

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики и методико-  
информационных технологий

**Методическое обеспечение уроков по теме «Переменный электрический ток» на основе электронного конструктора «Начала ЭЛЕКТРОНИКИ»**

**Автореферат**

выпускной квалификационной работы  
студентки 5 курса 533 группы  
специальности 44.03.01 – «Физика»  
физического факультета

**Жуковой Татьяны Ивановны**

Научный руководитель

к.ф.-м н., доцент

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

В.Б. Гаманюк

инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

д.ф.-м.н., профессор

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

Б.Е. Железовский

инициалы, фамилия

Саратов-2017

## ВВЕДЕНИЕ

Ежедневно мы, сами того не сознавая, многократно «общаемся» с переменным током, включая лампочку освещения, телевизор или зарядное устройство мобильного телефона и так далее. Казалось бы, что принципы получения переменного тока и особенности его протекания в различных электрических цепях должны быть известны всем пользователям.

Первоначально указанные знания даются каждому из нас в средней школе. При этом представляется странным, что тема «Переменный ток» во многих учебниках раскрыта на наш взгляд недостаточно полно и доходчиво. Такое положение частично объясняется тем, что системный подход к освещению обозначенной темы требует достаточно сложного математического аппарата, который на ступени школьного образования учащимся недоступен. Дело осложняется еще и тем, что изложение теоретического материала слабо подкрепляется демонстрационным экспериментом, возможность проведения которого зачастую ограничивается убогой материальной базой школьного физического кабинета.

В настоящее время практически каждая школа располагает компьютерным классом. К тому же известен ряд программ (например, «Открытая физика»), позволяющих адекватно заменить реальный эксперимент виртуальным. Вполне понятно, что возможности компьютера позволяют проводить «опыты», которые по многим причинам невозможны в реальных условиях.

Особое место среди программных продуктов занимает конструктор «Начала ЭЛЕКТРОНИКИ», ориентированный на школьный курс физики «Электричество и магнетизм», бесплатно доступный в Интернете. С его помощью можно демонстрировать особенности процессов прохождения токов по различным цепям, а также проводить измерения многих электрических физических величин. Таким образом, появляется реальный выход из тупика путем замены «живого» эксперимента компьютерным моделированием.

Компьютерный эксперимент, в том числе и в виде лабораторных работ, интересен еще и тем, что стимулирует освоение новых методов обучения фи-

зике в дополнение к существующим. Прежде всего, он способствует знакомству с физическими явлениями, их особенностями и законами. Во-вторых, способствует приобщению учащихся к творчеству, научной работе. И, наконец, при выполнении исследований в виртуальной лаборатории приобретаются навыки по сборке электрических схем и работе с конкретными электроизмерительными приборами и устройствами.

Вполне понятно, что подобный подход к проведению занятий будет успешным только при наличии соответствующего методического сопровождения.

**Целью** настоящей выпускной квалификационной работы как раз и является разработка компьютерного практикума на основе программы «Начала ЭЛЕКТРОНИКИ», позволяющего при помощи простых, но убедительных опытов глубже понять суть физических явлений в рамках темы «Переменный» ток.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие **задачи** дипломного исследования:

1. Провести теоретико-методологический обзор соответствующей учебной и методической литературы по выбранной теме.
2. Ознакомиться с возможностями электронного конструктора «Начала ЭЛЕКТРОНИКИ».

Работа состоит из **введения, основной части из трех разделов, заключения и списка использованных источников.**

Во **введении** обоснована актуальность выбранной темы.

Для того чтобы не отсылать читателя к первоисточникам, помимо описания предлагаемых компьютерных исследований в **основную часть** работы включены необходимые теоретические сведения по цепям переменного тока, краткое описание самой программы «Начала ЭЛЕКТРОНИКИ» и руководства по её применению.

В **заключении** подведен итог проделанной работе.

## Краткое содержание

В первой главе «**ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**» дано понятие магнитного потока  $\Phi$

$$\Phi = BS \cos \alpha,$$

описано явление электромагнитной индукции, приведена формула для ЭДС индукции  $E_i$

$$E_i = -\frac{d\Phi}{dt},$$

сформулировано правило Ленца.

