МРНТИ 29.03.77; 14.35.09 https://doi.org/10.26577/RCPh209941026

Д.М. Казахбаева[1], И.Ж. Есенгабылов[1*], Д.Е. Куатбаева[1],
А.С. Сандибаева[2], Ж.Г. Джумамухамбетов[2],
И.Е. Алдаберген[3], Г.Н. Сембаева[3]
[1]Жетысуский университет им. И.Жансугурова, Талдыкорган, Казахстан
[2]Атырауский университет им. Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан
[3]Карагандинский технический университет им. А.Сагинова, Караганда, Казахстан
*e-mail: e_ilias@mail.ru

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

В статье рассматриваются возможности применения методов компьютерного моделирования при изучении электрических колебаний в курсе общей физики. Цель работы заключается в разработке и использовании системы вычислительных экспериментов, позволяющей исследовать динамические процессы в колебательном контуре и цепях переменного тока, а также визуализировать их основные физические характеристики. Для реализации предложенного подхода использована программная среда Mathcad 15, обеспечивающая численное решение дифференциальных уравнений и графическое представление полученных результатов. Рассмотрены свободные и вынужденные колебательные процессы, проанализированы временные зависимости электрического заряда, силы тока и напряжения при различных условиях функционирования электрических цепей. На основе математических моделей построены графики изменения исследуемых величин и фазовые портреты, позволяющие выявить особенности динамики системы и взаимосвязи между её параметрами. Отдельное внимание уделено анализу гармонических и негармонических периодических режимов, а также интерпретации соответствующих математических зависимостей с физической точки зрения. Предложенные вычислительные эксперименты дополняют традиционные теоретические и лабораторные методы исследования, создавая возможности для наглядного представления физических процессов и сопоставления аналитических и численных результатов. Применение разработанного подхода в образовательном процессе способствует формированию навыков математического моделирования, анализа графических данных и интерпретации результатов расчётов, а также укреплению междисциплинарных связей между физикой, математикой и информатикой.

Ключевые слова: электрические колебания, численные методы, Mathcad 15, вычислительные эксперименты, фазовые портреты, гармонические и негармонические периодические колебания.

Д.М. Қазақбаева[1], І.Ж. Есенғабылов[1*], Д.Е. Қуатбаева[1], А.С. Сәндібаева[2],
Ж.Ғ. Жұмамухамбетов[2], І.Е. Алдаберген[3], Г.Н. Сембаева[3]
[1]І.Жансүгіров атындағы Жетісу техникалық университеті, Талдықорған, Қазақстан
[2]Халел Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, Атырау, Казахстан
[3]А. Сагинов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Караганда, Казахстан
*e-mail: e_ilias@mail.ru

Электрлік тербелістерді зерттеуге арналған есептеу эксперименттері

Мақалада жалпы физика курсында электрлік тербелістерді оқыту барысында компьютерлік модельдеу әдістерін қолдану мүмкіндіктері қарастырылады. Зерттеудің мақсаты тербелмелі контур мен айнымалы ток тізбектеріндегі динамикалық процестерді зерттеуге, сондай-ақ олардың негізгі физикалық сипаттамаларын көрнекі түрде көрсетуге

 © 2026 Al-Farabi Kazakh National University

мүмкіндік беретін есептеу эксперименттері жүйесін әзірлеу және қолдану болып табылады. Ұсынылған тәсілді жүзеге асыру үшін дифференциалдық теңдеулерді сандық әдістермен шешуге және алынған нәтижелерді графикалық түрде бейнелеуге мүмкіндік беретін Mathcad 15 бағдарламалық ортасы пайдаланылды. Еркін және еріксіз тербеліс процестері қарастырылып, электр тізбектерінің әртүрлі жұмыс жағдайларында электр зарядының, ток күшінің және кернеудің уақытқа тәуелді өзгерістері талданды. Математикалық модельдер негізінде зерттелетін физикалық шамалардың уақыт бойынша өзгеру графиктері мен фазалық портреттері тұрғызылып, жүйе динамикасының ерекшеліктері және оның параметрлері арасындағы өзара байланыстар анықталды. Гармониялық және периодтық гармоникалық емес тербеліс режимдерін талдауға, сондай-ақ сәйкес математикалық тәуелділіктерді физикалық тұрғыдан түсіндіруге ерекше назар аударылды. Ұсынылған есептеу эксперименттері дәстүрлі теориялық және зертханалық зерттеу әдістерін толықтырып, физикалық процестерді көрнекі түрде көрсетуге және аналитикалық әрі сандық нәтижелерді салыстыруға мүмкіндік береді. Әзірленген тәсілді оқу процесінде қолдану математикалық модельдеу, графикалық деректерді талдау және есептеу нәтижелерін түсіндіру дағдыларын қалыптастыруға, сонымен қатар физика, математика және информатика пәндері арасындағы пәнаралық байланыстарды нығайтуға ықпал етеді.

Түйін сөздер: электрлік тербелістер, сандық әдістер, Mathcad 15, есептеу эксперименттері, фазалық диаграммалар, гармониялық және периодтық гармоникалық емес тербелістер.

D.M. Kazakhbayeva[1], I.Zh. Yessengabylov[1*], D.E. Kuatbayeva[1], A. Sandibayeva[2],
Zh.G. Dzhumamukhambetov[2], I.E. Aldabergen[3], G.N. Sembayeva[3]
[1]Zhetysu University named after I. Zhansugurov, Taldykorgan, Kazakhstan
[2]H.Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan
[3]A.Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan
*e-mail: e_ilias@mail.ru

Computational experiments on the study of electrical oscillations

This paper explores the potential of computer modeling methods for studying electrical oscillations in a general physics course. The aim of the study is to develop and implement a system of computational experiments designed to investigate dynamic processes in oscillatory circuits and alternating current circuits, as well as to visualize their fundamental physical characteristics. The proposed approach is implemented using Mathcad 15, which provides numerical solutions to differential equations and graphical representations of the obtained results. Free and forced oscillations are examined, with particular attention to the time-dependent behavior of electric charge, current, and voltage under different circuit operating conditions. Based on mathematical models, time-domain plots and phase portraits are constructed to illustrate the dynamic behavior of the systems and the relationships between their physical parameters. Special emphasis is placed on the analysis of harmonic and non-harmonic periodic oscillatory regimes and the physical interpretation of the corresponding mathematical relationships. The proposed computational experiments complement conventional theoretical and laboratory methods by providing opportunities to visualize physical processes and compare analytical and numerical results. The integration of this approach into physics education is intended to support the development of mathematical modeling skills, graphical data analysis, and the interpretation of computational results. Furthermore, it promotes interdisciplinary connections among physics, mathematics, and computer science, contributing to a more integrated understanding of oscillatory phenomena and their mathematical descriptions.

