

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра радиотехники

ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям по курсу
«Общая электротехника» для студентов направления
12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»
(профили «Биотехнические и медицинские аппараты
и системы», «Менеджмент и управление
качеством в здравоохранении»)
очной и заочной форм обучения

Воронеж 2021

УДК 621.396
ББК 32.85

Составитель

канд. техн. наук, доц. Р. П. Краснов

Общая электротехника: методические указания к практическим занятиям по курсу «Общая электротехника» для студентов направления 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии» (профили «Биотехнические и медицинские аппараты и системы», «Менеджмент и управление качеством в здравоохранении») очной и заочной форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. Р. П. Краснов. - Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. - 29 с.

Приводятся основные теоретические сведения и представлен список типовых задач по избранным разделам курса «Общая электротехника», а также ссылки на рекомендуемую литературу.

Предназначены для студентов всех форм обучения.

**УДК 621.396
ББК 32.85**

Ил. 8. Библиогр.: 5 назв.

Рецензент – А. В. Володько, канд. техн. наук, доц. кафедры радиоэлектронных устройств и систем ВГТУ

*Печатается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

ВВЕДЕНИЕ

На практических занятиях по курсу «Радиоматериалы и радиокомпоненты» каждый студент выполняет задание, включающее теоретическую и экспериментальную части.

Практические занятия предполагают выполнение подготовительных (домашних) заданий, основным содержанием которых является ознакомление с принципом работы электронного прибора, его паспортными данными, изучение измерительных схем и методик проведения измерений.

Контроль правильности выполнения подготовительного задания и теоретической готовности к выполнению практической работы проводится преподавателем перед началом занятия.

Заключительным этапом практической работы является защита отчета, которая проводится в виде устного собеседования в рамках контрольных вопросов.

Техника безопасности в лаборатории

Режим техники безопасности на практических занятиях по курсу «Радиоматериалы и радиокомпоненты» включает:

- изучение правил техники безопасности при обслуживании электроустановок с напряжением до 1000 В и дополнительный инструктаж по электробезопасности в конкретных условиях учебной лаборатории;
- документальную регистрацию студентами знаний правил техники безопасности и дополнительного инструктажа в специальном журнале.

Дополнительный инструктаж включает в себя следующие рекомендации по сборке измерительных схем.

Перед началом сборки измерительной схемы убедиться, что все источники питания установки выключены, а их регуляторы установлены в крайнее левое положение.

При сборке измерительной схемы использовать только надежные клеммные и штепсельные соединения и соединительные провода. Основания клемм должны иметь надежную фиксацию в посадочные отверстия. Соединение и разъединение штепсельных разъемов должно осуществляться при отключенных источниках питания плавно и с небольшим усилием.

Только после тщательной проверки собранной измерительной схемы и с разрешения преподавателя или лаборанта можно включать тумблеры источников питания.

Электрическая схема собирается без подключенного на панели исследуемого элемента. С помощью вольтметра выставляется необходимое напряжение питания. Затем при выключенном источнике питания производится подключение элемента.

Обо всех замеченных технических неисправностях немедленно сообщать преподавателю или лаборанту.

Запрещается в процессе измерений прикасаться к токоведущим элементам (клеммам).

Перед внесением изменений в схему необходимо выключить источники питания установки.

После окончания измерений необходимо установить регуляторы напряжения всех источников питания в крайнее левое положение, выключить источники питания и другие приборы, обесточить измерительный стенд, разобрать измерительную схему, привести в порядок рабочее место.

Краткие сведения об учебном измерительном оборудовании

Для проведения учебной исследовательской работы в лаборатории электронных приборов используется стенд лабораторный универсальный типа СПЭ-8. Он предназначен для исследования полупроводниковых приборов в статическом режиме.

Для задания статических режимов полупроводниковых приборов и подключения дополнительного оборудования в стенде имеется два источника стабилизированного постоянного напряжения, регулируемого в пределах 0...15В, при уровне пульсаций выходного напряжения не более 0,5%, а также два источника переменного напряжения 220В частотой 50Гц.

Для измерения тока, протекающего в цепях с исследуемыми приборами и напряжений на них, имеется шесть электроизмерительных приборов магнитоэлектрической системы.

Для проведения измерений при различных температурах используется нагреватель, устанавливаемый сверху на исследуемые приборы. Он подключается к источнику переменного напряжения 12.6В. Температура внутри нагревателя 60°C время нагрева рабочего объема - 5 минут.

Исследуемая схема собирается на макетной плате «Полупроводники-микросхемы», которая позволяет исследовать различные схемы, собранные на полупроводниковых приборах и ИС.

Макет выполнен в виде самостоятельного устройства настольного типа. Все органы управления и коммутации расположены на лицевой стороне панели макета.

Одно- и двухполярное напряжение питания подводится к гнездам, обозначенных на макете «+», «⊥», «-». Индикация наличия напряжения осуществляется тумблером, при этом загораются светодиоды.

1. ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

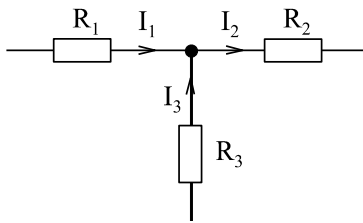
1.1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Закон Ома в простейшем случае связывает величину тока через сопротивление с величиной этого сопротивления и приложенного к нему напряжения:

$$I = U / R; U = IR \quad (1.1)$$

Сила тока на некотором участке электрической цепи прямо пропорциональна напряжению на этом участке и обратно пропорциональна сопротивлению этого участка.

Первый закон Кирхгофа: алгебраическая сумма токов, сходящихся в любом узле электрической цепи равна нулю. При этом токи, текущие к узлу считаются положительными, а от узла - отрицательными. Другая формулировка: сумма токов, подходящих к узлу, равна сумме токов, отходящих от узла.



$$\sum_{k=1}^n I_k = 0, I_1 + I_3 = I_2 \quad (1.2)$$

Второй закон Кирхгофа: в любом замкнутом контуре электрической цепи алгебраическая сумма падений напряжений на элементах, входящих в контур, равна алгебраической сумме ЭДС.

$$\sum_{k=1}^m R_k I_k = \sum_{j=1}^n E_j \quad (1.3)$$

Расчет цепей посредством двух законов Кирхгофа

Порядок расчета:

а) Произвольно задаются положительными направлениями токов во всех ветвях схемы.

б) Для всех узлов схемы кроме одного составляются уравнения по 1-му закону Кирхгофа.

в) Для всех независимых составляются уравнения по 2-му закону Кирхгофа (контур будет считаться независимым от остальных, если в него входит хотя бы одна ветвь, не вошедшая в состав других контуров).

Общее число уравнений, составленных по 1 и 2-му законам Кирхгофа должно быть равно числу неизвестных токов.

Метод контурных токов

Позволяет для схемы с k узлами и n ветвями составлять и решать систему из $n-(k-1)$ уравнений.

А) сначала определяют число независимых контуров в схеме: $n-(k-1)$, схему рассматривают как совокупность этих контуров, в каждом из которых задается некоторый контурный ток. Токи смежных ветвей соседних контуров рассматривают как алгебраическую сумму соответствующих контурных токов. Токи внешних (независимых) ветвей являются контурными.

Б) для каждого контура составляется уравнение по 2-му закону Кирхгофа, где алгебраическая сумма ЭДС в контуре (направление обхода задается контурным током) равна алгебраической сумме падений напряжения на сопротивлениях контура от собственного контурного тока и от токов в смежных контурах.

В) после решения полученной системы уравнений по известным контурным токам определяется направление и величина истинных токов в ветвях схемы.

Метод межузлового напряжения

а) определяют напряжение U_{xy} между узлами x и y схемы. Пусть U_{xy} известно.

Б) выбирают произвольно положительные направления токов ветвей. Причем в пассивных ветвях токи должны быть направлены от узла с более высоким потенциалом к узлу с низким потенциалом, в активных ветвях направления токов выбираются произвольно.