Отмечено, что поскольку для явления электромагнитной индукции не имеет принципиального значения причина изменения магнитного потока, в обмотке катушки возникнет дополнительная ЭДС  $E_s$ , которую, подчеркивая природу её появления, *назвали ЭДС самоиндукции*. При условии постоянства индуктивности  $L$ , для величины  $E_s$  имеем

$$E_s = -\frac{d\Phi_L}{dt} = -L \frac{dI}{dt}.$$

На этой основе описан принцип получения *переменного* тока. Переменными называют токи или напряжения, изменяющиеся во времени по величине и направлению. В рассматриваемом случае ограничимся синусоидальным током:

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi),$$

который, собственно, и вырабатывается электростанциями.

Как известно, гармоническая функция определяется тремя параметрами: *амплитудой, периодом (частотой) и фазой*. Амплитуда – это *максимальное значение периодически изменяющейся физической величины*. Аргумент синуса, то есть  $\omega t + \varphi$  называется *фазой*. Фаза характеризует состояние колебания (числовое значение) в данный момент времени  $t$ . Величина  $\varphi$  представляет собой фазу при  $t = 0$  и поэтому называется *начальной фазой*. Если синусоида начинается в точке пересечения осей координат, то  $\varphi = 0$  и  $i(t) = I_m \sin \omega t$ . Период  $T$  – это время, за которое совершается одно полное

колебание. *Величина  $f$ , обратная периоду, называется частотой.* Она равна числу колебаний за единицу времени  $f = 1/T$ . В системе СИ частота измеряется в герцах (Гц). В России и странах Европы стандартная промышленная частота переменного тока выбрана равной 50 Гц, а в США, Канаде и Японии она составляет 60 Гц.

Довольно часто при описании различных периодических явлений используется *угловая (циклическая) частота* –  $\omega = 2\pi f$ , которая дает изменение фазы в единицу времени и измеряется в радианах, деленных на секунду.

Помимо указанных параметров, переменный ток характеризуют его *действующим (или эффективным) значением*, которое равно силе такого постоянного тока, при котором за время периода переменного тока в проводнике выделяется такое же количество теплоты, как и при протекании переменного тока. Расчёты показывают, что действующие значения силы тока или напряжения (их будем обозначать прописными латинскими буквами без индексов) меньше амплитудных в  $\sqrt{2}$  раз. Например,  $I = I_m/\sqrt{2}$ .

### *Цепь переменного тока с активным сопротивлением*

Возьмем цепь, которая представляет собой проводник сопротивлением  $R$ . Это может быть лампа накаливания, электронагревательный прибор и так далее. Перенос заряда в такой цепи обусловлен действием электрического поля на свободные носители заряда в металле. Это воздействие электроны проводимости будут испытывать, независимо от того, как направлено электрическое поле в проводнике и каково оно по величине. При этом, если длина цепи невелика, в каждом её сечении мгновенная сила тока будет одинаковой и соответствовать закону Ома. Таким образом, когда  $u = U_m \sin \omega t$

$$i = \frac{u}{R} = \frac{u_m}{R} \sin(\omega t) = I_m \sin \omega t,$$

где амплитуда силы тока равна  $I_m = U_m/R$ . Аналогичным образом связаны и действующие значения:  $I = U/R$ .

Из выражения для  $i$  видно, что в цепи, единственной «задачей» которой является только оказание сопротивления протекающему току, ток и напряжение имеют одинаковую фазу. В электротехнике и радиотехнике широко применяются приборы, реализующие указанную функцию. Их называют *резисторами*. *Переменный ток в цепях, имеющих активный характер, по всем «статьям» аналогичен постоянному току.*

### *Цепь переменного тока с индуктивным характером*

Теперь подключим к источнику переменной ЭДС катушку, активное сопротивление которой равно нулю:  $R_L = 0$ . Такие катушки называются *идеальными*. Протекание переменного тока через индуктивность вызовет появление в ней ЭДС самоиндукции  $E_S$ , препятствующей изменению тока. Следовательно, в цепи будут действовать две ЭДС: первичного источника электроэнергии  $u$  и самоиндукции  $E_S$ . Поскольку внутренние сопротивления источника переменного тока и активного сопротивления катушки индуктивности предполагаются равными нулю, падения напряжения на элементах замкнутого контура не происходит. Значит,  $u + \mathcal{E}_S = 0$  или  $u = -\mathcal{E}_S$ . С учетом того, что для гармонического переменного тока

$$i = I_m \sin \omega t$$

имеем:

$$u = L \frac{di}{dt} = \omega L I_m \cos \omega t = U_m \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right).$$

