

Міністерство освіти і науки,
молоді та спорту України
Державний ВНЗ
«Національний гірничий університет»

Електротехнічний факультет
Кафедра електропривода

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З ДИСЦИПЛІНИ
“ОСНОВИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА”

для студентів напрямку 6.05.07.01 Електротехніка та електротехнології (ЕЕ)

Дніпропетровськ

2012

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Основи електропривода» для студентів напряму 6.05.07.01 Електротехніка та електротехнології (ЕЕ) /Упорядник: В.Е.Воскобойник. - Дніпропетровськ: НГУ, 2012.-60с.

Упорядник: В.Е.Воскобойник , кандидат техн. наук, професор.

Відповідальний за випуск завідувач кафедри електропривода
О.С. Бешта, доктор техн. наук, проф.

ЗМІСТ

с.

Лабораторна робота № 0. Загальна інформація . . . . .	.4
Лабораторна робота № 1. Експериментальне визначення моменту інерції електропривода . . . . .	.7
Лабораторна робота № 2. Дослідження процесів нагрівання та охолодження електричного двигуна в електроприводі . . . . .	.12
Лабораторна робота № 3. Дослідження характеристик привода з електричним двигуном постійного струму незалежного збудження . . . . .	.16
Лабораторна робота № 4. Дослідження механічних характеристик привода з асинхронним двигуном, що має фазовий ротор . . . . .	.21
Лабораторна робота № 5. Дослідження характеристик привода системи генератор – двигун без зворотних зв'язків . . . . .	.28
Лабораторна робота № 6. Дослідження характеристик системи Керований випрямляч – двигун постійного струму . . . . .	.33
Лабораторна робота № 7. Дослідження системи електропривода з керованим перетворювачем частоти та асинхронним двигуном . . . . .	.39
Лабораторна робота № 8. Дослідження характеристик електропривода системи Г-Д з типовими зворотними зв'язками . . . . .	.46
Лабораторна робота № 9. Система релейного керування двоскоросним асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором . . . . .	.51
Лабораторна робота № 10. Система релейного керування асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором і динамічним гальмуванням . . . . .	.55
Лабораторна робота № 11. Дослідження системи керування резисторним електроприводом з асинхронним двигуном . . . . .	.58

Лабораторна робота № 0 ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ

1. Спеціальні терміни

Контакт – пристрій для комутації (замикання або розмикання) електричних ланцюгів. Потужними вважаються контакти для комутації струмів понад 10А. Такі контакти мають спеціальні пристрої для ефективного гасіння іскор або електричної дуги під час розмикання електричних контурів.

Контактор – електромагнітний апарат, що має керуючу котушку і механічну рухому частину з контактами, серед яких обов'язково є потужні. Нормальним називається стан, коли керуюча котушка не одержує живлення. Котушка і контакти мають однакові назви.

Реле – апарат для комутації малопотужних електричних контурів. Має рухому механічну частину, яка змінює стан у функції різних фізичних величин: струму або напруги (електромагнітні реле), температури спеціального елемента (теплові реле), часу, тощо. Разом з механічною частиною змінюють стан однойменні контакти.

Рубильник, вимикач, перемикач, командоапарат – пристрої для комутації електричних ланцюгів вручну.

Характеристика – залежність однієї фізичної величини від іншої. Залежна величина вказується першою. Пропорційні значення на графіках відміряються вертикально. Частіше зустрічаються:

$n(M)$ – механічна характеристика двигуна або електропривода, як залежність частоти обертання валу двигуна від електромагнітного моменту;

$n(I)$ – електромеханічна характеристика, як залежність частоти обертання валу двигуна від струму;

$n(I_3)$ – регульовальна характеристика, як залежність частоти обертання валу двигуна від регульованої величини (струму збудження), ..

Перетворювач – пристрій, що змінює фізичну форму, або параметри енергії. Наприклад *перетворювач електричної енергії* змінного струму на електричну енергію постійного струму чи навпаки. Або *електромеханічний перетворювач*, що перетворює механічну енергію на електричну чи навпаки.

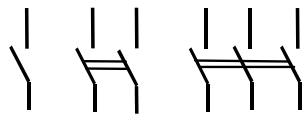
Підсилювач – пристрій, що збільшує потужність керуючих сигналів. Підсилювач часто виконує функції *сумуючого* пристрою. Наприклад, *магнітний підсилювач* регулює вихідну напругу або струм у функції алгебраїчної суми струмів в електрично незалежних обмотках керування.

Командоапарат – пристрій, що перетворює механічні позиції важеля або валу на керуючі дії (замикання чи розмикання електричних контурів).

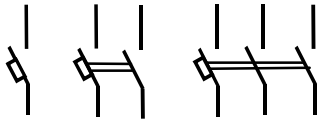
Сталий або усталений режим – режим, коли величини, що його характеризують (струми, частота обертання) не змінюються у часі.

Квазіусталений режим – режим, коли миттєві величини, що його характеризують змінюються у часі, а їх середні значення лишаються незмінними.

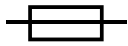
2. Графічні позначення елементів в електричних схемах.



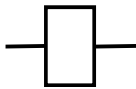
Одно, двох та триполюсні рубильники з ручним вмиканням та вимиканням



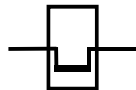
Одно, двох та триполюсні рубильники з автоматичним максимальним струмовим захистом



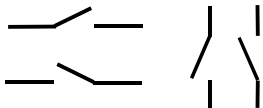
Запобіжник для захисту від струмів короткого замикання



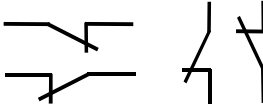
Котушка електромагнітного апарату (реле, контактора)



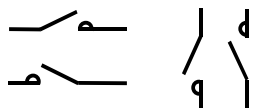
Чутливий елемент реле теплового захисту



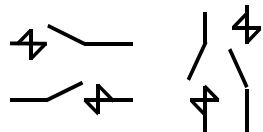
Замикаючий контакт апарату



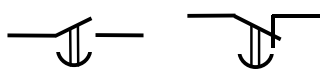
Розмикаючий контакт командоапарату



Замикаючий контакт апарату з іскрогасінням



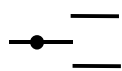
Замикаючий контакт апарату з дугогасінням



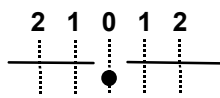
Контакт електромагнітного реле часу з затримкою розмикання та замикання



Контакт захисного апарату з ручним поверненням у робочий (замкнений) стан



Контакт перемикача на три фіксованих положення. Крапкою помічено рухомий контакт



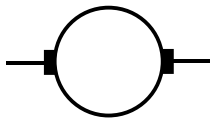
Контакт командоапарату, замкнений тільки у нульовому (з п'яти нумерованих) положенні рукоятки



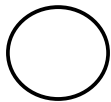
Загальне позначення обмотки електричної машини або електричного апарату



Обмотка незалежного збудження електричної машини постійного струму



Якірна обмотка електричної машини постійного струму



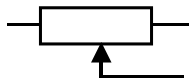
Багатофазна обмотка статора (ротору) електричної машини змінного струму



Механічні з'єднання валів електричних машин



Резистор



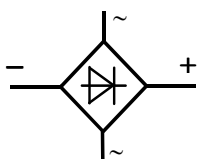
Резистор з регулюванням



Конденсатор



Однофазний напівперіодний випрямляч (діод)



Однофазний двонапівперіодний випрямляч (діодний міст)

Лабораторна робота № 1
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТУ ІНЕРЦІЇ
ЕЛЕКТРОПРИВОДА

1. Мета роботи

Засвоєння методів експериментального визначення моменту інерції агрегату з асинхронним електродвигуном.

2. Програма роботи

- Ознайомитися з лабораторною установкою та порядком виконання експериментів.
- Ввімкнути асинхронний двигун.
- Одержати дані режиму реального холостого ходу.
- Одержати дані режиму ідеального холостого ходу.
- Одержати дані режиму вільного вибігу.
- Одержати дані до залежності $P_C(t)$.
- Розрахувати момент інерції через уповільнення у режимі вільного вибігу.
- Розрахувати момент інерції через роботу сил опору у режимі вільного вибігу.

3. Опис лабораторної установки

Електрична схема установки наведена на рис.1.1.

Установка включає агрегат з механічно з'єднаними роторами асинхронного двигуна АД, машини постійного струму Д і тахогенератора ТГ.

Вимикачі АВ1 та АВ3 підключають АД до мережі живлення змінного струму. Додаткові резистори R1, R2, R3 обмежують струми АД під час пуску. Ватметр W, амперметр А2 та вольтметр V1 дозволяють вимірювати потужність, струм та напругу в контурах АД.

Вимикачі АВ2 та АВ6 підключають до мережі живлення постійного струму обмотку збудження ОВД машини постійного струму Д. Струм цієї обмотки контролюється амперметром А5. Вимикач АВ5 дозволяє підключати до мережі живлення якірний контур навантажувальної Д. Перемикач УП2 встановлює напрям дії навантажувальної машини, а додаткові резистори R5, R6, R7 обмежують струм її якірного контуру.

4. Теоретична частина

Вільний вибіг – це процес гальмування агрегату за рахунок механічних сил тертя за умови відключенням установки від джерел електричного живлення. Момент інерції агрегату J, як коефіцієнт пропорційності між зусиллям та прискоренням інерційної маси, може визначатися з використанням вільного вибігу двома способами: через параметри уповільнення або через роботу сил опору.

За першим способом

$$J = - \frac{M_C}{(d\omega/dt)}, \text{ кгм}^2 \quad (1)$$

де: M_C – момент сил тертя, Нм; $d\omega/dt$ – уповільнення, c^{-2} .

Момент сил тертя M_C залежить від механічної потужності опору $P_{\text{мех}}$

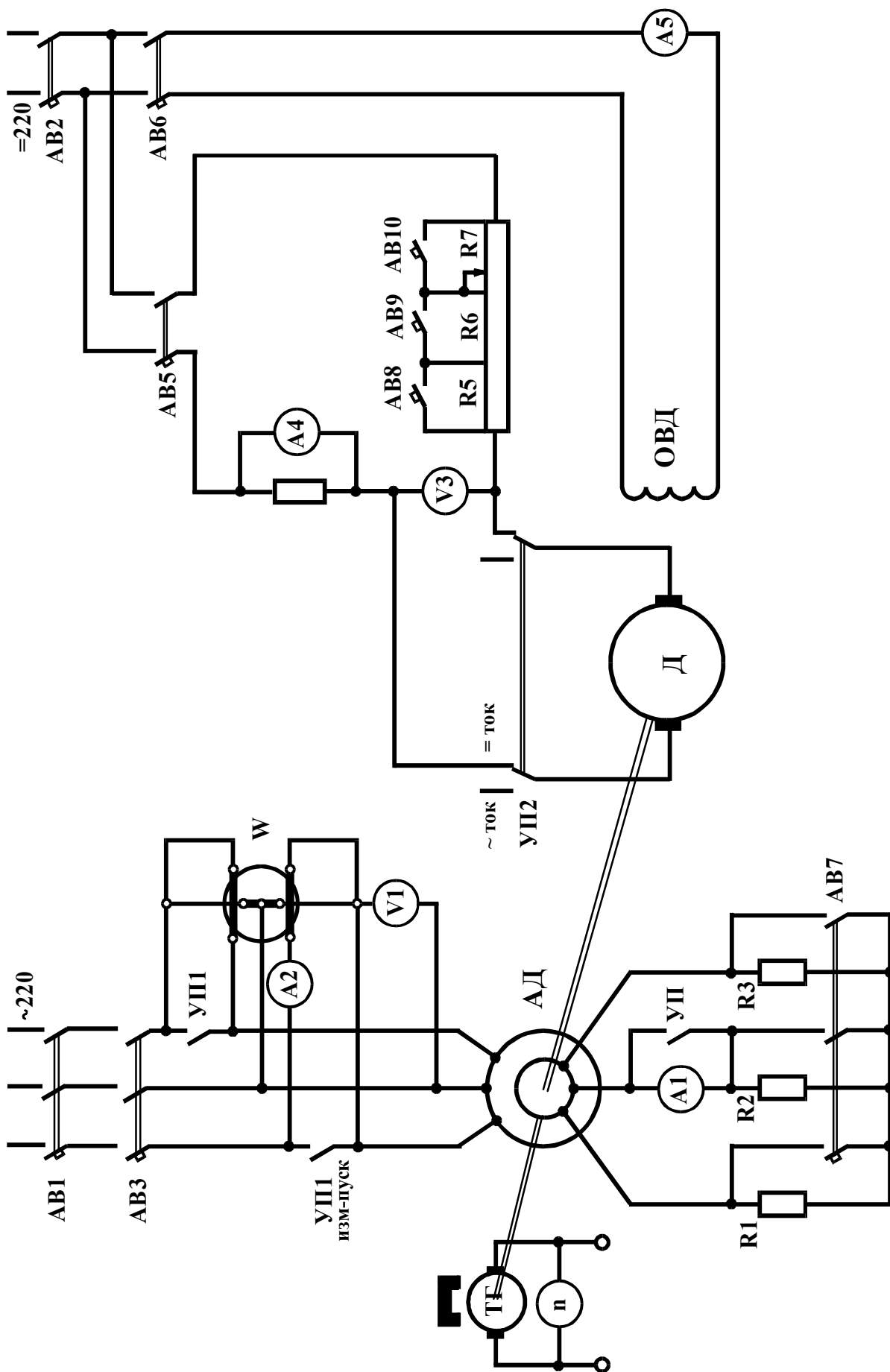


Рис.1.1 – Схема лабораторної установки для визначення J

$$M_C = \frac{P_{\text{мех}}}{\omega_{\text{xx}}}, \quad (2)$$

де: ω_{xx} – частота обертання валу агрегату в режимі реального холостого ходу.

За умови незмінної напруги живлення АД потужність механічного опору припустимо розраховувати за формулою

$$P_{\text{мех}} = P_{\text{xx}} - P_0, \quad (3)$$

де: P_{xx} , P_0 – потужності споживання у режимах реального та ідеального холостого ходу за показами W .

Уповільнення агрегату на початку режиму може бути сталим, що означає $M_C = \text{const}$ і дозволяє заміну диференціалів на кінцеві прирощення

$$\frac{d\omega}{dt} \approx \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} = \frac{n_2 - n_1}{t_2 - t_1} \cdot \frac{\pi}{30}, \quad (4)$$

де ω – частота обертання валу агрегату, $c^{-1} n$ – частота обертання валу агрегату за показами приладу n , об/хв.

За другим способом

$$J = \frac{2 \cdot A_C}{\omega_1^2 - \omega_2^2} = \frac{2 \cdot A_C}{n_1^2 - n_2^2} \cdot \left(\frac{30}{\pi}\right)^2, \quad (5)$$

де A_C – робота сил опору, яка дорівнює зміні кінетичної енергії системи під час гальмування від n_1 до n_2 у режимі вільного вибігу.

У загальному випадку

$$A_C = \int_{t_1}^{t_2} P_C(t) \cdot dt, \quad (7)$$

де $P_C(t)$ – потужність опору, Вт.

Установка дозволяє визначити $P_C(t)$, як комбінацію даних кривої вибігу $n(t)$ та залежності $P_C(n)$.

5. Порядок виконання роботи та рекомендації

5.1. Підготовка до пуску АД. Вимкнути АВ5, АВ6, АВ7. Перемикач УП1 встановити у положення “пуск”. Перемикач УП2 встановити у положення “=”.

5.2. Пуск АД. Ввімкнути АВ1 та АВ3. Через 8-10 секунд ввімкнути АВ7.

5.3. Одержати дані реального холостого ходу. Для цього у сталому режимі перевести УП1 у положення “изм”. Нотувати частоту обертання за показами n та потужність за показами w .

5.4. Одержати дані ідеального холостого ходу: Підключити машину постійного струму (ввімкнути послідовно АВ2, АВ5, АВ6, АВ8, АВ9).

Регулюванням опору R7 встановити режим, у якому струм ротора за показами А1 дорівнюватиме нулю. Нотувати частоту обертання за показами n та P_0 (за показами w). Після цього вимкнути АВ2, АВ5, АВ6, АВ8, АВ9.

5.5. Одержати дані кривої вибігу. Для цього вимкнути **AB1**. Через кожні три секунди нотувати значення частоти обертання за приладом **n** у таблицю даних такої форми

Таблиця даних.

t, сек.	0	3	6	9	12	15	18
n, об/хв							
I_я, А							
U_я, В							
P_с, Вт							

5.6. Одержати дані до залежності P_с(n). Для цього вимкнути машину **AD** з мережі живлення автоматами **AB1** та **AB3**. Підключити машину постійного струму **D** послідовним ввімкненням **AB2**, **AB5**, **AB6**. Регулюванням сумарного опору резисторів **R5**, **R6**, та **R7** встановлювати сталі значення частоти обертання такі ж, як у таблиці даних. Додавати пари значень струму **I_я** (за показами **A4**) та напруги **U_я** (за показами **V3**) у таблицю даних.

5.7. Розрахувати J за першим способом. Для цього:

- розрахувати уповільнення $\frac{d\omega}{dt}$ з формули (4) за перші три секунди режиму вільного вибігу;
- за даними пп. 5.3, 5.4 розрахувати з формули (3) потужність механічного опору;
- розрахувати момент сил опору з формули (2);
- розрахувати **J** з формули (1).

5.8. Розрахувати J за другим способом. Для цього:

- за даними таблиці даних для кожного значення частоти обертання розрахувати значення

$$P_C(n) = U_{я} \cdot I_{я}. \quad (8)$$

Внести результати до таблиці;

- збудувати графік залежності **P_с(t)** з парами значень **P_с** і **t** таблиці даних. Варіант на рис.1.2;
- розрахувати **A_с** за формулою (7) з інтегруванням залежності **P_с(t)** у часі. Можливе графічне інтегрування графіка з урахуванням графічних масштабів. Можливе, також, аналітичне інтегрування. Для цього на кожному інтервалі часу залежність вважається лінійною. Її графік перетворюється на трапецію, а інтеграл дорівнюватиме сумі площин трапецій

$$A_C \approx \sum_{k=1}^h \left(\Delta t_k \cdot \frac{P_k + P_{k-1}}{2} \right), \quad (9)$$

де **k** – номер трапеції.

- розрахувати **J** за формулою (5):

$$J = \frac{2 \cdot A_C}{\omega_{\Pi}^2 - \omega_K^2} = \frac{2 \cdot A_C}{n_{\Pi}^2 - n_K^2} \cdot \left(\frac{30}{\pi}\right)^2, \quad (10)$$

де індекси “п” та “к” означають початкове та кінцеве значення частоти обертання.

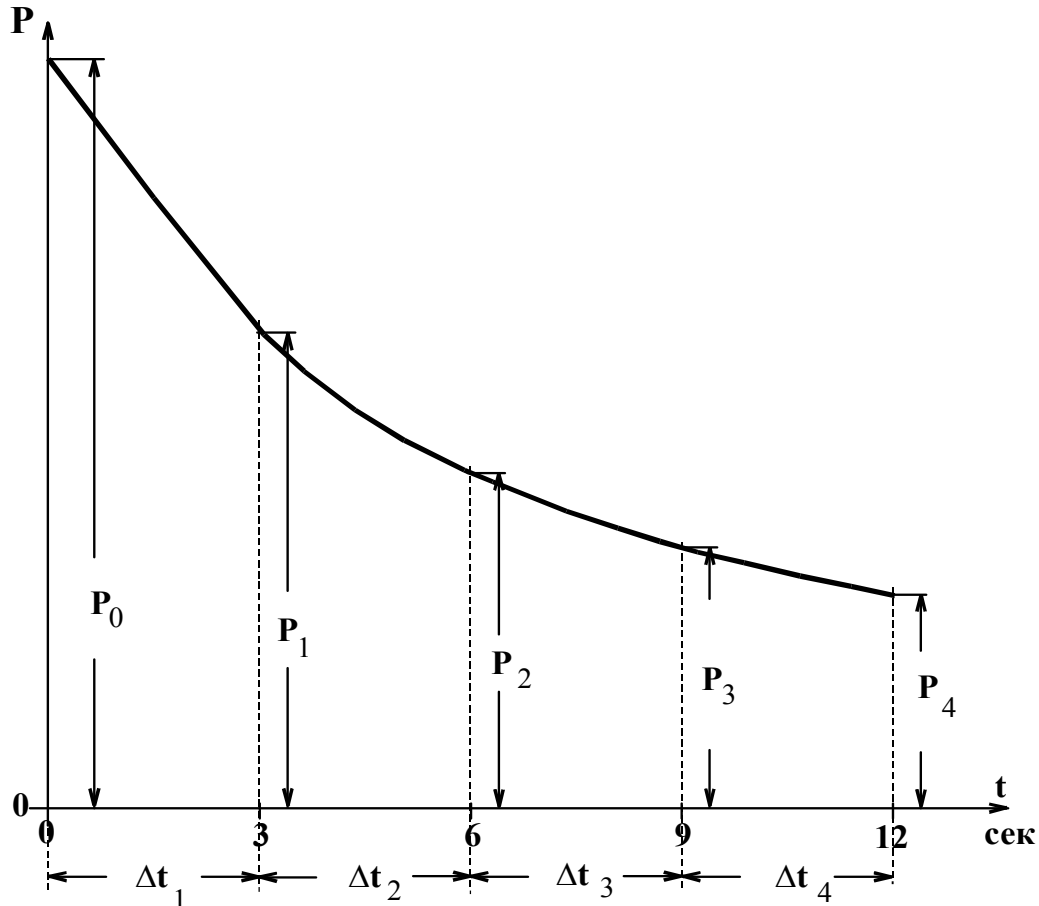


Рис. 1.2. Графік до розрахунків роботи A_C

6. Контрольні запитання

- 1.Що таке момент інерції? 2.Що таке режим вільного вибігу? 3.Які особливості має режим вільного вибігу? 4. З яких елементів складається лабораторна установка? 5.Як запустити двигун змінного струму з лабораторного агрегату? 5.Як запустити двигун постійного струму? 6.Як створити режим реального холостого ходу АД? 7.Як створити режим ідеального холостого ходу АД? 8.Що таке режим ідеального холостого ходу? 9.Які дані можна одержати у режимі реального холостого ходу? 10.Як використовують дані реального холостого ходу для визначення J ? 11.Як використовують дані ідеального холостого ходу для визначення J ? 12.Чим уповільнення відрізняється від прискорення? 13.Як одержати дані кривої вільного вибігу? 14.Як використовується машина постійного струму у режимі вільного вибігу? 15.Як одержати дані до залежності $P_C(n)$? 16.Як одержати дані до залежності $P_C(t)$? 17.Як розрахувати роботу сил тертя у режимі вільного вибігу? 18.Як розрахувати J за допомогою роботи сил тертя?

