

УДК 621.313

Д. В. КУП'ЯНСЬКИЙ

В. В. ТАРАСОВА, канд. техн. наук, доцент

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків

АСИНХРОННИЙ ДВИГУН ЯК ОБ'ЄКТ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ

Излагаются проблемы, возникающие при использовании асинхронных двигателей в системах автоматического управления. Приводятся различные способы расчёта критического скольжения.

Викладаються проблеми, що виникають при використанні асинхронних двигунів у системах автоматичного керування. Приводяться різні способи розрахунку критичного ковзання.

Постановка проблеми

Сучасний машинний пристрій складається з великої кількості окремих машин, механізмів, апаратів, вузлів й деталей, які виконують різні функції, а усі разом узяті здійснюють певну роботу, спрямовану на забезпечення певного виробничого процесу.

Будь-який розвинений машинний пристрій складається з трьох основних частин:

- двигуна;
- передавального механізму;
- робочого органа.

Перші дві частини призначені для приведення до руху третьої, тобто робочого органа. Отже, перші дві частини являють собою ПРИВОД.

Основним видом привода зараз є електропривод (ЕП), обсяг його використання незрівнянно більше усіх приводів інших типів разом узятих.

Визначення електричному приводу можна дати таке.

Електропривод – це електромеханічна система, що складається з електродвигунового, перетворювального, передавального та керуючого пристроїв, призначена для приведення до руху виконавчих органів робочої машини, й керування цим рухом.

Сучасним ЕП властивий високий ступінь автоматизації їх роботи. Це забезпечує можливість роботи ЕП у найбільш оптимальних режимах.

Структурна схема системи автоматизованого ЕП наведена на рис. 1.

На рисунку прийняті такі умовні позначення:

ЗП– задавальний пристрій;

КП– керуючий пристрій;

СП– силовий перетворювач (перетворювальний пристрій);

М– електродвигун (електромашинний перетворювач);

ПП– передавальний пристрій;

РО– робочий орган;

ДЗЗЕ, ДЗЗМ – давач зворотнього зв'язку електричний, механічний відповідно;

СК– система керування (складається із силової частини СП й інформаційної частини);

ЕДП– електродвигуневий пристрій;

МЧ – механічний передавальний пристрій (механічна частина) ЕП;

I_m, U_m – струм і напруга мережі живлення відповідно;

I, U – струм і напруга живлення двигуна відповідно;

ω_p – кутова швидкість робочого органа.

Таким чином, у структурній схемі ЕП можна виділити три основних блока:

– система керування СК, яка складається з силової перетворювальної частини СП та інформаційної частини ІСК, до якої належать: керуючий пристрій КП; задавальний пристрій ЗП; система давачів зворотних зв'язків ДЗП; елементи захисту, сигналізації, індикації ЕЗСІ;

