

УДК 621.313

Квашнін В. О., Косенко В. А., Покинтелиця І. А.

**ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З ВИКОРИСТАННЯМ ЙОГО МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ**

В теперішній час для розрахунку втрат потужності, визначення споживаємої реактивної енергії, необхідних для оцінки енергетичних характеристик електрообладнання (коефіцієнта потужності –  $\cos(\varphi)$  та ККД –  $\eta$ ), в проектній практиці використовують методи, які базуються на експлуатаційних даних, отриманих за допомогою лічильників активної та реактивної енергії [1]. Використання цих даних для знов проектуємих електроприводів може призвести к значним похибкам, тому для встановлених та динамічних режимів роботи асинхронних двигунів розробляються та вдосконалюються аналітичні методи розрахунків.

Метою роботи є визначення динамічних енергетичних показників асинхронного двигуна (АД). Для досягнення поставленої мети було розглянуто визначення миттєвої потужності та на їх основі побудова динамічних залежностей коефіцієнта корисної дії (ККД –  $\eta$ ) т коефіцієнта потужності ( $\cos(\varphi)$ ).

За теорією електропривода [1] миттєву активну електромагнітну потужність та механічну потужність на валу двигуна відповідно можна визначити:

$$P_{1i} = i_i \cdot u_i, \quad (1)$$

$$P_{2i} = M_i \cdot \omega_i, \quad (2)$$

де  $i_i$ ,  $u_i$ ,  $M_i$ ,  $\omega_i$  – миттєві значення струму, напруги, моменту на валу двигуна, та кутової швидкості відповідно у функції від часу.

На дійсних адекватних математичних моделях [2, 3] з'являється можливість отримання динамічних залежностей потужностей від часу. На основі отриманих даних можливо розрахувати динамічну залежність ККД для діючих значень:

$$\eta_i = \frac{P_{2i}}{P_{1i}}. \quad (3)$$

Визначення поточного (динамічного) значення коефіцієнта потужності здійснюється співвідношенням [3]:

$$\cos \varphi_i = \frac{P_{1i}}{S}, \quad (4)$$

де  $S$  – повна середньодіюча потужність у часі, яка визначається за формулою:

$$S = (\sqrt{3} \cdot u) \cdot i,$$

де  $u$  та  $i$  – середньодіюча напруга та струм у часі відповідно.

Для визначення енергетичних показників була розрахована та побудована адекватна математична модель асинхронного двигуна.

1. Розрахунок параметрів двигуна.

Головна взаємна індуктивність між фазами ротора та статора:

$$X_m = \frac{U_\phi - I_{xx} \cdot \sqrt{R_s^2 + X_{s\sigma}}}{I_{xx}};$$

$$\omega_{sH} = 2 \cdot \pi \cdot 50 ; L_m = \frac{X_m}{\omega_{sH}} .$$

Коефіцієнт розсіяння статора:

$$\sigma_s = \frac{X_{s\sigma}}{X_m} .$$

Коефіцієнт розсіяння ротора:

$$\sigma_r = \frac{X_{r\sigma}}{X_m} .$$

Коефіцієнт розсіяння по Блонделю:

$$\sigma = 1 - k_s \cdot k_r .$$

Коефіцієнт електромагнітного зв'язку статора та ротора:

$$k_s = \frac{1}{1 + \sigma_s} ;$$

$$k_r = \frac{1}{1 + \sigma_r} .$$

Індуктивність фази статора та ротора:

$$L_s = \frac{X_{s\sigma} + X_m}{\omega_{sH}} ;$$

$$L_r = \frac{X_{r\sigma} + X_m}{\omega_{sH}} .$$

Електромагнітна постійна часу ротора:

$$T_r = \frac{L_r}{R_r} .$$

Еквівалентний активний опір двигуна:

$$R_\ell = R_s + k_r^2 \cdot R_r .$$

Еквівалентна електромагнітна постійна часу статора:

$$T_\ell = \frac{\sigma \cdot L_s}{R_\ell} .$$

2. Розробка математичної моделі:

$$T_{\sigma s} = \frac{\sigma L_s}{R_s} ; T_{\sigma r} = \frac{\sigma L_r}{R_r} .$$

На рис. 1 показана математична модель асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.

