

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПА ГАРМОНИЧЕСКОЙ ЛИНЕАРИЗАЦИИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.

Стародубцев А. В.

Донецкий государственный технический университет, кафедра ПЭ

Abstract

Starodubtsev A.V. For account and modeling of the electronic circuits the set of methods allowing to make account of various categories of the circuits, for example is developed: the linear, inertial and nonlinear circuits. On these techniques, if there is a problem of designing of a circuit concerning simultaneously to several categories, some features of a circuit or at all are lowered. For the majority of the circuits such assumptions are quite applicable. For example in circuits with a constant working point the nonlinearity in most cases can be replaced by a linear site, as in the general essential nonlinearity on a small constant site is any more not essential, and consequently it can neglect.

Введение

Для расчёта и моделирования электронных схем разработано множество методов, позволяющих производить расчёт различных категорий схем, например: линейные, инерционные и нелинейные схемы. По этим методикам, если возникает проблема проектирования цепи, относящейся одновременно к нескольким категориям, некоторые особенности цепи линеаризируются, либо вовсе опускаются. Для большинства схем такие допущения вполне применимы. Например в малосигнальных цепях с постоянной рабочей точкой нелинейность в большинстве случаев можно заменить линейным участком, так как в общем существенная нелинейность на малом постоянном участке является уже не существенной, а следовательно ей можно пренебречь. Однако для некоторых схем, где подобные допущения могут привести к существенному искажению параметров схемы, необходима методика позволяющая производить расчёт с учётом всех влияющих на параметры схемы факторов. К таким схемам относятся генераторные схемы, особенности которых и методика расчёта изложены ниже.

Основные положения.

Генераторные схемы широко применяются в качестве промежуточных преобразователей емкостных и индуктивных датчиков, необходимых при построении информационно - измерительных устройств и систем.

Применение линейной модели транзистора делает трудоёмким расчет генераторных схем, в которых информационным параметром является амплитуда генерируемого сигнала. Рассмотрим на примере индуктивного датчика, принцип действия которого основан на изменении добротности контура за счёт потерь, вносимых контролируемым ферромагнитным объектом. Структурная схема индуктивного датчика положения представлена на рис. 1, где АНЭ - активный нелинейный элемент, а ОС - схема обратной связи.

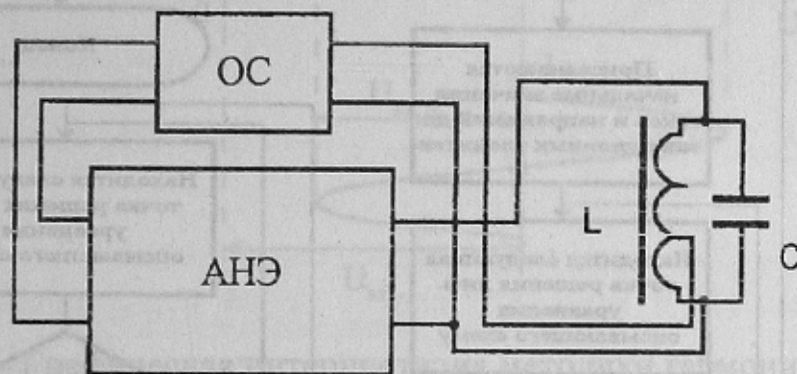


Рисунок 1 — Структурная схема индуктивного датчика положения

При выполнении условия возбуждения возникают колебания с возрастающей во времени амплитудой. Когда амплитуда колебаний возрастает на столько, что нелинейность становится существенной, изменяется постоянная составляющая сигнала на выходе АНЭ (например, транзистора) и, как следствие, изменяется положение его рабочей точки. При этом уменьшается коэффициент передачи АНЭ и амплитуда генерируемых колебаний стабилизируется, то есть выполняется условие баланса амплитуд и фаз.

Для того чтобы найти зависимость амплитуды колебаний от параметров катушки, необходимо вести расчёт во временной области, фиксировать начало установившегося процесса и искать численными методами амплитуду колебаний. Этого достаточно при необходимости построения только выходной характеристики. Для оптимизации выходной характеристики и параметров

схемы данная задача требует экономически не оправданных затрат ресурсов вычислительной техники. Укрупнённый алгоритм методики моделирования и анализа генераторных схем приведен на рис. 2.