Keywords: electrical oscillations, numerical methods, Mathcad 15, computational experiments, phase diagrams, harmonic and non-harmonic periodic oscillations.

Введение

Электрические колебания нашли широкое применение в науке и технике. Большинство вопросов электротехники, радиотехники, большой части электроники и т.д. описываются на законах электрических колебаний. Известно, что проблемы электрических колебаний были всесторонне исследованы теоретически и экспериментально. Однако вычислительные (компьютерные) эксперименты, проводимые с использованием компьютерных технологий, до сих пор недостаточно применяются при изучении электрических колебаний по общему курсу физики.

В условиях широкого внедрения компьютерных технологий в методологию науки появился новый метод исследования — вычислительные эксперименты [1-5]. Главная цель использования вычислительных экспериментов в исследованиях заключается в получении общей информации об изучаемом объекте в случаях, когда исследовательские инструменты недостаточны или отсутствуют возможности для создания специального устройства для проведения экспериментов. К преимуществам проведения вычислительных экспериментов при анализе электрических колебаний относятся следующие:

1. При проведении экспериментов с использованием физических приборов, необходимых для изучения электрических колебательных процессов экспериментальная работа может охватывать не все факторы. Вычислительные эксперименты позволяют получать наглядные динамические иллюстрации физических явлений, воспроизводить их тонкие детали, которые часто ускользают при наблюдении реальных явлений и при использовании натурных экспериментов. В условиях использования вычислительных экспериментов реализуются математические и компьютерные моделирования, которые упрощают сложные стороны физического объекта или явления.

2. В большинстве случаев при использовании натурных физических экспериментов для исследования невозможно остановить физический эксперимент. В условиях применения вычислительных экспериментв можно приостановить эксперимент и проанализировать полученные научные результаты. Кроме того, можно повторять вычислительный эксперимент несколько раз. При этом исследователь не испытывает материальных затрат [6-13].

3. С помощью вычислительных экспериментов можно найти фазовый портрет, представляющий зависимость между динамическими параметрами физического явления. Фазовый портрет – это один из основных инструментов анализа динамических физических систем, позволяющих визуализировать поведение изучаемого объекта.

Научная новизна этой работы заключается в следующем: а) представлена система вычислительных экспериментов, которые обеспечивают компьютерную визуализацию электрических колебаний в виде графиков и анимации; б) при выполнении этих экспериментов у обучающихся развиваются вычислительные мышления и формируются у них навыки и умения по программированию в среде Mathcad 15; в) эти вычислительные эксперименты способствуют целостному и детальному изучению сложных электрических процессов и явлений.

Метод исследования

В исследовании использованы методы математического и компьютерного моделирования, численного решения дифференциальных уравнений и графического анализа динамических процессов в электрических цепях. В качестве объектов моделирования рассмотрены последовательный RLC-контур со свободными электрическими колебаниями и электрическая цепь с внешним источником периодической электродвижущей силы, обеспечивающим возникновение вынужденных колебаний.

Вычислительные эксперименты проводились в программной среде Mathcad 15. Математическую основу моделирования составили дифференциальные уравнения второго порядка, описывающие изменение электрического заряда во времени. Для получения численных решений использовалась встроенная функция Odesolve. Значения параметров электрических цепей и начальные условия задавались в соответствии с условиями каждого эксперимента.

Методика исследования предусматривала последовательное изменение активного сопротивления контура и частоты внешнего периодического воздействия при фиксированных значениях индуктивности и ёмкости. Для анализа результатов строились временные зависимости электрического заряда и фазовые портреты в координатах «заряд – сила тока».

Результаты и обсуждение

Изучение свободных электрических колебаний. Рассматривается электрическую цепь, которая состоит из конденсатора с емкостью C, катушки с индуктивностью L и резистора с сопротивлением R (рис. 1). Сопротивление катушки и проводников считается равными нулю. Такая электрическая цепь называется колебательным контуром или гармоническим осциллятором.

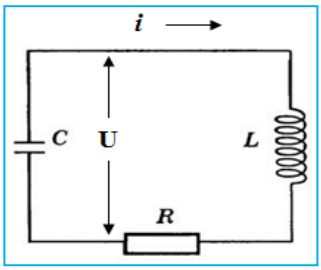


Рисунок 1 – Общий вид колебательного контура.

Пусть заряд в конденсаторе в момент времени t, равен $q(t)$, а напряжение на пластинах конденсатора равно $u(t)$, ток в резисторе и катушке равен $i(t)$. Считается, что верхняя пластина конденсатора заряжена положительно, тогда направление тока будет как на рисунке 1. Учитывая, что изменение заряда на конденсаторе является отрицательной величиной (заряд конденсатора в начале уменьшается), можно записать следующие уравнения:

$$i(t) = -\frac{dq}{dt},\ \ q(t) = Cu(t), u(t) = L\frac{di}{dt} + Ri(t).$$

Из этих уравнений получится:

$$u(t) = LC\frac{d^2u}{dt^2} = -RC\frac{du}{dt},$$

и с использованием уравнения $q(t) = Cu(t)$, получено:

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{R}{L}\frac{dq}{dt} + \frac{1}{LC}q = 0. \qquad (1)$$

Уравнение (1) называется дифференциальным уравнением второго порядка. Коэффициенты в уравнении постоянные величины. Данное уравнение описывает изменение заряда от времени в гармоническом осцилляторе. Далее найдены решения уравнения (1) путем проведения вычислительных экспериментов с использованием пакета прикладных программ Mathcad 15 [14-19]. Mathcad 15 предоставляет решения дифференциальных уравнений только в численном и графическом виде.

