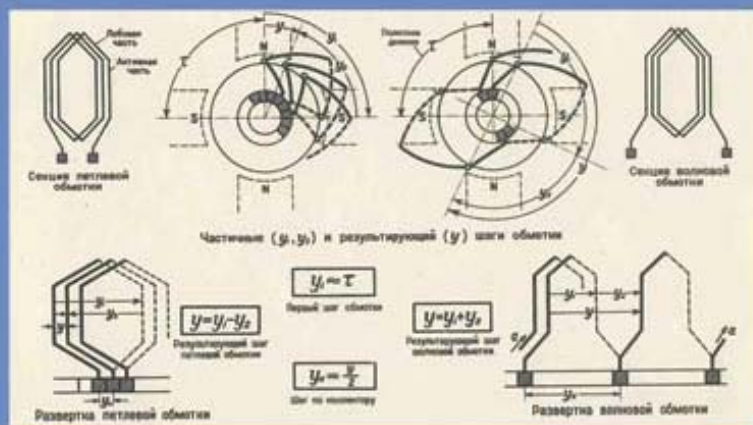


В.И. Савченко

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Б
А
К
А
Л
А
В
Р



В.И. Савченко

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов РФ
по образованию в области строительства в качестве учебника
для студентов, обучающихся по программе бакалавриата по направлению
270100 – «Строительство»



Издательство Ассоциации строительных вузов
Москва
2012

УДК 621.3 + 621.38

ББК 31.2

С 13

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электротехника и электрооборудование» Московского автомобильно-дорожного университета *В.Е. Юмт*;

доктор технических наук, профессор кафедры «Электроника и информатика» ФГБОУ ВПО МАТИ-РГТУ им. К.Э. Циолковского *Ю.Ф. Опадчий*;

доктор технических наук, профессор кафедры «Моделирование информационных систем и сетей» РГСУ *А.В. Кузин*.

Савченко В.И.

Электротехника и электроника: Учеб. для вузов. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2012. – 264 с.

ISBN 978-5-93093-884-5

В учебнике рассмотрены основные понятия, законы и методы расчета электрических цепей и электронных устройств. По содержанию и форме изложения тексты ориентированы и на дистанционное обучение студентов неэлектротехнических специальностей.

Соавторы по разделу «Электроника» В.П. Бережной, С.А. Масленников, Э.В. Шикуть.

УДК 621.3 + 621.38

ББК 31.2

ISBN 978-5-93093-884-5

© Савченко В.И., 2012

© Издательство АСВ, 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	7
Электротехника	8
1. Основные понятия и законы электрических цепей	8
1.1. Электрическая цепь, ее элементы и параметры	8
1.2. Источник электродвижущей силы и источник тока	11
1.3. Законы Ома и Кирхгофа	13
1.4. Преобразование электрических цепей	15
1.5. Мощность и баланс мощностей в электрической цепи	17
1.6. Методы расчета линейных электрических цепей постоянного тока	18
1.6.1. Потенциальная диаграмма электрической цепи	18
1.6.2. Расчет электрической цепи с применением законов Кирхгофа (МЗК)	20
1.6.3. Расчет электрической цепи методом контурных токов (МКТ)	22
1.6.4. Расчет электрической цепи методом узловых напряжений (МУН)	23
1.6.5. Основные принципы (теоремы) электротехники	25
Контрольные вопросы для самопроверки	30
2. Электрические цепи однофазного синусоидального тока	34
2.1. Основные параметры синусоидального тока	34
2.2. Векторное изображение синусоидального тока	36
2.3. Изображение синусоидального тока на комплексной плоскости	38
2.4. Элементы и параметры электрической цепи синусоидального тока	39
2.5. Анализ линейных электрических цепей синусоидального тока	41
2.5.1. Анализ процессов в электрической цепи синусоидального тока при последовательном соединении R, L, C	41
2.5.2. Анализ процессов в электрической цепи при параллельном соединении R, L, C	50
2.6. Комплексный метод расчета линейных электрических цепей синусоидального тока	53
2.6.1. Сущность комплексного метода расчета	53
2.6.2. Расчет электрической цепи комплексным способом при последовательном соединении R, L, C	54
2.6.3. Расчет электрической цепи комплексным способом при параллельном соединении R, L, C	58

