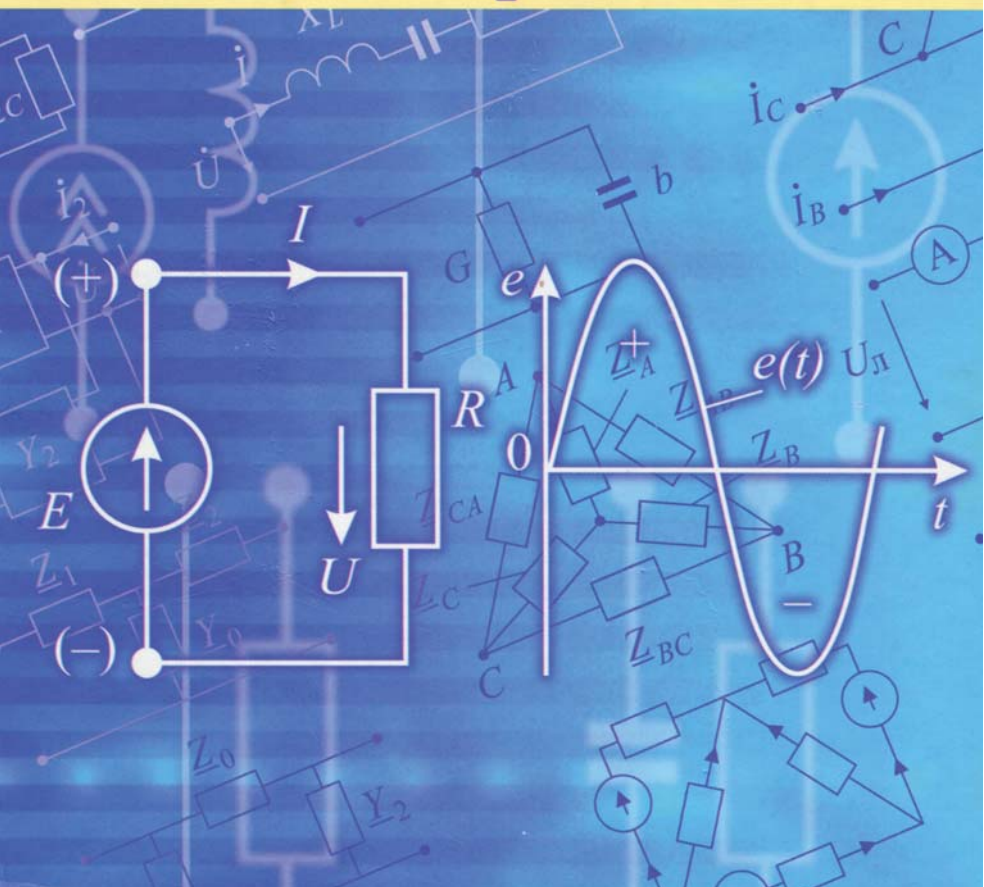




М. Е. Евсеев

Теоретические ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ



Электронный аналог печатного издания: Евсеев М. Е. Теоретические основы электротехники: Учебное пособие. — СПб.: Политехника, 2008. — 380с.: ил.

УДК 621.3
ББК 31.2
Е25



ПОЛИТЕХНИКА
ИЗДАТЕЛЬСТВО
Санкт-Петербург
www.polytechnics.ru

Издание выпущено при поддержке Комитета по печати и взаимодействию со средствами массовой информации Санкт-Петербурга

Р е ц е н з е н т ы: доктор технических наук, заслуженный деятель науки РФ, академик МАНЕБ, профессор кафедры электротехники и электромеханики Северо-Западного государственного заочного технического университета (СЗТУ) *Аполлонский С. М.*; доктор технических наук, профессор кафедры теоретических основ электротехники Санкт-Петербургского государственного политехнического университета (СПбГПУ) *Шакиров М. А.*; доктор технических наук, профессор кафедры теоретических основ электротехники Петербургского государственного университета путей сообщения (ПГУПС) *Горский А. Н.*; доктор технических наук, заведующий кафедрой электротехники, вычислительной техники и автоматизации Санкт-Петербургского института машиностроения (ИМЗВТУЗ), профессор *Шестаков В. М.*

Евсеев М. Е.

Е25 Теоретические основы электротехники: Учебное пособие. — СПб.: Политехника, 2015. — 380 с.: ил.
ISBN 978-5-7325-0273-2

Учебное пособие разработано на основании государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования и предназначено для студентов заочной и очно-заочной форм обучения, изучающих теорию линейных электрических цепей. Оно состоит из двух частей: часть 1 «Анализ линейных электрических цепей при установившихся режимах работы»; часть 2 «Тестовые задачи по линейным цепям при установившихся процессах».

УДК 621.3
ББК 31.2

ISBN 978-5-7325-0273-2 © Издательство «Политехника», 2015

Глава 1

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ, ЕЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ПАРАМЕТРЫ

1.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕПИ

Электрической цепью называется совокупность электротехнических устройств, создающих замкнутый путь электрическому току. Она состоит из источников (генераторов) энергии, приемников энергии (нагрузки) и соединительных проводов. В цепи могут быть также различные преобразователи (играют роль как источников, так и приемников), защитная и коммутационная аппаратура.