Лабораторна робота № 2
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ НАГРІВАННЯ ТА ОХОЛОДЖЕННЯ
ЕЛЕКТРИЧНОГО ДВИГУНА В ЕЛЕКТРОПРИВОДІ

1. Мета роботи

Засвоєння методів дослідження та аналізу процесів нагрівання та охолодження двигунів в електроприводі.

2. Програма роботи

- Ознайомитися з лабораторною установкою та порядком виконання експериментів.
- Ввімкнути установку в режимі нагрівання двигуна.
- Одержати дані процесу нагрівання.
- Перевести установку в режим охолодження нерухомого двигуна.
- Одержати дані режиму охолодження нерухомого двигуна
- Перевести установку в режим охолодження двигуна, ротор якого обертається з номінальною частотою.
- Одержати дані режиму охолодження двигуна з обертовим ротором.

3. Опис лабораторної установки

Електрична схема установки наведена на рис.2.1.

Установка включає агрегат з механічним з'єднанням двох електричних машин: досліджуваного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором **ИД** та навантажувальної машини постійного струму **НМ**.

ИД вмикається до мережі живлення вимикачем **АВ2**. Його струм контролюється амперметром **А3**. У статор вбудовано терморезистор **Р4**, який разом з **Р5**, **Р6**, **Р7** входить до складу вимірювального моста. Одна діагональ моста підключається до джерела живлення **Uп** вимикачем **Т**. Друга підключена до вимірювального приладу τ , градуйованого у градусах Цельсія. Резистор **Р5** дозволяє збалансувати міст (встановити $\tau=0$) на початку вимірювань.

Навантажувальна машина **НМ** має два електричних контури. Контур збудження з обмоткою **ОВ** включає потенціометр **Р1** для регулювання навантаження агрегату. Якірний контур включає перемикач **П**, за допомогою якого **НМ** може обертати **ИД** (положення "ДВ") або навантажувати **ИД** з ввімкненим **АВ2** (положення "ДТ"). Резистори **Р2**, **Р3** з вимикачами **АВ3**, **АВ4** створюють ступінчастий резистор для обмеження струмів під час вмикання якірного контуру до мережі живлення $=220\text{В}$ вимикачем **АВ1**.

4. Теоретична частина

Теплові процеси – це процеси обміну теплом між об'єктом та навколишнім середовищем. Такі процеси припустимо аналізувати за певних припущень: температура навколишнього середовища не змінюється, температура усіх елементів об'єкту однакова, теплова ємність та теплова віддача об'єкту не змінюються, обмін теплом між об'єктом та навколишнім

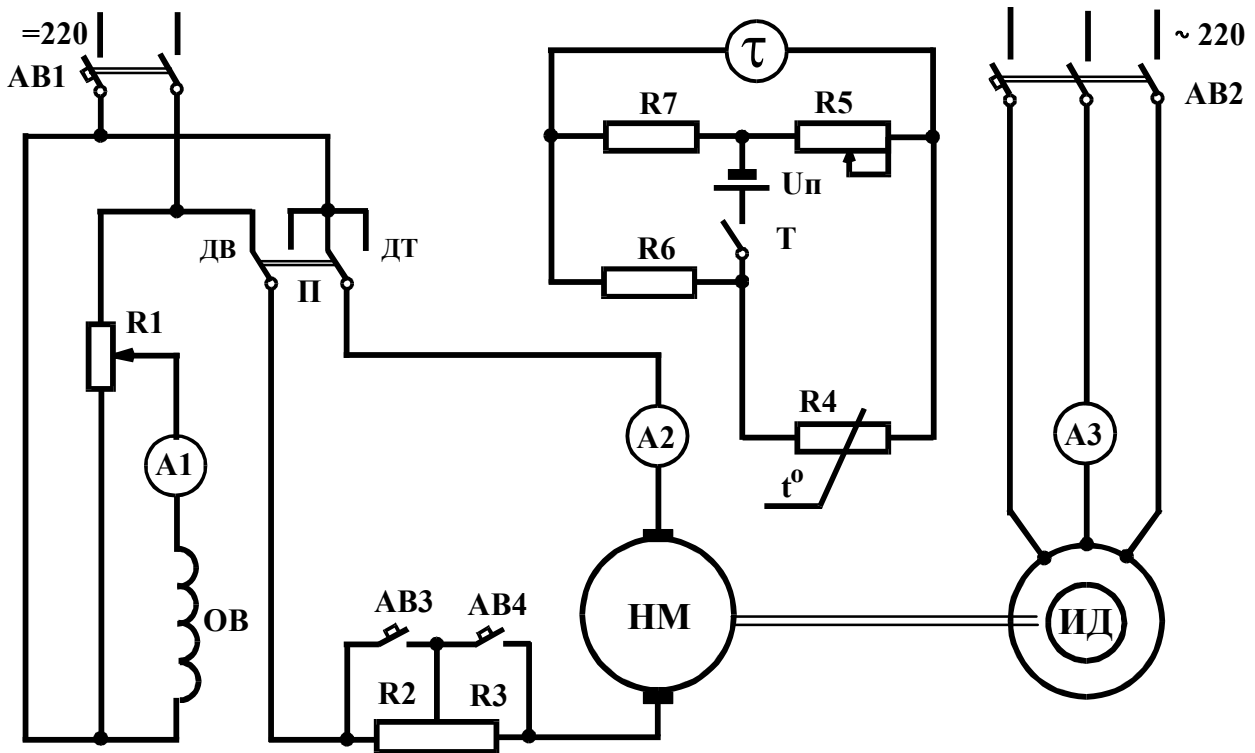


Рис. 2.1. Схема лабораторної установки для досліджень теплових процесів

середовищем пропорційний до першого ступеню різниці температур. За таких умов процеси нагрівання та охолодження електричних машин відбуваються за рівнянням балансу енергій:

$$\Delta P \cdot dt = C \cdot d\tau + A \cdot \tau \cdot dt, \quad (1)$$

де: $\Delta P \cdot dt$ – енергія, яка перетворюється на тепло; $C \cdot d\tau$ – енергія, яка поглинається об’єктом та підвищує його температуру; $A \cdot \tau \cdot dt$ – енергія, яка передається об’єктом до навколишнього середовища; ΔP – втрати потужності, які перетворюються на тепло; C – коефіцієнт теплової ємності об’єкту, який показує пропорційність зміни температури до одержаного тепла; A – коефіцієнт передачі тепла від об’єкту до навколишнього середовища за одиницю часу; τ – перегрівання (різниця між температурами об’єкту та навколишнього середовища); $dt, d\tau$ – елементарні інтервали часу та перегрівання.

У відповідності з (1) диференціальне рівняння процесу нагрівання матиме форму

$$\theta \cdot \frac{d\tau}{dt} + \tau = \tau_{ст}, \quad (2)$$

де: $\theta = \frac{C}{A}$ – стала часу; $\tau_{ст} = \frac{\Delta P}{A}$ – стале значення перегрівання.

У загальному випадку рішенням (2) є рівняння експоненти:

$$\tau = \tau_{\text{ст}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\theta}} \right) + \tau_0 \cdot e^{-\frac{t}{\theta}}, \quad (3)$$

де: τ – поточне значення перегрівання; t – поточний час процесу τ_0 – початкове значення перегрівання; $\tau_{\text{ст}}$ – стале значення перегрівання.

Рівняння (3) дозволяє одержати прості алгоритми визначення параметрів з експериментальних даних. Для цього обирають три моменту часу t_1 , t_2 та t_3 з відповідними значеннями перегрівання τ_1 , τ_2 та τ_3 . Якщо

$$t_2 - t_1 = t_3 - t_2 = \Delta t = \text{const}, \quad (4)$$

матимемо:

$$\tau_{\text{ст}} = \frac{\tau_2^2 - \tau_1 \cdot \tau_3}{2 \cdot \tau_2 - (\tau_1 + \tau_3)} \quad (5)$$

та

$$\theta = \frac{\Delta t}{\ln\left(\frac{\tau_{\text{ст}} - \tau_1}{\tau_{\text{ст}} - \tau_2}\right)}. \quad (6)$$

Дані про втрати потужності за паспортними даними двигуна

$$\Delta P_{\text{H}} = P_{\text{H}} \cdot \left(\frac{1 - \eta_{\text{H}}}{\eta_{\text{H}}} \right), \quad (7)$$

де: P_{H} - номінальна потужність двигуна; η_{H} – номінальний ККД двигуна; дозволяють оцінити коефіцієнт теплової віддачі

$$A = \frac{\Delta P_{\text{H}}}{\tau_{\text{ст}}} \quad (8)$$

та коефіцієнт теплової ємності

$$C = \theta \cdot A. \quad (9)$$

5. Методичні вказівки до виконання

5.1. Пуск установки. Ця процедура виконується в такому порядку:

5.1.1. Ввімкнути **T** і регулюванням **R5** встановити $\tau=0$.

5.1.2. Вимкнути **AB3**, **AB4**, встановити **П** у середнє положення.

5.1.3. Ввімкнути **AB1** і за допомогою **R1** встановити струм обмотки збудження **OB** 1,5А за показами **A1**;

5.1.4. Перевести **П** у положення “**ДВ**” і поступово, з інтервалом 2 – 3 секунди ввімкнути **AB3**, **AB4**. Агрегат почне обертатись з вимкнути АД.

5.1.5. Підключити АД до мережі живлення: Ввімкнути **AB2**, перевести **П** у положення “**ДТ**” і регулюванням **R1** встановити струм асинхронного двигуна

за показами **A3** на рівні 4,5A. З цього моменту необхідно починати відлік часу у процесі нагрівання.

5.2. Одержати дані процесу нагрівання. Регулюванням **R1** підтримувати струм асинхронного двигуна за показами **A3** на постійному рівні. Через кожні 2 хвилини нотувати поточний час і значення перегріву за показами τ . Процес закінчується, коли перегрів становитиме $\tau=60$.

5.3. Одержати дані процесу охолодження нерухомого двигуна. Для цього вимкнути **AB2** та **AB1**. Протягом 10 – 15 хвилин з інтервалом 2 – 3 хвилини нотувати поточний час і значення перегріву за показами τ .

5.4. Одержати дані процесу охолодження двигуна з обертовим ротором. Вимкнути **AB1**. Повторити дії за пп. 5.1.2, 5.1.3, 5.1.4. Агрегат почне обертатись. Протягом 10 – 15 хвилин з інтервалом 2 – 3 хвилини нотувати поточний час і значення перегріву за показами τ .

5.5. За даними досліджень розрахувати $\tau_{ст}$, θ , **A** та **C** за формулами (5), (6), (7), (8) та (9) для процесу нагрівання.

5.6. За даними досліджень розрахувати θ , **A** за формулами (6) та (9) для процесів охолодження з $\tau_{ст} = 0$ (**C** приймається сталим для усіх процесів).

5.7. Дані досліджень звести у таблиці. Збудувати графіки залежностей τ від часу у різних режимах. Форма таблиць та графіків не регламентується.

6. Контрольні запитання

1. Назвіть головні припущення щодо процесу нагрівання та охолодження двигунів. 2. За рахунок яких процесів відбувається нагрівання електродвигунів? 3. За рахунок яких процесів відбувається охолодження електродвигунів? 4. Як розуміти рівняння теплового балансу електродвигуна? 5. З яких елементів складається лабораторна установка? 6. Як визначається температура нагрівання обмоток електродвигуна у лабораторній установці? 7. Як правильно запустити електродвигун, температура якого визначається? 8. Для чого використовується двигун постійного струму? 9. Як правильно запустити двигун постійного струму у режимі розгону агрегату? 10. Як правильно ввімкнути двигун постійного струму у режимі регульованого навантаження? 11. Як контролюється режим нагрівання? 12. Як встановити режим охолодження двигуна з нерухомим ротором? 13. Як встановити режим охолодження двигуна з обертовим ротором? 14. Як контролюється режим охолодження двигуна з нерухомим ротором? 15. Як контролювати режим охолодження двигуна з обертовим ротором? 16. Як визначити стале значення перегрівання? 17. Як визначити сталу часу нагрівання? 18. Як визначити сталу часу охолодження? 19. Як визначити коефіцієнт теплової віддачі? 19. Як визначити коефіцієнт теплової ємності?

Лабораторна робота № 3
ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИВОДА З ЕЛЕКТРИЧНИМ ДВИГУНОМ
ПОСТІЙНОГО СТРУМУ НЕЗАЛЕЖНОГО ЗБУДЖЕННЯ

1. Мета роботи

Освоєння методів дослідження та аналізу характеристик резисторного електропривода з двигуном постійного струму.

2. Програма роботи

- Ознайомитися з лабораторною установкою та порядком виконання експериментів.
- Ввімкнути установку.
- Одержати дані природної характеристики.
- Одержати дані штучних характеристик.
- Збудувати графіки експериментальних електромеханічних характеристик та порівняти їх з теоретичними.

3. Опис лабораторної установки

Установка включає агрегат з механічним з'єднанням випробувальної (ИМ) та навантажувальної (НМ) електричних машини постійного струму. Частота обертання валу вимірюється тахогенератором (ТГ) з приладом “п”.

Електрична схема установки наведена на рис.3.1. Джерелом живлення є мережа постійного струму напругою 220 В. Схема включає чотири незалежних один від одного електричних контури: два з обмотками збудження і два з якірними. Додаткові опори у контурах обмежують струм і визначають характеристики машин. Перемикачі П1 та П2 встановлюють режими роботи. П1 має три фіксованих положення: “ДВ” (вмикання до мережі живлення постійного струму напругою 220 В), “О” (розрив якірного контуру) та “ДТ” (замикання контуру без джерела зовнішнього живлення для режиму динамічного гальмування). П2 також має три фіксованих положення: “Встречно” (протилежно до ИМ), “О” (розрив якірного контуру), “Согласно” (в одному напрямку з ИМ). Опір додаткових резисторів R2 та R4 у якірних контурах може ступінчасто змінюватися за допомогою вимикачів 1...5(R4) та 1...4(R2). Опір додаткових резисторів R1 та R3 у контурах збудження регулюється плавно. Якірні контури вмикаються до мережі живлення за допомогою вимикачів АВ1, АВ2 за умови найбільшого опору додаткових резисторів R2, R4. Загальне живлення лабораторної установки здійснюється через вимикач АВ.

Увага! Перемикання П1 або П2 без розриву відповідних якірних контурів вимикачами АВ1 або АВ2 неприпустимі.

4. Теоретична частина

Рівняння електромеханічної характеристики $n(I)$ як залежності частоти обертання валу n від якірного струму I випробувальної машини ИМ у сталому режимі за певних припущень має вигляд:

$$n = \frac{U}{k\Phi} - I \cdot \frac{R}{k\Phi},$$

де: n – частота обертання валу агрегату, *об/хв*; U – напруга живлення якірного контуру, *В*; I – струм якірного контуру, *А*; R – опір якірного контуру, *Ом*, що складається з опору якірної обмотки R_a та опору додаткового резистора R_2 ; k – конструктивний коефіцієнт, *В/(Вб об/хв)*; Φ – магнітний потік збудження, *Вб*, який залежить від струму збудження.

В умовах лабораторної роботи R_a та k не змінюються. Якщо встановити постійні значення Φ , U та R_2 , теоретично матимемо лінійну електромеханічну характеристику з двома складовими:

$$n = n_0 - \Delta n$$

Перша складова визначає заданий рівень частоти обертання і називається частотою обертання ідеального холостого ходу :

$$n_0 = \frac{U}{k\Phi}$$

Друга складова визначає відхилення частоти обертання від заданої під впливом навантаження :

$$\Delta n = I \cdot \frac{R}{k\Phi}$$

Зміна струму збудження впливає на Φ , що зворотно пропорційно змінює обидві складові частоти обертання.

5. Порядок виконання роботи

5.1. Підготувати агрегат до запуску. Для цього:

- встановити максимальний опір додаткового резистора R_2 (вимикачі 1, 2, 3, та 4 вимкнені);
- встановити максимальний струм контуру збудження ($R_1=0$);
- встановити перемикач П1 у положення “ДВ”.

5.2. Запустити агрегат. Для цього послідовно ввімкнути АВ та АВ1.

5.3. Одержати дані регульовальної характеристики. Для цього:

- встановити мінімальний опір якірного контуру ИМ (ввімкнути вимикачі 1, 2, 3, 4 (R_2));
- регулювати R_1 . Нотувати I та n у таблицю такої форми:

$n, об/хв$					
$I_3, А$					

5.4. Одержати дані електромеханічних характеристик з підключенням якірного контуру ИМ до мережі живлення. Для цього необхідно встановити характеристику, яка залежить від значень Φ , U та R_2 .

За умови: $\Phi=\Phi_{ном}$ ($R_1=0$), $U=220В$ (П1 у положенні “ДВ”), $R_2=0$ (ввімкнені 1, 2, 3, 4(R_2)) характеристика буде природною. Всі інші – штучні.

“шт1” – додатково до умов природної вимикається 4(R_2);

“шт2” – додатково до умов природної вимикаються 3, 4(R_2);

“шт3” – додатково до умов природної вимикаються 1, 2, 3, 4 (R_2).

Після встановлення характеристики необхідно одержати дані регулюванням навантаження. Навантажувальна машина ИМ може вмикатися

протилежно (“**Встречно**”) до **ИМ** із ступінчастим регулюванням опору якірного контуру вмикачами **1,2,3,4,5(R4)** або згідно (“**Согласно**”) з регулюванням **1,2,3,4,5(R4)** та додатковим (після того, як **R4** дорівнюватиме нулю) регулюванням **R3**.

Під час випробувань струм якірного контуру **ИМ** рекомендується утримувати у межах **-4...+ 12А**. Струм обмоток збудження – у межах **0,5...1,0 А**.

Режими роботи **ИМ** для характеристик з **U=220В** встановлюються автоматично у залежності від частоти обертання валу:

$n_0 > n > 0$; $I > 0$ – рушійний режим;

$n = n_0$; $I = 0$ – режим ідеального холостого ходу;

$n > n_0$; $I < 0$ – режим рекуперативного гальмування;

$n = 0$; $I > 0$ – режим короткого замикання. Одержується у режимі “штЗ” з протилежним вмиканням **ИМ**;

$n < 0$; $I > 0$ – режим гальмування противмиканням. Одержується у режимі “штЗ” з протилежним вмиканням **ИМ**.

Для характеристик динамічного гальмування з **U=0В** необхідно враховувати протилежність знаків струму і частоти обертання.

Результати доцільно нотувати у таблиці такої форми:

Регульовальна характеристика:

I з, А				
n, об/хв				

Електромеханічна характеристика:

Назва	Позначення	Результати						
	n, об/хв							
	Iя, А							

Увага: Кількість таблиць повинна дорівнювати кількості характеристик.

За даними експериментів необхідно збудувати графіки характеристик. Результати вимірювань розміщуються на площині графіків у вигляді помітних позначок. Проте лінія відповідного графіка будується за теорією (пряма лінія або плавна крива). Відхилення одержаних значень від очікуваних можуть бути помітними. Приблизний вигляд очікуваних залежностей наведено на рис.4.2.

6.Зміст звіту

1. Назва, ціль та програма роботи
2. Електрична схема лабораторної установки
3. Таблиці з даними експериментів
4. Графіки характеристик за результатами експериментів
5. Необхідні теоретичні пояснення.

7.Контрольні запитання

Яка характеристика привода називається електромеханічною ? Яка характеристика привода називається регульовальною ? Як визначити рушійний режим? Як визначити режим ідеального холостого ходу ? Як визначити режим

короткого замикання? Чому залежність частоти обертання вала двигуна від струму якорного контуру вважається лінійною? Чому залежність частоти обертання вала двигуна від струму збудження вважається нелінійною? Як встановити природну характеристику двигуна? Як встановити характеристику "шт1"? Як одержати дані режиму рекуперативного гальмування? Як встановити характеристику динамічного гальмування? Як одержати дані режиму гальмування противмиканням? Як одержати дані режиму динамічного гальмування? Як змінити частоту обертання вала двигуна за умови постійного струму якорного контуру? Чому графіки електромеханічних характеристик перетинаються при $n=n_0$ за умови живлення якорного контуру від мережі 220В? Чому графіки електромеханічних характеристик динамічного гальмування мають спільний режим з $n=0$, $I=0$?

