

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО
ФАКУЛЬТЕТ ЕНЕРГЕТИКИ І КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра «Електротехніка і електромеханіка
імені професора В.В. Овчарова»

ОСНОВИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ

РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ

для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр»

зі спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»



Мелітополь, 2020

УДК 621.3(075)

Основи електропривода: Методичні вказівки до практичної роботи «Розрахунок енергетичних показників асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором» для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / М.В. Постнікова, С.О. Квітка. – Мелітополь: ТДАТУ, 2020. – 22 с.

Розробники: к.т.н., доцент Постнікова М.В.,
к.т.н., доцент Квітка С.О.

Рецензент: д.т.н., професор Діордієв Володимир Трифонович
Таврійський державний агротехнологічний університет

Розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри електротехніки і електромеханіки імені професора В.В. Овчарова
Протокол №11 від 29 квітня 2020 р.

Затверджено методичною комісією факультету енергетики і комп'ютерних технологій ТДАТУ
Протокол №10 від 27 травня 2020 р.

© Постнікова М.В.,
Квітка С.О.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
Розрахунок енергетичних показників асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором	5
1 Мета роботи	5
2 Завдання для самостійної роботи	5
3 Програма роботи	5
4 Основні теоретичні положення	6
5 Вихідні дані	13
6 Приклад розрахунку	14
7 Вказівки щодо оформлення звіту	18
8 Контрольні питання	19
9 Список літератури	19
10 Критерії оцінювання практичної роботи	20
ДОДАТОК А Зразок оформлення титульного аркушу звіту з практичної роботи	21
ДОДАТОК Б Значення КПД і коефіцієнта потужності електродвигунів ...	22

ВСТУП

Навчальна дисципліна «Основи електропривода» є профілюючою навчальною дисципліною за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» у закладах вищої освіти III - IV рівнів акредитації при підготовці фахівців ступеня вищої освіти «Бакалавр».

На практичному занятті студент повинен закріпити одержані теоретичні знання і набути практичних навичок з розрахунку енергетичних показників асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором.

При виконанні практичних робіт з основ електропривода студент повинен самостійно вирішувати практичні інженерні задачі, вміти розраховувати енергетичні показники асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором.

Одержавши графік виконання практичних робіт з дисципліни, студент самостійно готується до кожної з них, вивчаючи відповідні розділи теоретичного матеріалу.

Перед виконанням практичної роботи викладач перевіряє готовність студента за темою практичного заняття, використовуючи контрольні питання, які приводяться в практичній роботі. Лише після перевірки викладачем ступеня підготовки студента до заняття, студент може виконувати практичну роботу.

Для роботи студент отримує варіант індивідуального завдання і необхідну нормативно-довідкову літературу. Студент самостійно виконує розрахунки відповідно до теми практичного заняття.

Після виконання необхідних розрахунків студент складає звіт по роботі, який вміщує всі фактичні дані (схеми, таблиці, графіки) та аналіз результатів розрахунку.

В кінці заняття студент повинен представити викладачу результати індивідуальної роботи за темою практичного заняття, при необхідності внести необхідні виправлення та одержати бали від викладача за свою роботу.

Практична робота
РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ АСИНХРОННОГО
ЕЛЕКТРОДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ

1 Мета роботи

Засвоєння студентами методики розрахунку енергетичних показників асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором при різних навантаженнях на валу.

2 Завдання для самостійної роботи

2.1 Опрацювати теоретичний матеріал: основні енергетичні показники асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором [1, с. 252-258; 2, с.143-149].

2.2 Відповісти на контрольні питання.

3 Програма роботи

3.1 Для асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором визначити і побудувати залежності: $\eta = f_1(P_2)$, $\Delta P = f_2(P_2)$, $P_1 = f_3(P_2)$, де η – коефіцієнт корисної дії (ККД) електродвигуна, в.о., P_2 – потужність на валу електродвигуна, кВт; ΔP – втрати потужності в електродвигуні, кВт; P_1 – спожита з мережі потужність, кВт.

3.2 Побудувати залежність $\cos \varphi = f_4(P_2)$.

3.3 Визначити і побудувати залежність $Q = f_5(P_2)$, де Q – спожита з мережі реактивна потужність, кВар.

3.4 Зробити висновки, що свідчать про зміну параметрів електродвигуна від зміни навантаження на валу: $\eta = f_1(P_2)$, $\Delta P = f_2(P_2)$, $P_1 = f_3(P_2)$, $\cos \varphi = f_4(P_2)$, $Q = f_5(P_2)$.

4 Основні теоретичні положення

До основних енергетичних показників роботи електропривода (ЕП) належать втрати потужності ΔP та енергії ΔA , коефіцієнт корисної дії (ККД) η і коефіцієнт потужності $\cos \varphi$.

Коефіцієнт корисної дії визначається відношенням потужності на валу двигуна до спожитої з мережі активної потужності. Величина його свідчить про те, наскільки раціонально відбувається електромеханічне перетворення електричної енергії в електродвигуні, яку долю при цьому мають втрати електричної енергії.

Коефіцієнт потужності дозволяє судити про спожиту електродвигуном реактивну потужність. Величина цих показників залежить як від завантаження, так і від режиму роботи електропривода. Важливо знати, як ці фактори впливають на енергетичні показники електропривода та які шляхи їх покращення.

