

КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ РАСЧЁТОВ НЕЛИНЕЙНЫХ ЦЕПОЧНЫХ СХЕМ

Хохлова А.В., студентка; Корощенко А.В., доц., к.т.н.

(Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина)

Интенсивное развитие компьютеров позволяет облегчить расчёт нелинейных цепей, а также повысить его точность. Поэтому разработка компьютерных программ по расчёту нелинейных цепей является актуальной задачей.

Цель работы. Разработка MathCAD-программ расчёта нелинейных схем цепочного типа постоянного тока с произвольным количеством источников и нелинейных сопротивлений итерационным методом.

Исходными данными для расчета являются схема цепи и ее параметры. Параметры нелинейных элементов задаются в виде вольтамперных характеристик (ВАХ), которые представляют таблично.

Для компьютеризации процессов расчётов необходимо выполнить аппроксимацию характеристик нелинейных элементов. В [1] предлагается аппроксимация аналитическими выражениями в виде ВАХ $U(I)$ и $I(U)$. Однако математический пакет программ MathCAD позволяет выполнить сплайн-интерполяцию [2], которая используется в дальнейшей работе. Технология реализации сплайновой аппроксимации видна из программы, которая прилагается. В программе используются полученные для нелинейных сопротивлений после сплайн-интерполяции зависимости $U_1(I_1) = ui1(I_1)$, $I_2(U_2) = iu2(U_{13})$ и $U_5(I_5) = ui5(I_5)$.

Разработанная программа использует метод пропорциональных величин [3]. Однако ввиду нелинейной зависимости между напряжением источника и током удалённой ветви корректировку задаваемого тока удалённой ветви приходится выполнять неоднократно, используя, таким образом, итерационный подход.

В случае цепи постоянного тока с одним источником (примером является цепь рис. 1 при $E_4 = 0$ и $E_5 = 0$) алгоритм расчётов следующий: задаётся значением тока удалённой ветви, например, $I_5 = 1$; последующие токи и напряжения определяются по законам Кирхгофа с использованием аппроксимированных характеристик нелинейных сопротивлений – $U_{23} = ui5(I_5)$, $I_4 = U_{23}/R_4$, $I_3 = I_4 + I_5$, $U_{13} = U_{23} + R_3 \cdot I_3$, $I_2 = iu2(U_{13})$, $I_1 = I_2 + I_3$, $E_{1P} = U_{13} + ui1(I_1)$; расчётное значение E_{1P} сравнивается с заданным E_1 . В случае расхождения более 1% расчёт повторяется при новом заданном значении тока I_5 , которое вычисляется с учётом коррекционного коэффициента k . Для обеспечения сходимости он должен быть меньше 1, например, $k = 0,2$. Большее значение коэффициента обеспечивает более быстрое схождение (меньшее число итераций), а меньшее значение позволяет получить более высокую точность. Ввиду высокого быстродействия компьютера и не слишком большого количества необходимых итераций (порядка 10) быстрое схождение не играет большой роли, и, как показывает практика, значение коэффициента $k = 0,2$ является вполне удовлетворительным. Ввиду монотонности зависимости $I_5(E_1)$ значение коэффициента k должно быть положительным. Программа успешно работает и в случае N-типа ВАХ $U_5(I_5)$, поскольку каждому значению тока I_5 соответствует только одно значение напряжения U_5 . Неоднозначность возникает в случае S-образной характеристики $U_5(I_5)$. С такой характеристикой программа не работает.