1 эксперимент. Используя ползунок (Slider) (рис.2) из элементов управления ППП Mathcad и с помощью этого пакета нужно создать программу при условии $R = 0$ для колебательного контура и найти графическое и численное решения дифференциального уравнения (1). Далее нужно построить фазовую диаграмму, представляющую собой зависимость между зарядом $q(t)$ и током $i(t)$ в контуре. Начальные параметры контура: $R = 0$; $L = 1$ Гн; $C = 1$ Ф; $q(0) = 1$ Кл; $q'(0) = 0$.



Рисунок 2 – Вид ползунка Slider в Mathcad

Решение: С помощью ползунка получено активное сопротивление, равное $R = 0$. При условиях $R = 0$, $L = 1$ Гн, $C = 1$ Ф, заряд в конденсаторе колебательного контура во времени меняется по гармоническому закону (график красного цвета на рис.3). На основе эксперимента получена фазовая диаграмма, или графическая интерпретация зависимости между зарядом $q(t)$ и током $i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$ в контуре (график синего цвета рис.3). Получен график в виде эллипса. Этот факт еще раз доказывает, что в колебательном контуре возникают гармонические электрические колебания.

Фазовый портрет или фазовая траектория электрических колебаний представляет собой графическое отображение состояния системы в каждый момент времени. В этой диаграмме координаты каждой точки графика представляют собой две переменные, характеризующие состояние системы. Например, координата точки графика на вертикальной оси может быть текущим значением заряда в конденсаторе, а на горизонтальной оси – текущим значение тока в катушке.

На рисунке 3 в виде таблицы приведены численное решение дифференциального уравнения (1). Здесь указаны значение заряда через каждый 0,1 с.

2 эксперимент. При выполнении условия $R \neq 0$ для колебательного контура нужно найти графическое решение дифференциального уравнения (1) и построить фазовый портрет. Параметры контура: $R =$ 0,1 Ом; $L =$ 1 Гн; $C = 1$Ф; $q(0) = 1$ Кл; $q'(0) = 0$.

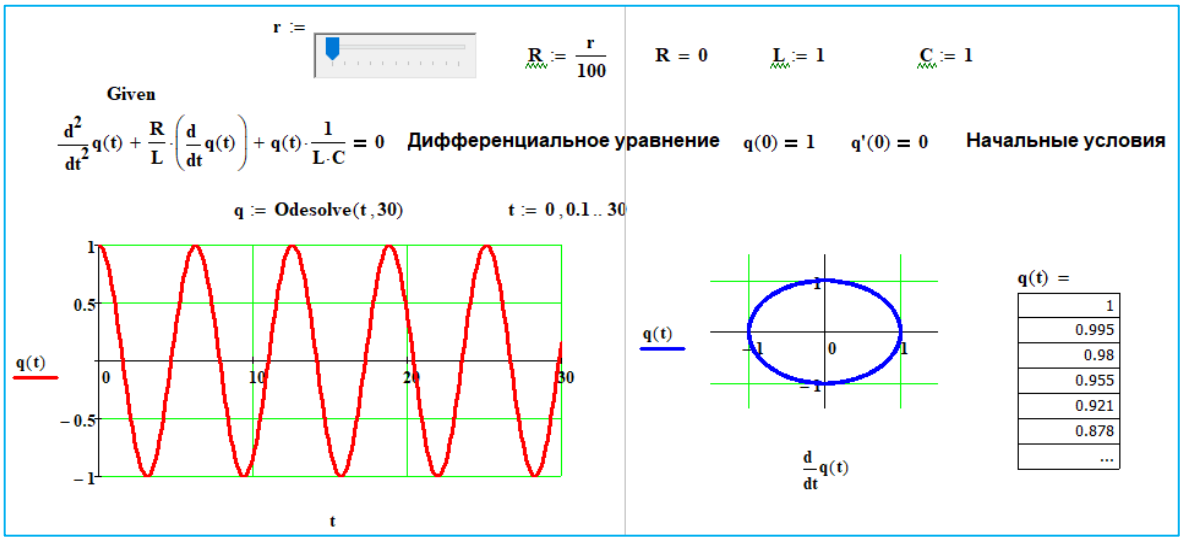


Рисунок 3 – Графические и численное решение (1) при $R = 0$.

Решение: С помощью ползунка выбирается активное сопротивление, равное R = 0,1 Ом. Заряд в конденсаторе колебательного контура с течением времени уменьшается по закону затухающих колебаний (график красного цвета рис.4). С помощью вычислительного эксперимента получен фазовый портрет зависимости между зарядом $q(t)$ и током $i(t)$ в контуре (график синего цвета рис.4). Спиралевидный график показывает, что заряд в конденсаторе и ток в катушке стремятся к нулю.