где

$$U_m = \omega L I_m.$$

Структура выражения для  $U_m$  подобна формуле закона Ома. В ней роль сопротивления играет произведение  $\omega L$ , имеющее к тому же и размерность сопротивления. Эту величину обычно обозначают  $X_L$  и называют *индуктивным сопротивлением*. Оно *прямо пропорционально частоте переменного тока и индуктивности катушки*. Механизм возникновения  $X_L$  отличен от того, который «работает» при протекании постоянного тока: это следствие возникновения ЭДС самоиндукции. Тем не менее,  $X_L$  *выполняет ту же*

*функцию, что и активное сопротивление проводника.* Таким образом, на переменном токе полное сопротивление реальной катушки индуктивности будет равно сумме активного и реактивного сопротивлений  $R_L + X_L$ . Рост частоты и величины индуктивности приводит к повышению  $X_L$ , в то время как  $R_L$  остается постоянным. При определенных условиях может оказаться, что  $X_L \gg R_L$ . Значит, реальная катушка с малым  $R_L$  переменному току может оказывать весьма большое сопротивление.

Сравнивая формулы для тока  $i$  и напряжения  $u$  в цепи индуктивного характера можно констатировать, что по отношению друг к другу они сдвинуты по фазе на  $\pi/2$ , причем напряжение опережает ток.

#### *Цепь переменного тока емкостного характера*

Пусть цепь переменного тока содержит только конденсатор. Его основной характеристикой является емкость  $C$ , которая определяет зависимость заряда  $q$  на пластинах конденсатора от напряжения  $u$  между ними и рассчитывается по формуле

$$C = \frac{q}{u}.$$

Если не менять напряжения на конденсаторе, то его заряд будет величиной постоянной, равной  $q = C \cdot u$ . В общем случае сила тока в проводнике равна

$$i = \frac{dq}{dt}.$$

*Поэтому при данных условиях ток в проводах, соединяющих конденсатор с источником электроэнергии, протекать не будет.*

Если же к обкладкам конденсатора приложить напряжение, которое меняется по синусоидальному закону

$$u = U_m \sin \omega t,$$

то он будет периодически перезаряжаться. Теперь в *соединительных проводах* начнет протекать ток силой

$$i = \frac{dq}{dt} = \omega C U_m \cos \omega t = I_m \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right).$$

Подчеркнем, что *между пластинами конденсатора заряд не протекает ни при постоянном, ни на переменном токах*. Однако на переменном токе создается *иллюзия*, что один и тот же ток проходит не только по соединительным проводам, но и через сам конденсатор.

Запишем амплитуду силы тока  $I_m = \omega C U_m$  в виде формулы закона Ома

$$I_m = \frac{U_m}{X_C}, \quad \text{где } X_C = \frac{1}{\omega C}.$$

Введенная формально величина  $X_C$  называется *емкостным сопротивлением*. Оно *обратно пропорционально частоте и емкости конденсатора*. Таким образом, если в цепи постоянного тока сопротивление конденсатора равно бесконечности, то на переменном токе оно конечно и может быть очень малым.

Из выражений для  $i$  и  $u$  легко видеть, что по фазе *ток опережает напряжение на угол  $\pi/2$* .

Подводя итог рассмотренным процессам можно прийти к следующим модельным представлениям, которые помогают проводить расчеты цепей.

Конденсатор и катушку индуктивности можно уподобить некому элементу цепи, который «реагирует» на прохождение по нему переменного тока следующим образом: оказывает сопротивление току и одновременно создает фазовый сдвиг  $\Delta\varphi$  между током и напряжением на его зажимах.

