

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

Тема: «Дослідження електродвигуна постійного струму з паралельним збудженням»

Мета. По дослідних даних побудувати механічну, швидкісну, робочі характеристики двигуна постійного струму з паралельним збудженням. Визначити способи регулювання частоти обертання, коефіцієнт корисної дії.

Обладнання: віртуальна лабораторія Multisim: двигун постійного струму 2ПН100L УХЛ4, джерело постійної напруги, пусковий та регулювальний реостати, амперметри, механічне навантаження, тахометр.

Пояснення до роботи

Колекторні машини мають властивість оборотності, тобто вони можуть працювати як у режимі генератора, так і в режимі двигуна. Тому якщо машину постійного струму підключити до джерела енергії постійного струму, то в обмотці збудження й в обмотці якоря машини з'являться струми. Взаємодія струму якоря з полем збудження створює на якорі електромагнітний момент M , який є не гальмуючим, як у генераторі, а обертаючим.

Під дією електромагнітного моменту якоря машина почне обертатися, тобто машина буде працювати в режимі двигуна, споживаючи з мережі електричну енергію й перетворюючи її в механічну. У процесі роботи двигуна його якор обертається в магнітнім полі. В обмотці якоря індуктується ЕРС E_a . По своїй природі вона не відрізняється від ЕРС, що наводиться в обмотці якоря генератора. У двигуні ж ЕРС направлена проти струму якоря I_a , і тому її називають протиелектрорушійною силою (проти-ЕРС) якоря (мал. 4.1).

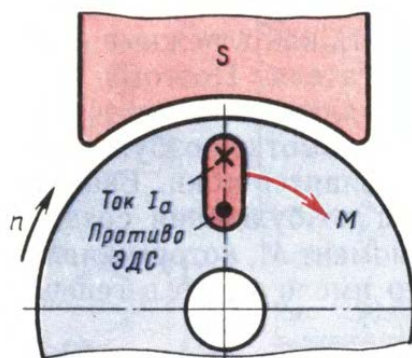


Рис. 4.1. Напрямок противо-ЕРС в обмотці якоря двигуна

Залежно від способу збудження двигуни постійного струму, так само як і генератори, розділяють на двигуни з збудженням від постійних магнітів (магнітоелектричні) і з електромагнітним збудженням. Останні у відповідності зі схемою включення обмотки збудження щодо обмотки якоря підрозділяють на двигуни *паралельного* (шунтові), *послідовного* (серієсні) і *змішаного* (компаундні) порушення.

Для двигуна, що працює з постійною частотою обертання,

$$U = E_a + I_a \Sigma r .$$

Відповідно до формули ЕДС $E_a = c_e \Phi n$ частота обертання двигуна (об/хв)

$$n = \frac{E_a}{c_e \Phi} = \frac{U - I_a \Sigma r}{c_e \Phi} ,$$

де Σr - загальний опір ланцюга якоря; Φ - магнітний потік збудження; тобто *частота обертання двигуна прямо пропорційна напрузі й обернено пропорційна магнітному потоку збудження*. Фізично це пояснюється тим, що підвищення напруги U або зменшення потоку Φ спричиняє збільшення різниці $(U - E_a)$, це, у свою чергу, веде до росту струму I_a ($I_a = \frac{U - E_a}{\Sigma r}$). Внаслідок цього зростий струм підвищує обертаючий момент, і якщо при цьому навантажувальний момент залишається незмінним, то частота обертання двигуна збільшується.

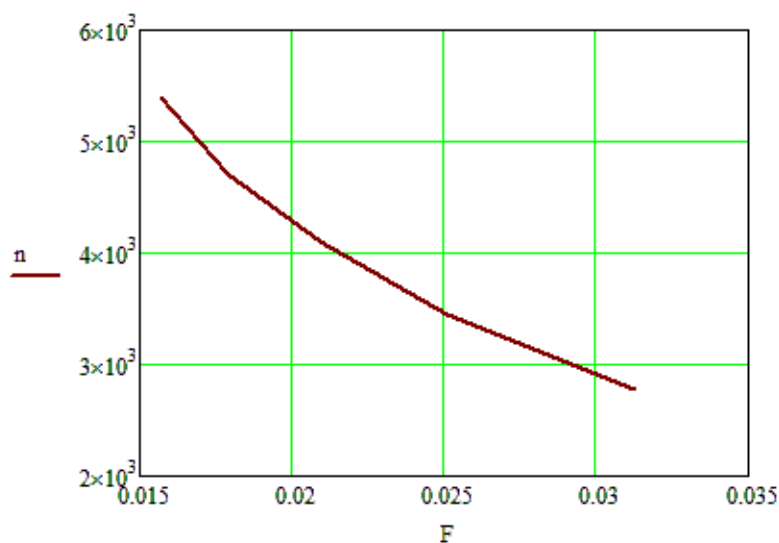


Рис. 4.2. Залежність швидкості обертання (n) двигуна постійного струму на холостому ході від величини магнітного потоку (F)

