

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисципліни

«ЕЛЕКТРОПРИВОД»

для студентів спеціальності

141 Електроенергетика, електротехніка електромеханіка

Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни «Електропривод» для студентів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка електромеханіка / Укл.: Пересунько І.І., Кальмус Д.О. – Кривий Ріг: КНУ, 2023. – 32 с.

Укладачі: І.І. Пересунько, доцент
 Д.О. Кальмус, ст. викладач

З повагою до сумліної праці ст. викладача Величко Тетяни Володимирівни та на пам'ять про видатного фахівця у галузі електроприводу, к.т.н., доцента Каневського Василя Васильовича.

Розглянуто
на засіданні кафедри
електричної інженерії

Схвалено
на вченій раді
електротехнічного
факультету

Протокол № 1
від 01.09 2023 р.

Протокол № 1
від 01.09 2023 р.

Зміст

Лабораторна робота № 1.....	
Дослідження характеристик і регулювальних властивостей привода з двигуном постійного струму незалежного збудження	4
Лабораторна робота № 2.....	
Дослідження характеристик і регулювальних властивостей привода з двигуном постійного струму послідовного збудження	7
Лабораторна робота № 3.....	
Дослідження характеристик і регулювальних властивостей привода з асинхронним двигуном з фазним ротором	10
Лабораторна робота № 4.....	
Дослідження регулювальних властивостей системи генератор-двигун...	13
Лабораторна робота № 5.....	
Регулювання частоти обертання асинхронного двигуна зміною частоти мережі живлення	16
Лабораторна робота № 6.....	
Дослідження регулювальних властивостей і одержання характеристик машино-вентильного каскаду постійної потужності	19
Лабораторна робота № 7.....	
Дослідження регулювальних властивостей і одержання характеристик машино-вентильного каскаду постійного моменту	21
Лабораторна робота № 8.....	
Дослідження регулювальних властивостей і одержання характеристик реверсивного вентильного електропривода постійного струму	23
Лабораторна робота № 9.....	
Визначення моменту інерції електропривода методом вільного вибігу ..	27

Лабораторна робота №1

Дослідження характеристик і регулювальних властивостей привода з двигуном постійного струму незалежного збудження

1.1. Мета роботи

Експериментально одержати швидкісні $\omega = f(\varphi)$ і за допомогою розрахунку механічні $\omega = f(M)$ характеристики двигуна незалежного збудження у рушійному і гальмівних режимах при сталій напрузі джерела живлення.

1.2. Програма роботи

1. Записати паспортні дані електричних машин, які входять в експериментальну установку, підібрати апаратуру, вимірювальні прилади і реостати.

2. Зібрати схему установки згідно рис. 1.2 (РДЗ – регульоване джерело збудження).

3. Зняти природну характеристику в генераторному і рушійному режимах ($R_d=0$, $\Phi=\Phi_n$).

4. Зняти реостатну характеристику в генераторному і рушійному режимах ($R_d=R_a+R_{d1}$, $\Phi=\Phi_n$).

Значення $R_{d1}=(2...5) R_a$ задається викладачем.

5. Зняти реостатну характеристику в генераторному, рушійному і режимі противмикання ($R_\Sigma=R_a+R_{d1}$, $\Phi=\Phi_n$), $R_{d2}=(5...7) R_a$.

6. Зняти штучні характеристики при послабленні поля двигуна $\Phi=(0.7...0.8)\Phi_n$, для значень додаткового реостата (пп. 3, 4).

7. Зняти характеристики двигуна в режимі електродинамічного гальмування при $\Phi=\Phi_n$ і двох значеннях гальмівного опору ($R_{r1}=R_{d1}$; $R_{r2}=R_{d2}$).

Розрахувати і побудувати механічні характеристики $\omega = f(M_e)$, $\omega = f(M_v)$ для усіх режимів роботи двигуна.

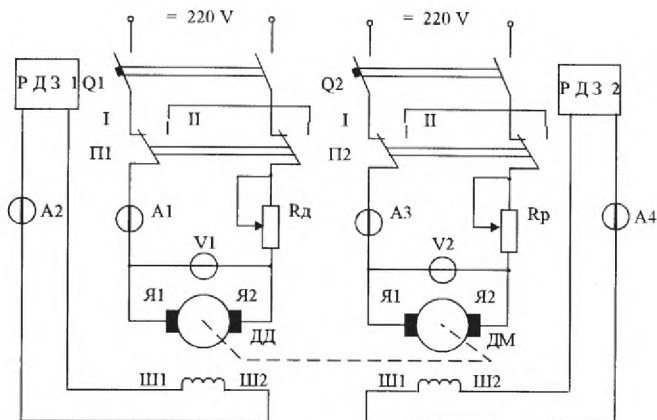


Рис 1.1

1.3. Методичні вказівки до виконання роботи

Перед тим, як приступити до виконання роботи, необхідно узгодити напрям обертання досліджуемого двигуна ДД і допоміжної машини ДМ. Для цього по черзі вмикається ДД перемикачем П1 і ДМ перемикачем П2, спостерігається напрямок обертання двигунів. При зустрічному включенні ДД і ДМ необхідно поміняти затискачі обмотки якоря або обмотки збудження одного із двигунів.

Зняття характеристик досліджуемого двигуна рекомендується починати з генераторного режиму, а потім поступово переходити в режим рушійний і противмикання. Для зняття характеристик двигуна в генераторному режимі необхідно запустити обидва двигуна при повністю уведених опорах в якірних колах (перемикачі П1 і П2 в І положенні), установити необхідне значення R_d в якірному колі ДД і зміною опору в якірному колі і струму збудження ДМ зняти декілька точок в генераторному режимі. Потім вимкнути ДМ і записати дані х.х. ДД. Для зняття характеристик ДД в рушійному режимі допоміжну машину необхідну перевести в режим електродинамічного гальмування (перемикач П2 в положенні ІІ) і, поступово зменшуючи опір R_p , зняти декілька точок в рушійному режимі. Для одержання режиму противмикання ДД при максимальному значенні опору в його якірному колі необхідно змінити напрямок обертання ДМ і, зменшуючи опір R_p , зняти одну-дві точки в режимі противмикання.

Для зняття характеристик в режимі електродинамічного гальмування перемикач П1 переводиться в положення ІІ, вмикаючи якір ДД на опір R_d . Допоміжна машина працює в якості двигуна (перемикач П2 в положенні І). Змінюючи частоту обертання ДМ за допомогою реостата R_p , одержати ряд точок характеристики в режимі електродинамічного гальмування.

