

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних робіт з дисципліни
«АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД»
для студентів спеціальності
G3 «Електрична інженерія»
всіх форм навчання
Частина 2

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Автоматизований електропривод» для студентів спеціальності G3 «Електрична інженерія» для всіх форм навчання. Частина 2. Укл.: Ю.О. Крисан, Є.В. Васильєва – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2026. - 86 с.

Укладачі:

Ю.О. Крисан, доц., к.т.н.
Є.В. Васильєва, ст. викладач

Рецензент

В.В. Зіновкін, проф., д.т.н.

Відповідальний
за випуск

А.В. Пирожок, доц., к.т.н.

Затверджено
на засіданні кафедри
Електропривод та автоматизація
промислових установок
протокол № 5 від 04.02.2026 р.

Затверджено
на засіданні НМК ЕТФ
протокол №7 від 19.02.2026 р.

ЗМІСТ

5 Лабораторна робота №5. Регулювання швидкості та схема керування багатошвидкісного асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором.....	4
6 Лабораторна робота №6. Схема керування реверсуванням електропривода з короткозамкненим асинхронним двигуном у функції шляху та часу.....	14
7 Лабораторна робота №7. Керування пуском і гальмуванням асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.....	20
8 Лабораторна робота №8. Експериментальне дослідження перехідних процесів в системі генератор-двигун.....	29
9 Лабораторна робота №9. Вивчення та налагодження схем мікропроцесорного та контакторного керування режимами роботи двигуна постійного струму з незалежним збудженням...	47
10 Лабораторна робота №10. Вивчення та налагодження схем мікропроцесорного та контакторного керування режимами роботи асинхронного двигуна з фазним ротором.....	62
11 Лабораторна робота №11. Вивчення законів частотного керування асинхронним двигуном.....	76
Перелік джерел посилання.....	87

5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

Регулювання швидкості та схема керування багатошвидкісного асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором

Мета роботи: вивчити фізичні процеси і особливості регулювання кутової швидкості асинхронного електродвигуна перемиканням кількості пар полюсів; схему автоматичного керування пуском, гальмуванням та реверсом двошвидкісного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.

5.1 Основні теоретичні положення

Значення синхронної швидкості електродвигунів при заданій частоті напруги живлення визначається полюсністю системи, а кутова швидкість асинхронного двигуна знаходиться з виразу

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s) = \frac{2 \cdot \pi f_1}{p} \cdot (1 - s), \quad (5.1)$$

де ω_0 – синхронна швидкість, с;

s – ковзання, в.о;

f_1 – частота живлячої мережі, Гц;

p – кількість пар полюсів.

З формули (5.1) випливає, що кутову швидкість асинхронного двигуна можна регулювати, змінюючи кількість пар полюсів, якщо фіксована частота мережі та несуттєво змінюється ковзання. Оскільки число пар полюсів може бути тільки цілим, то регулювання кутової швидкості є ступінчастим. Цей спосіб використовується для асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором, де достатньо змінити лише кількість пар полюсів обмотки статора. А у роторі відповідна кількість пар полюсів встановиться автоматично, оскільки обмотка ротора являє собою “білячу клітку” – властивість полісинхронізму. Перемикання кількості пар полюсів на статорі двигуна з фазним ротором потребує одночасного перемикання кількості полюсів на роторі, оскільки конструктивно обмотки статора та ротора ідентичні, а це суттєво ускладнює конструкцію двигуна та схему регулювання швидкості.

Перемикання кількості пар полюсів статора звичайно виконують двома способами:

– статор має дві або більше трифазних обмоток на різні кількості пар полюсів, а швидкість змінюють за рахунок вмикання тієї чи іншої обмотки;

– виконують одну трифазну обмотку на статорі, а швидкість регулюється шляхом зміни напрямку струму в певних ділянках кожної фазної обмотки відповідно обраної схеми з'єднання.

Недолік першого способу – погіршення масогабаритних показників двигуна.

Багатошвидкісні двигуни поєднують обидва названих способи перемикання числа пар полюсів статора.

На рис. 5.1 зображені електричні схеми для зміни кількості пар полюсів співвідношенням 2:1 для наступних з'єднань напівобмоток: послідовне узгоджене (а) з кількістю пар полюсів $2p=4$; послідовне зустрічне (б) з $2p=2$; паралельне (в) з $2p=2$.

Існують різні схеми перемикання трифазних обмоток статора, найбільш доцільні зображені на рисунку 5.2. Одинарна кількість полюсів позначена цифрою 1, подвійна – цифрою 2.

При переході з більшого числа пар полюсів на менше, кут фазної зони полюсів обмоток, що перемикаються, змінює свою величину з 60 ел.град. на 120 ел.град, що призводить до зміни послідовності фаз на протилежну. Виходячи з цього, при перемиканні з одного числа пар полюсів на інше з метою збереження незмінного напрямку обертання, необхідно змінити черговість прямування фаз на зворотну. Зображені на рисунку 5.2 схеми характеризуються різними значеннями потужності та моменту.

З теорії електричних машин відомо, що для асинхронного двигуна значення електричної потужності, що перетворюється в механічну, визначається виразом

$$P = m \cdot E'^2 \cdot I'^2 \cdot \cos \varphi_2 \quad (5.2)$$

де m – кількість фаз;

E'^2 – зведена ЕРС обмотки ротора;

I'^2 – зведений струм ротора;

$\cos \varphi_2$ – коефіцієнт потужності ротора.

Схеми перемикання обмоток статора

а) схема $\Delta(Y)/YY(\Delta)$ для регулювання при $M=\text{const}$;

б) схема $Y/(\Delta)$ для регулювання при $P=\text{const}$;

в) схема Y/YY для регулювання при $M=\text{const}$;

г) схема $Y(\Delta)/Y(\Delta)$ для регулювання при $P=\text{const}$.

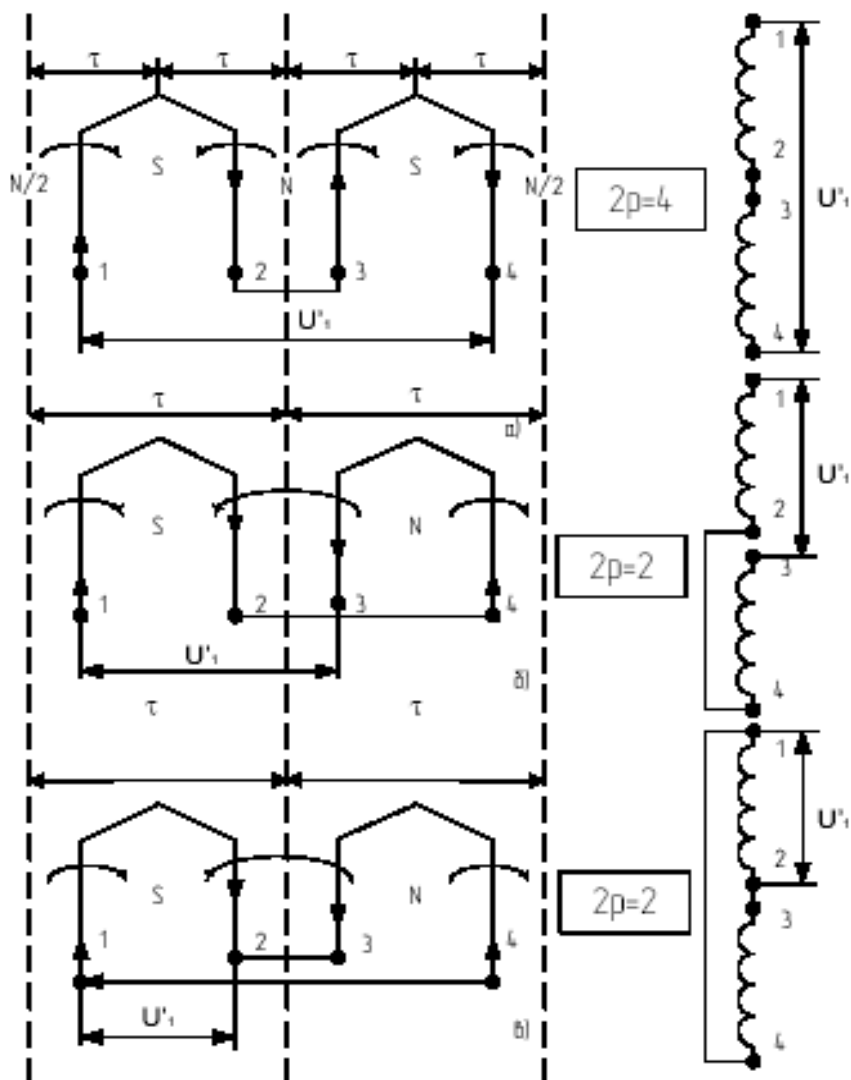
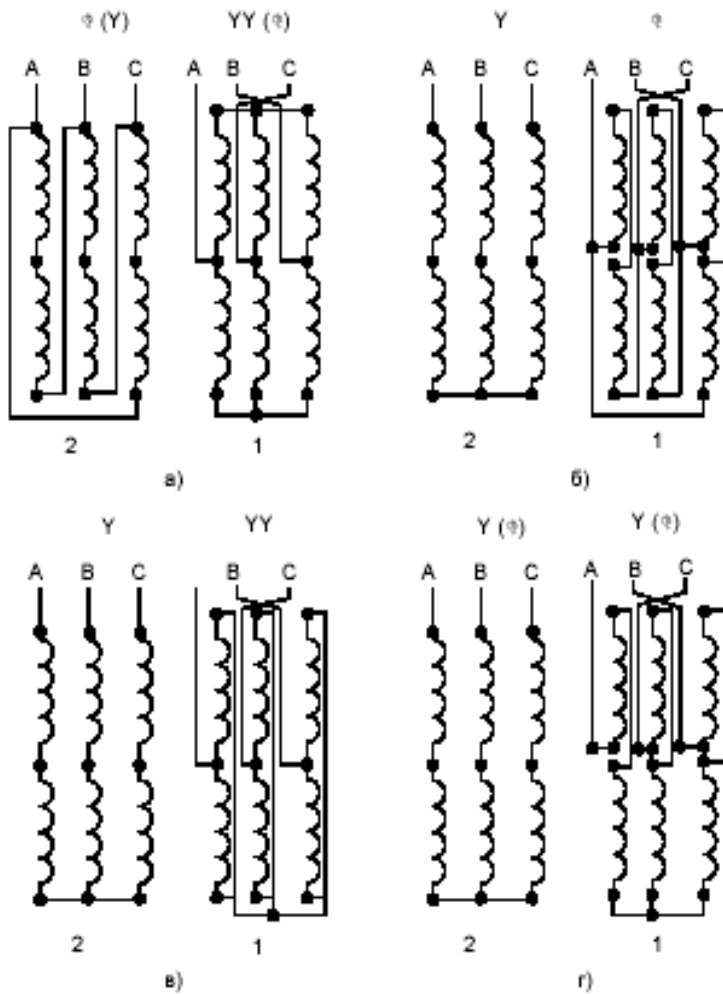


Рисунок 5.1 – З'єднання напівобмоток



- а) Схема $\Delta(Y)$ / $YY(\Delta)$ для регулювання при $M=\text{const}$;
 б) Схема Y / Δ для регулювання при $P=\text{const}$;
 в) Схема Y / YY для регулювання при $M=\text{const}$;
 г) Схема $Y(\Delta)$ / $Y(\Delta)$ для регулювання при $P=\text{const}$;

Рисунок 5.2 – Схеми з'єднання обмоток

Вираз можна наближено записати

$$P = C \cdot U_{1\phi} \cdot I_{1\phi},$$

де $C = m \cdot \cos \varphi_2$;

$U_{1\phi}$ – фазна напруга;

$I_{1\phi}$ – фазний струм статора.

При цьому були прийняті спрощувальні припущення:

$$E'_2 = E_1 = U_{1\phi};$$

$$I_2 \approx I_{1\phi};$$

$$\cos \varphi_2 \approx \text{const}$$

Таким чином, потужність визначається фазною напругою та припустимим за нагрівом двигуна струмом.

Виходячи з цього можна розрахувати потужність та момент двигуна, на які його можна навантажувати при регулюванні швидкості за схемами на рисунку 5.2, а також встановити, як змінюються потужність та момент двигуна при способі регулювання швидкості, що розглядається (дивись таблицю 5.1).

а) послідовне узгоджене;

б) послідовне зустрічне;

в) паралельне.

Як бачимо, схеми перемикачів, що зображені на рисунку 5.2 а,в дозволяють регулювати швидкість при сталому моменті (цьому випадку відповідають механічні характеристики на рисунку 5.3 а). Схеми перемикачів на рисунку 5.2 б,г дозволяють регулювати швидкість при сталій потужності (механічні характеристики наведені на рисунку 5.3 б).

5.2 Програма роботи

5.2.1 Вивчити основні напрямки теорії регулювання швидкості багатошвидкісних асинхронних двигунів, виконати заготівку звіту з паспортними даними дослідного двигуна, схемою установки, таблицями 5.2, 5.3.

5.2.2 Ознайомитися з лабораторною установкою, записати паспортні дані двигуна в таблицю 5.2.

5.2.3 Провести експеримент, записати результати вимірів в таблицю 5.3.

5.2.4 Зробити висновки з роботи.

5.3 Опис лабораторної установки

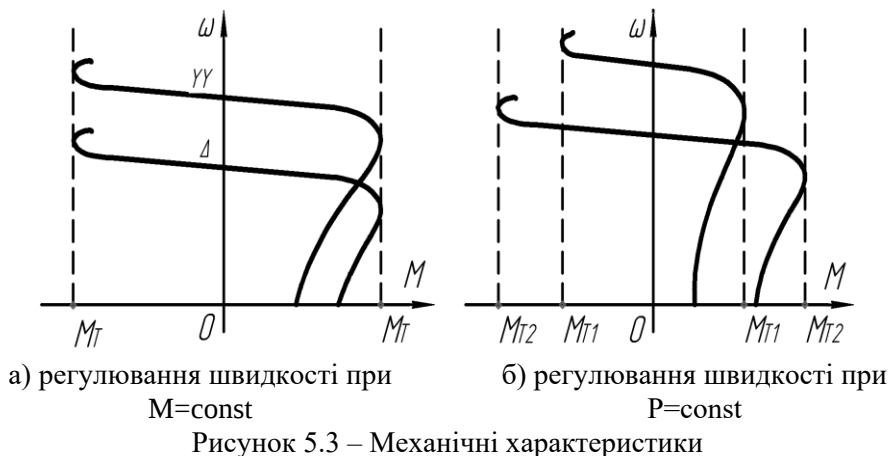
Схема установки зображена на рисунку 5.4. Об'єкт дослідження – двошвидкісний асинхронний двигун. Коло головного струму двигуна устатковане автоматичним вимикачем QF1 та тепловими реле КК1, КК2, які забезпечують захист двигуна від перевантажень та коротких замикань.

Таблиця 5.1 – Потужність і момент двигуна при різних схемах перемикання обмоток

Схема перемикань	Позначення полюсності	Схема з'єднання обмотки	Співвідношення напруг	Співвідношення струмів	Назва потужність	Названий момент	Регулювання швидкості за умов
Рисунок 5.2, а	2	Δ	$U_{1\phi}=U_{1л}$	$I_{1\phi}=I_{1л}/\sqrt{3}$	P	M	M=const (Рис.5.3, а)
	1	YY	$U_{1\phi}=U_{1л}/\sqrt{3}$	$2I_{\phi}=2I_{1л}$	2P	M	
Рисунок 5.2, б	2	Y	$U_{1\phi}=U_{1л}/\sqrt{3}$	$I_{\phi}=I_{1л}$	P	2M	P=const (Рис.5.3, б)
	1		$U_{1\phi}=U_{1л}$	$I_{1\phi}=I_{1л}/\sqrt{3}$	P	M	
Рисунок 5.2, в	2	Y	$U_{1\phi}=U_{1л}/\sqrt{3}$	$I_{\phi}=I_{1л}$	P	M	M=const (Рис.5.3, а)
	1	YY	$U_{1\phi}=U_{1л}/\sqrt{3}$	$2I_{\phi}=2I_{1л}$	2P	M	
Рисунок 5.2, г	2	Y	$U_{1\phi}=U_{1л}/\sqrt{3}$	$I_{\phi}=I_{1л}$	P	2M	P=const (Рис.5.3, б)
	1	Y	$U_{1\phi}=U_{1л}/\sqrt{3}$	$I_{\phi}=I_{1л}$	P	M	

Вмикання установки здійснюється натисканням кнопки SB1 (“Вмик.”). При цьому опиняється під напругою котушка контактора КМ1 та замикаються контакти: КМ1.3 силові в трифазній мережі змінного струму напругою 380 В та КМ1.2, що шунтує кнопку SB1 та встановлює котушку контактора КМ1.1 на саможивлення.

Вибір режиму роботи двигуна забезпечується натисканням кнопки SB6 (“Малий хід”) або SB7 (“Швидкий хід”). При цьому живиться котушка контактора КМ4 (або КМ5) та КМ6, які забезпечують своїми контактами увімкнення обмоток двигуна за схемою відповідно “ Δ ” або “YY” та взаємне блокування, а також живлення контактора КМ7 та з його допомогою підготовку схеми для подальшої роботи.



Таблиця 5.2 – Паспортні дані двигуна

№	Найменування	Одиниці	Номінальні дані
1	Тип	-	
2	Потужність	кВт	
3	Кількість фаз	-	
4	Напруга	В	
5	Струм	А	
6	Частота обертання	об/хв	
7	$\cos \varphi$	-	
8	Маса	кг	

Вибір напрямку обертання ротора та вмикання двигуна здійснюється натисканням кнопки SB4 (“Уперед”) або SB5 (“Назад”). При цьому живляться котушки контакторів КМ2 або КМ3, які забезпечують своїми контактами подавання прямої напруги та зворотної, а також взаємне блокування.

Схема забезпечена діагональними лампами, які надають інформацію стосовно режимів роботи двигуна, та вимірювальних пристроїв. Вимкнення двигуна від мережі та динамічне гальмування здійснюється натисканням кнопки SB3 (“Стоп”). При цьому вимикається живлення контакторів КМ2 – КМ6, двигун відмикається від мережі змінного струму, відбувається розбірка схеми з’єднання

його обмоток. Одночасно живиться котушка контактора КМ8, яка своїми контактами забезпечує саможивлення і надає постійний струм напругою 110 В на обмотки статора для реалізації динамічного гальмування.

Таблиця 5.3 – Дані вимірів

Вимірювальні параметри	Одиниці вимірів	Малий хід	Великий хід
1. Швидкість	об/хв		
2. Напруга U_1	В		
3. Усталений струм статора I_1	А		
4. Максимальний струм статора при протипротивімкненні I_{1max}	А		
5. Напруга U_2	В		
6 Максимальний струм динамічного гальмування I_2 .	А		

У колі постійного струму також є автоматичний вимикач QF2, який захищає від короткого замикання. Контакт КТ1.2 реле часу КТ1 через заданий проміжок часу подає живлення на контактор К9, за допомогою якого вимикається контактор КМ8 та двигун вимикається від мережі постійного струму.

Схема дозволяє під час виконання робіт виконувати перехід з меншої швидкості до більшої, а також гальмування протипротивімкненням та реверсування без зупинки двигуна за допомогою кнопки SB3 (“Стоп”).

Вимикання установки виконується натисканням кнопки SB2 (“Вим”). При цьому вимикається контактор КМ1 і установка відмикається від мережі змінного струму.

5.4 Порядок проведення роботи

Робота повинна виконуватись у наступному порядку:

- отримати дозвіл викладача на проведення роботи;
- увімкнути установку, натиснувши кнопку SB1 (“Вмик.”);
- увімкнути автоматичні вимикачі QF1 та QF2;
- провести вибір схеми з’єднання обмоток статора двигуна на Δ шляхом натискання кнопок SB6 (“Малий хід”);
- запустити дослідний двигун за допомогою кнопки SB4 (“Уперед”), записати показання приладів PV1 та PA1;

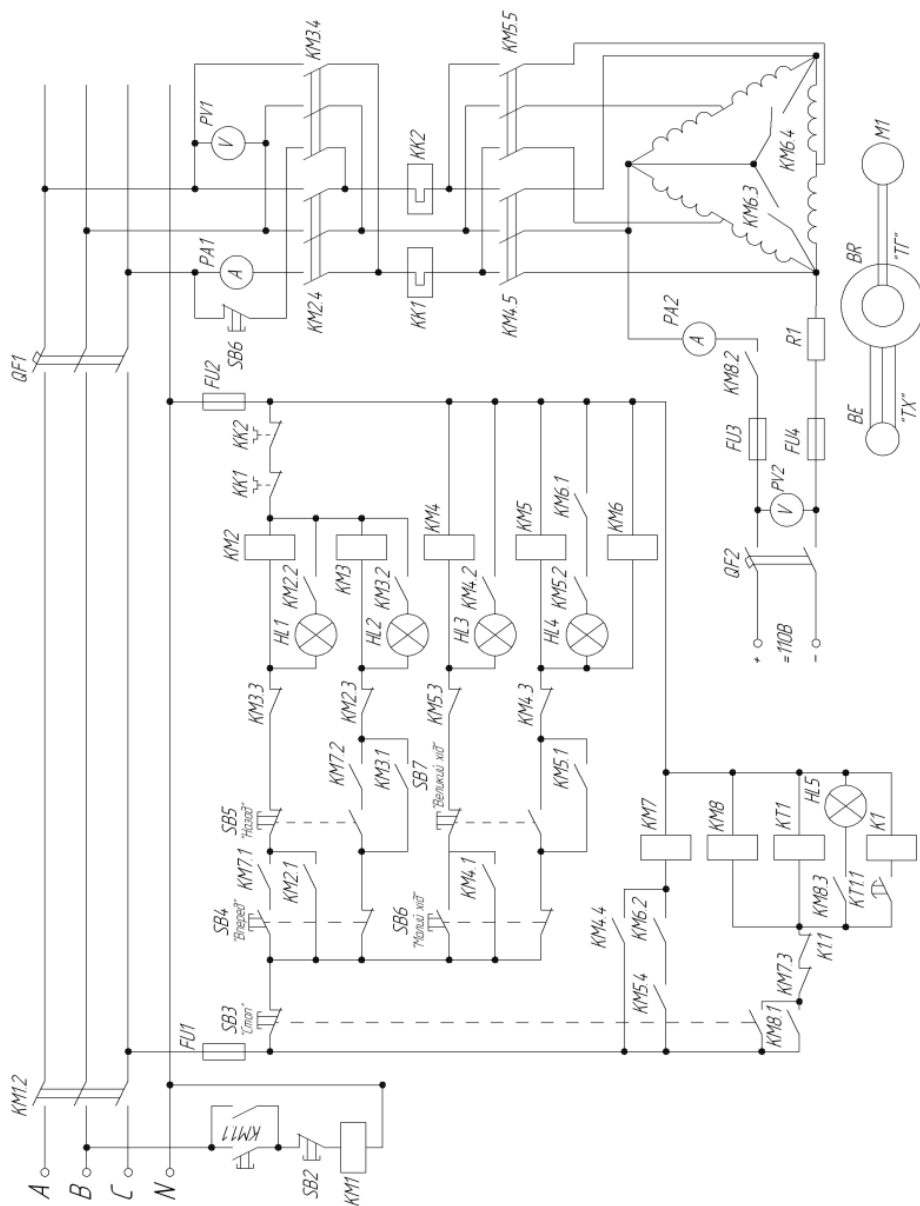


Рисунок 5.4 – Схема лабораторного стану
– провести гальмування противімкненням та реверсування

двигуна за допомогою кнопки SB5 (“Назад”), записати максимальне значення струму приладу PA1;

- здійснити без вимкнення двигуна зміну схеми з “Δ” до “YY” шляхом натискання кнопки SB7 (“Швидкий хід”), записати значення струму приладу PA1;

- здійснити гальмування противвимкненням та реверсування двигуна за допомогою кнопки SB4 (“Уперед”), записати максимальне значення струму приладу PA1;

- виконати вмикання та динамічне гальмування двигуна шляхом натискання кнопки SB3 (“Стоп”), записати показання PV2 та PA2;

- вимкнути вимикач QF1 та QF2, вимкнути установку натисканням кнопки SB2 (“Вим.”).