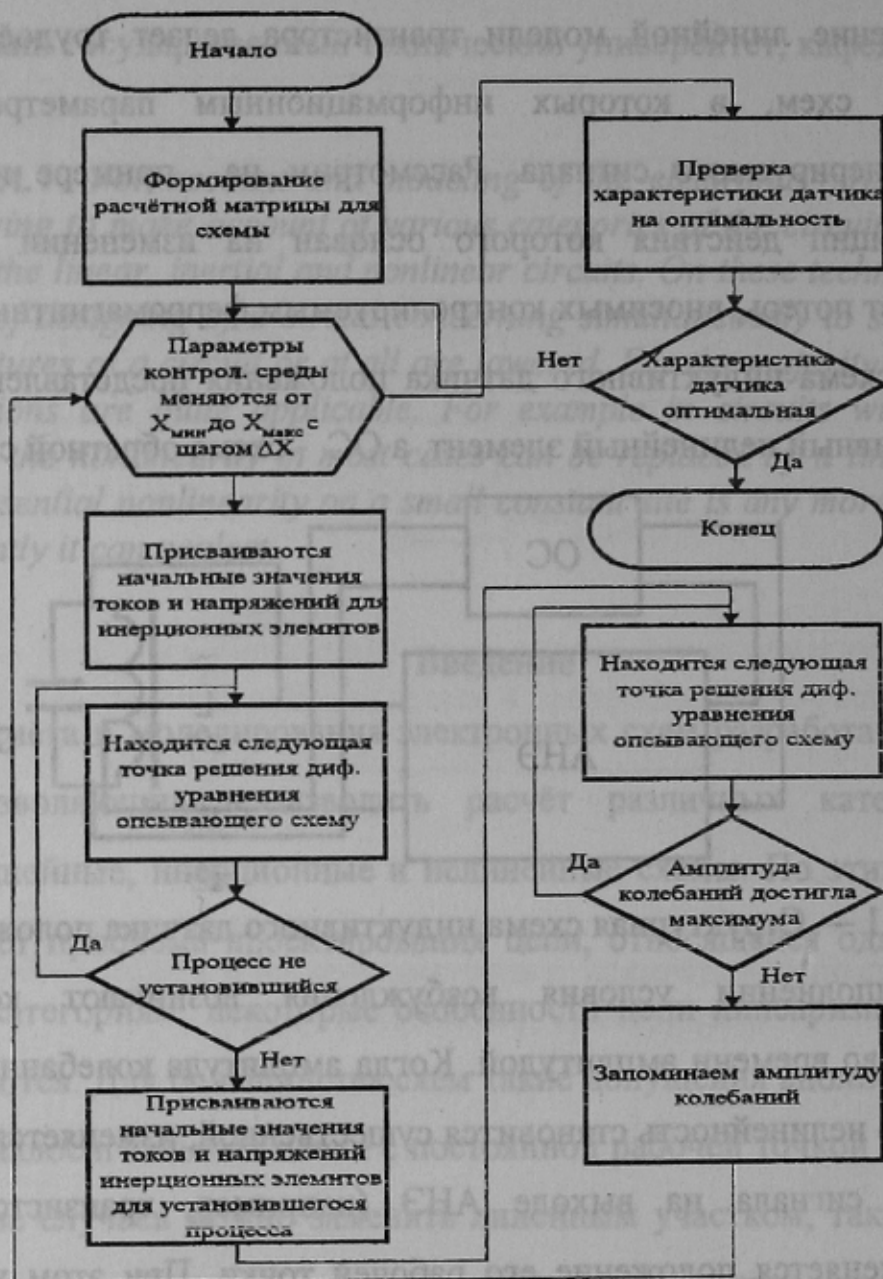


Рисунок 2 — Укрупнённый алгоритм методики моделирования и анализа генераторных схем

Для того чтобы уйти от вычислений во временной области можно использовать методику гармонической линеаризации. Суть её заключается в том, что строятся характеристики зависимости постоянной составляющей сигнала на выходе от постоянной и переменной составляющих сигнала на входе нелинейного элемента и амплитуды основной гармоники сигнала на выходе от

тех же входных величин. Графически методика гармонической линеаризации представлена на рис. 3, где $U_{вх-}$ - постоянная составляющая входного сигнала, $U_{вх-}$ - переменная составляющая входного сигнала, $U_{вых-}$ - постоянная составляющая выходного сигнала а $U_{вых-}$ - переменная составляющая выходного сигнала.