Таким чином, *регулювати частоту обертання двигуна можна зміною або напруги U , що підводиться до двигуна, або основного магнітного потоку Φ , або електричного опору в ланцюзі якоря Σr .*

Напрямок обертання якоря залежить від напрямків магнітного потоку збудження Φ і струму в обмотці якоря. Тому, змінивши напрямок якої-небудь із зазначених величин, можна змінити напрямок обертання якоря. Слід мати на увазі, що перемикання загальних затискачів рубильника не дає зміни напрямку обертання якоря, тому що при цьому одночасно змінюється напрямок струму й в обмотці якоря, і в обмотці збудження.

Пуск двигуна. Струм якоря двигуна визначається формулою ($I_a = \frac{U - E_a}{\Sigma r}$). Якщо прийняти U й Σr незмінними, то струм I_a залежить від проти-ЕРС E_a . Найбільшого значення струм I_a досягає при пуску двигуна в хід. У початковий момент пуску якоря двигуна нерухомий ($n = 0$) і в його обмотці не індуктується ЕРС ($E_a = 0$). Тому при безпосередньому підключенні двигуна до мережі в обмотці його якоря виникає пусковий струм

$$I'_a = \frac{U}{\Sigma r}.$$

Звичайний опір Σr невеликий, тому значення пускового струму досягає неприпустимо великих значень, що в 10-20 разів перевищують номінальний струм двигуна.

Такий великий пусковий струм досить небезпечний для двигуна. По-перше, він може спричинити в машині вогонь по колу, а по-друге, при такому струмі у двигуні розвивається надмірно великий пусковий момент, який спричиняє ударну дію на обертові частини двигуна й може механічно їх зруйнувати. І нарешті, цей струм викликає різке спадання напруги в мережі, що несприятливо відбивається на роботі інших споживачів, включених у цю мережу. Тому пуск двигуна безпосереднім підключенням у мережу (безреостатний пуск) звичайно застосовують для двигунів потужністю не більш 0,7-1,0 кВт. У цих двигунах завдяки підвищеному опору обмотки якоря й невеликим обертовим масам значення пускового струму лише в 3-5 раз перевищує номінальний, що не представляє небезпеки для двигуна. Що ж стосується двигунів більшої потужності, то при їхньому пуску для обмеження пускового струму використовують пускові реостати (ПР), що включаються послідовно в ланцюг якоря (реостатний пуск).

У міру розгону якоря двигуна важіль пускового реостата перемикають у положення з меншим опором, наприкінці пуску його опір дорівнює нулю

($R_n = 0$). Опір пускового реостата вибирають звичайно таким, щоб найбільший пусковий струм перевищував номінальний не більш ніж в 2-3 рази.

Через те, що обертаючий момент двигуна M прямо пропорційний потоку Φ , то для полегшення пуску двигуна паралельного й змішаного збудження опір реостата в ланцюзі збудження слід повністю вивести ($R_p = 0$). Потік збудження Φ у цьому випадку одержує найбільше значення й двигун розвиває необхідний обертаючий момент при меншому струмі якоря.

Двигун паралельного збудження. Схема включення в мережу двигуна паралельного збудження показана на мал. 4.3. Характерною рисою цього двигуна є те, що струм в обмотці збудження не залежить від струму навантаження (струму якоря).

Із збільшенням гальмівного моменту на валу момент обертання автоматично збільшується за рахунок струму I_a ($M = c_M \Phi I_a$) доти, доки при деякому n не настає рівність гальмівного моменту і моменту обертання. Таким чином, кожному навантаженню відповідає деяка частота обертання.

