

Міністерство освіти і науки України
Чернігівський промислово-економічний коледж
Київського національного університету технологій та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник директора з НР

_____ С.В.Бондаренко

_____ 20__ р.

**Методичні вказівки і завдання щодо виконання
лабораторних робіт з дисципліни
Основи електропривода
для студентів 3 курсу
спеціальності 5.05070104 "Монтаж та експлуатація
електроустаткування підприємств і цивільних споруд**

Уклав

О.В. Шевченко

Розглянуто на засіданні
циклової комісії
спеціальних електротехнічних дисциплін
Протокол №__ від _____ 20__ року

Голова циклової комісії

В.В. Олійник

Інструкція для виконання лабораторної роботи №1

Тема: Дослідження механічних характеристик двигуна постійного струму незалежного збудження

1 Мета роботи - вивчити режими роботи двигуна і перевірити відповідність експериментальних залежностей – розрахунковим: $\omega = f(M)$ в рушійному та гальмівних режимах.

2 Матеріально-технічне забезпечення

2.1 Обчислювальна техніка

2.2 Лінійка

2.3 Олівець

2.4 Стенд

3 Теоретичні відомості

3.1 Механічні характеристики двигуна постійного струму паралельного (незалежного) збудження в режимі двигуна визначаються за формулою:

$$\omega = \frac{U}{K \cdot \Phi} - \frac{MR}{K^2 \cdot \Phi^2}, \quad (1.1)$$

де K - стала машини; Φ - потік двигуна; $R = R_{\text{я}} + R_{\text{р}}$ - опір ступеня реостата; $R_{\text{я}}$ - опір якоря; $R_{\text{р}}$ - опір реостата.

Механічні характеристики двигуна постійного струму паралельного і(незалежного) збудження у всіх режимах – лінійні, та при $\Phi = \text{const}$, $U = \text{const}$ проходять через точку ідеального холостого ходу при $\omega = \frac{U}{K \Phi}$ і $M = 0$ (у режимі динамічного гальмування $\omega = 0; M = 0$). Жорсткість механічних характеристик залежить від опору в колі якоря.

3.2 Перед подачею напруги на стенд, а також при кожному вмиканні і вимиканні машин, встановлюють максимальні опори ступенів реостата (ножі рідинного реостата підняті, опір металевого реостата максимальний) і розмикають якірні кола машин, переключивши $1P$ і $2P$ у нейтральне положення.

Щоб зняти механічні характеристики у рушійному режимі, потрібно, подати напругу на стенд і переконатися в тому, що потоки машин не ослаблені.

Після ввімкнення двигуна у мережу ($1P$ вмикають в положення I, а $2P$ - в положення II) зменшують опір реостата якірного кола до значення, передбаченого порядком проведення роботи.

Змінюючи навантаження на валу двигуна за допомогою рідинного реостата в

якірному колі навантажувальної машини, фіксують при встановленій швидкості струм, напругу та швидкість двигуна за приладами відповідно: A_2, V_1, V_3 . Показання заносять до табл. 1.1. Для побудови усередненої прямолінійної характеристики досить зняти 5-6 точок.

Таблиця 1.1

№ п/п	Дані замірів				Розрахункові дані		Режим роботи
	R_p	U_1	I_2	U_3	ω	M	

Якщо $I_B = I_{BH} = const$, тоді

$$M = M_H \frac{I}{I_H} \quad (1.2)$$

3.3 Рекуперація - це генераторний режим з віддачею енергії у мережу. В цьому гальмівному режимі швидкість обертання двигуна повинна бути більшою від швидкості ідеального холостого ходу ω_0 . Перевіривши напрямок обертання машин почерговим вмиканням $1P$ і $2P$ в положення 1 і встановивши їх однаковими, вмикають двигун у мережу. Зменшують опір в якірному колі двигуна до заданого значення. Розганяють двигун до швидкості, більшої від ω_0 , за допомогою навантажувальної машини, включеної у рушійний режим при ослабленому полі. Для ослаблення поля, вводять додатковий опір в коло ОЗНМ.

3.4 Режим динамічного гальмування - це генераторний режим з розсіюванням енергії в реостаті. Для одержання режиму, якірне коло двигуна замикають на реостат ($1P$ перемикають в положення II), навантажувальну машину переводять у рушійний режим ($2P$ перемикають в положення). Струм обмоток збудження двох машин - номінальний.

