

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ
УНІВЕРСИТЕТ

А.В. Гнатов, Щ.В. Аргун



ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Методичні вказівки до лабораторних робіт та самостійної роботи для
студентів денного та заочного навчання за спеціальністю
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Затверджено методичною
радою університету,
протокол №__ від _____.

Харків 2021

УДК 621.3

Теорія електропривода.

Методичні вказівки до лабораторних робіт та самостійної роботи.

/ А.В.Гнатов, Щ.В. Аргун,– Х.: ХНАДУ, 2021. – 65 с.

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Теорія електропривода» містить опис лабораторних робіт, які виконуються студентами при вивченні даної дисципліни. При цьому для кожної роботи вказані: мета, програма роботи, опис лабораторної установки, контрольні запитання, вимоги до звіту. Коротко висловлюється теоретичний матеріал, необхідний для осмисленого виконання робіт.

Ілюстрацій – 31, таблиць – 16, бібліографія – 20 найменувань.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	4
Робота 1. ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	6
Робота 2. ЕЛЕКТРОПРИВОД ПОСТІЙНОГО СТРУМУ В ГАЛЬМІВНИХ РЕЖИМАХ	12
Робота 3 АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД З РЕГУЛЯТОРОМ НАПРУГИ СТАТОРА	17
Робота 4 АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД У РЕЖИМІ ДИНАМІЧНОГО ГАЛЬМУВАННЯ	28
Робота 5 ТИРИСТОРНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.....	35
Робота 6 ЕНЕРГЕТИКА ТИРИСТОРНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.....	41
Робота 7 АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД З ТИРИСТОРНИМ РЕГУЛЯТОРОМ ЧАСТОТИ.....	46
Робота 8 ЧАСТОТНЕ РЕГУЛЮВАННЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА.....	57
ЛІТЕРАТУРА.....	64

ПЕРЕДМОВА

Ніяка діяльність неможлива без використання енергії. Наявність енергії – одне з необхідних умов для вирішення практично будь-якої задачі.

Здобуттям, а краще сказати, перетворенням енергії кращі уми людства займалися не одну сотню років. Виробництво енергії передбачає її отримання у вигляді зручному для використання, а саме отримання – тільки перетворення з одного виду енергії в інший.

У всіх галузях господарчої діяльності людини енергетика здійснює самий високий вплив на наше життя. Тепло та світло в наших оселях, транспортні потоки і робота промисловості – все це потребує затрат енергії.

Найбільш універсальна форма енергії – електрика. Роль та значення електричної енергії (ЕЕ) в функціонуванні та розвитку народного господарства важко переоцінити. Електрика являється основою функціонування і розвитку всіх галузей народного господарства. Вона являється базою розвитку промисловості, транспорту, сільського господарства, електро- і радіозв'язку, а також основою автоматизації виробничих і керівних процесів.

Спеціальність інженерна – електрика дуже важлива і потрібна у всіх галузях народного господарства.

Наш побут насичений електро- і радіотехнічними пристроями. Наші квартири представляють собою складні системи електропостачання з пристроями захисту і розподілу ЕЕ.

Широкому впровадженню ЕЕ в усі галузі діяльності людини сприяють можливість перетворення різних форм енергії в електричну, зручність її передачі на великі відстані і знову перетворення її в інші форми енергії.

Коротка історична довідка розвитку науки електрика.

В 18 столітті були відомі тільки закони електростатики і не існувало поняття електричного струму і його прояви.

Розвиток електродинаміки почався з появи перших джерел струмів (Вольтов стовп 1800 р., а також гальванічні елементи).

В першій половині XIX ст. було зроблено велику кількість, як теоретичних відкриттів, так й їх практичних застосувань. Наприклад, були сформульовані основні закони електротехніки: закон Ампера, Ома, Кірхгофа, Джоуля-Ленса, Фарадея. А також багато інших.

В 1834 р. – зроблено електричний двигун.

В 1859 р. – зроблено кислотно-свинцевий акумулятор.

В 1860 р. – зроблено електромашинний генератор.

В 1881 р. запропоновано систему багатофазового струму (генератор, трансформатор, комутаційна апаратура, двигун) – автор якої М.О. Доливо-Добровольський. Це докорінно змінило побудову систем електропостачання.

Але найбільш бурхливо електрика розвинулась в XX столітті. Утворюються крупні теплові, гідравлічні і атомні електростанції потужністю

до 6 гектоват.

Ці методичні вказівки до лабораторних робіт є складовою частиною навчальних посібників, що видаються на кафедрі, і присвячених вивченню дисципліни теорія електроприводу.

Зміст методичних вказівок відповідає програмам різних електротехнічних дисциплін, що вивчаються студентами.

Для кожної роботи вказано, як необхідно підготуватися до лабораторного заняття, щоб воно пройшло найбільш ефективно.

Наявність в книзі питань для самоконтролю і методичних вказівок дозволяють перевірити свої знання й усунути пробіли в них. Кожному студенту при підготовці до лабораторної роботи рекомендується:

- ознайомиться з метою та програмою роботи;
- вивчити теоретичний матеріал за рекомендованою літературою;
- перевірити свої знання за приведеними контрольними запитаннями.

Лабораторні роботи 1, 2 – підготовлені А.В. Гнатовим, 3, 4 – В.І. Калмиковим, 5, 6 – В.М. Ковальовим, 7, 8 – І.О. Бабенко.

Загальне редагування виконане доктором технічних наук, професором О.В. Бажиновим.

Автори сподіваються, що ці методичні вказівки до лабораторних робіт допоможуть вам при вивченні електротехнічних дисциплін та бажають успіху.

Лабораторна робота 1

ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Метою роботи є визначення електромеханічних характеристик електропривода постійного струму при відомих способах регулювання швидкості.

Основні теоретичні положення

Способи регулювання швидкості можуть бути обґрунтованими за допомогою рівняння електричної рівноваги кола якоря двигуна:

$$U_{\text{я}} = I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}} + E_{\text{я}}, \quad (1.1)$$

де $U_{\text{я}}$ – напруга живлення кола якоря, В;

$I_{\text{я}}$ – струм у колі якоря, А;

$R_{\text{я}}$ – опір кола якоря, Ом;

$E_{\text{я}}$ – електрорушійна сила обмотки якоря (проти-ЕРС), що визначається за формулою:

$$E_{\text{я}} = c \cdot \Phi \cdot \omega_{\text{я}}, \quad (1.2)$$

де c – конструктивна стала двигуна;

Φ – магнітний потік обмотки збудження;

$\omega_{\text{я}}$ – кутова швидкість якоря, рад/сек.

З формул (1.1) і (1.2) витікає формула залежності швидкості від параметрів електропривода

$$\omega = \frac{U - IR}{k\Phi}, \quad (1.3)$$

За формулою (1.3) можна сформулювати три способи регулювання швидкості:

1) зміною напруги якоря;

2) зміною опору кола якоря;

3) зміною струму збудження (магнітного потоку).

Одним з головних показників оцінки способів регулювання є величина

жорсткості електромеханічних характеристик, що забезпечує електропривод як сукупність двигуна і регулювальних пристроїв відповідно до даного способу регулювання.

Природною електромеханічною характеристикою двигуна називають таку, яку отримують при безпосередньому вмиканні кіл якоря і збудження двигуна на напругу номінального значення. А характеристики, отримані одним із способів регулювання, називають *штучними* або *регулювальними*.

Програма роботи

Виконати електричний монтаж схеми експериментальної установки згідно з рис. 1а.

Виконати експерименти з визначення механічних і електромеханічних характеристик для відповідних способів регулювання швидкості двигуна.

За даними експериментів побудувати три графіки $n=f(I_{\text{я}})$:

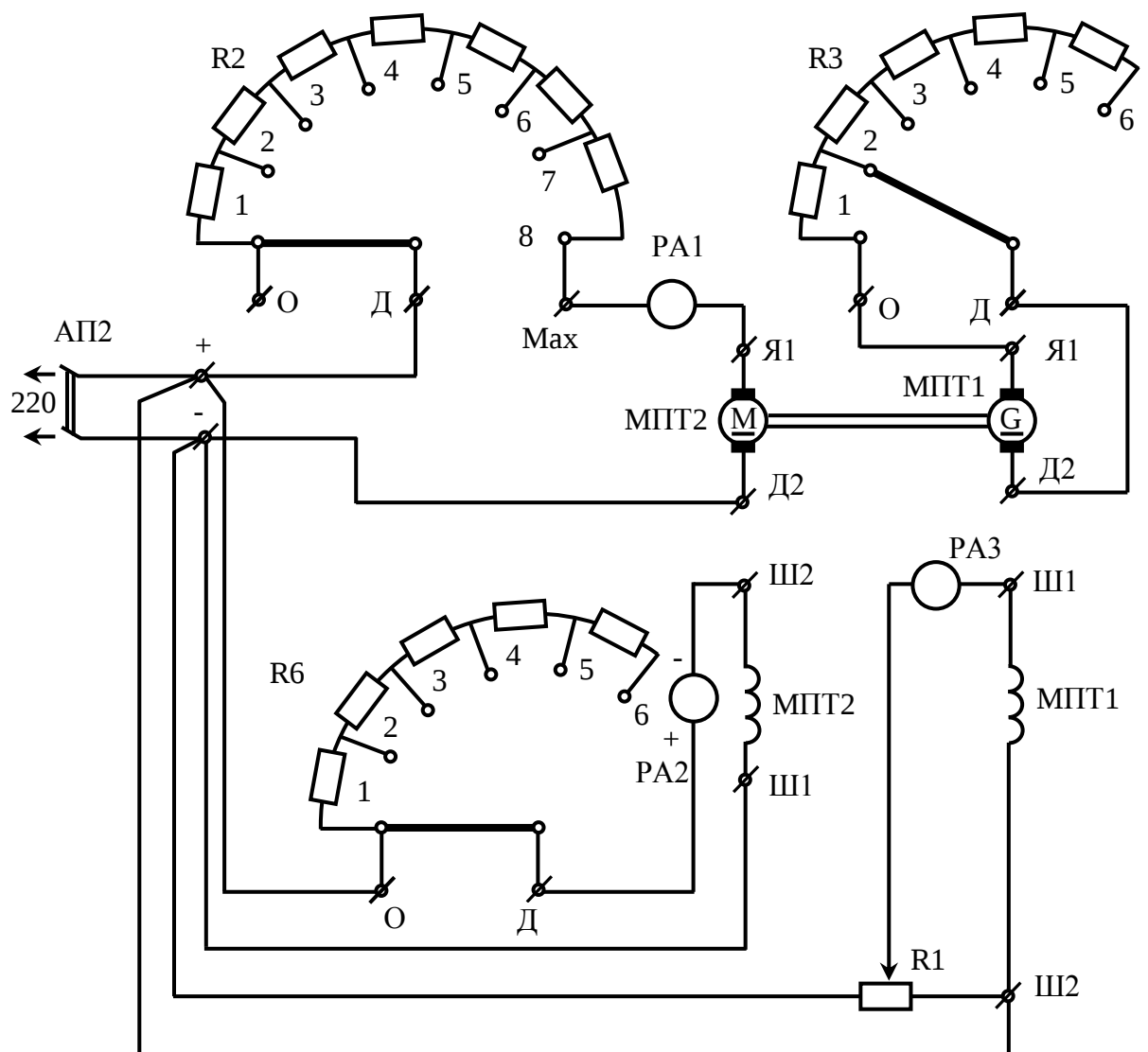
- на першому – електромеханічні характеристики: природну і дві штучних при зміні опору у колі якоря;
- на другому – електромеханічні: природну і дві штучних при зміні напруги якоря;
- на третьому – електромеханічні: природну і дві штучних при зміні опору в колі збудження. На кожній характеристиці вказати її жорсткість:

$$\beta = \frac{\Delta I_{\text{я}}}{\Delta \omega_{\text{я}}} . \quad (1.4)$$

Опис експериментальної установки

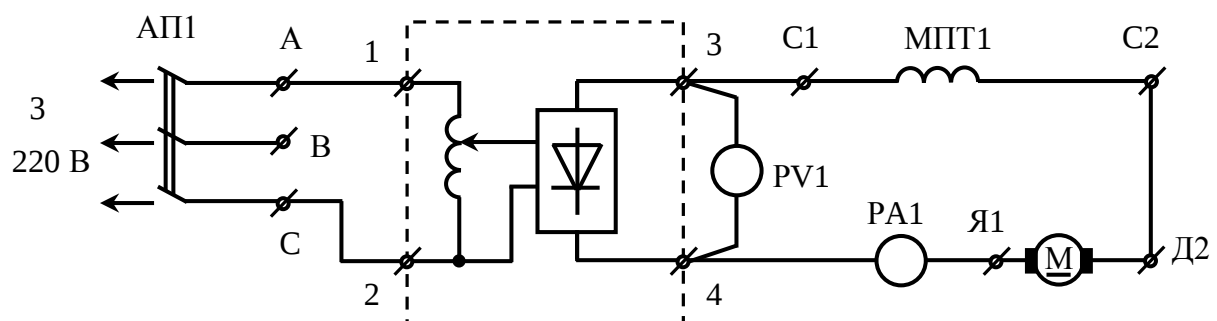
Електрична схема установки (рис. 1, а, б) складається з таких елементів: автоматичні вимикачі АП1 і АП2; поворотні перемикачі R2, R3, K6 ступенів опорів; амперметри РА1 на 10 А електромагнітної системи, вольтметр РV1 на 150 В електромагнітної системи; досліджуваний двигун МПТ1 і навантажувальний генератор МПТ2 з відповідними їм обмотками збудження – незалежною Ш1 і Ш2 і послідовною стабілізуючою С1 і С2; повзунковий реостат R1; регульований випрямляч УП.

Клеми всіх елементів з відповідними позначками знаходяться на горизонтальній та вертикальній панелях лабораторного стенда.



а)

УП



б)

Рисунок 1.1 – Схема експериментальної установки для визначення характеристик електропривода постійного струму:

а – при зміні опорів кіл якоря і збудження;

б – при зміні напруги якоря

Порядок виконання роботи

1. Монтаж електричної схеми

1.1. Знайти на лабораторному стенді всі елементи схеми, початкове положення яких таке: вимикачі АП1 і АП2 вимкнені; повзунок реостата R1 в правому крайньому, відповідно до схеми, положенні; перемикачі R2 в положенні 1, R6 в положенні 2, R6 в положенні 1; рукоятку автотрансформатора УП повернути проти годинникової стрілки до упора.

1.2. Монтаж схеми виконувати в такій послідовності: монтаж кола якоря МПТ1; монтаж кола збудження МПТ1; монтаж кіл якоря і збудження МПТ2. Змонтовану схему представити викладачеві для перевірки.

2. Визначення природної електромеханічної характеристики двигуна.

2.1. Ввімкнути вимикач АП2, з метою обмеження пускового струму поступово перевести перемикач R2 в положення 8, реалізуючи таким чином пуск двигуна в залежності від часу, а потім записати у таблицю 1.1 значення струму якоря, моменту і швидкості.

2.2. Переміщуючи повзунок реостата R1 в ліве за схемою положення, встановити на амперметрі РА1 значення струму від 0 до 5 А з кроком 1 А, записуючи відповідні значення швидкості і струму в табл. 1.1. Після закінчення дослідів повзунок реостата R1 повернути в початкове положення.

2.3. Схему залишити під напругою, тобто вимикач АП2 не вимикати.

3. Визначення електромеханічних характеристик при зміні опору в колі якоря.

3.1. Перевести перемикач R2 в положення 5 і записати значення струму якоря і швидкості в табл. 1.2.

3.2. Виконати дослід аналогічно п. 2.3.

3.3. Перевести перемикач R2 в положення 2, записати значення струму якоря і швидкості. Виконати дослід аналогічно п. 2.3.

3.4. Після закінчення дослідів перемикач R2 перевести в положення 1, повзунок реостата R1 перевести в початкове положення і вимкнути вимикач АП2.

4. Визначити механічні та електромеханічні характеристики при зміні струму збудження.

4.1. Перевести перемикач R6 в положення 2.

4.2. Виконати дії аналогічні п. п. 2.1., 2.2., 2.3, результати вимірів занести в табл. 1.3.

4.3. Перевести перемикач R6 в положення 3 і виконати дії аналогічно п. 4.2.

5. Визначити електромеханічні характеристики при зміні напруги якоря.

5.1. Вилучити із схеми перемикач R2 і змонтувати схему кола якоря МПТ1 згідно з рис. 1, б.

5.2. Першим обов'язково ввімкнути вимикач АП2 і тільки потім увімкнути вимикач АП1. Перемикач R3 поставити в положення 1.

5.3. Плавню повертаючи рукоятку регульованого випрямляча УП встановити на вольтметрі PV1 напругу якоря 50 В.

5.4. Виконати дії аналогічно п. 2.2. результати вимірів занести в табл. 1.4.

5.5. Не вимикаючи вимикачів АП1 і АП2, повторити дослід для напруги 100 В.

5.6. Після закінчення дослідів обов'язково першим вимикати вимикач АП1 і тільки потім вимкнути АП2.

Таблиця 1.1 – Результати вимірів при визначенні електромеханічної природної характеристики

Струм якоря $I_{я}$, А	2	3	4	5	6	7
Швидкість обертання n , об/хв.						

Таблиця 1.2 – Результати вимірів електромеханічної характеристики при зміні опору в колі якоря

Поло ження 5	Струм якоря $I_{я}$, А						
	Швидкість обертання n , об/хв.						
Поло ження 2	Струм Якоря $I_{я}$, А						
	Швидкість обертання n , об/хв.						

Таблиця 1.3 – Результати вимірів електромеханічної характеристики при зміні струму збудження

Поло ження 2	Струм якоря $I_{я}$, А						
	Швидкість обертання n , об/хв.						
Поло ження 3	Струм якоря $I_{я}$, А						
	Швидкість обертання n , об/хв.						

Таблиця 1.4 – Результати вимірів електромеханічної характеристики при зміні напруги якоря

Напруга $U=50\text{ В}$	Струм якоря $I_{\text{я}}, \text{ А}$						
	Швидкість обертання $n \text{ об/хв.}$						
Напруга $U=100\text{ В}$	Струм Якоря $I_{\text{я}}, \text{ А}$						
	Швидкість обертання $n \text{ об/хв.}$						

Запитання для самоконтролю

1. Обґрунтувати можливі способи регулювання швидкості двигуна постійного струму.
2. Визначити, який із способів регулювання швидкості має переваги над іншими за жорсткістю характеристик.
3. Пояснити, чому при збільшенні моменту навантаження на валу двигуна зменшується його швидкість.
4. Пояснити, яким чином в експериментальній установці створюється момент навантаження на валу досліджуваного двигуна.
5. Обґрунтувати, чому під час вмикання двигуна під напругу відбувається кидок струму якоря?
6. Обґрунтувати, чому при визначенні електромеханічних характеристик при зміні напруги якоря першим вмикають вимикач АП2, а потім АП1.
7. Під час роботи двигуна під номінальним навантаженням пропав струм збудження. Що буде з моментом двигуна і струмом якоря і чому?

