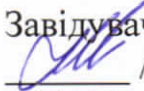


Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Управління енергетичними та економічними процесами»

Кафедра «Електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕТЕМ
 /Андрій МУХА/
(підпис)

Дата 20.12.23

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи магістра

на тему: «Порівняльний аналіз опосередкованих методів отримання робочих характеристик асинхронних двигунів»
за освітньою програмою: «Енергетичні та електромеханічні системи на транспорті»
зі спеціальності: «141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Виконав: студент
групи «ЕЕ2221»


(підпис студента)

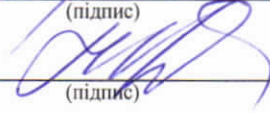
/Микита РИЖЕНКО/
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:


(підпис)

/доц. Олексій БАЛІЙЧУК/
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтролер:


(підпис)

/доц. Оксана КАРЗОВА/
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:

(назва розділу)

(підпис)

//

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(назва розділу)

(підпис)

//

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(назва розділу)

(підпис)

//

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(назва розділу)

(підпис)

//

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

(підпис)

Дніпро – 2023 рік

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Faculty «Management of energy and economic processes»

Department «Electrical engineering and electromechanics»

Explanatory Note
to Master's Thesis

on the topic: «Comparative analysis of indirect methods of obtaining operating characteristics of asynchronous motors»

according to educational curriculum «Energy and electromechanical systems in transport»

in the Speciality: «141 Electrical energetics, electrical engineering and electromechanics»

Done by the student of the group EE2221:

/Mykyta RYZHENKO/

Scientific Supervisor:

/Oleksii BALIICHUK/

Normative controller:

/Oksana KARZOVA/

Supervisors

	//
(Chapter title heading)	(position, name, surname)
	//
(Chapter title heading)	(position, name, surname)
	//
(Chapter title heading)	(position, name, surname)
	//
(Chapter title heading)	(position, name, surname)

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Факультет «Управління енергетичними та економічними процесами»

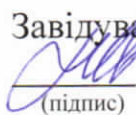
Кафедра: «Електротехніка та електромеханіка»

Рівень вищої освіти: магістр

Освітня програма: «Енергетичні та електромеханічні системи на транспорті»

Спеціальність: «141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕТЕМ
 /Андрій МУХА/
(підпис)

Дата 01.01.23

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

студенту Риженко Микита Володимирович

1. Тема роботи: «Порівняльний аналіз опосередкованих методів отримання робочих характеристик асинхронних двигунів»

Керівник роботи: Балійчук Олексій Юрійович, доцент
затверджені наказом № 56 ст від 18.01.2023

2. Строк подання студентом роботи: 01.12.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: Кругова діаграма асинхронного двигуна
АК 61-6, робочі характеристики двигуна АК 61-6, отримані з неї

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Аналітична частина: Опис методу аналітичного (розрахункового)
отримання робочих характеристик асинхронних двигунів

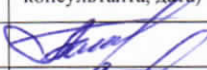
4.2 Основна частина: Побудова робочих характеристик асинхронного двигуна АК 61-6 аналітичним методом та порівняння аналогічних характеристик, отриманих з кругової діаграми для цього ж двигуна. Кількісна оцінка отриманих результатів порівняння двох методів побудови робочих характеристик

4.3 Охорона праці та захист навколишнього середовища: охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

4.4 Економічна частина: -

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Робочі характеристики асинхронного двигуна АК 61-6, отримані з кругової діаграми 2. Розрахунок робочих характеристик двигуна АК 61-6 аналітичним методом. 3 Робочі характеристики асинхронного двигуна АК 61-6, отримані з аналітичного розрахунку. 4. Порівняльний аналіз.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)
ОП та безпека в НС	к.т.н., доц. Балійчук О.Ю.		
Основна частина	к.т.н., доц. Балійчук О.Ю.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ		5%
2	Розділ 1. Опис методу аналітичного отримання робочих характеристик асинхронних двигунів		10%
3	Розділ 2. Розрахунок робочих характеристик двигуна АК 61-6 аналітичним методом		35%
4	Розділ 3. Порівняльний аналіз робочих характеристик двигуна АК 61-6, отриманих різними методами		35%
5	Розділ 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях		10%
6	Висновки та рекомендації		5%
7	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	01.12.2023	100%
8	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії		

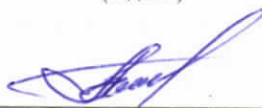
Студент


(підпис)

Микита РИЖЕНКО

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи


(підпис)

доц. Олексій БАЛІЙЧУК

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

№ ряд ка	Формат	Позначення	Назва	Кільк. арк.	№ екз.	Прим
1			<u>Документація загальна</u>			
2			Заново розроблена			
3	A4	7.141.190057.ПЗ	Пояснювальна записка	56		
4						
5			Запозичена			
6						
7			<u>Графічна частина</u>			
8			Заново розроблена			
9	A4	7.141.190057.01	Робочі характеристики двигуна			
10			АК 61-6, отримані з кругової	1		
11			діаграми			
12	A4	7.141.190057.02	Розрахунок робочих			
13			характеристик двигуна АК 61-6	1		
14			аналітичним методом			
15	A4	7.141.190057.03	Робочі характеристики двигуна			
16			АК 61-6, отримані з	1		
17			аналітичного розрахунку			
18	A4	7.141.190057.04	Порівняльний аналіз	1		
19						
20						
21			Запозичена			
22						
23			<u>Електронна частина</u>			
24						

					7.141.190057.BP			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Відомість кваліфікаційної роботи	Літ.	Арк.	Акрушів
Розробив.	Риженко М.В.			20.12				
Керівник	Балійчук О.Ю.			20.12			4	56
Консульт						МОН України. УДУНТ Кафедра ЕТЕМ, група ЕЕ2221		
Н. Контр.	Карзова О.О.			21.12				
Зав.кафед.	Муха А.М.			21.12				

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра на тему:
«Порівняльний аналіз опосередкованих методів отримання робочих характеристик асинхронних двигунів»

48 с., 19 рис., 8 табл., 1 додаток, 10 джерел.

Об'єкт розробки – Робочі характеристики асинхронного двигуна з фазним ротором типу АК 61-6.

Мета роботи – порівняльний аналіз робочих характеристик асинхронного двигуна АК 61-6, отриманих із кругової діаграми, і робочих характеристик названого двигуна, отриманих із аналітичного розрахунку.

Метод дослідження та апаратура – на основі лабораторних досліджень режиму неробочого ходу і короткого замикання; паспортних даних двигуна за допомогою аналітичного розрахунку отримано сукупність робочих характеристик асинхронного двигуна з фазним ротором типу АК 61-6.

У першому розділі наведено опис аналітичного методу отримання робочих характеристик асинхронних двигунів на основі паспортних даних двигунів, а також результатів дослідів неробочого ходу та короткого замикання.

Другий розділ присвячено аналітичному розрахунку робочих характеристики асинхронного двигуна з фазним ротором типу АК 61-6.

У третьому розділі представлено результати порівняльного аналізу робочих характеристик, отриманих із кругової діаграми та аналітичного розрахунку. Оцінено точність графічного методу побудови характеристик шляхом визначення відносної похибки між відповідними величинами в основних точках.

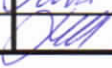
В четвертому розділі містяться основні рекомендації з охорони праці та безпеки життєдіяльності при експлуатації та випробуванні електричних двигунів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АСИНХРОННИЙ ДВИГУН, РОБОЧІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, АНАЛІТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК, КРУГОВА ДІАГРАМА, ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ.

					7.141.190057.ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 ОПИС МЕТОДУ АНАЛІТИЧНОГО ОТРИМАННЯ РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ	11
1.1. Робочі характеристики асинхронного двигуна. Вигляд, опис та способи отримання.....	11
1.2. Аналітичний розрахунок робочих характеристик асинхронного двигуна.....	13
1.3. Досліди неробочого ходу і короткого замикання.....	16
1.3.1. Дослід неробочого ходу.....	16
1.3.2. Дослід короткого замикання	17
1.4. Висновки до розділу	18
РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГУНА АК 61-6 АНАЛІТИЧНИМ МЕТОДОМ.....	20
2.1. Вихідні дані для аналітичного розрахунку робочих характеристик	20
2.2. Розрахунок робочих характеристик асинхронного двигуна АК 61-6	22
2.3. Результати аналітичного розрахунку робочих характеристик.....	25
2.4. Висновки до розділу	30
РОЗДІЛ 3 ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГУНА АК 61-6, ОТРИМАНИХ РІЗНИМИ МЕТОДАМИ.....	31
3.1. Робочі характеристики асинхронного двигуна АК61-6, отримані із кругової діаграми	31

					Пояснювальна записка			
					Порівняльний аналіз опосередкованих методів отримання робочих характеристик асинхронних двигунів	Літ.	Маса	Масштаб
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			1	1 : 1
Розроб.		Рижченко М.В.		10.12				
Перевір.		Балійчук О.Ю.		10.12				
Т. Контр.						Арк.	6	Аркушів 56
Реценз.						7.141.190057.ПЗ		
Н. Контр.		Карзова О.О.		24.12				
Затверд.		Муха А.М.		24.12				
						МОН України, УДУНТ Кафедра ЕТЕМ Група ЕЕ2221		

3.2. Порівняння робочих характеристик двигуна АК61-6, отриманих із кругової діаграми та аналітичного методу розрахунку ...	36
3.3. Висновки до розділу	40
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В	
НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	41
4.1 Вимоги безпеки праці під час експлуатації електричних двигунів.	41
4.1.1. Вимоги безпеки при монтажі електродвигунів відповідно до [8]	41
4.1.2. Вимоги безпеки при експлуатації електродвигунів відповідно до [9, 10]	42
4.1.3. Вимоги безпеки при роботі з вимірювальними приладами та електролічильниками [9, 10]	48
4.2 Дії працівників (персоналу) в аварійних (надзвичайних) ситуаціях	50
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ	51
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	53
СПИСОК ГРАФІЧНИХ РОБІТ	54
ДОДАТОК А	56

ВСТУП

Електричні машини мають велике значення в різних галузях економіки і господарства країни [1].

Асинхронна машина – це електрична машина змінного струму, в якій частота обертання ротора n при постійній частоті змінного струму мережі живлення f змінюється із зміною навантаження і відрізняється від синхронної (частоти обертання магнітного поля) n_1 . Хоч асинхронні машини, як і інші види електричних машин, є енергетично оборотними, однак асинхронний генератор практично не використовується, натомість асинхронний двигун (АД) є основним видом електричних двигунів, що перетворюють електричну енергію в механічну в системах керування електроприводами [2].

Даний вид електричних двигунів є найбільш поширеним. Цьому сприяє їх висока надійність, викликана простотою конструкції, високий коефіцієнт корисної дії (ККД) та легкість в обслуговуванні порівняно з іншими типами електродвигунів. АД мають і деякі недоліки: споживання з мережі реактивного струму, необхідного для створення магнітного потоку, в результаті чого вони працюють із коефіцієнтом потужності $\cos \varphi < 1$; гірші можливості регулювання частоти по відношенню до двигунів постійного струму [2].

Останній недолік в умовах сучасного розвитку напівпровідникової перетворювальної техніки та мікропроцесорних систем керування майже повністю знівелювано, що ще більше розширює сферу застосування АД в якості, наприклад, тягових двигунів на різного типу рухомому складі.

Оцінити енергоефективність АД та можливість його пристосування до конкретних приводних задач можна маючи зокрема робочі характеристики асинхронного двигуна.

Під робочими характеристиками асинхронних двигунів розуміють залежності споживаної потужності, струму, коефіцієнта корисної дії, коефіцієнта потужності, частоти обертання (ковзання) від величини віддаваної потужності при незмінних значеннях напруги живлення та частоти [7].

					7.141.190057.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відповідно до типових програм випробувань електричних двигунів в умовах випробувальних станцій, отримання робочих характеристик проводять, виконуючи дослід безпосереднього навантаження, з використанням спеціального обладнання, наприклад, стенду взаємного навантаження та ін. У всілякому випадку визначення робочих характеристик починається із режиму, що відповідає не менш ніж 110% номінального навантаження двигуна в нагрітому його стані. Достатньо точні результати дослідів можна отримати, якщо проводити дослід безпосереднього навантаження одразу ж після проведення теплових випробувань. Дослід з визначення робочих характеристик проводиться з поступовим розвантаженням двигуна від найбільшого навантаження до режиму неробочого ходу так, щоб отримати 8...10 точок відліку, за якими в подальшому буде проведено необхідні розрахунки та побудовано графіки відповідних залежностей. Якщо визначення всієї робочої характеристики, або її частини є неможливим при номінальній напрузі, то допускається проведення дослідів при зниженій напрузі (аж до значення вдвічі меншого за номінальне), а отримані результати приводять до номінальної напруги шляхом розрахунку.

Отримати характеристики асинхронних двигунів можна й опосередкованими методами. Так, для отримання робочих характеристик допускається побудова кругових діаграм. При цьому асинхронну машину розглядають як трансформатор, параметри якого, крім активного опору вторинного кола (кола ротора), вважають сталими. Зміна цього опору визначає режим роботи двигуна при сталій напрузі живлення.

При такому припущенні геометричним місцем кінців векторів споживаного струму є коло певного радіуса. Однак, на практиці ні один з параметрів асинхронного двигуна не є сталим, тому реальна діаграма роботи асинхронного двигуна в режимі від неробочого ходу до короткого замикання відрізняється від кола тим більше, чим більшою є зміна його параметрів на цьому проміжку. Додаткові обмеження на побудову кругових діаграм накладається для двигунів з подвійною «білячою кліткою» та глибокопазних

					7.141.190057.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

двигунів, тобто таких, де з метою поліпшених пускових властивостей застосовується явище витіснення струму в перетині провідників обмотки.

При промислових випробуваннях електричних двигунів достатнім результатом є, якщо отримана діаграма дає можливість перевірки значень коефіцієнта корисної дії, коефіцієнта потужності і ковзання при номінальному режимі роботи, а також максимального обертового моменту при номінальній напрузі.

Альтернативою побудові кругової діаграми є аналітичний розрахунок робочих характеристик на основі г-подібної спрощеної схеми заміщення асинхронного двигуна. Цей метод, в порівнянні із попереднім, не передбачає ніяких геометричних побудов і вихідними даними для нього є паспортні дані двигуна та результати проведення дослідів неробочого ходу та короткого замикання, а дещо збільшена кількість розрахунків не являє собою суттєвих проблем при застосуванні сучасної обчислювальної техніки [4, 7].

Для отримання чисельного результату і порівняння названих методів отримання робочих характеристик пропонується в лабораторних умовах провести дослідження режиму неробочого ходу та короткого замикання асинхронного двигуна з фазним ротором потужністю 7 кВт та порівняти між собою однойменні залежності, отримані за різними методами, описати розбіжності та оцінити подібність результатів.

					7.141.190057.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 ОПИС МЕТОДУ АНАЛІТИЧНОГО ОТРИМАННЯ РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

1.1. Робочі характеристики асинхронного двигуна. Вигляд, опис та способи отримання

Залежності частот обертання n (або ковзання s), моменту на валу M_2 струму статора I_1 , коефіцієнта потужності $\cos \varphi$, ККД η , потужності P_1 , що споживається з мережі, при $U_1 = const$ та $f_1 = const$ від корисної потужності на валу P_2 називаються робочими характеристиками двигуна. Наближений їх вигляд покажемо на рис. 1.1 [1, 2].