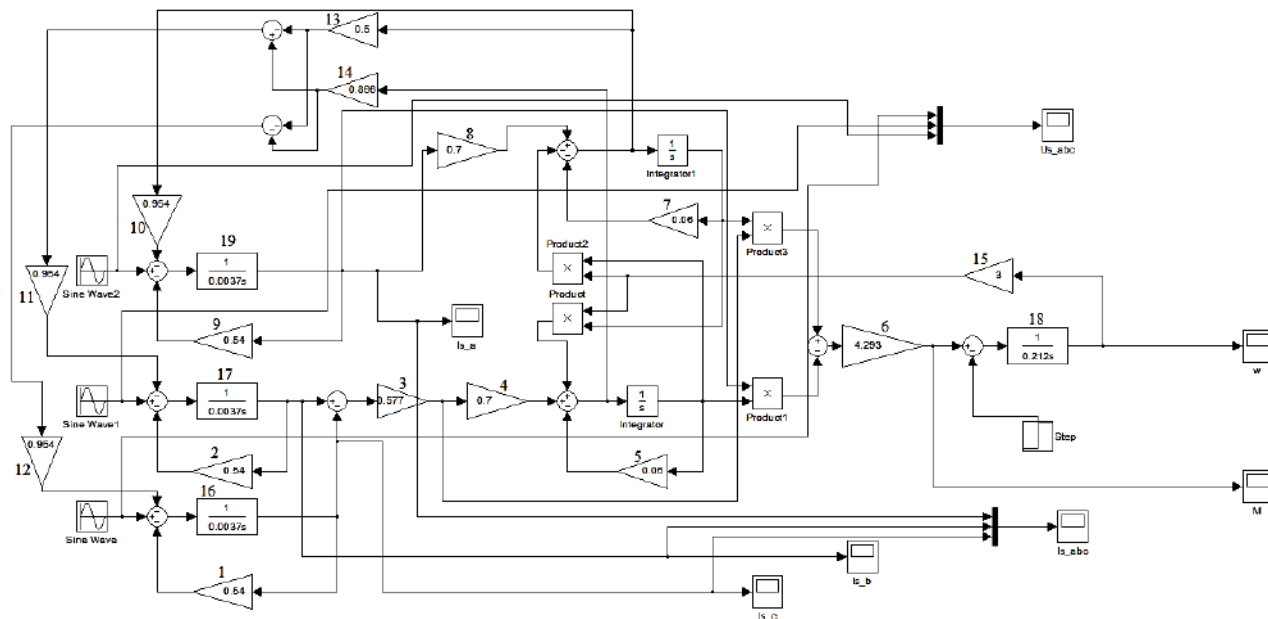


Рис. 1. Модель асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором

В табл. 1 приведені параметри основних функціональних блоків математичної моделі.

Таблиця 1

Параметри основних функціональних блоків математичної моделі АД

Порядковий номер	Тип блоку	Параметри блоків	Значення
1	Gain	$R_s$	0,54
2	Gain	$R_s$	0,54
3	Gain	0,577	0,577
4	Gain	$k_r \cdot R_r$	0,7
5	Gain	$1/T_r$	0,06
6	Gain	$3/2 \cdot Z_p \cdot k_r$	4,293
7	Gain	$1/T_r$	0,06
8	Gain	$k_r \cdot R_r$	0,7
9	Gain	$R_s$	0,54
10	Gain	$k_r$	0,954
11	Gain	$k_r$	0,954
12	Gain	$k_r$	0,954
13	Gain	$\sin(30^\circ)$	0,5
14	Gain	$\sin(60^\circ)$	0,866
15	Gain	$Z_p$	3
16	Transfer Fcn	$1/\sigma L_s \cdot s$	$1/0,0037s$
17	Transfer Fcn	$1/\sigma L_s \cdot s$	$1/0,0037s$
18	Transfer Fcn	$1/J_\delta \cdot s$	$1/0,212s$
19	Transfer Fcn	$1/\sigma L_s \cdot s$	$1/0,0037s$

При моделюванні розробленої схеми АД були отримані графіки перехідних процесів при набросі номінального навантаження.

На рис. 2 представлений перехідний процес при пуску, роботі на холостому ході та при номінальному навантаженні за швидкістю та механічним моментом.

