

МЕТОД АНАЛИЗА МОСТОВЫХ m -ФАЗНЫХ ИНВЕРТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

В. И. ИВАНЧУРА, Б. П. СОУСТИН

(Представлена научно-техническим семинаром НИИ АЭМ)

Если m -фазная нагрузка симметрична, то система линейных уравнений приводится к одному векторному уравнению, которое записывается при нулевых начальных условиях

$$\bar{Y}(p) = \bar{U}(p) \cdot \bar{K}_n(p). \quad (1)$$

Здесь $\bar{Y}(p)$ — операторное изображение выходной величины вектора;
 $\bar{U}(p)$ — изображение обобщенного m -фазного вектора напряжения;
 $\bar{K}_n(p)$ — векторная передаточная функция нагрузки.

Если вид потенциальных функций [1] не зависит от нагрузки, то m -фазный мостовой инвертор можно заменить импульсным элементом, на вход которого поступает единичное воздействие периода T $X(t) = 1$. Импульсный элемент формирует обобщенный вектор m -фазного напряжения, определенный в течение T . Передаточная функция импульсного элемента при таком воздействии совпадает с его импульсной характеристикой

$$K_U(p) = \frac{L\{\bar{U}(t)\}}{L\{\delta(t)\}} = \bar{U}(p). \quad (2)$$

Поэтому выходная величина такого инвертора находится как реакция разомкнутой импульсной системы, на вход которой поступает единичное воздействие периода T . Тогда уравнение (1) при использовании дискретного преобразования Лапласа [2] запишется

$$\bar{Y}^*(q, \varepsilon) = \bar{K}^*(q, \varepsilon) \cdot \bar{X}^*(q, 0), \quad (3)$$

где $\bar{K}^*(q, \varepsilon)$ — передаточная функция приведенной непрерывной части,
 $\bar{Y}^*(q, \varepsilon)$, $\bar{X}^*(q, 0)$ — изображение выходного вектора, изображение входного воздействия.

Реакция $\bar{Y}^*(q, \varepsilon)$ содержит две составляющие: квазиустановившегося процесса $\bar{Y}(\infty, \varepsilon)$ и переходного процесса $\bar{Y}(n, \varepsilon)$.

$$\bar{Y}(\infty, \varepsilon) = \bar{Y}(\varepsilon) = \lim_{q \rightarrow 0} [(e^q - 1) \bar{Y}^*(q, \varepsilon)], \quad (4)$$

$$\bar{Y}(n, \varepsilon) = \sum_v \text{Res}_{e^q} [\bar{Y}^*(q, \varepsilon) e^{q(n-1)}]. \quad (5)$$

Здесь e^{q_0} — полюса функции $Y^*(q, \varepsilon)$, $q_0 = 0$.

Используя выражение входного воздействия $X(q, 0) = \frac{e^q}{e^q - 1}$, находим составляющую квазиустановившегося и переходного процессов:

$$\bar{Y}(\varepsilon) = \lim_{q \rightarrow 0} \mathbf{D} [K_n(q) \cdot \bar{K}_n(q)], \quad (6)$$

$$\bar{Y}(n, \varepsilon) = \sum \operatorname{Res}_{e^{q_0}} \left\{ \frac{e^q}{e^q - 1} \mathbf{D} [K_n(q) e^{q(n-1)}] \right\}. \quad (7)$$

Обобщенный вектор реакции $\bar{Y}(\varepsilon)$ и $\bar{Y}(n, \varepsilon)$ может быть разложен на фазные составляющие

$$\bar{Y}_i(\varepsilon) = \operatorname{Re}[\bar{a}^{i-1} \bar{Y}(\varepsilon)], \quad \bar{Y}_i(n, \varepsilon) = \operatorname{Re}[\bar{a}^{i-1} \bar{Y}(n, \varepsilon)]. \quad (8)$$

Для определения реакции инвертора при широтно-импульсной модуляции необходимо определить изображение обобщенного вектора напряжения, которое зависит как от вида коммутационной функции, так и от временной характеристики источника питания. Если считать, что $E_n(\varepsilon) = E_n = \text{const}$, то аналогично с [3] можно записать

$$\begin{aligned} \bar{U}(q) &= 0,5 E_n \sum_{i=1}^m \bar{a}^{i-1} \cdot F_i(q) = \frac{2 E_n}{qm} \sum_{i=1}^m \sum_{k=0}^{N-1} \bar{a}^{i-1} e^{-\gamma_i(k)q}, \\ F_i(q) &= \frac{1}{T} F_i\left(\frac{q}{T}\right). \end{aligned} \quad (9)$$

Выражение (9) справедливо для широтно-импульсной модуляции по любому закону. Так, если фазное напряжение модулируется прямоугольными импульсами одинаковой ширины

$$\gamma_i(k) = \frac{\gamma}{2} \left\{ 1 + \mu \operatorname{sign} \sin \left[k \frac{2\pi}{N} + \xi_1 + \Delta\xi + \frac{2\pi}{m}(i-1) \right] \right\} + k\gamma.$$

Здесь μ — глубина модуляции, N — число импульсов.