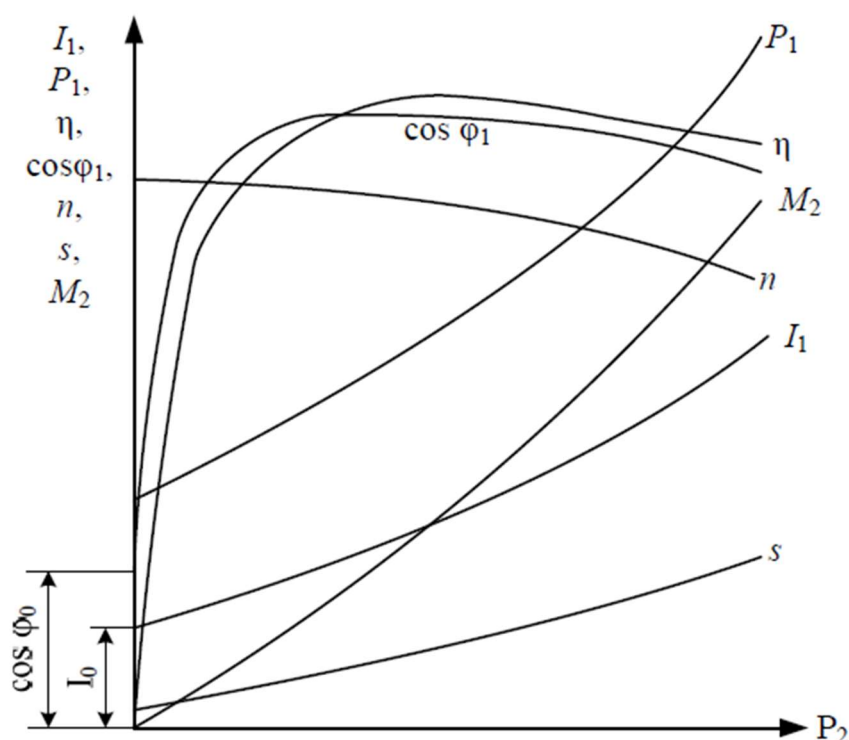


Рис. 1.1 – Робочі характеристики асинхронних двигунів

При роботі на холостому ході (ХХ), коли $P_2 = 0$ та $M_2 = 0$, АД споживає із мережі струм $I_1 = I_0$, необхідний для створення основного магнітного поля. Наявність повітряного проміжку між статором і ротором призводить до підвищеного струму ХХ $I_0 = (0,25 \dots 0,3) I_{1 \text{ ном}}$. Потужність P_1 , що

					7.141.190057.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

споживається із мережі при XX , покриває втрати всередині машини: механічні втрати, магнітні втрати в статорі та електричні втрати в обмотці статора. При цьому наявні коефіцієнт потужності $\cos \varphi_0$ та деяке початкове ковзання s .

Частота обертання n при збільшенні навантаження починає зменшуватися. Це пояснюється тим, що при збільшенні електромагнітного моменту M збільшується ковзання s та підвищується ЕРС в обмотці ротора $E_{2s} = E_2 s$, в результаті чого зростає струм I_2 в обмотці ротора. Спад частоти обертання при збільшенні навантаження незначний, тобто ця залежність є жорсткою. Ковзання s при цьому буде зростати, тобто відставання ротора від магнітного поля буде збільшуватися.

Залежність $M = f(P_2)$ майже прямолінійно зростаюча. Вона дещо вигнута вгору через те, що при збільшенні навантаження частота обертання n спадає.

Залежності $P_1 = f(P_2)$ та $I_1 = f(P_2)$ мають криволінійний характер із згином вгору. Це пояснюється збільшенням втрат в обмотках двигуна при його навантаженні.

Залежність $\eta = f(P_2)$ досягає максимального значення при навантаженні, коли постійні та змінні втрати в двигуні будуть однаковими.

При малих навантаженнях значення ковзання s та індуктивного опору ротора x_2 будуть невеликі, а струм ротора I_2 буде практично активним. Тому кут зсуву φ_1 між струмом I_1 та напругою U_1 буде зменшуватися при збільшенні навантаження, а тому залежність $\cos \varphi_1 = f(P_2)$ буде зростати. При подальшому зростанні навантаження ковзання s і частота індукованої ЕРС $E_{2s} = E_2 s$ в роторі зростатимуть, що призведе до збільшення індуктивного опору обмотки ротора x_2 , внаслідок чого реактивна складова струму ротора і відповідно струму статора збільшуватимуться, а $\cos \varphi_1 = f(P_2)$ почне зменшуватися [1, 2].

					7.141.190057.ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Робочі характеристики визначають аналітичним шляхом, експериментально або за допомогою розрахунків з використанням схеми заміщення або кругової діаграми.

1.2. Аналітичний розрахунок робочих характеристик асинхронного двигуна

Графічний метод розрахунку робочих характеристик з використанням кругових діаграм має суттєвий недолік: неточність в побудові та неточність вимірювань відрізків, що в загальному призводить до значної похибки.

Аналітичний метод передбачає відповідну кількість математичних розрахунків, які з використанням комп'ютерної техніки спрощують дану задачу. Аналітичний метод базується на використанні схеми заміщення АД [2].

Вихідні дані, що використовуються для розрахунку робочих характеристик:

- паспортні дані двигуна як то $P_{\text{ном}}$, $U_{1\text{ном}}$, $n_{\text{ном}}$;
- результати дослідження холостого ходу;
- результати дослідження короткого замикання.

Розрахунок викладено в [2, 3] та проводиться в наступній послідовності:

Приведений активний опір ротора

$$R'_2 = R_k - R_1; \quad (1)$$

Критичне ковзання:

$$s_{\text{кр}} \approx \frac{R'_2}{x_k}; \quad (2)$$

Номинальне ковзання:

$$s_{\text{ном}} = \frac{n_1 - n_{\text{ном}}}{n_1}; \quad (3)$$

Задавшись рядом значень ковзання, який обов'язково має включати $s_{\text{ном}}$ та $s_{\text{кр}}$ визначають необхідні величини, показані нижче.

Еквівалентний активний опір схеми заміщення

$$R_e = R_1 + \frac{R'_2}{s}; \quad (4)$$

Еквівалентний повний опір схеми заміщення

$$Z_e = \sqrt{R_e^2 + x_k^2}; \quad (5)$$

Коефіцієнт потужності робочого контуру схеми заміщення

$$\cos \varphi_2 = \frac{R_e}{Z_e}; \quad (6)$$

Приведений струм ротора

$$I'_2 = \frac{U_1}{Z_e}; \quad (7)$$

Активна складова струму ротора

$$I'_{2a} = I'_2 \cos \varphi_2; \quad (8)$$

Реактивна складова струму ротора

$$I'_{2p} = I'_2 \sin \varphi_2; \quad (9)$$

Активна складова струму холостого ходу

$$I_{0a} = I_0 \cos \varphi_0; \quad (10)$$

Активна складова струму статора

$$I_{1a} = I_{0a} + I'_{2a}; \quad (11)$$

Реактивна складова струму холостого ходу

$$I_{0p} = I_0 \sin \varphi_0; \quad (12)$$

Реактивна складова струму статора

$$I_{1p} = I_{0p} + I'_{2p}; \quad (13)$$

Струм в обмотці статора

$$I_1 = \sqrt{I_{1a}^2 + I_{1p}^2}; \quad (14)$$

Коефіцієнт потужності

$$\cos \varphi_1 = \frac{I_{1a}}{I_1}; \quad (15)$$

Потужність, що споживається із мережі

$$P_1 = m_1 U_1 I_{1a}; \quad (16)$$

Електричні втрати в статорі

$$\Delta p_{\text{ел1}} = m_1 I_1^2 R_1; \quad (17)$$

Електромагнітна потужність

$$P_{\text{ем}} = P_1 - \Delta p_{\text{ел1}} - \Delta p_{\text{мг1}}, \quad (18)$$

де

$$\Delta p_{\text{мг1}} = m_1 I_0^2 R_m; \quad (19)$$

Електромагнітний момент

$$M = \frac{P_{\text{ем}}}{\omega}; \quad (20)$$

Електричні втрати в роторі

$$\Delta p_{\text{ел2}} = s P_{\text{ем}}; \quad (21)$$

Додаткові втрати в номінальному режимі

$$\Delta p_{\text{д ном}} = 0,005 P_{1\text{ном}}; \quad (22)$$

Додаткові втрати в неномінальних режимах

$$\Delta p'_{\text{д}} = \Delta p_{\text{д ном}} \beta^2; \quad (23)$$

Корисна потужність на валу

$$P_2 = P_{\text{ем}} - \Delta p_{\text{ел2}} - \Delta p_{\text{мх}} - \Delta p_{\text{д}}, \quad (24)$$

де $\Delta p_{\text{мх}}$ визначаються із дослідів ХХ;

Коефіцієнт корисної дії

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}; \quad (25)$$

Частота обертання

$$n = (1 - s) n_1; \quad (26)$$

					7.141.190057.ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Корисний момент на валу

$$M_2 = 9,55 \frac{P_2}{n}. \quad (27)$$

1.3. Досліди неробочого ходу і короткого замикання

1.3.1. Дослід неробочого ходу

Режим роботи АД, при якому відсутнє механічне навантаження на його валу ($M_c = 0$ і $P_2 = 0$) називають режимом холостого ходу.

Для дослідження цього режиму необхідно мати регульоване джерело живлення з можливістю регулювання напруги в межах $(0,6 \dots 1,15)U_{1\text{ном}}$ при цьому вимірюють потужність P_0 , струм I_0 та напругу U_1 , за якими знаходять

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{m_1 U_1 I_0}. \quad (28)$$

Характеристики холостого ходу $I_0, P_0, \cos \varphi_0 = f(U_1)$ представлено на рис.

3.1 [2].

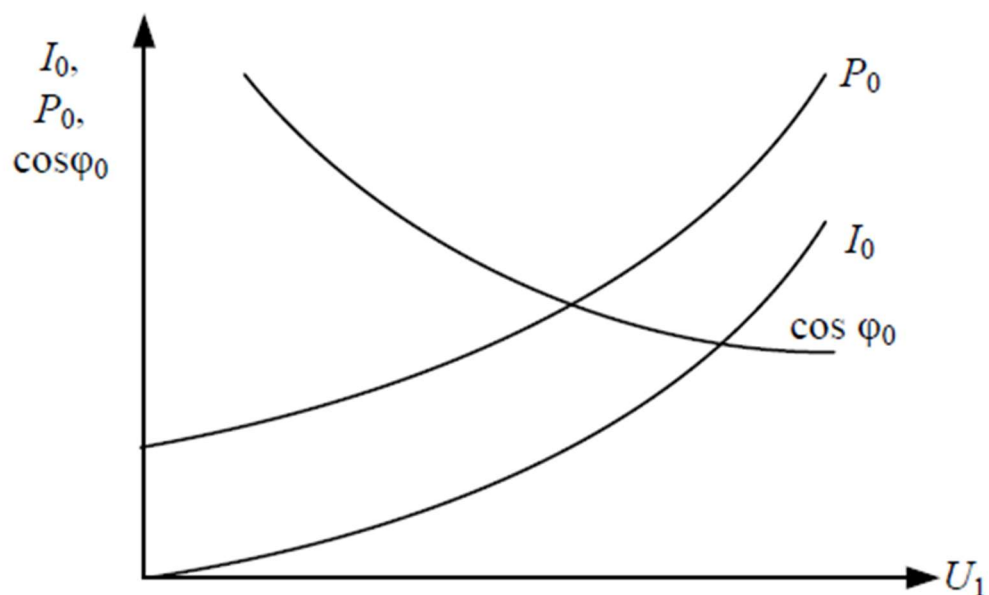


Рис. 1.2 – Характеристики холостого ходу асинхронного двигуна

1.3.2. Дослід короткого замикання

Режим роботи АД, при якому його ротор загальмований ($n = 0$), а обмотка ротора замкнена накоротко, називається режимом короткого замикання.

Для виключення можливості недопустимого перегрівання обмоток від великих струмів КЗ дослід проводять при зниженій напрузі, щоб $I_{1к} \leq 1,2I_{1ном}$.

Дослід проводять, змінюючи напругу короткого замикання $U_{1к}$ від нуля до значення, при якому струм КЗ не перевищуватиме значення $1,2I_{1ном}$.

За даними досліду, під час якого вимірюють потужність короткого замикання $P_{1к}$, струм короткого замикання $I_{1к}$ та напругу короткого замикання $U_{1к}$ визначають:

Коефіцієнт потужності

$$\cos \varphi_k = \frac{P_{1к}}{m_1 U_{1к} I_{1к}}; \quad (29)$$

Повний опір короткого замикання

$$Z_k = \frac{U_{1к}}{I_{1к}}; \quad (30)$$

Активний опір короткого замикання

$$R_k \approx \frac{P_k}{m_1 I_{1к}^2}; \quad (31)$$

Індуктивний опір короткого замикання

$$x_k \approx \sqrt{Z_k^2 - R_k^2}. \quad (32)$$

Характеристики короткого замикання $I_{1к}, P_{1к}, \cos \varphi_{1к} = f(U_{1к})$ представлено на рис. 3.2 [2].

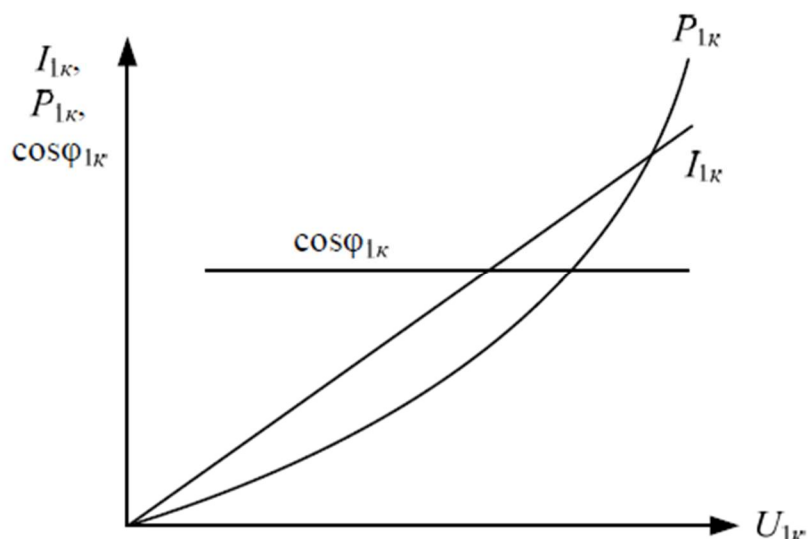


Рис. 1.3 – Характеристики короткого замикання асинхронного двигуна

1.4. Висновки до розділу

Робочі характеристики – сукупність важливих залежностей, які дозволяють оцінити енергетичні та робочі властивості двигуна, зокрема асинхронного.

На практиці є декілька способів отримання робочих характеристик асинхронних двигунів – експериментальний (метод безпосереднього навантаження), графічний (розрахунок характеристик на основі побудови кругової діаграми) та аналітичний (розрахунок характеристик за формулами, оснований на спрощеній схемі заміщення асинхронного двигуна).

Метод безпосереднього навантаження вимагає наявності, як правило, двох однакових за параметрами електричних машин та складного випробувального обладнання (типу стенда взаємного навантаження та ін.) тому на практиці застосовується в обмежених випадках.

Графічний метод відомий своєю відносно невеликою точністю через суттєві припущення при побудові власне кругової діаграми та похибках при вимірюванні характерних відрізків, довжини яких входять в розрахунок робочих характеристик. Так як даний метод не складний, то він все ж таки

знаходить своє застосування при вирішенні задач отримання робочих характеристик АД.

Аналітичний метод позбавлений похибок графічного, так як для його застосування не треба робити ніяких додаткових графічних побудов. Вихідними даними для названого методу є паспортні дані двигуна та результати дослідів холостого ходу і короткого замикання. Збільшена кількість аналітичних розрахунків при цьому легко вирішується при використанні різноманітних комп'ютерних програмних обчислюючих комплексів.

					7.141.190057.ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГУНА АК 61-6 АНАЛІТИЧНИМ МЕТОДОМ

2.1. Вихідні дані для аналітичного розрахунку робочих характеристик

Як вже було зазначено в першому розділі, вихідними даними для розрахунку робочих характеристик асинхронного двигуна аналітичним методом є деякі паспортні дані двигуна, а також результати дослідів неробочого (холостого) ходу та короткого замикання.

Паспортні дані досліджуваного двигуна типу АК61-6 наведемо у вигляді табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Паспортні дані двигуна типу АК61-6

$P_{\text{ном}}$	$U_{\text{ном}}$	$I_{\text{ном}}$	$n_{\text{ном}}$	$\cos \varphi_{\text{ном}}$	$\eta_{\text{ном}}$
кВт	В	А	об/хв	-	%
7	220/380	29,1/16,8	940	0,78	81

Досліди неробочого ходу та короткого замикання трифазного асинхронного двигуна АК61-6 було проведено в лабораторії електричних машин та електроприводу Українського державного університету науки і технологій в рамках виконання випускної кваліфікаційної роботи бакалавра [5].

В [5] містяться докладні випробувальні схеми, фото лабораторного стенда і двигуна, на якому проводились експериментальні дослідження, а також характеристики, отримані для двигуна у відповідних режимах.

Результати дослідів неробочого ходу двигуна за [5] при номінальній напрузі на обмотці статора двигуна представимо у вигляді табл. 2.2.

Результати дослідів короткого замикання двигуна за [5] при номінальному струмі на обмотці статора двигуна представимо у вигляді табл. 2.3.

