

УДК 621-313

Волощак І.А., Маляр А.В., Стрепко І.Т.
Українська академія друкарства, кафедра АКТ
ДУ “Львівська політехніка”, кафедра ЕАП

ТОЧНІСТЬ РОЗРАХУНКУ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

© Волощак І.А., Маляр А.В., Стрепко І.Т., 2000

У статті розглянута точність відтворення механічних характеристик асинхронного двигуна формулою Клосса порівняно з розробленою параболічно-показниковою формулою. Формула Клосса не може забезпечити точного розрахунку: похибка обчислення номінального моменту може становити від декількох відсотків до 10...15 %. У той же час альтернативну формулу можна вважати точнішою, оскільки вона фіксує дійсні – каталожні значення як номінального, так і критичного моментів двигуна.

Загальноприйнятий в теорії електропривода так званий точний спосіб розрахунку механічних характеристик асинхронного двигуна (АД) базується на формулі Клосса

$$M = \frac{2M_k(1 + as_k)}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s} + 2as_k} \quad (1)$$

При виведенні цієї формули на основі заступної схеми АД робиться ціла низка припущень [1, 2]. Значення критичного моменту M_k і критичного ковзання s_k визначені через параметри обмоток двигуна, звичайно замінюються каталожними їх значеннями. Інакше кажучи, електромагнітний момент трансформується в момент на валу двигуна. Це призводить до виникнення двозначності при обчисленні моментів. Так, похибка при обчисленні номінального моменту за формулою (1) досягає 10 % і більше [1, 2]. Якщо ж критичний момент розраховувати за параметрами обмоток, то і тоді отримуємо такий же значний незбіг моменту M_k з каталожним його значенням [3, 4]. Не враховується зміна реактивних опорів обмоток двигуна від його насичення. У той час як насправді опори в режимі к.з. дуже відрізняються від опорів у номінальному режимі.

Ці та інші, перераховані в [1, 2], припущення і спрощення призводять до істотного зниження точності розрахунків. Напрошується висновок, що формулу Клосса можна використовувати лише для наближених розрахунків. Метод розрахунку з похибкою, що досягає 10 % і більше, не можна назвати точним.

Для точніших розрахунків можна використати нову, запропоновану І.А.Волощак в [1] формулу механічної характеристики АД

$$M = As^b e^{cs} \quad (2)$$

Коефіцієнти формули (2)

$$b = \frac{\ln \frac{M_K}{M_H}}{\frac{s_H}{s_K} + \ln \frac{s_K}{e \cdot s_H}}; \quad c = - \frac{b}{s_K}; \quad A = M_K s_K^{-b} e^b \quad (3)$$

виражаються через дійсні – каталожні значення моментів і ковзань, – для стійкої ділянки характеристики M_K, M_H, s_K, s_H . Тому жодної двозначності у визначенні координат номінальної чи критичної точок не виникає. Формула (2) не залежить від параметрів обмоток двигуна.

Важливим є те, що у формулі (2) M – це обертовий момент на валу двигуна і припущення щодо його приблизної рівності електромагнітному моменту відповідає. Тобто апріорі відкидається наближеність розрахунку. Переваги формули (2) є наслідком виведення її не із заступних схем АД і їх спрощень, а безпосередньо із фізичної суті перетворення енергії в двигуні [1].

Оригінальність методу розрахунку на основі формули (2) полягає у новій інтерпретації обертового моменту АД за допомогою фізично обґрунтованих параболічної і показникової складових та у визначенні коефіцієнтів цієї формули за дійсними координатами характерних точок механічної характеристики.

Проведемо порівняльний аналіз точності відтворення механічних характеристик АД з фазним ротором за формулами (2) і (1). У статті аналізується лише стійка – робоча ділянка характеристик – у межах зміни ковзання s від нуля до критичного s_K (s_{Kp} на реостатних характеристиках). Нестійка ділянка в двигунах з фазним ротором звичайно не використовуються і форма кривої $M = f(s)$ для них значення не має [3]. Аналіз нестійкої ділянки вимагає окремого дослідження.

Проведені нами раніше [5] експериментальні дослідження механічних характеристик АД з фазним ротором МТ-12-6 підтвердили достатньо високу точність збігу дослідних характеристик двигуна з розрахованими як за формулою (2), так і за формулою (1). Розрахунок за формулою (2) можна вважати точним, оскільки ця формула точно відтворює значення координат номінальної і критичної точок природної характеристики, у той час, як формула (1) визначає номінальний момент з досить великою похибкою. Нижче розрахована похибка обчислень моментів за формулою Клосса $M_{Kл}$ відносно моментів M_B за формулою (2)

$$\Delta M \% = \frac{M_{Kл} - M_B}{M_B} \cdot 100. \quad (4)$$

Проведемо спочатку порівняння природних характеристик двигуна вказаного типу.