2.6.4. Расчет электрической цепи комплексным способом при смешанном соединении R, L, C	61
2.6.5. Расчет комплексным способом сложной электрической цепи.....	63
2.6.6. Мощность в электрической цепи в комплексной форме. Баланс мощностей	65
2.6.7. Законы Ома и Кирхгофа в комплексной форме.....	66
2.7. Резонансные режимы в электрической цепи синусоидального тока	67
2.7.1. Резонанс напряжений	67
2.7.2. Резонанс токов.....	72
2.7.3. Сложный резонанс	74
Контрольные вопросы для самопроверки	76
3. Электрические цепи трехфазного синусоидального тока	88
3.1. Получение трехфазной электродвижущей силы.....	88
3.2. Трехфазные электрические цепи и их анализ	90
3.3. Мощность в трехфазной электрической цепи.....	97
Контрольные вопросы для самопроверки	98
4. Магнитные и индуктивно связанные электрические цепи синусоидального тока	105
4.1. Катушка индуктивности со стальным (ферромагнитным) сердечником в электрической цепи синусоидального тока.....	105
4.2. Индуктивно связанные электрические цепи	109
4.3. Воздушный трансформатор	112
4.4. Трансформатор со стальным сердечником	115
Контрольные вопросы для самопроверки	124
5. Электрические машины	127
5.1. Асинхронный двигатель.....	127
5.2. Синхронные электрические машины	134
5.3. Электрические машины постоянного тока.....	135
5.4. Электропривод	137
5.4.1. Состав, назначение и виды электроприводов	137
5.4.2. Уравнение движения вращательного электропривода.....	139
5.4.3. Режимы работы асинхронного двигателя в составе электропривода.....	141
5.4.4. Электрическая схема электропривода	142
Контрольные вопросы для самопроверки	145
6. Четырехполюсник.....	148
6.1. Основные понятия и уравнения четырехполюсника.....	148

6.2. Определение коэффициентов четырехполюсника	149
Контрольные вопросы для самопроверки	153
7. Переходные процессы в электрических цепях	156
7.1. Основные понятия переходного процесса.....	156
7.2. Определение начальных и установившихся значений переходного процесса.....	157
7.3. Анализ переходных процессов в электрических цепях	159
7.4. Применение операторного метода анализа переходного процесса	168
Контрольные вопросы для самопроверки	171
8. Периодические несинусоидальные токи и напряжения в электрических цепях	172
8.1. Аналитическое представление периодических несинусоидальных токов.....	172
8.2. Параметры, характеризующие несинусоидальные токи.....	174
8.3. Особенности расчета электрической цепи при несинусоидальном токе.....	175
8.4. Мощность в электрической цепи периодического несинусоидального тока	175
Контрольные вопросы для самопроверки	176
9. Передача электрической энергии	177
9.1. Передача электрической энергии постоянного тока	177
9.2. Передача электрической энергии переменного тока.....	179
Электроника.....	181
1. Полупроводниковые приборы	181
1.1. Принцип работы и виды полупроводниковых приборов.....	181
1.2. Полупроводниковые диоды	183
1.3. Транзисторы	185
1.4. Тиристоры.....	191
Контрольные вопросы для самопроверки	193
2. Источники вторичного электропитания.....	196
2.1. Назначение и виды источников вторичного электропитания.....	196
2.2. Выпрямители	197
2.3. Сглаживающие фильтры	202
2.4. Стабилизаторы напряжения (тока).....	204
2.5. Преобразователи напряжения.....	206
Контрольные вопросы для самопроверки	208
3. Усилители электрических сигналов	212
3.1. Принцип усиления электрических сигналов	212