Таблиця 2.2 – Результати дослідження неробочого ходу двигуна типу АК61-6

U_1	I_0	P_0	S_0	$\cos \varphi_0$
В	А	Вт	ВА	-
220	13	600	4953,7	0,121

Таблиця 2.3 – Результати дослідження короткого замикання двигуна типу АК61-6

$U_{1к}$	$I_{1к}$	$P_к$	$S_к$	$\cos \varphi_к$
В	А	Вт	ВА	-
72,5	30	1675	3741,2	0,447

Відповідно до випробувальних схем, U_1 , I_0 , $U_{1к}$, $I_{1к}$ - лінійні значення напруги і струму неробочого ходу і короткого замикання відповідно. Це, а також те, що обмотка статора двигуна має схему з'єднання «трикутник» врахуємо при подальших розрахунках.

За даними дослідів неробочого ходу і короткого замикання визначимо деякі параметри схеми заміщення асинхронного двигуна АК61-6.

Повний опір короткого замикання відповідно до виразу (30):

$$Z_к = \frac{U_{1к}}{I_{1к}} = \frac{72,5}{30/\sqrt{3}} = 4,24 \text{ Ом.}$$

Активний опір короткого замикання за виразом (31):

$$R_к \approx \frac{P_к}{m_1 I_{1к}^2} = \frac{1675}{3 \cdot (30/\sqrt{3})^2} = 1,88 \text{ Ом.}$$

Індуктивний опір короткого замикання за (32):

$$x_к \approx \sqrt{Z_к^2 - R_к^2} = \sqrt{4,24^2 - 1,88^2} = 3,8 \text{ Ом.}$$

2.2. Розрахунок робочих характеристик асинхронного двигуна АК 61-

6

Визначимо приведенний активний опір ротора за формулою (1), при цьому $R_1 = 0,7$ Ом відповідно до [5]:

$$R'_2 = R_K - R_1 = 1,88 - 0,7 = 1,18 \text{ Ом.}$$

Тоді, критичне ковзання за виразом (2), визначене із параметрів схеми заміщення:

$$s_{кр} \approx \frac{R'_2}{x_K} = \frac{1,18}{3,8} = 0,31.$$

За відомим виразом (3) визначимо номінальне ковзання, прийнявши $n_1 = 1000$ об/хв відповідно до [5]:

$$s_{ном} = \frac{n_1 - n_{ном}}{n_1} = \frac{1000 - 940}{1000} = 0,06.$$

За виразами (4) – (27) виконаємо розрахунок величин, необхідних для побудови робочих характеристик двигуна АК61-6. Нижче наведемо результати розрахунків для $s = s_{ном} = 0,06$.

За виразом (4) еквівалентний активний опір схеми заміщення дорівнює:

$$R_e = R_1 + \frac{R'_2}{s} = 0,7 + \frac{1,18}{0,06} = 20,41 \text{ Ом.}$$

Еквівалентний повний опір схеми заміщення за формулою (5):

$$Z_e = \sqrt{R_e^2 + x_K^2} = \sqrt{(20,41)^2 + (3,8)^2} = 20,76 \text{ Ом.}$$

За виразом (6) визначаємо коефіцієнт потужності робочого контуру схеми заміщення:

$$\cos \varphi_2 = \frac{R_e}{Z_e} = \frac{20,41}{20,76} = 0,98.$$

Приведений струм ротора відповідно до виразу (7):

$$I'_2 = \frac{U_1}{Z_e} = \frac{220}{20,76} = 10,6 \text{ А.}$$

					7.141.190057.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Активна складова струму ротора визначається за виразом (8):

$$I'_{2a} = I'_2 \cos \varphi_2 = 10,6 \cdot 0,98 = 10,42 \text{ А.}$$

Нехай $\varphi_2 = \arccos 0,98$, тоді реактивна складова струму ротора за виразом (9):

$$I'_{2p} = I'_2 \sin \varphi_2 = 10,6 \cdot \sin(\arccos 0,98) = 1,94 \text{ А.}$$

Визначимо активну складову струму холостого ходу за виразом (10)

$$I_{0a} = I_0 \cos \varphi_0 = 7,51 \cdot 0,12 = 0,91 \text{ А.}$$

Тоді, активна складова струму статора за виразом (11) дорівнює:

$$I_{1a} = I_{0a} + I'_{2a} = 0,91 + 10,42 = 11,33 \text{ А.}$$

Якщо $\cos \varphi_0 = 0,12$, то $\varphi_0 = \arccos 0,12$, то реактивна складова струму холостого ходу за виразом (12) тоді буде дорівнювати:

$$I_{0p} = I_0 \sin \varphi_0 = I_0 \sin(\arccos 0,12) = 7,51 \cdot \sin(\arccos 0,12) = 7,46 \text{ А.}$$

Тоді реактивну складову струму статора визначимо за виразом (13) як:

$$I_{1p} = I_{0p} + I'_{2p} = 7,46 + 1,94 = 9,4 \text{ А.}$$

За виразом (14) струм в обмотці статора дорівнює:

$$I_1 = \sqrt{I_{1a}^2 + I_{1p}^2} = \sqrt{(11,33)^2 + (9,4)^2} = 14,72 \text{ А.}$$

Коефіцієнт потужності за формулою (15):

$$\cos \varphi_1 = \frac{I_{1a}}{I_1} = \frac{11,33}{14,72} = 0,77.$$

Однією із умов стійкої роботи асинхронного двигуна є $U_1 = \text{const}$. Для двигуна АК61-6 відповідно до [5] $U_1 = 220 \text{ В}$ і $m_1 = 3$, тоді потужність, що споживається із мережі за виразом (16) буде становити:

$$P_1 = m_1 U_1 I_{1a} = 3 \cdot 220 \cdot 11,33 = 7476,57 \text{ Вт.}$$

При цьому електричні втрати в статорі визначаємо за виразом (17) і вони становлять:

$$\Delta p_{\text{ел1}} = m_1 I_1^2 R_1 = 3 \cdot (14,72)^2 \cdot 0,7 = 454,97 \text{ Вт.}$$

Магнітні втрати в двигуні визначаємо за виразом (19)

					7.141.190057.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$p_M = P_0 - m_1 I_0^2 R_1 - p_{MX},$$

де p_{MX} - механічні втрати, які визначимо за залежністю $P_0 = f(U_1)$ із дослідів холостого ходу [5] при $U_1 = 0$ як показано на рис. 2.1.

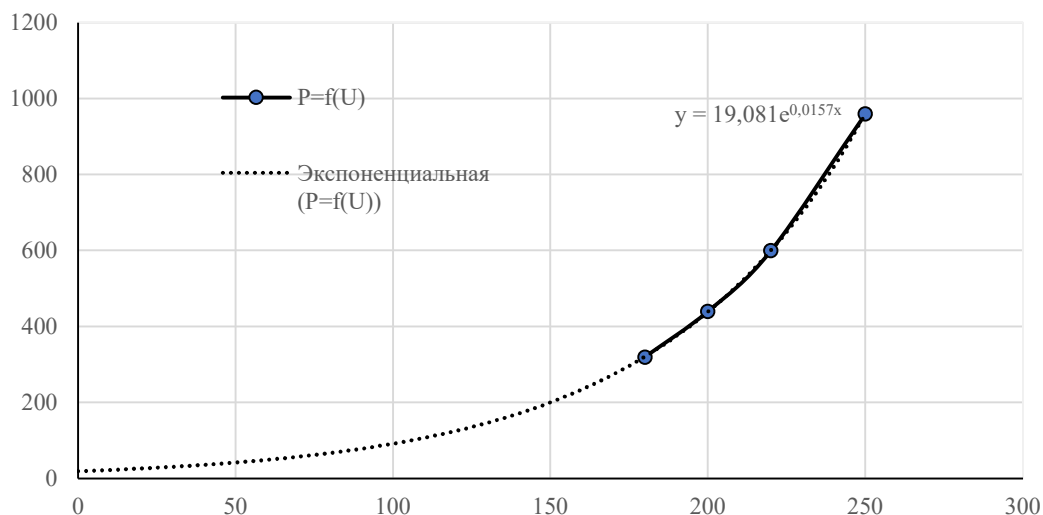


Рис. 2.1 – Визначення величини механічних втрат в двигуні АК61-6 із залежності $P_0 = f(U_1)$

Апроксимуємо експериментальну криву $P_0 = f(U_1)$ експоненційною кривою, яка описується рівнянням:

$$P_0 = 19,081 \cdot e^{0,0157 \cdot U_1}.$$

Відповідно до наведеного рівняння при $U_1 = 0$ $P_0 = 19,081$ Вт, тобто $p_{MX} = 19,1$ Вт.

Тоді магнітні втрати становлять:

$$p_M = P_0 - m_1 I_0^2 R_1 - p_{MX} = 600 - 3 \cdot (7,51)^2 \cdot 0,7 - 19,1 = 462,32 \text{ Вт.}$$

Електромагнітна потужність визначається за виразом (18):

$$P_{ем} = P_1 - (p_M + \Delta p_{ел1}) = 7476,57 - (462,32 + 454,97) = 6559,28 \text{ Вт.}$$

Відповідно до виразу (21) визначимо електричні втрати в роторі

$$\Delta p_{ел2} = s P_{ем} = 0,06 \cdot 6559,28 = 393,56 \text{ Вт.}$$

Додаткові втрати в номінальному режимі за формулою (22):

$$\Delta p_{\text{д ном}} = 0,005 P_{\text{Іном}} = 0,005 \cdot 8642 = 43,21 \text{ Вт.}$$

Для визначення додаткових втрат в неномінальних режимах будемо користуватися виразом (23)

Відповідно до виразу (24) корисна потужність на валу становить:

$$P_2 = P_{\text{ем}} - \Delta p_{\text{ел2}} - \Delta p_{\text{мх}} - \Delta p_{\text{д}} = 6559,28 - 393,56 - 19,1 - 43,21 = 6113,76 \text{ Вт.}$$

За відомим виразом (25) визначимо коефіцієнт корисної дії:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{6113,76}{7476,57} = 0,82.$$

Частота обертання за формулою (26):

$$n = (1 - s) n_1 = (1 - 0,06) \cdot 1000 = 940 \text{ об/хв.}$$

Відповідно до виразу (27) корисний момент на валу двигуна дорівнює

$$M_2 = 9,55 \frac{P_2}{n} = 9,55 \cdot \frac{6113,76}{940} = 62,11 \text{ Н·м.}$$

2.3. Результати аналітичного розрахунку робочих характеристик

В п. 2.2 докладно продемонстровано порядок розрахунку робочих характеристик для випадку номінального режиму, коли ковзання двигуна $s = s_{\text{ном}} = 0,06$. Для отримання робочих характеристик необхідно задатися діапазоном значень (10...15 точок) ковзань, який буде містити значення $s_{\text{ном}}$ та $s_{\text{кр}}$ [2, 3]. Для зручності подальшого порівняння робочі характеристики визначалися в тих самих точках, що й при побудові кругової діаграми. Тобто для наступних значень s : 0; 0,02; 0,05; 0,06; 0,08; 0,11; 0,16; 0,22; 0,29; 0,31; 0,40; 0,59; 0,61 [5]. Для обчислення було використано табличний процесор MS Excel. Результати розрахунків наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Результати розрахунку робочих характеристик

s	0,0001	0,02	0,05	0,06	0,08	0,11	0,16
R_e , Ом	11825,73	51,35	24,62	20,41	15,60	11,00	8,19
Z_e , Ом	11825,73	51,49	24,91	20,76	16,06	11,64	9,03
$\cos \varphi_2$	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,91
I_2' , А	0,02	4,27	8,83	10,60	13,70	18,90	24,36
I_{2a}' , А	0,02	4,26	8,73	10,42	13,31	17,87	22,10
I_{2p}' , А	0,00	0,32	1,35	1,94	3,24	6,17	10,25
I_{1a} , А	0,93	5,17	9,64	11,33	14,22	18,77	23,01
I_{1p} , А	7,46	7,77	8,81	9,40	10,70	13,63	17,71
I_1 , А	7,52	9,34	13,05	14,72	17,79	23,20	29,04
$\cos \varphi_1$	0,12	0,55	0,74	0,77	0,80	0,81	0,79
P_1 , Вт	612,28	3412,09	6359,72	7476,57	9384,46	12391,43	15188,53
P_{el} , Вт	118,65	183,05	357,81	454,97	664,94	1130,15	1770,56
P_{em} , Вт	31,31	2766,71	5539,59	6559,28	8257,20	10798,96	12955,66
P_{e2} , Вт	0,00	64,59	273,81	393,56	655,10	1239,42	2044,79
P_d , Вт	8,57	13,22	25,84	32,86	48,03	81,63	127,89
P_2 , Вт	3,63	2669,80	5220,84	6113,76	7534,97	9458,81	10763,88
η	0,01	0,78	0,82	0,82	0,80	0,76	0,71
n , хв ⁻¹	999,90	976,66	950,57	940,00	920,66	885,23	842,17
M_2 , Н·м	0,03	26,11	52,45	62,11	78,16	102,04	122,06

Продовження таблиці 2.4

s	0,22	0,29	0,31	0,40	0,59	0,61
R_e , ОМ	6,16	4,78	4,51	3,64	2,69	2,64
Z_e , ОМ	7,24	6,11	5,90	5,26	4,65	4,62
$\cos \varphi_2$	0,85	0,78	0,77	0,69	0,58	0,57
I_2' , А	30,39	36,02	37,29	41,84	47,27	47,57
I_{2a}' , А	25,87	28,21	28,54	28,94	27,32	27,14
I_{2p}' , А	15,95	22,40	24,01	30,22	38,57	39,07
I_{1a} , А	26,78	29,12	29,44	29,84	28,23	28,05
I_{1p} , А	23,41	29,86	31,47	37,68	46,03	46,53
I_1 , А	35,57	41,71	43,09	48,07	54,00	54,33
$\cos \varphi_1$	0,75	0,70	0,68	0,62	0,52	0,52
P_1 , Вт	17676,07	19218,39	19433,45	19697,36	18632,41	18513,87
P_{e1} , Вт	2656,65	3653,03	3899,85	4852,21	6123,54	6198,75
P_{em} , Вт	14557,10	15103,04	15071,28	14382,83	12046,55	11852,80
P_{e2} , Вт	3151,35	4374,29	4672,10	5792,27	7157,79	7230,21
P_d , Вт	191,89	263,86	281,69	350,48	442,31	447,74
P_2 , Вт	11194,76	10445,78	10098,40	8220,99	4427,35	4155,75
η	0,63	0,54	0,52	0,42	0,24	0,22
n , хв ⁻¹	783,52	710,37	690,00	597,28	405,82	390,00
M_2 , Н·м	136,45	140,43	139,77	131,45	104,19	101,76

Представимо розраховані залежності для робочих характеристик асинхронного двигуна АК61-6 у вигляді графіків.