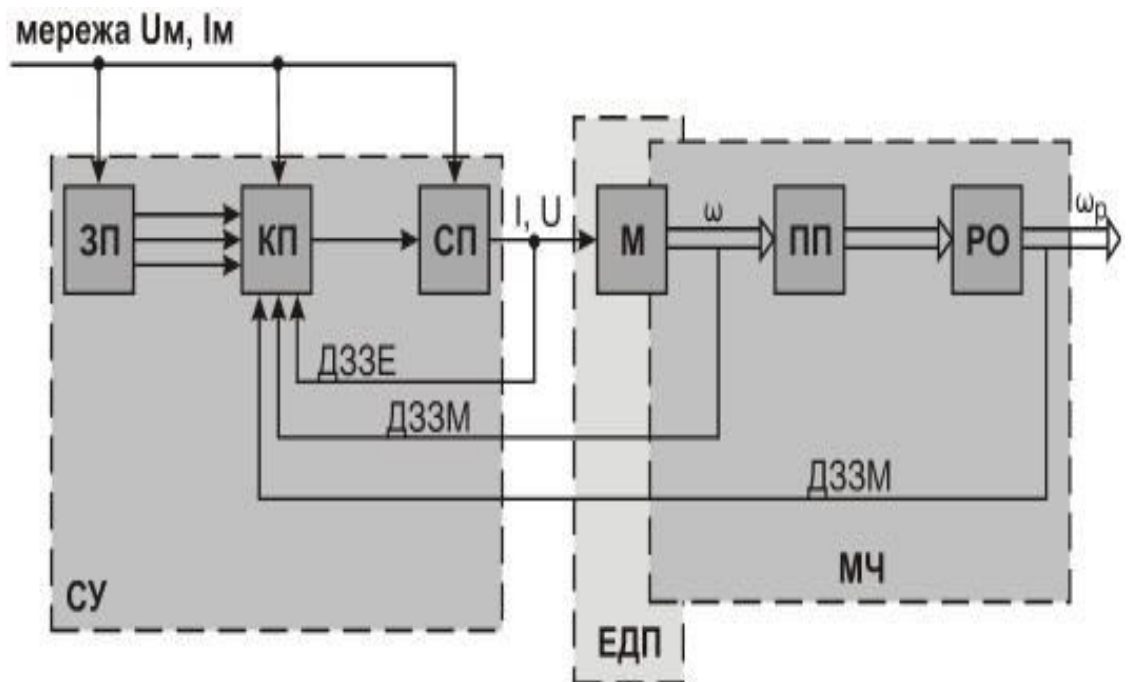


Рис. 1. Структурна схема автоматизованого ЕП

– Електродвигуневий пристрій ЕДП призначений для перетворення електричної енергії у механічну, або навпаки, механічної енергії у електричну (електродвигун може працювати як у двигуневому режимі, так і у режимі генератора);

– Механічна частина (механічний передавальний пристрій) – МЧ призначена для передачі механічної енергії від двигуна до робочого органа, або навпаки, від робочого органа РО до двигуна М, й для перетворення виду руху і механічних параметрів руху (швидкості, моменту, зусилля і таке інше).

Із вищесказаного випливає, що автоматизований ЕП (крім своєї основної стародавньої функції привода – приводити до руху робочий механізм) володіє також системою керування, яка забезпечує раціональне, оптимальне ведення необхідного режиму роботи.

Індивідуальний автоматизований ЕП зараз має надзвичайно широке застосування в усіх сферах життя та діяльності людини. Завдяки вищеназваним властивостям ЕП удосконалення технічних показників його у всіх галузях застосування є основою технічного прогресу. Найбільша кількість двигунів, які використовуються в промисловості, енергетиці та інших галузях є асинхронними, оскільки саме вони мають значні переваги за своїми властивостями, характеристикам та експлуатаційним даним перед двигунами інших типів. АД позбавлені від ряду недоліків, які мають двигуни постійного струму. Крім того, АД дешевше, надійніше (оскільки не мають рухомих контактів) та мають більший ККД, ніж двигуни постійного струму. Однак АД для регулювання швидкості потребують спеціальних безконтактних регуляторів, в першу чергу – тиристорних.

Найбільше поширення мають дешеві у виробництві й надійні в експлуатації двигуни з короткозамкненою обмоткою (короткозамкнені двигуни). Ці двигуни мають тверду механічну характеристику, тобто при зміні навантаження від холостого ходу до номінальної їхня частота обертання зменшується всього на 2–5 %. Двигуни з короткозамкненою обмоткою на роторі володіють також досить високим початковим пусковим обертовим моментом. Їхні основні недоліки: труднощі здійсненні плавного регулювання частоти обертання в широких межах; споживання більших струмів з мережі при пуску (в 5–7 разів перевищуючий номінальний струм). Двигуни з фазною обмоткою на роторі (або двигуни з контактними кільцями) врятовані від цих недоліків ціною ускладнення конструкції ротора, що приводить до їхнього помітного подорожчання в порівнянні з короткозамкненими двигунами (приблизно в 1,5 рази). Тому ці

двигуни знаходять застосування лише при тяжких умовах пуску, а також при необхідності плавного регулювання частоти обертання.

Аналіз роботи асинхронних двигунів (АД) в різних умовах практично неможливий без знання формул, які визначають частоту обертаючого поля, ковзання, частоту струму ротору, обертаючого моменту.

