

Соболев Владимир Афанасьевич, Волченков Валерий Иванович

ИЗУЧЕНИЕ ОПЕРАТОРНОГО МЕТОДА РАСЧЕТА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ ПРИ ПРОИЗВОЛЬНЫМ И ИМПУЛЬСНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

В данной статье рассмотрены методические указания по решению задач операторным методом переходных процессов в линейных электрических цепях при одновременном постоянном и импульсном воздействиях. Приведен пример поэтапного расчета конкретной задачи. Особое внимание обращено на применение теоремы разложения для определения образа искомой функции. В качестве самостоятельной проверки правильности решения задачи предлагается использовать компьютерную программу Multisim 10.1.

Адрес статьи: www.gramota.net/materials/4/2017/4/14.html

Источник

Педагогика. Вопросы теории и практики

Тамбов: Грамота, 2017. № 4(08) С. 52-57. ISSN 2500-0039.

Адрес журнала: www.gramota.net/editions/4.html

Содержание данного номера журнала: www.gramota.net/materials/4/2017/4/

© Издательство "Грамота"

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: www.gramota.net
Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: pednauki@gramota.net

УДК 621.13.00.08

В данной статье рассмотрены методические указания по решению задач операторным методом переходных процессов в линейных электрических цепях при одновременном постоянном и импульсном воздействиях. Приведен пример поэтапного расчета конкретной задачи. Особое внимание обращено на применение теоремы разложения для определения образа искомой функции. В качестве самостоятельной проверки правильности решения задачи предлагается использовать компьютерную программу Multisim 10.1.

Ключевые слова и фразы: прямое и обратное преобразования Лапласа; теорема разложения; этапы расчета; изображение импульсного воздействия; операторная схема замещения; оригинал функции; компьютерная программа Multisim 10.1.

Соболев Владимир Афанасьевич, к.т.н.

Волченков Валерий Иванович, к.т.н., доцент

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

vasobolev@bmsu.ru

ИЗУЧЕНИЕ ОПЕРАТОРНОГО МЕТОДА РАСЧЕТА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ ПРИ ПРОИЗВОЛЬНЫХ И ИМПУЛЬСНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

В настоящее время при изучении в вузах дисциплины «Электротехника и электроника» в рабочих программах большое количество часов предусмотрено на самостоятельное изучение материала студентами. Одной из сложных и практически важной темой данной дисциплины является раздел, посвященный анализу и расчету переходных процессов в линейных электрических цепях при произвольных и импульсных периодических воздействиях. В данной статье авторы предлагают методику проведения семинарского занятия повышенной сложности по изучению операторного метода расчета переходных процессов в линейных электрических цепях и виртуального исследования их в среде Multisim 10.1 [2]. На наш взгляд, такое сочетание самостоятельной работы студента с возможностью консультации у преподавателя поможет ему более осмысленно изучить и анализировать переходные процессы в линейных электрических цепях. В начале занятия преподаватель объясняет возникновение переходных процессов и цель анализа переходных процессов – определение в аналитическом виде временной зависимости заданного тока или напряжения при известных параметрах источниках и пассивных элементах цепи. Анализ этих процессов может быть выполнен любым методом: временным, спектральным или операторным [1]. Недостатком временного метода расчета переходных процессов является необходимость определения постоянных интегрирования из начальных условий, что особенно сложно для дифференциальных уравнений высокого порядка. Как известно, для практических расчетов более удобным является операторный метод. Далее предлагается кратко обсудить основные теоретические положения операторного метода. При операторном методе от временных представлений напряжений и токов переходят к их изображениям, основанным на преобразовании Лапласа. Все это позволяет составить операторную схему замещения электрической цепи и использовать законы Ома и Кирхгофа в операторной форме. Операторная схема замещения имеет ту же конфигурацию, что и исходная схема, в которой действительные источники электродвижущей силы (далее – ЭДС) заменены их изображениями, а резисторы, индуктивности и конденсаторы соответственно на R , pL и $1/pC$, что сводит задачу формально к расчету резистивной схемы. В схеме появляются дополнительные источники ЭДС, равные $Li(-0)$ и $u_C(-0)/p$, включаемые последовательно с реактивными элементами цепи, начальные условия на которых отличаются от нулевых, а их направления выбираются следующим образом: дополнительный источник, учитывающий ненулевой ток в индуктивности направляется в соответствии с направлением этого тока, а дополнительный источник, учитывающий ненулевое напряжение на конденсаторе, направляется навстречу падению этого напряжения. После составления операторной схемы замещения любым известным методом расчета разветвленных электрических цепей следует определить изображение искомой функции. Все вышесказанное следует рассмотреть на конкретном примере. В качестве примера предлагается рассмотреть схему, изображенную на Рис. 1а.

