



УДК 621.31

ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ СИНТЕЗА НЕЛИНЕЙНЫХ РЕЗИСТИВНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Д.И. Буланович, adidas5647382910@mail.ru, Н.К. Полуянович, nik1-58@mail.ru

М.Н. Дубяго, w_m88@mail.ru

Южный федеральный университет,
ЮФУ, Таганрог

В данной статье рассматривается решение задачи синтеза нелинейных преобразователей содержащих нелинейные резистивные элементы на основе понижения порядка нелинейных уравнений с помощью разработанных методов эквивалентных преобразований. Использование в элементном базисе R, L, C, M, E, J и идеального диода позволяет синтезировать схемы замещения различных нелинейных элементов, показано, что такой элементный базис обладает функциональной полнотой, то есть, любой элемент электрической цепи с сосредоточенными параметрами можно моделировать сочетанием указанных выше идеализированных элементов.

Ключевые слова: синтез, эквивалентные преобразования.

EQUIVALENT TRANSFORMATIONS IN THE PROBLEMS OF SYNTHESIS OF NONLINEAR RESISTANCE CONVERTERS

D.I. Bulanovich, N.K. Poluyanovich, M.N. Dubiago

South Federal University, SFU, Taganrog

This article discusses the solution to the problem of synthesizing nonlinear converters containing nonlinear resistive elements based on lowering the order of nonlinear equations using the developed methods of equivalent transformations. The use of R, L, C, M, E, J and an ideal diode in the element basis allows to synthesize equivalent circuits of various nonlinear elements, it is shown that such an element basis has functional completeness, that is, any element of the electrical circuit with lumped parameters can be modeled by combining the specified above idealized elements.

Keywords: synthesis, equivalent transformations.

Проектирование электротехнических устройств методами синтеза требует решения задач математического моделирования и схемной реализации функции цепи по заданным частотным характеристикам. Такой подход проектирования позволяет получить множество новых схем электрических цепей и обеспечить требуемую форму выходного сигнала с необходимой степенью точности. Получение простых схемных решений, сочетающих достаточную точность с простотой математических выражений, существенно упрощает алгоритм синтеза с учетом условий реализуемости функций цепи, снижает затраты машинного времени при проектировании преобразовательных устройств. При синтезе нелинейных цепей можно выделить следующие основные этапы: -формирование функций (характеристик) преобразователя; -аппроксимация этих характеристик; -реализация функций преобразователя. Общей задачей синтеза является построение оператора преобразователя Π из известного множества функций. $F = \{f_1, f_2, \dots\}$ в заданное множество функций $X = \{x_1, x_2, \dots\}$. Рассмотрим случай преобразования одной функции воздействия F в одну функцию реакции X . в соответствии с функцией F .

$$X = \Pi F \quad (1)$$

Построение оператора Π эквивалентно построению преобразователя -как электрической цепи. При синтезе цепей строится ее часть – «преобразователь»



воздействия в реакцию. Преобразователь представляется в виде линейной и нелинейной частей рис. 1.

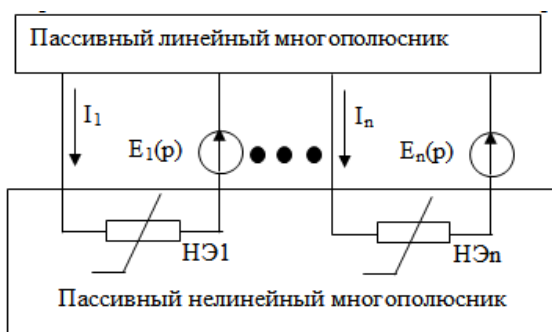


Рис. 1 – Функциональная схема преобразователя

В таком представлении преобразователя можно связать условия реализуемости нелинейного преобразователя и устойчивости заданного режима с условиями реализуемости линейной и нелинейной частей цепи и устойчивости для линейных операторов уравнений цепи. Становится возможным выделение и реализация при помощи нелинейных элементов той части преобразователя, которая не реализуется в классе линейных дискретных цепей. Появляется возможность учитывать часть цепи, которая известна или задана, что часто встречается в практических задачах.