### ***Резонанс напряжений в цепи переменного тока***

Рассмотрим цепь переменного тока, состоящую из последовательно соединенных резистора  $R$ , идеальной катушки индуктивности  $L$  и конденсатора емкостью  $C$ , подключенной к источнику переменного напряжения. Согласно приведенным выше соображениям ток  $i$  во всех элементах цепи будет одинаковым. Для удобства будем считать начальную фазу тока равной нулю, то есть



$$i = I_m \sin \omega t.$$

В каждый момент времени напряжение, приложенное ко всей цепи, равно сумме падений напряжений на её отдельных участках:

$$u = u_R + u_L + u_C.$$

Ранее показано, что  $u_R$  имеет ту же фазу, что и ток,  $u_L$  – опережает ток на  $90^\circ$ , а  $u_C$  – отстает от тока на  $90^\circ$ . Следовательно,

$$u_R = U_{Rm} \sin \omega t, u_L = U_{Lm} \sin(\omega t + \pi/2), u_C = U_{Cm} \sin(\omega t - \pi/2). \quad (5)$$

Таким образом, задача по определению  $u$  сводится к сложению гармонических колебаний. Среди них  $u_L$  и  $u_C$  имеют фазовый сдвиг в  $180$  градусов (или  $\pi$  радиан). Такие колебания называются противофазными. Складывая их, мы получим колебание, амплитуда которого равна модулю

$$|u_L - u_C| = |I \cdot X_L - I \cdot X_C| = I \left| \omega L - \frac{1}{\omega C} \right|.$$

Вполне возможен случай, когда

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

Это требование выполняется на циклической частоте

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

На этой частоте колебания напряжений на катушке индуктивности и конденсаторе суммируясь полностью гасят друг друга. Это создает эффект исчезновения из электрической цепи этих элементов: *полное сопротивление цепи становится равным сопротивлению резистора, то есть становится минимальным и принимает активный характер*. Соответственно, сила тока на такой частоте будет максимальной

$$I_{max} = \frac{U}{R},$$

где  $U$  – действующее значение питающего напряжения.

Рассмотренное явление получило название *резонанса напряжений*.

При равенстве нулю суммы напряжений на катушке и конденсаторе на частоте резонанса сами эти напряжения достигают максимальной величины

$$U_{Lmr} = \omega L I_{max} = U_{Cmr} = \frac{I_{max}}{\omega C}.$$

Это обстоятельство нужно учитывать при выборе рабочего напряжения конденсатора.

Во второй главе, которая называется «**ЭЛЕКТРОННЫЙ КОНСТРУКТОР «Начала ЭЛЕКТРОНИКИ»** дано описание программы, приемов работы с ней, рассмотрены примеры её использования при исследованиях конкретных электрических цепей.

Третья глава «**ОПИСАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ДЕМОНСТРАЦИОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ**» содержит набор разработанных виртуальных опытов в последовательности, которая соответствует порядку знакомства с основными положениями теории. Вначале демонстрируется тот факт, что энергетически источники постоянного и переменного токов, при равенстве ЭДС первого эффективной ЭДС второго, равноценны.

Далее необходимо убедиться, что переменный ток в цепях, обладающих только активным сопротивлением, описывается теми же законами, что и постоянный ток, то есть подчиняется закону Ома. Это можно подтвердить, исследуя цепь из двух резисторов, соединенных последовательно, и присоединенных сначала к источнику постоянного тока, а затем к источнику переменного тока с равноценной эффективной ЭДС. Показано, что полученные результаты не зависят от частоты переменного тока.

Проверено, выполняется ли на переменном токе первое правило Кирхгофа: ток в неразветвленной цепи равен сумме токов в ветвях. Чтобы придать эксперименту зрелищную привлекательность, в одной из ветвей использована лампочка накаливания.

Подводя итог проделанной серии компьютерных экспериментов, можно утверждать, что *для цепей переменного тока, состоящих только из активных сопротивлений, эффективные значения электрических параметров подчиняются закономерностям, известным для цепей постоянного тока.*

Далее проводится демонстрация поведения идеальной катушки индуктивности на постоянном и переменном токах. Их результаты говорят о том, что идеальная катушка любой индуктивности не влияет на силу постоянного тока. На переменном токе ситуация кардинально изменилась: чем больше индуктивность катушки, тем сильнее она ограничивает силу переменного тока. Отсюда следует, что на переменном токе даже идеальная катушка обладает сопротивлением, которое с ростом её индуктивности увеличивается.