3.5 Противімкнення - це гальмівний режим, при якому якір двигуна за рахунок зовнішніх сил обертається в бік, протилежний напрямку обертання двигуна в рушійному режимі. Для обмеження струму вводять великий додатковий опір в якірне коло двигуна. Потоки машин номінальні. При швидкості, яка дорівнює нулю, треба короткочасно на 10% перевищити номінальний струм.

3.6 За паспортними даними визначають основні параметри двигуна:

номінальний момент

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H}; \quad (1.3)$$

номінальний ККД

$$\eta_H = \frac{P_H}{U_H I_H}; \quad (1.4)$$

номінальний опір

$$R_H = \frac{U_H}{I_H}; \quad (1.5)$$

приблизне значення опору якоря у нагрітому стані

$$R_{\text{я}} = 0,5 R_H (1 - \eta_H). \quad (1.6)$$

3.7 Розрахункові характеристики будують по двох точках з координатами ω_0 , $M=0$ і $\omega_{\text{нді}}$, M_H .

Кутова частота обертання ідеального холостого ходу

$$\omega_0 = \omega_H \frac{U_H}{U_H - I_H R_{\text{я}}}.$$

Кутова частота обертання якоря при номінальному моменті і заданому опорі ступеня реостата

$$\omega_{\text{нді}} = \omega_H \frac{U_H - I_H R_i}{U_H - I_H R_{\text{я}}}$$

Де $R_i = R_{\text{я}} + R_{\text{рі}}$.

Для побудови механічних характеристик у режимі динамічного гальмування знаходять координати двох точок. Одну з них визначають на початку координат, другу (кутову швидкість) - при номінальному моменті

$$\omega_{\text{нді}} = \omega_H \frac{I_H R_i}{U_H - I_H R_{\text{я}}}$$

Розрахункові та експериментальні характеристики будують на одному графіку.

3.8 Порівнюючи розрахункові та експериментальні механічні характеристики в кожному з режимів, звертають увагу на їх відповідність, лінійність, жорсткість.

4 Хід роботи

4.1 Використовуючи лабораторний стенд, схема якого показана на рис. 1.1,а, скласти схему випробувань. Записати паспортні дані машин, апаратів і приладів, включених у схему, а також величин опорів реостата.

4.2 Зняти і побудувати дві штучні і природну характеристики в режимі двигуна при $R_p \approx R_H$; $R_p \approx 0,3 \cdot R_H$; $R_p = 0$.

4.3 Зняти і побудувати дві штучні і природну механічні характеристики в режимі рекуперації при $R_p \approx R_H$; $R_p \approx 0,3 \cdot R_H$; $R_p = 0$.

4.4 Зняти і побудувати дві штучні і природну характеристики в режимі електродинамічного гальмування при $R_p \approx R_H$; $R_p = 0$.

4.5 Зняти і побудувати механічну характеристику в режимі противвімкнення при максимальному опорі R_p .

4.6 Визначити основні параметри двигуна: $M_H, \eta_H, S_H, R_H, R_2, \omega_H$.

4.7 Розрахувати і побудувати механічні характеристики двигуна за паспортними даними в кожному з режимів при використаних значеннях R_p .

4.8 Зробити висновки по кожному режиму та по роботі в цілому.

5 Висновки

6 Контрольні запитання

1. За допомогою статичних характеристик пояснити, як знімаються механічні характеристики в режимах: рушійному, рекуперації, проти ввімкнення, динамічного гальмування.

2. Які параметри і з якою метою контролюють при пуску двигуна постійного струму?

3. Як розрахувати момент двигуна в режимі рекуперації за експериментальними даними?