В источниках неэлектрические виды энергии преобразуются (в соответствии с законом сохранения энергии) в энергию электромагнитного поля. Так, на гидроэлектростанциях энергия падающей воды (энергия гравитационного поля) преобразуется в энергию электромагнитного поля. В приемниках энергия электромагнитного поля преобразуется в тепловую и другие виды энергии. Кроме того, некоторая часть энергии запасается в электрических и магнитных полях цепи.

Электромагнитные процессы в электрической цепи описываются с помощью понятий о токе, напряжении, электродвижущей силе (ЭДС), сопротивлении, индуктивности и емкости.

Буквенные обозначения этих, а также других величин, используемых в учебном пособии, представлены в табл. 1.1. Там же даны их русская транскрипция и единицы измерений. Заметим здесь, что ЭДС, токи и напряжения, изменяющиеся во времени, обозначаются строчными латинскими буквами e , i , u , а ЭДС, токи и напряжения, неизменные во времени, обозначаются заглавными латинскими буквами E , I , U .

**Основные электрические и магнитные величины, используемые
в данном учебном пособии**

Буквенное обозначение	Русская транскрипция	Наименование величины	Единица измерения	
			Название	Обозначение
i u e	и у е	Мгновенные значения: тока напряжения ЭДС	ампер вольт вольт	А В В
I U E	и у е	Постоянные значения или действующие значения синусоидальных: тока напряжения ЭДС	ампер вольт вольт	А В В
f ω	эф омега	Частота Угловая частота	герц единица в секунду (радиан в секунду)	Гц 1/с (рад/с)
ψ_i ψ_u ψ_e	пси и пси у пси е	Начальные фазы синусоидальных: тока напряжения ЭДС	градус (радиан)	...° (рад)
φ	фи	Угол сдвига фаз между синусоидальными напряжением и током цепи	градус (радиан)	...° (рад)
t	тэ	Время, прошедшее от начала отсчета	секунда	с
T	тэ	Период любой периодической функции времени	секунда	с
I_m U_m E_m	и эм у эм е эм	Амплитуда синусоидальных: тока напряжения ЭДС	ампер вольт вольт	А В В
q	ку	Электрический заряд	кулон	К
L	эль	Индуктивность	генри	Гн
C	це	Емкость	фарада	Ф
R	эр	Сопротивление цепи постоянного тока или активное сопротивление цепи синусоидального тока	ом	Ом
X_L X_C z	икс эль икс це зет	Сопротивление цепи синусоидального тока: реактивное индуктивное реактивное емкостное полное	ом	Ом

Буквенное обозначение	Русская транскрипция	Наименование величины	Единица измерения	
			Название	Обозначение
G	же	Проводимость цепи постоянного тока или активная проводимость цепи синусоидального тока	сименс	См
b_L b_C y	бэ эль бэ цэ игрек	Проводимость цепи синусоидального тока: реактивная индуктивная реактивная емкостная полная	сименс	См
Φ	фи	Магнитный поток	вебер	Вб
w	дубль вэ	Число витков катушки	витки	—
Ψ	пси	Потокосцепление	вебер	Вб
P	пэ	Мощность цепи постоянного тока или активная мощность цепи синусоидального тока	ватт	Вт
Q	ку	Реактивная мощность цепи синусоидального тока	вольт-ампер реактивный	вар
S	эс	Полная мощность цепи синусоидального тока	вольт-ампер	В · А
\dot{I} \dot{U} \dot{E}	и у е	Комплексные значения: тока напряжения ЭДС	ампер вольт вольт	А В В
Z \underline{Y} \bar{S}	зэт игрек эс	Комплексные значения: сопротивления проводимости мощности	ом сименс вольт-ампер	Ом См В · А
A	а	Коэффициенты пассивного четырехполюсника А-формы записи	безразмерная	—
B	бэ		ом	Ом
C	цэ		сименс	См
D	дэ		безразмерная	—
γ	гамма	Коэффициент распространения линии	единица на метр	1/м
λ	лямбда	Длина волны в линии	метр	м
\dot{v}_Φ	вэ эф	Фазовая скорость волны	метр в секунду	м/с
Z_B	зет вэ	Волновое сопротивление	ом	Ом
Z_C	зет цэ	Характеристическое сопротивление четырехполюсника	ом	Ом

1.2. ГРАФИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ И ЕЕ ЭЛЕМЕНТОВ

Графическое изображение электрической цепи называется ее *схемой*. В схеме различают ветви, узлы и контуры. *Ветвь* — это часть схемы, состоящая только из последовательно соединенных источников и приемников. *Узел* — точка схемы, в которой сходятся не менее трех ветвей (ветви начинаются и заканчиваются на узлах цепи). *Контур* — часть схемы, образованная ветвями; число контуров определяется числом вариантов обходов по ветвям цепи. На рис. 1.1 даны структурные схемы трех электрических цепей и указано количество ветвей узлов и контуров в каждой из них*.

