

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА / THEORETICAL AND APPLIED ELECTRICAL ENGINEERING

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.123.72>

КОМПЛЕКТ УЧЕБНО-ПРОГРАММНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ИЗУЧЕНИИ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

Научная статья

Марченко А.Л.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0002-1825-0023;

<sup>1</sup> Московский авиационный институт, Москва, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (marchenkoal[at]mail.ru)

**Аннотация**

Современное инженерное образование – сплав содержания и технологий обучения. Среди новых эффективных технологических средств обучения и автоматического контроля учебных достижений студентов, формирующих у них профессиональные умения и владения, нашли себе место учебно-программные тренажеры.

В статье рассматриваются вопросы разработки и использования учебно-программных тренажеров при изучении курса «Электротехника» в вузе, благодаря которым появилась возможность с уменьшением времени приобрести владение построением топографических и временных диаграмм напряжений и токов в цепях однофазного переменного тока.

**Ключевые слова:** учебно-программный тренажер, электрическая цепь, синусоидальный ток, векторная диаграмма, фазовый сдвиг.

A SET OF TRAINING AND PROGRAM SIMULATORS USED IN THE STUDY OF ELECTRICAL CIRCUITS OF  
SINUSOIDAL CURRENT

Research article

Marchenko A.L.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0002-1825-0023;

<sup>1</sup> Moscow Aviation Institute, Moscow, Russian Federation

\* Corresponding author (marchenkoal[at]mail.ru)

**Abstract**

Modern engineering education is a fusion of content and learning technologies. The new effective technological means of training and automatic control of students' learning achievements, which form their professional skills and competences, include training and program simulators.

The article considers the development and use of educational program simulators for the university course of "Electrical Engineering" due to which it became possible to acquire mastery of the construction of topographic and vector diagrams of voltages and currents in circuits of single-phase alternating current with a reduction in time.

**Keywords:** training simulator, electrical circuit, sinusoidal current, vector diagram, phase delay.

**Введение**

Учебно-программный тренажер представляет собой программный комплекс для изучения явлений, физических процессов, построения диаграмм и характеристик электрических цепей и устройств, а также для проведения физических опытов на вычислительном устройстве ВУ (ноутбук, планшет и др.) без непосредственного контакта с реальной лабораторной установкой или стендом. В тренажерах динамика процессов реализуется посредством компьютерной анимации, а сам процесс показывается при помощи компьютерной графики [1], [2].

Использование тренажеров в профессиональном обучении не дань моде, а настоятельная необходимость, так как создаются условия, приближенные к производственным и подготовки обучаемого для работы на современном промышленном оборудовании [3], [4].

Работа на тренажерах связана также с основами теоретических знаний специальных дисциплин, способствуя их закреплению, развивая логическое мышление и активируя сенсорную деятельность. Такой подход в профессиональном обучении гораздо более реалистичен, чем набор отдельных вопросов на изучаемую тему, так как он ориентирован на то, что знания и умения даются в качестве средств решения задач, необходимых для использования в освоении предстоящих специальных дисциплин и в будущей профессиональной деятельности [5], [6], [7], [9].

Кроме этого, учебно-программные тренажеры дают возможность объективного контроля качества обучения - объективного определения и точности оценки объема знаний, умений и владений, как в комплексе, так и отдельно.

**Основные результаты**

Чтобы создать учебно-программный тренажер, необходимо выработать его концепцию и разработать функциональную модель. При разработке тренажеров нами были положены следующие концептуальные критерии:

- универсальность, т.е. возможность использования тренажера при изучении понятийных образов различных объектов, электромагнитных явлений и процессов, описываемых идентичными по структуре математическими выражениями;
- многовариантность, т.е. вывод на экран случайным образом значений параметров элементов и схем соединения ветвей электрических цепей;
- возможность работы в двух режимах: в тренировочном с подсказками при неверном выполнении студентом текущей операции, и в контрольном;
- контроль каждой операции (практического действия), выполненной студентом в мультимедийных полях;
- оценка результирующий достижений студента;
- возможность использования тренажеров при проведении сетевых студенческих олимпиад по электротехнике.

Рассмотрим несколько тренажеров, разработанных автором с участием студентов в рамках их проектной деятельности при выполнении учебных заданий по электротехнике, с использованием программных сред: Borland C++ Builder и Adobe Flash (функционирование тренажеров восстановлено с помощью приложения ruffle). Для работы тренажеров необходимо ВУ с ОС Windows 10 или 11, с браузером MS Edge и объемом свободной памяти 20 МБ.

