

## Особенности переключения статорных цепей асинхронного двигателя в целях энергосбережения

**Введение.** При неконтролируемом переключении статорной обмотки АД существует опасность включения в момент, когда сдвиг фаз между векторами напряжения сети  $u_c$  и ЭДС двигателя  $e_d$  близок к  $180^\circ$ . При этом бросок тока может значительно превысить пусковой ток.

**Постановка задачи исследования.** Получение модели, позволяющей выбрать оптимальный режим переключения.

**Материалы исследования.** Уравнение движения отключенного от сети двигателя:

$$-m_c = T_m \frac{dv}{dt}, \quad (1)$$

где  $m_c = M_c/M_n$ ,  $v = \omega/\omega_n$  – относительные момент сопротивления и угловая скорость АД;  
 $T_m = J_{np} \cdot [\omega_n/M_n]$  – механическая постоянная АД.

Приближенное решение уравнения (1):

$$v = v_0 \cdot (1 - m_c \cdot t/T_m), \quad (2)$$

где  $v_0$  – начальная скорость двигателя в момент отключения. Приняв, что переключение происходит при половинной нагрузке, будем иметь:

$$v = v_0 \cdot (1 - t/2 \cdot T_m). \quad (3)$$

По такому же закону будет изменяться и ЭДС двигателя:

$$e_d = e_0 \cdot (1 - t/T_3), \quad (4)$$

где  $e_0$  – начальная ЭДС двигателя в момент отключения;  $T_3 = (X_2 + X_\mu)/\omega \cdot R_2$  – электромагнитная постоянная обмотки ротора;  $X_2, X_\mu, R_2$  – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора, индуктивное сопротивление намагничивания, активное сопротивление обмотки ротора;  $\omega = 2\pi f = 314c^{-1}$ ,

$$e_0 = E_0/U_c = \sqrt{\left[\frac{R_2'}{s_{отк}}\right]^2 + X_2'^2} / \sqrt{\left[(R_1 + C_1 \cdot R_2')^2 + (X_1 + C_1 \cdot X_2')^2\right]}. \quad (5)$$

Зависимость угла сдвига фаз между векторами  $u_c$  и  $e_d$  от времени:

$$\psi = \psi_0 + (\omega_0 - \omega) \cdot t = \psi_0 + \omega_n \cdot (v_0 - v) \cdot t, \quad (6)$$

где  $\psi_0$  – начальный угол между векторами  $u_c$  и  $e_d$  в момент отключения.

$$\psi_0 = \arccos 0,5 \cdot \left[ e_0 + e_0^{-1} - (0,5 \cdot I_n \cdot Z_1 / U_c^2 \cdot e_0) \right], \quad (7)$$

$$\text{где } Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2}.$$

На основании полученных выше формул можно получить следующие зависимости, позволяющие построить диаграмму переключения и пользоваться ею:

$$\psi = \psi_0 + (\omega_n \cdot v_0 \cdot t^2 / 2 \cdot T_m); \quad (8)$$

$$t = \sqrt{2 \cdot T_m \cdot (\psi - \psi_0) / \omega_0}; \quad (9)$$

$$e_d = e_0 \cdot \left( 1 - \sqrt{2 \cdot T_m \cdot (\psi - \psi_0) / T_3^2 \cdot \omega_0} \right); \quad (10)$$

$$v = v_0 \left( 1 - \sqrt{(\psi - \psi_0) / 2 \cdot T_m \cdot \omega_0} \right). \quad (11)$$

Диаграмма переключения строится в таком порядке (рис.1):

1.Изображаем единичный вектор  $u_c$  и под углом  $\psi_0$  к нему – векторы  $e_0$  и  $v_0$  (по механической характеристике для  $m_c = 0,5$ ).

2.Через равные угловые промежутки, например  $\pi/4$ , с начала вектора  $u_c$  проводят лучи, на каждом из которых откладывают векторы  $e_d$  и  $v$ , соответствующие данным  $\psi$ , а соединив их вершины плавной линией, получим спирали  $e_d(\psi)$  и  $v(\psi)$ .

3. Из конца вектора  $u_c$  единичным радиусом проводят дугу А-А, точки пересечения которой со спиралью  $e_\delta(\psi)$  разграничивают диаграмму на допустимую (выше дуги А-А) и запретную (ниже дуги А-А) области переключений. По граничным углам  $\psi_{cp.1}$  и  $\psi_{cp.2}$  по (9) определяют соответствующие периоды времени  $t_{cp.1}$  и  $t_{cp.2}$ .