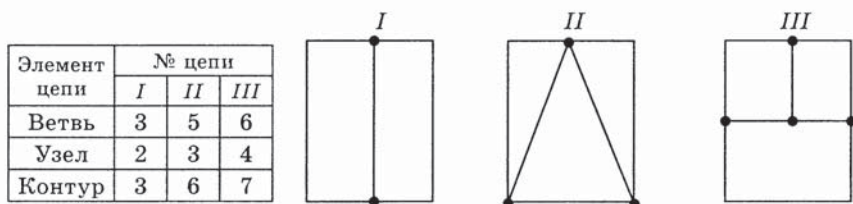


Рис. 1.1

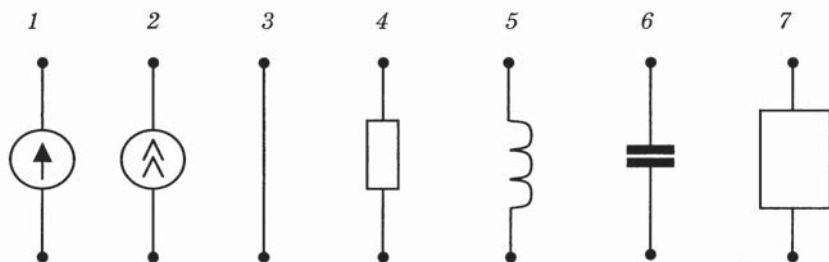


Рис. 1.2

Принятые в настоящем учебном пособии графические обозначения основных элементов цепи, показаны на рис.1.2 [1 — источник ЭДС; 2 — источник тока; 3 — соединительный провод; 4 — сопротивление R цепи; 5 — индуктивность L цепи; 6 — емкость C цепи; 7 — двухполюсник (цепь с неизвестной структурой, имеющая два входных зажима)].

* В учебной литературе такие схемы называют топологическими.

1.3. О НАПРАВЛЕНИЯХ ДЕЙСТВИЯ ЭДС ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ

В электрических цепях токи напряжения и ЭДС действуют в определенных направлениях. Это обстоятельство указывают на схемах стрелками (рис. 1.3).

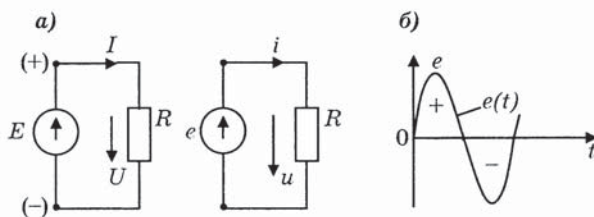


Рис. 1.3

В цепях постоянного тока (рис. 1.3, а) направление действия ЭДС источника принято указывать в сторону того зажима, на котором образуются положительные заряды. Направление тока во внешней цепи принято указывать от положительно заряженного полюса (зажима) источника к отрицательно заряженному. Направление действия напряжения в приемнике всегда указывают в ту же сторону, что и направление действия тока.

В цепях синусоидального тока (рис. 1.3, б) принято обозначать направления ЭДС тока и напряжения, используя положительный полупериод тока, при котором ток не изменяет своего направления. При этом картина этих направлений получается аналогичной с цепью постоянного тока.

1.4. ЗАКОНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Ими являются первый и второй законы Кирхгофа.

Первый закон Кирхгофа относится к узлам цепи: в любой момент времени алгебраическая сумма токов в узле равна нулю:

$$\sum_{k=1}^K i_k = 0, \quad (1.1)$$

где K — число ветвей, подходящих к узлу (три и более).

Токи, подходящие к узлу, и токи, отходящие от узла, имеют противоположные знаки. Будем считать подходящие к узлу токи положительными и брать их в уравнениях пер-

вого закона Кирхгофа со знаком (+), а отходящие от узла — отрицательными и брать их со знаком (-).

Первый закон Кирхгофа фактически является следствием известного из курса физики принципа непрерывности электрического тока, согласно которому линии тока всегда замкнуты и не имеют ни начала, ни конца.

Пример 1.1. На рис. 1.4, а показан узел цепи с пятью подходящими к нему ветвями. Требуется составить для этого узла уравнение по первому закону Кирхгофа.

Решение. На основании формулы (1.1) имеем

$$i_1 - i_2 + i_3 - i_4 + i_5 = 0 \quad \text{или} \quad i_1 + i_3 + i_5 = i_2 + i_4.$$

Таким образом, всегда сумма токов, подходящих к узлу, равна сумме токов, отходящих от узла.

