

Л. В. ДУБИНЕЦЬ, Р. В. КРАСНОВ, Д. В. УСТИМЕНКО, А. В. ШАПОВАЛОВ (ДІПТ)

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПУСКУ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОРШНЕВОГО КОМПРЕСОРА (ЕК-7Б) З ДВИГУНОМ ДК 406 (ДК 409) ЕЛЕКТРОПОЇЗДА ЕР2 З УРАХУВАННЯМ ВИХРОВИХ СТРУМІВ

В статті показано перехідний процес при пуску двигуна компресора ДК-406 електропоїзда ЕР2 при навантаженні, що враховує змінний момент опору та дію вихрових струмів, які виникають в магнітопроводі двигуна. Приведено порівняльні залежності між пусковими струмами з урахуванням відповідних умов.

В статье показано переходной процесс пуска двигателя компрессора ДК-406 электропоезда ЭР2 при нагрузке, которая учитывает переменный момент сопротивления и действие вихревых токов, возникающих в магнитопроводе двигателя. Приведены сравнительные зависимости между пусковыми токами с учетом соответствующих условий.

The transition is start the engine compressor unit electric ER2-406 at a load that takes into account the time variable resistance and effect eddy currents arising in magnetic motor has shown in this article. The comparative relationship between the inrush current for the appropriate conditions are given.

Досвід експлуатації електропоїздів ЕР1, ЕР2 показує, що значна кількість двигунів (ДК 409) компресорів (ЕК-7Б) виходять з ладу по причині пробую ізоляції обмоток. Однією з причин цього є те, що захисні пристрої нечітко спрацьовують при перевантаженнях двигуна, особливо під час пуску. Відбувається інтенсивний перегрів ізоляції, її старіння та вихід з ладу.

Для дослідження перехідних процесів в електричних колах двигуна компресора, оцінки величини пускового струму та його тривалості, розроблено математичну модель, що враховує не тільки важкі умови пуску компресора і стрибкоподібну зміну напруги живлення в межах ± 500 В, а й дію вихрових струмів. Для цього дослідження пропонується наступна математична модель [1, 2]:

$$\left. \begin{aligned} ir + L \frac{di}{dt} + C_E \Phi \omega + 2p\omega \sigma \frac{d\Phi}{dt} &= u; \\ 1,23R_{m1}\Phi_1 + \Phi(R_{mk} - R_{m1}) + g_\mu \frac{d\Phi_1}{dt} &= w_\gamma i + F_{Hlk}; \\ 5,29R_{m1}(\Phi - \Phi_1) + \Phi(R_{mk} - R_{m1}) + 0,477g_\mu \frac{d(\Phi - \Phi_1)}{dt} &= w_\gamma i + F_{Hlk}; \\ (J_B + J_K) \frac{d\omega}{dt} = C_M \Phi i - \left[M_{СПОЧ} + (M_{СНОМ} - M_{СПОЧ}) \left(\frac{\omega}{\omega_{НОМ}} \right)^p \right] & \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де i , r – струм та опір кола якоря двигуна відповідно; L – індуктивність електричного кола якоря; ω – частота обертання вала двигуна; u – напруга на затискачах двигуна; w , – кількість витків котушки головних полюсів; w_γ – приведена кількість витків, що враховує дію реакції якоря; p – число пар полюсів; Φ_1 – магнітний потік головних полюсів і його основна гармоніка відповідно; $(\Phi - \Phi_1)$ – сумарний магнітний потік

вищих гармонік головних полюсів; g_μ – магнітна індуктивність основної хвилі магнітного потоку головних полюсів; R_{m1} , R_{mk} – магнітні опори першої та k -ї ділянки апроксимованої магнітної характеристики головних полюсів відповідно; F_{Hlk} – намагнічуюча сила нелінійності, що враховує нелінійність магнітної характеристики головних полюсів для k -ої ділянки; σ – коефіцієнт розсіювання головних полюсів; J – приве-

дений до валу двигуна момент інерції механічних частин системи; C_E , C_M – сталі двигуна.

Оскільки магнітна характеристика двигуна має нелінійний вигляд, то можливо, з достатньою для практичних цілей точністю, врахувати вплив насиченості машини, якщо апроксимувати криволінійну характеристику за допомогою ломаної лінії (рис. 1).

