

УДК 621.317.73

М. Й. Бурбело, д. т. н., проф.; О. М. Кравець

ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ В ЕЛЕКТРОПРИВОДАХ З ЧАСТОТНИМ КЕРУВАННЯМ

Досліджено, що в частотно-керованих електроприводах для визначення електричних параметрів асинхронного двигуна доцільно застосовувати зрівноважувальні перетворення з використанням похідної потокозчеплення та потокозчеплення як інформативних параметрів для фіксування заданого стану, що забезпечує високу чутливість визначення параметрів.

Постановка завдання

Сучасні системи керування електроприводами на базі асинхронного двигуна, принципи дії яких ґрунтуються на орієнтації по вектору поля, вимагають знання параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна (АД). При неточному визначенні цих параметрів системи стають неточними, або взагалі непрацездатними. Так як значення параметрів схеми заміщення АД можуть змінюватись у процесі роботи, постає задача їх поточного визначення.

Згідно з [1] найбільш компактним записом рівнянь АД є комплексна форма. В осях x , y (для двофазної моделі асинхронного двигуна) ці рівняння можна представити у вигляді

$$\begin{aligned}\bar{u}_s &= \bar{i}_s R_s + \frac{d\bar{\Psi}_s}{dt} + \bar{\Psi}_s j \omega_k; \\ \bar{u}_r &= \bar{i}_r R_r + \frac{d\bar{\Psi}_r}{dt} + \bar{\Psi}_r j (\omega_k - \omega_r); \\ M &= p_n L_m \operatorname{Im}(\bar{i}_s \cdot \bar{i}_r^*),\end{aligned}\quad (1)$$

де \bar{u}_s — вектор напруги живлення двигуна; \bar{i}_s , \bar{i}_r — вектори струму статора та струму ротора, приведеного до обмотки статора; R_s , R_r — активні опори фази відповідно статора та приведеній ротора; L_m — взаємна індуктивність; ω_k , ω_r — відповідно частоти обертання системи координат та ротора; p_n — кількість пар полюсів. Вектори потокозчеплень статора та ротора відповідно будуть

$$\bar{\Psi}_s = L_s \bar{i}_s + L_m \bar{i}_r; \quad \bar{\Psi}_r = L_m \bar{i}_r + L_r \bar{i}_r,$$

де L_s , L_r — індуктивності розсіювання відповідно статора і приведеній ротора.

Рівнянням (1) відповідає схема заміщення АД, яка зображена на рис. 1.

Вирішення проблеми оцінювання електричних параметрів АД висвітлює значна кількість наукових робіт, зокрема [2–5], і шляхи оцінювання їх є дуже різноманітними. Однак складність вирішення задачі, яка зумовлена нелінійністю об'єкта дослідження, не дозволяє забезпечити необхідну точність.

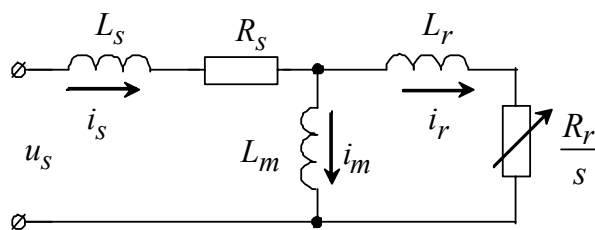


Рис. 1. Т-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

Постановка завдання

Ставиться завдання дослідження методу визначення електричних параметрів асинхронних двигунів з використанням внутрішніх змінних їх схеми заміщення в системах векторного регулювання електроприводів з широтно-імпульсною модуляцією напруги.

Обґрунтування результатів

Оскільки індуктивність кола намагнічування L_m є нелінійним елементом, то систему рівнянь АД подамо через струм статора і потокозчеплення

$$\begin{aligned} L_s \frac{di_s}{dt} + \frac{d\psi_m}{dt} &= u_s - R_s i_s; \\ -L_r \frac{di_s}{dt} + \left(1 + \frac{L_r}{L_m} \left(1 - \frac{\psi_m}{L_m} f'(\psi_m)\right)\right) \frac{d\psi_m}{dt} &= \frac{R_r}{s} \left(i_s - \frac{\psi_m}{L_m}\right), \end{aligned} \quad (2)$$

де $f'(\psi_m)$ – похідна індуктивності намагнічування по потокозчепленню ψ_m .

