

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ТИРИСТОРНОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ С УЧЕТОМ ЗОНЫ КОММУТАЦИИ

В настоящей работе ставится задача получить зависимости скорости (э.д.с.) и тока двигателя в переходном режиме с учетом зоны коммутации и изменения э.д.с. двигателя за период питающего напряжения в виде явных функций времени. Для решения задачи используется метод обобщенных функций [2]. При учете перекрытия анодов в соответствии с [1] предполагается, что угол коммутации зависит от угла открывания вентилей и значения тока главной цепи в начале коммутационного периода и не зависит от изменения тока в зоне коммутации.

Систему уравнений, описывающих переходный процесс в электроприводе (рис. 1), можно представить в виде [3]

$$i + \varepsilon + T \frac{di}{dt} = F(t), \quad (1)$$

$$i_c + T_{эм} \frac{d\varepsilon}{dt} = i \quad (2)$$

при начальных условиях $\varepsilon(0) = \varepsilon_0, i(0) = i_0$.

Функция управления, представляющая собой закон изменения выходного напряжения преобразователя во времени с учетом коммутации вентилей (рис. 2)

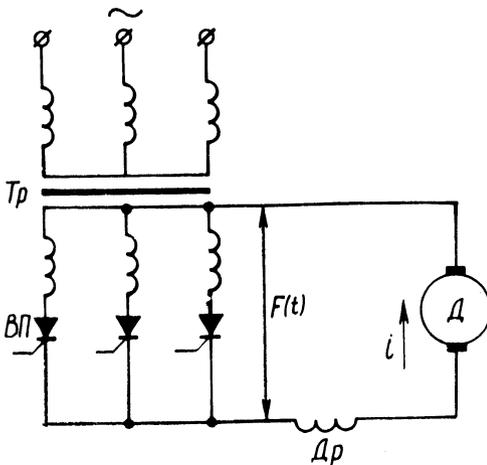


Рис.1. Принципиальная схема.

$$F(t) = \sum_{k=0}^{\infty} \left\{ f_{1k}(t) \left[1(\alpha_t^k) - 1(\alpha_t^k - \gamma_k) \right] + f_{2k}(t) \left[1(\alpha_t^k - \gamma_k) - 1(\alpha_t^{k+1}) \right] \right\}, \quad (3)$$

$$f_{1k}(t) = \cos \frac{\pi}{m} \sin(\beta_t^k + \frac{\pi}{m}); \quad f_{2k}(t) = \sin \beta_t^k,$$

где k — номер интервала проводимости; γ_k — угол коммутации, определяемый выражением (1);

$$\gamma_k = -\alpha + \arccos\left(\cos - \frac{x_{2s}}{E_{km}} i_k\right), \quad (4)$$

α — угол регулирования, отсчитываемый от точки пересечения синусоид, x_{2s} — приведенный реактанс рассеяния вторичной обмотки трансформатора ($x_{2s} \approx z_k$; $E_{km} = E_{2m} \sin \frac{\pi}{m}$); i_k — ток в начале периода коммутации:

$$\beta_t^k = \alpha_t^k + \gamma_0; \quad \alpha_t^k = \omega t - k\lambda; \quad \lambda = 2\pi/m.$$

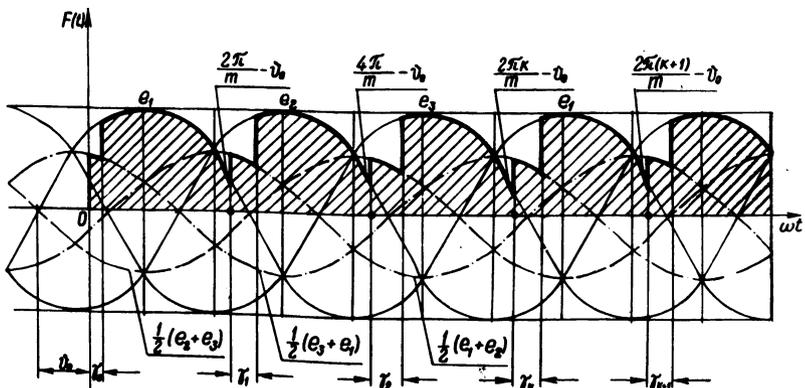


Рис. 2. Линейная диаграмма напряжения преобразователя.

