

## ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ В ПУСКОВИХ РЕЖИМАХ

*Чорний О.П., д.т.н., проф., Артеменко А.М. Ошибка! Залка не определена., асист., Чабан А.А., магістр., Остапенко Є.В., студ.*

*Кременчуцький державний політехнічний університет імені Михайла Остроградського 39600, м. Кременчук Полтавської обл., вул. Першотравнева, 20*

*E-mail: apch@polytech.poltava.ua*

**Вступ.** Однією з важливих проблем в Україні залишається проблема енергозбереження. Одним з напрямів рішення даної проблеми є енергозбереження на електрифікованому транспорті. Це, у свою чергу, передбачає розвиток науково-технічних напрямів, зв'язаних як з розробкою нових методів і приладів, спрямованих на зниження споживання електричної енергії, так і на продовження життєвого циклу електричних машин (ЕМ) і приводів за рахунок підвищення надійності їхньої експлуатації.

Серед головних складових електромеханічного оснащення, що мають потребу в розв'язанні задачі підвищення їхньої надійності, особливо в післяремонтний період, у першу чергу, необхідно виділити електричні двигуни постійного струму (ДПС).

Підвищення надійності тягового електромеханічного устаткування нерозривно зв'язане з безперервним контролем параметрів технічного стану функціонуючих механізмів, тобто, проблемою технічної діагностики [1].

**Аналіз попередніх досліджень.** Досвід показує, що впровадження засобів діагностики стану є одним з найважливіших факторів підвищення економічної ефективності використання машин і механізмів у виробництві. У сучасних умовах призначення діагностики складається не тільки у виявленні вже виниклих, скільки в попередженні можливих відмовлень і несправностей, а також у підтримці оптимальних експлуатаційних характеристик у встановлених вимогами технологічного процесу, у прогнозуванні їхнього стану з метою більш повного використання доремонтного і післяремонтного ресурсу використовуюваного електротехнічного і технологічного устаткування.

Теорія і практика діагностики розвиваються на основі реалізації принципів безрозбірності, універсальності методів і засобів, забезпечення високої оперативності їхнього використання.

Ці перераховані задачі, а також визначення реальної працездатності ЕМ і системи електропривода, у цілому вирішуються з застосуванням експлуатаційного моніторингу. Так чи інакше кожний з запропонованих підходів має потребу в знанні параметрів ЕМ. А це, у свою чергу, вимагає рішення двох основних задач: обґрунтування об'єму діагностичних показників та технічну реалізацію процесу їхнього виміру з достатньою точністю в реальних умовах ремонту та експлуатації.

На даний час при вирішенні задач післяремонтної діагностики та експлуатаційного моніторингу ЕМ актуальними є методи діагностики параметрів ЕМ, які б задовольняли наступним вимогам: можливість реалізації в умовах ремонтного цеху підприємства або безпосередньо на місці експлуатації; універсальність стосовно типу ЕМ; оперативність; повнота визначаючих параметрів; достатня точність визначаючих параметрів.

У [2, 3] зазначено, що прогрес у вимірювальній техніці, обумовлений застосуванням мікропроцесорних систем з удосконаленими методами обробки цифрової інформації, дозволяє заглиблювати аналізувати енергетичні процеси в квазістаціонарних і перехідних режимах.

Дослідження в даному напрямку представляються багатообіцяючими в тім відношенні, що метод дозволяє аналізувати у всій сукупності енергопроцеси різноманітних електромеханічних вузлів і систем з різною фізичною природою процесів.

Більшість розглянутих підходів ідентифікації ЕМ постійного струму, що задовольняють основним вимогам, зазначеним вище, базуються на знанні миттєвих значень змінних стану ЕМ (сигналів струму, напруги і миттєвої потужності в силових ланцюгах ЕМ), які одержують живлення від імпульсних перетворювачів напруги.

**Мета роботи.** Формування алгоритмів визначення параметрів електропривода в динамічних режимах.

**Матеріал і результати досліджень.** Розглянемо застосування методу простору станів для визначення параметрів тягового електропривода постійного струму. Живлення тягових електричних двигунів здійснюється від контактної мережі постійного струму через відповідні системи управління.

Для аналізу застосовуємо матричний метод. При цьому система рівнянь тягового електропривода в матричній формі буде мати вигляд:

$$\dot{X} = AX + BU, \quad (1)$$

де  $A$  – матриця стану;  $B$  – матриця управління;  $U$ ,  $X$  – матриці вхідних та вихідних впливів.