Лабораторна робота 2

ЕЛЕКТРОПРИВОД ПОСТІЙНОГО СТРУМУ В ГАЛЬМІВНИХ РЕЖИМАХ

Метою роботи є визначення електромеханічних характеристик електропривода постійного струму в гальмівних режимах.

Основні теоретичні положення

Досить часто в сучасних електроприводах необхідно швидко й точно зупинити механізм або змінити напрямок його руху. Швидкість і точність, з якими будуть пророблені ці операції, у багатьох випадках визначають продуктивність механізму, а іноді і якість вироблюваного продукту.

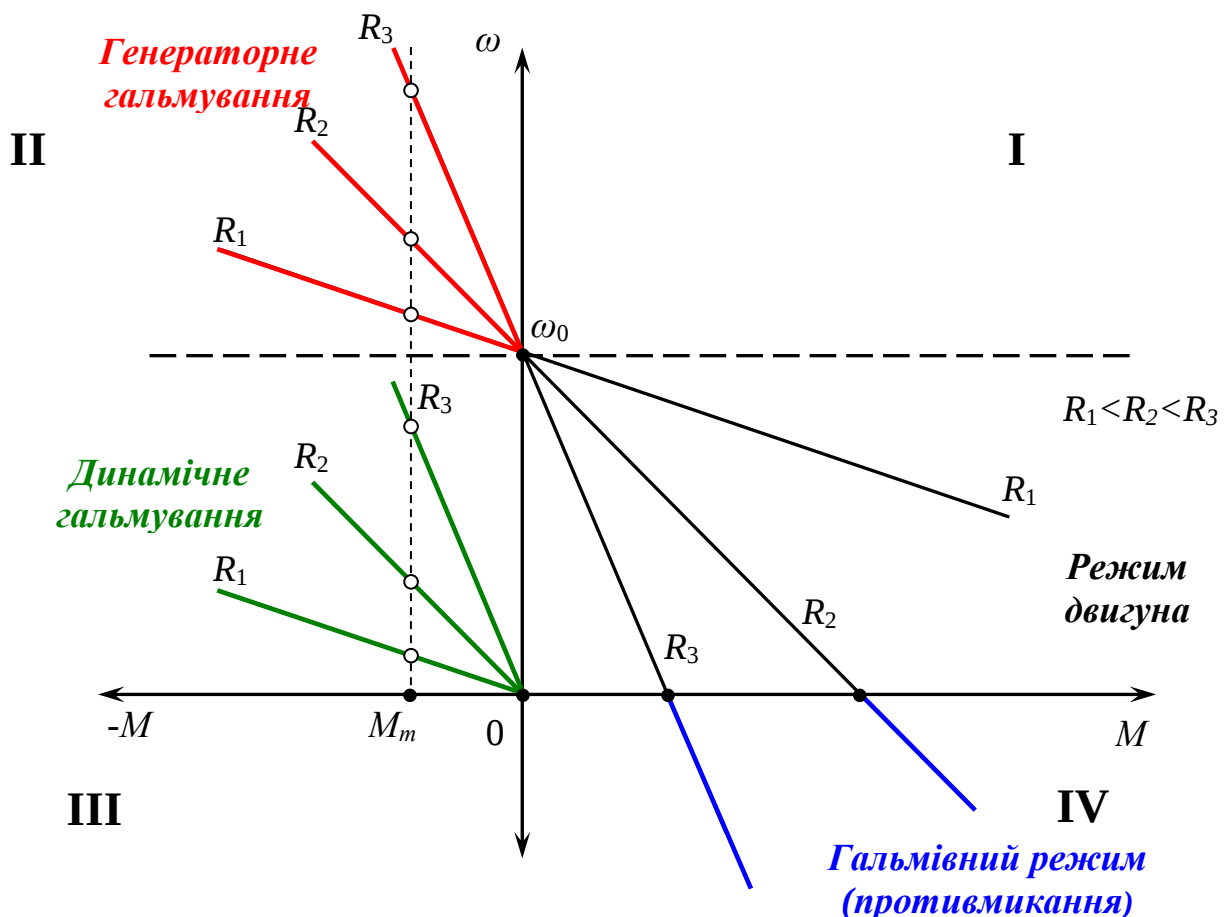


Рисунок 2.1 – Механічні характеристики двигуна постійного струму незалежного збудження при різних режимах роботи

Під час гальмування або зміни напрямку руху (реверса) електродвигун працює в гальмовому режимі на одній з механічних характеристик

відповідному здійснюваному способу гальмування. Графічне зображення механічних характеристик двигуна незалежного збудження для різних режимів роботи представлено на рис. 2.1. Тут, крім ділянки характеристик, що відповідають рушійному режиму (квадрант I), показані ділянки характеристик у квадрантах II й IV, що характеризують три можливих способи генераторного електричного гальмування, а саме:

- 1) гальмування з віддачею енергії в мережу (рекуперативне);
- 2) динамічне гальмування;
- 3) гальмування противмиканням.

Кожен гальмовий режим є генераторним, тому що енергія надходить у машину з вала, перетворюється в електричну й або віддається в мережу, або витрачається на нагрівання елементів якірного кола, які володіють активним опором, і розсіюється в навколишнє середовище.

Динамічне гальмування відбувається при відключенні якоря двигуна від мережі й замиканні його на резистор, тому іноді його називають реостатним гальмуванням. Обмотка збудження при цьому повинна залишатися приєднаною до мережі. Режим динамічного гальмування також відповідає роботі машини як генератор.

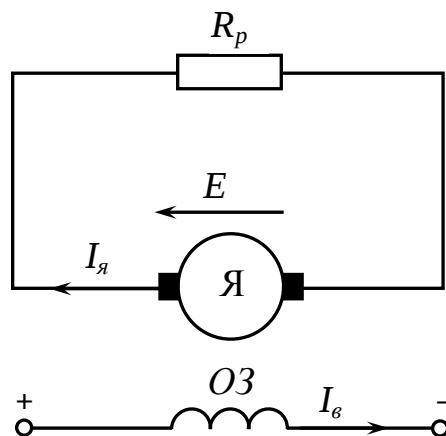


Рисунок 2.2 – Схема включення двигуна постійного струму незалежного збудження при динамічному гальмуванні

При динамічному гальмуванні, механічна енергія, що надходить із вала, у вигляді кінетичної енергії, запасеної у двигуні й механізмі, перетворюється в електричну. Однак ця енергія не віддається в мережу, а виділяється у вигляді теплоти в опорах ланцюга якоря.

Внаслідок того, що ЕРС двигуна зберігає при гальмуванні такий же знак, як й у руховому режимі, а напруга ззовні до якоря не прикладається, струм якоря визначається по формулі:

$$I = \frac{-E}{R}, \quad (2.1)$$

де R – опір якорного кола.

Гальмовий момент при динамічному гальмуванні, може бути виражений рівністю:

$$-M_m = k\Phi I = -k^2 \frac{\Phi^2}{R} \omega, \quad (2.2)$$

При $\Phi = \text{const}$ отримаємо:

$$\omega = M_m \frac{R}{c^2}. \quad (2.3)$$

Програма роботи

1. Виконати електричний монтаж схеми експериментальної установки.
2. За даними експериментів побудувати електромеханічні характеристики двигуна в динамічному режимі гальмування для трьох значень опору кола якоря.

Опис експериментальної установки

Електрична схема установки (рис. 2.3) складається з таких елементів: автоматичний вимикач АП2; досліджуваний двигун МПТ2 з обмоткою збудження Ш1 і Ш2, джерело механічної енергії двигун МПТ1 з обмотками збудження Ш1 і Ш2, С1 і С2, повзунковий реостат R1 і ступеневі реостати з перемикачами опорів R2, R3, амперметр РА1 електромагнітної системи на межу вимірювання 5 А.

Порядок виконання роботи

1. Знайти на лабораторному стенді всі елементи схеми, початкове положення яких таке: вимикач АП2 вимкнений; повзунок реостата R1 в правому крайньому, відповідно до схеми, положенні; перемикач R2 в положенні 3, R3 в положенні 1.
2. Змонтувати схему і представити викладачеві для перевірки.
3. Визначення електромеханічних характеристик в режимі динамічного гальмування.

Поставити перемикач R3 в положення 5, а перемикач R2 в положення 1. Ввімкнути АП2. Записати покази стуму якоря і швидкості двигуна МПТ2 в табл. 2.1.

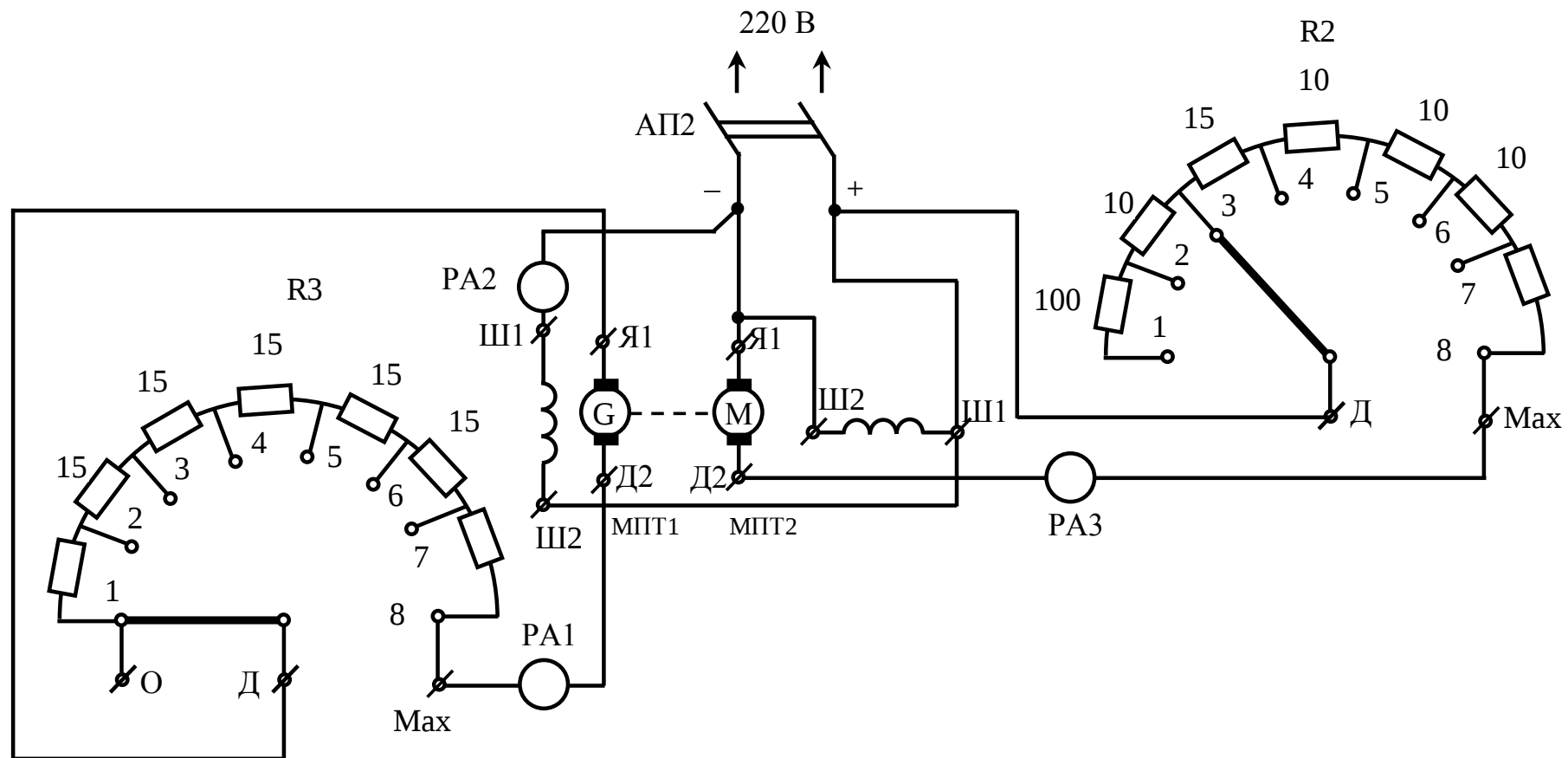


Рисунок 2.3 – Схема експериментальної установки для дослідження електропривода постійного струму в гальмівних режимах

Таблиця 2.1 – Результати вимірів електромеханічної характеристики в режимі динамічного гальмування

Перемикач R3 в положенні 5	Струм якоря $I_{\text{я}}$, А						
	Швидкість обертання n , об/хв.						
Перемикач R3 в положенні 6	Струм якоря $I_{\text{я}}$, А						
	Швидкість обертання n , об/хв.						
Перемикач R3 в положенні 7	Струм якоря $I_{\text{я}}$, А						
	Швидкість обертання n , об/хв.						

Перемикаючи R2 в положення 2-8 записувати покази струму з кроком 1А до 6А та покази швидкості при цьому в табл. 2.1. Поставити перемикач R3 почергово в положення 6 і 7 і провести дослід згідно з п. 3.1; 3.2.

Запитання для самоконтролю

1. Пояснити, в яких випадках двигун постійного струму незалежного збудження може перейти в режим рекуперативного гальмування та в режим гальмування противмиканням?
2. У чому полягає фізична суть режиму динамічного гальмування?
3. Чому в режимі динамічного гальмування гальмівний момент двигуна зменшується із зменшенням швидкості?
4. Чому в режимі противмикання гальмівний момент збільшується із збільшенням швидкості?
5. Порівняти переваги і недоліки режимів противмикання і динамічного гальмування.
6. Чому при збільшенні опору в колі якоря гальмівні моменти зменшуються?
7. Написати рівняння електричної рівноваги двигуна для відповідних режимів і пояснити їх фізичну суть.

Лабораторна робота 3

АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД З РЕГУЛЯТОРОМ НАПРУГИ СТАТОРА

Метою роботи є визначення електромеханічних характеристик асинхронного електропривода з регулятором напруги на обмотках статора.

Основні теоретичні положення

Трифазний АД має обмотку статора, що підключається до трифазної мережі змінного струму з напругою U_1 і частотою f_1 і обмотку ротора, що може бути виконана за двома варіантами (рис. 3.1).

Перший варіант передбачає виконання звичайної трифазної обмотки з провідників з виводами на три контактних кільця. Така конструкція відповідає АД з фазним ротором (рис. 3.1. а) і дозволяє включати в роторне коло різні електротехнічні елементи, наприклад резистори, для регулювання швидкості, струму і моменту ЕП і створювати з тією ж метою спеціальні схеми включення АД. Інший вид обмотки одержують заливанням алюмінію в пази ротора, у результаті чого утвориться конструкція, відома під назвою «біляча клітка». Схема АД з такою обмоткою, яка не має виводів і отримала назву короткозамкнута, представлена на рис. 3.1. б.

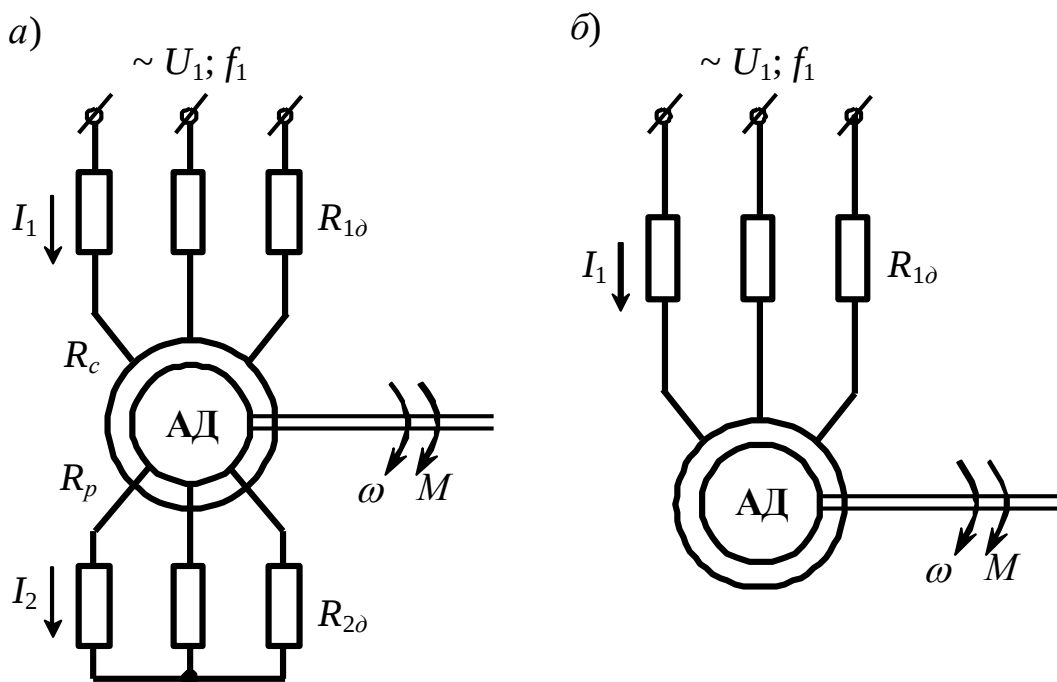


Рисунок 3.1 – Схема включення АД с фазним ротором (а)
і з коротко замкнутим ротором (б)

Для отримання виразів для електромеханічної і механічної характеристик АД використовується його схема заміщення, на якій коло статора і ротора представлені своїми активними й індуктивними опорами. Особливість схеми заміщення АД полягає в тому, що струм, ЕРС і параметри кола ротора перераховані (приведені) до кола статора, що і дозволяє зобразити ці два кола на схемі з'єднаними електрично, хоча в дійсності зв'язок між ними здійснюється через електромагнітне поле.

Приведення здійснюється за допомогою коефіцієнта трансформації АД за ЕРС:

$$k = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{0,95U_{\phi.ном}}{E_{2k}}, \quad (3.1)$$

де E_1 і E_2 – фазні ЕРС статори і ротора при нерухомому роторі;

$U_{\phi.ном}$ – фазна номінальна напруга мережі.

Розрахункові формули приведення мають такий вигляд:

$$E'_2 = E_2 k = E_1; \quad I'_2 = \frac{I_2}{k}; \quad R'_2 = R_2 k^2 \quad X'_2 = X_2 k^2, \quad (3.2)$$

де штрихом позначені приведені значення.

У теорії електричних машин розроблені і застосовуються дві основні схеми заміщення АД: більш точна Т-подібна і спрощена П-подібна. На рис. 3.2 представлено П-подібну схему заміщення, що надалі і використовується при виведенні формул для характеристик АД.