В ЕП із перетворювачами на основі напівпровідникових приладів (наприклад, вентильний регульований ЕП) суттєвим показником є коефіцієнт спотворення K_c , який характеризує ступінь відхилення струму і напруги від синусоїдної форми і дорівнює відношенню діючого значення першої гармоніки струму до діючого значення несинусоїдального струму, тобто $K_c = \frac{I_1}{I}$.

Енергетичні показники ЕП суттєво залежать від режиму його роботи, характеру зміни моменту навантаження і способів регулювання координат. Звичайно енергетичні показники нерегульованого і регульованого ЕП визначають окремо при їх роботі в усталеному і перехідному режимах.

Потужність P_1 , споживана електроприводом з мережі, витрачається на: реалізацію руху виконавчого органу робочої машини (ВОРМ) $P_M = M_M \cdot \omega_M$; зміну запасу кінетичної і потенціальної енергії в механічній частині ЕП; зміну запасу електричної енергії (ЕЕ) в ємностях та індуктивностях електричної частини; розсіювання у вигляді теплоти. В теплоту перетворюються втрати: в

обмотках електричного та електромеханічного перетворювачів і керуючих пристроїв; пов'язані з перемагнічуванням сталі; в ємностях; на тертя у механічній частині.

Економічність роботи ЕП в будь-якому режимі характеризується відношенням виконаної механічної роботи до кількості електроенергії, спожитої з мережі

$$\eta_{\text{ц}} = \frac{A_{\text{мех}}}{A_{\text{ел}}} = \frac{\int_0^{T_{\text{ц}}} M_{\text{м}}(t) \omega_{\text{м}}(t) dt}{\int_0^{T_{\text{ц}}} P_1 dt}, \quad (1)$$

де $\eta_{\text{ц}}$ – цикловий коефіцієнт корисної дії електропривода;

$A_{\text{мех}}, A_{\text{ел}}$ – відповідно корисна механічна робота і споживана з мережі електрична енергія;

$T_{\text{ц}}$ – тривалість робочого циклу;

$M_{\text{м}}$ – момент на валу робочої машини;

$\omega_{\text{м}}$ – кутова швидкість валу робочої машини;

P_1 – потужність, споживана електроприводом з мережі.

Якщо на окремих відрізках часу потужність стала, то ККД буде дорівнювати

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}, \quad (2)$$

де P_2 – потужність на валу електродвигуна.

При відомих значеннях ККД перетворювача електроенергії $\eta_{\text{п.ел}}$, двигуна $\eta_{\text{дв}}$ і механічних передач $\eta_{\text{мех}}$ вираз (2) буде мати такий вигляд

$$\eta = \eta_{\text{п.ел}} \cdot \eta_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{мех}}. \quad (3)$$

Кожна із складових загального ККД – величина не постійна, а залежить від навантаження кожного пристрою, швидкості та деяких інших факторів. Але

нормативним параметром є номінальний ККД, який відповідає номінальному навантаженню і швидкості.

Коефіцієнт корисної дії є мірою економічності перетворення енергії системою електропривода.

В ЕП змінного струму присутня реактивна складова струму, яка не приймає безпосередньої участі у створенні активної потужності, але сприяє нагріванню ЕД і втратам в електричній мережі.

Економічність споживання електроенергії з мережі характеризується коефіцієнтом потужності, який є відношенням активної потужності P до повної потужності S

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}. \quad (4)$$

Коефіцієнт потужності має важливе значення для економії електроенергії.

1 При однаковій активній потужності двигуни, які працюють з низьким $\cos \varphi$, споживають більший струм, що вимагає більшої потужності генератора і трансформатора

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi}. \quad (5)$$

2 При малих значеннях $\cos \varphi$ збільшуються втрати енергії в проводах, а для збереження втрат незмінними необхідно збільшувати переріз проводів, бо згідно закону Джоуля-Ленца

$$\Delta P = 3I^2 R = \left(\frac{P}{U}\right)^2 \cdot \frac{R}{\cos^2 \varphi} = \left(\frac{P}{U}\right)^2 \cdot \frac{\rho \cdot l}{S \cdot \cos^2 \varphi}, \quad (6)$$

де ΔP – втрати потужності, Вт;

R – опір проводу, Ом;

ρ – питомий опір проводу, Ом·мм²/км;

l – довжина лінії, км;

S – площа поперечного перерізу проводів, мм².

3 Низький $\cos \varphi$ є причиною зниження ККД двигуна.

Потужність втрат у нерегульованому електроприводі складається з потужності втрат у двигуні і механічній частині. Втрати потужності в механічній передачі $\Delta P_{\text{мех}}$ зумовлені в основному тертям у рухомих частинах. Ці втрати оцінюються величиною ККД, значення якого для різних видів передач і при різних навантаженнях є в довідковій літературі.

Відповідно до формули (2) ККД електродвигуна $\eta_{\text{дв}} = \frac{P_2}{P_1}$ – це відношення корисної механічної потужності на валу до електричної потужності на вході двигуна.

