

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК

УДК 621.372.061.3

Т.Т.Розум, Э.В.Купчинова

РАСЧЕТ ПО СОСТАВЛЯЮЩИМ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В УТРОИТЕЛЕ ЧАСТОТЫ

При анализе нелинейных электрических цепей часто представляет интерес общий характер переходных процессов, их длительность, наибольшие значения токов и напряжений. Расчет для мгновенных значений исследуемых величин, сопряженный с большим объемом вычислений, при этом нецелесообразен, более рационален расчет по составляющим или огибающим исследуемых процессов.

В настоящей статье предлагается методика расчета переходных процессов в утроителе частоты с трехфазным входом (рис. 1). Переходный режим рассматривается как результат наложения на установившийся режим нелинейной, отличной от экспоненты, затухающей во времени свободной составляющей. Расчет свободных составляющих выполняется с помощью направленного графа [1]. В результате такого подхода к анализу переходного процесса значительно сокращается объем вычислений, упрощается структура расчета. Такая методика дает возможность по составляющим получить огибающую переходного процесса или, если требуется, построить график мгновенных значений.

При аппроксимации кривой намагничивания сердечников гиперболическим синусом уравнения электрического и магнитного состояния утроителя частоты в относительных единицах [2] запишутся:

$$U_m \sin(t + \alpha) = p\psi_A + ri_A + \frac{1}{3} r_H i_H; \quad (1) \quad i_A = \text{sh}\psi_A - i_H; \quad (4)$$

$$U_m \sin(t + \alpha - 120^\circ) = p\psi_B + ri_B + \frac{1}{3} r_H i_H; \quad (2) \quad i_B = \text{sh}\psi_B - i_H; \quad (5)$$

$$U_m \sin(t + \alpha + 120^\circ) = p\psi_C + ri_C + \frac{1}{3} r_H i_H; \quad (3) \quad i_C = \text{sh}\psi_C - i_H; \quad (6)$$

$$i_H = \frac{1}{3} (\text{sh}\psi_A + \text{sh}\psi_B + \text{sh}\psi_C), \quad (7)$$

где $p = \frac{d}{dt}$ — оператор дифференцирования.

Полагая, что переходный процесс обусловлен наложением на установившийся режим некоторого нелинейного, затухающего во времени искажения a, b, c , принимаем решение в виде:

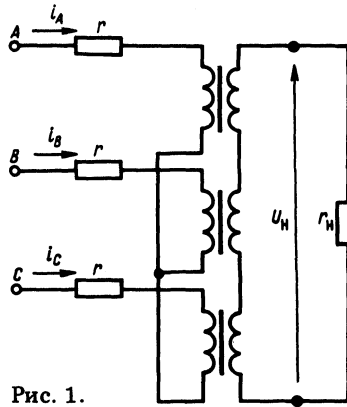


Рис. 1.

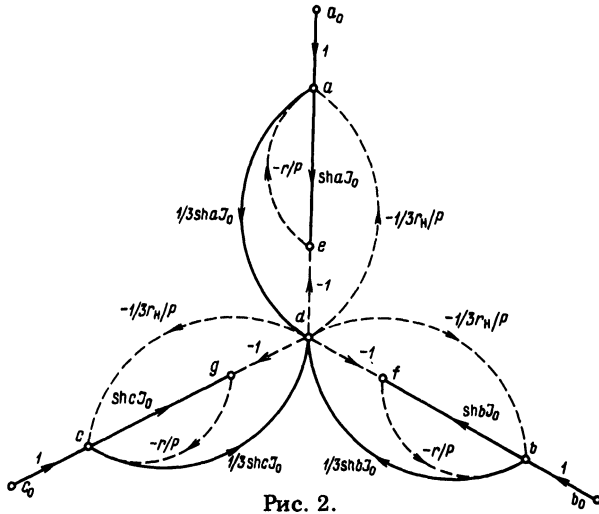


Рис. 2.