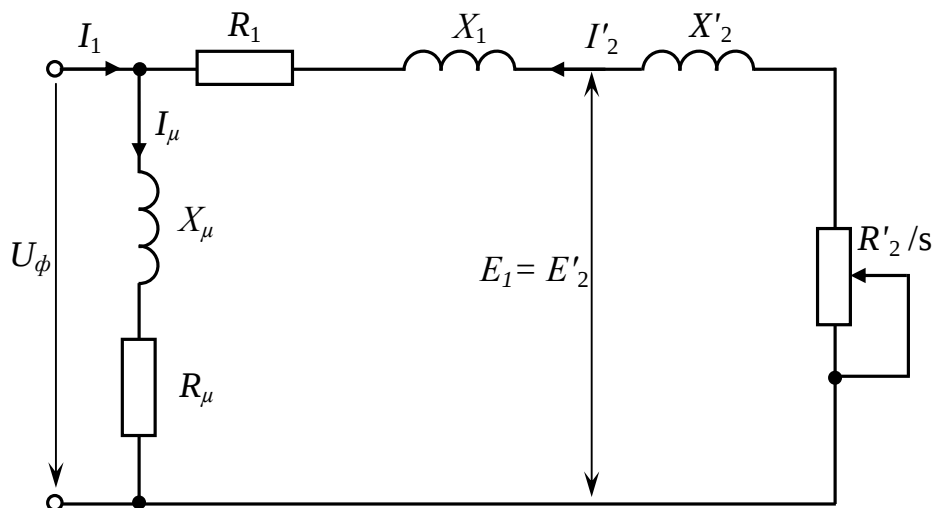


Рисунок 3.2 – Схема заміщення АД

На схемах (рис. 3.1 та рис. 3.2) прийняті такі позначення:

U_1, U_ϕ – діючі значення лінійної і фазної напруги мережі;

I_1, I_μ, I'_2 – фазні струми статора, намагнічування і приведений струм ротора;

X_1, X'_2 – індуктивні опори від потоків розсіювання фази обмотки статора і приведеної фази ротора;

X_μ – індуктивний опір контуру намагнічування;

R_μ – активний опір контуру намагнічування;

$R_c, R_{1\sigma}, R_1 = R_c + R_{1\sigma}$ – активні фазні опори обмотки статора, додаткового резистора і сумарний опір статора;

$R'_p, R'_{2\sigma}, R'_2 = R'_p + R'_{2\sigma}$ – активні приведені до обмотки статора фазні опори обмотки ротора, додаткового резистора і сумарний опір ротора;

$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}$ – ковзання АД;

$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p}$ – кутова швидкість магнітного поля АД (швидкість ідеального

холостого ходу);

f_1 – частота живильної напруги;

p – число пар полюсів АД.

Як видно зі схеми, ЕРС статора дорівнює приведеній ЕРС ротора, а струм намагнічування I_μ , який визначає магнітний потік АД, протікає під дією U_ϕ за визначеним колом, що складається з опорів контуру намагнічування X_μ і R_μ , і являє собою векторну суму струмів статора і приведеного роторного, тобто $I_\mu = I_1 + I'_2$.

Відповідно до приведеної схеми заміщення можна отримати вираз для вторинного струму:

$$I'_2 = \frac{U_\phi}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X'_2)^2}}. \quad (3.3)$$

Момент асинхронного двигуна може бути визначений з виразу втрат, звідки:

$$M = \frac{3(I'_2)^2 R'_2}{\omega_0 s}. \quad (3.4)$$

Підставляючи значення струму I'_2 в (3.4), одержуємо:

$$M = \frac{3U_{\phi}^2 R'_2}{\omega_0 \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + (X_1 + X'_2)^2 \right] s}, \quad (3.5)$$

Крива моменту $M = f(s)$ має два максимуми: один – в генераторному режимі, інший – в режимі двигуна (при значних опорах роторного кола максимум моменту може опинитися в режимі гальмування протитовмиканням.).

Прирівнюючи, визначаємо значення критичного ковзання $s_{кр}$, при якому двигун розвиває максимальний (критичний) момент:

$$s_{кр} = \pm \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2}}. \quad (3.6)$$

Підставляючи значення $s_{кр}$ в (3.5), знаходимо вираз для максимального моменту:

$$M_{кр} = \frac{3U_{\phi}^2}{2\omega_0 \left[R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2} \right]}. \quad (3.7)$$

Знак “+” в рівності (3.6) і (3.7) відноситься до режиму двигуна (або гальмуванню протитовмиканням), знак “–” до генераторного режиму роботи паралельно з мережею (при $\omega > \omega_0$).

Якщо вираз (3.5) розділити на (3.7) і провести відповідні перетворення, то можна отримати:

$$M = \frac{2M_{кр} (1 + as_{кр})}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s} + 2as_{кр}}, \quad (3.8)$$

де $M_{кр}$ – максимальний момент двигуна;

$s_{кр}$ – критичне ковзання, відповідне максимальному моменту;

$$a = \frac{R_1}{R'_2}.$$

Тут слід підкреслити дуже важливу для практики обставину – вплив зміни напруги мережі на механічні характеристики АД. Як видно з (3.6), при

даному ковзанні момент двигуна пропорційний квадрату напруги, тому двигун цього типа чутливий до коливань напруги мережі.

Механічні характеристики асинхронного двигуна

Критичне ковзання і кутова швидкість ідеального холостого ходу не залежать від напруги.

На рис. 3 приведена механічна характеристика АД.

Її характерні точки:

1) $s = 0$; $M = 0$, при цьому швидкість двигуна дорівнює синхронній;
 2) $s = s_{ном}$; $M = M_{ном}$, що відповідає номінальній швидкості і номінальному моменту;

3) $s = s_{кр}$; $M = M_{кр,д}$ – максимальний момент в режимі двигуна;

4) $s = 1,0$; $M = M_{II} = \frac{2M_{кр}(1 + as_{кр})s_{кр}}{1 + s_{кр}^2(1 + 2a)}$ – початковий пусковий момент;

5) $s = -s_{кр}$; $M = M_{кр,г}$ – максимальний момент в генераторному режимі роботи паралельно з мережею.

При $s > 1,0$ двигун працює в режимі гальмування протидіюванню, при $s < 0$ має місце генераторний режим роботи паралельно з мережею (рекуперативного гальмування).

Необхідно підкреслити, що абсолютні значення в режимі двигуна і генераторному паралельно з мережею однакові.

Проте з (3.7) витікає, що максимальні моменти в режимі двигуна і генераторному режимі різні. У генераторному режимі роботи паралельно з мережею максимальний момент по абсолютному значенню більше, що виходить із співвідношення:

$$M_{кр,г} = M_{кр,д} \frac{R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_\kappa^2}}{R_1 - \sqrt{R_1^2 + X_\kappa^2}}, \quad (3.9)$$

де $X_\kappa = X_1 + X_2'$.

Якщо в рівнянні (3.8) нехтувати активним опором статора, то вийде формула, зручніша для розрахунків:

$$M = \frac{2M_{кр}}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s}}, \quad (3.10)$$

$$\text{де } s_{кр} = \pm \frac{R'_2}{X_K}; M_{кр} = \frac{3U_\phi^2}{2\omega_0 X_K}.$$

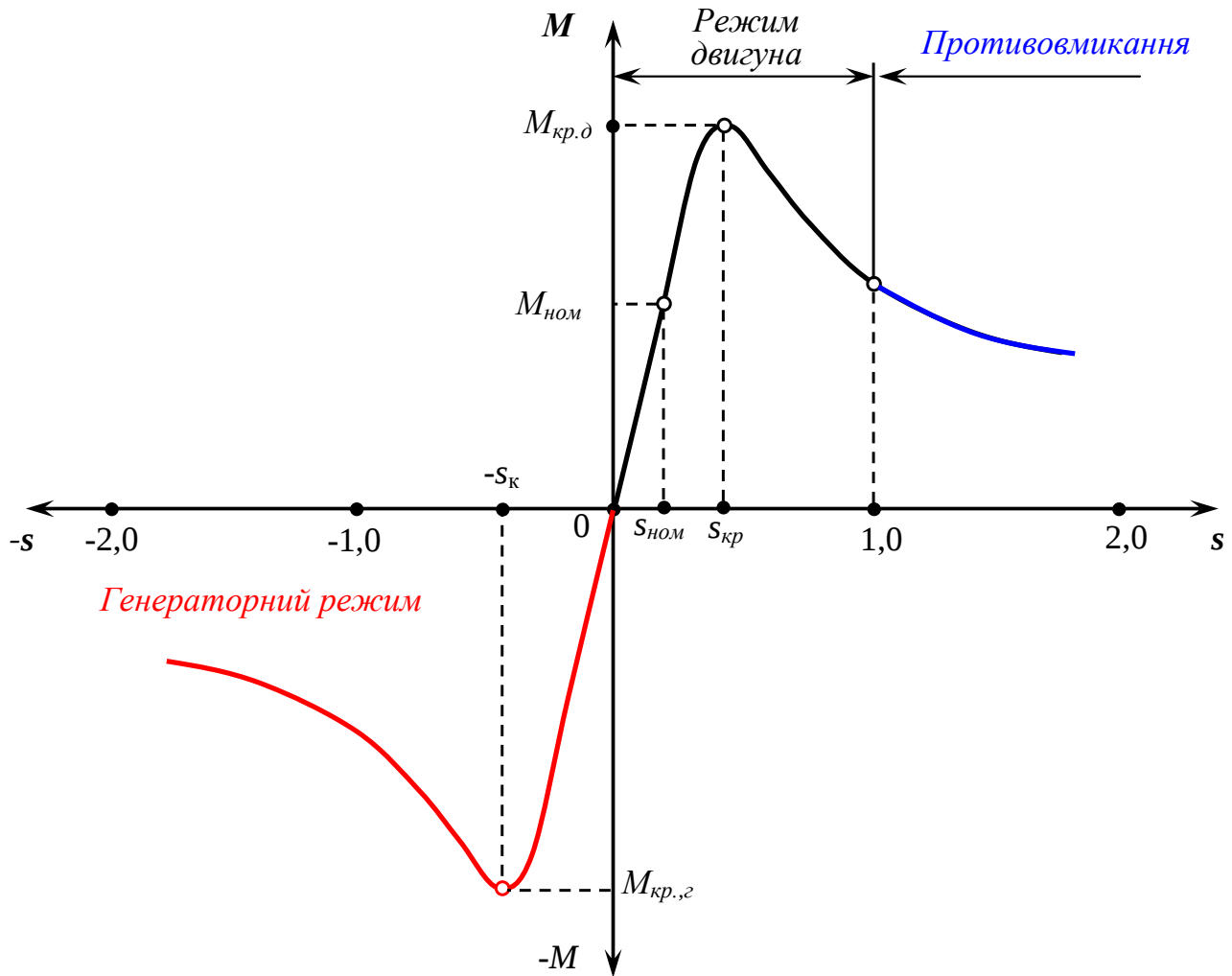


Рисунок 3.3 – Механічна характеристика асинхронного двигуна

Підставивши у вираз (3.10) замість поточних значень M і s їх номінальні значення і позначивши кратність максимального моменту $\frac{M_{кр}}{M_{ном}}$ через λ – перевантажувальна здатність, отримаємо:

$$s_{кр} = s_{ном} \left(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1} \right). \quad (3.11)$$

Аналіз формули (3.10) показує, що при $s > s_{кр}$ (неробоча частина характеристики) вийде рівняння гіперболи, якщо в цьому випадку нехтувати другим членом знаменника в рівнянні (3.10), тобто:

$$M = 2M_{кр} \frac{s_{кр}}{s}, \quad (3.12)$$

або

$$M = A/s, \quad (3.13)$$

де $A = 2M_{кр}s_{кр}$.

Ця частина характеристики практично відповідає лише пусковим і гальмівним режимам.

При малих значеннях ковзання ($s < s_{кр}$) для $M = f(s)$ вийде рівняння прямої, якщо нехтувати першим членом в знаменнику (3.10):

$$M = 2M_{кр} \frac{s}{s_{кр}}, \quad (3.14)$$

або

$$M = B \cdot s, \quad (3.15)$$

де $B = \frac{2M_{кр}}{s_{кр}}$.

Ця лінійна частина характеристики, є її робочою частиною, на якій двигун працює в сталому режимі. На цій же частині характеристики знаходяться точки, відповідні номінальним даним двигуна: $M_{ном}$, $I_{ном}$, $n_{ном}$, $s_{ном}$.

Статичне падіння (перепад) швидкості у відносних одиницях на природній механічній характеристиці асинхронного двигуна при номінальному моменті визначається його номінальним ковзанням.

Величина номінального ковзання залежить від опору ротора. Найменшим номінальним ковзанням при однаковій потужності і числі полюсів володіють звичайно двигуни з короткозамкнутим ротором нормального виконання. У цих двигунів через конструктивні особливості опір ротора має відносно невелике значення, що веде до зменшення значень критичного ковзання $s_{кр}$ (3.6) і номінального ковзання $s_{ном}$. З тих же причин при збільшенні потужності двигуна зменшується його номінальне ковзання і росте жорсткість власної механічної характеристики. Останнє ілюструється кривий рис. 3.4, побудованої за середніми даними для двигунів різної потужності.

Величина критичного моменту, як це видно з (3.7), не залежить від

активного опору ротора, критичне ж ковзання згідно (3.6) збільшується у міру збільшення опору ротора. Внаслідок цього у двигунів з фазним ротором при введенні резисторів в коло ротора максимум кривої моменту зміщується у бік великих ковзань.

Значення опору, необхідне для побудови природної і реостатних характеристик двигуна з фазним ротором, визначається з виразу:

$$R_2 = \frac{s_{ном} E_{2к}}{\sqrt{3} I_{2ном}}, \quad (3.16)$$

де $E_{2к}, I_{2ном}$ – лінійна напруга при нерухомому роторі і номінальний струм ротора.

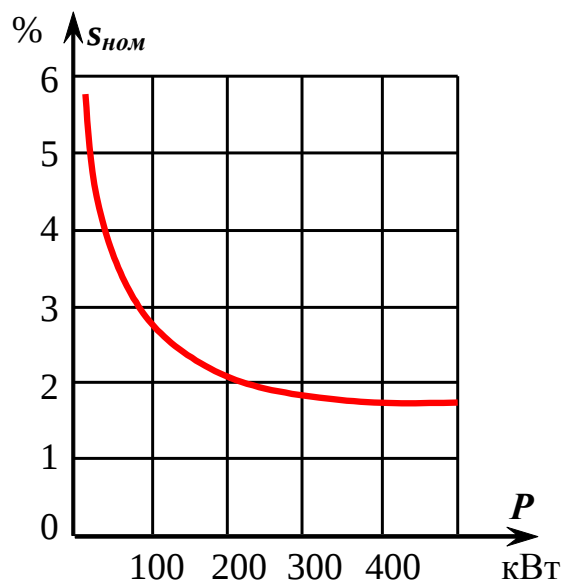


Рисунок 3.4 – Крива номінального ковзання для АД різної потужності

Програма роботи

1. Виконати електричний монтаж схеми експериментальної установки.
2. Виконати експерименти щодо визначення електромеханічних характеристик двигуна для трьох значень фазної напруги на статорі: 80, 120, 220 В.
3. За даними експериментів побудувати графік: на першому - механічні характеристики двигуна для трьох значень напруги статора.

Опис експериментальної установки

Електрична схема установки (рис. 3.5) складається з таких елементів: автоматичні вимикачі АП1 і АП2; лабораторні автотрансформатори АТ1,

АТ2, АТ3; досліджуваний асинхронний двигун АД із статорними обмотками С1, С2, С3, С4, С5, С6; амперметр РА1 електромагнітної системи із межею вимірювання 10 А; вольтметр РV1 електромагнітної системи з межею вимірювання напруги 300 В; генератор МПТ1 постійного струму з незалежною обмоткою збудження Ш1, Ш2; повзунковий реостат R1 і ступеневий реостат з перемикачем опорів R3.

Порядок виконання роботи

1. Знайти на лабораторному стенді всі елементи схеми, початкове положення яких таке: вимикачі АП1 і АП2 вимкнені; рукоятки автотрансформаторів повернуті проти годинникової стрілки до упора; повзунок реостата R1 в правому крайньому положенні; перемикач R3 в положенні 2.

2. Монтаж схеми виконувати в такій послідовності: скласти схему кола автотрансформаторів АТ1, АТ2, АТ3 і вольтметра РV1; потім - схеми кіл якоря і збудження навантажувального генератора МПТ1, далі з'єднати клеми С4, С5, С6 статора двигуна.

3. Змонтовану схему представити для перевірки викладачеві.

4. Ввімкнути вимикач АП1. Лівою рукою вільний провід від вольтметра РV1 притулити до клеми повзунка автотрансформатора АТ1, а правою рукою, плавно повертаючи рукоятку АТ1 за годинниковою стрілкою, встановити напругу 80 В у фазі А. Аналогічно встановити таку ж напругу у фазах В і С. Вимкнути АП1.

5. З'єднати клеми С1, С2 і С3 через амперметр РА1 з клемми повзунків відповідних автотрансформаторів АТ1, АТ2, АТ3. Ввімкнути вмикач АП1. Після закінчення пуску двигуна записати в таблицю 3.1 значення швидкості, струму двигуна.

6. Ввімкнути вимикач АП2. Плавно переміщуючи повзунок реостата R1 в ліве за схемою положення, встановити стум статора з кроком 1А, та записати в таблицю значення струму і швидкості. При певному положенні повзунка реостата R1 момент навантаження досягає значення критичного (максимального) моменту двигуна.

Таблиця 3.1 – Результати вимірів електромеханічної характеристики при зміні напруги статора

Напруга статора 80 В		Напруга статора 120 В		Напруга статора 220 В	
Струм статора, А	Швидкість обертання n , об/хв.	Струм статора, А	Швидкість обертання n , об/хв.	Струм статора, А	Швидкість обертання n , об/хв.