5.5 Зміст звіту

Звіт повинен містити назву роботи, схему установки, паспортні дані досліджуваного двигуна, таблицю з експериментальними даними, висновки з роботи.

5.6 Контрольні питання

5.6.1 Як забезпечується підготовка схеми до роботи при малому (великому) ході.

5.6.2 Як здійснюється вмикання двигуна уперед-назад, робота схеми при динамічному гальмуванні та зупинка двигуна.

5.6.3 Як здійснюється захист схеми від перевантажень та коротких замикань.

5.6.4 Як забезпечується електричне блокування та саможивлення контакторів у схемі.

5.6.5 Переваги та недоліки регулювання швидкості перемиканням кількості полюсів.

5.6.6 Різниця регулювання швидкості перемиканням кількості пар полюсів в АД з фазним та короткозамкненим роторами.

5.6.7 Особливості електричного гальмування багатошвидкісних АД.

5.6.8 Назвіть, де використовуються багатошвидкісні АД, [4].

5.6.9 Як працює схема у випадку $M=\text{const}$?

5.6.10 Як працює схема у випадку $P=\text{const}$?

5.6.11 Наведіть механічні характеристики для цих випадків.

6 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

Схема керування реверсуванням електропривода з короткозамкненим асинхронним двигуном у функції шляху та часу

Мета роботи: ознайомитися з принципами реверсування електроприводів з асинхронними двигунами; вивчити релейно-контактну схему ручного та автоматичного керування реверсивним електроприводом з асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором у функції шляху та часу.

6.1 Основні теоретичні положення

Більшість електроприводів потребує зміни напрямку обертання (або лінійного руху), наприклад при роботі привода засува різних трубопроводів, привода механізмів подачі верстатів, рольгангів прокатних станів, привода вантажо-піднімальних механізмів і таке інше. Іноді використовується механічне реверсування або кривошипні (кулісні перетворювальні ланки механічної частини електропривода). Проте частіше використовується електричне реверсування шляхом зміни знаку моменту, який розвиває електродвигун. Для двигунів постійного струму реверс частіше здійснюється зміною напрямку струму за рахунок зміни полярності напруги на обмотці якоря або на обмотці збудження. Асинхронні двигуни реверсуються зміною напрямку обертання магнітного поля статора, для чого достатньо змінити чергування прямування фаз напруги живлення (при трифазному живленні поміняти місцями дві будь-які фази).

У схемі ручного керування для цього може бути використаний реверсивний магнітний пускач, який має два контактори (прямого та зворотнього руху) та дві кнопки керування, за допомогою яких подається живлення на котушки відповідних контакторів, силові контакти яких перемикають фази на статорі.

При автоматичному керуванні з заданою циклічністю прямого та зворотнього руху необхідно контролювати шлях (лінійного переміщення при куті повороту) або час. В першому випадку використовуються різні давачі положення, в найпростішому випадку шляхові (кінцеві) вимикачі або перемикачі (керування у функції шляху) в іншому – реле часу (керування у функції часу).

6.2 Програма роботи

6.2.1 Вивчити схему лабораторної установки та особливості роботи її окремих елементів.

6.2.2 Відпрацювати роботу стенда за всіма способами керування.

6.2.3 Зробити аналіз результатів спостережень.

6.3 Опис лабораторної установки

На стенді, схема якого зображена на рисунку 6.1 встановлений асинхронний двигун з короткозамкненим ротором, який змонтовано за кінематичною ланкою гвинт-гайка, яка перетворює обертальний рух електродвигуна в поступальне переміщення візка, що емітує поступальний робочий орган виробничого механізму. На початку та в кінці робочого ходу візка встановлені кінцеві вимикачі. Стенд дозволяє виконувати як ручне так і автоматичне керування реверсом (Ручне – положення “0” перемикача SA1; автоматичне – положення “Ш” перемикача SA1 та положення “У” перемикача SA1). Головним апаратом керування є реверсивний магнітний пускач, що складається з контакторів KM1 (прямої дії) та KM2 (зворотньої дії). Окрім цього, встановлені проміжні реле КН1, КН2, реле часу КТ1, КТ2, кінцеві вимикачі SQ1, SQ2 та кнопки керування. Стенд підімкнено до трифазної мережі напругою 380 В та забезпечений автоматичним вимикачем QF, що захищає установку від перевантажень та коротких замикань. На рисунку. 6.2 наведена механічна характеристика асинхронного двигуна при прямому та зворотньому обертанні. Відрізки АВ та А`В` відповідають зміні напрямку обертання із прямого на зворотній і двигунового режиму в переходу в режим гальмування протипротиінням при реактивному статичному моменті.

6.4 Підготовка до роботи

Студент повинен завчасно підготуватися до лабораторної роботи. Для цього необхідно опрацювати теоретичний курс у відповідності до поставлених питань, вивчити порядок проведення роботи, зробити заголовки звіту.

Перед початком виконання лабораторної роботи студент подає викладачу заготовку звіту й відповідає на питання. Непідготовлений студент до виконання лабораторної роботи не допускається, та відпрацьовує її в установленому порядку.

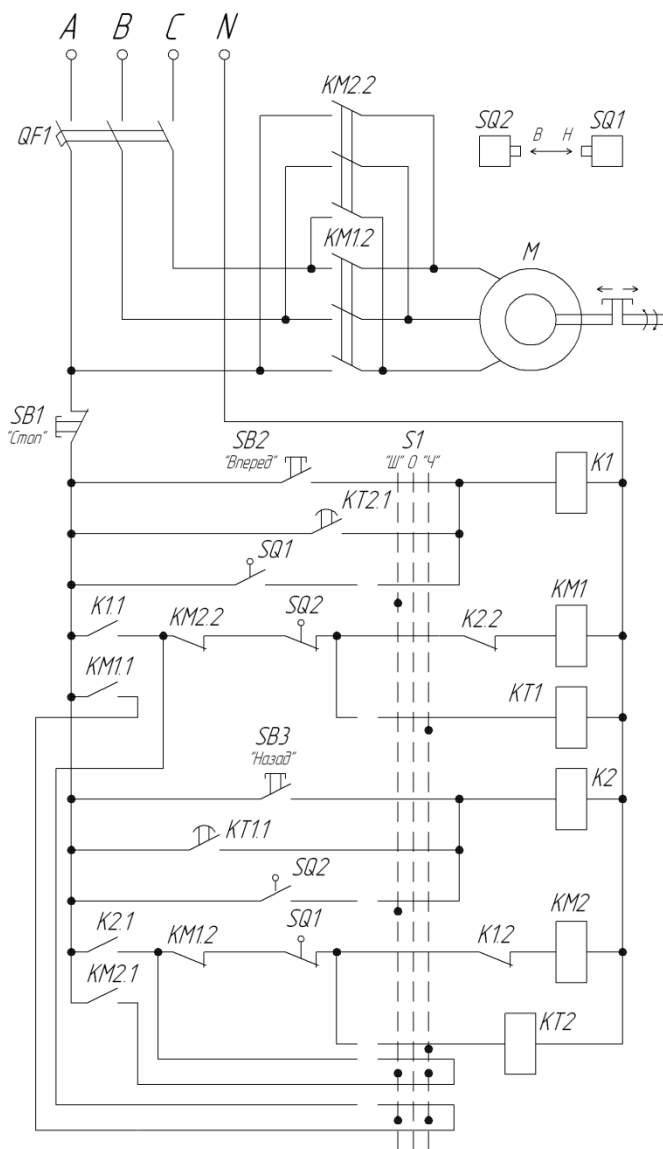


Рисунок 6.1 – Схема лабораторного стану

6.5 Порядок виконання роботи

6.5.1 Перевірити початковий стан схеми: вимикач QF1 вимкнений, перемикач SA в стані “О” . Подати на стенд загальне живлення кнопкою “Ввімк.”

6.5.2 Для приведення схеми до режиму ручного керування при знаходженні перемикача SA1 в положенні “О” увімкнути автоматичний вимикач QF1. У випадку натискання, наприклад, кнопки SB2 (“Уперед”) отримує живлення котушка проміжного реле K1, замикаючий контакт якого забезпечить живлення котушці контактора KM1, і, відповідно, замикання силових контактів контактора KM1. Двигун почне обертатися в напрямку “Уперед”. Перед цим розмикаючий контакт реле K1 розриває коло котушки контактора KM2 для запобігання випадкового одночасного вмикання контакторів KM1 та KM2. Натискаючи кнопку SB3 (“Назад”) схема працює аналогічно, але використовується проміжне реле K2 та контактор KM2.

Для переведення схеми до режиму керування у функції часу необхідно перемикач SA1 перевести в стан “Ч”. У цьому випадку при вмиканні котушки контакторів K1 або K2 одночасно будуть вмикатися котушки реле часу відповідно KM1 або KT2, а час роботи двигуна в заданому напрямку буде визначатися витримкою часу, встановленою на відповідному реле часу. З плином цього часу спрацює замикаючий контакт реле часу. Наприклад, з вмиканням котушки контактора K1 отримує живлення котушка реле часу KT1 та через встановлений на цьому реле проміжок часу спрацює замикаючий контакт реле часу KT1, щоб живити котушку проміжного реле K2. Розмикаючий контакт цього реле вимикає контактор KM1, а замикаючий – вмикає контактор KM2. Тривалість роботи останнього, в свою чергу, буде визначатися витримкою часу, встановленого на реле часу KT2 та інше.

6.5.3 Для переведу схеми до режиму керування у функції шляху переведіть рукоятку перемикача SA1 до положення “Ш”. При цьому виводяться із схеми реле часу KT1 та KT2 та уводяться кінцеві вимикачі SQ1 і SQ2. В цьому випадку, наприклад, при роботі контактора KM1 візок буде пересуватися уперед до моменту спрацювання кінцевого вимикача SQ2. При цьому розмикаючий контакт вимикача SQ2 вимкне контактор KM1, а замикаючий контакт вимикача SQ2 увімкне котушку проміжного реле K2, яке, в свою чергу, подасть сигнал на вмикання контактора KM2 на зразок

розглянутого випадку.

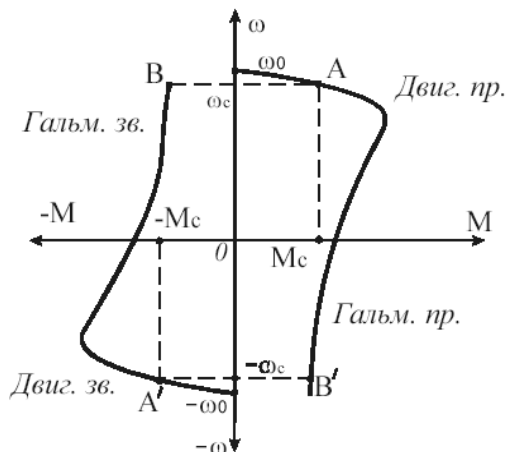


Рисунок 6.2 – Механічні характеристики АД в двигуневому та гальмівному режимах

Таким чином, відбудеться реверс. Візок, переміщуючись назад, досягне кінцевого вимикача SQ1, його спрацювання (подібно SQ2) призведе до реверсу та руху в зворотньому напрямку.

Увага! Перед роботою стенда при автоматичному керуванні у функції часу за допомогою ручного керування встановити візок в положення, для якого рух візка вперед чи назад забезпечило б термін роботи двигуна, заданий на реле часу KT1 та KT2.

6.6 Зміст звіту

Звіт повинен містити: схему стенда, графік механічної характеристики, короткий аналіз та висновки до роботи.

6.7 Контрольні питання

6.7.1 Принцип ручного й автоматичного керування.

6.7.2 У функції яких величин можна здійснити автоматичне керування пуском електродвигуна.

6.7.3 Призначення та особливості елементів розглянутої схеми.

6.7.4 Яким чином виконане взаємне блокування контактів реверсивного магнітного пускача.

6.7.5 Яким чином виконане у схемі самоблокування контакторів.

6.7.6 Як працює схема при ручному керуванні.

6.7.7 Як працює схема при автоматичному керуванні у функції часу.

6.7.8 Як працює схема при автоматичному керуванні у функції шляху.

6.7.9 Вигляд механічної характеристики асинхронного двигуна при роботі його з реверсом. Як здійснюється перехід від двигунового режиму до режиму гальмування противвімкненням з реактивним статичним моментом.

6.7.10 Використання реверсивних електроприводів.

7 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

Керування пуском і гальмуванням асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором

Мета роботи - вивчити режими пуску і гальмування асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором шляхом порівняльного аналізу різноманітних методів гальмування асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.

7.1 Основні теоретичні положення

Режим пуску характеризується споживанням енергії з мережі і наявністю вимушених складових струму намагнічення і магнітного потоку. Електромагнітні моменти при переході з двигуневого режиму в режим гальмування мають знакозмінний характер і основна задача полягає в максимальному їхньому обмеженні. Для цього необхідно відповідно існуючим принципам керування зменшити швидкість зміни магнітного потоку одним із трьох способів: обмеженням похідною потоку за часом; зменшенням межі зміни магнітного потоку за рахунок обмеження його сталого значення або за рахунок створення його деякого початкового значення.

Для двигунів із короткозамкненим ротором суттєве значення з погляду електропривода мають кратності початкового пускового моменту і початкового пускового струму.

На рис. 7.1 зображені приблизні природні характеристики двигуна з нормальним короткозамкненим ротором. Ці характеристики показують, що двигун із короткозамкненим ротором, споживаючи з мережі досить великий струм, має порівняно низький початковий пусковий момент. Кратність початкового пускового моменту двигунів

$$K_n = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}} = 1 \div 1.8$$

кратність пускового струму: $K_I = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}} = 5 \div 7.$

Відсутність пропорційності між моментом двигуна і струмом статора під час пуску (рис. 7.1) пояснюється значним зниженням магнітного потоку двигуна і зменшенням коефіцієнта потужності вторинного кола при пуску.

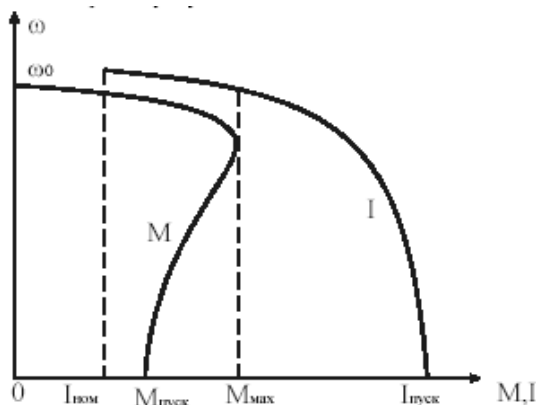


Рисунок 7.1 – Природні характеристики двигуна з короткозамкнутим ротором

Для підвищення початкового пускового моменту і зниження пускового струму застосовуються двигуни з короткозамкнутим ротором спеціальних конструкцій. Усі гальмівні режими є генераторними, але відрізняються один від одного процесами перетворення механічної енергії привода в електричну. Тому характер протікання процесів гальмування визначається головним чином видом збуджуючої енергії. Збудження гальмівного режиму в таких класичних способах гальмування, як противімкнення і динамічне, відбувається від джерел відповідно змінного і постійного струму.

Гальмування противімкненням може бути отримано перемиканням двох фаз обмотки статора. Ротор при цьому обертається проти напрямку руху поля і поступово сповільнюється. Якщо в ланцюг статора ввести додатковий змінний опір, то можна регулювати струм гальмування, момент і час зупинки двигуна. Характеристики, що при цьому одержують, зображені на рис. 7.2.

Якщо двигун працював із швидкістю ω_0 , то при противімкненні (вважаємо магнітне поле безінерційним) швидкість залишається незмінною, а момент змінює знак, тобто стає гальмівним (точка А). Ковзання при цьому більше одиниці (при $\omega=0$; $S=1$). Дійсно, підставивши у формулу ковзання $\omega_0=-\omega_0$ (напрямок поля змінюється), одержимо:

$$S = \frac{-\omega_0 - \omega}{-\omega_0} = \frac{\omega_0 + \omega}{\omega_0} > 1; \quad (1 \leq S \leq 2).$$

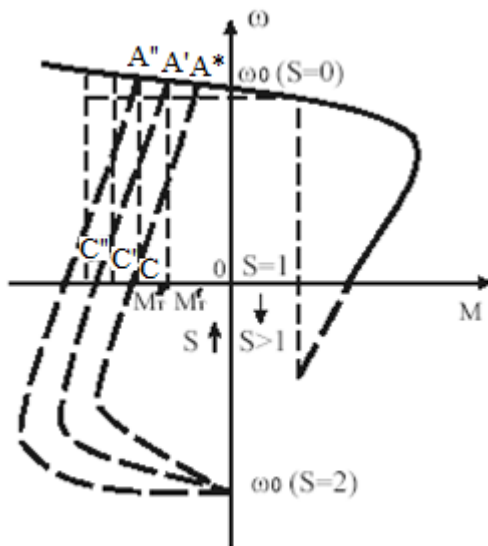


Рисунок 7.2 – Характеристики при гальмуванні протіввімкненням

У точці C двигун повинний бути віддімкнений, інакше виникає зворотний хід (реверс). Змінюючи величину струму гальмування, одержуємо різні значення початкових (M' і M'') та ефективних моментів гальмування, пропорційних площі, обмеженої кривими $M=f(\omega)$ в другому квадранті, отже, буде змінюватися час гальмування. Для цієї мети у кожену фазу вводять реостати R .

Контроль гальмування (відключення двигуна в точці C) може відбуватися вручну й автоматично – у функції часу, при використанні реле часу.

Динамічне гальмування здійснюється вмиканням обмотки статора в мережу постійного струму, обмотка ротора при цьому замикається на зовнішні опори.

Проходячи по обмотці статора, постійний струм утворить нерухоме поле, основна хвиля якого дає синусоїдальний розподіл індукції.

В обертовому роторі виникає змінний струм, що створює своє поле, що є нерухомим щодо статора. У результаті взаємодії сумарного магнітного потоку зі струмом ротора виникає змінний струм, що створює своє поле, що залежить від МДС статора і кутової швидкості ротора. Зразковий вигляд характеристик при різноманітних

струмах статора показаний на рис. 7.3.

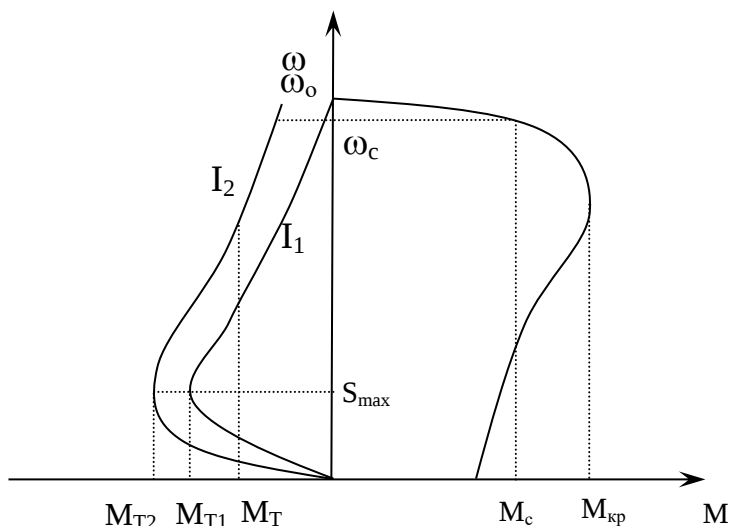


Рисунок 7.3 – Характеристики двигуна при динамічному гальмуванні

З збільшенням струму зростає ефективний гальмівний момент і, отже, зменшується час гальмування.

Одержання гальмівних режимів можливо також без споживання енергії збудження від постійних джерел і, отже, при відсутності вимушених складових струму намагнічування і магнітного потоку.

Одним із засобів гальмування, у котрому немає споживання енергії збудження з мережі, є конденсаторне, засноване на використанні ємнісного самозбудження асинхронної машини. Збуджуючись із боку статора, машина при визначеній кутовій швидкості генерує енергію, що виділяється у вигляді теплоти у роторному ланцюзі. Подібні схеми гальмування не знайшли ще широкого застосування унаслідок високої вартості конденсаторів.

Нормування динамічних характеристик дозволяє частково оптимізувати окремі гальмівні режими, але не усуває відомі суттєві вади кожного з чотирьох розглянутих основних засобів гальмування асинхронних двигунів із короткозамкненим ротором. Так, динамічне гальмування не дуже ефективне через малий гальмівний момент, що

розвивається двигуном у зоні високих швидкостей. Конденсаторне гальмування, навпроти, створюючи значні гальмівні моменти при високій кутовій швидкості, узагалі припиняє свою дію при низькій кутовій швидкості.

