

Министерство образования и науки Российской Федерации
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Ф.Э. ЛАППИ

МИНИМАЛЬНЫЙ КУРС ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ

Часть 1

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ

Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия

НОВОСИБИРСК
2014

УДК 621.3+621.38](075.8)
Л 245

Рецензенты:

канд. техн. наук *Ю.В. Морозов*,
канд. техн. наук *В.А. Аксютин*

Работа подготовлена на кафедре ТОЭ
для студентов факультета механотроники и автоматизации

Лаппи Ф.Э.

Л 245 Минимальный курс электротехники и электроники: учеб. пособие / Ф.Э. Лаппи. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014. – Ч. 1. Основные элементы электротехники и электроники. – 112 с.

ISBN 978-5-7782-2426-1

Рассмотрены основные элементы электрических цепей: резисторы, диоды, стабилитроны, биполярные и полевые транзисторы, емкость, индуктивность, а также простые электрические и электронные схемы на их основе. Рассматриваются простые методы анализа схем с применением схемотехнического моделирования.

Предназначено для самостоятельной работы студентов факультета механотроники и автоматизации при начальном изучении курса электротехники и электроники.

УДК 621.3+621.38](075.8)

ISBN 978-5-7782-2426-1

© Лаппи Ф.Э., 2014
© Новосибирский государственный
технический университет, 2014

ПРЕДИСЛОВИЕ

Цель настоящего пособия – помочь студентам, начинающим изучение курса электротехники и электроники (ЭиЭ), освоить базовые понятия, законы, элементы и методы анализа. Электротехника изучает процессы преобразования энергии, электроника – способы управления этими процессами.

Автором рассматриваются наиболее важные элементы электрических цепей. При этом описанию элементов и их поведению в электрических цепях уделяется достаточно много внимания. Автор считает, что необходимым условием для получения прочных навыков в курсе Э и Э является хорошее знание характеристик и умение применять их на практике.

Кроме того, много внимания уделено основным законам электротехники и их использованию при качественном и количественном анализе простых электрических и электронных цепей.

Из огромного количества методов, используемых для анализа цепей в Э и Э, автор старался использовать наиболее доступные для понимания.

В настоящей работе рассмотрены в том или ином объеме все наиболее важные разделы Э и Э, касающиеся аналоговых цепей, ведущих непрерывную обработку сигнала.

В данном пособии, к сожалению, не освещены вопросы схемотехнического моделирования, владение которыми в настоящее время является совершенно необходимым элементом в образовании современного студента.

Тем не менее автор надеется, что предлагаемая вниманию читателей работа поможет сделать первые шаги в курс электротехники и электроники.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире одной из многих задач, которые необходимо решать в целях обеспечения достойного существования каждого человека, – это задача получения все большего количества электроэнергии и рационального ее расходования. Для этого, прежде всего, электроэнергию надо получить и, что немаловажно, доставить потребителю.

Проследим путь движения энергии на самом простом примере (рис. В1).

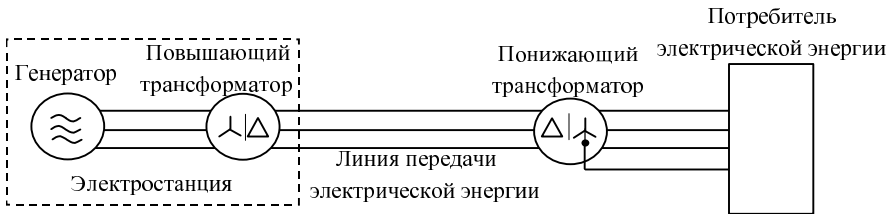


Рис. В1. Пример движения энергии

На электростанции электрический генератор преобразует механическую энергию, получаемую самыми разнообразными способами, в энергию электромагнитного поля. Затем повышающий трансформатор меняет параметры электромагнитного поля для уменьшения потерь энергии при движении последней вдоль линии передачи. Линия передачи показывает, куда необходимо доставить энергию. В конце линии для повышения безопасности человека ставят понижающий трансформатор, к вторичной обмотке которого подключаются потребители энергии. Самый простой потребитель энергии – это, например, электрическая лампочка. Движение энергии, таким образом, идет слева направо. Мы будем двигаться в обратном направлении. Сначала будем рассматривать процессы, происходящие в потребителе, а затем в остальных элементах всей системы.

Прежде всего необходимо сказать об основных понятиях и величинах, используемых при анализе любого электромагнитного процесса (табл. В1).

Таблица В1

Величина			
Обозначение	Понятие	Единица измерения	Главная формула
q	Электрический заряд	Кулон (Кл)	
i	Электрический ток	Ампер (А)	$i = \frac{dq}{dt}$
ϕ	Электрический потенциал	Вольт (В)	
u	Напряжение (разность потенциалов 2 точек)	Вольт (В)	$u = \phi_1 - \phi_2$
p	Мгновенная мощность	Ватт (Вт)	$P = ui$

Дадим ряд комментариев к табл. В1.