Увага. При виконанні роботи струми в якірних колах ДД і ДМ навіть короточасно не повинні бути більшими $(1.5...2)I_n$.

Після виконання кожного дослідів реостати в обмотках якоря і збудження допоміжної машини повинні бути повернені в початкове положення.

Дані дослідів і розрахунків заносять в таблицю:

Дослідні дані					Розрахункові дані	
I_a, A	$\omega, 1/c$	$I_{зб}, A$	U_a, B	R_d, Om	$M_e, H \cdot m$	$M_b, H \cdot m$

1.4. Зміст звіту

Звіт повинен містити:

- 1) найменування і мету роботи;
- 2) схему експериментальної установки і специфікацію її елементів;
- 3) таблиці даних замірів;
- 4) необхідні розрахункові дані;
- 5) графічні побудови характеристик для усіх досліджуємих режимів:

$$\omega = f(I_a), \omega = f(M_e), \omega = f(M_b);$$

- 6) висновки відносно одержаних результатів.

Значення електромагнітного моменту розраховується по формулі $M_e = k\Phi \cdot I_a$, де $k\Phi = \frac{U_n - I_n R_a}{\omega_n}$; U_n, I_n, R_a, ω_n - паспортні дані двигуна.

1.5. Контрольні запитання

1. Режим роботи двигуна незалежного збудження. Привести діаграми потужностей.
2. Способи регулювання частоти обертання двигуна незалежного збудження.
3. Способи електричного гальмування двигуна незалежного збудження. Їх позитивні якості і недоліки. Привести діаграми потужностей.
4. Розрахунок механічних характеристик двигуна для усіх можливих режимів роботи.
5. Шляхи здійснення реверсу двигуна з незалежним збудженням.
6. Визначення величини додаткового опору, що необхідно увести в коло якоря з незалежним збудження, щоб одержати задане значення частоти обертання:
 - а) в рушійному режимі;
 - б) в гальмівних режимах.

Лабораторна робота №2

Дослідження характеристик і регулювальних властивостей привода з двигуном постійного струму послідовного збудження

2.1. Мета роботи

Експериментально одержати швидкісні $\omega = f(\varphi)$ і за допомогою розрахунку механічні $\omega = f(M)$ характеристики двигуна послідовного збудження у русійному і гальмівних режимах при сталій напрузі джерела живлення.

2.2. Програма роботи

1. Записати паспортні дані електричних машин, які входять в експериментальну установку, підібрати апаратуру, вимірювальні прилади і реостати.
2. Зібрати схему установки згідно рис. 2.5 (РДЗ – регульоване джерело збудження).
3. Зняти природну і дві-три реостатні характеристики для заданих викладачем значень додаткового опору (R_d) в якірному колі.
4. Зняти декілька характеристик в режимі електродинамічного гальмування з самозбудженням для заданих викладачем значень R_d .
5. Зняти штучні характеристики при шунтуванні якоря (значення R_d і $R_{шя}$ задаються викладачем).
6. Зняти штучні характеристики при шунтуванні обмотки збудження для заданих викладачем значень $R_{шз}$ і $R_d=0$.

2.3. Методичні вказівки до виконання роботи

Перед тим, як приступити до виконання роботи, необхідно узгодити напрямок обертання досліджуваного двигуна ДД і допоміжної машини ДМ. Для цього по черзі вмикається ДД перемикачем П1 і ДМ перемикачем П2, спостерігається напрямок обертання двигунів. При зустрічному включенні ДД і ДМ необхідно поміняти затискачі обмотки якоря або обмотки збудження одного із двигунів.

Щоб зняти природну характеристику в русійному режимі (див. рис. 2.1) необхідно запустити ДД при повністю уведеному в якірному колі додатковому опору, плавно вивести його до нуля і записати частоту обертання $x.x$. Потім увімкнути ДМ як навантажувальний генератор (перемикач П2 в положенні П) і, змінюючи допоміжний опір в його якірному колі, зняти декілька точок швидкісної природної характеристики. Для одержання реостатних характеристик необхідно увести заданий опір в якірне коло ДД і повторити дослід.

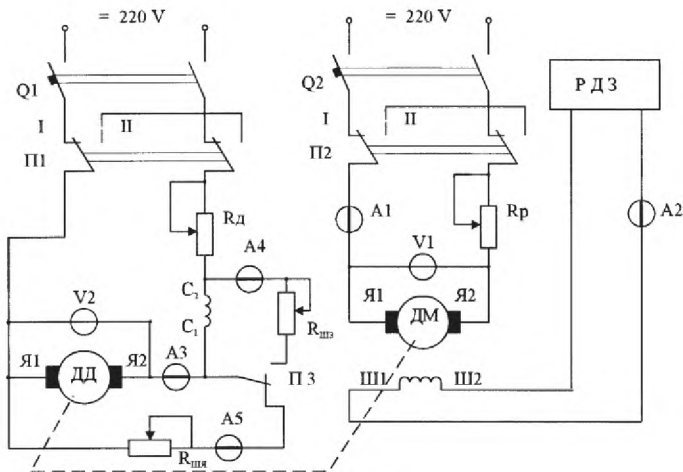


Рис. 2.1

Аналогічним чином проводиться зняття характеристик при шунтуванні обмотки збудження. Зняття характеристик при шунтуванні якоря необхідно проводити для трьох режимів роботи: генераторного, рушійного і режиму противимкання. Для одержання генераторного режиму ДД необхідно ДМ перевести в рушійний режим (перемикач П2 в I положенні) і плавним зменшенням опору R_p одержати ряд точок швидкісної характеристики. При дослідженні режиму противимкання необхідно змінити напрямок обертання ДМ і таким же чином зняти характеристику.

Для того, щоб зняти характеристики в режимі електродинамічного гальмування з самозбудженням ДД приводиться в обертання ДМ (перемикач П1 - в II положенні, П2 - в I положенні). При незмінному опорі R_d збільшення швидкості ДД в цьому режимі необхідно проводити до струму в якорі (1.2...1.4) номінального. Якщо в процесі дослідження не виникає самозбудження, необхідно пам'ятати, що умовами самозбудження є: наявність потоку залишкового намагнічування, узгоджене включення обмоток якоря і збудження, сумарний опір якорного кола повинен бути менше критичного.