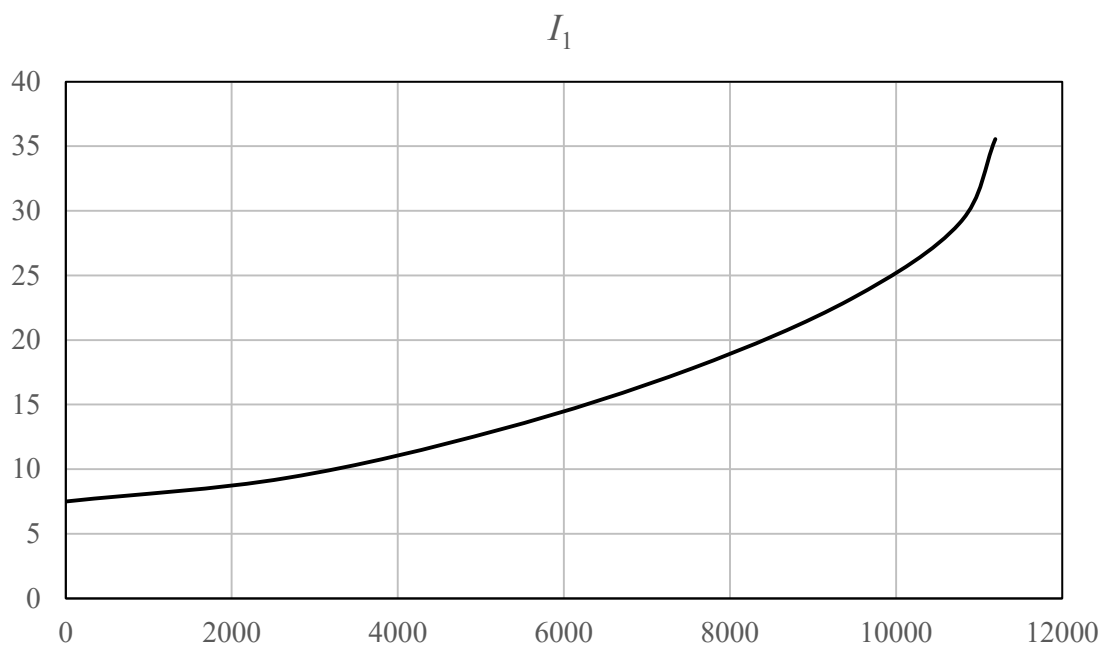


Рис. 2.2 – Графік залежності $I_1 = f(P_2)$ для двигуна АК61-6

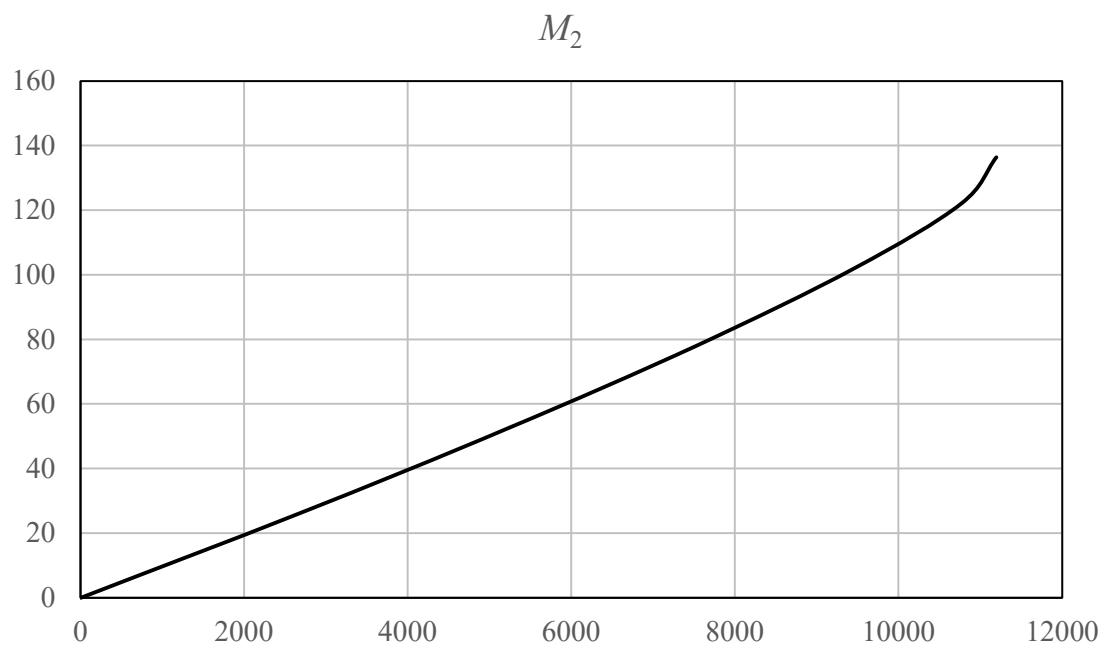


Рис. 2.3 – Графік залежності $M_2 = f(P_2)$ для двигуна АК61-6

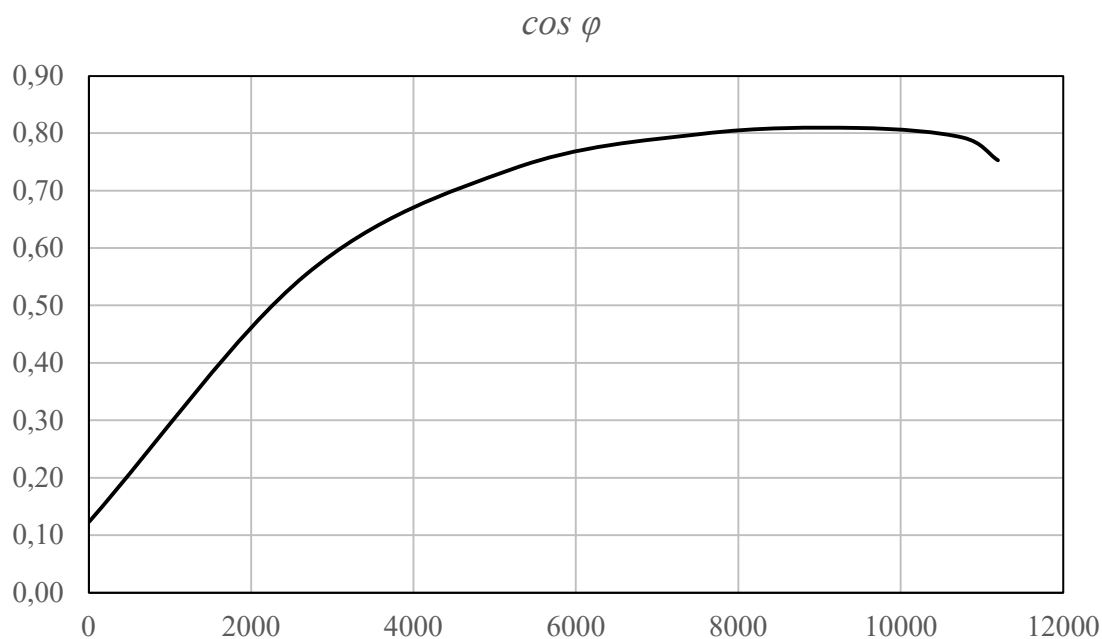


Рис. 2.4 – Графік залежності $\cos \varphi = f(P_2)$ для двигуна АК61-6

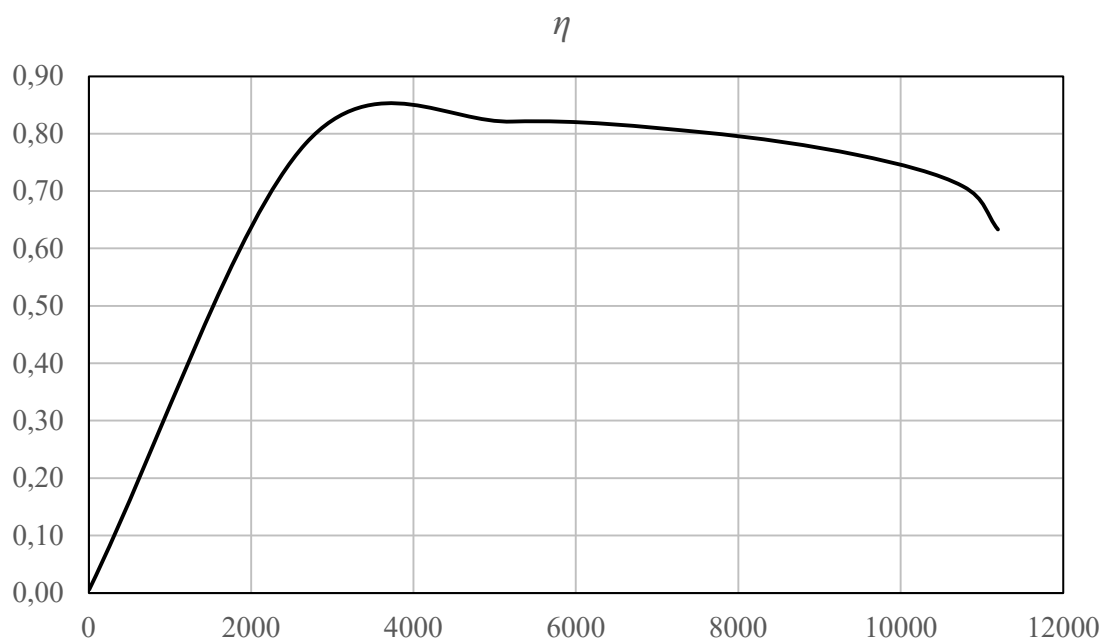


Рис. 2.5 – Графік залежності $\eta = f(P_2)$ для двигуна АК61-6

Представлені на рисунках 2.2 – 2.6 графічні залежності якісно є подібними для відповідних характеристик, що є робочими для асинхронних двигунів і, що їх наведено у відповідних джерелах. Подібність характеру залежностей опосередковано може судити про адекватність отриманих результатів.

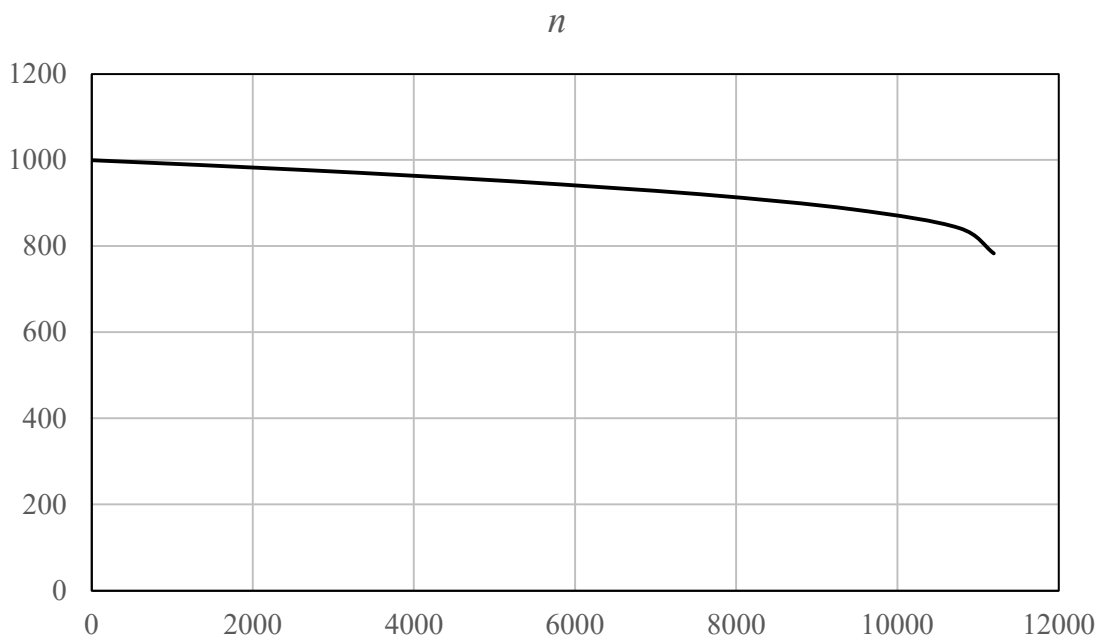


Рис. 2.6 – Графік залежності $n = f(P_2)$ для двигуна АК61-6

2.4. Висновки до розділу

Використовуючи аналітичний метод розрахунку робочих характеристик асинхронних двигунів на основі паспортних даних та результатів дослідів неробочого ходу та короткого замикання, отримано характеристики для двигуна АК61-6.

У порівнянні із графо-аналітичним методом, яким є безпосередньо побудова кругової діаграми, цей метод має більшу кількість проміжних розрахунків. Однак, застосування для них методів комп'ютерних ітераційних обчислень негативного впливу на точність результатів не чинить, а навпаки – дозволяє уникнути значних похибок, притаманних суто графічному методу.

Крім того, для збільшення плавності кривих робочих характеристик при розрахунку аналітичним методом достатньо легко можна збільшувати кількість точок, в яких проводиться обчислення параметрів двигуна. Останнє при певних масштабах кругових діаграм є практично неможливим.

РОЗДІЛ 3

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГУНА АК 61-6, ОТРИМАНИХ РІЗНИМИ МЕТОДАМИ

3.1. Робочі характеристики асинхронного двигуна АК61-6, отримані із кругової діаграми

Представимо робочі характеристики асинхронного двигуна АК61-6, отримані в [5] з побудови кругової діаграми у вигляді таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Робочі характеристики двигуна АК61-6, отримані з кругової діаграми

s	0,0001	0,02	0,05	0,08	0,11	0,16
I_1, A	7,07	9,93	14,86	20,28	25,74	31,05
$\cos \varphi_1$	0,14	0,65	0,78	0,81	0,80	0,77
$P_2, \text{Вт}$	0,00	1523,28	4353,36	6573,60	8013,72	8660,52
η	0,00	0,36	0,57	0,61	0,59	0,55
$n, \text{хв}^{-1}$	1000,00	976,66	950,57	920,66	885,23	842,17
$M_2, \text{Н}\cdot\text{м}$	0,00	32,92	61,69	85,13	102,10	112,40

Використовуючи дані табл. 3.1, представимо робочі характеристики асинхронного двигуна АК61-6 з метою наочності у вигляді графіків відповідних залежностей.

Отримані функціональні залежності відповідають раніше описаному виду для відповідних характеристик [1, 2, 3] і проходять через точки, які відповідають номінальному навантаженню, що дає змогу говорити про адекватність результатів побудови кругової діаграми.

Продовження таблиці 3.1

s	0,22	0,29	0,4	0,59
I_1, A	36,11	40,83	45,17	49,05
$\cos \varphi_1$	0,73	0,68	0,62	0,55
$P_2, \text{Вт}$	8465,16	7443,48	5637,72	3121,80
η	0,49	0,41	0,31	0,17
$n, \text{хв}^{-1}$	783,52	710,37	597,28	405,82
$M_2, \text{Н}\cdot\text{м}$	115,13	110,33	98,18	79,20

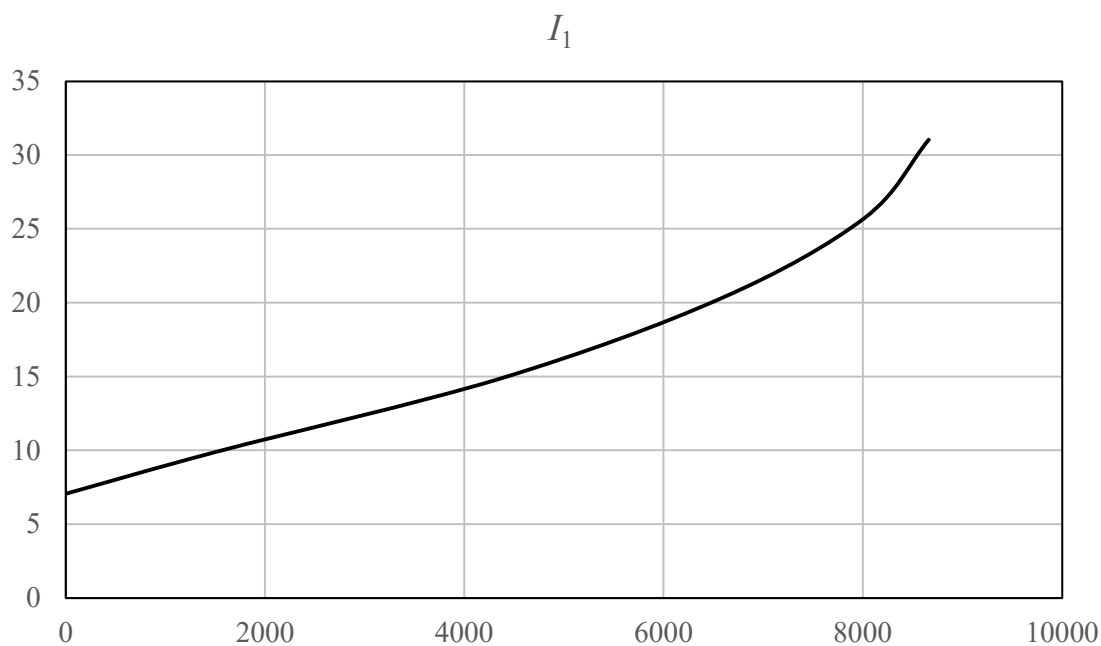


Рис. 3.1 – Графік залежності $I_1 = f(P_2)$ для двигуна АК61-6, отриманий із
кругової діаграми

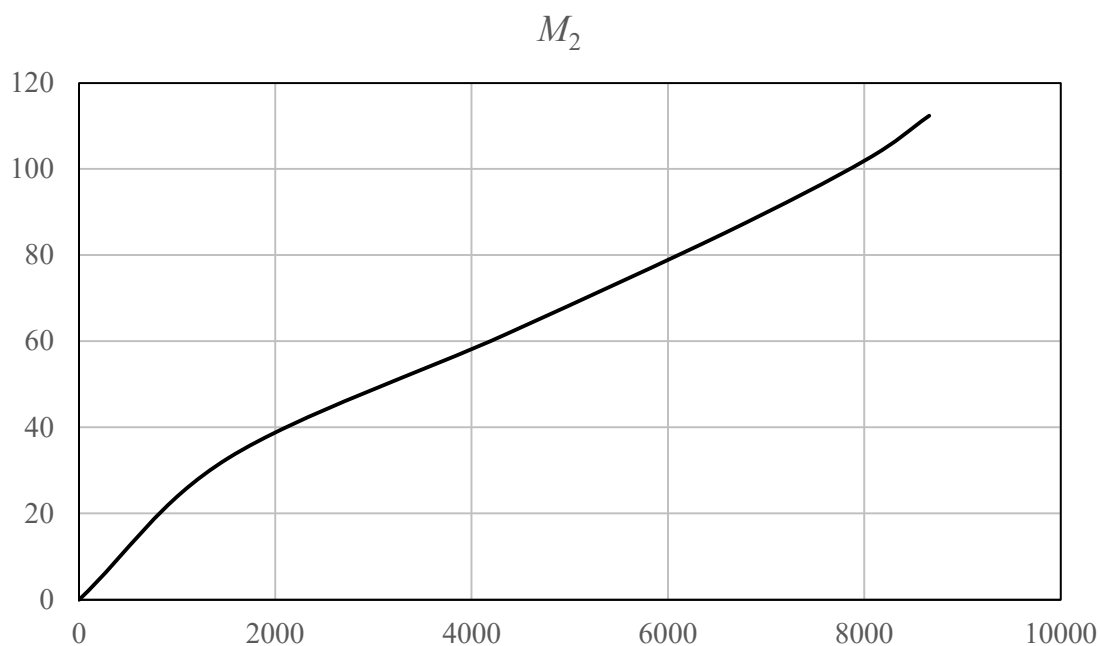


Рис. 3.2 – Графік залежності $M_2 = f(P_2)$ для двигуна АК61-6, отриманий із кругової діаграми