В) применяя к каждой из ветвей закон Ома для активного участка цепи, выражают их токи. Напряжение между узлами параллельной цепи равно алгебраической сумме произведений проводимости и ЭДС каждой ветви, деленной на сумму проводимостей всех ветвей схемы.

Г) зная напряжение U_{xy} , пользуясь системой уравнений, определяют токи ветвей схемы.

Метод эквивалентного генератора

Метод эквивалентного генератора используется в тех случаях, когда требуется определить ток в какой-либо ветви сложной схемы, а также исследовать, как будет меняться этот ток при изменении сопротивления ветви. Суть метода состоит в том, что действие всей схемы на исследуемую ветвь заменяется действием некоторого эквивалентного источника ЭДС $E_{эк}$ с внутренним сопротивлением $R_{эк}$.

Следовательно, задача распадается на две подзадачи: определение $E_{эк}$ и определение $R_{эк}$.

А) определение $E_{эк}$.

Для того, чтобы найти $E_{эк}$ достаточно разомкнуть исследуемую ветвь и измерить или вычислить напряжение холостого хода $U_{ab,xx}$,

б) определение $R_{эк}$.

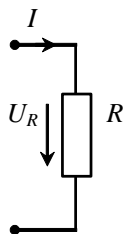
$R_{эк}$ – это внутреннее сопротивление всей схемы. Для определения $R_{эк}$ надо заменить короткозамкнутыми участками все источники ЭДС и разрывом цепи

– источники тока. Затем необходимо вычислить $R_{эк}$, используя правила преобразования пассивных цепей.

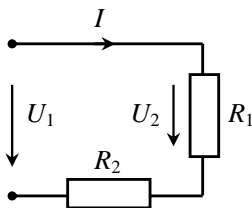
1.2. ЗАДАЧИ

1. Э.д.с. источника $E = 12$ В; внутреннее сопротивление $R_{вн} = 1$ Ом. При каком значении внешнего сопротивления его мощность будет максимальной и чему она равна?

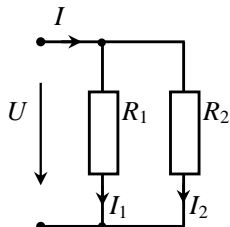
2. Составить схему электрической цепи, в которой к источнику напряжения присоединены три резистора. Один включен последовательно с группой из двух, соединенных между собой параллельно. В схеме предусмотреть управление с помощью двухполюсного выключателя.



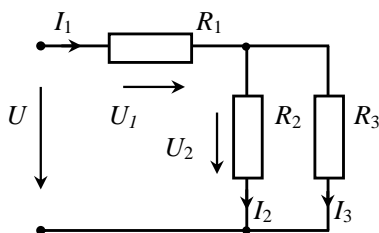
3. В изображенной цепи вычислить ток, протекающий через резистор сопротивлением $R = 5$ кОм, если напряжение $U_R = 10$ В.



4. В изображенной цепи определить величины напряжений U_1 и U_2 если известно, что $I = 5$ мА, $R_1 = 500$ Ом, $R_2 = 1,5$ кОм.

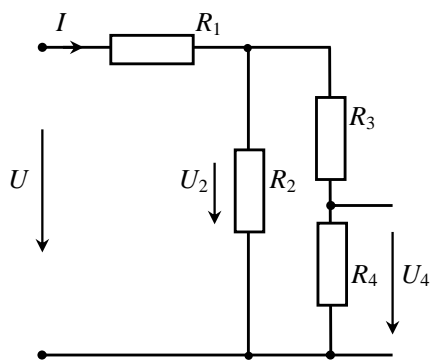


5. В изображенной цепи вычислить напряжения U и токи I_1 и I_2 , если известно, что $I = 1$ А, $R_1 = 600$ Ом, $R_2 = 1300$ Ом.



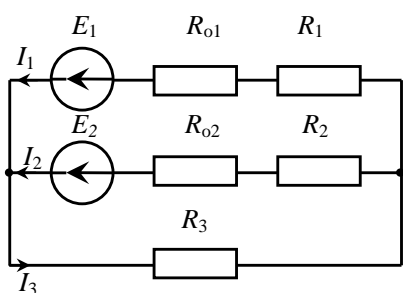
6. В изображенной цепи рассчитать токи I_1 , I_2 и I_3 , напряжения U_1 и U_2 , если $U = 100$ В, $R_1 = R_2 = 500$ Ом, $R_3 = 1,1$ кОм.

7. Источник электрической энергии включен на сопротивление $R_1 = 10$ Ом и дает ток $I_1 = 3$ А. Если тот же источник включить на сопротивление $R_2 = 20$ Ом, то ток $I_2 = 1,6$ А. Найти э.д.с. и внутреннее сопротивление источника $R_{вн}$.

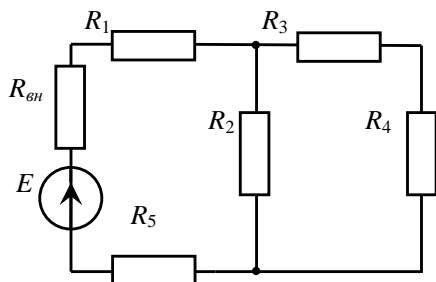


8. В цепи рассчитать напряжения U_2 и U_4 , если известно, что $U = 200$ В, $R_1 = 500$ Ом, $R_2 = 800$ Ом, $R_3 = 1500$ Ом, $R_4 = 400$ Ом.

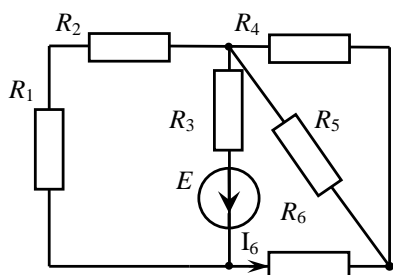
9. Если два резистора соединить последовательно и подключить к источнику напряжения 100 В, тот ток в цепи будет равен 4 А. Если эти резисторы соединить параллельно, то ток возрастет до 25 А. Определить сопротивление каждого из резисторов.



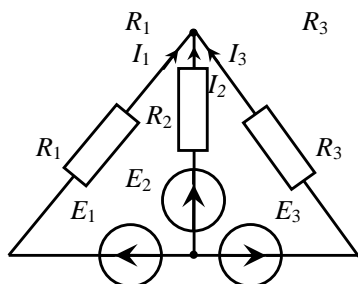
10. Для электрической цепи определить токи I_1 , I_2 и I_3 в ветвях. Э.д.с. $E_1 = 1,8$ В; $E_2 = 1,2$ В; сопротивления резисторов: $R_1 = 0,2$ Ом; $R_2 = 0,3$ Ом; $R_3 = 0,8$ Ом; $R_{01} = 0,6$ Ом; $R_{02} = 0,4$ Ом.



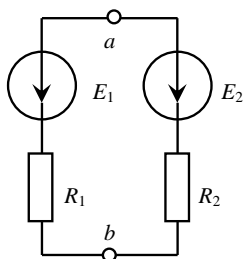
11. Для схемы заданы: $R_1 = 2$ Ом; $R_2 = 30$ Ом; $R_3 = 12$ Ом; $R_4 = 8$ Ом; $R_5 = 1,5$ Ом; $E = 160$ В; $R_{вн} = 0,5$ Ом. Определить токи во всех элементах схемы.



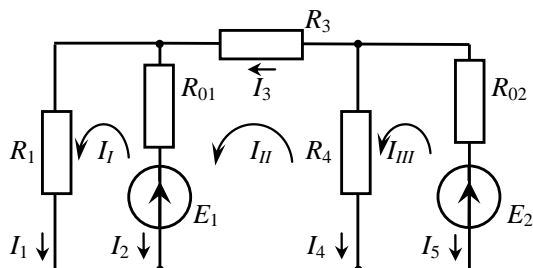
12. Задана цепь, в которой известны сопротивления $R_1 = 4$ Ом; $R_2 = 4$ Ом; $R_3 = 6$ Ом; $R_4 = R_5 = 120$ Ом; $R_6 = 4$ Ом и ток $I_6 = 2$ А. Определить токи остальных ветвей и эдс E .