7.2 Програма роботи

7.2.1 Вивчити схему пуску і гальмування асинхронного двигуна.

7.2.2 Зняти експериментальну залежність часу гальмування двигуна від струму гальмування, що протікає в статорній обмотці двигуна у режимах гальмування противімкненням, динамічному і конденсаторному.

7.2.3 Зробити висновок про ефективність засобів гальмування асинхронного двигуна.

7.3 Опис лабораторної установки

Основним елементом схеми, зображеної на рис. 7.4, є асинхронний двигун М з короткозамкненим ротором. Вмикання машини у двигуневий режим здійснюється контактором КМ1, у режим противімкнення - контактором КМ2, у режим динамічного гальмування - контактором КМ3, конденсаторного гальмування - контактором КМ4. Подача команд на вмикання, відключення двигуна і вибір режиму гальмування здійснюється кнопками SB1 - SB6, за допомогою яких подається (або знімається) живлення з Обмоток допоміжних реле КН1 - КН4. У свою чергу контакти реле КН1 - КН4 подають (або знімають) напруги з обмоток відповідних силових контакторів КМ1 - КМ4. Тумблери S1, S2 призначені для подачі напруги на реле часу КТ1, КТ2. Живлення на схему керування двигуном подається вимикачем QF1. Вмикання двигуна відбувається кнопкою SB1.

7.4 Підготування до лабораторної роботи

Студент повинний завчасно підготуватися до майбутньої роботи. Для цього необхідно пропрацювати теоретичний курс з необхідних питань, вивчити порядок проведення роботи, виконати заготівки звіту.

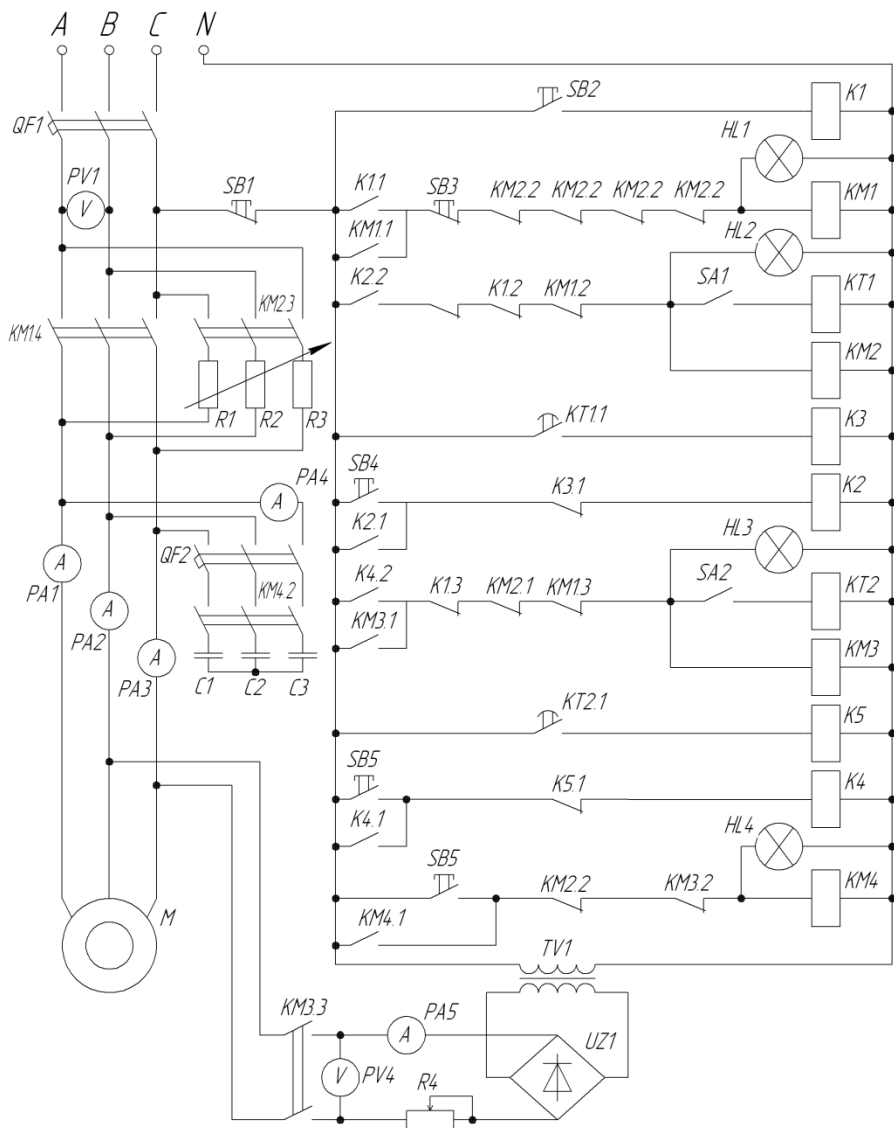


Рисунок 7.4 – Схема лабораторного станду

Перед початком виконання лабораторної роботи студент надає

викладачу заготовку звіту і відповідає на питання, поставлені по суті майбутньої роботи. Непідготовлені студенти до виконання лабораторної роботи не допускаються і відпрацьовують її в установленому порядку.

7.5 Порядок проведення роботи

7.5.1 Записати паспортні дані досліджуваного двигуна (табл.7.1).

Таблиця 7.1 – Паспортні дані

Показник	Одиниця виміру	Номінальні данні
Тип	-	
Потужність	кВт	
Кількість фаз	-	

7.5.2 Подати живлення на стенд. Ввімкнути автомат QF1 і натиснути кнопку SB2 ("Пуск"). При цьому ввімкнеться КН1.1, а потім пускач КМ1, що своїми силовими контактами ввімкне двигун і стане на саможивлення. Одночасно з вимиканням двигуна кнопкою SB1 ввімкнеться секундомір і виміряти час вільного вибігу (без гальмування). Дані експерименту записати в табл. 7.2.

Таблиця 7.2 – Дані експерименту

Режим противвімкнення	I, А				
	t, с				
Режим динамічного гальмування незалежного збудження	I, А				
	t, с				
Режим динамічного гальмування з самозбудженням	I, А				
	t, с				
Час вільного вибігу	t, с				

7.5.3 При повністю уведених реостатах R1, R2, R3 запустити двигун. Перевести двигун у режим противвімкнення натисканням кнопки SB4 і одночасно вимкнути секундомір. У момент зниження швидкості вала двигуна до нуля зафіксувати час гальмування шляхом повторного натискання кнопки секундоміра. Вимкнути двигун. Занести в табл. 7.2 значення струму в статорній обмотці двигуна, що відповідає моменту переходу двигуна в режим гальмування, і час гальмування противвімкненням.

7.5.4 Повторити експеримент тричі, встановлюючи струми гальмування (A1-A3) по мітках на реостатах R1, R2, R3. Вимкнути

двигун. Реостати повернути у початкове положення. Побудувати графік $t_r=f(I_r)$ (гальмування).

7.5.5 Відпрацювати і перевірити схеми автоматичного вмикання за допомогою реле часу. Виставити, при вимиканні автомату, реле часу КТ1 $t \leq 8$ с. Запустити двигун, потім, натиснути кнопку SB4 і тумблер S1 одночасно. Вимикаючись, реле часу КТ1 через заданий час ввімкне контакт КН3, що вимикне КН2 і КМ2, КМ1. Вимикання КМ2 повинно відбутися в момент зупинення ротора (якщо необхідно підкорегувати реле КТ1, попередньо вимкнувши автомат QF1), Вимкнеться двигун.

7.5.6 Запустити двигун. Для переходу двигуна в режим динамічного гальмування подати постійний струм у статор кнопкою SB5, ввімкнути секундомір і виміряти час гальмування і струм А5. Вимкнути двигун.

7.5.7 Запустити двигун, збільшуючи струм гальмування реостатом, 3-4 рази повторити дослід по п.7.5.6. Дані експерименту занести в табл. 7.2. Побудувати графік $t_r=f(I_r)$.

7.5.8 Для заданого викладачем струму гальмування за графіком знайти час гальмування і виставити його на реле часу КТ2 (при відкритому автоматі QF1). Запустити двигун і натиснути кнопку SB5 одночасно з S2. Одночасно ввімкнеться реле часу КТ2 і почне відлік. Через час уставки замкнеться контакт КТ2, ввімкнеться КН5 і вимкне своїм контактом, що розмикає, КН5, потім вимкнеться КМ3. Підібрати установку КТ2, щоб вимикання схеми відбулося в момент зупинки ротора. Вимкнути двигун.

7.5.9 Для дослідження процесу конденсаторного гальмування ввімкнути автомат QF2 і, натиснувши кнопку, запустити двигун. Натиснути кнопку SB4 і за допомогою секундоміра виміряти час гальмування двигуна, потім зняти показання амперметра РА4 у момент переведення двигуна в режим гальмування.

7.6 Зміст звіту

Звіт повинний містити: схему лабораторної установки; таблицю з паспортними даними двигуна, таблицю з результатами досліджень; графіки функцій $t_r=f(I_r)$ для досліджуваних гальмівних режимів; стислі висновки про ефективність досліджуваних режимів гальмування.

7.7 Контрольні питання

7.7.1 Пояснити схему керування пуском та гальмуванням асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором у цілому, і особливості роботи її окремих елементів.

7.7.2 Як здійснюється електричне блокування та саможивлення релейних елементів схеми.?

7.7.3 Особливості механічних характеристик АД (асинхронний двигун) у режимах гальмування.

7.7.4 Особливості запуску АД з короткозамкненим ротором.

7.7.5 Номінальні дані досліджувального АД з КЗ ротором.

7.7.6 Фізичний зміст режиму противвімкнення.

7.7.7 Написати рівняння та навести графік характеристики АД в двигуновому режимі і режимі гальмування.

7.7.8 Зміст динамічного гальмування.

7.7.9 Як працює схема при пуску двигуна?

7.7.10 Як працює схема, забезпечуючи режим динамічного гальмування з незалежним збудженням та режим динамічного гальмування з самозбудженням?

7.7.11 Галузі використання розглянутих гальмівних режимів.

7.7.12 Пристрій реле часу з годинниковим механізмом.

7.7.13 Як працює схема, забезпечуючи режим противвімкнення

7.7.14 Які основні логічні операції є базовими при написанні основних логічних рівнянь (функцій), що описують елементарні дискретні процеси (кола-контакти-керування).

7.7.15 Записати логічну функцію “Стрілка Пірса” у базисі НІ-АБО.

7.7.16 Записати логічну функцію Шоффера у базисі НІ-ТА.

7.7.17 Записати функцію “Вимикаюче АБО” у базисі НІ-АБО.

7.7.18 Записати функцію “Зворотна імплікація” у базисі НІ-ТА.

7.7.19 Наведіть приклад запису (керування магнітного кола з запізненням).

7.7.20 Пояснити принцип запису логічних рівнянь кіл керування на релейно-контактних елементах.

7.7.21 Пояснити основні принципи побудови безконтактних схем керування.

7.7.22 Яким чином втілюються бульові функції?

7.7.23 Пояснити основні правила виконання принципових електричних схем на логічних елементах.

8 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №8

Експериментальне дослідження перехідних процесів в системі генератор-двигун

Мета роботи – вивчити фізичні процеси й властивості системи генератор-двигун; дослідити способи запуску й регулювання кутової швидкості системи шляхом формального аналізу її статичних характеристик при різних умовах роботи; за результатами аналізу рівнянь динаміки системи дослідити її динамічні особливості; експериментально, шляхом зняття на лабораторній установці динамічних характеристик електромашинної системи, дослідити перехідні процеси; за експериментальними даними провести аналіз якості перехідних процесів в системі.

8.1 Основні теоретичні положення

В найпростішому варіанті схема електромашинної системи генератор-двигун (Г-Д) зображена на рисунок 8.1, де М1 – приводний асинхронний двигун; М2, М3 – відповідно генератор та двигун постійного струму незалежного збудження; ОЗМ2, ОЗМ3 – обмотки збудження генератора та двигуна; R_1 , R_2 – струмообмежуючі опори; S – перемикач полярності струму збудження генератора.

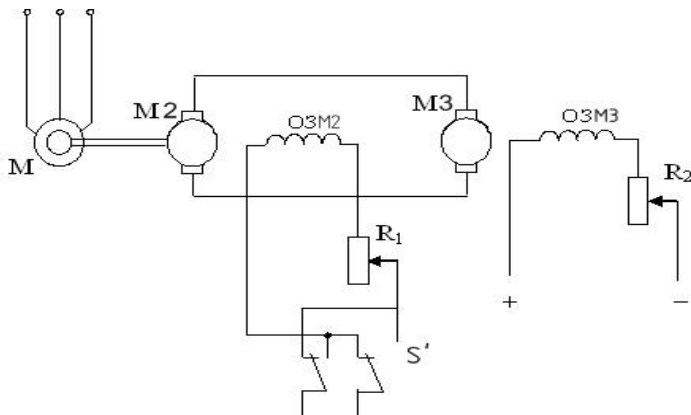


Рисунок 8.1 – Схема електромашинної системи Г-Д

Швидкість двигуна та напрямок обертання вала встановлюються за допомогою реостатів R_1 , R_2 і перемикача S в колі збудження

генератора. Пуск двигуна здійснюється в такій послідовності. Спочатку запускають привідний асинхронний двигун М1 та генератор М2, а двигун М3 повинен мати повний струм збудження. Збільшуючи струм збудження генератора, підвищують його ЕРС, струм і момент двигуна М3 збільшуються та він, плавно розганяючись, виходить на природну характеристику.

Статичні властивості електромашинної системи (Г-Д) відображає рівняння її електромеханічної характеристики

$$\omega = \frac{E_G}{C_M \Phi_D} - \frac{R_{яГ} + R_{яД}}{C_M \Phi_D} I_{я}, \quad (8.1)$$

де ω - кутова швидкість обертання двигуна, рад/с;

E_G – ЕРС генератора, В;

C_M – конструктивний коефіцієнт, який враховує конструктивні особливості машини постійного струму;

Φ_D – магнітний потік двигуна, Вб;

$R_{яГ}, R_{яД}$ – опір якорних обмоток генератора та двигуна, Ом,

$I_{я}$ – струм якорного кола генератора та двигуна, А.

Кожному значенню струму генератора відповідає власна електромеханічна характеристика двигуна. З рівняння (8.1) видно, що природна характеристика системи Г-Д повинна мати більшу крутизну, ніж природна характеристика власне двигуна, одержана при живленні його від мережі з постійною напругою. Це викликано сумарним опором обмоток якорів генератора та двигуна. Електромеханічна характеристика двигуна ПН-10 приведена на рисунку 8.2. Швидкість ідеального холостого ходу системи на кожній характеристиці, як це впливає з рівняння (8.1), визначається величиною ЕРС генератора E та магнітним потоком двигуна Φ_D .

Діапазон регулювання кутової швидкості в системі складає приблизно 10:1. Однак, якщо вважати ще і можливість регулювання швидкості двигуна за рахунок послаблення його магнітного потоку (за допомогою реостата R_2), то загальний діапазон $D=30:1$. Теоретично можливо отримати характеристику системи з як завгодно малою швидкістю ідеального холостого ходу. Однак при малих струмах збудження генератора його магнітний потік ослаблений і починає впливати реакція якоря.

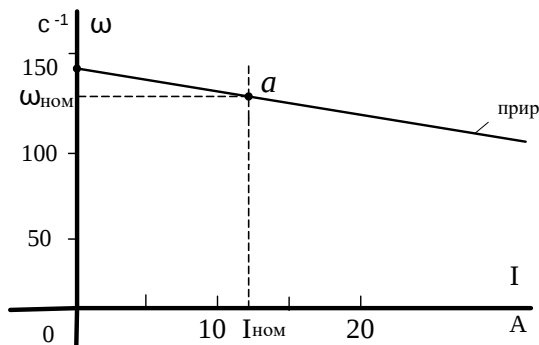


Рисунок 8.2 – Електромеханічні характеристики системи Г-Д

Окрім цього, істотний вплив на роботу системи при низькій кутовій швидкості робить і опір послідовно ввімкнутих в коло обмоток якорів генератора та двигуна. Нижня границя кутової швидкості системи обмежується остаточним намагнічуванням машин.

Переваги системи:

- велика плавність регулювання швидкості;
- відносно велика жорсткість характеристик;
- економічність експлуатації;
- великий діапазон регулювання швидкості;

Недоліки:

- велика сумарна потужність машини $P = P_d + P_g + P_m$ та відповідно великі сумарні габарити та вартість;
- знижений ККД системи $\eta = \eta_d \eta_g \eta_m$;
- нестійкість роботи системи на низьких кутових швидкостях.
- дослідження перехідних процесів в системі Г-Д, як і в будь-якій електромеханічній системі, пов'язані з необхідністю вивчення її динамічних властивостей. Рішення цієї задачі може бути отримане одним з трьох способів:
 - пряме математичне моделювання системи;
 - графоаналітичний спосіб розрахунку перехідних процесів;
 - експериментальне дослідження динаміки електромеханічної системи.

Краще використовувати аналітичний метод, ніж наближений графоаналітичний, тому що він дозволяє отримати загальні закономірності динаміки системи. Однак, оскільки генератор працює

при насиченому магнітному колі, то надана система Г-Д є нелінійною. Насичення магнітного кола не підлягає аналітичному урахуванню. Відповідно використання аналітичного методу можливе лише при наступних спрощеннях:

- магнітна система генератора не насичена, (маємо лінійну залежність між магнітним потоком та струмом збудження;
- вплив гістерезису та вихрових струмів малий і ними можливо знехтувати;
- реакція якоря відсутня, внаслідок чого вважають, що струм якоря не впливає на коло збудження генератора;
- магнітний потік двигуна – величина стала;
- електромагнітна постійна кіл якорів генератора та двигуна дорівнюють нулю, таким чином покладається, що $L_{яг} + L_{яд} = 0$.

Вихідна система рівнянь, що характеризує перехідні процеси в системі Г-Д, виглядає таким чином:

$$U_{BG} = i_{BG} R_{BG} + L_{BG} \frac{di_{BG}}{dt}, \quad (8.2)$$

$$E_G = E_D + I_{я} R_{я}, \quad (8.3)$$

$$M_D - M_C = J \frac{d\omega}{dt}, \quad (8.4)$$

де $R_{я} = R_{яг} + R_{яд}$,

J – зведений до вала двигуна момент інерції привода;

M_D , M_C – відповідно моменти двигуна и статичного опору механізму.

Рівняння (8.2) відображає зміну ЕРС в колі збудження генератора в перехідному процесі, (8.3) є рівнянням ЕРС в колі якорів машин системи Г-Д, (8.4) – рівняння руху привода. Сумісне рішення цих рівнянь має на меті знайти закони зміни струму якоря та швидкості двигуна. По суті, рівняння (8.2) – (8.4) внаслідок прийняття спрощуючих припущень представляє систему Г-Д як лінійну.

В такій системі отримаємо вираз для струму в колі якоря та швидкості двигуна, придатні для усіх режимів його роботи. Будемо також вважати, що перехідний процес супроводжується форсуванням збудження генератора. При наявності форсування рівняння (8.2) буде мати вигляд

$$\alpha U_{BG} = i_{BG} R_{BG} + L_{BG} \frac{di_{BG}}{dt}, \quad (8.5)$$

де α – коефіцієнт форсування, що відображає відношення напруг в колі збудження генератора в перехідному процесі та при нормальній його роботі. Якщо форсування не використовується, $\alpha=1$. У відповідності з першими трьома припущеннями будемо вважати, що ЕРС генератора пропорційна струму збудження, тому

$$\alpha E_{уст} = E_{\Gamma} + T_{BG} \frac{dE_{\Gamma}}{dt}, \quad (8.6)$$

де $E_{уст}$ – ЕРС генератора в усталеному режимі, що визначає струм в колі збудження генератора $i_{BG.уст} = \frac{U_{BG}}{R_{BG}}$, а також швидкість ідеального холостого ходу двигуна ω_0 ; $T_{BG} = \frac{L_{BG}}{R_{BG}}$ – електромагнітна стала кола збудження.

Для випадку, коли магнітний потік двигуна не змінюється ($\Phi_d = \text{const}$), маємо: $M_d = \kappa I_{\Gamma}$; $E_d = \kappa_E \omega$; $M_C = \kappa_M I_C$; $E_{d.уст} = \kappa_E \omega$.

Тут E_d – ЕРС двигуна, $K_M = C_M \Phi I_{\Gamma}$ – коефіцієнт при моменту двигуна. $K_E = C_E \Phi_d$ – коефіцієнт при ЕРС. Підставимо ці вирази в (8.3), (8.4) і отримаємо рівняння, котрі разом з рівнянням (8.6) будуть вихідними для аналізу перехідних режимів в системі Γ –Д:

$$E_{\Gamma} = \kappa_E \omega + I_{\Gamma} R_{\Gamma}, \quad (8.7)$$

$$\kappa_M I_{\Gamma} - \kappa_M I_C = J \frac{d\omega}{dt}, \quad (8.8)$$

де I_{Γ} – струм якірного кола генератора і двигуна;

R_{Γ} – опір цього ж кола $R_{\Gamma} = R_{\Gamma d} + R_{\Gamma \Gamma}$.