Результати замірів і розрахунків заносять в таблицю:

№ п/п	Режим роботи	Дослідні дані							Розрахунк ові дані	
		$I_{я},$ А	$\omega,$ 1/с	$R_d,$ Ом	$R_{шя},$ Ом	$R_{шз},$ Ом	$I_{шя},$ А	$I_{шз},$ А	КФ	$M,$ Н·м

2.4. Зміст звіту

Звіт повинен містити:

- 1) найменування і мету роботи;
- 2) схему експериментальної установки і специфікацію її елементів;

- 3) таблиці даних замірів;
- 4) необхідні розрахункові дані;
- 5) графічні побудови характеристик $\omega = f(\Phi_{\text{я}})$, $\omega = f(M)$. Для побудови механічних характеристик необхідно розрахувати і побудувати перехідну характеристику $K\Phi = f(\Phi_{\text{я}})$. При наявності залежності $K\Phi = f(\Phi_{\text{я}})$ значення моменту легко визначається по формулі $M = K\Phi \cdot I_{\text{я}}$;
- 6) висновки відносно одержаних результатів.

Контрольні запитання

1. Особливості роботи двигуна послідовного збудження.
2. Розрахунок механічних характеристик двигуна послідовного збудження.
3. Особливості роботи двигуна при шунтуванні якоря, обмотки збудження. Розрахунок характеристик в даних режимах роботи.
4. Особливості електродинамічного гальмування двигуна з самозбудженням.
5. Які характеристики називаються робочими і універсальними робочими характеристиками двигунів з послідовним збудженням? Як їх досягають?
6. Викладіть методику побудови природної механічної характеристики двигуна з послідовним збудженням за універсальними робочими характеристиками.

Лабораторна робота № 3

Дослідження характеристик і регулювальних властивостей привода з асинхронним двигуном з фазним ротором

3.1. Мета роботи

Експериментальне одержання швидкісних $\omega = f(\epsilon)$, $\omega = f(p)$, розрахунок механічних $\omega = f(M)$ характеристик асинхронного двигуна з фазним ротором в рушійному і гальмівних режимах при сталій напрузі джерела живлення.

3.2. Програма роботи

1. Записати паспортні дані електричних машин, які входять в експериментальну установку, підібрати апаратуру, вимірювальні прилади та реостати.

2. Зібрати схему установки згідно рис. 3.1 (РДЗ – регульоване джерело збудження).

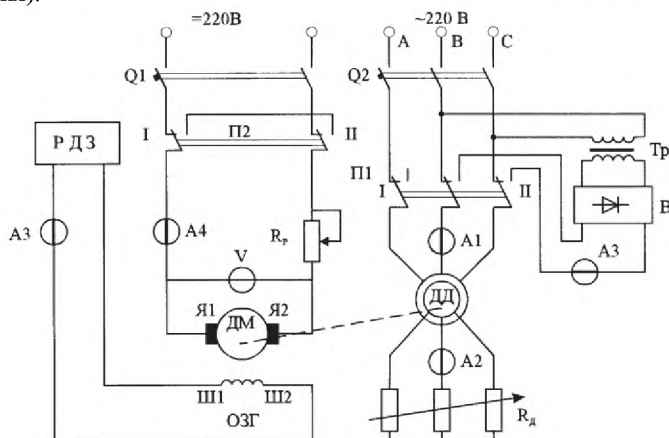


Рис. 3.1

3. Зняти природну і дві штучні характеристики двигуна в генераторному і рушійному режимах роботи.

4. Для заданого викладачем додаткового опору ротора зняти характеристику в режимі противмикання.

5. Зняти характеристики в режимі електродинамічного гальмування для випадків:

- а) $I_{П1}$, $R_{Д1}$; б) $I_{П1}$, $R_{Д2}$; в) $I_{П2}$, $R_{Д1}$; г) $I_{П2}$, $R_{Д2}$.

3.3. Методичні вказівки до виконання роботи

Перед тим, як приступити до виконання роботи, необхідно узгодити напрямок обертання досліджуваного двигуна ДД і допоміжної машини ДМ. Для цього по черзі вмикається ДД перемикачем П1 (в I положенні) і ДМ перемикачем П2 (в I положенні). Опір $R_{Д1}$ і $R_{Д2}$ при цьому повинні мати

максимальне значення.

Щоб зняти характеристики досліджуваного двигуна рекомендується починати з генераторного режиму, а потім поступово переходити в рушійний режим і режим противмикання.

При мінімальному значенні опору R_p допоміжна машина, а отже і досліджуваний двигун будуть обертатися з частотою обертання вище швидкості ідеального х.х. ДД (перемикачі П1 і П2 знаходяться в положенні І).

В цьому випадку досліджуваний двигун буде працювати як генератор паралельно з мережею.

Збільшуючи опір R_p , здійснюють уповільнення частоти обертання досліджуваного двигуна. При перемиканні перемикача П2 в положення ІІ допоміжна машина буде працювати в режимі генератора (електродинамічне гальмування), а досліджуваний двигун - в рушійному режимі.

Для одержання режиму противмикання необхідно змінити полярність напруги на якорі допоміжної машини, а перемикач П2 ввімкнути в І положення. При плавному зменшенні опору R_p навантажувальний момент, що створює допоміжна машина, стане більше моменту, що розвиває досліджуваний двигун, і останній змушений буде змінити напрям обертання.

В процесі одержання характеристик в генераторному режимі частота обертання ДД не повинна перевищувати $1.25\omega_0$, а значення критичного моменту необхідно старанно фіксувати.

Дослідні і розрахункові дані заносять в таблицю:

Режим роботи	Дослідні дані					Розрахункові дані		
	I_a, A	$\omega, 1/c$	U_a, B	$I_{ст}, A$	I_p, A	$M_e, H \cdot m$	$M_x, H \cdot m$	$M, H \cdot m$

Характеристики електродинамічного гальмування одержують при підключенні статора досліджуваного двигуна перемикачем П1 до мережі постійного струму.

Джерелом постійного струму служить випрямляч, підключений до вторинної обмотки трансформатора на різні напруги (задається викладачем) або шкільний щиток.

Щоб зняти характеристики, необхідно привести в обертання досліджуваний двигун за допомогою допоміжної машини. Характеристики одержують в діапазоні обертів ДД від нуля до номінальних.

Обов'язково необхідно зафіксувати точку максимального моменту. Рекомендується підрахунок вести від максимальної швидкості за показанням вольтметра через $(10...20) B$.