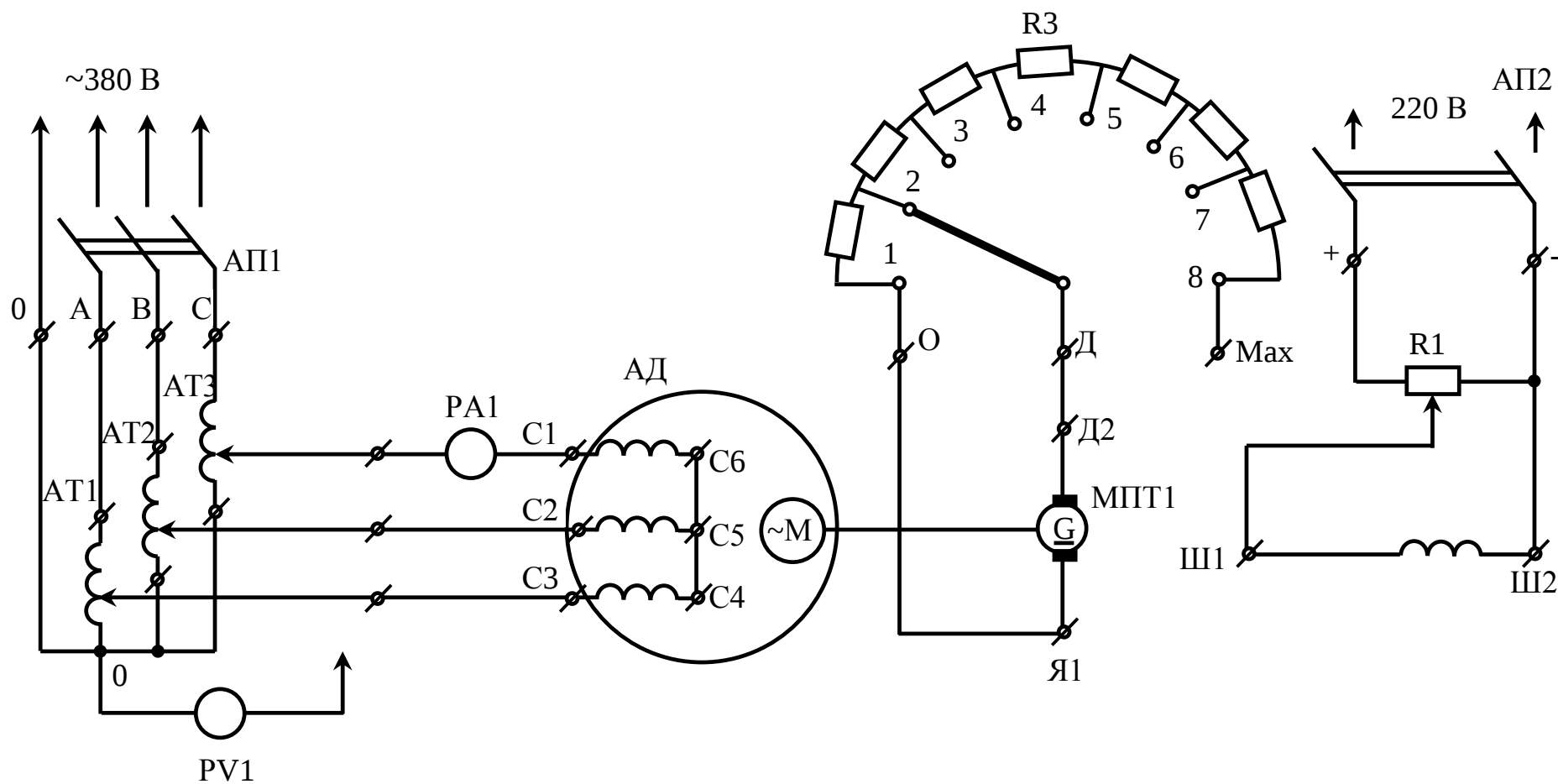


Рисунок 3.5 – Схема експериментальної установки для дослідження характеристик асинхронного електропривода

Швидкість і момент двигуна після цього починають поступово зменшуватися, причому достатньо повільно, щоб встигати записувати значення швидкості та струму, доки вони досягнуть усталеного значення, і після закінчення дослідів повзунок реостата R1 перевести у праве крайнє положення, а вимикачі АП1, АП2 не вимикати.

7. Встановити напругу, на повзунках автотрансформаторів 120 і 220 В аналогічно п. 3, повторити дослід аналогічно п. 6, і записати значення швидкості, струму в табл. 3.1.

8. Вимкнути вимикачі АП1, АП2. Показати результати експериментів викладачеві і з його дозволу розібрати схему.

Питання для самоконтролю

1. Вказати на природній механічній характеристиці двигуна характерні точки: критичне ковзання, пусковий, критичний і номінальний моменти.

2. Пояснити принцип дії асинхронного двигуна.

3. Обґрунтувати, чому пусковий струм в 5-7 разів перевищує номінальний?

4. В якій залежності знаходиться критичний момент двигуна від напруги на статорі?

5. Що спільного у принципі дії між асинхронним двигуном і трансформатором?

6. Чому при збільшенні навантаження на валу швидкість двигуна зменшується?

Лабораторна робота 4

АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД У РЕЖИМІ ДИНАМІЧНОГО ГАЛЬМУВАННЯ

Метою роботи є визначення за даними експериментів ефективності схем динамічного гальмування асинхронного двигуна.

Основні теоретичні положення

Динамічне гальмування асинхронного двигуна здійснюється звичайно включенням обмотки статора на мережу постійного струму; обмотка ротора при цьому замикається на зовнішні резистори. Для переходу з режиму двигуна в режим динамічного гальмування перемикач Q (рис. 4.1) відключає статор від мережі змінного струму і приєднує обмотку статора до мережі постійного струму. Для обмеження струму і отримання різних гальмівних характеристик в колі ротора передбачені зовнішні резистори.

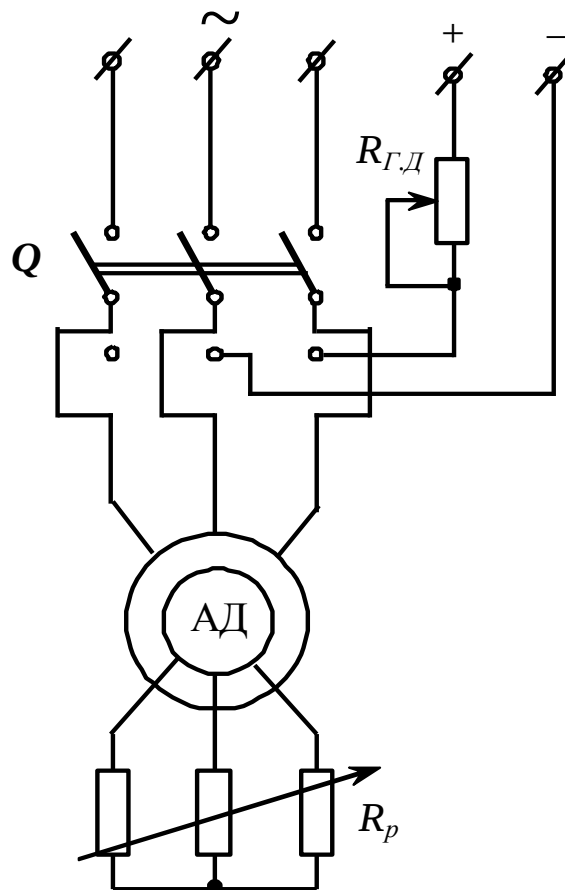


Рисунок 4.1 – Принципова схема динамічного гальмування

Проходячи по обмотці статора, постійний струм утворює нерухоме

поле, основна хвиля якого дає синусоїдальний розподіл індукції. У роторі, що обертається, виникає змінний струм, що створює своє поле, яке також нерухомо щодо статора. В результаті взаємодії сумарною магнітного потоку із струмом ротора виникає гальмівний момент, який залежить від намагнічуючої сили (НС) статора, опору ротора і кутової швидкості двигуна.

Механічні характеристики для цього режиму приведені в нижній частині квадранта II (див. рис. 4.2). Вони проходять через початок координат, оскільки при кутовій швидкості, рівній нулю, гальмівний момент в цьому режимі також рівний нулю. Максимальний момент пропорційний квадрату прикладеної до статора напруги (якщо нехтувати насиченням) і зростає із зростанням напруги. Критичне ковзання залежить від опору роторного кола. Воно збільшується пропорційно зростанню опору. Максимальний момент при цьому не змінюється. На рис. 4.2 характеристики динамічного гальмування приведені для трьох різних опорів кола ротора і одному і тому ж струму статора.

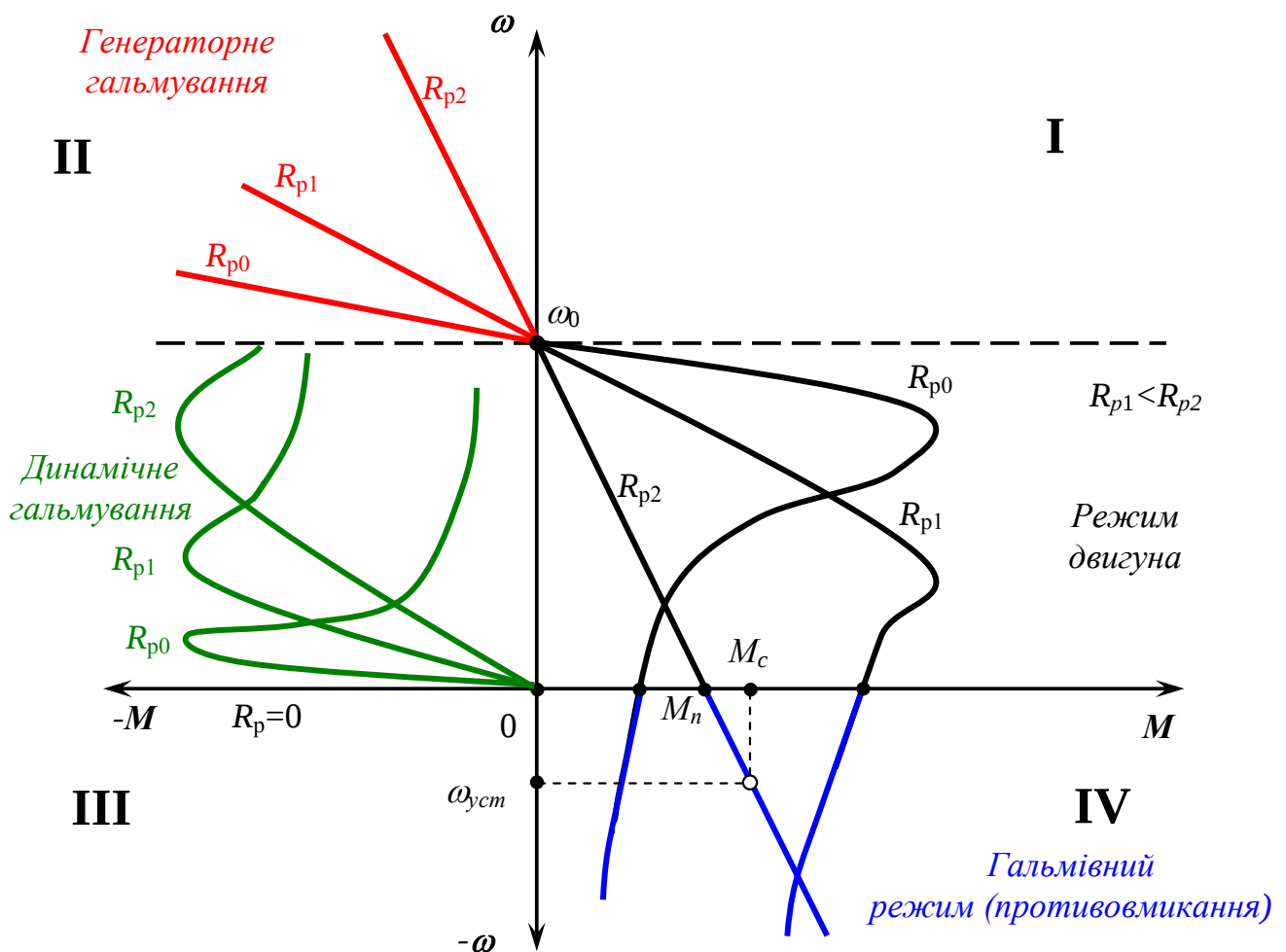


Рисунок 4.2 – Механічні характеристики асинхронного двигуна для різних його режимів роботи

На рис. 4.3, представлені різні схеми включення обмоток статора при живленні їх від джерел постійного струму. У схемах на рис. 4.3, в, д, е навантаження всіх фаз обмотки статора рівномірне, проте схема перемикавання статора складна. Простішими, часто вживаними на практиці є схеми на рис. 4.3, а, г.

Живлення обмоток статора АД при здійсненні динамічного гальмування може проводитися від мережі змінного струму через напівпровідниковий випрямляч Q, як це показано на рис. 4.4.

Аналіз роботи АД в режимі динамічного гальмування доцільно провести, вважаючи, що статор живиться не постійним, а еквівалентним трифазним змінним струмом $I_{екв}$. Ця заміна припускає рівність НС, створених постійним струмом і еквівалентним змінним струмом. Амплітуда НС, створюваної змінним струмом визначається:

$$F = \frac{3\sqrt{2}}{2} I_{екв} \omega_1, \quad (4.1)$$

де ω_1 – число послідовно з'єднаних витків фази статора.

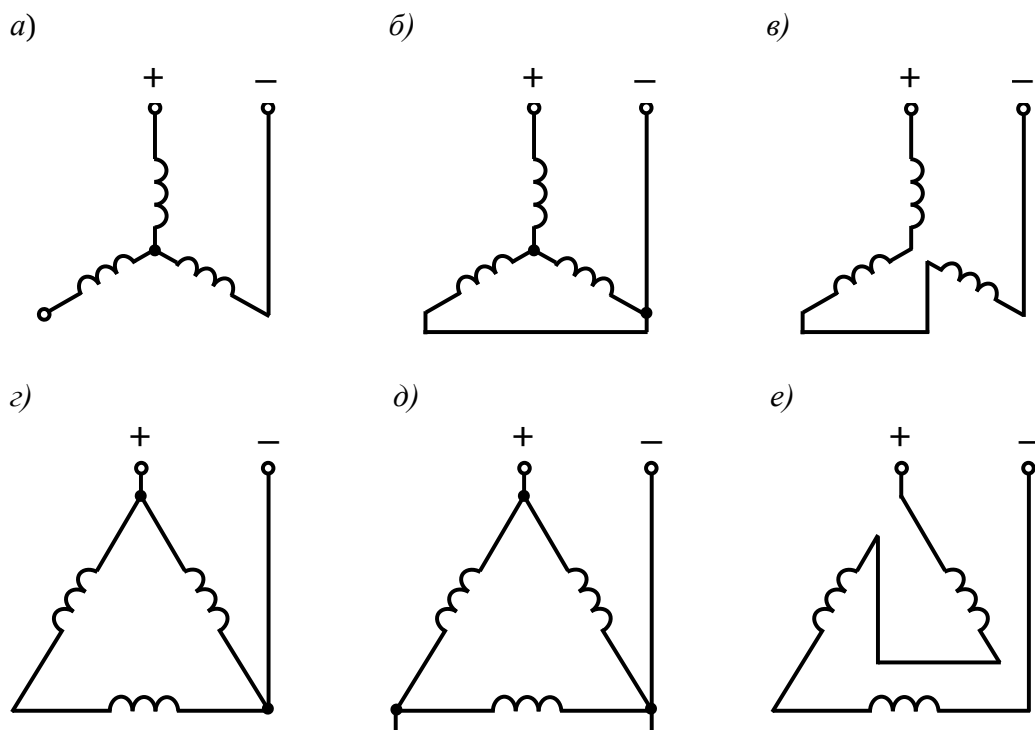


Рисунок 4.3 – Схеми включення обмоток статора при динамічному гальмуванні асинхронного двигуна

НС, яка створювана постійним струмом, пропорційна величині постійного струму, числу витків фази статора і залежить від схеми з'єднання.

Наприклад, при з'єднанні статора в зірку і проходженні постійного струму тільки по двом фазам (рис. 4.3) НС постійного струму, визначається геометричною сумою НС двох фаз, рівна:

$$F = \sqrt{3}I_H\omega_1. \quad (4.2)$$

Виходячи з рівності, визначають значення еквівалентного змінного струму для даного випадку:

$$I_{\text{экв}} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} I_{\Pi}. \quad (4.3)$$

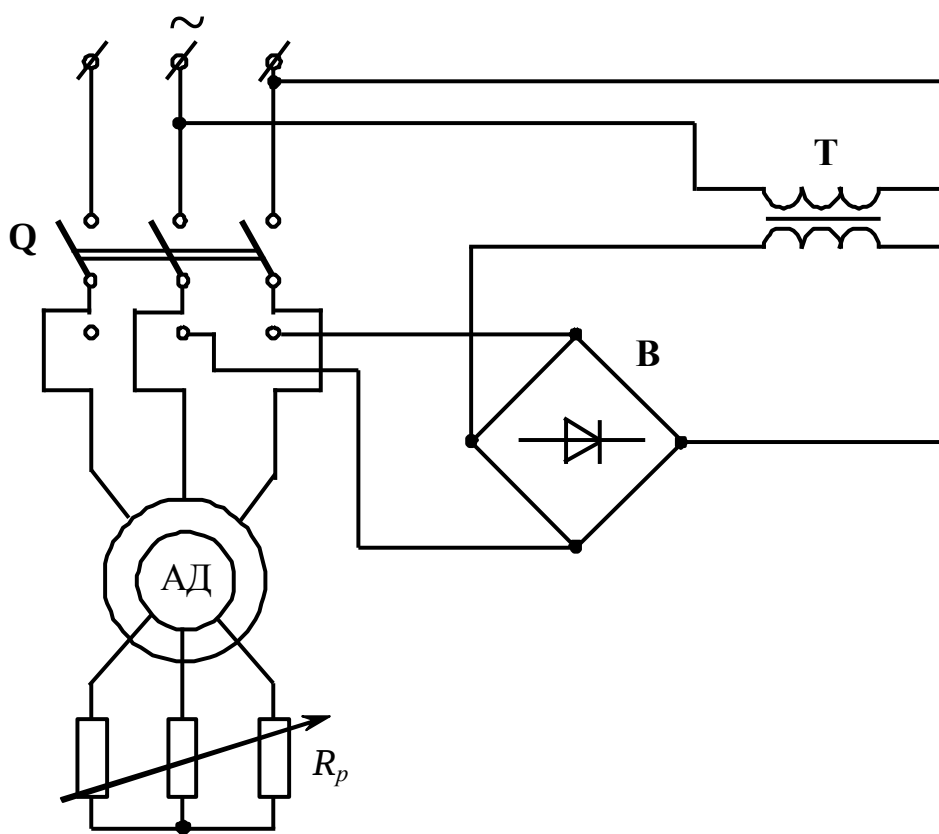


Рисунок 4.4 – Схема включення АД в мережу змінного струму з використанням напівпровідникового випрямляча при динамічному гальмуванні

Програма роботи

1. Виконати електричний монтаж схеми експериментальної установки та п'яти варіантів схем динамічного гальмування двигуна. Для кожної із схем динамічного гальмування провести експерименти щодо визначення електромеханічних характеристик.
2. За даними експериментів побудувати в одній системі координат

електромеханічні характеристики гальмівного режиму двигуна для п'яти варіантів схем вмикання обмоток статора.

Опис експериментальної установки

Електрична схема установки (рис. 4.5) складається з таких елементів: автоматичні вимикачі АП1 і АП2; регульований випрямляч УП; досліджуваний асинхронний двигун АД із статорними обмотками С1-С4, С2-С5, С3-С6, схеми включення яких для реалізації режиму динамічного гальмування представлені на рис. 4.6; двигун постійного струму МПТ1 з обмотками збудження: паралельною Ш1-Ш2 і послідовною стабілізуючою С1-С2; амперметр електромагнітної системи РА1 на межу вимірювань 5 А; повзунковий реостат R1 і ступеневий реостат з перемикачем опорів R2, амперметр РА2 на межу виміру 10А.

Порядок виконання роботи

1. Знайти на лабораторному стенді всі елементи схеми, початкове положення яких таке: вимикачі АП1 і АП2 вимкнені; рукоятку автотрансформатора УП повернути проти годинникової стрілки до упора; перемикач R2. в положенні 3.

2. Електромонтаж схеми установки виконати в такій послідовності: монтаж кола обмотки С1-С4 статора асинхронного двигуна; монтаж кола якоря двигуна МПТ1, а потім кола його обмотки збудження.