При необхідності використання АД в системах автоматичного керування (САК) практично завжди необхідно вирішити декілька питань:

- проаналізувати та якщо потрібно допрацювати методику укладання механічної характеристики;

- необхідно уточнити методику визначення опорів статора R_1 та ротору R'_2 , необхідних для розрахунків критичного ковзання;

- необхідно мати методику розрахунку динамічного коефіцієнта АД з урахуванням впливу параметрів робочої машини;

- мати просту методику визначення сталої часу обмотки статора АД з обліком впливу його ротора;

- вміти проаналізувати формули для визначення критичного ковзання та дати рекомендації щодо підвищення точності його визначення;

- вміти визначати передаточну функцію АД.

Найважливішою характеристикою АД є механічна характеристика, тобто залежність частоти обертання ротора від моменту на валу двигуна (рис. 2).

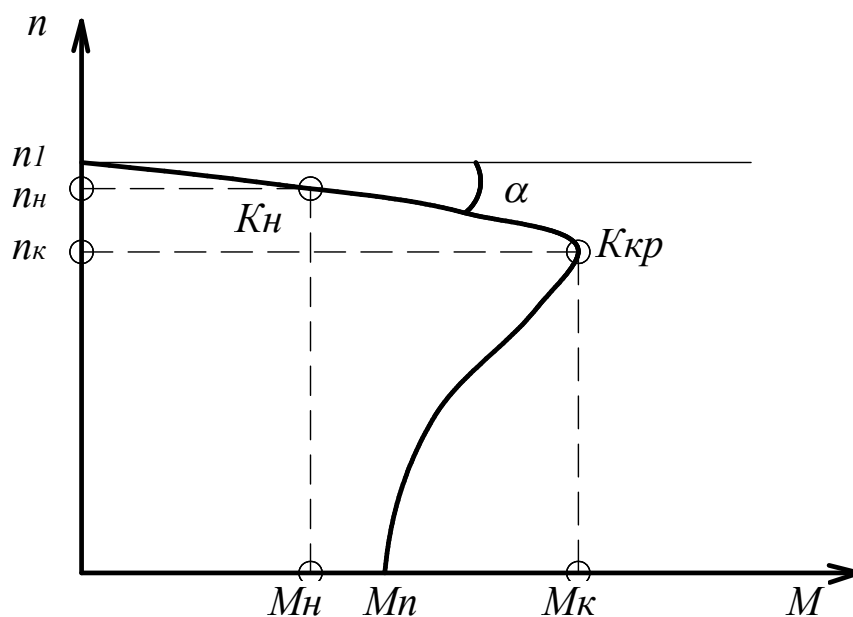


Рис. 2. Механічна характеристика АД

Саме від її характеру залежить спроможність АД для приводу різних механізмів. Усі характерні точки та ділянки цієї характеристика мають конкретний фізичний зміст, що дозволяє легко використовувати АД як елемент автоматичних систем керування. Необхідно вірно та точно розраховувати механічні характеристики як для серій АО і 4А, так і особливо для АД серії АИ, оскільки їх механічні характеристики в області закритичних ковзань мають інший характер, оскільки в них є ярко виражений мінімальний момент.

Механічні характеристики двигуна можуть бути визначені з характеристик момент-ковзання, якщо облікувати, що швидкість обертання (частота) пов'язана з ковзанням залежністю:

$$n = n_1(1 - S) \tag{1}$$

Зовнішній вид механічної характеристики приведений на рис 2. Звичайно для зображення механічної характеристики розраховують три основні точки: точку холостого ходу (n_1), точку номінального режиму (K_n), точку критичного режиму ($K_{кр}$).

Формулювання мети статті

Індивідуальний автоматизований ЕП зараз має надзвичайно широке застосування в усіх сферах діяльності людини. Найбільш розповсюдженим є ЕП з асинхронним двигуном. Тому аналіз асинхронного двигуна, як об'єкту автоматичного управління є необхідною частиною в створенні САК в усіх галузях промисловості. Розрахунок та порівняння приведених способів визначення критичного ковзання, як однієї з основних характеристик АД має дуже важливе значення. Від правильності визначення критичного ковзання залежить точність механічної характеристики – основної характеристики АД, яку необхідно знати при створенні автоматизованого ЕП.

