

Численное моделирование резонанса в колебательном контуре как пример межпредметных связей

Елена Юрьевна Михтеева, Александр Анатольевич Щедровский

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
197198 Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13;
e-mail: mikhteeva.elena@mail.ru, isan32@rambler.ru

В статье рассматривается роль физики, как базиса для изучения последующих технических дисциплин и дисциплин профессионального цикла в образовательной программе ВУЗа. Для освоения в будущем специальных дисциплин слушатели должны достичь определенных компетенций по физике, которые позволили бы использовать изучаемый материал для формирования знаний и умений по вновь осваиваемым техническим дисциплинам. На примере исследования колебательного контура показано значение межпредметных связей между дисциплинами физика и электротехника с использованием компьютерных технологий.

Ключевые слова: межпредметные связи, последовательный колебательный контур, резонансная частота, характеристическое сопротивление, добротность, амплитудно- и фазочастотные характеристики.

DOI: 10.54965/16093143_2025_31_4_146

Введение

В высшем техническом учебном заведении одна из приоритетных задач, требующих решения – это задача формирования у слушателей целостной системы профессиональных знаний, умений, отвечающих профилю соответствующей специальности. На начальном этапе обучения основная роль в решении этой задачи приходится на дисциплины естественнонаучного цикла, причем наиболее тесная межпредметная связь с техническими дисциплинами принадлежит физике [1, 2]. Для успешного освоения последующих технических дисциплин необходим общий уровень физического образования, включающий знание основных положений теории классической физики, методов теоретических и экспериментальных исследований в физике, знание общих физических принципов, лежащих в основе действия современной техники. При этом важно, чтобы изучаемый материал был профессионально-ориентированным [3, 4].

В данной работе предлагается в вычислительном эксперименте, варьируя одним из параметров колебательного контура и подаваемого напряжения, проследить за изменением большого числа резонансных характеристик системы, не используемых в общей физике.

Основной задачей, в соответствии с заявленной целью работы, является моделирование явлений резонанса в одиночном колебательном контуре для формирования

компетенций способствующих усвоению материала по дисциплине теоретические основы электротехники.

Научная новизна работы в проводимом в рамках курса физики вычислительном эксперименте по исследованию последовательного колебательного контура используются некоторые положения курса теоретических основ электротехники.

Теоретическая и практическая значимость результатов работы состоит в том, что предложенный подход позволяет исследовать характер зависимости вычисленных характеристик контура, решая ряд задач из электротехники. Требование целостности знаний при подготовке специалистов решается с помощью межпредметных связей путем переноса знаний, полученных в одном предмете (например, физике), используются и применяются в другом.

Результаты

Разные предметы могут быть связаны по содержанию изучаемого учебного материала, по формированию у слушателей общих навыков, например, таких как умение анализировать и решать задачи. Межпредметные связи помогают применять одинаковые **методы и средства обучения**. Перенос знаний с одного предмета на другой необходим для «сквозной» подготовки будущих специалистов. Частным случаем такого переноса может служить решение задач, почерпнутых из будущей профессиональной деятельности. Проводимый в рамках общего курса физики вычислительный эксперимент по исследованию последовательного колебательного контура является примером такого переноса. В нем используются некоторые положения курса теоретических основ электротехники. В основу вычислительного эксперимента взяты задачи по теории линейных электрических цепей [5]. Мы адаптировали задания, убрав из них лишнюю техническую информацию.

Исходные данные для расчетно-графической работы по моделированию резонанса в колебательном контуре задаются индивидуально. К электрической цепи подключено переменное напряжение U с угловой частотой ω . Контур состоит из последовательно соединенных конденсатора с емкостью C , катушки с индуктивностью L и резистора с сопротивлением R . В работе необходимо рассчитать резонансную частоту ω_0 , характеристическое R_c , реактивное X и полное Z сопротивления, затухание β , добротность Q и полосу пропускания S_a . Необходимо вычислить так же максимальный ток I_m , напряжение на катушке U_L и на конденсаторе U_C при резонансе, сдвиг фаз φ между приложенным напряжением и током, сдвиг фаз φ' между приложенным напряжением и напряжением на конденсаторе [6]. Требуется определить значения частот, при которых напряжения на конденсаторе и катушке максимальны. Для того, чтобы исследовать характер зависимости вычисленных характеристик контура от его параметров вычисления проводят для трех различных значений индуктивности (емкости, сопротивления или напряжения, пода-

ваемого в контур для получения вынужденных колебаний – в соответствии с индивидуальным заданием). Во второй части работы необходимо построить амплитудно-частотные (АЧХ) и фазочастотные (ФЧХ) характеристики напряжения и тока на конденсаторе в зависимости от относительной расстройки.