Результати дослідів і розрахунків заносять в таблицю:

№ п/п	$R_{доп} = \quad ; I_{п} =$							
	Дослідні дані				Розрахункові дані			
	I_a, A	$\omega, 1/c$	U_a, B	I_p, A	$M_e, H \cdot m$	$M_x, H \cdot m$	$M, H \cdot m$	

3.4. Зміст звіту

Звіт повинен містити:

- 1) найменування роботи і її мету;
- 2) схему експериментальної установки і специфікацію її елементів;
- 3) таблиці даних замірів;
- 4) необхідні розрахункові дані;
- 5) графічні побудови характеристик $\omega = f(\varphi_c)$, $\omega = f(\varphi_p)$, $\omega = f(M)$.

Момент двигуна визначається як $M=P/\omega$, де $P=U_{\text{я}}I_{\text{я}}$;

- 6) висновки відносно одержаних результатів.

При побудові залежності $\omega = f(M)$ необхідно урахувати, що корисний момент двигуна менше електромагнітного на значення моменту х.х. Значення M_x визначається із характеристики $M_x = f(\varphi)$, одержаної дослідним шляхом.

Контрольні запитання

1. Як пояснити нелінійний характер механічної характеристики асинхронного двигуна?
2. Які методи використовуються для аналізу усталених режимів АД?
3. Що таке критичне ковзання АД і якими параметрами воно визначається?
4. Що таке критичний момент АД, який вплив на його величину мають різні параметри двигуна?
5. Які гальмівні режими можливі в електроприводах з АД і як вони здійснюються?
6. Як розрахувати величини допоміжних опорів для одержання необхідної при даному навантаженні частоти обертання?

Лабораторна робота № 4

Дослідження регульованих властивостей системи генератор-двигун

4.1. Мета роботи

Експериментальне дослідження режимів роботи двигуна постійного струму в системі генератор-двигун (Г-Д).

4.2. Програма роботи

1. Записати паспортні дані електричних машин, які входять в експериментальну установку, підібрати апаратуру, вимірювальні прилади і реостати.

2. Зібрати схему установки згідно рис. 4.1 (РДЗ – регульоване джерело збудження).

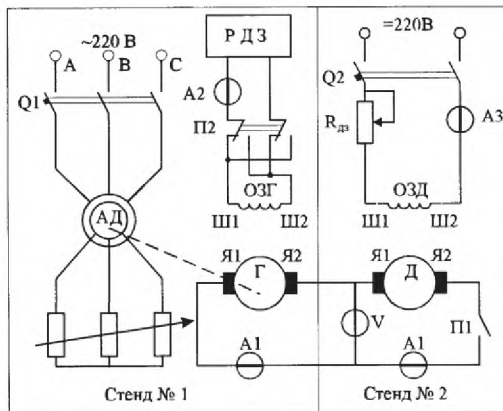


Рис. 4.1

3. Зняти швидкісні характеристики для декількох значень струму збудження генератора (задається викладачем) при максимальному струмі збудження двигуна.

4. Зняти 1-2 швидкісні характеристики при ослабленому потоці двигуна (значення струмів збудження двигуна задаються викладачем). Потік генератора при цьому повинен бути максимальним.

5. Дослідити процес сповільнення двигуна в системі Г-Д в русійному режимі.

6. Дослідити процес режиму противмикання в системі Г-Д.

7. Дослідити питання гасіння поля залишкового магнетизму генератора.

4.3. Методичні вказівки до виконання роботи

Установивши струм збудження генератора рівним нулю, при розімкненому перемикачі ПІ запускається асинхронний двигун АД і записується е.р.с. залишкового магнетизму.

Після вмикання перемикача ПІ (при максимальному струмі збудження двигуна), збільшуючи е.р.с. генератора, розігнати двигун Д до необхідної

частоти обертання.

Установивши задане значення струму збудження генератора, а потім двигуна, зняти швидкісні характеристики, навантажуючи двигун механічним гальмом до $1.5I_{н.}$

Дослідні і розрахункові дані заносять у таблицю:

№ п/п	Дослідні дані					Розрахункові дані	
	$I_{зг}, A$	$I_{здв}, A$	$I_{я}, A$	$\omega, 1/c$	$U_{я}, B$	$\Gamma' R_{д}, B\Gamma$	$M, H\cdot M$

Гальмування в системі Г-Д, як правило, відбувається з рекуперацією енергії в мережу до повної зупинки двигуна. Для цього достатньо зменшити потік збудження генератора таким чином, щоб е.р.с. двигуна в процесі гальмування була більше е.р.с. генератора. Значення гальмівного моменту залежить для даної системи від початкової частоти обертання і швидкості введення опору в обмотку збудження генератора. В досліді гальмування здійснюється ступінчастим зменшенням струму збудження генератора при відсутності навантаження на валу двигуна. Необхідно кожний раз відмічати кидок струму генераторного режиму, початкові і кінцеві значення частоти обертання і напрям.

Дослідні і розрахункові дані заносять у таблицю:

Режим роботи	Початкові значення				Кінцеві значення				$\Delta I, A$	$\Delta M, H\cdot M$
	$U_{я}, B$	$\omega, 1/c$	$I_{я}, A$	$M, H\cdot M$	$U_{я}, B$	$\omega, 1/c$	$I_{я}, A$	$M, H\cdot M$		
Усталений $I_{зг} = \max$										
Гальмування $I_{зг} = 0.75 I_{зг \max}$										
і т.д.										

Найбільш інтенсивним гальмуванням буде при зміні напрямку потоку збудження генератора. Якщо знехтувати електричною інерцією обмотки збудження генератора, то процес гальмування нічим не відрізняється від гальмування противмиканням двигуна. Щоб уникнути великих поштовхів струму в якірному колі, противмикання можливе при незначній е.р.с. генератора. В лабораторії дослід проводиться при напрузі (30...50) В.

Реверсором П2 в колі збудження генератора миттєво змінюють напрям прикладеної напруги.

Уставлені значення $U_{я}$, $I_{я}$, ω до гальмування і після нього, а також кидки струму в момент гальмування заносять в таблицю:

Режим роботи	$U_{я}, B$	$I_{я}, A$	$\omega, 1/c$	$M, H\cdot M$	$\Delta I, A$	$\Delta M, H\cdot M$
Усталений режим до гальмування						
Усталений режим після гальмування						

Для дослідження питання гасіння поля залишкового магнетизму генератора необхідно установити задану напругу на затискачах генератора (перемикач П1 розімкнений), повільно зменшити до нуля струм збудження генератора і записати е.р.с. залишкового магнетизму.

Увімкнути перемикач П1, заміряти струм, напругу і частоту обертання

двигуна. Дослід провести для початкових значень напруги 50, 100, 150 В.