13. Методом узловых напряжений определить токи I_1 , I_2 , I_3 в ветвях электрической цепи. Электродвижущая сила источников: $E_1 = 60$ В, $E_2 = 65$ В, $E_3 = 50$ В. Сопротивления резисторов: $R_1 = R_2 = 0,5$ Ом; $R_3 = 1$ Ом. Внутренними сопротивлениями источников пренебречь.

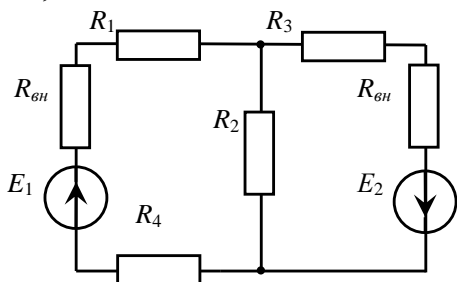


14. В цепи, известны следующие величины: $E_1 = 45 \text{ В}$, $E_2 = 25 \text{ В}$, $R_1 = 4 \text{ Ом}$, $R_2 = 5 \text{ Ом}$. Определить напряжение U_{ab} .

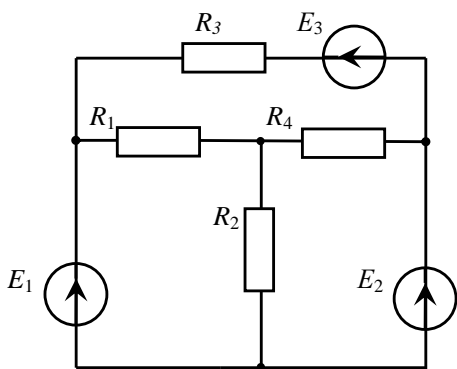


15. Рассчитать токи в цепи методом контурных токов при следующих значениях ее параметров: $E_1 = 35 \text{ В}$; $E_2 = 63 \text{ В}$; $R_1 = 30 \text{ Ом}$; $R_2 = 15 \text{ Ом}$; $R_3 = R_4 = 25 \text{ Ом}$; $R_{01} = R_{02} = 2 \text{ Ом}$.

16. В приведенной ниже цепи методом контурных токов определить токи ветвей при $E_1 = 40 \text{ В}$; $E_2 = 12 \text{ В}$; $R_1 = 20 \text{ Ом}$; $R_2 = 10 \text{ Ом}$; $R_3 = 25 \text{ Ом}$; $R_4 = 5 \text{ Ом}$; $R_{\text{вн}} = 2 \text{ Ом}$;



17. В приведенной ниже цепи методом контурных токов определить токи ветвей при $E_1 = 10 \text{ В}$; $E_2 = 15 \text{ В}$; $E_3 = 35 \text{ В}$; $R_1 = 40 \text{ Ом}$; $R_2 = 20 \text{ Ом}$; $R_3 = 3 \text{ Ом}$; $R_4 = 25 \text{ Ом}$.



2. ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

2.1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Синусоидальный ток $i(t) = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$ характеризуется следующими параметрами:

а) $\omega = 2\pi f = 2\pi / T$, [рад/с] – угловая (круговая) частота, где T – период (с), или f – циклическая (линейная) частота $f = 1/T$, [Гц],

б) I_m – амплитудное значение тока,

в) ψ_i - начальная фаза.

Действующим значением синусоидального тока называется величина такого постоянного тока, который оказывает эквивалентное тепловое действие

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707I_m, \quad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}, \quad E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}. \quad (2.1)$$

подавляющее большинство приборов, измеряющих переменные токи и напряжения, проградуированы в действующих значениях.

Цепь синусоидального тока с резистивным сопротивлением



Пусть $U_R(t) = U_{Rm} \sin(\omega t + \psi)$.

По закону Ома для мгновенных значений

$$i(t) = \frac{U_R(t)}{R} = \frac{U_{Rm}}{R} \sin(\omega t + \psi) = I_m \sin(\omega t + \psi), \quad (2.3)$$

где $I_m = \frac{U_m}{R}$ - амплитудное значение тока, протекающего через резистор.

Начальные фазы тока и напряжения на резисторе одинаковые.

Действующее значение:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{U_{Rm}}{\sqrt{2}R} = \frac{U_R}{R}. \quad (2.4)$$

Цепь синусоидального тока с индуктивным сопротивлением



Известно, что переменный ток, проходя через катушку индуктивности, вызывает ЭДС самоиндукции

$$e_L = -L \frac{di}{dt}, \quad (2.6)$$

где L , [Гн] – индуктивность.

Эта ЭДС уравновешивается приложенным напряжением:

$$U_L = -e_L = L \frac{di}{dt}. \quad (2.7)$$

Пусть $i(t) = I_m \sin \omega t$, тогда

$$U_L = L \frac{di}{dt} = LI_m \omega \cos \omega t = \underbrace{\omega LI_m}_{U_{Lm}} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = U_{Lm} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right). \quad (2.8)$$

Разность фаз напряжения и тока на индуктивном элементе составляет $\pi/2$, причем кривая тока отстает от кривой напряжения.

Запишем действующее значение напряжения:

$$U_L = U_{Lm} / \sqrt{2} = \omega LI_m / \sqrt{2} = \omega LI. \quad (2.9)$$

Величину $X_L = \omega L$ назовем индуктивным сопротивлением.

Цепь синусоидального тока с емкостным сопротивлением



Пусть $U_c(t) = U_{cm} \sin \omega t$ (полагаем $\psi_u = 0$).

Ток через емкость пропорционален скорости изменения заряда.

$$I_{cm} = \frac{U_{cm}}{X_c} = \omega C U_{cm}. \quad (2.11)$$

$$i = \frac{dQ}{dt} = C \frac{dU_c}{dt} = \omega C U_{cm} \cos \omega t = I_{cm} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right). \quad (2.12)$$

Для емкостной цепи кривая тока опережает кривую напряжения на четверть периода.

3.1. ЗАДАЧИ

1. Катушка индуктивности подключена к источнику синусоидального напряжения $U = 100$ В. Ток в катушке $I = 10$ А. При увеличении частоты напряжения вдвое ток в цепи уменьшается до 6,93 А. Определить активное сопротивление катушки индуктивности.

2. К источнику синусоидального напряжения $U = 100$ В подключены последовательно две катушки, активные и индуктивные сопротивления которых соответственно равны: $R_1 = 5$ Ом, $R_2 = 3$ Ом, $X_1 = 2$ Ом, $X_2 = 4$ Ом. Определить ток в цепи. Построить векторную диаграмму тока и напряжений.

3. К сети переменного тока напряжением $U = 220$ В подключены последовательно два конденсатора, емкости которых $C_1 = 1$ мкФ и $C_2 = 4$ мкФ. Частота напряжения сети $f = 50$ Гц. Определить ток цепи и напряжение на каждом из конденсаторов.

4. Цепь переменного тока, подключенная к источнику напряжения с амплитудой $U = 15$ В, образована последовательным соединением катушки и конденсатора с реактивными сопротивлениями $X_L = 10$ Ом и $X_C = 5$ Ом. Рассчитать реактивную мощность цепи.

5. К источнику переменного тока напряжением 173 В подключены индуктивная катушка и резистор, соединенные последовательно. Напряжение на каждом из элементов 100 В, ток в цепи 10 А. Определить сопротивление резистора и индуктивность катушки.

6. Выражения для мгновенных значений тока и напряжения на пассивном элементе цепи имеют вид: $i(t) = 14,2\sin(\omega t + \pi/2)$, $u(t) = 169\sin(\omega t + \pi/2)$. Определить тип элемента, показания амперметра и вольтметра, а также сопротивление цепи.