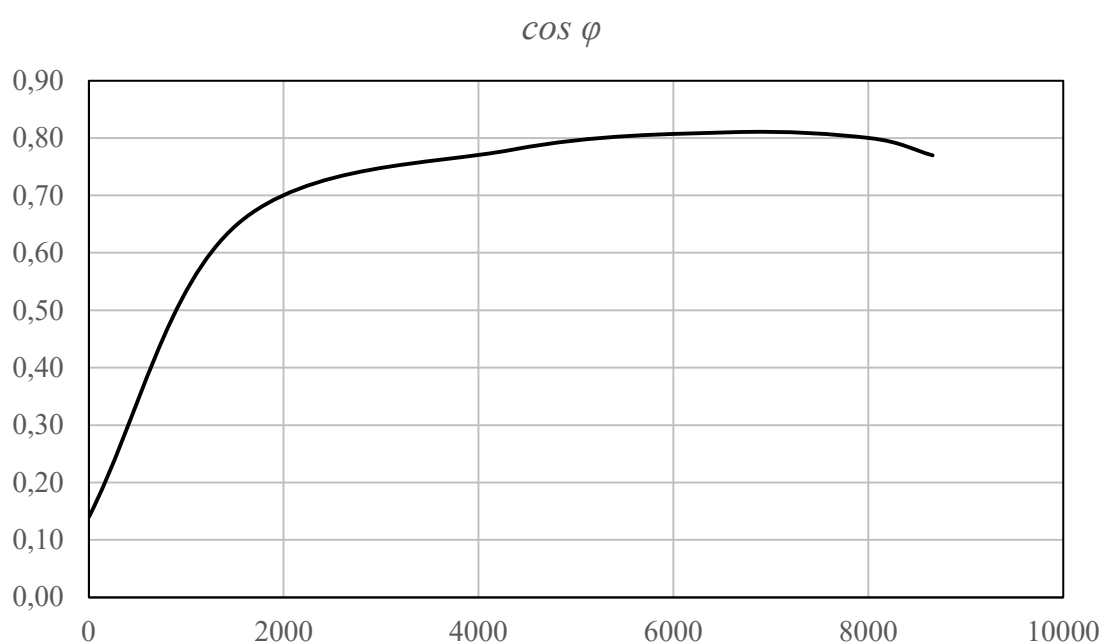


Рис. 3.3 – Графік залежності $\cos \varphi = f(P_2)$ для двигуна АК61-6, отриманий із кругової діаграми

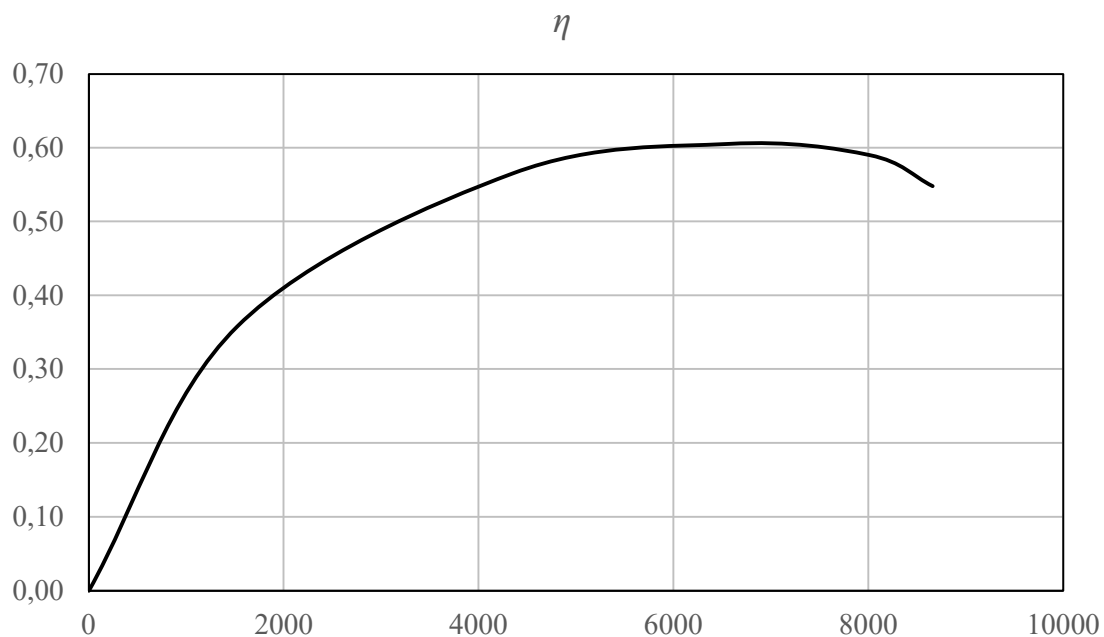


Рис. 3.4 – Графік залежності $\eta = f(P_2)$ для двигуна АК61-6, отриманий із
кругової діаграми

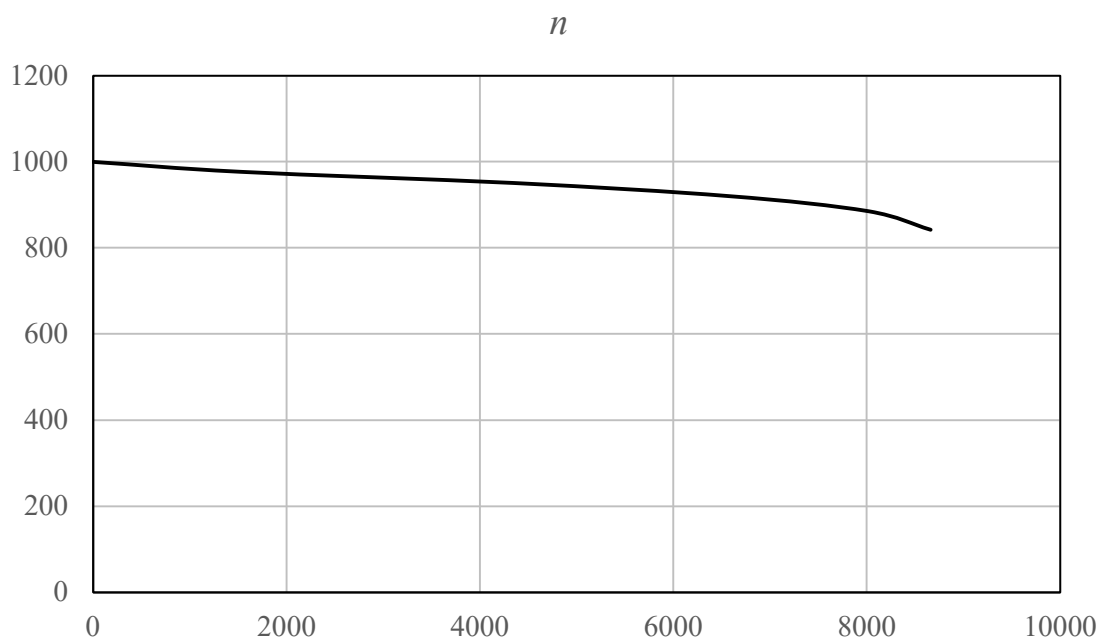


Рис. 3.5 – Графік залежності $n = f(P_2)$ для двигуна АК61-6, отриманий із
кругової діаграми

!

3.2. Порівняння робочих характеристик двигуна АК61-6, отриманих із кругової діаграми та аналітичного методу розрахунку

Як вже було вказано раніше, метод аналітичного розрахунку робочих характеристик асинхронних двигунів на основі паспортних даних та результатів дослідів неробочого ходу та короткого замикання позбавлений характерних неточностей графічного метода, яким є побудова кругової діаграми.

Порівняння робочих характеристик, отриманих за двома методами, будемо виконувати, оцінюючи відхилення величини, отриманої із кругової діаграми, від величини, розрахованої для такого ж значення ковзання аналітичним методом. Тобто будемо визначати відносну похибку, яка чисельно дорівнює відношенню абсолютної похибки до істинного значення величини [6]:

$$\delta x = \frac{\Delta x}{x},$$

де x - істинне значення величини (в нашому випадку – величина, розрахована аналітично);

Δx - абсолютна похибка, яка визначається як: $\Delta x = |x - \bar{x}|$;

$\bar{x}$ - виміряна величина (в нашому випадку – величина, отримана із кругової діаграми).

Отже для будь-якої величини, визначеної в будь-якій точці кругової діаграми, відносна похибка у відсотках буде дорівнювати:

$$\delta x = \frac{|x - \bar{x}|}{x} \cdot 100. \quad (33)$$

Використовуючи вираз (33) визначимо відносні похибки для всіх величин, що відносяться до робочих характеристик, в точках із однаковим значенням ковзання.

					7.141.190057.ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для точки із ковзанням $s=0,02$ визначимо відхилення струму I_1 , коефіцієнта потужності $\cos \varphi_1$, потужності на валу P_2 , коефіцієнта корисної дії η , швидкості обертання n та механічного моменту на валу M_2 .

Відхилення струму δI_1 :

$$\delta I_1 = \frac{|9,34 - 9,93|}{9,34} \cdot 100 = 6,38\%.$$

Відхилення коефіцієнта потужності $\delta \cos \varphi_1$:

$$\delta \cos \varphi_1 = \frac{|0,65 - 0,55|}{0,55} \cdot 100 = 17,39\%.$$

Відхилення потужності на валу δP_2 :

$$\delta P_2 = \frac{|2669,8 - 1523,28|}{2669,8} \cdot 100 = 42,94\%.$$

Відхилення коефіцієнта корисної дії $\delta \eta$:

$$\delta \eta = \frac{|0,78 - 0,36|}{0,78} \cdot 100 = 54,25\%.$$

Відхилення швидкості обертання δn :

$$\delta n = \frac{|976,66 - 976,66|}{976,66} \cdot 100 = 0.$$

Відхилення механічного моменту на валу δM_2 :

$$\delta M_2 = \frac{|26,11 - 32,92|}{26,11} \cdot 100 = 26,12\%.$$

Відхилення величин для інших точок кругової діаграми представимо у вигляді таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – **Відхилення у відсотках величин для всіх точок кругової діаграми**

s	0,00	0,02	0,05	0,08	0,11	0,16	0,22	0,29	0,40	0,59
δI_1	5,92	6,38	13,84	13,99	10,97	6,95	1,52	2,10	6,04	9,16
$\delta \cos$	13,44	17,39	5,66	1,37	1,15	2,85	3,05	2,60	0,14	5,20

Продовження таблиці 3.2

s	0,00	0,02	0,05	0,08	0,11	0,16	0,22	0,29	0,40	0,59
δP_2	100	42,94	16,62	12,76	15,28	19,54	24,38	28,74	31,42	29,49
$\delta \eta$	100	54,25	31,15	24,62	22,69	22,68	23,13	25,10	26,80	26,57
δn	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
δM_2	100	26,12	17,61	8,91	0,05	7,91	15,63	21,44	25,31	23,98

Як видно з табл. 3.2, відхилення δn для всіх точок кругової діаграми становить 0 через те, що визначення швидкості при відповідному ковзанні здійснювалось за відомою формулою $n = (1 - s) \cdot n_1$, яка дає однаковий результат обчислення незалежно від обраного способу визначення робочих характеристик. При подальшому аналізі δn враховуватись не буде.

Покажемо розподіл відхилень результатів, отриманих із кругової діаграми, від результатів, обчислених аналітично $\delta x = f(s)$ по всім точкам на наступних гістограмах.

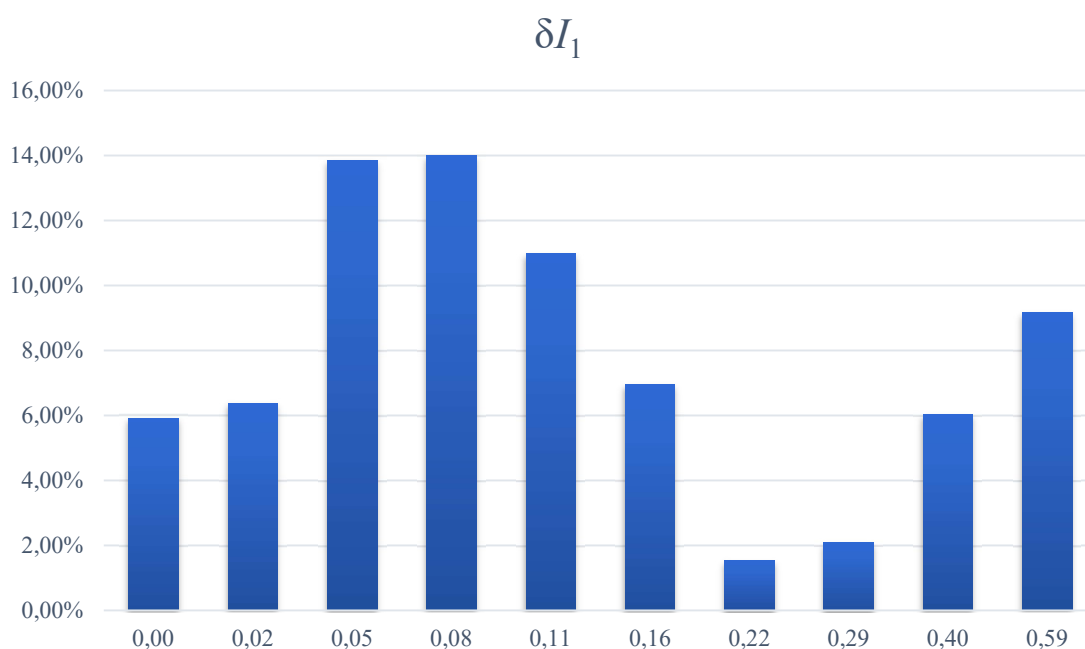


Рис. 3.6 – Графік залежності $\delta I_1 = f(s)$ для всіх точок кругової діаграми

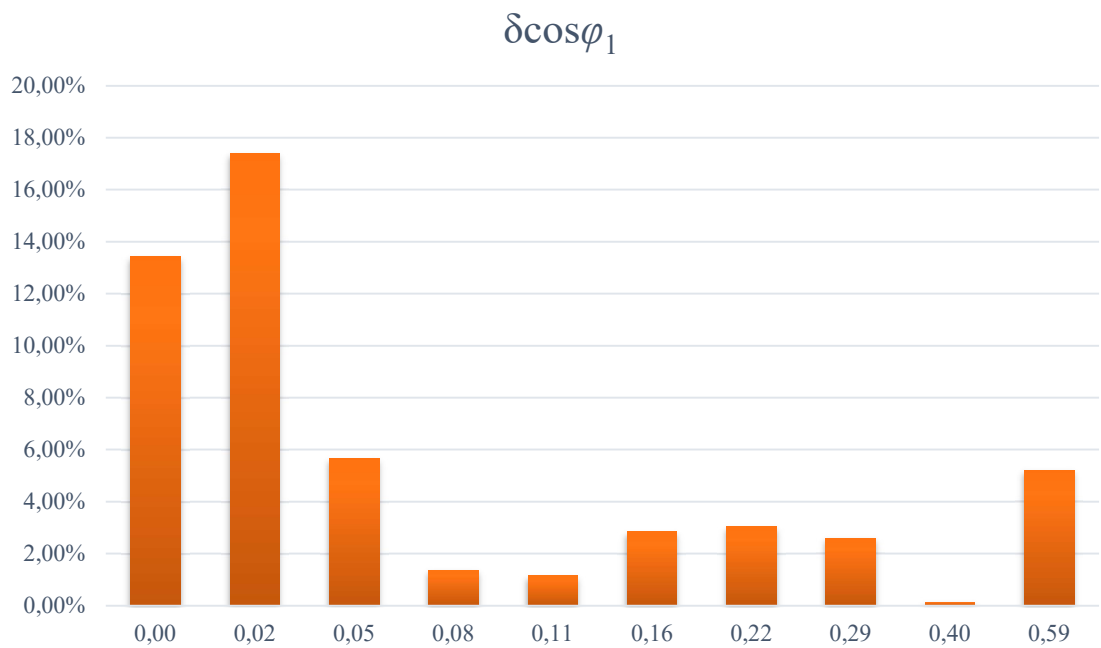


Рис. 3.7 – Графік залежності $\delta \cos \varphi_1 = f(s)$ для всіх точок кругової діаграми