### Учебно-программный тренажер для построения временных диаграмм напряжения и тока цепи

В первой лекции по анализу линейных электрических цепей синусоидального тока отмечается, что в зависимости от типа решаемой задачи синусоидальные функции представляют в виде аналитической функции, например, напряжения  $u(t) = U_m \sin(\omega t + \Psi_u)$ , в виде временной или векторной диаграмм, а также в виде комплексной функции.

Учитывая, что при выполнении заданий и курсовой работы рекомендуется использовать комплексный (символический) метод расчета цепей с построением векторных диаграмм напряжений и токов в комплексной плоскости, очень важно, чтобы студент не забывал, что каждый вектор, отображает синусоидальную функцию, например, напряжение со своей амплитудой  $U_m$  и начальной фазой  $\Psi_u$ .

Представленная на рис. 1 модель тренажера используется для построения временных диаграмм напряжения и тока при последовательном соединении элементов  $R$  и  $L$  в цепи (аналогичные модели тренажеров разработаны для  $RC$ - и  $RLC$ -цепей).

При функционировании тренажера в тренировочном режиме студент вычисляет значения параметров  $X_L$ ,  $Z$ , и  $\varphi$  схемы, вводит их в выделенные поля и щелкает мышью на команде «Проверка» для сравнения полученных данных с эталонами программы. При этом в левое поле модели выводятся формулы для расчета параметров  $X_L$ ,  $Z$ , и  $\varphi$ , а поля с ошибочными значениями параметров обрамляются красной рамкой (для исправления). Аналогично нужно проверить (и, если необходимо, исправить) рассчитанные значения начальной фазы  $\Psi_i$  и амплитуды  $I_m$  тока.



Рисунок 1 - Итоговая страница тренажера с построенными диаграммами синусоидальных напряжения и тока в однофазной RL-цепи

Чтобы установить синусоиды напряжения  $u(\omega t)$  и тока  $i(\omega t)$  с их начальными фазами в выделенном поле, нужно их «сдвинуть» с помощью мыши в горизонтальном направлении с учетом их начальных фаз  $\Psi_u$  и  $\Psi_i$ , а амплитуды  $U_m$  и тока  $I_m$  - с помощью ползунков, расположенных в левой части модели, или ввести с клавиатуры их числовые значения в соответствующие выделенные поля, как и найденные параметры  $X_L$ ,  $Z$ ,  $\varphi$ ,  $\Psi_i$ ,  $I_m$ ,  $\Psi_u$  и  $U_m$  цепи.

Учебно-программный тренажер для построения топографических диаграмм электрических величин в цепях однофазного синусоидального тока. Модель тренажера (рис. 2) построена с учетом подобия треугольников (для схемы

а, размещенной сверху модели тренажера): треугольника комплексных напряжений  $\underline{U}_R$ ,  $j\underline{U}_X = j(\underline{U}_L - \underline{U}_C)$  и  $\underline{U}$  (рис. 3 а), треугольника комплексных сопротивлений  $R$ ,  $jX = j(X_L - X_C)$  и  $\underline{Z}$ , полученного посредством деления комплексных напряжений на комплекс тока  $\underline{I}$  цепи рис. 3, б), а также треугольника мощностей: активной  $P$ , реактивной  $jQ = j(Q_L - Q_C)$  и полной комплексной  $\underline{S}$  (рис. 3, в), полученного посредством умножения комплексных сопротивлений на квадрат модуля тока  $I^2$  в цепи синусоидального тока с последовательным соединением ветвей.

Подобные треугольники комплексных величин для цепи с параллельным соединением ветвей (см. схему б по рис. 2, сверху), представлены:

- на рис. 3, г - треугольник комплексных токов ветвей и на входе цепи;
- на рис. 3, д - треугольник комплексных проводимостей ветвей и цепи;
- на рис. 3, е) - треугольник комплексных мощностей цепи.

Так как активные и реактивные составляющие перечисленных электрических величин для наглядности в курсе электротехники представляют в виде отрезков определенной длины под углом в  $90^\circ$  (для токов и напряжений в виде векторов в комплексной плоскости Re-Im), то для определения полных значений указанных величин и угла сдвига фаз  $\varphi$  между напряжением и током на входе электрической цепи строят топографические диаграммы.