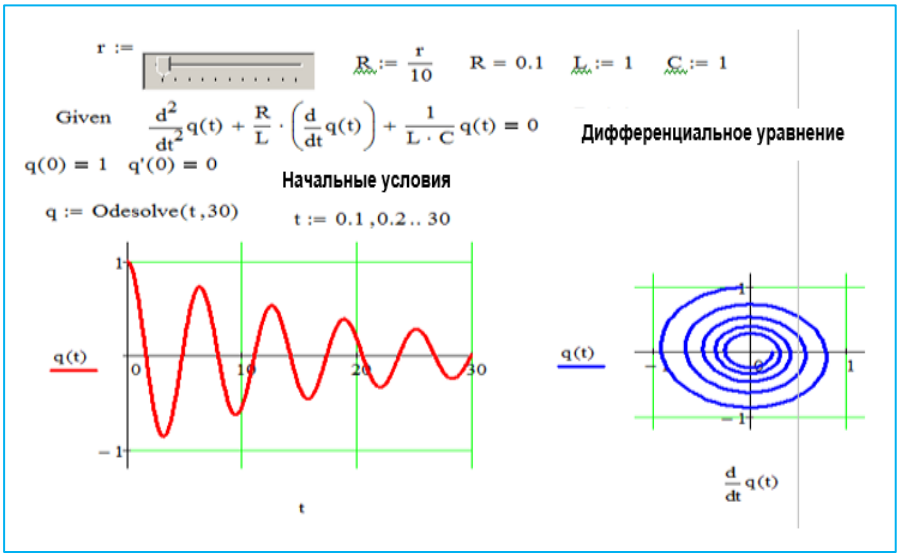


Рисунок 4 – Графические решения (1) при $R \neq 0$.

3 эксперимент. Необходимо создать условия, при котором в контуре активное сопротивление сто раза выше, чем в предыдущем эксперименте. Нужно найти графическое решение дифференциального уравнения (1), построить фазовый портрет, представляющий зависимость между зарядом $q(t)$и током $i(t)$ в контуре. Параметры контура: $R = 10$ Ом; $L = 1$ Гн; $C = 1$ Ф; $q(0) = 1$ Кл; $q'(0) = 0$.

Решение: В этих условиях в контуре не происходят электрические колебания. Заряд в конденсаторе с течением времени уменьшится до нуля (график красного цвета на рис.5). Этот процесс похож с разрядкой конденсатора через резистор. Это явление называется непериодическим. Фазовый портрет этого движения представлены в виде линий (синий линейный график).

Вычислительные эксперименты для изучения вынужденных электрических колебаний Известно, что катушка и проводники в колебательном контуре всегда имеют активное сопротивление. По этой причине свободные электрические колебания, возникающие в нем,

затухают. Если подключается к колебательному контуру внешний периодически действующий Э.Д.С. по закону $\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \cos\omega t$, то получим электрические колебания. Электрические колебания, возникающие в контуре, называются вынужденными колебаниями (рис 6).

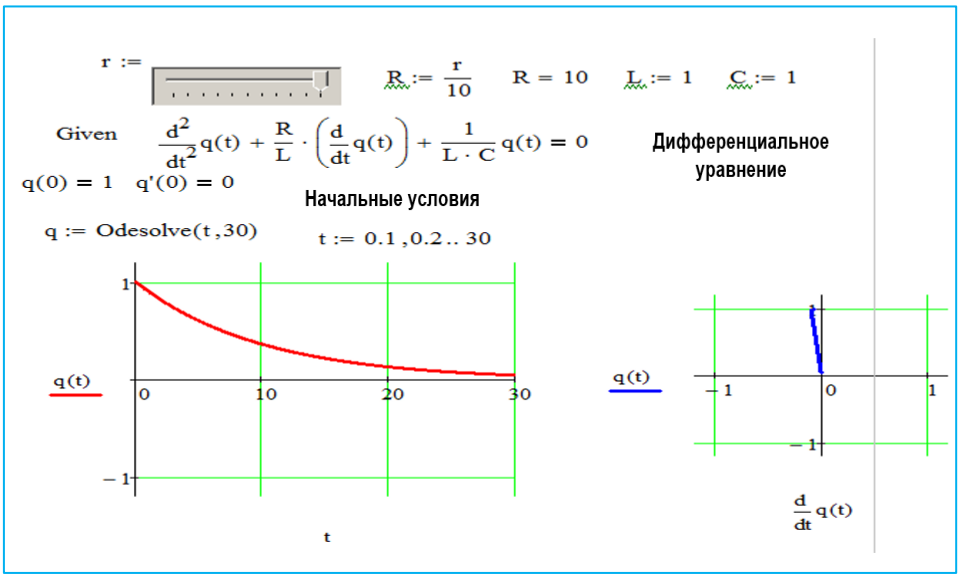


Рисунок 5 – Графические решения уравнения (1) при условии, когда контур имеет большое активное сопротивление.

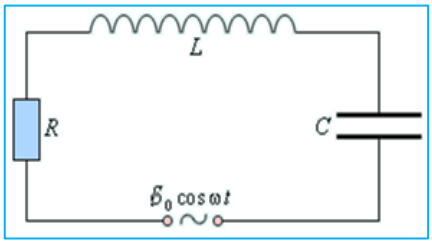


Рисунок 6 – Электрическая цепь с вынужденными электрическими колебаниями.

Заряд в конденсаторе и ток в цепи меняются с течением времени по гармоническим закономерностям. Следующее дифференциальное уравнение получено на основе анализа электрической цепи с вынужденными электрическими колебаниями, где представлено математическая модель изменения заряда в цепи с течением времени

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{R}{L}\frac{dq}{dt} + \frac{1}{LC}q = \varepsilon_0 \cos\omega t = \frac{q_0}{C}\cos\omega t\,. \quad (2)$$

4 эксперимент. Рассматривается электрическая цепь, представленная на рисунке 6. В цепи активное сопротивление цепи равно нулю и в конденсаторе отсутствует заряд. Нужно найти графическое решение дифференциального уравнения (2), построить фазовый портрет, представляющий зависимость между зарядом $q(t)$ и током $i(t)$ в контуре. Параметры цепи: $R = 0$; $L = 1$ Гн; $C = 1$ Ф; $q = 0$; $\varepsilon = 1$ В; $\omega = 1$ сек$^{-1}$.