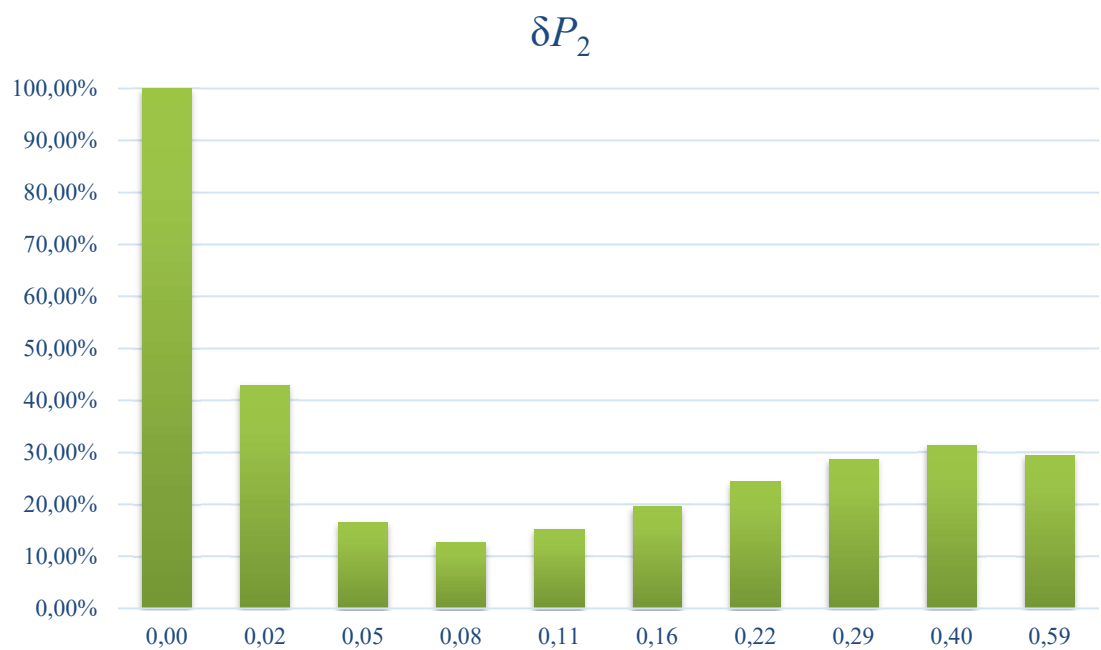


Рис. 3.8 – Графік залежності $\delta P_2 = f(s)$ для всіх точок кругової діаграми

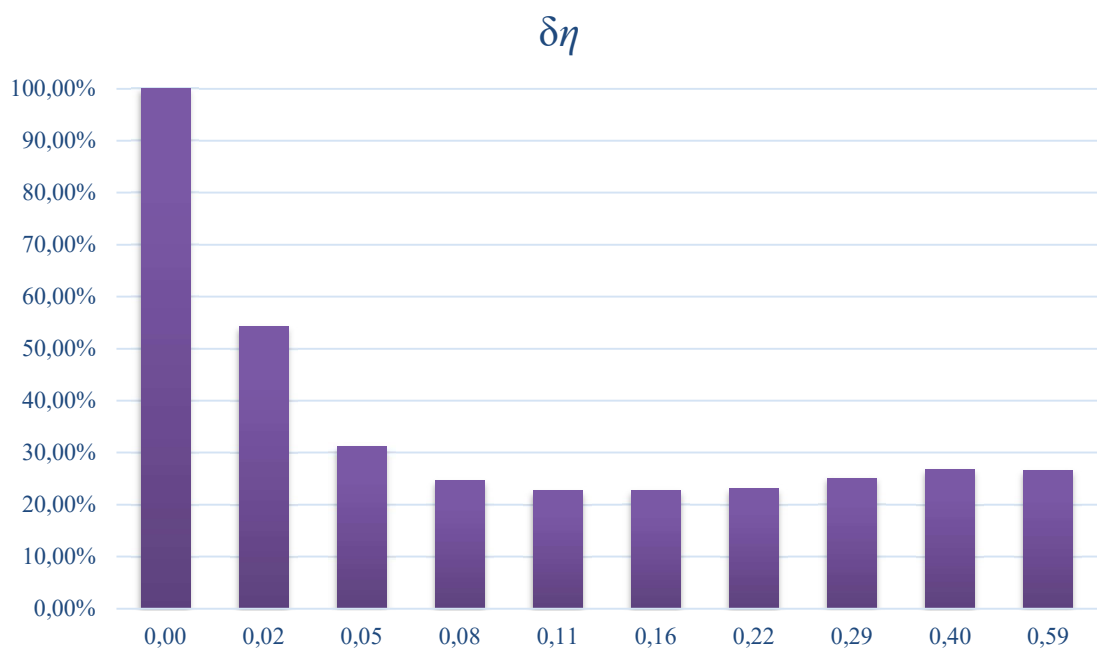


Рис. 3.9 – Графік залежності $\delta\eta = f(s)$ для всіх точок кругової діаграми

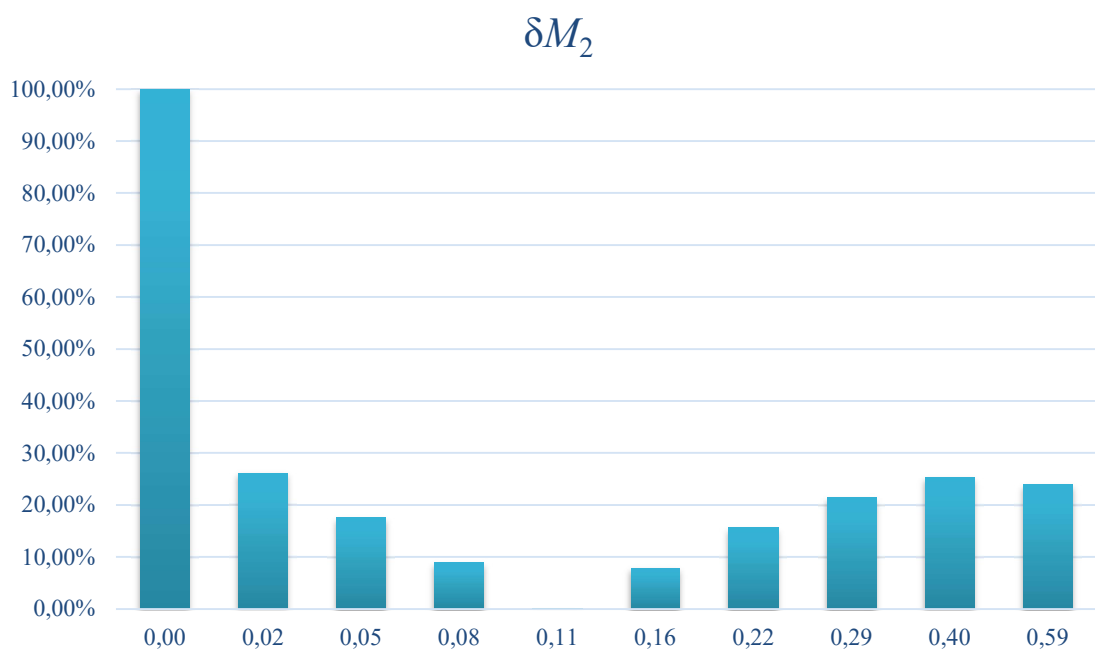


Рис. 3.10 – Графік залежності $\delta M_2 = f(s)$ для всіх точок кругової діаграми

Аналіз графіків на рис. 3.6 – 3.10 показує, що відхилення по основним величинам, отриманим із кругової діаграми, лежить в межах від 12% до 50% для більшості ковзань. Також є окремі величини такі як P_2 , η та M_2 де при

$s = 0$ відхилення становить 100%. Це будемо вважати деякою методологічною похибкою, викликаною неможливістю, наприклад, обчислювати аналітичним методом величини, що відповідають режиму ідеального холостого ходу, тобто $s = 0$, та відсутністю можливості визначити із кругової діаграми в аналогічній точці певних складових втрат в асинхронному двигуні, через що вони були прийняті рівними нулю.

В точках, де ковзання $s \approx s_{\text{ном}} = 0,05 \dots 0,08$ спостерігаємо найменші відхилення робочих характеристик в межах 1,5...15%.

3.3. Висновки до розділу

Отримані результати дозволяють зробити висновки, що побудова кругової діаграми для двигуна потужністю 7 кВт є достатньо ресурсоемним і разом із тим приблизним способом отримання його робочих характеристик.

Ряд основних спрощень і припущень, на яких базується теорія існування кругових діаграм для асинхронних машин, призводять до того, що робочі характеристики отримані із кругової діаграми співпадають із аналітично розрахованими відповідними характеристиками, лише в точках, що відповідають номінальному режиму.

Отже, з метою оцінки енергетичних та інших експлуатаційних показників асинхронних двигунів в широких діапазонах робочих навантажень доцільніше використовувати аналітичний розрахунок, результати якого, як показало дослідження, будуть мати більшу точність.

					7.141.190057.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Вимоги безпеки праці під час експлуатації електричних двигунів

Електричні двигуни є діючими електроустановками, тобто являють собою установки, або частини їх, які перебувають під напругою, або на які напруга може бути подана вмиканням комутаційних апаратів. Серед можливих небезпечних виробничих факторів при експлуатації електричних двигунів є ураження електричним струмом при дотиканні до струмоведучих частин, а також травматизація різних ступенів при потраплянні персоналу під дію обертових частин приводимих механізмів.

Вимоги стосовно безпеки праці, зокрема в частині електробезпеки, застосовуються до електричних двигунів на етапі їх проектування, під час їх промислової експлуатації та при налагоджувальних та періодичних випробуваннях. Основними нормативними документами в цій галузі є відповідно Правила улаштування електроустановок, Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів та Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (НПАОП 40.1-1.21-98).

4.1.1. Вимоги безпеки при монтажі електродвигунів відповідно до [8].

1. Частини електродвигунів і обертові частини, які з'єднують електродвигуни з механізмами (муфти, шківи), повинні мати захисні огороження від випадкових дотиків.

2. Електродвигуни та їх апарати керування і захисту треба заземлювати відповідно до вимог глави 1.7 Правил улаштування електроустановок .

3. Електродвигуни і апарати, за винятком тих, які мають ступінь захисту, не меншу ніж IP44, резистори і реостати всіх виконань має бути встановлено на відстані, не меншій ніж 1 м від конструкцій будівель, виконаних із горючих матеріалів.

4. Кабелі і проводи, які приєднують до електродвигунів, установлених на

					7.141.190057.ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

віброізолювальних основах, на ділянці між рухомою і нерухомою частинами основи повинні мати гнучкі мідні жили.

5. Для групи електродвигунів приводу однієї машини або ряду машин, які здійснюють єдиний технологічний процес, треба, як правило, застосовувати загальний апарат або комплект комутаційних апаратів, якщо це виправдовується вимогами зручності або безпеки експлуатації. У решті випадків кожен електродвигун повинен мати окремі апарати керування.

6. Апарати керування в колах електродвигунів мають вимикати від мережі одночасно всі провідники, які перебувають під напругою.

7. За наявності дистанційного або автоматичного керування електродвигуном будь-якого механізму поблизу останнього має бути встановлено апарат аварійного вимкнення, який унеможливило дистанційний або автоматичний пуск електродвигуна до примусового повернення цього апарата в початкове положення.

8. На корпусах апаратів керування і роз'єднувальних апаратах має бути нанесено чіткі знаки, які дають змогу легко розпізнавати увімкнене і вимкнене положення рукоятки керування апаратом. У випадках, коли оператор не може визначити за станом апарата керування, чи ввімкнено або вимкнено головне коло електродвигуна, потрібно передбачати світлову сигналізацію.

4.1.2. Вимоги безпеки при експлуатації електродвигунів відповідно до [9, 10].

1. На електродвигунах та механізмах, які вони приводять у дію, повинні бути нанесені стрілки, що вказують напрямок обертання їх рухомих частин, а також написи з назвою агрегату, до якого вони належать.

2. На комутаційних апаратах (вимикачах, контакторах, магнітних пускачах, пускорегулювальних пристроях, запобіжниках тощо) повинні бути нанесені написи, що вказують, до якого електродвигуна вони належать.

3. Плавкі вставки запобіжників повинні бути калібровані із зазначенням на клеймі номінальної сили струму вставки. Клеймо ставиться підприємством-виробником або електротехнічною лабораторією. Застосовувати некалібровані плавкі вставки забороняється.

					7.141.190057.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

4. У разі короткочасного припинення електроживлення повинен бути забезпечений самозапуск електродвигунів відповідальних механізмів після повторної подачі напруги, якщо збереження механізмів у роботі необхідне (за умов технологічного процесу) і допустиме за умов безпеки та зниження напруги електромережі.

Перелік електродвигунів відповідальних механізмів, які беруть участь у самозапуску, із зазначенням уставок захистів і допустимого часу перерви живлення затверджує особа, відповідальна за електрогосподарство.

5. Захисти елементів електричної мережі споживачів, а також технологічне блокування вузлів електричної мережі виконуються таким чином, щоб забезпечувався самозапуск електродвигунів відповідальних механізмів.

Для полегшення самозапуску відповідальних механізмів, як правило, повинен бути передбачений захист мінімальної напруги, що вимикає на час зниження (зникнення) напруги електродвигуни, які не беруть участі в процесі самозапуску.

6. Електродвигуни, що тривалий час перебувають у резерві, та пристрої автоматичного вмикання резерву (АВР) повинні оглядатись та випробуватись разом із механізмами відповідно до графіка, затвердженого особою, відповідальною за електрогосподарство. У цьому разі в електродвигунів зовнішнього розташування, які не мають обігріву, а також двигунів на напругу 6 кВ, що тривалий час перебувають у резерві, повинен бути перевірений опір ізоляції обмотки статора і коефіцієнт абсорбції.

7. Електродвигуни з короткозамкненими роторами допускається запускати з холодного стану два рази поспіль, з гарячого - один раз, якщо інструкція підприємства-виробника не передбачає більшої кількості пусків. Наступні пуски допускаються після їх охолодження протягом часу, обумовленого інструкцією підприємства-виробника для відповідного типу електродвигуна.

Повторні увімкнення електродвигунів у разі їх вимкнення основними

					7.141.190057.ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

захистами допускаються після обстеження, проведення контрольних вимірів опору ізоляції і перевірки справності захистів.

Для електродвигунів відповідальних механізмів, що не мають резерву, допускається одне повторне увімкнення після дії основних захистів за результатами зовнішнього огляду двигуна.

Наступне увімкнення електродвигунів у разі дії резервних захистів до з'ясування причин вимкнення заборонене.

8. Для спостереження за пуском і роботою електродвигунів, регулювання технологічного процесу яких здійснюється за значенням сили струму, а також усіх електродвигунів змінного струму потужністю більше ніж 100 кВт на пусковому щитку чи панелі керування встановлюють амперметр, який вимірює силу струму у колі статора електродвигуна (потужністю менше 100 кВт, якщо він передбачений підприємством-виробником). Амперметр установлюють також у колі збудження синхронних електродвигунів. На шкалі амперметра червоною рисою позначають значення допустимої сили струму (вище номінального значення сили струму електродвигуна на 5%).

На електродвигунах постійного струму, призначених для приводу відповідальних механізмів, незалежно від їх потужності необхідно контролювати силу струму якоря.

9. Для контролю наявності напруги на групових щитках і збірках електродвигунів повинні бути встановлені вольтметри або сигнальні лампи.

10. Для забезпечення нормальної роботи електродвигунів напругу на шинах необхідно підтримувати в межах від 100% до 105% від її номінального значення. За необхідності допускається робота електродвигуна з напругою 90-110% від її номінального значення. У разі зміни частоти живильної мережі в межах від мінус 2,5% до плюс 2,5% від номінального значення допускається робота електродвигунів з номінальною потужністю.