Рисунок 2 - Интерфейс тренажера для построения топографических диаграмм

После верного ввода в белые кружки буквенных обозначений мощностей на сторонах треугольника и линии выше (см. левую верхнюю часть модели макета на рис 2) и щелчка мышью на команде «Принять», этот треугольник исчезает и появляется прямоугольный треугольник мощностей, в котором остается только полная реактивная мощность  $Q$  (зеленый цвет отрезка) и красный мерцающий кружок на пересечении треугольника с пунктирной линией полуокружности с радиусом, равным отрезку полной мощности  $S'$ , приведенной к единице (см. левую нижнюю часть модели макета на рис. 2).

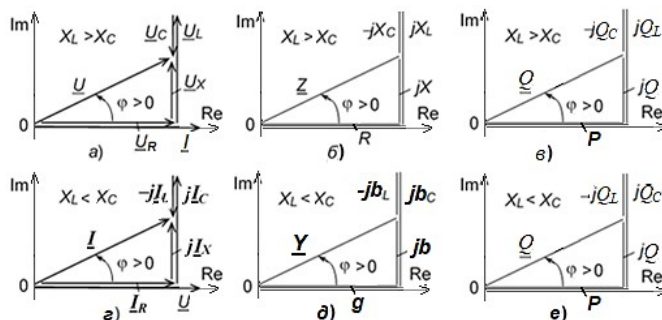


Рисунок 3 - Треугольники электрических величин, построенные для RLC-цепей с последовательным (а, б и с) и параллельным (г, д и е) соединением

Прежде чем перемещать мышью мерцающий кружок по пунктирной полуокружности вместе с изменяющим стороны прямоугольным треугольником с остановкой в нужной точке, необходимо определить угол сдвига фаз  $\varphi$  (см. рис. 3, б и в), равный:

$$\varphi = \arctg(Q/P) = \arctg(X_L - X_C)/R = \arctg(6 - 12)/8 = \arctg(-0,75) \approx -37^\circ.$$

В рассматриваемом варианте активная мощность цепи  $P = RI^2 = 8 \times 1 = 8$  Вт, где  $Z=10$  Ом, полная мощность цепи  $S=UI=10 \times 1=10 \times B \times A$ , а реактивная мощность  $Q = S \sin \varphi = 10 \sin(-37^\circ) = -6$  вар.

Тогда относительная величина активной мощности  $P$  по отношению к полной мощности  $S$ , т.е.  $P' = P/S = 8/10 = 0,8$ , а отношение реактивной мощности  $Q$  к полной  $S$ , т.е.  $Q' = Q/S = -6/10 = -0,6$ .

При перемещении мышью мерцающего кружка по пунктирной полуокружности (в данном случае с переходом в нижнюю ее часть), автоматически выводятся в комплексную плоскость полуокружности значение угла  $\varphi$ , и относительное значение реактивной мощности  $Q'$  на мнимой оси  $Im$  (см. рис. 2, левую нижнюю часть). После остановки перемещения мерцающего кружка при найденном угле  $\varphi$ , необходимо для фиксации нужной точки щелкнуть мышью на команде «Принять» и получить результирующую оценку.

Учебно-программный тренажер для построения векторных диаграмм напряжений и токов однофазных цепей синусоидального тока [10]. Данный тренажер (рис. 4) используется для закрепления сформулированных на лекциях по электротехнике теоретических понятийных образов при изучении темы «Комплексный метод анализа электрических цепей синусоидального тока»

В электронную базу тренажера включены схемы цепей с последовательным, параллельным и последовательно-параллельным соединением элементы  $R$ ,  $L$  и  $C$  в различном их сочетании. Как численные значения параметров пассивных элементов, так и начальная фаза нормированного напряжения источника энергии, выбираются случайным образом из последовательностей заданных целых чисел. При запуске тренажера также случайным образом на экран дисплея ВУ выводятся схемы цепей, выбираемых их восьми типов.