7. Две индуктивные катушки соединены параллельно. Параметры катушек: $X_1 = 15$ Ом, $X_2 = 5$ Ом. Определить ток в неразветвленной части цепи при напряжении источника 220 В.

8. Конденсатор, емкость которого 7 мкФ, включен под напряжение $u(t) = 500\sin 314t$. Записать выражение для мгновенного значения тока.

9. К катушке с индуктивностью 50 мГн приложено напряжение $u(t) = 157\sin 314t$. Записать выражение для мгновенного значения тока.

10. Конденсатор емкостью $C = 10$ мкФ подключен к источнику с напряжением $u(t) = 150\sin 500t$ В. Записать выражение мгновенного значения тока в цепи.

11. Выражение для мгновенного значения напряжения конденсатора, емкость которого 2 мкФ, имеет вид: $u(t) = 169\sin(100t + \pi/2)$. Определить выражение для мгновенного значения тока, протекающего через конденсатор.

12. К генератору с напряжением $u(t) = 283\sin 500t$ подключен резистор с сопротивлением $R = 10$ Ом. Написать выражение мгновенного значения тока через резистор и найти его действующее значение.

13. Мгновенные значения двух переменных токов записываются выражениями: $i_1(t) = 50\sin(\omega t + 0^\circ)$, $i_2(t) = 50\sin(\omega t + 90^\circ)$. Записать мгновенное значение результирующего тока, равного сумме двух заданных токов.

14. Емкостное сопротивление конденсатора при частоте 1000 Гц составляет 20 Ом. Определить емкость конденсатора.

15. Катушку, активным сопротивлением которой можно пренебречь, включили под синусоидальное напряжение 380 В частотой 50 Гц, и в ней установили ток 4 А. Определить индуктивность катушки.

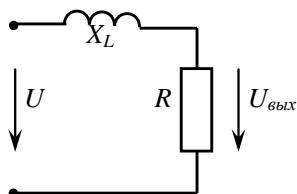
16. К источнику с напряжением $u(t) = 120\sin 1000t$ В подключена катушка, ток в которой описывается уравнением $i = 8\sin(1000t - 53^\circ)$ А. Найти индуктивность катушки.

17. Определить сопротивление и проводимость конденсатора емкостью $C = 1$ мкФ при подключении к источнику напряжения частотой 50 Гц.

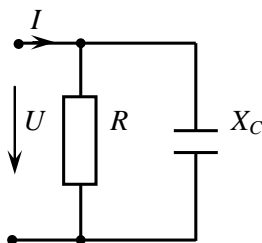
18. К источнику напряжения, изменяющегося по закону $u(t) = 100 \sin(618t - \pi/8)$ В, подключен конденсатор емкостью $C = 47$ мкФ. Записать уравнение тока, протекающего через конденсатор.

19. К источнику напряжения $u(t) = 55 \sin(314t)$ подключена катушка индуктивности $L = 27$ мГн с активным сопротивлением $R = 13$ Ом. Определить уравнение тока через катушку.

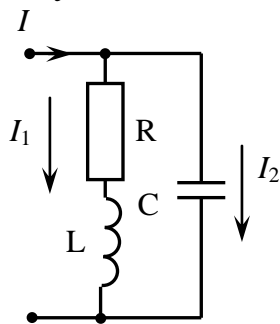
20. Для схемы определить напряжение $U_{\text{вых}}$, если задано: $U = 50$ В; $X_L = 3$ Ом; $R = 4$ Ом.



21. В схеме определить ток I , если $U = 140$ В; $X_C = 60$ Ом; $R = 80$ Ом.



22. Электрический ток амплитудой $I_m = 10$ А и частотой $f = 50$ Гц меняется по синусоидальному закону. Через какой интервал времени от начала периода мгновенная амплитуда тока совпадет с действующим значением? Начальную фазу принять равной нулю.



3. КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ КОНТУРЫ

3.1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Рассмотрим цепь с последовательным соединением R , C и L (последовательный колебательный контур). На зажимы А и Д подано синусоидальное напряжение.

Согласно 2-му закону Кирхгофа в комплексной форме справедливо уравнение:

$$R\dot{i} - jX_c\dot{i} + jX_L\dot{i} = \dot{U}, \quad (3.1)$$

которое удобно представить в виде $\dot{U} = \dot{i}(R - jX_c + jX_L)$,
 где R - активное сопротивление (всегда положительно),
 $X = (jX_L - jX_c)$ - реактивное сопротивление.

Запишем комплексное сопротивление в показательной форме

$$Z = R \pm jX = \sqrt{R^2 + X^2} e^{j \arctg \frac{X}{R}} = Ze^{j\varphi}, \quad (3.2)$$

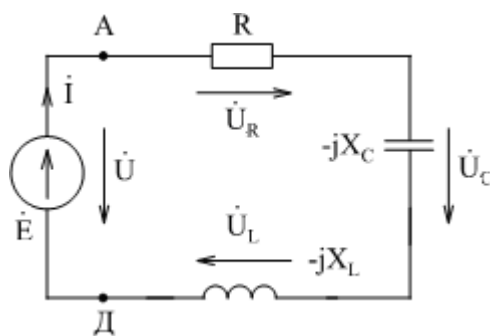
где

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + (X_L^2 - X_c^2)} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (3.3)$$

- полное сопротивление, модуль комплексного сопротивления,
 φ - аргумент комплексного сопротивления

$$\varphi = \arctg \frac{X_L - X_c}{R}, \quad (3.4)$$

показывающий сдвиг фаз между напряжением и током.



Наиболее важный момент в такой цепи является случай, когда $X_L = X_C$. Тогда реактивное сопротивление цепи $X = X_L - X_C = 0$, а полное сопротивление $Z = R$ минимально. В этом случае ток в цепи $I = U/R$ при $U = const$ и $R = const$ его значение минимально.

Напряжения на индуктивном и емкостном элементах $U_L = -U_C$, а по значению

$$U_L = X_L I = X_C I = U_c. \quad (3.5)$$

Таким образом, напряжения U_L и U_C могут превышать напряжения сети в X_L / R раз, если $X_L > R$. Сдвиг по фазе между напряжениями \dot{U}_L и \dot{U}_C равен π . Такой режим носит название резонанса напряжений.

На резонансной частоте оба напряжения U_C и U_L равны и, полностью компенсируют друг друга:

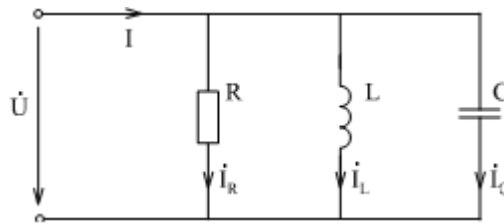
$$U_C = U_L = U \frac{\sqrt{L/C}}{R} = UQ. \quad (3.6)$$

Величина $Q = \frac{\sqrt{L/C}}{R}$ — добротность контура, показывает, во сколько раз напряжения на реактивных элементах U_C и U_L при резонансе превосходят напряжение источника U .

Отношение резонансной частоты ω_0 к полосе частот $\Delta\omega$ равно добротности контура:

$$\omega_0 / \Delta\omega = Q. \quad (3.7)$$

Рассмотрим электрическую цепь, состоящую из параллельно соединенных элементов R , L и C (параллельный колебательный контур).



В соответствии с первым законом Кирхгофа в комплексной форме получим:

$$\dot{I} = \dot{U} / R + \frac{\dot{U}}{jX_L} - \frac{\dot{U}}{jX_C}. \quad (3.8)$$

Общая комплексная проводимость цепи:

$$\dot{Y} = \frac{1}{R} - j \left(\frac{1}{\omega L} - \omega C \right) = ye^{-j\varphi}; \quad \varphi = \text{arctg} \left(-R \left[\omega C - \frac{1}{\omega L} \right] \right). \quad (3.9)$$

Случай, когда $\omega C = \frac{1}{\omega L}$, соответствует так называемому резонансу токов.