Решение: Амплитуда колебаний заряда в конденсаторе (или амплитуда тока или напряжение в конденсаторе) увеличивается прямо пропорциональна в зависимости от времени (рис. 7). Фазовый портрет, описывающий зависимости между током в цепи и зарядом на конденсаторе, имеет спиралевидную форму, и расстояния между спиральными линиями постоянны. Поскольку $q(0) = 0$ график фазового портрета начинается с начала координат. Таким образом происходит резонанс в цепи и амплитуда тока или напряжение в конденсаторе увеличивается прямо пропорциональна в зависимости от времени при $R = 0$. При $R = 0$ выполняется $\omega = \omega_{\text{рез}} = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 1$.

5 эксперимент. Рассматривается электрическую цепь, представленная на рисунке 6, где активное сопротивление цепи равно единице $R = 1$ и в конденсаторе отсутствует заряд $q = 0$. Нужно найти графическое решение дифференциального уравнения (2) и фазовый портрет при параметрах цепи: $R = 1$ Ом; $L = 1$ Гн; $C = 1$ Ф; $q = 0$; $\varepsilon = 1$ В; $\omega = 1$ сек$^{-1}$.

Решение: Графические решения дифференциального уравнения представлены на рисунке 8. Если конденсатор не заряжен, то заряд в цепи (и ток в цепи) начнет гармонически меняться только после времени приблизительно $t \approx 3\pi$ секунда. Эта ситуация наглядно видна на

фазовом портрете, так как она приобретает приблизительно через 3π секунда форму круга или эллипса (рис.8). Точка А начало фазового портрета, а после точки Б (в момент времени $t \approx 3\pi$) приблизительно начинается круговая фазовая траектория.

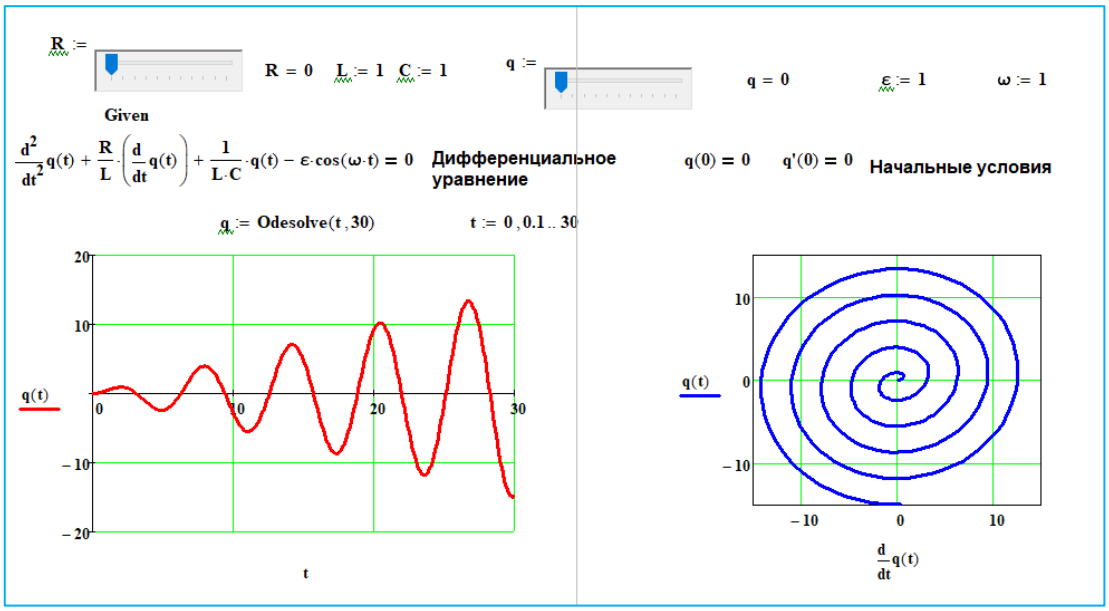


Рисунок 7 – Графические решения дифференциального уравнения (2) при $R = 0$ и $q(0) = 0$.

Известно, что когда фазовый портрет приобретает форму круга или эллипса, тогда начинаются гармонические колебания.

6 эксперимент. Нужно исследовать электрическую цепь (рис.6), которая состоит из незаряженного конденсатора и катушки индуктивности. Параметры цепи: $R = 0$; $L = 1$ Гн; $C = 1$ Ф; $q = 0$; $\varepsilon = 1$ В; $\omega = 3$ сек$^{-1}$.

Решение: Листинг программы в Mathcad 15 представлена на рисунке 9. На рисунке 10 представлены графические решения эксперимента. Из графиков видно (рис.10), что через условное время $\frac{\pi}{2}$ заряд в конденсаторе (точка 2 в графике) равняется нулю (точка 2 в фазовом портрете), а ток в катушке будет максимальным. Через условное время π в конденсаторе заряд равняется нулю, а ток в катушке тоже равен нулю (точка 4). Через условное время 2π (точка 8) система будет иметь параметры как в точке 0. Значит, период этого негармоническгго периодического колебания равна 2π.

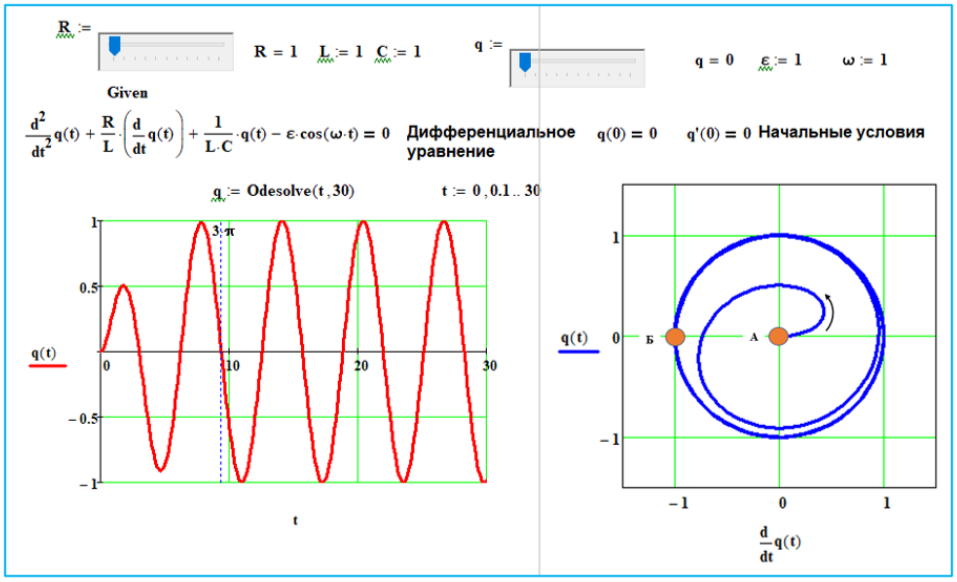


Рисунок 8 – Графические решения уравнения (2) в условиях, когда в электрическую цепь включены активное сопротивление, незаряженный конденсатор и катушка

