

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 15

ДОСЛІДЖЕННЯ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета роботи - вивчити будову, принцип дії, порядок пуску, а також способи регулювання частоти обертання двигуна постійного струму з паралельним збудженням; дослідити і проаналізувати основні характеристики двигуна.

15.1. Основні теоретичні відомості

Двигун постійного струму принципово побудовано так само, як і генератор. Він складається зі статора (індуктора) і ротора (якоря). Колекторно-щітковий вузол має аналогічну будову, але призначення його інше.

Якщо до щіток підвести постійну напругу, то в провідниках витка буде протікати постійний струм (рис. 15.1). На провідники зі струмом, які знаходяться в магнітному полі, будуть діяти електромагнітні сили F , напрямком яких визначається правилом лівої руки. Сукупність всіх сил утворює електромагнітний момент і виток починає обертатися. Півкільця спільно зі щітками (колекторно-щітковий вузол) перетворюють постійний струм джерела в змінний струм у провідниках витка. Щітки перейдуть з одного півкільця на інше в момент, коли провідники витка будуть перетинати лінію геометричної нейтралі (переходити з зони одного полюса в зону іншого).

У двигуні постійного струму з паралельним збудженням, який досліджується в даній лабораторній роботі, обмотку збудження індуктора підключено паралельно до обмотки якоря та мережі постійного струму(рис. 15.2).

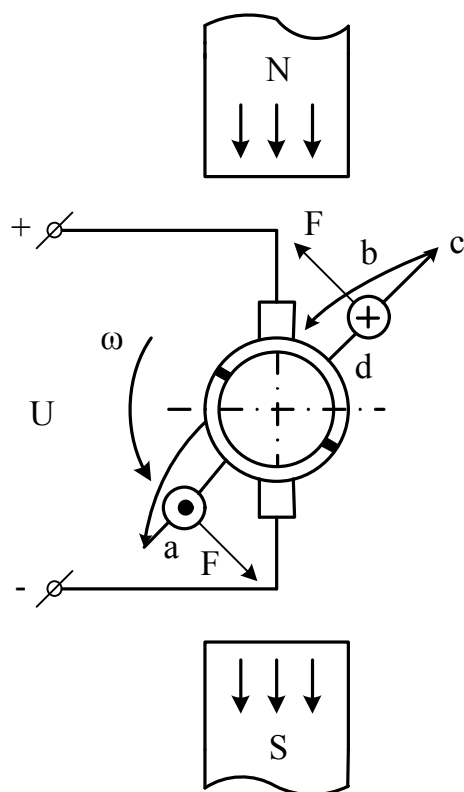


Рис.15.1

У коло обмотки збудження включено регулювальний реостат R_{p1} , а в коло якоря - пусковий реостат $R_{п}$. Реостат R_{p1} дозволяє змінювати струм збудження двигуна $I_з$ і його магнітний потік Φ . Призначення реостата $R_{п}$ у колі якоря пояснимо на основі аналізу основних рівнянь, що описують роботу двигуна.

У відповідності з другим законом Кірхгофа рівняння електричної рівноваги двигуна для кола якоря має вигляд:

$$U = E + R_я I_я,$$

де E - ЕРС, що виникає в обмотці якоря. $E = C_e n \Phi$ (n - частота обертання якоря; C_e - коефіцієнт, що залежить від конструктивних елементів машини; $I_я$ - струм якоря).

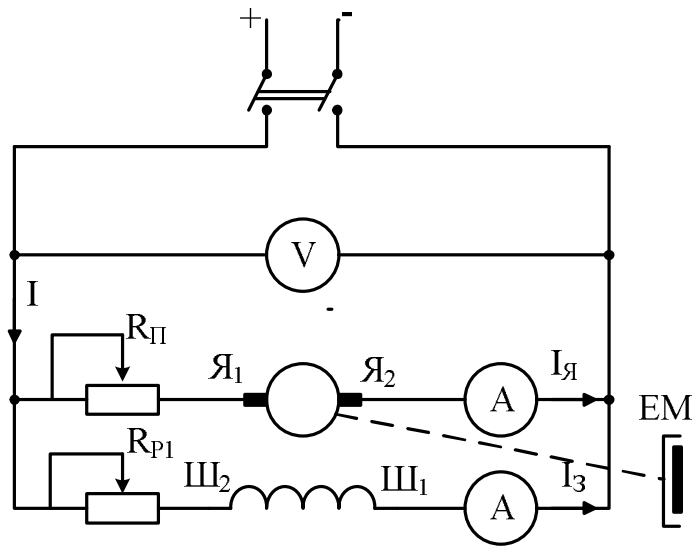


Рис.15.2

Обертовий момент, що розвивається двигуном,

$$M = C_M I_{Я} \Phi ,$$

де C_M - механічна стала, що залежить від конструкції і числа полюсів двигуна.