Полоса пропускания $S_a = \omega_0 / 2\pi Q_0$, абсолютная расстройка $\Delta\omega = \omega - \omega_0$, относительная расстройка (отношение расстройки частоты $\Delta\omega$ питающего генератора к резонансной частоте ω_0) $E_0 = \Delta\omega / \omega_0$, обобщенная расстройка $E = 2Q \cdot \frac{\Delta\omega}{\omega_0}$ – эти величины необходимо рассчитать при решении задачи. Таким образом, первокурсники знакомятся в процессе выполнения расчетно-графической работы с новыми величинами, понятиями, которые не используются в курсе общей физики.

Рассчитывают характеристики контура через обобщенную расстройку E . Например, реактивное и полное сопротивление связаны с обобщенной расстройкой соотношениями:

$$X = E \cdot R; \quad Z = R\sqrt{1 + E^2};$$

Расчет амплитудно-частотных характеристик тока и напряжения на конденсаторе в зависимости от относительной расстройки проводится на основании приближенных формул:

$$I \approx \frac{I_m}{\sqrt{1 + \left(2 \cdot Q \cdot \frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right)^2}}; \quad U_c \approx \frac{U \cdot Q}{\sqrt{1 + \left(2 \cdot Q \cdot \frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right)^2}};$$

а сдвиг фаз

$$\varphi \approx \arctg 2 \cdot Q \cdot \Delta\omega / \omega_0; \quad \varphi' \approx \arctg 2 \cdot Q \cdot \frac{\Delta\omega}{\omega_0} + \pi / 2.$$

Данная работа может быть выполнена с помощью компьютера. Программа, разработанная авторами, позволяет рассчитать характеристики контура для трехкратного изменения одного из параметров контура. В этом случае акцент делается на исследовательской деятельности, основное внимание уделяется вопросам наглядно – графического представления полученных результатов расчетов. Кроме того, компьютер позволяет решать задачу в динамике и исследовать, как колебательный контур отзывается на изменение входных характеристик [7]. Для моделирования явлений резонанса в одиночном колебательном контуре строят графики зависимостей всех характеристик контура от варьируемого параметра, строят векторные диаграммы. Можно, изменяя частоту подаваемого переменного напряжения проследить за изменением амплитуды напряжения и тока, а также за фазовыми изменениями в электрической цепи, чтобы сделать вывод о наиболее оптимальном режиме работы последовательного колебательного контура. Таким образом, в работе учитывается, что будущий инженер должен будет обладать сильными

аналитическими навыками, чтобы правильно интерпретировать визуальную информацию. Номограммы, графики и диаграммы станут основными инструментами для принятия обоснованных решений.

Авторами разработаны методические рекомендации по выполнению данной работы. Для каждого слушателя составлены индивидуальные задания. Работа рассчитана на два часа аудиторных занятий и на самостоятельное ее продолжение. Для случая, когда невозможно использование компьютера во время занятий, имеются распечатки результатов расчетов всех вариантов заданий. Имея таблицы рассчитанных величин, слушатели могут на самоподготовке строить графики с помощью компьютера, используя программу Excel. В качестве примера в таблице 1 приведены вычисленные характеристики для одного из вариантов индивидуального задания.