Експлуатаційні властивості двигуна визначаються його механічною характеристикою $n = f(M)$ (мал. 4.4, а) і робочими характеристиками, під якими розуміють залежність частоти обертання n , струму якоря I_a (I_a), моменту M , що обертає η , ККД від потужності P_2 на валу двигуна при постійних напрузі живлення ($U = \text{const}$) і струмі збудження ($I_f = I_e = \text{const}$) (мал. 4.4, б).

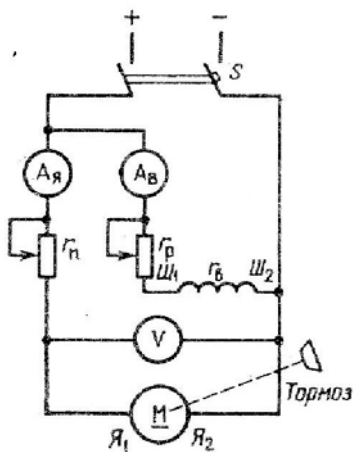


Рис. 4.3. Схема включення двигуна з паралельним збудженням

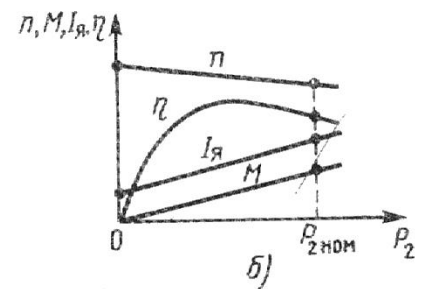
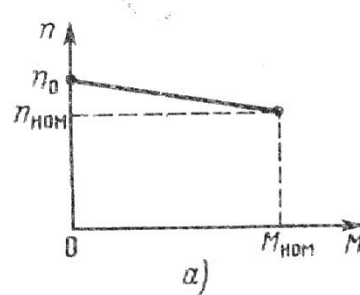


Рис. 4.4. Характеристики двигуна паралельного збудження:
а) механічна; б) робочі

Характерною властивістю двигуна з паралельним збудженням є майже постійна частота обертання при зміні навантаження на його валу. Враховуючи

невелику зміну частоти обертання, говорять, що двигун паралельного збудження має «жорсткі» механічну $n = f(M)$ й робочу $n = f(P_2)$ характеристики.

Електродвигуни постійного струму серії 2ПН призначені для роботи в регульованих автоматизованих електроприводах постійного струму. Застосовуються в приводах подачі металорізальних верстатів, промислових роботах, маніпуляторах і іншому виробничім устаткуванні.



Рис. 4.5. Електродвигун 2ПН100L УХЛ4.

Структура умовної позначки 2ПН ХХ Х4:

2 – порядковий номер серії;

П – електрична машина постійного струму;

Н – виконання по роду захисту й способу охолодження;

Х – висота осі обертання, мм (90;100);

Х – умовна довжина сердечника якоря (М-Перша довжина; L-Друга довжина);

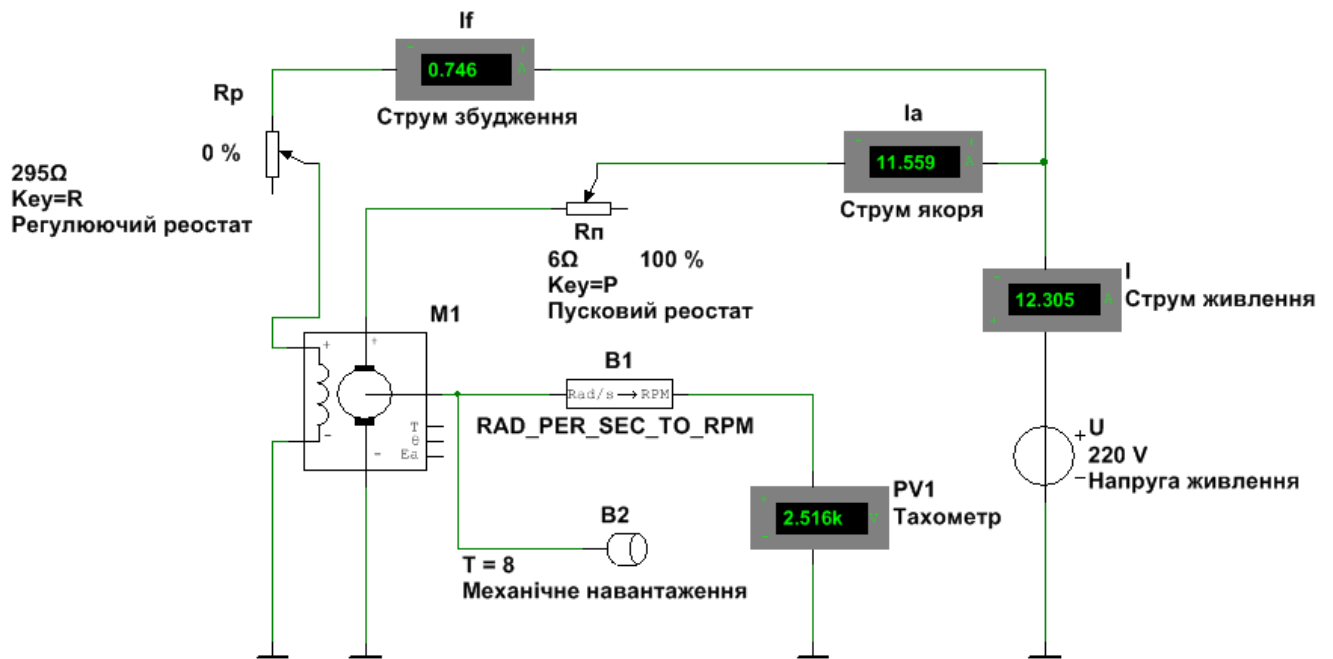
Х4 – кліматичне виконання (УХЛ, ПРО).