З першого рівняння запишемо вираз для струму якоря:

$$I_{Я} = \frac{U - E}{R_{Я}} \quad (15.1)$$

В початковий момент пуску, коли $n = 0$, у відповідності з (15.1) $E = 0$. Враховуючи незначний опір кола якоря, початкове значення

пускового струму $I_{П} = \frac{U}{R_{Я}}$ буде досягати небезпечного для машини

значення (до $4I_H$), тому силові двигуни постійного струму завжди вмикають з допомогою реостата в колі якоря і який називається пусковим.

В цьому випадку пусковий струм якоря $I_{ЯП} = \frac{U}{R_{Я} + R_{П}}$ обмежується до

безпечного для машини значення (зазвичай до $2I_H$). І тільки зі

збільшенням швидкості обертання двигуна, який супроводжується збільшенням ЕРС, опір реостату зменшується до нуля.

Для забезпечення швидкого пуску двигуна, з урахуванням обмеження струму якоря, потік збудження Φ роблять максимальним, збільшуючи тим самим пусковий обертаючий момент $M = C_M I_{\text{Я}} \Phi$. З цією метою опір $R_{\text{р1}}$ у колі збудження, що регулює струм збудження, встановлюють рівним нулю.

З виразу для обертового моменту випливає, що змінити напрям обертання якоря можна двома способами:

1. змінити напрям струму в якорі, не змінюючи напрямку магнітного поля. Для цього слід поміняти місцями провідники, що йдуть до затискачів якоря Я_1 і Я_2 ;

2. змінити напрям струму збудження із збереженням напрямку струму в якорі. Для цього необхідно поміняти місцями провідники, що йдуть до затискачів Ш_1 і Ш_2 .

Розглянемо характеристики двигуна з паралельним збудженням, які найбільш у повній мірі визначають його експлуатаційні властивості. Роботу двигуна характеризують: обертовий момент M , частота обертання n , потужність на валу двигуна $P_2 = \omega M$, струм якоря двигуна $I_{\text{Я}}$ (струм навантаження) і коефіцієнт корисної дії η . Характеристики отримують дослідним шляхом, змінюючи момент навантаження за допомогою гальмового пристрою.

Частотна (швидкісна) характеристика $n = f(I_{\text{Я}})$ (рис.15.3) знімається за умови сталих напруги $U = \text{const}$ і струму збудження $I_3 = \text{const}$. Наведені рівняння дозволяють записати вираз для частотної

характеристики:

$$n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{R_{\text{Я}} I_{\text{Я}}}{C_e \Phi} \quad (15.2)$$

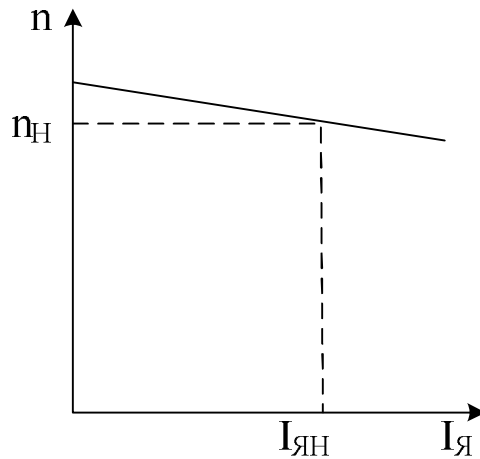


Рис.15.3

З рівняння випливає, що зі збільшенням навантаження на валу двигуна, тобто із збільшенням струму якоря $I_{я}$, частота обертання зменшується пропорційно спаду напруги на опорі кола якоря $R_{я}$. Оскільки опір $R_{я}$ малий, то це зменшення незначне, а це означає, що двигун постійного струму з паралельним збудженням має жорстку частотну характеристику.

Аналіз виразу для частотної характеристики показує, що частоту обертання двигунів постійного струму можна регулювати такими способами: включенням додаткового опору в коло якоря, зміною магнітного потоку Φ і зміною напруги U , що підводиться до двигуна.