Застосовуючи методи Фур'є та інтегруючи, можна одержати прості рекурентні формули, якими визначається зв'язок між двома послідовностями вектора стану  $X$  на інтервалі  $\Delta T$  у вигляді [4]:

$$R = \Delta T[AQ + BU] / 2, \quad (2)$$

де матриці:

$$R = (X_{n+1} - 2X_n + X_{n-1}) - \Delta T B [U_{n+1} - U_{n-1}] / 2 ;$$

$$Q = X_{n+1} - X_{n-1} ; U = U_{n+1} - U_{n-1} .$$

Відкіля, з урахуванням напруги, яка змінюється на якорі двигуна:

$$A = \left( \frac{2}{\Delta T} R - BU \right) Q^{-1} . \quad (3)$$

Вирішуючи рівняння (3), одержимо:

$$-\frac{R_e}{L_e} = \left( 2 \frac{r_{11}}{\Delta T} - \frac{1}{L_e} u_{11} \right) \cdot \frac{q_{22}}{q_{11}q_{22} - q_{12}q_{21}} - \left( 2 \frac{r_{12}}{\Delta T} - \frac{1}{L_e} u_{12} \right) \cdot \frac{q_{22}}{q_{11}q_{22} - q_{12}q_{21}} ; \quad (4)$$

$$-\frac{kf}{L_e} = - \left( 2 \frac{r_{11}}{\Delta T} - \frac{1}{L_e} u_{11} \right) \cdot \frac{q_{12}}{q_{11}q_{22} - q_{12}q_{21}} - \left( 2 \frac{r_{12}}{\Delta T} - \frac{1}{L_e} u_{12} \right) \cdot \frac{q_{11}}{q_{11}q_{22} - q_{12}q_{21}} ;$$

$$-\frac{kf}{J} = 2 \frac{r_{21}}{\Delta T} \cdot \frac{q_{22}}{q_{11}q_{22} - q_{12}q_{21}} - 2 \frac{r_{22}}{\Delta T} \cdot \frac{q_{22}}{q_{11}q_{22} - q_{12}q_{21}} ,$$

де  $r_{ij}, q_{ij}, u_{ij}$  – коефіцієнти матриць  $R, Q, U$  ;

$R_e, L_e$  – еквівалентні активний опір і індуктивність якорного ланцюга,  $J$  – приведений момент інерції електропривода.

Тепер шукані параметри:

$$L_e = \frac{\Delta T}{2} \cdot \frac{k\phi (q_{12}q_{21} - q_{11}q_{22}) - q_{12}u_{11} + q_{11}u_{12}}{q_{11}r_{12} - q_{12}r_{11}} ; \quad (5)$$

$$R_e = \frac{kf(q_{22}r_{11} - q_{21}r_{12}) - r_{11}u_{12} + r_{12}u_{11}}{q_{11}r_{12} - q_{12}r_{11}} ;$$

$$J = \frac{\Delta T}{2} \cdot k\phi \frac{q_{12}q_{21} - q_{11}q_{22}}{r_{22}q_{21} - r_{21}q_{22}} .$$

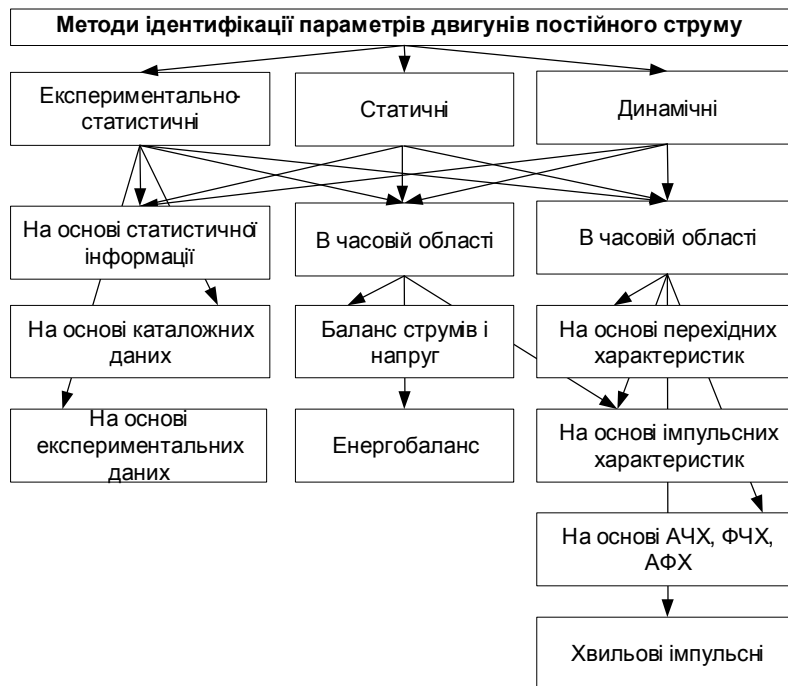


Рисунок 1 – Класифікація методів ідентифікації тягових електричних двигунів

Отримані вирази відповідають випадку, коли магнітний потік є незмінною у часі і відомою величиною. Також не враховується реакція якоря.