3. Змонтовану схему представити викладачеві для перевірки.

4. Ввімкнути вимикач АП1 і, плавно повертаючи рукоятку автотрансформатора УП за годинниковою стрілкою, встановити на амперметрі РА1 струм величиною 4 А.

5. Ввімкнути вимикач АП2 і, переміщуючи повзунок реостата R1 у ліве за схемою положення, встановити за амперметром РА2 стум з кроком 1А до 6А. Записати значення стуму і швидкості в табл. 4.1.

6. Вимкнути вимикачі АП1, АП2, рукоятку автотрансформатора УП повернути проти годинникової стрілки до упора, повзунок реостата R1 перевести у крайнє праве положення.

7. Далі по черзі змонтувати інші чотири варіанти схеми динамічного гальмування, що наведені на рис. 4.2, і провести аналогічні дослід згідно з п.5.

8. Показати результати дослідів викладачеві і з його дозволу розібрати схему.

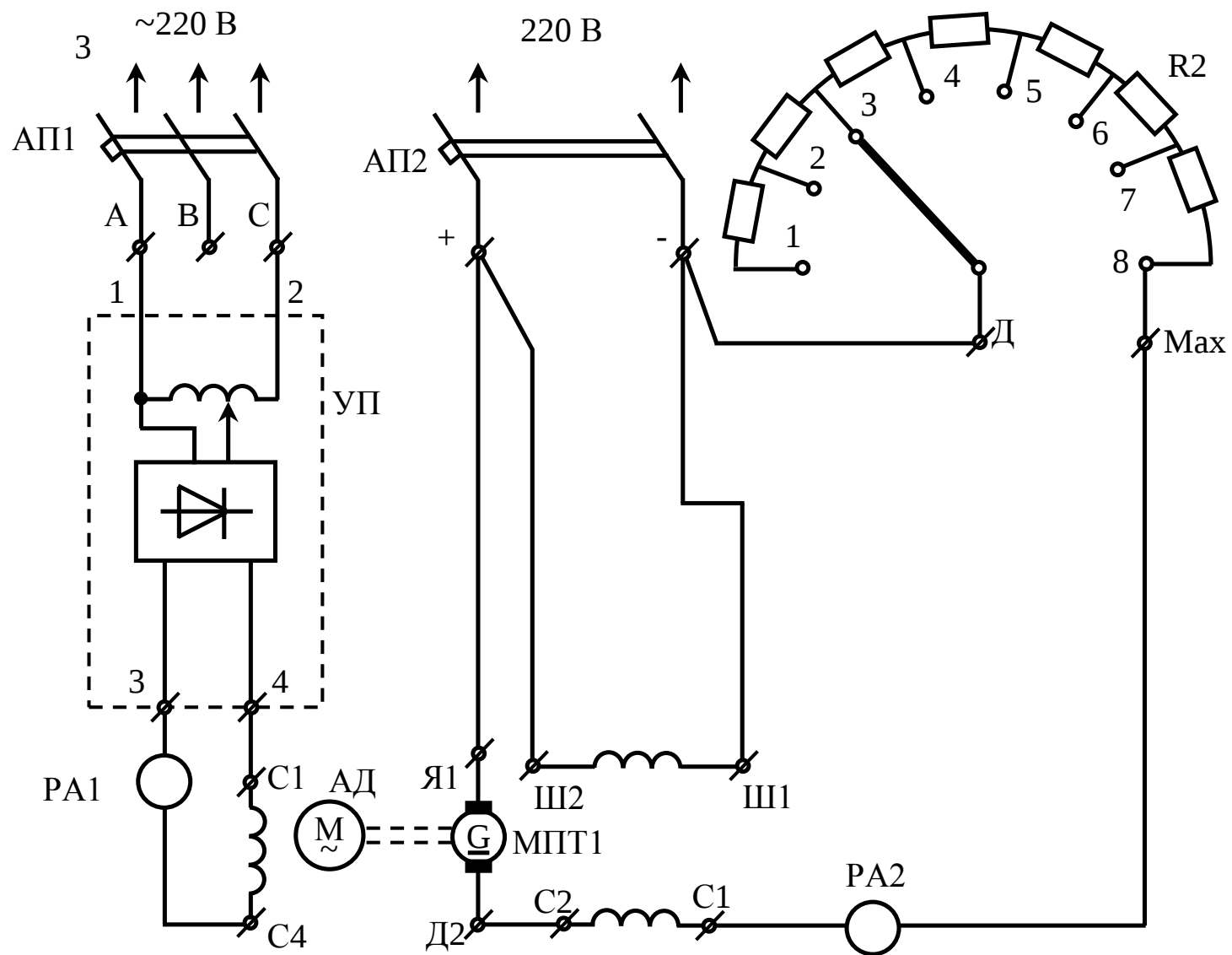


Рисунок 4.5 – Схема експериментальної установки для дослідження

Таблиця 4.1 – Результати вимірів електромеханічної характеристики в режимі динамічного гальмування.

Схема № 1		Схема № 2		Схема № 3		Схема № 4	
Струм, 10 А 2 А	Швидкість обертання n , об/хв.	Струм, 10 А 2 А	Швидкість обертання n , об/хв.	Струм, 10 А 2 А	Швидкість обертання n , об/хв.	Струм, 10 А 2 А	Швидкість обертання n , об/хв.

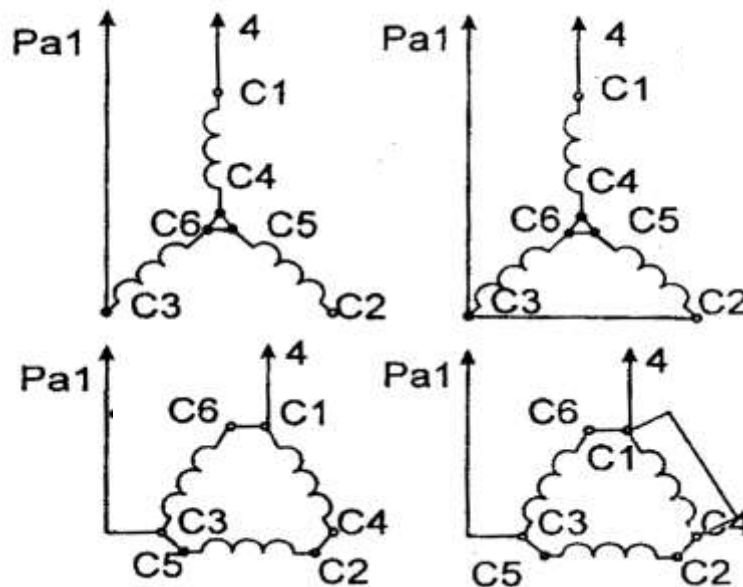


Рисунок 4.6 – Схеми динамічного гальмування асинхронного електропривода

Запитання для самоконтролю

1. Яким чином асинхронний двигун з рушійного режиму переводять в режим динамічного гальмування?
2. Пояснити явище виникнення гальмівного моменту АД при його живленні постійним струмом?
3. Обґрунтувати, яка із схем динамічного гальмування є більш ефективною від інших і чому.
4. Що таке критичний момент АД в рушійному режимі? В гальмівному режимі?
5. В якому режимі працює двигун МПТ1 при виконанні дослідів?
6. Обґрунтувати, яким чином регулюється момент, що крутить двигуна МПТ1?
7. Які із схем динамічного гальмування кращі з точки зору практичної реалізації і чому?

Лабораторна робота 5

ТИРИСТОРНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Метою роботи є визначення за даними експериментів точності стабілізації швидкості тиристорного електропривода з системою автоматичного керування частотою обертання.

Основні теоретичні положення

Основна функція системи автоматичного керування двигуном – стабілізація заданої швидкості при зміні моменту навантаження від нуля до максимального. Точність стабілізації швидкості визначається статичною похибкою регулювання швидкості, тобто статизмом електромеханічних або механічних характеристик, і є відносним зменшенням швидкості від заданої при збільшенні навантаження на валу. Статизм електропривода визначає діапазон регулювання швидкості, як відношення середнього значення максимальної швидкості до середнього значення мінімальної швидкості при зміні моменту навантаження від нуля до максимального:

$$s = \frac{\Delta\omega}{\omega_0}, \quad (5.1)$$

де $\Delta\omega = \omega_0 - \omega_n$.

Робота електричного двигуна і виробничого механізму в сталому режимі відповідає рівновага моменту опору механізму і обертаючого моменту двигуна при певній швидкості, тобто $M = M_c$.

Зміна моменту опору на валу двигуна призводить до того, що швидкість двигуна і момент, який він розвиває, можуть автоматично змінюватися і привод продовжуватиме стійко працювати при іншій швидкості з новим значенням моменту. Для відновлення рівноваги між моментом опору і моментом двигуна, що змінився, у всіх неелектричних двигунах потрібна участь спеціальних регуляторів, які впливають на джерело енергії, збільшуючи або відповідно зменшуючи подачу води, палива або пари. В електричних двигунах роль автоматичного регулятора може виконувати ЕРС двигуна. Ця особливість електродвигунів автоматично підтримувати рівновагу системи при моменті опору, що змінюється, є досить цінною властивістю, оскільки у багатьох випадках момент може змінюватися в тому або іншому ступені.

Вище сказане проілюстровано на рис. 5.1, де приведена механічна характеристика двигуна постійного струму незалежного збудження і дві характеристики 1 і 2 виробничого механізму, наприклад конвеєра, що

приводиться до руху цим двигуном.

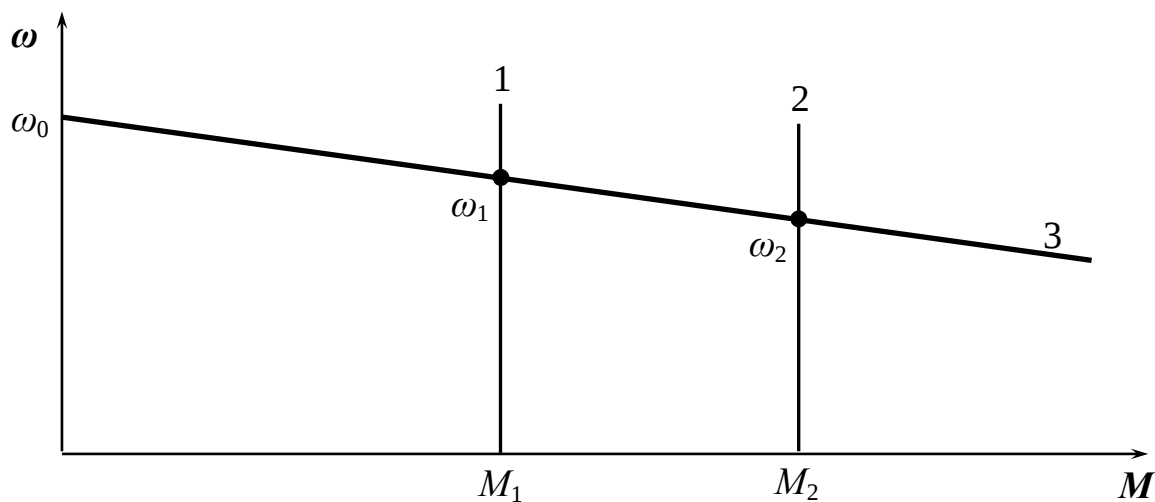


Рисунок 5.1 – Механічні характеристики двигуна постійного струму незалежного збудження і механізму, що приводиться їм до руху

Характеристика 1 відповідає моменту опору M_1 при холостому ході конвеєра. Характеристика 2 виходить при великому моменті опору M_2 після того, як на конвеєр встановлені що транспортуються їм деталі. Спочатку при холостому ході конвеєра $M=M_1$ двигун працює з швидкістю ω_1 . Зі збільшенням навантаження двигун гальмується, швидкість його знижується, завдяки чому зменшується ЕРС. При зменшенні ЕРС зростають струм в якірному колі двигуна і момент, що розвивається двигуном. Зростання моменту двигуна продовжується до тих пір, поки не наступить рівновага моментів $M=M_2$ (точка ω_2). Ця нова точка також є загальною для механічної характеристики конвеєра 2 і механічної характеристики електродвигуна 3. Розглянуті умови роботи електроприводу в сталому режимі характеризують *статичну стійкість приводу*, коли зміна в часі швидкості і моменту відбувається відносно поволі на відміну від динамічної стійкості, що має місце при перехідних режимах.

Під статичною стійкістю розуміється такий стан сталого режиму роботи приводу, коли при випадково виниклому відхиленні швидкості від сталого значення привод повернеться в точку сталого режиму.

Механічні характеристики виробничого механізму для зручності зображаються в першому квадранті, хоча момент опору має негативний знак. При нестійкому русі будь-яке, навіть найменше, відхилення швидкості від сталого значення приводить до зміни стану приводу – він не повертається в точку сталого режиму.

Привод статично стійкий, якщо в точці сталого режиму виконується умова:

$$\frac{dM}{d\omega} - \frac{dM_c}{d\omega} < 0, \quad (5.2)$$

або

$$\beta - \beta_c < 0. \quad (5.3)$$

Умова (5.3) означає, що привод статично стійкий, якщо при позитивному прирості кутової швидкості у момент двигуна виявиться менше статичного моменту (моменту опору) і привод внаслідок цього загальмується до колишнього значення швидкості. При негативному прирості кутової швидкості момент двигуна виявиться більше моменту опору і привод внаслідок цього розженеться до колишнього значення швидкості при постійному моменті навантаження (пряма 1 на рис. 5.1)

Статична стійкість визначатиметься тільки жорсткістю механічної характеристики двигуна, оскільки $dM/d\omega = 0$. Якщо вона негативна, то робота в сталому режимі стійка $dM/d\omega - dM_c/d\omega = dM/d\omega < 0$, як це мало місце в розглянутому випадку (рис. 5.1).

Розглянуті умови роботи електропривода в сталому режимі характеризують статистичну стійкість приводу, коли зміна в часі швидкості і моменту відбувається відносно повільно у відмінності від динамічної стійкості, що має місце при перехідних режимах.

Звичайно при проектуванні електроприводу механічна характеристика виробничого механізму є вже заданою. Тому для отримання стійкої роботи в сталому режимі для певних швидкостей і моментів опору виробничих механізмів необхідно підбирати механічну характеристику електродвигуна відповідної форми. Цього може бути досягнуто підбором електродвигуна відповідного типу і зміною електричних параметрів його кіл. Іноді для отримання необхідних механічних характеристик доводиться застосовувати спеціальні схеми включення електричних машин і апаратів.

Програма роботи

1. Виконати електричний монтаж схеми експериментальної установки
Виконати експерименти з визначення і електромеханічних характеристик електропривода в замкнутій системі автоматичного керування для трьох заданих значень швидкості і в розімкнутій системі для максимальної швидкості.

Побудувати в одній системі координат всі чотири електромеханічні характеристики, розрахувати їх статизм.

Опис експериментальної установки

Електрична схема установки (рис. 5.2) складається з таких елементів:

автоматичні вимикачі АП1 і АП2; тиристорний випрямляч з органами керування і клемми для зовнішніх підключень; досліджуваний двигун МПТ1 і навантажувальний генератор МПТ2 з відповідними їм обмотками збудження Ш1 і Ш2; тахогенератор ТГ з обмоткою збудження ОВТГ; амперметр РА1 на 10 А; поворотний перемикач R3 ступенів опорів в колі якоря МПТ2 і повзунковий реостат R1 у колі збудження МПТ2.

Клеми всіх елементів з відповідними позначками знаходяться на горизонтальній та вертикальній панелях лабораторного стенда і зовнішній панелі тиристорного випрямляча.

Порядок виконання роботи

1. Знайти на лабораторному стенді всі елементи схеми, початкове положення яких таке: вимикачі АП1 і АП2 вимкнені; повзунок реостата R1 в правому крайньому, відповідно до схеми, положенні; перемикач R3 у положенні 3; елементи зовнішньої панелі тиристорного випрямляча: тумблер "РЕВЕРС" у середньому положенні; тумблер ТГ ввімкнений; вісь потенціометра ЗС завдання швидкості повернути проти годинникової стрілки до упора.

Монтаж схеми виконувати в такій послідовності: монтаж кола якоря і обмотки збудження двигуна МПТ1 з тиристорним випрямлячем; монтаж кола якоря і обмотки збудження тахогенератора ТГ; монтаж кола якоря і обмотки збудження генератора МПТ2.

Змонтовану схему представити викладачеві для перевірки. Встановити напругу збудження 220В

2. Ввімкнути вимикач АП1, тумблер "РЕВЕРС" поставити у праве положення, плавно повертаючи вісь потенціометра ЗС за годинниковою стрілкою, встановити швидкість двигуна 100 об/хв. Записати значення швидкості і струму якоря в табл. 5.1 Якщо при вмиканні тумблера "Ревверс" або при незначному повороті потенціометра ЗС двигун одразу виходить на максимальну швидкість, більшу за 1000 об/хв, то це означає, що зворотний зв'язок за швидкістю не від'ємний, а додатний. В цьому разі необхідно змінити місцями проводи на клеммах "ВЫХ ТГ".

3. Ввімкнути вимикач АП2, переміщуючи повзунок реостата R1 в ліве за схемою положення, встановити на амперметрі РА1 значення струму від 0 до 7 А з кроком в 1 А, записуючи в таблицю значення швидкості. Після закінчення досліду повзунок реостата R1 повернути в початкове положення.

4. Повертаючи вісь потенціометра ЗС за годинниковою стрілкою, збільшити швидкість до 500 об/хв і провести дослід аналогічно п. 2.

5. Повернути вісь потенціометра ЗС за годинниковою стрілкою до упора і провести дослід аналогічно п. 2.

