

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Український державний університет
науки і технологій**

Кафедра «Електротехніка та електромеханіка»

В авторській редакції

ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Навчально-методичні рекомендації
до виконання лабораторних робіт

Частина 1

Електронне видання

ДНІПРО
2025

УДК 62-83 (076.5)
Т 33

Упорядники:
Дмитро Володимирович Устименко
Олексій Юрійович Балійчук

Електронне видання

Схвалено Групою забезпечення якості освітньої програми G3.1.05
«Інтелектуальні системи електропостачання та електромехатронні комплекси»

Протокол №8 від 30.06.2025 р.

Т 33 Теорія електропривода: навчально- методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт. Частина 1 / упоряд. Д. В. Устименко, О. Ю. Балійчук; Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Електрон. вид. – Дніпро: УДУНТ, 2025. – 33 с.

Навчально-методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт. Частина 1.

Навчально-методичні рекомендації містять теоретичні положення та практичні рекомендації по дослідженню різноманітних систем електропривода в умовах лабораторій кафедри «Електротехніка та електромеханіка» університету.

Іл. 15. Табл. 14. Бібліогр. 2.

© Устименко Д. В. та ін., укладання, 2025

© Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2025

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	4
Лабораторна робота 1-ЕП. ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ І ККД ДПС ПЗ, ПОБУДОВА ЙОГО ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ТА МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК	5
Лабораторна робота 2-ЕП. ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДА	10
Лабораторна робота 3-ЕП. ДОСЛІДЖЕННЯ ДПС НЗ У ГАЛЬМІВНИХ РЕЖИМАХ.....	18
Лабораторна робота 4-ЕП. ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ІЗ ФОРСУВАННЯМ ЗБУДЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРА НЕЗАЛЕЖНОГО ЗБУДЖЕННЯ.....	21
Лабораторна робота 5-ЕП. ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ВЛАСИВОСТЕЙ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПОСЛІДОВНОГО ЗБУДЖЕННЯ	27
Лабораторна робота 6-ЕП. РЕГУЛЮВАННЯ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ ДПС НЗ ЗМЕНШЕННЯМ МАГНІТНОГО ПОТОКУ	29
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	32

ПЕРЕДМОВА

Метою видання є методичне забезпечення лабораторних занять з навчальної дисципліни «Теорія електроприводу» і полягає в наданні студентам чітких інструкцій та рекомендацій для правильного виконання лабораторних робіт, а також допомогти викладачам у проведенні занять. Це дозволяє забезпечити стандартизацію процесу навчання, покращити засвоєння матеріалу та забезпечити ефективне використання обладнання та ресурсів.

Видання у відповідності до робочої програми навчальної дисципліни «Теорія електроприводу» сприяє забезпеченню наступних очікуваних результатів навчання:

– ОРН3. Застосовувати знання технічних характеристик, конструкційних особливостей, призначення і правил експлуатації устаткування та обладнання для вирішення технічних задач спеціальності;

– ОРН4. Застосувати математичні та статистичні методи при зборі, систематизації, узагальненні та обробці технічної інформації про роботу електромеханічної системи;

– ОРН5. На основі аналізу режимів роботи та характеру навантаження електроприводу визначати причини несправностей вузлів електроприводу робочого механізму.

Видання містить теоретичний і практичний матеріал, порядок проведення лабораторних робіт, схеми установок, засоби самоконтролю.

Лабораторна робота 1-ЕП

ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ І ККД ДПС ПЗ, ПОБУДОВА ЙОГО ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ТА МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Мета роботи: вивчити один з методів визначення ККД і втрат потужності для ДПС ПЗ, а також ознайомитися з їх робочими якостями.

Програма та порядок виконання роботи

1. Скласти схему за рис. 1.

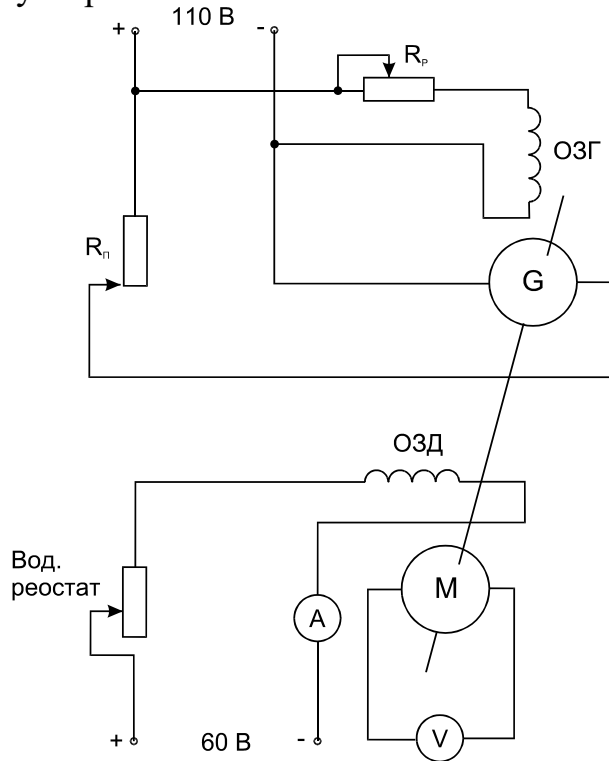


Рис. 1

2. Визначити та побудувати характеристику холостого ходу $E = f(I_3)$. Обмотку збудження увімкнути через водяний реостат. Заповнити табл. 1.

Таблиця 1

I_3, A									
E, B									

3. За характеристикою холостого ходу встановлювати значення $E_{\text{НОМ}}$, відповідне номінальному струму $I_{\text{Я НОМ}} = I_{3 \text{ НОМ}}$.

4. Використовуючи характеристику холостого ходу, побудувати магнітну характеристику $(c_e\Phi) = f(I_3)$, оскільки коли $n = const$ $E_{ном}/n_{ном} = c_e\Phi_{ном}$, і заповнити табл. 2.

5. Виміряти методом ампервольтметра опір обмоток якоря $r_я$ і збудження $r_з$ та визначити опір кола якоря $R_я = r_я + r_з$. Скористатись схемою рис. 2, вимірювальні щупи встановити на ті колекторні пластини, на яких стоять щітки.

Опір якоря міряти три рази за різних значень струму, а потім прийняти середнє арифметичне.

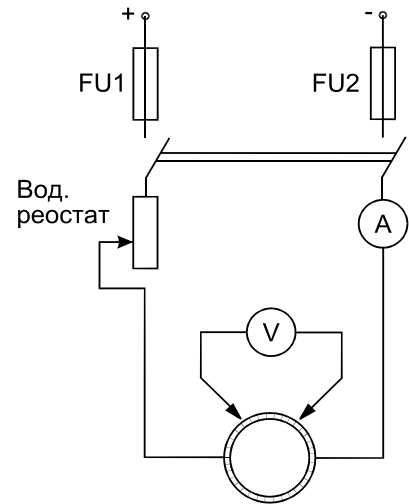


Рис. 2

Опір розрахувати за формулою

$$r_{я(75^\circ)} = r_{я.сп(t^\circ)} \frac{310}{235 + t} \quad (1)$$

Таблица 2

I_3, A									
$c_e\Phi$									

Результати вимірювань та розрахунків занести до табл. 3.

Таблица 3

U, V	I, A	$r_{я(t^\circ)},$ Ом	$r_{я.сп(t^\circ)},$ Ом	$t, ^\circ C$	$r_{я(75^\circ)},$ Ом

6. Скласти схему за рис. 3.

7. Визначити та побудувати електромеханічну характеристику $n = f(I_я)$, змінюючи опір водяного реостата.