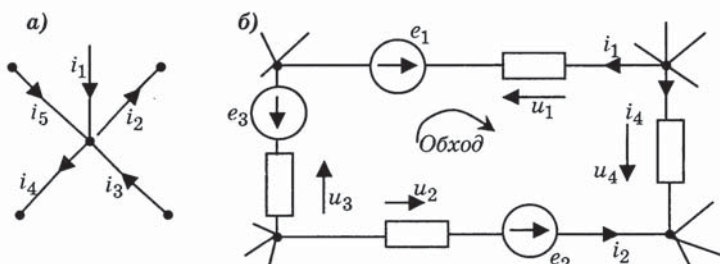


Рис. 1.4

Второй закон Кирхгофа относится к контурам цепи: в любой момент времени алгебраическая сумма ЭДС всех источников энергии контура равна алгебраической сумме напряжений на всех приемниках этого контура:

$$\sum_{q=1}^Q e_q = \sum_{n=1}^N u_n, \quad (1.2)$$

где Q — число источников ЭДС в контуре; N — число приемников контура.

Для составления уравнения по второму закону Кирхгофа необходимо предварительно (произвольно) выбрать направление обхода этого контура. Те ЭДС и напряжения, направления которых совпадают с выбранным направлением обхода, считаются положительными и берутся в уравнении со знаком (+), а остальные — со знаком (-).

Пример 1.2. На рис. 1.4, б показан один из контуров сложной электрической цепи. Направления действия ЭДС источников и напряжений на приемниках известны. Требуется составить для этого контура уравнение по второму закону Кирхгофа.

Решение. Для этого предварительно выбираем (произвольно) направление обхода контура и в соответствии с формулой (1.2) составляем следующее уравнение:

$$e_1 - e_2 - e_3 = -u_1 + u_4 - u_2 + u_3.$$

Здесь e_2 и e_3 , u_1 и u_2 взяты со знаком (-), так как их направление действия не совпадает с направлением обхода контура; e_1 , u_4 и u_3 взяты со знаком (+), так как их направление действия совпадает с направлением обхода контура.

1.5. ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Любая электрическая цепь и каждый ее элемент в отдельности обладают тремя параметрами: сопротивлением R , индуктивностью L и емкостью C .

Сопротивление R характеризует способность цепи преобразовывать электромагнитную энергию в тепловую. Количество тепловой энергии W_T , выделяющееся в сопротивлении R при протекании тока i в течение времени t , определяется соотношением (1.3) и измеряется в джоулях (Дж):

$$W_T = \int_0^t i^2 R dt. \quad (1.3)$$

Сопротивление любого элемента цепи определяется как отношение постоянного напряжения на этом элементе к постоянному току в нем и измеряется в омах (Ом):

$$R = \frac{U}{I}. \quad (1.4)$$

Индуктивность L характеризует способность цепи накапливать энергию магнитного поля. Такой способностью обладает любой проводник с током или система проводов. Количество этой энергии W_M , накопленной в цепи, зависит от тока i и измеряется в джоулях (Дж):

$$W_m = \frac{Li^2}{2}. \quad (1.5)$$

Эта энергия не преобразуется в теплоту, а существует в цепи в виде некоторого запаса. Когда ток в цепи равен нулю, запаса энергии магнитного поля в ней нет.

Индуктивность определяется как отношение потокосцепления цепи Ψ к току i и измеряется в генри (Гн):

$$L = \frac{\Psi}{i}. \quad (1.6)$$

Потокасцеплением называется сумма магнитных потоков всех витков катушки. В простейшем случае для катушки на замкнутом стальном сердечнике можно считать, что ее потокасцепление есть магнитный поток Φ , умноженный на число витков w :

$$\Psi = \Phi w.$$

Емкость C характеризует способность цепи накапливать энергию электрического поля. Такой способностью обладают любые два провода, разделенные диэлектриком, например провод, висящий над землей, любые два провода линии передачи.

Количество энергии электрического поля $W_э$, накопленной в цепи с емкостью C , зависит от напряжения между проводами и измеряется в джоулях (Дж):

$$W_э = \frac{Cu^2}{2}. \quad (1.7)$$

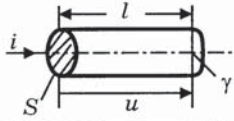
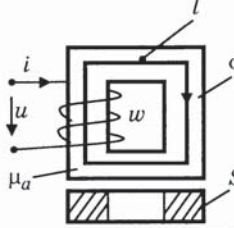
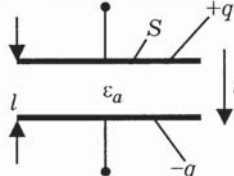
Эта энергия не может преобразовываться в тепловую, а существует в цепи в виде некоторого запаса. Если напряжение между проводами отсутствует, то и запаса энергии электрического поля в цепи нет.