3.2. Расчет нелинейной электрической цепи графо-аналитическим способом	214
3.3. Транзисторный усилитель электрических сигналов	216
3.4. Двухкаскадный транзисторный усилитель.....	222
3.5. Операционный усилитель (дифференциальный усилитель)	223
Контрольные вопросы для самопроверки	224
4. Электронные генераторы электрических сигналов	229
4.1. Автогенераторы синусоидальных электрических сигналов.....	229
4.2. Мультипликатор.....	233
4.3. Триггер (trigger – спусковой крючок).....	237
4.4. Формирование пилообразных (треугольных) импульсов.....	240
4.5. Электронный ключ (переключатель)	241
Контрольные вопросы для самопроверки	242
5. Цифровая электронная техника	243
5.1. Основные понятия цифровой электроники	243
5.2. Системы счисления.....	244
5.3. Правила алгебры логики	245
5.4. Элементы цифровой электронной техники	246
5.5. Цифровые электронные устройства	250
Контрольные вопросы для самопроверки	253
6. Измерительные приборы электрических величин	254
6.1. Основные понятия и виды измерительных приборов	254
6.2. Методы измерения электрических величин	254
6.3. Цифровые измерительные приборы.....	258
Контрольные вопросы для самопроверки	260
Литература	261

ПРЕДИСЛОВИЕ

В учебнике, предназначенном для очного, заочного и дистанционного обучения, излагаются основные понятия, определения и методы анализа электрических и электронных цепей. Учебник соответствует программам обучения студентов Московского государственного строительного университета по электротехнике и электронике на кафедре «Электротехника и электропривод».

При отборе и изложении материала учтены особенности дистанционного обучения, при котором самостоятельная работа студента является основным видом занятия. Формулы, рисунки, графики приводятся в структуре смысловой логики текста непосредственно, без ссылок, при необходимости – повторно, что приближает тексты к разговорной речи в текущем времени, способствует лучшему восприятию, пониманию и запоминанию. Содержание учебника основано на стенограмме всех видов проведенных занятий.

Информативность текста позволяет получить достаточно полные знания для решения практических задач анализа и расчета в области электротехники и электроники. В заданиях по лабораторным работам приводятся варианты экспериментальных данных, используя которые студент может выполнить расчеты и сделать выводы по лабораторной работе самостоятельно. Эксперимент возможно выполнить в лаборатории кафедры в зачетно-экзаменационный период.

Вариант расчетно-графической работы студент выбирает самостоятельно.

В процессе дистанционного обучения имеется возможность обсуждать вопросы, связанные с лабораторными работами и расчетами.

Студенты факультета ИСТАС университета Ёва Ольга, Кисель Ярослав, Воркачѳв Алексей, Жула Антон оказали помощь в подготовке к изданию учебника, за что авторы выражают благодарность.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

1. Основные понятия и законы электрических цепей

1.1. Электрическая цепь, ее элементы и параметры

Совокупность соединенных между собой объектов и устройств, образующая путь электрическому току, называется электрической цепью. Объекты и устройства представляют собой источники и приемники (нагрузки) электрической энергии, которые совместно с соединяющими их проводами являются элементами электрической цепи. Источники электрической энергии – это электрическая сеть, электрогенераторы, аккумуляторы и т.д. Приемники – электродвигатели, нагревательные приборы и т.д. Вспомогательными элементами цепи являются измерительные приборы, устройства коммутации.

Для удобства решения задач анализа и синтеза электрических цепей их реальные (физические) элементы при графическом изображении цепи заменяются условными (абстрактными) элементами. Электрическая цепь, представленная условными элементами, называется электрической схемой. Пример схемы представлен на *рис. 1.1*.

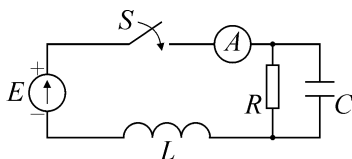


Рис. 1.1

На схеме изображены элементы: E – источник электрической энергии, L – катушка индуктивности, R – резистор, C – конденсатор, A – амперметр, S – переключатель, соединительные провода. Элементы характеризуются определенными параметрами. Графическое изображение и обозначение элементов цепи регламентируются государственными стандартами. Термины «электрическая цепь» и «электрическая схема» при изучении теории электрических цепей считаются идентичными.

Различают активные элементы цепи (источники энергии) и пассивные (приемники энергии, нагрузки).

Электрический ток – это движение заряженных частиц. Он может быть постоянным и переменным. Постоянный ток не меняет во времени своего направления и величины. Переменный – меняет. Соответственно есть цепи переменного и постоянного тока. На данном этапе рассматриваются цепи постоянного тока.