Дослідні і розрахункові дані заносять в таблицю:

№ п/п	Початкова напруга	е.р.с. залишкового магнетизму генератора	Перемикач П1 замкнений			
			U _я , В	I _я , А	ω, 1/с	М, Н·м

4.4. Зміст звіту

Звіт повинен містити :

- 1) найменування роботи і її мету;
- 2) схему експериментальної установки і специфікацію її елементів; таблиці даних замірів;
- 3) необхідні розрахункові дані;
- 4) графічні побудови характеристик $\omega = f(\varphi_{я})$, $\omega = f(M)$;
- 5) висновки відносно одержаних характеристик.

4.5. Контрольні запитання

1. Які можливі напрями зміни частоти обертання двигуна в системі Г-Д, діапазон зміни і причини, що його обмежують ?
2. Економічні показники привода в системі Г-Д в порівнянні з другими системами привода.
3. Вплив робочої напруги генератора на е.р.с. залишкового магнетизму.
4. Як у системі Г-Д проходить рекупераційне гальмування?
5. Як здійснюється режим електродинамічного гальмування двигуна в системі Г-Д?
6. Перелічіть позитивні якості та недоліки системи Г-Д і наведіть приклади її практичного використання.

$$f_2 = f_m s = f_m \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}, \quad (5.1)$$

де ω_0 - синхронна частота обертання АПЧ; f_m - частота мережі живлення.

Таким чином, для одержання $f_2 > f_m$ АПЧ повинен працювати в режимі противмикання ($\omega_0 < 0$). Контроль значення частоти живлення здійснюється візуально за показанням датчика частоти обертання.

Досліджуємиий двигун - короткозамкнена машина з механічним гальмом на валу. Апаратура для дослідження характеристик двигуна змонтована на окремій приставці (обведено на рис. 5.1 штриховою лінією).

Потужність, яка надходить з валу двигуна постійного струму, визначається так:

$$P_{дп} = \frac{f_2 - f_m}{f_2} P_2, \quad (5.2)$$

При $f_2 > f_m$ двигун ДП споживає потужність від мережі, у випадку, коли $f_2 < f_m$ машина постійного струму повертає енергію в мережу. Потужність, яку споживає АПЧ з мережі,

$$P_{АПЧ} = \frac{f_m}{f_2} P_2. \quad (5.3)$$

Момент досліджуємого двигуна

$$M = \frac{P'_2}{\omega}, \quad (5.4)$$

де $P'_2 = P_2 - 3I_2^2 R_2$ - втрати в обмотках статора.

Результати вимірів і розрахунків заносять в таблицю:

f, Гц	Дослідні дані							Розрахункові дані				
	I ₁ , А	I ₂ , А	ω, 1/с	U ₂ , В	P ₂ , Вт	I _я , А	U _я , В	P' ₂ , Вт	M, Н·м	cosφ	η	P _{дп} , Вт

Коефіцієнт потужності двигуна

$$\cos \varphi = \frac{P_2}{\sqrt{3} U_2 I_2} \quad (5.5)$$

Коефіцієнт корисної дії

$$\eta = \frac{P'_2}{P_2} \quad (5.6)$$

Потужність двигуна постійного струму

$$P_{дп} = U_{я} I_{я} \pm I_{я}^2 R_{я} \quad (5.7)$$

5.4. Зміст звіту

Звіт повинен містити:

- 1) найменування роботи і її мету;
- 2) схему експериментальної установки і специфікацію її елементів;
- 3) таблиці даних замірів;
- 4) необхідні розрахункові дані;

- 5) графічні побудови характеристики $\omega = f(M)$ для ряду значень частоти живлення; $\cos \varphi = f(\omega)$, $\eta = f(\omega)$, $P = f(\omega)$ при незмінному моменту на валу (значення моменту студенти вибирають самостійно);
- 6) висновки відносно одержаних характеристик.

5.5. Контрольні запитання

1. Визначення коефіцієнта потужності і к.к.д. привода, який живиться від АПЧ.
2. Можливий чи ні генераторний режим роботи двигуна АД при живленні від АПЧ?
3. Відрізняється чи ні двофазний режим роботи двигуна АД, який живиться від АПЧ, від відповідного режиму при двофазному живленні від мережі.
4. Для яких видів навантаження застосовується частотно-керований привод в системі АПЧ-АД?
5. Які необхідні умови для забезпечення віддачі енергії в мережу на щесинхронних швидкостях за допомогою двигуна постійного струму ДПП?
6. Чому для частотно-керovanого привода необхідні спеціальні типи електродвигунів?
7. Яким шляхом можна забезпечити реверс двигуна АД?
8. Закони частотного регулювання і умови, від яких вони залежать.
9. В яких випадках доцільно застосовувати частотно-керований привод в системі АПЧ-АД?
10. Охарактеризуйте оптимальний режим роботи асинхронного двигуна при різних характерах навантажувального моменту.

Лабораторна робота № 6

Дослідження регулювальних властивостей і одержання характеристик машино-вентильного каскаду постійної потужності

6.1. Мета роботи

Одержати експериментально швидкісні $\omega = f(I_c)$, $\omega = f(I_p)$ і за допомогою розрахунку - механічні та енергетичні характеристики машино-вентильного каскаду постійної потужності.

6.2. Програма роботи

1. Записати паспортні дані машини, які входять в експериментальну установку, та підібрати апаратуру, вимірювальні прилади і реостати.
2. Зібрати схему установки згідно рис. 6.1.
3. Узгодити напрямок е.р.с. машини постійного струму і випрямленої напруги ротора асинхронного двигуна.
4. Для декількох (3...5) значень струму збудження машини постійного струму від $I_{3, \text{МПС}}=0$ до $I_{3, \text{МПС}}=I_{3, \text{н}}$ зняти швидкісні характеристики каскаду $\omega = f(I_c)$, $\omega = f(I_p)$.
5. Розрахувати значення $M_{\text{АД}}$, $M_{\text{МПС}}$, M_K , η_K , $\cos\phi_K$.

Машинний каскад постійної потужності (рис. 6.1) містить дві механічно зв'язані машини: асинхронний двигун (АД) та машину постійного струму (МПС).