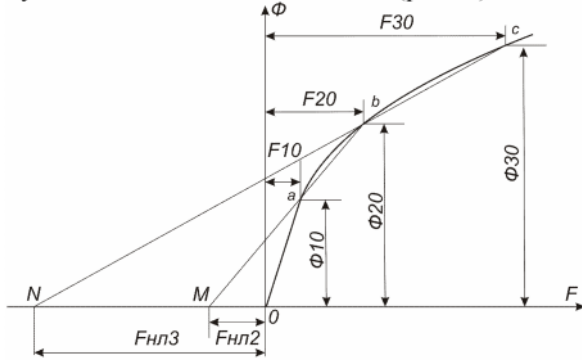


Рис. 1 – Апроксимація кривої намагнічування

Значення основних параметрів системи, що розглядається: $L = 0,831$ Гн, $r = 33,76$ Ом, $\Phi = 0,1045$ Вб, $g_\mu = 7961$ См, $w = 580$, $R_{m1} = 21431,7$ Гн⁻¹, $J_B = 0,09$ кг·м².

Відомо, всі сили і моменти навантаження, що прикладені до механічної частини електропривода, можуть бути розділені на сили та моменти механічних втрат ΔM_Σ і

сили та моменти, які є корисним навантаженням виконавчого механізму $M_{КОР\Sigma}$:

$$M_C = \Delta M_\Sigma + M_{КОР\Sigma}, \quad (2)$$

Момент механічних втрат ΔM_Σ враховує всі види механічного тертя. Корисний момент опору $M_{КОР\Sigma}$ представляє собою ту чи іншу функцію швидкості, в залежності від виду навантаження. Для аналізу механізмів, що здійснюють обертовий рух пропонується використовувати емпіричну формулу Бланка [3], яка в більшості випадків представляє собою деяку ідеалізацію реальних умов але дає задовільне наближення до дійсності:

$$M_C = M_{СПОЧ} + (M_{СНОМ} - M_{СПОЧ}) \left(\frac{\omega}{\omega_{НОМ}} \right)^p, \quad (3)$$

де $M_{СНОМ}$ – номінальний момент опору механізму; $\omega_{НОМ}$ – номінальна кутова швидкість, при якій момент опору рівний номінальному; $M_{СПОЧ}$ – момент тертя або холостого ходу машини; p – показник степені ($p=1$ для поршневих компресорів).

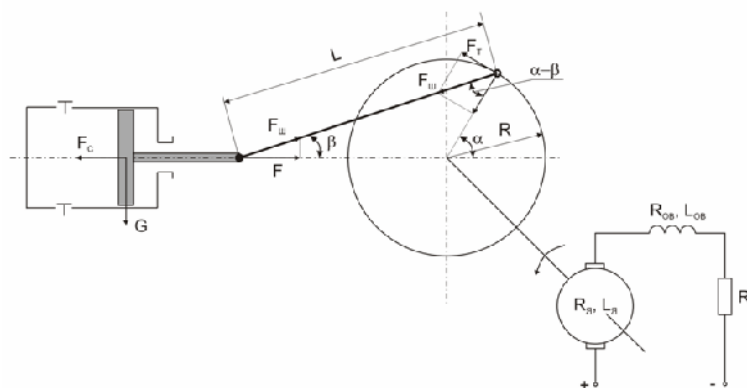


Рис. 2 – Електромеханічна система двигун постійного струму послідовного збудження – поршневий компресор

До другого рівняння системи диференціальних рівнянь (1) входить величина приведенного до валу двигуна моменту інерції J механічних частин електропривода. Основним елементом поршневого компресора є кривошипно-шатунний механізм, момент інерції якого залежить від кута повороту вала і з урахуванням кінематичної схеми

(рис. 2) може бути записаний наступним рівнянням [4]:

$$J_K = \frac{mR^2 \cdot \sin^2(\alpha + \beta)}{\cos^2 \beta}, \quad (4)$$

де m – маса елементів механізму, що поступально рухаються; R – радіус обернення кривошипа

Кут β можна виразити в функції кута α :

$$\beta = \arcsin\left(\frac{R}{L_{\text{ш}}} \sin \alpha\right), \quad (5)$$

де $L_{\text{ш}}$ – довжина шатуна.

