

А.А. Ержан, З.К. Куралбаев, В.В. Никулин

(Казахский Национальный Технический Университет имени К.И. Сатпаева, г. Алматы,
Казахстан)

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О ПЕРЕХОДНОМ ПРОЦЕССЕ В ЦЕПИ, НЕЛИНЕЙНЫЙ ЭЛЕМЕНТ КОТОРОЙ ОПИСЫВАЕТСЯ ПОЛИНОМОМ

Аннотация

Для анализа и проектирования электронных цепей разрабатывается математическая модель возможных процессов, которые могут происходить в конкретной рассматриваемой схеме. В результате моделирования будут получены дифференциальные и алгебраические уравнения. Однако вольтамперные характеристики нелинейных элементов, входящих в состав цепи, могут быть не описаны в виде аналитической зависимости. Для решения дифференциальных уравнений, описывающих процессы в цепи, было бы целесообразным иметь такие зависимости. Поэтому определение вольтамперных характеристик нелинейных элементов в виде аналитической формулы является актуальной проблемой. В данной статье определена вольтамперная характеристика нелинейного элемента (варистора) по результатам проведенного эксперимента в виде полинома пятой степени, а затем полученная зависимость тока от напряжения использована для постановки и решения задачи о переходном процессе в цепи, возникающей под внешним воздействием.

Ключевые слова: нелинейный элемент, варистор, переходный процесс, полином.

Кілт сөздер: сызықты емес элемент, варистор, өтпелі үдеріс, полином.

Keywords: nonlinear element, varistor, transient process, polynomial.

Введение. Известно, что для теоретических исследований и практических расчетов нелинейных электрических цепей целесообразно иметь аналитическое представление вольтамперных характеристик (ВАХ) нелинейных элементов. В связи с этим является актуальной проблема определения аналитических формул, описывающих с определенной точностью зависимости между током и напряжением в нелинейном элементе электрической цепи [1-5]. Как правило, для установления таких зависимостей, проводят эксперименты и на основе экспериментальных данных определяют функцию, определяющую аналитическую связь между током и напряжением в нелинейном элементе. Известно, что эту функцию называют аппроксимирующей функцией.

В данном случае требуется решать две задачи, называемые задачами математической статистики:

- выбор общего вида аппроксимирующей функции; общий вид выбранной функции могут содержать некоторое количество неизвестных параметров;
- определение конкретного вида функции, т.е. определение значений неизвестных параметров.

Во многих исследованиях в качестве аппроксимирующих функций используются различные функции [1, 5-7]. Анализ использования различных аппроксимирующих функций для описания вольтамперных характеристик нелинейных элементов цепи, определение их параметров по экспериментальным данным рассматривались в работах авторов [12.13]. В отличие от работы [12], в данной статье предлагается использовать в качестве аппроксимирующей функции для определения функциональной связи между током и напряжением в нелинейном элементе цепи полином пятой степени. Выбор полинома пятой степени продиктован следующими обстоятельствами: во-первых, добиться достаточно высокую точность определения искомой зависимости между током и напряжением в нелинейном элементе, во-вторых, показать возможность решения задачи аппроксимации при использовании полинома высокой степени.

Постановка задачи. Пусть рассматривается электрическая цепь (Рисунок 1), в которой имеется нелинейный элемент (НЭ). В качестве нелинейного элемента выбраны два вида варистора. Как известно, что варисторы представляют собой полупроводниковые резисторы с симметричной вольтамперной характеристикой. Они используются для стабилизации и защиты электронного оборудования и перенапряжений. Это обеспечивается ее особенностью, резко выраженной зависимости сопротивления от приложенного к ним напряжения.

Для исследования электрической цепи, в которой имеется такой нелинейный элемент как варистор, важно иметь аналитическую зависимость между током и напряжением. С этой целью требуется решить две задачи математической статистики, сформулированные выше. После получения аналитических зависимостей между током и напряжением в нелинейном элементе, необходимо рассматривать задачу о переходном процессе, происходящем в данной электрической цепи (Рисунок 1).

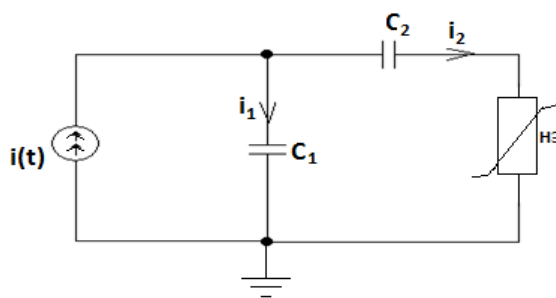


Рисунок 1 – Электрическая цепь с нелинейным элементом

Для решения задач статистики требуется провести измерения тока и напряжения в рассматриваемом нелинейном элементе и на основе результатов этих измерений получить аппроксимирующую функцию в виде полинома пятой степени.