Диференціюємо по часу вираз (8.7)

$$\frac{dE_{\Gamma}}{dt} = \kappa_E \frac{d\omega}{dt} + R_{\Gamma} \frac{dI_{\Gamma}}{dt} \quad (8.9)$$

і, як це необхідно зробити в (8.6), підставимо сюди знайдене значення похідної. Враховуючи також результат знайдений в (8.7) отримаємо:

$$\alpha E_{уст} = \kappa_E \omega + I_{\Gamma} R_{\Gamma} + \kappa_E T_{BG} \frac{d\omega}{dt} + R_{\Gamma} T_{BG} \frac{dI_{\Gamma}}{dt}.$$

Так як $E_{уст} = \kappa_E \omega_0$, то

$$T_{BG} \frac{d\omega}{dt} + \frac{R_J}{\kappa_E} T_{BG} \frac{dI_J}{dt} + \omega + I_J \frac{R}{\kappa_E} = \alpha \omega_0. \quad (8.10)$$

У цьому рівнянні залишилися підставити значення струму якірного кола генератора та двигуна I_J , а також його похідної, що ми і зробимо, визначив його з (8.8):

$$I_J = \frac{J}{\kappa_M} \frac{d\omega}{dt} + I_C \quad (8.11)$$

Знайдемо похідну (8.11)

$$\frac{dI_J}{dt} = \frac{J}{\kappa_M} \frac{d^2\omega}{dt^2}.$$

Підставляючи останні два вирази в (8.10), будемо враховувати, що JR_J/κ_{ME} – є електромеханічна стала часу приводу T_M , а $I_C R_J/\kappa_E$ – статичне падіння швидкості двигуна $\Delta\omega_C$, викликане дією навантаження. Таким чином,

$$T_{BG} T_M \frac{d^2\omega}{dt^2} + (T_{BG} + T_M) \frac{d\omega}{dt} + \omega = \alpha \omega_0 - \Delta\omega_C. \quad (8.12)$$

Використовуючи наданий підхід можливо вивести рівняння для струму якірного кола

$$T_{BG} T_M \frac{d^2 I_J}{dt^2} + (T_{BG} + T_M) \frac{dI_J}{dt} + I_J = I_C. \quad (8.13)$$

З порівняння (8.12) та (8.13) бачимо, що диференціальні рівняння швидкості та струму подібні. Їх вирішення пов'язане з стандартною процедурою: визначається характеристичне рівняння

$$T_{BG} T_M p^2 + (T_{BG} + T_M) p + 1 = 0.$$

Корені якого

$$p_1 = -\frac{1}{T_{BG}}, \quad p_2 = -\frac{1}{T_M},$$

після чого рівняння для швидкості та струму будуть мати вигляд:

$$\begin{aligned} \omega &= A_1 e^{-\frac{t}{T_{BG}}} + A_2 e^{-\frac{t}{T_M}} + \alpha \omega_0 - \Delta\omega_C, \\ I_J &= B_1 e^{-\frac{t}{T_{BG}}} + B_2 e^{-\frac{t}{T_M}} + I_C, \end{aligned} \quad (8.14)$$

де $\alpha \omega_0 - \Delta\omega_C$ та I_C – часткові рішення рівнянь (8.12) і (8.13), обумовлені їх правою частиною. Перше з них являє усталене значення швидкості при умові збереження форсування до досягнення струмом збудження генератора значення

$$i_{BG} = \frac{\alpha U_{Bz}}{R_{BG}} \quad (8.15)$$

Потім виходячи з початкових умов знаходять сталі інтегрування A_1, A_2, B_1, B_2 . Опускаючи стандартну процедуру їх пошуку приведемо для випадку $M_c = \text{const}$ кінцеві результати.

$$\omega = \alpha \omega_0 - \frac{\alpha \omega_0 - \omega_{0\text{поч}}}{T_{BG} - T_M} (T_{BG} e^{-\frac{t}{T_{BG}}} - T_M e^{-\frac{t}{T_M}}) - \Delta \omega_C, \quad (8.16)$$

$$I_{Я} = \frac{(\alpha I_{ЯК.З} - I_{ЯК.З.ПОЧ}) T_{BG}}{T_{BG} - T_M} (e^{-\frac{t}{T_{BG}}} - e^{-\frac{t}{T_M}}) + I_C, \quad (8.17)$$

де $\omega_{0\text{поч}}$ – швидкість ідеального холостого ходу, відповідна вихідній характеристиці, на якій привід працював до початку перехідного процесу; струм короткого замикання якірного кола генератора та двигуна при $E = E_{уст}$, $I_{ЯК.З.ПОЧ}$ – струм короткого замикання цього кола при нерухомому двигуні.

$$I_{ЯКЗ} = \frac{E_{уст}}{R_{Я}} = \frac{\kappa_E \omega_0}{R_{Я}}. \quad (8.18)$$

Таким чином, можливо мати уявлення, наскільки складно математичне моделювання електромеханічної системи Г-Д, навіть якщо результати отримані при ряді спрощуючих припущень та $M_c = \text{const}$.

В цих умовах перевага може бути надана експериментальним дослідженням динаміки електропривода, хоч вони і не мають узагальнюючих властивостей. Щоб мати загальне (повне) уявлення про електромеханічну систему, потрібні багаторазові експерименти для кожного з режимів її роботи. В інженерній практиці подібні можливості трапляються доволі не часто. Однак, саме така можливість надається при лабораторному вивченні курсу теорії електропривода. Перевагою експериментального методу є той факт, що спрощуючи припущення не потрібні.

8.2 Програма роботи

8.2.1 Вивчити електричну схему лабораторної установки та особливості роботи її окремих елементів.

8.2.2 Здійснити пуск досліджуваної машини (ДМ) при неробочому ході, без форсування збудження генератора з виходом на швидкість, відповідну до E_r . Використовуючи запам'ятовуючий

осцилограф, зняти залежності $n=f(t)$; $I_{\text{я}}=f(t)$; $i_{\text{вг}}=f(t)$. Визначити за осцилограмами: максимальні та усталені значення n , $I_{\text{я}}$, $i_{\text{вг}}$, тривалість перехідного процесу по сталі часу цих процесів.

8.2.3 Здійснити пуск досліджуваної машини (ДМ) вхолосту з форсуванням збудження ($\alpha=2$) без введення додаткового опору з виходом на швидкість, відповідну до E_r . Зняти залежності $n=f(t)$, $I_{\text{я}}=f(t)$, $i_{\text{вг}}=f(t)$ та провести їх обробку, як вимагається в пункті 2.

8.2.4 Здійснити пуск ДМ вхолосту з форсуванням збудження ($\alpha=2$), а також з її наступною відсічкою по часу з наступним ввімкненням навантаження ($I_{\text{н}}=5\text{A}$) и її скидом. Зняти залежності $n=f(t)$, $I_{\text{я}}=f(t)$, $i_{\text{вг}}=f(t)$ та провести їх обробку.

8.2.5 Повторити експеримент за п. 4 при струмі навантаження $I_{\text{н}}=10\text{A}$.

8.2.6 Здійснити пуск ДМ під навантаженням ($I_{\text{н}}=10\text{A}$) з використанням форсування та її наступну відсічку по часу. Відмикання системи автоматичне за допомогою реле з заданим часом. Зняти і обробити залежності $n=f(t)$, $I_{\text{я}}=f(t)$, $i_{\text{вг}}=f(t)$.

8.2.7 За результатами експериментальних досліджень зробити стислі висновки.

8.3 Опис лабораторної установки

Принципова електрична схема лабораторної установки зображена на рис. 8.3. Головними її елементами є система Г-Д (машини постійного струму М2, М3), привідний асинхронний двигун М1, а також навантажувальна машина (НМ) М4, яку використовують для створення механічного навантаження, що регулюється, на валу ДМ. Швидкість сумісного обертання машин ДМ-НМ вимірюється за допомогою тахометричного пристрою, що складається з тахогенератора ТГ і власне тахометру (позначення на схемі ВР та ВЕ). Збудження машин постійного струму здійснюється від випрямлячів УЗ1 та УЗ2. Причому регулювання збудження генератора М2 системи Г-Д забезпечується як за напругою (за допомогою трансформатора Т1 з боку мережі змінного струму), так і за струмом, при використанні додаткового опору $R_{\text{дод}}$. Перший з наведених засобів призначається для створення форсованого запуску системи Г-Д, другий – для ослаблення магнітного потоку генератора.

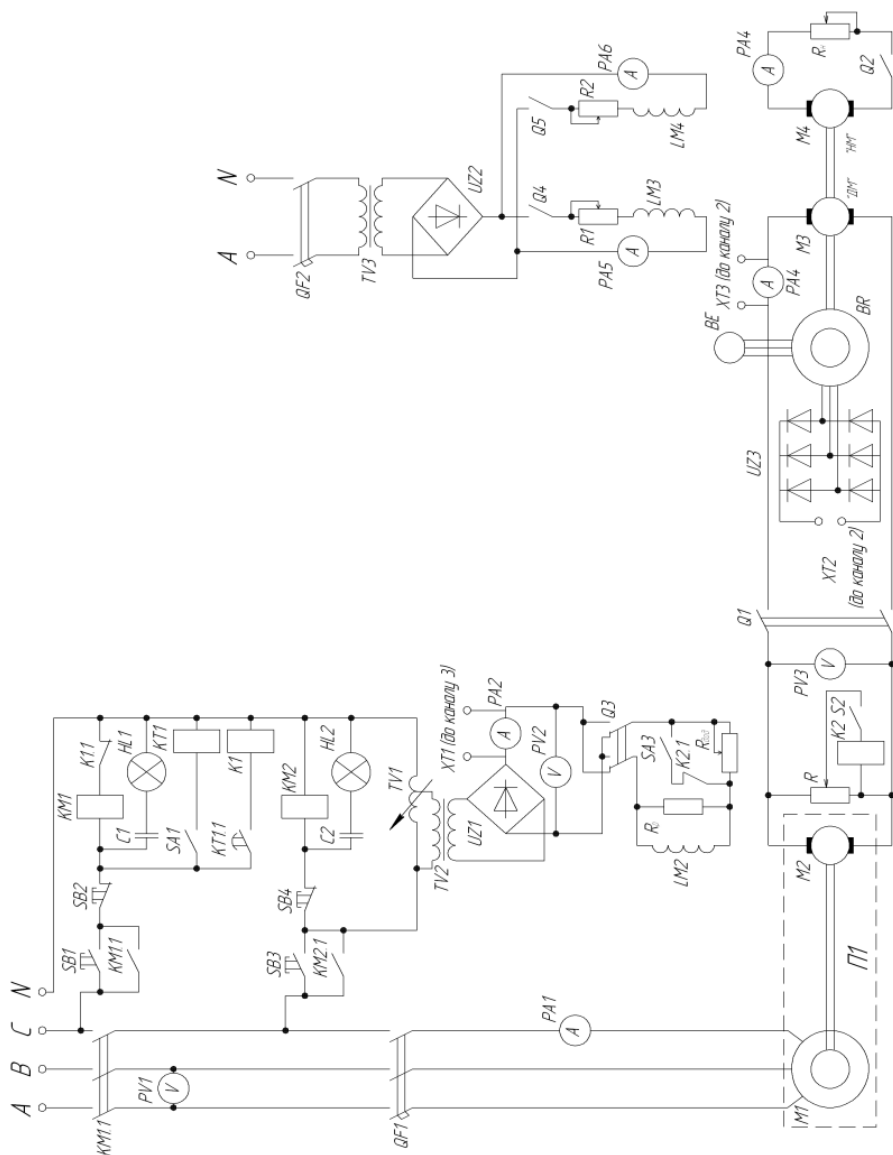


Рисунок 8.3 – Схема лабораторного стану

Регулювання збудження машин ДМ-НМ здійснюється тільки

ослабленням магнітного потоку, за допомогою реостатів R_1 , R_2 . Схема керування лабораторною установкою спроектована у відповідності до вимог викладених в підрозділі 8.2. Запуск електромеханічної системи здійснюється таким чином. Після замикаання вимикача QF1 та кнопки SB1 подається живлення до схеми керування, внаслідок чого спрацьовує реле КМ1, яке трьома своїми контактами підключає до мережі змінного струму 380 В приводний асинхронний двигун М1, а четвертим контактом шунтує пускову кнопку, здійснюючи підхват на саможивлення пускового кола. М1 запускається і одночасно з ним набирає обертів з'єднаний з ним загальним валом генератор М2.

При цьому загорається сигнальна лампа НЛ₁. Ємність C_1 у колі цієї лампи служить як ємнісний струмообмежувач. Однак, оскільки генератор М2 не збуджений, вимикач Q1 не замкнений та не подано збудження до машин М3, М4, струму в якірному колі системи Г-Д нема. Для її запуску спочатку слід ввімкнувши Q1, потім QF2 і тільки після цього за допомогою кнопки SB3 подати збудження на генератор М2. Маючи повний струм збудження, що досягається відповідною установкою струмообмежувача R_1 , досліджувана машина почне обертатися. Якщо при цьому вимикач Q2 розімкнений, то її пуск здійснюється вхолосту.

Таблиця 8.1 – Паспортні дані електричних машин, використаних в лабораторній роботі

Найменування та позначення	Тип	Номінальні дані			
		Напруга, В	Потужність, кВт	Струм, А	Частота обертання, об/хв
Досліджуванний двигун М3	ПН-10	110	1.0	12.2	1420
Генератор М2	ПН-10	110	1.0	12.2	1420
Генератор, що навантажує М4	ПН-10	110	1.0	12.2	1420
Привідний двигун М1	A0-42-4/2	380	2,1	4,8	1430

Частина схеми керування, пов'язана з забезпеченням збудження генератора М2, працює наступним чином. Після замикаання кнопки SB₃ спрацьовує реле КМ2, яке своїм контактом здійснює самопідхват

по живленню і одночасно подає його на однофазний автотрансформатор Т1. Останній призначається для ручного регулювання напруги збудження М2 з боку змінного струму, і відповідно для задання величини коефіцієнта форсування α . За допомогою знижуючого трансформатора Т2 напруга змінного струму подається на мостову схему випрямлення УЗ1 і далі через перемикач полярності випрямленої напруги Q3 в обмотку збудження генератора ОЗМ 2. Перемикач Q3 служить для зміни напрямку обертання системи машин М2, М3, М4, однак в даній роботі цього не вимагається. Послідовно з обмоткою ОЗМ2 ввімкнено додатковий опір $R_{\text{дод}}$, призначення якого пов'язане з ослабленням струму, в цій обмотці, і як наслідок, з можливістю роботи генератора М2 при ослабленому магнітному потоці. Для цієї мети в схемі призначенні струмообмежуючий опір R_0 та реле постійного струму К0.

Припустимо що схемою здійснюється форсовуваний запуск з коефіцієнтом $\alpha=2$. При цьому за допомогою автотрансформатора Т1 установити напругу, подвоєну порівняно до номінальної (контроль за вольтметром PV2), тобто $U_{\text{вр}}=\alpha U_{\text{вр}}=2*110=220$ В. Ця напруга подається до обмотки ОЗМ2, генератор форсовано набирає швидкість до моменту спрацювання реле К0, яке ввімкнене на регульовану частину змінного опору R_0 . Якщо замкнені вимикачі S2, S3, розмикається контакт реле К0, що шунтує додатковий опір $R_{\text{дод}}$. Як наслідок, магнітний потік генератора ослаблюється та відбувається відсічка форсування. Таким чином, в лабораторній установці забезпечуються як установка заданого коефіцієнта форсування, так і її відсічка по потрібній напрузі якірного кола системи Г-Д. В лабораторній установці є можливість запуску системи Г-Д на заздалегідь заданий час, котре встановлюється за допомогою реле часу КТ1, для чого перед натисканням пускової кнопки SB1 потрібно ввімкнути вимикач S1. Внаслідок цього живлення одночасно подається на реле КМ1 та КТ1. По витіканню часу уставки контакт КТ1 замикається і під напругою виявляється реле К1, котре розмикає свій контакт в колі реле КМ1 – привідний асинхронний двигун М1 відмикається від мережі.

В лабораторній установці забезпечується також відображення графічної інформації про перехідний процес в системі Г-Д для функцій $n(t)$, $I_a(t)$, $i_{\text{вр}}(t)$, за допомогою цифрового запам'ятовуючого осцилографа (на схемі не позначений).



Рисунок 8.4 – Загальний вигляд осцилографа OWON

Інформація про зміну швидкості обертання, струму якірного кола системи та струму збудження системи крізь клемові з'єднання XT2, XT3, XT1 подається по каналам на осцилограф відповідно 5, 6 і 4. Цифровий осцилограф OWON, що запам'ятовує, є новим напрямом розвитку вимірювального устаткування. Призначений для моніторингу (спостереження), виміру тимчасових і амплітудних параметрів, реєстрації як випадкових (одноразових), так і періодичних сигналів. Поєднання вимірювального пристрою і ПК відкриває нові можливості, недосяжні автономним пристроям в обробці, збереженні, наданні і передачі даних.

Полоса пропускання осцилографа: 25MHz; макс. частота дискретизації осцилографа: в реальному часі 100MHz, у еквівалентному режимі 2.5GHz; кількість каналів: 2; глибина пам'яті 6К, вертикальне розширення 8bit. Режими синхронізації АВТО, НОРМ, ОДНОКРАТНИЙ, ВІДЕО, підмикаємі фільтри НЧ и ВЧ; 4 ланки пам'яті для запам'ятовування осцилограм; 20см кольоровий STN ЖК-дисплей, розширення 640x480; інтерфейси: RS-232 або USB; слугує для освітніх заходів, може також бути використаний і для дослідження низькочастотних сигналів.

Цифровий осцилограф реєструє повільні зміни постійної напруги. З цієї причини на вихід тахогенератора BR включений трифазний мостовий випрямляч UZ3, виконаний по схемі Ларіонова. Електровимірювальні прилади призначаються для отримання

кількісної інформації під час експериментальних досліджень. Призначення кожного з них освоюється при вивченні схеми.

8.4 Підготовка до роботи

До початку лабораторних занять студент зобов'язаний виконати наступне.

8.4.1 Вивчити основні теоретичні положення та зробити самостійний аналіз рівняння динаміки електропривода (8.16) та (8.17) відносно їх графічного вигляду.

8.4.2 Вивчити схему лабораторної установки та порядок проведення роботи (див. пункт 8.5).

8.4.3 Отримати у викладача перед початком лабораторної роботи допуск, пройшовши перевірку знань в межах даної роботи та вимог з техніки безпеки. Непідготований студент до роботи не допускається і відпрацьовує її в установленому порядку.

8.5 Порядок виконання роботи

Перед початком роботи необхідно переконатися у тому, що усі встановлені комутуючі елементи QF1, QF2, Q1, Q2, Q4, Q5, S1, S2, S3 відімкнені, а Q3 повернутий вліво. Потім, не запускаючи привідний двигун, послідовно ввімкнути тумблер S3, кнопку SB1 та SB3 і за допомогою автотрансформатора T1 встановити номінальну напругу збудження генератора $U_{вг}=110$ В (контроль за вольтметром PV2), після чого вимкнути ці кола від мережі живлення, натиснувши кнопку SB2. Далі треба вивести опір R1 та ввімкнути у наступній послідовності комутуючі елементи: QF1, Q1, Q4, QF2. Підготувати разом з викладачем чи лаборантом запам'ятовуючий осцилограф. Потім студентська бригада розподіляється так, щоб один з студентів був зайнятий з комутуючими елементами, другий – зняттям показань електровимірювальних приладів, а третій разом з викладачем – забезпеченням роботи осцилографа. Установка після цього вважається готовою до проведення першого експериментального дослідження.

8.5.1 Пуск дослідної машини вхолосту без форсування збудження. Після перевірки осцилографа та вмикання, його готовності, за командою викладача послідовно ввімкнути SB1 та SB3. По закінченню перехідного процесу та появи на екрані осцилографа залежностей $\omega=f(t)$ та $I_{я}=f(t)$, послідовно зняти усталене значення швидкості, здійснюючи контроль її величини за тахометром BE. Потім

за допомогою кнопки SB2 зупинити обертання системи. Зафіксувати графіки $\omega=f(t)$ та $I_a=f(t)$, на екрані цифрового осцилографа. Перенести зафіксований графік перехідного процесу за допомогою USB шнура до персонального комп'ютера та зберегти його там. Відмітити на графіку усталене та максимальне значення швидкості, а також значення сталої часу та тривалості перехідного процесу. Отриманий вигляд залежностей $\omega=f(t)$ та $I_a=f(t)$, наведений на рисунку 8.5.

8.5.2 Пуск дослідної машини вхолосту з форсуванням збудження. В тій же послідовності при вимиканні QF1 та замкненому S3 встановити напругу генератора $U_{вг}=220$ В, що забезпечить форсований пуск генератора при $\alpha=2$ (контроль за вольтметром PV2), потім натиснути кнопку SB2. Переконавшись у готовності осцилографа та ввімкнув QF1, за командою викладача ввімкнути SB1 та SB3 і далі по закінченні запису перехідних процесів натисканням кнопки SB2 зупинити систему та виконати їх обробку.

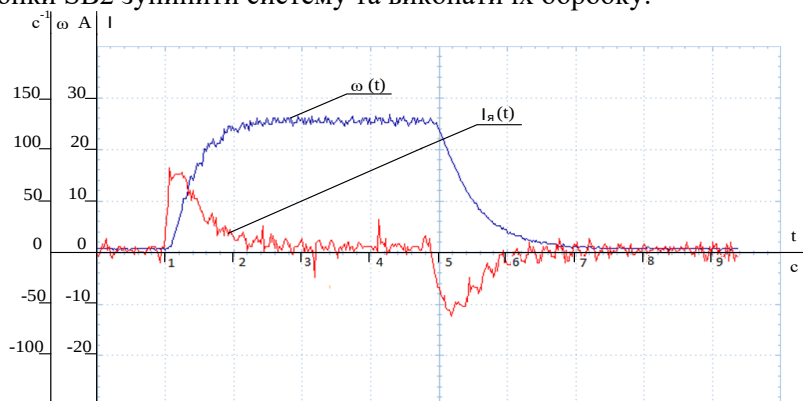


Рисунок 8.5 – Графіки перехідних процесів при пуску дослідної машини при неробочому ході без форсування збудження

Зафіксувати графіки $\omega=f(t)$ та $I_a=f(t)$, на екрані цифрового осцилографа. Перенести зафіксований графік перехідного процесу за допомогою USB шнура до персонального комп'ютера та зберегти його там. Відмітити на графіку усталене та максимальне значення швидкості, а також значення сталої часу та тривалості перехідного процесу. Отриманий вигляд залежностей $\omega=f(t)$ та $I_a=f(t)$, наведений на рисунку 8.6.