Проблема визначення параметрів значно складніша, якщо вирішується для ДПС послідовного збудження.

Відомо, що  $kf = f(I_a)$ , тобто  $kf \neq \text{const}$ .

Для спрощення аналітичного розв'язання рівняння (3) приймемо, що момент інерції електропривода є відомою величиною.

Тоді розв'язок системи (4) буде мати вигляд:

$$L_e = \frac{1}{2} \frac{2J(r_{21}q_{22} - r_{22}q_{21}) + \Delta T(q_{12}u_{11} - q_{11}u_{12})}{r_{11}q_{12} - r_{12}q_{21}} , \quad (6)$$

$$R_e = \frac{2}{\Delta T} \frac{q_{11}r_{12}r_{21}q_{22} + q_{21}r_{11}r_{22}q_{22} - q_{21}^2r_{22}r_{12} - q_{22}^2r_{21}r_{11}}{q_{11}q_{22}q_{12}r_{11} + q_{11}^2q_{22}r_{12} + q_{12}^2q_{21}r_{11} + q_{12}q_{21}q_{11}r_{12}} + \frac{q_{22}r_{11}q_{11}u_{12} + q_{21}r_{12}q_{12}u_{11} - q_{21}r_{11}q_{12}u_{12} - q_{22}r_{12}q_{11}u_{11}}{q_{11}q_{22}q_{12}r_{11} + q_{11}^2q_{22}r_{12} + q_{12}^2q_{21}r_{11} + q_{12}q_{21}q_{11}r_{12}} ,$$

$$kf = \frac{2J}{\Delta T} \frac{r_{21}q_{22} - r_{22}q_{21}}{q_{11}q_{22} - q_{12}q_{21}} .$$

Для електропривода вагону метрополітену виконаємо розрахунок параметрів тягового електродвигуна ДК117Д (з параметрами – табл. 1) за отриманими пусковими характеристиками (рис. 2) з використанням отриманих виразів (5) і (6).

Враховуючи, що ТЕД є двигуном послідовного збудження з відомою залежністю  $k\phi = f(I_{\text{я}})$ , останню запишемо у виді регресійної моделі (MMF - model):

$$k\phi(I) = \frac{a \cdot b - cI^d}{b + I^d} \quad (7)$$

з коефіцієнтами:

$$\begin{aligned} a &= -1,056081 \cdot 10^{-7}, \\ b &= 180,96644, \\ c &= 4,752822, \\ d &= 1,000041. \end{aligned}$$

Регресійна модель забезпечує помилку  $S = 5,91 \cdot 10^{-6}$ .

Таблиця 1 – Паспортні дані електродвигуна ДК117

Параметр	Значення
Номінальна потужність, кВт	110
Номінальна напруга, В	375
Номінальний струм, А	330
Номінальна швидкість, об/хв	1480
Сумарний опір якірного ланцюга, Ом	0,0686
Сумарна індуктивність якірного ланцюга, мГн	45,83
Приведений момент інерції електропривода, кгм <sup>2</sup>	30,84

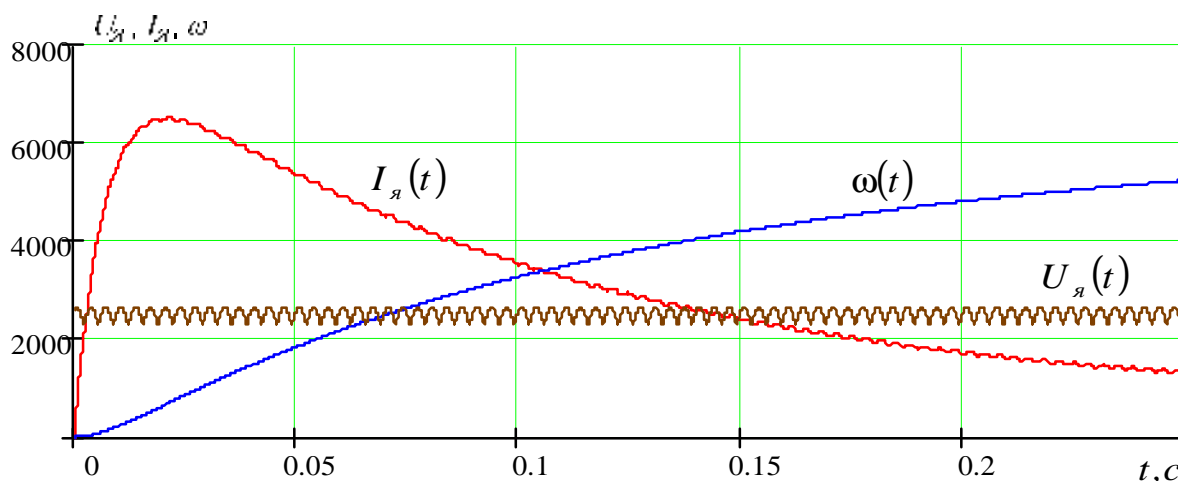


Рисунок 2 – Діаграми пуску двигуна ДК117 (масштаб кутової частоти 50:1, масштаб напруги якоря 5:1)

Крива намагнічення, розрахована на основі регресійної моделі (7), приведена на рис. 3.