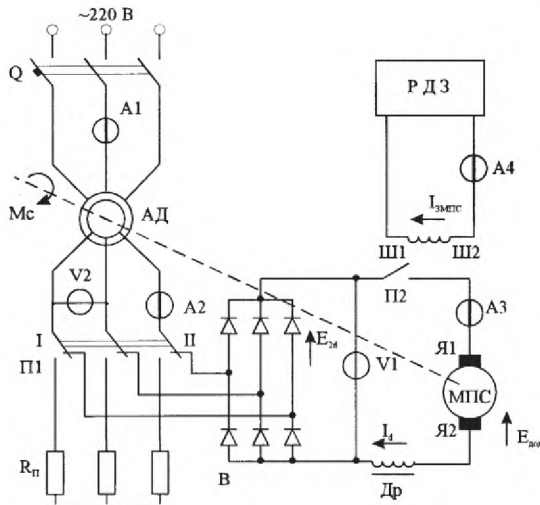


Рис. 6.1

Регулювання швидкості обертання здійснюється шляхом зміни струму збудження МПС.

6.3. Методичні вказівки до виконання роботи

Перед тим, як характеристики зняти, необхідно узгодити напрямок е.р.с. МПС з напрямком випрямленої напруги АД. Для цього проводиться запуск АД з реостатом у роторному колі (перемикач П1 в положенні II), збудження МПС при цьому дорівнює нулю, статичний момент на валу відсутній. На підсинхронній швидкості обертання ротор АД перемикається на перетворювач В (перемикач П1 в положенні I). Якщо схема експериментальної установки зібрана таким чином, що е.р.с. МПС направлена назустріч випрямленій напрузі ротора, збільшення струму збудження приводить до плавного зменшення швидкості обертання і зменшенню струму I_d силового кола МПС. В протилежному випадку (незначне збільшення струму збудження супроводжується різким зростанням струму I_d) необхідно вимкнути машини з мережі, змінити полярність на обмотці збудження МПС і зробити повторний запуск каскаду.

При заданих викладачем значеннях струму збудження МПС за допомогою механічного гальма зняти швидкісні характеристики каскаду.

Результати замірів і розрахунків звести в таблицю:

№ п/п	Експериментальні дані							Розрахункові дані				
	I_z, A	I_c, A	I_p, A	U_p, B	I_d, A	$U_{я}, B$	$\omega, 1/c$	$M_{АД}, Н\cdot м$	$M_{МПС}, Н\cdot м$	$M_K, Н\cdot м$	η_K	$\cos\varphi_K$

Струм намагнічування асинхронного двигуна I_μ визначається з досліду холостого ходу при розімкненому колі постійного струму (перемикач П2 розімкнений).

6.4. Зміст звіту

Звіт повинен містити:

- 1) найменування роботи та її мету;
- 2) схему експериментальної установки та специфікацію її елементів;
- 3) таблиці даних замірів;
- 4) необхідні розрахункові дані;

5) графіки характеристик $\omega = f(I_c)$; $\omega = f(I_p)$; $\omega = f(M_{АД})$;
 $\omega = f(M_{МПС})$; $\omega = f(M_K)$; $\eta_K = f(\varphi)$ при $M_K = const$; $\eta_K = f(M_K)$ для $I_{з.мпс} = const$;
 $\cos \varphi_K = f(\varphi)$ при $M_K = const$; $\cos \varphi_K = f(M_K)$ для $I_{з.мпс} = const$;

- 6) висновки відносно одержаних характеристик.

Каскад постійного моменту вигідно відрізняється тим, що при однаковій потужності МПС з потужністю АД можна одержати практично будь-яку швидкість обертання, яка лежить в межах від нуля до синхронної. Очевидно, що і потужність приводного двигуна (ПД) МПС повинна бути в цьому випадку однаковою з потужністю АД.

7.3. Методичні вказівки до виконання роботи

Перед тим, як зняти характеристики, необхідно узгодити напрямок е.р.с. МПС з напрямком випрямленої напруги АД. Для цього при розірваному колі постійного струму (перемикач П1 розімкнутий) вмикається до мережі статор АД і вольтметром V2 робиться замір напруги на перетворювачу $U_{d,max}$. Потім вмикається до мережі обмотка збудження МПС і встановлюється струм збудження $I_s=0$. Замкнувши перемикач П1 і ввімкнувши ПД до мережі, незначно збільшують струм збудження МПС. Якщо збільшення струму збудження МПС супроводжується значним зростанням струму в колі постійного струму напрямок е.р.с. $E_{дод}$ співпадає з напрямком випрямленої напруги ротора U_d . Необхідно вимкнути обмотку збудження та змінити на ній полярність напруги. Ввімкнувши обмотку збудження до мережі і переконавшись в тому, що напрямок $E_{дод}$ зустрічний U_d , збільшенням струму збудження МПС встановлюємо $E_{дод}=U_{d,max}$ і вмикаємо до мережі АД автоматичним вимикачем АВ1. Плавню зменшуючи струм збудження до нуля розганяємо АД до максимальної швидкості.

При декількох значеннях струму збудження МПС, навантажуючи АД механічним гальмом, знімаємо швидкісні характеристики.

Результати замірів і розрахунків зводимо в таблицю:

№ п/п	Експериментальні дані							Розрахункові дані		
	I_s, A	I_c, A	I_p, A	U_p, B	I_d, A	U_d, B	ω, c^{-1}	$M_k, H \cdot m$	η_k	$\cos \varphi_k$

7.4. Зміст звіту

Звіт повинен містити:

- 1) найменування роботи та її мету;
- 2) схему експериментальної установки та специфікацію її елементів;
- 3) таблиці даних замірів;
- 4) необхідні розрахункові дані;
- 5) графіки характеристик $\omega = f(I_c)$; $\omega = f(I_p)$; $\omega = f(M_k)$;

$$\eta_k = f(\omega) \text{ та } \cos \varphi_k = f(\omega) \text{ при } M_k = \text{const};$$

- 6) висновки відносно одержаних характеристик.

Лабораторна робота № 8

Дослідження регулювальних властивостей і одержання характеристик реверсивного вентильного електропривода постійного струму

8.1 Мета роботи

Одержати експериментально швидкісні $\omega = f(U_d)$, і за допомогою розрахунку механічні $\omega = f(M)$ характеристики, діапазон регулювання і енергетичні показники реверсивного вентильного електропривода постійного струму.

8.2. Програма роботи

1. Записати паспортні дані перетворювача і машин, які входять в експериментальну установку, підібрати апаратуру, вимірювальні прилади і реостати.
2. Зібрати схему установки згідно рис. 8.1.
3. Зняти регулювальні характеристики кожного із перетворювачів $U_d = f(U_s)$; $\omega = f(U_s)$.
4. Зняти регулювальну характеристику реверсивної схеми U_d, ω в функції U_s .
5. Для декількох значень напруги завдання зняти швидкісні характеристики для прямого і зворотного напрямків обертання двигуна.
6. Виконати розгін і уповільнення в системі ТП-Д.
7. Розрахувати значення M, α, K_{Π}, η .