При этом общий ток в цепи имеет минимальное значение:

$$I_{\min} = U / R. \quad (3.10)$$

Резонансная частота определяется формулой Томсона:

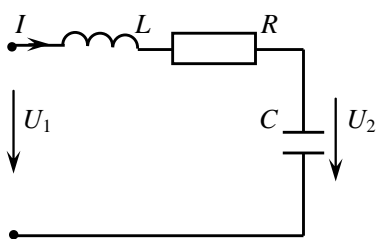
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (3.10)$$

4.1. ЗАДАЧИ

1. В цепи последовательного колебательного контура $R = 10 \text{ Ом}$, $X_L = 20 \text{ Ом}$. Определить емкостное сопротивление конденсатора, при котором в цепи возникает резонанс. Для резонансного режима рассчитать токи. К контуру подводится внешнее напряжение $U = 120 \text{ В}$.

2. Имеются катушка индуктивности с активным сопротивлением $R = 60 \text{ Ом}$ и индуктивностью $L = 0,1 \text{ Гн}$ и конденсатор емкостью $C = 10 \text{ мкФ}$. Определить резонансные частоты при последовательном и параллельном соединениях катушки и конденсатора.

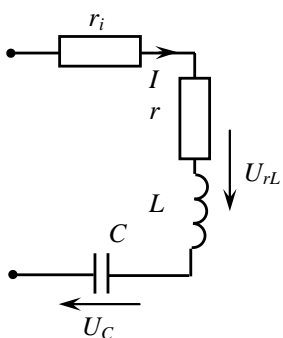
3. В цепи параллельного колебательного контура подводимое напряжение $U_0 = 200 \text{ В}$, $f = 50 \text{ Гц}$, $R = 60 \text{ Ом}$, $X_L = 100 \text{ Ом}$. Определить токи цепи и емкость C при условии, что колебательный контур работает в условиях резонанса.



4. Электрическая цепь настроена на получение резонанса при $f = 50 \text{ Гц}$. Показания приборов при этом составили: $I = 10 \text{ А}$, $U_1 = 127 \text{ В}$, $U_2 = 314 \text{ В}$. Определить сопротивление R резистора и индуктивность L катушки.

5. Катушка и конденсатор соединены последовательно. Входное напряжение равно 120 В , напряжение на конденсаторе равно 160 В . Чему равно напряжение на катушке, если известно, что в цепи имеет место резонанс напряжений?

6. В схеме электрической цепи последовательного колебательного контура $R = 10 \text{ Ом}$, $L = 1 \text{ Гн}$, $C = 1 \text{ мкФ}$. Определить резонансную частоту, добротность контура Q , а так же амплитуду синусоидального напряжения на емкости U_C , если на вход цепи подано синусоидальное напряжение с амплитудой 10 мВ на резонансной частоте.



7. Цепь находится в режиме резонанса напряжений. Значение резонансной частоты $f_0 = 50 \text{ Гц}$. Значение соответствующих амплитуд напряжений и тока в контуре: $U = 220 \text{ В}$, $U_{rL} = 204 \text{ В}$, $U_C = 180 \text{ В}$, $I = 4 \text{ А}$. Определить параметры индуктивной катушки – r , L , емкость C и сопротивление r_i .

8. При частоте $f = 50$ Гц сопротивление катушки равно 41 Ом, а при постоянном токе – 9 Ом. При какой частоте наступает резонанс, если последовательно с катушкой включен конденсатор емкостью $C = 51$ мкФ?

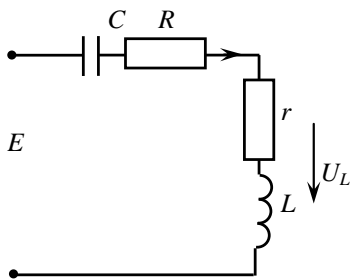
9. Последовательный колебательный контур (R, L, C) подключен к синусоидальной ЭДС с амплитудой $E = 1,6$ В и внутренним сопротивлением $R = 16$ Ом. При какой величине сопротивления контура R в нем выделится максимальная активная мощность при резонансе напряжений и чему она будет равна?

10. Определить сопротивление потерь колебательного контура при $Q = 50$, $\omega_0 = 10^4$ рад/с и $L = 1$ мГн.

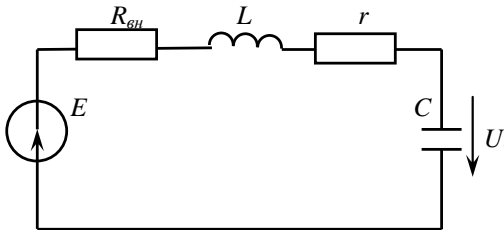
11. Определить сопротивление потерь колебательного контура при полосе пропускания $\Delta\omega = 10^4$ рад/с и $L = 1$ мГн.

12. Определить полосу пропускания колебательного контура при $\omega_0 = 10^6$ рад/с, $C = 1$ нФ и сопротивлении потерь $r = 10$ Ом.

13. Определить добротность Q колебательного контура при $\omega_0 = 10^4$ рад/с и полосе пропускания $\Delta\omega = 2 \cdot 10^4$ рад/с.



14. Определить напряжение на катушке индуктивности контура на рисунке ниже при $L = 2$ мГн, $C = 500$ пФ, $r = 20$ Ом, $E = 5$ В, $R = 5$ Ом и $\omega = 0,98 \cdot 10^6$ рад/с.



15. Определить напряжение на емкости контура на рисунке ниже при $L = 1$ мГн, $C = 1$ нФ, $r = 10$ Ом, $E = 1$ В, $R_{вн} = 5$ Ом и $\omega = 1,02 \cdot 10$ рад/с

16. В сеть переменного тока промышленной частоты включили последовательно соединенные катушку индуктивности и конденсатор емкостью 10 мкФ. В контуре возник резонанс напряжений, причем напряжение на конденсаторе оказалось равным 318 В. Напряжение сети 220 В. Определить активную мощность, потребляемую из сети.

17. Конденсатор ($C = 10$ мкФ) и катушка индуктивности ($L = 0,5$ Гн) соединены последовательно. При какой частоте в цепи наступит резонанс? Какой должна быть емкость конденсатора, чтобы при той же индуктивности резонанс возник при частоте $f = 50$ Гц.

4. ТРЕХФАЗНЫЕ ЦЕПИ

4.1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Три взаимно связанные электрические цепи с ЭДС одинаковой частоты и амплитуды, но сдвинутые по фазе одна относительно другой на $1/3$ периода называется трехфазной системой переменного тока.

Участок трехфазной системы, по которому протекает одинаковый ток, называется фазой.

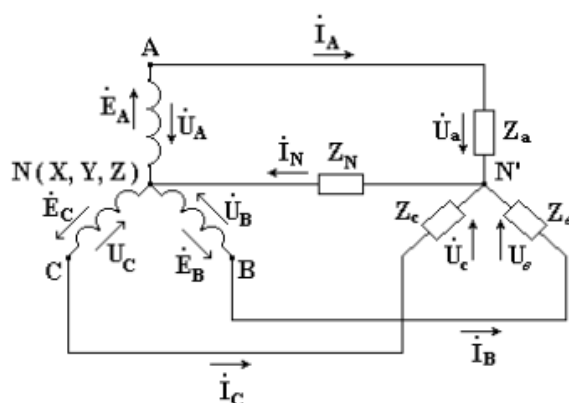
Мгновенные значения действующих значений ЭДС имеют следующий вид:

$$e_1 = E_m \sin \omega t, \quad e_2 = E_m \sin(\omega t - 120^\circ), \quad e_3 = E_m \sin(\omega t - 240^\circ).$$

Отсюда видно, что сумма электродвижущих сил симметричной трехфазной системы в любой момент времени равна нулю.

Если концы трех обмоток соединить в один узел, а начала будут служить для подключения нагрузки, то такой вид соединения называют соединением обмоток генератора звездой. При этом три обратных провода сливаются в один, называемый нулевым или нейтральным.