Один из путей решения задачи синтеза нелинейных преобразователей состоит в создании сложных нелинейных характеристик из более простых. При этом применяется кусочно-линейная аппроксимация характеристик нелинейных элементов и затем решается задача синтеза простых функциональных операторов, обеспечивающих требуемый вид нелинейной характеристики. В качестве функциональных преобразователей можно использовать нелинейные квазирезисторы [1], если нелинейную часть моделировать нелинейными сопротивлениями и управляемыми источниками, а также идеализированными схемными элементами типа гиратор, скалор, рефлектор, идеальный операционный усилитель, идеальный транзистор и т.п., [3]. Многообразие перечисленных элементов облегчает решение задач синтеза электрических цепей с заданными свойствами, так как каждый нововведенный элемент выполняет вполне определенное функциональное назначение. Использование в элементном базисе R, L, C, M, E, J и идеального диода позволяет синтезировать схемы замещения различных нелинейных элементов [3], показано, что такой элементный базис обладает функциональной полнотой, т.е., любой элемент электрической цепи с сосредоточенными параметрами можно моделировать сочетанием указанных выше идеализированных элементов [3,5]. Представим схему замещения транзистора в виде линейной и нелинейной части. Линейные активные сопротивления $R_{бб}, R_{эс}, R_{кк}, R_{эб}, R_{кб}$, реактивные элементы и независимые источники выделим в линейную часть (многополюсник). Нелинейную часть, содержащую идеальные диоды $V1, V2$, управляемые источники

$$\mathbf{J}_1 = \mathbf{d}_1 \mathbf{i}_2, \mathbf{J}_2 = \mathbf{d}_2 \mathbf{I}_1$$



будем называть схемой идеального транзистора, (выделенной на рис.2 штриховой линией). Идеальный транзистор по своим свойствам совпадает с идеальным ключом, управляемым током базы (2).

$$i_k = i_\delta \frac{\alpha_2}{1 - \alpha_2} \quad (2)$$

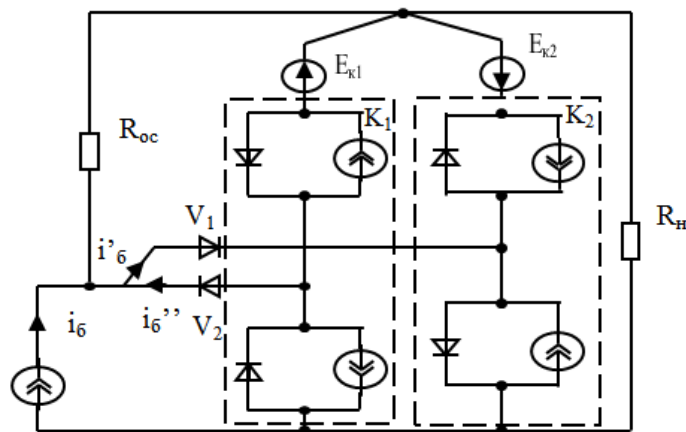


Рис. 2 – Структурная схема преобразователя

Использование модели идеального транзистора, для синтеза схем замещения активных идеализированных элементов, позволило смоделировать схему замещения операционного усилителя рис.3, выходное напряжение которого выражается зависимостью (3)

$$U'_H = -e_\delta \left(\frac{R_{oc}}{R_1} \right) \quad (3)$$

А с помощью идеального операционного усилителя легко моделируются свойства различных активных четырехполюсников (гиратора, скалора, мутатора и т.п.). С помощью рассмотренных идеализированных элементов можно моделировать характеристики различных нелинейных реактивных элементов (нелинейной индуктивности, емкости), а также моделировать схемы замещения различных двухполюсных нелинейных элементов, имеющих как монотонные так и немонотонные ВАХ. С их помощью можно моделируются управляемые ключи (ИТУН, ИТУТ, ИНУТ, ИНУН), которые в свою очередь позволяют моделировать характеристики широкого класса нелинейных функций [3].

При моделировании характеристик нелинейных функций методом, предложенным в данной работе, необходимо перейти к ее модели, состоящей из идеальных управляемых ключей. Точность аппроксимации нелинейных характеристик зависит от количества ИТУН и ИНУТ, входящих в моделирующую цепь. Полученная таким образом нелинейная электрическая цепь содержит произвольное число зависимых и независимых источников энергии, любое число линейных элементов с параметрами R , L , C , M , а также n -нелинейных двухполюсных элементов различного вида [1] рис.2. Свойства цепи описываются матричным уравнением, связывающим напряжение u и токи i на нелинейных элементах (4).

$$M(p) * X(p) + L\{U(i, t)\} = F(p) \quad (4)$$



где оператор $p = j\omega$; $M(p)$ – квадратная матрица параметров линейной части цепи; $X(p)$ – матрица столбец операторных изображений реакций цепи $X=x(t)$; $y = (x)$ – вектор характеристик нелинейных элементов; $F(p)$ – матрица столбец изображений входных воздействий и ненулевых начальных условий.