1. Приведенные величины позволяют практически полностью описать процессы в любой электрической цепи. Следовательно, их следует хорошо запомнить.

2. Понятие заряда – это фундаментальное понятие физики и его следует принять как данность.

3. В настоящем курсе нас значительно больше будет интересовать понятие электрического тока: упорядоченного **движения** электрических зарядов в той или иной среде (в металлическом проводе, в диэлектрике, в полупроводнике, газе и т. д.). Главная формула показывает, что ток – это **скорость** изменения заряда, прошедшего через какую-то незамкнутую поверхность. Если по какой-то причине нет движения зарядов, то нет и тока. Знание величины тока на любом участке электрической цепи в любой момент времени это и есть одна из главных задач анализа электромагнитных процессов, которой мы с Вами будем заниматься.

4. Как уже было сказано, ток – это движение зарядов, но чтобы заряды начали двигаться, для этого надо создать *необходимые* условия. Таких обязательных (но недостаточных) условий два:

- необходим источник энергии;
- необходимо обеспечить замкнутый путь для движения зарядов.

Источник энергии (генератор) имеет много разных характеристик, но нас в первую очередь будет интересовать **напряжение** на его зажимах. В простейшем случае генератор – это пальчиковый элемент (например, в вашем плеере) или аккумулятор (в сотовом телефоне). В жизни эти элементы можно купить, поддержать в руках, полюбоваться ими. Но чтобы понять, как они работают в электрической цепи, необходимо создать какую-то модель на бумаге, анализируя которую с помощью математики и физики, получить ответ на вопрос о влиянии генератора на движение зарядов. Самая простая модель генератора показана на рис. В2.

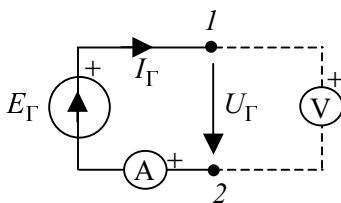


Рис. В2. Модель генератора (режим холостого хода)

Дадим пояснение к рис. В.2.

Генератор имеет два вывода 1 и 2. E_G – электродвижущая сила генератора (ЭДС) – является основной характеристикой и измеряется в вольтах. Главное свойство ЭДС – поддерживать **постоянной разность потенциалов** между выводами 1 и 2. Следует хорошо понять, что физический смысл имеет только разность потенциалов между какими-то двумя точками. Направление стрелки у ЭДС показывает, что потенциал точки 1 больше потенциала точки 2. Обычно потенциал одной из точек принимают равным нулю. Если $\varphi_2 = 0$, то $\varphi_1 = E$. Если $\varphi_1 = 0$, то $\varphi_2 = -E$. В данном случае генератор работает в режиме холостого хода, так как между выводами 1 и 2 включен вольтметр, движение зарядов через который теоретически невозможно, а поэтому ток генератора не имеет замкнутого пути. Следовательно, $I_G = 0$. Сам вольтметр в данном случае показывает разность потенциалов точек 1 и 2, т. е. величину ЭДС E_G . Произведение $E_G I_G = P_G$ получило название мощности генератора. Причем если при указанном направлении тока $I_G > 0$, то и $P_G > 0$. Это означает, что генератор вырабатывает энергию. Для

этого совершенно необходимо наличие потребителя энергии. Возьмем в качестве потребителя электрическую лампочку и включим ее в цепь (рис. В3).