8. Для номінальної потужності, якій відповідають струм $I_{я ном}$ і частота обертання $n_{ном}$ двигуна та напруга $U_Г$ і струм $I_Г$ генератора, визначити ККД $\eta_{ном}$; обчислити сумарні втрати у двигуні:

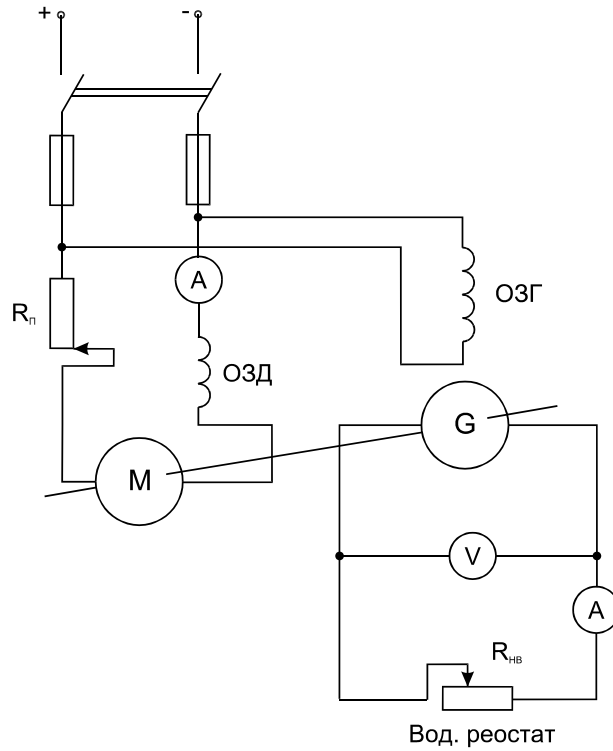


Рис. 3

$$\Sigma p_{\text{НОМ}} = p_{\text{МЕХ}} + p_{\text{СТ}} + p_{\text{ЕЛ}} + p_{\text{Щ}} + p_{\text{Д}}. \quad (2)$$

9. Визначити втрати:

- холостого ходу (сталі)

$$p_{0 \text{ НОМ}} = p_{\text{МЕХ}} + p_{\text{СТ}}; \quad (3)$$

- електричні

$$p_{\text{ЕЛ}} = I_{\text{Я}}^2 \cdot R_{\text{Я}}; \quad (4)$$

- додаткові

$$p_{\text{Д}} = 0,01 \cdot P_{1 \text{ НОМ}} \cdot (I_{\text{Я}} / I_{\text{Я НОМ}})^2; \quad (5)$$

- у щітковому контакті

$$p_{\text{Щ}} = \Delta U_{\text{Щ}} \cdot I_{\text{Я}} = 2 \cdot I_{\text{Я}}. \quad (6)$$

Зауваження: поділ втрат холостого ходу ($p_{\text{МЕХ}}$ та $p_{\text{СТ}}$) зробити за наступною методикою. Скласти схему за рис. 4 та запустити двигун, регулюючи струм збудження I_3 , встановити номінальну частоту обертання, яка протягом випробування повинна бути постійною. Задатися кількома значеннями напруги U і для кожного з цих значень виміряти $I_{\text{Я0}}$, I_3 та n . Дані занести до табл. 4.

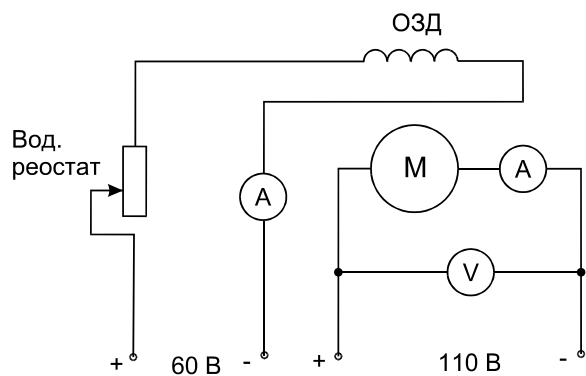


Рис. 4

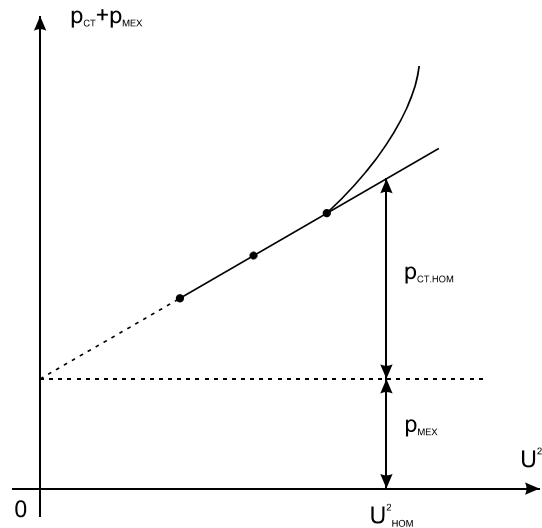


Рис. 5

Таблица 4

$U, В$	$I_{я0}, А$	$I_3, А$	$n = \text{const}$ об/хв	$U \cdot I_{я0} \approx$ $(p_{ст} + p_{мех}), Вт$	$U^2, В^2$

Збудувати залежність $(p_{ст} + p_{мех}) = f(U^2)$, зображену на рис. 5, оскільки $n = \text{const}$, то і $p_{мех} = \text{const}$, а втрати у сталі змінюються пропорційно квадрату напруги. Тому точки залежності $(p_{ст} + p_{мех}) = f(U^2)$, особливо за малим збудженням, добре розташовуються на прямій, яка відзначає на осі ординат механічні втрати.

10. Визначити $p_{мех}$ і $p_{ст}$ у режимах, відмінних від номінального:

$$p_{мех} = p_{мех \text{ ном}} \cdot (n/n_{ном})^2, \quad (7)$$

оскільки двигуни мають самовентиляцію, то можна скористатись наступним виразом для визначення $p_{ст}$:

$$p_{ст} = p_{ст \text{ ном}} \cdot (n/n_{ном})^{1,5} \cdot (c_e \Phi / c_e \Phi_{ном})^2. \quad (8)$$

11. Заповнити табл. 5 і табл. 6.

Таблиця 5

$I_{я}$	А	
$P_{ст}$	Вт	
$P_{мех}$	Вт	
$P_{ел}$	Вт	
$P_{щ}$	Вт	
$P_{д}$	Вт	
Σp	Вт	
$P_1 = U_{ном} \cdot I_{я}$	Вт	
$P_2 = P_1 - \Sigma p$	Вт	
$\eta = P_2 / P_1$	–	
n	об/хв	
$M = 9,55(P_2/n)$	Н·м	
$\omega = \pi \cdot n/30$	рад/с	

Таблиця 6

Одиниці вимірювань	Розрахункові дані								
	$P_{ном}$	$P_{ст}$	$P_{мех}$	$P_{ел}$	$P_{щ}$	$P_{д}$	Σp	α	$K_{нг}$
кВт									
%									

Зауваження: коефіцієнт $\alpha = \frac{P_0}{(P_{ел} + P_{д})_{ном}}$ є коефіцієнтом навантаження, за якого ККД максимальний, $K_{нг} = \sqrt{\alpha}$.

Побудувати залежності: $P_{мех}$, $P_{ст}$, $P_{ел}$, $P_{щ}$, $P_{д}$, Σp , $\eta = f(P_2)$, а також електромеханічні та механічні характеристики: $\omega = f(I_{я})$; $M = f(I_{я})$; $\omega = f(M)$.

Контрольні запитання

1. Вимоги до запуску двигуна постійного струму.
2. Метод визначення опорів обмоток двигуна.
3. Що впливає на жорсткість механічної та електромеханічної характеристик двигуна?

4. Порівняйте з енергетичної точки зору способи регулювання швидкості двигуна.
5. Методи визначення ККД.
6. Яким чином створюється навантаження досліджуваного двигуна?
7. Втрати потужності в двигуні та їх класифікація.
8. Як виконується поділ втрат холостого ходу?
9. Як змінюються окремі види втрат потужності при навантаженні?
10. Поясніть вигляд кривої ККД.
11. Коефіцієнт навантаження, за якого ККД двигуна буде максимальним.

Лабораторна робота 2-ЕП

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Мета роботи: Вивчити експериментальні та аналітичні способи визначення:

- а) моментів інерції роторів електродвигунів та з'єднаних з ними елементів електропривода;
- б) індуктивностей та сталих часу обмоток машин постійного струму.

Теоретичні положення

1. Визначення моменту інерції електропривода.

Для електричних машин, що працюють у динамічних режимах, важливе значення має момент інерції обертових частин, під яким розуміють добуток маси m цієї частини на четверту частину квадрату приведеного діаметра D [1, 2]:

$$J = \frac{mD^2}{4}. \quad (1)$$

Для суцільного однорідного циліндра діаметром d , що обертається навколо своєї осі, приведений діаметр визначається за виразом

$$D = \frac{d}{\sqrt{2}}. \quad (2)$$

Для неоднорідного тіла, яким зазвичай є обертова частина електричної машини як за своєю геометричною формою, так і за матеріалом, аналітичне визначення приведеного діаметра є кропіткою і трудомісткою задачею і не відзначається високою точністю [1, 2].

Існує декілька методик експериментального визначення моменту інерції.

Метод крутильних коливань придатний для відносно легких обертових частин, стандарт обмежує область його використання машинами потужністю до 100 кВт включно. Він полягає в тому, що обертова частина машини підвішується в вертикальному положенні осі обертання на пружній проволочі і

приводиться в крутильний коливальний рух. При цьому визначається період малих крутильних коливань, який потім порівнюється з періодом коливань підвішеного на тій же проволочі еталонного тіла з відомим моментом інерції. Шуканий момент інерції визначається за виразом [1, 2]

$$J = J_{\text{н}} \left(\frac{T}{T_{\text{н}}} \right)^2, \quad (3)$$

де $J_{\text{н}}$ – момент інерції еталонного тіла;

T – період коливань даної частини;

$T_{\text{н}}$ – період коливань еталонного тіла.

Перевагою такого способу є те, що на результат практично не впливає тертя.