Для того чтобы обнаружить зависимость реактивного сопротивления идеальной катушки от частоты переменного тока, которым она «питается», при постоянных  $L$  и ЭДС генератора изменялась частота переменного тока. Результаты такого эксперимента говорят о том, что с ростом частоты реактивное сопротивление катушки увеличивается.

С помощью двухлучевого осциллографа демонстрируется возникновение фазового сдвига между током в катушке и напряжением на её концах.

Измерение напряжений  $U_R$  на резисторе и катушке  $U_L$  показало, что их сумма не равна, а больше напряжения  $U$  на клеммах генератора. Значит, законы, пригодные для постоянного тока, в цепях, где присутствует реактивное сопротивление индуктивного характера, неприменимы. В этом случае «выручает» теорема Пифагора, которая пригодна и в отношении действующих значений, то есть

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2}.$$

Проведено исследование поведения конденсатора в электрических цепях. Когда он, например, последовательно включен с лампочкой накаливания и такая цепь присоединена к источнику постоянного тока, результат ясен – независимо от величины емкости конденсатора  $C$  ток в такой цепи протекать не может. Иная картина на переменном токе. При этом на яркость свечения лампочки влияет как величина  $C$ , так и значение частоты тока. Значит, сопротивление конденсатора переменному току зависит от его емкости и частоты, причем с их ростом уменьшается.

По аналогии с исследованиями поведения индуктивности на переменном токе определена величина возможного фазового сдвига между током в конденсаторе и напряжением на его обкладках. Оказалось, что ток  $I$  через конденсатор, отличается по фазе от напряжения  $U_C$  на конденсаторе на угол  $90^\circ$ , причем  $U_C$  *отстает от тока*. Этот вывод, в конечном счете, приводит к формуле для вычисления действующего значения напряжения  $U$  на зажимах всей цепи:

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2}.$$

На основе компьютерного исследования цепей переменного тока, содержащих реактивные сопротивления, можно заметить, что *при последовательном соединении конденсатора и идеальной катушки падения напряжений на них всегда будут противофазными*. В самом деле, ток в такой цепи одинаков, однако напряжение  $U_C$  на конденсаторе отстает от него по фазе на  $90^\circ$ , а напряжение на индуктивности  $U_L$ , наоборот, на такую же величину опережает ток. Следовательно, эффективное значение напряжения на  $L - C$  цепочке будет равно модулю разности  $U_L - U_C$ , причем, если эта разность имеет положительное значение, то есть  $U_L > U_C$ , цепь проявляет индуктивный характер, в противном случае  $-U_C > U_L$ , она равноценна конденсатору некоторой емкости.

Особый интерес представляет случай, когда

$$U_L - U_C = 0,$$

то есть падение напряжения на последовательно соединенных катушке индуктивности и конденсаторе становится равным нулю. При этом никакого влияния  $L - C$  цепочка на цепь, в которую она включена, уже не оказывает, она как бы исчезла. Это обстоятельство должно привести к увеличению до максимума силы тока в цепи.

Равенство напряжений выполняется, когда  $X_L = X_C$  или  $\omega L = (\omega C)^{-1}$ . Отсюда для циклической частоты, частоты  $f$  и периода  $T$  переменного тока имеем соответственно:

$$\omega_{\text{рез}} = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad f_{\text{рез}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \quad T_{\text{рез}} = 2\pi\sqrt{LC}.$$

Отмеченное выше явление – достижение током наибольшего значения на частоте  $\omega_{\text{рез}}$  *получило название резонанса напряжений*.

Это явление исследуется с помощью компьютерного эксперимента.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Создано методическое обеспечение уроков по теме «Переменный ток» на основе компьютерной программы «Начала ЭЛЕКТРОНИКИ». Таким образом, цель, сформулированная во введении, достигнута. Для лучшего понимания существа работы в тексте системно изложены необходимые теоретические сведения и дано достаточно подробное описание приемов использования программы и её возможностей. Только на первый взгляд работа может показаться легковесной: эка невидаль «нарисовать» столько цветных картинок. На самом деле каждая из них несет информацию о довольно сложных процессах, происходящих в цепях переменного тока. И, наверное, даже хорошо, что «Начала ЭЛЕКТРОНИКИ» дают возможность реализовать принцип наглядности при обучении.