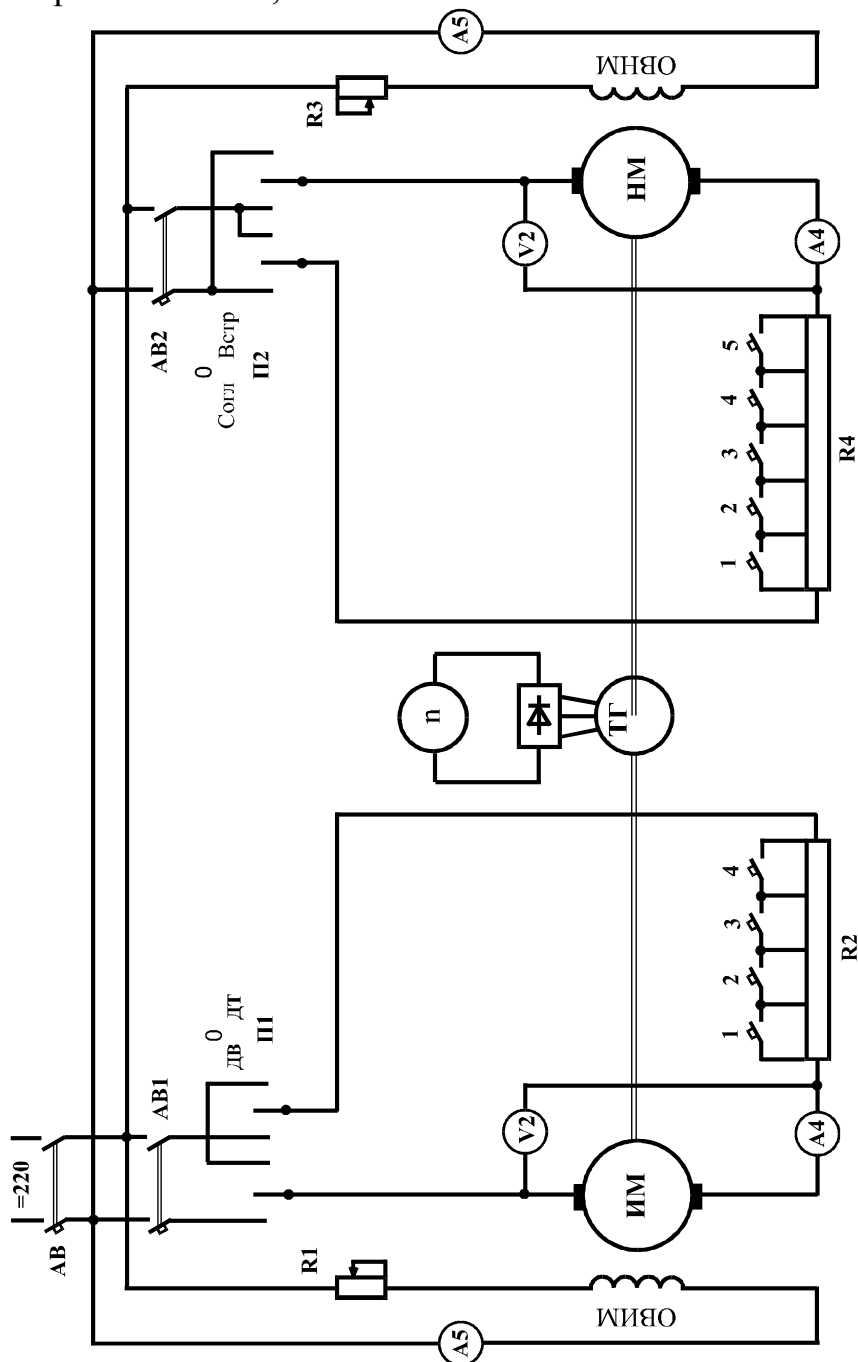


Рис. 3.1. Електрична схема лабораторної установки до роботи №3

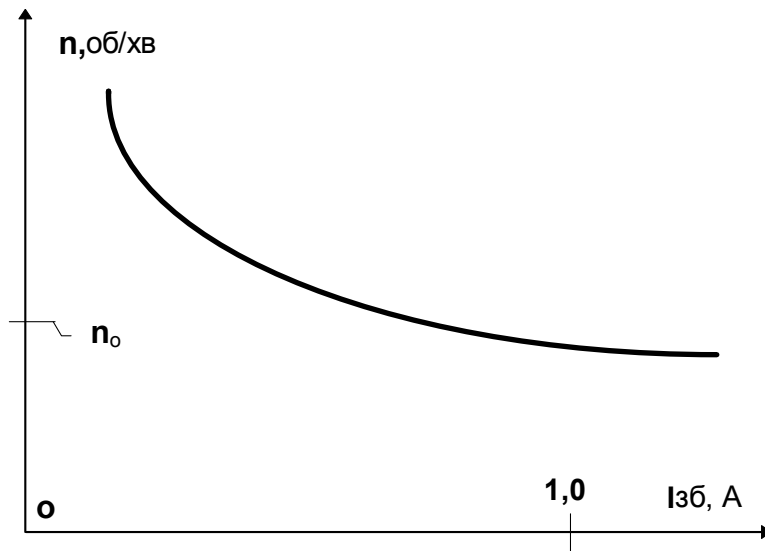


Рис.3.2.а. Приблизний графік регулювальної характеристики

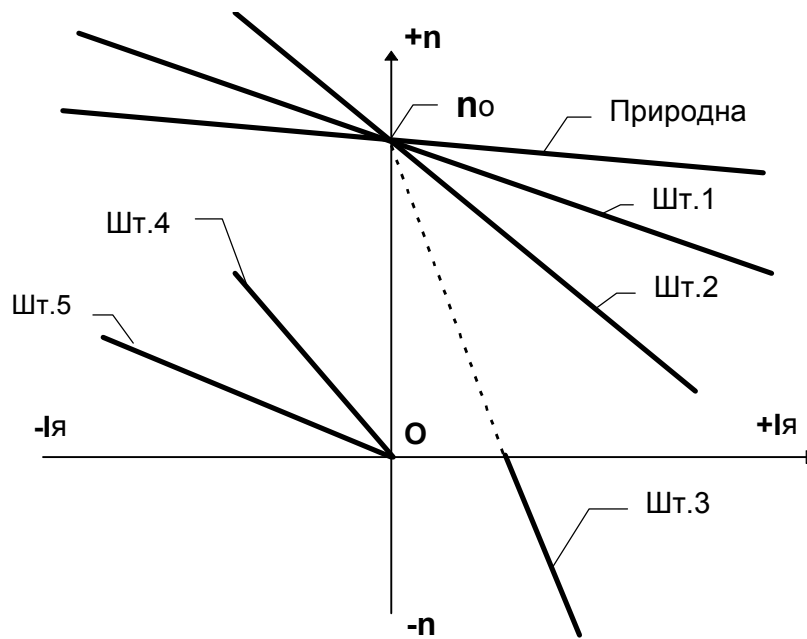


Рис.3.2.б. Приблизні графіки електромеханічних характеристик

Лабораторна робота № 4
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИВОДА
З АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ, ЩО МАЄ ФАЗОВИЙ РОТОР

1. Мета роботи

Освоєння методів дослідження та аналізу механічних характеристик резисторного електропривода з асинхронним електродвигуном.

2. Програма роботи

- Ознайомитися з лабораторною установкою та її особливостями.
- Запустити установку.
- Одержати дані природної характеристики.
- Одержати дані штучних характеристик.
- Розрахувати параметри і збудувати графіки характеристик.
- Провести аналіз відповідності графіків до теоретичних формул.

3. Опис лабораторної установки

Установка (схема на рис.4.1) включає випробувальну машину АД1 та навантажувальний агрегат із трьох машин ДП1, ДП2, та АД2. Статор випробувальної машини може підключатися до мережі змінного струму через 1ЛЗ або до мережі постійного струму через АВ4. У роторних контурах встановлено три групи додаткових резисторів по три секції на фазу. Секції резисторів можуть замикатися контактами контакторів 1к, 2к, 3к, якими керує перемикач П1 з чотирма фіксованими положеннями: "0" (1к, 2к, 3к не замкнені), "1" (замкнено 1к), "2" (замкнено 1к, 2к), "3" (замкнено 1к, 2к, 3к).

Навантажувальний агрегат готовий до роботи, якщо надходить живлення від мережі змінного струму через контакти контактора 2ЛЗ і замкнено якірний контур машин постійного струму вимикачем АВ6. Напрямок навантажувального моменту та його величина залежать від різниці між струмами збудження машин ДП1 та ДП2. Струми регулюються резисторами R2, R3 та контролюються амперметрами А2, А3. Перемикач П4 дозволяє збільшувати різницю між струмами за рахунок зміни напрямку одного з них (в положенні "1" – через ОВ2; в положенні "2" – через ОВ1).

Вимірювання частоти обертання валу АД1 забезпечується тахогенератором ТГ з приладом п.

Електромагнітний момент АД1 розраховується за даними потужності (ватметр W), статорного струму (амперметр А5) та частоти обертання валу (прилад п).

Амперметр А8 показує нуль в режимі ідеального холостого ходу, коли частота обертання ротора дорівнює частоті обертання магнітного поля.

Контактори живлення асинхронних двигунів змінним струмом 1ЛЗ та 2ЛЗ вмикаються натисканням чорних кнопок "Пуск", а вимикаються натисканням червоних кнопок "Стоп", що розташовані поруч зі схемами відповідних двигунів.

4. Теоретична частина

Механічна характеристика випробувальної машини – це залежність частоти обертання валу від електромагнітного моменту. Для дослідження

конкретної характеристики її треба встановити, а потім одержати різні частоти обертання ротору зміною навантаження.

Частота обертання ротору вимірюється в сталому режимі приладом **n**. Електромагнітний момент розраховується з формули:

$$M = \frac{P - \Delta P_C - 3 \cdot I_C^2 \cdot r_C}{n_0 \cdot \frac{\pi}{30}}, \quad (1)$$

де: **P** – активна потужність двигуна за показами **W**, *Bm* (множити на 3,75); **ΔP_C** – постійні втрати потужності, що не залежать від навантаження та частоти обертання валу, *Bm*; **I_C** – струм статора за показами **A5**, *A*; **r_C** – опір фазної обмотки статора (**3,67 Ом**); **n₀** = 1000об/хв – частота обертання валу двигуна в режимі ідеального холостого ходу.

Втрати потужності **ΔP_C** розраховуються за даними режиму ідеального холостого ходу випробувального двигуна, коли його підключено до мережі живлення і амперметр **A8** показує нуль:

$$\Delta P_C = P_0 - 3 \cdot I_0^2 \cdot r_C \quad (2)$$

(індекс “**0**” – ознака режиму ідеального холостого ходу).

В умовах обмеженого навантаження, яке може реалізуватися на лабораторному стенді, механічну характеристику досліджуваної машини **n(M)** припустимо вважати лінійною

$$n = n_0 - M \frac{s_k}{2 \cdot M_k}, \quad (3)$$

де: **n₀** – частота обертання валу у режимі ідеального холостого ходу; **s_k** – критичне ковзання, що прямо пропорційно залежить від опору у роторних контурах; **M_k** – максимальний (критичний) момент двигуна, який в умовах лабораторного стенду є константою.

Зміна навантаження веде до зміни **M**, що у свою чергу змінює частоту обертання валу **n**. У залежності від рівня **n** змінюються режими роботи двигуна: рушійний ($0 < n < n_0$); ідеального холостого ходу ($n = n_0$); гальмування з рекуперацією (поверненням) енергії до мережі живлення ($n > n_0$); короткого замикання ($n = 0$); гальмування противмиканням ($n < 0$); динамічного гальмування ($n_0 = 0$).

Графіки очікуваної форми наведено на рис.4.2.

5.Порядок виконання роботи

5.1.Запустити випробувальний двигун. Для цього :

- Перемикач **ПЗ** встановлюється у положення “**0**”;
- ввімкнути автомат подачі живлення **AB2**;
- натиснути чорну кнопку “**Пуск**” , що на стенді ліворуч.

5.2.Пуск навантажувального агрегату. Для цього натискається чорна кнопка “**Пуск**” на стенді праворуч.

5.3.Встановити природну характеристику **AD1**. Для цього:

- Перемикач **ПЗ** повільно перевести у положення “3”;
- резисторами **Р2, Р3** встановити струми обмоток збудження **ОВ1** та **ОВ2** за показами амперметрів **А3, А4** на рівні **0,5 А**;
- ввімкнути якірний контур агрегату вимикачем **АВ6**.

5.4. Одержати дані природної характеристики. Для цього резистором **Р3** регулюється частота обертання валу **АД1** з інтервалом **±100 об/хв** (наприклад: 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200 об/хв.). Нотуються **Р** (за показами **Wx3,75**), **І5** (за показами **A5x0,2**), **п**. **УВАГА!** Тільки для режиму з **п** = 700 об/хв. на природній характеристиці занотувати додатково струм якірного контуру навантажувального агрегату **І6** за показами **А6**.

5.5. Одержати дані штучної характеристики “шт1”. Для цього :

- Перемикач **ПЗ** встановлюється у положення “2”;
- резистором **Р3** регулюється частота обертання валу **АД1** з інтервалом **±150 об/хв (І6 ≤ 12А)**. Нотуються **Р, І5, п**.

5.6. Одержати дані штучної характеристики “шт2”.

- Перемикач **ПЗ** встановлюється у положення “1”.
- Резистором **Р3** регулюється частота обертання вала **АД1** з інтервалом **±150 об/хв**. Нотуються **Р, І5, п**.

5.7. Одержати дані штучної характеристики “шт3”.

- Перемикач **ПЗ** встановити у положення “0”;
- збільшувати навантаження до одержання мінімального **п**;
- перемикач **П4** встановлюється у положення “1”;
- струм збудження **ДП2** збільшувати в іншому напрямку. Навантаження зростає, примушуючи випробувальну машину зупинитись та обертатись у зворотному напрямку (режим гальмування противмиканням).
- змінювати частоту обертання від **0** (режим короткого замикання) до рівня мінус **800 об/хв** з інтервалом **200 об/хв**. Нотувати покази **Р, І5, п**.

5.8. Встановити режим динамічного гальмування. Для цього:

- **АД1** вимкнути з мережі живлення змінного струму контактором **1ЛЗ** (натиснути червону кнопку “Стоп” ліворуч на стенді) ;
- регулюванням **Р3** зменшити струм **ОВ2** до нуля;
- ввімкненням **АВ4** подати на статор **АД1** живлення постійного струму;
- ввімкнути **АВ6**.

5.9. Одержати дані характеристики “шт.4”. Для цього:

- Перемикач **П1** встановити у положення “3”;
- резистором **Р3** регулювати частоту обертання валу **АД1** з інтервалом **150 об/хв**. Нотуються **І6, п**.

5.10. Одержати дані характеристики “шт.5”. Перемикач **П1** встановити у положення “2”. Інші умови - за п.5.9.

6. Нотування та обробка результатів

Результати випробувань та розрахунків нотувати у таблиці такої форми:

Назва характеристики	Параметри	Режими																
		Рушійний ($0 < n < n_0$)				Ід хх $n = n_0$				Гальмовий ($n > n_0$)								
Природна	n , об/хв																	
	P , Вт																	
	I5 , А																	
	M , Нм																	
Штучна Шт.1	n , об/хв																	
	P , Вт																	
	I5 , А																	
	M , Нм																	
Штучна Шт.2	n , об/хв																	
	P , Вт																	
	I5 , А																	
	M , Нм																	
Штучна Шт.3	n , об/хв																	
	P , Вт																	
	I5 , А																	
	M , Нм																	

Момент двигуна **M** розраховується за формулами (1) та (2) теоретичної частини.

Для режиму динамічного гальмування

Шт.4	n , об/хв	0							
	I6 , А	0							
	M , Нм	0							
Шт.5	n , об/хв	0							
	I6 , А	0							
	M , Нм	0							

Для розрахунків моменту в режимі динамічного гальмування слід користуватися формулою

$$M_{ДГ} = \frac{M_{700}}{I_{6700}} \cdot I_6,$$

де: M_{700} , I_{6700} - момент та струм (за показами амперметра **A6**) у рушійному режимі на природній характеристиці при $n = 700$ об/хв.

Слід враховувати, що момент та частота обертання у режимі динамічного гальмування мають різні знаки.

7.Зміст звіту

- Назва, мета і програма роботи.
- Електрична схема лабораторної установки (рис.4.1).

- Таблиці результатів випробувань і розрахунків.
- Необхідний теоретичний матеріал до розрахунків.
- Графіки механічних характеристик з позначками результатів випробувань.

8.Контрольні запитання

Яка характеристика двигуна називається механічною? Яка характеристика називається природною? Яку характеристику двигуна вважають штучною? Що таке ковзання асинхронного двигуна? Як запустити випробувальну машину лабораторного стенда? Як запустити навантажувальний агрегат лабораторного стенда? Як і для чого регулювати навантаження випробувальної машини? Як встановити природну характеристику АД1 ? Як встановити характеристику “шт.1”? Як встановити характеристику “шт.2”? Як встановити режим випробувань на характеристиці “шт.3”? Що таке рушійний режим? Що таке режим гальмування противмиканням? Що таке режим динамічного гальмування? Як підготувати лабораторну установку до випробувань у режимі динамічного гальмування? Чим характеристика “шт.4” відрізняється від характеристики “шт.5”? Що таке режим ідеального холостого ходу? Як одержати режим ідеального холостого ходу випробувальної машини в умовах лабораторної установки? Що таке режим короткого замикання електричної машини? Як одержати режим короткого замикання АД1? Як змінити частоту обертання валу асинхронного двигуна в режимі гальмування з рекуперацією енергії в мережу живлення? Як змінити частоту обертання асинхронного двигуна в режимі динамічного гальмування? Як змінити характеристику асинхронного двигуна в режимі динамічного гальмування?

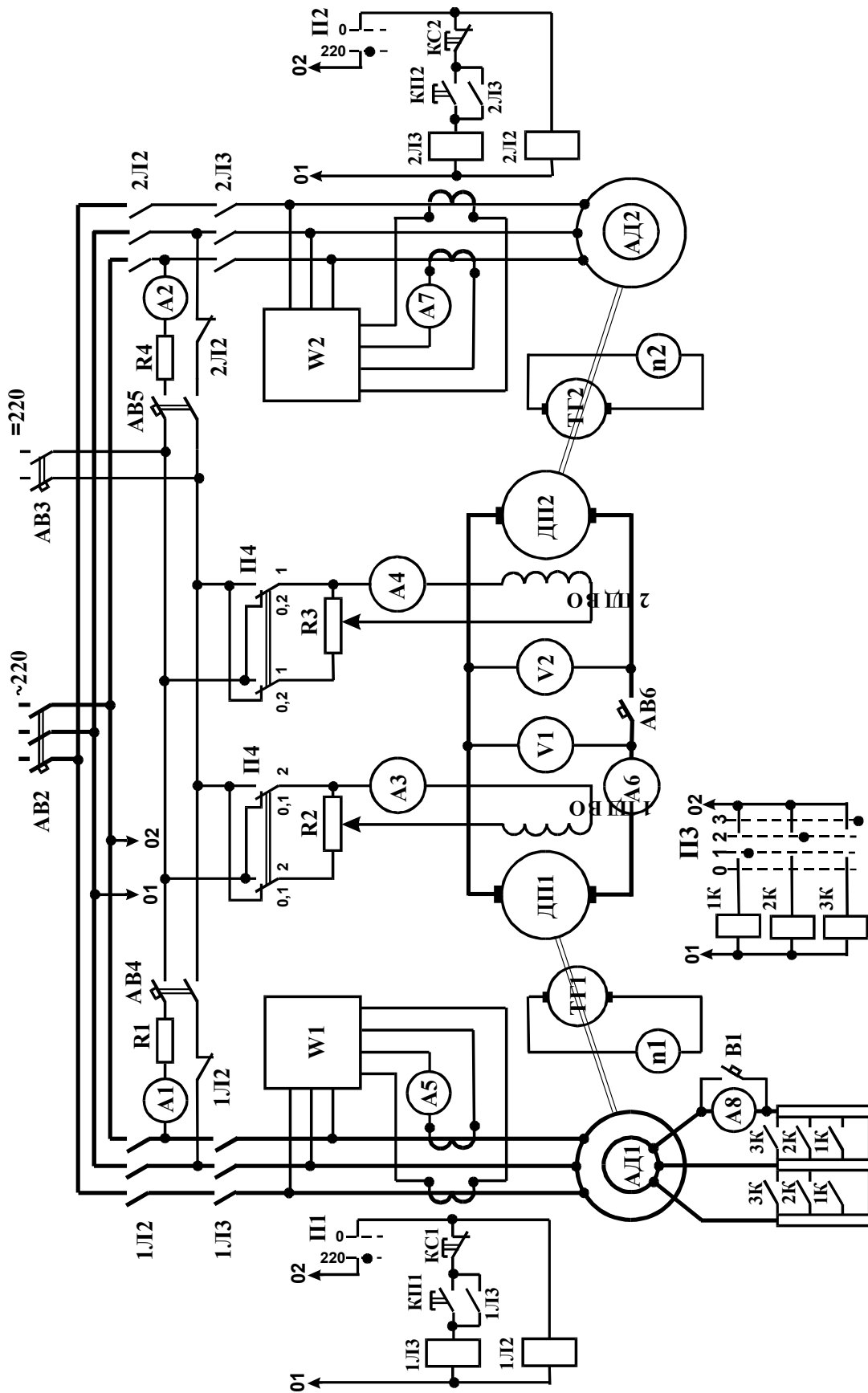


Рис.4.1. Електрична схема лабораторної установки

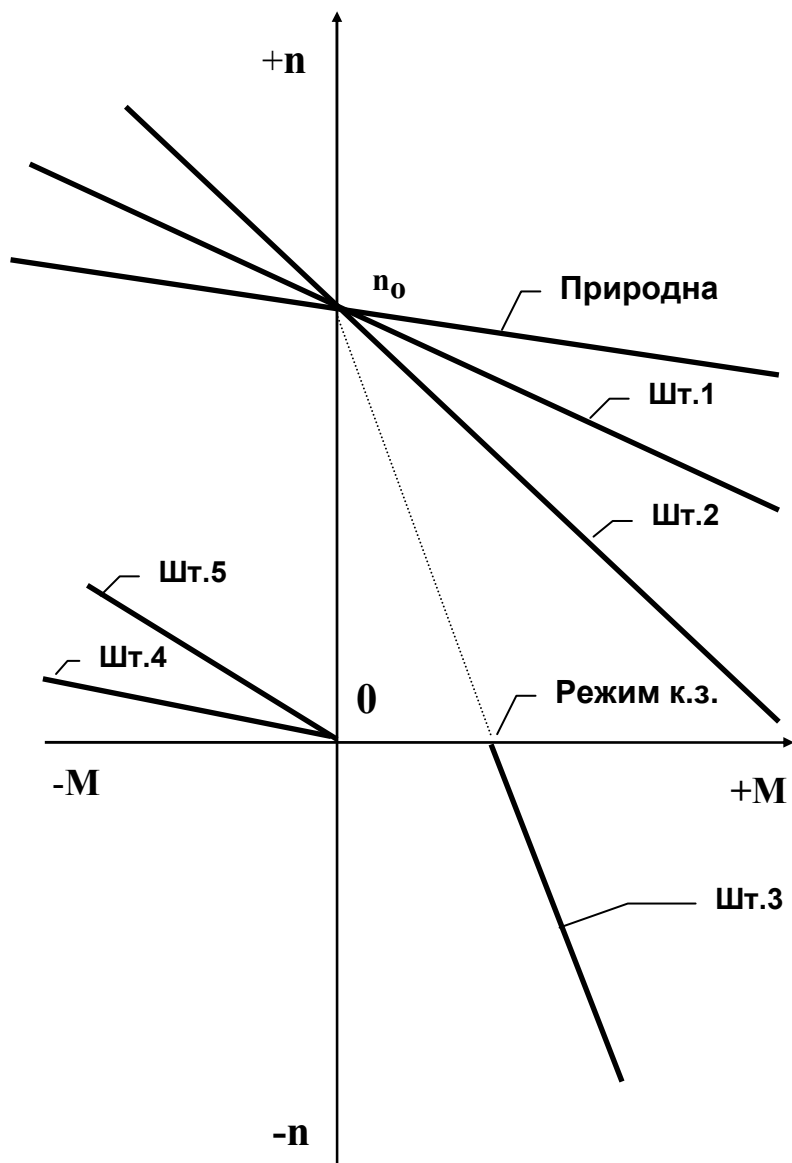


Рис.4.2. Приблизний вигляд графіків характеристик

Лабораторна робота № 5
ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИВОДА СИСТЕМИ
ГЕНЕРАТОР – ДВИГУН БЕЗ ЗВОРОТНИХ ЗВ'ЯЗКІВ

1. Мета роботи

Засвоєння методів дослідження та аналізу характеристик електропривода системи генератор – двигун постійного струму.