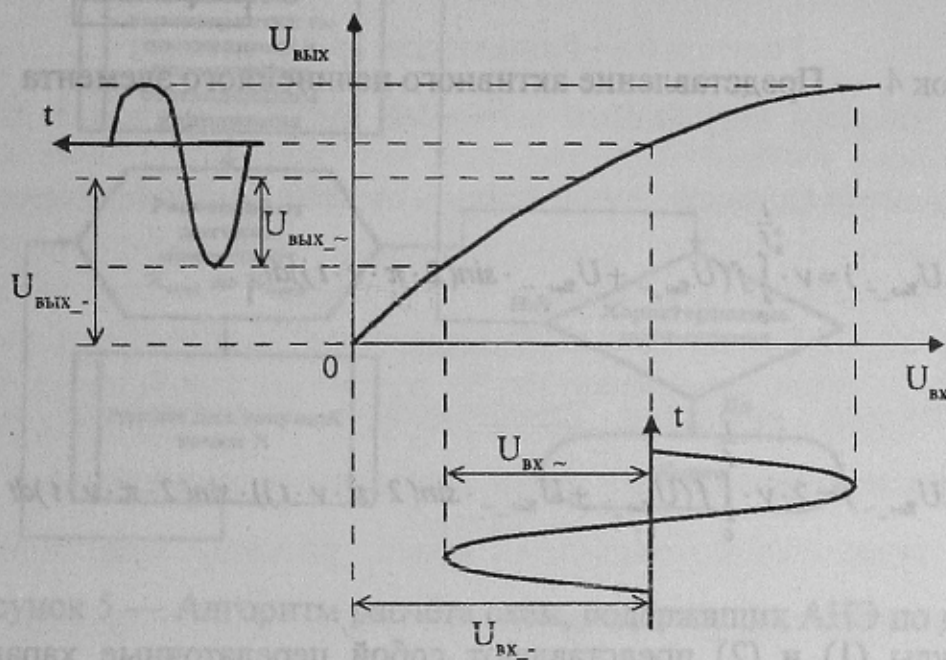


Рисунок 3 — Графическая интерпретация методики гармонической линеаризации

Для наглядности и формализации анализа с целью автоматизации моделирования представим АНЭ в виде двух нелинейных элементов. Для этого разобьём активный нелинейный элемент на два нелинейных элемента, как показано на рис. 4.

Если считать, что на входе АНЭ сигнал имеет вид:

$U_{вх} = U_{вх-} + U_{вх-} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot t)$, где $U_{вх-}$ - постоянная составляющая входного сигнала, $U_{вх-}$ - переменная составляющая входного сигнала, ν - частота основной гармоники сигнала, а выходной сигнал описывается однозначной функцией $U_{вых} = f(U_{вх})$, то мы можем решить поставленную задачу с помощью двумерных характеристик, описывающих постоянную составляющую и амплитуду основной гармоники сигнала на выходе нелинейного элемента по известным формулам для коэффициентов ряда Фурье:

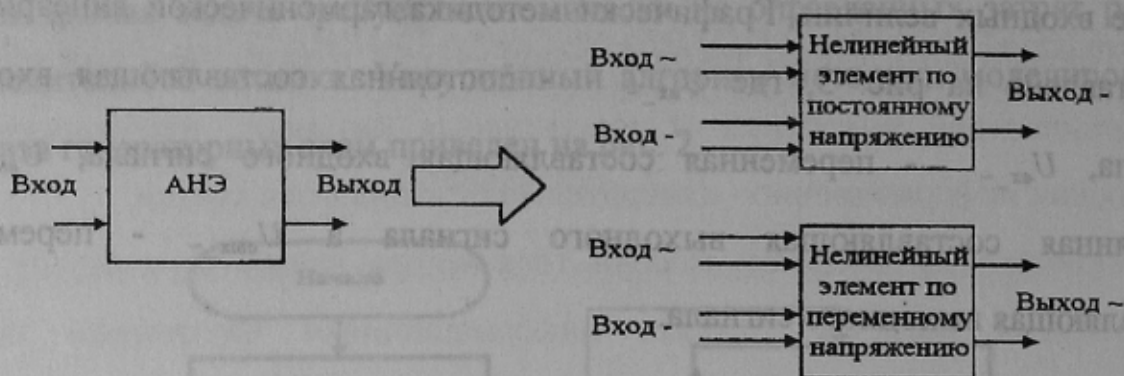


Рисунок 4 — Представление активного нелинейного элемента

$$U_{\text{нл}}(U_{\text{пос}}, U_{\text{пер}}) = v \cdot \int_0^{\frac{1}{f}} f(U_{\text{пос}} + U_{\text{пер}} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot v \cdot t)) dt, \quad (1)$$

$$U_{\text{нл}}(U_{\text{пос}}, U_{\text{пер}}) = 2 \cdot v \cdot \int_0^{\frac{1}{f}} f(U_{\text{пос}} + U_{\text{пер}} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot v \cdot t)) \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot v \cdot t) dt. \quad (2)$$

Формулы (1) и (2) представляют собой передаточные характеристики устройств, показанных на рис. 4, для нелинейных элементов по постоянному напряжению и по напряжению первой гармоники. Теперь необходимо преобразовать исходную моделируемую схему, заменив АНЭ двумя элементами, описанными формулами (1) и (2).

Получив преобразованную схему можно проанализировать её по предложенной методике, отличающейся от известных тем, что расчёт ведётся в статике, не прибегая к расчетам во временной области. Это позволяет уменьшить количество расчётов. Алгоритм методики представлен на рис. 5.

Если сравнить алгоритмы представленные на рис. 2 и 5, то очевидно, что в предложенной методике на два вложенных цикла стало меньше, а так как эти вложенные циклы были расчётом во временной области, то это сокращает время моделирования и анализа схемы в несколько сотен раз.

Если ток на выходе АНЭ описывается уравнением: $I_{\text{вых}} = f_{\text{АНЭ}}(U_{\text{вых}}, U_{\text{вх}})$ а зависимость выходного тока и напряжения на выходе АНЭ связаны

зависимостью, определяемой схемой, в которую он включён $I_{вых} = f_{сх}(U_{вых})$ то можно найти либо точное, либо эмпирическое решение, зависимости связывающей выходное напряжение с входным: $U_{вых} = f(U_{вх})$, или если привязываться к точке схемы, в которой замыкается обратная связь:

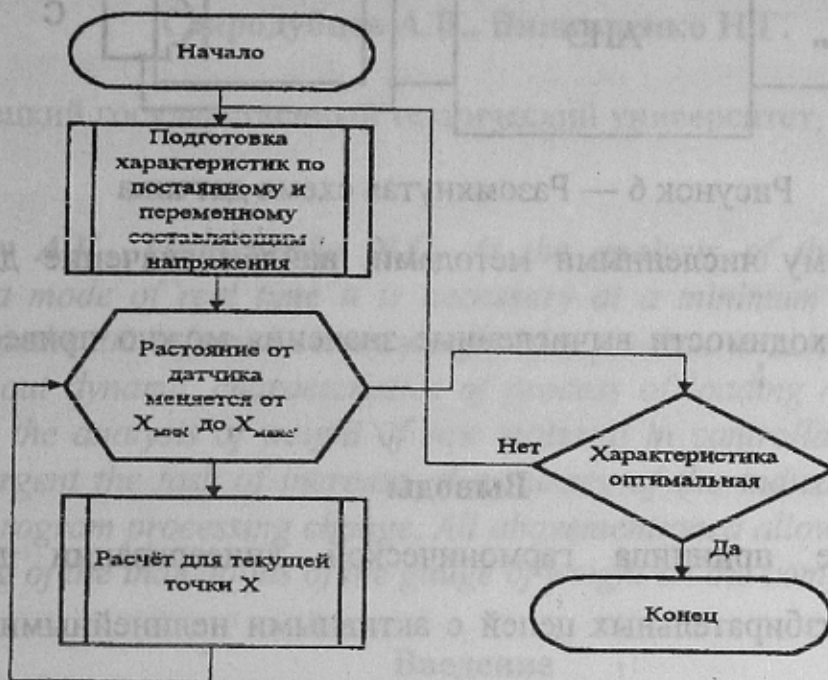


Рисунок 5 — Алгоритм расчёта схем, содержащих АНЭ по методу гармонической линеаризации.

