

ЗАСТОСУВАННЯ ДИСКРЕТНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО МОМЕНТУ АСИНХРОННОЇ МАШИНИ

Старостін С.С., Старостіна В.М.
 Донецький національний технічний університет
 starostin@mail8.dgtu.donetsk.ua

The paper deals with the questions of electromagnetic torque identification for an induction machine. The discrete-time model of an induction machine is used. The design of the model correction is considered. The simulation results of identification are given. There is shown that good performance of the torque identification has been achieved. The conclusion is made about the impossibility of the comprehensible angular speed estimation.

Вступ. У сучасних електромеханічних системах поширюється використання асинхронних електромашин (АМ). При цьому в ряді випадків є необхідним регулювання електромагнітного моменту асинхронної машини як у рушійному, так і в генераторному режимах. Отже, треба ідентифікувати поточну величину цього моменту.

Аналіз попередніх досліджень. Як правило, на рівень електромагнітного моменту асинхронної машини впливають без визначення його величини через відповідне регулювання струму статора. Але у високоякісних електромеханічних системах реалізують регулювання моменту, величину якого визначають на підставі моделі асинхронної машини [1 - 4]. У [4] розглянуто спостерігач моменту асинхронної машини, але вадою запропонованого підходу є використання інформації щодо швидкості обертання АМ. У [3] зроблено аналіз варіантів моделей і відзначено модель, яка на підставі інформації щодо напруги і струму статора ідентифікує не тільки електромагнітний момент, а й кутову швидкість обертання вала машини. Позитивною рисою моделі є застосування інтегрування зі зворотним зв'язком. Але в [3] не обґрунтовано коригуючу ланку, яка забезпечує функціонування моделі, і немає відомостей щодо динамічних властивостей моделі. Також виникають питання з точки зору практичної реалізації моделі на базі мікропроцесорних контролерів.

Метою досліджень є визначення можливості практичного використання моделі, яку розглянуто в [3], для ідентифікації електромагнітного моменту та швидкості обертання асинхронної машини.

Матеріал і результати дослідження. Модель, надану в [3], з урахуванням попереднього досвіду [5, 6]

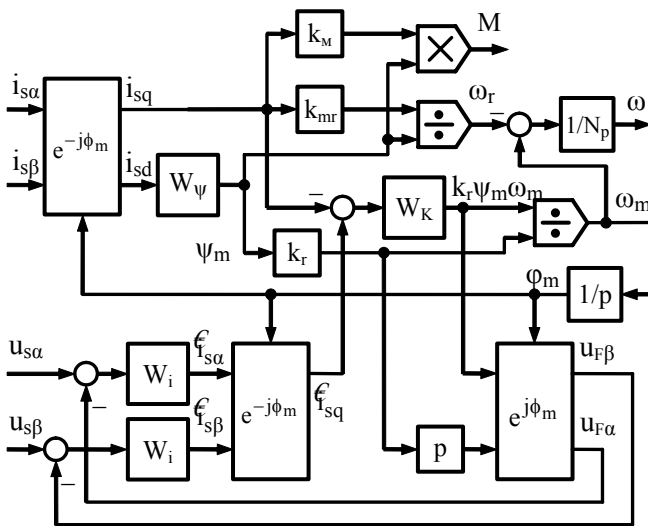


Рисунок 1 - Структурна схема ідентифікації моменту асинхронної машини

На рис.1 блок W_ψ відображає зв'язок поточкозчеплення двигуна ψ_m зі складовою струму статора i_{sd} з урахуванням ефекту насичення магнітної системи АМ (див. [5, 6]).

Оснoву функціонування моделі становить порівняння дійсного значення q-складової струму статора i_{sq} зі значенням \hat{i}_{sq} , розрахованим на підставі вимірної напруги статора. У функції визначеної похибки коригуюча ланка W_K формує змінну, що дорівнює добутку $k_r \psi_m \omega_m$. Це дає можливість за допомогою ділення на $k_r \psi_m$ знайти величину змінної ω_m , інтегрування якої дає значення кута координатного перетворення ϕ_m . Зворотний вплив ланки W_K на величину \hat{i}_{sq} здійснено через участь сигналу цієї ланки у визначенні змінних $u_{F\alpha}$ та $u_{F\beta}$.