Перевагою регулювання частоти обертання включенням додаткового опору в коло якоря, полягає у відносній простоті отримання плавної зміни частоти обертання в широких межах. До недоліків варто віднести значні втрати потужності в додатковому опорі.

Змінюючи опір кола якоря, за умови сталої напруги мережі і сталому магнітному потоці, можна отримати сімейство частотних характеристик (рис. 15.4,а).

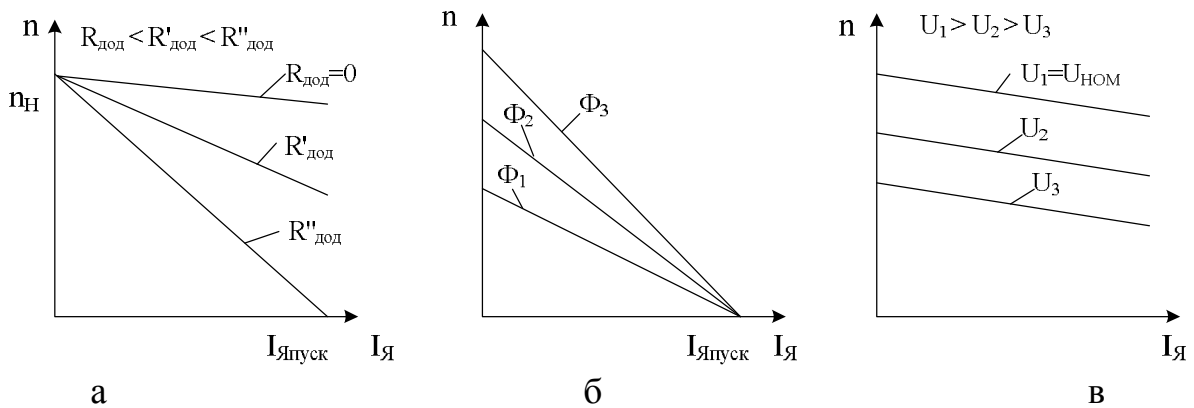


Рис.15.4

Як видно з малюнку, зі збільшенням додаткового опору жорсткість характеристик зменшується.

Регулювання частоти обертання двигуна зміною магнітного потоку найбільш економічне і зручне. Струм збудження незначний, $I_3 = (1 - 5)\% I_H$, тому розміри регулювального реостату і потужність втрат у ньому, також малі. На рис. 15.4,б представлено сімейство частотних характеристик при зміні магнітного потоку при постійній напрузі мережі живлення і незмінному значенні опору кола якоря, $R''_{дод}$. Як видно з цих характеристик, зі зміною магнітного потоку частота обертання ідеального

холостого ходу $n_0 = \frac{U}{C_e \Phi}$ ($I_Я = 0$) зростає. Якщо частота обертання дорівнює нулю (режим пуску), то пусковий струм не залежить від магнітного потоку. Для частотних характеристик, що відповідають різним значенням потоку, значення пускового струму буде однаковим. Зі зменшенням магнітного потоку жорсткість характеристик зменшується.

Відзначимо, що у випадку обриву кола збудження ($I_3 = 0$), магнітний потік двигуна знижується до значення, яке дорівнює залишковому магнітному потоку $\Phi_{зал}$. В цьому випадку двигун "йде вразнос",

розвиваючи частоту обертання, що становить небезпеку як для двигуна, так і для обслуговуючого персоналу.

Широке застосування, особливо в електроприводах, побудованих по системі «генератор – двигун», одержав спосіб регулювання частоти обертання шляхом зміни напруги на затискачах якоря двигуна. Зі зміною напруги живлення, частота обертання холостого ходу, відповідно до наведеного раніше виразу, пропорційна напрузі. Жорсткість сімейства частотних характеристик (рис. 15.4,в) при незмінному опорі в колі ротора буде однаковою для різних значень напруги.

Якщо виразити в рівнянні частотної характеристики (15.1) струм якоря $I_{Я}$ через електромагнітний момент двигуна $M = C_M I_{Я} \Phi$, то отримаємо рівняння механічної характеристики $n = f(M)$

$$n = \frac{U}{C_E \Phi} - \frac{r_{Я}}{C_E C_M \Phi^2} M .$$

Механічна характеристика знімається за мови $U = const$ та $I_3 = const$.