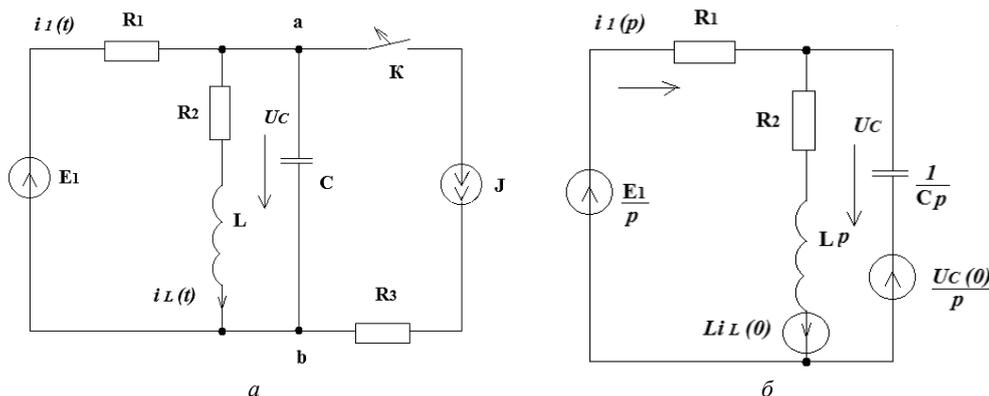


Рисунок 1. Расчетная схема и ее операторная схема замещения

Для этой схемы надо составить операторную схему замещения, если $R_1 = R_2 = R_3 = 5 \text{ Ом}$, $L = 0.1 \text{ Гн}$, $C = 100 \text{ мкФ}$, $E_1 = 100 \text{ В}$, $J = 10 \text{ А}$. Рассчитывая данную схему методом узловых потенциалов, можем определить начальные условия для реактивных элементов L и C :

$$u_{ab}(0) = \frac{\frac{E_1}{R_1} - J}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = 16.67 \text{ В}. \quad (1)$$

В соответствии с полученным результатом на схеме указаны направления напряжения на конденсаторе и тока в катушке индуктивности, который равен $i_L(0) = 3.33 \text{ А}$. На Рис. 1б показана операторная схема замещения для анализа переходных процессов после отключения источника тока. Любым известным методом можно предложить студентам самим определить выражение для изображения той функции, которую следует рассчитать по условию задачи. Оригинал функции обычно находится с помощью таблиц оригиналов и изображений, которые приводятся в справочниках, или с помощью компьютерных программ. При отсутствии справочников полученное изображение можно представить как сумму простых изображений, оригиналы которых хорошо известны, в некоторых случаях возможно использовать теорему разложения. На наш взгляд, на использовании теоремы разложения следует остановиться подробнее. В наиболее простой интерпретации теорема разложения формулируется следующим образом. Если изображение оригинала представляется в виде отношения двух полиномов

$$U(p) = \frac{F_1(p)}{F_2(p)} = \frac{a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_0}{b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_0}, \quad (2)$$