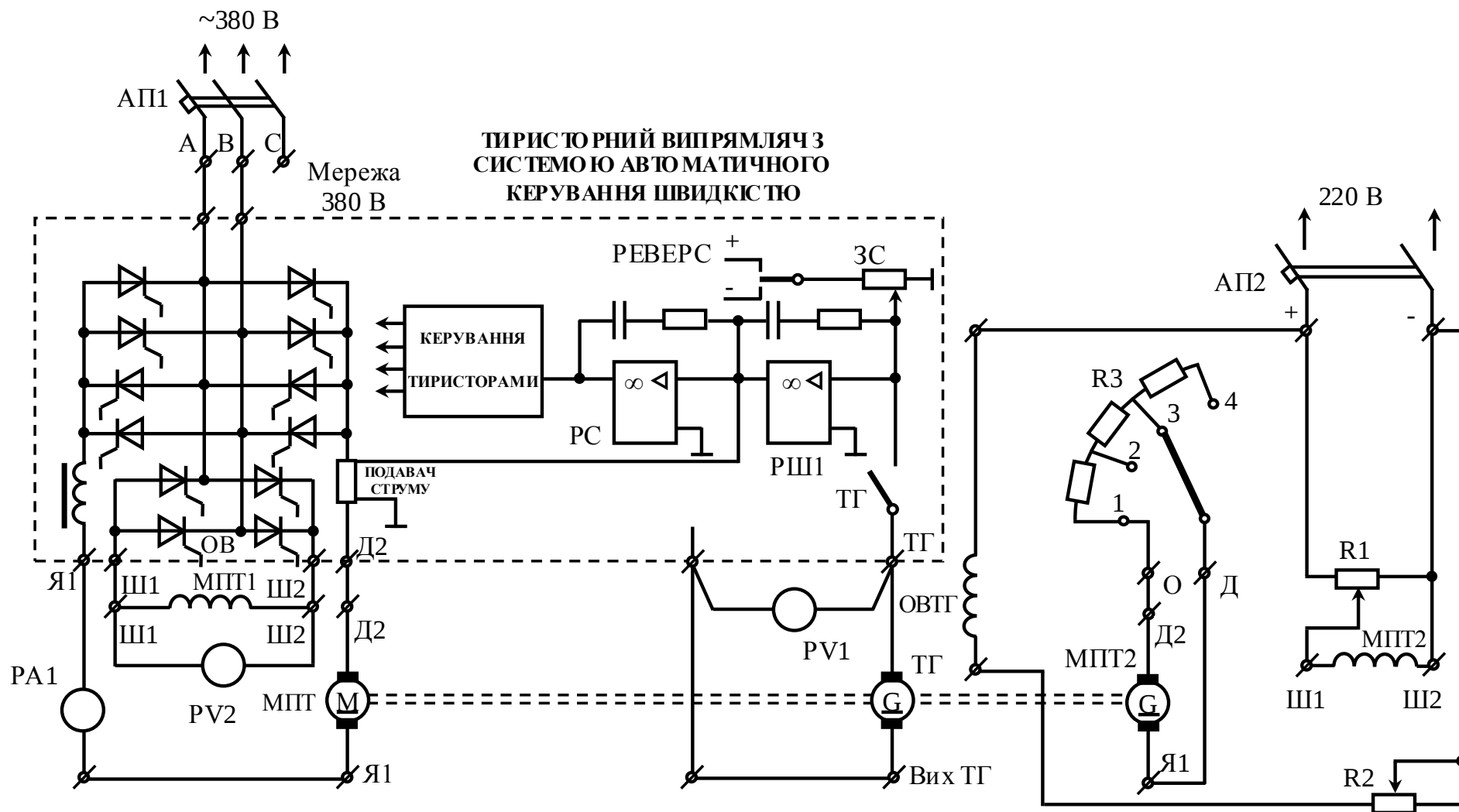


Рисунок 5.2 – Схема експериментальної установки для дослідження тиристорного електропривода постійного струму

Таблиця 5.1 – Результати вимірів електромеханічних характеристик

Дослід № 1	Швидкість обертання n , об/хв.					
	Струм якоря $I_{я}$, А					
Дослід № 2	Швидкість обертання n , об/хв.					
	Струм якоря $I_{я}$, А					
Дослід № 3	Швидкість обертання n , об/хв.					
	Струм якоря $I_{я}$, А					

6. Для створення розімкнутої системи керування двигуном необхідно розірвати коло від'ємного зворотного зв'язку, вимкнувши на зовнішній панелі випрямляча тумблер ТГ. В цьому разі двигун працює на максимально можливій швидкості без її стабілізації системою автоматичного керування. Провести дослід аналогічно п. 2.

Повернути схему в початкове положення відповідно до п. 1. Показати дослідні дані викладачеві і з його дозволу розібрати схему.

Запитання для самоконтролю

1. Пояснити фізичний зміст поняття "стабілізація швидкості".
2. Що називають статичною похибкою регулювання і як її визначають?
3. Що називають діапазоном регулювання швидкості і яким чином точність стабілізації впливає на його величину?
4. Який спосіб регулювання швидкості двигуна використовується в тиристорному електроприводі?
5. Яким чином тиристорний випрямляч забезпечує регулювання напруги якоря двигуна?
6. Пояснити принцип дії системи автоматичної стабілізації швидкості двигуна.
7. Пояснити, що відбувається зі швидкістю двигуна в разі обриву кола від'ємного зворотного зв'язку за швидкістю.

Лабораторна робота 6

ЕНЕРГЕТИКА ТИРИСТОРНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Метою роботи є експериментальне визначення енергетичних показників тиристорного електропривода постійного струму.

Основні теоретичні положення

Енергетичні показники тиристорного електропривода - це коефіцієнт потужності, що показує, яка частина від споживаної електроенергії перетворюється в роботу (активна електроенергія), а яка повертається до джерела електроенергії (реактивна електроенергія), і коефіцієнт корисної дії, що показує, яка частина активної електроенергії перетворюється в механічну роботу на валу, яка втрачається в електричному та механічному колах двигуна.

Рівняння електричної рівноваги кола якоря двигуна постійного струму при його живленні від тиристорного випрямляча має вигляд:

$$U_0 + \sum U_\gamma = \sqrt{(I_0^2 + \sum I_\gamma^2)} \cdot R_\gamma + c\Phi\omega_\gamma + \sum X_\gamma \sum I_\gamma, \quad (6.1)$$

де U_0 , $\sum U_\gamma$, I_0 , I_γ - постійні та гармонічні складові напруги і струму якоря;

ω_γ - кутова швидкість якоря;

c , Φ - конструктивна стала і магнітний потік двигуна;

X_γ - індуктивний опір кола якоря для відповідних гармонічних складових струму якоря, що визначається за формулою:

$$X_\gamma = \gamma \cdot m \cdot \omega_m \cdot L_\gamma, \quad (6.2)$$

де γ - порядковий номер гармоніки струму;

m - пульсність випрямляча як кількість пульсацій випрямленої напруги за період;

ω_m - кутова частота мережної напруги,

L_γ - індуктивність кола якоря.

Рівняння енергетичного балансу тиристорного електропривода можна отримати з рівняння електричної рівноваги після його множення на повний струм якоря з урахуванням того, що гармонічні складові струму не створюють крутячого моменту двигуна, тобто $c\Phi \sum I_\gamma \sin \omega_m t = 0$, а постійна складова не створює спаду напруги на індуктивному опорі кола якоря, тобто

$$\sum X_{\gamma} I_0 = 0, \text{ тобто:}$$

$$U_{\gamma} I_{\gamma} = (I_0^2 + I_{\gamma}^2) R_{\gamma} + M \omega_{\gamma} + \sum X_{\gamma} (\sum I_{\gamma})^2, \quad (6.3)$$

де $U_{\gamma} I_{\gamma}$ - діючі значення напруги і струму;

$M = c\Phi \cdot I_0$ - момент двигуна, що крутить.

З рівняння енергетичного балансу випливає, що $U_{\gamma} I_{\gamma} = S$ повна потужність, яка підведена до двигуна від мережі через тиристорний випрямляч; $(I_0^2 + \sum I_{\gamma}^2) R_{\gamma} + M \omega_{\gamma} = P$ - активна потужність, як сума теплової і механічної потужностей, що виражає швидкість необерненого перетворення електроенергії; $\sum X_{\gamma} (\sum I_{\gamma})^2 = Q$ - реактивна потужність, що виражає швидкість оберненого перетворення енергії електричного поля в енергію магнітного поля і навпаки, циркулюючи таким чином між тиристорним електроприводом і джерелом електроенергії - мережним трансформатором.

Активна потужність тиристорного електропривода в основному пропорційна постійній складовій струму якоря тому, що $I_0^2 R_{\gamma} + M \omega_{\gamma} \gg I_{\gamma}^2 R_{\gamma}$, а повна потужність пропорційна повному струмові. Тоді коефіцієнт потужності можна визначити таким чином:

$$k_{\Pi} = \frac{P}{S}. \quad (6.4)$$

При живленні від тиристорного випрямляча нагрівання двигуна збільшується на величину $\frac{(I_0 + \sum I_{\gamma})}{I_0}$, отже, коефіцієнт корисної дії (ККД) двигуна зменшується і дорівнює:

$$\eta = \frac{\eta_H \cdot I_0}{I_0 + \sum I_{\gamma}} = k_{\Pi} \eta_H, \quad (6.5)$$

де η_H - ККД двигуна при живленні від акумулятора.

Амперметри і вольтметри електромагнітної системи вимірюють діючі значення напруги і струму якоря з урахуванням постійних складових. Ватметри електродинамічної системи вимірюють суму активних потужностей усіх складових напруги і струму якоря.

Програма роботи

1. Виконати електричний монтаж схеми експериментальної установки.
2. Побудувати в одній системі координат графіки залежності коефіцієнта потужності двигуна від моменту навантаження на валу при трьох значеннях швидкості 100, 500, 1000 об/хв.

Опис експериментальної установки

Електрична схема установки (рис. 6.1) складається з таких елементів: автоматичні вимикачі АП1 і АП2; тиристорний випрямляч Uz1 з органами керування і клемми для зовнішніх підключень; досліджуваний двигун МПТ1 і навантажувальний генератор МПТ2 з відповідними їм обмотками збудження Ш1 і Ш2; тахогенератор ТГ з обмоткою збудження ОБТГ; амперметр РА1 і вольтметр РV1 електромагнітної системи з межами вимірювання відповідно 5 А і 300 В; ватметр РW1 з межею вимірювання 1500 Вт, поворотний перемикач R3 ступенів опорів у колі якоря МПТ2 і повзунковий реостат R1 у колі збудження МПТ2.

Порядок виконання роботи

1. Знайти на лабораторному стенді всі елементи схеми, початкове положення яких таке: вимикачі АП1 і АП2 вимкнені; повзунок реостата R1 в правому крайньому, відповідно до схеми, положенні; перемикачі R3 в положенні 3, елементи зовнішньої панелі тиристорного випрямляча: тумблер "РЕВЕРС" в середньому положенні, тумблер ТГ увімкнений, вісь потенціометра ЗС завдання швидкості повернути проти годинникової стрілки до упора.
2. Виконати електромонтаж схеми і представити для перевірки викладачеві.
3. Ввімкнути вимикач АП1, тумблер "РЕВЕРС" поставити у праве положення, плавно повертаючи вісь потенціометра ЗС за годинниковою стрілкою, встановити швидкість 1000 об/хв. Якщо при вмиканні тумблера "РЕВЕРС" або при незначному повороті потенціометра ЗС швидкість зростає, то це означає, що зворотний зв'язок за швидкістю не від'ємний, а додатний. В цьому разі необхідно змінити місцями проводи на клеммах "ВЫХ ТГ".
4. Ввімкнути вимикач АП2, переміщуючи повзунок реостата R1 у ліве за схемою положення, встановити за амперметром РА1 значення струму навантаження з кроком 1А до 6А, та записати при цьому покази вольтметра і ватметра у табл. 6.1

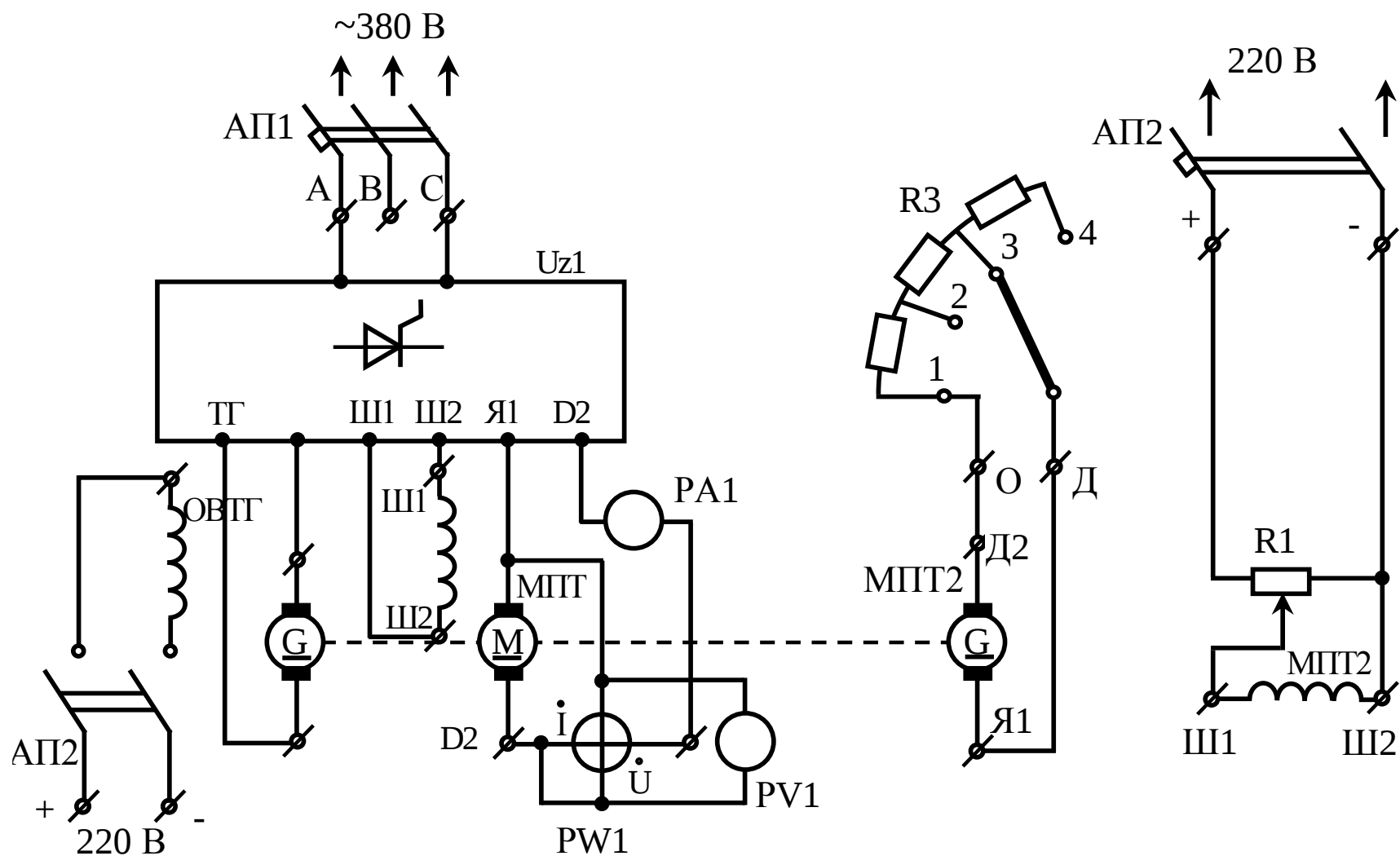


Рисунок 6.1 – Схема експериментальної установки для дослідження енергетичних показників тиристорного електропривода постійного струму

Таблиця 6.1 – Визначення коефіцієнта потужності

Швидкість обертання 100 об/хв.	Струм $I_{я}$, А						
	Напруга $U_{я}$, В						
	Активна потужність Р,Вт						
	Повна потужність $S=U_{я} I_{я}$, ВА						
	Коефіцієнт потужності $K_n=P/S$						
Швидкість обертання 500 об/хв.	Струм $I_{я}$, А						
	Напруга $U_{я}$, В						
	Активна потужність Р,Вт						
	Повна потужність $S=U_{я} I_{я}$, ВА						
	Коефіцієнт потужності $K_n=P/S$						
Швидкість обертання 1000 об/хв.	Струм $I_{я}$, А						
	Напруга $U_{я}$, В						
	Активна потужність Р,Вт						
	Повна потужність $S=U_{я} I_{я}$, ВА						
	Коефіцієнт потужності $K_n=P/S$						

5.Послідовно встановити швидкість 500 і 1000 об/хв та виконати дії аналогічно п.4.

6.Показати дослідні данні викладачеві і його дозволу розібрати схему.

Запитання для самоконтролю

1. Чому гармонічні складові струму якоря не створюють крутого моменту на валу двигуна?

2. Чому з ростом навантаження на валу двигуна збільшується його коефіцієнт потужності?

3. У чому полягає фізичний зміст коефіцієнта корисної дії двигуна?

4. Чому коефіцієнта корисної дії двигуна зменшується при тиристорному живленні?

5. Чому при збільшенні індуктивності дроселя гладження у колі якоря збільшується коефіцієнт корисна дії?

Лабораторна робота 7

АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД З ТИРИСТОРНИМ РЕГУЛЯТОРОМ ЧАСТОТИ

Метою роботи є дослідження регулювальних властивостей асинхронного електропривода з тиристорним регулятором частоти.

Основні теоретичні положення

По структурі схеми статичних перетворювачів частоти схожі з аналогічними схемами електромашинних перетворювачів і можуть бути представлений двома основними класами:

- а) з безпосереднім зв'язком;
- б) з проміжною ланкою постійного струму.

Перетворювач з безпосереднім зв'язком призначений для перетворення високої частоти в низьку і складається з 18 тиристорів (рис. 7.1). В основі перетворювача знаходиться трифазна однополуперіодна схема випрямлення; кожна фаза перетворювача складається з двох таких зустрічно включених випрямлячів. Групу з трьох вентилів, що мають загальний катод, називають «позитивною» або випрямної, а групу із загальним анодом – «негативною», або інвертованою. Протягом одного напівперіоду вихідної напруги перетворювача пропускають струм випрямні групи, а протягом іншого – інвертовані. Частота вихідної напруги визначається тривалістю проміжків часу пропускання струму обома групами. Напівхвиля вихідної напруги складається з відрізків хвилі напруги живлячої мережі. На рис. 7.2 показана крива вихідної напруги при незмінному куті відкриття вентилів $\alpha = 0$. Фазова комутація вентилів в одній групі, тобто відкриття одного вентиля і закриття іншого, відбувається подібно перемикаю в трифазній однополуперіодній схемі випрямлення без комутуючих конденсаторів.

При перемикаю від однієї групи до іншої можуть виявитися одночасно включеним два вентиля різних груп, підключених до різних фаз сіті, що приведе до утворення кола струму через ці вентиля. З метою обмеження цього струму застосовуються зрівняльні реактори, які одночасно згладжують форму кривої вихідної напруги. Можливо здійснення перетворювачів частоти з безпосереднім зв'язком і без зрівняльних реакторів, де використовується роздільна система управління вентиляльними групами. Для отримання вихідної напруги, близької формою до синусоїдального, необхідно змінювати кут відкриття вентилів так, щоб середнє за напівперіод живлячої мережі значення напруги змінювалося протягом напівперіоду вихідної напруги по синусоїдальному закону. Регулювання напруги на виході перетворювача досягається зміною кута відкриття вентилів.

До переваг цього типу перетворювачів можна віднести:

- 1) однократне перетворення енергії і, отже, високий ККД;
- 2) можливість проходження реактивної енергії з мережі до двигуна і назад;
- 3) відсутність комутуючих конденсаторів, оскільки комутація проводиться природним шляхом.