Пассивным элементом электрической цепи постоянного тока является резистор R , характеризуемый параметром «активным сопротивлением». На нем гасится напряжение U и затрачивается энергия в виде тепла при протекании через него тока I . Понятие «сопротивление» имеет двойное значение. С одной стороны – это наименование параметра элемента, а с другой – количественная мера значения параметра, выражаемая отношением $R = U/I$, где R – активное сопротивление, U – напряжение, I – протекающий через резистор ток.

Сопротивление измеряется в омах [Ом], если напряжение измеряется в вольтах [В], а сила тока в амперах [А]. В электрической схеме изображение резистора (резистор и его параметр «активное сопротивление» обозначаются одним символом R) имеет вид, представленный на рис. 1.2.

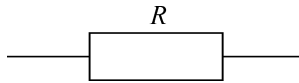


Рис. 1.2

Выделяемая энергия на резисторах обладает мощностью $P = UI$, измеряемой в ваттах [Вт].

Ток через резистор протекает под воздействием разности потенциалов на его концах, создаваемой сторонней силой – источником электрической энергии.

Величина, обратная сопротивлению, называется проводимостью, обозначается G и измеряется в сименсах [См]:

$$G = 1/R.$$

Для обозначения сопротивления и проводимости могут использоваться также строчные буквы r и g соответственно.

Напряжение на сопротивлении U и ток через него I имеют направленность от положительного потенциала (+) к отрицательному (-). Направления их совпадают (рис. 1.3).

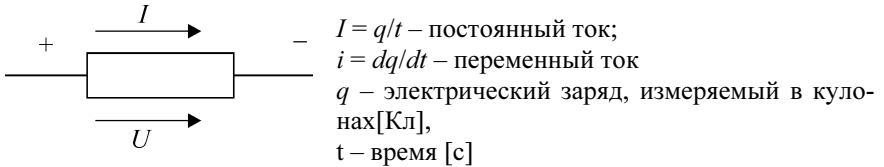


Рис. 1.3

При расчете цепи направление тока предварительно произвольно выбирается и изображается в схеме стрелкой. Если после расчета ток получается отрицательный, то в действительности он течет в противоположную сторону относительно выбранного направления. Предварительный выбор

направления тока необходим для учета знаков («+» или «-») электрических величин, используемых в расчетах. Для отображения свойств сопротивления (и цепи в целом) используется его вольт-амперная характеристика (ВАХ) – зависимость тока I через него от приложенного к нему напряжения U ; $I = f(U)$ или в виде $U = f(I)$. ВАХ может быть линейной и нелинейной (рис. 1.4).

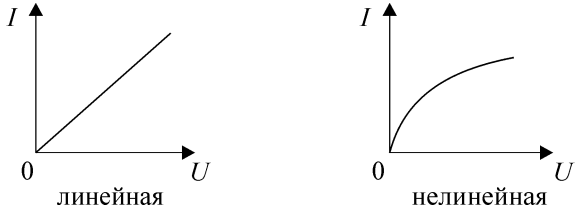


Рис. 1.4

Соответственно и сопротивления могут быть линейными и нелинейными. Величина линейного сопротивления не зависит от величины протекающего через него тока (приложенного к нему напряжения), а нелинейного – зависит. В зависимости от свойств сопротивлений цепи выделяют линейные и нелинейные электрические цепи. Если все сопротивления цепи линейные, то и цепь линейная. Если хоть одно сопротивление нелинейное, то цепь нелинейная.

Для расчёта линейных и нелинейных цепей используют разные методы. На данном этапе рассмотрим линейные цепи.

В составе электрической схемы выделяют структурные элементы. **Ветвь электрической цепи – это ее участок, во всех сечениях которого протекает один и тот же ток.** Различают неразветвленные и разветвленные электрические цепи (рис. 1.5).

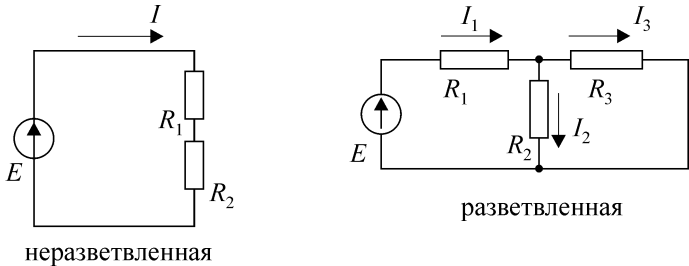


Рис. 1.5

Неразветвленная электрическая цепь содержит одну ветвь, разветвленная – три и более ветви.