Система рівнянь (1) з урахуванням виразів (2), (3), (4), (5) описує динаміку роботи електромеханічної системи двигун постійного струму послідовного збудження – поршневий компресор, і є його математичною моделлю.

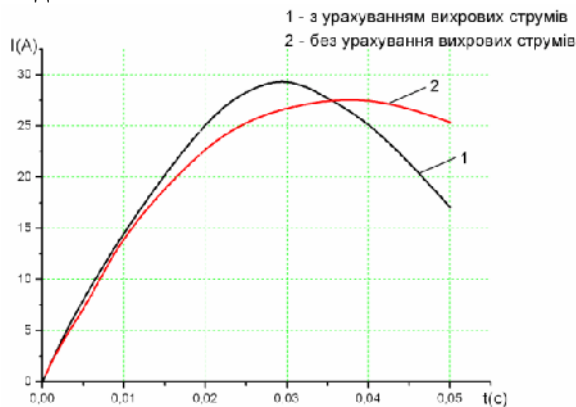


Рис. 3. – Пуск при навантаженні двигуна ДК-406 з урахуванням та без урахування вихрових струмів

На рис. 3 наведено результати моделювання пуску компресора під навантаженням: крива 1 – з урахуванням дії вихрових струмів; крива 2 – без урахування. Умови за яких отримані криві рис. 3: $u = 1500$ В, $M_{\text{споч}} = 87$ Нм, $M_{\text{сном}} = 58$ Нм, $\omega_{\text{ном}} = 106,8$ с⁻¹.

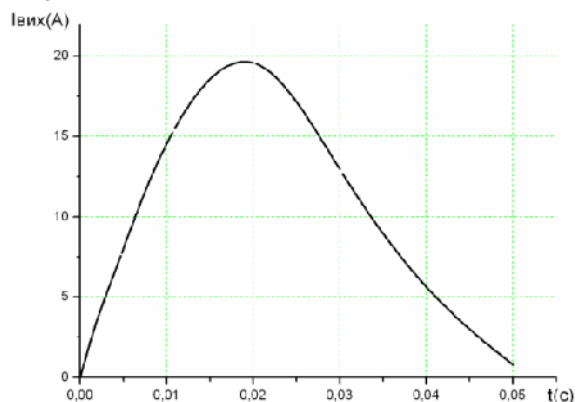


Рис. 4. – Вихровий струм двигуна ДК-406 під час пуску

Вихровий струм, що виникає в магнітопроводі двигуна ДК-406 під час пуску, приведено на рис. 4.

Аналіз отриманих перехідних характеристик показує, що при номінальному струмі двигуна 4,65 А кидок струму складає 28,3 А для кривої 1 та 26,7 А для кривої 2. Різниця складає 1,6 А або 5,7 %. Крім того швидкість наростання струму є більшою для моделі з урахуванням дії вихрових струмів. Крива 1 досягає свого максимуму за час 0,03 с, а крива 2 – 0,037 с. Різниця в цьому випадку 0,007 с або 18,9 %. Тобто врахування в математичній моделі системи дії вихрових струмів дозволяє отримати більш точні перехідні характеристики які краще корелюються з експериментальними даними.

Запропонована модель дозволяє отримати криві струму під час роботи електропривода в різних режимах, що характерні для експлуатації але не є аварійними. Модель та результати моделювання є вихідними даними для теплових розрахунків і визначення величин перегрівів частин електричної машини електропривода компресора.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Чорний, О. П. Моделювання електромеханічних систем [Текст] / О. П. Чорний, А. В. Луговий, Д. Й. Родькін – Кременчук, 2001. – 410 с.
2. Жиц, М. З. Переходные процессы в машинах постоянного тока [Текст]. / М. З. Жиц – М.: «Энергия», 1974. – 112 с.
3. Гладыр, А. И. Трогание и пуск как фазы единого процесса / А. И. Гладыр // Научные труды КГПУ – 2001 – Вип.1 – С. 24 – 29.
4. Чиликин, М. Г. Общий курс электропривода / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.