Втрати потужності у двигуні є сумою постійних ΔP_c і змінних ΔP_v втрат

$$\Delta P = \Delta P_c + \Delta P_v. \quad (7)$$

Під постійними втратами потужності розуміють втрати потужності, що не залежать від струму двигуна. До них належать: втрати в сталі магнітопровода, на тертя в підшипниках, вентиляційні, в провідниках обмоток збудження двигунів постійного струму та синхронних двигунів.

Під змінними втратами розуміють такі, які виникають у провідниках обмоток двигуна під час протікання по них струму навантаження.

Змінні втрати потужності в трифазних асинхронних двигунах (АД) визначаються

$$\Delta P_v = 3I_1^2 R_1 + 3I_2'^2 R_2' = 3I_{2\text{н}}'^2 \left(R_2' + \frac{R_1}{\sigma_{2\text{н}}^2} \right) \left(\frac{I_2'}{I_{2\text{н}}'} \right) = \Delta P_{\text{вн}} K_3^2, \quad (8)$$

де $\Delta P_{\text{вн}} = 3I_{2\text{н}}'^2 \left(R_2' + \frac{R_1}{\sigma^2} \right)$ – номінальні змінні втрати потужності;

$\sigma_{\text{н}} = \frac{I_{2\text{н}}'}{I_{1\text{н}}} \approx 0,85 \dots 0,95$, $\sigma = \frac{I_2'}{I_1}$ – відповідно номінальна і поточна кратності

зведеного струму ротора і статора.

Змінні втрати потужності у двигунах різних типів визначають за однаковим виразом

$$\Delta P_v = \Delta P_{vH} K_3^2, \quad (9)$$

де ΔP_{vH} – змінні втрати при номінальному навантаженні;

$$K_3 = \frac{I}{I_H} \text{ – коефіцієнт завантаження двигуна.}$$

Повні втрати потужності в двигуні

$$\Delta P = \Delta P_c + \Delta P_{vH} K_3^2 = \Delta P_{vH} \left(\frac{\Delta P_c}{\Delta P_{vH}} + K_3^2 \right) = \Delta P_{vH} (\alpha + K_3^2), \quad (10)$$

де $\alpha = \frac{\Delta P_c}{\Delta P_{vH}}$ – відношення постійних втрат потужності до номінальних змінних втрат, яке називається коефіцієнтом втрат.

Величина α залежить від номінальної потужності та кутової швидкості і для АД з короткозамкненим ротором знаходиться в межах $\alpha = 0,5 \dots 0,9$.

Втрати потужності під час роботи двигуна в номінальному режимі, коли $K_3 = 1$, знаходять за паспортними даними двигуна

$$\Delta P_H = P_H \cdot \frac{1 - \eta_H}{\eta_H}. \quad (11)$$

Втрати потужності при холостому ході

$$\Delta P_0 = \Delta P_H \cdot \frac{\alpha}{\alpha + 1} = \frac{P_H \cdot \alpha \cdot (1 - \eta_H)}{\eta_H \cdot (\alpha + 1)}. \quad (12)$$

Повні втрати потужності при i -му навантаженні двигуна дорівнюють

$$\Delta P_i = P_i \cdot \frac{1 - \eta_i}{\eta_i}, \quad (13)$$

де η_i – ККД електродвигуна при навантаженні P_i .

Враховуючи, що під час роботи на природній характеристиці

$K_3 = \frac{I}{I_H} \approx \frac{P}{P_H}$, то з урахуванням (10) ККД можна розрахувати за виразом

$$\eta_{дв} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P_{дв}} = \frac{K_3}{K_3 + \frac{\Delta P_{вн}}{P_H} \cdot (\alpha + K_3^2)}. \quad (14)$$

В номінальному режимі $K_3 = 1$, тоді

$$\eta_H = \frac{1}{1 + \frac{\Delta P_{вн}}{P_H} \cdot (\alpha + 1)}. \quad (15)$$

Якщо за допомогою виразу (7) виключити з рівняння (15) P_H , то можна визначити ККД в загальному вигляді, де параметрами будуть α і η_H

$$\eta_i = \frac{1}{1 + \frac{1 - \eta_H}{\eta_H} \cdot \frac{\frac{\alpha}{K_3} + K_3}{\alpha + 1}}. \quad (16)$$

Залежність ККД від коефіцієнта завантаження має максимум при

$$K_{3\text{ опт}} = \sqrt{\alpha}. \quad (17)$$

Максимальне значення ККД двигуна

$$\eta_{\text{макс}} = \frac{1}{1 + \frac{\Delta P_{вн}}{\sqrt{\alpha} P_H}}. \quad (18)$$

Наприклад, якщо $\alpha = 1$, то ККД буде максимальним при $K_3 = 1$, що відповідає повному навантаженню. Якщо $\alpha = 0,5$, то $K_3 = \sqrt{0,5} = 0,71$, і відповідно крива ККД буде мати максимум при навантаженні двигуна, що дорівнює 71 % від номінального. З аналізу виразу (17) витікає, що максимальне значення ККД відповідає навантаженню, при якому змінні і постійні втрати

однакові. В довідниках та каталогах на АД наводять залежності $\eta = f(K_3)$ і $\cos \varphi = \psi(K_3)$ (рисунок 1).