11. Вібрація, виміряна на кожному підшипнику електродвигуна, осьовий зсув ротора, розмір повітряного зазору між сталлю статора та ротора, а також в підшипниках ковзання не повинні перевищувати значень, указаних у

					7.141.190057.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

таблицях 22 та 23 додатка 1 та таблиці 43 додатка 2 до Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів.

12. Постійний нагляд за навантаженням електродвигунів, щітковим апаратом, температурою елементів і охолоджувальних середовищ електродвигуна (обмотки і осердя статора, повітря, підшипників тощо), догляд за підшипниками і пристроями підведення охолоджувального повітря, води до повітроохолодників обмоток, а також операції з пуску, регулювання швидкості і зупинки здійснюють електротехнологічні працівники цеху (дільниці), які обслуговують механізм.

13. Електродвигуни, що продуваються і які встановлені в запилених приміщеннях і приміщеннях з підвищеною вологістю, повинні бути обладнані пристроями підведення чистого охолоджувального повітря, кількість якого і параметри (температура, вміст домішок тощо) повинні відповідати вимогам інструкції підприємства-виробника.

14. Щільність тракту охолодження (корпусу електродвигуна, повітропроводів, засувки) необхідно перевіряти не рідше ніж один раз на рік.

15. Індивідуальні електродвигуни зовнішніх вентиляторів охолодження повинні автоматично вмикатися і вимикатися у разі увімкнення та вимкнення основних електродвигунів.

16. Електродвигуни з водяним охолодженням статора чи ротора, а також з умонтованими водяними повітроохолодниками повинні бути обладнані пристроями, що сигналізують про появу води в корпусі. Організація експлуатації обладнання та апаратури систем водяного охолодження, якість конденсату та води повинні відповідати вимогам інструкцій підприємства-виробника.

17. Аварійні кнопки електродвигунів повинні бути опломбовані. Зривати пломби з аварійних кнопок для вимкнення електродвигуна допускається тільки в аварійних випадках. Опломбування аварійних кнопок виконують працівники, визначені особою, відповідальною за електрогосподарство.

18. Періодичність капітальних і поточних ремонтів електродвигунів та

					7.141.190057.ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технічного обслуговування, залежно від умов, у яких вони працюють, визначає особа, відповідальна за електрогосподарство. Залежно від умов поточний ремонт електродвигунів, як правило, здійснюють одночасно з ремонтом привідних механізмів, і його виконують навчені працівники споживача або підрядної організації.

19. Профілактичні випробування і вимірювання на електродвигунах повинні проводитись відповідно до таблиць 22 та 23 додатка 1 до Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів [9].

20. Під час роботи, пов'язаної з доторканням до струмовідних частин електродвигуна або до частин електродвигуна, що обертаються, і механізму, який вони приводять у рух, необхідно зупинити електродвигун і на його пусковому пристрої або ключі керування вивісити плакат «Не вмикати! Працюють люди».

21. Під час роботи на електродвигуні напругою понад 1000 В або механізмі, що приводиться ним у рух, пов'язаний з доторканням до струмовідних, або тих, що обертаються, частин, з електродвигуна має бути знята напруга згідно з вимогами пунктів 4.2.2 і 6.3.13 Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів [10].

22. Під час роботи на електродвигуні заземлення встановлюється на кабелі (з від'єднанням або без від'єднання його від електродвигуна) або на його приєднанні в розподільчому устаткуванні.

23. Під час роботи на електродвигуні напругою до 1000 В або механізмі, який приводиться ним у рух, зняття напруги і заземлення струмовідних жил кабелю слід виконувати згідно з пунктами 4.2.6, 4.2.7, 4.6.7 Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів [10].

24. Перед допуском до роботи на електродвигунах насосів, димососів і вентиляторів, якщо можливе обертання електродвигунів від з'єднаних з ними механізмів, слід зачинити і замкнути на замок засувки і шибери цих механізмів, а також вжити заходів щодо гальмування роторів електродвигунів.

25. Забороняється знімати огороження тих частин електродвигунів, що

					7.141.190057.ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обертаються, під час їх роботи.

26. Операції з вимикання і вмикання електродвигунів напругою понад 1000 В пусковою апаратурою з приводами ручного керування слід проводити з ізолювальної основи із застосуванням діелектричних рукавичок.

27. Обслуговувати щітковий апарат електродвигуна, що працює, допускається одноособово оперативному працівнику або виділеному для цього навченому працівнику з групою III. В цьому разі необхідно дотримуватися таких заходів безпеки:

- працювати в головному уборі і застібнутому спецодязі, остерігаючись захоплення його частинами машини, що обертаються;
- користуватися діелектричним взуттям або гумовими килимками;
- не доторкатися руками одночасно до струмовідних частин двох полюсів або струмовідних і заземлених частин.

Кільця ротора допускається шліфувати на електродвигуні, що обертається, лише за допомогою колодок з ізоляційного матеріалу, із застосуванням захисних окулярів.

28. У багатошвидкісного електродвигуна, що працює, обмотка, яка не використовується, і кабель, що її живить, слід розглядати як такі, що перебувають під напругою.

29. Під час роботи на електродвигуні заземлення може бути встановлене на будь-якій ділянці кабельної лінії, що з'єднує електродвигун з розподільчим устаткуванням (збіркою). Під час роботи на механізмі, не пов'язаній з доторканням до частин, що обертаються, і у випадку роз'єднання з'єднувальної муфти заземлювати кабельну лінію не слід.

30. Якщо на відключеному електродвигуні роботи не провадять або їх перервано на кілька днів, то від'єднана від нього кабельна лінія має бути заземлена з боку електродвигуна. В тих випадках, коли перетин жил кабеля не дозволяє застосовувати переносні заземлення, допускається у електродвигунів напругою до 1000 В заземлювати кабельну лінію мідним провідником, перетином не меншим від перетину жили кабелю, чи з'єднувати між собою

					7.141.190057.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

жили кабелю та ізолювати їх. Таке заземлення і з'єднання жил кабелю слід враховувати в оперативному журналі нарівні з переносним заземленням.

31. На однотипових або близьких за габаритом електродвигунах, встановлених поряд з тим, на якому провадять роботи, слід вивісити плакати «Стій! Напруга» незалежно від того, перебувають вони в роботі чи у резерві.

32. Випробування електродвигуна спільно з виконавчим механізмом слід проводити з дозволу начальника зміни технологічного цеху, в якому вони встановлені.

33. Під час видавання дозволу робиться запис в оперативному журналі технологічного цеху, а про отримання цього дозволу — в оперативному журналі цеху (дільниці), що провадить випробування.

34. Ремонт і налагоджування електросхем електроприводів, не з'єднаних з виконавчим механізмом, регулювальних органів і запірної арматури можна проводити за розпорядженням. Дозвіл на їх випробування дає працівник, який дав розпорядження на виведення електроприводу в ремонт, налагодження. Про це слід зробити запис під час оформлення розпорядження.

35. Вмикання електродвигуна для випробування до повного закінчення роботи здійснюється після виведення бригади з робочого місця. Після випробування провадиться повторний допуск з оформленням у наряді.

Під час виконання роботи за розпорядженням на повторний допуск розпорядження дається знову.

4.1.3. Вимоги безпеки при роботі з вимірювальними приладами та електролічильниками [9, 10].

1. Для забезпечення робіт, що їх провадять в колах вимірювальних приладів і пристроїв релейного захисту, всі вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів струму і напруги слід постійно заземлювати.

2. За необхідності розриву кола струму вимірювальних приладів кола вторинної обмотки трансформатора струму попередньо закорочується на спеціально призначених для цього затискачах.

					7.141.190057.ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Розривати кола, підключені до вторинної обмотки трансформатора струму, забороняється. За необхідності розриву цих кіл вони мають бути попередньо замкнуті перемичкою, встановленою до передбачуваного місця розриву. Під час встановлення перемички слід застосовувати інструмент з ізолювальними рукоятками.

4. Під час роботи на трансформаторах струму або в колах, підключених до їх вторинних обмоток, слід виконувати такі заходи безпеки: затискачі вторинних обмоток до закінчення монтажу кіл, що до них підключаються, мають бути замкнені накоротко. Після приєднання змонтованих кіл до трансформатора струму закоротку слід переносити на найближчу збірку затискачів і знімати тільки після повного закінчення монтажу та перевірки правильності приєднання змонтованих кіл; під час перевірки полярності до подавання імпульсів струму в первинну обмотку прилади слід приєднувати до затискачів вторинної обмотки.

5. Забороняється використовувати шини первинних обмоток як струмопровідні під час монтажних та зварювальних робіт.

6. Перемикання, вмикання і вимикання вимикачів, роз'єднувачів та іншої комутаційної апаратури, пускання і зупинення агрегатів, регулювання режиму їх роботи, необхідні під час налагодження або перевірки пристроїв релейного захисту і автоматики, провадять тільки оперативні працівники.

7. Записувати покази електролічильників та інших вимірювальних приладів, встановлених на щитах керування і в розподільчому устаткуванні, дозволяється:

- одноособово працівникам з групою II за наявності місцевих оперативних працівників і з групою II – без місцевих оперативних працівників;
- працівникам інших організацій з групою III у супроводі місцевого оперативного працівника.

8. Встановлення і зняття електролічильників та інших вимірювальних приладів, підключених до вимірювальних трансформаторів, повинні

					7.141.190057.ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проводити за нарядом зі зняттям напруги два працівники, один з яких повинен мати групу IV, а другий – групу III.

9. Встановлення і зняття електролічильників безпосереднього ввімкнення допускаються проводити за розпорядженням одному працівнику з групою III. Встановлення і зняття електролічильників, а також приєднання вимірювальних приладів виконуються зі зняттям напруги.

4.2 Дії працівників (персоналу) в аварійних (надзвичайних) ситуаціях

Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів [9] у разі виникнення аварійної ситуації передбачено негайне вимкнення електродвигуна персоналом.

Електродвигун (обертова машина) повинен бути негайно відключений від мережі у таких випадках:

- нещасний випадок (чи загроза) з людиною;
- поява диму, вогню або запаху горілої ізоляції з корпусу електродвигуна або його пускорегулювальної апаратури;
- вібрація понад допустимі норми, яка загрожує виходу з ладу електродвигуна або механізму;
- вихід з ладу привідного механізму;
- нагрівання підшипників або контрольованих вузлів понад допустиме значення температури, зазначене в інструкції підприємства-виробника ;
- виникнення КЗ в електричній схемі;
- значне зниження частоти обертання;
- швидке зростання температури обмоток або сталі статора.

В експлуатаційній інструкції можуть бути вказані й інші випадки, за якими електродвигуни (обертові машини) повинні бути негайно вимкнені, а також указаний порядок їх усунення [9].

					7.141.190057.ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. На практиці є декілька способів отримання робочих характеристик асинхронних двигунів – експериментальний, графічний (графо-аналітичний) та аналітичний. Метод безпосереднього навантаження вимагає наявності, як правило, двох однакових за параметрами електричних машин та складного випробувального обладнання (типу стенда взаємного навантаження та ін.) тому на практиці застосовується в обмежених випадках. Графічний метод відомий своєю відносно невеликою точністю через суттєві припущення при побудові власне кругової діаграми та похибках при вимірюванні характерних відрізків, довжини яких входять в розрахунок робочих характеристик. Аналітичний метод позбавлений похибок графічного, так як для його застосування не треба робити ніяких додаткових графічних побудов. Вихідними даними для названого методу є паспортні дані двигуна та результати дослідів холостого ходу і короткого замикання.

2. Використовуючи аналітичний метод розрахунку робочих характеристик асинхронних двигунів отримано характеристики для двигуна АК61-6.

3. У порівнянні із графо-аналітичним методом, цей метод має більшу кількість проміжних підрахунків. Однак, застосування для них методів комп'ютерних ітераційних обчислень дозволяє прискорити розрахунок та уникнути значних похибок, притаманних суто графічному методу.

4. Для збільшення плавності кривих робочих характеристик при розрахунку аналітичним методом достатньо легко можна збільшувати кількість точок, в яких проводиться обчислення параметрів двигуна, що є практично неможливим при певних масштабах кругових діаграм.

5. Відхилення по основним величинам, отриманим із кругової діаграми для двигуна АК61-6, лежить в межах від 12% до 50% для більшості ковзань.

6. В точках, де ковзання $s \approx s_{\text{ном}} = 0,05 \dots 0,08$ спостерігаються найменші відхилення робочих характеристик в межах 1,5...15%.

					7.141.190057.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

7. Побудова кругової діаграми для двигуна потужністю 7 кВт є достатньо ресурсоемним і разом із тим приблизним способом отримання його робочих характеристик.

8. Ряд основних спрощень і припущень, на яких базується теорія існування кругових діаграм для асинхронних машин, призводять до того, що робочі характеристики отримані із кругової діаграми співпадають із аналітично розрахованими відповідними характеристиками, лише в точках, що відповідають номінальному режиму.

9. З метою оцінки енергетичних та інших експлуатаційних показників асинхронних двигунів в широких діапазонах робочих навантажень доцільно використовувати аналітичний розрахунок, результати якого мають більшу точність.

					7.141.190057.ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електричні машини. Трансформатори. Асинхронні машини: навчальний посібник [текст] / Л.В. Дубинець, О.І. Момот, О.Л. Маренич. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2004. – 208 с.
2. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина III. Асинхронні машини: навчальний посібник [текст] / В.В. Грабко, М.П. Разводюк, С.М. Левицький, М.О. Казак. – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 197 с.
3. Електричні машини: навчальний посібник [текст] / Г.Г. Півняк, В.П. Довгань, Ф.П. Шкрабець. – Д.: Національний гірничий університет, 2003. – 327 с.
4. Балійчук О.Ю. Порівняльний аналіз методів отримання робочих характеристик асинхронного двигуна [текст] / О.Ю. Балійчук, М.В. Риженко, В.А. Яременко // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: матеріали 82 Міжнародної науково-практичної конференції, 20 – 21 квітня 2023 р. – Д.: УДУНТ, 2023. – 212-213 С.
5. Риженко М. В. Дослідження робочих характеристик асинхронних двигунів опосередкованим методом : дипломна робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра : спец. 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка [текст] / наук. керівник О. Ю. Балійчук ; Укр. держ. ун-т науки і технологій. Дніпро, 2022. 43 с.
6. Основи теорії похибок фізичних величин. Методичні матеріали для загального фізичного практикуму [текст] / Т.М. Демків, О.І. Конопельник, Я.І Шопа. – Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. І. Франка. 2008. – 20 с.
7. Тягові електричні машини електрорухомого складу: Навчальний посібник [текст] / В.М. Безрученко, В.К. Варченко, В.В. Чумак. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – 252 с.
8. Правила улаштування електроустановок. Зміни та доповнення [текст]. – Х.: Видавництво «Форт», 2016. – 252 с.
9. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів [текст]. – Х.: Видавництво «Форт», 2012. – 374 с.

					7.141.190057.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

10. НПАОП 40.1-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів [текст]. – Х.: Видавництво «Форт», 2008. – 192 с.

					7.141.190057.ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ГРАФІЧНИХ РОБІТ

1. Робочі характеристики двигуна АК 61-6, отримані з кругової діаграми.
2. Розрахунок робочих характеристик двигуна АК 61-6 аналітичним методом.
3. Робочі характеристики двигуна АК 61-6, отримані з аналітичного розрахунку.
4. Порівняльний аналіз.