где a_k и b_i – вещественные коэффициенты, причем $F_1(p)$ и $F_2(p)$ не имеют общих корней; степень полинома числителя n меньше степени полинома m знаменателя, т.е. дробь изображения – рациональная, то в этом случае дробь можно представить в виде суммы

$$U(p) = \frac{F_1(p)}{F_2(p)} = \sum_{k=1}^m \frac{A_k}{p - p_k}, \quad (3)$$

где p_k – корни характеристического уравнения $F_2(p) = 0$. Коэффициенты разложения A_k определяются по формуле $A_k = \frac{F_1(p_k)}{F_2'(p_k)}$, где $F_2'(p_k) = \left. \frac{dF_2(p)}{dp} \right|_{p=p_k}$. С учетом того, что изображению $\frac{A_k}{p - p_k}$ соответствует оригинал $A_k e^{p_k t}$ и на основе свойства линейности преобразования Лапласа получаем оригинал изображения

$$u(t) = \sum_{k=1}^m \frac{F_1(p_k)}{F_2'(p_k)} e^{p_k t}. \quad (4)$$

Если один из корней уравнения $F_2(p) = 0$ равен нулю, т.е. $F_2(p) = p F_3(p)$, то оригинал находится по формуле

$$u(t) = \frac{F_1(0)}{F_2(0)} + \sum_{k=1}^n \frac{F_1(p_k)}{p_k F_3'(p_k)} e^{p_k t}. \quad (5)$$

Если уравнение $F_2(p) = 0$ имеет кратные корни, то оригинал находится по формуле

$$u(t) = \sum_{k=1}^n \frac{1}{(m_k - 1)!} \left(\frac{d^{m_k - 1}}{dp^{m_k - 1}} \frac{F_1(p)}{F_2(p)} e^{p_k t} \right)_{p=p_k}. \quad (6)$$

Если среди полюсов изображения (2) имеются комплексно-сопряженные корни $p_{1,2} = -\alpha \pm j\omega$, то получаются два сопряженных слагаемых, сумма которых равна удвоенному значению действительной части

$$u(t) = 2 \operatorname{Re} \left[\frac{F_1(p_1)}{F_2'(p_1)} e^{p_1 t} \right]. \quad (7)$$

Для лучшего понимания применения теоремы разложения для случая комплексно-сопряженных корней рекомендуем рассмотреть его отдельно для конкретного примера. Например, пусть комплексно-сопряженные корни равны $p_{1,2} = -\alpha \pm j\omega = -3 \pm j5$ изображения оригинала напряжения

$$U(p) = \frac{F_1(p)}{F_2(p)} = \frac{2p + 26}{p^2 + 6p + 34}. \text{ Тогда находим:}$$

$F_1(p_1) = 2(-3 + j5) + 26 = 20 + j10, F_2'(p) = 2p + 6, F_2'(p_1) = 2(-3 - j5) + 6 = j10$. Для нахождения оригинала напряжения воспользуемся формулой (5):

$$\begin{aligned} u(t) &= 2 \operatorname{Re} \left[\frac{F_1(p_1)}{F_2'(p_1)} e^{p_1 t} \right] = 2 \operatorname{Re} \left[\frac{20 + j10}{j10} e^{(-3 + j5)t} \right] = 2 \operatorname{Re} \left[(1 - j2) e^{-3t} e^{j5t} \right] = \\ &= 2e^{-3t} \operatorname{Re} [e^{j5t} - 2e^{j(5t+90^\circ)}] = 2e^{-3t} \cos 5t + 4e^{-3t} \sin 5t. \end{aligned}$$

После рассмотрения этой части материала рекомендуем по пунктам расписать студентам алгоритм операторного метода расчета акции сложной линейной электрической цепи. Следует обратить внимание студентов, что правильность промежуточных выкладок необходимо контролировать анализом размерности получаемых выражений и проще это делать, проводя решение в общем виде.

