ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Տեխնիկական գիտութ. սերիա   XXVIII, № 6, 1975   Серия технических наук

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Э. Л. ОГАНЕСЯН

К РАСЧЕТУ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ СО СТАЛЬЮ ПОСТОЯННОГО ТОКА

При представлении переходного тока в цепи со сталью в виде суммы установившегося тока $i_{\text{пр}} = E/R$ и некоторой составляющей $i_{\text{св.н}}$, которую по аналогии с линейными цепями будем называть „свободной", т. е. в виде $i(t) = i_{\text{пр}} + i_{\text{св.н}}$, расчет переходных процессов, описываемых нелинейными дифференциальными уравнениями, не имеющими в общем случае точного аналитического решения [1, 2], сильно упрощается. При этом составляющая $i_{\text{св.н}}$ определяется из однородного нелинейного дифференциального уравнения с учетом влияния начального и установившегося токов на режим работы или на нелинейную зависимость. При представлении нелинейной зависимости магнитной цепи степенным полиномом $\psi(i) = \sum_{p=1}^{n} a_p i^p$, или $L_{\text{дин}}(i) = \sum_{p=1}^{n} p a_p i^{p-1}$ для цепи из R и $L(i)$ (рис. 1), соответствующее однородное уравнение, описывающее ток $i_{\text{св.н}}$, интегрируемо. То есть уравнение, составленное для свободной составляющей с учетом новой зависимости $L'_{\text{дин}}(i_{\text{св.н}}) = \sum_{p=1}^{n'} p a'_p i_{\text{св.н}}^{p-1}$,

$$L'_{\text{дин}}(i_{\text{св.н}}) \frac{di_{\text{св.н}}}{dt} + Rt = 0,$$

или

$$\frac{di_{\text{св.н}}}{dt} \sum_{p=1}^{n'} p a'_p i_{\text{св.н}}^{p-1} + Rt = 0$$

интегрируется и дает:

$$-a'_1 \ln i_{\text{св.н}} + a'_2 i_{\text{св.н}} + \sum_{p=1}^{n'} \frac{p}{p-2} a'_p i_{\text{св.н}}^{p-1} + Rt = C. \qquad (1)$$

При $2 \leqslant n' \leqslant 5$ возможно аналитическое решение переходного тока. Постоянная интегрирования C определяется из начальных условий: для режима короткого замыкания при $t=0$ $i_{\text{св.н}} = \frac{E}{R}$, для режима подключения к постоянному напряжению E при $t=0$ $i=0$ и $i_{св} = -\frac{E}{R}$.

Значения n' и a'_p или соответственно полиномы $\psi(i_{св,н}) = \sum_{p=1}^{n'} a'_p i^p_{св,н}$ или $L_{дин}(i_{св,н}) = \sum_{p=1}^{n'} p a'_p i^{p-1}_{св,н}$ для режима короткого замыкания цепи из R и $L(i)$, начальный ток которого $i_{-0} = \frac{E}{R}$, определяется интерполяцией зависимостей $\psi(i)$ или $L_{дин}(i)$, заключающейся в подстановке в эти зависимости вместо тока i сумму токов $\frac{E}{R} - i_{св,н}$ и приведении коэффициентов при одинаковых степенях $i_{св,н}$. Кроме этого, зависимости $\psi(i_{св,н})$ или $L_{дин}(i_{св,н})$ более удобно могут быть определены непосредственной аппроксимацией кривой намагничивания при соответствующем преобразовании координатной системы $\psi(i)$ и $L(i)$, заключающейся в выборе нового начала координат в точке $i = i_{-0} = \frac{E}{R}$ и направления осей (рис. 2). Начальный ток обеспечивает постоянное

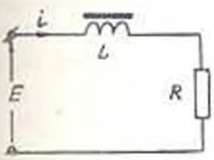

Рис. 1

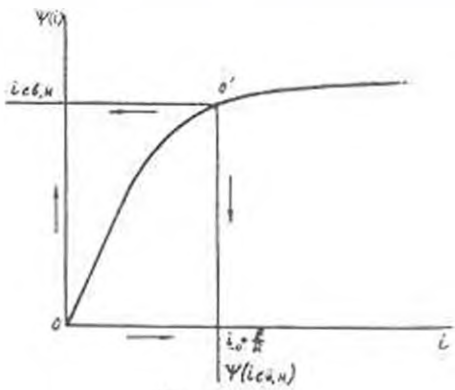

Рис. 2

подмагничивание, а работа цепи при коротком замыкании начинается в точке $i = \frac{E}{R}$ и завершается в точке 0, т. е. реальный процесс соответствует преобразованной системе координат или новым зависимостям $\psi(i_{св,н})$ или $L_{дин}(i_{св,н})$. В режиме же подключения цепи к постоянному напряжению E имеем обратную картину: переходный ток i изменяется от нуля до $i = \frac{E}{R}$, и здесь нет подмагничивающего тока. Зависимости $\psi(i)$ и $L_{дин}(i)$ сохраняются и для тока $i_{св,н}$. Вид переходного тока определяется свободным током $i_{св,н}$, поэтому для свободного тока должны оставаться те же нелинейные зависимости, определяющие вид и переходного, и свободного токов. Это положение находится в согласии с результатами других корректных методов, например, метода постепенного приближения, а также с экспериментальными результатами. В итоге, для свободной составляющей $i_{св.п}$ переходного тока i при подключении цепи из R и $L(i)$ на постоянное напряжение получаем:

$$-a_1 \ln i_{св.п} + a_2 i i_{св.п} + \sum_{p=3}^{n} a_p i^{p-1}_{св.п} + Rt = C. \tag{2}$$

Постоянная интегрирования C определяется из начальных условий: при $t = 0$ $i = 0$, или $i_{св.п} = -\frac{E}{R}$.

При необходимости получить аналитическое решение уравнений (1) и (2), когда не требуются очень высокие точности, $\ln i_{св.п}$ интерполируется степенным полиномом $(n-1)$-го порядка $(n \leqslant 5)$ для интервала $0 \leqslant i_{св.п} \leqslant \frac{E}{R}$.

Будем иметь

$$\ln i_{св.п} = \sum_{p=0}^{n-1} b_p i^p_{св.п}. \tag{3}$$

Тогда выражения (1) или (2) преобразуются в алгебраическое уравнение

$$-a_1 \sum_{p=1}^{n'-1} b_p i^p_{св.п} + \sum_{p=2}^{n'} a'_p i^{p-1}_{св.п} + Rt = C, \tag{4}$$

или

$$\sum_{p=0}^{n-1} c_p i^p_{св.п} + Rt = 0, \tag{5}$$

где a'_p и c_p — приведенные коэффициенты при степенях $i_{св.п}$, равных $p-1$ и p соответственно. Отметим, что для $n>5$ численное решение с использованием ЭЦВМ можно выполнять как для уравнения, записанного в виде (1) или (2), так и в виде (4) или (5).

АрмНИИ энергетики Поступило 10.IV.1974

ЛИТЕРАТУРА

1. Хаяси Т. Нелинейные колебания в физических системах. Изд. «Мир», 1968.
2. Атабеков Г. И., Тимофеев А. Б., Хухриков С. С. Теоретические основы электротехники, ч. 2. Изд. «Энергия», 1970.