2. Програма роботи

- Ознайомитися з лабораторною установкою та порядком виконання експериментів.
- Ввімкнути установку.
- Одержати дані регульовальної характеристики генератора.
- Одержати дані регульовальної характеристики системи.
- Одержати дані електромеханічних характеристик системи
- Побудувати графіки експериментальних характеристик та порівняти їх з теоретичними.

3. Опис лабораторної установки

Електрична схема установки наведена на рис.5.1.

Система генератор – двигун включає три електричних машини: допоміжний двигун ПД1, генератор Г та двигун Д. Двигун ПД1 вмикається до мережі живлення вимикачами АВ1, АВ5 та обертає якор генератора Г з постійною частотою. Вимикач АВ8 замикає контур з якорними обмотками генератора Г та двигуна Д без додаткових резисторів. Струм обмотки збудження двигуна ОВД не регулюється. Струм обмотки збудження генератора ОВГ протікає через вимикачі АВ4, В5 та В7 і регулюється потенціометром R2.

Установка включає навантажувальну машину НМ, яка механічно з'єднана з двигуном Д. Струм обмотки збудження машини ОВНМ не регулюється. Перемикач П1 дозволяє вибирати напрямок навантаження: згідно з напрямком обертання Д (Согл) або протилежно (Встр). Вимикач АВ3 підключає якорне коло НМ до мережі живлення. Рівень навантаження регулюється додатковим опором R1 ввімкненням вимикачів В1, В2, В3 та В4. Частота обертання валу агрегату з двигуном Д та навантажувальною машиною НМ вимірюється тахогенератором ТГ з приладом “ n ”.

Вимикач АВ2 підключає установку до мережі живлення =220В.

4. Теоретична частина

Характеристики системи визначаються з рівняння електричної рівноваги якорного контуру у сталому режимі: ЕРС генератора врівноважується сумою ЕРС двигуна та спаду напруги

$$E_{Г} = E_{д} + I \cdot R, \quad (1)$$

де: $E_{Г}$ – ЕРС якорної обмотки генератора, В; $E_{д}$ – ЕРС якорної обмотки двигуна, В; I – струм якорного контуру системи, А; R – опір якорного контуру системи, Ом; $I \cdot R$ – спад напруги, В.

ЕРС генератора $E_{Г}$ за умови лабораторної установки прямо пропорційна до струму обмотки збудження ($i_{зГ}$):

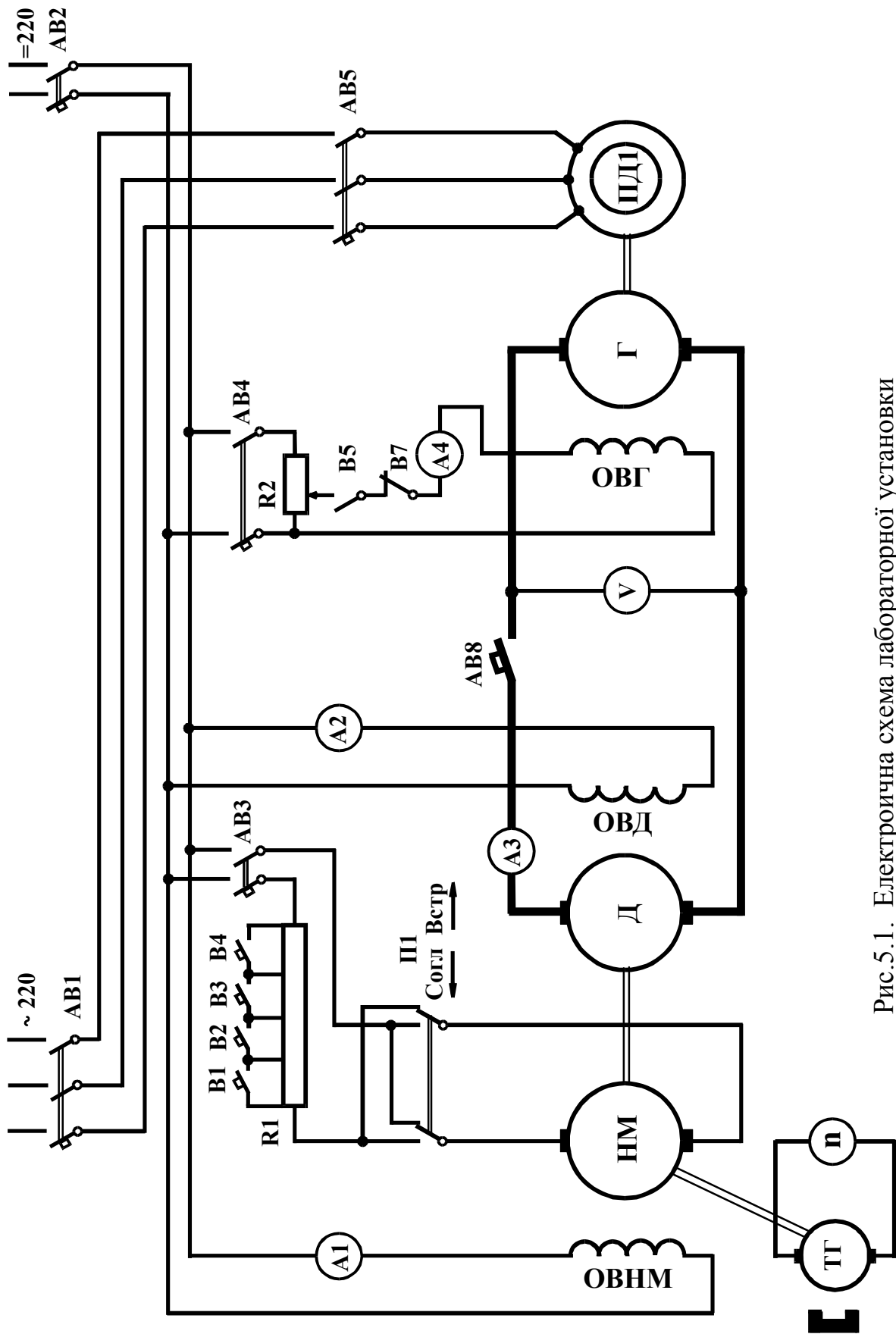


Рис.5.1. Електроична схема лабораторної установки

$$E_{\Gamma} = k_{\Gamma} \cdot i_{3\Gamma}, \quad (2)$$

де k_{Γ} – коефіцієнт пропорційності.

У свою чергу, ЕРС двигуна $E_{\text{д}}$ прямо пропорційна до частоти обертання валу двигуна (n):

$$E_{\text{д}} = c\Phi \cdot n, \quad (3)$$

де $c\Phi$ – коефіцієнт, який залежить від конструкції двигуна та струму в його обмотці збудження.

Сумісне рішення рівнянь (1) та (3) дозволяє одержати рівняння електромеханічної характеристики системи:

$$n = \frac{E_{\Gamma}}{c\Phi} - I \frac{R}{c\Phi}, \quad (4)$$

де: n – частота обертання валу двигуна, об/хв; $c\Phi$ – коефіцієнт, що залежить від конструкції та струму збудження двигуна, В*хв/об.

Важлива властивість системи щодо режимів роботи визначається з рівняння (1), якщо його розв'язати відносно струму:

$$I = \frac{E_{\Gamma} - E_{\text{д}}}{R} = \frac{E_{\Gamma} - c\Phi \cdot n}{R}. \quad (5)$$

За умови $E_{\Gamma} > E_{\text{д}}$ струм якірного контуру $I > 0$ і потужність $E_{\Gamma} \cdot I > 0$. Це означає, що система споживає електричну енергію і перетворює її на механічну (*рушійний режим*).

За умови $E_{\text{д}} > E_{\Gamma}$ струм якірного контуру $I < 0$. Потужність $E_{\Gamma} \cdot I < 0$. Система споживає механічну енергію і перетворює її на електричну (*режим рекуперативного гальмування*).

За умови $E_{\text{д}} = E_{\Gamma}$ струм якірного контуру $I = 0$ потужність $E_{\Gamma} \cdot I = 0$. Маємо особливий *режим ідеального холостого ходу*, коли система не перетворює електричну енергію на механічну чи навпаки. Режими встановлюються автоматично у залежності від частоти обертання валу двигуна n , яка може змінюватися регулюванням навантаження.

5. Методичні вказівки до виконання

5.1. Пуск установки. Для цього вмикаються вимикачі подачі живлення **АВ1** та **АВ2**. Амперметри **А1** та **А2** повинні показати струм в обмотках збудження близько до **0,6А**. Вмиканням **АВ5** запустити **ПД1**.

5.2. Одержання регульовальної характеристики генератора $E_{\Gamma}(i_{3\Gamma})$. Повзунок потенціометру **R2** встановлюється у початкове положення (нижнє на стенді). Автомат **АВ8** вимкнено. Ввімкнути **АВ4**, **В5** та **В7** і регулювати **R2**. Спочатку збільшуючи, а потім зменшуючи струм **ОВГ** з контролем за показами амперметра **А4**. Нотувати відповідні значення E_{Γ} за показами вольтметра **V**:

$i_{\text{ВГ}}, \text{ А}$	0	40	80	120	160	200	160	120	80	40	0
$E_{\Gamma}, \text{ В}$											

5.3. Одержання регулювальної характеристики системи $n(i_{3Г})$ Ввімкнути **АВ8**. Повторити режим регулювання **Р2** за п. 5.2, нотуючи частоту обертання валу двигуна за показами вимірювача **n**:

$i_{3Г}$, А	0	40	80	120	160	200	160	120	80	40	0
n, об/хв											

5.4. Одержання електромеханічних характеристик системи $n(I)$.

Конкретна характеристика залежить від значення $i_{3Г}$.

Для першої характеристики необхідно встановити значення $i_{3Г}$, за яким напруга генератора з відключеною **НМ** становитиме **V=40В**. Занотувати першу пару значень **I, n**, яка належить характеристиці. Інші пари значень одержати регулюванням **НМ**.

Маніпуляції з навантажувальною машиною **НМ** рекомендується виконувати у такому порядку:

1. Встановити початковий стан: **АВ3** вимкнено, **П1** у нейтральному положенні, вимикачі **В1, В2, В3, В4** вимкнені;
2. Для одержання даних рушійного режиму встановити **П1** у положення “**Встр**”;
3. увімкнути **АВ3**;
4. змінювати навантаження послідовним ввімкненням **В1, В2, В3, В4**. Нотувати кожну сталу пару значень **I, n**;
5. вимкнути **АВ3** і встановити початковий стан;
6. повторити п.1 ... п.5 із встановленням **П1** у положення “**Согл**” та з одержанням від’ємних та/або нульового значень струму **I** за показами **А3**. Нотувати кожну сталу пару значень **I, n**;

Для другої характеристики рекомендується з вимкненою **НМ** (**вимкнений АВ3**) встановити напругу на якорі генератора **V=80В** і повторити процедуру маніпуляцій п.1..п.6 із **НМ**.

Для третьої характеристики рекомендується з вимкненою **НМ** встановити напругу на якорі генератора **V=120В** і повторити процедуру маніпуляцій з **НМ**. Нотувати данні слід у таблиці такої форми:

$U_{Г}=40В$											
I, А											
n, об/хв											

$U_{Г}=80В$											
I, А											
n, об/хв											

$U_{Г}=120В$											
I, А											
n, об/хв											

5.5. Розбудова графіків. Для цього пари даних відображаються на площині графіку помітними крапками і з'єднуються лініями. Лінії повинні бути плавними кривими або прямими. Приблизна форма графіків показана на рис.5.2. Теоретично усі графіки повинні бути лінійними. Фактично регулювальні характеристики є нелінійними завдяки впливу залишкового намагнічування, насичення та гістерезису (нерівнозначності) контуру намагнічування генератора. Теоретичні графіки електромеханічних характеристик повинні бути паралельними прямими.

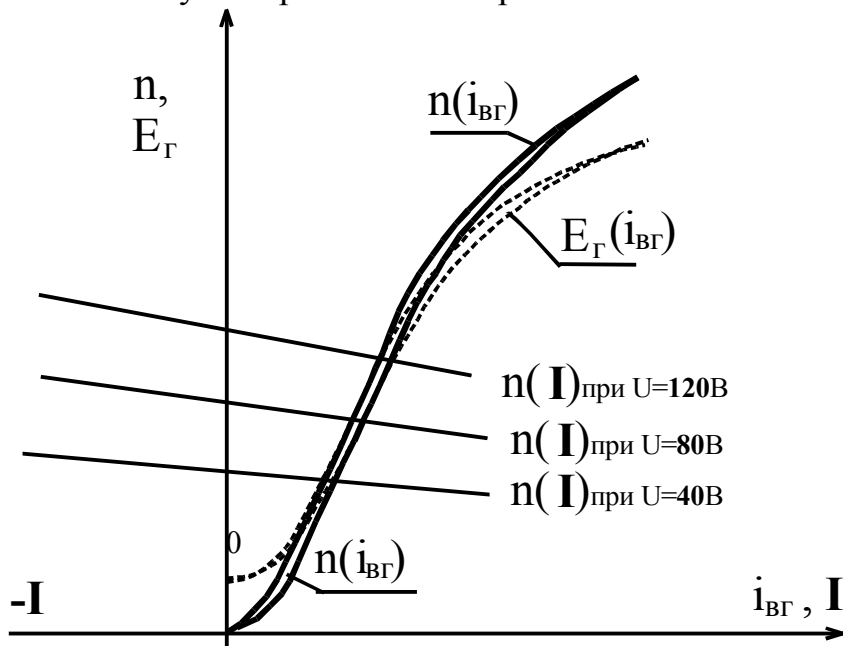


Рис. 5.2. Приблизний вигляд регулювальної та електромеханічної характеристик

6. Контрольні запитання

1. Яка кількість електричних машин входить до складу системи Г – Д ?
2. Для чого у системі допоміжний двигун ПД1 ?
3. Як одержати регулювальну характеристику генератора ?
4. Як одержати регулювальну характеристику системи ?
5. Як одержати електромеханічну характеристику системи ?
6. За якою формулою визначають регулювальну характеристику генератора ?
7. За якою формулою визначають регулювальну характеристику системи ?
8. За якою формулою визначають електромеханічну характеристику системи ?
9. У яких режимах може працювати система і від чого залежить встановлення режимів ?
10. Чим фактичні регулювальні характеристики відрізняються від теоретичних ?
11. Як правильно ввімкнути та вимкнути навантажувальну машину ?
12. Які складові має формула електромеханічної характеристики системи ?
13. Від яких величин та параметрів залежить якорний струм системи ?

Лабораторна робота № 6
ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ
КЕРОВАНИЙ ВИПРЯМЛЯЧ - ДВИГУН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

1. Мета роботи

Метою лабораторної роботи є освоєння методів аналізу електропривода на прикладі системи тиристорний випрямляч – двигун постійного струму.

2. Програма роботи

- Ознайомитися з конструкцією лабораторної установки.
- Засвоїти головні теоретичні положення щодо принципу дії системи та її елементів.
- Одержати дані до регулювальної характеристики керованого випрямляча.
- Одержати дані до електромеханічних характеристик системи.
- Розрахувати необхідні дані та побудувати графіки регулювальних та електромеханічних характеристик.

3. Опис лабораторної установки

Лабораторна установка включає шафу з керованим випрямлячем, стенд з регулювальними та вимірювальними приладами та електричні машини. Електрична схема наведена на рис 6.1. Двигун Д та навантажувальна машина НМ і утворюють агрегат із механічно з'єднаними валами. Тахогенератор ТГ з приладом **п** використовують для вимірювання частоти обертання та організації зворотного зв'язку. Контури збудження машин одержують живлення від мережі постійного струму через вимикач **4А**. Струм обмотки збудження **ОВНМ** навантажувальної машини регулюється зміною опору **R10**.

Якірний контур Д через вимикач **2А** ввімкнено до керованого випрямляча з тиристорами **T1, T2, T3, T4, T5, T6**, які утворюють трифазну двонапівперіодну мостову схему. Випрямляч одержує живлення від мережі змінного струму через вимикач **1А** та реактор **P1**. Для керування тиристорами передбачена система імпульсно-фазового управління (**СИФУ**), яка у залежності від напруги керування змінює фазу імпульсів постійної форми (амплітуда 10 В, тривалість 10..20 ел. градусів). Напряга керування **СИФУ** формується магнітним підсилювачем **МУ** з обмоткою керування. Струм цієї обмотки залежить від різниці напруг завдання від потенціометра **R2** та зворотного зв'язку від потенціометра **R9**. Потенціометр **R2** є подільником напруги від джерел 12 або 140 В. Потенціометр **R9** є подільником напруги, пропорційної до частоти обертання валу агрегату від тахогенератора **ТГ**. Перемикачі **1П, 2П, 3П** встановлюють режими роботи лабораторної установки.

Якірний контур навантажувальної машини замикається через резистор **R3** (динамічне гальмування) вимикачем **3А**. Опір **R3** ступінчасто регулюється вимикачами **5А, 6А**.

4. Теоретична частина

Система **КП – Д** (керований перетворювач – двигун постійного струму

дозволяє плавне регулювання та контроль частоти обертання валу двигуна.

У сталому режимі електромеханічна характеристика системи визначається формулою:

$$n = \frac{E_d - I \cdot R - \Delta U}{k\Phi}, \quad (1)$$

де: n – частота обертання валу двигуна, *об/хв*; E_d – ЕРС випрямляча, *В*; I – струм якірного контуру двигуна, який залежить від зовнішнього навантаження на валу, *А*; R – опір якірного контуру, *Ом*; ΔU – втрати напруги на тиристорах перетворювача, які залежать від напрямку струму і не залежать від його модуля, *В*; $k\Phi$ – коефіцієнт двигуна, який залежить від конструкції двигуна та струму збудження, *В об/хв*.

ЕРС випрямляча E_d , як джерела енергії для двигуна регулюється у залежності від фазового кута α у системі СИФУ за законом

$$E_d = E_{d0} \cdot \cos(\alpha). \quad (2)$$

Регулювання α здійснюється системою СИФУ

$$\alpha = K_\alpha \cdot (U_m - U_3), \quad (3)$$

де: E_{d0} – найбільша напруга випрямляча, *В*; K_α – коефіцієнт СИФУ, *рад / В*; U_m , U_3 – максимальне та поточне значення керуючої напруги, *В*.

Залежність $E_d(U_3)$ є регулювальною характеристикою перетворювача. Її можна одержати у режимі регулювання частоти обертання двигуна без навантаження, коли напруга перетворювача практично дорівнює ЕРС.

У системі із зворотним зв'язком U_3 залежить від алгебраїчної суми сигналу завдання частоти обертання U_2 (від **R2**) та сигналу від'ємного зворотного зв'язку за частотою обертання валу двигуна U_9 (від **R9**):

$$U_3 = U_2 - U_9. \quad (4)$$

Зменшення частоти обертання валу двигуна під навантаженням викликає зменшення напруги U_9 , що збільшує U_3 , зменшує α , збільшує E_d та n , частково компенсуючи зміни n від навантаження.

5. Порядок виконання роботи. Нотування та обробка даних.