можна охарактеризувати структурною схемою, яку зображено на рис. 1. Вхідними величинами моделі є складові струму ($i_{s\alpha}$, $i_{s\beta}$) та напруги ($u_{s\alpha}$, $u_{s\beta}$) статора асинхронної машини у координатних осях α , β . Вихідними змінними є електромагнітний момент M та кутова швидкість ω . Основну частину моделі представлено в обертовій системі координат d-q, орієнтованою за магнітним полем, яке має кутову швидкість ω_m .

У структурній схемі (рис. 1) є присутніми наступні параметри та передавальна функція:

$$k_m = \frac{3}{2} \cdot N_p k_r; \quad k_{mr} = R_r k_r; \quad k_r = \frac{1}{1 + \sigma_r}; \quad (1)$$

$$W_i(p) = \frac{1/R_s}{1 + \sigma T_s p},$$

- де N_p – число пар полюсів АМ;
- R_r – активний опір фази ротора;
- σ_r – коефіцієнт розсіювання ротора;
- R_s – активний опір фази статора;
- σ – загальний коефіцієнт розсіювання АМ;
- T_s – електромагнітна стала часу статора.

При умові коректного координатного перетворення на підставі вимірюючого струму статора може бути розраховано величину електромагнітного моменту M , а також кутову швидкість ω асинхронної машини, що відображено у структурній схемі на рис. 1.

Аналогічно до розглянутого в [5, 6] на основі неперервної форми (рис. 1) знаходимо дискретний варіант моделі, який безпосередньо може бути застосовано при програмуванні мікропроцесорного контролера.

Дискретну модель характеризує рис. 2. В моделі враховано імпульсний характер напруги статора АМ. Отже, модель синтезовано відносно середніх значень напруги \bar{u}_{sa} , \bar{u}_{sb} . При цьому модель визначають наступні z-передавальні функції:

$$W_i^\#(z) = \frac{c_0/R_s}{1-d_s z^{-1}}; \quad W_\phi^\#(z) \cong \frac{T_i(1+z^{-1})}{2(1-z^{-1})}; \quad (2)$$

$$W_p^\#(z) \cong \frac{1-z^{-1}}{T_i}; \quad W_u^\#(z) \cong \frac{1+z^{-1}}{2},$$

де $c_0 = T_i d_s^{1-\gamma} / \sigma T_s$; $d_s = \exp(-T_i / \sigma T_s)$;

T_i – інтервал дискретності моделі АМ;

γ – параметр, що характеризує затримку формування імпульсу перетворювача частоти.

Ланці $W_\psi^\#$ відповідає структурна схема, зображена на рис. 3. В схемі враховано нелінійність зв'язку між потокозчепленням ψ_m та струмом намагнічування i_m . Параметри схеми визначають вирази:

$$s_1 = \sigma T_s k_{mr} (2d_s^{\gamma-1} - d_s^\gamma - 1); \quad (3)$$

$$s_2 = \sigma T_s k_{mr} (d_s^\gamma - 1).$$

З точки зору визначення коригуючої ланки $W_K^\#$ розглянемо структурну схему (рис. 4, а), яка в системі координат d-q характеризує вплив вихідного сигналу цієї ланки на сигнал ϵ_{sq} . Коригуюча ланка контуру складається з двох компонентів. Компонент 1 компенсує інерційність передавальної функції $W_i^\#$ та забезпечує перший

рівень цифрового інтегрування. Компонент 2 застосовано для отримання двократно інтегруючого контуру відносно як керуючого сигналу i_{sq} , так і збурень, основним з яких є зміни в напрузі статора \bar{u}_{sq} . Відповідно до модульного критерію параметри коригуючої ланки визначають вирази:

$$k_{ki} = R_s / 2c_0; \quad T_{ki} = 3T_i. \quad (4)$$

При такому виборі параметрів динамічні властивості контуру при стрибках завдання та збурення характеризують графіки, надані на рис. 4, б.