При широтно-импульсной модуляции по синусоидальному закону

$$\gamma_i(k) = k\gamma + \frac{\gamma}{2} \left\{ 1 + \mu \sin \left[k \frac{2\pi}{N} + \xi_1 + \frac{2\pi}{m}(i-1) \right] \right\}.$$

Угол $\Delta\xi$ введен для определенности расчета на ЭЦВМ, если $\xi \neq 0$, $\Delta\xi = 0$.

Очевидно, что при четном N $\mu = 1$ и $\xi = 0$ будет частный случай 180° управления.

Решая совместно (9) и (6), (7) при $E_n = \text{const}$,

$$\bar{Y}(\varepsilon) = \lim_{q \rightarrow 0} \mathbf{D} \left\{ - \frac{2 E_n}{qm} \sum_{k=0}^N \sum_{i=1}^m \bar{a}^{i-1} \cdot e^{-\gamma_i(k)q} \cdot \bar{K}_n(q) \right\}, \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \bar{Y}(n, \varepsilon) &= \sum \operatorname{Res}_{e^{q_0}} \left[\frac{e^2}{e^q - 1} \mathbf{D} \left\{ - \frac{2 E_n}{qm} \cdot \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \sum_{k=0}^N \sum_{i=1}^m \bar{a}^{i-1} \cdot e^{-\gamma_i(k)q} \cdot \bar{K}_n(q) \right\} e^{q(n-1)} \right]. \end{aligned} \quad (11)$$

Практические схемы инверторов содержат ключи из обратно параллельно соединенных управляемых элементов (транзисторы, тиристоры и т. п.) и диодов. Токи элементов находятся из следующих логических форм:

$$\begin{aligned} [F_i \equiv +1] \wedge (\text{sign } i_i \equiv +1) &\supset (i_{T2i-1} \equiv +i_i), \\ [(F_i \equiv +1) \wedge (\text{sign } i_i \equiv -1)] &\supset (i_{D2i-1} \equiv -i_i), \\ [(F_i \equiv -1) \wedge (\text{sign } i_i \equiv -1)] &\supset (i_{T2i-1} \equiv -i_i), \\ [(F_i \equiv -1) \wedge (\text{sign } i_i \equiv +1)] &\supset (i_{D2i-1} \equiv +i_i). \end{aligned} \quad (12)$$

Здесь ток ключа разложен на токи элементов в соответствии с логической функцией $\text{sign } i_i$.

Ток источника питания $i_n(t)$ определяется

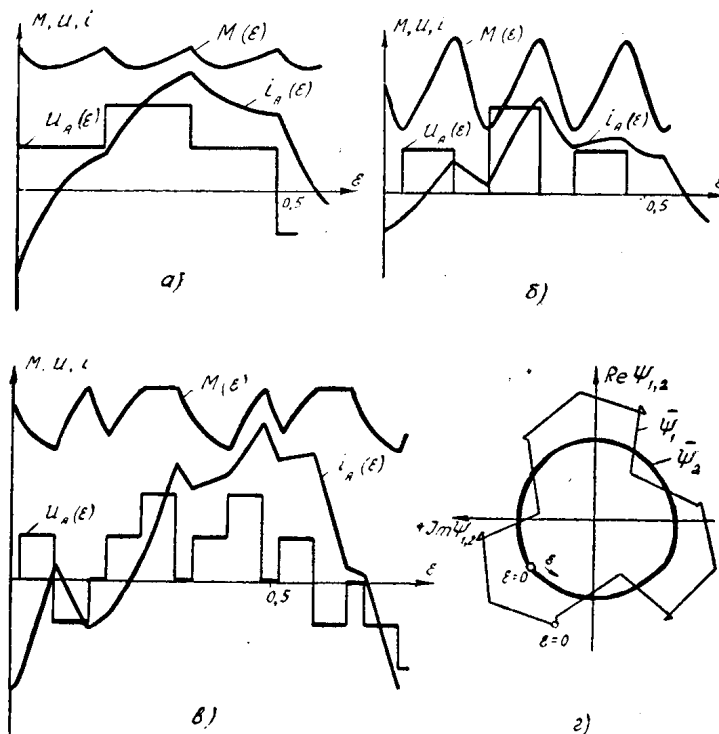


Рис. 1. Временные характеристики системы инвертор—асинхронный двигатель: а) при 180° напряжении; б) при ШИМ, равной длительности импульсов; в) ШИМ по синусоидальному закону; г) потокосцепления статора и ротора

$$i_n(t) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=m} F_i \cdot i_i.$$

По приведенным выражениям в качестве примера составлены алгоритмы для расчета токов инвертора, потокосцеплений и моментов асинхронного двигателя в квазиустановившемся процессе. Полученные решения приведены на рис. 1.

Выводы

Предложен метод расчета m -фазных инверторов напряжения для линейной нагрузки на основе дискретного преобразования Лапласа с использованием коммутационных функций. Полученные выражения реакции справедливы как для статической активноиндуктивной, так и для двигательной нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Иванчура, Б. П. Соустин. Определение выходных напряжений m -фазных инверторов через коммутационные функции. (Настоящий сборник).
 2. Я. З. Цыпкин. Теория линейных импульсных систем. Физматгиз, М., 1963.
 3. В. И. Иванчура, Б. П. Соустин. Исследование квазиустановившихся режимов асинхронного двигателя при питании от инвертора с несинусоидальным напряжением. Известия ТПИ, т. 243. Изд. ТГУ, Томск, 1971.
-