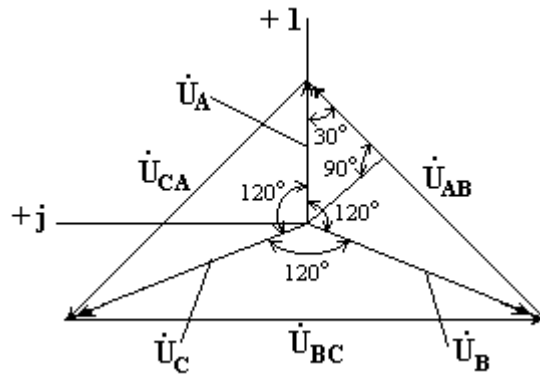
При таком способе соединения напряжение между каждой фазой и нулевым проводом называют фазным напряжением. Напряжение между фазами А-В, В-С, С-А называют линейным напряжением.



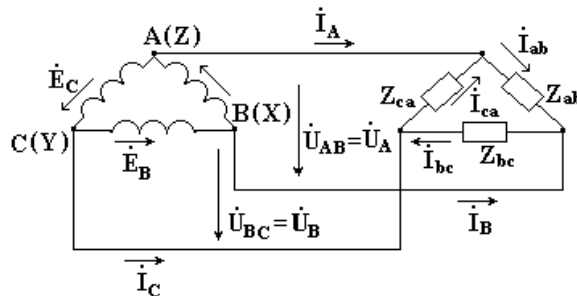
Соотношение между напряжениями имеет следующую формулу:

$$U_\phi = \frac{U_\Delta}{\sqrt{3}}. \tag{4.1}$$

Внизу представлена векторная диаграмма фазных и линейных напряжений симметричного источника.



Если конец первой обмотки соединяется с началом второй, конец второй – с началом третьей, конец третьей – с началом первой, а узлы соединения служат отводами, то это – соединение треугольником.

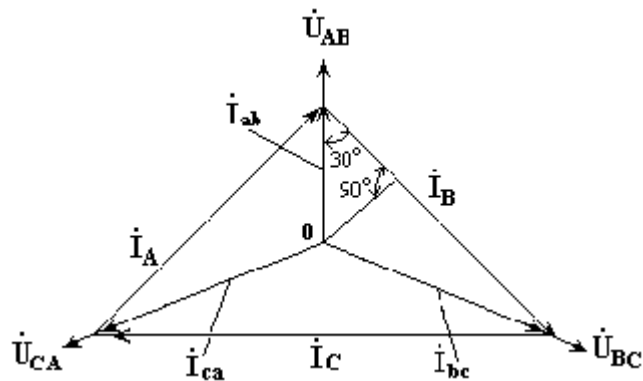


При таком соединении нет различия между фазным и линейным соединением. Здесь появляется различие между фазными и линейными токами приемника.

Соотношение между фазными и линейными токами имеет следующую формулу:

$$I_{\phi} = \frac{I_l}{\sqrt{3}} \quad (4.2)$$

Внизу на рисунке представлена векторная диаграмма фазных и линейных токов симметричного источника



Активная мощность трехфазного генератора равна сумме активных мощностей всех фаз:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = I_{\phi 1} U_{\phi 1} \cos \varphi_1 + I_{\phi 2} U_{\phi 2} \cos \varphi_2 + I_{\phi 3} U_{\phi 3} \cos \varphi_3. \quad (4.3)$$

При симметричной нагрузке:

$$P = 3I_{\phi} U_{\phi} \cos \varphi_{\phi}. \quad (4.4)$$

5.1. ЗАДАЧИ

1. Записать систему фазных и линейных напряжений источника в комплексной форме, если $\dot{U}_{AB} = 220e^{j75^\circ}$ В.

2. Записать систему фазных и линейных напряжений источника в комплексной форме, если $\dot{U}_C = 20e^{-j30^\circ}$ В.

3. Записать систему фазных и линейных напряжений источника для комплексов действующих значений, если $u_{BC}(t) = 127\sqrt{2} \sin(\omega t + 20^\circ)$ В.

4. Линейное напряжение трехфазного генератора, соединенного звездой, равно 1000 В. Определить напряжение между зажимами каждой фазы генератора. Какое напряжение было бы между зажимами генератора при соединении его обмоток треугольником?

5. Действующее значение э.д.с. в каждой обмотке симметричного трехфазного генератора равно 230 В. Определить линейные напряжения при соединении обмоток «звездой».

6. Фазное напряжение генератора 380В, сопротивление фаз приемника $Z_A = R_A = Z_B = R_B = Z_C = R_C = 22$ Ом. Определить ток в нулевом проводе.

7. Симметричный трехфазный приемник, фазы которого соединены звездой, питается от трехфазного источника с линейным напряжением 380 В. При токе 50 А в линейных проводах приемник потребляет 25 кВт активной мощности. Определить полное сопротивление фазы приемника и его активную и реактивную составляющие.

8. Лампы накаливания общей мощностью 1,8 кВт распределены на три группы и соединены звездой. Полученный таким образом трехфазный приемник включен в сеть трехфазного тока с линейным напряжением 380 В. При этом отношение токов в фазах приемника $I_A:I_B:I_C = 1:2:3$. Определить токи в линейных проводах.

9. В трехфазном трансформаторе первичное линейное напряжение 35 кВ, линейный коэффициент трансформации 66,6. Определить фазное вторичное напряжение, если обе обмотки соединены звездой.

10. Освещение здания питается от четырехпроводной трехфазной сети с линейным напряжением $U_L = 380$ В. Первый этаж питается от фазы А и по-

требляет мощность 1760 Вт, второй – от фазы В и потребляет мощность 2200 Вт, третий – от фазы С, его мощность 2640 Вт. Рассчитать токи, потребляемые каждой фазой, и ток в нейтральном проводе, вычислить активную мощность всей нагрузки.

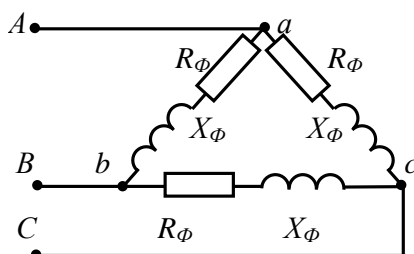
11. К источнику с $U_{л} = 220$ В подключена соединенная треугольником осветительная сеть. Распределение нагрузки по фазам: $P_{AB} = 2200$ Вт, $P_{BC} = 3300$ Вт, $P_{CA} = 4400$ Вт. Вычислить активную мощность, потребляемую схемой из сети, фазные и линейные токи приемников.

12. Три активных сопротивления по 85 Ом соединены треугольником и включены в сеть трехфазного тока с линейным напряжением 380 В. Определить фазные и линейные токи, мощность каждой фазы и всей цепи.

13. Электрические лампы накаливания общей мощностью 4 кВт распределены на три группы (фазы) и присоединены треугольником к трехфазной сети с линейным напряжением 220 В. Распределение мощности ламп по фазам следующее: фаза А – 500 Вт; фаза В – 1500 Вт; фаза С – 2000 Вт. Определить фазные и линейные токи.

14. Трехфазный асинхронный двигатель включен в сеть 380 В по схеме «звезда». Параметры обмоток следующие: $R_{\phi} = 2$ Ом, $X_{\phi} = 8$ Ом. Определить фазные и линейные токи, потребляемую активную мощность.

15. К трехфазной цепи напряжением 380 В подключены три одинаковых приемника сопротивлением $R_{\phi} = 3$ Ом, $X_{L\phi} = 4$ Ом, соединенные по схеме «треугольник», как показано на рисунке. Определить токи в фазных и линейных проводах и потребляемую мощность (активную и реактивную).