Для визначення параметрів АД можна використати похідну потокозчеплення, визначивши її з першого та другого рівнянь

$$\frac{d\psi_m}{dt} = u_s - R_s i_s - L_s \frac{di_s}{dt}, \quad (3)$$

$$\frac{d\psi_m}{dt} = \frac{R'_r}{s} \left(i_s - \frac{1}{L_m} \int \frac{d\psi_m}{dt} dt\right) + L'_r \frac{di_s}{dt}, \quad (4)$$

де $R'_r = \frac{R_r}{1 + \frac{L_r}{L_m} \left(1 - \frac{\psi_m}{L_m} f'(\psi_m)\right)}$; $L'_r = \frac{L_r}{1 + \frac{L_r}{L_m} \left(1 - \frac{\psi_m}{L_m} f'(\psi_m)\right)}$ – еквівалентні нелінійні

параметри АД.

На рис. 2 наведені залежності похідної потокозчеплення, що розраховані за формулами (3) і (4), для краново-металургійного двигуна типу МТКН512-8 повторно-короткочасного режиму роботи (ПВ = 25 %) з номінальною потужністю 45 кВт в режимі заданої синусоїдної напруги у разі наближеного визначення параметрів $R'_r \approx R_r$; $L'_r \approx L_r$. Параметри двигуна такі: $R_s = 0,103$ Ом, $R_r = 0,237$ Ом, $X_s = \omega L_s = 0,172$ Ом, $X_r = \omega L_r = 0,366$ Ом, $X_m = \omega L_m = 11,2$ Ом, $s = 0,075$.

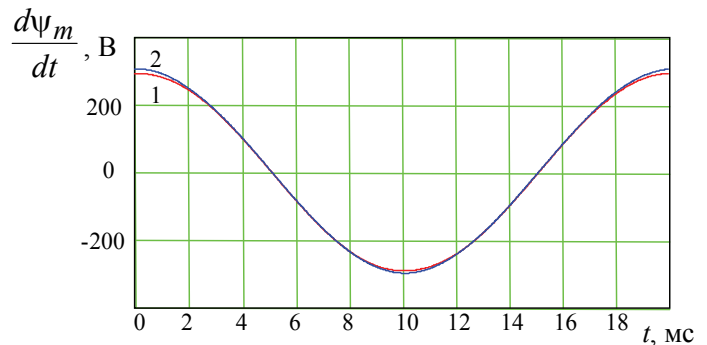


Рис. 2. Залежності похідної потокозчеплення, що розраховані за формулами (3) і (4)

Близькість залежностей похідної потокозчеплення, що розраховані за формулами (3) і (4), вказує на можливість представлення даного типу двигуна чотириелементною схемою заміщення і наближеного визначення параметрів $R'_r \approx R_r$; $L'_r \approx L_r$. У данному випадку необхідним є уточнення параметра R'_r , зокрема, при $R'_r = 0,230$ Ом криві $\frac{d\psi_m}{dt}$ збігаються. Інформативними у даному випадку є амплітудні значення $\frac{d\psi_m}{dt}$.

Другий підхід до визначення параметрів АД полягає у порівнянні миттєвих значень потокозчеплення, розрахованих за формулами

$$\psi_m = \psi_0 + \int_0^t (u_s - R_s i_s) dt - L_s i_s; \quad (5)$$

$$\psi_m = L_m \left(i_s + \frac{L'_r}{R'_r} \frac{di_s}{dt} - \frac{1}{R'_r} \frac{d\psi_m}{dt} \right). \quad (6)$$

Функціональну схему перетворень за формулами (5) і (6) зображено на рис. 3. Налаштування моделі здійснюється блоком порівняння та прийняття рішень (БП), який аналізує миттєві значення двох реалізацій потокозчеплення, що надходять на його входи, і приймає рішення щодо зміни параметрів, які регулюються.