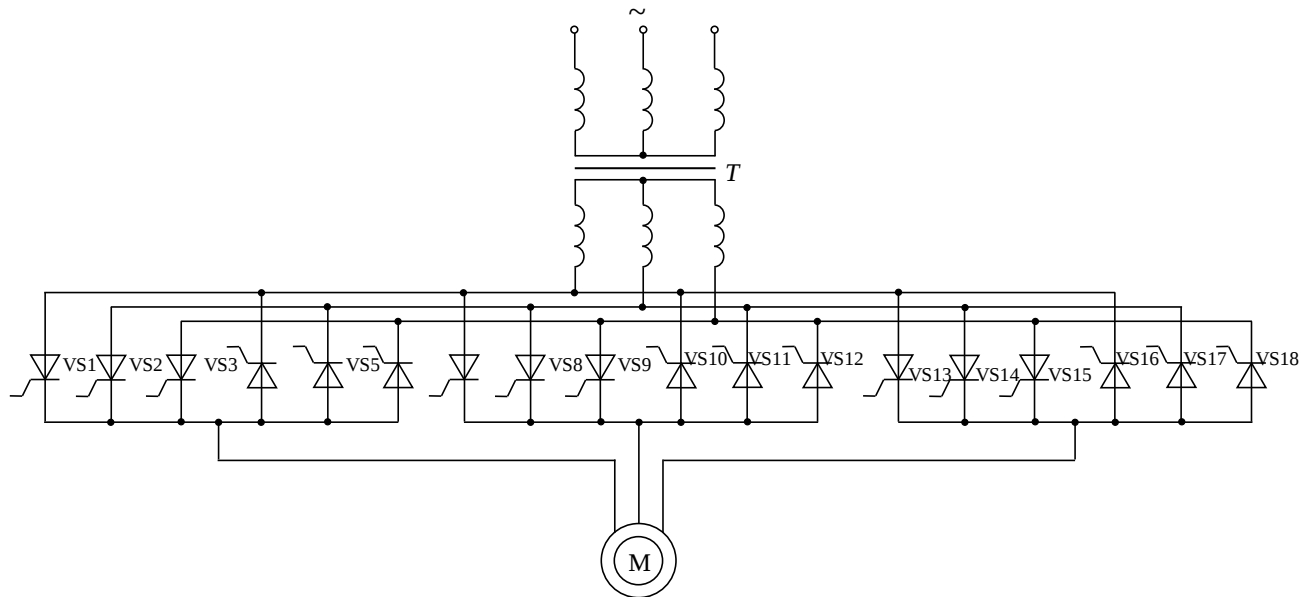


Рисунок 7.1 – Схема статичного перетворювача частоти з безпосереднім зв'язком

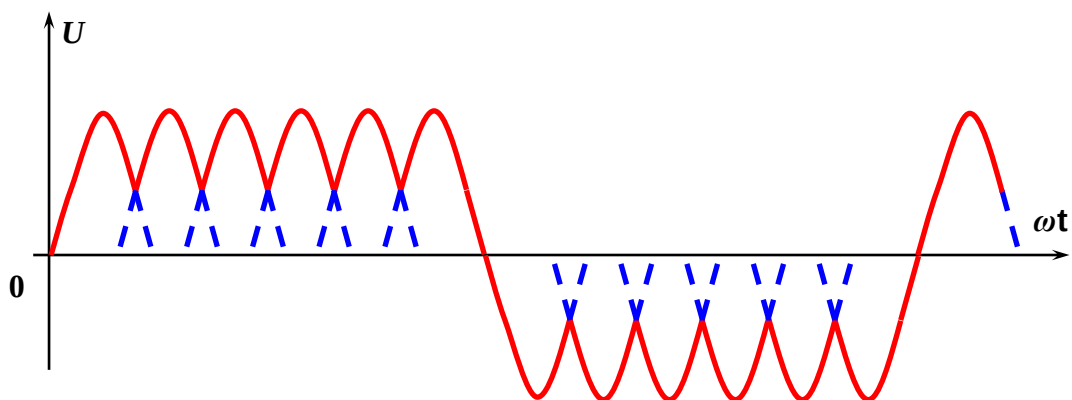


Рисунок 7.2 – Форма вихідної напруги трифазного перетворювача з безпосереднім зв'язком

До недоліків розглянутого перетворювача частоти відносяться:

- 1) обмежене регулювання вихідної частоти (в межах 0 – 30% частоти мережі);
- 2) порівняно велике число силових вентилів і складна схема управління ними;
- 3) невисокий коефіцієнт потужності.

Перетворювач частоти з безпосереднім зв'язком можна використовувати у випадках, коли частота живлячої мережа багато вище за частоту, відповідної номінальної швидкості асинхронного двигуна (наприклад, якщо живляча мережа має частоту 400 Гц, а двигун серійного використання розрахований на 50 Гц). Цей же перетворювач може бути застосований, коли потрібна одна робоча швидкість, обумовлена частотою мережа, і знижена швидкість (одна або декілька) для допоміжних операцій.

Крім того, даний тип перетворювача доцільно застосувати для регулювання швидкості обертання асинхронного двигуна з контактними кільцями, працюючого в режимі подвійного живлення, коли статор його приєднаний до мережа, а ротор живиться від тієї ж мережа через перетворювач частоти.

Найбільше застосування для промислових приводів може мати статичний перетворювач частоти з проміжною ланкою постійного струму, блок-схема якої приведена на рис. 7.3. Перетворювач складається з двох силових елементів – керованого випрямляча КВ і інвертування І. На вхід КВ подається нерегульована напруга змінного струму промислової частоти; з виходу КВ постійний струм регульованої напруги подається на інвертування І, який перетворить енергію постійного струму в енергію змінного струму регульованої напруги і частоти.

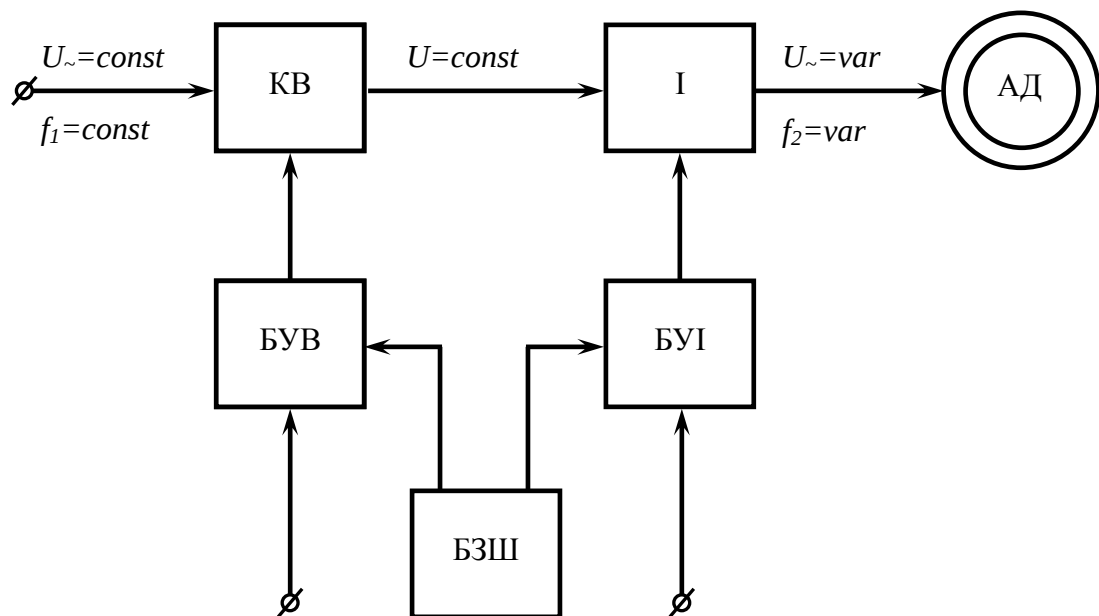


Рисунок 7.3 – Блок-схема статичного перетворювача частоти з проміжною ланкою постійного струму

КВ – керований випрямляч; І – інвертування; БУВ, БУІ – відповідно блок управління випрямлячем і інвертуванням; БЗШ – блок завдання швидкості.

Окрім двох силових елементів перетворювач містить ще систему управління, що складається з блоку управління випрямлячем БУВ і блоку

управління інвертуванням БУІ. Вихідна частота регулюється в широких межах і визначається частотою комутації тиристорів, яка задається блоком управління інвертуванням БУІ. В такій схемі проводиться роздільне регулювання напругою і частотою, що дозволяє здійснити за допомогою блоку завдання швидкості БЗШ те, що вимагається співвідношенням між напругою і частотою на затисках асинхронного двигуна. Якщо в блоці завдання швидкості БЗШ співставляти сигнал, що задається з сигналом зворотного зв'язку по швидкості, то можна здійснити систему автоматичного частотного управління з точною підтримкою швидкості обертання двигуна.

Жорсткість механічної характеристики (β) електроприводу – це відношення різниці електромагнітних моментів, що розвиваються електричним приводом, до відповідної різниці кутових швидкостей електроприводу, тобто:

$$\beta = \frac{M_2 - M_1}{\omega_2 - \omega_1} = \frac{\Delta M}{\Delta \omega}. \quad (7.1)$$

Звичайно на робочих ділянках механічні характеристики двигунів мають негативну жорсткість $\beta < 0$. Лінійні механічні характеристики володіють постійною жорсткістю. У разі нелінійних характеристик (електропривод з асинхронним двигуном) їх жорсткість не постійна і визначається в кожній точці як похідна моменту по кутовій швидкості:

$$\beta = \frac{dM}{d\omega}. \quad (7.2)$$

Поняття жорсткості може бути застосовано і до механічних характеристик виробничих механізмів. Ці характеристики можна оцінювати жорсткістю:

$$\beta_c = \frac{dM_c}{d\omega}. \quad (7.3)$$

Програма роботи

1. Виконати електричний монтаж схеми експериментальної установки.
2. Виконати експерименти з визначення механічних і електромеханічних характеристик двигуна.
3. За даними експериментів побудувати на одному графіку механічні, а на іншому – електромеханічні характеристики двигуна та розрахувати жорсткість його механічних характеристик.

Опис експериментальної установки

Електрична схема установки (рис. 7.4) складається з таких елементів: автоматичні вимикачі АП1 і АП2; тиристорний перетворювач частоти Uz1 з кнопками керування Sb1, Sb2, задавачем частоти Rp1 і вольтметром PV1; асинхронний двигун АД із статорними обмотками C1-C4, C2-C5, C3-C6, амперметр PA1 електромагнітної системи з межею вимірювання 5А, вольтметр PV2 електромагнітної системи з межею вимірювання 300 В, генератор МПТ1, амперметр PA2 з межею виміру 10А і PA3 на 0.5А

Порядок виконання роботи

1. Знайти на лабораторному стенді всі елементи схеми, початкове положення яких таке: вимикачі АП1 і АП2 вимкнені; повзунок реостата R1 у правому крайньому положенні; перемикач R3 в положенні 1;
2. Скласти схему установки і представити її для перевірки викладачеві.
3. Ввімкнути вимикачі АП1, АП2, потенціометром Rp1 встановити нуль напруги на вольтметрі PV1, натиснути кнопку Sb1 "Пуск". Повертаючи вісь резистора-потенціометра Rp1 за годинниковою стрілкою, встановити частоту 10 Гц за цифровим вимірювачем значення швидкості відповідно до табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Відповідність між швидкістю вала і частотою напруги обмотки статора

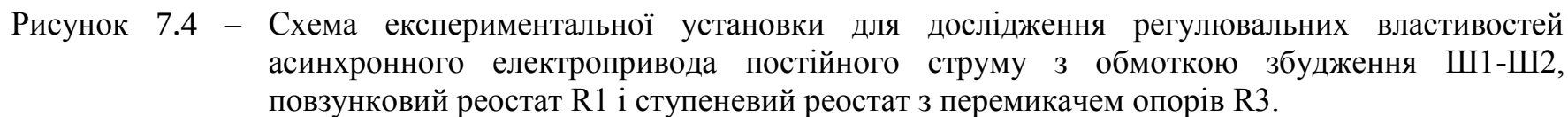
Частота, Гц	10	20	30	40	50
Швидкість на холостому ході двигуна, об/хв.	298	596	894	1192	1490

4. Плавно переміщуючи повзунок реостата R1 вліво, встановлювати значення струму збудження за амперметром PA3 генератора МПТ1 з кроком 0.1А до 0.5А. Покази приладів записати в табл. 7.2.

Таблиця 7.2 – Визначення електромеханічної характеристик

Струм якоря МПТ1 за PA2, А	Струм збудження МПТ1 за PA3, А	Момент M , Н·м	Швидкість обертання n , об/хв.	Струм фази статора I_{ϕ} , А	Фазна напруга U_{ϕ} , В

Після закінчення досліду повзунок реостата повернути у початкове положення.



5. Далі потенціометром RPI встановлювати частоти 30 Гц і проводити досліди аналогічно п.п. 3,4. Данні записати в табл. 7.3

Таблиця 7.3 – Визначення електромеханічної характеристик

Струм якоря МПТ1 за РА2, А	Струм збудження МПТ1 за РА3, А	Момент M , Н·м	Швидкість обертання n , об/хв.	Струм фази статора I_ϕ , А	Фазна напруга U_ϕ , В

6. Після закінчення дослідів вимкнути вимикачі АП1, АП2 і повзунок реостата R1 перевести у праве положення.

7. Вимкнути із схеми тиристорний перетворювач частоти і з'єднати клеми двигуна С1, С2 і С3 через амперметр РА1 з клемми А, В, С вимикача АП1.

8. Визначити природні механічні і електромеханічні характеристики при живленні двигуна від мережі із синусоїдальною напругою за методикою, вказаною в п.п. 3-6.

9. За результатами експериментів провести необхідні розрахунки і заповнити підсумкову табл. 7.4.

11. Показати результати викладачеві і з його дозволу розібрати схему.

Таблиця 7.4 – Підсумкові результати розрахунків

Частота, Гц	10	30	50 від мережі
Жорсткість механічних характеристик β , Н·м/рад/с			
Значення U_ϕ/f , В/Гц			

Запитання для самоконтролю

1. Пояснити конструкцію асинхронного двигуна.
2. Що називають жорсткістю механічних характеристик?
3. Обґрунтувати, чому при зменшенні частоти необхідно зменшувати величину напруги змінного струму.
4. Пояснити фізичний зміст індуктивного опору двигуна.
5. Пояснити принцип роботи тиристорного перетворювача частоти.
6. Обґрунтувати, чому швидкість ротора завжди менше швидкості обертального магнітного поля.
7. Чому при збільшенні навантаження на валу швидкість двигуна зменшується?

Лабораторна робота 8

ЧАСТОТНЕ РЕГУЛЮВАННЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Мета роботи: дослідження можливостей частотного регулювання асинхронного двигуна

Основні теоретичні положення

Частотне регулювання кутової швидкості обертання електроприводу з асинхронним двигуном в даний час широко застосовується, тому що дозволяє в широкому інтервалі плавно змінювати обороти ротора як вище, так і нижче номінальних значень.

Частотні перетворювачі є сучасними, високотехнологічними пристроями, що володіють великим діапазоном регулювання, що мають великий набір функцій для управління асинхронними двигунами.

Плавний пуск асинхронного електродвигуна

У завданнях, де не потрібно регулювання швидкості електродвигуна під час роботи для зменшення пускових струмів використовується пристрій плавного пуску.

Пристрій плавного пуску захищає асинхронний електродвигун від пошкоджень викликаних різким збільшенням споживаної енергії під час пуску шляхом обмеження пускових струмів. Пристрій плавного пуску дозволяє забезпечити плавний розгін і гальмування асинхронного електродвигуна.

Пристрій плавного пуску дешевше і компактніше частотного перетворювачі. Застосовується там, де регулювання швидкості обертання і моменту потрібно тільки при запуску.

Частотне управління асинхронним електродвигуном

Для регулювання швидкості обертання і моменту асинхронного двигуна використовують частотний перетворювач. Принцип дії частотного перетворювача заснований на зміні частоти і напруги змінного струму.

Використання частотного перетворювача дозволяє:

- зменшити енергоспоживання електродвигуна;
- управляти швидкістю обертання електродвигуна (плавний запуск і зупинка, регулювання швидкості під час роботи);
- уникнути перевантажень електродвигуна і тим самим збільшити його термін служби.

Залежно від функціоналу частотні перетворювачі реалізують такі методи регулювання асинхронним електродвигуном:

- скалярний управління;
- векторне управління.

Функціональна схема частотно-регульованого приводу представлена на

рис. 8.1.

Частотні перетворювачі по напрузі живлення підрозділяються на однофазні та трифазні, а по конструктивному виконанню на електромашинні і статичні. В електромашинних перетворювачах змінна частоти виходить за рахунок використання звичайних або спеціальних електричних машин. У статичних частотних перетворювачів зміна частоти струму живлення досягається за рахунок застосування електричних елементів, що не рухаються (рис. 8.2, 8.3).



Рис. 8.1. Функціональна схема частотно-регульованого приводу

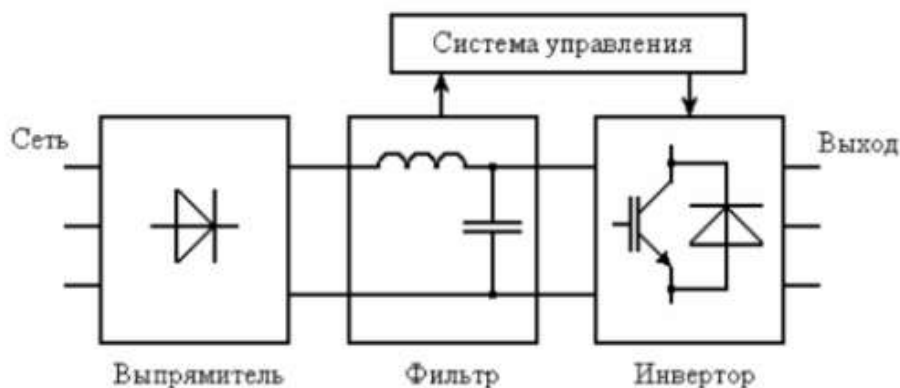


Рис. 8.2. Схема частотного преобразователя асинхронного двигателя

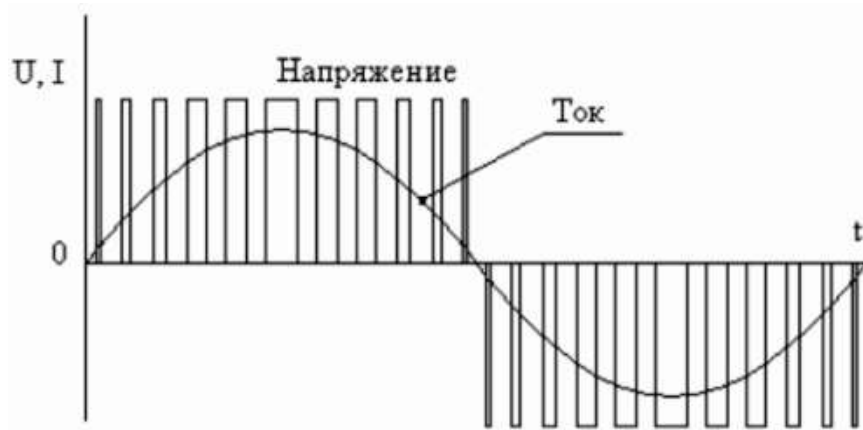


Рис. 8.3. Выходной сигнал преобразователя частоты

Перетворювачі частоти для однофазної мережі дозволяють забезпечити електропривод виробничого обладнання потужністю до 7,5 кВт. Особливістю конструкції сучасних однофазних перетворювачів є те, що на вході є одна фаза з напругою 220 В, а на виході - три фази з тим же значенням напруги, що дозволяє підключати до пристрою трифазні електродвигуни без застосування конденсаторів.