Таблица 1

Вычисленные характеристики

Характеристики	1-й контур	2-й контур	3-й контур
$\omega_0, \text{с}^{-1}$	22360	15811	12909
$R_C, \text{Ом}$	223,6	316,2	387
Q	4,5	6,3	7,75
$S_a, \text{с}^{-1}$	0,8	0,4	0,27
A	$2,25 \cdot 10^{-1}$	$1,6 \cdot 10^{-1}$	$1,29 \cdot 10^{-1}$
$U_0, \text{В}$	44,7	63,25	77,46
$\Delta\omega, \text{с}^{-1}$	39,3	6588,6	9490
F_0	$1,8 \cdot 10^{-3}$	0,42	0,74
E	$1,6 \cdot 10^{-2}$	5,3	1,14
$X, \text{Ом}$	0,79	263	569
$Z, \text{Ом}$	50,01	268	571
$I_\omega, \text{А}$	0,2	0,04	0,017
$U_{\max}, \text{В}$	45,0	63,44	77,62
$I_{\max}, \text{А}$	0,2	0,2	0,2
$\omega_L, \text{с}^{-1}$	22645	15911	12964
$\omega_C, \text{с}^{-1}$	22079	15712	12856
$\varphi, \text{град}$	0,9	79,3	85,0
$\varphi_1, \text{град}$	90,9	169,3	175

Необходимо построить графики зависимостей всех характеристик контура от варьируемого параметра. По двум последним строчкам таблицы 1 строятся векторные диаграммы. На рисунке 1 построены векторные диаграммы для представленного варианта.

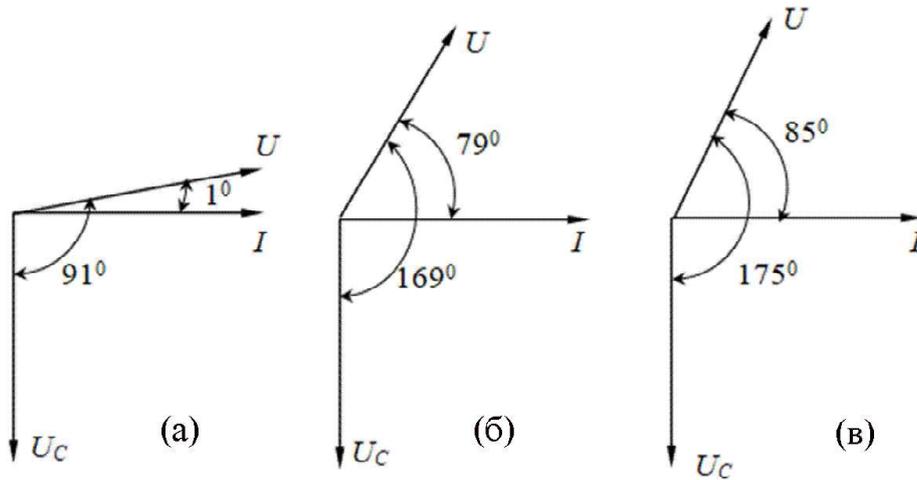


Рисунок 1. Векторные диаграммы для колебательных контуров с разными значениями индуктивности: (а) – $L_1 = 10$ мГн, (б) – $L_2 = 20$ мГн, (в) – $L_3 = 30$ мГн.

На рисунках 1 и 2 изображены в качестве примера выполнения работы графики, которые получаются при построении АЧХ и ФЧХ при различных значениях индуктивности контура (добротности $Q_1 = 100$, $Q_2 = 10$, $Q_3 = 31,6$).

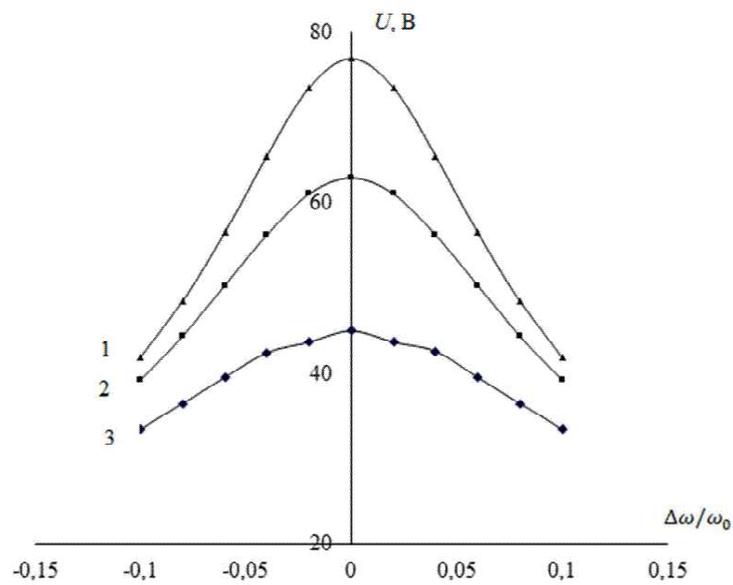


Рисунок 2. Зависимость амплитудно-частотных характеристик от добротности:

1 – $Q_1 = 100$, 2 – $Q_2 = 10$, 3 – $Q_3 = 31,6$.