16. В трехфазную сеть напряжением 380 В, частотой $f = 50$ Гц включен трехфазный асинхронный двигатель по схеме «треугольник». Потребляемая активная мощность $P = 1,44$ кВт, коэффициент мощности $\cos \varphi = 0,85$. Определить потребляемый двигателем ток, токи в обмотках двигателя, активное и индуктивное сопротивления.

17. К источнику трехфазной сети с линейным напряжением $U_{л} = 380$ В и частотой $f = 50$ Гц подключена равномерная нагрузка, соединенная по схеме «звезда», с полным сопротивлением в фазе $Z_{\phi} = 90$ Ом и индуктивностью $L = 180$ мГн. Определить активную, реактивную и полную мощности, коэффициент мощности

18. В симметричной трёхфазной цепи нагрузка сопротивлением $Z = 10 + j \cdot 15$ Ом подключена «звездой» к генератору. Линейные напряжения на нагрузке равны 230 В. Вычислить токи в цепях нагрузки.

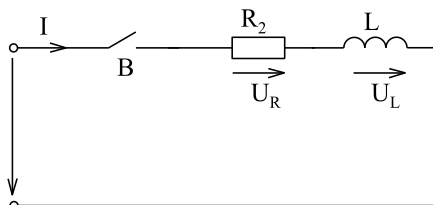
19. Электродвигатель трехфазного тока, соединенный звездой включен в сеть с напряжением 220 В. Мощность двигателя 12 кВт, коэффициент мощности равен 0,98, коэффициент полезного действия 92,5%. Определить ток двигателя.

5. ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

5.1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Переходные процессы в цепи постоянного тока с последовательным соединением элементов R и L.

В момент времени, когда энергия магнитного поля W_M изменяется от 0 до $LI^2/2$, в цепи протекает переходный процесс и существует переменный ток i .



По второму закону Кирхгофа данный процесс описывается следующим дифференциальным уравнением

$$L \frac{di}{dt} + Ri = U \quad (5.1)$$

Ток через катушку будет описываться выражением

$$i = I(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}), \quad (5.2)$$

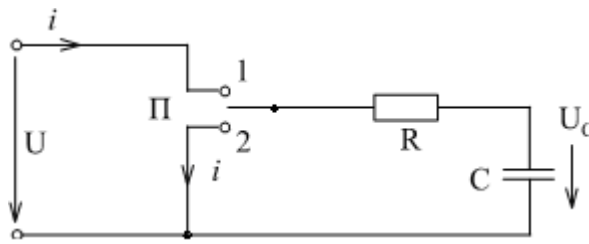
где $\tau = L/R$ постоянная времени цепи (Гн/Ом = с) характеризует скорость протекания переходного процесса. Падение напряжения на индуктивной катушке

$$U_L = L \frac{di}{dt} = L \frac{I}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} = L \frac{IR}{L} e^{-\frac{t}{\tau}} = U e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (5.3)$$

Переходные процессы в цепи постоянного тока с элементами R и C

При зарядке конденсатора энергия электрического поля в конце процесса достигает значения $W_{\text{э}} = CU^2/2$.

Чтобы зарядить конденсатор до $U_c = U$, ему надо сообщить заряд $Q = CU$.



Для переходного процесса зарядки конденсатора в рассматриваемой схеме можно записать

$$Ri + U_c = U. \quad (5.4)$$

Ток в такой цепи

$$i = \frac{d(cU_c)}{dt} = C \frac{dU_c}{dt}. \quad (5.5)$$

Зарядка конденсатора

Начальные условия - конденсатор не заряжен. Напряжение в переходном режиме при зарядке конденсатора изменяется по закону

$$U_c = U(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}). \quad (5.6)$$

Ток определяется:

$$i = \frac{Ue^{-\frac{t}{\tau}}}{R}. \quad (5.7)$$

Разрядка конденсатора

Напряжение на конденсаторе при разрядке описывается формулой

$$u_c = U_c e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (5.8)$$

а ток

$$i = (-U_c e^{-\frac{t}{\tau}}) / R. \quad (5.9)$$

5.2. ЗАДАЧИ

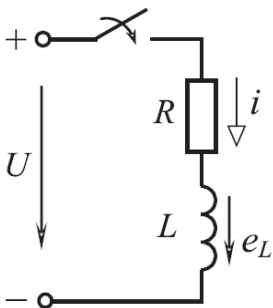
1. Определить постоянную времени цепи, состоящей из конденсатора емкостью 3 мкФ и резистора, сопротивлением 0,5 кОм.

2. Определить постоянную времени цепи, состоящей из катушки индуктивности с $L = 0,1$ Гн и двух параллельно соединенных резисторов сопротивлением 1 кОм каждый.

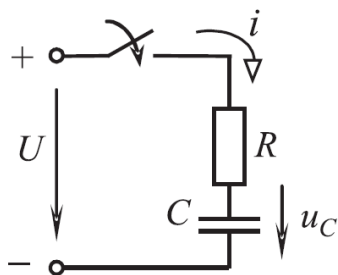
3. Конденсатор емкостью $C = 10$ мкФ заряжается от источника напряжения $U = 100$ В до напряжения 20 В за 0,1 с. За какое время произойдет его заряд до указанного напряжения при увеличении его емкости вдвое?

4. Цепь, состоящую из конденсатора емкостью 100 мкФ и резистора сопротивлением 900 Ом, подключают к внешнему источнику э.д.с. За какое время конденсатор зарядится до напряжения 2 В?

5. Катушка индуктивностью 10 мГн и резистор сопротивлением 100 Ом подключили к источнику э.д.с. За какое время напряжение на катушке достигнет значения 100 В?



6. Катушка, сопротивление которой $R = 5$ Ом и индуктивность $L = 0,5$ Гн, подключается к источнику постоянного напряжения $U = 30$ В. Найти закон изменения тока $i(t)$, постоянную времени τ . Определить ток катушки в момент времени $t_1 = 0,1$ с после замыкания ключа.



7. Найти закон изменения тока i и напряжения u_C в цепи, изображенной ниже, после замыкания ключа, если $U = 220$ В, $R = 10$ Ом, $C = 100$ мкФ. Определить постоянную времени τ и время зарядки конденсатора до напряжения 50 В.

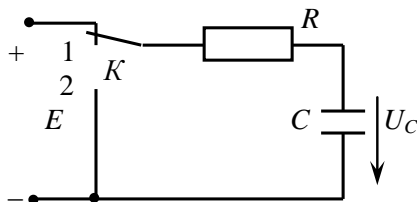
8. Конденсатор емкостью $C = 500$ мкФ, заряженный до напряжения источника U , разряжается на резистор сопротивлением R . При этом за время $t_1 = 0,035$ с напряжение на зажимах конденсатора снижается в 2 раза. Определить сопротивление R и постоянную времени τ переходного процесса.

9. Катушка, индуктивность которой $L = 2$ Гн и сопротивление $R = 5$ Ом, замыкается накоротко в момент, когда ток катушки равен 10 А. Определить напряжение на катушке и скорость убывания тока в момент замыкания.

10. Определить длительность переходного процесса, возникающего при разряде конденсатора емкостью $C = 500$ мкФ через резистор сопротивлением $R = 100$ Ом. Считать, что переходный процесс заканчивается по прошествии времени $t = 4\tau$.

11. Определить емкость C конденсатора из условия, что через время $t_1 = 20$ мс после включения напряжение на конденсаторе при заряде его через резистор с сопротивлением $R = 3,2$ МОм достигает 20 В. Напряжение источника $U = 200$ В. До подключения конденсатор не был заряжен.

12. Конденсатор $C = 10$ мкФ заряжается через резистор, сопротивление которого $R = 9$ Ом, от источника с э.д.с. $E = 100$ В и внутренним сопротивлением $R_{вн} = 1$ Ом (на схеме не показано). Через промежуток времени, равный удвоенной величине постоянной времени цепи зарядки, переключатель K переводится в положение 2. Определить напряжение на конденсаторе и ток в цепи.