Место соединения ветвей называется узлом. Узел обозначается на схеме точкой. **Контур электрической цепи – это замкнутый участок**

цепи. Различают независимые контуры и узлы. Независимые контуры отличаются друг от друга хотя бы одной ветвью, не входящей в состав другого независимого контура, а независимые узлы – хотя бы одним током, не протекающим через другой независимый узел.

Если обозначить в цепи B – количество ветвей, Y – количество узлов, K_n – количество независимых контуров, Y_n – количество независимых узлов, то можно записать имеющиеся место зависимости:

$$K_n = B - (Y - 1);$$

$$Y_n = Y - 1.$$

Параметры K_n и Y_n используются для составления независимых уравнений при расчетах электрической цепи.

1.2. Источник электродвижущей силы и источник тока

При расчетах электрических цепей используется представление источника электрической энергии в виде источника электродвижущей силы (ЭДС) или в виде источника тока. Первое представление более распространенное. При этом учитывают, что любой реальный источник энергии обладает внутренним сопротивлением $R_{вн}$ (проводимостью $G_{вн} = 1/R_{вн}$), на котором гасится напряжение.

Источник ЭДС изображается на схеме, как показано на *рис. 1.6*.

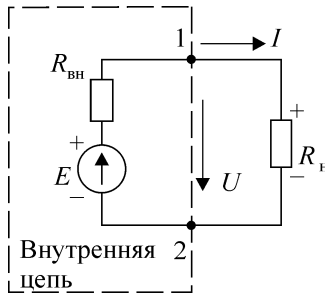


Рис. 1.6

Источник ЭДС включает ЭДС E и внутреннее сопротивление $R_{вн}$. На зажимах 1, 2 источника ЭДС действует напряжение U . Это внутренняя цепь.

Внешняя цепь – это участок цепи от зажимов 1, 2, включающий сопротивление нагрузки R_n . Через нагрузку R_n протекает ток I от $+E$ до $-E$. Он же протекает и через $R_{вн}$, так как внутренняя и внешняя цепи образуют замкнутый контур (внутри источника ЭДС цепь замкнута).

При этом $I = E / (R_{вн} + R_n)$; $U = E - IR_{вн}$.

При $R_{вн} = 0$, $U = E$ – это идеальный источник ЭДС.

Чем больше $R_{вн}$, тем меньше U , так как больше гасится напряжения на внутреннем сопротивлении источника.

Рассматривается внешняя характеристика источника ЭДС как зависимость $U = f(I)$, при $R_{вн} = \text{const}$, представленная на *рис. 1.17*.

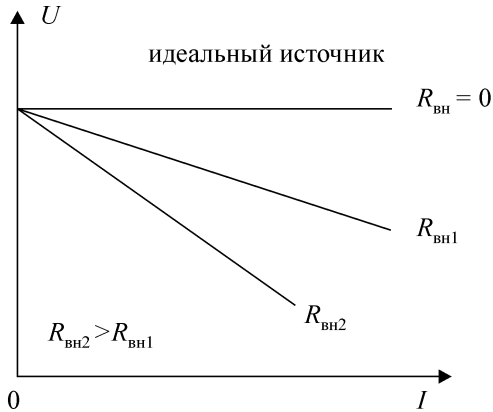
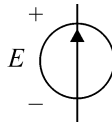


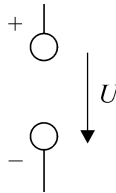
Рис. 1.7

Чем больше $R_{вн}$, тем больше зависимость напряжения на зажимах источника ЭДС от величины тока через нагрузку. Стремится получить источник ближе к идеальному.

Идеальный источник ЭДС изображается в схеме:



Его можно изобразить в виде источника напряжения:



Если $E = U$, то это идентичные источники, хотя стрелки внутри источников направлены в противоположные стороны. Это нужно учитывать при расчетах.

Источник тока изображается на схеме, как показано на *рис. 1.8*.