Перетворювачі частоти з живленням від трифазної мережі 380 В випускаються в діапазоні потужностей від 0,75 до 630 кВт. Залежно від величини потужності пристрою виготовляються в полімерних комбінованих і металевих корпусах.

Найпопулярнішою стратегією управління асинхронними електродвигунами є векторне управління. В даний час більшість частотних перетворювачів реалізують векторне управління або навіть векторне управління без датчиків (цей тренд зустрічається в частотних перетворювачах, що спочатку реалізують скалярне управління та не мають клем для підключення датчика швидкості).

Виходячи з виду навантаження на виході, перетворювачі частоти поділяються за типом виконання:

- для насосного та вентиляторного приводу;
- для загальнопромислового електропривода;
- що експлуатується в складі електродвигунів, що працюють з перевантаженням.

Сучасні перетворювачі частоти мають різноманітний набір функціональних особливостей, наприклад, мають ручне і автоматичне керування швидкістю і напрямком обертання двигуна, а також вбудований потенціометр на панелі управління. Наділені можливістю регулювання діапазону вихідних частот від 0 до 800 Гц.

Перетворювачі здатні виконувати автоматичне керування асинхронним двигуном за сигналами з периферійних датчиків і приводити в дію електропривод по заданому алгоритму. Підтримувати функції автоматичного

відновлення режиму роботи при короткочасному перериванні живлення. Виконувати управління перехідними процесами з віддаленого пульта і здійснювати захист електродвигунів від перевантажень.

Зв'язок між кутовою швидкістю обертання і частотою струму живлення впливає з рівняння:

$$\omega_0 = 2\pi f_1 / p$$

При постійній напрузі джерела живлення U_1 і зміні частоти змінюється магнітний потік асинхронного двигуна. При цьому для кращого використання магнітної системи при зниженні частоти живлення необхідно пропорційно зменшувати напругу, інакше значно збільшиться струм намагнічення і втрати в сталі.

Аналогічно при збільшенні частоти живлення слід пропорційно збільшувати напругу, щоб зберегти магнітний потік постійним, так як в протилежному випадку (при постійному моменті на валу) це призведе до наростання струму ротора, перевантаження його обмоток по струму, зниження максимального моменту.

Раціональний закон регулювання напруги залежить від характеру моменту опору.

При постійному моменті статичного навантаження ($M_c = \text{const}$) напруга повинна регулюватися пропорційно його частоті $U_1/f_1 = \text{const}$. Для вентиляторного характеру навантаження співвідношення приймає вигляд $U_1/f_1 = \text{const}$.

При моменті навантаження, що зворотно пропорційний швидкості $U_1/\sqrt{f_1} = \text{const}$.

На рисунках нижче (рис. 8.4 – 8.7) представлені спрощена схема підключення і механічні характеристики асинхронного двигуна при частотному регулюванні кутової швидкості.

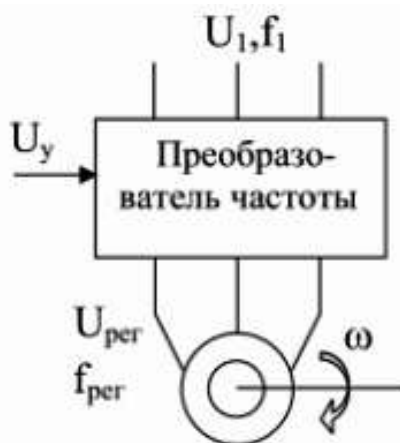


Рис. 8.4. Схема підключення частотного перетворювача до асинхронного електродвигуна

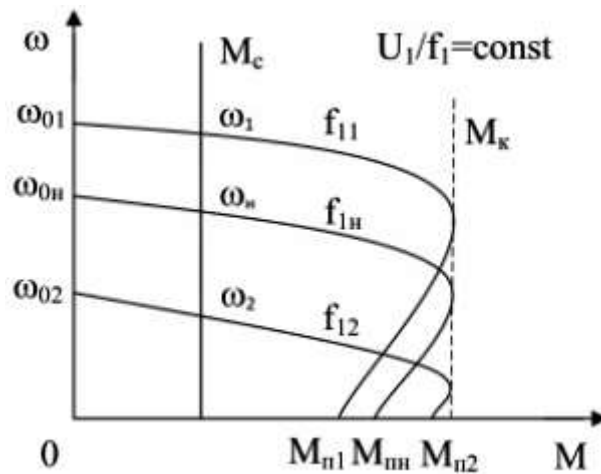


Рис. 8.5. Характеристики для навантаження з постійним статичним моментом опору

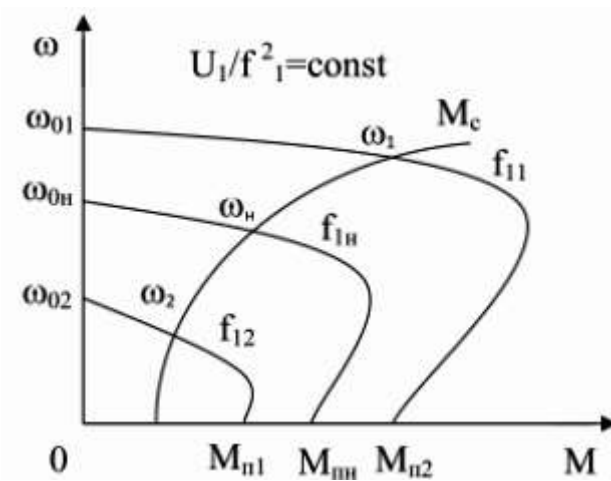


Рис. 8.6. Характеристики для навантаження вентиляторного характеру

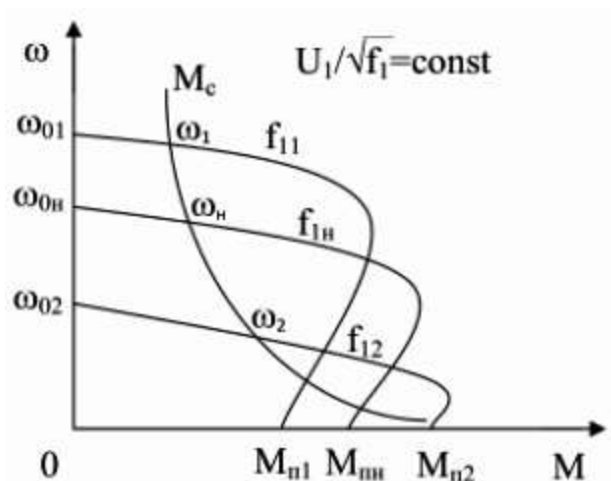


Рис. 8.7. Характеристики при статичному моменті навантаження, що зворотно пропорційний кутовій швидкості обертання

Частотне регулювання швидкості асинхронного двигуна дозволяє змінювати кутову швидкість обертання в діапазоні - (20 ... 30): 1. Регулювання швидкості асинхронного двигуна вниз від основної здійснюється практично до нуля.

При зміні частоти мережі живлення верхня межа частоти обертання асинхронного двигуна залежить від її механічних властивостей, тим більше що на частотах вище номінальної асинхронний двигун працює з кращими енергетичними показниками, ніж на знижених частотах. Тому, якщо в системі приводу використовується редуктор, це управління двигуном по частоті слід проводити не тільки вниз, але і вгору від номінальної точки, аж до максимальної частоти обертання, допустимої по умові механічної міцності ротора.

При збільшенні оборотів обертання двигуна вище вказаного значення в нею паспорті частота джерела живлення не повинна перевищувати номінальну не більше ніж 1,5 - 2 рази.

Частотний спосіб є найбільш перспективним для регулювання асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором. Втрати потужності при такому регулюванні невеликі, оскільки не супроводжуються збільшенням ковзання. Отримувані при цьому механічні характеристики мають високу жорсткість.

Опис експериментальної установки

Електрична схема установки (рис. 8.8) складається з таких елементів: автоматичні вимикачі АП1 і АП2; транзисторний перетворювач частоти ПЧ (мостовий трифазний транзисторний); асинхронний двигун АД із статорними обмотками С1-С4.С2-С5, С3-С6, амперметр РА1 електромагнітної системи з межею вимірювання 5А, вольтметр РV2 електромагнітної системи з межею вимірювання 300 В, генератор МПТ1, амперметр РА2 з межею виміру 10А і РА3 на 0.5А.

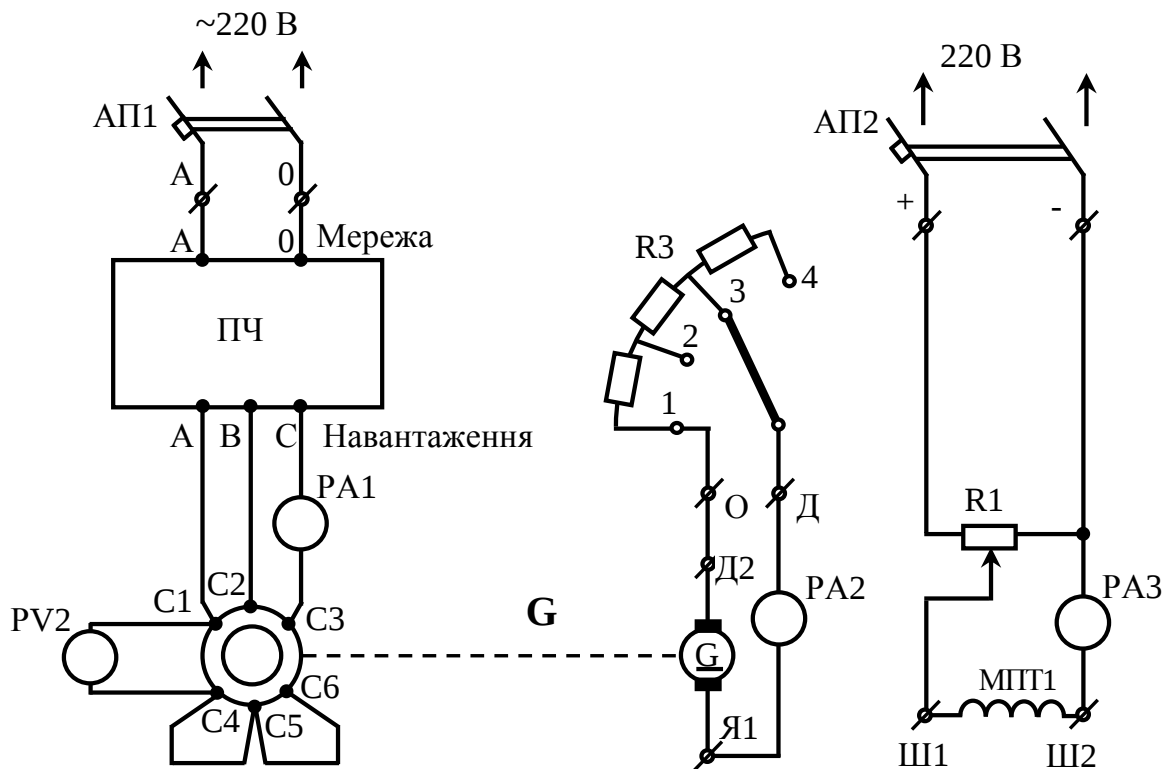


Рисунок 8.8 – Схема експериментальної установки для дослідження властивостей асинхронного електропривода при регулюванні зміною частоти напруги живлення

Порядок виконання роботи

1. Знайти на лабораторному стенді всі елементи схеми, початкове положення яких таке: вимикачі АП1 і АП2 вимкнені; повзунок реостата R_1 у правому крайньому положенні; перемикач R_3 в положенні 1;
2. Скласти схему установки і представити її для перевірки викладачеві.
3. Ввімкнути вимикачі АП1, АП2, потенціометром встановити нуль напруги на вольтметрі PV1. Повертаючи вісь резистора-потенціометра за годинниковою стрілкою, встановити частоту 30 Гц за цифровим вимірювачем значення швидкості відповідно до табл.8.1.

Таблиця 8.1 – Відповідність між швидкістю валу і частотою напруги обмотки статора

Частота, Гц	10	20	30	40	50
Швидкість на холостому ході двигуна, об/хв.	298	596	894	1192	1490

4. Плавно переміщуючи повзунок реостата R_1 вліво, встановлювати значення струму збудження за амперметром PA3 генератора МПТ1 з кроком

0.1А до 0.5А. Покази приладів записати в табл. 8.2.

Таблиця 8.2 – Визначення електромеханічної характеристик

Струм якоря МПТ1 за РА2, А	Струм збудження МПТ1 за РА3, А	Момент M , Н/м	Швидкість обертання n , об/хв.	Струм фази статора I_ϕ , А	Фазна напруга U_ϕ , В

Після закінчення дослідів повзунок реостата повернути у початкове положення.

5. Далі потенціометром встановлювати частоти 40, 50, 60 Гц і проводити дослідів аналогічно п.п. 3,4. Данні записати в табл. 8.3

Таблиця 8.3 – Визначення електромеханічної характеристик

Струм якоря МПТ1 за РА2, А	Струм збудження МПТ1 за РА3, А	Момент M , Н/м	Швидкість обертання n , об/хв.	Струм фази статора I_ϕ , А	Фазна напруга U_ϕ , В
40 Гц (зірка)					
...					
50 Гц (зірка)					
60 Гц (зірка)					
40 Гц (трикутник)					
50 Гц (трикутник)					
60 Гц (трикутник)					

6. Після закінчення дослідів вимкнути вимикачі АП1, АП2 і повзунок реостата R1 перевести у праве положення.

7. Зібрати обмотки асинхронного двигуна за схемою «трикутник» і провести вимірювання аналогічно пунктів 3-5. Данні записати в табл. 8.3.

8. Вимкнути із схеми транзисторний перетворювач частоти і з'єднати клеми двигуна С1, С2 і С3 через амперметр РА1 з клемми А, В, С вимикача АП1.

9. Визначити природні механічні і електромеханічні характеристики при живленні двигуна від мережі із синусоїдальною напругою за методикою, вказаною в п.п. 3-6.

10. За результатами експериментів провести необхідні розрахунки і заповнити підсумкову табл. 8.4.

11. Показати результати викладачеві і з його дозволу розібрати схему.

Таблиця 8.4 – Підсумкові результати розрахунків

Частота, Гц	30	40	50	60
Жорсткість механічних характеристик β , Нм/рад/с				
Значення U_ϕ/f , В/Гц				

Запитання для самоконтролю

1. Пояснити конструкцію асинхронного двигуна.
2. Що називають жорсткістю механічних характеристик?
3. Обґрунтувати, чому при зменшенні частоти необхідно зменшувати величину напруги змінною струму.
4. Пояснити фізичний зміст індуктивного опору двигуна.
5. Пояснити принцип роботи транзисторного перетворювача частоти.
6. Обґрунтувати, чому швидкість ротора завжди менше швидкості обертального магнітного поля.
7. Чому при збільшенні навантаження на валу швидкість двигуна зменшується?
8. Поясніть принцип частотного регулювання асинхронного двигуна.
9. За якою схемою з'єднані обмотки статора асинхронного двигуна під час проведення досліджень?
10. Що мається на увазі під плавним пуском асинхронного електродвигуна? Чим він відрізняється від частотного керування?
11. Чого можна досягти використовуючи частотне регулювання асинхронного двигуна?
12. Поясніть раціональний закон регулювання напруги при частотному регулюванні асинхронного двигуна.

ЛІТЕРАТУРА

1. Теорія електроприводу транспортних засобів: підручник / [А.В. Гнатов, Щ.В. Аргун, І.С. Трунова]. – Х.: ХНАДУ, 2016 – 292 с.
2. Cyber-Physical Systems for Clean Transportation: підручник / [Nadezhda Kunicina, Anatolijs Zabasta, Jelena Pečerska, Andrej Romanov, Andrii Hnatov, Arhun Shchasiana Dziubenko Oleksandr, Kateryna Danylenko, Joan Peuteman, Natalia Morkun, Iryna Zavsiehdashnia, Vladimir Sistuk, Yurii Monastyrskiy, Sergey Ruban, Vitaliy Tron]. – Riga: RTU, 2021 – 370 p.
3. Control methods for critical infrastructure and Internet of Things (IoT): підручник / [Leonids Ribickis, Nadezhda Kunicina, Ojars Krumins, Anatolijs Zabasta, Andrejs Romanovs, Anastasija Zhiravecka, Igors Uteshevs, Rasa Bruzgiene, Joan Peuteman, Jelena Caiko, Kaspars Kondratjevs, Alina Galkina, Konstantins Kunicins, Jaroslavs Agofonovs, Antons Patlins, Damir Shodiev, Andrei Derushev, Andrii Hnatov]. – Riga: RTU, 2021 – 131 p.
4. Моделирование электроприводов: Навч. посібник / Л.Д. Костинюк, В.І. Мороз, Я.С. Паранчук. - Львів: Видавництво Національного Університету «Львівська політехніка», 2004.- 404 с.
5. А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. Основы электропривода. Теория та практика. Часть 1. / Навчальний посібник. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.
6. Теорія електроприводу: [метод. вказів. до лаб. робіт та самостійної роботи] / А. В. Гнатов, Щ.В. Аргун. – Х. : ХНАДУ, 2021 – 65 с.
7. Hayes J. G., Goodarzi G. A. Electric powertrain: energy systems, power electronics and drives for hybrid, electric and fuel cell vehicles. – 2018.
8. Теорія електроприводу: метод. вказів. до практ. занять / [А. В. Гнатов, О. А. Дзюбенко, І. С. Трунова]. – Х. : ХНАДУ, 2020 – 91 с.
9. Аргун Щ.В. Электромобиль и его тяговый электропривод с асинхронным двигателем: монография / Щ. В. Аргун, А. В. Гнатов. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 216 с..
10. Hughes A., Drury B. Electric motors and drives: fundamentals, types and applications. – Newnes, 2019. – 483 p.
11. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 576 с.
12. Попович М.І. Теорія електроприводу. – Київ: Техніка, 1998. – 462 с.
13. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 416 с.
14. Москаленко В.В. Электрический привод. – М.: "Высшая школа", 1991. – 430 с.
15. Иванов А.А. Справочник по электротехнике. Изд. 5-е, перераб. и доп. – К.: "Вища школа" Головное издательство, 1984. – 304 с.

16. Энергетическая электроника / Под ред. Лабунцова В.А. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 464 с.
17. Руденко В.С. и др. Промышленная электроника. – К.: Техніка", 1979. – 499 с.
18. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами / Под ред. Круповича В.И. – М.: Энергоиздат, 1982. – 364 с.
19. Чебовский О.Г., Моисеев Л.Г., Недошивин Р.П. Силовые полупроводниковые приборы. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 379 с.
20. Миллер Е.В. Основы теории электропривода. – М.: Высшая школа, 1968. – 408 с.