5.1. Виконати передпускову підготовку:

- Ввімкнути вимикачі на шафі перетворювача;
- ввімкнути живлення обмотки збудження вимикачем **4А**;
- встановити перемикач **1П** у режим живлення **R2** від “12 В”;
- встановити перемикач **3П** у положення “Раз” (без зворотного зв'язку);
- встановити повзун **R2** у нульове положення.

5.2. Одержати дані регулювальної характеристики перетворювача:

- Підключити двигун до перетворювача вимикачем **2А** при найменшому рівні напруги керування за показами V_1 ;
- ввімкнути живлення перетворювача вимикачем **1А**;
- плавним регулюванням положення повзуну **R2** змінювати напругу U_3 на вході СИФУ. Контроль – за показами V_1 . Нотувати U_3 та відповідні значення E_d (за показами V_3) у таблицю такої форми:

№	1	2	3	4	5	6
U_3, B						
E_d, B						
$\frac{E_d}{E_{do}}$						
α						

До цієї ж таблиці нотуються результати розрахунків $\frac{E_d}{E_{do}}$ та

$$\alpha = \arccos\left(\frac{E_d}{E_{do}}\right) \text{ при } E_{do} = 300, B; U_m = 12 B. \text{ За даними таблиці}$$

необхідно збудувати графік регулювальної характеристики $E_d(U_3)$.

5.3. Одержання даних електромеханічних характеристик привода $n(I)$ без зворотного зв'язку за частотою обертання валу:

- Встановити першу характеристику привода рівнем напруги $E_d = 50, B$;
- ввімкнути **НМ** (ввімкнути **3А**);
- встановити мінімальний опір ярмічного контуру **НМ** (ввімкнуті **5А** та **6А**);
- Регулювати навантаження зміною опору **R10** з нотуванням сталих значень частоти обертання валу n та відповідних струмів ярмічного контуру I . Струм I не повинен перевищувати **12..14 А**.
- аналогічно одержати другу характеристику за умови $E_d = 100, B$; вимикач **5А** вимкнено;
- аналогічно одержати третю характеристику за умови $E_d = 150, B$; вимикачі **5А** та **6А** вимкнуті;
- нотувати дані у таблицю такої форми:

Умови	E_d, B	№	1	2	3	4	5	6	7	8
Без зворотного зв'язку	50	I, A								
		$n, \text{об/хв}$								
	100	I, A								
		$n, \text{об/хв}$								
	150	I, A								
		$n, \text{об/хв}$								

5.4. Одержати дані електромеханічних системи $n(I)$ із зворотним зв'язком за частотою обертання валу двигуна:

- За умови мінімальної (краще нульової) ЕРС перетворювача E_d перемикач **3П** встановити у положення “**ОС**”, а перемикач **1П** – у положення “**140**” B .
- повторити режими п. 5.3 з нотуванням даних у таблицю аналогічної форми:

УМОВИ	E_d, B	№	1	2	3	4	5	6	7	8
Із зворотним зв'язком	50	I, A								
		$n, об/хв$								
	100	I, A								
		$n, об/хв$								
	150	I, A								
		$n, об/хв$								

5.5. Вимкнути лабораторну установку. Для цього:

- Вимкнути послідовно вимикачі **3А, 1А, 2А, 4А, 5А, 6А, 2П**, вимикачі **СИФУ** та збудження двигуна на шафі перетворювача;
- встановити перемикач **1П** у положення “12В”;
- встановити перемикач **3П** у положення “Раз”.

6. Зміст звіту

- Назва, мета і програма роботи.
- Електрична схема установки (рис. 6.1).
- Таблиці даних та розрахованих результатів.
- Графіки залежностей $E_d(\alpha)$, $E_d(U_3)$, $n(I)$ без зворотних зв'язків та із зворотним зв'язком.
- Потрібні теоретичні нотатки і короткий аналіз одержаних результатів.

7. Контрольні запитання

Які функції в електроприводі може виконувати керований випрямляч? Від яких складових залежить частота обертання валу двигуна постійного струму? Як частота обертання валу двигуна постійного струму залежить від напруги джерела живлення? Яке призначення системи імпульсно-фазового керування? Як фаза імпульсів керування тиристорами може залежати від напруги на вході СИФУ? Що таке СИФУ? Як вихідна напруга тиристорного випрямляча залежить від фазового кута керуючих імпульсів? Чи залежить опір якірного контуру системи КП–Д від властивостей перетворювача? Що таке зворотний зв'язок? Чому зменшується частота обертання валу двигуна при зростанні навантаження на валу? Яким чином влаштувати автоматичне керування напругою випрямляча? Як діє зворотний зв'язок за частотою обертання валу двигуна? Чому частота обертання валу двигуна у системі із зворотним зв'язком за частотою обертання стабілізується? Як виконати передпускову установку лабораторного обладнання? Як запустити двигун системи КП–Д? Як одержати дані до регульовальної характеристики? Як розрахувати регульовальну характеристику? Як одержати дані електромеханічних характеристик системи без зворотних зв'язків? Як одержати дані електромеханічних характеристик системи із зворотним зв'язком за частотою обертання?

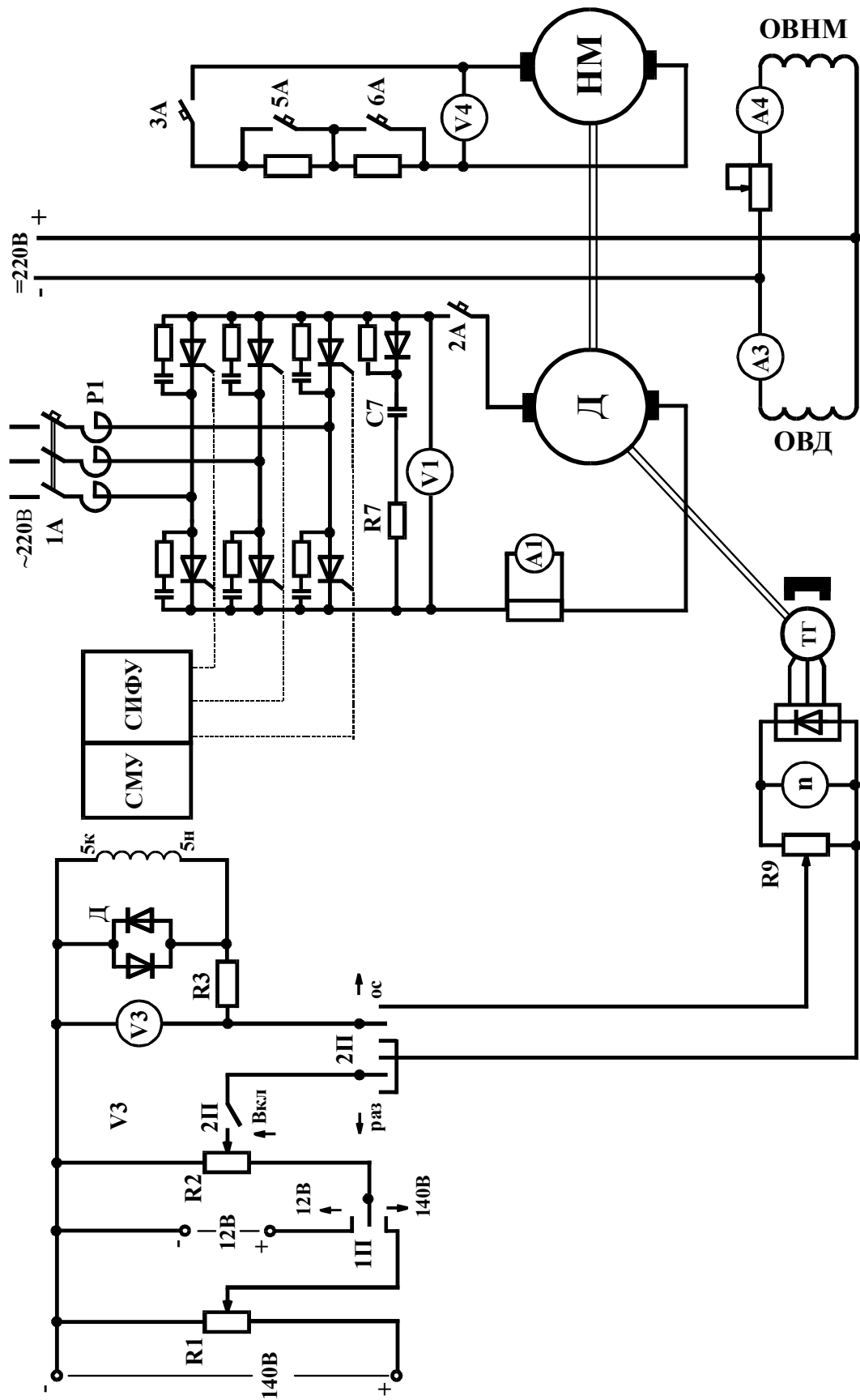


Рис.6.1. Електрична схема лабораторної установки

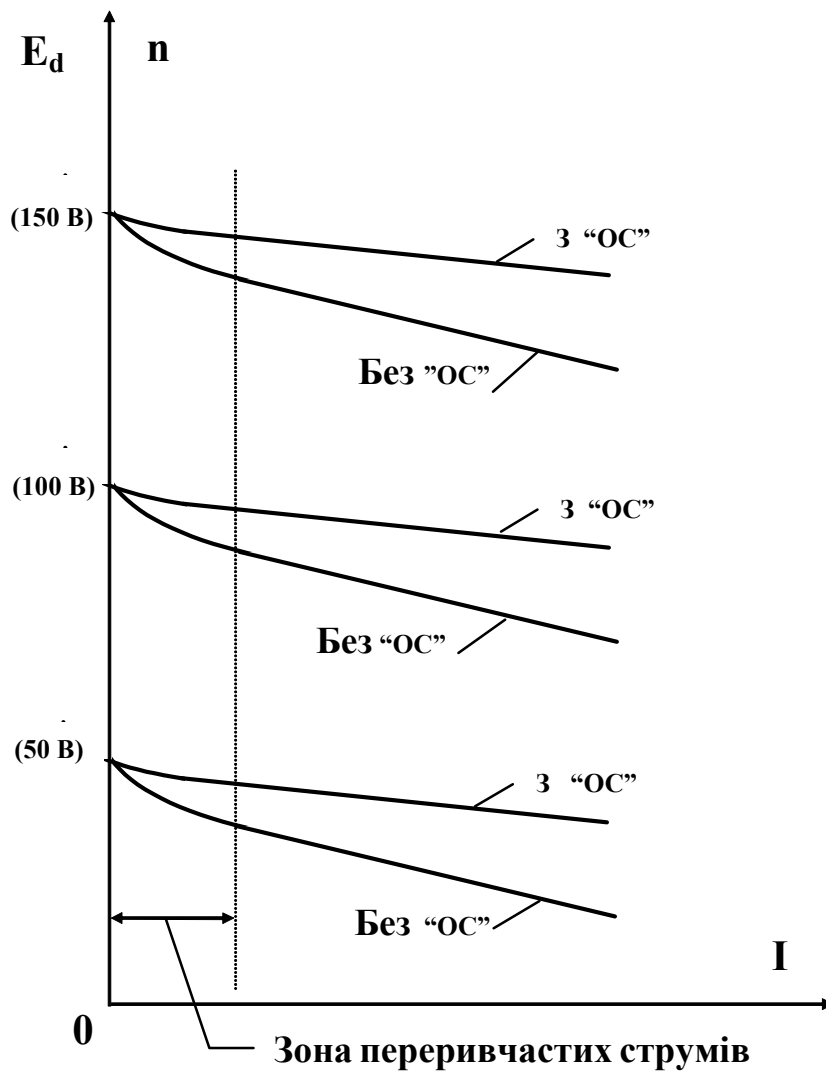


Рис.6.2. Форма графіків електромеханічних характеристик

Лабораторна робота № 7
ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА З КЕРОВАНИМ
ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ ЧАСТОТИ ТА АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ

1. Мета роботи

Метою роботи є ознайомлення з методами аналізу схеми та характеристик системи електропривода з частотним перетворювачем.

2. Програма роботи

- Ознайомитись з конструкцією лабораторної установки.
- Ознайомитись з принципом дії частотного перетворювача та його елементів.
- Одержати дані до характеристик системи без **IR** компенсації.
- Одержати дані до характеристик системи з **IR** компенсацією.
- Розрахувати та накреслити характеристики системи.
- Виконати аналіз одержаних результатів.

3. Опис лабораторної установки

Лабораторна установка складається з комплектного перетворювача частоти **ТПЧ-15**, асинхронного двигуна **АД** з короткозамкненим ротором, навантажувальної машини постійного струму **НМ** та стенда з керуючими та комутаційними приладами.

Перетворювач підключається до мережі живлення змінної напруги $\sim 220\text{В}$ за допомогою вимикача **АВ1** та контактів контактора **ПМ**. Двигун **АД** підключається до перетворювача **ТПЧ-15** за допомогою вимикача **АВ2**.

До складу перетворювача входять: керований випрямляч **УВ**, накопичувач електричної енергії **С**, інвертор **И**, міст зворотних діодів **ОД**, реактивні елементи **Др1**, **Др2**, **Др3**, блок керування випрямлячем **БУВ** та блок керування інвертором **БУИ**. Загальний блок керування **БУ** через вимикач **П2** подає у систему напругу U_3 , яка одночасно змінює напругу випрямляча та частоту комутації інвертора.

У шафі перетворювача встановлено вимикач **П3** для створення позитивного зворотного зв'язку за струмом двигуна (**IR** компенсація втрат напруги в перетворювачі).

Навантажувальна машина **НМ** використовується в режимі динамічного гальмування. Для цього перемикач **УП** встановлюється у положення "ДТ" та вмикається **АВ4**. Навантаження регулюється опором резисторів **R₀** та **R₁**.

Ватметр для вимірювання потужності має перемикач, що дозволяє вимірювати активну **P** або реактивну **Q** складові потужності.

3. Теоретична частина

Напруга з мережі живлення змінного струму перетворюється на постійну напругу керованим випрямлячем **УВ**, згладжується фільтром ємність **С** – дросель **Др3** та подається до інвертору **И**. Фільтр надає випрямлячу властивість джерела напруги. Шість тиристорів інвертора **T1**, **T2**, **T3**, **T4**, **T5** та **T6** (рис. .) підключають обмотки асинхронного двигуна до постійної напруги у різних комбінаціях, які періодично повторюються, забезпечуючи протікання

струму різних напрямків в кожній обмотці. Частота повтору комбінацій (частота вихідної напруги інвертора) регулюється блоком **БУИ**.

“Ввімкнення” тиристорів здійснюється керуючими імпульсами, а процеси “вимикання” забезпечуються допоміжними реактивними елементами: дроселями **Др3**, **Др4** та конденсаторами **С1**, **С2**, **С3**, **С4**, **С5**, **С6** з “відсічними” діодами **Д1**, **Д2**, **Д3**, **Д4**, **Д5**, **Д6**. Допоміжні елементи створюють умови тимчасового припинення струму через тиристор, поновлюючи його непровідні властивості (“вимикання”). Після вмикання наступного тиристора з елементів створюється контур із двох тиристорів та попередньо зарядженого конденсатора. Починається процес перезарядження конденсатора з переходом струму двигуна від одного тиристора до іншого. Наявність ємностей та індуктивностей надає процесу перезарядження коливальний характер. Максимум напруги на конденсаторі контуру сягає подвійного рівня від напруги живлення. “Відсічні” діоди зберігають нове значення напруги конденсатора, не дозволяючи продовження коливального процесу.

Випрямляч **ОД** утворює контури повернення електромагнітної енергії з обмоток двигуна до конденсатора **С** під час процесів вимикання обмоток тиристорами інвертора.

Система має незалежні блоки керування постійною напругою **БУВ** та частотою вихідної напруги **БУИ**. Блоки одержують пропорційні сигнали завдання. Тому вихідна напруга та її частота є пропорційно зв'язаними. Режим забезпечує постійні значення магнітного потоку двигуна та його перевантажувальну здатність. Підсумовуючий підсилювач на вході **БУВ** дозволяє ввести позитивний зворотній зв'язок за струмом асинхронного двигуна, що автоматично компенсує втрати напруги на елементах перетворювача (**IR** компенсація).

Частота обертання валу асинхронного двигуна **n** є нелінійною функцією електромагнітного моменту **M**:

$$n = n_0 \cdot \left[1 - s_k \cdot \left(\frac{M_k}{M} \pm \sqrt{\left(\frac{M_k}{M} \right)^2 - 1} \right) \right], \quad (7.1)$$

де: **n₀** – частота обертання магнітного поля статора, *об/хв*; **M_k** – максимальний електромагнітний момент двигуна, *Нм*; **s_k** – ковзання при **M = M_k**.

Параметри **n₀** та **M_k** залежать від напруги живлення **U** та її частоти **f**:

$$n_0 = \frac{60f}{p_z}, \quad (7.2)$$

$$M_k \approx K_m \cdot \left(\frac{U}{f} \right)^2, \quad (7.3)$$

де: **p_τ** – кількість пар полюсів двигуна; **K_m** – коефіцієнт пропорційності.

Загальний рівень частоти обертання визначається параметром n_0 , який є прямо пропорційним до частоти f . Крім того, більшість об'єктів з електроприводом потребує постійної перевантажувальної здатності двигуна ($M_k = \text{const}$), що можливо за умови постійного співвідношення

$$\frac{U}{f} = \text{const} . \quad (7.4)$$

У системі **ТПЧ-15** потрібне керування здійснюється за рахунок формування спільного сигналу керування напругою випрямляча **УВ** через блок **БУВ** та частоти інвертора **И** через блок **БУИ**.

Момент на валу асинхронного двигуна **М** з певними припущеннями може розраховуватися за даними навантажувальної машини:

$$M = c \cdot I_{\text{я}} \cdot I_{\text{в}}, \quad (7.5)$$

де: $c=1,6$, $\text{Нм}/\text{А}^2$ - константа лабораторної установки; $I_{\text{я}}$, $I_{\text{в}}$, A – струми якірного та збуджувального контурів **НМ** за показаннями амперметрів **А2** та **А3** відповідно.

Корисна активна потужність на валу двигуна становить

$$P_2 = \frac{M \cdot n}{9550}, \text{кВт} \quad (7.6)$$

Лабораторна установка дозволяє визначити активну P_1 та реактивну Q_1 потужності споживання. Активна потужність витрачається на компенсацію втрат у активних опорах системи під час протікання через них струмів. Реактивна потужність забезпечує створення магнітного потоку в обмотках двигуна та в індуктивностях установки. Вимірювання P_1 та Q_1 дозволяють розрахувати ККД привода η та коефіцієнт потужності $\text{К}\phi$ для установки з несінусоїдальними струмами який є аналогом $\cos\phi$:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}, \quad (7.7)$$

$$\text{К}\phi = \frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}}. \quad (7.8)$$

4.Порядок виконання роботи. Нотування даних

4.1. Виконати передпускову підготовку. Для цього :

- Ввімкнути **АВ2**, підключаючи двигун до перетворювача;
- вимикач **УП** встановити у положення “ДТ” (режим динамічного гальмування **НМ**);

4.2.Запустити перетворювач. Для цього:

- Ввімкнути **АВ1**;
- натиснути чорну кнопку “Пуск” на стенді для вмикання контактору загального живлення **КМ**.

4.3.Одержати дані до характеристик без **IR** компенсації.

- Для першої характеристики встановити частоту обертання валу асинхронного двигуна **500 об/хв** без навантаження регулюванням резистора блоку керування **БУ**. Нотувати дані у таблицю такої форми

№	Одержано						Розраховано		
	n	U₁	P₁	Q₁	I_я	I_в	M	η	K_φ
	<i>об/хв</i>	<i>B</i>	<i>кВт</i>	<i>кВар</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>Нм</i>		
1	500								
2	450								
3	400								
4	350								
5	300								
6	1000								
7	950								
8	900								
9	850								
10	800								

- підготувати навантажувальну машину (ввімкнути **AB4, AB5, AB6**);
- регулюванням струму збудження за допомогою **R1** встановлювати сталі режими з частотами обертання **450, 400, 350, 300 об/хв**. У кожному режимі нотувати дані у таблицю;
- для другої характеристики встановити частоту обертання валу асинхронного двигуна без навантаження **1000 об/хв**;
- підготувати навантажувальну машину (ввімкнути **AB4, AB5**);
- регулюванням струму збудження за допомогою **R1** встановлювати сталі режими з частотами обертання **950, 900, 850, 800 об/хв**. У кожному режимі нотувати дані у таблицю;

4.4. Одержати дані до характеристик з **IR** компенсацією. Для цього:

- Ввімкнути **ПЗ**, що називається «**IR** компенсація» на дверцятах шафи перетворювача;
- повторити настроювання та режими за п.4.3. Нотувати результати в аналогічну таблицю.

4.5. Зупинити лабораторний агрегат. Для цього:

- Вимкнути навантажувальну машину (вимкнути **AB4**);
- зупинити двигун регулюванням завдання швидкості у блоку **БУ**;
- вимкнути перетворювач (натиснути червону кнопку “**Стоп**” на пульті);
- вимкнути живлення стенду (вимкнути **AB1**);
- вимкнути **ПЗ**.

4.6. Обробити результати досліджень. Для цього:

- Розрахувати результати до таблиці;
- збудувати графіки **n(M)**, **U₁(M)**, **η(M)**, **K_φ(M)** за даними досліджень;

- проаналізувати результати щодо характеру та причин одержаних залежностей.

5. Зміст звіту

- Назва, мета та програма роботи.
- Електрична схема установки (рис. 7.1, 7.2).
- Таблиці даних вимірювань та розрахунків.
- Графіки залежностей $n(M)$, $U_1(M)$, $\eta(M)$, $K\phi(M)$.
- Необхідні теоретичні нотатки та короткий аналіз одержаних результатів.

6. Контрольні запитання.