4. Соединив вершины векторов  $u_c$  и  $e_\delta$ , получим результирующий вектор  $u_\Sigma$ , определяющий величину тока переключения.

При затяжных процессах переключения построение спиралей  $e_\delta(\psi)$  и  $v(\psi)$  можно продолжить описанным выше образом для  $\psi > 2\pi$ .

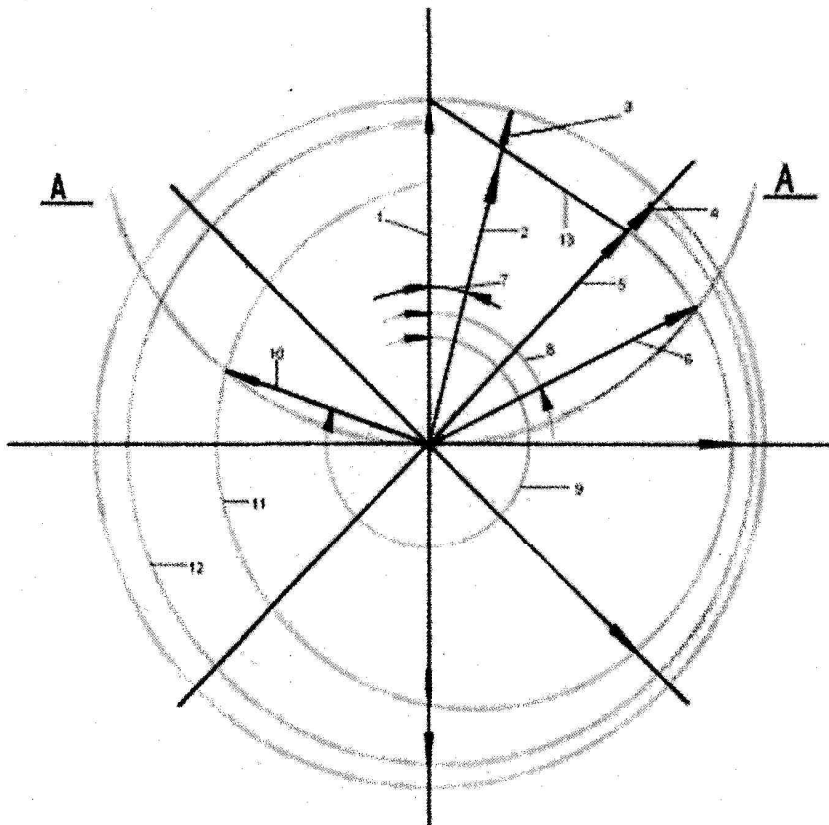


Рис.1. Диаграмма переключения.

На рис.1: 1- единичный вектор  $u_c$ ; 2,3 – векторы  $e_0$  и  $v_0$  соответственно; 4,5 – векторы  $v$  и  $e_\delta$  соответственно; 6 –  $e_{cp.1}$ ; 7 – угол  $\psi_0$ ; 8 – угол  $\psi_{cp.1}$ ; 9 – угол  $\psi_{cp.2}$ ; 10 –  $e_{cp.2}$ ; 11 – спираль  $e_\delta(\psi)$ ; 12 – спираль  $v(\psi)$ ; 13 – результирующий вектор  $u_\Sigma$ .

**Выводы.** Диаграмма переключения позволяет:

1. Для любого угла  $\psi$  получить значения  $e_\delta$  и  $v$ , а также результирующего напряжения  $u_\Sigma$ , определяющего величину тока переключения, как расстояние между вершинами векторов  $u_c$  и  $e_\delta$ .

2. Вычислить момент времени  $t$ , когда эти величины устанавливаются.

3. В зависимости от  $t_{cp.1}$  и  $t_{cp.2}$  выбрать быстродействие или выдержку времени переключающего устройства. Во всех случаях время переключения  $t_{пер}$  не должно превышать  $t_{cp.1}$  или не быть меньше  $t_{cp.2}$ .

Более благоприятно переключение в первой подобласти ( $t_{пер} < t_{cp.1}$ ). Переключение во второй подобласти ( $t_{пер} > t_{cp.2}$ ) связано с существенным снижением скорости, т.е. производительности, кроме того, требуется задержка времени.

**Литература.** 1. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 240с.