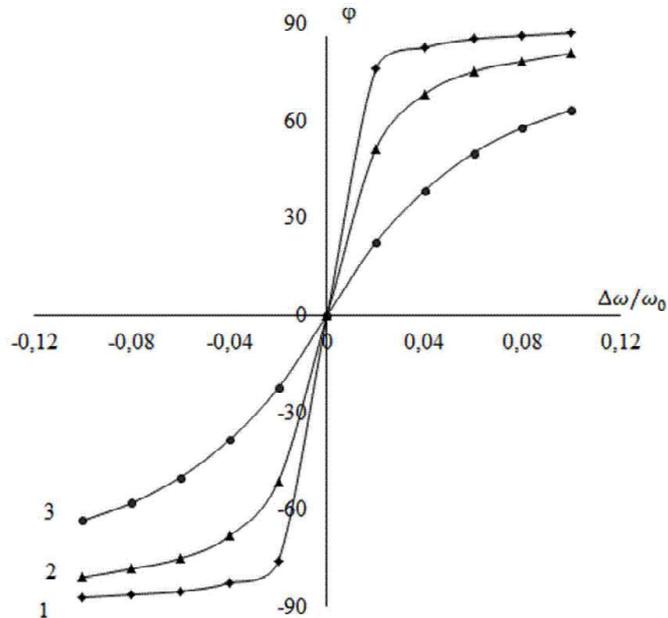


Рисунок 3. Зависимость фазочастотных характеристик от добротности:

$$1 - Q_1 = 100, 2 - Q_2 = 10, 3 - Q_3 = 31,6.$$

Таким образом, при выполнении такого комплексного задания, слушатели одновременно развивают практические навыки по изучению резонанса в последовательном колебательном контуре и знакомятся с теоретическими основами электрических цепей, а так же работают с компьютером, закрепляя знания, полученные при изучении курса информатики.

Заключение

В работе представлено численное моделирование влияния изменения параметров одиночного колебательного контура на его резонансные характеристики.

Применение компьютерных технологий является оптимальным подходом к выполнению расчетно-графических заданий в соответствии с программой курса физики в техническом ВУЗе. Для численного моделирования следует выбирать для решения прикладные задачи. Технические подробности и тонкости в них желательно не учитывать, тогда можно сделать акцент на физическом описании поведения системы. После введения необходимых упрощений, такие адаптированные задачи носят вычислительный характер, отодвигая фундаментальные теоретические вопросы на второй план. Таким образом, решается задача межпредметных связей со специальными дисциплинами.

При проведении такого вычислительного эксперимента первокурсники, изучающие физику и информатику, самостоятельно ищут способы применения общенаучных знаний, которые они получают, в своей будущей профессиональной деятельности. Наш опыт показал, что по мере того, как студенты лучше осваивают общенаучные дисциплины, у них растет интерес к специализированной литературе, поскольку они понимают, как базовые навыки, отработанные на общих дисциплинах, напрямую применяются в их будущей профессии.