Від яких величин залежить частота обертання валу асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором? Як частота струму з мережі живлення впливає на частоту обертання валу асинхронного двигуна? Яка послідовність перетворення енергії у ТПЧ-15? Які головні функціональні складові ТПЧ? У чому полягає функція випрямляча напруги? Що таке інвертор? Для чого у складі перетворювача частоти зворотний випрямляч? Що відрізняє діод від тиристора? Які елементи надають випрямлячу властивості джерела напруги? Для чого напругу на вході інвертора регулюють разом із частотою? Як забезпечується лінійна залежність між напругою випрямляча та частотою ТПЧ? У чому полягають особливості “вмикання” та “вимикання” тиристора? Чому знижується напруга двигуна при зростанні струму? Що таке ІR-компенсація? Як частота обертання валу двигуна залежить від напруги? Чому за однаковими умовами частота обертання валу двигуна у системі із “IR-компенсацією” може перевищувати частоту обертання валу у системі без “IR-компенсації”? Чому змінюється ККД привода при зростанні зовнішнього навантаження? Чому змінюється коефіцієнт потужності при зростанні зовнішнього навантаження? Як витрачається активна потужність двигуна? Як витрачається реактивна потужність? Що таке ККД привода і як його розрахувати? Що таке коефіцієнт потужності? Як розрахувати коефіцієнт потужності? Чим коефіцієнт потужності відрізняється від $\cos\phi$? Як розрахувати момент навантажувальної машини? Як розрахувати момент асинхронного двигуна лабораторної установки? Як протікає струм через випрямляч? Як протікає струм через інвертор та двигун?

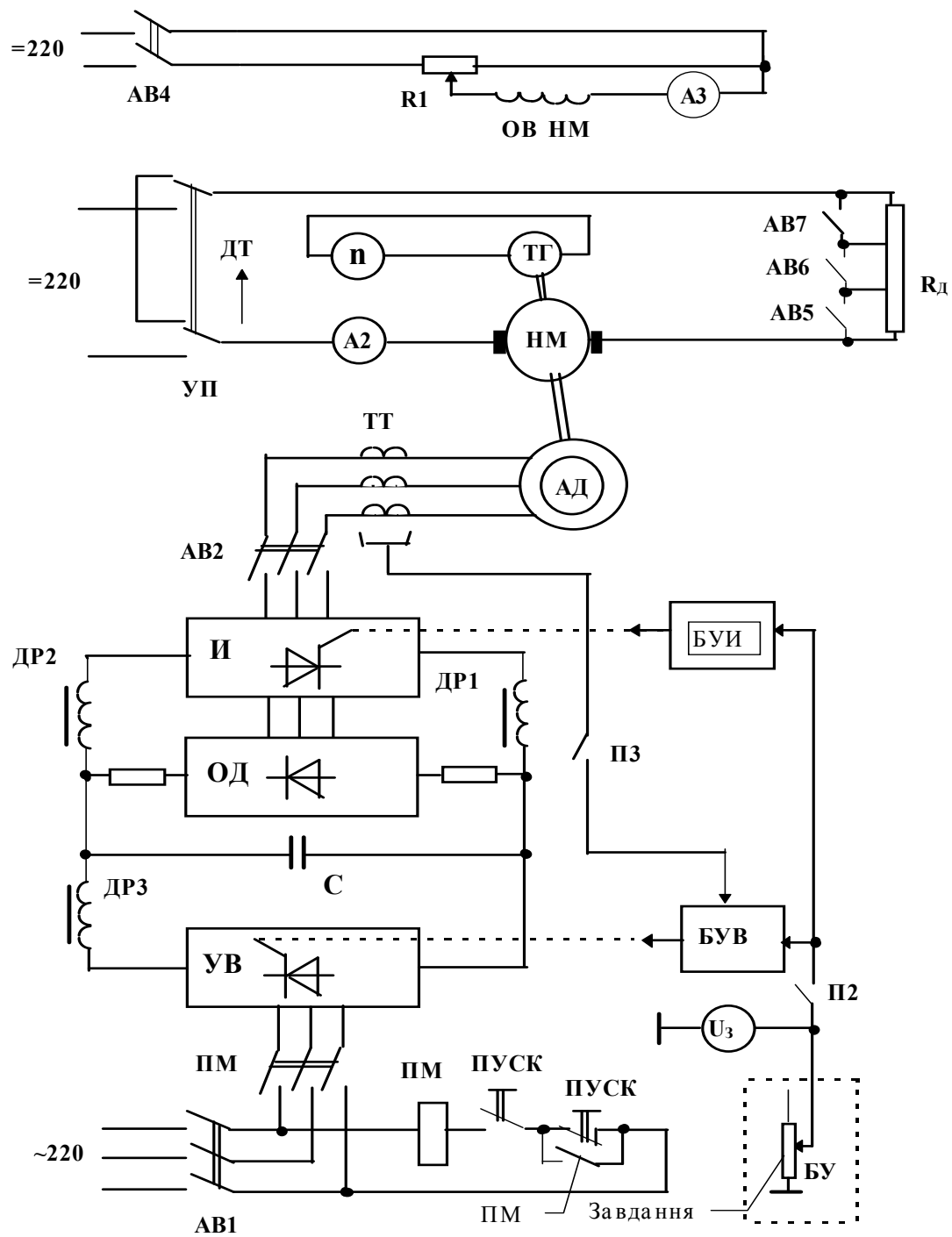


Рис.7.1. Схема лабораторної установки

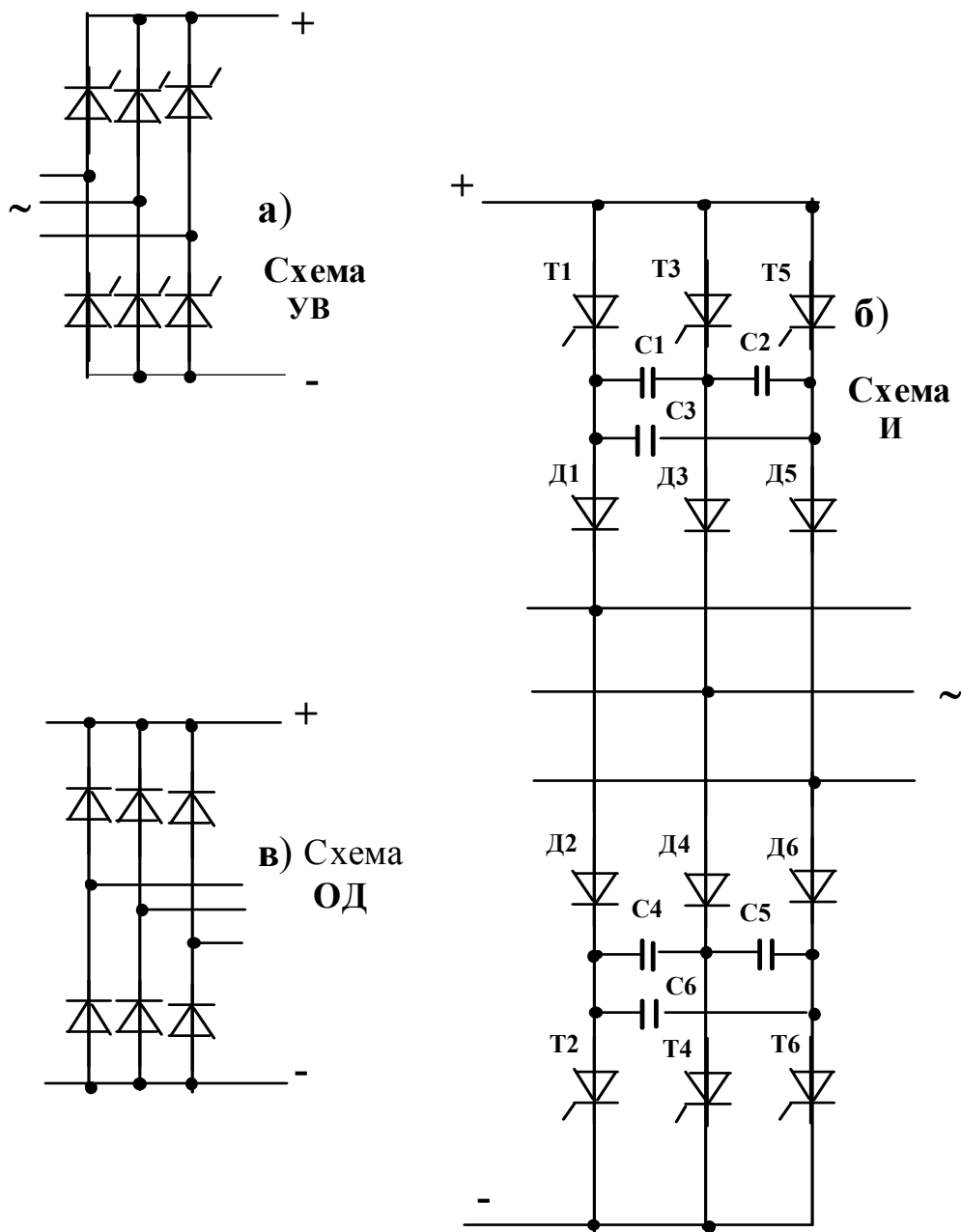


Рис.7.2.Схеми елементів ТПЧ

Лабораторна робота № 8
ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОПРИВОДА
СИСТЕМИ Г-Д З ТИПОВИМИ ЗВОРОТНИМИ ЗВ'ЯЗКАМИ

1. Мета роботи

Засвоїти методи аналізу і синтезу статичних характеристик системи із зворотними зв'язками.

2. Програма роботи

- Ознайомитися з конструкцією та особливостями лабораторної установки.
- Виконати процедуру запуску системи без зворотних зв'язків.
- Одержати дані електромеханічної характеристики системи без зворотних зв'язків.
- Одержати дані до характеристик системи з окремими зворотними зв'язками.
- Одержати дані до характеристики системи з типовим комплектом зворотних зв'язків.
- Побудувати та проаналізувати графіки характеристик.

3. Опис лабораторної установки

Система Г-Д (електрична схема на рис. 8.1.) складається з генератора Г, двигуна Д та допоміжного двигуна ПДГ. Якірні контури генератора Г та двигуна Д з'єднуються, утворюючи "головний" електричний контур системи. Навантажувальна машина НМ у положенні В статорного перемикача створює момент опору, від якого залежить частота обертання валу Д. Струм збудження Д не регулюється. Струм збудження Г регулюється силовим магнітним підсилювачем СМУ, що одержує живлення від мережі змінного струму через вимикач АВЗ. У свою чергу СМУ одержує керуючий сигнал від проміжного магнітного підсилювача ПМУ, що підсумовує струми обмоток ОЗ (обмотка завдання), ОС (зворотного зв'язку за частотою обертання Д), ОН (зворотного зв'язку за напругою генератора Г), ПТ (позитивного зворотного зв'язку за струмом Д), ОТ (від'ємного зворотного зв'язку за струмом Д). Частота обертання валу Д контролюється тахогенератором ТГ з показуючим пристроєм TV .

Вимикачі стенду мають таке призначення : АВ2 – ввімкнення до мережі змінного струму; АВ6 – ввімкнення до мережі постійного струму; АВ1 – замикання головного якірного контуру; АВЗ, АВ4 – живлення магнітних підсилювачів та генераторного перетворювача системи; АВ5 – ввімкнення навантажувальної машини до мережі живлення; В1, В2, В3, В4, В5, В6 – ввімкнення зворотних зв'язків.

Резистори R1, R2, R3, R4, R5, R6 призначені для регулювання струмів в контурах зворотних зв'язків. Випрямляч НЭ з резистором R2 забезпечують нелінійні властивості контуру від'ємного зворотного зв'язку за струмом двигуна.

Сумарний опір резистора R₀ разом з опорами додаткових обмоток генератора створює напругу, пропорційну до струму якірного контуру, для організації зворотних зв'язків за струмом двигуна.

Вольтметр V контролює напругу генератора, амперметр А1 – струм "головного" якірного контуру.

4. Теоретична частина

Частота обертання валу двигуна у системі Г-Д залежить від двох складових:

$$n = \frac{E_G}{k\Phi} - I \cdot \frac{R}{k\Phi},$$

де: n – частота обертання валу двигуна, об/хв; E_G – ЕРС генератора, В; R – сумарний опір якірного контуру системи, Ом; I – струм якірного контуру двигуна, який залежить від зовнішнього навантаження, А; $k\Phi$ – параметр двигуна, В хв/об.

За умови постійних значень R та $k\Phi$ перша складова частоти обертання залежить від ЕРС генератора, а друга від якірного струму. При постійному E_G (режим без зворотних зв'язків) електромеханічна характеристика системи $n(I)$ буде лінійною.

У системі із зворотними зв'язками створюються умови автоматичного регулювання E_G , що дозволяє змінювати характеристику привода, надаючи їй бажану форму. Для реалізації системи із зворотними зв'язками установка включає сумуючий підсилювач (ПМУ). Алгебраїчна сума усіх керуючих сигналів Σx_i через ПМУ та канал підсилення визначає ЕРС генератора

$$E_G = K_y \cdot \Sigma x_i,$$

де: K_y – коефіцієнт пропорційності, який враховує усі каскади підсилювання та перетворення сигналів.

Від'ємність чи позитивність зворотного зв'язку встановлюється відносно до сигналу завдання $x_{OЗ}$. Наприклад, у системі регулювання з від'ємним зворотним зв'язком за частотою обертання валу

$$\Sigma x_i = x_{OЗ} - x_{OС},$$

де $x_{OС}$ – сигнал зворотного зв'язку за частотою обертання.

Якщо під впливом зовнішнього навантаження частота обертання вала двигуна зменшується, то зменшується $x_{OС}$. Внаслідок зростає Σx_i та E_G . Перша складова n зростає, що частково компенсує зменшення від другої складової. Таким чином, від'ємний зворотний зв'язок за частотою обертання сприяє підтримуванию частоти обертання на заданому рівні.

На такому ж принципі діють інші зворотні зв'язки. В умовах лабораторної установки

$$\Sigma x_i = x_{OЗ} - x_{OС} - x_{OИ} - x_{OТ} + x_{ПТ}.$$

Від'ємний зворотний зв'язок за струмом якірного контуру $x_{OТ}$ зменшує n з ростом I . Його використовують як захисний, нелінійний за рахунок включенням у контур нелінійної ланки. Наприклад, діодного моста з опорною напругою від зовнішнього джерела. Зворотний зв'язок не діє, якщо напруга, що пропорційна струму якірного контуру менша за опорну.

5. Порядок виконання роботи

5.1. Передпускова підготовка:

- Ввімкнути живлення магнітних підсилювачів автоматами АВ3, АВ2;

- вимкнути **B1, B2, B3, B4, B5, B6** у контурах регулювання;
- розірвати якірний контур системи вимкненням **AB1**.

5.2. Запустити систему. Для цього:

- ввімкнути вимикачі **AB6, B7** живлення обмотки збудження двигуна;
- ввімкнути вимикач **AB4** живлення допоміжного двигуна ПДГ;
- за умови $U_r < 50 V$ замкнути якірний контур системи вимикачем **AB1**,

5.3. Перевірити настроювання зворотних зв'язків (не обов'язковий пункт):

- Ввімкнути **B1** і регулюванням **R1** встановити рівень частоти обертання двигуна (за показанням **TV**) **500 об/хв**.
- Ввімкнути **B6**. Повинно встановитись $n = 100 \dots 150$ об/хв. Вимкнути **B6**.
- Ввімкнути **B5**. Повинно встановитись $n = 100 \dots 150$ об/хв. Вимкнути **B5**.
- Ввімкнути **B4**. Автоматом **AB5** підключити навантажувальну машину **HM** і регулювати навантаження. Частота обертання при $I = 5 \dots 6 A$ повинна становити $n = 500 \pm 25$ об/хв. Вимкнути **B4** та **AB5**. Регулятор навантаження повернути до вихідного стану.
- Ввімкнути **B3**. Автоматом **AB5** підключити навантажувальну машину **HM** і регулювати навантаження. Двигун повинен зупинитись при $I = 8 \dots 9 A$. Вимкнути **B4** та **AB5**. Регулятор навантаження повернути до вихідного стану.

5.4. Одержати дані електромеханічних характеристик системи. Для цього:

- Задати конкретну характеристику набором замкнутих контурів зворотних зв'язків;
- для кожної характеристики встановити вихідний режим: **500 об/хв** без навантаження за рахунок регулювання струму обмотки **O3** резистором **R1**;
- Ввімкнути **AB5** і регулювати навантаження, одержуючи сталі значення струму якірного контуру системи (наприклад: **1, 4, 6, 8, 10, 12 A**). Нотувати значення струму **I** та відповідні значення **n**.

5.5. Зупинити лабораторний агрегат.

- Зупинити двигун встановленням нульового значення сигналу завдання та розмиканням контурів усіх зворотних зв'язків;
- Розімкнути головний контур системи вимиканням **AB1**;
- Вимкнути живлення у вільному порядку.

6. Нотування та обробка результатів

Результати вимірювань доцільно нотувати у таблицю такої форми:

Струм I, A	n, об/хв без зв. зв'язків	n, об/хв з ОС	n, об/хв з ОН	n, об/хв з ПТ	n, об/хв з ОТ	n, об/хв з ОС+ОТ
1						
...						
12						

Позначення у таблиці відповідають умовам :

”з ОС” – з від'ємним зворотним зв'язком за частотою обертання валу двигуна;

“з **ОН**” – з від’ємним зворотним зв’язком за напругою генератора;
“з **ПТ**” – з позитивним зворотним зв’язком за струмом якірного контуру системи;
“з **ОТ**” – з від’ємним нелінійним зворотним зв’язком за струмом якірного контуру системи;
“з **ОС+ОТ**” – з одночасною дією від’ємного зворотного зв’язку за частотою обертання двигуна та від’ємного нелінійного зворотного зв’язку за струмом якірного контуру.

За результатами випробувань будуються графіки на одній площині, що дає змогу аналізувати дію зворотних зв’язків. Приблизна форма графіків показана на рис. 8.2.

7. Зміст звіту

- Назва, мета та програма роботи.
- Електрична схема лабораторної установки (рис. 8.1.).
- Таблиця з даними випробувань.
- Графіки характеристик, одержаних експериментально.
- Необхідні нотатки, аналіз одержаних результатів.

8. Контрольні запитання

З яких елементів складається система Г-Д? Які елементи системи Г-Д дозволяють використати зворотні зв’язки? Що таке зворотний зв’язок? Як визначається від’ємність чи позитивність зворотного зв’язку? Як від’ємний зворотний зв’язок стабілізує величину? Як задати рівень частоти обертання валу двигуна? Як організовано від’ємний зворотний зв’язок за частотою обертання валу двигуна? Як організовано від’ємний зворотний зв’язок за напругою генератора? Як організовано позитивний зворотний зв’язок за струмом якірного контуру? Як організовано від’ємний зворотний зв’язок за струмом якірного контуру? Як організовано нелінійний від’ємний зворотний зв’язок за струмом якірного контуру? Для чого від’ємний зворотний зв’язок за струмом якірного контуру виконують нелінійним? Як одержати дані характеристики системи без зворотних зв’язків? Як одержати дані характеристики системи з від’ємним зворотним зв’язком за частотою обертання валу двигуна і чому частота обертання перевищує значення у системі без зворотних зв’язків? Як одержати характеристику з нелінійним від’ємним зв’язком за струмом якірного контуру? Як одержати характеристику з позитивним від’ємним зв’язком за струмом якірного контуру і чому частота обертання перевищує значення у системі без зворотних зв’язків? Як одержати характеристику системи з від’ємним зв’язком за напругою генератора? Як запустити лабораторну установку? Як зупинити систему Г – Д? Які переваги має характеристика із кількома зворотними зв’язками? У чому полягає ідея використання зворотних зв’язків у системі?