Емкость C определяется как отношение электрического заряда q одного из проводов к напряжению u между ними и измеряется в фарадах (Ф):

$$C = \frac{q}{u}. \quad (1.8)$$

В табл. 1.2 представлены конструкции некоторых простейших электротехнических устройств и формулы для расчета их параметров. В этой таблице: γ — удельная электрическая

**Формулы для расчета параметров простейших
электротехнических устройств**

Устройство	Схема	Формула
Прямолинейный проводник с постоянным поперечным сечением		$R = \frac{l}{\gamma S}$
Катушка на замкнутом стальном сердечнике постоянного сечения		$L = \frac{\mu_a w^2 S}{l}$
Плоский конденсатор		$C = \frac{\epsilon_a S}{l}$

проводимость провода, $1/(\text{Ом} \cdot \text{м})$; μ_a — абсолютная магнитная проницаемость стали, Гн/м ; ϵ_a — абсолютная диэлектрическая проницаемость диэлектрика, Ф/м ; l — длина провода, средняя длина стального сердечника, расстояние между пластинами конденсатора, м ; S — площадь поперечного сечения провода, площадь поперечного сечения стального сердечника, площадь пластины конденсатора, м^2 ; w — число витков обмотки; Φ — магнитный поток в сердечнике, измеряемый в веберах, Вб.

1.6. ПОНЯТИЕ О ЛИНЕЙНЫХ И НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

Если γ , μ_a и ϵ_a (и, следовательно, R , L и C) являются постоянными величинами и не зависят от тока (или напряжения), то такие устройства, называются *линейными*, а цепи, их содержащие, называются *линейными цепями*. Именно такие цепи рассматриваются в данном учебном пособии.

Существует, однако, целый ряд устройств, у которых γ , μ_a и ϵ_a зависят от токов (или напряжений). Таковыми, в частности, являются все полупроводниковые приборы, катушки на насыщенных стальных сердечниках, нагревательные устройства с большим диапазоном изменения температур (электрическая дуга, лампы накаливания), конденсаторы с сегнетоэлектриками. Цепи, содержащие такие устройства, называются *нелинейными*.

Свойства нелинейного элемента электрической цепи не могут быть выражены одним постоянным числом и поэтому описываются его характеристикой. Для сопротивлений это зависи-

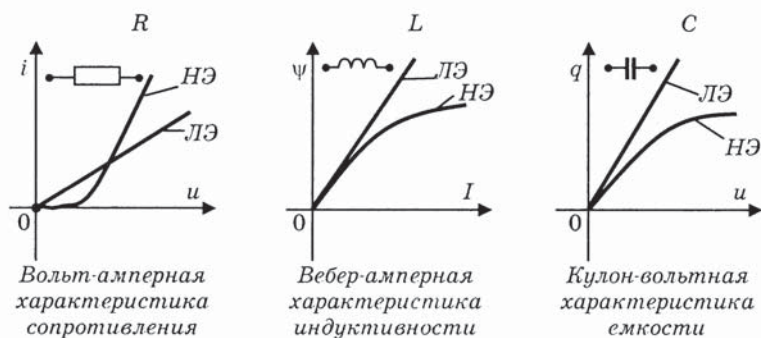


Рис. 1.5

мости напряжения от тока (вольт-амперные характеристики); для индуктивностей это зависимости потокосцепления от тока (веберамперные характеристики); для емкостей это зависимости электрического заряда от напряжения (кулон-вольтные характеристики). На рис. 1.5 показаны примеры характеристик некоторых линейных (ЛЭ) и нелинейных (НЭ) элементов цепи.

З а м е т и м, что характеристики всех линейных элементов цепи являются прямыми линиями, а нелинейных элементов — кривыми.

1.7. ИДЕАЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Любое электротехническое устройство содержит все три параметра: сопротивление R , индуктивность L и емкость C . Рассмотрим (рис.1.6), катушку, выполненную из провода с конечной проводимостью (это может быть и нить лампы накаливания, и обмотка трансформатора или электродвигателя).

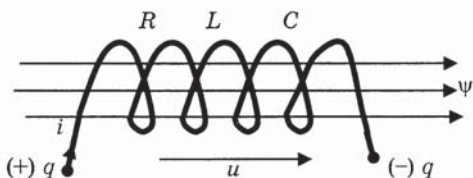


Рис. 1.6

При подаче на ее зажимы напряжения u на концах катушки появляются разноименные заряды $(+)q$ и $(-)q$ и в обмотке начинает протекать ток i . При этом вокруг витков обмотки возникает магнитное поле, характеризуемое потокосцеплением ψ^* . Таким образом, в соответствии с формулами (1.4), (1.6) и (1.8) рассматриваемая катушка обладает всеми тремя вышеуказанными параметрами.

Для удобства анализа и расчета электрических цепей вводят в рассмотрение такие элементы, которые при всех условиях обладают только одним параметром: только сопротивлением, только индуктивностью, только емкостью. Они называются *идеальными*.