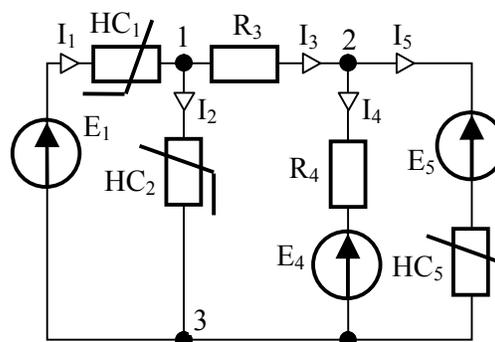


Рисунок 1 – Цепочная схема с нелинейными сопротивлениями

```

K(M, ui, iu) :=
I5 ← 2
k ← -0.2
d ← 0.1
i ← 0
while (|d| > 0.01) ^ (i < 20)
  U23 ← ui(|I5|) + E5
  I4 ← (U23 - E4) / r4
  I3 ← I4 + I5
  U12 ← I3·r3
  U13 ← U12 + U23
  I2 ← iu(|U13|)
  I1 ← I2 + I3
  E1P ← U13 + ui(|I1|)
  d ← (E1 - E1P) / E1
  i ← i + 1
  I5 ← I5·(1 + d·k)
augment (
  ("I1=") (I1)
  ("I2=") (I2)
  ("I3=") (I3)
  ("I4=") (I4)
  ("I5=") (I5)
  ("U12=") (U12)
  ("U23=") (U23)
  ("U13=") (U13)
  ("E1P=") (E1P)
  ("d=") (d)
  ("i=") (i)
)

```

Рисунок 2 – Тело программы

При расчёте цепи постоянного тока рис. 1а с несколькими источниками ($E_4 \neq 0$ и $E_5 \neq 0$), а расчётные формулы принимают вид: $U_{23} = ui_5(I_5) + E_5$, $I_4 = (U_{23} - E_4)/R_4$, $I_3 = I_4 + I_5$, $U_{13} = U_{23} + R_3 \cdot I_3$, $I_2 = iu_2(U_{13})$, $I_1 = I_2 + I_3$, $E_{1P} = U_{13} + ui_1(I_1)$ зависимость $I_5(E_1)$ может быть как с положительной динамикой (с ростом E_1 ток I_5 увеличивается), так и с отрицательной (с ростом E_1 ток I_5 убывает). Поэтому для схождения расчётов нужно взять коэффициент k либо с положительным значением, либо с отрицательным. Это легко определить подбором. Если при первоначальном положительном значении коэффициента расчётное значение E_{1P} не стремится к заданному E_1 даже при значительном числе итераций (несколько десятков), то следует взять отрицательное значение. Необходимый эффект гарантируется незамедлительно.

Тело программы расчёта приведено на рис. 2.

Проверка результатов расчётов выполнялась составлением баланса мощностей. Была также выполнена лабораторная проверка на стенде УИЛС-2. В качестве нелинейных сопротивлений использовались лампы накаливания. Погрешность расчётов не превысила трёх процентов по сравнению с лабораторными измерениями, что для стенда УИЛС-2 является приемлемым результатом.

Разработанная программа является достаточно гибкой: оставаясь в основе той же самой, она позволяет решать нестандартные задачи. Например, такую: определить, какого значения ЭДС E_1 следует взять, чтобы ток в ветви 2 оказался равным $I_2 = 20$ мА. Методика решения следующая. Задавая значение тока

I_5 , решаем задачу по составленной программе до получения требуемого тока I_2 . Далее по законам Кирхгофа находим искомую ЭДС E_1 :

$$I_1 = I_2 + I_3, \quad E_{1P} = U_{13} + ui_1(I_1).$$

Разработанную программу можно также применить к расчёту разветвлённых магнитных цепей с двумя узлами, поскольку эквивалентная расчётная схема указанной магнитной цепи относится к цепочному типу.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. М.М.Фёдоров, В.Е.Михайлов, А.В.Корощенко. Методы расчета и анализа разветвленных цепей цепочного типа с нелинейными резистивными элементами // *Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал*. – Кременчук: КНУ, 2011. – Вип. 1/2011(13). – С. 39-43.

2. Кирьянов Д.В. Самоучитель Mathcad 11. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 530с.: ил.

3. М.П.Рибалко, В.О.Есауленко, В.І.Костенко. Теоретичні основи електротехніки: лінійні електричні кола: Підручник. – Донецьк: Новий світ, 2003. – 513с.

АНОТАЦІЯ

Розроблена MathCAD-програма розрахунку нелінійних кіл ланцюгового типу постійного струму з будь-якою кількістю джерел та нелінійних опорів з використанням ітераційного методу. Виконана лабораторна перевірка отриманих результатів на стенді НДЛС-2.