До недоліків методики відносяться: складна конструкція підвісу; залежність кінцевого результату від параметрів проволочки; складність визначення періоду коливань з достатньою точністю [1, 2].

Метод допоміжного маятника може бути застосованим тільки до машин з підшипниками кочення. На відміну від попереднього методу, який потребує виїмки рухомої частини, він може застосовуватись і в зібраній машині [1, 2].

Полягає він у тому, що на валу машини за допомогою важеля кріпиться маятникова маса і вся система приводиться в коливальний рух відхиленням маятника від вертикалі. Як і в попередньому методі, необхідно визначити період цих коливань.

Момент інерції визначається за виразом

$$J = m_{\text{н}} a \left(\frac{T^2 g}{4\pi^2} - a \right), \quad (4)$$

де $m_{\text{н}}$ – маса маятника;

a – відстань від центра тяжіння маятника до осі обертання;

T – середнє арифметичне із виміряних періодів коливань.

При всій простоті цього методу він не відрізняється точністю [1, 2].

Метод самогальмування. Цей досить універсальний метод полягає у тому, що машина приводиться в обертання зі швидкістю, що перевищує номінальну на 10...20 %, після чого вона гальмується на вибігові. У процесі гальмування визначається залежність швидкості обертання від часу в інтервалі від 115...120 до 80...85 % номінального значення [1, 2].

Кінетична енергія, накопичена в обертових частинах машини, витрачається на покриття суми всіх втрат, що гальмують її. Таким чином,

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{J\omega^2}{2} \right) = -\sum p. \quad (5)$$

Якщо провести дотичну до кривої самогальмування $n = f(t)$ в точці А (рис. 1), що відповідає, наприклад, номінальній швидкості обертання n_H , то відрізок CD на осі абсцис буде складати умовний час T , який би знадобився для повного гальмування ротора, якщо б його обертання після точки А було рівноуповільненим.

Таким чином, можна записати

$$\left(\frac{dn}{dt}\right)_H = -\frac{n_H}{T}. \quad (6)$$

Якщо машина не збуджена, то єдиними гальмівними втратами є механічні втрати $p_{\text{мех}}$. Тоді

$$J = \frac{3600 \cdot 10^3 T p_{\text{мех}}}{4\pi^2 g n_H^2} = \frac{9300 T p_{\text{мех}}}{n_H^2}. \quad (7)$$

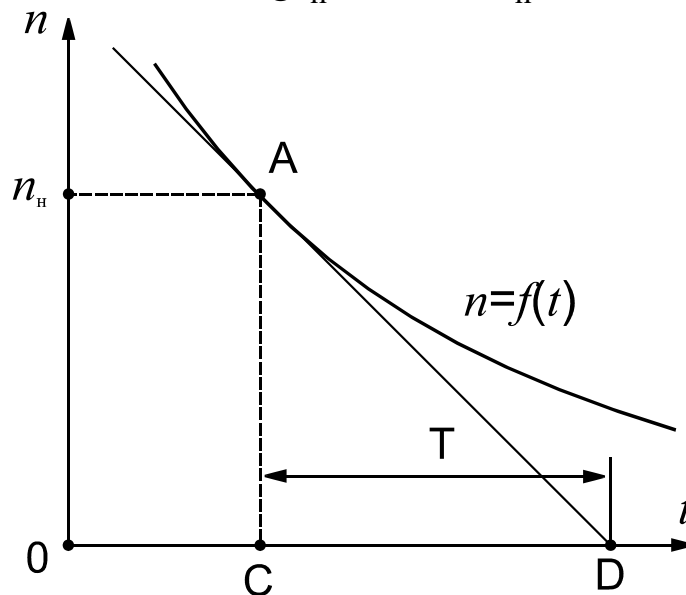


Рис. 1

Дотична може бути проведена до будь-якої точки кривої $n = f(t)$, але в такому випадкові механічні втрати потрібно визначити для відповідного значення швидкості обертання.

Визначаючи момент інерції якоря машини постійного струму, на її колекторі потрібно залишити мінімальну кількість щіток, яка необхідна лише для обертання в режимі холостого ходу.

2. Визначення індуктивностей та сталих часу обмоток машин постійного струму.

Визначення індуктивностей обмоток розрахунковим шляхом досить складно і не зовсім достеменно. Крім того, використані при цьому емпіричні формули потребують знання багатьох параметрів, наприклад, кількості витків, коефіцієнтів розсіювання і т. і. Ці данні не завжди відомі. Тому користу-

ються експериментальними методами, що засновані на осцилографуванні струмів обмоток у разі ввімкнення їх або замикання накоротко.

За умови увімкнення обмоток загальмованого двигуна на постійну напругу має місце рівняння

$$U = iR + L \frac{di}{dt}. \quad (8)$$

Приймаючи $L = \text{const}$ на деяких ділянках зміни струму, наприклад, від I_1 до I_2 , та інтегруючи рівняння (8) у межах $I_1 - I_2$, одержимо:

$$L(I_2 - I_1) = \left[I_{\text{уст}}(t_2 - t_1) - \int_{t_1}^{t_2} i dt \right] \cdot R. \quad (9)$$

Проілюструємо одержаний результат зміни струму в функції часу на рис. 2.

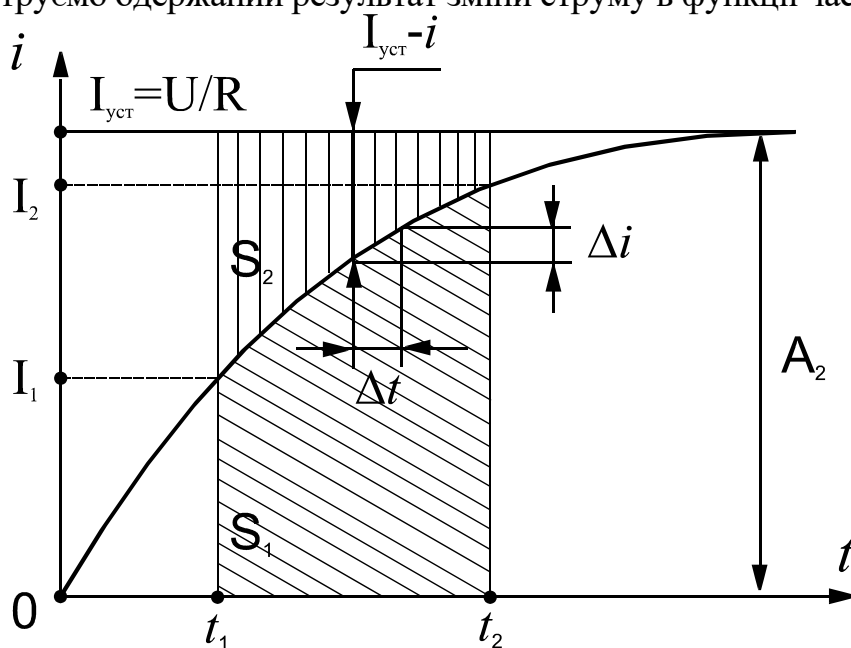


Рис. 2

Необхідно відмітити, що $\int_{t_1}^{t_2} i dt = S_1$ є площа, обмежена кривою $i(t)$, віссю абсцис і двома ординатами, які відповідають часу t_1 та t_2 . Вся заштрихована площа, обмежена ординатами, відповідними значеннями часу t_1 , t_2 та абсцисою, що відповідає усталеному значенню струму, дорівнює:

$$I_{\text{уст}}(t_2 - t_1) = S_1 + S_2. \quad (10)$$

Тоді різницею у правій частині рівняння (9) є площа S_2 .

Отже, значення шуканої індуктивності

$$L = \frac{RS_2 m_i m_t}{I_2 - I_1}, \quad (11)$$

де m_i і m_t – масштабні коефіцієнти струму та часу.

Для порівняння індуктивність якірної обмотки можна розрахувати за наближеною формулою

$$L_{\text{я}} = 0,6 \frac{U_{\text{НОМ}}}{p \omega_{\text{НОМ}} I_{\text{НОМ}}}, \quad (12)$$

де p – кількість пар полюсів машини;

$U_{\text{НОМ}}$ – номінальне значення напруги, В;

$I_{\text{НОМ}}$ – номінальне значення струму, А;

$\omega_{\text{НОМ}}$ – номінальне значення кутової швидкості, с^{-1} .

У практичному використанні осцилограм шукану площу можливо вирахувати, замінюючи криві малими відрізками прямих і складаючи елементарні площі трапецій.

Для визначення електромагнітної сталої часу $T = L/R$ потрібно поділити обидві частини рівняння (8) на R , тоді одержимо

$$T di = (I_{\text{уст}} - i) dt. \quad (13)$$

Враховуючи, що за початкових та кінцевих умов, тобто за $t = 0$ $i = 0$ і $t = \infty$ $i = I_{\text{уст}}$, одержимо середнє значення T :

$$T = \int_0^{\infty} \frac{I_{\text{уст}} - i}{I_{\text{уст}}} dt = \frac{S_2 m_t}{A_2}, \quad (14)$$

де A_2 – ордината, пропорційна усталеному значенню струму $I_{\text{уст}}$.