13. Катушку индуктивности с сопротивлением $R = 5$ Ом и индуктивностью $L = 0,2$ Гн подключили к источнику постоянного напряжения $U = 12$ В. Определить: максимальное значение силы тока в катушке; время, за которое сила тока практически достигнет максимального значения; силу тока через 120 мс после включения цепи.

14. Цепь с последовательным соединением активного сопротивления $R = 100$ Ом и емкости $C = 5$ мкФ подключили к источнику постоянного напряжения 10 В. Определить напряжение на сопротивлении и силу тока в цепи сразу после ее включения и в установившемся режиме. Найти напряжение на конденсаторе через 3 мс.

15. Цепь из последовательно соединенных конденсатора и резистора с параметрами $C = 100$ мкФ, $R = 10$ кОм присоединили к источнику э.д.с. на 10 с, а затем ключ разомкнули. Определить напряжение на конденсаторе через 3 с после отключения.

6. МАГНИТНЫЕ ЦЕПИ

6.1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Однофазный трансформатор

Под действием переменного напряжения U_1 , подведенного к первичной обмотке, в ней возникает ток I_1 , а в сердечнике возбуждается соответственно изменяющийся магнитный поток Φ . Этот поток пересекает витки обеих обмоток трансформатора и индуцирует в них ЭДС:

$$e_1(t) = -W_1 \frac{d\Phi}{dt} ; \quad e_2(t) = -W_2 \frac{d\Phi}{dt} . \quad (6.1)$$

В каждый момент времени отношение этих ЭДС пропорционально отношению количества витков обмоток:

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{W_1}{W_2} . \quad (6.2)$$

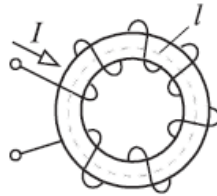
Если цепь вторичной обмотки замкнута, то под действием ЭДС E_2 возникает ток I_2 . Отношение этих ЭДС

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} = k_{12} \quad (6.3)$$

принято называть коэффициентом трансформации.

6.2. ЗАДАЧИ

1. На стальном сердечнике кольцевой формы помещена катушка с числом витков $w = 300$. Площадь сечения сердечника $S = 16 \text{ см}^2$, длина средней линии $l = 0,6 \text{ м}$. Ток катушки $I = 1 \text{ А}$. Определить поток в сердечнике.



2. Определить величину магнитного потока через стальную поверхность площадью $0,1 \text{ м}^2$ при напряженности магнитного поля 1 А/м . (В расчетах для стали принять $\mu_a = 1,2 \times 10^{-4} \text{ Гн/м}$)

3. Номинальная мощность трансформатора $S=10 \text{ кВ}\cdot\text{А}$. Номинальное входное напряжение $U_1=660 \text{ В}$, выходное $U_2=380 \text{ В}$. Потерями в трансформаторе пренебречь. Определить коэффициент трансформации, токи в первичной и вторичной обмотках.

4. Напряжение на входе однофазного трансформатора $U_1 = 100 \text{ В}$, ток в первичной цепи $I_1 = 10 \text{ А}$. Коэффициент полезного действия $0,9$. Вольтметр во вторичной цепи показывает напряжение $U_2 = 450 \text{ В}$. Определить показания амперметра во вторичной цепи, сопротивление нагрузки.

5. Мощность, потребляемая трансформатором из сети при активной нагрузке, $P_1 = 500 \text{ Вт}$. Напряжение сети $U_1 = 100 \text{ В}$. Коэффициент трансформации трансформатора равен 10 . Определить ток нагрузки.

6. Автотрансформатор включен в сеть с напряжением $U_1 = 220 \text{ В}$. Напряжение на вторичных зажимах $U_2 = 180 \text{ В}$, ток нагрузки $I_2 = 10 \text{ А}$. Обмотка имеет $w_1 = 500$ витков. Найти коэффициент трансформации и ток, потребляемый из сети.

7. Сила тока в первичной обмотке трансформатора 2 А , напряжение на ее концах 220 В . Напряжение на концах вторичной обмотки 40 В . Определить силу тока во вторичной обмотке, Потерями в трансформаторе пренебречь.

8. Под каким напряжением находится первичная обмотка трансформатора, имеющая 1000 витков, если во вторичной обмотке 3500 витков и напряжение на ней 105 В?

9. Сила тока в первичной обмотке трансформатора 0,5 А, напряжение на ее концах 220 В. Сила тока во вторичной обмотке 11 А, напряжение на ее концах 9,5 В. Определить КПД (в процентах) трансформатора.

10. Первичная обмотка силового трансформатора для накала радиолампы имеет 2200 витков и включена в сеть с напряжением 220 В. Какое количество витков должна иметь вторичная обмотка, если ее активное сопротивление 0,5 Ом, а напряжение накала лампы 3,5 В при силе тока накала 1 А?

11. Почему сердечники трансформаторов, генераторов и электродвигателей набирают из отдельных тонких изолированных друг от друга железных пластин?

12. Почему при разомкнутой вторичной обмотке трансформатор почти не потребляет энергии?

13. Трансформатор повышает напряжение с 220 В до 1,1 кВ и содержит 700 витков в первичной обмотке. Каков коэффициент трансформации? Сколько витков во вторичной обмотке? В какой обмотке провод имеет большее сечение?

14. Трансформатор повышает напряжение с 100 В до 5,6 кВ. На одну из обмоток надели виток провода, концы которого подсоединили к вольтметру. Вольтметр показал напряжение 0,4 В. Сколько витков имеют обмотки трансформатора?

15. Понижающий трансформатор с коэффициентом трансформации 5 включен в сеть с напряжением 220 В. Определить КПД трансформатора, если потеря энергии в первичной обмотке не происходит, а напряжение на вторичной обмотке 42 В.

16. Первичная обмотка трансформатора имеет 2400 витков. Сколько витков должна иметь вторичная обмотка, чтобы при напряжении на зажимах 11 В передавать во внешнюю цепь мощность 22 Вт? Сопротивление вторичной обмотки 0,2 Ом. Напряжение в сети 380 В.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Афонин, В. В. Сборник задач по электротехнике: Учеб. пособие. Ч. 1. [Текст] / В. В. Афонин, И. Н. Акулинин, А. А. Ткаченко. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. – 80 с.
2. Бладыко, Ю. В. Сборник задач по электротехнике и электронике [Текст] / Ю. В. Бладыко, Т. Т. Розум, Ю. А. Куварзин, С. В. Домников, Г. В. Згаевская. – Минск: «Вышэйшая школа», 2012. – 478 с.
3. Фуфаева, Л. И. Сборник практических задач по электротехнике: учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования [Текст] / Л. И. Фуфаева. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 288 с.
4. Аристова, Л. И. Сборник задач по электротехнике: учебное пособие [Текст] / Л. И. Аристова, А. В. Лукутин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 108 с.
5. Касаткин, А. С. Электротехника [Текст] / А. С. Касаткин, М. В. Немцов. – М.: Академия, 2005. – 544 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. Цепи постоянного тока.....	5
2. Цепи переменного тока.....	9
3. Колебательные контуры.....	13
4. Трехфазные цепи.....	18
5. Переходные процессы в линейных электрических цепях.....	22
6. Магнитные цепи.....	25
Библиографический список.....	28

ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям по курсу «Общая электротехника» для студентов
направления 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»
(профили «Биотехнические и медицинские аппараты и системы»,
«Менеджмент и управление качеством в здравоохранении»)
очной и заочной форм обучения

Составитель

Краснов Роман Петрович

Компьютерный набор Р. П. Краснова

Редактор Л. Г. Сотникова

Подписано в печать 13.05.2021

Формат 60x84/16. Бумага для множительных аппаратов.

Усл. печ. л 1,7. Уч.-изд. л. 1,8. Тираж 30 экз. Заказ № 48

ФГОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394026 Воронеж, Московский пр-т, 14

Участок оперативной полиграфии издательства ВГТУ
394026 Воронеж, Московский пр-т, 14