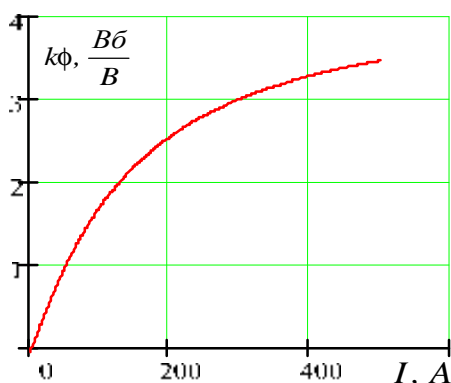


Рисунок 3 – Залежність магнітного потоку від струму якоря за моделлю (7)

Живлення якоря ДПС здійснюється від некерovanого випрямляча, побудованого за трифазною мостовою схемою випрямлення.

В якості точок часу для розрахунку параметрів прийняті значення 0,019933, 0,02, 0,020067 с, які відповідають максимальному значенню струму при пуску. В цьому випадку двигун працює на насиченій ділянці кривої намагнічення (рис. 3) і можна вважати, що  $k\phi = const$  (рис. 4).

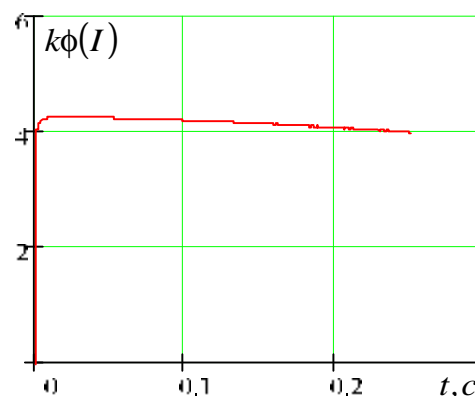


Рисунок 4 – Діаграма зміни магнітного потоку двигуна при його пуску

З використанням виразів (5) і (6) розраховані параметри електропривода. Результати розрахунку визначення параметрів наведені в табл. 2, 3.

**Таблиця 2 – Дані розрахунку за виразом (5)**

Параметр	Паспортне значення	Розраховане значення	Відносна похибка, %
Активний опір, Ом	0,0686	0,068736	-0,197892
Індуктивність, Гн	0,0004583	0,000458	0,032376
Момент інерції, кг м <sup>2</sup>	30,84	30,395047	1,427684

**Таблиця 3 – Дані розрахунку за виразом (6)**

Параметр	Паспортне значення	Розраховане значення	Відносна похибка, %
Активний опір, Ом	0,0686	0,067999	0,875751
Індуктивність, Гн	0,0004583	0,000458	0,098121
Магнітний потік, Вб/В (в точці 0,02 с)	4,228284	4,289525	-1,448362

**Висновки.** Використання методу простору стану дозволяє визначити параметри схеми заміщення тягового двигуна постійного струму в динамічних режимах роботи.

При сталому магнітному потоці похибка визначення електричних та електромагнітних параметрів не перевищує 0,2%, а моменту інерції – 1,5%.

В режимі насичення кривої намагнічення при пуску похибка визначення електричних та електромагнітних параметрів не перевищує 1%, а магнітного потоку – 1,5%.

Метод розрахунку потребує подальшого розвитку для отримання значень магнітного потоку в режимах з навантаженням нижче номінального.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Черный А.П., Синчук О.Н., Осадчук Ю.Г. Стратегия мобильных систем мониторинга и энергетической диагностики электроприводов в промышленности // Электромеханика и энергозберігаючі системи. – Кременчук: КДПУ, 2007. – Вып. 1. – С. 36 – 41.
2. Родькин Д.И., Ломонос А. И. Оценка информационных признаков мгновенной мощности в элементах электромеханических систем // Вестник КДПУ. – Кременчук, 2002. – Вып. 1 – С. 212 – 215.
3. Ломонос А.И., Бялобржеский А.В. Составляющие мгновенной мощности элементов преобразования энергии // Вестник КДПУ. – Кременчук, 2003. – Вып. 2(19). – Т. 2. – С. 170 – 174.

Стаття надійшла 12.04.2009 р.  
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.  
Родькіним Д.Й.