

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ПУСКОВІ ДВИГУНА КОМПРЕСОРА ЕЛЕКТРОПОЇЗДА ЕР2 (ЕР1)

Дубинець Л.В., д.т.н., проф., Устименко Д.В., к.т.н., ст. викладач, Краснов Р.В., асистент
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна
Україна, 49010, Дніпропетровськ, вул. Академіка В. Лазаряна, 2, «ДПТ»
кафедра «Автоматизований електропривод» тел. (056) 37-31-547

Представлена математична модель системи мотор-компресор електропоїзда ЕР2 та наведені результати моделювання перехідних процесів в ній при пускові та коливаннях напруги живлення.

Представлена математическая модель системы мотор-компрессор электропоезда ЭР2 и приведены результаты моделирования переходных процессов в ней при пуске, а также при колебаниях напряжения в сети.

Аналіз експлуатації електропоїздів ЕР1, ЕР2 показує, що електродвигуни (ДК-409) компресорів (ЕК-7Б) працюють значно менше від закладеного в них виробником строку експлуатації. В середньому, по Дніпропетровському локомотивному депо ТЧ-8, електродвигун кожні 3...4 роки відправляється на капітальний ремонт. З усіх причин які призводять до передчасного виходу з ладу найбільш поширеною є пробій ізоляції якірних обмоток (до 50% від загальної кількості). Ймовірно причиною є недосконалий захист машини, як при короткочасних (режим пуску) так і при тривалих перевантаженнях, що призводить до інтенсивного перегріву ізоляції і передчасного виходу її з ладу.

Для дослідження перехідних процесів в електричних колах двигуна компресора, з метою оцінки величини пускового струму та його тривалості, розроблено математичну модель, що враховує важкі умови пуску компресора, а також можливість стрибкоподібної зміни напруги живлення в межах ± 500 В.

Система диференціальних рівнянь, що описує роботу двигуна постійного струму послідовного збудження[1]:

$$\begin{cases} L_{\Sigma} \frac{di}{dt} = U_{\beta} - c\Phi \cdot \omega - i \cdot R_{\Sigma} \\ J \frac{d\omega}{dt} = c\Phi \cdot i - M_{\Sigma} \\ c\Phi = f(I) \end{cases}, \quad (1)$$

де L_{Σ} , R_{Σ} – сумарні індуктивний та активний опори якірного кола;

U_{β} – напруга підведена до якірного кола двигуна;

ω – частота обертання вала двигуна;

c – постійна двигуна;

Φ – основний магнітний потік;

M_C – статичний момент опору на валу двигуна;

J – приведений до вала двигуна момент інерції механічних частин системи.

Система диференціальних рівнянь (1) є нелінійною системою, оскільки містить вираз, що описує криву намагнічування. Нелінійна залежність $c\Phi$ від струму

може бути з прийнятною точністю апроксимована прямолінійними відрізками і записана наступною системою рівнянь:

$$c\Phi(i) = \begin{cases} c\Phi_{01} + k_{\Phi 1} \cdot i \\ c\Phi_{02} + k_{\Phi 2} \cdot i \\ \vdots \\ c\Phi_{0i} + k_{\Phi i} \cdot i \end{cases}, \quad (2)$$

де $k_{\Phi i} = \operatorname{tg} \alpha_i = \frac{\lambda_i \psi_i}{\psi_{i-1} \lambda_i}$ – коефіцієнт, що залежить від

форми кривої на i -й ділянці апроксимації.

$$M_{CKO} \Delta M_{\Sigma} + M_{\Sigma} \quad (3)$$

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 обертний рух пропонується використовувати емпіричну формулу Бланка [2], яка в більшості випадків представляє собою деяку ідеалізацію реальних умов але дає задовільне наближення до дійсності:

$$M_{CCHOM} = M_{CHOM} \left(\frac{\omega}{\omega_{Поч}} \right)^p, \quad (4)$$

де M_{CHOM} – 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 ($\delta=1$ для поршневих компресорів).

Основним елементом поршневого компресора є кривошипно-шатунний механізм, момент інерції якого залежить від кута повороту вала і з урахуванням кінематичної схеми може бути записаний наступним рівнянням [3]:

$$J_K = mR^2 \cdot \sin^2(\alpha + \beta) / \cos^2 \beta, \quad (5)$$

де m – маса елементів механізму, що поступально рухаються;

R – радіус обертання кривошипа.

Кут β можна виразити в функції кута α :

$$\beta = \arcsin\left(\frac{R}{L} \sin \alpha\right), \quad (6)$$

де L – довжина шатуна.

Система рівнянь (1) з урахуванням виразів (2, 4, 5, 6) описує динаміку роботи електромеханічної системи двигун постійного струму послідовного збудження – поршневий компресор і є його математичною моделлю.

На рис. 1 наведено графік перехідного процесу струму в системі мотор-компресор при нормальних умовах пуску (напруга контактної мережі 3000 В, температура навколишнього середовища $+20^{\circ}\text{C}$). Максимальний кидок струму складає біля 34 А, при номінальному струмі 4,65 А.