Для визначення сталої часу $T_{3\phi}$ обмотки збудження, індуктивність якої за нелінійністю магнітної характеристики є функцією струму, перейдемо до кінцевих прирощувань. Рівняння (13) прийме вигляд

$$T_{3\phi} = \frac{I_{\text{уст}} - i_{3\phi}}{\Delta i_{3\phi}} \Delta t. \quad (15)$$

Задаючи на осцилограмі $i_{3\phi}(t)$ малі прирощування часу і визначаючи графічно прирощування $\Delta i_{3\phi}$, можливо з використанням рівняння (15) визначити $T_{3\phi}$ за будь-яких струмів збудження.

Програма та порядок виконання роботи

1.1. Запустити двигун постійного струму послідовного збудження і за допомогою водяного реостата, увімкненого у коло генератора, що створює навантаження, встановити частоту обертання 1500...1800 об/хв.

1.2. Вимкнути двигун, фіксуєючи за секундоміром час, зняти криву вибігу до частоти обертання 1000...1200 об/хв і далі до мінімально можливої (за умовами відліку) частоти обертання з одночасною фіксацією часу. Результати занести до табл. 1

Таблиця 1

n , об/хв	
t , с	

1.3. Побудувати криву вибігу з відповідними добудовами, як показано на рис. 3.

Зауваження: Оскільки експеримент відбувається на двигуні з само вентиляцією, можливо вважати, що механічні втрати за частоти обертання $n_{\text{ср}}$:

$$P_{\text{мех}} = P_{\text{мех.ном}} \left(n_{\text{ср}} / n_{\text{ном}} \right)^2 = P_0.$$

1.4. Визначити момент інерції системи двигун–генератор за формулою

$$J = \left(\frac{30}{\pi} \right)^2 \frac{P_0 (t_2 - t_1)}{n_{\text{ср}} (n_1 - n_2)}, \quad (16)$$

а також

$$J = \left(\frac{30}{\pi} \right)^2 \frac{P_0 T}{n_{\text{ср}}^2}, \quad (17)$$

де T – умовний час, який знадобився б для повної зупинки, якби обертання після точки $n_{\text{ср}}$ було рівносповільненим.

1.5. Визначити момент інерції системи ротор асинхронного двигуна – маховик. У цьому випадкові зручніше користуватись формулою (17), знявши початкову частину кривої вибігу.

1.6. Визначити моменти інерції роторів ДПС і АД, вважаючи, що ДПС і генератор для створення навантаження однакові, а момент інерції маховика (суцільний диск) на валу ротора АД

$$J = \frac{md^2}{8}, \quad (18)$$

де m – маса маховика, кг;
 d – діаметр маховика, м;
 $\gamma = 7800 \text{ кг/м}^3$ – густина сталі.

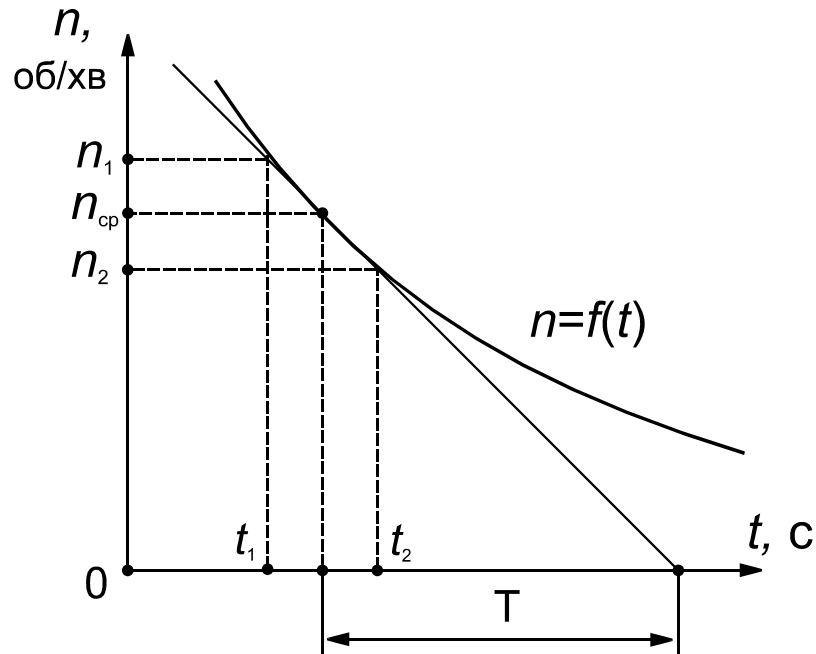


Рис. 3

Зауваження: усі досліди з визначення моментів інерції виконати не менше трьох разів і за дійсне значення прийняти середню арифметичну величину.

2.1. Зібрати схему, наведену на рис. 4

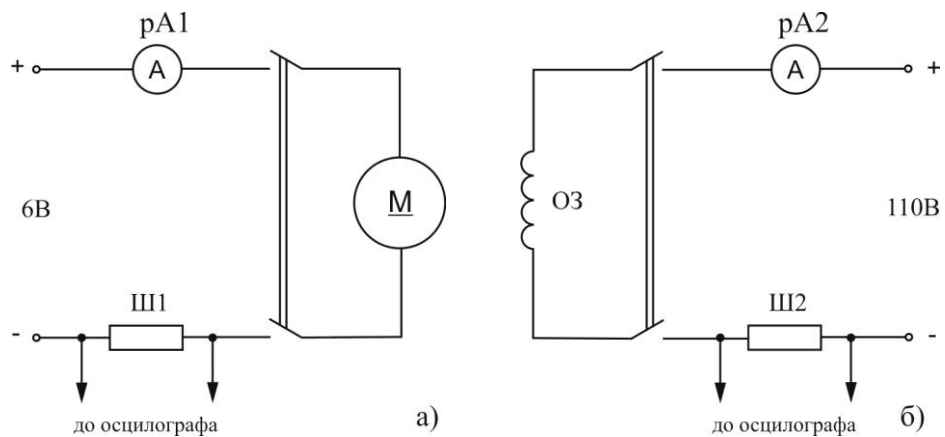


Рис. 4. Схема увімкнення стенда:

a – схема увімкнення обмотки якоря;

б – схема увімкнення незалежної обмотки збудження

2.2. Визначити методом ампервольтметра опори обмоток за постійного струму.

2.3. Вивчити правила користування осцилографом і підключити його вхід по черзі на виходи шунтів Ш1, Ш2.

2.4. Вмикаючи і вимикаючи декілька разів обмотку, що досліджується, за допомогою відповідного рубильника отримують з екрана осцилографа залежність $i(t)$. Для обмотки якоря визначити її за умови збудженого і не збудженого індуктора.

2.5. Визначити значення масштабних коефіцієнтів m_i і m_t (за положенням перемикачів на лицевій панелі осцилографа).

2.6. Визначити сталі значення струмів (за осцилограмами).

2.7. Визначити значення індуктивностей $L_{\text{я}}$ за формулами (11) і (12) та порівняти їх. Визначити значення $L_{\text{зб}}$ за формулою (11).

2.8. За формулами (14) і (15) визначити сталі часу $T_{\text{я}}$ та $T_{\text{зб}}$. Використовуючи формулу (15), розрахувати залежність $T_{\text{зб}}(i_{\text{зб}})$ та побудувати графік отриманої залежності.

Розрахунок звести в табл. 2, яка повинна містити 10...15 пунктів вимірювань.

Таблиця 2

Номер виміру	$\Delta t, \text{с}$	$i_{\text{зб}}, \text{А}$	$(I_{\text{уст}} - i_{\text{зб}}), \text{А}$	$\Delta i_{\text{зб}}, \text{А}$	$T_{\text{зб}}, \text{с}$

Контрольні запитання

1. Методи визначення моменту інерції електропривода.
2. Викласти сутність методу самогальмування (вільного вибігу). В яких випадках доцільно використовувати цей метод?
3. Порядок експериментального визначення індуктивностей та сталих часу обмоток електродвигунів постійного струму.
4. Що називається моментом інерції та маховим моментом? Який зв'язок між ними? Їх розмірності і співвідношення.
5. Як впливають махові маси на час пуску та гальмування, а також на енергетичні показники електроприводу?
6. Як впливає індуктивність обмотки збудження двигуна постійного струму на час пуску та гальмування?
7. Що таке форсування збудження і коли воно застосовується?

Лабораторна робота 3-ЕП

ДОСЛІДЖЕННЯ ДПС НЗ У ГАЛЬМІВНИХ РЕЖИМАХ

Мета роботи: вивчити особливості роботи ДПС НЗ в режимах рекупера- тивного, динамічного, електромагнітного (протivismканням) гальмування.

Програма та порядок виконання роботи

1. Записати паспортні дані дослідного двигуна в табл. 1.