Описание эксперимента. Целью эксперимента является определение значений выходных тока и напряжения при изменении входных тока и напряжения. Для проведения эксперимента использована простая электрическая цепь (Рисунок 1). Экспериментальная установка показана на рисунке 2, а приборы, использованные в этой установке, показаны на рисунке 3.

Проведены два варианта эксперимента; использованы два вида варистора. В качестве нелинейного элемента выбраны следующие дисковые оксидноцинковые варисторы: TVR05180/CNR05D180 и TVR05220/CNR05D220. В дальнейшем, для сокращения записи первый варистор назван ВАР18, а второй - ВАР22. Кроме варистора в цепь входили конденсаторы $C_1 = 3,5$ мкФ и $C_2 = 2$ мкФ (Рисунки 2,3). Проводилось измерение входных и выходных (в варисторе) токов и напряжений.

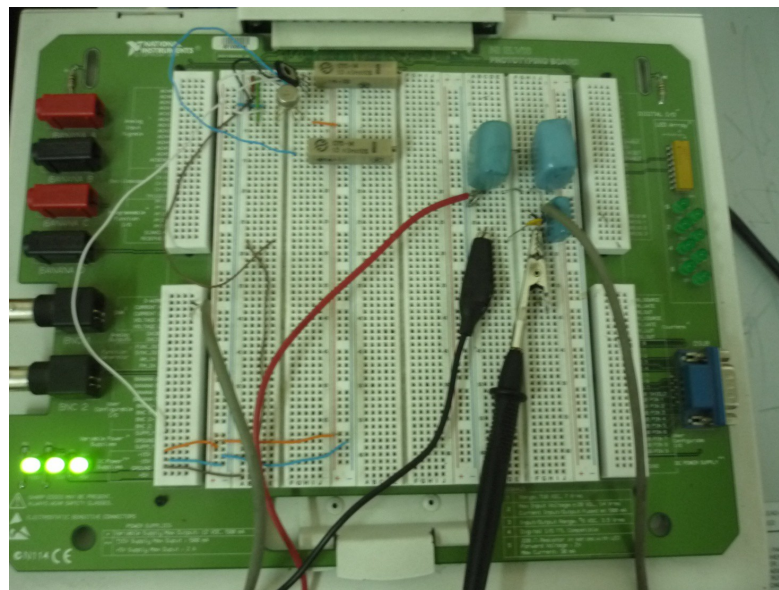


Рисунок 2 – Экспериментальная установка

Результаты эксперимента представлены в виде двух таблиц. В таблице 1 приведены результаты для первого варистора ВАР18, а в таблице 2 – для второго варистора ВАР22.

Здесь: I_1, U_1 – входные ток и напряжение; I_2, U_2 – выходные ток и напряжение.



Рисунок 3 – Приборы, использованные в эксперименте

Таблица 1 – Результаты эксперимента для варистора TVR05180/CNR05D180 (ВАР18)

I_1 (мкА)	5	5	6·10 ²	3,5· 10 ³	5·10 ³	8·10 ³
U_1 (В)	6,36	6,03	5,68	5,32	5,17	5,27
I_2 (мкА)	0,07	0,074	0,38	2,47	4,5	6,38
U_2 (В)	2	3	4	5	6	7

Продолжение таблицы 1

I_1 (мкА)	9·10 ³	10,2·10 ³	10,2·10 ³	13·10 ³	14·10 ³	15,5·10 ³
U_1 (В)	5,54	6	6,7	7,36	7,92	8,58
I_2 (мкА)	8,04	9,5	10,97	12,03	13,04	14,3
U_2 (В)	8	9	10	11	12	13

Продолжение таблицы 1

I_1 (мкА)	16,5·103	17,5·103	19·103	20,5·103	20,5·103	22,5·103	24·103
U_1 (В)	9,21	9,88	10,46	11,13	11,62	12,2	12,91
I_2 (мкА)	15,53	16,75	17,9	19,26	20,4	21,65	22,92
U_2 (В)	14	15	16	17	18	19	20

Таблица 2 – Результаты эксперимента для варистора TVR05220/CNR05D220 (ВАР22)