Запишемо номінальні дані двигуна: $P_H = 3,5$ кВт; $\omega_H = 95,3$ рад/с; $s_H = 0,09$; $s_K = 0,55$; $R_2 = 0,77$ Ом; $a = 0,87$; $M_H = 36,7$ Нм; $M_K = 91,8$ Нм.

Визначимо коефіцієнт загасання

$$b = \frac{\ln \frac{91,8}{36,7}}{\frac{0,09}{0,55} + \ln \frac{0,55}{e \cdot 0,09}} = 0,944.$$

Рівняння стійкої дільниці природної характеристики

$$M = 413s^{0,944}e^{-1,71s}. \quad (5)$$

Результати розрахунків наведені в табл.1 і на рис.1. Швидкість обертання двигуна розраховано за формулою $\omega = 104,7(1 - s)$.

Таблиця 1

Порівняння природної характеристики розрахованої за формулами Волощак (M_B) і Клосса ($M_{Кл}$)

s	0,09	0,2	0,3	0,4	0,5	0,55	0,6	0,8	1,0
$\omega, \text{rad/c}$	95,27	83,76	73,29	62,82	52,35	47,12	41,88	20,94	0
$M_{Кл}, \text{Н}\cdot\text{м}$	37,5	66,5	81,4	88,4	91,2	91,8	91,3	87,4	81,4
$M_B, \text{Н}\cdot\text{м}$	36,7	64,4	79,5	87,9	91,4	91,8	91,6	87,8	81,4
$\Delta M, \%$	2,2	3,3	2,4	0,6	-0,7	0	-0,3	-0,6	0

У табл.1 наведені додатково результати розрахунку нестійкої дільниці природної характеристики ($1 \geq s > s_k$) за формулою

$$M = 220s^{0,547}e^{-0,995s}, \quad (6)$$

отриманою при підстановці в формулу (3) пускового моменту M_n замість номінального M_n і ковзання $s = 1$ замість s_n . Величина M_n для двигунів з фазним ротором не наводиться. Тут вона визначена за формулою (1): при $s = 1$ будемо мати $M_n = 81,4$ Н·м.

Порівняння характеристик, розрахованих за формулами (2) і (1) показує, що відхилення значень моментів $M_{Кл}$, обчислених за формулою (1) від моментів M_B , розрахованих за формулою (2), не перевищує 4 %. Причому похибка обчислення номінального моменту становить 2,2 %.

Отримані тут результати належать до конкретного типу двигуна МТ-12-6 з м'якою механічною характеристикою, який використовувався для проведення експериментальних досліджень [5]. У загальному випадку похибка обчислення номінального моменту двигуна може бути в декілька разів більшою. Так, у прикладі розрахунку механічних характеристик АД з фазним ротором типу АТ17Б7-10, 850 кВт, наведеному в [2] (приклад 3.2), отримано розрахункове рівняння природної характеристики у вигляді

$$M_* = \frac{4,6}{\frac{s}{0,083} + \frac{0,083}{s} + 0,144}.$$

При підстановці $s = s_n = 0,0174$ отримаємо відносне значення номінального моменту двигуна $M_* = 0,898$. Отже, похибка обчислення номінального моменту становить 10,2 %.

Аналогічний розрахунок для двигуна МТ-71-10, 80 кВт [2] показує ще більше відхилення номінального моменту двигуна від каталожного значення – 14,6 %.

У статті [1] у прикладі розрахунку АД з короткозамкнутим ротором типу 4А100S, 3 кВт похибка обчислення номінального моменту становить – 13,5 %.

При розрахунку за запропонованою формулою (2) номінальний момент у всіх випадках визначається без похибки.

Все це свідчить про доцільність застосування для точних розрахунків нової альтернативної формули, замість менш точної формули Клосса.

Подібне відхилення значень моментів за формулою Клосса спостерігається і на реостатних характеристиках (рис.2).