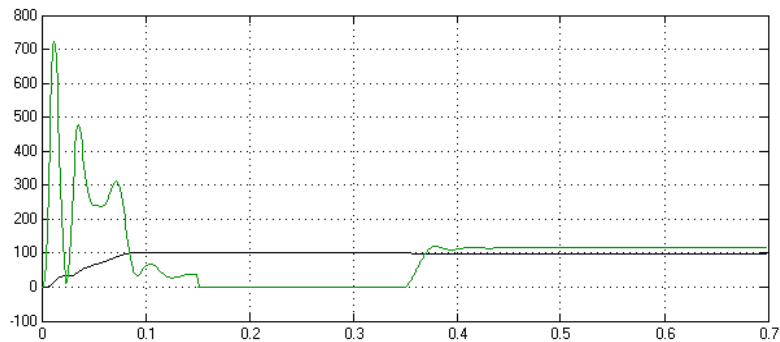


Рис. 2. Швидкість та момент на валу двигуна

Графіки струму та напруги статора в одній фазі показані на рис. 3.

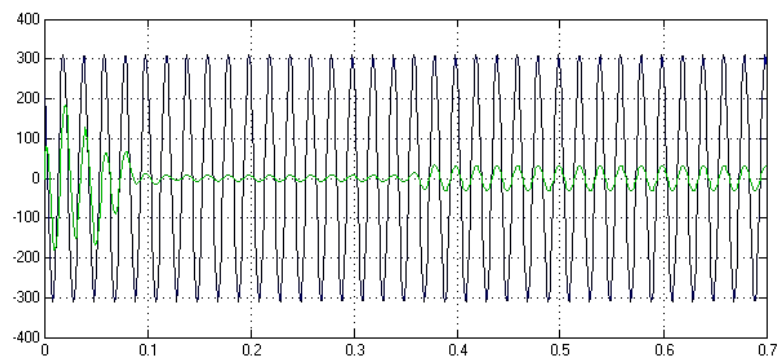
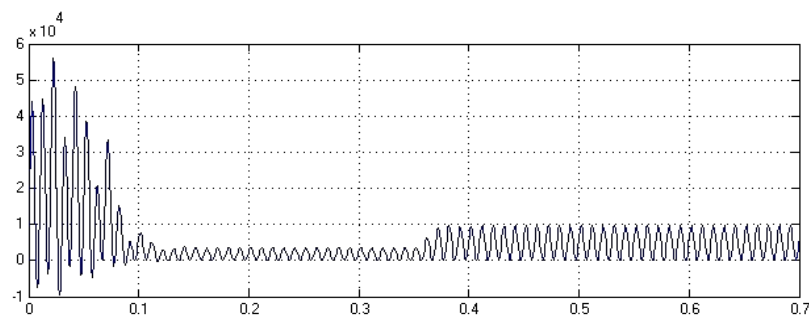


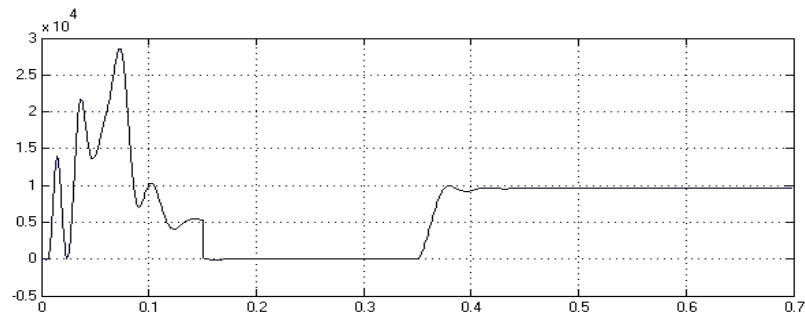
Рис. 3. Струм та напруга статора

3. Розрахунок енергетичних показників двигуна та побудова відповідних графіків.

Електромагнітна миттєва та діюча потужність, яка розвивається на валу двигуна (1), (2), представлені на рис. 4 (а, б).



а



б

Рис. 4. Миттєве значення потужності:  
а – електромагнітна; б – механічна

Графік ККД, який визначаємо за співвідношенням (3), представлено на рис. 5.