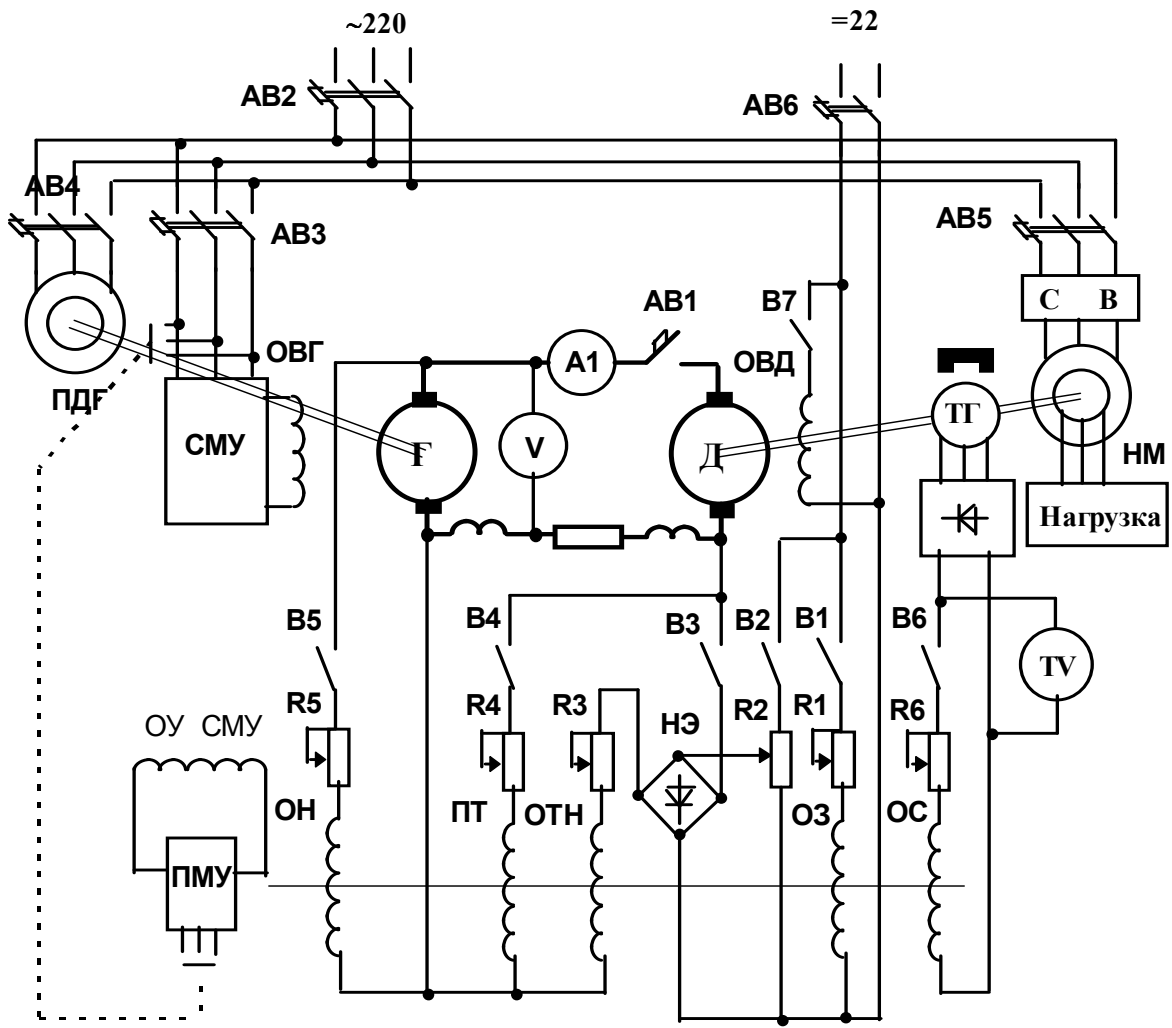


Рис.8.1. Спрощена схема лабораторної установки

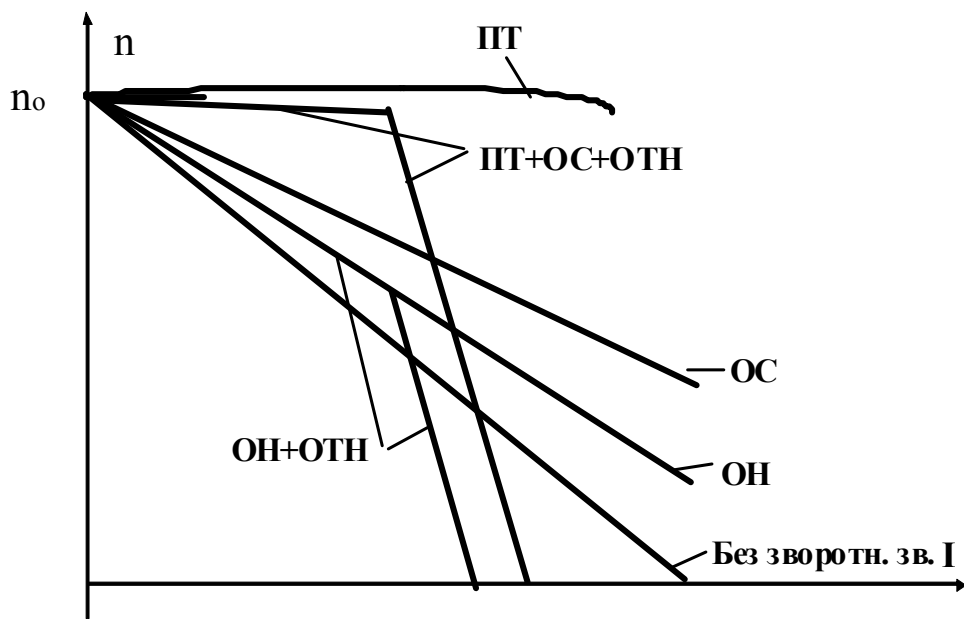


Рис.8.2. Приблизний вигляд графіків характеристик системи

Лабораторна робота № 9
СИСТЕМА РЕЛЕЙНОГО КЕРУВАННЯ ДВОСКОРОСНИМ
АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ

1. Мета роботи

Засвоїти методи аналізу конструкції та принципу роботи станції релейного керування **БН5712-О2Б2**.

2. Програма роботи

- Засвоїти принцип регулювання частоти обертання валу асинхронного двигуна зміною кількості пар полюсів;
- Вивчити особливості конструкції лабораторної установки;
- Вивчити особливості електричної схеми станції;
- Здійснити запуск станції і аналіз режимів її роботи.
-

3. Опис конструкції

Станція **БН5712-О2Б2** (електрична схема на рис.9.1.) включає електричні апарати, що змонтовані на ізольованій панелі :

- **1В** – рубильник ручного вмикання до мережі живлення;
- **1ПР, 2ПР** – запобіжники захисту мережі від струмів короткого замикання у контурах станції;
- **В, Н, 1С, 2С1, 2С2** – електромагнітні контактори (апарати, що мають потужні контакти з іскрогасінням або дугогасінням) для вмикання статорних обмоток двигуна до мережі живлення;
- **1РТ, 2РТ** – реле захисту обмоток двигуна від перегрівань.

Блок кнопок для формування керуючих сигналів **КС, КВ, КН, 1СК, 2СК** встановлюється окремо. Усі кнопки (крім **КС**) мають два контакти, один з яких замкнено, а другий у той же час розімкнено. Натискання кнопки спочатку розмикає обидва контакти, а потім замикає один з них.

4. Опис роботи схеми

Частота обертання валу асинхронного двигуна залежить від складових, головна з яких зворотно пропорційна кількості пар полюсів. Тому, змінюючи кількість пар полюсів, одержують різні частоти обертання вала двигуна. Розповсюдженим є спосіб зміни схеми вмикання обмоток статора із зміною напрямку струмів фазних напівобмоток, що зменшує кількість пар полюсів у два рази. На рис.9.2. показано, що такими схемами можуть бути трикутник (рис.9.2.а) та подвійна зірка (рис.9.2.б). Перехід від першої схеми до другої здійснюється перестановкою місць живлення до середин фазних обмоток та замиканням до купи середин сторін нового трикутника. Напрямок струму у фазних напівобмотках з узгодженого змінюється на протилежний. Сусідні напівобмотки з однаковим напрямком струму не утворюють полюсів і кількість їх стає у два рази меншою.

Кожна котушка релейного апарату і його контакти мають однакову назву. Нормальним вважається стан апарату з нульовим струмом через котушку. Стан контактів змінюється, якщо через котушку протікає достатній струм.

Електрична схема станції передбачає зміну напрямку обертання валу двигуна. Для цього натискаються кнопки **КВ** або **КН**. Створюються контури протікання струму через котушки **В** або **Н**. Відповідні контактори вмикаються. Їх однойменні контакти виконують логічні функції: потужні контакти підключають статор до мережі живлення, а блокувальні контакти виконують операції керування:

- Закорочується контакт кнопки і натискання кнопки можна припинити;
- розривається контур котушки контактора протилежного напрямку. Контур котушки **В** включає розмикаючі контакти **Н**, а контур котушки **Н** – розмикаючі контакти **В**. Така схема виконує функції електричного захисту від неприпустимого одночасного вмикання **В** та **Н**. На станції передбачено ще механічний пристрій такого ж призначення (коромишло).

Схожа логіка утворюється відносно кнопок керування частотою обертання **1СК**, **2СК** та контакторів **1С**, **2С1+2С2**. Різниця полягає в ввімкненні у контури живлення котушок контакторів контактів реле теплового захисту **1РТ** та **2РТ**. Чутливі елементи реле **1РТ**, **2РТ** розташовані в контурах статора і захищають обмотки двигуна від перегрівань під час механічних перевантажень або аварійного двофазного вмикання. Контакти **1РТ**, **2РТ** мають механічні блокувальні елементи, які дозволяють повернення реле у робочий стан тільки вручну.

Рубильник **1В** дозволяє вмикати станцію до мережі живлення для виконання технологічних функцій або вимикати її під час тривалих простоїв, ремонту або профілактичних робіт.

Після вмикання рубильника **1В** керування станцією здійснюється за допомогою кнопок. Рекомендується спочатку призначити рівень частоти обертання. Для цього натискається кнопка **1СК** або **2СК**, що викликає вмикання контактора першої швидкості **1С** або двох контакторів другої швидкості **2С1**, **2С2**. Остаточне ввімкнення двигуна до мережі живлення виконується натисканням кнопки **В** або **Н**. Зупинка двигуна з вимиканням котушок контакторів виконується натисканням кнопки **КС**.

Система дозволяє переходити з однієї частоти обертання на іншу та зміни напрямку обертального руху без зупинки двигуна. Такі режими супроводжуються появою підвищених пускових струмів і можуть стати причиною відключення двигуна тепловим захистом.

Після відключення тепловим захистом необхідно витримати певний термін часу для охолодження двигуна, встановити вручну робочий стан контактів **1РТ** або **2РТ** спеціальною кнопкою на корпусі реле і продовжити дослідження режимів.

Запобіжники **1ПР**, **2ПР** захищають елементи станції та мережі живлення від псування струмами короткого замикання у контурах станції.

5. Зміст звіту

- Назва, мета та програма роботи.
- Електрична схема станції (рис. 9.1.).
- Схема утворення кількості пар полюсів стрижнями обмоток (рис. 9.2).
- Необхідні нотатки до захисту роботи.

6. Контрольні запитання

За рахунок якого явища змінюється кількість пар полюсів асинхронного двигуна лабораторного стенда? Як встановити рівень частоти обертання двигуна? Як встановити напрямок обертання валу двигуна? Як змінити рівень частоти обертання? Як змінити напрямок обертання валу двигуна? Як встановити, що двигун зупинився внаслідок теплового перевантаження? З яких причин тепловий захист вимикає двигун? Як повернути реле теплового захисту до робочого стану? Чому кнопки керування станцією мають два логічно протилежних контакти? Як здійснюється електричне блокування одночасного вмикання логічно протилежних контакторів **В** та **Н** або **1С** та **2С**? Для чого потрібен рубильник **1В**? Для чого потрібні запобіжники? Що захищають запобіжники? Як зупинити електричний двигун? Як працює станція при одночасному натисканні кнопок **КВ** та **КН** або **1СК** та **2СК**?

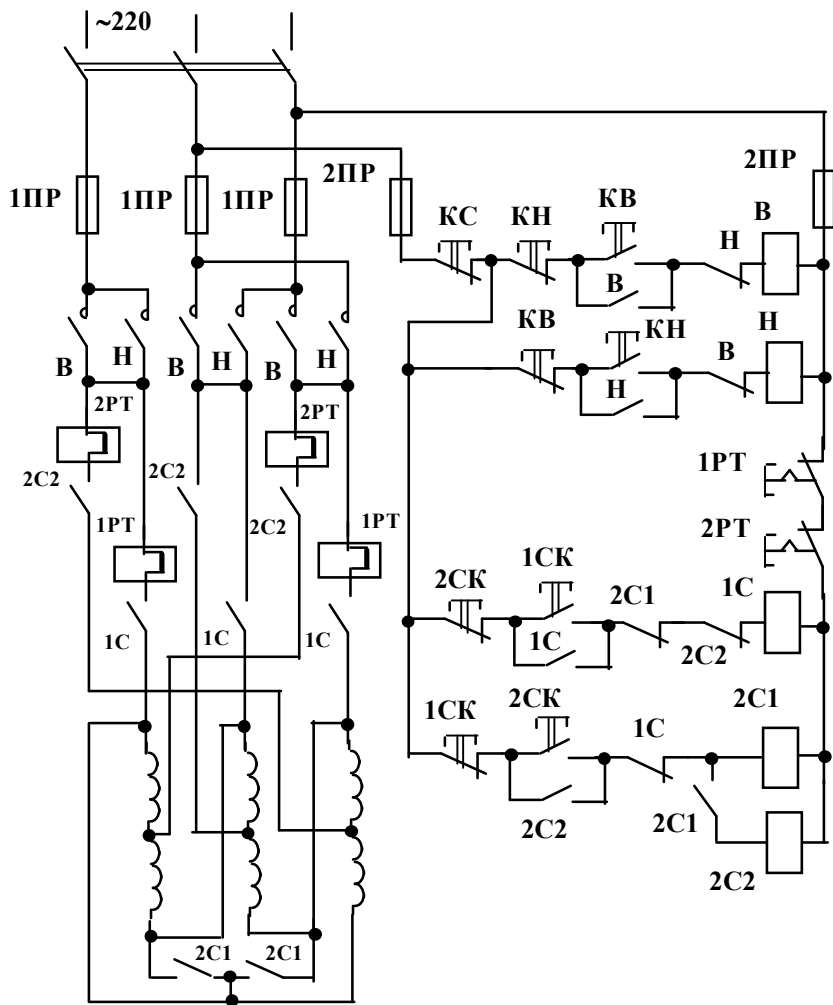


Рис.9.1. Електрична схема станції **ВН5712-0262**

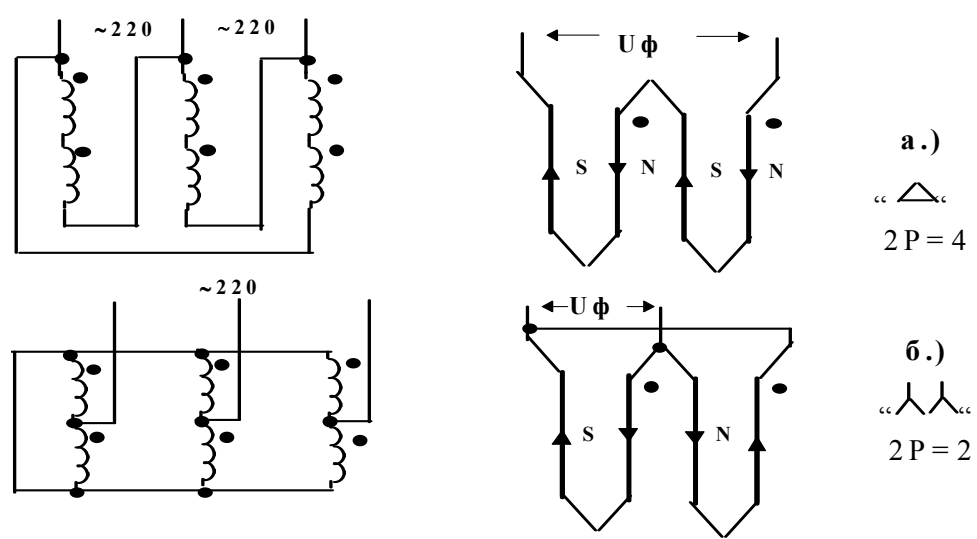


Рис.9.2.Схеми вмикання обмоток двигуна

Лабораторна робота № 10
СИСТЕМА РЕЛЕЙНОГО КЕРУВАННЯ АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ З
КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ І ДИНАМІЧНИМ ГАЛЬМУВАННЯМ

1. Мета роботи

Засвоїти методи аналізу конструкції та принципу дії станції **БУ5509-13А2Б** релейного керування асинхронним двигуном.

2. Програма роботи

- Проаналізувати конструктивний склад станції.
- Проаналізувати режим вмикання асинхронного двигуна до мережі живлення змінного струму.
- Проаналізувати процес встановлення режиму динамічного гальмування.
- Проаналізувати варіант реалізації автоматичного керування режимом динамічного гальмування.
- Проаналізувати варіанти захисних функцій станції.
- Виконати запуск станції та реалізувати характерні режими її роботи.

3. Опис станції керування

Станція **БУ5509-13А2Б** (електрична схема на рис.10.1.) представляє собою ізольовану панель, на якій змонтовано:

- **В1, В2, В3** – рубильники вмикання до мереж живлення;
- **В, Н, Л** – контактори для вмикання двигуна до мережі змінного струму;
- **Д** – контактор для вмикання двигуна до мережі постійного струму;
- **РД, РМ, 1РМ, 2РМ, 3РМ, РН** – реле керування контакторами;
- **ПР** – запобіжники для захисту від струмів короткого замикання.

Функції реле автоматизації:

- **РД** – реле керування тривалістю динамічного гальмування. Затримка в часі виникає за рахунок електропровідного кільця, що охоплює магнітопровід і уповільнює спадання магнітного потоку після вимикання котушки реле;
- **РМ** – захист від струмів короткого замикання контуру живлення двигуна постійним струмом під час динамічного гальмування. Реле має однойменний контакт у контурі котушки **Д** і механічний фіксатор розімкненого стану цих контактів із поверненням у робочий стан вручну;
- **1РМ, 2РМ, 3РМ** – захист ліній живлення двигуна від струмів короткого замикання;
- **РН** – реле нульового захисту, що контролює належний рівень напруги мережі постійного струму і не дає змоги мимовільного запуску двигуна тільки за рахунок ввімкнення станції до мереж живлення.

До комплекту станції належить перемикач управління **УП**, що встановлюється на окремому пульті керування. Станція має захист проти одночасного вмикання двигуна до мереж змінного та постійного струму за рахунок взаємних блокувальних контактів (контакт **Д** у контурах котушок **В, Н, Л** і контакти **В, Н, Л** у контурі котушки **Д**). Крім того, контактори напрямку **В** та **Н** мають механічний блокувальний пристрій, який робить неможливим їх одночасне вмикання.

Котушка і контакти на схемі мають однакову назву. Нормальним вважається стан апарату з нульовим струмом через котушку. Стан контактів змінюється, якщо через котушку протікає достатній струм. Електромагнітне реле часу має додаткове електропровідне кільце навколо магнітопроводу, що уповільнює зміну магнітного потоку і затримує повернення у нормальний стан.

4. Опис роботи схеми

Електрична схема станції показана на рис.10.1. Ввімкнення до мереж живлення здійснюється автоматом **В1** та рубильниками **В2**, **В3** вручну.

Станція забезпечує роботу в трьох режимах: підготовчому, рушійному та гальмівному. Режими задаються перемикачем **УП** з трьома фіксованими положеннями “**0**”, “**В**”, “**Н**” та трьома контактами **КК0**, **КК1**, **КК2**. На схемі контакти позначені розривами горизонтальних ліній, а положення – вертикальним пунктиром. Крапка на пунктирній лінії під назвою контакту визначає позицію **УП**, у якій цей контакт замкнений.

Підготовчий режим виникає після вмикання **В1**, **В2**, **В3** та встановлення перемикача **УП** в положення “**0**”. Вмикається **РН** і замикає свої контакти, що закорочують **КК0** і готують вмикання контурів котушок **В**, **Н**, **Л** до мережі живлення в робочих режимах.

Рушійний режим виникає, якщо після успішного завершення підготовчого режиму перевести **УП** в одно із робочих положень (“**В**” або “**Н**”). У положенні “**В**”, наприклад, замикається контакт **КК1** та через контакти **РН**, **КК1**, **Д** одержує живлення котушка контактора **В**. Вмикається контактор **В**. Замикаються його однойменні контакти у статорних контурах та у контурі живлення котушки **Л**. Вмикається контактор **Л**. Двигун підключається до мережі живлення змінного струму і починає рух. Одночасно одержує живлення котушка **РД** і вмикає свої контакти в контурі котушки **Д**, готуючи режим динамічного гальмування. У положенні “**Н**” замість **В** вмикається **Н**. Двигун обертається у протилежному напрямку.

Динамічне гальмування виникає після рушійного режиму та встановлення **УП** у положення “**0**”. Контури котушок **В**, **Н**, **Л** та **РД** розриваються, а котушки **Д** замикається. Двигун вимикається з мережі змінного струму та вмикається до мережі постійного струму. Встановлюється режим динамічного гальмування. Тривалість режиму контролюється за допомогою реле **РД**, яке розриває контур котушки **Д** через певний проміжок часу.

Станція забезпечує захисні функції:

- Нульовий захист від мимовільного запуску двигуна під час ввімкнення станції до мереж живлення. Захист здійснюється реле **РН**, котушка якого первісно вмикається через контакт **КК0**, замкнений тільки у нульовому положенні **УП**.
- Максимальний струмовий захист контурів змінного струму за допомогою реле **1РМ**, **2РМ**, **3РМ**, що діють у складі автомата **В1**
- Максимальний струмовий захист за допомогою реле **РМ**, контакти якого розривають контур живлення котушки **Д** і повертаються у робочий стан тільки вручну.

- Максимальний струмовий захист керуючих контурів релейної системи запобіжниками **ПР**.

Апарати постійного струму мають у складі електромагнітні реле часу, забезпечують найбільшу швидкодію та надійність.

5. Зміст звіту

- Назва, мета та програма роботи.
- Електрична схема станції (рис. .1.).
- Необхідні нотатки до виконання та захисту роботи.

6. Контрольні запитання

Які функції виконує станція **БУ5509-13А2Б**? Які апарати вмикають двигун до мережі змінного струму? Як змінити напрямок обертання валу двигуна в лабораторній роботі? Як встановити режим динамічного гальмування? Які елементи здійснюють електричне блокування режимів? Для чого використовується механічне блокування? Як виконати підготовчий режим станції? Для чого у схемі станції використовується реле **РН**? За яких умов встановлюється режим динамічного гальмування? Яка причина може не дозволяти динамічного гальмування? Для чого і як використовується реле **РД**? Чим відрізняються умови замикання та розмикання контактів **РД** та **РМ** у контурі котушки **Д**? Як реалізується нульовий захист? Як реалізується захист від максимальних аварійних струмів? У якому порядку замикаються контакти схеми, якщо перевести УП з одного робочого положення у інше?