Литература

1. *Крайнева С.В., Шефер О.Р., Rogozin С.А.* Междисциплинарная связь физики и электротехники при обучении студентов института путей сообщения // Вестник Челябинского государственного педагогического университета. – 2020. – № 2 (155). – С. 113-130.
2. *Смотрова И.С., Косточакова Р.А.* Повышение эффективности обучения через межпредметные связи физики и электротехники // Вестник науки и образования. – 2019. – Вып. 17 (71). – С. 56-59.
3. *Гуринович О.В.* Роль межпредметных связей при обучении бакалавров физике и электротехнике // Наука и современность. – 2016. – Вып. 3 (9). – С. 66-77.
4. *Рожкова О.В., Собачкина В.А.* Реализация межпредметных связей физики и профессиональных дисциплин с использованием компетентностно-ориентированных заданий // Вестник белгородского института развития образования. – 2018. – Вып. 1 (7). – С. 25-29.
5. *Шебес М.Р.* Задачник по теории линейных электрических цепей. – М.: Высшая школа, 1982. – 450 с.
6. *Михтеева Е.Ю., Дьяченко Н.В., Скобликова А.Л., Хлябич П.П., Яковлева Т.Ю.* Вычислительный эксперимент по исследованию колебательного контура при дистанционном обучении физике. Сб. материалов XXV Международной научно-методической конференции «Современное образование: содержание, технологии, качество». – СПбГЭТУ «ЛЭТИ», СПб, 2020. – Т. 1. – С. 327-330.
7. *Михтеева Е.Ю., Яковлева Т.Ю., Хлябич П.П.* Вычислительный эксперимент в курсе общей физики. Сб. материалов XXV Международной научно-методической конференции «Современное образование: содержание, технологии, качество». – СПбГЭТУ «ЛЭТИ», СПб, 2019. – С. 323-325.

Numerical Simulation of Resonance in an Oscillatory Circuit as an Example of Interdisciplinary Connections

Elena Yuryevna Mikhteeva,
Alexander Anatolyevich Shchedrovsky

*Military Aerospace Academy named after A.F. Mozhaisky,
197198 Russia, St. Petersburg, Zhdanovskaya str.,13;
e-mail: mikhteeva.elena@mail.ru, isan32@rambler.ru*

Received December 2, 2025

PACS 07.07.Df

The article examines the role of physics as a basis for the study of subsequent technical disciplines and disciplines of the professional cycle in the educational program of the University. In order to master special disciplines in the future, students must achieve certain competencies in physics that would allow them to use the studied material to form knowledge and skills in newly mastered technical disciplines. Using the example of an oscillatory circuit study, the importance of interdisciplinary connections between the disciplines of physics and electrical engineering using computer technology is shown.

Keywords: interdisciplinary connections, sequential oscillatory circuit, resonant frequency, characteristic resistance, Q factor, amplitude and phase frequency characteristics.

References

1. *Kraïneva S.V., Schaefer O.R., Rogozin S.A.* Interdisciplinary connection of physics and electrical engineering in teaching students at the Institute of Railway Communications // Bulletin of the Chelyabinsk State Pedagogical University. – 2020. – № 2 (155). – Pp. 113-130.
2. *Smotrova I.S., Kostochakova R.A.* Improving the effectiveness of education through interdisciplinary connections of physics and electrical engineering // Bulletin of Science and Education. – 2019. – Issue 17 (71). – Pp. 56-59.
3. *Gurinovich O.V.* The role of interdisciplinary connections in teaching bachelors in physics and electrical engineering // Science and modernity. – 2016. – Issue 3 (9). – Pp. 66-77.
4. *Rozhkova O.V., Sobachkina V.A.* Implementation of interdisciplinary relations between physics and professional disciplines using competence-oriented tasks // Bulletin of the Belgorod Institute of Educational Development. – 2018. – Issue 1 (7). – Pp. 25-29.

5. *Shebes M.R.* A problem book on the theory of linear electrical circuits. – Moscow: Higher School, 1982. – 450 p.
6. *Mikhteeva E.Y., Dyachenko N.V., Skoblikova A.L., Khlyabich P.P., Yakovleva T.Y.* Computational experiment on the study of an oscillatory circuit in distance learning physics. Collection of materials of the XXV International Scientific and Methodological Conference «Modern Education: content, technology, quality». – SPbSETU «LETI», St. Petersburg, 2020. – Vol. 1. – Pp. 327-330.
7. *Mikhteeva E.Yu., Yakovleva T.Yu., Khlyabich P.P.* Computational experiment in the course of general physics. Collection of materials of the XXV International Scientific and Methodological Conference «Modern education: content, technology, quality». – SPbSETU «LETI», St. Petersburg, 2019. – Pp. 323-325.