Розглянутий підхід до ідентифікації моменту та швидкості асинхронної машини перевірено шляхом

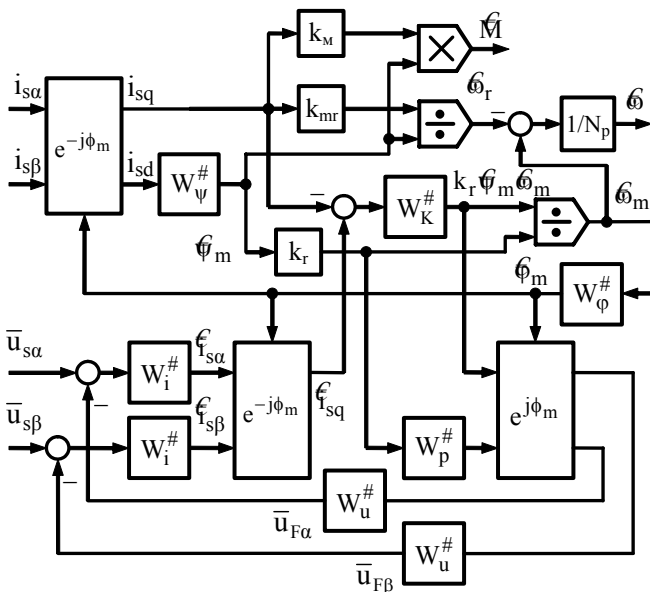


Рисунок 2 - Структурна схема дискретної ідентифікації моменту асинхронної машини

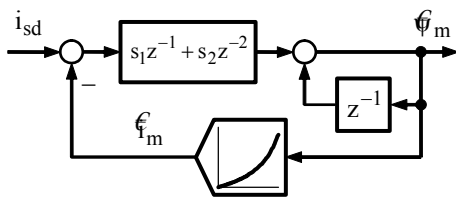


Рисунок 3 - Структурна схема щодо зв'язку потокозчеплення АМ зі струмом статора

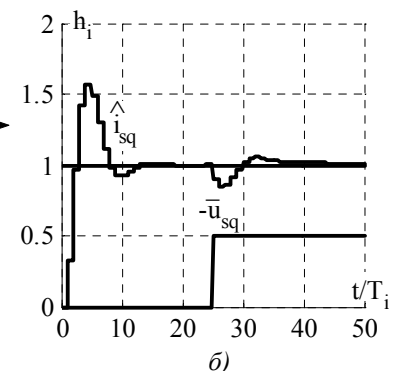
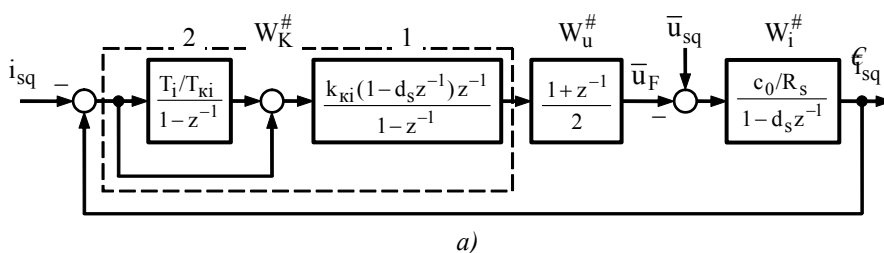


Рисунок 4 - Структурна схема контуру коригування моделі АМ (а) та його динамічна характеристика (б)

модельовання за допомогою комп'ютерного пакету Matlab/Simulink. При моделюванні враховано параметри асинхронної машини з номінальними даними: потужність $P_{\text{ном}} = 0,75$ кВт, частота обертання $n_{\text{ном}} = 1395$ об/хв, напруга $U_{\text{ном}} = 400$ В, струм $I_{\text{ном}} = 1,86$ А. Це є передумовою наступної перевірки процесу ідентифікації моменту на експериментальному лабораторному стенді.

Характерні результати моделювання надано у відносних величинах ($\omega_* = \omega/\omega_{\text{ном}}$, $M_* = M/M_{\text{ном}}$) на рис. 5, який відображає порівняння перехідних процесів фактичних й ідентифікованих швидкості та моменту асинхронної машини. Розглянуто процеси розгону та накиду навантаження при $t = 200T_i$. Слід звернути увагу, що на рис. 5,а показано величину середнього моменту \bar{M} . Регулювання реалізовано за принципами векторного керування. Причому, орієнтування системи координат здійснено на підставі кута ϕ_m , отриманого при ідентифікації електромагнітного моменту (рис. 2).