експериментальних досліджень необхідно спочатку одержати відомості про управляючі властивості реверсивного привода, для чого по черзі вмикаються автомати АВ2 і АВ3 і знімаються залежності випрямленої напруги U_d (вольтметр V1) і частоти обертання ω двигуна від управляючого параметра - напруги U_3 (вольтметр V2) або струму I_y (амперметр А2), які задаються положенням движка потенціометра завдання R_3 , для аналізу міри узгодження характеристик перетворювача дослід виконується при двох включених автоматах АВ2 і АВ3.

Дані експерименту та розрахунку заносять в таблицю:

Параметр и	Включений АВ2						Включений АВ3						Включені АВ2 і АВ3					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
U_d, B																		
$\omega, 1/c$																		
U_3, B																		
$\alpha_{1,2}$																		

Розрахунковий параметр – кут α знаходиться відповідно з раніше викладеною методикою.

Для одержання швидкісних характеристик необхідно змінювати навантаження на валу МПС за допомогою допоміжної машини ДП. При частоті обертання двигуна $\omega > \omega_0$, де ω_0 – синхронна частота обертання АД, реалізується інверторний режим роботи перетворювача (рекуперативний режим двигуна постійного струму).

Аналогічні режими можна одержати і при зворотному обертанні.

Швидкісні характеристики (по 2...3) одержують для прямого і зворотного напрямків обертання двигуна.

Дослідні та розрахункові дані заносять в таблицю:

U_d, B	I_d, A	$\omega, 1/c$	I_y, mA	$\alpha_{1,2}, \text{град.}$	$M, H \cdot m$	P_d, Bt

На закінчення досліджень проводиться розгін і уповільнення в системі УВ-Д. Двигун при цьому працює без навантаження.

Розгін двигуна виконується в 3...4 ступені. Для цього управляючий сигнал різко збільшується на $(1/n)$ -у частину, де n – кількість ступенів при розгоні. При цьому фіксують початкові значення U_d , I_y , ω , кидок струму ΔI_y внаслідок зміни сигналу управління, нові сталі значення напруги, струму, швидкості.

Уповільнення здійснюється у зворотній послідовності. Одержані дані заносять в таблицю:

Виконувана операція	Початкові значення					Сталі значення			
	U_d , В	I_d , А	ω , 1/с	α , град.	ΔI_a , А	ΔU_d , В	I_d , А	ω , 1/с	α , град.
Розгін прямому напрямку у									
Уповільнення									
Розгін зворотному напрямку у									
Уповільнення									

8.4. Зміст звіту

Звіт повинен містити:

- найменування роботи та її мету;
- схему експериментальної установки і специфікацію її елементів;
- таблиці даних замірів і розрахункові дані;
- графіки характеристик $\omega = f(\alpha)$, $\omega = f(M)$, $U_d = f(\alpha)$, $U_d = f(\alpha)$ і залежності $K_H = f(\alpha)$, $K_H = f(\alpha)$, $\eta = f(\alpha)$, $\eta = f(\alpha)$;
- висновки відносно одержаних результатів.

Контрольні запитання

- Призначення індуктивностей, які включаються в коло якоря двигуна, при живленні його від перетворювача..
- Якими способами можливо одержати реверсування двигуна в системі ТП-Д?
- Пояснити роботу випрямляча в інверторному режимі. Умови одержання інверторного режиму.
- Від чого залежить коефіцієнт потужності в системі привода ТП-Д?
- Які позитивні якості і недоліки системи ТП-Д?
- Які методи регулювання випрямленої напруги використовують у схемах електроприводів постійного струму з тиристорами?
- Наведіть приклади тиристорних приводів постійного струму.

Лабораторна робота № 9

Визначення моменту інерції електропривода методом вільного вибігу

9.1. Мета роботи

Експериментальне визначення моменту інерції двох двигунів з жорстким механічним зв'язком методом вільного вибігу.

9.2. Програма роботи

1. Записати паспортні дані машин, які входять в експериментальну установку, підібрати апаратуру, вимірювальні прилади і реостати.
2. Зібрати схему установки згідно рис. 9.1.
3. Зняти криву вибігу $\omega = f(t)$.

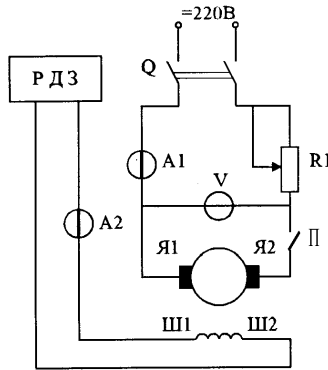


Рис. 9.1

4. В межах значень частоти обертання кривої вибігу зняти параметри двигуна ($U_{я}$, $I_{я}$) для побудови кривої $\Delta P_{ВТРАТ} = f(\omega)$.
5. Визначити значення моменту інерції методом вільного вибігу і методом дотичної до кривої вибігу.
6. Порівняти результати, одержанні різними методами, і пояснити причини можливих розходжень.

17.4. Методичні вказівки до виконання роботи

Для зняття кривої вибігу $\omega = f(t)$ (рис. 9.2) вмиканням перемикачів Q і П через додатковий регулюємий опір R_1 система розганяється до сталої частоти обертання. Для прогрівання, і отже, зменшення моменту зрушення машина залишається ввімкненою на повних обертах на 10 хвилин. Потім перемикачем П якір двигуна вимикається з мережі, залишивши включеною обмотку збудження.

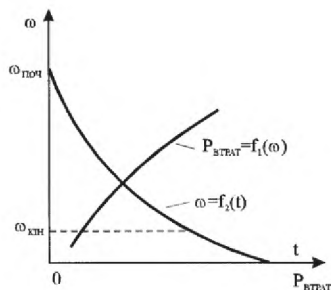


Рис 9.2

Частота обертання системи буде поступово зменшуватися, так як з моменту відключення зникає обертальний момент двигуна, а опір руху (тертя, вентиляційні втрати і т.д.) проявляється протидіючим моментом втрат.

Таким чином, рівняння руху для даного випадку буде мати вигляд, Н·м:

$$0 - M_{\text{втр}_\text{ат}} = J \frac{d\omega}{dt}$$

Рух відбувається за рахунок кінетичної енергії, акумульованої в масах системи, які обертаються, і закінчується при повній її витраті.