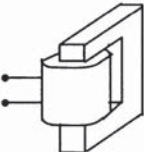
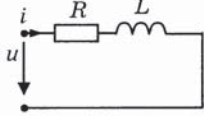
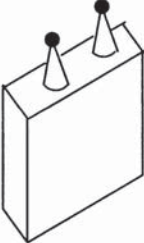
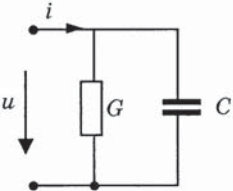
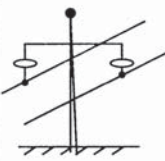
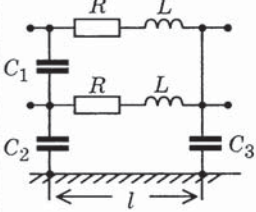
Графическое изображение идеальных элементов электрической цепи показано на рис. 1.2 позициями 4, 5 и 6. В природе таких элементов не существует, но есть устройства, по своим свойствам близкие к идеальным. Реостат (резистор) при низких частотах обладает практически только сопротивлением R , а индуктивностью L и емкостью C этого устройства можно пренебречь. Катушка индуктивности на замкнутом ферромагнитном сердечнике с малыми тепловыми потерями в нем обладает на низких частотах практически только индуктивностью L , а сопротивлением R и емкостью C такой катушки можно пренебречь. Конденсатор с малыми внутренними тепловыми потерями обладает практически только емкостью C , а его активной проводимостью G и индуктивностью L можно пренебречь.

З а м е т и м, что реостат, катушку индуктивности и конденсатор широко используют для имитации (моделирования) идеальных элементов при проведении лабораторного практикума по теории цепей.

Любое реальное электротехническое устройство можно изобразить в виде электрической схемы, состоящей из комбинации идеальных элементов, и, следовательно, произвести

* На рис.1.6 потокосцепление условно показано отрезками линий магнитного поля.

Примеры изображения электротехнических устройств в виде схем

№ п/п	Устройство	Внешний вид	Схема
1	Катушка индуктивности с конечным сопротивлением обмотки на стальном сердечнике		
2	Конденсатор с конечной внутренней проводимостью		
3	Участок двухпроводной линии электропередачи		

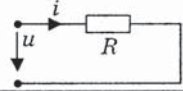
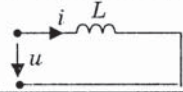
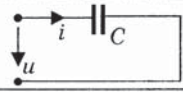
его электрический расчет. В табл. 1.3 приведено несколько примеров изображения реальных устройств в виде электрических схем.

1.8. СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ТОКОМ И НАПРЯЖЕНИЕМ В ИДЕАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ЦЕПИ

Прежде чем приступать к расчету сколько-нибудь сложных электрических цепей, следует выяснить, каким образом связаны между собой ток и напряжение в каждом из идеальных элементов цепи. Эти соотношения, известные из курса физики, приведены в табл. 1.4. Они имеют всеобщий характер и справедливы для цепей, у которых ток и напряжение изменяются во времени по любому закону. Это важнейшие формулы теории цепей, которые встретятся нам много раз в этом учебном

Т а б л и ц а 1.4

**Формулы для определения тока
и напряжения в идеальных элементах**

Идеальный элемент	Ток	Напряжение
	$i = \frac{u}{R}$	$u = iR$
	$i = \frac{1}{L} \int u dt$	$u = L \frac{di}{dt}$
	$i = C \frac{du}{dt}$	$u = \frac{1}{C} \int i dt$

пособии*. З а м е т и м здесь, что формулы в 1-й строке соответствуют закону Ома, формулы в 2-й строке вытекают из закона электромагнитной индукции, а формулы в 3-й строке следуют из определения электрической емкости.

Из табл. 1.4 видно, что только в сопротивлении R ток и напряжение связаны между собой алгебраическим соотношением. Между током и напряжением в индуктивности и емкости имеют место интегро-дифференциальные соотношения.

Пример 1.3. В цепи с идеальной индуктивностью (рис. 1.7, а) действует пилообразный периодический ток (рис. 1.7, б). Требуется определить форму приложенного напряжения.

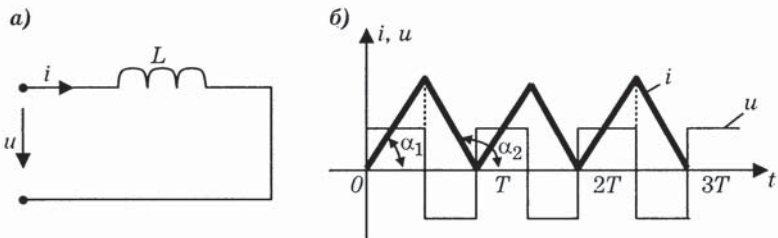


Рис. 1.7

Р е ш е н и е. Для нахождения графика напряжения используем соотношение $u = L di/dt$ (строка 2-я табл. 1.4), из которого следует, что форма кривой напряжения соответствует производной от тока по времени. Из курса математики известно, что графически производная di/dt определяется в каж-

* Теоретический вывод этих соотношений имеется в работах [1-4].

дой точке кривой тока как тангенс угла наклона касательной к этой кривой относительно оси t .

В нашем примере на участке от 0 до $T/2$ кривая тока представляет собой прямую, проходящую через начало координат под острым углом $\alpha_1 < 90^\circ$ к оси t , и поэтому производная di/dt на этом участке есть постоянная и положительная конечная величина.