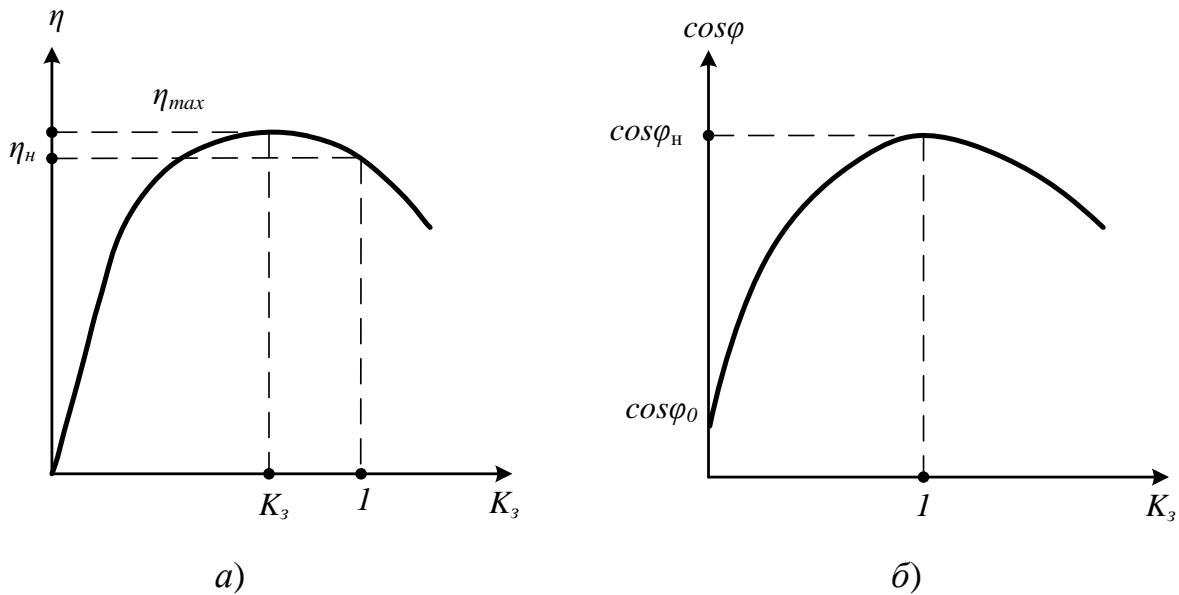


Рисунок 1 – Залежності ККД (а) і $\cos \varphi$ (б) від кратності навантаження двигуна

Для електродвигунів змінного струму $\cos \varphi$ є важливим енергетичним показником, який залежить від навантаження на валу двигуна і показує, яка частина повної електричної потужності, що надходить з мережі, перетворюється на активну потужність. Характер зміни цієї залежності показано на рисунку 1, б). При відсутності навантаження ($P_M = 0$) двигун споживає незначну активну потужність, яка практично дорівнює постійним втратам, і значну реактивну потужність, яка витрачається в основному на створення магнітного поля двигуна. В цьому випадку $\cos \varphi$ має невелике значення.

При збільшенні навантаження споживання реактивної потужності змінюється мало і тоді підвищується $\cos \varphi$. Подальше збільшення навантаження призводить до росту споживання реактивної потужності за рахунок магнітних потоків розсіювання, що призводить до зменшення $\cos \varphi$.

Для кращого використання електроенергії, зведення до мінімуму її втрат,

досягнення максимального значення ККД двигуна в усталених режимах електроприводів, кутова швидкість яких не регулюється, необхідно забезпечити номінальне завантаження та обмежити тривалість холостого ходу двигуна.

При наявності малозавантажених двигунів доцільно провести їх заміну на двигуни менших габаритів, потужність яких відповідає реальній потужності навантаження.

Розрахунки показують, що коли середнє навантаження двигуна складає менше 45 % його номінальної потужності, то заміна цього двигуна менш потужним завжди доцільна. При завантаженні двигунів більше 70 % номінальної потужності їх заміна взагалі недоцільна. Коли двигуни завантажені в межах 45...70 % доцільність їх заміни повинна бути визначена додатковими розрахунками.

Реактивна потужність, споживана асинхронним двигуном, пропорційна боковій поверхні ротора і величині повітряного зазору. Тому чим менший зазор і бокова поверхня ротора, тим вищий $\cos \varphi$. У потужних двигунах зазор відносно менший, ніж в малопотужних, тому вони мають вищий $\cos \varphi$. У високошвидкісних двигунах внаслідок зменшення полюсів бокова поверхня менша, ніж у тихохідних, відповідно ці двигуни мають вищий $\cos \varphi$.

На значення $\cos \varphi$ впливають коливання напруги. При повному завантаженні двигуна зниження напруги призведе до зниження $\cos \varphi$, а при неповному – підвищення $\cos \varphi$.

5 Вихідні дані

Вихідні дані для виконання практичного заняття за варіантами наведені в додатку Б.

6 Приклад розрахунку

Для заданого електродвигуна розрахувати зміну основних енергетичних показників в функції навантаження на валу і побудувати його графік.