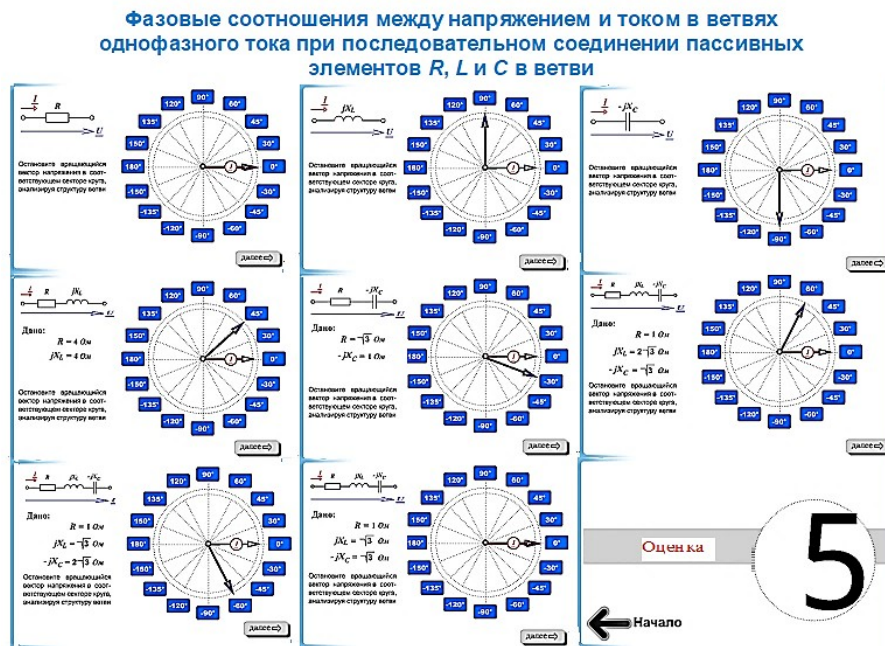


Рисунок 4 - Фрагменты тренажера для анализа фазовых соотношений

При функционировании тренажера в тренировочном режиме количество исследуемых схем устанавливается студентом, а при его работе в контрольном режиме – преподавателем после ввода пароля и установки общего времени на выполнение заданий.

Прежде чем начинать манипуляции с векторами в комплексной плоскости тренажера, нужно предварительно рассчитать фазные углы  $\varphi_k$  между напряжением и током во всех ветвях и на входе цепи, а также начальные фазы токов и напряжений ветвей по формулам:

$$\varphi_k = \arctg[(X_{Lk} - X_{Ck})/R_k], \quad \Psi_{ik} = \Psi_{uk} - \varphi_k \quad \text{или} \quad \Psi_{uk} = \Psi_{ik} + \varphi_k$$

При запуске подпрограммы тренажера для анализа фазовых соотношений между напряжением и током в ветвях (рис. 4) в левую часть рабочего окна выводится схема цепи с числовыми значениями параметров ее элементов, ниже схемы – задание (последовательность выполнения практических действий), а в правую часть выводится область круга, ограниченного градуированной шкалой, с неподвижным вектором тока  $I$  (красного цвета) с нулевой начальной



фазой ( $\Psi_i = 0$ ) и с вращающимся вектором напряжения  $\underline{U}$  (синего цвета), который необходимо остановить посредством щелчка мышью на кнопке со значением найденной его начальной фазой  $\Psi_{uk}$ .

Для перехода к следующему заданию необходимо щелкнуть мышью на команде «далее», выполнив которое, посредством щелчка мышью на команде «далее» осуществляется переход к следующему заданию и т.д. и, наконец, после выполнения восьмого задания выводится итоговая оценка. При низкой оценке студент может повторить вновь выполнение всех заданий.

При выполнении задания по определению фазовых соотношений в цепи с параллельным соединением ветвей (рис. 5, а) необходимо заранее рассчитать фазовые сдвиги между векторами токов ветвей, входного тока и неподвижным вектором напряжения  $\underline{U}$ , затем остановить вращение векторов токов посредством щелчков мышью на соответствующих им значениях углов сдвига фаз. Результаты выполнения задания представлены:

- на рис. 5, б – при неверных углах сдвига фаз двух токов;
- на рис. 5, в – при совпадении полученных данных с эталонами.