Таблиця 4.1. Технічні характеристики двигуна 2ПН100L УХЛ4

Потужність, Вт	Номінальний момент, Н*м	Напруга живлення обмоток, В	Струм якоря, А	Швидкість обертання вала, об/хв		ККД, %
				номінальна	максимальна	
1700	7,38	110	18,75	2200	4000	77
		220	9,29			78

Порядок виконання роботи

1. Запустити програму Multisim і зібрати схему, зазначену на малюнку 4.6. (Файл [lr4.ms12](#)).



Мал. 4.6. Схема для зняття характеристик двигуна постійного струму з паралельним збудженням.

Зібрати електричну схему відповідно малюнку, ввести повністю пусковий реостат R_D (опір 100%). Регульовальний реостат R_p у колі збудження має бути виведений (опір 0%). Надати зібрану схему для перевірки викладачу.

2. Побудова графіку залежності швидкості обертання.

Увімкнути живлення, натиснувши кнопку або . По мірі того, як збільшується частота обертання валу, поступово вивести пусковий реостат до кінця (опір 0%). Встановити, як змінюється частота обертання якоря при зміні опору в колі якорю.



Встановити, як змінюється частота обертання якоря при зміні опору в колі збудження (відповідно, зміні струму збудження і магнітному потоку). Для R_p 0%, 25%, 50%, 75% і 100% зняти покази струму збудження I_f (амперметр PA1) та швидкості обертання n (тахометр PV1). Результати занести в таблицю 4.2.

Магнітний потік в обмотці збудження $\Phi = L_{of} I_f$. Індуктивність обмотки збудження $L_{of} = 0,042 \text{ Гн}$. Розрахувати для вимірних струмів збудження відповідні магнітні потоки, занести в таблицю 1.

Таблиця 4.2. Дослідження залежності швидкості обертання від магнітного потоку

№	Опір регулювального реостату, %	Струм I_f в обмотці збудження, А	Магнітний потік Φ в обмотці збудження, Вб	Швидкість n обертання валу (холостий хід), об/хв
1	0			
2	25%			
3	50%			
4	75%			
5	100%			

Побудуйте по точках графік залежності швидкості обертання двигуна на холостім ході від магнітного потоку збудження (з'єднавши точки плавною лінією).

Виведіть регулювальний реостат R_p у положення 0%, а пусковий реостат R_n введіть у положення 100%. Вимкніть живлення схеми, натиснувши кнопку  або .

У висновках по роботі наведіть формулу залежності частоти обертання двигуна від величину магнітного потоку обмотки збудження. Проаналізуйте, чи відповідає побудований вами графік залежності $n = f(\Phi)$ цій формулі; чи відповідає цій формулі зміна швидкості обертання при зміні опору в колі якорю. Чому обрив кола збудження є аварійним режимом для двигунів постійного струму з паралельним збудженням?