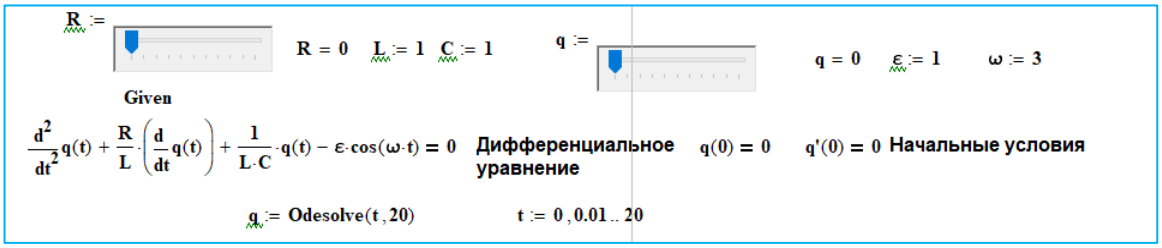


Рисунок 9 - Листинг программы

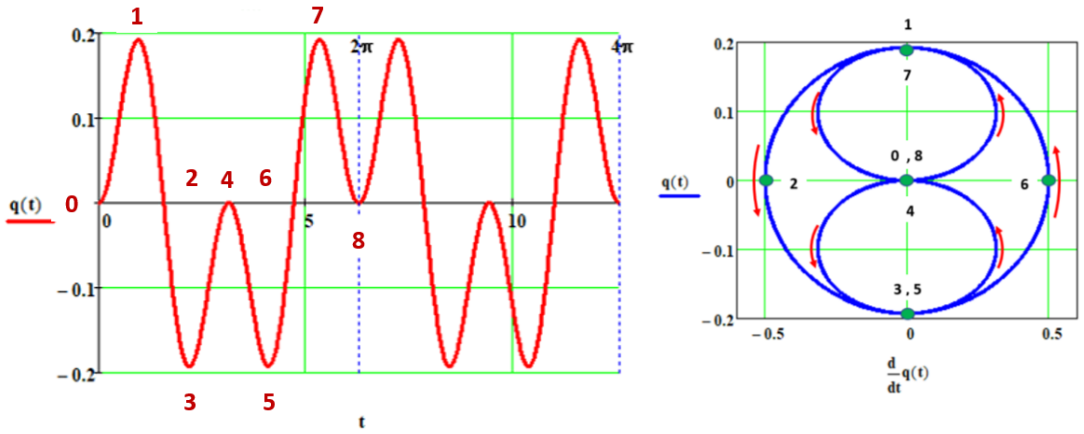


Рисунок 10 – Графические решения дифференциального уравнения (2) в условиях, когда в электрическую цепь включены только незаряженный конденсатор и катушка.

Заключение

На основе пакета прикладных программ Mathcad 15 были изучены законы и закономерности свободных и вынужденных колебаний в различных электрических цепях. В качестве электрических объектов были выбраны колебательный контур, замкнутая электрическая цепь переменного тока с активным и реактивными сопротивлениями. Компьютерные эксперименты по физике является важным условием реализации STEM – образования [20-25]. Получены следующие научно-методические результаты:

1. С помощью вычислительных экспериментов были исследованы гармонические и негармонические периодические электрические колебания. Решения дифференциальных уравнений, характеризующих эти электрические цепи, представлены в виде графиков и фазовых портретов.

2. При проведении вычислительных экспериментов были созданы и реализованы компьютерные программы в среде Mathcad 15.

3. Показана возможность преимуществ компьютерного метода изучения электрических колебаний, так как компьютерное решение дифференциальных уравнений наглядно и быстро реализуются по сравнению с процедурой их аналитического решения.

Дальнейшее изучение рассматриваемой проблемы позволяет выйти на следующие направления данного исследования: проведение педагогических экспериментов, направленных на определение степени сформированности основных понятий электрических колебаний в условиях системного применения системы вычислительных экспериментов при обучении физике и на выявление уровни развития вычислительного мышления обучающихся.

Вклад авторов:

Д.М. Казахбаева: концептуализация, методология, подготовка и написание рукописи; **И.Ж. Есенгабылов**: обработка данных, формальный анализ, методология; **Д.Е. Куатбаева**: редактирование и написание первоначальной версии статьи; **А.С. Сандыбаева**: реализация программного кода и вспомогательных алгоритмов; **Ж.Г. Джумамухамбетов**: программирование, реализация программного кода и вспомогательных алгоритмов; **И.Е. Алдаберген**: корректировка, создание моделей; **Г.Н.Сембаева**: подготовка рукописи.