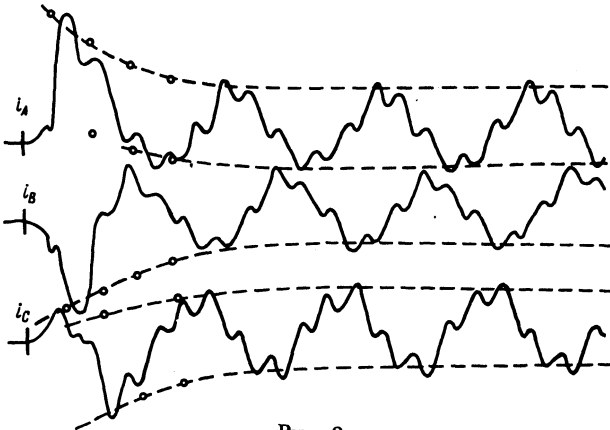


Рис. 3.

$$\psi_A = a + \psi_m \sin(t + \xi); \quad (8)$$

$$\psi_B = b + \psi_m \sin(t + \xi - 120^\circ); \quad (9)$$

$$\psi_C = c + \psi_m \sin(t + \xi + 120^\circ); \quad (10)$$

Разложим гиперболический синус суммы свободной и синусоидально изменяющейся составляющих ($\text{sh}\psi_A, \text{sh}\psi_B, \text{sh}\psi_C$) в ряд Фурье. Коэффициентами ряда будут функции Бесселя различных порядков [3]. Расчет ведем по первой и третьей гармонике, поэтому учтем три члена ряда, т.е. постоянную составляющую, первую и третью гармоники, тогда согласно (4) – (7) получаем выражения для токов:

$$i_H = d + \frac{1}{3} (\text{cha} + \text{chb} + \text{chc}) [-2J_3(j\psi_m)] \sin(3t + \xi_3); \quad (11)$$

$$i_A = \text{sha} J_0(j\psi_m) - d + \text{cha} [-2J_1(j\psi_m)] \sin(t + \xi) = e + \text{cha} I_m \sin(t + \xi); \quad (12)$$

$$i_B = \text{shb} J_0(j\psi_m) - d + \text{chb} [-2J_1(j\psi_m)] \sin(t + \xi - 120^\circ) = \\ = f + \text{chb} I_m \sin(t + \xi - 120^\circ); \quad (13)$$

$$i_C = \text{shc} J_0(j\psi_m) - d + \text{chc} [-2J_1(j\psi_m)] \sin(t + \xi + 120^\circ) = \\ = g + \text{chc} I_m \sin(t + \xi + 120^\circ), \quad (14)$$

где $d = \frac{1}{3} J_0(j\psi_m) (\text{sha} + \text{shb} + \text{shc})$ – свободная составляющая тока нагрузки.

После подстановки в (1) выражений (8), (11), (12) приравняем коэффициенты при одинаковых аргументах и свободные члены. Тогда (1) будет тождественно трем уравнениям, которые позволяют получить расчетные соотношения для амплитуд первых гармоник потокосцепления ψ_m , тока I_m , начальной фазы ξ в установившемся режиме

$$\psi_m = \sqrt{U_m^2 - r^2 I_m^2}; \quad I_m = -2J_1(j\psi_m); \quad \text{tg}\xi = \frac{-\psi_m \cos\alpha - r I_m \sin\alpha}{\psi_m \sin\alpha + r I_m \cos\alpha} \quad (15)$$

и свободную составляющую потокосцепления фазы А

$$a = -\frac{r}{p} e - \frac{1}{3} \frac{r_H}{p} d. \quad (16)$$

Используя уравнения (2) и (3), аналогично находим выражения для свободных составляющих потокосцепления в фазах В и С:

$$b = -\frac{r}{p} f - \frac{1}{3} \frac{r_H}{p} d; \quad (17)$$

$$c = -\frac{r}{p} g - \frac{1}{3} \frac{r_H}{p} d. \quad (18)$$

На основании (11) – (18) строим направленный граф (рис. 2), которым определяется порядок расчета свободных составляющих переходного процесса. Значения a_0 , b_0 , c_0 находим из начальных условий, $t = 0$:

$$\psi_A = 0 = a_0 + \psi_m \sin \xi; \quad a_0 = -\psi_m \sin \xi;$$

$$\psi_B = 0 = b_0 + \psi_m \sin(\xi - 120^\circ); \quad b_0 = -\psi_m \sin(\xi - 120^\circ);$$

$$\psi_C = 0 = c_0 + \psi_m \sin(\xi + 120^\circ); \quad c_0 = -\psi_m \sin(\xi + 120^\circ).$$