Расчет переходных процессов при импульсных воздействиях, как правило, базируется на использовании интегралов наложения. При этом сложное импульсное воздействие представляется в виде простейших импульсов, в виде полунепрерывных воздействий, области определения которых находятся в интервале от момента включения t_0 до бесконечности. Описываются они с помощью известных единичных функций, а их изображения – с использованием теоремы запаздывания. Например, треугольный импульс напряжения, представленный на Рис. 2а, может быть представлен в виде трех полунепрерывных воздействий (Рис. 2б):

$$u(t) = k \times 1(t) - (k(t - t_u) - U_m)1(t - t_u). \quad (8)$$

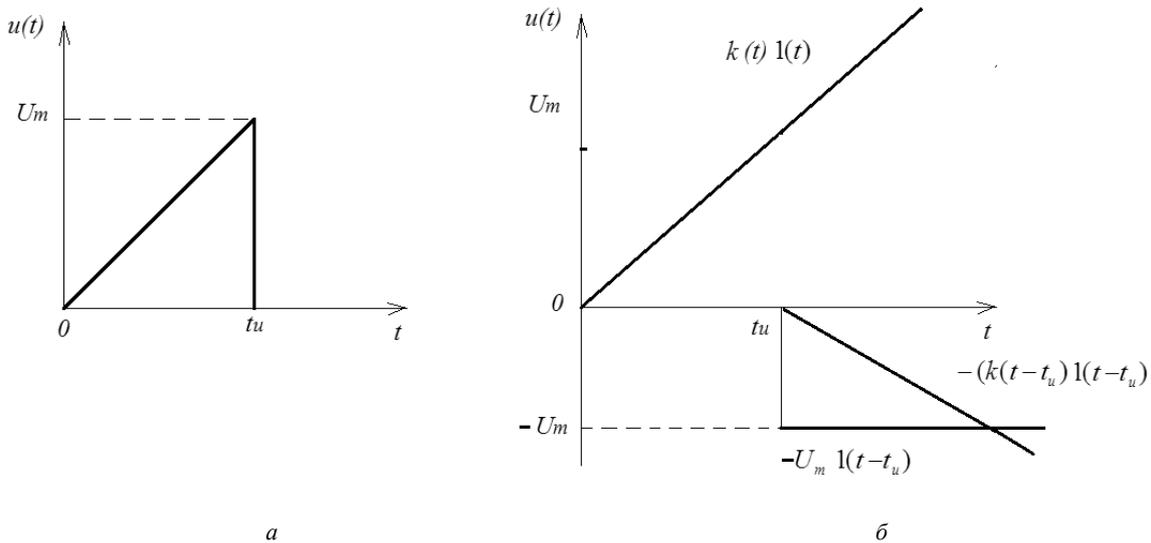


Рисунок 2. Представление треугольного импульса напряжения в виде трех воздействий

В соответствии с теоремой запаздывания изображение функции (8) имеет следующий вид:

$$U(p) = \frac{K}{p^2} - \frac{K}{p^2} e^{-pt_u} - \frac{U_m}{p} e^{-pt_u}. \quad (9)$$

В качестве самостоятельного задания студентам следует дать нахождение изображения прямоугольного импульса длительностью t_u и амплитудой E_0 . А затем определить изображение двух одинаковых прямоугольных импульсов с временным интервалом между фронтами T . Такой подход позволяет плавно перейти к анализу электрической цепи при периодических импульсных воздействиях. После обсуждения общих положений операторного метода студентам предлагается провести самостоятельно анализ изменения тока $i_L(t)$ в катушке индуктивности в линейной электрической схеме, показанной на Рис. 3а.