Литература

1. Б.А. Мукушев, Вычислительные эксперименты по исследованию движения небесных тел, *Вестник КазНУ, Серия физическая* **85** (2), 49 (2023). *[B.A. Mukushev, Computational experiments on the study of the motion of celestial bodies, Rec.Contr.Phys. 85 (2), 49 (2023). (in Russ.)].* https://doi.org/10.26577/RCPh.2023.v85.i2.08

2. Б.А. Мукушев, Жердің тұрақты гравитациялық өрісіндегі дененің қозғалысын компьютерлік бейнелеу, *ҚазҰУ хабаршы, физика сериясы* **89** (2), 62 (2024). *[B.A. Mukushev, Computer visualization of body motion in the constant gravitational field of the Earth, Rec.Contr.Phys. 89 (2), 62 (2024). (in Kaz.)].* https://doi.org/10.26577/RCPh.2024v89i2-09

3 Б.С. Желдыбаева, Г.Р. Кощанова, А.Г. Амангосова, Б.А. Джугембаева, Г.Б. Туребаева, А.Қ. Қасымханова, Ш.Ж. Сырбаева, Л.С. Каинбаева, Б.А. Мұқушев, Mathcad пакеті көмегімен периодты электрлік сигналдарға гармоникалық талдау жасау, *ҚазҰУ хабаршы, физика сериясы* **96** (1), 77 (2026). *[B.S. Zheldybayeva, G.R. Koshchanova, A.G. Amangosova, B.A. Dzhugembayeva, G.B. Turebayeva, A.K. Kasymkhanova, Sh.J. Syrbaeva L.S. Kainbayeva, and B.A. Mukushev, Harmonic analysis of a periodic electrical signal using the Mathcad package, Rec.Contr.Phys. 96 (1), 77 (2026). (in Kaz.)].* https://doi.org/10.26577/RCPh96120269

4 А.М. Умнов, В.А. Туриков, М.Н. Муратов, А.С. Сковорода, Современные методы вычислительного эксперимента в прикладной физике. Учеб.пособие, (РУДН, Москва, 2008), 248 с. *[A.M. Umnov, V.A. Turikov, M.N. Muratov, and A.S. Skovoroda, Modern methods of computational experimentation in applied physics. Textbook. (RUDN, Moscow, 2008), 248 p. (in Russ.)].*

5 Н.Н. Малов, Основы теории колебаний, (Просвещение, Москва, 1971), 198 с. *[N.N. Malov, Fundamentals of the Theory of Oscillations, (Prosveshchenie, Moscow, 1971), 198 p.(in Russ.)].*

6 S.K. Nath et al., Optically Tunable Electrical Oscillations in Oxide-Based Memristors for Neuromorphic Computing, *Advanced Materials* **36** (25), 20400904 (2024). https://doi.org/10.1002/adma.202400904

7 A. Ciobanu, C. Miron, C. Berlic, and V. Barna, Integrating computational tools in teaching electromagnetic oscillations, *Romanian Reports in Physics* **75** (4), 912 (2023). https://doi.org/10.59277/RomRepPhys.2023.75.912

8 A.M. MacLeod and J.D. Kellie, Experimental study of oscillations, using computers, *Physics Education* **29**(4), 230 (1994). https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9120/29/4/009

9 M. del R. Cantero, P.L. Perez, M. Smoler, C.V. Etchegoyen, and H.F. Cantiello, Electrical oscillations in two-dimensional microtubular structures, *Sci. Reports* **6**, 27143 (2016). https://doi.org/10.1038/srep27143

10 M. del R. Cantero, C.V. Etchegoyen, P.L. Perez, N. Scarinci, and H.F. Cantiello, Bundles of brain microtubules generate electrical oscillations, *Sci. Reports* **8**, 11899. https://doi.org/10.1038/s41598-018-30453-2

11 F. Nelson, Using mathcad to simplify uncertainty computations in a laboratory course, *Computer Applications in Engineering Education* **23** (2), 250 (2015). https://doi.org/10.1002/cae.21593

12 Z. Akhatayeva, K. Sagindykov, B. Mukushev, N. Kurmangaliyeva, and A. Karipzhanova, Visual Basic and MathCAD used for Visualization and modeling STEM education, *Education and Information Technologies* **29**, 23011-23026 (2024). https://doi.org/10.1007/s10639-024-12776-y

13 M.Carmen Cerón-García, L. López-Rosales, J.J. Gallardo-Rodríguez, E. Navarro-López, A. Sánchez-Mirón, and F. García-Camacho, Jigsaw cooperative teaming of multistage counter-current liquid-liquid extraction using Mathcad®, *Education for Chemical Engineers* **38**, 1 (2022). https://doi.org/10.1016/j.ece.2021.10.002

14 А.Л. Леонтьев, Н.В. Драгныш, Методика использования пакета mathcad при рассмотрении уравнения колебаний, *Вестник Таганрогского института имени А.П. Чехова* **1**, 348 (2019). *[A.L. Leontyev and N.V. Dragnysh, Method of mathcad package usage for considering the equation of oscillations, Bulletin A.P Chekhov Taganrog Institute **1**, 348-353 (2019). (in Russ.)]*

15 D. Stepanov, A. Gukasyan, V. Kosachev, and Oleynikova, R. Solution of the burgers Shock Wave equation in PTC MathCAD, *Procedia Computer Science* **167**, 1088 (2020). https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.409

16 M.C. Ceron-Garcia, L. Lopez-Rosales, J.J. Gallardo-Rodríguez, E. Navarro-López, A. Sánchez-Mirón, and F. García-Camacho, Jigsaw cooperative teaming of multistage counter-current liquid-liquid extraction using MathcadX', *Education for Chemical Engineers* **38**, 13 (2022). https://doi.org/10.1016/j.ece.2021.10.002

17 В. Очков, MathCAD 14 для студентов, инженеров и конструкторов, (БХВ-Петербург, Санкт-Петербург: 2007), 370 с. *[V. Ochkov, MathCAD 14 for Students, Engineers and Designers, (BHV-Petersburg, Saint Petersburg, 2007), 370 pp. (in Russ.)]*

18 A.A. Cuadri, J. E. Martín-Alfonso, and J. Urbano, A teaching methodology based on Mathcad for improving the calculation of pumping power, *Education for Chemical Engineers* **28**, 68 (2019). https://doi.org/10.1016/j.ece.2018.11.007

19 C. Bachechi, L. Po, and F. Rollo, Big Data Analytics and visualization in Traffic Monitoring, *Big Data Research* **27**, 100292 (2022). https://doi.org/10.1016/j.bdr.2021.100292