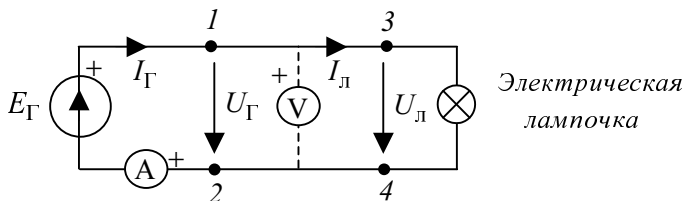


Рис. В3. Генератор в режиме нагрузки

Обсудим эту очень важную схему. Нить лампочки выполнена из проводящего материала (вольфрама), который позволяет двигаться зарядам. Таким образом, под действием энергии генератора заряды начнут движение и, пройдя нить лампочки, вернуться в генератор. Но если генератор действует непрерывно, то и движение зарядов будет непрерывным. При этом все заряды, которые пройдут через генератор, пройдут и через лампочку. Следовательно, $I_{\Gamma} = I_{\text{л}}$. Теперь рассмотрим распределение другой важной величины в схеме, а именно потенциала. Если точки 1 и 2 – это выводы генератора, то точки 3 и 4 – это зажимы лампочки. Так как точка 1 соединена **проводом** непосредственно с точкой 3, то считается, что $\varphi_3 = \varphi_1$, соответственно и $\varphi_4 = \varphi_2$. Но $\varphi_1 - \varphi_2 = U_{\Gamma}$, а $\varphi_3 - \varphi_4 = U_{\text{л}}$, следовательно, $U_{\Gamma} = U_{\text{л}}$. Если умножить правую часть на ток генератора, а левую часть на ток лампочки, то получим: $U_{\Gamma} \cdot I_{\Gamma} = P_{\Gamma} = U_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}} = P_{\text{л}} = P_{\text{н}}$. Это выражение отражает важнейшее свойство, присущее электрическим цепям, – **баланс мощностей**. Генератор вырабатывает столько энергии, сколько может потребить нагрузка.

Допустим, есть две лампочки и мы хотим обе включить в схему. Это возможно сделать двумя способами (рис. В4).

Рассмотрим процессы в каждой из схем.

Последовательное соединение характеризуется тем, что по обоим лампочкам протекает один и тот же ток (жирной линией отмечен путь тока). Очевидно, что ток генератора равен току лампочек. Мощность генератора $P_{\Gamma} = E_{\Gamma} \cdot I_{\Gamma}$. С другой стороны, мощность, потребляемая первой лампочкой, равна $P_{\text{л1}} = U_{\text{л1}} \cdot I_{\text{л}}$, а второй – $P_{\text{л2}} = U_{\text{л2}} \cdot I_{\text{л}}$. В со-

ответствии с балансом мощностей получим: $P_{\Gamma} = P_{\text{л1}} + P_{\text{л2}} = E_{\Gamma} \cdot I_{\Gamma} = (U_{\text{л1}} + U_{\text{л2}})I_{\text{л}}$. Из этого равенства следует, что $E_{\Gamma} = U_{\text{л1}} + U_{\text{л2}}$. Последнее выражение – это не что иное, как запись **2-го закона Кирхгофа** для данной схемы. Мы еще неоднократно будем использовать этот закон. В данном случае прежде всего введем новое понятие: **контур** – замкнутый путь вдоль элементов электрической цепи, при этом начальная и конечная точка совпадают, остальные точки встречаются один раз. В данной схеме один контур. Рассмотрим распределение потенциалов в контуре. Начнем с точки 2. Примем потенциал этой точки равным нулю: $\varphi_2 = 0$. Следующая точка 1. Между этими точками включена ЭДС E_{Γ} . В соответствии с основным свойством, присущим ЭДС, $\varphi_1 = E_{\Gamma}$. Далее, $\varphi_3 = \varphi_1$, $\varphi_5 = \varphi_3 - U_{\text{л1}}$, $\varphi_6 = \varphi_5$, $\varphi_4 = \varphi_6 - U_{\text{л2}}$, $\varphi_2 = \varphi_4$. Путь замкнут. Итак, самое главное при последовательном соединении: **По всем элементам протекает один и тот же ток.**

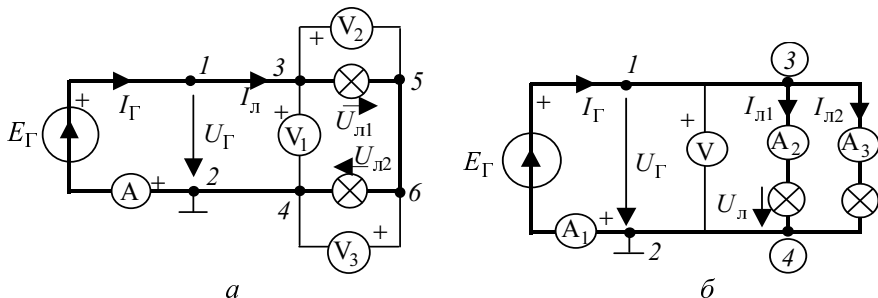


Рис. В4. Два способа соединения двух лампочек:

a – последовательное соединение; *б* – параллельное соединение

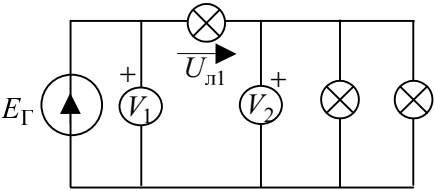
Параллельное соединение характеризуется тем, что к обеим лампочкам приложено **одно и то же напряжение**, равное разности потенциалов $\varphi_3 - \varphi_4 = U_{34}$. В соответствии с балансом мощности получим: $P_{\Gamma} = E_{\Gamma}I_{\Gamma} = U_{\Gamma}I_{\Gamma} = P_{\text{л1}} + P_{\text{л2}} = U_{\Gamma}I_{\text{л1}} + U_{\Gamma}I_{\text{л2}}$. Из этого равенства следует, что $I_{\Gamma} = I_{\text{л1}} + I_{\text{л2}}$. Последнее выражение – это запись **1-го закона Кирхгофа** для данной схемы. Мы еще неоднократно будем использовать этот закон. В данном случае введем новое понятие: **узел** – место, где для движения зарядов появляются разные пути. Так, точка 3 – это узел и точка 4 тоже узел. В данной схеме два узла. Введем еще одно

