

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЁТА НЕЛИНЕЙНЫХ ЦЕПОЧНЫХ СХЕМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

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 переменного тока, а также повысить его точность. Поэтому разработка компьютерных программ по расчёту нелинейных цепей переменного тока является актуальной задачей.

Цель работы. Разработка MathCAD-программ расчёта нелинейных схем цепочного типа переменного тока с произвольным количеством источников и нелинейных сопротивлений итерационным методом. Предлагаемая методика расчётов ограничивается цепями с нелинейными сопротивлениями, обладающими инерционностью (например, лампы накаливания), благодаря чему в цепи с синусоидальными источниками форма кривой токов и напряжений остаётся синусоидальной.

Исходными данными для расчета являются схема цепи и ее параметры. Параметры нелинейных элементов задаются в виде вольтамперных характеристик (ВАХ), которые представляются сначала таблично, а затем после выполненной с помощью программы MathCAD [2] сплайн-интерполяции в виде зависимостей $U_1(I_1)$, $I_2(U_2) = I_2(U_{13})$ и $U_5(I_5)$. Используется методика расчёта, изложенная в [1].

При синусоидальных источниках и наличии реактивных сопротивлений (рис. 1) расчёт выполняется символическим методом.

Расчётные формулы для примера рис. 1 и наличии только первого источника ($E_4 = 0$ и $E_5 = 0$) следующие:

- 1) принимается произвольное значение тока $I_5 = I_5 \cdot e^{j\psi_{i5}}$,
- 2) $U_{23} = U_5(I_5) \cdot e^{j\psi_{i5}}$,
- 3) $I_4 = U_{23}/(jx_L)$,
- 4) $I_3 = I_4 + I_5$,
- 5) $U_{13} = U_{23} + (-jx_C) \cdot I_3$,
- 6) $I_2 = I_2(U_{13}) \cdot e^{j\psi_{u13}}$,
- 7) $I_1 = I_2 + I_3$,
- 8) $E_{1P} = U_{13} + U_1(I_1) \cdot e^{j\psi_{i1}}$.

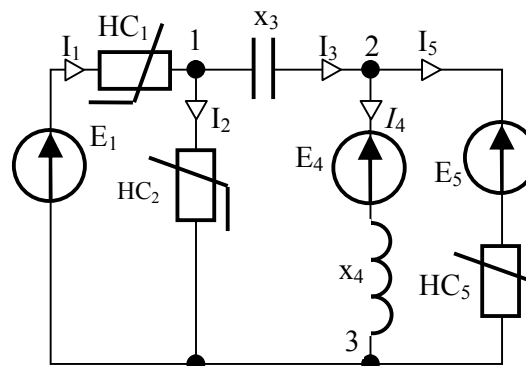


Рисунок 1 – Цепочная схема переменного тока с нелинейными сопротивлениями

Здесь при нахождении напряжений на нелинейных резисторах по известным токам и токам в нелинейных сопротивлениях по известным напряжениям использовались зависимости для действующих значений (не комплексов), а фаза искомой величины принималась той же, что и у исходной величины, поскольку у резисторов комплексы напряжения и тока совпадают по фазе. Теперь нужно добиваться совпадения комплексов (или векторов) расчётного значения E_{1P} и заданного E_1 . В программе используется итерационный подход с корректировкой одновременно и величины, и фазы исходного тока $I_5 = I_5 \cdot e^{j\psi_{i5}}$. Поскольку, как и в случае цепи постоянного тока с одним источником, зависимости $E_{1P}(I_5)$ и $\psi_{e1}(\psi_{i5})$ являются монотонными, коррекционные коэффициенты k_1 и k_2 должны быть положительными и, как показывает практика, их значения $k_1=0,2$ и $k_2=0,2$ являются удовлетворительными. Критерием же получения приемлемого окончательного результата является величина (длина) вектора

разности между комплексами расчётного \underline{E}_{1P} и заданного \underline{E}_1 значений, которая в относительных единицах (по отношению к E_1) не должна превышать 1%:

$$\frac{|\underline{E}_1| - |\underline{E}_{1P}|}{|\underline{E}_1|} \cdot 100\% < 1\%.$$

Достаточно непростая задача возникает в случае цепи переменного тока с несколькими источниками, примером которой может служить несимметричная трёхфазная трёхпроводная цепь с нелинейными сопротивлениями. В этом случае нет однозначной зависимости между модулями и фазами исходного тока \underline{I}_5 и ЭДС первого источника \underline{E}_1 . Хотя величину коррекционных коэффициентов можно оставлять неизменной ($|k_1|=0,2$ и $|k_2|=0,2$), их знак нужно в каждой итерации корректировать. Авторами предложен следующий подход. На каждой итерации выполняется расчёт с четырьмя откорректированными значениями исходного тока \underline{I}_5 , которые получены для всех четырёх комбинаций знаков коррекционных коэффициентов (оба положительны, оба отрицательны, положительный первый и отрицательный второй, отрицательный первый и положительный второй), и выбирается та комбинация, которая даёт наилучшее приближение к заданному комплексу \underline{E}_1 .

Расчётные формулы для одного расчёта цепи рис. 1 следующие:

$$\begin{aligned} 1) \underline{U}_{23} &= U_5(I_5) \cdot e^{j\psi_{I_5}} + \underline{E}_5, & 2) \underline{I}_4 &= (\underline{U}_{23} - \underline{E}_2)/(jX_L), & 3) \underline{I}_3 &= \underline{I}_4 + \underline{I}_5, \\ 4) \underline{U}_{13} &= \underline{U}_{23} + (-jX_C) \cdot \underline{I}_3, & 5) \underline{I}_2 &= I_2(U_{13}) \cdot e^{j\psi_{U_{13}}}, & 6) \underline{I}_1 &= \underline{I}_2 + \underline{I}_3, \\ 7) \underline{E}_{1P} &= \underline{U}_{13} + U_1(I_1) \cdot e^{j\psi_{I_1}}. \end{aligned}$$

Программа с таким алгоритмом была составлена и опробована. Апробации показали работоспособность программы. Количество итераций оказалось приемлемым (порядка 70).

Выводы. Предложен итерационный подход к расчёту нелинейных цепей цепочного типа с источниками переменного тока. Он выгодно отличается от ранее предложенной методики расчёта нелинейных цепей цепочного типа [3] использованием вычислительной техники (пакета компьютерных программ MathCAD) при аппроксимации вольтамперных характеристик нелинейных резистивных сопротивлений, что позволило автоматизировать процесс расчёта.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Хохлова А.В., Корощенко А.В. Компьютеризация расчетов нелинейных цепочных схем // Вісник кафедри «Електротехніка» за підсумками наукової діяльності студентів. – Донецьк, ДонНТУ, 2012. – 175с. – С. 136-137.
2. Кирьянов Д.В. Самоучитель Mathcad 11. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 530с.: ил.
3. 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.

АНОТАЦІЯ

Розроблена MathCAD-програма розрахунку нелінійних кіл ланцюгового типу змінного струму з будь-якою кількістю джерел та нелінійних інерційних опорів з використанням ітераційного методу.