I_1 (мА)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	6	7,5
U_1 (В)	4,64	8	8,9	9,74	10,37	5,1	5
I_2 (мкА)	0,074	0,076	0,076	0,081	0,074	4,95	6
U_2 (В)	1	2	3	4	5	6	7

Продолжение таблицы 2

I_1 (мА)	12	12	12,8	13	14,5	15,5	16,5	18
U_1 (В)	5,11	5,41	5,89	6,42	7,01	7,63	8,23	8,87
I_2 (мкА)	7,86	9,33	10,71	12,85	13,35	14,47	15,78	16,93
U_2 (В)	8	9	10	11	12	13	14	15

Продолжение таблицы 2

I_1 (мА)	19	20	21,5	22,5	23,5	25	27	27
U_1 (В)	9,46	10,13	10,71	11,27	11,92	12,57	13,25	13,78
I_2 (мкА)	17,88	19,16	20,32	21,36	22,59	23,67	24,94	26,03
U_2 (В)	16	17	18	19	20	21	22	23

Коэффициенты этой системы уравнений определены в виде следующих сумм:

$$\left\{ \begin{array}{l} a_{11} = \sum_{k=1}^n x_k^{10}; \quad a_{12} = a_{21} = \sum_{k=1}^n x_k^9; \\ a_{13} = a_{31} = a_{22} = \sum_{k=1}^n x_k^8; \quad a_{14} = a_{23} = a_{32} = a_{41} = \sum_{k=1}^n x_k^7; \\ a_{15} = a_{25} = a_{33} = a_{42} = a_{51} = \sum_{k=1}^n x_k^6; \\ a_{16} = a_{25} = a_{34} = a_{43} = a_{52} = a_{61} = \sum_{k=1}^n x_k^5; \\ a_{26} = a_{35} = a_{44} = a_{53} = a_{62} = \sum_{k=1}^n x_k^4; \\ a_{36} = a_{45} = a_{54} = a_{63} = \sum_{k=1}^n x_k^3; \\ a_{46} = a_{55} = a_{64} = \sum_{k=1}^n x_k^2; \quad a_{56} = a_{65} = \sum_{k=1}^n x_k; \quad a_{66} = n. \end{array} \right. \quad (4)$$

Решение системы уравнений (4). Система уравнений (4) решена для двух случаев результатов эксперимента, представленных в таблицах 1 и 2. Для этого использован метод Жордана-Гаусса [11]. Процесс решения данной системы уравнений методом Жордана-Гаусса состоит из шести шагов. После выполнения последнего шага будет получено решение данной системы. Алгоритм решения системы уравнений (4) данным методом состоит из следующих этапов:

10. Ввод значений аргумента x_i и функции y_i , для $i = 1, 2, \dots, 6$.
20. Цикл по параметру i для вычисления коэффициентов системы алгебраических уравнений по формулам (4).
30. Начало цикла для решения системы уравнений методом Жордана-Гаусса: $k = 1$,
 $p = a_{kk}$. (Здесь p - вспомогательная переменная).
40. Цикл по параметру j для вычисления коэффициентов k -го уравнения по формуле
$$a_{kj} = \frac{a_{kj}}{p}, \quad j = 1, 2, \dots, 7.$$
50. Начало цикла по параметру i (номер строки основной матрицы системы уравнений)
 $i = 1$.
60. Если $i = k$, то значение параметра i увеличивается на единицу $i = i + 1$, т.е. осуществляется переход к следующему уравнению (Совпадение номера уравнения с номером разрешающей строки).

70. Если $i \geq 7$, то переход к пункту 100. (Завершение вычислений).

80. Цикл по параметру j для вычисления коэффициентов i -го уравнения по формуле преобразований Жордана-Гаусса $a_{ij} = a_{ij} - a_{ik} \cdot a_{kj}$.

90. Конец цикла по параметру k . Если $k \leq 6$, то переход к пункту 40.

100. Вывод результатов.

По данному алгоритму была разработана компьютерная программа решения системы алгебраических уравнений на алгоритмическом языке Паскаль [10]. В результате выполнения данной программы получены результаты, которые позволили записать аппроксимирующие функции в виде полиномов пятой степени.

Для варистора ВАР18 аппроксимирующая функция имеет следующий вид:

$$y = -0,00011 \cdot x^5 + 0,006703 \cdot x^4 - 0,151866 \cdot x^3 + 1,542637 \cdot x^2 - 5,297486 \cdot x + 5,05751. \quad (5)$$

График функции (5) и соответствующих экспериментальных данных для ВАР18 приведены на рисунке 2.