Весь переходный процесс разбиваем на ряд интервалов и определяем значения переменных на каждом интервале. Так, порядок расчета в первом приближении на k -м интервале:

$$a_k = a_{k-1}''' - \frac{1}{2} r (e_{k-1}''' + e_{k-1}''') \Delta t - \frac{1}{6} r_H (d_{k-1}''' + d_{k-1}''') \Delta t;$$

$$b_k = b_{k-1}''' - \frac{1}{2} r (f_{k-1}''' + f_{k-1}''') \Delta t - \frac{1}{6} r_H (d_{k-1}''' + d_{k-1}''') \Delta t;$$

$$c_k = c_{k-1}''' - \frac{1}{2} r (g_{k-1}''' + g_{k-1}''') \Delta t - \frac{1}{6} r_H (d_{k-1}''' + d_{k-1}''') \Delta t;$$

$$e_k = \text{sha}_k J_0(j \psi_m) - d_{k-1}''';$$

$$f_k = \text{shb}_k J_0(j \psi_m) - d_{k-1}''';$$

$$g_k = \text{shc}_k J_0(j \psi_m) - d_{k-1}''';$$

$$d_k = \frac{1}{3} J_0(j \psi_m) (\text{sha}_k + \text{shb}_k + \text{shc}_k).$$

Полученные результаты уточняем в процессе итераций. Итерационные циклы строятся согласно контурам обратной связи графа:

$$a_k^I = a_{k-1}''' - \frac{1}{2} r (e_{k-1}''' + e_k) \Delta t - \frac{1}{6} r_H (d_{k-1}''' + d_k) \Delta t;$$

$$b_k^I = b_{k-1}''' - \frac{1}{2} r (f_{k-1}''' + f_k) \Delta t - \frac{1}{6} r_H (d_{k-1}''' + d_k) \Delta t;$$

$$c_k^I = c_{k-1}''' - \frac{1}{2} r (g_{k-1}''' + g_k) \Delta t - \frac{1}{6} r_H (d_{k-1}''' + d_k) \Delta t;$$

$$e'_k = \text{sh} a'_k J_0(j\psi_m) - d_k;$$

$$f'_k = \text{sh} b'_k J_0(j\psi_m) - d_k;$$

$$g'_k = \text{sh} c'_k J_0(j\psi_m) - d_k;$$

$$d'_k = \frac{1}{3} J_0(j\psi_m) (\text{sh} a'_k + \text{sh} b'_k + \text{sh} c'_k) \text{ и т.д.}$$

По предложенной методике рассчитаны огибающие переходных процессов утроителя в режиме активной нагрузки $r_H = 20 \text{ Ом}$; $U_m = 30 \text{ В}$; $\xi = \alpha - \varphi = -90^\circ$, параметры утроителя в [4]. На рис. 3 приведены осциллограмма переходного процесса и огибающие (штриховые линии), для построения которых выполнены расчеты лишь на четырех интервалах.

Л и т е р а т у р а

1. О р е О. Теория графов. — М., 1968. 2. Б а м д а с А.М., К у л и н и ч В.А., Ш а п и р о С.В. Статические электромагнитные преобразователи частоты и числа фаз. — М. — Л., 1961. 3. Б е с с о н о в Л.А. Нелинейные электрические цепи. — М., 1975. 4. Б л а д ы к о В.М., Р о з у м Т.Т. Применение направленных графов при расчете переходного процесса в утроителе частоты. — Изв. вузов СССР. Сер. Энергетика, 1970, № 1.

УДК 62-82:621.333.3

О.П.Ильин, В.П.Беляев,
Ю.Н.Петренко, П.П.Примшиц

ПОВЫШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ МОМЕНТА НАГРУЗКИ НА ВАЛУ РАБОЧЕГО ОРГАНА

Большинство разработанных в настоящее время систем адаптивного управления станками функционируют на основе информации о силовых характеристиках режимов резания, получаемых в процессе обработки [1]. Устройства, позволяющие получить указанную информацию, как правило, конструктивно сложны, сложны в установке их на объекте измерения и обладают искажением величины выходного сигнала от остаточных механических напряжений [2]. В практике решения задач адаптивного управления нашли распространение косвенные методы определения момента на валу рабочего органа (момента резания). При всех достоинствах эти методы зачастую не учитывают упругость кинематической цепи, связывающей вал двигателя с валом рабочего органа, особенно в установках с разветвленной кинематикой. Это приводит к большим погрешностям измерений в динамических ре-