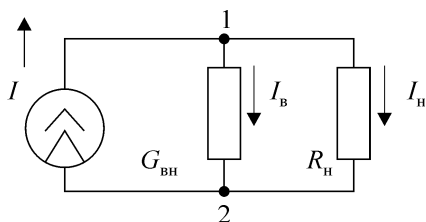


Рис. 1.8

Ток источника тока I распределяется между внутренней проводимостью $G_{\text{вн}}$ источника тока ($I_{\text{в}}$) и нагрузкой $R_{\text{н}}$ ($I_{\text{н}}$), причём $I = I_{\text{в}} + I_{\text{н}}$. Чем больше $G_{\text{вн}}$, тем больше $I_{\text{в}}$ и меньше $I_{\text{н}}$. Если $G_{\text{вн}} = 0$, то $I_{\text{в}} = 0$ и $I = I_{\text{н}}$. Это идеальный источник тока. При увеличении $G_{\text{вн}}$ ток $I_{\text{н}}$ будет уменьшаться. Источник тока также обладает определенной внешней характеристикой. Внутри источника тока цепь разомкнута. Идеальных источников энергии не существует, однако можно подбором параметров источника обеспечивать приемлемую внешнюю характеристику.

При расчетах необходимо учитывать, что источник ЭДС внутри замкнут, а источник тока разомкнут. Переход от источника ЭДС к источнику тока и обратно при расчетах можно осуществить по следующим зависимостям:

а) дано: E и $R_{\text{вн}}$ источника ЭДС; определить I и $G_{\text{вн}}$ источника тока.

Решение: $I = E/R_{\text{вн}}$; $G_{\text{вн}} = 1/R_{\text{вн}}$;

б) дано: I и $G_{\text{вн}}$ источника тока; определить E и $R_{\text{вн}}$ источника ЭДС:

Решение: $E = I/G_{\text{вн}}$; $R_{\text{вн}} = 1/G_{\text{вн}}$.

Ветвь с источником ЭДС замкнута, а с источником тока – разомкнута, что нужно учитывать при применении 2-го закона Кирхгофа для расчетов.

1.3. Законы Ома и Кирхгофа

Закон Ома для участка цепи без источника ЭДС представляет собой зависимость $I = U_{12}/(R_1 + R_2 + R_3)$ (рис. 1.9).

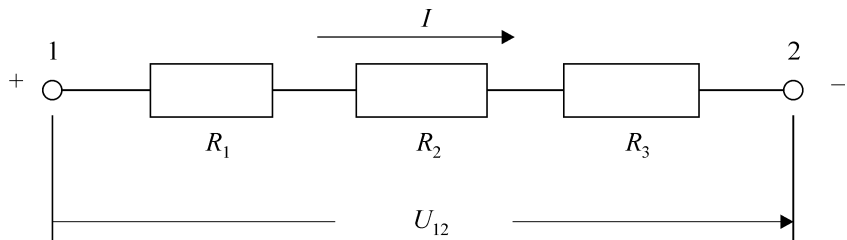


Рис. 1.9

В общем виде $I = \frac{U_{12}}{\sum_{i=1}^n R_i}$, где n – количество сопротивлений на участке,

$i = \overline{1, n}$ – номер сопротивления.

Для участка цепи, содержащего внутри себя источники ЭДС (напряжений) (рис. 1.10),

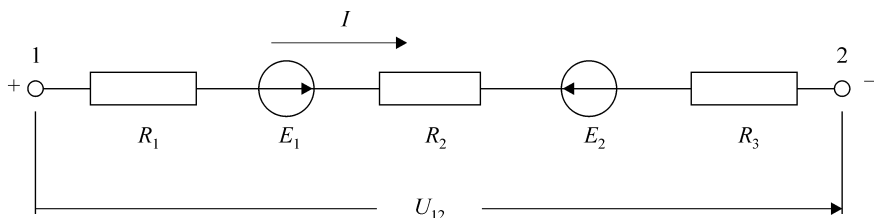


Рис. 1.10

закон Ома представляет собой зависимость $I = \frac{E_1 - E_2 + U_{12}}{R_1 + R_2 + R_3}$, или в общем

виде $I = \frac{\sum_{j=1}^m E_j + U_{12}}{\sum_{i=1}^n R_i}$, где m – количество источников ЭДС, а $j = \overline{1, m}$ – но-

мера источников ЭДС.