При наличии в цепи несколько нелинейных элементов получается матричное уравнение которое посредством эквивалентных преобразований [5] приводится к уравнению (3) с минимальной размерностью матрицы столбца $L\{y(x,t)\}$. Применяв к матрице $M(p)$ эквивалентные преобразования, можно упростить уравнение (3) для целей анализа или синтеза. Если цепь (рис.3) содержит один нелинейный элемент, то схема соответственно упрощается, если зависимые источники отсутствуют, то матрица $M(p) = Z(p)$ или матрица $Y(p)$ будут симметричны и должны быть положительными, действительными [1,4], т.е. выполняется ряд условий: - элементы $Z(p)$ рациональные и действительные функции переменной (p) , не имеющие полюсов на правой полуплоскости; полюсы на мнимой оси простые с положительными действительными вычетами; - матрица $[Re Z(j\omega)]$ положительная полуопределенная; - матрицы вычетов элементов $Z(p)$ в полюсах на мнимой оси являются положительными полуопределенными. Накладываемые на функцию (4) ограничения (матрица $M(p)$ должна быть квадратной; в схеме не должно быть зависимых источников, и т.д.) [1] в предлагаемом методе отсутствуют.

Число уравнений, составленных по форме (4) обычно определяется порядком ее линейной части [1,4], поэтому встает задача в уменьшении порядка матрицы $M(p)$, составляемой в форме Коши относительно токов и напряжений реактивных элементов. Под уменьшением сложности цепи понимается уменьшение числа переменных и элементов линейной части цепи. Уменьшение сложности цепи и уравнений может достигаться различными путями. Решить эту задачу можно с помощью разработанного аппарата эквивалентных преобразований схем, содержащих R, L, C, M – элементы, управляемые источники [5]. Необходимо отметить, что в работе используется понятие «эквивалентного преобразования» одной или всех составляющих цепи относительно заданных выводов с целью построения цепи меньшей сложности, чем исходная. Преобразование линейной части цепи осуществляется благодаря применению разработанных приемов и методов эквивалентного преобразования схем, содержащих управляемые источники и идеальные диоды [5], т.е. в расширенном элементном базисе. Иллюстрацией предложенного метода синтеза нелинейных преобразователей является моделирование нелинейной цепи постоянного тока, рис.3, а.

В приведенной схеме линейная часть которой содержит сложные соединения различного вида и зависимые источники тока и напряжения. Для упрощения, сворачивания схемы до некоторой канонической структуры, использовался разработанный комплекс программ по эквивалентным преобразованиям схем [2,5], в результате преобразований была получена схема, представленная на рис. 3,б. Техническая реализация полученной схемы упрощается, так как получается более простая характеристика линейной и нелинейной части. Таким образом, класс задач, решаемых при помощи эквивалентных преобразований достаточно широк и не ограничивается приведенным здесь примером.

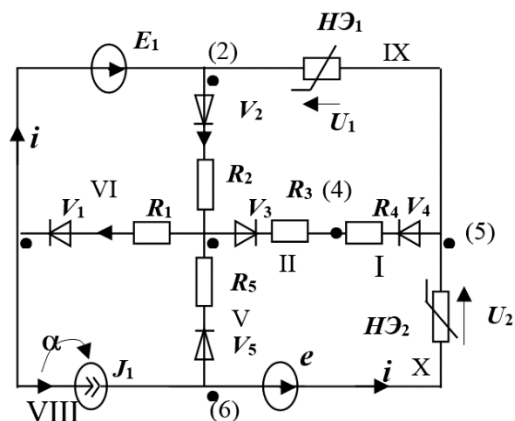


Рис. 3,а – Исходная нелинейная цепь

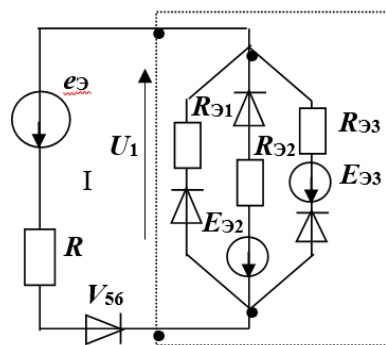


Рис. 3,б – Схема преобразованная

Закключение. Предложен метод моделирования сложных ВАХ НЭ с помощью идеализированных моделей в расширенном элементном базисе. Предложен метод схемного построения преобразователя воздействия в заданную реакцию. Уменьшения порядка уравнений, описывающих синтезируемую цепь, с помощью преобразования линейной части методами эквивалентного преобразования.

