УДК 621.3

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В РАЗВЕТВЛЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ С НЕЛИНЕЙНЫМИ РЕАКТИВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Куксин И.Ю., студент; Федоров М.М., проф., д.т.н.
(Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина)

Расчет переходных процессов в разветвленных электрических цепях с нелинейными реактивными элементами осуществим методом переменных состояний. Алгоритм расчета рассмотрим на конкретном примере (рис. 1).

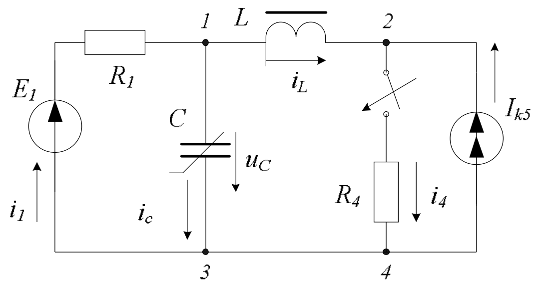

Рисунок 1 - Исходная схема

До коммутации в исходной схеме отсутствовала ветвь с резистивным сопротивлением R_4. Нелинейные реактивные элементы C и L заданы соответственно вебер-амперной $\psi(i_L)$ и кулон-вольтной $q(u_C)$ зависимостями. Для удобства анализа в схеме используется источники постоянного тока.

Переменные состояния - ток в ветви с индуктивностью i_L и напряжение на емкости u_c. Составим систему алгебраических уравнений связи токов в ветвях (i_1 и i_4) с переменными состояниями. Для этого используем вспомогательную схему (рис. 2).

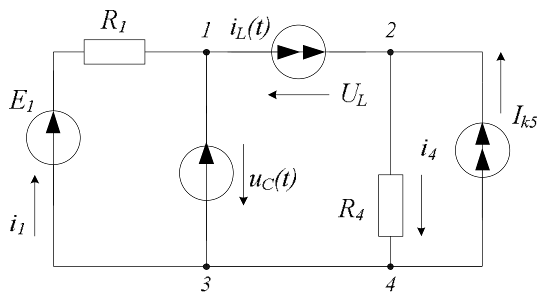

Рисунок 2 - Вспомогательная схема

Получаем из исходной, поставив ключ в положение после коммутации, нелинейную индуктивность заменяем источником тока $i_L(t)$, а нелинейную емкость - источником напряжения $u_C(t)$. Используя законы Кирхгофа из схемы (рис. 2) имеем:

$$i_1 = \frac{E_1 - u_C(t)}{R_1}, \qquad i_4 = I_{k5} + i_L(t). \tag{1}$$

Дифференциальное уравнение для переменного состояния вида $\frac{di_L}{dt}$ получим с помощью II закона Кирхгофа для контура, включающего ветвь с индуктивностью:

$u_L = \frac{d\psi}{dt} = L\frac{di}{dt} = u_C(t) - i_4R_4$, с учетом (1) первое дифференциальное уравнение

состояния будет иметь вид: $$\frac{d\psi}{dt} = -i_L(t)R_4 + u_C(t) - R_4I_{k5}\,. \qquad (2)$$

Дифференциальное уравнение для переменного состояния вида $\frac{du_C}{dt}$ получим с помощью I закона Кирхгофа составленного для узла 1: $i_C = \frac{dq}{dt} = C\frac{du_C}{dt} = i_1 - i_L$,
с учетом (1) второе дифференциальное уравнение состояние будет иметь вид:

$$\frac{dq}{dt} = -\frac{u_C(t)}{R_1} - i_L(t) + \frac{E_1}{R_1}\,. \qquad (3)$$

Решение уравнений состояния рационально осуществлять численными методами, что позволяет учитывать нелинейности $\psi(i_L)$ и $q(u_C)$. По известным значениям переменных состояния ψ_j и q_j в момент времени t_j через заданный промежуток времени Δt величины переменных состояний определяются: $\psi_{j+1} = \Delta\psi_j + \psi_j$, $q_{j+1} = \Delta q_j + q_j$, где $\Delta\psi_j$ и Δq_j - приращения потокосцепления индуктивности и заряда емкости соответственно, определим из выражений, полученных с помощью (2) и (3): $\Delta\psi_j = \Delta t(u_j - R_4i_{Lj} - R_4I_{k5})$, $\Delta q_j = \Delta t(-\frac{u_{Cj}}{R_1} - i_{Lj} + \frac{E_1}{R_1})$.

Исходя из вышеизложенного, алгоритм расчета переходных процессов может быть следующим:

1) С помощью законов коммутации определяем значения переменных состояний в момент времени $t = 0$, для этого используем состояние схемы до коммутации (рис. 3).

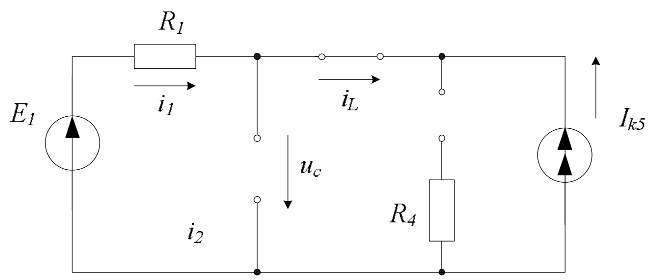

Рисунок 3 - Схема до коммутации

Из схемы получаем, что: $i_L(0) = -I_{k5}$, $u_C(0) = E_1 + I_{k5}R_1$. Значение ψ потокосцепления на индуктивности и q заряда на емкости в момент времени $t = 0$ определяем по нелинейным зависимостям $\psi(i_L)$ и $q(u_C)$.

2) Определяем приращение переменных состояний $\Delta\psi_0$ и Δq_0:

$$\Delta\psi_0 = \Delta t(u_C(0) - R_4i_L(0) - R_4I_{5k}),\; \Delta q_0 = \Delta t(-\frac{u_C(0)}{R_1} - i_L(0) + \frac{E_1}{R_1}).$$

3) Значение переменных состояний в момент времени $t_1 = \Delta t$ равны:

$$\psi(t_1) = \Delta\psi(0) + \psi(0),\; q(t_1) = \Delta q(0) + q(0).$$

4) По нелинейным зависимостям $\psi(i_L)$ и $q(u_C)$ определим величины $i_L(t_1)$ и $u_C(t_1)$.

Далее процесс повторяется до принужденного состояния.