$U_{вых} = f_{OC}(U_{вх})$. Разомкнём обратную связь, как представлено на рисунке 6, тогда подставляя вместо $U_{вх}$ выражение $U_{вх} = U_{вх-} + U_{вх-} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$ и применяя методику описанную выше запишем зависимости $U_{вых-} = f_{OC-}(U_{вх})$ и $U_{вых-} = f_{OC-}(U_{вх})$ по формулам для коэффициентов ряда Фурье. Варьируя переменными $U_{вх-}$ и $U_{вх-}$ в пределах определяемых диапазоном входных напряжений строятся двумерные характеристики для АНЭ по постоянной составляющей напряжения $U_{вых-} = f_{OC-}(U_{вх-}, U_{вх-})$ и по переменной составляющей напряжения $U_{вых-} = f_{OC-}(U_{вх-}, U_{вх-})$. Если замкнуть цепь обратной связи, то $U_{вых-}$ и $U_{вых-}$ становятся входными, и получаем систему из двух уравнений:

$$\begin{cases} U_{вых-} = f_{OC-}(U_{вых-}, U_{вых-}) \\ U_{вых-} = f_{OC-}(U_{вых-}, U_{вых-}) \end{cases}$$

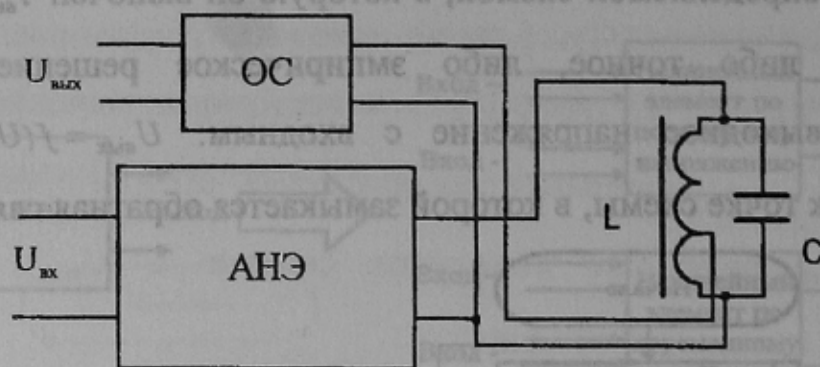


Рисунок 6 — Разомкнутая схема датчика

Решив эту систему численными методами, найдём значение для $U_{\text{вых}_-}$ и $U_{\text{вых}_+}$. При необходимости вычисленные значения можно привести к любой точке схемы.

Выводы

Применение принципа гармонической линеаризации для расчёта генераторных и избирательных цепей с активными нелинейными элементами позволяет существенно сократить время расчёта, при одновременном достижении требуемой точности. Это позволяет не только упростить, но и формализовать проектирование генераторных схем.

Описанная выше методика была применена при оптимизации датчика положения для автоматизированного дозатора смесителя, в результате чего были достигнуты высокие метрологические характеристики, при существенном сокращении времени на отладку схемы и выбора параметров датчика.

Литература

1. Коновалов Г.Ф. «Радиоавтоматика». Учеб. для вузов по спец. «Радиотехника». - М.: Высшая шк., 1990. - 335с.: ил.
2. Заездный А.М. «Основы расчетов нелинейных и параметрических радиотехнических цепей». - М.: Связь, 1973г. - 448с.:ил.
3. Топчеев Ю.И. Атлас для проектирования систем автоматического регулирования: Учеб. пособие для ВТУЗов. — М.:Машиностроение, 1989. - 752с.