Как известно [3] система (1) — (2) имеет формальное решение

$$\begin{aligned} \varepsilon(t) = & q \int_0^t (e^{p_1 \xi} - e^{p_2 \xi}) F(t-\xi) d\xi + \\ & + \varepsilon^*(t) - i_c. \end{aligned} \quad (5)$$

Подставляя (3) в (5) и преобразуя интегралы, содержащие единичные функции, по формуле

$$\int_0^t F(\xi) 1[\alpha(t) - \omega \xi] d\xi = 1[\alpha(t)] \int_0^{\alpha(t)/\omega} F(\xi) d\xi, \quad (6)$$

получим

$$\begin{aligned} \varepsilon(t) = & -i_c + \varepsilon^*(t) - \sum_{k=0}^{\infty} \phi_{1k}(t,0) [1(\alpha_t^k) - 1(\alpha_t^k - \gamma_k)] - \\ & - \sum_{k=0}^{\infty} \phi_{2k}(t,0) [1(\alpha_t^k - \gamma_k) - 1(\alpha_t^{k+1})] + \\ & + \sum_{k=0}^{\infty} [\phi_{1k}(t, \frac{1}{\omega} \alpha_t^k) 1(\alpha_t^k) - \phi_{1k}(t, \frac{1}{\omega} (\alpha_t^k - \gamma_k)) \times \\ & \times 1(\alpha_t^k - \gamma_k)] + \sum_{k=0}^{\infty} [\phi_{2k}(t, \frac{1}{\omega} (\alpha_t^k - \gamma_k)) 1(\alpha_t^k - \gamma_k) - \\ & - \phi_{2k}(t, \frac{1}{\omega} \alpha_t^{k+1}) 1(\alpha_t^{k+1})], \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{где } \phi_{\nu k}(t, z) = & q \int_0^t F_{\nu k}(t, z) dz \quad (\nu = 1, 2), \\ F_{\nu k}(t, z) = & f_{\nu k}(t-z) (e^{p_1 z} - e^{p_2 z}). \end{aligned} \quad (8)$$

Интервал изменения ωt

$$n\lambda \leq \omega t \leq (n+1)\lambda \quad (9)$$

содержит две зоны: 1) зону коммутации ($n\lambda \leq \omega t < n\lambda + \gamma_n$);
2) зону вне коммутации ($n\lambda + \gamma_n \leq \omega t \leq (n+1)\lambda$).

В переходном режиме для обеих зон интервала (9) запишем общее выражение скорости

$$\varepsilon_n^{\nu}(t) = -i_c + \varepsilon^*(t) - \phi_n^{(\nu)}(t,0) + S_n^{\nu}(t), \quad (10)$$

где ν — порядковый номер ($\nu = 1, 2$) зоны интервала.

Учитывая, что

$$\left. \begin{aligned} 1(\alpha_t^k) &\equiv 1, & k = 0, 1, 2, \dots, n, \\ 1(\alpha_t^k) &\equiv 0, & k = n+1, n+2, \dots, \\ 1(\alpha_t^k - \gamma_k) &= \begin{cases} 0, & \alpha_t^k - \gamma_k < 0; \\ 1, & \alpha_t^k - \gamma_k \geq 0, \end{cases} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

для зоны коммутации получим

$$\Phi_n^{(1)}(t, 0) = \Phi_{1n}(t, 0), \quad (12)$$

$$S_n^{(1)}(t) = S_n^{(11)} - S_n^{(12)}, \quad (13)$$

$$S_n^{(11)} = \sum_{k=0}^n \Phi_{1k}(t, \frac{1}{\omega} \alpha_t^k) - \sum_{k=0}^{n-1} \Phi_{2k}(t, \frac{1}{\omega} \alpha_t^{k+1}),$$

$$S_n^{(12)} = \sum_{k=0}^{n-1} \Phi_{1k}(t, \frac{1}{\omega} (\alpha_t^k - \gamma_k)) - \sum_{k=0}^{n-1} \Phi_{2k}(t, \frac{1}{\omega} (\alpha_t^k - \gamma_k)).$$

Для зоны коммутации

$$\Phi_n^{(2)}(t, 0) = \Phi_{2n}(t, 0), \quad (14)$$

$$S_n^{(2)}(t) = S_n^{(21)} - S_n^{(22)}$$

$$S_n^{(21)} = \sum_{k=0}^n \Phi_{1k}(t, \frac{1}{\omega} \alpha_t^k) - \sum_{k=0}^{n-1} \Phi_{2k}(t, \frac{1}{\omega} \alpha_t^{k+1}) = S_n^{(11)},$$

$$S_n^{(22)} = S_n^{(12)} - \sum_{\nu=1}^2 (-1)^\nu \Phi_{\nu n}(t, \frac{1}{\omega} (\alpha_t^n - \gamma_n)).$$

После соответствующих подстановок и преобразований найдем

$$S_n^{(2)} = S_n^{(1)} + \sum_{\nu=1}^2 (-1)^\nu \Phi_{\nu n}(t, \frac{1}{\omega} (\alpha_t^n - \gamma_n)). \quad (15)$$

Подставив (8) в (12), (13), а затем (12) и (13) в (10), получим выражение, характеризующее изменение скорости в зоне коммутации;

$$\varepsilon_n^{(1)}(t) = A_1 \sin\left(\beta_t^n + \frac{\pi}{m} + \theta\right) + S_{1n}^{(1)} e^{p_1 t} - S_{2n}^{(2)} e^{p_2 t} \quad (16)$$