Література

1 В.В.Москаленко Электрический привод – М.; В.Ш. 1991

2 Ю.А. Михеев. Э.В. Морозов Электрический привод – М.; ВО «Агропромиздат» 1988

3 Э.А. Каминский Практические приемы чтения схем электроустановок- М.; Энергоатомиздат. 1988

Інструкція для виконання лабораторної роботи №2

Тема: Дослідження механічних характеристик трифазного двигуна

1 Мета: Набути навички дослідження механічних характеристик трифазного двигуна

2 Матеріально-технічне та навчально- методичне забезпечення:

- 1.1 Калькулятор
- 1.2 Таблиці вибору значень
- 1.3 Аркуш формату А4
- 1.4 Вимірювальний прилад
- 1.5 Лабораторна установка

3 Теоретичні відомості

Вираз електромагнітного момента для АД:

$$M = \frac{3 \cdot U^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{S} \right)^2 + (X_1 + X'_2)^2 \right] \cdot S} \quad (1)$$

У рівнянні правій його частині усі параметри для даного двигуна й даного статичного режиму є сталими, а незалежною змінною (аргументом) є ковзання S , тому рівняння можна подати в узагальненому вигляді (функції) $M = f(S)$.

Така характеристика добре відома з загального курсу електричних машин (рис. 3.33). Нагадаємо деякі її особливості.

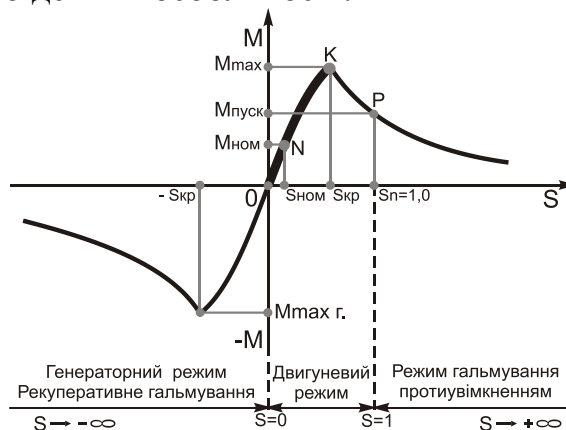


Рисунок 1 – Механічна характеристика АД в координатах $M = f(S)$.

Крива має чотири характерні точки:

- синхронний режим (точка O), при цьому $S = 0$, $M = 0$;
- номінальний режим (точка N), при цьому $S = S_{ном}$, $M = M_{ном}$;
- критичний режим (точка K), при цьому момент, який розвиває двигун у двигуновому режимі, максимальний $M = M_{max \delta}$, а ковзання, що відповідає цьому режимові критичне $S = S_{кр}$;

- режим початкового пуску (точка Р), при цьому ковзання $S_n = 1$, а момент – пусковий $M = M_{\text{пуск}}$.

На протязі числової осі (числа змінюються від $-\infty$ до $+\infty$) слід відзначити межі змінювання ковзання:

- а) при $1 > S > 0$ – двигуневий режим;
- б) при $+\infty > S > 1$ – режим гальмування противімкненням;
- с) при $0 > S > -\infty$ – генераторний режим рекуперативного гальмування.

Величина критичного ковзання для двигуневого й генераторного режимів (за абсолютним значенням) одна і та ж.

$$|S_{\text{кр.д.}}| = |S_{\text{кр.г.}}|$$

Рівняння механічної характеристики (1) відповідає більш-менш точним співвідношенням параметрів характеристики, тому що ураховує падіння напруги на активному опорі статора R_1 . У реальних умовах активний опір статора (особливо для АД середньої та великої потужностей) не значний і ним (з достатньою для практичних розрахунків точністю) можна знехтувати

$$R_1 = 0.$$

З урахуванням рівняння механічної характеристики набере вигляду

$$M = \frac{2M_{\text{max}}}{\frac{S}{S_{\text{кр}}} + \frac{S_{\text{кр}}}{S}}. \quad (2)$$

Рівняння (1) називається спрощеною механічною характеристикою АД у координатах S та M. Однак для двигунів великої потужності (де R_1 дуже мале) це рівняння досить точно відповідає фізичним процесам АД.

Рівняння (2) ще називають рівнянням Клосса

Якщо номінальні значення: $S = S_{\text{ном}}$; $M = M_{\text{ном}}$, а кратність максимального момента $M_{\text{max}}/M_{\text{ном}}$ (перевантажувальну здатність) позначити

λ : $\lambda = \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}}$, то після перетворень рівняння буде мати вигляд:

$$S_{\text{кр}} = S_{\text{ном}} \cdot (\lambda \pm \sqrt{\lambda^2 - 1}).$$

4 Хід роботи

4.1 Скласти електричну схему випробувань, використовуючи лабораторний стенд. Записати паспортні дані машин, апаратів і приладів, ввімкнених у схему, а також опори ступенів реостата.