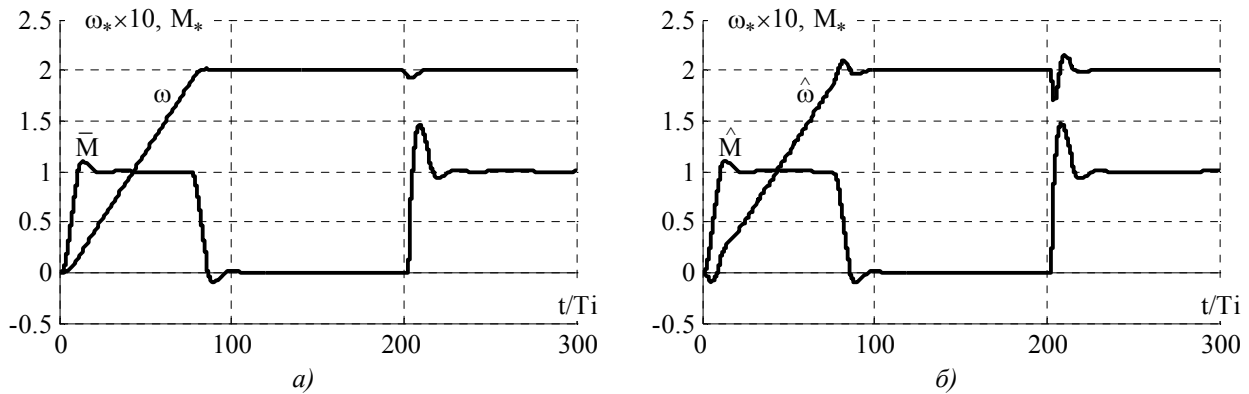


Рисунок 5 - Графіки перехідних процесів фактичних (а) та ідентифікованих (б) швидкості та моменту асинхронної машини

З наданих результатів випливає, що практично маємо збіг між фактичним та ідентифікованим моментами. Щодо швидкості, то при зміні моменту асинхронної машини спостерігаємо суттєве відхилення ідентифікованої швидкості від її фактичного значення. Ця обставина унеможливує використання результатів ідентифікації швидкості для здійснення регулювання.

Високий ступінь відповідності при ідентифікації моменту підтверджує також фрагмент перехідного процесу, зображений на рис.6. Миттєві значення фактичного моменту M та значення ідентифікованого моменту \hat{M} практично співпадають у дискретні моменти часу, які відповідають дискретності функціонування перетворювача частоти та періодичності реалізації регулювання.

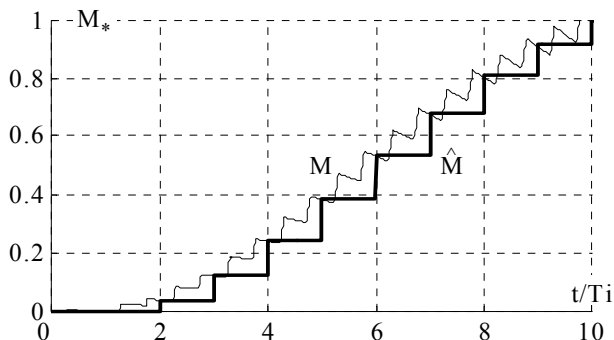


Рисунок 6 - Фрагмент перехідних процесів фактичного та ідентифікованого моменту асинхронної машини

Висновки. Таким чином, на основі застосування розробленої дискретної математичної моделі асинхронної машини отримано позитивні результати щодо ідентифікації електромагнітного моменту асинхронної машини. Отже, розглянутий підхід може бути основою при здійсненні регулювання моменту.

Відносно швидкості обертання виявлено наявність суттєвих відхилень між реальною та ідентифікованою величиною, що робить неможливим використання цієї інформації з метою регулювання.

Результати досліджень дають підстави для практичного використання виконаних розробок.

ЛІТЕРАТУРА

1. Vas P. Sensorless Vector and Direct Torque Control. - Oxford: Oxford University Press, 1998. - 729 p.
2. Leonhard W. Regelung elektrischer Antriebe. - Berlin: Springer, 2000. - 462 S.
3. Riefenstahl U. Elektrische Antriebssysteme. - Wiesbaden: Teubner, 2006. - 443 S.
4. Beckert U., Neuber W. Drehmoment-Beobachter für Asynchronmaschinen//Antriebstechnik, 1999, Н.9.- S.79-83.
5. Старостін С.С., Передерій О.В. Дискретна математична модель асинхронного двигуна // Електромеханічні і енергозберігаючі системи, 2007. - №1. - С. 53-56.
6. Starostin S., Perederiy O. Discrete-Time Model of Voltage Source Inverter and Its Application // 5th International Conference "Compatibility in Power Electronics" (CPE2007, Poland, Gdansk, May 29 – June 1, 2007) - бр.

Рекомендовано д.т.н. Толочко О.І.