдается резонанс токов.
2. $Z = \sqrt{r^2 + \chi^2}$ — полное сопротивление
 - (a) $\chi = \omega L - \frac{1}{\omega C}$
 - (b) Взаимная компенсация χ_L и χ_C возможна, когда $\omega L = \frac{1}{\omega C}$; $\omega^2 LC = 1$, т.е. достигнуть резонанса можно изменяя частоту, емкость или индуктивность.
 - (c) Резонанс в последовательной цепи наступает если:
 - i. $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ — резонансная частота
 - ii. $L_0 = \frac{1}{\omega^2 C}$
 - iii. $C_0 = \frac{1}{\omega^2 L}$

Часть XVII

Семинар 8 (26.11.15)

1. Определить период сигнала, если частота $f = 400$ Гц
 - (a) $T = \frac{1}{400}$ с
2. $U_m = 100$ В
 $\varphi = -60^\circ$
 $f = 50$ Гц
 - (a) $U = U_m \sin(\omega t + \varphi)$
 - (b) $U = 100 \sin(314t - 60^\circ)$
3. Как изменится ток в катушке с индуктивностью L , подключенной к источнику синусоидального тока, если частота увеличится в 3 раза.
 - (a) $\chi_L = \omega L$
 - (b) $I = \frac{U}{\chi_L} = \frac{U}{\omega L}$
 - (c) Ответ: Уменьшится в три раза
4. Как изменится ток в конденсаторе с емкостью C , подключенной к источнику синусоидального тока, если частота увеличится в 3 раза.
 - (a) $\chi_C = \frac{1}{\omega C}$
 - (b) $I = \frac{U}{\chi_C} = U\omega C$
 - (c) Ответ: Увеличится в три раза
5. Сдвиг фаз: $\varphi = \pi$
 Время между максимумами: t —?
 Частота: $f = 200$ Гц
 - (a) $T = \frac{1}{f} = \frac{1000}{200}$ мс = 5мс
6. $U_{1д} = 110$ В $\varphi = 0^\circ$
 $U_{2д} = 50$ В $\varphi = -45^\circ$
 $U_{2д} = 160$ В $\varphi = 70^\circ$
 - (a) $U_{1m} = 110\sqrt{2} = 155,1$ В
 - (b) $U_{2m} = 50\sqrt{2} = 70,5$ В

(c) $U_{3m} = 160\sqrt{2} = 225,6\text{В}$

(d) $U_1 = 155,1 \sin(\omega t)$

(e) $U_2 = 70,5 \sin(\omega t - 45^\circ)$

(f) $U_3 = 225,6 \sin(\omega t + 70^\circ)$

7. $E(t) = 20 \sin 100t$

$R = 4 \text{ Ом}$

$L = 70 \text{ мГн}$

$C = 2500 \text{ мкФ}$

(a) $I(t) = \frac{U}{R + \omega L - \frac{1}{\omega C}} = \frac{20 \sin 100t}{4 \text{ Ом} + 70 \text{ Ом} + 4 \text{ Ом}} = \frac{20 \sin 100t}{15} = 1.3 \sin 100t$

(b) $U_L(t) = I \chi_L = 9.1 \sin 100t$

(c) $U_C(t) = I \chi_C = 1.3 \sin 100t \cdot 4 = 5.2 \sin 100t$

(d) $U_R(t) = IR = 1.3 \sin 100t \cdot 4 = 5.2 \sin 100t$

Часть XVIII

Лекция 10 (26.11.15)

1. Падение напряжения на индуктивности и падение напряжения на емкости противоположно направлены в цепи с резонансом. Их величины во много раз могут превышать напряжения питания, поэтому резонанс в последовательной цепи называется **резонансом напряжений**.

2. Напряжения на конденсаторе и индуктивности будут превышать напряжение в сети, если:

(a) $\frac{1}{\omega C} = \omega L$

(b) При резонансе должна быть большая добротность контура

3. Энергия в контуре $w = w_C + w_L = \frac{CU^2}{2} + \frac{Li^2}{2} = const$

(a) При максимуме напряжения вся энергия сосредоточена в емкости

(b) При максимуме тока вся энергия сосредоточена в индуктивности

4. Энергия “перетекает” из L в C и обратно и из сети потребляется мощность лишь для компенсации активных потерь $P_{\text{акт}} = i^2 R$

6.4.2 Резонанс в цепи с параллельным соединением R,L,C

1. Общая проводимость цепи будет определяться как сумма проводимостей индуктивного, активного и емкостного сопротивлений.

2. В момент $\frac{1}{\omega L} = \omega C$ в контуре возникнет резонанс

3. Условия возникновения резонанса остаются прежними

4. При резонансе полное сопротивление цепи имеет максимальное значение, так как проводимость минимальна. Поэтому ток из источника минимален и расходуется только на компенсацию активных потерь.

5. Резонанс при параллельном сопротивлении называется резонансом токов. Ток в контуре LC существенно превышает ток из источника.

6. Как и при последовательном резонансе, в любой момент времени сумма электрической и магнитной энергии неизменны.

7 Электрические машины (электромеханические преобразователи энергии)

7.1 Асинхронные машины

1. Трехфазная обмотка статора в пазах распределена так, что создает вращающееся магнитное поле с числом оборотов n_0 . Поле статора пронизывает короткозамкнутые обмотки ротора, наводит в них ЭДС, под действием которых возникает ток. Магнитный поток ротора, цепляясь с полем статора и стараясь удержать свое потокоцепление, двигается с некоторым скольжением (отставанием) $S = \frac{n_0 - n}{n}$. Чем больше скольжение, тем меньше частота вращения ротора по сравнению с частотой вращения поля статора.
2. Частота вращения поля статора определится как $n_0 = \frac{60f}{P}$
 - (a) P — число пар полюсов
3. Двигатель называется асинхронным, так как частота вращения ротора зависит от нагрузки двигателя.
4. Асинхронная машина может работать в режиме генератора. Для этого нужно вращать ротор и создать небольшое поле возбуждения.

Часть XIX

Семинар 9 (03.12.15)

1. $I = \frac{U}{R + \omega L - \frac{1}{\omega C}}$
 - (a) В R-цепи ток совпадает по фазе с напряжением, так как резистор (активное сопротивление) не накапливает и не отдает энергию
 - (b) В L-цепи ток отстает по фазе от напряжения на 90° из-за ЭДС самоиндукции, возникающей в индуктивности
 - (c) В C-цепи ток опережает напряжение на 90°
2. RLC- цепь. $U = 20\text{В}$, $R = 10\text{Ом}$, $L = 1\text{мГн}$, $C = 1\text{мкФ}$, $f = 500\text{Гц}$, резонанс. $I = ?$
 - (a) $I = \frac{U}{R} = \frac{20}{10} = 2 \text{ А}$
3. RLC-цепь. $R = 50\text{Ом}$, $L = 0,2\text{Гн}$, $C = 5\text{мкФ}$. Определить резонансную частоту.
 - (a) $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{0,2 \cdot 5 \cdot 10^{-6}}} = 1\text{кГц}$

Часть XX

Лекция 11 (03.12.15)

7.2 Синхронные машины

1. Синхронные машины — машины, у которых частота вращения ротора (в двигательном режиме) равна частоте вращения поля статора
2. Могут работать в генераторном режиме или режиме электромагнитного тормоза
3. Статор аналогичен асинхронной машине и создает вращающееся магнитное поле
4. Ротор содержит обмотки на магнитопроводе, концы которых выведены на контактные кольца
5. Питается от источника постоянного напряжения