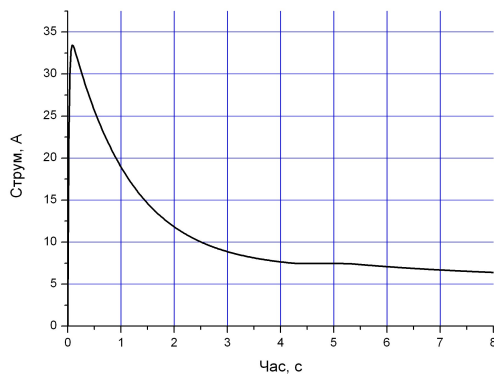


Рис. 1. Графік струму при пуску мотор-компресора

Адекватність результату моделювання по запропонованій моделі перевірена в реальних умовах. На рис. 2 наведена осцилограма струму, яка отримана для тих же умов, що й розрахована крива рис. 1. Максимальний кидок струму зафіксований пристроєм 25,195 А, час перехідного процесу також корелюється з тим, що отримано аналітичним способом.

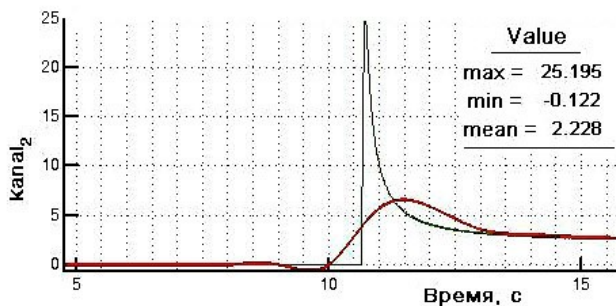


Рис. 2. Осцилограма струму при пуску мотор-компресора

Все це дозволяє вважати, що запропонована модель, з урахуванням всіх допущень, задовільно описує реальні динамічні процеси, що проходять в системі мотор-компресор.

На рис. 3 та 4 представлені графіки перехідного процесу струму при стрибкоподібній зміні напруги в контактній мережі ± 500 В, що часто відповідає експлуатаційним умовам. У випадку стрибкоподібного збільшення напруги живлення рис. 3 відбувається деякий кидок струму і досить швидко

струм встановлюється на рівні близькому до номінального.

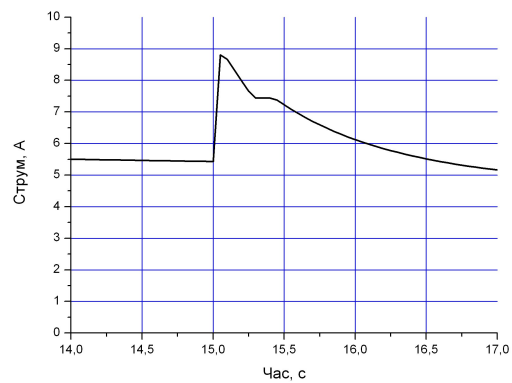


Рис. 3. Графік зміни струму при стрибкоподібному збільшенні напруги в контактній мережі на 500 В

У випадку із зменшенням напруги в контактній мережі на 500 В рис. 4 в системі встановлюється струм на рівні 13 А, що значно перевищує номінальне значення 4,65 А.

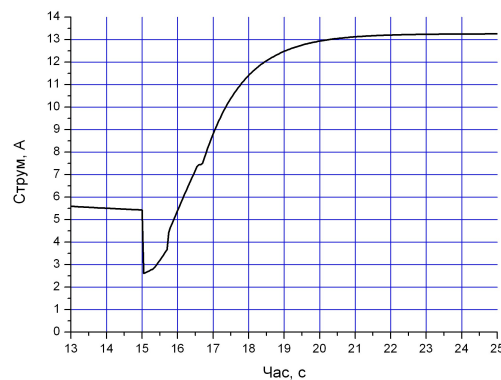


Рис. 4. Графік зміни струму при стрибкоподібному зменшенні напруги в контактній мережі на 500 В

Аналізуючи отримані результати можна зробити наступний висновок, система мотор-компресор на електропоїздах ЕР2 працює із значними перевантаженнями по струму, що і є основною причиною передчасного старіння ізоляції і як наслідок передчасного виходу машини з ладу. З урахуванням вищесказаного актуальною є необхідність суттєвого підвищення якості захисту кіл двигунів компресорів як під час пуску, так і в процесі роботи системи, а також заміна ізоляції класу F на клас H.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Моделювання електромеханічних систем О.П. Чорний, А.В. Луговий, Д.Й. Родькін – Кременчук, 2001. – 410с.
- [2] Гладыр А.И. Трогание и пуск как фазы единого процесса. – Научные труды КГПУ. Выпуск 1/2001(10), Кременчук – с. 24-29.
- [3] Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода: Учебник для вузов. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576с.