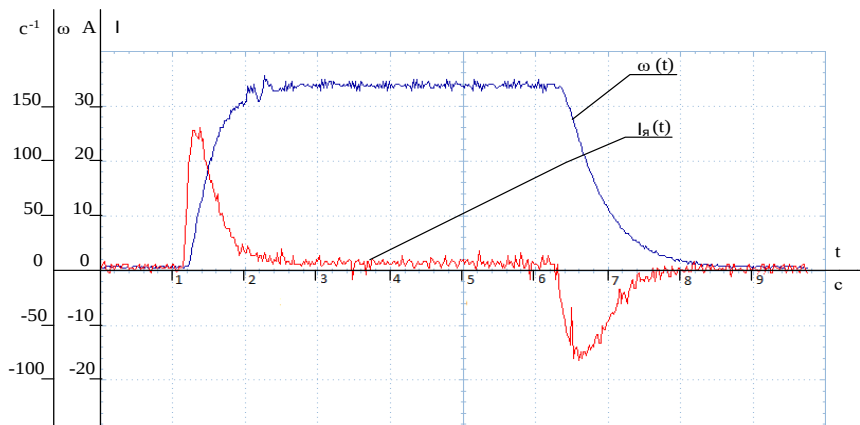


Рисунок 8.6 – Графіки перехідних процесів при пуску дослідної машини при неробочому ході з форсуванням збудження

8.5.3 Пуск дослідної машини при неробочому ході з форсуванням збудження генератора ($\alpha=2$) та її відсічкою, а також з послідовним накидом навантаження на систему та її скидання при струмі навантаження $I_n=5$ А. При встановленому раніше збудженні генератора, що відповідає $\alpha=2$, здійснити пробний холостий пуск системи. Його мета – налаштування опору $R_{дод}$ та R_0 . При цьому повинні бути замкнені QF1, QF2, Q1, Q4, Q5, S2, S3, розімкнені вимикачі Q2, S1. Після вмикання системи, величина R_0 налаштовується на спрацьовування реле K0, а опір $R_{дод}$ – на відповідність струму в його колі $I_{вг}=0.5$ А (контроль за амперметром PA2). Потім необхідно встановити опір навантаження в середнє положення та ввімкнути Q2. Порівняти показання електровимірювальних пристроїв, котрі в даному випадку повинні відображати приблизно наступні величини: $PV2=220$ В, $PV3=100$ В, $PA2=0.2$ А, $PA6=500$ мА, $PA4=5$ А, $PA3=0.55$ А, $PA5=500$ мА. Після цього спочатку вимкнути Q2 і далі кнопкою SB2 усю систему. Підготувати осцилограф та за командою викладача здійснити запуск без навантаження системи. По закінченні запису перехідного процесу при пуску системи, викладач дає команду на вмикання Q2 (приймання навантаження). Переконавшись у тому, що ця частина перехідного процесу записана, необхідно вимкнути Q2, здійснивши скидання навантаження. Зупинити обертання та обробити отриману

інформацію. Отриманий вигляд залежностей $\omega=f(t)$ та $I_a=f(t)$, наведений на рисунку 8.7.

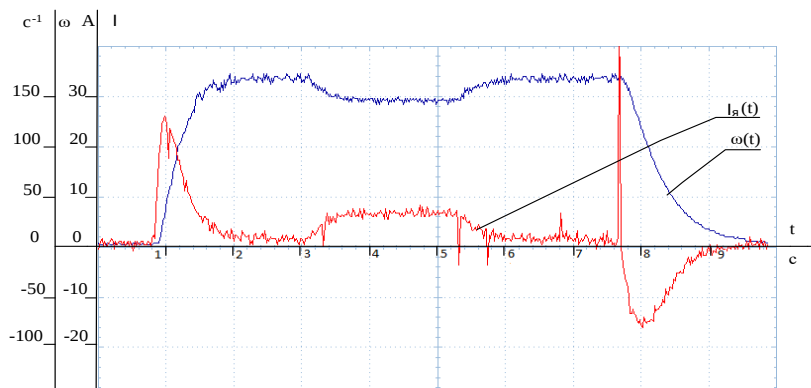


Рисунок 8.7 – Графіки перехідних процесів при пуску дослідної машини при неробочому ході з форсуванням збудження генератора ($\alpha=2$) та її відсічкою, а також з послідовним накидом навантаження на систему та її скидання при струмі навантаження $I_n=5$ А

8.5.4 Пуск дослідної машини без навантаження з форсуванням збудження генератора ($\alpha=2$) та її відсічкою з наступним накиданням та скиданням навантаження в системі при $I_n=10$ А. Для здійснення цього експерименту необхідно, не вимикаючи осцилограф, запустити систему під навантаженням (Q2 - ввімкнений) і скорегувати опір на R_n відповідність струму $I_n=10$ А. Після цього повторити пункт 8.4.4. Отриманий вигляд залежностей $\omega=f(t)$ та $I_a=f(t)$, наведений на рис. 8.8.

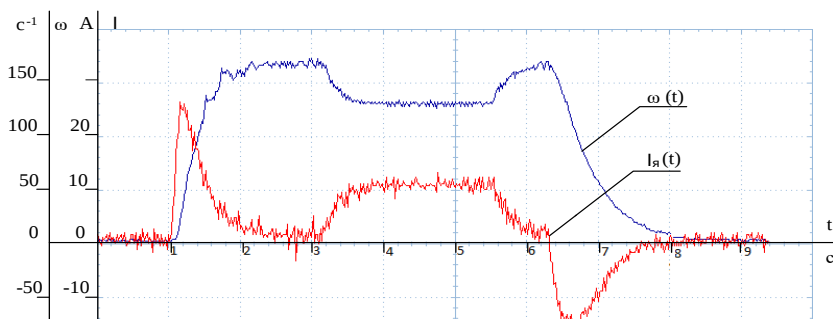


Рисунок 8.8 – Графіки перехідних процесів

8.5.5 Форсований запуск системи ($\alpha=2$) під навантаженням ($I_n=10$ А) і відсічкою форсування з наступним автоматичним відмиканням системи від мережі по заданому часу її роботи. В цьому експерименті після запису перехідних процесів необхідно ввімкнути тумблер S1, який подає живлення на реле часу КТ1. В результаті по закінченню часу уставки відбудеться автоматична зупинка системи. Отриманий вигляд залежностей $\omega=f(t)$ та $I_a=f(t)$, наведений на рисунку 8.9.

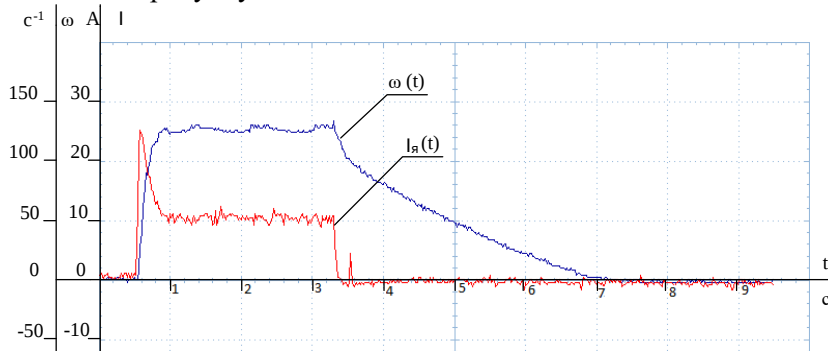


Рисунок 8.9 – Графіки перехідних процесів.

8.6 Зміст звіту

Звіт з лабораторної роботи повинен містити: таблиці з паспортними даними електричних машин; принципову електричну схему лабораторної установки, графіки перехідних процесів $\omega=f(t)$, $I_a=f(t)$, $i_{br}=f(t)$, перенесені з осцилографа в зошит з лабораторних робіт; стислі висновки про особливості перехідних процесів, аналіз отриманого графічного матеріалу

8.7 Контрольні питання

8.7.1 Викладіть роботу лабораторної установки у цілому та поясніть призначення елементів електричної схеми.

8.7.2 З використанням електричної схеми викладіть суть усіх природних експериментів.

8.7.3 Назвіть переваги і недоліки математичного та природного моделювання системи Г-Д.

8.7.4 Яким рівнянням описуються статичні властивості системи Г-Д.

8.7.5 Незалежно від схеми лабораторної установки наведіть електричну схему системи Г-Д.

8.7.6 Який порядок запускання системи Г-Д.

8.7.7 Назвіть переваги і недоліки системи Г-Д.

8.7.8 Наведіть спрощуючі припущення для системи Г-Д при її математичному моделюванні.

8.7.9 Запишіть рівняння динаміки для швидкості та струму системи Г-Д.

8.7.10 Поясніть суть понять “форсований запуск”, “приймання навантаження”, “відсічка форсування”, “скидання навантаження”.

9 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №9

Вивчення та налагодження схем мікропроцесорного та контакторного керування режимами роботи двигуна постійного струму з незалежним збудженням

Мета роботи – Вивчення схемних рішень релейно-контакторних систем керування двигуном постійного струму з незалежним збудженням. Ознайомлення з порядком розрахунку і настроювання вказаних систем при керуванні двигуном у функції часу та ЕРС.

9.1 Програма роботи

9.1.1 Ознайомитись зі схемами керування, зображеними на рис.9.1 та 9.2; з'ясувати взаємодію і порядок роботи елементів схеми в усіх вивчаємих режимах.

9.1.2 Для заданого викладачем по табл.9.1 варіанта вихідних даних розрахувати:

- величину пускових опорів R_1 та R_2 ;
- величину опорів динамічного гальмування $R_{д.г.}$;
- величину опору ступеня противвмикнення $R_{г.п.}$ і точку підмикання R_x реле противвмикнення KV2, KV3;
- уставлення напруги спрацьовування реле противвмикнення KV2, KV3;
- уставлення спрацьовування реле контролю ЕРС двигуна KV4, KV5;
- час спрацьовування реле КТ1, КТ2.

9.1.3 Скласти схему, подану на рис. 9.1 і встановити згідно з розрахунками: величини опорів ступенів прискорення R_1 і R_2 , витримки часу спрацьовування реле КТ1 та КТ2. Спостерігати за роботою схеми у режимах пуску і гальмування.

9.1.4 Скласти схему, подану на рис. 9.2, і встановити згідно з розрахунками: величину опору ступеня противовмикання $R_{г.п.}$, точку вмикання реле противовмикання R_x , величини напруги спрацьовування реле противовмикання KV2, KV3 і реле контролю ЕРС двигуна KV4, KV5. Спостерігати за роботою схеми в режимах пуску, гальмування і реверсу.

Таблиця 9.1 – Вхідні дані

№ варіанту	Вид пуску	Момент навантаження M_c (в.о.)	Максимальний момент під час пуску M_1^* (в.о.)	Момент перемикання M_2' (в.о.)	Максимальний момент під час динамічного гальмування $M_{дг.}^*$ (в.о.)	Максимальний момент під час гальмування протипривімкненням $M_{г.п.}^*$ (в.о.)	Число ступенів прискорення, n
1	Нормальний	0,05	-	0,9	2,0	2,0	2
2	Форсований	0,05	2,1	-	2,2	2,0	2
3	Нормальний	0,05	-	0,8	2,5	2,0	2
4	Форсований	0,05	2,0	-	2,3	2,0	2
5	Нормальний	0,05	-	1,0	1,5	2,0	2
6	Форсований	0,05	2,0	-	2,4	2,0	2
7	Нормальний	0,05	-	1,2	1,7	2,0	2
8	Форсований	0,05	2,2	-	2,1	2,0	2
9	Нормальний	0,05	-	1,5	1,8	2,0	2
10	Форсований	0,05	2,3	-	2,2	2,0	2
11	Нормальний	0,05	-	0,7	1,9	2,0	2
12	Форсований	0,05	2,4	-	2,5	2,0	2
13	Нормальний	0,05	-	1,4	2,0	2,0	2
14	Форсований	0,05	2,6	-	2,2	2,0	2
15	Нормальний	0,05	-	1,1	1,9	2,0	2

9.2 Опис експериментального обладнання

9.2.1 Лабораторне обладнання складається зі стенду, на якому розташована релейно-контакторна апаратура та вимірювальні прилади, а також приєднаного до стенду двигуна постійного струму типу П21, параметри якого надані на стенді. Обладнання дозволяє зробити наладку і випробування наступних режимів: пуску двигуна в функції часу і динамічного гальмування у функції ЕРС (див. рис. 9.1); пуску двигуна у функції ЕРС, гальмування протипривімкнення і реверсу (див. рис.9.2).

На лицевій панелі стенду знаходиться комутаційне поле, яке складається з 32 гнізд і дозволяє швидко зібрати схему рис.9.1 або рис.9.2. Виділеними лініями на схемах показані електричні кола, які збираються за допомогою гнізд комутаційного поля. Номера, які проставлені на кінцях цих ліній на схемах, відповідають нумерації гнізд комутаційного поля. Двигун М запускається в два ступеня через регулюючі опори R_1 і R_2 , повзунки яких виведені на лицьову панель.

Опори $R_{г.п.1}$ і $R_{г.п.2}$ разом складають опір ступені противв'імкнення $R_{г.п.}$ і також мають виведені на лицьову панель повзунки. Опір динамічного гальмування $R_{д.г.}$ знаходиться всередині стенду.

Реле напруги KV2 - KV5 являють собою реле типу РН-53, установлення спрацювання яких виставляються за допомогою відповідних повзунів на передній панелі реле. Реле KV1 – реле контролю ЕРС двигуна в режимі динамічного гальмування. При малій частоті обертів М1 реле KV1 повертається в попередній стан, здійснюючи тим самим кінець режиму гальмування.

Реле КТ1, КТ2 здійснюють витримку часу при закороченні ступенів прискорення R_1 і R_2 при запуску двигуна у функції часу. Контактори КМ1 і КМ2 здійснюють пуск або реверс у колі якоря М1; контактори КМ3 і КМ4 – закорочення ступенів прискорення R_1 і R_2 ; контактор КМ5 підмикає опір $R_{д.г.}$ до якоря М1 в режимі динамічного гальмування; контактор КМ6 здійснює закорочення ступені противв'імкнення $R_{г.п.}$ після закінчення режиму гальмування противв'імкненням. На лицевій панелі стенду знаходиться також електросекундомір типу ПВ-53Щ для настроювання часу спрацювання реле КТ1 і КТ2. Настроювання здійснюється за допомогою тумблерів S1, S2 та S3.

9.2.2 Інтелектуальне реле ZELIO LOGIC



Рисунок 9.1 – Загальний вигляд програмованих реле ZELIO

Програмовані інтелектуальні реле є одним з різновидів ПЛК (програмовані логічні контролери). Застосування інтелектуальних реле в автоматизованому електроприводі дозволяє значно спростити схеми керування електрообладнанням, підвищити їх надійність.

Завдання програми для інтелектуальних реле проводиться за допомогою кнопок на лицьовій панелі і невеликого, як правило, в один - два рядки LCD індикатора. Хоча існують і більш складні конструкції, і в цих випадках програми доводиться писати на персональному комп'ютері, з використанням спеціалізованих мов програмування релейної логіки LD, FBD і деяких інших.

Відмінність інтелектуальних реле від повноцінних ПЛК в тому, що вони володіють малим об'ємом оперативної та програмної пам'яті, А це призводить до неможливості хоч скільки-небудь складних математичних обчислень. Крім того кількість каналів введення - виведення як цифрових, так і аналогових у інтелектуальних реле також невелика, Тому область їх застосування досить обмежена. Насамперед, це автоматизація окремих агрегатів, керування системами освітлення, деякими пристроями в системі ЖКГ, локальні контури різних систем автоматизації, побутова техніка.

Конструкція програмованих інтелектуальних реле найчастіше моноблочна – в одному невеликому корпусі містяться всі вузли. Це, як правило, блок живлення невеликої потужності, мікроконтролер, канали введення і виведення інформації, клеми для підключення виконавчих пристроїв. Корпуси таких пристроїв невеликі і дозволяють установку в електричних шафах на DIN - рейку, що відповідає сучасним стандартам. Втім, блок живлення може бути і окремим пристроєм.

В даній роботі використовували інтелектуальне реле Zelio Logic серії SR3B261BD виробництва компанії Schneider Electric з наступними параметрами:

- напруга живлення – 24 В;
- кількість дискретних входів – 16 (з них аналогових 6);
- кількість релейних виходів – 10.

Крім згаданої Schneider Electric виробництвом програмованих реле займається ще цілий ряд закордонних фірм: OMRON, Control Techniques, SIEMENS, Mitsubishi Electric, Danfoss, ABB, Moeller, Braun, Allen Bradley, Autonics, Array Electronic, Eaton.

Таблиця 9.2 – Паспортні дані двигуна постійного струму.

Тип двигуна	Номинальна потужність P_n , кВт	Кількість пар полюсів p	Номинальна напруга живлення U_n , В	Номинальний струм I_n , А	ККД η , %	Кутова швидкість n , об/хв	Опір обмотки якоря r_a , Ом	Маховий момент GD^2 , $\text{кг}\cdot\text{м}^2$
П21	0.7	2	220	4.3	72	880	75.5	57

9.3 Порядок виконання роботи

9.3.1 Розрахунок пускових опорів R_1 , R_2 . Вихідні дані для розрахунку знаходяться в табл. 1 для варіанту, вказаного викладачем.

9.3.1.1 Нормальний пуск. Задається момент перемикавання $M_2^* = M_2 / M_n$ і визначається максимальний пусковий момент $M_1^* = M_1 / M_n$, де M_n - номінальний момент двигуна.

Розраховується величина $\lambda = M_1 / M_2 = M_1^* / M_2^*$ - відношення максимального моменту при пуску до моменту перемикавання:

$$\lambda = m+1 \sqrt{\frac{1}{R^* M_2^*}},$$

$$\text{де } R^* = \frac{R_y}{R_n}, \quad R_n = \frac{U_n}{I_n}.$$

Тоді максимальний момент при пуску

$$M_1^* = \lambda \cdot M_2^*.$$

Далі див. п.9.3.1.3.

9.3.1.2 Форсований пуск. Задається момент пуску $M_1^* = M_1 / M_n$ і визначається момент перемикавання $M_2^* = M_2 / M_n$. Розраховується величина $\lambda = M_1^* / M_2^*$ за формулою:

$$\lambda = m \sqrt{\frac{1}{R^* M_1^*}},$$

де R^* - те саме, що й в п.9.3.1.1.

$$\text{Тоді момент перемикавання } M_2^* = \frac{M_1^*}{\lambda}.$$

Далі розрахунки для нормального і форсованого пуску співпадають.

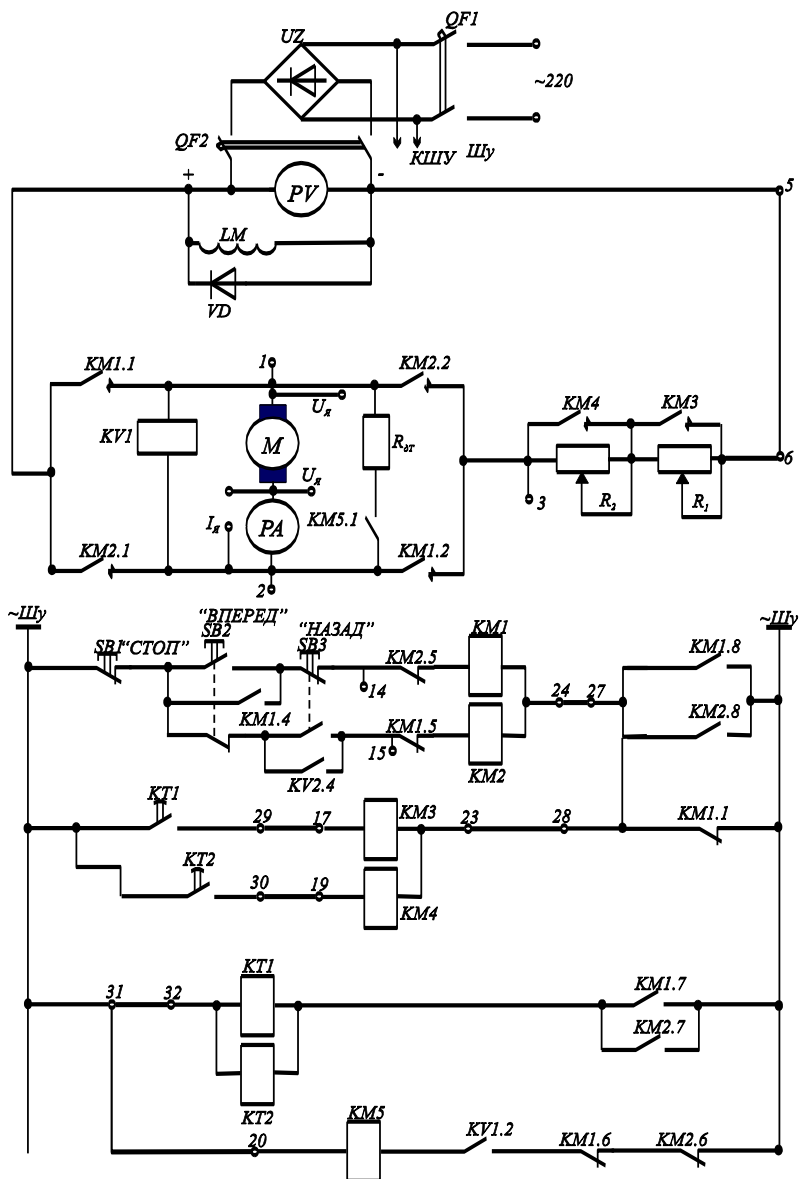


Рисунок 9.2 – Схема пуску ДПС з НЗ у функції часу і динамічного гальмування у функції ЕРС

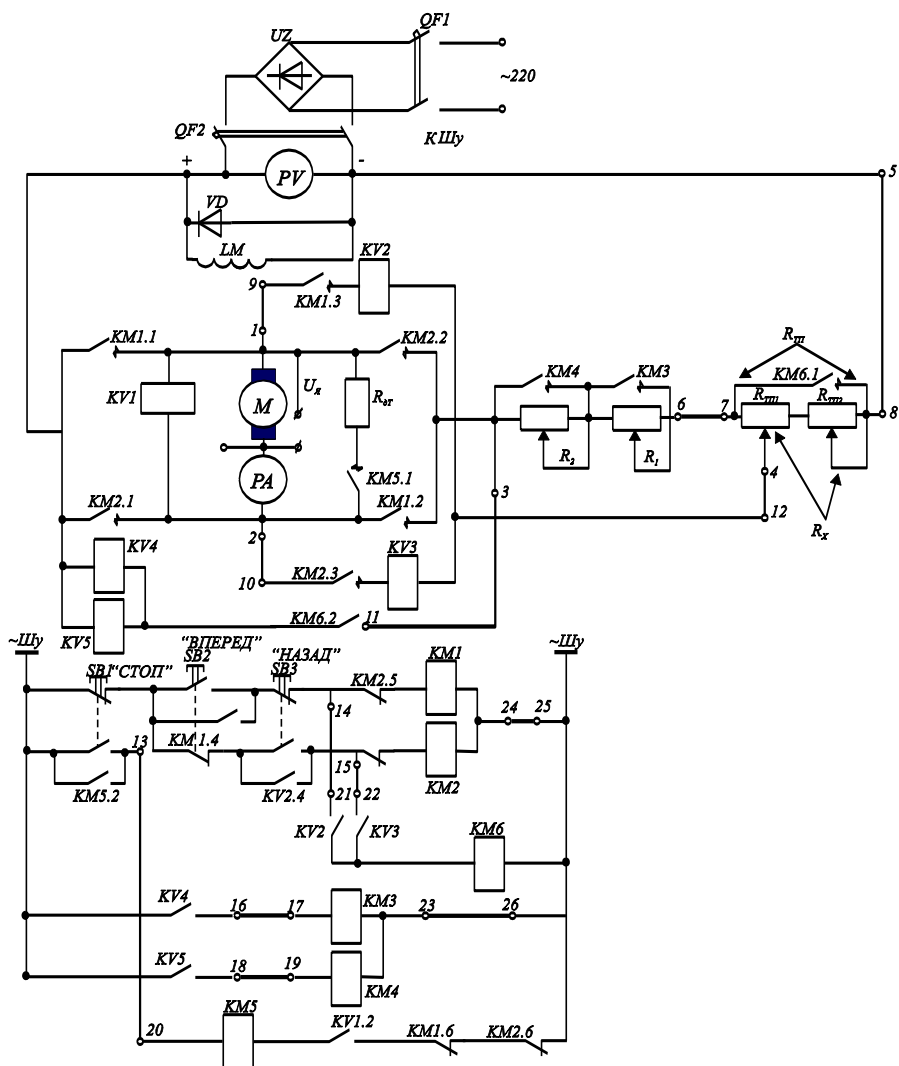


Рисунок 9.3 – Схема пуску ДПС з НЗ у функції ЕРС і гальмування
протіввімкненням

9.3.1.3 Опір R_1 , який закорочується на першій ступені пуску,

$$R_1 = R_{\text{я}} \cdot \lambda \cdot (\lambda - 1).$$

Опір R_2 , який закорочується на другій ступені пуску,

$$R_2 = R_{\text{я}}(\lambda - 1).$$

9.3.2 Розрахунок опору динамічного гальмування $R_{\text{д.г.}}$. Опір $R_{\text{д.г.}}$ розраховується за умови обмеження струму $I_{\text{д.г.}} \leq I_{\text{max}}$, під час гальмування з вищої швидкості

$$R_{\text{д.г.}} = \frac{E_{\text{max}}}{I_{\text{д.г.}}} - R_{\text{я}},$$

де $E_{\text{max}} = U_{\text{н}} - I_{\text{яс}} \cdot R_{\text{я}}$,

$I_{\text{яс}}$ – струм якоря при статичному моменті гальмування $M_{\text{с}}$.