Виклад основного матеріалу

При використанні АД в автоматичних системах керування, необхідно вміти достатньо просто та точно визначати критичне ковзання. В теорії електричного приводу використовують декілька формул для визначення критичного ковзання:

$$S_k = S_n (M_k^* + \sqrt{M_k^{*2} - 1}); \quad (2)$$

$$S_k = \frac{s_n (M_k^* + \sqrt{M_k^{*2} + 2S_n (M_k^* - 1) - 1})}{1 - 2S_n (M_k^* - 1)}; \quad (3)$$

$$S_k = \frac{s_n + \sqrt{AS_n}}{1 + \sqrt{AS_n}}, \quad (4)$$

где $M_k^* = \frac{M_k}{M_n}$ – відносне значення критичного моменту АД;

$A = \frac{M_k^* - 1}{\frac{M_k^*}{M_n}}$ – допоміжний коефіцієнт;

$$S_k = S_n \sqrt{\frac{R_2^2 - 1}{(1 - I_0^2)(1 + 2S_n)}}; \quad (5)$$

S_k - критичне значення ковзання;

I_0 - відносне значення струму холостого хода. Визначається за даними табл. 1.

Крім того в літературі зустрічаються такі вирази:

$$S_k = \sqrt{\frac{S_n (M_k^* - 1)}{1 - S_n (3M_k^* - 2)}}; \quad (6)$$

$$S_k = \frac{R_2^2}{\sqrt{R_1^2 + K R_2^2}}; \quad (7)$$

Для того щоб оцінити точність розрахунку критичного ковзання, проведемо розрахунок для одного з серійних АД, а потім порівнюємо результати з тими, що отримані при розрахунках за формулою (7).

Для розрахунків використовуємо технічні (каталожні) дані АД типа 4А80А4УЗ: потужність $P_n=1,1$ кВт; відносне значення пускового моменту $M_n=2,0$ відносне значення критичного моменту $M_k^*=2,2$; інші дані дорівнюють: $K_1=5,0$; $\eta_n=0,75$; $\cos\gamma=0,81$; $n_1=1500$ об/хв; $n_{2n}=1420$ об/хв; $\omega_1=157,5$ с⁻¹; $\omega_{2n}=149,1$ с⁻¹; $V_{1nl}=380$ В; $I_{1n}=2,75$ А; $I_0^*=0,5$; $S_n=0,053$; $I_0=0,375$ А; $M_n=7,38$ Нм; $M_k=16,23$ Нм; $M_n=14,76$ Нм.

Відносне значення струму холостого ходу

Потужність АД, Вт	$I_0^* = \frac{I_0}{I_{1н}}$			
	$n_1=3000$ об/хв	$n_1=1500$ об/хв	$n_1=1000$ об/хв	$n_1=750$ об/хв
0,5-1,0	0,40	0,55	0,60	–
1,1-5,0	0,35	0,50	0,55	0,60
5,1-10,0	0,25	0,45	0,50	0,55
10,1-25,0	0,20	0,40	0,45	0,50
25,1-50,5	0,18	0,35	0,40	0,45

Розраховуємо значення ковзання за виразами (2)...(6), отримуємо такі результати.
За формулою (2) отримуємо:

$$S_k = S_H (M_k^* + \sqrt{M_k^{*2} - 1}) = 0,053 \left(2,2 + \sqrt{2,2^2 - 1} \right) = 0,22,$$

де $S_H = \frac{n_1 - n_{2н}}{n_1} = \frac{1500 - 1420}{1500} = 0,053$ – номінальне ковзання.

За формулою (3) розрахунки дають, що

$$S_k = \frac{S_H (M_k^* + \sqrt{M_k^{*2} + 2S_H (M_k^* - 1) - 1})}{1 - 2S_H (M_k^* - 1)} = \frac{0,053 (2,2 + \sqrt{2,2^2 + 2 \cdot 0,053 (2,2 - 1) - 1})}{1 - 2 \cdot 0,053 (2,2 - 1)} = 0,24.$$

За формулою (4) результати розрахунків мають вид:

$$S_k = \frac{S_H + \sqrt{AS_H}}{1 + \sqrt{AS_H}} = \frac{0,053 + \sqrt{0,053 \cdot 12}}{1 + \sqrt{0,053 \cdot 12}} = 0,473,$$

де $A = \frac{M_k^* - 1}{\frac{M_k^*}{M_n^*} - 1} = \frac{2,2 - 1}{\frac{2,2}{2,0} - 1} = 12$.