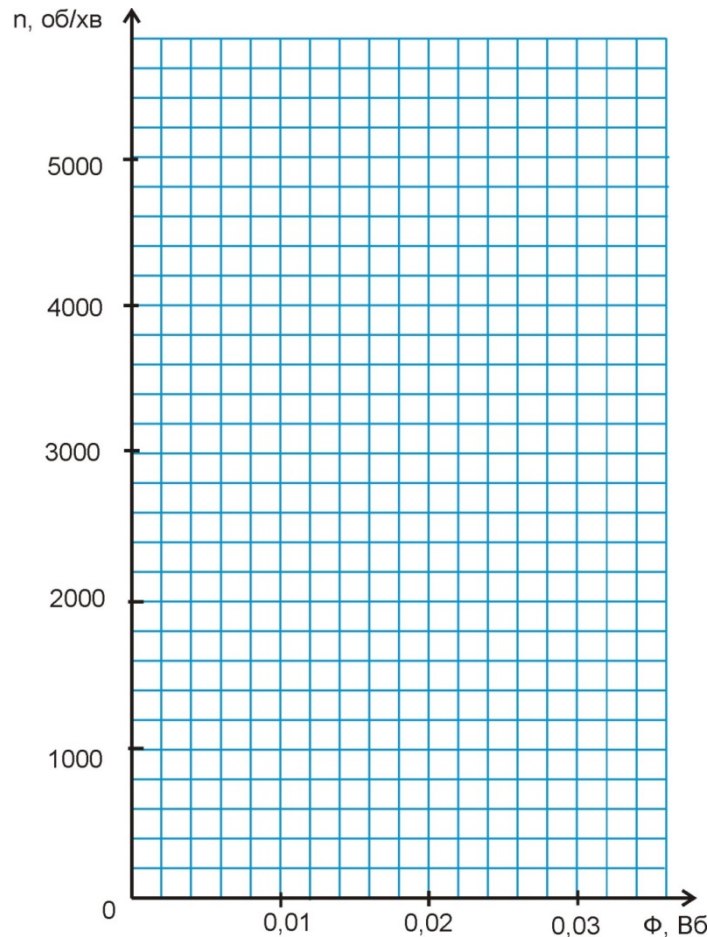








Рис. 4.7. Графік залежності частоти обертання валу двигуна на холостому ході від величини магнітного потоку

3. Побудова механічної та робочих характеристик.

Увімкнути живлення, натиснувши кнопку  або . По мірі того, як збільшується частота обертання валу, поступово вивести пусковий реостат до кінця (опір 0%).

Гальмівний момент двигуна можна міняти з допомогою гальмівного пристрою.



При незмінній напрузі живлення $U = 220\text{В}$, виведеному пусковому реостаті ($R_n = 0\%$) та незмінному магнітному потоці збудження ($R_p = 0\%$) гальмівним пристроєм $B2$ встановити на валу двигуна режим холостого ходу (постійний момент $0\text{ Н}\cdot\text{м}$). Тахометром $PV1$ виміряти частоту обертання вала, струм якоря I_a , повний струм, що споживається, I , записати покази усіх приладів у таблицю 4.3.

Пусковий реостат R_n введіть у положення 100%. Вимкніть живлення схеми, натиснувши кнопку  або . Змініть за допомогою гальмівного пристрою B_2 механічне навантаження на валу, встановивши момент $M = 4\text{ Н}\cdot\text{м}$. Увімкнути живлення, натиснувши кнопку  або . По мірі того, як збільшується частота обертання валу, поступово вивести пусковий реостат до

кінця (опір 0%). Тахометром PV1 виміряти частоту n обертання вала, струм якоря I_a , повний струм, що споживається, I , записати покази усіх приладів у таблицю 4.3.

Таблиця 4.3. Дані для побудови механічної та робочих характеристик

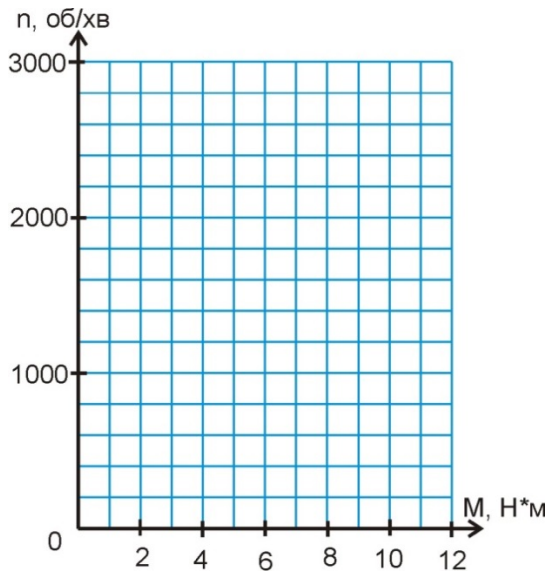
№ дослід у	U , В	I_f , А	M , Н·м	n , об/хв	I_a , А	I , А	P_2 , Вт	P_1 , Вт	η , %
1	220	0,746	12						
2	220	0,746	8						
3	220	0,746	4						
4	220	0,746	0						