У відносних одиницях:

$$I_{\text{яс}} = M_{\text{с}}^* I_{\text{н}}; \quad I_{\text{д.г.}} = M_{\text{д.г.}}^* I_{\text{н}}; \quad M_{\text{с}}^* = \frac{M_{\text{с}}}{M_{\text{н}}}.$$

Тоді

$$R_{\text{д.г.}} = \frac{U_{\text{н}} - M_{\text{с}}^* \cdot I_{\text{н}} \cdot R_{\text{я}}}{M_{\text{д.г.}}^* I_{\text{н}}} - R_{\text{я}} = \frac{R_{\text{н}}}{M_{\text{д.г.}}^*} - \frac{M_{\text{с}}^*}{M_{\text{д.г.}}^*} \cdot R_{\text{я}} - R_{\text{я}}.$$

9.3.3 Розрахунок опору ступеня противімкнення $R_{\text{г.п.}}$. Опір $R_{\text{г.п.}}$ розраховується за умови обмеження струму якоря до величини, яка обумовлює отримання заданого $M_{\text{г.п.}}^* = M_{\text{г.п.}} / M_{\text{н}}$ при гальмуванні з вищої швидкості

$$R_{\text{г.п.}} = \frac{U_{\text{н}} + E_{\text{max}}}{I_{\text{г.п.}}} - (R_{\text{пуск}} + R_{\text{я}}),$$

де $R_{\text{пуск}} = R_1 + R_2$; $E_{\text{max}} = U_{\text{н}} - I_{\text{яс}} R_{\text{я}}$.

У відносних одиницях

$$E_{\text{max}} = U_{\text{н}} - M_{\text{с}}^* I_{\text{н}} R_{\text{я}}; \quad I_{\text{г.п.}} = M_{\text{г.п.}}^* I_{\text{н}}.$$

Тоді, підставивши E_{max} і $I_{\text{г.п.}}$, у відносних одиницях отримаємо

$$R_{\text{г.п.}} = \frac{2R_{\text{н}}}{M_{\text{г.п.}}^*} - \frac{M_{\text{с}}^*}{M_{\text{г.п.}}^*} R_{\text{я}} - (R_1 + R_2 + R_{\text{я}}).$$

Так як $R_{\text{г.п.}} = R_{\text{г.п.1}} + R_{\text{г.п.2}}$ (див. схему рис.9.2), із яких $R_{\text{г.п.1}}$ не регулюється, тоді установлення розрахованого значення $R_{\text{г.п.}}$ зводиться до установлення опору $R_{\text{г.п.2}}$ за формулою

$$R_{Г.П.2} = R_{Г.П.} - R_{Г.П.1} = R_{Г.П.} - 15 \text{ [Ом]}.$$

9.3.4 Розрахунок точки підмикання (опору R_x за рис.9.2) реле противвмікнення KV2 і KV3.

Опір $R_x = R_{Г.П.2} + R'_{Г.П.1}$ (де $R'_{Г.П.1}$ - частина опору $R_{Г.П.1}$) розраховується за умови отримання нульової напруги на реле противвмікнення KV2 (KV3) в момент переходу із двигунного режиму в режим гальмування противвмікненням.

Напруга на KV2 (KV3) має вигляд:

$$U_{KV} = U_n - I_{Г.П.} R_x.$$

Під час гальмування повинно виконуватись $U_{KV} = 0$, тобто

$$U_n - I_{Г.П.} R_x = 0,$$

звідки
$$R_x = \frac{U_n}{I_{Г.П.}}.$$

У відносних одиницях $I_{Г.П.} = M_{Г.П.}^* I_n$,

тоді

$$R_x = \frac{U_n}{M_{Г.П.}^* I_n} = \frac{R_n}{M_{Г.П.}^*}.$$

З урахуванням схеми вмикання $R_{Г.П.1}$ (див. рис.9.2) опір, який виставляється за допомогою повзуна $R_{Г.П.1}$ і який відповідає розрахованому R_x , рівняється

$$R_{Г.П.1} = 15 - (R_x - R_{Г.П.2}),$$

де 15 – величина опору реостатів $R_{Г.П.1}$, $R_{Г.П.2}$, Ом;

$R_{Г.П.2}$ – величина опору, розрахована раніше в п.9.3.3.

9.3.5 Розрахунок напруги спрацювання реле противвмікнення KV2 (KV3) при пуску

$$U_{KV} = U_n - I_{пуск} R_x,$$

де R_x – опір, розрахований раніше в п.9.3.4;

$I_{пуск}$ – пусковий струм двигуна.

З урахуванням того, що в момент пуску $E_{дв} = 0$, отримаємо:

$$I_{пуск} = \frac{U_n}{R_{я} + R_1 + R_2 + R_x}.$$

Реле KV2 (KV3) повинно спрацювати при пуску, тобто

$$U_{\text{спр}KV2(KV3)} = U_n - \frac{U_n R_x}{R_{\text{я}} + R_1 + R_2 + R_x}.$$

Або для підвищення надійності спрацювання з урахуванням можливих зменшень напруги мережі U_n з 20% запасом маємо:

$$U_{\text{спр}KV2(KV3)} = 0.8U_n \left(1 - \frac{R_x}{R_{\text{я}} + R_1 + R_2 + R_x} \right).$$

9.3.6 Розрахунок напруг спрацювання реле контролю ЕРС KV4, KV5 при пуску двигуна в функції ЕРС.

Напруга спрацювання вказаних реле визначається за умови досягання двигуном частоти обертання, при якій розвинутий ним момент рівний моменту перемикання M_2 (M_2 - задається при нормальному пуску або обчислюється при форсованому). Відповідні цьому умови ЕРС рівні:

$$E_1 = U_n - I_2(R_1 + R_2 + R_{\text{я}}) - 1\text{-а ступень прискорення};$$

$$E_2 = U_n - I_2(R_2 + R_{\text{я}}) - 2\text{-а ступень прискорення},$$

де $I_2 = M_2 / (k\Phi)$ – струм, відповідаючий моменту перемикання M_2 .

Переходячи від струмів до моментів і вводячи відносні одиниці, отримуємо:

$$\frac{E_1}{U_n} = E_1^* = \frac{U_n}{U_n} - M_2 \frac{R_1 + R_2 + R_{\text{я}}}{(k\Phi)} = 1 - \frac{M_2}{M_n} \cdot \frac{M_n(R_1 + R_2 + R_{\text{я}})}{(k\Phi)U_n} = 1 - M_2^* \frac{(R_1 + R_2 + R_{\text{я}})}{R_n}.$$

Аналогічно для E_2^*

$$E_2^* = 1 - M_2^* \frac{(R_2 + R_{\text{я}})}{R_n}.$$

Тоді
$$U_{\text{спр}KV4} = E_1^* U_n = U_n \left(1 - M_2^* \frac{R_1 + R_2 + R_{\text{я}}}{R_n} \right);$$

$$U_{\text{спр}KV5} = E_2^* U_n = U_n \left(1 - M_2^* \frac{R_2 + R_{\text{я}}}{R_n} \right).$$

9.3.7 Розрахунок часу спрацювання реле КТ1, КТ2. Для розрахунку витримки часу $t_{\text{спр КТ1}}$ і $t_{\text{спр КТ2}}$ необхідно спочатку визначити $k\Phi$:

$$k\Phi = \frac{U_n - I_n R_y}{\omega_n}.$$

Далі – механічну постійну часу на першому ступені прискорення (ввімкнені R_1 і R_2):

$$T_{M1} = \frac{J_{\Sigma} R_{\Sigma 1}}{(k\Phi)^2} = J_{\Sigma} \frac{R_1 + R_2 + R_y}{(k\Phi)^2};$$

тут J_{Σ} – сумарний момент інерції двигуна і робочого механізму. У нашому випадку $J_{\Sigma} = GD^2/4$, де GD^2 – маховий момент двигуна П21 (каталожні данні).

$$GD^2 \approx 0,125 \left(\frac{1000}{n} \right)^{1,5} P_H;$$

де n – частота обертання [об/хв];

P_H – номінальна потужність [кВт];

Час розгону на першій ступені прискорення

$$t_1 \approx T_{M1} \ln \left(\frac{M_1^* - M_c^*}{M_2^* - M_c^*} \right).$$

З урахування власного часу спрацювання контакторів КМ3 і КМ4 $t_{\text{срп. КМ}} \approx 0,02$ с отримаємо час витримки $t_{\text{срп. КМ1}}$ і $t_{\text{срп. КМ2}}$:

$$t_{\text{српКТ1}} = t_1 - t_{\text{српКМ3}};$$

$$t_{\text{српКТ2}} = t_1 + t_2 - t_{\text{српКМ4}}.$$

Усі розраховані величини заносяться до табл. 9.3.

Таблиця 9.3 – Результати обчислень

R1 Ом	R2 Ом	R _{д.г.} Ом	R _{г.п} Ом	R _{г.п.2} Ом	R _х Ом	R _{г.п.1} Ом	U _{српKV2} В	U _{српKV4} В	U _{српКТ1} В	U _{српКТ2} В

9.3.8 Складання та налагодження схеми за рис.9.1. Перед складенням необхідно переконатись, що напруга знята зі стенду (КМ відключений) і вимкнені автомати QF1 і QF2. Схема збирається за допомогою провідників із штекерами на комутаційному полі лабораторного стенду. Після збірки схеми і перевірки її правильності викладачем встановлюються величини опорів R_1 та R_2 за допомогою

повзунів відповідних реостатів стенду. Далі робиться налагодження реле КТ1 та КТ2. Вихідне положення тумблерів перед налагодженням: S1 – «Робота КТ1»; S2 – «Робота КТ2»; S3 – «ВІДІМК РС». Вмикається КМ і QF1. При цьому подається напруга на шини ~ШУ.

9.3.8.1 Налаштування КТ1. Тумблер S1 перемикається в положення «Налаштування КТ1». Електросекундомір РТ зовнішнім важелем на його циферблаті встановлюють в ноль. Тумблер S3 перемикають в положення «ВВІМК. РТ». При цьому подається напруга на електросекундомір і відраховується час до тих пір, доки не замкнуться контакти КТ1. Показники електросекундоміра відповідають часу спрацювання КТ1. Після заміру $t_{спр\ КТ1}$ тумблер S3 перемикається в попереднє положення «ВІДІМК. РТ». Змінення $t_{спр\ КТ1}$ здійснюється гвинтом на його магнітній системі. Виконується декілька вмикань і вимикань електросекундоміра для встановлення розрахованного часу $t_{спр\ КТ1}$. Після налаштування $t_{спр\ КТ1}$ тумблер S1 перемикається в положення «Робота КТ1».

9.3.8.2 Налаштування КТ2. Здійснюється налаштування так саме, як і КТ1 за виключенням: тумблер S2 перемикається в положення «Налаштування КТ2». Далі всі операції аналогічні вищеписаним. По закінченню налаштування тумблер S2 перемикається в положення «Робота КТ2».

9.3.8.3 Випробування роботи схеми за рис.9.1. Вмикається автомат QF2, після чого схема готова до роботи. Здійснюється декілька пусків і гальмувань двигуна за допомогою кнопок керування SB3, SB4, SB5 і виконуються спостереження за роботою релейно-контакторної апаратури на лицевій панелі стенду.

9.3.9 Складання і налаштування схеми за рис.9.2. Здійснюється складання аналогічно порядку, описаному в п.9.3.8. Після збірки схеми і перевірки на правильність її викладачем здійснюється встановлення розрахованих значень опорів і напруг спрацювання реле (табл. 9.2). При встановленні напруг спрацювання реле, необхідно звертати увагу на множники уставок, які вказані на стенді.

9.3.10 Випробування роботи схеми за рис. 9.2. Вмикається КМ, потім автомати QF1 і QF2. Виконується декілька пусків, гальмувань і реверсів за допомогою кнопок керування SB3, SB4 і SB5, і здійснюється спостереження за роботою релейно-контакторної апаратури на лицевій панелі стенду.

9.4 Програмування у оболонці ZelioSoft 2 мовою діаграм функціональних блоків

Програмна оболонка ZelioSoft 2 призначена для програмування модулів інтелектуальних реле Zelio другої та третьої серій (SR2, SR3), завантаження програми користувача до модуля або зчитування, встановлення параметрів функціональних блоків модуля, роботи з модулем у режимі моніторингу. Для налаштування реле використовується мова програмування «FBD, Functional Block Diagram» (діаграм функціональних блоків).

9.4.1. Інтерфейс оболонки ZelioSoft 2 у режимі програмування мовою FBD Програмування мовою FBD полягає у використанні наперед визначених функціональних блоків. Передбачається візуальне програмування з використанням графічного редактора та графічних примітивів. Якщо у вікні вибору мови програмування натиснути піктограму FBD (Functional Block Diagram) і обрати мову програмування діаграм функціональних блоків, головне вікно програми буде мати наступний вигляд:

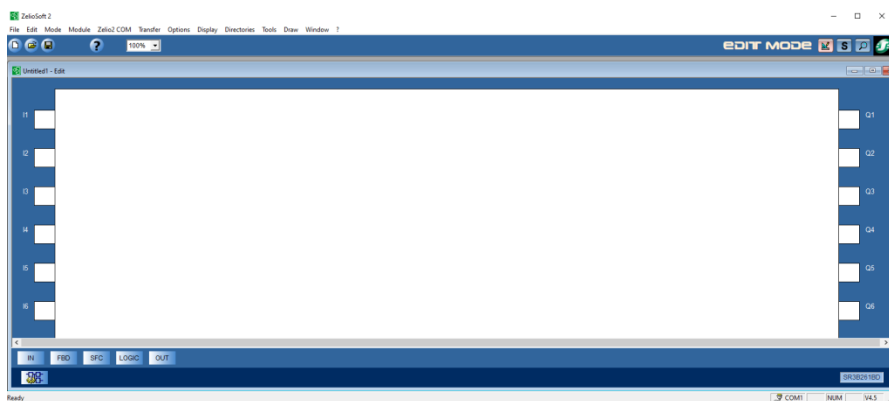


Рисунок 9.4 – Головне вікно програмної оболонки Zelio Soft 2 у режимі редагування програми мовою FBD

Приклад програми, що написана мовою FBD, наведений на рис. 9.5.

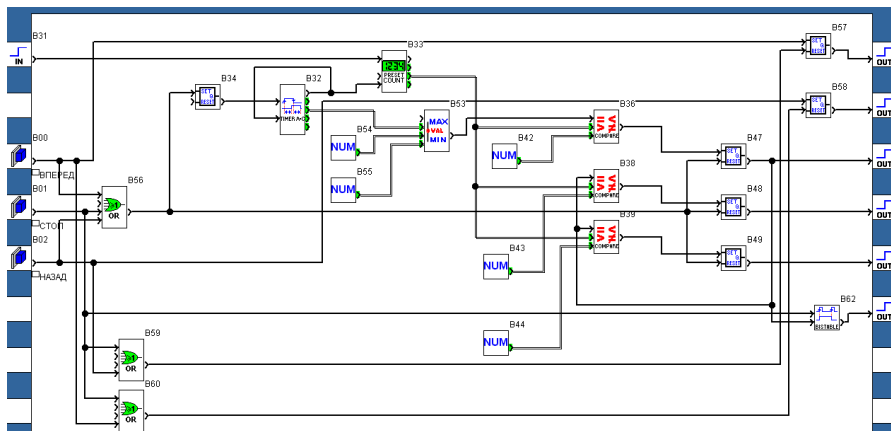


Рисунок 9.5 – Приклад програми, що написана мовою FBD

Автоматичне керування процесами пуску і гальмування двигуна за допомогою програмованого реле здійснюється таким чином. До входів реле ZELIO підмикаються кнопки керування пуском SB1 і гальмуванням SB2, а до виходів – котушки контакторів KM1-KM4.

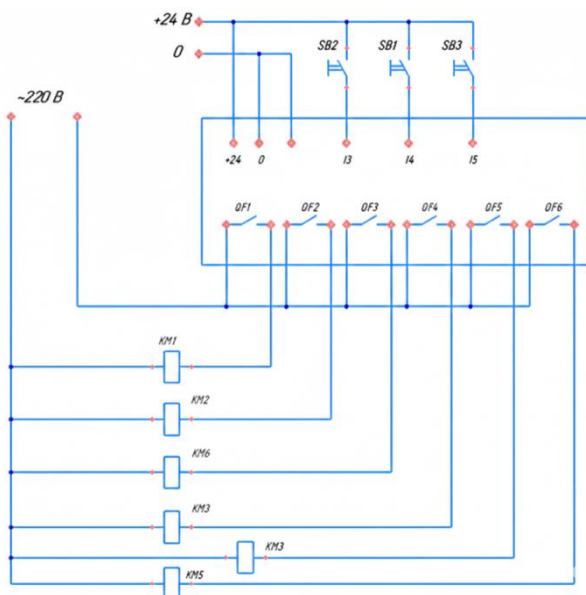


Рисунок 9.6 – Схема підключення мікропроцесорного реле до стенду

9.5 Обсяг лабораторної роботи та підготовка до захисту

Звіт з лабораторної роботи повинен містити схему лабораторної роботи (2-3 чоловіка у підгрупі - схему рис.9.1, інші - схему рис.9.2), розрахунки за пунктами 9.3.1-9.3.6, вільну табл.9.2, висновки за зробленою роботою.

9.6 Контрольні питання

1. Порівняйте автоматичний ступінчастий пуск у функції часу з іншими видами пуску (у функції інших величин).
2. Поясніть роботу схеми на рис.9.1 в режимах пуску і гальмування.
3. Поясніть роботу схеми на рис.9.2 в режимах пуску, гальмування і реверсу.
4. Як впливають на процес пуску коливання напруги живлення?
5. Чому момент перемикання при пуску повинен бути більш за момент опору?
6. У чому різниця між режимами форсованого і нормального пуску?
7. Чому в момент пуску реле противвімкнення KV2 і KV3 повинні спрацювати, а при переході із двигунового режиму в режим гальмування противвімкненням, не повинні?
8. Поясніть призначення контакторів KM1.8, KM2.8, KV1.1 у схемі рис.9.1.
10. Покажіть рух робочої точки на механічних характеристиках у режимах динамічного гальмування, гальмування противвімкненням, пуску і реверсу.
11. Намалюйте типовий вид функції $i_a = f(t)$ і $\omega = f(t)$ в режимах пуску, гальмування і реверсу.
12. Чому змінюється тривалість часу розгону двигуна на різних ступенях прискорення?
13. Як впливає на тривалість пуску і гальмування сумарний момент статичного опору на валу двигуна?

10 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №10

Вивчення та налагодження схем мікропроцесорного та контакторного керування режимами роботи асинхронного двигуна з фазним ротором

Мета роботи - вивчення схемних рішень релейно-контакторних та мікропроцесорних систем керування асинхронним двигуном з фазним ротором. Ознайомлення з порядком розрахунку і налагодження вказаних систем при керуванні двигуном у функції часу ЕРС.

10.1 Загальні відомості

Регулювання кутової швидкості АД за допомогою резисторів у колі ротора використовується для АД з фазним ротором, бо цей двигун має контактні кільця для підімкнення резистора. Це один з розповсюджених способів регулювання швидкості, оскільки має простоту реалізації. Таке регулювання називається реостатним (рисунок 10.1).

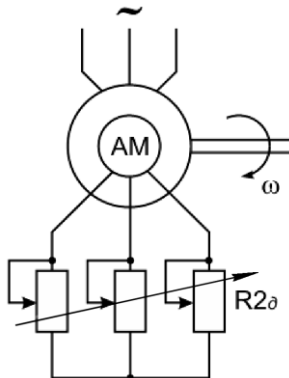


Рисунок 10.1 – Схема пуску АД з резистором в колі ротора

Здійснюється регулювання униз від основної, однозонне. Краще використання двигуна буде при регулюванні кутової швидкості з незмінним моментом навантаження, що дорівнює номінальному. Плавність регулювання визначається будовою регулювального реостата (плавне або ступінчасте).

Діапазон регулювання залежить від навантаження (зменшується

при зниженні навантаження), а із-за суттєвого зниження жорсткості при зростанні $R2\partial$ цей діапазон незначний і складає $D=(2 - 3):1$. Характеристики наведені на рисунку 10.2.

