

К вопросу о разработке модели нелинейного двухполюсника с управляемой вольт-амперной характеристикой

В.В. Пивнев¹, С.Н. Басан²

¹*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону*

²*Российский государственный гидрометеорологический университет, филиал в г. Туапсе*

Аннотация: В данной работе рассматриваются вопросы разработки схемы замещения нелинейного двухполюсника с вольт-амперной характеристикой, управляемой напряжением, либо током, которую можно формировать, не изменяя схемы, в соответствии с требованиями проектирования. Для решения задачи используется аналого-цифро-аналоговый элемент. Вольт-амперная характеристика данного элемента определяется программой работы цифрового устройства. Для аппроксимации характеристик нелинейных элементов применяются полиномы различной степени - отрезки рядов Тейлора, Маклорена, Лагранжа и др. По нашему мнению решение подобной задачи является актуальным.

Ключевые слова: Синтез схемы, нелинейные цепи, эквивалентные преобразования, аналого-цифро-аналоговый элемент, нелинейное сопротивление, управляемый источник напряжения, ряд Тейлора.

Успехи современной микроэлектроники позволяют на более высоком уровне синтезировать устройства для решения задач моделирования, автоматического управления, связи и т.п.

Подавляющее большинство физических процессов являются нелинейными. В данной работе рассматриваются только такие процессы, которые могут быть описаны соответствующими нелинейными алгебраическими или нелинейными интегрально – дифференциальными уравнениями. Будем полагать так же, что существуют электрические цепи, токи и напряжения которых с точностью до обозначений совпадают с соответствующими физическими величинами. Полученная таким образом модель представляет собой некоторую нелинейную электрическую цепь, которая, в общем случае, состоит из линейной части, в которой могут процессы преобразования, накопления электрической энергии, а также

процессы обратимости [1] и нелинейной части. В работах [2 – 5] показано, что существуют классы схем замещения электрических цепей, которые путём эквивалентных и квазиэквивалентных преобразований могут быть сведены к нелинейным схемам замещения с нелинейными резисторами. Подобные схемы замещения можно представить так, как показано на рис. 1.

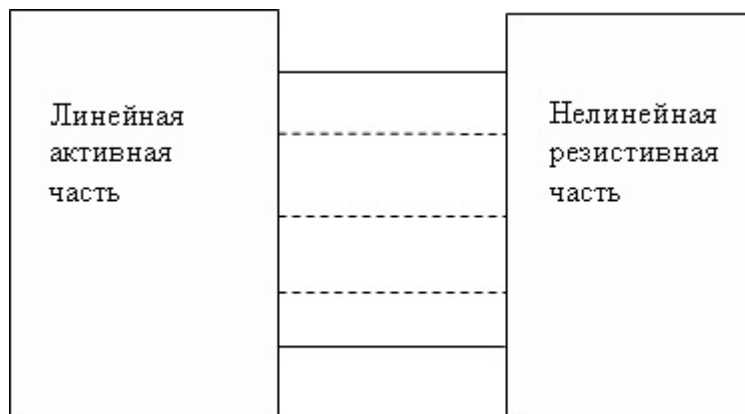


Рис. 1. – Нелинейная электрическая цепь

Будем полагать так же, что нелинейная часть состоит только из двухполюсных элементов, и что вольт-амперная (ампер-вольтная) характеристики каждого элемента известны. Основная проблема реализации двухполюсников с заданными вольт-амперными характеристиками состоит в большом многообразии характеристик и в технической сложности достижения, например [6, 7] их точности и стабильности. Эти недостатки присущи многим известным методам [2 – 5, 8 – 10]. В результате, как правило, при реализации устройств, содержащих нелинейные элементы, требуется выполнение этапа настройки.

Целью данного исследования является разработка схемы замещения нелинейного двухполюсника с управляемой либо напряжением, либо током вольт-амперной характеристикой, которую можно формировать, не изменяя схемы, в соответствии с требованиями проектирования. По нашему мнению

решение подобной задачи является актуальным.

В основе решения поставленной задачи лежит использование аналого – цифро–аналогово элемента [8]. Этот элемент представляет собой управляемый источник напряжения (рис.2).



Рис. 2. – Аналого-цифро-аналоговый элемент

Вольт амперная характеристика данного элемента определяется программой работы цифрового устройства. Таким образом, не меняя конструкции устройства на рис.2, используя только программные средства, можно получать элементы с различными вольт-амперными характеристиками. В настоящее время для аппроксимации характеристик нелинейных элементов широко применяются полиномы различной степени (отрезки рядов Тейлора, Маклорена, полиномы Лагранжа и др.) [2, 3, 10]. Схема замещения нелинейного элемента, полюсное уравнение которого имеет вид полинома, может быть представлена так, как показано на рис. 3.

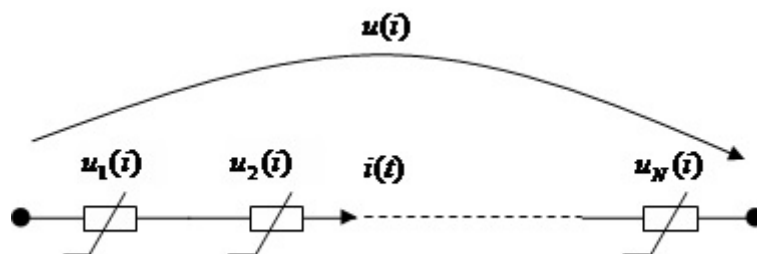


Рис. 3. – Схема замещения нелинейного элемента

При выбранном способе аппроксимации полюсное уравнение k -го элемента на рис. 3 имеет вид:

$$u_k(i) = A_k i^{B_k}, \quad (1)$$

где A_k, B_k – вещественные числа; $k = 1 \div N$ – номер по порядку.

Будем синтезировать схему каждого элемента на рис.3 схемой, приведенной на рис.2. Выражение (1) можно рассматривать как решение некоторого дифференциального уравнения. В таком случае числа A_k, B_k можно рассматривать как постоянные интегрирования. Так как в выражении (1) два постоянных числа (две постоянных интегрирования), то искомое дифференциальное уравнение является дифференциальным уравнением второго порядка. Продифференцируем уравнение (1) дважды.

$$u'_k = A_k B_k i^{(B_k-1)}. \quad (2)$$

$$u''_k = A_k B_k (B_k - 1) i^{(B_k-2)}. \quad (3)$$

Рассматривая уравнения (1), (2) и (3) как систему уравнений, исключим постоянные интегрирования из уравнения (3).

$$B_k = \frac{u'_k i}{u_k}. \quad (4)$$

Если разделить (3) на (2), то с учётом (4) получим:

$$u''_k - \frac{(u'_k)^2}{u_k} + \frac{u'_k}{i} = 0. \quad (5)$$

Полученное уравнение и есть полюсное уравнение k -го элемента в схеме на рис. 3, записанное в дифференциальной форме.

Для того, чтобы постоянные интегрирования удовлетворяли заданным условиям (1), необходимо обеспечить начальные условия, удовлетворяющие уравнениям (6) и (7):

$$u_n = A i_n^B. \quad (6)$$

$$u'_n = B \frac{u_n}{i_n}. \quad (7)$$

В тех случаях, когда один из коэффициентов A или B не должны изменяться в зависимости от начальных условий, можно ограничиться при моделировании дифференциальным уравнением первого порядка. Например, пусть коэффициент B не должен изменяться в зависимости от начальных условий. Тогда в выражении (1) можно считать постоянной интегрирования только коэффициент A . Из (1) следует:

$$A_k = \frac{u_k}{i^B}. \quad (8)$$

Дифференцируя (1) по току, получим:

$$u'_k = ABi^{(B-1)}. \quad (9)$$

С учётом выражения (8) соотношение (9) может быть преобразовано к виду:

$$u'_k - B \frac{u_k}{i} = 0. \quad (10)$$

Постоянная интегрирования в решении уравнения (10) находится из начальных условий.

$$A = \frac{u_n}{i_n^B}. \quad (11)$$

По данной работе можно сделать следующие выводы:

1. При моделировании нелинейных вольт-амперных характеристик полиномами схему замещения каждого нелинейного элемента можно представить как последовательное соединение соответствующих аналого-цифро-аналоговых двухполюсников.

2. Полосное уравнение каждого двухполюсника может быть записано в дифференциальной форме (5) или (10).