На участке от $T/2$ до T ток представляет собой прямую, составляющую тупой угол с осью t $\alpha_2 > 90^\circ$, и поэтому производная di/dt на этом участке есть постоянная и отрицательная величина. При этом $\operatorname{tg} \alpha_2 = \operatorname{tg} (180 - \alpha_1) = -\operatorname{tg} \alpha_1$.

Таким образом, график искомого напряжения представляет собой отрезки прямых, меняющих каждую половину периода свой знак, как это показано на рис. 1.7, б.

1.9. ОСНОВНАЯ ЗАДАЧА АНАЛИЗА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Анализ электрических цепей осуществляется с помощью законов Кирхгофа. При этом можно преследовать различные цели. Например, определять напряжения во всех ветвях цепи по их известным параметрам. Можно также определять необходимые ЭДС всех источников энергии по известным токам и параметрам приемников и источников. Для придания нашему курсу логической стройности основной задачей анализа (расчета) будем считать *определение токов во всех ветвях цепи* по известным параметрам всех источников и известным параметрам всех приемников. Научившись решать эту задачу, мы сможем решать и другие задачи, связанные с анализом и расчетом электрических цепей.

1.10. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ К ГЛАВЕ 1. ВОПРОСЫ И ПРИМЕРЫ ДЛЯ САМОТЕСТИРОВАНИЯ

1. К цепи с идеальной емкостью C приложено синусоидальное напряжение $u = 20 \sin \omega t$, где $\omega = \text{const}$. Определить закон изменения тока i во времени в этой цепи.

О т в е т: $i = 20 \omega C \sin (\omega t + 90^\circ)$.

2. К цепи с идеальной индуктивностью L приложено синусоидальное напряжение $u = 20 \sin \omega t$, где $\omega = \text{const}$. Определить закон изменения тока во времени в данной цепи.

О т в е т: $i = \frac{20}{aL} \sin(\omega t - 90^\circ)$.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Предисловие	3
Введение	5
Часть 1. АНАЛИЗ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПРИ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ РАБОТЫ	
Глава 1. Электрическая цепь, ее элементы и параметры	9
1.1. Определение цепи	9
1.2. Графическое изображение электрической цепи и ее элементов... ..	12
1.3. О направлениях действия ЭДС токов и напряжений.....	13
1.4. Законы электрических цепей	13
1.5. Параметры электрических цепей.....	15
1.6. Понятие о линейных и нелинейных электрических цепях	17
1.7. Идеальные элементы электрической цепи	18
1.8. Соотношение между током и напряжением в идеальных элементах цепи	20
1.9. Основная задача анализа электрической цепи	22
1.10. Дополнительные задания к главе 1. Вопросы и примеры для самотестирования	22
Глава 2. Цепи постоянного тока	24
2.1. Некоторые особенности цепей постоянного тока	24
2.2. Закон Ома и законы Кирхгофа для цепей постоянного тока.....	24
2.3. Мощность цепи постоянного тока	25
2.4. Расчет цепей постоянного тока с одним источником энергии	26
2.5. Примеры расчета цепей постоянного тока с одним источником энергии	29
2.6. Понятие об установившихся и переходных режимах работы электрических цепей	34
2.7. Расчет сложных цепей постоянного тока непосредственно по первому и второму законам Кирхгофа	35
2.8. О других методах расчета сложных цепей постоянного тока	38
2.9. Баланс мощностей цепи постоянного тока.....	38
2.10. Дополнительные задания к главе 2. Вопросы и примеры для самотестирования	38
Глава 3. Цепи синусоидального тока и их расчет с помощью векторных диаграмм	41
3.1. Осциллограмма синусоидального тока. Основные определения..	41
3.2. Аналитическая запись синусоидальных токов и напряжений... ..	42
3.3. Графические изображения синусоидальных токов и напряжений в виде векторов.....	43