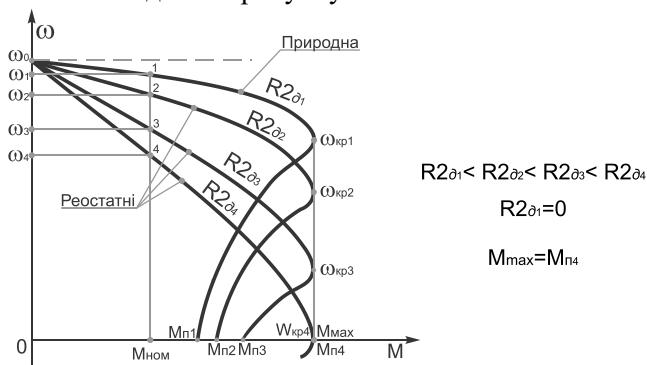


Рисунок 10.2 – Механічні характеристики пуску АД з фазним ротором

При регулюванні кутової швидкості цим способом виникають значні втрати енергії, оскільки резистор підімкнений у коло головного струму – значного струму ротора. Тому доцільно використовувати його при малому діапазоні регулювання швидкості й невеликій тривалості роботи на низьких швидкостях.

Найбільш доцільне при цьому регулювання (з погляду втрат енергії) при вентиляторних механічних характеристиках виконавчого органу (тут при зменшенні швидкості потужність, що підводиться, знижується).

Особливості механічної характеристики:

- кутова швидкість ідеального неробочого ходу ω_0 не змінюється при змінюванні величини $R2\partial$;
- максимальний момент двигуна $M_{\max}$ при регулюванні також практично не змінюється;
- критична кутова швидкість (критичне ковзання) залежить від величини $R2\partial$, критична швидкість зменшується (ковзання зростає) при збільшенні $R2\partial$.

Остання теза дозволяє знайти шляхом підбору таку величину додаткового опору, при якій для першого моменту пуску $\omega_{\text{кр}}=0$ пусковий момент буде максимальним, це опір $R2\partial_4$, тобто створити найсприятливіші умови пуску (характеристика 4 рисунка 10.2).

В сучасному електроприводі для створення систем керування

все частіше використовуються дуже маленькі програмовні логічні контролери (ПЛК) з обмеженою кількістю входів і виходів. Їх ще називають програмовані або інтелектуальні реле. В них одного разу написані програми інсталиуються і продаються як частина кінцевого продукту або системи.



Рисунок 10.3 – Загальний вигляд програмованих реле EASY500

Типовими мікро-ПЛК є електронні програмовані реле німецької фірми Moeller, які нині представлені серіями EASY500, EASY700, EASY800 і багатофункціональним дисплеєм MFD - Titan.

Раніше випускалися серії EASY400 і EASY600. Пристрої є малогабаритними керуючими приладами, здатними вирішувати комбінаційні і послідовні завдання. Напруга живлення пристроїв на постійному струмі: 12 В DC, 24 В DC і на змінному струмі: 24 В AC, 115/240 В AC. Напруга вхідних сигналів співпадає по виду і величині з вибраною напругою живлення.

Вихідні ланки пристроїв на постійній напрузі можуть бути релейними або транзисторними, а пристроїв на змінній напрузі - тільки релейними. Зовнішній вигляд програмованого реле показаний на рисунку 10.3.

Усі внутрішні функції реле реалізуються в програмній формі. По аналогії з відомими пристроями за програмними функціями зберігаються назви: таймери, реле часу, лічильники, компоратори та ін. Програма складається у вигляді малюнка електричної схеми, що містить вхідні ланки, контакти і котушки відповідних реле і ліній, що сполучають їх. Введення програми здійснюється від вбудованого пульта з клавіатурою і з індикацією на рідкокристалічному (Р-К) дисплеї, від спеціального чіпа (модуля або карти пам'яті), що зберігає програму або від персонального комп'ютера (за допомогою програми EASY-SOFT). Введена програма може бути захищена за допомогою пароля.

Для зручності налаштування і експлуатації під час роботи реле ділянки схеми, по яких "проходить струм", підсвічують на Р-К дисплеї. Пам'ять реле незалежна. При зникненні напруги і його наступному відновленні, конфігурація схеми і налаштування зберігаються. Є варіанти виконання реле, у яких кнопки і дисплей відсутні. Їх програмування здійснюється за допомогою персонального комп'ютера. Мова спілкування вибирається користувачем із списку мов країн, членів Євросоюзу.

Пристрій має можливість розширення входів-виходів і обміну даними з промисловими інформаційними мережами AS-Interface, Profibus-DP, CANopen, DeviceNET. Реле EASY800 і MFD - Titan, окрім цього, можуть бути об'єднані у власну інформаційну мережу EASY-NET, в яку можуть входити до восьми приладів, з пристроями розширення, що знаходяться на відстані до 1000м.

Програмування пристроїв EASY і MFD можна здійснювати за допомогою комп'ютера з програмним забезпеченням EASY-SOFT, а також безпосередньо за допомогою клавіш на передній панелі реле EASY або MFD з контролем символів програми, що вводяться, на дисплеї. EASY-SOFT версії 6.0 і вище підтримують функції усіх моделей реле EASY і MFD. Послідовність роботи в цьому програмному забезпеченні наступна: створення проекту, створення схеми з'єднань, візуалізація умов роботи на дисплеї (тільки для MFD). Перевірка роботи розробленої схеми керування здійснюється в режимі "імітація". Після успішної імітації програма переписується в програмоване реле в режимі "комунікація". Для з'єднання комп'ютера з реле використовується кабель EASY-PC-CAB.

10.2 Програма роботи

Ознайомитись зі схемами керування, зображеними на рис.10.4 та рис. 10.5 і з'ясувати взаємодію і порядок роботи елементів схеми.

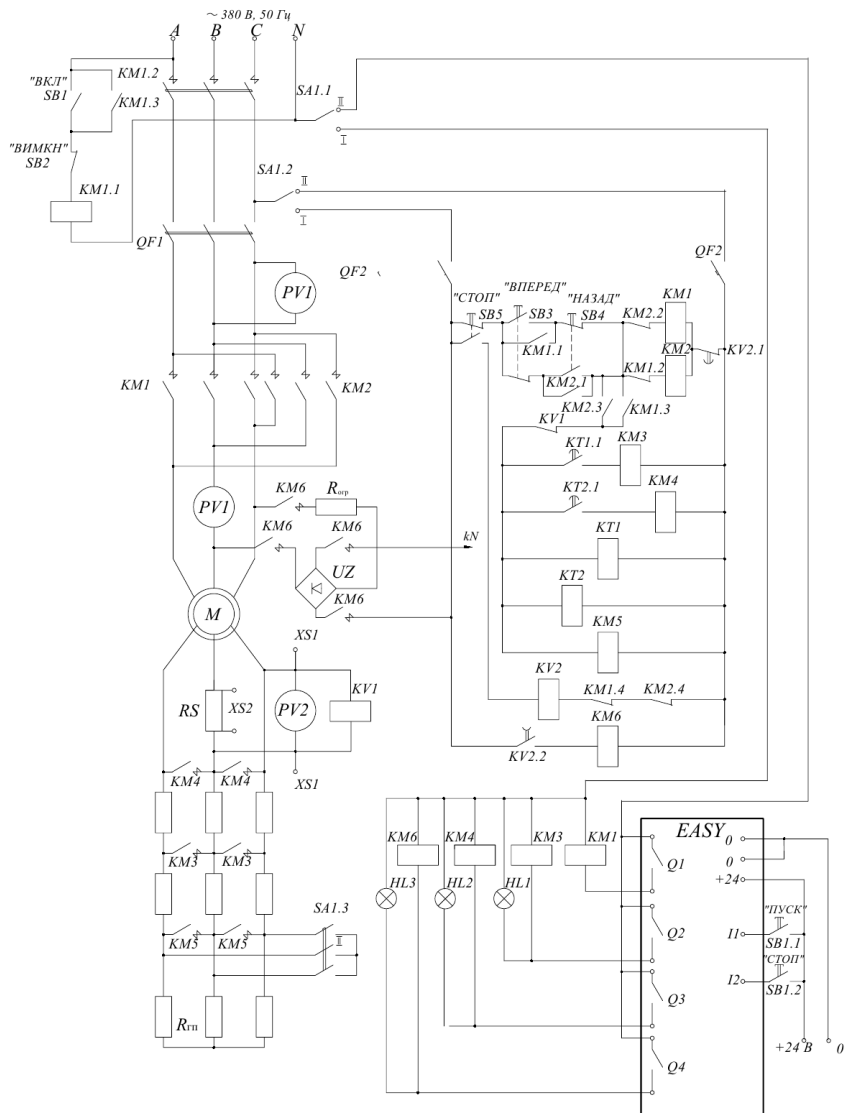


Рисунок 10.4 – Спрощена принципова схема лабораторного станду

Таблиця 10.1 – Вхідні дані

№ варіанту	Вид пуску	Момент навантаження M_1^* (в.о.)	Максимальний момент під час пуску M_1^* (в.о.)	Момент перемикання M_2^* (в.о.)	Максимальний момент під час гальмування противиміканням $M_{г.п.}^*$ (в.о.)	Число ступенів прискорення, ш
1	Нормальний	0,05	-	0,9	2,0	2
2	Форсований	0,05	2,1	-	1,8	2
3	Нормальний	0,05	-	0,8	1,7	2
4	Форсований	0,05	2,0	-	1,9	2
5	Нормальний	0,05	-	1,0	1,8	2
6	Форсований	0,05	2,0	-	1,8	2
7	Нормальний	0,05	-	1,1	2,0	2
8	Форсований	0,05	2,2	-	2,1	2
9	Нормальний	0,05	-	1,6	1,8	2
10	Форсований	0,05	2,5	-	2,2	2
11	Нормальний	0,05	-	0,8	2,0	2
12	Форсований	0,05	2,4	-	1,9	2
13	Нормальний	0,05	-	0,7	2,0	2
14	Форсований	0,05	2,3	-	1,8	2
15	Нормальний	0,05	-	0,6	1,7	2
16	Форсований	0,05	2,3	-	1,9	2
17	Нормальний	0,05	-	0,5	1,8	2
18	Форсований	0,05	2,4	-	1,8	2
19	Нормальний	0,05	-	0,4	2,0	2
20	Форсований	0,05	2,5	-	2,1	2
21	Нормальний	0,05	-	1,2	1,8	2
22	Форсований	0,05	2,2	-	2,2	2
23	Нормальний	0,05	-	1,3	2,0	2
24	Форсований	0,05	2,6	-	1,9	2
25	Нормальний	0,05	-	1,4	2,0	2
26	Форсований	0,05	2,6	-	1,8	2
27	Нормальний	0,05	-	2,0	1,7	2
28	Форсований	0,05	2,7	-	1,9	2
29	Нормальний	0,05	-	1,7	1,8	2
30	Форсований	0,05	2,0	-	1,8	2
31	Нормальний	0,05	-	1,8	2,0	2
32	Форсований	0,05	2,7	-	2,1	2
33	Нормальний	0,05	-	1,9	1,8	2
34	Форсований	0,05	2,0	-	2,2	2
35	Нормальний	0,05	-	1,5	2,0	2
36	Форсований	0,05	2,4	-	2,0	2

Для заданого викладачем за таблицею 10.1 варіанта вихідних даних розрахувати:

- величину пускових опорів R_1 та R_2 ;
- величину опорів динамічного гальмування $R_{д.г.}$;
- величину опору ступеня противвімкнення $R_{г.п.}$;
- уставку спрацювання реле противвімкнення KV1;
- час спрацювання реле KT1, KT2;
- постійний струм збудження I_z , який подається в статор у режимі динамічного гальмування.

Виставити у відповідності з розрахунками: витримки часу спрацювання реле часу KT1 і KT2, напругу спрацювання реле противвімкнення KV1. Спостерігати за роботою схеми у режимах пуску, гальмування та реверсу.

Налаштувати мікропроцесорне реле, що використовується в схемі керування, згідно розрахованих витримок часу для режимів пуску та динамічного гальмування.

10.3 Опис лабораторного обладнання

Лабораторне обладнання складається зі стенду, на якому розташована релейно-контакторна апаратура, мікропроцесорне реле та вимірювальні прилади, і підключеного до стенду асинхронного двигуна з фазним ротором типу AX51/6, параметри якого подані на в таблиці 10.2.

Таблиця 10.2 – Паспортні дані асинхронного двигуна з фазним ротором

Тип двигуна	Номінальна потужність P_n , кВт	Схема з'єднання статора	Номінальна напруга живлення U_n , В	Номінальний струм, А	$\cos\phi$	Частота обертання n , об/хв	ККД η , %	Номінальна ЕРС ротора E_{rn} , В	Номінальний струм ротора I_{rn} , А
AK 51/6	1.7	Δ / Y	220 / 380	9 / 5	0.72	880	75.5	57	20.2

Обладнання дозволяє налагодити і випробувати слідуючи режими: пуск двигуна в функції часу, динамічне гальмування, гальмування противвімкненням та реверс за допомогою класичної релейно-контакторної схеми та режим пуску і динамічного

Автоматичне керування процесами пуску і гальмування двигуна за допомогою програмованого реле здійснюється таким чином. До входів реле EASY підмикаються кнопки керування пуском $SB1$ і гальмуванням $SB2$, а до виходів – котушки контакторів $KM1$ - $KM4$.

Перелік операндів реле EASY. Входи: $I1$ - контроль стану кнопки пуску двигуна; $I2$ - контроль стану кнопки гальмування двигуна. Виходи: $Q1$ - $Q4$ - вмикання і відмикання контакторів $KM1$ - $KM4$. Реле часу: $T01$, $T02$ визначають витримки часу при роботі двигуна з введеними в коло обмотки ротора ступенів пускового реостата; $T03$ - формує витримку часу при гальмуванні двигуна.

Програма роботи інтелектуального реле написана на мові релейно-контакторних схем (РКС) наведена на рисунку 10.5.

10.4 Порядок виконання роботи

10.4.1 Розрахунок пускових опорів R_1 , R_2 . Вихідні данні для розрахунку знаходяться в табл. 10.1 для варіанту, вказаного викладачем.

10.4.1.1 *Нормальний пуск*. Задається момент перемикавання $M_2^* = M_2 / M_n$ і визначається максимальний пусковий момент $M_1^* = M_1 / M_n$, де M_n - номінальний момент двигуна. Для визначення M_1^* необхідно розрахувати величину $\lambda = M_1 / M_2 = M_1^* / M_2^*$ - відношення максимального моменту при пуску до моменту перемикавання:

$$\lambda = {}^{m+1}\sqrt{\frac{1}{R^* M_2^*}},$$

де $R^* = \frac{R_{p\phi}}{R_n} = S_n$; $R = \frac{E_{pn}}{\sqrt{3}I_{pn}}$; E_{pn} - напруга на кільцях нерухомого

розімкнутого ротора (каталожні данні); I_{pn} - номінальний струм фази ротора (каталожні данні); $R_{p\phi} = S_n R_n$ - внутрішній опір фази ротора, S_n - номінальне сковзання; m - кількість ступенів пуску. Тоді максимальний момент при пуску рівний $M_1^* = \lambda \cdot M_2^*$.

Далі див. п.10.4.1.3.

10.4.1.2 *Форсований пуск*. Задається пусковий момент $M_1^* = M_1 / M_n$ і знаходиться момент перемикавання $M_2^* = M_2 / M$. Для чого розраховується величина $\lambda = M_1^* / M_2^*$ за формулою:

$$\lambda = \sqrt[m]{\frac{1}{R^* M_1^*}},$$

де R^* - те саме, що й в п.10.4.1.1.

$$\text{Тоді момент перемикання } M_2^* = \frac{M_1^*}{\lambda}.$$

Далі розрахунки для нормального і форсованого пуску співпадають.

10.4.1.3 Розрахунок пускових опорів.

Опір R_1 , який закорочують на першому ступені пуску,

$$R_1 = R_{p\phi} \cdot \lambda \cdot (\lambda - 1),$$

опір R_2 , який закорочують на другому ступені пуску,

$$R_2 = R_{p\phi} (\lambda - 1).$$

10.4.2 Розрахунок кіл динамічного гальмування. Точний розрахунок кіл динамічного гальмування АД з ФР дуже великий, тому звичайно обмежуються приблизним розрахунком постійного струму збудження, який подається в обмотку статора АД, і інколи розраховується опір, який додають у коло ротора, виходячи з умов забезпечення мінімального часу гальмування. Максимальний гальмівний момент $M_{д.г.}$ буде знаходитись в межах $M_{д.г.} = (1.45 \div 2.2) M_n$, якщо постійний струм збудження, який подається у статор АД буде знаходитись в межах $I_3 = (2 \div 3) I_{Ч.х.}$, де $I_{Ч.х.}$ - струм неробочого ходу статора. Величина струму $I_{Ч.х.}$ двигунів, призначених для тривалого режиму роботи, складає $I_{Ч.х.} = (0.2 \div 0.4) I_{Ч.}$, а для двигунів, призначених для повторно-короткочасного режиму, $I_{Ч.х.} = (0.5 \div 0.75) I_{Ч.}$. На підставі розрахованого струму I_3 і величини джерела напруги постійного струму U_n розраховується обмежувач опір у колі постійного струму $R_{обм.}$:

$$R_{обм} = \frac{U_n}{I_3}.$$

Опір, який додається в коло ротора при динамічному гальмуванні, вибирається у відповідності з формулою:

$$R_{д.г.} = (0.2 \div 0.4) R_n - R_{pф} = E_{pn} \cdot \frac{[(0.2 \div 0.4) - S_n]}{\sqrt{3} I_{pn}}.$$

10.4.3 Розрахунок опору ступеня противвмкнення. Опір $R_{э.н.}$ винаходиться як різниця між повним опором $R'_{э.н.}$ для режиму противвмкнення і опором на першому ступені пуску

$$R_{\Sigma} = R_1 + R_2,$$

де $R'_{г.п.} = \frac{2R_n}{M_{г.п.}^*}$. Тоді $R_{г.п.} = R'_{г.п.} - R_{\Sigma}$.

10.4.4 Розрахунок уставлення спрацювання реле противвмкнення KV1. Напруга спрацювання реле KV1 повинна бути такою, щоб при пуску, коли ротор АД нерухомий, воно не спрацювало, а в момент реверсу обертання поля статора KV1 розмикало свої контакти. Цій умові відповідає налагодження реле на напругу спрацьовування:

$$U_{спрKV1} = (1.1 \div 1.2) E_{p'}.$$

10.4.5 Розрахунок часу спрацювання реле часу КТ1 та КТ2. При розрахунку часу спрацьовування реле прискорення, механічні характеристики АД приймаються лінійними (це справедливо до моментів пуску $M_{пуск} \leq 0,7 M_{кр}$. З урахуванням вищевказаного, час розгону АД на першій ступені прискорення

$$t_1 \approx T_{M1} \ln \left(\frac{M_1^* - M_c^*}{M_2^* - M_c^*} \right),$$

де T_{M1} - електромеханічна стала часу на першій ступені прискорення;

$$T_{M1} = J \frac{\omega_0 S_1}{M_n};$$

$$J = \frac{GD^2}{4} - \text{момент інерції (GD}^2 - \text{каталожні данні);}$$

$$GD^2 \approx 0,125 \left(\frac{1000}{n} \right)^{1,5} P_H;$$

де n - частота обертання [об/хв];

P_H - номінальна потужність [кВт];

ω_0 - кутова швидкість поля статору;

S_1 - ковзання на першій ступені прискорення;

$$S_1 = S_n \frac{R_{12}}{R_{p\phi}}, \quad R_{12} = R_{p\phi} + R_1 + R_2.$$

Час розгону АД на другій ступені прискорення (R_1 - шунтовано)

$$t_2 \approx T_{M2} \ln \left(\frac{M_1^* - M_c^*}{M_2^* - M_c^*} \right),$$

де T_{M2} – електромеханічна стала часу на другому ступені прискорення;

$$T_{M2} = J \frac{\omega_0 S_2}{M_n};$$

$$S_2 = S_n \frac{R_{2\Sigma}}{R_{p\phi}}, \quad R_{2\Sigma} = R_{p\phi} + R_2.$$

З урахування власного часу спрацювання контакторів КМ3 і КМ4 $t_{спр. КМ} \approx 0,02$ с налагоджувальний час витримки для КТ1 та КТ2

$$t_{спрКТ1} = t_1 - t_{спрКМ3};$$

$$t_{спрКТ2} = t_1 + t_2 - t_{спрКМ4}.$$

10.4.6 Усі розраховані величини заносяться до табл. 10.3.

Таблиця 10.3 – Результати обчислень

R1, Ом	R2, Ом	R _{д.г.} , Ом	R _{г.п.} , Ом	I ₃ , А	U _{спрКВ1} , В	t _{спрКТ1} , с	t _{спрКТ2} , с

10.4.7 Налагодження класичної релейно-контакторної схеми керування. Перед налагодженням необхідно переконатись, що напруга знята зі стенду (КМ вимкнений, автомати QF1 і QF2 вимкнені, перемикач S4 знаходиться у положенні «РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНЕ КЕРУВАННЯ»).

Вихідне положення тумблерів перед налагодженням:

S1 - «Робота КТ1»;

S2 - «Робота КТ2»;

S3 - «Відкл. РС».

Вмикається КМ і автомат QF2. При цьому подається напруга на схему керування.

10.4.7.1 Налагодження КТ. Тумблер S1 перемикається в положення «Налагодження КТ1». Електросекундомір РТ зовнішнім

важелем на його циферблаті встановлюють в нуль. Тумблер S3 перемикається в положення «Ввімк. РС». При цьому подається напруга на електросекундомір і відраховується час до тих пір, доки не замкнуться контакти КТ1. Після заміру $t_{\text{спр КТ1}}$ тумблер S3 перемикається у вихідне положення «Відкл. РС». Величина $t_{\text{спр КТ1}}$ змінюється регульовним гвинтом на його магнітній системі. Здійснюється декілька вмикань і вимикань електросекундоміра з метою встановлення розрахованого часу $t_{\text{спр КТ1}}$. Після налагодження $t_{\text{спр КТ1}}$ тумблер S1 перемикається в положення «Робота КТ1».

10.4.7.2 Налагодження КТ2. Здійснюється налагодження так саме, як і в п.10.4.7.1, за виключенням: тумблер S2 перемикається в положення «Робота КТ2». Далі всі операції аналогічні вищеописаним. По закінченню налагодження тумблер S2 перемикається в положення «Робота КТ2».