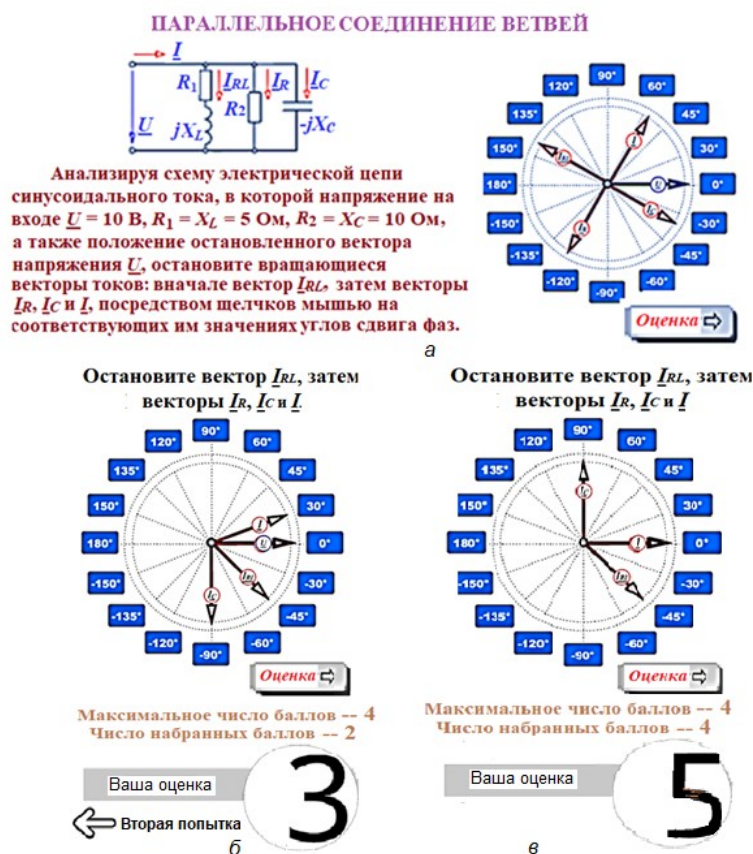


Рисунок 5 - Фрагменты тренажера для анализа фазовых соотношений между напряжением и токами в однофазной цепи синусоидального тока при параллельном соединении ветвей

### Заключение

Учебные занятия на учебно-программных тренажерах мотивируют студентов к изучению теоретического материала по курсу «Электротехника», создают возможность с уменьшением времени приобретения ими умений и владений посредством решения задач, необходимых для использования в освоении предстоящих специальных дисциплин и в будущей профессиональной деятельности.

Результаты учебных достижений студентов последних двадцати лет, изучающих курс «Электротехника» с использованием учебно-программных тренажеров, свидетельствуют, что у систематически занимающихся в семестре студентов по рассматриваемому в статье разделу курса сформировалось владение в построении временных, топографических и векторных диаграмм напряжений и токов в цепях однофазного переменного тока.

Уровень учебных достижений каждого студента автоматически оценивался посредством тренажеров в процентах от выполнения без ошибок всех заданных операций.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Рецензия**