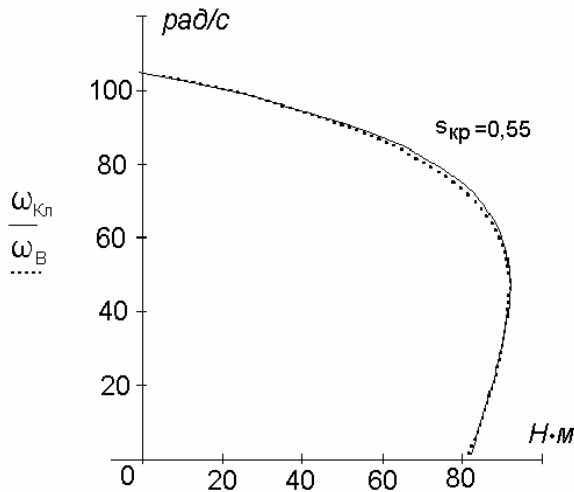


Рис.1. Природна механічна характеристика

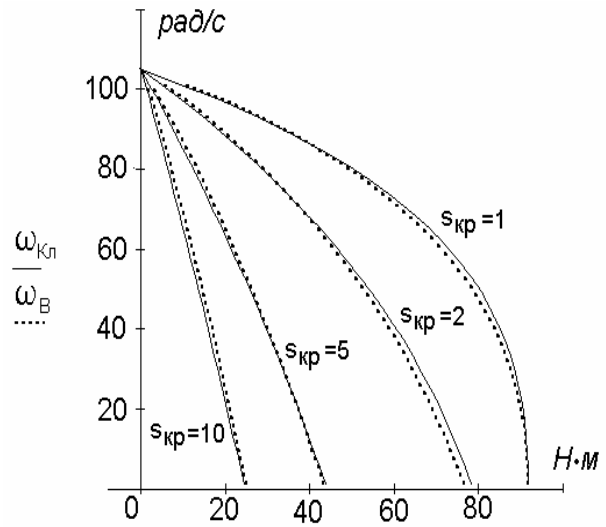


Рис.2. Реостатні механічні характеристики

Реостатні характеристики для різного значення опору реостата в колі ротора, тобто при різних значеннях критичного ковзання $s_{к.р} = 1, 2, 5, 10$, розраховані за формулами (1) і (2):

$$M = \frac{2 \cdot 91,8(1 + 0,87 \cdot 0,55)}{\frac{s}{s_{к.р}} + \frac{s_{к.р}}{s} + 2 \cdot 0,87 \cdot 0,55}$$

і

$$M = A \cdot s^{0,944} e^{-\frac{0,944 \cdot s}{s_{к.р}}},$$

де $A = 9,81 \cdot s_{к.р}^{-0,944} e^{+0,944}$.

Результати розрахунків зображені рис.2. У табл. 2 зведені значення моментів для двох значень ковзання $s = 0,2$ і $s = 1$.

Таблиця 2

Порівняння реостатних характеристик розрахованих за формулами Волощак (M_B) і Клосса ($M_{Кл}$)

	$s_{к.р}$	0,55	1	2	5	10
$s = 0,2$	$M_B, \text{Н}\cdot\text{м}$	64,4	42,8	24,4	10,9	5,8
	$M_{Кл}, \text{Н}\cdot\text{м}$	66,5	44,0	24,5	10,4	5,3
	$\Delta M, \%$	3,3	2,8	0,4	-4,6	-8,6
$s = 1,0$	$M_B, \text{Н}\cdot\text{м}$	81,4	91,8	76,4	42,7	24,2
	$M_{Кл}, \text{Н}\cdot\text{м}$	81,4	91,8	78,4	44,0	24,7
	$\Delta M, \%$	0	0	2,6	3,0	2,1

Із аналізу табл.2 видно, що і на реостатних характеристиках похибка розрахунку моментів за формулою Клосса знаходиться в таких самих межах, що і на природній характеристиці. Зокрема, в обчисленні пускового моменту (при $s = 1$) похибка знаходиться в межах до 3 %.

Висновки

1. Відомі класичні формули, зокрема формула Клосса, у загальному випадку не забезпечують точного розрахунку механічних характеристик асинхронного двигуна.
2. Розрахунок за вказаними формулами природної характеристики можна вважати лише наближеним, оскільки похибка обчислення номінального моменту досягає 10...15 %.
3. При введенні опорів у коло ротора двигуна точність розрахунку реостатних характеристик за формулою Клосса залишається такою, як і на природній характеристиці.
4. Запропонована формула (1) забезпечує точний розрахунок стійкої ділянки як природної характеристики, так і реостатних механічних характеристик при будь-яких значеннях опорів у колі ротора.

1. Волощак І.А. Апроксимація механічних характеристик асинхронного двигуна // Вісн. ДУ "Львівська політехніка". 1999. № 372. С.32–36. 2. Вешневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе. М., 1977. 3. Ключев В.И. Теория электропривода. М., 1985. 4. Теория электропривода / Під ред. М.Г.Поповича. К., 1993. 5. Волощак І.А., Маляр А.В., Стрелко І.Т. Експериментальні дослідження апроксимованих механічних характеристик асинхронного двигуна // Комп'ютерні технології друкарства. 1999. Вип.3. С.284–288.

УДК 621.314.2: 681.5.015

Грабко В.В.

Вінницький державний технічний університет

ДІАГНОСТУВАННЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВВОДІВ СИЛОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН

©Грабко В.В., 2000

У роботі запропоновано методику діагностування високовольтних вводів силового електрообладнання із застосуванням теорії нечітких множин.

У теперішній час діагностування високовольтних вводів силового електрообладнання проводиться у відповідності з методикою, викладеною в [1]. Аналіз оцінки працездатності вводів під час експлуатації показує, що здебільшого існує правило розв'язку типу "якщо контрольований параметр не перевищує норму, то..., а якщо параметр перевищує норму, то...". Норма параметра визначається з результатів статистичного опрацювання аварійних станів електрообладнання, проте чим більша його потужність і клас напруги, тим менше статистичних даних можна знайти в літературі. Це призвело до того, що норма параметра має нечіткий розмір і не має чітких меж, що відокремлюють один стан контрольованих вводів від іншого.