Таблиця 1

$P_{\text{НОМ}}, \text{Вт}$	$I_{\text{НОМ}}, \text{А}$	$U_{\text{НОМ}}, \text{В}$	$n_{\text{НОМ}}, \text{об/хв}$

2. Визначити значення номінального моменту

$$M_{\text{НОМ}} = 9,55(P_{\text{НОМ}}/n_{\text{НОМ}}), \quad (1)$$

та постійну величину

$$c_{\text{М}} \Phi_{\text{НОМ}} = M_{\text{НОМ}}/I_{\text{НОМ}} = C. \quad (2)$$

3. Визначити номінальну кутову швидкість

$$\omega_{\text{НОМ}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{НОМ}}}{30}. \quad (3)$$

Рекупера- тивне гальмування

4. Скласти схему роботи за рис. 1, прийнявши, що один двигун – М – є допоміжний, а другий – ВМ – досліджуваний. У коло якоря останнього уві- мкнено водяний реостат і амперметр із центральним нулем. Водяний реостат використовується як пусковий або регулювальний для знімання штучних ха- рактеристик рекупера- тивного гальмування.

Якщо ножі водяного реостата достатньо заглиблені, його опір можли- во приймати приблизно рівним нулю.

5. Запустити почергово обидва двигуни – М і ВМ – та впевнитись у то- му, що вони обертаються у один бік, тобто «узгоджено». Перевірити та зафі- ксувати швидкість реального холостого ходу обох двигунів – $\omega_{0\text{М}}$ і $\omega_{0\text{ВМ}}$, а також значення напруги мережі.

6. Запустити обидва двигуни за допомогою пускових реостатів.

7. Повільно зменшуючи струм збудження двигуна М за допомогою регулюючого реостата R_p , одержати режим ідеального холостого ходу досліджуваного двигуна ВМ. У цьому випадку струм останнього $I_{ВМ} = 0$, а $\omega = \omega_0$.

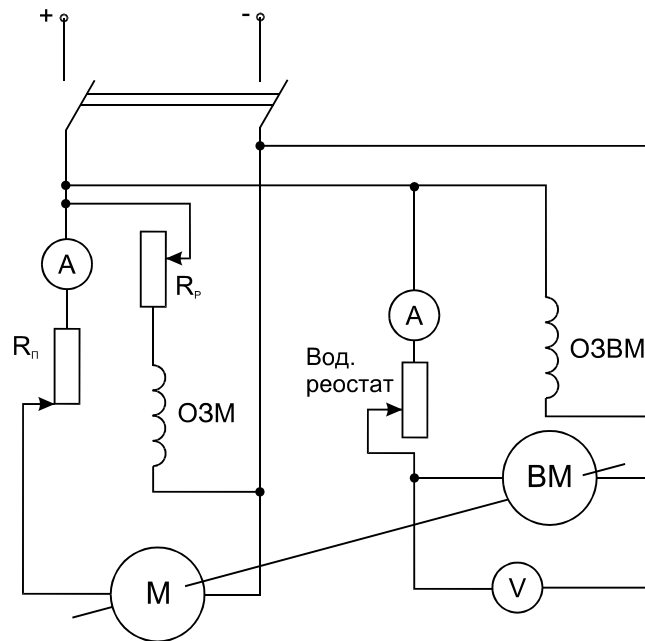


Рис. 1

8. Продовжуючи зменшувати струм збудження двигуна М, одержати кутову швидкість $\omega > \omega_0$, фіксуючи негативне значення струму $I_{ВМ}$ і показників вольтметра. Таким чином була знята природна характеристика.

9. Повторити 2...3 рази те ж саме за частково введеного водяного реостата. Таким чином знімаються 2...3 штучні характеристики.

10. Результати випробування занести в табл. 2, за даними якої побудувати електромеханічні та механічні характеристики в режимах рекуперативного гальмування.

Момент, що розвивається досліджуваним двигуном, $M_{ВМ} = C \cdot I_{ВМ}$, Н·м.

Таблиця 2

Характеристики	№ пор.	n , об/хв	ω , рад/с	$I_{ВМ}$, А	E , В	$M_{ВМ}$, Н·м
Природна	1					
	2					
	⋮					
Штучна № 1	1					
	2					
	⋮					
Штучна № 2	1					
	2					
	⋮					

Зробити висновок про значення ЕРС досліджуваного двигуна, маючи на увазі, що $E = C \cdot \omega$.

Динамічне гальмування

11. Вимкнути якір ВМ із мережі та замкнути його до водяного реостата, ножі якого повністю підняті над водою. Обмотка збудження залишається увімкненою в мережу.

12. Двигун М підключити до мережі через пусковий реостат, яким далі регулюється кутова швидкість.

13. За деякого незмінного значення опору водяного реостата в колі ВМ, регулюючи R_{Π} допоміжного двигуна М, зняти три характеристики динамічного гальмування. Результати досліджень занести до таблиці, аналогічної табл. 2. Збудувати ці характеристики.

Гальмування протиувімкненням (електромагнітне)

14. У цьому режимі допоміжний двигун М виконує роль гальма, тому він вмикається на «зустрічне» обертання по відношенню до двигуна ВМ.

Для плавного регулювання обох двигунів як пускові використовувати водяні реостати.

Природна характеристика ($R_{\Pi} = 0$) у даному досліді не може бути знята, тому що при цьому був би занадто великий струм короткого замикання. Тому знімають лише штучні характеристики.

15. Ввімкнути в мережу спочатку двигун ВМ, що досліджується, а потім допоміжний М, у якого значення опору R_{Π} встановити максимально можливим.

16. Зменшити опір R_{Π} у колі якоря допоміжного двигуна орієнтуючись на показання амперметрів, установити будь-який струм короткого замикання (наприклад $0,3I_{\text{НОМ}}$; $0,5I_{\text{НОМ}}$; $0,7I_{\text{НОМ}}$), коли швидкість $\omega = 0$.

17. Продовжуючи зменшувати опір R_{Π} у колі якоря допоміжного двигуна М, запустити його (напрямо обертання піддослідного двигуна змінюється), фіксуючи одночасно частоту обертання n та струм $I_{\text{ВМ}}$. Регулювання обмежити значення струму $I_{\text{ВМ}} = 1,5I_{\text{НОМ}}$.

Зауваження: узгодити «зворотний» напрямок обертання піддослідного двигуна з тахогенератором.

Результати випробувань цього режиму занести у таблицю, аналогічну табл. 2. Побудувати ці характеристики.

18. Усі зняті характеристики мають лінійний характер, тому на графіках усіх трьох режимів продовжити характеристики так, щоб вони пройшли через I, II і IV квадранти.

Контрольні запитання

1. Способи електричного гальмування двигунів постійного струму.

2. За яких умов двигун постійного струму незалежного збудження працює в режимі рекуперативного гальмування?
3. Чому механічна характеристика динамічного гальмування проходить через початок координат?
4. Що впливає на жорсткість механічних характеристик в гальмівному режимі?
5. Як визначити струм якоря у гальмівних режимах?
6. Як визначити необхідну величину гальмівного опору в колі якоря двигуна постійного струму незалежного збудження?
7. Який з способів електричного гальмування двигуна постійного струму найефективніший з точки зору гальмівного моменту? Обґрунтуйте відповідь.

Лабораторна робота 4-ЕП

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ІЗ ФОРСУВАННЯМ ЗБУДЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРА НЕЗАЛЕЖНОГО ЗБУДЖЕННЯ

Мета роботи: Вивчити особливості роботи генератора незалежного збудження в перехідних режимах під час форсування збудження.

Теоретичні положення

Регулювання кутової швидкості двигуна електропривода системи генератор–двигун (Г-Д) здійснюється:

- а) зміною напруги, яка підведена до якоря двигуна;
- б) зміною магнітного потоку двигуна [1, 2].

У першому випадку зміні підлягає струм збудження генератора, у другому – струм збудження двигуна. Таким чином, перехідні процеси, їх тривалість у колах збудження суттєво впливають на роботу електропривода. Тому з метою скорочення тривалості перехідних процесів використовують засіб форсування процесу збудження, тобто прикладення до обмотки збудження (ОЗ) напруги $U'_{зб} = \alpha U_{зб.ном}$, де α – коефіцієнт форсування.

Якщо індуктивність і стала часу ОЗ $L_{зб} = const$ та $T_{зб} = L_{зб}/R_{зб} = const$, то під час підключення її до джерела живлення одержимо таку зміну струму:

$$i_{зб} = I_{зб.ном} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{зб}}} \right), \quad (1)$$

де $I_{зб.ном} = U_{зб.ном}/R_{зб}$ – значення номінального струму збудження.