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Review**

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

**Список литературы / References**

1. Беневоленский С.Б. Использование виртуальных тренажеров в процессе изучения электротехнических дисциплин / С.Б. Беневоленский, А.Л. Марченко. – М.: Педагогическая информатика. – 2009. – № 3. – С. 24-30.
2. Векслер В.А. Интерактивные тренажеры и их значение в учебном процессе / В.А. Векслер, Л.Б. Рейдель // Novainfo. – 2016. – 1041. – С. 205-211.
3. Иорданский М.А. Компьютерные тренажеры – важнейший класс образовательных продуктов / М.А. Иорданский, Н.А. Мухин // Вестник Мининского университета. – 2016. – № 2.
4. Гусева А.И. Результаты использования программных тренажеров в формате SCORM 2004 по дисциплине «Информатика» в вузе / А.И. Гусева, А.В. Лебедева, Е.А. Шеина // Фундаментальные исследования. – М., 2013. – № 4. – Ч. 5. – С. 1059-1064.
5. Захарова Г.Б. Компьютерные тренажеры как средство эффективного обучения: классификация и пример разработки / Г.Б. Захарова, Э.Н. Первухин, Д.В. Байгозин // Новые образовательные технологии в вузе. – Екатеринбург, 2009. – С. 124-127.
6. Марченко А.Л. Актуальные вопросы разработки и использования электронных изданий и ресурсов в обучении электротехнике и электронике в вузе / А.Л. Марченко. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 272 с.
7. Новиков К.В. Расчет переходных процессов в электрических цепях классическим методом / К.В. Новиков, А.Л. Марченко. – Свидетельство о регистрации электронного ресурса в ОФАП №5343 от 28.10.2005 г. Номер гос. регистрации в ВНИИЦ ФАПО 50200600021 от 24.01.2005 г.
8. Марченко А.Л. Модельный анализ разветвленной магнитной цепи / А.Л. Марченко // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2011. – № 4(16). – С. 45-50.
9. Марченко А.Л. Тренажер МФС для построения векторных диаграмм напряжений и токов однофазных цепей переменного тока / А.Л. Марченко, С.Е. Сусленкова, И.В. Федотова. – Свидетельство о регистрации электронного ресурса в Институте научной информации и мониторинга РАО, №00031 от 02.06.2009 г.
10. Марченко А.Л. Тренажер МИВ для анализа трехфазных цепей / А.Л. Марченко, А.Г. Иванов, С.С. Воробьев. – Свидетельство о регистрации электронного ресурса в Институте научной информации и мониторинга РАО, №17229 от 28.06.2011 г.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Benevolenskiy S.B. Ispol'zovanie virtual'nykh trenazhorov v prozhesse izucheniya elektrotehnicheskikh disziplin. [The use of virtual simulators in the process of studying electrical engineering disciplines] / S.B. Benevolenskiy, A.L. Marchenko. – M.: Pedagogical Informatics. – 2009. – № 3. – P. 24-30. [in Russian]
2. Veksler V.A. Interaktivnye trenazhori i ih znachenie v uchebnom prozhesse [Interactive simulators and their importance in the educational process] / V.A. Veksler, L.B. Reydel // Novainfo. – 2016. – 1041. – P. 205-211. [in Russian]
3. Jordansky M.A. Komp'yuternye trenazhory – vazhneyshiy klass obrazovatel'nykh produktov [Computer simulators are the most important class of educational products] / M.A. Iordansky, N.A. Mukhin // Vestnik Mininskogo universiteta [Bulletin of Minin University]. – 2016. – № 2. [in Russian]
4. Guseva A.I. Rezul'taty ispol'zovaniya programnykh trenazhorov v formate SCORM 2004 po diszhipline "Informatika" v vuze [The results of the use of software simulators in the format of SCORM 2004 in the discipline "Informatics" at the university] / A.I. Guseva, A.V. Lebedeva, E.A. Sheina // Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental research]. – M., 2013. – № 4. – Pt. 5. – P. 1059-1064. [in Russian]
5. Zakharova G.B. Komp'yuternye y kak sredstvo yeffektivnogo obuchenya [Computer simulators as a means of effective training: classification and example of development] / G.B. Zakharova, E.N. Pervukhin. D.V. Baigozin // Novye obrazovatel'nye tehnologii v vuze [New educational technologies in the university]. – Yekaterinburg, 2009. – P. 124-127. [in Russian]
6. Marchenko A.L. Aktual'nye voprosy razrabotki i ispol'zovaniya elektronnykh izdaniy i resursov v obuchenii elektrotehnike i elektronike v vuze [Actual issues of development and use of electronic publications and resources in the training of electrical engineering and electronics in the university] / A.L. Marchenko. – M.: DMK Press, 2010. – 272 p. [in Russian]
7. Novikov K.V. Raschet perehodnykh prozheosov v elektricheskikh zhepiyah klassicheskim metodom [Calculation of transient processes in electrical circuits by the classical method] / K.V. Novikov, A.L. Marchenko. – Certificate of registration of an electronic resource in OFAP No 5343 of 28.10.2005. Number of state registration in VNTIC FAPO 50200600021 of 24.01.2005. [in Russian]
8. Marchenko A.L. Model'nyy analiz razvetvlennoy magnitnoy zhepi [Model analysis of a branched magnetic circuit] / A.L. Marchenko // Prikaspijskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tehnologii [Caspian Journal: Management and High Technologies]. – 2011. – № 4(16). – P. 45-50. [in Russian]

9. Marchenko A.L. Trenazhor MFS dlja postroeniya vektornyh diagram naprjazhenij i tokov [MFS simulator for constructing vector diagrams of voltages and currents of single-phase AC circuits] / A.L. Marchenko, S.E. Suslenkova, I.V. Fedotova. – Certificate of registration of an electronic resource in the Institute of Scientific Information and Monitoring of the Russian Academy of Education. No 00031 of 02.06.2009. [in Russian]

10. Marchenko A. L. Trenazhor MIV dlja analiza trehfaznyh zhepej [Simulator MIV for analysis of three-phase circuits] / A.L. Marchenko, A.G. Ivanov, S.S. Vorobyov. – Certificate of registration of an electronic resource in the Institute of Scientific Information and Monitoring of the Russian Academy of Education, No 17229 of 28.06.2011 [in Russian]