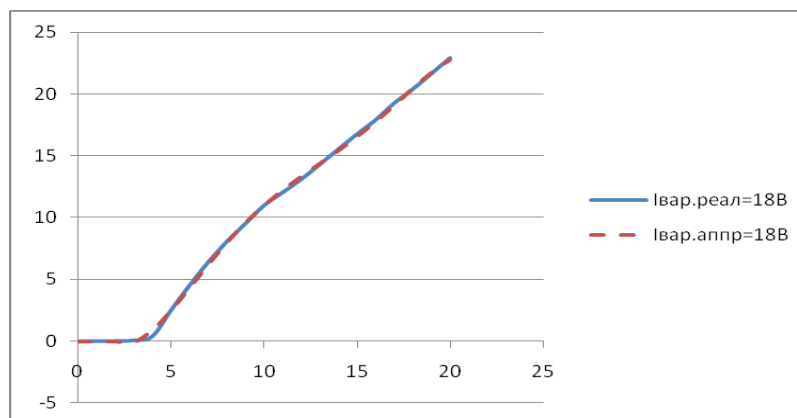


Рисунок 2 – График полинома (5) в сравнении с экспериментальными данными для ВАР18

Для варистора ВАР22 та же функция получена в следующем виде:

$$y = -0,000053 \cdot x^5 + 0,003668 \cdot x^4 - 0,093541 \cdot x^3 + 1,053142 \cdot x^2 - 3,514659 \cdot x + 2,961554. \quad (6)$$

График этой функции (6) и соответствующих экспериментальных данных для VAR22 представлены на рисунке 3.

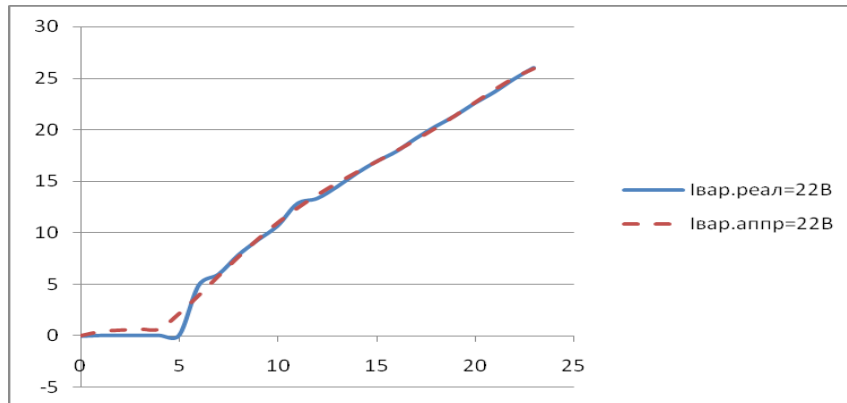


Рисунок 3 – График полинома (6) в сравнении с экспериментальными данными для VAR22

Анализ графиков, представленных на рисунках 2 и 3, убедительно показывает, что полиномы пятой степени (5) и (6) достаточно хорошо описывают зависимость тока от напряжений в данном нелинейном элементе; в данном случае в варисторах. Отсюда следует вывод о том, что аппроксимация полиномом высокой степени вольтамперных характеристик нелинейных элементов электронной цепи может быть успешной.

Математическая модель и постановка математической задачи.

После определения аналитической зависимости между током и напряжением в нелинейном элементе можно рассматривать задачу о переходном процессе, происходящем в цепи под внешним воздействием. Решение этой задачи связано с разработкой математической модели и на ее основе сформулировать математическую постановку задачи.

Для составления математической модели данной электрической схемы (Рисунок 1)

вводятся следующие обозначения: i_1, i_2 — токи, $u_1, u_2, u_{нэ}$ — напряжения, C_1, C_2 — емкости конденсаторов, τ — время. Здесь C_1 и C_2 считаются постоянными величинами.

По законам Кирхгофа [1-5] для рассматриваемой схемы справедливы следующие

формулы: $i_1 + i_2 = i(\tau)$, $u_1 = u_2 + u_{нэ}$. При последовательном соединении

конденсатора C_2 и НЭ ток остается равным, т.е. $i_2 = i_{нэ}$.

Уравнения, определяющие зависимости тока и напряжения для конденсаторов,

записываются в виде следующих формул [1]: а) для первого конденсатора $i_1 = C_1 \cdot \frac{du_1}{dt}$; б)

для второго конденсатора $i_2 = C_2 \cdot \frac{du_2}{dt}$.