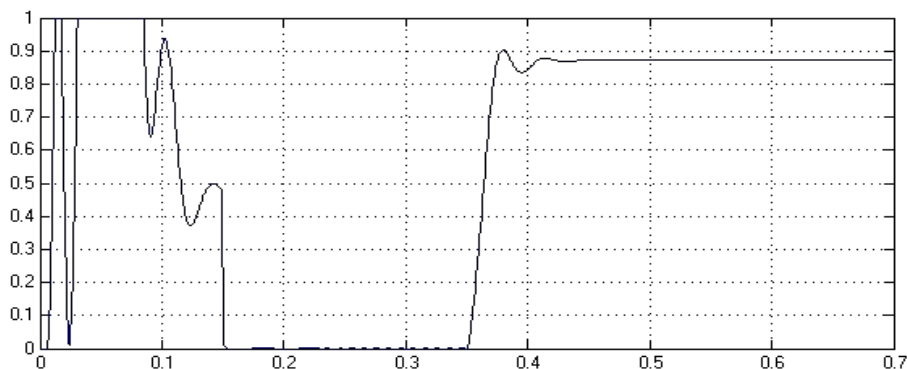


Рис. 5. ККД у функції від часу

На розробленій математичній моделі була отримана наступна залежність коефіцієнта потужності від часу (4), яка зображена на рис. 6.

Щоб отримати середнє діюче значення коефіцієнта потужності у часі окремі ділянки (пуску, холостого ходу та навантаження), були оброблені окремими залежностями та на їх основі був побудований графік середньодіючого значення коефіцієнта потужності, який зображений на рис. 6.

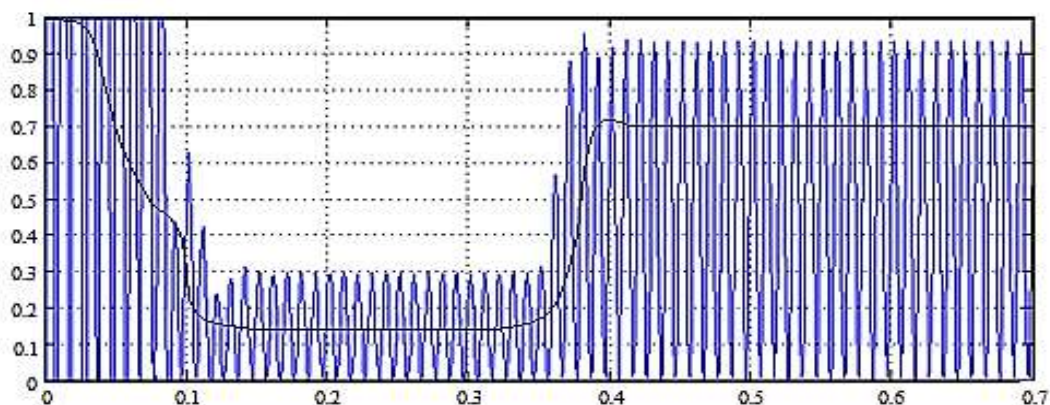


Рис. 6. Середньодіюче значення коефіцієнта потужності

## ВИСНОВКИ

Таким чином, за допомогою розробленої математичної моделі та з використанням методики розрахунку енергетичних показників асинхронного двигуна були отримані залежності миттєвих та діючих значень потужностей, ККД та коефіцієнта потужності у функції від часу при різноманітних режимах експлуатації АД, що надає можливості побудови керованих енергозберігаючих електроприводів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шевченко И. С. *Электромеханические процессы в асинхронном электроприводе* : учеб. пособ. / И. С. Шевченко, Д. И. Морозов. – Алчевск : ДонДТУ, 2009. – 349 с.
2. Квашинин В. О. *Методика аналитического определения параметров схемы замещения асинхронного двигателя* / В. О. Квашинин // *Вісник Східноукраїнського національного університету : науковий журнал*. – Луганськ, 2000. – № 8(30). – С. 54–59.
3. Черных И. В. *Моделирование электротехнических устройств в Matlab, SimPowerSystems и Simulink* / И. В. Черных. – М. : ДМК Пресс ; СПб. : Питер, 2008. – 288 с. : ил.