20 H. Chi and H. Jain, Teaching computing to STEM students via visualization tools, *Procedia Computer Science* **4**, 1937 (2011). https://doi.org/10.1016/j.procs.2011.04.211

21 M.L. How, Advancing multidisciplinary STEM education with mathematics for future-ready quantum algorithmic literacy, *Mathematics* **10** (7), 1146 (2022). https://doi.org/10.3390/math10071146

22 M.H. Lee, C.S. Chai, and H.Y. Hong, STEM education in Asia Pacific: Challenges and Development, *The Asia-Pacific Education Researcher* **28** (1), 1 (2019). https://doi.org/10.1007/s40299-018-0424-z

23 Y. Xie, M. Fang, and K. Shauman, STEM education, *Annual Review of Sociology* **41**, 331. (2015). https://doi.org/10.1146/annurev-soc-071312-145659

24 K.C. Margot and T. Kettler, Teachers' perception of STEM integration and education: A systematic literature review. *International Journal of STEM Education* **6** (1), 1 (2019). https://doi.org/10.1186/s40594-018-0151-2

25 S.M. Hasim, R. Rosli, L. Halim, M.M. Capraro, and R.M. Capraro, STEM professional development activities and their impact on teacher knowledge and instructional practices, *Mathematics*, **10** (7), 1109 (2022). https://doi.org/10.3390/math10071109

Информация об авторах:

Казахбаева Данакуль Мукажановна – доктор педагогических наук, Жетысуский университет им. И.Жансугурова, (Талдыкорган, Казахстан, e-mail: kazdantai@gmail.com).

Есенгабылов Ильяс Жансеркенович (автор-корреспондент) – кандидат педагогических наук, Жетысуский университет им. И.Жансугурова, (Талдыкорган, Казахстан, e-mail: e_ilias@mail.ru).

Куатбаева Дана Ергазиевна – магистр физики, Жетысуский университет им. И.Жансугурова, (Талдыкорган, Казахстан, e-mail: dana.baisary08@gmail.com).

Сандибаева Акбобек – магистр физики, Атырауский государственный университет им.Х.Досмухамедова (Атырау, Казахстан. e-mail: akbobek_sandybaeva @mail.ru)

Джумамухамбетов Жангирхан Гильманович – ассоциированный профессор, Атырауский государственный университет им.Х.Досмухамедова (Атырау, Казахстан. e-mail: dzhumamukhambetov@asu.edu.kz).

Алдаберген Іңкәр Ерболатқызы – магистр физики, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, (Караганда, Казахстан, e-mail: inkar94_kz@mail.ru).

Сембаева Гульнар Нурмановна – магистр физики, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, (Караганда, Казахстан, e-mail: sembaeva17_64@mail.ru).

Авторлар туралы мәлімет:

Қазақбаева Данакуль – педагогика ғылымдарының докторы, І.Жансүгіров атындағы Жетісу мемлекеттік университеті, (Талдықорған, Қазақстан, e-mail: kazdantai@gmail.com).

Есенғабылов Ілияс (автор-корреспондент) – педагогика ғылымдарының кандидаты, І.Жансүгіров атындағы Жетісу университеті, (Талдықорған, Қазақстан, e-mail: e_ilias@mail.ru).

Қуатбаева Дана – физика магистрі, І.Жансүгіров атындағы Жетісу мемлекеттік университеті, (Талдықорған, Қазақстан, e-mail: dana.baisary08@gmail.com).

Сандибаева Ақбөбек – физика магистрі, Х. Досмұхамедов атындағы Атырау мемлекеттік университеті, (Атырау, Қазақстан, e-mail: akbobek_sandybaeva @mail.ru).

Жұмамухамбетов Жәңгірхан – доцент, Х. Досмұхамедов ат. Атырау мемлекеттік университеті, (Атырау, Қазақстан, e-mail: dzhumamukhambetov@asu.edu.kz).

Алдаберген Іңкәр – физика магистрі, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, (Қарағанды, Қазақстан, e-mail: inkar94_kz@mail.ru)

Сембаева Гүлнар Нұрмановна – физика магистрі, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, (Қарағанды, Қазақстан, e-mail: sembaeva17_64@mail.ru).

Information about authors:

Danakul Mukazhanovna Kazakhbayeva – Doctor of Pedagogical Sciences, I. Zhansugurov Zhetysu University, (Taldykorgan, Kazakhstan, email: kazdantai@gmail.com).

Ilyas Zhanserkhanovich Esengabylov (corresponding author) – Candidate of Pedagogical Sciences, I. Zhansugurov Zhetysu University, (Taldykorgan, Kazakhstan, email: e_ilias@mail.ru).

Dana Ergazievna Kuatbaeva – MSc in Physics, I. Jansugurov Zhetysu University, (Taldykorgan, Kazakhstan, email: dana.baisary08@gmail.com).

Akbobek Sandibaeva – MSc in Physics, H. Dosmukhamedov Atyrau State University, (Atyrau, Kazakhstan. Email: akbobek_sandybaeva @mail.ru).

Zhangirhan Gilmanovich Dzhumamukhambetov – Associate Professor, H. Dosmukhamedov Atyrau State University, (Atyrau, Kazakhstan, email: dzhumamukhambetov@asu.edu.kz).

Aldabergen Ingkar Erbolatkyzy – MSc in Physics, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, (Karaganda, Kazakhstan, email: inkar94_kz@mail.ru).

Gulnar Nurmanovna Sembayeva – MSc in Physics, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, (Karaganda, Kazakhstan, email: sembaeva17_64@mail.ru).

История статьи: *поступила: 30 апреля 2026; после доработки: 10 октября; принята: 13 октября 2026.*
Мақала тарихы*: түсті: 30 сәуір 2026; түзетілді: 10 қазан; қабылданды: 13 қазан 2026.*
Article history: *received: 30 April 2026; revised: 10 October; accepted: 13 October 2026.*