4.2 Зібрати схему випробувань. Зняти і побудувати дві штучні і природну механічні характеристики в рушійному режимі при $R_p \approx R_H$; $R_p \approx 0,3 \cdot R_H$; $R_p = 0$

4.3 Зняти і побудувати дві штучні і природну механічні характеристики в режимі рекуперації при $R_p \approx R_H$; $R_p \approx 0,3 \cdot R_H$; $R_p = 0$.

4.4 Зняти і побудувати механічну характеристику двигуна в режимі проти-ввімкнення при максимальному значенні R_p .

4.5 Зняти і побудувати штучні і природні механічні характеристики в режимі електродинамічного гальмування при $R_p \approx R_n$; $R_p = 0$ для двох значень струму підмагнічування.

4.6 Визначити основні параметри двигуна: $M_n, \eta_n, S_n, R_n, R_2$.

4.7 Розрахувати і побудувати механічні характеристики двигуна за паспортними даними в режимах: рушійному, рекуперації та проти-ввімкнення при використаних значеннях R_p .

Асинхронний трьохфазний двигун з короткозамкненим ротором працює на реактивне навантаження з $M_c = 0,82 M_n$

Розрахувати і побудувати природну механічну характеристику
Данні: $P_n = 11 \text{ кВт}$, $n_n = 1460 \text{ об/хв.}$, $\lambda_m = M_m / M_n = 3$, $M_p / M_n = 2,2$, $U_n = 380 \text{ В}$

1. Номінальний момент двигуна

$$M_n = \frac{P_n \cdot 11000}{\omega_n} = \frac{11000}{152,9} = 72 \text{ Нм}$$

$$\text{де } \omega_n = \frac{n_n}{9,55} = \frac{1460}{9,55} = 152,9 \text{ рад/с}$$

2. Синхронна кутова швидкість

$$\omega_o = n_o / 9,55 = 1500 / 9,55 = 157 \text{ рад/с}$$

3. Максимальний момент двигуна

$$M_m = 72 \cdot 3 = 216 \text{ Нм}$$

4. Номінальне ковзання

$$S_n = \frac{\omega_o - \omega_n}{\omega_o} = \frac{157 - 152,9}{157} = 0,02$$

5. Критичне ковзання

$$s_k = S_n \cdot \left(\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 + 1} \right) = 0,02 \cdot (3 + \sqrt{3^2 + 1}) = 0,12$$

6. Координати точок для побудовання характеристики

$$M_{T1} = \frac{2 \cdot M_{T.M}}{s_{к.т}/S + S/s_{к.т}} = \frac{2 \cdot 216}{0,12/S + S/0,12}$$

Вид хар-ки	Природна
------------	----------

S	0	0,02	0,12	0,4	0,6	0,8	1
M_1 Нм	0	70,1	216	119	83	64,5	52
ω рад/с	157	150	138	94	63	31	0

Дані для розрахунку отримати у викладача

5 Висновки

Зробити висновки про виконану роботу

Література

- 1 В.В.Москаленко Электрический привод – М.; В.Ш. 1991
- 2 Ю.А. Михеев. Э.В. Морозов Электрический привод – М.; ВО «Агропромиздат»
1988
- 3 Э.А. Каминский Практические приемы чтения схем электроустановок- М.; Энергоатомиздат

Інструкція для виконання лабораторної роботи №3

Тема: Дослідження механічних характеристик асинхронного двигуна з фазним ротором

1 Мета роботи - вивчити режими роботи двигуна і перевірити відповідність експериментальних залежностей – розрахунковим: $\omega = f(M)$ в рушійному та гальмівних режимах.