где

$$A_1 = q \cos \frac{\pi}{m} \sin(\theta_1 - \theta_2); \quad \theta = \theta_1 + \theta_2; \quad \sin \theta_\nu = \omega / \sqrt{p_\nu^2 + \omega^2},$$

$$\lambda_\nu = \lambda p_\nu / \omega; \quad \eta_\nu = \gamma_\nu + \theta_\nu + \frac{\pi}{m}; \quad \lambda_{k\gamma} = k \lambda_\nu + p_\nu \gamma_k / \omega$$

($\nu = 1, 2$).

Подставляя (8) в (14), (15), а затем (14) и (15) в (10), найдем аналогичное выражение для зоны вне коммутации:

$$\varepsilon_n^{(2)}(t) = A_2 \sin\left(\beta_t^n + \theta\right) + S_{1n}^{(2)} e^{p_1 t} - S_{2n}^{(2)} e^{p_2 t} i_c, \quad (17)$$

где

$$S_{\nu n}^{(2)} = S_{\nu n}^{(1)} + \frac{q}{\omega} \sin \frac{\pi}{m} \sin \theta_\nu \cos(\eta_\nu + \gamma_\nu) e^{-\lambda_{n\gamma}},$$

$$A_2 = q \sin(\theta_1 - \theta_2) \quad (\nu = 1, 2).$$

Используя уравнение (2) и выражения (16), (17), находим соотношение для тока главной цепи в обеих зонах интервала:

$$i_n^{(1)}(t) = i_c + T_{эм} \left[\omega A_1 \cos\left(\beta_t^n + \frac{\pi}{m} + \theta\right) + p_1 S_{1n}^{(1)} e^{p_1 t} - p_2 S_{2n}^{(2)} e^{p_2 t} \right], \quad (18)$$

$$i_n^{(2)}(t) = i_c + T_{эм} \left[\omega A_2 \cos(\beta_t^n + \theta) + p_1 S_{1n}^{(2)} e^{p_1 t} - p_2 S_{2n}^{(2)} e^{p_2 t} \right]. \quad (19)$$

На рис. 3 приведены графики зависимости $\varepsilon = f_1(t)$ и $i = f_2(t)$, рассчитанные по приведенным формулам (кривые 1).

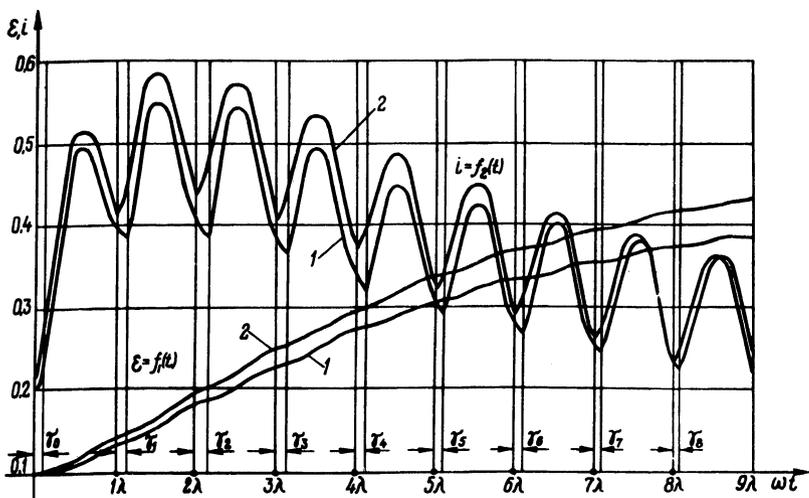


Рис. 3. Графики переходных процессов с учетом (1) и без учета (2) угла коммутации.

Для сравнения на том же рисунке нанесены те же зависимости, но без учета зоны коммутации (кривые 2). Как видно, интенсивность разгона двигателя при расчетах с учетом зоны коммутации снижается, что при значительных углах коммутации может оказать существенное влияние на оценку быстродействия системы. Поэтому при расчетах быстродействующих процессов рекомендуется учитывать влияние зоны коммутации.

Л и т е р а т у р а

1. Булгаков А.А. Новая теория управляемых выпрямителей. М., 1970. 2. Анхимюк В.Л., Караульная Л.Ф., Новицкая В.А. Исследование переходных процессов вентильного электропривода с фазовым управлением методом обобщенных функций. — "Изв. вузов. Энергетика", 1973, №12. 3. Анхимюк В.Л., Караульная Л.Ф., Новицкая В.А. Применение метода обобщенных функций к исследованию переходных процессов тиристорного электропривода при сложном законе изменения угла открывания вентилей. — В настоящем сборнике.