3.4. Векторные диаграммы и их применение к расчету цепей синусоидального тока.....	45
3.5. Законы Кирхгофа в векторной форме записи.....	47
3.6. Фазовые соотношения между синусоидальными токами и напряжениями	48
3.7. Действующие значения синусоидальных токов и напряжений ...	49
3.8. Простейшие цепи синусоидального тока	50
3.9. Зависимость активного, индуктивного и емкостного сопротивлений от частоты	53
3.10. Цепь с последовательным соединением R, L, C	54
3.11. Частотные характеристики цепи с последовательным соединением R, L, C . Резонанс напряжений	57
3.12. Цепь с параллельным соединением R, L и C	59
3.13. Частотные характеристики цепи с параллельным соединением R, L, C . Резонанс токов.....	62
3.14. Мощность цепи синусоидального тока	64
3.15. Понятие о коэффициенте мощности и коэффициенте полезного действия.....	65
3.16. Примеры анализа и расчета цепей синусоидального тока с использованием векторных диаграмм.....	67
3.17. Понятие о двухполюсниках и об эквивалентных цепях	75
3.18. Дополнительные задания к главе 3. Вопросы и примеры для самотестирования	78
Глава 4. Символический метод. Расчет разветвленных цепей с одним источником. Эквивалентные преобразования.....	80
4.1. Основы метода	80
4.2. Комплексные токи и напряжения	83
4.3. Комплексные сопротивление и проводимость	87
4.4. Комплексная мощность	91
4.5. Законы Кирхгофа в комплексной форме записи.....	92
4.6. Аналогия с цепями постоянного тока	93
4.7. Решение простейших примеров и задач на применение символического метода.....	94
4.8. Расчет разветвленных цепей с одним источником энергии.....	101
4.9. Резонансные явления в разветвленных цепях.....	106
4.10. Эквивалентные преобразования цепей	113
4.11. Дополнительные задания к главе 4. Вопросы и примеры для самотестирования	122
Глава 5. Методы расчета сложных цепей синусоидального тока... 125	
5.1. Введение	125
5.2. Метод расчета, основанный на непосредственном применении первого и второго законов Кирхгофа.....	125
5.3. Метод контурных токов	130
5.4. Метод узловых напряжений (узловых потенциалов).....	136
5.5. Метод эквивалентного источника	142
5.6. Метод наложения.....	144
5.7. Баланс мощностей цепи синусоидального тока	147
5.8. Дополнительные задания к главе 5. Вопросы и примеры для самотестирования	149

Глава 6. Особенности расчета цепей синусоидального тока при наличии взаимных индуктивностей	150
6.1. Общие положения.....	150
6.2. Цепь с последовательным соединением двух индуктивно связанных катушек.....	154
6.3. Цепь с параллельным соединением индуктивно связанных катушек.....	157
6.4. Цепь с трансформаторной связью между катушками.....	159
6.5. Разветвленная цепь при наличии взаимных индуктивностей между катушками.....	161
6.6. Эквивалентные преобразования цепей со взаимной индуктивностью.....	167
6.7. Дополнительные задания к главе 6. Вопросы и примеры для самотестирования.....	169
Глава 7. Трехфазные цепи	170
7.1. Общие положения.....	170
7.2. Связывание трехфазной цепи звездой.....	172
7.3. Связывание трехфазной цепи треугольником.....	176
7.4. Расчет трехфазных цепей.....	178
7.5. Мощность трехфазной цепи.....	201
7.6. Понятие о вращающемся магнитном поле и о трехфазных двигателях.....	205
7.7. Метод симметричных составляющих.....	209
7.8. Дополнительные задания к главе 7. Вопросы и примеры для самотестирования.....	227
Глава 8. Четырехполюсники	229
8.1. Определение, классификация.....	229
8.2. Системы уравнений. Различные формы записи.....	230
8.3. Входные сопротивления. Параметры холостого хода и короткого замыкания.....	234
8.4. Экспериментальное определение А-параметров.....	236
8.5. Схемы замещения. Соотношения между А-параметрами и параметрами схем замещения.....	239
8.6. Характеристические параметры, их связь с А-параметрами.....	241
8.7. Уравнения в гиперболической форме записи.....	245
8.8. Экспериментальное определение собственного затухания и коэффициента фазы.....	246
8.9. Передаточные функции.....	252
8.10. Симметричные четырехполюсники.....	256
8.11. Способы соединения четырехполюсников.....	262
8.12. Понятие об активном четырехполюснике.....	266
8.13. Дополнительные задания к главе 8. Вопросы и примеры для самотестирования.....	267
Глава 9. Цепи с распределенными параметрами	269
9.1. Общие положения.....	269
9.2. Дифференциальные уравнения линии.....	269
9.3. Уравнения для установившегося синусоидального режима.....	271
9.4. Линия как симметричный четырехполюсник.....	275

9.5. Характеристические параметры линии	275
9.6. Бегущие волны. Длина волны. Коэффициенты затухания и фазы. Фазовая скорость	276
9.7. Коэффициенты отражения волн	279
9.8. Неискажающая линия	280
9.9. Линия без потерь	280
9.10. Входное сопротивление линии	283
9.11. Экспериментальное определение параметров линии	285
9.12. Примеры расчетов длинных линий	285
9.13. Дополнительные задания к главе 9. Вопросы и примеры для самотестирования	296

Часть 2. ТЕСТОВЫЕ ЗАДАЧИ ПО ЛИНЕЙНЫМ ЦЕПЯМ ПРИ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

Глава 1. Электрическая цепь, ее элементы и параметры	299
Глава 2. Цепи постоянного тока	307
Глава 3. Цепи синусоидального тока и их расчет с помощью векторных диаграмм	315
Глава 4. Символический метод	323
Глава 5. Расчет сложных цепей синусоидального тока	331
Глава 6. Расчет цепей синусоидального тока со взаимной индуктивностью	339
Глава 7. Трехфазные цепи	347
Глава 8. Четырехполюсники	355
Глава 9. Цепи с распределенными параметрами	363
Таблица ответов	371
Список литературы	375