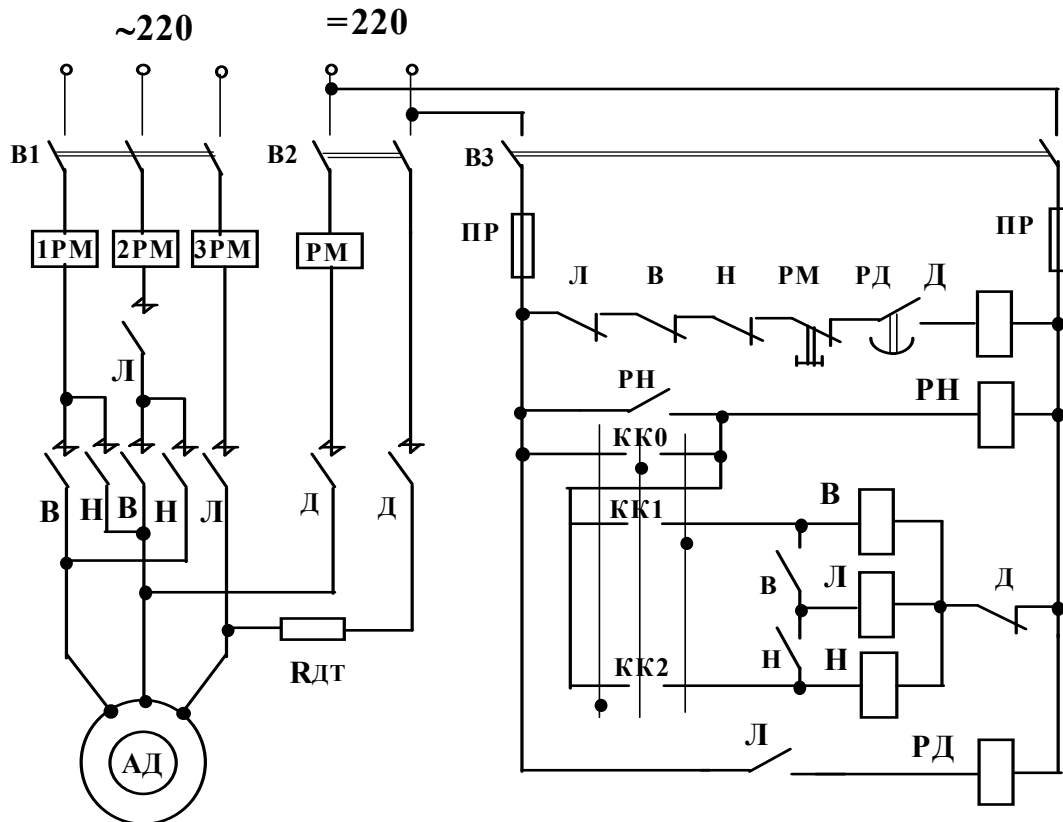


Рис.10.1. Електрична схема станції **БУ5509-13А2Б**

Лабораторна робота № 11
ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РЕЗИСТОРНИМ
ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ З АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ

1. Мета роботи

Метою роботи є освоєння методів дослідження систем логічного автоматизованого керування електродвигунами.

2. Програма роботи

- Засвоїти принцип дії, призначення та конструктивні особливості станції та релейних комутаційних апаратів.
- Засвоїти принцип дії, призначення та конструктивні особливості релейних апаратів для керування процесами пуску та гальмування.
- Виконати процедуру ввімкнення станції до мережі живлення і переконатись у відповідності паспортних (за описами) та практичних процедур вмикання / вимикання апаратів станції.
- Відповісти на контрольні запитання.

3. Конструкція станції керування

Станція **ПУ 6520-03А2** (електрична схема на рис. 11.1) призначена для автоматизованого керування розгоном та електричним гальмуванням електропривода з асинхронним двигуном, що має фазний ротор.

Станція включає ізольовану панель, на якій змонтовано електричні апарати, та окремий командоапарат **КК** для формування керуючих завдань.

Електричні апарати виконують такі функції:

- ввімкнення установки до загальних мереж електричного живлення (рубильники **1Р, 2Р, 3Р**);
- ввімкнення статорних контурів двигуна до мережі живлення трифазним змінним струмом (контактори **Л, В, Н**);
- ввімкнення статорних контурів до мережі живлення постійним струмом (контактор **Д**);
- комутація резисторів у роторних контурах (контактори **П, 1У, 2У**);
- автоматизація процесів розгону/гальмування (реле **1РУ, 2РУ, РП, РД, РБД**);
- керування електромагнітом механічного гальма (контактор **Т**);
- захист електричних контурів та механізму (реле **1РМ, 2РМ, 3РМ, РМ, РН**, запобіжники **2П**, механічний блокувальник одночасного вмикання **В** та **Н**).

Апарати постійного струму використовують тому, що вони забезпечують найбільшу швидкодію та надійність, мають у складі електромагнітні реле часу.

Контактори відрізняються від реле тим, що мають потужні контакти з пристроями гасіння дуги або іскор.

Котушка і контакти мають однакову назву. Нормальним вважається стан апарату з нульовим струмом через котушку. Стан контактів змінюється, якщо через котушку протікає достатній струм. Електромагнітне реле часу має додаткове електропровідне кільце навколо магнітопроводу, що уповільнює зміну магнітного потоку і затримує повернення у нормальний стан.

4. Опис роботи схеми

Логічне керування електродвигуном полягає у створенні умов замикання чи розмикання контактів у контурах статора та ротора.

За допомогою командоапарату **КК** задається підготовчий режим або одна з характеристик привода ("**1в**", "**2в**", "**3в**", "**1н**", "**2н**", "**3н**", "**2дт**", "**3дт1**", "**3дт**" за рис. 2). Для виконання таких функцій **КК** має сім фіксованих положень керуючої рукоятки: "**0**", **1**, **2**, **3** "Вперед" та **1**, **2**, **3** "Назад". Відповідно на електричній схемі розташовано сім вертикальних пунктирних ліній. **КК** має п'ять контактів, що зображені як розриви горизонтальних ліній і позначені **КК0**, **КК1**, **КК2**, **КК3**, **КК4**. Крапка на пунктирній лінії під назвою контакту визначає позицію рукоятки **КК**, у якій цей контакт замкнено.

Автоматичне керування полягає у послідовному створенні характеристик "**1в**", "**2в**", "**3в1**", "**3в**" (або "**1н**", "**2н**", "**3н1**", "**3н**") у режимах розгону, характеристик "**2дт**", "**3дт1**", **3дт**" у режимі динамічного гальмування або характеристики "**1в**" ("**1н**") у режимі гальмування противмиканням. Набір характеристик дозволяє обмежити струм і моменти двигуна. Наприклад, забезпечити зміни моменту у межах від **М1** до **М2** під час розгону.

Підготовчий режим встановлює робочий стан захисного реле **РН** після ввімкнення рубильника **2Р** і вибору нульового положення **КК**. Котушка **РН** одержує живлення через контакти рубильника **2Р**, запобіжники **2П**, контакти командоапарату **КК0**, контакти реле **1РМ**, **2РМ**, **3РМ**. Реле **РН** вмикається і своїм однойменним контактом забезпечує живлення власної котушки і котушок **В**, **Н**, **Л**, **П**, **Т**, **РД**, **1У**, **2У** у робочих положеннях **КК**. Вимикання **РН** робить ввімкнення двигуна до мережі живлення неможливим. Це – варіант реалізації "нульового" захисту від непередбаченого пуску двигуна після поновлення напруги живлення або повернення до робочого стану захисного пристрою, що був причиною вимикання станції.

Режим розгону привода задається пересуванням рукоятки **КК** в одне із робочих положень. Наприклад, встановлено "**1 вперед**". Замикаються контакти **КК1** і по контуру через контакти **РН**, **КК1**, **Д** одержує живлення котушка контактора **В**. Після ввімкнення **В** через контакти **РН**, **КК1**, **В**, **Д** одержує живлення котушка **Л**. Статор двигуна підключається до мережі живлення з максимальним опором роторних контурів. Реалізується характеристика "**1в**", яка забезпечує "м'яке" замикання зазорів у механізмі. Потім через контакти **РН**, **КК1**, **В**, **Л** одержує живлення котушка **Т** і механізм звільняється від механічного гальма. У другому положенні рукоятки **КК** додатково вмикається контакт **КК3**. Після цього одержує живлення котушка **П**, вмикається контактор **П** і своїми потужними контактами закорочує ступінь роторного резистора. Реалізується характеристика "**2в**". Частота обертання валу двигуна зростає. Одночасно розривається контур живлення котушки реле **1РУ**, яке після затримки у часі замикає контакти у контурі котушок **1У** та **2У**. У третьому положенні рукоятки **КК** додатково вмикається контакт **КК4**. Одержує живлення котушка **1У**. Вмикається контактор **1У** і закорочує другу ступінь роторного резистора. Одночасно розривається контур живлення котушки реле **2РУ**, яке через термін часу замикає свої контакти у контурі котушки контактора

2У. Контакттор вмикається і закорочує додаткові роторні опори. Реалізуються характеристики “**Зв1**” та “**Зв**”. Встановлюється природна характеристика.

Станція дозволяє автоматизацію процесу розгону за функцією часу. Для цього досить переставити рукоятку командоапарату із нульового положення у третє, не затримуючись у проміжних. Послідовно, без затримки у часі вмикаються контактори **В, Л, Т, П**. Двигун починає рух на характеристиці “**2в**”. Після вмикання **П** втрачає живлення котушка **1РУ** і через певний проміжок часу замикає свої контакти у контурі котушки **1У**. Вмикається **1У**. Реалізується характеристика “**Зв1**” і втрачає живлення котушка **2РУ**. Через наступний проміжок часу замикаються контакти **2РУ** у контурі котушки **2У**. Вмикається контакттор **2У**, закорочується додатковий роторний резистор, встановлюється природна характеристика двигуна. Затримки у часі за допомогою реле **1РУ** та **2РУ** забезпечують перехід на наступну характеристику встановленням моменту двигуна на рівні **М1**.

Аналогічно реалізується алгоритм керування у напрямку “**назад**”. Тільки замість **КК1** вмикається **КК2**, а замість контактора **В** – контакттор **Н**.

Режим електричного гальмування противмиканням виникає за умови перестановки рукоятки **КК** із положення “**З вперед**” у положення “**З назад**” чи навпаки. Виникає подвійна від пускової ЕРС тому, що ротор за механічною інерцією продовжує обертатись у попередньому напрямку, а магнітне поле від струму статорних обмоток вже обертається у іншому. Напруга на котушку реле **РП** зростає, воно вмикається і своїми контактами розриває контур живлення котушок **П, 1У, 2У**. Встановлюється максимальний опір роторного резистора, що обмежує струм обмоток. Режим зберігається доки частота обертання ротора не знижується майже до нуля. Тим самим реалізується автоматизація процесу електричного гальмування противмиканням за функцією частоти обертання ротора.

Станція дозволяє реалізувати динамічне гальмування, якщо рукоятку **КК** перевести із робочого положення до нульового. Після вимикання котушок **В (Н)** та **Л** двигун вимикається з мережі живлення змінного струму. Вмикається контакттор **Д** та вмикає статор двигуна до мережі постійного струму. Створюється режим динамічного гальмування. Ефективність гальмування регулюється за рахунок регулювання опору роторного резистора. Контакти **Д** створюють умови вмикання **П** і перехід на характеристику “**2дт**”. Через проміжки часу, що забезпечують реле часу **1РУ** та **2РУ** вмикаються контактори **1У** та **2У**. Відповідно реалізуються характеристики “**Здт1**” та “**Здт**”. Загальна тривалість процесу динамічного гальмування залежить від реле часу **РД**, що замикає свій контакт у контурі **Д** ще під час рушійного режиму.

Станція надає можливість негайно припинити режим динамічного гальмування, якщо рукоятка **КК** переведена в одне з положень рушійного режиму. На цей випадок котушка реле **РБД** одержує живлення через котушку **В** або **Н**. Струм такого контуру достатній для вмикання реле і не достатній для вмикання контактора. Контакт **РБД** розриває контур живлення котушки **Д**. Динамічне гальмування припиняється, а розмикаючий контакт **Д** закорочує

котушку **РБД** і дозволяє вмикання **В, Н, Л**. Затримка переключень **РБД** у часі дозволяє уникнути коливальних режимів.

5.Зміст звіту

- Найменування, мета та програма роботи.
- Електрична схема лабораторної установки (рис. 11.1.).
- Характеристики привода (рис. 11.2.).
- Необхідні нотатки до захисту лабораторної роботи.

6.Контрольні запитання

У чому полягає головне призначення станції релейного керування асинхронним двигуном? Як асинхронний двигун підключається до мережі живлення? Для чого у роторних контурах встановлюють додаткові резистори? Яка характеристика привода реалізується першою за умови повільного пуску? Які характеристики привода встановлюються на етапі швидкого, автоматичного розгону? Які апарати керують автоматизацією розгону? Яка функція автоматизації реалізується під час розгону? У чому полягає принцип дії електромагнітного реле часу? Чим контактор відрізняється від реле? У чому полягає принцип дії електромагнітного апарату? Що таке гальмування противмиканням? Чому зростає ЕРС роторних обмоток у режимі гальмування противмиканням? Для чого збільшувати опір додаткового роторного резистора під час гальмування противмиканням? Який апарат керує режимом електричного гальмування противмиканням? Як автоматизується процес динамічного гальмування? Як змінити напрямок обертання валу електричного двигуна? Для чого у системі керування командоапарат ? Які захисти реалізовані апаратами станції **ПУ 6520-03А2** ? Який апарат контролює припустимий струм статорних обмоток двигуна? Який апарат контролює припустимий струм від мережі постійного струму? Який апарат здійснює нульовий захист привода? У чому полягає перевага апаратів з живленням від мережі постійного струму? Які заходи запобігають одночасному вмиканню контакторів **В** та **Н** за умови помилкового попадання напруги на їх котушки? У чому полягають функції реле **РН**? Яким чином на електричній схемі станції зображено положення рукоятки керування командоапаратом **КК**? Як встановити режим автоматичного розгону? Як встановити режим гальмування противмиканням? Як встановити режим динамічного гальмування? Як змінюється опір роторного резистора під час автоматичного розгону? Для чого змінюється опір роторного резистора під час розгону?

Як змінюється опір роторного резистора під час динамічного гальмування? Для чого змінюється опір роторного резистора під час динамічного гальмування? Як контролюється тривалість динамічного гальмування? За яких умов вмикається контакт **РД**? За яких умов вимикається контакт **РД**? Яку функцію виконує реле **РБД**? Як реле **РП** контролює частоту обертання валу двигуна? У чому особливості захисного реле **РМ**? Для чого реле **РБД** має властивості реле часу? Які функції виконує контактор **Т**? Чим контактор відрізняється від реле? Що таке логічне керування?

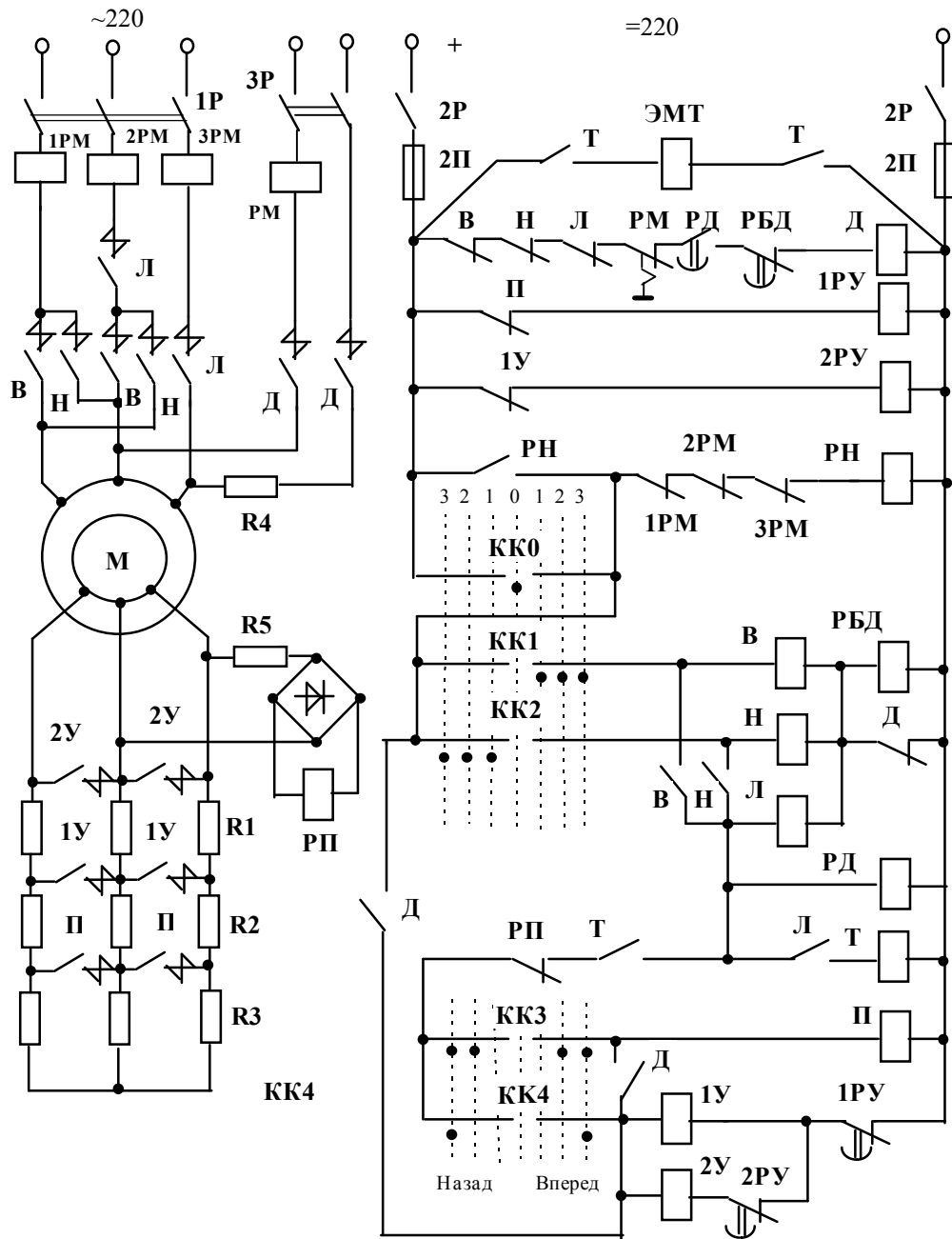


Рис. 11.1. Принципова схема станції ПУ6520-03А2

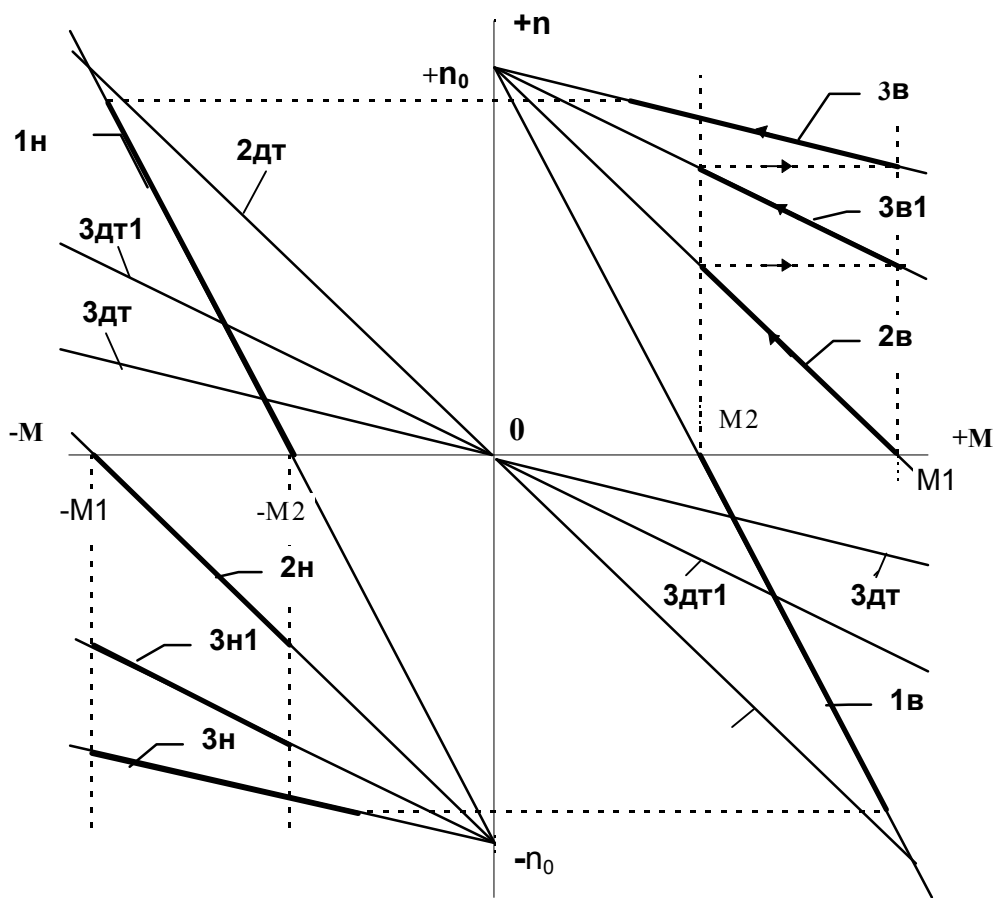


Рис.11.2. Лінійні наближення характеристик привода, що реалізуються станцією.

Упорядник
Владислав Емануїлович Воскобойник

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З ДИСЦИПЛІНИ
“ОСНОВИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА”
для студентів напрямку 6.05.07.01 Електротехніка та електротехнології (ЕЕ)

Редакційно-видавничий комплекс

Підписано до друку Формат 30x42/4
Папір офсетний. Ризографія. Умовн. друк. арк. 1,9.
Обліково-видавн. арк. 1,9. Тираж прим. Зам. №

Державний ВНЗ України , НГУ
49027, ДСП, м. Дніпропетровськ-27, просп. К.Маркса, 19.