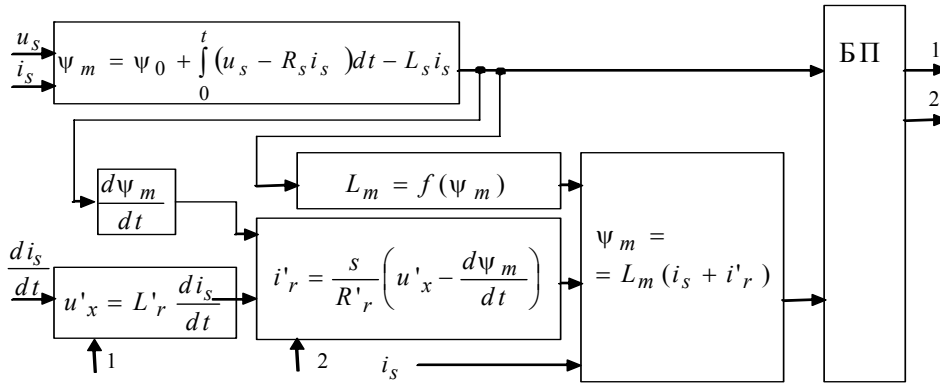


Рис. 3. Функціональна схема перетворень за формулами (5) і (6)

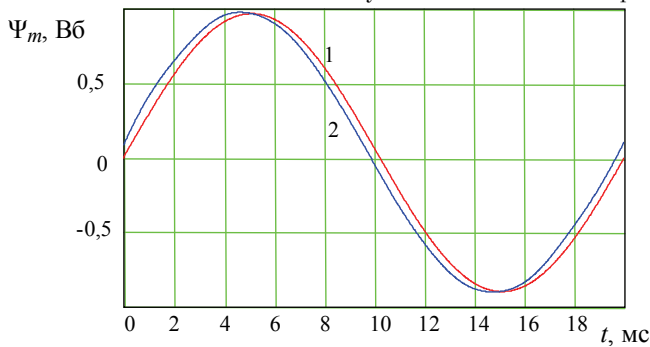


Рис. 4. Залежності потокозчеплення, що розраховані за формулами (5) і (6)

На рис. 4 показані залежності потокозчеплення, що розраховані з формул (5) і (6), які позначено відповідно цифрами 1 та 2, для вказаного вище типу двигуна.

За відхиленнями миттєвих значень потокозчеплень, відображених кривими 1 та 2, можна зробити висновок, що використання потокозчеплення забезпечує порівняно вищу чутливість вимірювальних каналів, ніж у разі використання похідної потокозчеплення. Інформативним є фазовий зсув між потокозчепленнями,

розрахованими за формулами (5) і (6).

Третій підхід до визначення параметрів АД полягає у використанні комбінованого методу, згідно з яким спочатку формується напруга

$$u'_r(t) = u_s(t) - R_s i_s(t) - L_s \frac{di_s(t)}{dt} - L'_r \frac{di_s(t)}{dt}, \quad (7)$$

а потім визначається струм статора $\hat{i}_s(t)$ за формулою

$$\hat{i}_s(t) = \frac{u'_r(t)}{R'_r/s} + \frac{\psi_0 + \int_0^t u'_r(t) dt}{L'_m}. \quad (8)$$

Налаштування параметрів моделі АД може здійснюватися на основі порівняння розрахованих $\hat{i}_s(t)$ та дійсних $i_s(t)$ залежностей струму статора.

Функціональну схему перетворень, які необхідно здійснювати для визначення електричних параметрів АД за формулами (7) і (8), зображено на рис. 5. Комбінований алгоритм назвемо компенсаційно-мостовим, оскільки для його реалізації можна використати поєднання компенсаційної та мостової схем. За допомогою компенсаційної схеми формується напруга $u'_r(t)$, яка подається на мостову схему, де здійснюється порівняння струму АД зі струмом двохелементної паралельної схеми заміщення з параметрами R_2, L_0 ($L_0 = L'_m$). Умова досягнення стану рівноваги або квазірівноваги формується у вигляді $R_2 = R'_r/s$. Компенсаційно-мостовий метод доцільно застосовувати у разі роботи електроприводу в режимі заданої напруги.

В режимі заданого струму налаштування параметрів моделі АД може здійснюватися на основі порівняння розрахованих $\hat{u}_s(t)$ та дійсних $u_s(t)$ залежностей напруги на статорі.

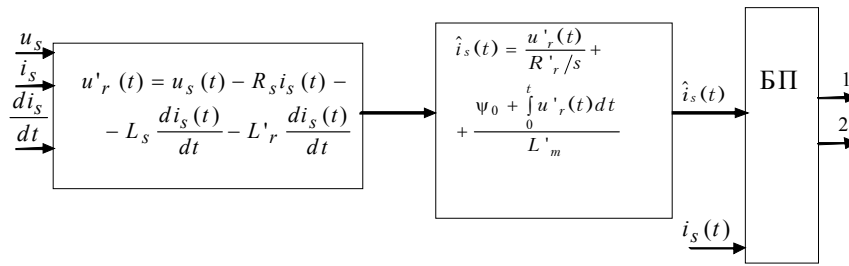


Рис. 5. Функціональна схема перетворень за формулами (7) і (8)

На рис. 6 наведені залежності струму статора (крива 1) та потокозчеплення (крива 2) за широтно-імпульсного модулювання напруги статора, що розраховані шляхом розв'язування системи рівнянь (2) для краново-металургійного двигуна типу МТКН512-8 повторно-короткочасного режиму роботи (ПВ = 25 %) з номінальною потужністю 45 кВт.