3. Соотношения (5) или (10) являются основой для составления алгоритма работы цифрового устройства (рис.2).

4. В общем случае математическое уравнение, описывающее вольт-амперную характеристику нелинейного резистивного двухполюсника, может

содержать большее количество постоянных коэффициентов (например, n). Тогда полюсное уравнение такого элемента будет представлять собой дифференциальное уравнение n -го порядка.

5. Наличие цифровой части в аналого-цифро-аналоговом элементе позволяет отладку радиоэлектронной аппаратуры выполнять только программными средствами и отказаться от подбора параметров аналоговых элементов.

Благодарности.

Работа выполнена при поддержке гранта Южного федерального университета России: «Теория и методы энергосберегающего управления распределенными системами генерации, транспортировки и потребления электроэнергии».

Литература

1. Пивнев В.В., Басан С.Н. Некоторые аспекты обратимости процессов в линейных электрических цепях второго порядка // Инженерный вестник Дона, 2013, №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1969/.
2. Филиппов Е. Нелинейная электротехника. М.: Энергия, 1968. 503 с.
3. Данилов Л.В., Матханов П.Н., Филиппов Е.С. Теория нелинейных электрических цепей. Ленинград: Энергоатомиздат, 1990. 252 с.
4. Данилов Л.В. Электрические цепи с нелинейными R элементами. М.: Связь, 1974. 135 с.
5. Басан С.Н. Электрические цепи с нелинейными резисторами. Ростов-на-Дону: Издательство Ростовского университета, 1984. 200 с.
6. Пилипенко А.М., Бирюков В.Н. Моделирование параметров МОП-транзисторов в широком температурном диапазоне // Инженерный вестник Дона, 2013, №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1917/.
7. Богданов С.А. Влияние неоднородного распределения электрически

активных примесей на перенос носителей заряда в контактах металл-полупроводник с барьером Шотки // Инженерный вестник Дона, 2013, №3 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1822/.

8. Басан С.Н., Изотов М.В. Универсальный аналого – цифровой элемент электронной техники // Труды международной научной конференции. Таганрог- Дивноморск: 2009. С. 486-489.

9. Pivnev V.V., Basan S.N. Some questions about equivalent circuit synthesis and nonlinear electrical circuit implementation with the specified properties in the electronic simulation tasks // Applied Mechanics and Materials Vols. 670-671. 2014. pp. 1454-1457.

10. Pivnev V.V., Basan S.N. Some the application of the Taylor series for the analysis of processes in non-linear resistive circuits // Applied Mechanics and Materials Vols. 701-702. 2015. pp. 1173-1176.

References

1. Pivnev V.V., Basan S.N. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1969/.

2. Filippov E. Nelineynaya elektrotehnika [Nonlinear Electrical Engineering]. M.: Energiya, 1968. 503 p.

3. Danilov L.V., Matkhanov P.N., Filippov E.S. Teoriya nelineynykh elektricheskikh tsepey [The theory of non-linear electric circuits]. Leningrad: Energoatomizdat, 1990. 252 p.

4. Danilov L.V. Elektricheskie tsepi s nelineynymi R elementami [Electrical circuit with non-linear R-element]. M.: Svyaz', 1974. 135 p.

5. Basan S.N. Elektricheskie tsepi s nelineynymi rezistorami [Electrical circuits with nonlinear resistors]. Rostov-na-Donu: Izdatel'stvo Rostovskogo universiteta, 1984. 200 p.

6. Pilipenko A.M., Biryukov V.N. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4



URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1917/.

7. Bogdanov S.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №3 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1822/.

8. Basan S.N., Izotov M.V. Universal'nyy analogo – tsifrovoy element elektronnoy tekhniki. Trudy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. Taganrog-Divnomorsk: 2009. pp. 486-489.

9. Pivnev V.V., Basan S.N. Some questions about equivalent circuit synthesis and nonlinear electrical circuit implementation with the specified properties in the electronic simulation tasks. Applied Mechanics and Materials Vols. 670-671. 2014. pp. 1454-1457.

10. Pivnev V.V., Basan S.N. Some the application of the Taylor series for the analysis of processes in non-linear resistive circuits. Applied Mechanics and Materials Vols. 701-702. 2015. pp. 1173-1176.