крайне важное понятие: **ветвь** – участок схемы, заключенный между двумя узлами. В рассматриваемой схеме три ветви: одна через источник ЭДС и две через лампочки.

Итак, самое главное при параллельном соединении: **ко всем элементам приложено одно и то же напряжение.**

Внимание! Прежде чем двигаться дальше, проверьте себя: готовы ли вы ответить на вопросы, которые вам может задать преподаватель или жизнь (табл. В2).

Таблица В2

Номер вопроса	Вопрос
1	Что такое ток, как обозначается, единица измерения?
2	Что такое потенциал, как обозначается, единица измерения?
3	Что такое напряжение, как обозначается, единица измерения?
4	Что такое мощность, как обозначается, единица измерения?
5	Как связаны между собой понятия мощности, тока и напряжения?
6	Как определяется мощность источника постоянной ЭДС?
7	Как определяется мощность потребляемая лампочкой?
8	Что понимается под понятием баланса мощностей?
9	Что такое контур, узел, ветвь?
10	В последовательной схеме (рис. В4), сгорела первая лампочка. Величина ЭДС задана. Чему равно: 10.1. Показание амперметра; 10.2. Показание вольтметров V_1 , V_2 , V_3 ? 10.3. Чему равна мощность источника? Ответьте на эти же вопросы, если сгорела вторая лампочка. Ответьте на эти же вопросы, если сгорели обе лампочки.
11	Нарисуйте возможные схемы соединения трех лампочек. На рисунке приведена схема электрической цепи
12	 <p>Ответьте на следующие вопросы</p> <p>12.1. Сколько узлов в схеме?</p> <p>12.2. Сколько ветвей в схеме?</p>

Номер вопроса	Вопрос
	12.3. Сколько контуров в схеме?
	12.4. Показание какого вольтметра больше?
	12.5. Что показывает вольтметр V_1 ?
	12.6. Что показывает вольтметр V_2 ?
	12.7. Зависит ли показание V_1 от числа лампочек и их мощности?
	12.8. Зависит ли показание V_2 от числа лампочек и их мощности?

На выделенные жирным шрифтом вопросы ответы приведены ниже.

Номер вопроса	Ответ	Номер вопроса	Ответ
5	$P = UI$	12.2	3
6	$P_E = EI$	12.3	2
7	$P_{л} = U_{л} I_{л}$	12.4	V_1
10.1	0	12.5	$V_1 = E$
10.2	$V_1 = V_2 = E \quad V_3 = 0$	12.6	$V_2 = V_1 - U_{л1}$
10.3	$P_E = 0$	12.7	Нет
12.1	2	12.8	Да

1. ОСНОВНЫЕ РЕЗИСТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ С РЕЗИСТИВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

1.1. РЕЗИСТОР С ЛИНЕЙНОЙ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ

Уважаемый читатель! Приведенный во введении анализ позволил получить качественное представление о процессах в электрических цепях. Но если поставить вопрос о величинах тока, напряжения, мощности в цепи, то, очевидно, требуется математически (в числах) описать каждый из участвующих элементов (устройств), например электрическую лампочку. Это устройство предназначено для преобразования энергии электромагнитного поля в световую, при этом имеет место выделение тепловой энергии – преобразование, представляющее наибольший интерес в электротехнике. Количественное описание этого преобразования основано на законе Джоуля–Ленца:

$$P = I^2 R. \quad (1.1)$$

Здесь R – параметр, связывающий выделяемую в элементе мощность с током, протекающим через элемент, получил название сопротивления. Таким образом, закон Джоуля–Ленца связал между собой мощность и ток. Но при этом неясно, как связаны между собой напряжение на зажимах элемента и ток, проходящий через элемент. Это важное соотношение получил немецкий ученый Ом. Исследуя различные проводниковые материалы, он получил знаменитый закон Ома:

$$U = IR. \quad (1.2)$$

На рис. 1.1 показаны общепринятые обозначения резистивного элемента (резистора), направления тока и напряжения, соответствующие закону Ома.

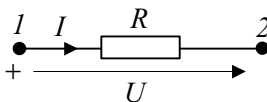


Рис. 1.1. Схемное изображение резистора