					7.141.190057.ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

					7.141.190057.ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОБОЧІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГУНА АК 61-6, ОТРИМАНІ З КРУГОВОЇ ДІАГРАМИ

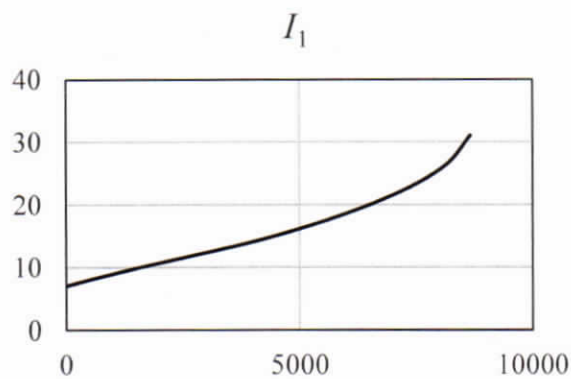


Рис. А.1 - Графік залежності
 $I_1 = f(P_2)$

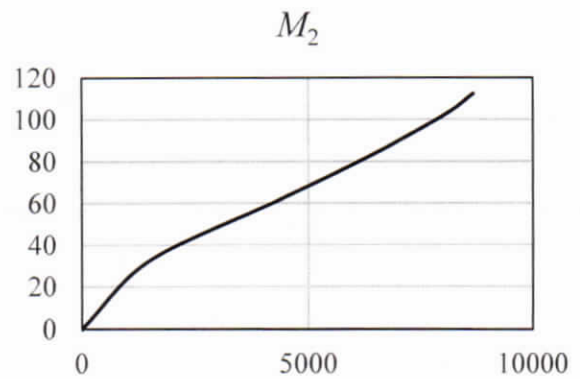


Рис А.2 - Графік залежності
 $M_2 = f(P_2)$

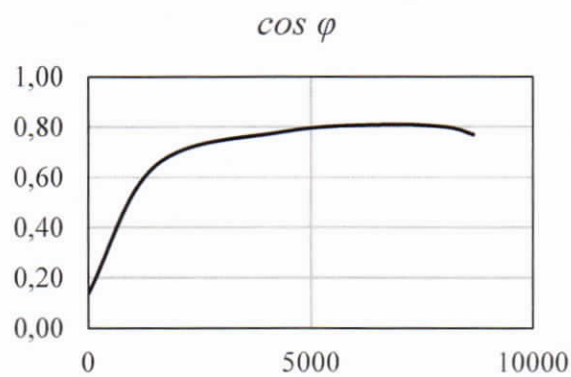


Рис. А.3 - Графік залежності
 $\cos \varphi = f(P_2)$

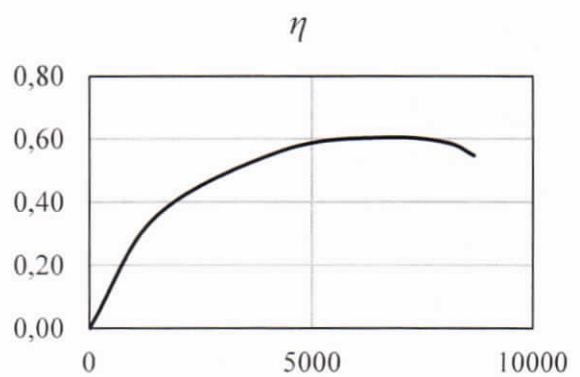


Рис. А.4 - Графік залежності
 $\eta = f(P_2)$

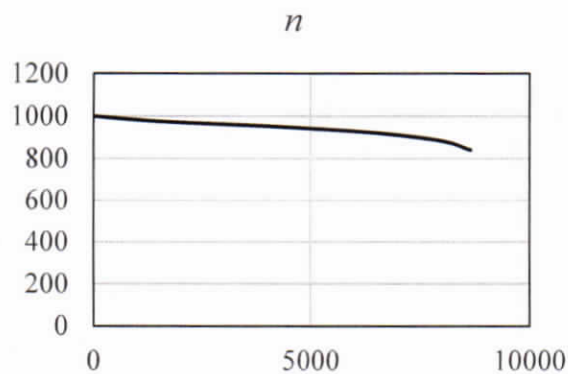
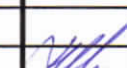


Рис. А.5 - Графік залежності $n = f(P_2)$

					Робочі характеристики двигуна АК 61-6, отримані з кругової діаграми		
					Літ.	Маса	Масштаб
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Порівняльний аналіз опосередкованих методів отримання робочих характеристик асинхронних двигунів		
Розроб.		Рижченко М.В.		20.12			
Перевір.		Балійчук О.Ю.		20.12			
Т. Контр.					Арк.	1	Аркушів 4
Реценз.					Додаток А 7.141.190057.01		
Н. Контр.		Карзова О.О.		20.12			
Затверд.		Муха А.М.		20.12			
					МОН України, УДУНТ Кафедра ЕТЕМ Група ЕЕ2221		

РОЗРАХУНОК РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГУНА АК 61-6 АНАЛІТИЧНИМ МЕТОДОМ

s	0,001	0,02	0,05	0,06	0,08	0,11	0,16	0,22	0,29	0,31	0,40	0,59	0,61
R_e , ОМ	11826	51,4	24,6	20,4	15,6	11,00	8,19	6,16	4,78	4,51	3,64	2,69	2,64
Z_e , ОМ	11826	51,5	24,9	20,8	16,1	11,64	9,03	7,24	6,11	5,90	5,26	4,65	4,62
$\cos \varphi_2$	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,91	0,85	0,78	0,77	0,69	0,58	0,57
I'_2 , А	0,02	4,27	8,83	10,6	13,7	18,90	24,36	30,39	36,02	37,29	41,84	47,27	47,57
I'_{2a} , А	0,02	4,26	8,73	10,4	13,3	17,87	22,10	25,87	28,21	28,54	28,94	27,32	27,14
I'_{2p} , А	0,00	0,32	1,35	1,94	3,24	6,17	10,25	15,95	22,40	24,01	30,22	38,57	39,07
I_{1a} , А	0,93	5,17	9,64	11,3	14,2	18,77	23,01	26,78	29,12	29,44	29,84	28,23	28,05
I_{1p} , А	7,46	7,77	8,81	9,40	10,7	13,63	17,71	23,41	29,86	31,47	37,68	46,03	46,53
I_1 , А	7,52	9,34	13,1	14,7	17,8	23,20	29,04	35,57	41,71	43,09	48,07	54,00	54,33
$\cos \varphi_1$	0,12	0,55	0,74	0,77	0,80	0,81	0,79	0,75	0,70	0,68	0,62	0,52	0,52
P_1 , Вт	612,3	3412	6360	7477	9384	12391	15189	17676	19218	19433	19697	18632	18514
P_{el} , Вт	118,7	183	358	455	665	1130	1771	2657	3653	3900	4852	6124	6199
P_{em} , Вт	31,31	2767	5540	6559	8257	10799	12956	14557	15103	15071	14383	12047	11853
P_{e2} , Вт	0,00	64,6	274	394	655	1239	2045	3151	4374	4672	5792	7158	7230
P_d , Вт	8,57	13,2	25,8	32,9	48,	81,63	127,9	191,9	263,9	281,9	350,5	442,3	447,8
P_2 , Вт	3,63	2670	5221	6114	7535	9459	10764	11195	10446	10098	8221	4427	4156
η	0,01	0,78	0,82	0,82	0,80	0,76	0,71	0,63	0,54	0,52	0,42	0,24	0,22
$n, \times 10^3$	999,9	977	951	940	921	885	842	784	710	690	597	406	390
M_2 , Н·м	0,03	26,1	52,5	62,1	78,2	102,0	122,1	136,5	140,4	139,8	131,5	104,2	101,8

					Розрахунок робочих характеристик двигуна АК 61-6 аналітичним методом							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Порівняльний аналіз опосередкованих методів отримання робочих характеристик асинхронних двигунів			Лім.		Маса	Масштаб	
Розроб.		Рижченко М.В.		10.12							1	1 : 1
Перевір.		Балійчук О.Ю.		20.02								
Т. Контр.												
Реценз.												
Н. Контр.		Карзова О.О.		21.12	Додаток А 7.141.190057.01			МОН України, УДУНТ Кафедра ЕТЕМ Група ЕЕ2221				
Затверд.		Муха А.М.		21.12								
								Арк.		2	Аркушів	4

РОБОЧІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГУНА АК 61-6, ОТРИМАНІ З АНАЛІТИЧНОГО РОЗРАХУНКУ

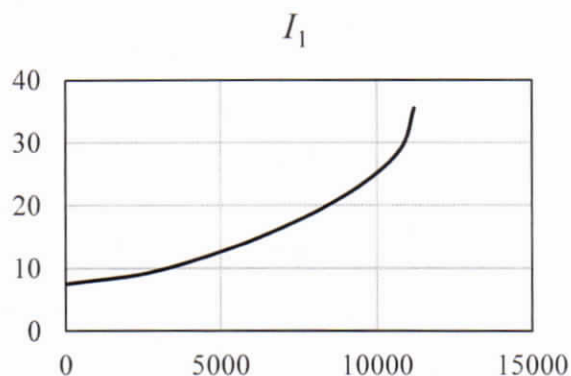


Рис. А.6 - Графік залежності
 $I_1 = f(P_2)$

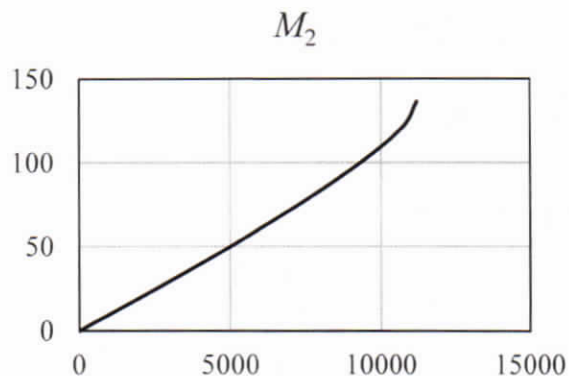


Рис А.7 - Графік залежності
 $M_2 = f(P_2)$

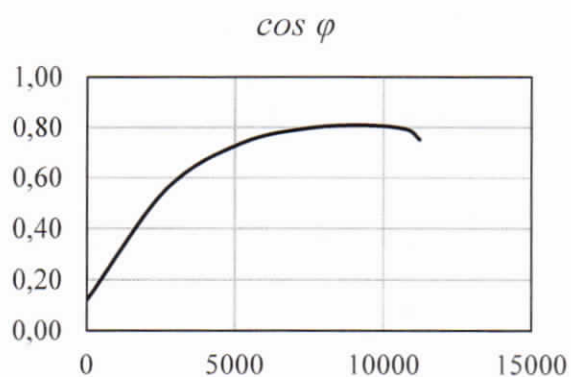


Рис. А.8 - Графік залежності
 $\cos \varphi = f(P_2)$

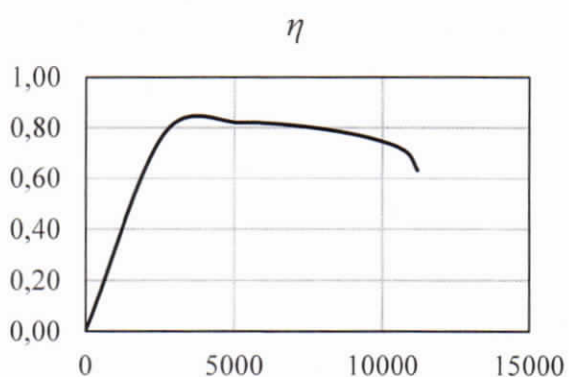


Рис. А.9 - Графік залежності
 $\eta = f(P_2)$

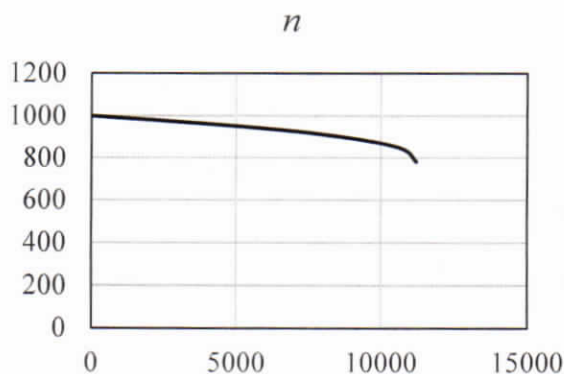


Рис. А.10 - Графік залежності $n = f(P_2)$

					Робочі характеристики двигуна АК 61-6, отримані з аналітичного розрахунку				
					Порівняльний аналіз опосередкованих методів отримання робочих характеристик асинхронних двигунів	Літ.		Маса	Масштаб
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				1	1 : 1
Розроб.		Рижченко М.В.		20.12.23					
Перевір.		Балійчук О.Ю.		20.12.23					
Т. Контр.						Арк.	3	Аркушів	4
Реценз.					Додаток А 7.141.190057.01	МОН України, УДУНТ Кафедра ЕТЕМ Група ЕЕ2221			
Н. Контр.		Карзова О.О.		21.12.23					
Затверд.		Муха А.М.		21.12.23					

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ

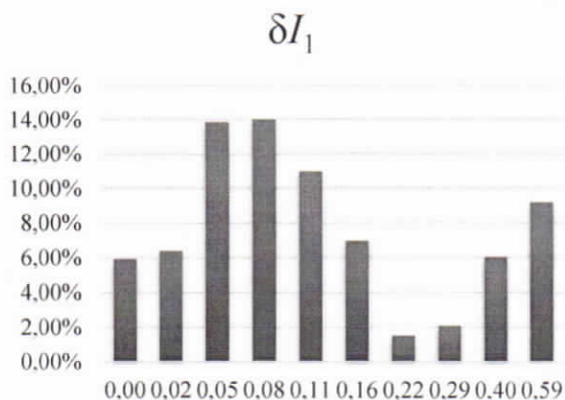


Рис. А.11 - Графік залежності $\delta I_1 = f(s)$

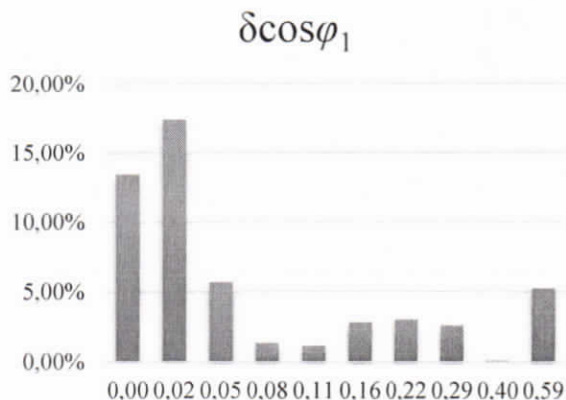


Рис. А.12 - Графік залежності $\delta \cos \varphi_1 = f(s)$

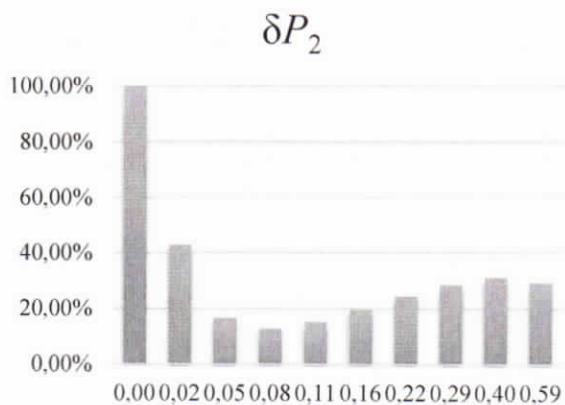


Рис. А.13 - Графік залежності $\delta P_2 = f(s)$

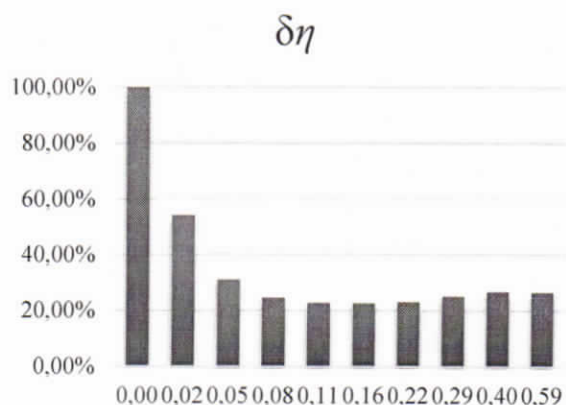


Рис. А.14 - Графік залежності $\delta \eta = f(s)$

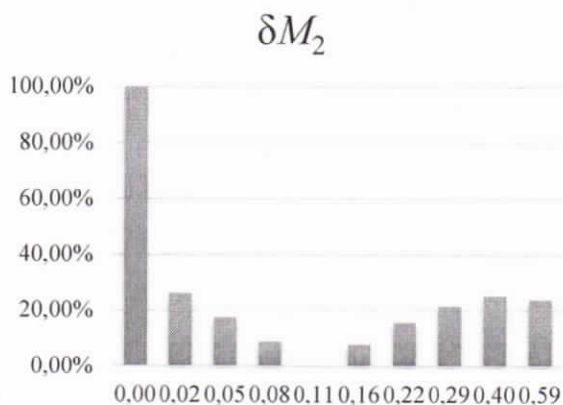


Рис. А.15 - Графік залежності $\delta M_2 = f(s)$

					Порівняльний аналіз			
					Порівняльний аналіз опосередкованих методів отримання робочих характеристик асинхронних двигунів	Літ.	Маса	Масштаб
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			1	1 : 1
Розроб.		Рижченко М.В.		20.12.23				
Перевір.		Балійчук О.Ю.		20.12.23				
Т. Контр.					Додаток А 7.141.190057.01	Арк.	4	Аркушів 4
Реценз.						МОН України, УДУНТ Кафедра ЕТЕМ Група ЕЕ2221		
Н. Контр.		Карзова О.О.		20.12.23				
Затверд.		Муха А.М.		20.12.23				