2 Матеріально-технічне забезпечення

- 2.1 Обчислювальна техніка
- 2.2 Лінійка
- 2.3 Олівець
- 2.4 Стенд

3 Теоретичні відомості

При дослідженні електроприводів необхідно отримати механічні характеристики двигуна, тобто залежність $\omega = f(M)$ або $S = f(M)$. Механічні характеристики електродвигуна будуються з урахуванням електромагнітного моменту M_e , який відрізняється від моменту на валу M на величину моменту втрат $M_{втр}$: $M_e = M \pm M_{втр}$

У рушійному режимі момент втрат компенсується за рахунок енергії, що споживається з мережі, тобто $M_{втр}$ береться зі знаком "+". У гальмівних режимах момент втрат компенсується за рахунок енергії зовнішніх сил або сил інерції, тобто $M_{втр}$ береться зі знаком "-".

Механічні характеристики двигунів у будь-яких режимах можна зняти, якщо як навантажувальний пристрій використати машину постійного струму незалежного збудження. Вона може працювати в рушійному режимі, або в режимі електричного гальмування, і швидкість її можна регулювати в широких межах.

Якщо є відносно потужна мережа постійного струму, то швидкість навантажувальної машини регулюють зміною опору в колі якоря, або в колі збудження. Оскільки вали досліджуваної і навантажувальної машин з'єднані між собою, моменти на них при усталеній швидкості дорівнюють один одному. При порушенні цієї рівності швидкість машин зростає або зменшується.

Щоб зняти механічні характеристики в рушійному і гальмівному режимах, досліджувану та навантажувальну машини необхідно вмикати згідно з табл. 1

Таблиця 1

Режим досліджуваної машини	Режим навантажувальної машини
Рушійний	Електродинамічне гальмування
Рекуперація	Рушійний
Електродинамічне гальмування	Рушійний
Противімкнення	Рушійний

4 Хід роботи

4.1 Скласти електричну схему випробувань, використовуючи лабораторний стенд, схема якого зображена на рис. 3. Записати паспортні дані машин, апаратів і приладів, ввімкнених у схему, а також опори ступенів реостата.

4.2 Зібрати схему випробувань. Зняти і побудувати дві штучні і природну механічні характеристики в рушійному режимі при $R_p \approx R_n$; $R_p \approx 0,3 \cdot R_n$; $R_p = 0$

4.3 Зняти і побудувати дві штучні і природну механічні характеристики в режимі рекуперації при $R_p \approx R_n$; $R_p \approx 0,3 \cdot R_n$; $R_p = 0$.

4.4 Зняти і побудувати механічну характеристику двигуна в режимі проти-ввімкнення при максимальному значенні R_p .

4.5 Зняти і побудувати штучні і природні механічні характеристики в режимі електродинамічного гальмування при $R_p \approx R_n$; $R_p = 0$ для двох значень струму підмагнічування.

4.6 Визначити основні параметри двигуна: M_n , η_n , S_n , R_n , R_2 .

4.7 Розрахувати і побудувати механічні характеристики двигуна за паспортними даними в режимах: рушійному, рекуперації та проти-ввімкнення при використаних значеннях R_p .

4.8 В якірне коло навантажувальної машини вмикають рідинний реостат. Як джерело струму в режимі динамічного гальмування використовують регульований випрямляч або джерело постійного струму 220 В чи 110 В. В останньому випадку обов'язково вмикають послідовно з обмоткою статора додатковий опір.

4.9 Перед подачею напруги на стенд встановлюють максимальні опори реостатів в шорному колі навантажувальної машини і в роторі двигуна. Подають напругу на навантажувальну машину і вмикають її в рушійний режим (1P в положенні I). Під час пуску за допомогою PP контролюють струм в якірному колі НМ. Переконавшись, що навантажувальна машина справна, переводять її в режим динамічного гальмування.

4.10 Підмикають двигун до мережі і зменшують опір у роторі до заданого значення, змінюючи опір рідинного реостата в якірному колі НМ. фіксують значення струму, напруги, швидкості. Показання заносять до табл. 2. Для побудови характеристик досить зняти 5-7 точок.

Оскільки досліджуваний двигун і навантажувальна машина розміщені на одному валу і моменти їх дорівнюють один одному, то краще визначити моменти не за асинхронним двигуном, а за навантажувальною машиною: $M = CI$, де

$$C = \frac{M_n}{I_n}$$

Таблиця 2

№ п/п	Дані замірів				Розрахункові дані		Режим роботи
	R_p	U_1	I_1	$U_{гг}$	ω	M	

4.11 Для забезпечення режиму рекуперації необхідно, щоб частота обертання ідеального холостого ходу навантажувальної машини була більша від частоти обертання ідеального холостого ходу двигуна.