У загальному випадку, якщо зміна струму збудження відбувається від будь-якого початкового значення $I_{зб.поч}$ до кінцевого $I_{зб.ном}$ або $I_{зб.кін}$, то

$$i_{зб} = I_{зб.ном} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{зб}}} \right) + I_{зб.поч} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{зб}}} \right). \quad (2)$$

Перетворивши рівняння (2), одержимо значення часу, за яке струм збудження змінюється від $I_{зб.поч}$ до будь-якого довільного значення $I_{зб}$:

$$t = T_{зб} \ln \frac{I_{зб.поч} - I_{зб.кін}}{I_{зб} - I_{зб.кін}}. \quad (3)$$

Відомо, що перехідний процес вважається закінченим при $t = 4T_{зб}$ [1, 2].

Форсування збудження відбувається:

1) увімкненням послідовно додаткового резистора опором $R_{дод}$ з одночасним підвищенням напруги;

2) підвищенням напруги на обмотці збудження на період пуску.

У першому випадку рівняння (2) має вигляд:

$$i_{зб} = \frac{\alpha U_{зб.ном}}{R_{зб} + R_{дод}} \left(1 - e^{-\frac{t}{T'_{зб}}} \right) + I_{зб.поч} \left(1 - e^{-\frac{t}{T'_{зб}}} \right), \quad (4)$$

де значеннями α і $R_{дод}$ визначаються потрібний (сталий) струм збудження і час перехідного процесу, оскільки стала часу $T'_{зб} = L_{зб} / (R_{зб} + R_{дод})$.

Тоді тривалість перехідного процесу

$$t' = 4T'_{зб} = \frac{4L_{зб}}{R_{зб} + R_{дод}}. \quad (5)$$

На рис. 1 показаний орієнтовний вид кривих зростання струмів збудження при різних коефіцієнтах форсування.

Оскільки $\frac{\alpha U_{зб.ном}}{R_{зб} + R_{дод}} = \frac{U_{зб.ном}}{R_{зб}}$, то $\alpha = 1 + \frac{R_{дод}}{R_{зб}}$.

Порівнявши час t з часом t' , одержимо $t' = t/\alpha$.

В іншому випадку форсування збудження генератора здійснюється підвищенням напруги збудження лише на період перехідного процесу, після закінчення якого напруга повинна бути зменшена для одержання наданого значення $I_{зб}$ у сталому режимі роботи. У цьому випадку перехідний процес описується рівнянням

$$i_{3\bar{6}} = \frac{\alpha U_{3\bar{6}}}{R_{3\bar{6}}} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{3\bar{6}}}} \right) + I_{3\bar{6}.поч} \cdot e^{-\frac{t}{T_{3\bar{6}}}}, \quad (6)$$

де $U_{3\bar{6}}/R_{3\bar{6}} = I_{3\bar{6}.кін}$ – кінцеве (стале) значення струму збудження.

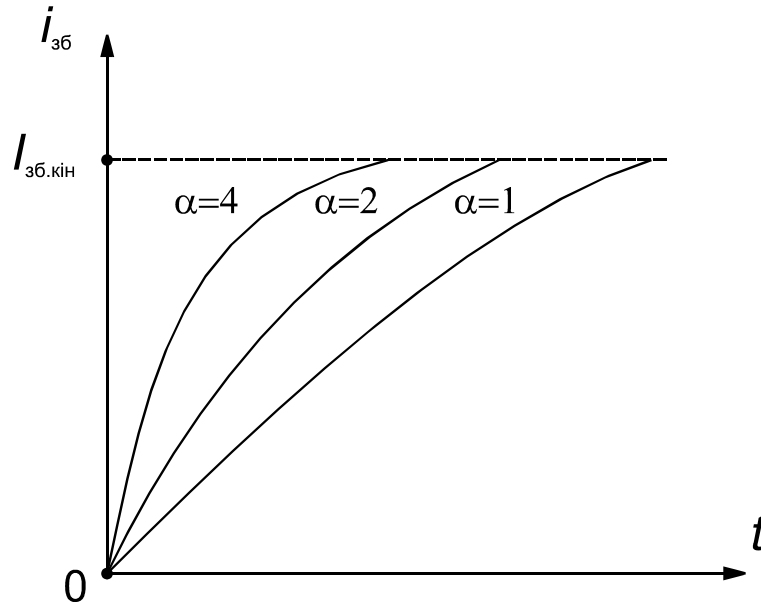


Рис. 1

Час перехідного процесу у цьому випадку

$$t = T_{3\bar{6}} \ln \frac{I_{3\bar{6}.поч} - \alpha I_{3\bar{6}.кін}}{I_{3\bar{6}}(1 - \alpha)}. \quad (7)$$

Час, коли струм збудження досягає номінального значення, після пуску двигуна можливо визначити з виразу (7) при $I_{3\bar{6}} = I_{3\bar{6}.кін}$ та $I_{3\bar{6}.поч} = 0$. Тоді

$$t = T_{3\bar{6}} \ln \frac{\alpha}{\alpha - 1}. \quad (8)$$

На рис. 2 показано орієнтовний вигляд кривих зростання струмів збудження за різних коефіцієнтів форсування, яке проводиться лише у період перехідного процесу.

На практиці слід мати на увазі, що у разі насиченої магнітної системи $L_{3\bar{6}} \neq \text{const}$, а ненасиченої залежить від значення струму збудження і може змінюватись у 8...10 разів.

Значення коефіцієнта індуктивності можливо визначити на будь-якій ділянці характеристики або за характеристикою холостого ходу відповідно за формулами:

$$L_{зб} = 2pw_{зб}^2 \frac{d\Phi}{dF};$$

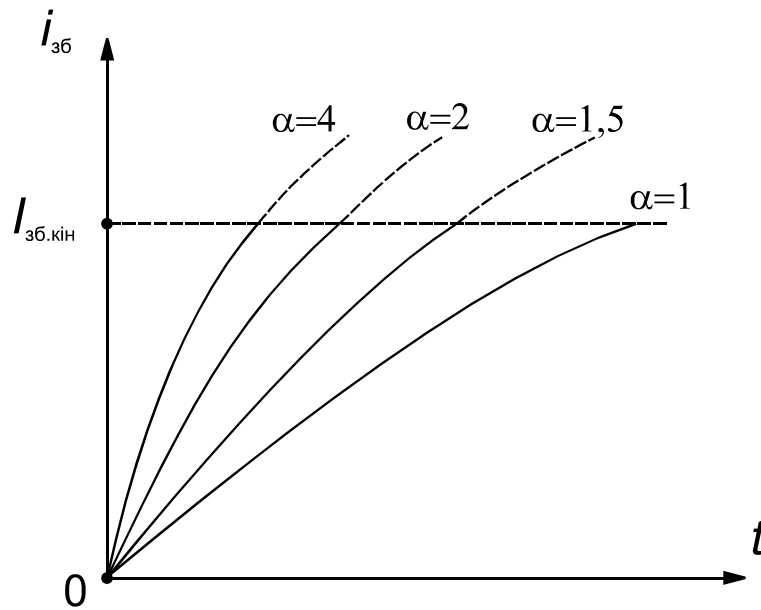


Рис. 2

$$L_{зб} = \frac{4\pi a}{\omega N} w_{зб} \frac{dE}{di_{зб}}, \quad (9)$$

де p – кількість пар полюсів;

Φ – магнітний потік, Вб;

$w_{зб}$ – кількість витків обмотки збудження на полюс;

F – магніторушійна сила, А;

a – кількість пар паралельних гілок обмотки якоря;

ω – кутова швидкість обертання, за якої визначена характеристика холостого ходу, c^{-1} ;

N – кількість провідників обмотки якоря;

E – електрорушійна сила, В;

$i_{зб}$ – струм збудження, А.

Не менш важливим є прискорення перехідних процесів під час гальмування або реверсування. При цьому обмотка збудження вимикається від мережі і замикається на розрядний резистор R_p , який виконує захисну функцію від перенапруги на ОЗ у разі її відключення [1, 2]. Максимальна напруга, яка виникає на обмотці в момент її відключення, становить

$$U_{зб.мах} = U_{зб.ном} \frac{R_p}{R_{зб}} = cU_{зб.ном}, \quad (10)$$

де $c = \frac{R_p}{R_{зб}} = 3...5$.

Залежність спадання струму збудження генератора від часу при гальмуванні може бути одержана, якщо в рівнянні (2) прийняти $I_{зб.кін} = 0$, а

$$I_{зб.поч} = I_{зб.кін} = \frac{U_{зб}}{R_{зб}}; \text{Тоді}$$

$$i_{зб} = \frac{U_{ж.зб}}{R_{зб}} e^{-\frac{t}{T_{зб}''}}, \quad (11)$$

де $U_{ж.зб}$ – напруга джерела живлення ОЗ, В;

$$T_{зб}'' = \frac{L_{зб}}{(R_{зб} + R_p)} - \text{стала часу.}$$

Кінцевий час перехідного процесу $t = 4T_{зб}''$.