Оскільки електромагнітний момент пропорційний струму якоря (якщо $I_3 = const$, відповідно $\Phi = const$), то механічна характеристика двигуна з паралельним збудженням має такий самий вигляд, як і відповідна їй частотна характеристика (рис.15.3).

Робочі характеристики двигунів постійного струму - це залежності частоти обертання n , моменту M , струму якоря $I_{Я}$, коефіцієнта корисної дії η від корисної потужності на валу P_2 , тобто $n, M, I_{Я}, \eta = f(P_2)$ за мови $U = const$ та $I_3 = const$.

Робочі характеристики двигуна паралельного збудження показано на рис. 15.5. З цих характеристик видно, що частота обертання n двигуна із збільшенням навантаження трохи зменшується.

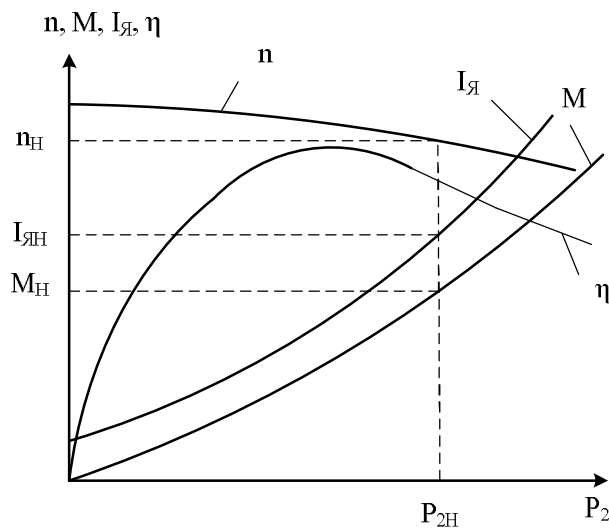


Рис.15.5

Залежність моменту на валу двигуна має вигляд майже прямої лінії, оскільки момент пропорційний навантаженню на валу: $M = \frac{P_2}{\omega}$, де

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}.$$

Скривлення зазначеної характеристики пояснюється зниженням частоти обертання зі збільшенням навантаження. Коли $P_2 = 0$, струм якоря дорівнює струму холостого ходу. Із збільшенням потужності струм якоря збільшується приблизно по тій же залежності, що і момент навантаження на валу, тому що за умови $\Phi = const$, струм якоря пропорційний моменту навантаження. ККД визначають як відношення корисної потужності на валу до потужності, що споживається з мережі $\eta = \frac{P_2}{P_1}$, де $P_1 = UI$, а

$P_2 = 0.105Mn$. Коефіцієнт корисної дії досягне максимального значення за умови, коли змінні втрати потужності в двигуні будуть дорівнювати сталим: перші включають електричні втрати потужності в колах якоря і

збудження, а також механічні втрати; до других відносять втрати потужності в магнітопроводі якоря.

15.2. Завдання і порядок виконання роботи

1. Вивчити будову двигуна, особливу увагу звернувши на будову полюсів збудження, колектора і щіткотримачів, і записати основні паспортні дані двигуна в табл. 15.1.

Таблиця 15.1

Інвентарний номер	P , кВт	U_H , В	I_H , А	I_3 , А	n , об/хв	Розрахувати
						M_H

2. Перевірити відповідність вимірювальних приладів, записати їхні паспортні дані в табл. 15.2.

Таблиця 15.2

№ з/п	Найменування приладів і апаратів	Позначення на схемі	Вимірювальний механізм або тип	Межі вимірювання або номінальні параметри	Ціна поділки	Прим
1.						
2.						
3.						

3. Використовуючи панель із мнемонічною схемою "Двигун постійного струму" у відповідності до принципальної схеми (див. рис. 15.2), зібрати електричне коло для зняття характеристик двигуна

постійного струму. Монтаж електричного кола виконати відповідно до монтажної схеми (рис. 15.6).