Пусть для аппроксимации ВАХ нелинейного элемента (НЭ) используется следующее

выражение $i_{HЭ} = \frac{U_0}{R} \cdot f(x)$, где $x = \frac{u_{HЭ}}{U_0}$ - безразмерное напряжение, $f(x)$ -

аппроксимирующая функция зависимости между током и напряжением в нелинейном элементе. В отличие от задачи, рассмотренной в [12], вместо линейного элемента с постоянным сопротивлением R в данной задаче используется нелинейный элемент.

Причем, напряжение в нелинейном элементе определяется по формуле $u_{HЭ} = x \cdot U_0$.

Для удобства в расчетах целесообразно использовать безразмерные параметры. Такой подход широко используется при решении задач физики, механики и других областей науки [9].

Для переход к безразмерным величинам используются характерные величины: U_0 -

напряжение, $\frac{U_0}{R}$ - ток. Производится следующая замена переменных:

$$i_2 = y_2 \cdot \frac{U_0}{R}; \quad i = z \cdot \frac{U_0}{R}; \quad i_1 = y_1 \cdot \frac{U_0}{R}; \quad x_1 = \frac{u_1}{U_0}; \quad x_2 = \frac{u_2}{U_0}; \quad x = \frac{u_{HЭ}}{U_0}; \quad t = \frac{\tau}{T}. \quad \text{Зд}$$

есть x, x_1, x_2, y_1, y_2, t - безразмерные величины.

Итак, получена следующая система дифференциальных уравнений относительно

неизвестных функций $x(t), x_1(t), x_2(t)$:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} + \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{\alpha_1 \cdot \alpha_2} \cdot f(x) = \frac{1}{\alpha_1} \cdot z(t); \\ \frac{dx_1}{dt} = \frac{1}{\alpha_1} \cdot [z(t) - f(x)]; \\ \frac{dx_2}{dt} = \frac{1}{\alpha_2} \cdot f(x) \end{cases} \quad (7)$$

Здесь постоянные величины $\alpha_1 = \frac{RC_1}{T}$ и $\alpha_2 = \frac{RC_2}{T}$ являются безразмерными величинами; RC_1 и RC_2 - постоянные времени.

Для рассматриваемой здесь электронной цепи предполагается, что в начальный момент времени отсутствовал ток (напряжение), поэтому для решения данной системы дифференциальных уравнений (7) приняты следующие начальные условия:

$$x_1(0) = 0; \quad x_2(0) = 0; \quad x(0) = 0; \quad (8)$$

Теперь можно сформулировать следующую постановку математической задачи: требуется найти такие искомые функции $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x(t)$, удовлетворяющие системе дифференциальных уравнений (7) и начальным условиям (8).

Решение данной системы ищется в промежутке $t \in [0, 1]$. В связи с тем, что существует формула $x = x_1 - x_2$, связывающая этих трех функций, можно вначале ограничиваться решением двух дифференциальных уравнений, второго и третьего уравнений системы (7).

Если будут найдены значения безразмерных функций $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x(t)$, определяющих напряжения, то безразмерные величины, определяющие токи $y_1(t)$ и $y_2(t)$, будут найдены из следующих формул: $y_2 = f(x)$, $y_1 = z - y_2$.

Численное решение математической задачи. Задача (7)-(8) является задачей Коши для системы нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка, разрешенных относительно производных [8]. Для решения данной задачи невозможно использовать существующие аналитические методы из-за присутствия в уравнениях нелинейной функции, поэтому используется численный метод решения задачи. В качестве численного метода может быть выбран метод Эйлера [11].

Согласно этого метода, вначале выбирается шаг по независимой переменной t : $\delta = 0.0001$, а затем осуществляется замена производных конечно-разностными соотношениями:

$$\frac{dx_1}{dt} \approx \frac{x_{1i+1} - x_{1i}}{\delta}; \quad \frac{dx_2}{dt} \approx \frac{x_{2i+1} - x_{2i}}{\delta}. \quad (9)$$

Здесь $x_{1i} = x_1(t_i)$, $x_{2i} = x_2(t_i)$, $t_i = \delta \cdot i$, $i = 0, 1, 2, \dots, n$, $n = \frac{1}{\delta}$ - количество шагов по независимой переменной t .