Список цитируемой литературы

6. Карпов Е.А. и др. Синтез нелинейных преобразователей. М.: Энергоатомиздат, 1986.
7. Аксенов А.С., Тарасенко А.Д., Полуянович Н.К. Синтез цепей, формирующих заданные напряжения на выходе. В сборнике: Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике материалы XI всероссийской научно-технической конференции. 2018. С. 167-170.
8. Полуянович Н.К. Автоматизация решения задачи синтеза линейных и нелинейных резистивных цепей. учебное пособие / Таганрогский государственный радиотехнический университет, Полуянович Н. К.. Таганрог, 2001. Том Часть 2
9. Полуянович Н.К. Эквивалентные преобразования в линейных и нелинейных схемах замещения электрических цепей. автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Новочеркасский политехнический институт. Новочеркасск, 1991
10. Глушань В.М., Полуянович Н.К. Теория электрических цепей и сигналов. конспект лекций / ТРТУ, ЕГФ, Каф. ТОЭ. Таганрог, 2000
11. Полуянович Н.К. Использование идеализированных элементов для моделирования характеристик нелинейных элементов в задаче автоматизированного проектирования. Известия ТРТУ. 1999. № 2 (12). С. 189-191.
12. Полуянович Н.К. Синтез нелинейных резистивных преобразователей. Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2002. № 1. С. 31-33.
13. Полуянович Н.К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий. Допущено УМО по образованию в области энергетики и электротехники в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 140610 – «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений» направления подготовки 140600 – «Электротехника, электромеханика и электротехнологии» / Санкт-Петербург, 2017. Сер. Учебники для вузов. Специальная литература (Издание третье, стереотипное)
14. Методы испытания силового электрооборудования. Полуянович Н.К., Дубяго М.Н., Щуровский В.А. / Южный Федеральный Университет, Инженерно-технологическая академия, Институт радиотехнических систем и управления, Кафедра электротехники и мехатроники. Таганрог, 2016.



15. Полуянович Н.К., Дубяго М.Н., Щуровский В.А., Береснев М.А. Методы экспериментального определения характеристик электрического привода. Южный Федеральный Университет, Инженерно-технологическая академия, Институт радиотехнических систем и управления, Кафедра электротехники и мехатроники. Таганрог, 2016.
16. Полуянович Н.К. Использование идеализированных элементов для моделирования характеристик нелинейных элементов в задаче автоматизированного проектирования. Известия ТРТУ. 1999. № 2 (12). С. 189-191.
17. Полуянович Н.К., Смолькин О.В. Автоматизация синтеза схем замещения с помощью метода эквивалентных преобразований. Электромеханика. 1999. №2. с.64-65
18. Полуянович Н.К. Методы эквивалентного преобразования нелинейных резистивных схем замещения./ Таганрог. ТРТУ. 1999. 81с
19. Полуянович Н.К., Жуков А.В. Моделирование схем замещения элементов РЭА. Известия ТРТУ. 2000. № 1 (15). С. 132.
20. Дубяго М.Н., Полуянович Н.К. Неразрушающий метод прогнозирования остаточного ресурса силовых кабельных линий. Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. 2012. № 1 (8). С. 27-33.
21. Дубяго М.Н. Разработка модели старения и определение остаточного ресурса изоляции силовых кабелей. Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. № 4 (153). С. 107-114.
22. Дубяго М.Н. Исследование характеристик частичных разрядов в электрической изоляции систем электроснабжения. Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. № 11 (148). С. 201-207.
23. Дубяго М.Н., Пшихопов В.Х., Полуянович Н.К. Оценка и прогнозирование изоляционных материалов силовых кабельных линий. Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. № 7 (168). С. 230-237
24. Притула А.Н., Полуянович Н.К. Исследование кинетических процессов электросинтеза озона в решении энергетических задач озонатора. Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2012. № 4. С. 41-46.
25. Полуянович М.Н., Полуянович Н.К. Микроконтроллерная система компенсации реактивной мощности. Инженерный вестник Дона. 2007. № 2 (2). С. 77-86