На рис. 7 наведені залежності потокозчеплення, що визначені з використанням формул (5) та (6), які позначено відповідно цифрами 1 та 2, для вказаного вище типу двигуна за наявності похибки визначення R'_r , що становить 1 % ($R'_r = 0,240$ Ом).

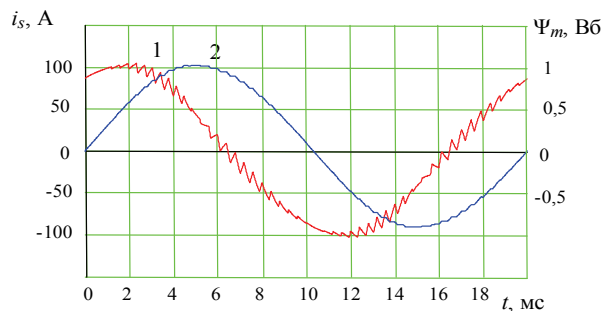
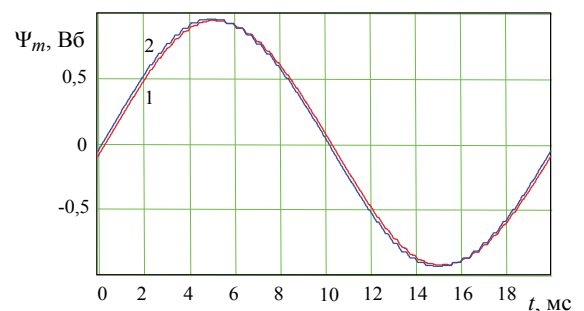


Рис. 6. Струм статора та потокозчеплення за широтно-імпульсного модулювання напруги

Рис. 7. Залежності потокозчеплення, що розраховані за формулами (5) та (6) за наявності похибки визначення R'_r

За відхиленнями миттєвих значень потокозчеплень, відображених кривими 1 і 2, можна зробити висновок, що використання внутрішніх параметрів схеми заміщення АД, зокрема потокозчеплення, забезпечує високу чутливість визначення параметрів АД для частотно-керованих електроприводів.

Висновки

Показано, що в частотно-керованих електроприводах для визначення електричних параметрів асинхронного двигуна доцільно застосовувати зрівноважувальні перетворення з використанням похідної потокозчеплення та потокозчеплення як інформативних параметрів для фіксування заданого стану, що забезпечує високу чутливість визначення параметрів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ключев В. И. Теория электропривода : учебн. для вузов / В. И. Ключев. — М. : Энергоатомиздат, 1985. — 560 с.
2. Волков А. В. Идентификация потокозчепления ротора частотно-регулируемого асинхронного двигателя / А. В. Волков // Электротехника. — 2002. — № 6. — С. 40—46.
3. Волков А. В. Идентификация внутренних параметров частотно-регулируемого асинхронного двигателя / А. В. Волков // Электротехника та електроенергетика. — 2003. — № 1. — С. 82—87.
4. Браславский И. Я. Адаптивная система прямого управления моментом асинхронного двигателя / И. Я. Браславский, З. Ш. Ишмагов, Е. И. Барац // Электротехника. — 2001. — № 11. — С. 35—39.
5. А. с. СССР № 1468211 А1 SU. МКИ G01R 31/34. Устройство для определения параметров асинхронных электродвигателей / Е. К. Ешин, В. Г. Власов, Д. А. Алешин и М. А. Тынкевич (СССР). — № 4184538/22; Заявл. 26.01.87; Опубл. 15.07.92. Бюл. № 26. — 4 с.

Рекомендована кафедрою електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Надійшла до редакції 26.02.09
Рекомендована до друку 27.05.09

Бурбело Михайло Йосипович — завідувач кафедри, **Кравець Олександр Миколайович** — асистент.

Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет