УДК 621.446

**ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЦЕПИ С ЁМКОСТЬЮ, ИНДУКТИВНОСТЬЮ И НЕЛИНЕЙНЫМ РЕЗИСТИВНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ**

**Кордюков А.И., студент; Фёдоров М.М. проф., д.т.н.**

*(ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, Украина)*

Особенности переходных процессов в цепи с ёмкостью, индуктивностью и нелинейным резистивным элементом на примере подключения этой цепи к источнику постоянного напряжения (рис.1)



Рисунок 1 – Подключение цепи RLС с нелинейным резистором к источнику постоянного напряжения

Нелинейные сопротивления (н.с.) заданы вольтамперной характеристикой (ВАХ) (рис. 2)



Рисунок 2 – ВАХ нелинейного резистора R

Вольт-амперная характеристика НС1 и НС2 аппроксимируется с помощью полинома 6 степени (1):

$I\left(U\right)=b\_{1}x^{6}+b\_{2}x^{5}+b\_{3}x^{4}+b\_{4}x^{3}+b\_{5}x^{2}+b\_{6}x+b\_{7} $ (1)

Таблица 1 - Таблица коэффициентов

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер элемента | $$b\_{1}$$ | $$b\_{2}$$ | $$b\_{3}$$ | $$b\_{4}$$ | $$b\_{5}$$ | $$b\_{6}$$ | $$b\_{7}$$ |
| НС1 | -125.7 | 536.3 | -918 | 1063.2 | -830.5 | 373.8 | -0.1 |
| НС2 | -3.6268 | 100.63 | -167.44 | 246.97 | -133.3 | 56.891 | -0.0427 |

Линейный элемент имеет резистивное сопротивление равное $100 Ом$. НС1 в интервале от 0 до 0.35 А имеет сопротивление больше $100 Ом$, а на интервале от 0.35 А – меньше $100 Ом$. НС2 в интервале от 0 до 0.6 А имеет сопротивление меньше $100 Ом$, а в интервале от 0.6 А – больше $100 Ом$.

Переходные процессы в цепи RLС описаны системой уравнений (2)

$\left\{\begin{array}{c}U=ir+L\frac{di}{dt}+u\_{C}\\i=C\frac{du\_{c}}{dt}\end{array}\right.$ (2)

Расчёт переходных процессов осуществляется численным методом, согласно которому ток в момент времени $t\_{k}$ определяется системой уравнений (3):

$\left\{\begin{array}{c}i\_{k+1}=i\_{k}+∆i\_{k}\\u\_{с(k+1)}=u\_{сk}+∆u\_{сk}\end{array}\right.$ (3)

где:

$i\_{k} и u\_{сk}$ – ток на индуктивности и напряжение на конденсаторе в момент времени $t\_{k}$;

$i\_{k+1} и u\_{с(k+1)}$ – ток на индуктивности и напряжение на конденсаторе в момент времени $t\_{k}+∆t$;

$∆i\_{k} и ∆u\_{сk}$ – приращение тока на индуктивности и напряжения на конденсаторе на промежутке времени $∆t$;

Величину $∆t\_{k}$ выбираем из условия $∆t=\frac{t\_{пп}}{N}$, где:

$t\_{пп}$ – время переходного процесса в цепи R-L-С с линейным резистивным элементом, величина которого равна $r=100 Ом$;

$N$ – Количество точек, равное $100÷1000$.

Величина $r L и C$ выбирается из условия $r=r\_{кр}=2\sqrt{\frac{L}{C}}$ – предельный случай апериодического процесса, в этом случаевремя переходного процесса $ t\_{пп}$ определяется по формуле (4):

$t\_{пп}=4\frac{2L}{r}$(4)

Для определения приращения тока $∆i\_{k}$ и напряжения на конденсаторе $∆u\_{c}$ воспользуемся системой дифференциальных уравнений цепи (3):

$\left\{\begin{array}{c}∆i\_{k}=\frac{U-u\_{r}-u\_{C}}{L}\*∆t\\∆u\_{c}=\frac{i∙∆t}{C}\end{array}\right.$ (5)

На каждом этапе величина $Ur$ определяется по ВАХ нелинейных элементов цепи. Использовав полученный алгоритм, были рассчитаны переходные процессы для двух случаев с нелинейным резистивным элементом и для одного случая с линейным резистором, которые приведены на рисунке 3 и 4.



Рисунок 3 – Графики изменения напряжения на ёмкости



Рисунок 4 – Графики изменения тока на индуктивности

Выводы: Из результатов следует, что переходный процесс с НС1, у которого на первом этапе сопротивление больше 100 Ом имеет определённое приближение к колебательному процессу и переходный процесс заканчивается быстрее, так как на более поздних этапах его сопротивление возрастает.

Для НС2 - картина противоположная. Переходной процесс имеет апериодический характер и длительность переходного процесса больше, чем при линейном сопротивлении, так как на поздних этапах сопротивление уменьшается.

Перечень ссылок

1. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В. Основы теории цепей. – М.: Энергия, 1989.- 530 с.
2. **Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. –** 9-е изд., перераб. и доп. – М.: «Высшая школа», 1996. – 638 с.
3. Программный пакет Mathlab 2013.