Аналогічно виміряйте частоту n обертання вала, струм якоря I_a , повний струм, що споживається, I для моментів навантаження 8 Н·м (близький до номінального) та 12 Н·м (більше номінального). Дані занесіть у таблицю 4.3. Вимкніть живлення схеми, натиснувши кнопку  або .

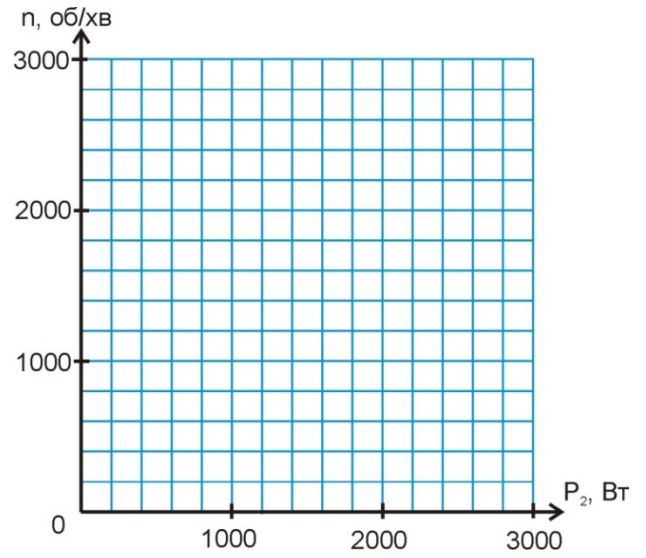
По формулі $P_2 = M\omega = M \frac{2\pi n}{60} = \frac{Mn}{9,554}$ находимо потужність, що віддається (корисну) - P_2 ; по формулі $P_1 = UI$ находимо потужність, що підводиться (споживається) - P_1 ; по формулі $\eta = \frac{P_2}{P_1}$ находимо коефіцієнт корисної дії (ККД) двигуна. Отримані результати (для всіх дослідів) заносимо в таблицю 4.3.

Використовуючи дані таблиці, побудувати графік механічної характеристики $n = f(M)$ та графіки робочих характеристик електродвигуна $n = f(P_2)$ (так звана «швидкісна характеристика»), $M = f(P_2)$, $I_a = f(P_2)$, $\eta = f(P_2)$. При побудові графіків точки з'єднувати плавною лінією.

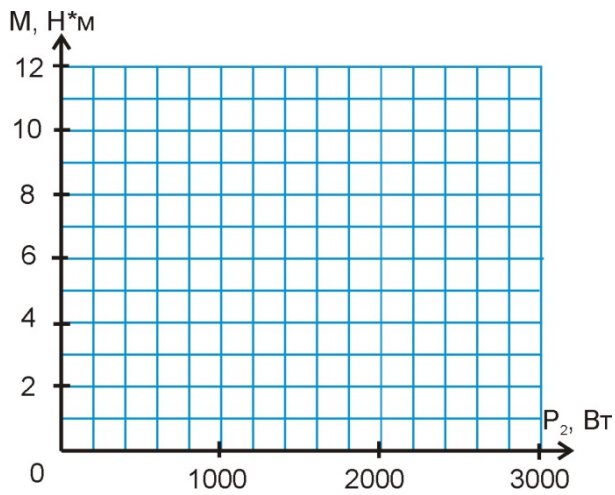
У висновках по роботі проаналізувати отримані залежності із точки зору відповідності їх фізичним принципам і аналітичним залежностям: як змінюється частота обертання вала при зменшенні опору в ланцюзі якоря й при збільшенні опору в ланцюзі обмотки збудження; який характер має залежність частоти обертання вала від моменту на валу й корисної потужності; чому графік обертаючого моменту проходить через початок координат, а графік струму якоря – ні; чим пояснюється форма графіка ККД.