Таблиця 1 – Вихідні дані для розрахунку

Варіант	Типорозмір електродвигуна	Номинальна потужність, P_n , кВт	ККД, η , %, при коефіцієнті завантаження					Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$, в.о., при коефіцієнті завантаження					Частота обертання, n_n , об/хв.
			0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	
30	4A280M6У3	90,0	90,0	93,0	93,0	92,5	91,0	0,67	0,83	0,87	0,89	0,88	985

6.1 Для заданого електродвигуна (ЕД) визначити і побудувати залежності: $\eta = f_1(P_2)$, $P_1 = f_2(P_2)$, $\Delta P = f_3(P_2)$, де η – коефіцієнт корисної дії (ККД) електродвигуна, в.о., P_2 – потужність на валу електродвигуна, кВт; P_1 – спожита з мережі потужність, кВт; ΔP – втрати потужності в електродвигуні, кВт.

Для заданих значень коефіцієнта завантаження двигуна (таблиця 2) з таблиці 1 вносимо вихідні дані і проводимо розрахунок параметрів.

ККД електродвигуна визначаємо за формулою

$$\eta_i = \frac{1}{1 + \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \cdot \frac{\frac{\alpha}{K_3} + K_3}{\alpha + 1}},$$

де η_n – номінальний ККД електродвигуна, який відповідає $K_3 = 1$;

α – коефіцієнт втрат, $\alpha = 0,5 - 0,7$. Приймаємо $\alpha = 0,6$;

K_3 – коефіцієнт завантаження.

Розрахуємо коефіцієнт корисної дії електродвигуна при значеннях коефіцієнта завантаження $K_3 = 0,125$.

Таблиця 2 – Вихідні дані і результати розрахунків

№ завантаження	Параметри						
	Коефіцієнт завантаження, K_3 , в.о.	ККД, η , в.о.	Коефіцієнт потужності, $\cos\varphi$, в.о.	Потужність на валу, P_2 , кВт	Сложена потужність, P_1 , кВт	Втрати потужності, ΔP , кВт	Реактивна потужність, Q , кВар
1	0,125	0,800	-	11,25	14,06	2,81	-
2	0,250	0,900	0,67	22,5	25,00	2,5	27,7
3	0,500	0,930	0,83	45,0	48,39	3,39	32,52
4	0,750	0,930	0,87	67,5	72,58	5,08	41,13
5	1,000	0,925	0,89	90,0	97,3	7,3	49,85
6	1,250	0,910	0,88	112,5	123,63	11,13	66,73

$$\eta_{0,125} = \frac{1}{1 + \frac{1-0,925}{0,925} \cdot \frac{0,6}{0,125} + 0,125} = 0,800.$$

Потужність на валу електродвигуна P_2 , кВт, знайдемо з формули

$$K_3 = \frac{P_2}{P_H},$$

де P_2 – потужність на валу електродвигуна, кВт;

P_H – номінальна потужність електродвигуна, кВт.

Звідки

$$P_2 = K_3 \cdot P_H.$$

Розрахуємо потужність на валу двигуна P_2 при значеннях коефіцієнта завантаження $K_3 = 0,125; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,25$.

При $K_3 = 0,125$ $P_{2(0,125)} = 0,125 \cdot 90 = 11,25$ кВт.

При $K_3 = 0,25$ $P_{2(0,25)} = 0,25 \cdot 90 = 22,5$ кВт.

Результати розрахунків потужності на валу електродвигуна P_2 при інших значеннях коефіцієнта завантаження K_3 зводимо в таблицю 2.

Спожиту з мережі потужність визначаємо за формулою

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta}.$$

При $K_3 = 0,125$ потужність на валу двигуна складає $P_{2(0,125)} = 11,25$ кВт, а ККД $\eta_{(0,125)} = 0,800$. Отже, спожита з мережі потужність $P_{1(0,125)}$ дорівнює

$$P_{1(0,125)} = \frac{11,25}{0,8} = 14,06 \text{ кВт.}$$

При $K_3 = 0,25$ потужність на валу двигуна складає $P_{2(0,25)} = 22,5$ кВт, а ККД $\eta_{(0,25)} = 0,9$. Отже, спожита з мережі потужність $P_{1(0,25)}$ дорівнює

$$P_{1(0,25)} = \frac{22,5}{0,9} = 25,0 \text{ кВт.}$$

Результати розрахунків спожитої з мережі потужності P_1 при інших значеннях K_3 , потужності на валу двигуна і ККД зводимо в таблицю 2.

Втрати потужності в електродвигуні знаходимо за формулою

$$\Delta P = P_1 - P_2,$$

або

$$\Delta P = P_2 \cdot \frac{1-\eta}{\eta}.$$

При $K_3 = 0,125$ потужність на валу двигуна складає $P_{2(0,125)} = 11,25$ кВт, а ККД $\eta_{(0,125)} = 0,800$. Отже, втрати потужності $\Delta P_{(0,125)}$ складають

$$\Delta P_{(0,125)} = 11,25 \cdot \frac{1-0,8}{0,8} = 2,81 \text{ кВт.}$$

При $K_3 = 0,25$ потужність на валу двигуна складає $P_{2(0,25)} = 22,5$ кВт, а

ККД $\eta_{(0,25)} = 0,9$. Отже, втрати потужності $\Delta P_{(0,25)}$ складають

$$\Delta P_{(0,25)} = 22,5 \cdot \frac{1-0,9}{0,9} = 2,5 \text{ кВт.}$$

Результати розрахунків втрат потужності ΔP при інших значеннях K_3 , потужності на валу двигуна і ККД зводимо в таблицю 2.