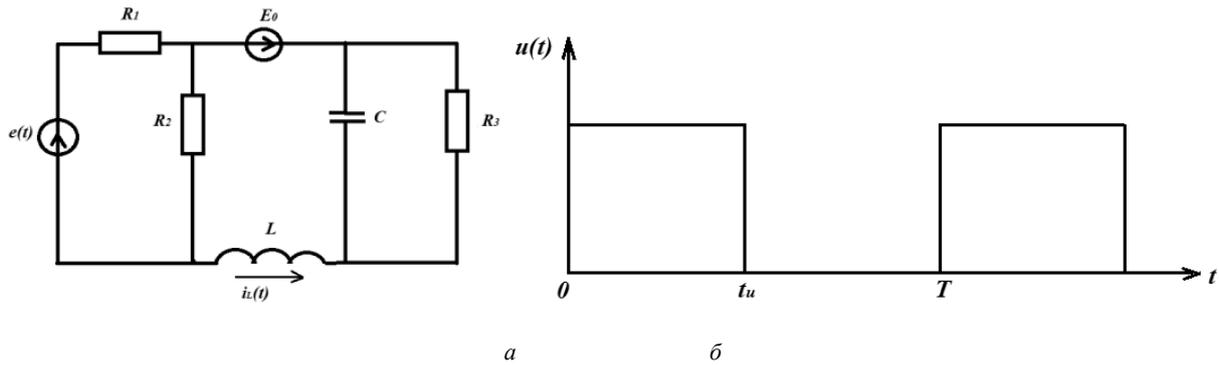


Рисунок 3. Расчетная схема

Закон изменения $e(t)$ имеет форму двух прямоугольных импульсов, каждый длительностью t_u с временным интервалом T (Рис. 3б). Значение постоянной ЭДС- E_0 (В). Студенты должны решить эту задачу в соответствии с указанными выше этапами.

1. Определяем начальные условия при $t = (-0)$, которые создаются источником постоянной ЭДС, так как при $t = 0$ источник импульсного напряжения отсутствует. Начальный ток в катушке индуктивности имеет значение $i_L(0) = \frac{E_0}{R_3 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}$ а начальное напряжение на конденсаторе $u_C(0) = i_L(0) \times R_3$.

2. Находим изображение закона изменения напряжения импульсного источника, который имеет вид двух идентичных прямоугольных импульсов. Первый прямоугольный импульс длительностью t_u и амплитудой E представляем разностью двух функций амплитудой $E \frac{E}{p} - \frac{E}{p} e^{pt_u}$. Второй импульс по форме идентичен первому, но появляется с задержкой по времени через T . Тогда по теореме запаздывания можно записать образ импульсного напряжения в целом:

$$E(p) = \frac{E}{p}(1 - e^{pt_u}) + \frac{E}{p}(1 - e^{pt_u})e^{pT}.$$

3. Составляем операторную схему замещения электрической цепи, которая показана на Рис. 4.

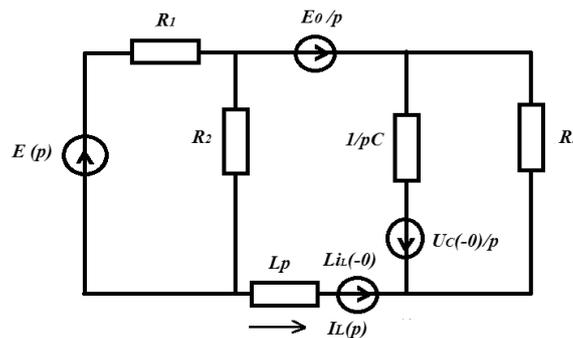


Рисунок 4. Операторная схема замещения электрической цепи

4. В операторной схеме замещения определяем выражение тока в ветви с катушкой индуктивности. Для этого можно использовать любые стандартные способы расчета линейных электрических цепей: метод контурных токов, узловых потенциалов, эквивалентного генератора, эквивалентных преобразований и т.д. Используя метод контурных токов, найдем выражение тока в ветви с катушкой индуктивности [3]:

$$I_L(p) = \frac{1}{p} i_L(-0) - \frac{ER_1 R_2}{R_1 R_2 + R_2} \frac{1}{L} \left[\left(\frac{1}{p} - \frac{1}{p} e^{-pt_u} \right) + \left(\frac{1}{p} - \frac{1}{p} e^{-pt_u} \right) e^{-pT} \right] \frac{\frac{1}{CR_3} + p}{p^2 + \delta\omega + \omega^2}, \tag{10}$$

