

М. А. Анкуда, ассист.;
С. Е. Жарский, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГИБРИДНОГО ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРИВОДА 3D-ПРИНТЕРА

Для создания математической модели шагового двигателя (ШД) необходимо составить уравнения электрического равновесия для напряжений контуров тока, уравнения моментов, действующих на ротор, а также уравнение электромеханического преобразования энергии.

Исходя из законов Кирхгофа для схемы замещения ШД, запишем уравнения электрического равновесия напряжений и ЭДС обмоток статора:

$$\begin{cases} U = R \cdot I_1 + L \cdot \frac{dI_1}{dt} + M_{12} \cdot \frac{dI_2}{dt} - E_1 \\ U = R \cdot I_2 + L \cdot \frac{dI_2}{dt} + M_{12} \cdot \frac{dI_1}{dt} - E_2 \end{cases}, \quad (1)$$

где U – напряжение фаз; R – активное сопротивление фаз; I_1, I_2 – токи фаз 1 и 2, соответственно; M_{12} – взаимная индуктивность обмоток фаз; E_1, E_2 – наведенные ЭДС в катушках фаз 1 и 2, соответственно.

Наведенная ЭДС в катушке фазы 1 определяется следующим выражением:

$$E_1 = \omega \cdot p \cdot \Psi_m \sin(p \cdot \theta), \quad (2)$$

где $\omega = d\theta/dt$ – угловая скорость вращения ротора; p – число зубцов ротора; Ψ_m – максимальное потокосцепление; θ – положение ротора.

Аналогично для фазы 2:

$$E_2 = \omega \cdot p \cdot \Psi_m \sin(p \cdot \theta - \lambda), \quad (3)$$

где λ – угол сдвига фаз.

Электромагнитный момент, создаваемый обмотками фаз статора можно определить следующим выражением:

$$M_{em} = -\Psi_m \cdot I_1 \cdot \sin(p\theta) + \Psi_m \cdot I_2 \cdot \cos(p\theta). \quad (4)$$

Уравнение моментов, действующих на ротор:

$$\frac{J_z}{p} \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2} + D \cdot \frac{d\theta}{dt} = M_{em} - M_h \quad (5)$$

где $J_z = J_r + J_h$ – суммарный момент инерции ротора двигателя и нагрузки, приведенный к валу ротора; D – коэффициент вязкого трения; M_h – момент сопротивления нагрузки.

Уравнения 1-5 являются нелинейными дифференциальными уравнениями, которые описывают динамические режимы работы ШД.