Используя замену (9), из второго и третьего уравнений (7), можно получить следующие формулы для определения дискретных значений искомых функций $x_1(t)$ и $x_2(t)$:

$$x_{1i+1} = \frac{\delta}{\alpha_1} \cdot [f(x_i) - z(t_i)], \quad x_{2i+1} = \frac{\delta}{\alpha_2} \cdot f(x_i), \quad (10)$$

где $x_i = x(t_i)$ – значение функции $x(t)$ при $t = t_i$. Эти формулы справедливы для значений параметра $i = 0, 1, 2, \dots, n - 1$. Из начальных условий (2) следует

$$t_0 = 0, \quad x_{10} = 0, \quad x_{20} = 0. \quad (11)$$

Данный алгоритм решения задачи составлен для любого вида функций $f(x)$ и $z(t)$. Ниже будут рассмотрены случаи, когда в цепи в качестве нелинейного элемента рассмотрены варисторы, вольтамперные характеристики которых были определены выше, по формулам (5) и (6).

Здесь источник тока считается переменной и изменение тока задано в виде синусоиды: $z(t) = \sin(2\pi f t)$, где частота $f = 50$ Гц. Приняты следующие значения постоянных параметров: $C_1 = 3,5$ МкФ, $C_2 = 2$ МкФ, $R = 10$ кОм, $T = 0,1$ сек., $\alpha_1 = 0,35$; $\alpha_2 = 0,20$.

Для численного решения данной задачи была составлена компьютерная программа на алгоритмическом языке Паскаль [10]. Данная программа была использована для двух случаев, где были использованы аппроксимирующие функции (5) и (6). Для определения искомых величин используются формулы (11) и (10). Результаты численного решения данной задачи представлены в виде графиков.

Для случая, когда используется аппроксимирующая функция (5) для VAR18, графики искомых функций приведены на рисунках 4а и 4б.

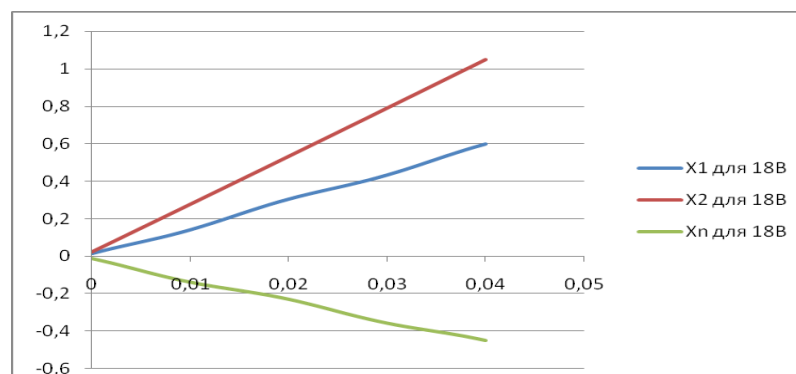


Рисунок 4 а – Графики функций $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_n(t)$

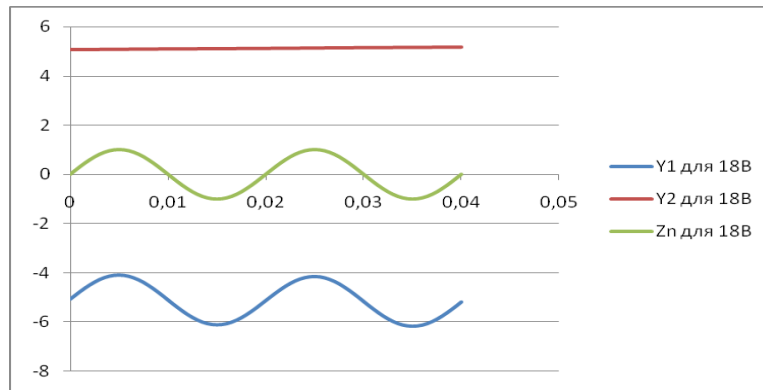


Рисунок 4б – Графики функций $y(t), y_2(t), z(t)$

Для случая, когда используется аппроксимирующая функция (6) для ВАР22, графики искомых функций представлены на рисунках 5а и 5б.