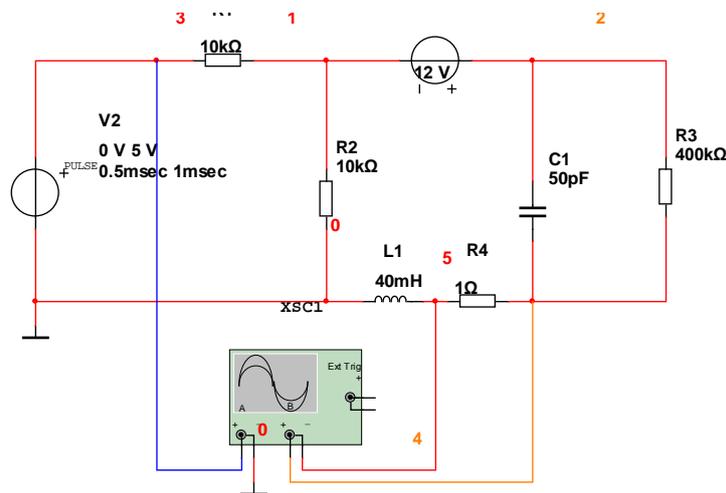
где $\omega_0^2 = \frac{1}{CL} \left(1 + \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2) R_3} \right)$; $\delta\omega = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 L} + \frac{1}{CR_3}$.

Из этих выражений видно, что резисторы влияют на собственную частоту, и она не совпадает с $\frac{1}{\sqrt{LC}}$.

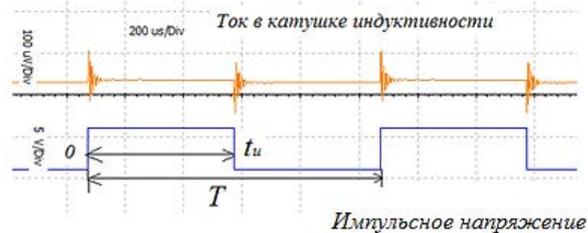
А величины $CR_3, L \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}$ выступают в роли составляющих постоянной времени. Корни полинома в знаменателе p_1, p_2 находятся путем решения квадратного уравнения: $p^2 + \delta\omega p + \omega_0^2 = 0$; $p_{1,2} = -\frac{\delta\omega}{2} \pm \sqrt{0,25\delta\omega^2 - \omega_0^2} = -\frac{\delta\omega}{2} \pm \Omega$. В зависимости от подкоренного выражения величина может быть действительным или мнимым числом, что будет влиять на характер переходного процесса. Таким образом, выражение (10) можем преобразовать к виду:

$$I_L(p) = \frac{1}{p} i_L(-0) - \frac{ER_1 R_2}{R_1 R_2 + R_2} \frac{1}{L} \frac{1}{CR_3} [(1 - e^{-p t_1}) + (1 - e^{-p t_2}) e^{-p T}] \frac{1 + CR_3 p}{p(p - p_1)(p - p_2)}. \quad (11)$$

Оригинал тока в ветви с катушкой индуктивности следует определять по вышеприведенной методике, и он будет зависеть от типа корней p_1 и p_2 . Итоговый результат может быть представлен в виде графика, полученного с помощью различных компьютерных программ. Однако лучше провести экспериментальное исследование в заданной электрической цепи с помощью компьютерной среды *Multisim 10.1*. На Рис. 5а приведена модель исследуемой цепи и осциллограмма тока в ветви с катушкой индуктивности (Рис. 5б). Все параметры цепи указаны на исследуемой цепи.



а



б

Рисунок 5. Модель исследуемой цепи и осциллограммы тока в катушке индуктивности

Как видно из осциллограммы тока в катушке индуктивности, ток имеет постоянную составляющую на всем временном интервале, на которую накладываются затухающие колебания. Колебания возникают последовательно в моменты скачка импульсного воздействия. Такую реакцию называют локальным переходным процессом. На исходной модели можно провести анализ изменения переходного процесса для разных параметров электрической цепи. Это поможет студентам научиться качественно анализировать переходные процессы в линейных электрических цепях. Такой подход проведения семинарского занятия проявляет у студентов интерес к изучаемой теме и позволяет контролировать полученные результаты.