В числителе записана алгебраическая сумма ЭДС и напряжения, а в знаменателе – арифметическая сумма сопротивлений участка цепи.

Знаки «+» или «-» в алгебраической сумме для ЭДС и напряжений определяются соотношением направлений токов и ЭДС (напряжений); если они совпадают, то знак «+», если не совпадают, то знак «-» (если поддерживают ток, то «+», не поддерживают – «-»).

При этом необходимо учитывать, что направления стрелок идентичных ЭДС и напряжений внутри участка противоположны, но знаки их в алгебраической сумме одинаковы, так как воздействие их на ток одинаково.

При расчетах используются 1-й и 2-й законы Кирхгофа, если применения только законов Ома недостаточно.

А. 1-й закон Кирхгофа – алгебраическая сумма токов в узле равна нулю: $I_1 - I_2 + I_3 - I_4 - I_5 = 0$ (рис. 1.11).

Положительный знак имеют втекающие в узел токи, а отрицательный – вытекающие.

Или $I_1 + I_3 = I_2 + I_4 + I_5$, **арифметическая сумма токов, втекающих в узел, равна арифметической сумме вытекающих токов из узла.**

Б. 2-й закон Кирхгофа – алгебраическая сумма ЭДС в контуре равна алгебраической сумме падений напряжений на элементах контура.

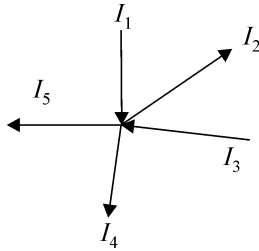


Рис. 1.11

Для определения знака слагаемых их направление сравнивается с произвольно выбранным направлением обхода контура (по часовой стрелке или против часовой стрелки). Если направление ЭДС (напряжений) совпадает с направлением обхода контура, то они положительные, не совпадают – отрицательные (рис. 1.12):

$$\sum_{j=1}^m E_j = \sum_{i=1}^n I_i R_i,$$

где E_j – j -я ЭДС; $I_i R_i$ – падение напряжения на i -м сопротивлении; m – количество ЭДС в контуре; n – количество сопротивлений в контуре.

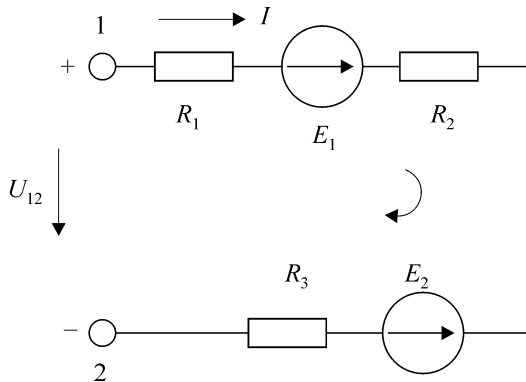


Рис. 1.12

Для изображенного контура, где обход контура по часовой стрелке, 2-й закон Кирхгофа запишется в виде $U_{12} + E_1 - E_2 = IR_1 + IR_2 + IR_3$.

1.4. Преобразование электрических цепей

А. При последовательном соединении сопротивлений (рис. 1.13) эквивалентное сопротивление определяется по формуле

$$R_{\text{ЭПС}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum_{i=1}^n R_i, \text{ ток в цепи } I = \frac{U}{R_{\text{ЭПС}}}.$$

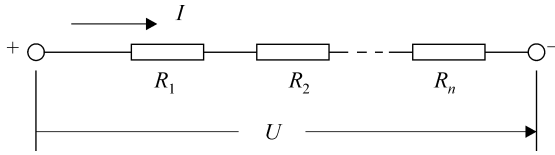


Рис. 1.13

Б. При параллельном соединении сопротивлений (рис. 1.14) эквивалентное сопротивление определяется по формуле $\frac{1}{R_{\text{ЭПР}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_m} = \sum_{j=1}^m \frac{1}{R_j}$;

$$R_{\text{ЭПР}} = \frac{1}{\sum_{j=1}^m \frac{1}{R_j}} - \text{суммируются проводимости.}$$

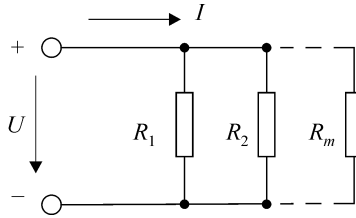


Рис. 1.14

Ток в цепи $I = U/R_{\text{ЭПР}}$.