6. Электромагнитный момент возникает в результате взаимодействия полей статора (вращающегося) и поля ротора, созданного обмоткой ротора, подключенной через контактные кольца и щетки к источнику постоянного напряжения
7. Для разгона ротора до синхронной скорости, на полюсах ротора размещают короткозамкнутую обмотку
8. В диапазоне номинальных нагрузок частота вращения ротора не меняется
9. Может работать в режиме генератора, если подать напряжение на обмотки ротора и вращать его. Если поток в воздушном зазоре распределен по синусоидальному закону, то в трехфазной обмотке статора наведется синусоидальное трехфазное напряжение.
10. Синхронные генераторы:
 - (a) Гидрогенераторы
 - (b) Турбогенераторы
11. “В случае случившегося случая”

7.2.1 Синхронные шаговые микродвигатели

1. Шаговый электродвигатель — устройство, предназначенное для преобразования электрических импульсов управления в шаговое (дискретное) перемещение ротора.
2. Возможно перемещение пошагово при однофазном питании.

Часть XXI

Семинар 10 (10.12.15) [Пропал из-за конференции]

Часть XXII

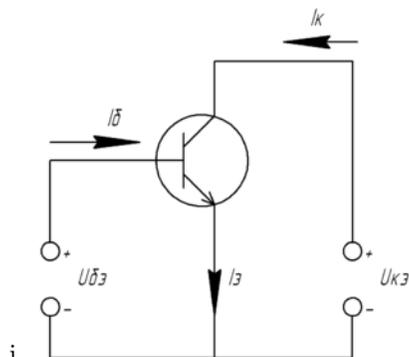
Лекция 12 (10.12.15)

8 Транзисторы

1. Характеристики:
 - (a) Входные напряжение и ток
 - (b) Выходные напряжение и ток
 - (c) Входное сопротивление: отношение напряжения между базой и эмиттером к управляющему току базы
 - (d) Коэффициент усиления по напряжению: отношение напряжения “коллектор-эмиттер” к напряжению управления “база-эмиттер”
 - (e) Частотная характеристика: при увеличении частоты коэффициент усиления уменьшается
 - (f) Выходная проводимость
2. Режимы работы биполярных транзисторов
 - (a) Режим насыщения
 - (b) Режим отсечки: когда оба перехода коллектор-эмиттер и база-эмиттер закрыты (разрыв цепи)
 - (c) Активный режим: когда ток эмиттер-база создает некое сопротивление перехода

3. Схемы включения биполярных транзисторов

(а) Схема включения с общим эмиттером



- i.
- ii. имеет самый большой коэффициент усиления
- iii. инвертирует входной сигнал
- iv. входной цепью является цепь базы, а выходной — цепь коллектора
- v. для того, чтобы коллекторный переход был закрыт, нужно, чтобы напряжение между коллектором и эмиттером было меньше, чем между базой и эмиттером. Напряжение между базой и эмиттером должно быть больше нуля.
- vi. входной характеристикой можно считать зависимость тока базы от напряжения между базой и эмиттером $I_b = f(U_{бэ})$

(b) Схема включения с общей базой

- i. для уменьшения мощности цепи управления, нагрузку в такой схеме включают в коллекторную цепь
- ii. используется на высоких частотах, когда можно допустить меньший коэффициент усиления
- iii. не происходит инвертирование сигнала

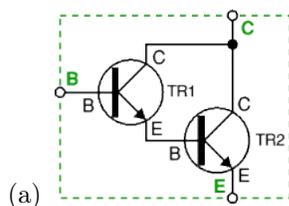
(c) Схема включения с общим коллектором (эмиттерный повторитель)

- i. Такие схемы работают при коэффициенте усиления = 1

4. Вольт-амперные характеристики

- (а) Транзистор в схемах характеризуется входным и выходным напряжением, входным и выходным током. Связь между ними определяют вольт-амперные характеристики, которые зависят от схемы включения и типов транзисторов.

5. Для увеличения общего коэффициента усиления транзисторы включают в каскады



(а)