Список источников

1. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учебник. М.: Гардарики, 2007. 701 с.
2. Соболев В. А. Изучение переходных процессов в линейных электрических цепях с применением компьютерного продукта *Multisim 10.1* // Альманах современной науки и образования. 2014. № 12 (77). С. 112-116.
3. Судаков В. Ф. Расчет электротехнических устройств операторным методом: учебное пособие по курсу «Электротехника» / под ред. В. Н. Енина. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. 27 с.

**STUDYING THE OPERATIONAL METHOD OF TRANSIENT PROCESSES
IN LINEAR ELECTRIC CIRCUITS AT OPTIONAL AND IMPULSE ACTIONS**

Sobolev Vladimir Afanas'evich, Ph. D. in Technical Sciences
Volchenskov Valerii Ivanovich, Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor
Bauman Moscow State Technical University (National Research University)
vasobolev@bmstu.ru

The article considers a study guide on solving problems with the operational method of transient processes in linear electric circuits at simultaneous constant and impulse actions. An example of the step-by-step calculation of a concrete problem is given. Special attention is paid to the expansion theorem use for the sought-for function image determining. The computer programme *Multisim 10.1* is proposed for independent control of the problem solution correctness.

Key words and phrases: forward and backward Laplace transformations; expansion theorem; calculation stages; impulse action image; operator equivalent scheme; inverse transform; computer programme *Multisim 10.1*.

УДК 373.5

Данная статья посвящается использованию системного подхода при анализе эффективности средств мотивации, применяемых на занятиях иностранного языка в Новосибирском государственном техническом университете. Дается определение системного подхода, описываются его основные принципы и использование этого методологического приема в педагогике высшей школы. Автор утверждает, что средства мотивации в учебном контексте представляют собой единую систему и могут быть исследованы с помощью системного подхода.

Ключевые слова и фразы: системный подход; шкала эффективности средств мотивации; метод групповых компетентных оценок; педагогическая деятельность; обучение иностранному языку в техническом университете; технология использования средств мотивации; языковая среда.

Теленгатор Анатолий Андреевич
Новосибирский государственный технический университет
telengator_a@mail.ru

**СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ МОТИВАЦИИ ПРИ ОБУЧЕНИИ
АНГЛИЙСКОМУ ЯЗЫКУ В РОССИЙСКОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

Системный подход – направление методологии исследования, в основе которого лежит рассмотрение объекта как целостного множества элементов в совокупности отношений и связей между ними, то есть рассмотрение объекта как системы [4, с. 87]. Данный подход охватывает любой род деятельности, выявляя закономерности и взаимосвязи с целью их более эффективного использования [3, с. 17]. Он имеет несколько основных принципов, к которым относятся следующие: целостность, структуризация, иерархичность строения, множественность и системность.

Системный подход представляет собой форму приложения теории познания и диалектики к исследованию процессов, происходящих в природе, обществе, мышлении. Его сущность состоит в реализации требований общей теории систем, согласно которой каждый объект в процессе его исследования должен рассматриваться как большая и сложная система и одновременно как элемент более общей системы [5, с. 5].

Практически все современные науки построены по системному принципу. Важным аспектом системного подхода является выработка нового принципа его использования – создание общей методологии к познанию, – для применения его к любому познаваемому материалу с гарантированной целью получить наиболее полное и целостное представление об этом материале [6, с. 42].

По мнению В. А. Лекторского и В. Н. Садовского, основоположниками системного подхода являются Л. фон Бергаланфи, А. А. Богданов, Г. А. Саймон, П. Друкер и А. Чандлер [2, с. 71].

Системный подход в педагогике высшей школы является одним из способов построения педагогической деятельности как целостного процесса, обеспечивающего эффективное взаимодействие всех его составляющих. Под системой обычно понимается сложный объект, многоуровневое образование, состоящее из множества элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом и образующих целостность. Сложнейшей