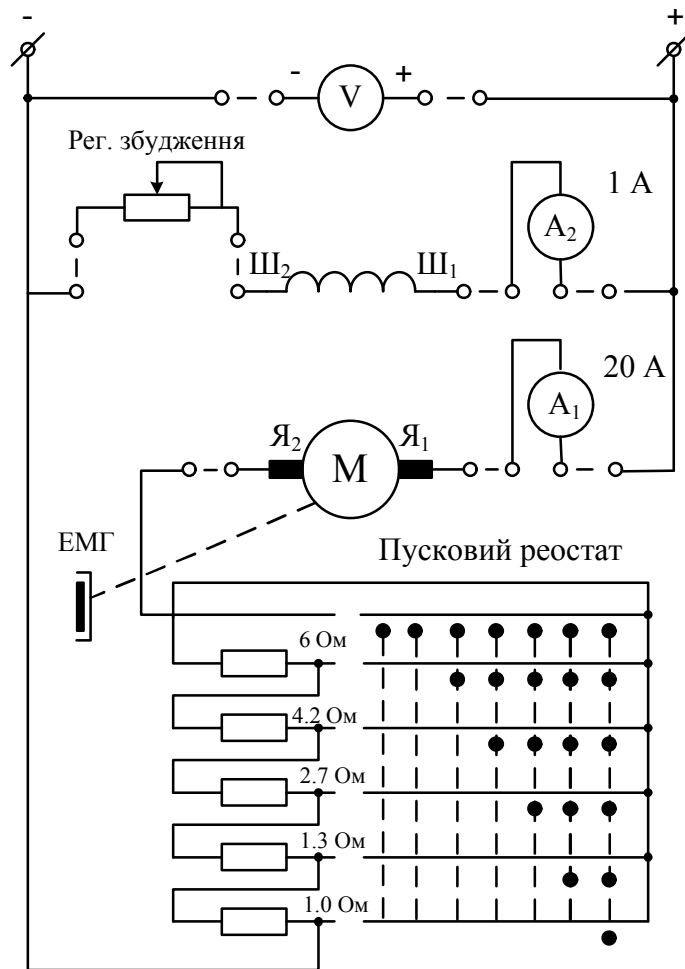


Рис.15.6

4. Встановити перемикач пускового реостата R_{II} двигуна постійного струму в положення 1 (коло якоря двигуна розімкнено), реостат R_{PI} кола збудження в положення мінімального опору (повернути ручку "Регулювання збудження" за годинниковою стрілкою в крайнє положення).

Перевірити електричний нуль приладу виміру моменту агрегату № 2. В разі потреби виконати регулювання відповідною ручкою.

5. Кнопками регулювання рівня напруги постійного струму "↑" і "↓" встановити значення напруги 220 В та здійснити пуск двигуна поступовим переключенням пускового реостата R_{II} з максимального значення до нуля (положення 7). Змінюючи значення опору реостата R_{PI} в колі збудження двигуна, встановити номінальну частоту обертання.

6. Зняти частотну $n = f(I_{я})$ і механічну $n = f(M)$, а також робочі характеристики двигуна $M = f(P_2)$, $I = f(P_2)$, $n = f(P_2)$, $\eta = f(P_2)$ коли $U = const$ та $I_3 = const$.

Значення струму збудження I_3 визначити з номінального режиму роботи двигуна, плавно встановивши ручку "Регулювання навантаженням" у відповідне положення. Записати його значення в табл. 15.1.

7. Поступово навантажувати двигун від режиму холостого ходу до значення моменту навантаження на валу $M = 1.2M_H$ з таким розрахунком, щоб одержати шість-сім вимірів, серед яких одне повинно відповідати режимові холостого ходу, а інше - номінальному режиму двигуна. Результати вимірів записати в табл. 15.3.

Таблиця 15.3

№ з/п	Результати вимірів			Результати обчислень			
	M , Н·м	n , об/хв	$I_{я}$, А	I , А	P_1 , Вт	P_2 , Вт	η
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							

8. За результатами вимірів і обчислень побудувати в одній координатній системі частотну і механічну характеристики, а в іншій координатній системі - робочі характеристики у відносних одиницях (див. лабораторну роботу №12).

9. Записати основні висновки по виконаній роботі.

15.3. Контрольні запитання

1. Будова двигуна постійного струму.
2. Принцип дії двигуна постійного струму.
3. Яким чином можливо змінити напрям обертання двигуна?
4. Яким чином здійснюється пуск двигунів постійного струму з паралельним збудженням?
5. Пояснити призначення додаткового опору в колі якоря.
6. Пояснити призначення додаткового опору в колі збудження.
7. Пояснити характер частотної, механічної та робочих характеристик двигуна.
8. Як впливає на роботу двигуна постійного струму з паралельним збудженням обрив кола збудження?