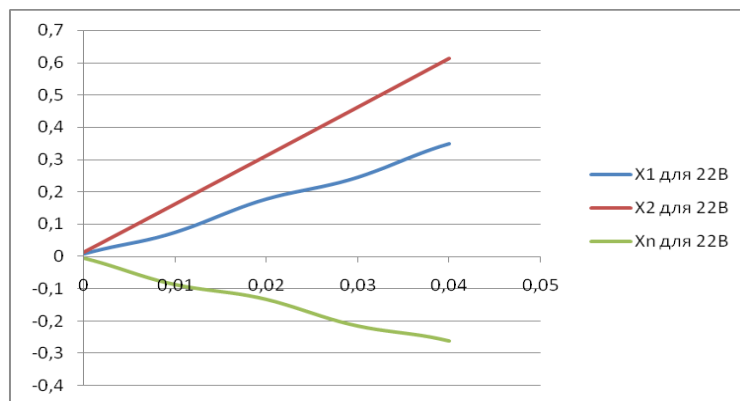


Рисунок 5 а – Графики функций $x_1(t), x_2(t), x_n(t)$

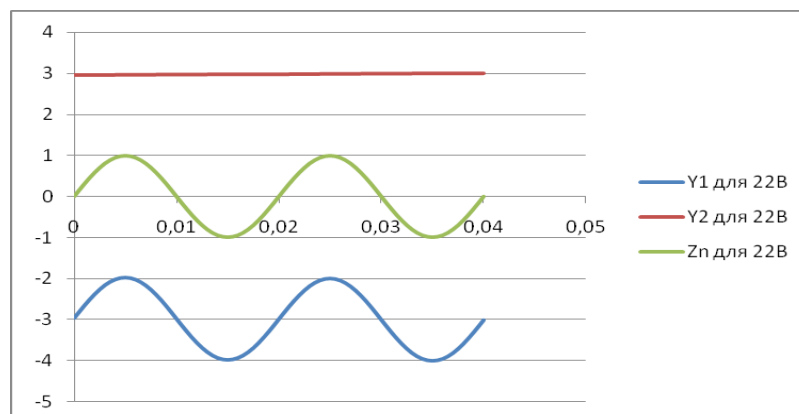


Рисунок 5б – Графики функций $y(t), y_2(t), z(t)$

На рисунках 4а и 5а показаны изменения напряжений в цепи, а на рисунках 4б и 5б показаны изменения токов в цепи. Из анализа этих рисунков следует, что в варисторе напряжение принимает отрицательные значения, а на конденсаторах – положительные значения. Ток в варисторе имеет такую же частоту и такую же амплитуду, как на источнике тока. Ток в варисторе остается постоянным.

В заключение можно сделать следующие выводы:

1. Использование полинома высокой степени (в данном случае, пятой степени) для аппроксимации позволяет определить зависимость тока от напряжения в нелинейном элементе с достаточно большой точностью.
2. Наличие аналитической зависимости между током и напряжением в нелинейном элементе позволяет ставить и решать математическую задачу, описывающую переходной процесс, происходящий в электрической цепи с нелинейным элементом.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Бакалов В.П., Дмитриков В.Ф., Крук Б.Е. Основы теории цепей: Учебник для вузов / Под ред. В.П.Бакалова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 2000.- 592 с.
- 2 Гоноровский И.С., Демин М.П. Радиотехнические цепи и сигналы. Учеб. пособие. – 5-е изд. – М.: Радио и связь, 1994. – 481 с.4
- 3 Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник. - 3-е изд. – М.: Высшая школа, 2000. – 462 с.
- 4 Попов В.П. Основы теории цепей. – М.: Высшая школа, 2000.-340 с.
- 5 Бессонов Л.А. Нелинейные электрические цепи. – М.: Высшая школа, 1964. – 430 с.
- 6 Чуа Л.О., Лин Пен-Мин. Машинный анализ электронных схем: Алгоритмы и вычислительные методы. Пер. с англ. – М.: Энергия, 1980. – 640 с., илл.
- 7 Фидлер Дж.К., Найтингейл К. Машинное проектирование электронных схем: Пер. с англ. – М.: Высшая школа, 1985. -216 с.
- 8 Смирнов В.И. Курс высшей математики. Том 2.- М.: Наука, 1974.- 656 с.
- 9 Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. 8-е изд.- М.: Наука, 1977.- 440 с.
- 10 Культин Л.М. Программирование в Turbo Pascal 7.0 и Delphi. 2-е изд. Перераб. И доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. - 416 с.
- 11 Младов А.Г. Системы дифференциальных уравнений и устойчивость движения по Ляпунову. – М.: Высшая школа, 1966.- 224 с.

12 Куралбаев З.К., Ержан А.А. Использование аппроксимирующих функций для описания вольтамперных характеристик нелинейных элементов цепи// Вестник НАН РК.- 2013. - №2. - С. 23-30.