За результатами розрахунків будемо залежності: $\eta = f_1(P_2)$, $P_1 = f_2(P_2)$, $\Delta P = f_3(P_2)$ (рисунок 2).

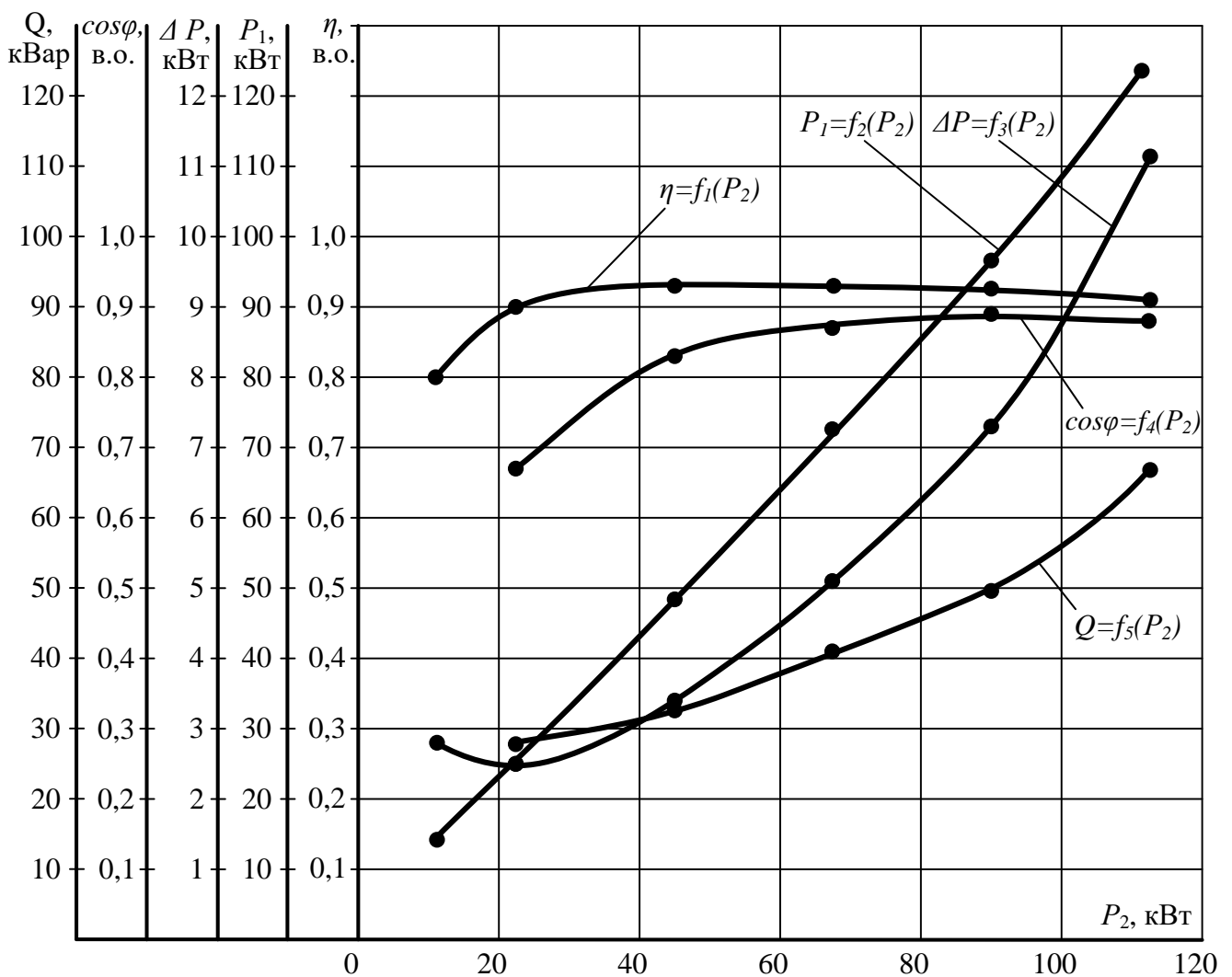


Рисунок 2 – Залежності $\eta = f_1(P_2)$, $P_1 = f_2(P_2)$, $\Delta P = f_3(P_2)$,

$$\cos \varphi = f_4(P_2), Q = f_5(P_2)$$

6.2 За даними таблиці 2 будемо залежність $\cos \varphi = f_4(P_2)$ (рисунок 2).

Для $K_3 = 0,125$ коефіцієнт потужності не визначаємо.

6.3 Визначити і побудувати залежність $Q = f_5(P_2)$.

Реактивну потужність визначаємо за формулою

$$Q = P_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

де

$$\varphi = \arccos \varphi.$$

Отже

$$Q = P_1 \cdot \operatorname{tg}(\arccos \varphi).$$

Визначимо реактивну потужність при $K_3 = 0,25$. Для цього коефіцієнта завантаження коефіцієнт потужності дорівнює $\cos \varphi_{(0,25)} = 0,67$. Отже.

$$\begin{aligned} Q_{(0,25)} &= P_{1(0,25)} \cdot \operatorname{tg}(\arccos \varphi_{(0,25)}) = 25,0 \cdot \operatorname{tg}(\arccos 0,67) = \\ &= 25,0 \cdot 1,1080 = 27,7 \text{ кВар.} \end{aligned}$$

Результати розрахунків реактивної потужності Q при інших значеннях коефіцієнта завантаження, спожитої потужності і $\operatorname{tg} \varphi$ зводимо в таблицю 2.