Для двух параллельных сопротивлений:

$$1/R_{\text{ЭПР}} = 1/R_1 + 1/R_2 = (R_2 + R_1)/R_1R_2; R_{\text{ЭПР}} = R_1R_2/(R_1 + R_2).$$

В. При смешанном соединении сопротивлений (рис. 1.15).

$$R_{\text{ЭСМ}} = R_{\text{ЭПР}} + R_{\text{ЭПС}}, \text{ а ток } I = U/R_{\text{ЭСМ}}.$$

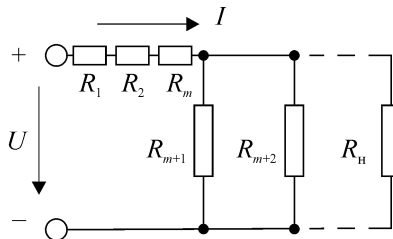


Рис. 1.15

Г. Преобразование сопротивлений, соединенных звездой, в соединение треугольником, и наоборот (рис. 1.16):

$$\begin{aligned}
 R_1 &= R_{12} R_{31} / (R_{12} + R_{23} + R_{31}); & R_{12} &= R_1 + R_2 + R_1 R_2 / R_3; \\
 R_2 &= R_{12} R_{23} / (R_{12} + R_{23} + R_{31}); & R_{23} &= R_2 + R_3 + R_2 R_3 / R_1; \\
 R_3 &= R_{23} R_{31} / (R_{12} + R_{23} + R_{31}); & R_{31} &= R_3 + R_1 + R_3 R_1 / R_2.
 \end{aligned}$$

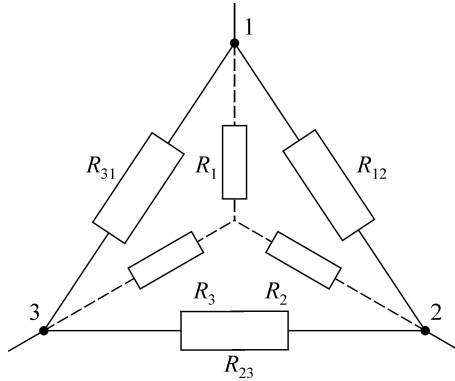


Рис. 1.16

1.5. Мощность и баланс мощностей в электрической цепи

Энергия в цепи постоянного тока расходуется в виде тепла при протекании тока через резистор. Потребляемая мощность определяется по формуле $P_{\text{потр}} = UI = I^2 R = U^2 / R$. Это активная мощность, измеряется в ваттах [Вт].

Мощность, отдаваемая источником ЭДС, $P_{\text{ист}} = EI$; измеряется в ваттах [Вт]. E – ЭДС источника; I – ток источника. $P_{\text{потр}}$ всегда положительная, а $P_{\text{ист}}$ может быть положительной (отдаваемой) и отрицательной (потребляемой), если направления E и I не совпадают – ток не вытекает из источника, а втекает в него (неправильно включены источники энергии).

Баланс мощностей в цепи определяется равенством

$$\sum_{i=1}^n E_i I_i = \sum_{j=1}^m I_j^2 R_j,$$

где $\sum_{i=1}^n E_i I_i = P_{\text{ист}}$ – алгебраическая сумма мощностей источников ЭДС в

цепи, $\sum_{j=1}^m I_j^2 R_j = P_{\text{потр}}$ – арифметическая сумма мощностей, потребляемых

сопротивлениями цепи.

Учебное издание

Василий Иванович **Савченко**

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Компьютерная верстка: *Т.А. Кузьмина, Е.В. Орлов*
Редактор: *В.Ш. Мерзлякова*
Дизайн обложки: *Н.С. Романова*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98.
Подписано к печати 05.07.12. Формат 60х90/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл. 16,5 п.л. Тираж 500 экз. Заказ №

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации – оф. 511
тел., факс: (499)183-56-83, e-mail: iasv@mgsu.ru, <http://www.iasv.ru/>