Якщо в схемі ОЗ одночасно використані резистори $R_{дод}$ і R_p , стала часу буде визначатись за залежністю

$$T_{зб}''' = \frac{T_{зб}}{\frac{c}{c+1} + \frac{R_{дод}}{R_{зб}}}. \quad (12)$$

Програма та порядок виконання роботи

1. Зібрати схему, наведену на рис. 3.
2. Вивчити правила користування осцилографом і підключити його до шунта Ш.
3. Визначити методом ампервольтметра опір ОЗ.
4. Визначити коефіцієнт індуктивності ОЗ $L_{зб}$. Знайти $L_{зб}$ за формулою (9), визначивши спочатку характеристику холостого ходу генератора, а також значення постійної часу $T_{зб}$. Скористуватись визначеними у роботі 3-ЕП значеннями $L_{зб}$ та $T_{зб}$ за номінальним струмом збудження.
5. Розрахувати і побудувати криву зростання струму збудження та визначити тривалість перехідного процесу за стрибкоподібною подачею напруги на ОЗ у разі заданого викладачем значення α (рівняння (4) та (5)). Кінцеве значення струму збудження вважати рівним номінальному.
6. Провести осцилографування перехідного процесу за даними п. 5.
7. Після обробки осцилограми визначити тривалість та побудувати графіки перехідного процесу.
8. Порівняти результати розрахунків п. 5 з дослідними даними п. 7. Пояснити у разі необхідності розбіжність розрахункових та дослідних результатів.
9. Розрахувати і побудувати криву спадання струму при відключенні ОЗ від джерела живлення з різними значеннями $U_{ж.зб}$ у разі шунтування ОЗ ро-

зрядними резисторами з опорами $R_p = (1; 2; 3; 4) R_{зб}$ і визначити тривалість перехідних процесів відповідно до варіантів наданих викладачем (формула (11)). Якщо $U_{ж.зб} > U_{зб.ном}$, необхідно підібрати опір $R_{дод}$ і використовувати формули (11) та (12).

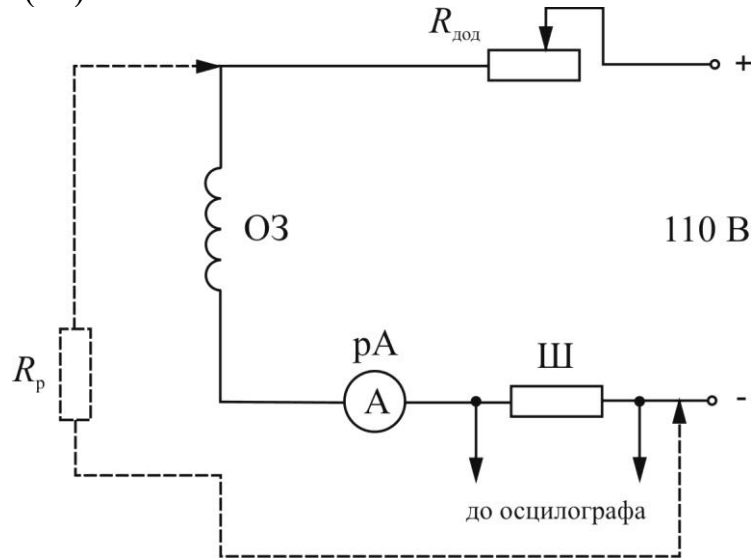


Рис. 3

10.Провести осцилографування перехідного процесу спадання струму за даними п. 9.

11.Опрацювати осцилограму з п. 10, визначити тривалість та збудувати графіки перехідних процесів.

12.Порівняти результати розрахунків п. 9 з дослідними даними п. 11.

Зауваження: осцилографування перехідних процесів необхідно повторяти декілька разів (три, чотири рази) для одержання прийнятної точності результатів дослідів.

Таблиця 1

Варіанти завдань для п. 5

Номер варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$U_{зб}, В$	90	110	130	150	170	190	200	220	250	270	300

Таблиця 2

Варіанти завдань для п. 9

Номер варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{ж.зб}, В$	220	200	180	160	140	120	110	100	90	80
	200	180	160	140	120	110	100	90	80	70
	180	160	140	120	110	100	90	80	70	60

Контрольні запитання

1. Які переваги та недоліки системи Г–Д?
2. Способи регулювання швидкості двигуна електропривода системи генератор-двигун?
3. Які фактори впливають на тривалість перехідних процесів?
4. Як тривалість перехідних процесів у колах збудження електричних машин системи генератор-двигун впливають на роботу електропривода?
5. Якими рівняннями описуються перехідні процеси швидкості, струму та моменту в електроприводах при експоненціальному законі зміни управляючого сигналу.
6. Що таке стала часу обмотки збудження? Від чого залежить її величина?
7. Способи реалізації форсування збудження в системі генератор-двигун?
8. Фізична сутність коефіцієнту форсування збудження?
9. Чи впливає коефіцієнт форсування збудження на постійну часу обмотки збудження?
10. Що визначає час відсічки при форсуванні збудження?

Лабораторна робота 5-ЕП

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ВЛАСИВОСТЕЙ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПОСЛІДОВНОГО ЗБУДЖЕННЯ

Мета роботи: Дослідити робочі властивості двигунів послідовного збудження, визначити та побудувати електромеханічні та механічні природні та штучні характеристики.

Програма та порядок виконання роботи

1. Визначити за паспортними даними номінальний струм якоря $I_{я.ном}$.
2. Виміряти опір кола якоря $R_я$, як це зроблено в п. 5 роботи 1-ЕП.
3. Визначити та побудувати характеристику холостого ходу $E = f(I_3)$ при $I_я = 0$, $n = const$. Заповнити табл. 1.

Таблиця 1

I_3, A									
E, B									

4. Скласти схему за рис. 1. Навантажити двигун номінальним струмом $I_{я.ном}$ та визначити номінальну частоту обертання $n_{ном}$ і кутову швидкість

$$\omega_{ном} = \frac{\pi n_{ном}}{30}.$$

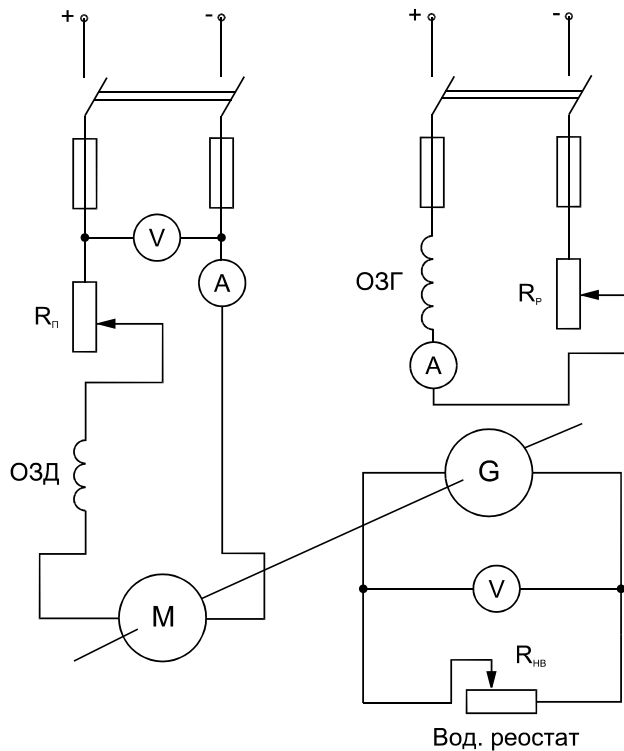


Рис. 1

5. Визначити і побудувати природні електромеханічні та механічні характеристики. Для останньої використати універсальну характеристику у відносних одиницях. Порівняти реальну та універсальну характеристики.

6. Визначити для номінального режиму $(c_M \Phi)_{\text{НОМ}} = \frac{U - I_{\text{я.НОМ}} R_{\text{я}}}{\omega_{\text{НОМ}}} = \frac{E_{\text{НОМ}}}{\omega_{\text{НОМ}}}$.

7. Розрахувати і побудувати залежності $(c_M \Phi) = f(I_{\text{я}})$, прийнявши значення струму $(0,4; 0,8; 1,2; 1,6; 2,0) I_{\text{я.НОМ}}$. Зробити висновки про одержані залежності.

8. Побудувати штучну (реостатну) електромеханічну характеристику, для якої струм короткого замикання якоря $I_{\text{я.КЗ}} = 2,5 I_{\text{я.НОМ}}$.

9. Вважаючи, що двигун навантажений моментом опору, рівним номінальному, побудувати пускову діаграму і розрахувати опори пускових резисторів для двох реостатних позицій. Пусковий струм змінюється у межах від $I_{\text{я1}} = 2 I_{\text{я.НОМ}}$ до $I_{\text{я2}} =$ (прийняти самостійно).

10. Побудувати реостатні електромеханічні характеристики.

11. Побудувати електромеханічну характеристику, для якої $I_{\text{я.КЗ}} = 0,7 I_{\text{я.НОМ}}$. Визначити при цьому опір резистора, вважаючи, що двигун використовується у вантажопідйомному механізмі, для якого $M_{\text{с}} = M_{\text{НОМ}}$. Побудувати цю характеристику для режиму гальмування противмиканням.