6.4 Зробити висновки, що свідчать про зміну параметрів електродвигуна від зміни навантаження на валу: $\eta = f_1(P_2)$, $\Delta P = f_2(P_2)$, $P_1 = f_3(P_2)$, $\cos \varphi = f_4(P_2)$, $Q = f_5(P_2)$.

7 Вказівки щодо оформлення звіту

Звіт з практичної роботи повинен мати:

1 Варіант індивідуального завдання.

2 Розрахункові формули для виконання практичної роботи.

3 Таблиці з результатами розрахунків.

4 Побудовані графічно залежності: $\eta = f_1(P_2)$, $\Delta P = f_2(P_2)$,

$P_1 = f_3(P_2)$, $\cos \varphi = f_4(P_2)$, $Q = f_5(P_2)$.

5 Аналіз отриманих результатів.

8 Контрольні питання

- 1 Назвіть основні енергетичні показники електропривода.
- 2 Чим характеризується економічність роботи електропривода?
- 3 Як визначається цикловий ККД електропривода?
- 4 Що таке постійні і змінні втрати потужності в електроприводі?
- 5 Як знайти втрати потужності при номінальному режимі двигуна?
- 6 Як змінюються величини ККД і $\cos \varphi$ від відносного завантаження?
- 7 Вкажіть шляхи зменшення втрат енергії в електроприводах.

9 Список літератури

- 1 Електропривод: Підручник / Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, П.І. Савченко [та інш.]; за ред. Ю.М. Лавріненка. – К.: «Ліра-К», 2009. – 504 с.
- 2 Електропривод: Навчальний посібник / О.Ю. Синявський, П.І. Савченко, В.В. Савченко, Ю.М. Лавріненко, В.В. Козирський, Ю.М. Хандола, І.П. Ільчов; За ред. О.Ю. Синявського. – К.: Аграр Медіа Груп, 2013. – 586 с.
- 3 Назар'ян Г.Н. Технічні характеристики та якісні показники електричних двигунів. Довідниковий посібник./ Г.Н. Назар'ян, Ю.М. Федюшко, О.В. Сотнік, О.В. Ковальов. - Х.: ТОВ «Планета-принт», 2016. - 201 с.
- 4 Кравчик А.Э. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соколенская. – М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с.
- 5 Електропривод у питаннях і відповідях: навч. посіб. для студентів вищ. навч. закл. / П.І. Савченко, М.Л. Лисиченко, О.К. Тищенко, В.В. Гузенко. – Х: ХНТУСГ; Факт, 2012. – 500 с.
- 6 Чиликин М.Г. Общий курс электропривода: Учебник для вузов. – 6-е изд., доп. и перераб. / М.Г. Чиликин, А.С. Сандлер. – М. : Энергоатомиздат, 1981. – 576 с.

10 Критерії оцінювання практичної роботи

Кількісна оцінка за виконання практичної роботи визначається за наступними показниками:

1 вхідний контроль за темою практичного заняття, за який максимально можна отримати 20 % від загальної кількості балів за практичну роботу;

2 підготовка та оформлення звіту з практичної роботи, за який максимально можна отримати 30 % від загальної кількості балів;

3 вихідний контроль з практичної роботи (захист практичної роботи), за який максимально можна отримати 50 % від загальної кількості балів.

Вхідний контроль за темою практичного заняття здійснюється шляхом усного опитування студента на початку заняття. Отримана кількість балів за нього визначається пропорційно вірно наданим відповідям.

Підготовка та оформлення звіту з практичної роботи здійснюється студентом безпосередньо на практичному занятті. Отримана кількість балів за нього визначається пропорційно вірно виконаним пунктам звіту.

Вихідний контроль з практичної роботи здійснюється шляхом тестування наприкінці заняття. Отримана кількість балів за нього визначається пропорційно вірно наданим відповідям.

Практична робота вважається виконаною позитивно, якщо студент у підсумку отримав не менше, ніж 60 % балів. У протилежному випадку студент зобов'язаний підвищити бал за практичну роботу у відведений термін під час консультації викладача, який її проводив. Підвищення рейтингу полягає у виконанні певних завдань щодо практичної роботи: вхідний контроль, підготовка та оформлення звіту, вихідний контроль. Підвищити рейтинг з практичної роботи можна не більше, ніж до 60 % балів.

У разі пропуску практичного заняття студент повинен його відпрацювати у відведений термін під час консультації викладача, який його проводив. Якщо практичне заняття пропущене з поважної причини, то студент може отримати за результатами відпрацювання максимальну кількість балів. Якщо практичне заняття пропущене без поважної причини, то студент може отримати за результатами відпрацювання максимально 60 % балів.