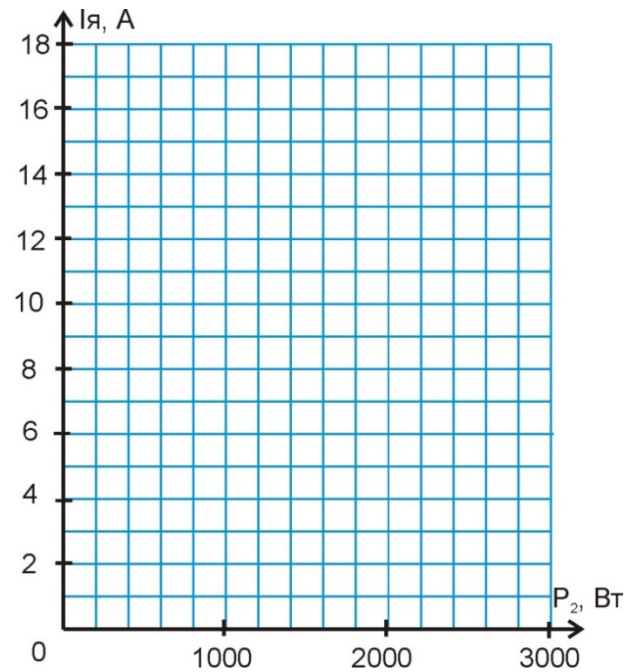
Мал. 4.8. Механічна характеристика $n = f(M)$



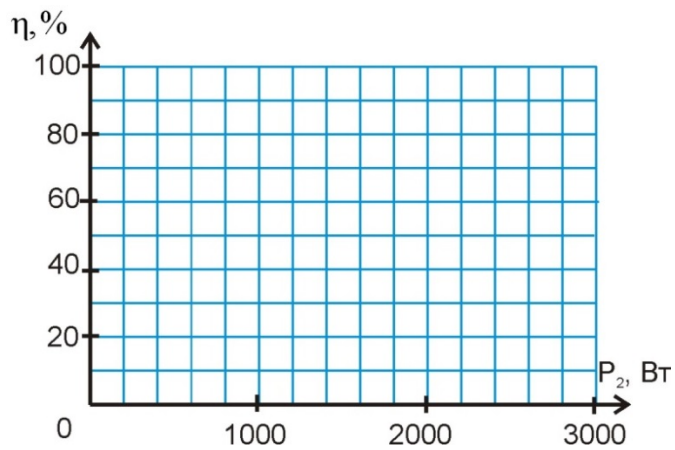
Мал. 4.9. Швидкісна характеристика $n = f(P_2)$



Мал. 4.10. Робоча характеристика $M = f(P_2)$



Мал. 4.11. Робоча характеристика $I_a = f(P_2)$



Мал. 4.12. Робоча характеристика $\eta = f(P_2)$

Контрольні питання.

1. Як улаштований двигун постійного струму?
2. На яким явищі заснований принцип дії двигунів постійного струму?
3. Чому не можна увімкнути двигун постійного струму в мережу без пускового реостата?
4. Як класифікуються двигуни постійного струму по способу підключення обмоток якоря й збудження?
5. Чому для двигуна постійного струму з незалежним (паралельним) збудженням небезпечний обрив ланцюга збудження?
6. Як практично можна регулювати частоту обертання вала двигуна паралельного збудження?
7. Як зміниться частота обертання вала двигуна постійного струму при зменшенні опору в ланцюзі якоря? Чому?
8. Як зміниться частота обертання вала двигуна постійного струму при зменшенні опору в ланцюзі обмотки збудження? Чому?
9. Яким образом можна змінювати напрямок обертання вала двигуна постійного струму?
10. Як зміниться напрямок обертання вала двигуна постійного струму, якщо одночасно змінити полярність джерела живлення якоря й обмотки збудження?
11. Яку залежність виражає механічна характеристика двигуна з паралельним збудженням?
12. Які залежності виражають робочі характеристики двигуна з паралельним збудженням?
13. Чому механічна характеристика двигуна постійного струму з паралельним збудженням вважається «жорсткою»?
14. Чим визначається коефіцієнт корисної дії двигунів постійного струму?
15. Що є характерною властивістю для двигуна постійного струму з паралельним збудженням?