10.4.7.3 Налагодження реле противімкнення KV1. Налагодження реле KV1 зводиться до установа його напруги спрацювання за допомогою повзуна магнітної системи у відповідності з $U_{\text{спр.KV1}}$. Кінцеве підлагодження $U_{\text{спр.KV1}}$ здійснюється при пробних пусках і реверсах АД.

10.4.8 Випробування роботи схеми. Вмикається автомат QF1, після чого схема готова до роботи. Здійснюється декілька пусків і гальмувань АД за допомогою кнопок керування SB3, SB4, SB5 і спостерігається робота релейно-контакторної апаратури на лицевій панелі стенду.

10.4.9 Налагодження схеми мікропроцесорного керування.

Вихідне положення тумблерів перед налагодженням:

S4 знаходиться у положенні «МІКРОПРОЦЕСОРНЕ КЕРУВАННЯ»

S1 - «Налаштування КТ1»;

S2 - «Налаштування КТ2»;

QF1 - увімкнений;

QF2 - вимкнений.

10.4.9.1 Опис налаштування таймерів реле

Для налаштування таймерів реле на передній панелі EASY натиснути кнопку «ОК». Далі на екрані мікропроцесорного реле вибрати необхідний таймер та за допомогою кнопок «УНІЗ» та «УВЕРХ» встановити таймери на час спрацювання що було розраховано згідно завдання.

10.4.10 Випробування роботи схеми з керуванням від мікропроцесорного реле. Вмикається автомат QF1, після чого схема готова до роботи. Здійснюється декілька пусків і гальмувань АД за допомогою кнопок керування SB6 та SB7. Спостерігається робота релейно-контакторної апаратури на лицевій панелі стенду.

10.5 Зміст звіту

Звіт про лабораторну роботу повинен містити схему лабораторної роботи, розрахунки, таблицю 10.3, висновки за зробленою роботою.

10.6 Контрольні питання

1. Порівняйте пуск у функції часу з іншими видами пуску (у функції інших величин).
2. Поясніть роботу схеми керування у всіх дослідних режимах.
3. Як впливають на процес пуску коливання напруги живлення мережі?
4. Чому момент перемикавання при пуску повинен бути більш ніж момент опору?
5. У чому різниця між режимами форсованого пуску і гальмування?
6. На який вид струму (постійний чи змінний) повинно вибиратись реле KV1 і чому?
7. Поясніть призначення реле KV2 та його контакторів KV2.1 та KV2.2.
8. Покажіть рух робочої точки на механічних характеристиках в режимах динамічного гальмування, гальмування протитормування, пуску, реверсу.
9. Чому змінюється тривалість часу розгону двигуна на різних ступенях прискорення?
10. Як впливає на тривалість пуску і гальмування сумарний момент інерції привода і момент опору на валу?
11. Виведіть співвідношення між ковзанням S і опором R в роторі $S/S_n = R/R_{рф}$.
12. Як змінюється $M_{\max}$ при змінюванні опору в роторі АД?
13. Які специфічні риси мають програмовані реле?

11 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №11

Вивчення законів частотного керування асинхронним двигуном

Мета роботи - вивчення особливостей роботи асинхронних двигунів при частотному керуванні; зняття і аналіз характеристик двигуна.

11.1 Загальні відомості

Робота асинхронного двигуна (АД) загальнопромислового застосування при частотному керуванні відноситься до класу неномінальних режимів роботи.

Як відомо, частота обертання трифазного АД визначається як

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s) = \frac{2\pi f_1}{p} \cdot (1 - s), \quad (11.1)$$

де ω_0 - кругова частота обертання магнітного поля статора; f_1 - частота напруги, що живить фази обмотки статора; p - число пар полюсів обмотки статора; s - ковзання.

Практично частотне керування почало розвиватися з появою напівпровідникових приладів. При цьому виявилось можливим створити напівпровідникові перетворювачі частоти (НПЧ) для керування як потужними електроприводами, так і виконавчими двигунами в стежних системах і сервоприводах.

Разом із складністю побудови НПЧ виникає необхідність одночасного керування двох величин: частоти і напруги. Нехтуючи падінням напруги в первинній ланці, можемо записати, що напруга мережі урівноважується ЕРС двигуна

$$U \approx E = \sqrt{2} \cdot \pi (w_1 k_0) \cdot f_1 \Phi \quad (11.2)$$

де w_1 – число витків фази обмотки статора;

k_0 – обмотувальний коефіцієнт;

Φ – магнітний потік в повітряному проміжку АД.

З виразу (11.2) виходить, що, при зміні частоти з метою регулювання швидкості, рівновага ЕРС і напруги мережі може бути збережено тільки за рахунок збільшення магнітного потоку двигуна.

При цьому магнітна ланка насичуватиметься, а струм статора – інтенсивно наростати за нелінійним законом. У результаті робота АД в режимі частотного керування при незмінній напрузі виявляється

неможливим. Щоб зберегти незмінним магнітний потік при зменшенні частоти, необхідно одночасно знижувати і рівень напруги.

Таким чином, при частотному керуванні потрібно використовувати два канали: по частоті і напрузі. Спочатку закон регулювання напруги при частотному керуванні для випадку, коли статичний момент опору M_c - на валу двигуна змінюється залежно від частоти обертання, був виведений академіком М.П. Костенко, який виходив з необхідності збереження в усьому діапазоні частот обертання переважувальної здатності двигуна, тобто $M_{\max}/M_c = \lambda_m = \text{const}$. Тоді

$$\frac{U}{U_n} = \frac{f}{f_n} \cdot \sqrt{\frac{M_c}{M_{cn}}}. \quad (11.3)$$

Тут індексом "н" позначені номінальні параметри напруги живлення і приведенного статичного моменту опору робочого механізму. Отримана формула показує, що закон зміни напруги при частотному керуванні визначається характером зміни M_c залежно від кутової швидкості.

При постійному статичному моменті - M_c отримуємо найбільш простий закон керування двигуном

$$U/f = \text{const}. \quad (11.4)$$

При лінійному наростанні M_c з кутовою швидкістю закон керування напруги має вигляд

$$U/U_n = \sqrt{(f/f_n)^3}. \quad (11.5)$$

При квадратичній залежності (навантаження вентилятора)

$$U/U_n = (f/f_n)^2. \quad (11.6)$$

З цього співвідношення виходить, що при двократній зміні частоти f , напругу U необхідно змінити в чотири рази.

Якщо вимагається підтримувати режим постійної потужності електродвигуна $P = M \cdot \omega = \text{const}$, то оскільки частота обертання ω пропорційна частоті f , то отримаємо умову

$$\frac{M_{cn}}{f_n} = \frac{M_c}{f}, \quad (11.7)$$

звідки закон зміни напруги

$$\frac{U}{U_n} = \sqrt{\frac{f}{f_n}}. \quad (11.8)$$

Для роботи спільно з НПЧ важливе значення придає форма кривих струму і напруги. Для тиристорних перетворювачів напруги характерною є прямокутно-ступінчаста форма вихідної напруги. При цьому крива фазного струму містить широкий спектр гармонік, головні з яких 3, 5 і 7-а. Вищі гармоніки впливають на двигун тільки негативним чином, збільшуючи його нагрівання, пульсації моменту і частоти обертання, вібрацію і шум. У двигунів середньої потужності при живленні від НПЧ втрати в сталі статора підвищуються на 30%, струм неробочого ходу на 32%, ККД знижується на 1,5%, струм в обмотці статора збільшується на 8%, ковзання на 3%. Це знижує допустиме навантаження на валу двигуна, що вимагає збільшення його потужності.

При використанні в частотному електроприводі АД з самовентиляцією необхідно враховувати зміни умов охолодження із зміною частоти обертання ротора. В цьому випадку найгіршим режимом роботи АД буде точка мінімальної частоти обертання. У цій точці нагрів не має бути вище допустимого. Для виконання цієї умови необхідно знизити навантаження на валу.

При подачі на фази АД напруги ступінчастої форми, вектор магнітного потоку переміщується стрибкоподібно, займаючи послідовно положення 1-6, розташованим у вершинах шестикутника, вписаного в коло (рисунк 11.1), При синусоїдальному живленні годографом вектора Φ є коло.

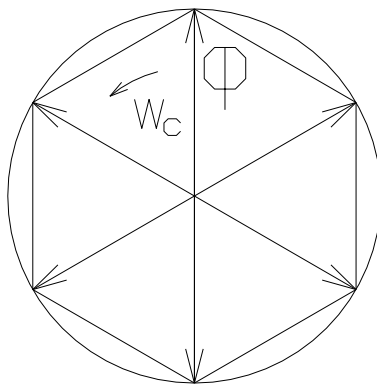


Рисунок 11.1 – Форма вектора магнітного потоку

Властивості АД при частотному керуванні оцінюються робочими, механічними і регульовальними характеристиками.

11.2 Програма роботи

11.2.1 Експериментальна частина.

11.2.1.1 Ознайомитися з схемою і роботою лабораторного стенду.

11.2.1.2 Зняти робочі характеристики АД $\omega, P_1, I_1 = f(M)$ при живленні від НПЧ для частот $f = 50$ і 100 Гц.

11.2.1.3 Зняти регульовальну характеристику $\omega = f(f)$ в діапазоні зміни частот $f = 50 - 100$ Гц.

11.2.1.4 Замалювати осцилограми фазної напруги, що підводиться до АД і лінійних струмів при живленні від НПЧ в режимі навантаження для $f = 50$ Гц.

11.2.1.5 Замалювати осцилограми фазної напруги і лінійних струмів при синусоїдальному живленні в режимі навантаження.

11.2.2 Обробка експериментальних даних

11.2.2.1 Побудувати на графіку механічні характеристики $\omega = f(M)$ при живленні АД від НПЧ.

11.2.2.2 Побудувати на графіках робочі характеристики $\eta, \cos\varphi = f(M)$ і $I_1, P_1, P_2 = f(M)$ при живленні від НПЧ.

11.2.2.3. Побудувати на графіку регульовальну характеристику $\omega = f(f)$.

11.3 Опис лабораторного стенду

Схема стенду для проведення експериментальних досліджень приведена на рисунку 11.2.

Він складається з перетворювача частоти і асинхронного двигуна. У якості навантаження використовується двигун постійного струму, змонтований спільно з АД, якірна ланка якого замкнена на опори R1 R2 і R3. Паспортні дані АД і ДПС використані в лабораторному стенді приведені в таблиці 1.1. На стенді розташований комплект вимірювальних приладів, необхідних для проведення експерименту.

Таблиця 11.1 – Паспортні дані двигунів

Позначення на схемі	Тип двигуна	Номинальна потужність P_n , кВт	Номинальна напруга живлення, В	Номинальний струм, А	Кутова швидкість n , про/хв
M1	4AM7164Y3	0,75	220	3,8	1370
M2	ПЗ2М	1,1	220	6,53	1000

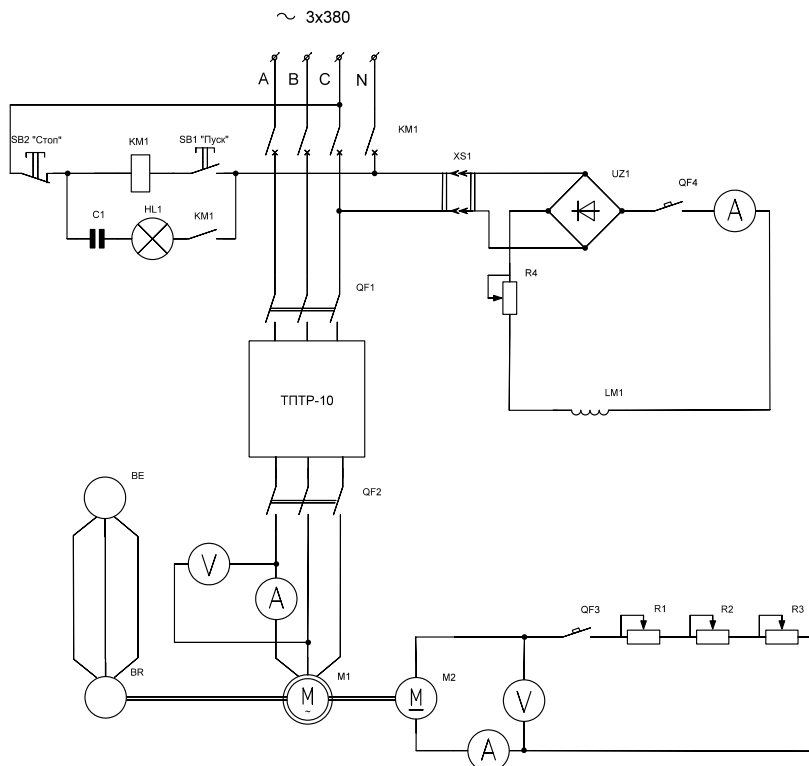
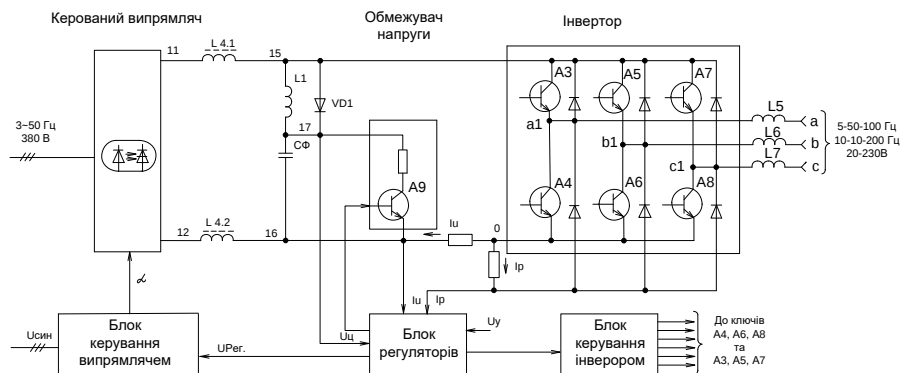


Рисунок 11.2 – Схема лабораторного стенду

Використовується перетворювач частоти - ТПТР- 10-230-3200. Цифри означають, що номінальний струм його 10 А, найбільше значення вихідної напруги - 230 В, частоти - 3200 Гц (для роботи встановлений діапазон частот НПЧ $f = 40 - 400$ Гц). Перетворювач виконаний у вигляді шафи, усередині якої розташовані блоки інвертора, регулятора, живлення; трансформатори, реактори, діоди, конденсатори. У цьому перетворювачі закладений закон регулювання

$$U/f = 230/400 = 0,575.$$

У перетворювачі (рисуюнок 11.3) відбувається подвійне перетворення напруги: спочатку змінна напруга частоти 50 Гц перетворюється в постійну. Для цього використовується керований випрямляч. Після випрямляча постійна напруга за допомогою інвертора напруги перетвориться в змінну заданої частоти. Схема перетворювача містить силову частину і систему керування. У силову частину входять керований випрямляч, згладжувальний фільтр, інвертор, обмежувач напруги і пристрій захисту.



Рисуюнок 11.3 – Функціональна схема ТПТР- 10

Керований випрямляч на оптронних тиристорах виконаний за трифазною мостовою схемою. Напруга на його виході регулюється пропорційно зміні вихідної частоти перетворювача. Регулювання здійснюється зміною кута керування тиристорами, при цьому максимальна випрямлена напруга обмежена 280В, в номінальному режимі $U_n = 230\text{В}$ при частоті $f_n = 400\text{ Гц}$. Пульсуюча напруга випрямляча згладжується Г-подібним фільтром, що складається з реактора і конденсаторів.

Інвертор напруги на транзисторних ключах виконаний за трифазною мостовою схемою з інтервалом провідності кожного ключа 180 ел.град.

Система керування складається з пристрою керування пуском і гальмуванням; задавача керуючої напруги, що забезпечує формування лінійної напруги при розгоні і гальмуванні, а також стабілізацію керуючої напруги на заданому рівні в робочих режимах. Сюди також

входять система фазового керування тиристорами, перемикач діапазонів і захисні пристрої.

Як об'єкт дослідження використовується трифазний АД типу 4АМ7164УЗ (таблиця 11.1). Навантаження двигуна здійснюється за допомогою двигуна постійного струму типу П32М (таблиця 11.1). Величина моменту навантаження АД регулюється струмом в обмотці збудження ДПС і зміною опору в якірній ланці. Живлення в обмотку збудження ДПС подається за допомогою вилки XS1 на лабораторному стенді.

Частота обертання ротора вимірюється за допомогою тахогенератора BR типу ДТЭ-1. Вимірювання напруги, струмів і потужності фаз статора здійснюється вимірювальними приладами, розташованими на стенді.

Реєстрація струмів і напруги здійснюється цифровим осцилографом з наступною передачею осцилограм на персональний комп'ютер за допомогою USB кабелю.

Кнопка SB1 "Пуск" подає напругу на стенд. Автоматичний вимикач QF1 підключає напівпровідниковий перетворювач частоти до мережі живлення. За допомогою QF2 асинхронний двигун підключається до ТПТР. Після ввімкнення напруги на НПЧ, необхідно ввімкнути сам перетворювач за допомоги автоматичного вимикача і кнопки "Пуск", встановлених на ньому.

11.4 Порядок виконання роботи

11.4.1 При дослідженні роботи АД при живленні від НПЧ необхідно ввімкнути QF1 і QF2.

11.4.2 Ввімкнути перетворювач частоти за допомогою автоматичного вимикача (розташований справа на шафі НПЧ). При цьому загоряється сигнальна лампа.

11.4.3 Встановити на індикаторі НПЧ необхідну частоту $f_1 = 50$ Гц.

11.4.4 Натиснути кнопку "Пуск" на НПЧ і спостерігати за розгоном двигуна. Ввімкнути QF3 і QF4, тим самим подати навантаження на досліджуваний двигун. Підімкнути осцилограф в мережу. Навантажити АД моментом $M_c = 0,05M_n$, виміряти швидкість і замалювати криві струмів і напруг при навантаженні. Зняти навантаження, відімкнути осцилограф і приступити до зняття робочих характеристик.

11.5.2 Розрахункові значення величин визначаються по формулах: лінійна напруга – $U_{\text{л}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{из}}$, лінійний струм – $I_{\text{л}} = I_{\text{из}}$, потужність споживана АД – $P_1 = \sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}}$; корисна потужність – $P_2 = M_c \omega_r = \pi/30 \cdot M_c \cdot n = 0,128 \cdot M_c \cdot n$.

За дослідними і розрахунковими даними у відповідних масштабах будуються робочі і механічні характеристики.

11.5.3 Результатів вимірів регулювальної характеристики заносяться в таблицю 1.3.

Таблиця 11.3 – Результатів вимірів

M_c , Нм	f_j , Гц	f_1	f_2	...	...	f_k	...
	n , об/хв						

11.5.4 На підставі лекційного курсу і рекомендованої літератури необхідно пояснити схему і особливості роботи АД при живленні від НПЧ, отримані характеристики і осцилограми.

11.6 Вимоги до звіту

Звіт повинен містити:

11.6.1 Паспортні дані двигуна, НПЧ і специфікацію вимірювальної апаратури.

11.6.2 Спрощену робочу схему стенду.

11.6.3 Механічні характеристики $\omega = f(M)$; робочі характеристики $I_1, P_1, P_2, \eta, \cos \varphi = f(M)$ при живленні від НПЧ.

11.6.4 Регулювальну характеристику $\omega = f(f)$, осцилограми струмів і напруг.

11.7 Контрольні питання

1. Назвіть способи регулювання частоти обертання ротора.
2. Що таке закони частотного керування?
3. Поясніть принцип роботи частотного перетворювача.
4. Які існують типи перетворювачів частоти?
5. У чому відмінність механічних характеристик при керуванні за законами $U/f = \text{const}$ і $\Phi = \text{const}$?
6. Як впливає форма вихідної напруги НПЧ на ККД, $\cos \varphi$ і

момент АД?

7. Як змінюються втрати в сталі і електричні втрати при зміні частоти?

8. Перерахуйте переваги і недоліки перетворювачів з інверторами струму і напруги.

9. Пояснить криві миттєвих значень фазної і лінійної напруги і фазних струмів при живленні від НПЧ.

10. Які діапазони регулювання швидкості обертання вгору і униз від номінальної у сучасних АД?

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Бондаренко В.І., Крисан Ю.О. Основи електропривода: навч. посіб. Запоріжжя: ЗНТУ, 2013. 402 с.
2. Попович М.Г., Лозинський О.Ю. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: навч. посіб. Київ: Либідь, 2005. 680 с.
3. Колб Ант.А., Колб А.А. Теорія електроприводу: навч. посіб./ Нац. гірн. ун-т. 2-ге вид., переробл. і допов. Дніпро: НГУ, 2011. 540 с.
4. Кажан В. Є. Теорія електропривода. Частотне регулювання, структури та енергетика електроприводів. Ч.3: навч. посіб. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2008. 87 с.
5. Булгар В. В. Теорія електроприводу. Збірник задач: навч. посіб. Одеса: Поліграф, 2006. 408 с.
6. Загірняк, М.В., Клепіков, В.Б., Ковбаса, С.М., Михальський, В.М., Пересада, С.М., Садовой, О.В., Шаповал, І.А. Енергоефективні електромеханічні системи широкого технологічного призначення. Монографія. – НАН України, 2018, 254 с. ISBN 978-966-02-8403-6..
7. Метельський В. П. Електричні машини: навч. посіб. Запоріжжя : ЗНТУ, 2000. 832 с.
8. Електропривід і автоматизація: конспект лекцій / уклад.: О. А. Авдєєва, О. С. Садовий. Миколаїв: МНАУ, 2019. 97 с.
9. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: навч. посіб. / М. Г. Попович, О. Ю. Лозинський, В.Б. Клепіков та ін. Київ: Либідь, 2005. Ч. 1. 397 с.; Ч. 2. 680 с.
10. Крисан Ю.О., Залужний М. Ю. Універсальний стенд дистанційного керування і контролю параметрів електропривода MICROMASTER 440. «Електротехніка та електроенергетика». 2011. № 1. С. 56–59.
11. Крисан Ю.О. Модернізація лабораторного стенда дослідження асинхронного електропривода. «Електротехніка та електроенергетика». 2014. № 1. С. 49–54.
12. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Автоматизований електропривод» для студентів спеціальності G3 всіх форм навчання. Ч.1 /уклад.: Ю.О. Крисан, Є.В. Васильєва. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2026. 66 с.
13. Schneider Electric: офіційний сайт. URL: <https://www.se.com>.