Визначаємо критичне ковзання за формулою (5)

$$S_k = S_H \sqrt{\frac{K_1^2 - 1}{(1 - I_0^{*2})(1 + 2S_H)}} = 0,053 \sqrt{\frac{5^2 - 1}{(1 - 0,5^2)(1 + 2 \cdot 0,53)}} = 0,286,$$

де $I_0^* = 0,5$ - відносне значення струму холостого ходу АД.

За формулою (6) отримуємо:

$$S_k = \sqrt{\frac{S_H (M_n^* - 1)}{1 - S_H (3M_n^* - 2)}} = \sqrt{\frac{0,053 (2 - 1)}{1 - 0,053 (3 \cdot 2 - 2)}} = 0,259.$$

Для розрахунків ковзання S_k за виразом (7) необхідно знайти значення активних та індуктивних опорів R_1 , R_2 , X_k .

Для цього попередньо визначимо:

$$\cos\gamma_k = \cos\gamma_{\kappa} \left[\frac{M_{\kappa}^* \eta_{\kappa}}{(1 - S_{\kappa}) K_1} + 0,33 K_1 (1 - \eta_{\kappa}) \right] = 0,81 \left[\frac{2 \cdot 0,75}{(1 - 0,053) 5} + 0,33 \cdot 5 (1 - 0,75) \right] = 0,63$$

де $K_{\kappa} = Z_{\kappa} \cdot \cos\gamma_{\kappa} = 16 \cdot 0,63 = 10$ Ом – активний опір короткого замикання;

$$Z_{\kappa} = \frac{V_{\text{кст}}}{\sqrt{3} I_{1\kappa}} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 2,75} = 16 \text{ Ом} \text{ – активний опір короткого замикання АД};$$

$X_{\kappa} = Z_{\kappa} \cdot \sin\gamma_{\kappa} = 16 \cdot 0,776 = 12,4$ Ом – індуктивний опір короткого замикання. АД;

$R_2' = \frac{M_{\kappa}^* S_{\kappa} \omega_1}{3 I_2'^2} = \frac{7,38 \cdot 157,5 \cdot 0,08}{3 \cdot 2,38^2} = 3,6$ Ом – активний опір обмотки фази ротора, приведеного до статора;

$$I_2' = \sqrt{I_{1\kappa}^2 - I_0^2} = \sqrt{2,75^2 - 1,375^2} = 2,38 \text{ А} \text{ – приведений струм ротора АД};$$

$$I_0 = I_0^* \cdot I_{1\kappa} = 0,5 \cdot 2,75 = 1,375 \text{ А} \text{ – струм холостого ходу АД};$$

$$R_1 = R_{\kappa} - R_2' = 10 - 3,6 = 6,4 \text{ Ом} \text{ - активний опір обмотки фази статора.}$$

Знаходимо критичне ковзання за теоретичною формулою (7):

$$S_{\kappa} = \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{\kappa}^2}} = \frac{3,6}{\sqrt{6,4^2 + 12,4^2}} = 0,259.$$

З розрахунків видно, що найбільш доцільно за каталожними даними для визначення S_{κ} використовувати формулу (6), оскільки саме вона дає найбільш точні результати. А якщо відомі величини R_1 , R_2 , X_{κ} , то формулою (7).

Висновки

Асинхронний двигун нині широко використовується у всіх галузях промисловості завдяки його простоті, дешевизні, зручності в експлуатації. В теперішній час існує декілька типів АД, які відрізняються не тільки номінальними напругами, струмами та потужностями, але і характеристиками. В першу чергу можуть відрізнятися механічні характеристики. Наприклад, механічна характеристика може мати мінімальне значення моменту в області великих значень ковзання, а може і не мати його (див. рис. 3).

При використанні АД в системах автоматичного керування необхідно знати точний вид механічної характеристики, вміти її розраховувати так, щоб вона співпадала з каталожними даними АД. Саме тому необхідно вміти точно визначати критичне ковзання.

