

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫХОДНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ  
 $m$ -ФАЗНЫХ ИНВЕРТОРОВ ЧЕРЕЗ КОММУТАЦИОННЫЕ  
ФУНКЦИИ**

В. И. ИВАНЧУРА, Б. П. СОУСТИН

(Представлена научно-техническим семинаром НИИ АЭМ)

Места присоединения линий нагрузки  $m$ -фазного инвертора 1, 2, ...  $m$  считаются симметричными по величине сопротивлений относительно полюсов источника  $E_n(t)$  (в идеальном случае сопротивления равны нулю), источник  $E_n(t)$  бесконечной мощности. Мгновенные значения фазных напряжений обозначаются через  $U_1, U_2, \dots, U_m$ , линейные напряжения — через  $U_{12}, U_{23}, \dots, U_{m1}$ , линейные токи нагрузки — через  $i_1, i_2, \dots, i_m$ , потенциалы точек 1, 2, ...,  $m$  относительно нуля источника питания — через  $V_1, V_2, \dots, V_m$ . Тогда фазные и линейные напряжения можно выразить через потенциалы

$$[U_{ij}] = [V_i] - [V_j], \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^m U_i = 0, \quad U_i = V_i - \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m V_j, \quad (2)$$

где  $i, j \in (1, 2, \dots, m)$ .

Очевидно, если точки  $i, j$  присоединены к положительному полюсу источника питания, то их потенциалы будут  $+0,5E_n(t)$ , если к отрицательному —  $-0,5E_n(t)$ . Характер изменения потенциалов точек можно выразить произведением

$$V_i(t) = 0,5 E_n(t) \cdot F_i(t), \quad (3)$$

где  $F_i(t)$  — коммутационная функция точки  $i$ . В случае присоединения к положительному полюсу источника питания  $F_i(t) = +1$ , если к отрицательному —  $F_i(t) = -1$ , в случае, если оба плеча инвертора разомкнуты, —  $F_i(t) = 0$ .

Решая совместно (1) и (2), находим представление напряжений инвертора через напряжение источника питания и коммутационные функции:

$$U_{ij}(t) = 0,5 E_n(t) [F_i(t) - F_j(t)], \quad (4)$$

$$U_i(t) = 0,5 E_n(t) [F_i(t) - \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m F_j(t)]. \quad (5)$$

Важной характеристикой  $m$ -фазной системы является выражение обобщенного вектора напряжения

$$\bar{U}(t) = \frac{2}{m} \sum_{i=1}^m \bar{a}^{i-1} U_i(t) = 0,5 E_n(t) \bar{F}(t), \quad (6)$$

где  $a = e^{j\frac{2\pi}{m}}$ , а  $\bar{F}(t) = \frac{2}{m} \sum_{i=1}^m \bar{a}^{i-1} F_i(t)$  — обобщенный коммутационный вектор.

Такое представление позволяет определить любые характеристики напряжения инвертора через характеристики источника питания и коммутационные функции, найти отклик любой линейной системы при воздействии  $m$ -фазного напряжения как комбинацию простых воздействий.

Коммутационная функция определяется характером управления ключами инвертора и в общем случае может быть любой. При симметричном управлении фазами инвертора коммутационные функции образуют симметричную  $m$ -фазную систему. Так, для инверторов со  $180^\circ$  управлением коммутационная функция может быть либо  $+1$ , либо  $-1$ , если же угол проводимости в сумме с углом  $\epsilon$ , определяемым запасом реактивной энергии в нагрузке, меньше  $180^\circ$ , ток нагрузки носит прерывистый характер и коммутационная функция принимает значения  $\pm 1$  и  $0$ . При широтно-импульсной модуляции выходного напряжения инвертора и равной длительности фазных импульсов или при регулировании ширины импульсов по синусоидальному закону коммутационная функция принимает значения  $\pm 1$ . Сдвиг между соседними потенциальными функциями при симметричном  $m$ -фазном управлении равен  $\pm \frac{2\pi}{m}$ .

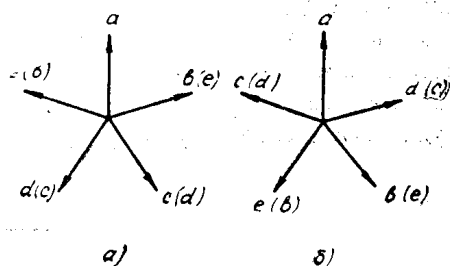


Рис. 1

Соотношения между спектрами потенциальной функции и спектрами фазного и линейного напряжения находятся из выражений (1), (2),  $n$ -я гармоника потенциальной функции  $V_i$  запишется

$$V_{ni} = V_n \sin \left[ n \left( \nu + \frac{2\pi}{m} i \right) + \Psi_n \right] = V_n \operatorname{Im} e^{jn\nu + \Psi_n + \frac{2\pi n}{m} i}, \quad (7)$$

$n$ -я гармоника линейного напряжения

$$U_{nij} = V_n \operatorname{Im} e^{jn\nu + \Psi_n} - V_n \operatorname{Im} e^{jn\nu + \Psi_n(j-i) + \frac{2\pi n}{m} i}. \quad (8)$$

Здесь  $(j-i) < m$  — целое число.

После преобразований (8) можно записать

$$U_{nij} = V_n k_n(j-i) \sin [n\nu + \Psi_n + \Psi_n(j-i)], \quad (9)$$

где

$$k_n(j-i) = 2 \sin(j-i) \frac{\pi n}{m}; \quad \Psi_n(j-i) = \frac{\pi}{2} - \frac{(j-i)\pi n}{m},$$

$n$ -я гармоника фазного напряжения удовлетворяет уравнению (1)

$$U_{ni} = V_{ni} - \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m V_{nj}. \quad (10)$$

Из анализа (10) видно, что  $U_{ni} = V_{ni}$  при  $n \neq im$ , и  $U_{ni} = 0$  при  $n = im$ .

Таким образом, в спектре линейного и фазного напряжений присутствуют гармоники потенциальной функции. В спектре фазного напряжения они не меняются, в спектре линейного — изменяют амплитуду и фазу. Гармоники, кратные числу фаз, отсутствуют в линейном и фазном напряжении.

Спектр напряжения  $m$ -фазного инвертора можно разделить на прямую  $n = mk + 1$  и обратную последовательность  $n = mk - 1$ , где  $k = 0, 1, 2, 3, \dots$ . Гармоники нулевой последовательности  $n = mk$  отсутствуют, зато присутствуют гармоники, образующие различные колебательные последовательности. На рис. 1,а для примера приведена прямая (обратная) и две колебательные последовательности (рис. 1,б) для случая  $m = 5$ .

В связи с новой постановкой проектирования электродвигателей, питающихся от инверторов, есть смысл рекомендовать их выполнение с большим числом фаз, так как ближайшей гармоникой обратной последовательности будут  $n = m - 1$ . Кроме того, частота пульсации момента двигателя при несинусоидальном напряжении кратна  $2m$ , а амплитуда пульсации обратно пропорциональна  $m$ .