Щоб зняти залежність $\omega = f(t)$ на тахометр наклеїти кружок і через рівні відрізки часу (1...2 с), починаючи з моменту вимикання, відмічаються положення стрілки в момент відрахунку.

Одержані значення частоти обертання і часу заносять в таблицю:

t, с	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ω , 1/с	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	ω_6	ω_7	ω_8	ω_9

Щоб заміряти частоту обертання, можна використати показання вольтметра, вважаючи $E = U = k\Phi \cdot \omega$.

Коефіцієнт е.р.с. (КФ) визначається для двох-трьох розрахунків частоти обертання і береться його середнє значення.

З метою одержання даних для побудови кривої $P_{\text{втр}_\text{ат}} = f(\omega)$ (рис. 9.2) попередньо при вимкненому двигуні методом амперметра і вольтметра заміряється опір якірного кола.

Так як втрати енергії, викликані опором руху, по величині залежать від частоти обертання, то для одержання кривої $P_{\text{втр}_\text{ат}} = f(\omega)$ необхідно при тому ж струмі збудження введенням опору в коло якоря змінювати частоту обертання системи і для кожного її значення записати показання амперметра А1 і вольтметра V.

Результати дослідів занести у таблицю:

ω , 1/с					
$U_{\text{я}}$, В					
$I_{\text{я}}$, А					
$P_{\text{втр}_\text{ат}}$, Вт					

Потужність машини постійного струму, підведена до якоря, $P_{\text{я}} = U_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}}$. Для визначення потужності втрат обертання необхідно з потужності, підведеної до якоря, відняти втрати в міді якоря $P_{\text{ВТРАТ}} = P_{\text{я}} - I_{\text{я}}^2 R_{\text{я}}$.

По даним дослідів будувється залежність $\omega = f(t)$; $P_{\text{ВТРАТ}} = f(\omega)$.

Для визначення моменту інерції системи по кривим $\omega = f(t)$ і $P_{\text{ВТРАТ}} = f(\omega)$, вилучивши проміжну координату ω , будувється крива $P_{\text{ВТРАТ}} = f(t)$ (рис. 9.3).

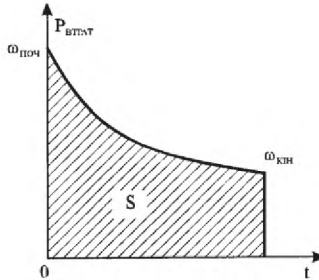


Рис. 9.3

При самогальмуванні від початкової частоти обертання до повної зупинки робота $A = \int_0^{t_{\text{Г}}} P_{\text{ВТРАТ}}(t) dt$, де $t_{\text{Г}}$ - час гальмування.

Величина інтегралу в певному масштабі дорівнює площі S , обмеженої кривою $P_{\text{ВТРАТ}} = f(t)$ (на рис. 9.3 ця площа заштрихована).

Масштаб при замірі площі визначається таким виразом:

$$\mu_s = \frac{Bm \cdot c}{Cm^2}$$

Виразимо витрачену енергію через параметри, які визначають кінетичну енергію:

$$\mu_s S = J \frac{\omega_{\text{поч}}^2 - \omega_{\text{кін}}^2}{2},$$

де $\omega_{\text{поч}}$, $\omega_{\text{кін}}$ - відповідно початкове і кінцеве значення частоти обертання;

$$J = \frac{2S \cdot \mu_s}{\omega_{\text{поч}}^2 - \omega_{\text{кін}}^2}$$

Вважаючи, що спарені якоря обох машин приблизно рівні по розмірам

$$J_{\text{об}} = \frac{J}{2}.$$

Для визначення моменту інерції методом дотичної на знятій кривій вибігу визначають втрати холостого ходу $P_{\text{втр}} для якої-небудь частоти обертання, наприклад ω_1 (рис. 9.4).$

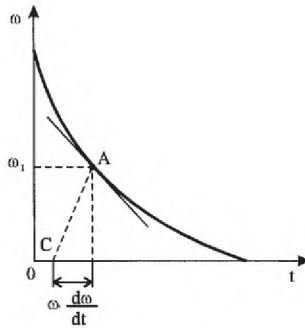


Рис. 9.4

Величина дотичної $\omega \frac{d\omega}{dt}$ знаходиться з кривої вибігу з тієї точки, для якої визначені втрати холостого ходу (точка А).

Масштаб дотичної визначається по вибраним масштабам частоти обертання і часу:

$$\mu_{\omega} \left[\frac{\text{рад/с}}{\text{см}} \right]; \quad \mu_t = \left[\frac{\text{с}}{\text{см}} \right].$$

Тоді масштаб дотичної $\mu = \frac{\mu_{\omega}}{\mu_t}$ тобто

$$\omega \frac{d\omega}{dt} = CB \cdot \mu,$$

де СВ- в сантиметрах.

$$\text{Момент інерції } J = \frac{P_{\text{ВТРАТ}}}{\omega \frac{d\omega}{dt}}$$

9.4. Зміст звіту

Звіт повинен містити:

- 1) найменування роботи та її мету;
- 2) схему експериментальної установки та специфікацію її елементів;
- 3) таблиці даних замірів;
- 4) графічні побудови і розрахункові дані по експериментальному визначенню моменту інерції J двома методами;
- 5) порівняння одержаних результатів і аналіз можливих розходжень в значеннях моменту інерції.

Контрольні запитання

1. Що називається моментом інерції маси і маховим моментом? Який зв'язок між ними? Їх розмірність і співвідношення.
2. Дайте аналіз рівняння руху електропривода.

3. Що лежить в основі і для якої мети здійснюється зведення моментів інерції і статичних моментів?
4. Які існують методи рішення рівняння руху?
5. Як впливають махові маси на час пуску і гальмування, а також на енергетичні показники привода?
6. Викладіть суть методу вільного вибігу. В яких випадках доцільно застосовувати цей метод?
7. Яка спільна властивість дійсної і зведеної системи використовується при зведенні рушійних і статичних моментів?

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт з дисципліни
«Електропривод»
для студентів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка
електромеханіка
усіх форм навчання

Укладачі: І.І. Пересунько, доцент
Д.О. Кальмус, ст. викладач

Реєстраційний № _____

Дозволено до друку «____» _____ 2023 року.

Формат: А5

Тираж: _____ примірників.

Обсяг: 32 стор.

Видавничий центр КНУ,
вул. В. Матусевича, 11, м. Кривий Ріг