Примечательно, что предлагаемые компьютерные демонстрационные эксперименты могут быть реализованы и в живом виде. Данное обстоятельство подчеркивает преемственность реальных и виртуальных исследований.

Остается надеяться, что проделанная работа не бесполезна, а найдет применение в работе учителей физики, может быть и не только школьных.

### **Список использованных источников**

1. Начала ЭЛЕКТРОНИКИ.[Электронный ресурс]: электронный конструктор. Алма-Ата, 1998.
2. Мякишев Г.Я. Физика. Электродинамика. 10-11классы / Г.Я.Мякишев, А.З.Синяков, Б.А.Слободсков. М.: Дрофа, 2010. 476 с.
3. Подласый И.П. Педагогика. Новый курс: учебн. для студ. высш. учеб. заведений. В 2 кн. Кн 1. Общие основы. Процесс обучения / Подласый И.П. М.: Гуманит. Изд. центр ВЛАДОС, 2001. 576 с.

4. Подласый И.П. Педагогика: Новый курс: учебн. для студ. высш. учеб. заведений. В 2 кн. Кн. 2: Процесс воспитания / Подласый И.П. М.: Гуманит. Изд. центр ВЛАДОС, 2001. 256 с.
5. Савельев И.В. Курс общей физики. В 3 Т. Т. 2. Электричество и магнетизм/ И.В. Савельев. М.: Наука, 2009. 442 с.
6. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника./А.С.Касаткин, М.В.Немцов. М.:Академия, 2005.544 с.
7. Гаманюк В.Б. Использование виртуальной лаборатории «Начала электроники» в разработке элективных курсов: учебное пособие. / В.Б. Гаманюк, Б.Е. Железовский, Н.Г. Недогреева. Саратов: Изд-во Издательский Центр «Наука», 2013. С. 54
8. Лабораторный эксперимент по курсу физики базовой школы: учеб. пособие для студентов педагогических спец. физ. фак. в 2 ч. Ч. 2. / Н.Г. Недогреева, В.А. Рачков, Н.В. Романова. Саратов: Изд-во «Научная книга», 2006.
9. Теория и методика обучения физике в школе: общие и частные вопросы: учеб. пособие для студентов высших пед. учеб. Заведений. / Под редакцией С.Е. Каменецкого. М.: Академия, 2000. 368 с.
10. Замятина О. М. Компьютерное моделирование: учебное пособие. / О.М.Замятина. Томск: Изд-во ТПУ, 2007. 121 с.
11. Лузина Л.И. Компьютерное моделирование: учебное пособие. / Л.И.Лузина. Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2001. 105 с.
12. Гаманюк В.Б., Недогреева Н.Г. Изучение цепей постоянного тока: учебно-методическое руководство к лабораторной работе. / В.Б.Гаманюк, Н.Г.Недогреева. Саратов: Изд. Цент «Наука», 2012. с. 24.
13. Каримов А.С. Открытый урок по теме «Принцип получения переменного тока» [Электронный ресурс] /А.С.Каримов. URL: [https://infourok.ru/otkrytyu\\_urok\\_po\\_teme\\_princip\\_polucheniya\\_peremennogo\\_toka-383741.htm](https://infourok.ru/otkrytyu_urok_po_teme_princip_polucheniya_peremennogo_toka-383741.htm) (Дата обращения 03.02.2017).

14. Гаманюк В.Б., Недогреева Н.Г. Цепи переменного тока: учебное пособие. / В.Б.Гаманюк, Н.Г.Недогреева. Саратов: Изд-во. СРОО «Центр» Просвещение», 2014. с.82.
15. Гаманюк В.Б., Недогреева Н.Г. Исследование электрических цепей при помощи электронного конструктора «Начала ЭЛЕКТРОНИКИ»: учебно-методическое пособие. / В.Б.Гаманюк, Н.Г.Недогреева под ред. Б.Н.Железовского. Саратов: Изд-во СРОО «Центр «Просвещение», 2014. с.69.