ДОДАТОК А

(Обов'язковий)

ЗРАЗОК ОФОРМЛЕННЯ ТИТУЛЬНОГО АРКУШУ ЗВІТУ

З ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ

**ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО**

ФАКУЛЬТЕТ ЕНЕРГЕТИКИ І КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра «Електротехніка і електромеханіка
імені професора В.В. Овчарова»

ПРАКТИЧНА РОБОТА

з дисципліни «Основи електропривода»

**РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ АСИНХРОННОГО
ЕЛЕКТРОДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ**

ЗВІТ

Студент _____ групи

(підпис)

П.І.Б.

Службові примітки

Роботу захищено з оцінкою _____

Викладач _____

(підпис)

П.І.Б.

Мелітополь, 20__

ДОДАТОК Б

Значення КПД і коефіцієнта потужності електродвигунів

Варіант	Типорозмір двигуна	Номінальна потужність, P_n , кВт	КПД η , %, при коефіцієнті навантаження					Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$, в.о. при коефіцієнті навантаження					Синхронна швидкість, рад/с
			0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	
1	4A132M2Y3	11,0	80,0	87,0	88,0	87,0	65,0	0,82	0,87	0,90	0,90	0,90	314
2	4A160S2Y3	15,0	80,0	86,5	88,0	88,0	87,0	0,65	0,82	0,87	0,90	0,90	314
3	4A160M2Y3	18,5	82,0	87,5	88,5	88,5	87,0	0,72	0,86	0,90	0,92	0,92	314
4	4A180S2Y3	22,0	79,0	86,0	88,5	88,5	88,0	0,65	0,82	0,86	0,91	0,92	314
5	4A180M2Y3	30,0	82,0	88,5	90,5	90,5	89,0	0,66	0,82	0,88	0,90	0,90	314
6	4A200M2Y3	37,0	81,0	87,5	90,0	90,0	89,5	0,67	0,82	0,87	0,89	0,89	314
7	4A200L2Y3	45,0	83,0	89,0	91,0	91,0	90,5	0,71	0,85	0,89	0,90	0,90	314
8	4A225M2Y3	55,0	82,5	89,5	91,0	91,0	90,5	0,78	0,89	0,91	0,92	0,92	314
9	4A250S2Y3	75,0	75,0	88,0	91,0	91,0	91,0	0,71	0,84	0,88	0,89	0,89	314
10	4A250M2Y3	90,0	90,0	90,0	92,0	92,0	91,5	0,71	0,84	0,89	0,90	0,90	314
11	4A132M4Y3	11,0	80,0	86,0	88,0	87,5	87,0	0,55	0,75	0,84	0,87	0,88	157
12	4A160S4Y3	15,0	86,0	89,5	89,5	88,5	86,5	0,63	0,81	0,87	0,88	0,88	157
13	4A160M4Y3	18,5	87,5	90,5	90,5	89,5	87,5	0,66	0,82	0,86	0,88	0,88	157
14	4A180S4Y3	22,0	85,5	89,5	90,0	90,0	87,0	0,65	0,82	0,87	0,90	0,89	157
15	4A180M4Y3	30,0	87,0	90,5	91,0	91,0	89,0	0,66	0,83	0,88	0,89	0,89	157
16	4A200M4Y3	37,0	87,0	90,5	91,0	91,0	90,5	0,67	0,84	0,89	0,90	0,90	157
17	4A200L4Y3	45,0	88,5	92,0	92,5	92,0	91,0	0,69	0,85	0,89	0,90	0,90	157
18	4A225M4Y3	55,0	88,5	92,0	92,5	92,5	91,5	0,68	0,84	0,89	0,90	0,90	157
19	4A250S4Y3	75,0	88,5	92,0	93,0	93,0	92,5	0,69	0,84	0,88	0,90	0,90	157
20	4A250M4Y3	90,0	89,0	92,5	93,0	93,0	92,0	0,73	0,87	0,90	0,91	0,90	157
21	4A160S6Y3	11,0	83,5	87,5	87,5	86,0	83,5	0,54	0,75	0,83	0,86	0,87	104,7
22	4A160M6Y3	15,0	85,0	88,5	88,5	87,5	85,0	0,55	0,76	0,84	0,87	0,87	104,7
23	4A180M6Y3	18,5	85,0	89,0	89,0	88,0	86,0	0,54	0,76	0,84	0,87	0,87	104,7
24	4A200M6Y3	22,0	87,5	91,0	91,0	90,0	88,0	0,68	0,84	0,88	0,90	0,90	104,7
25	4A200L6Y3	30,0	88,0	91,0	91,0	90,5	89,0	0,64	0,82	0,88	0,90	0,90	104,7
26	4A225M6Y3	37,0	87,5	91,0	91,5	91,0	89,5	0,63	0,81	0,87	0,89	0,89	104,7
27	4A250S6Y3	45,0	87,5	91,0	91,5	91,5	90,5	0,64	0,82	0,87	0,89	0,89	104,7
28	4A250M6Y3	55,0	88,0	91,0	91,5	91,5	90,5	0,60	0,80	0,86	0,89	0,89	104,7
29	4A280S6Y3	75,0	90,0	92,5	92,0	92,0	90,0	0,70	0,85	0,88	0,89	0,88	104,7
30	4A280M6Y3	90,0	90,0	93,0	93,0	92,5	91,0	0,67	0,83	0,87	0,89	0,88	104,7