При проектуванні та використанні систем автоматичного керування визначається також динамічний коефіцієнт k_d , який визначає взаємозв'язок між прирощенням вуглової швидкості $\Delta\omega_2$ асинхронного двигуна при зміні вхідної напруги $\Delta U_{\text{вх}}$. Використовується динамічний коефіцієнт при розрахунках перехідних процесів в системах автоматичного керування електроприводами. Однак, в теорії електроприводу точного математичного виразу функції кутової швидкості $\Delta\omega_2$ від вхідної напруги не отримано, тому визначення динамічного коефіцієнту зв'язано з деякими труднощами. Звичайно використовують графічні методи розрахунку цієї величини.

Сучасні мікропроцесорні засоби керування і перетворювачі частоти уможливили використання асинхронних двигунів у тих галузях виробництва, де раніше застосовували кривошипно-шатунні, а також інші складні механізми з обертальним та поступальним рухом.

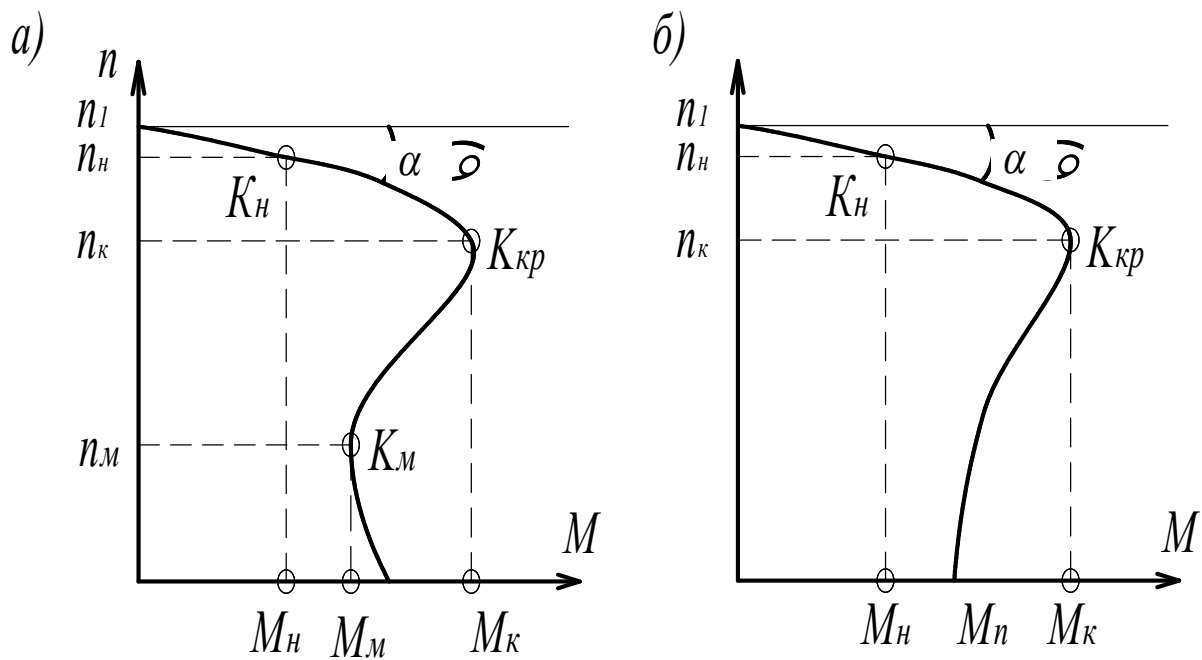


Рис. 3. Механічна характеристика АД: а) з мінімальним моментом; б) без мінімального моменту

Перелік літератури

1. М. Г. Чиликин Основы электрического привода. Издание 3. М.: Энергия. – 1988 г. – 382 с.
2. В. І. Бондаренко Основы електричного привода Навчальний посібник. – Запоріжжя ЗНТУ, 2003. –314 с.

ANISOCHRONOUS ENGINE AS OBIJEKT AUTOCONTROL

D. V. Kupjanskijj, V. V. Tarasova, Cand. Tech. Sci.

They Are Stated problems, appearing when use the anisochronous engines in system of the autocontrol. Happen to the different ways a calculation critical slide.

Поступила в редакцію 26. 07 2010 г.