Перевіряють напрямок обертання почерговим ввімкненням у рушійний режим НМ і досліджуваного двигуна (при однаковому напрямку обертання машин стрілка вольтметра $V1$ повинна відхилитися в один і той самий бік). Вмикають АД у рушійний режим і встановлюють заданий опір у роторі. Зменшуючи опір в якірному колі НМ, що працює в рушійному режимі ($1P$ в положенні I), фіксують точки характеристики рекуперативного гальмування після швидкості $\omega > \omega_0$.

4.12 Для одержання режиму противвімкнення, перевіряють напрямок обертання обох машин, по черзі вмикаючи їх у рушійний режим. Необхідно забезпечити протилежний напрямок обертання машин (відхилення стрілки $V1$ - протилежне). Обов'язково в роторне коло двигуна вмикають максимальний опір R_p .

Режим починають знімати після того, як двигун зупиниться (це необхідно проконтролювати по $V1$). При швидкості, що дорівнює нулю, двигуни з самовентиляцією тримати під струмом не рекомендується.

4.13 У режимі динамічного гальмування ротор замикають на опір, а в обмотку статора, попередньо відімкненим від мережі змінного струму, подають постійний струм від зовнішнього джерела. Напругу подають на дві фази статора.

Увага! Опір статора для постійного струму малий. Необхідно встановити струм у статорі, який не перевищує заданого значення. Навантажувальну машину вмикають у рушійний режим і, зменшуючи опір в якірному колі, фіксують точки характеристики динамічного гальмування. Знімати характеристики двигуна треба тільки в інтервалі стійких значень S і M , тобто від точки $S=0$, $M=0$ до точки $S_{кр}$, $M_{кр}$.

Через високу жорсткість характеристик вимірювати частоту обертання по тахогенератору на характеристиці $R_p=0$ неможливо, тому треба по мітці на валу двигуна секундоміром визначити час, за який вал двигуна зробить повних обертів.

4.14 За паспортними даними визначають M_H , S_H ,

$$\eta_H = \frac{P_H \cdot 10^3}{\sqrt{3} I_H U_H \cos \varphi};$$

номінальний опір $R_H = \frac{U_H}{\sqrt{3} I_{pH}}$, опір ротора $R_2 = R_H \cdot S_H$

4.15 Для розрахунку і побудови природної характеристики необхідно визначити критичний момент $M = M_H \cdot \lambda$, де λ - перевантажувальна спроможність (наводиться в каталогах), і критичне ковзання

$$S_{кр} = S_H (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1});$$

Задаючись значеннями ковзання S_i , визначають момент

$$M = \frac{2 M_{кр}}{\frac{S_{кр}}{S_i} + \frac{S_i}{S_{кр}}}.$$

При розрахунку штучних характеристик приблизно можна вважати, що при

$$R_i = R_{pi} + R_2, S_{kpi} = \frac{S_{kp} \cdot R_i}{R_2}.$$

Якщо знехтувати кривизною характеристик робочої ділянки, то характеристики можна побудувати аналогічно характеристикам двигуна постійного струму незалежного збудження.

4.16 Побудувати розрахункові та експериментально зняті механічні характеристики асинхронного двигуна, порівняти їх.

5 Висновки

Зробити висновки про вплив опору роторного кола і струму підмагнічування статора на критичне ковзання, критичний момент, жорсткість характеристик у кожному з режимів та виконану роботу.

6 Контрольні запитання

1. Пояснити механічні характеристики АД в кожному з режимів.
2. Які параметри і з якою метою контролюються при пуску машин у кожному з режимів?
3. Як розрахувати моменти двигуна за експериментальними даними в кожному з режимів?
4. Як впливає струм підмагнічування (опір ротора) на параметри M_{max} , S_{kp} у режимі динамічного гальмування?

7 Література

- 1 В.В.Москаленко Электрический привод – М.; В.Ш. 1991
- 2 Ю.А. Михеев. Э.В. Морозов Электрический привод – М.; ВО «Агропромиздат» 1988
- 3 Э.А. Каминский Практические приемы чтения схем электроустановок- М.; Энергоатомиздат. 1988