13 Куралбаев З.К., Ержан А.А.//Известия НАН РК. Серия физико-математическая. №1(287). С.27-31.

REFERENCES

- 1 Bakalov V.P., Dmitracov V.F., Kruk B.E. Radio and communication, 2000, 592 (in Russ).
- 2 Gonorovskiy I.S., Demin M.P. Radio circuits and signals, 1994, 481 (in Russ).
- 3 Baskakov S.I. Radio circuits and signals, 2000, 462 (in Russ).
- 4 Popov V.P. Basics of circuit theory, 2000, 340 (in Russ).
- 5 Bessonov L.A. Nonlinear electric circuits. – M.: High school. 1964. – 430 с (in Russ).
- 6 Chua L.O., Lin Pen-Min. Computer analysis of electronic circuits: algorithms and computational methods. Per. with English. 1980, 640 (in Russ).
- 7 Fidler J.K., Nightingale C. Computer aided circuit design. 1985, 216 (in Russ).
- 8 Smirnov V.I. Course of Higher Mathematics. 1974, 656 (in Russ).
- 9 Sedov L.I. Similarity and Dimensional Methods in Mechanics. 1977, 440 (in Russ).
- 10 Kultin L.M. Programming in Turbo Pascal 7.0 and Delphi. 2004, 416 (in Russ).
- 11 Mladov A.G. Systems of differential equations of motion and stability according to Lyapunov. 1966, 224 (in Russ).
- 12 Kuralbayev Z.K., Yerzhan A.A. //Vestnik ENU im. L.N. Gumilyeva. – 2012, №6 (91). 183-188 (in Russ).
- 13 Kuralbayev Z.K., Yerzhan A.A. //Izvestiya NAN RK. – 2013, №1(287). 183-188 (in Russ).

Резюме

А.А. Ержан, З.К. Құралбаев, В.В. Никулин

(Қ.И. Сатбаев атындағы қазақ ұлттық техникалық университеті, Қазақстан Республикасы,
Алматы қ.)

СЫЗЫҚТЫҚ ЕМЕС ЭЛЕМЕНТТІ КӨПМҮШЕЛІКПЕН СИПАТТАЛЫНАТЫН ТІЗБЕКТЕГІ

ӨТПЕЛІ үдеріс ТУРАЛЫ ЕСЕПТІ ШЕШУ

Электрондық тізбекті талдау мен жобалауда қарастырылатын нақты сұлбада мүмкін болатын үдерістердің математикалық үлгісі құрастырылады. Үлгілеудің нәтижесінде дифференциальдық және алгебралық теңдеулер алынады. Бірақ тізбектің құрамына кіретін сызықты емес элементтердің вольтамперлік сипаттары аналитикалық байланыс түрінде берілмейді. Тізбектегі үдерістерді сипаттайтын дифференциальдық теңдеулерді шешу үшін ондай байланыстар қажет. Сондықтан сызықтық емес элементтердің вольтамперлік сипатын бесінші дәрежелі көпмүшелік түрінде тәжірибелердің нәтижесі арқылы анықтап, содан кейін тоқтың кернеуге тәуелділігін сыртқы әсерден пайда болатын өтпелі үдеріс туралы есепті қою және шешу үшін пайдаланылған.

Кілт сөздер: сызықты емес элемент, варистор, өтпелі үдеріс, полином.

Summary

Yerzhan A.A., Kuralbaev Z.K., Nikulin V.V.

(Kazakh National Technical University after K.I. Satpayev, Republic of Kazakhstan, Almaty)

SOLUTION TO THE PROBLEM OF TRANSIENT PROCESS

IN A CIRCUIT WHOSE NONLINEAR ELEMENT IS DESCRIBED BY A POLYNOMIAL

For the analysis and design of electronic circuits a mathematical model of possible processes that can occur in a particular circuit under consideration is developed. As a result of simulation differential and algebraic equations are obtained. However, the current-voltage characteristics of nonlinear elements that make up the circuit cannot be described as an analytical relationship. For solving the differential equations describing the processes in the circuit, it would be useful to have such relationship. Therefore, determination of non-linear current-voltage characteristics of the elements in the form of an analytical formula is a topical problem. In this article the current-voltage characteristic of the nonlinear element (varistor), based on the results of the experiment,

is determined in the form of a polynomial of degree, and then the resulting dependence of current on the voltage is used for the formulation and solution of the problem of the transient process in the circuit arising under external influence.

Keywords: nonlinear element, varistor, transient process, polynomial.

Поступила 06.07.2013 г.