12. Здійснити (аналітично) режим гальмування противмиканням з цим же значенням опору резистора і побудувати електромеханічну характеристику у II і III квадрантах, вважаючи, що до початку гальмування двигун працював на природній характеристиці у номінальному режимі.

13. Побудувати у другому квадранті характеристики динамічного гальмування для значень опору резистора R_p , визначеного у п. 11 та для усіх значень опорів пускового резистора.

Контрольні запитання

1. Які особливості мають механічні характеристики двигуна постійного струму послідовного збудження?
2. Що означає навантажити двигун?
3. Поясніть, чому відбувається зростання струму двигуна постійного струму послідовного збудження при зростанні моменту навантаження?
4. Чому значне зменшення навантаження двигуна постійного струму послідовного збудження небезпечно? Що таке «рознос»?
5. Способи регулювання швидкості двигуна постійного струму послідовного збудження.
6. Особливості пуску двигуна постійного струму послідовного збудження.
7. В яких гальмівних режимах може працювати двигун постійного струму послідовного збудження?
8. Які позитивні якості має двигун постійного струму послідовного збудження?
9. Наведіть вираз для швидкості, що є ординатою горизонтальної асимптоти механічної характеристики двигуна постійного струму послідовного збудження.

Лабораторна робота 6-ЕП

РЕГУЛЮВАННЯ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ ДПС НЗ ЗМЕНШЕННЯМ МАГНІТНОГО ПОТОКУ

Мета роботи: Визначити та побудувати електромеханічні та механічні характеристики за умови різних ступенів зменшення збудження.

Програма та порядок виконання роботи

1. Визначити за паспортними даними номінальний струм якоря $I_{я.ном}$.
2. Виміряти опір кола якоря $R_я$ і визначити струм короткого замикання якоря $I_{я.кз}$.
3. Визначити номінальний струм збудження $I_{з.ном}$ у разі напруги збудження $U_з = 120$ В.
4. Визначити та побудувати характеристику холостого ходу $E = f(I_з)$ при $I_я = 0$, $n = const$. Для цього можливо використати генератор, оскільки обидві машини ідентичні. Заповнити табл. 1.

I_3, A								
E, B								

5. Скласти схему за рис. 1. Навантажити двигун номінальним струмом $I_{я.ном}$ та визначити номінальну частоту обертання $n_{ном}$ і кутову швидкість

$$\omega_{ном} = \frac{\pi n_{ном}}{30}.$$

6. Визначити для номінального режиму $(c_M \Phi)_{ном} = \frac{U - I_{я.ном} R_{я}}{\omega_{ном}} = \frac{E_{ном}}{\omega_{ном}}$.

7. Розрахувати і побудувати залежності $(c_M \Phi) = f(I_3)$ у разі номінальної кутової швидкості $\omega_{ном}$.

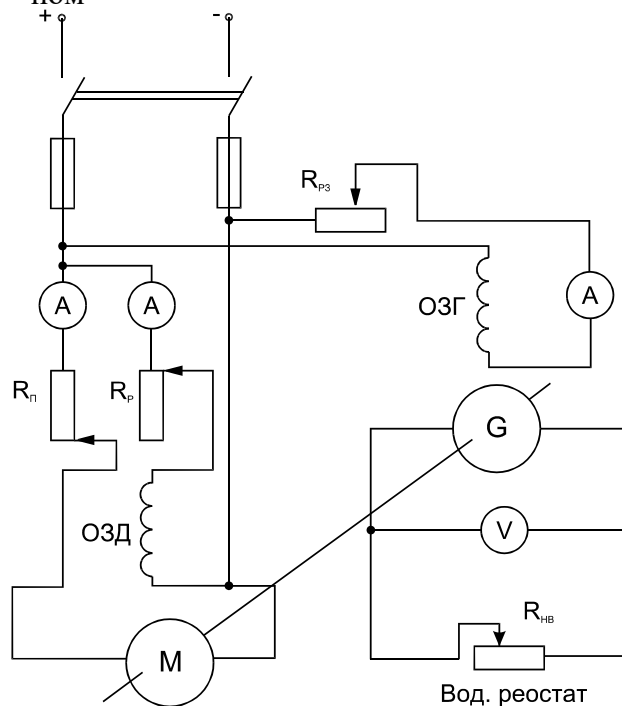


Рис. 1

8. Визначити ідеальну кутову швидкість холостого ходу природної характеристики $\omega_{0пр} = U / (c_M \Phi)_{ном}$.

9. Прийняти значення струмів збудження $I_{31} = 0,8 I_{3.ном}$; $I_{32} = 0,6 I_{3.ном}$; $I_{33} = 0,4 I_{3.ном}$ і визначити відповідні значення $(c_M \Phi)_1$; $(c_M \Phi)_2$; $(c_M \Phi)_3$ та ω_{01} ; ω_{02} ; ω_{03} .

10. За двома точками з координатами $(\omega_0$ і $I_{я} = 0)$ та $(I_{я.кз}$ і $\omega = 0)$ побудувати електромеханічні характеристики для усіх прийнятих значень струмів збуджень I_{31} , I_{32} , I_{33} .

11. Для кожної електромеханічної характеристики за номінального струму $I_{я.ном}$ визначити номінальну кутову швидкість $\omega_{ном}$, жорсткість характеристики $\beta = (c_m \Phi)^2 / R_{я}$ та відносний перепад швидкості $\Delta\omega_{ном} / \omega_0$.

12. Побудувати графіки залежності $\omega_0 = f(I_3)$ при $I_{я} = 0$ та $\omega = f(I_3)$ при $I_{я.ном}$.

13. Визначити момент короткого замикання $M_{кз}$ для струму якоря короткого замикання $I_{я.кз}$ при $(c_m \Phi)_{ном}$; $(c_m \Phi)_1$; $(c_m \Phi)_2$; $(c_m \Phi)_3$.

14. Визначити номінальний момент $M_{ном}$ для номінального струму якоря $I_{я.ном}$.

15. За двома точками з координатами $(\omega_0$ і $M = 0)$ та $(M_{кз}$ і $\omega = 0)$ побудувати механічні характеристики.

16. Визначити допустиме значення моменту

$$M_{доп} = \frac{(U - I_{я.ном} R_{я}) I_{я.ном}}{\omega_{ном}} \quad (1)$$

і побудувати залежність $\omega = f(M_{доп})$ для регулювання з постійною потужністю. Значення номінальної кутової швидкості $\omega_{ном}$ прийняти за номінального струму якоря $I_{я.ном}$ для кожного струму збудження. Показати на графіку ділянки недовантаження і перевантаження.

17. Прийнявши значення моментів $M = 1,2M_{ном}$, $M = M_{ном}$ і $M = 0,7M_{ном}$ побудувати для них залежності $\omega = f(c_m \Phi)$ та визначити значення максимальної кутової швидкості.

18. Для цих же значень моментів побудувати залежності $\omega = f(I_3)$, використовуючи магнітну характеристику $(c_m \Phi) = f(I_3)$.

Контрольні запитання

1. Фактори, що обмежують діапазон регулювання швидкості двигуна постійного струму незалежного збудження зменшенням магнітного потоку.
2. Від чого залежить значення швидкості ідеального холостого ходу?
3. Чи є різниця між швидкістю реального холостого ходу та швидкістю ідеального холостого ходу? В чому вона полягає?
4. Чи змінюється жорсткість штучних механічних характеристик при регулюванні швидкості двигуна постійного струму незалежного збудження зменшенням магнітного потоку? Обґрунтуйте відповідь.
5. Як змінюється струм короткого замикання двигуна постійного струму незалежного збудження при зміні струму в обмотці збудження?

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. *Колб Ант. А. Теорія електроприводу: [навчальний посібник] / Ант. А. Колб, А.А. Колб – [2-е вид. перероб. і допов.]. – Д.: Національний гірничий університет, 2010. – 540с.
2. *Теорія електропривода: Підручник / [Попович М.Г., Борисюк М.Г., Гаврилюк В.А. та ін.]; за ред. М.Г. Поповича. – К.: Вища шк., 1993. – 494с.

* - остання редакція базового видання

Навчально-методичне видання

Устименко Дмитро Володимирович
Балійчук Олексій Юрійович

ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Навчально-методичні рекомендації
до виконання лабораторних робіт
Частина 1

Електронне видання

Експертний висновок склав кандидат техн. наук, доцент
Оксана МАРЕНИЧ

Зареєстровано НМВ УДУНТ (№ 1.843 від 04.11.2025)

В авторській редакції

Комп'ютерна верстка О. Ю. Балійчук

Формат 60x84 ^{1/16}. Ум. друк. арк. 1,91. Обл.-вид. арк. 1,94.
Зам. № 130

Видавець: Український державний університет науки і технологій
вул. Лазаряна, 2, ауд. 1201, м. Дніпро, 49010.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7709 від 14.12.2022

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:
вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010