

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства та природокористування

Навчально-науковий інститут енергетики, автоматики та водного
господарства

Кафедра енергетики

02/02-19М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни
«Електричні машини» для здобувачів вищої освіти першого
(бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
спеціальності G3 «Електрична інженерія»
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково-
методичною радою з якості
ННІ ЕАВГ
Протокол № 7 від 17.02.2026 р.

Рівне – 2026

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Електричні машини» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціальності G3 «Електрична інженерія» денної та заочної форм навчання [Електронне видання] / Василюк С. В., Залужний А. Л., Глушук В. С. – Рівне : НУВГП, 2026. – 62 с.

Попередня версія – 02/02-15М

Укладачі:

Василюк С. В. в.о. завідувача кафедри енергетики, д.т.н., проф.

Залужний А. Л. доцент кафедри енергетики, доктор філософії

Глушук В. С. старший лаборант кафедри енергетики

Відповідальний за випуск:

Василюк С. В., в.о. завідувача кафедри енергетики, д.т.н., проф.

Керівник групи забезпечення спеціальності G3 «Електрична інженерія»:

Літковець С. П., доцент кафедри енергетики, к.т.н., доцент

© С. В. Василюк,
А. Л. Залужний,
В. С. Глушук, 2026
© НУВГП, 2026

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Лабораторна робота № 1. Випробування трифазного трансформатора в режимі холостого ходу.....	5
Лабораторна робота №2. Маркування виводів статора асинхронного двигуна.....	16
Лабораторна робота №3. Дослідження схем з'єднання статорних обмоток асинхронного двигуна.....	25
Лабораторна робота № 4. Дослідження самозбудження асинхронного генератора.....	32
Лабораторна робота № 5. Дослідження роботи синхронного генератора в режимі холостого ходу.....	42
Лабораторна робота № 6. Експериментальне визначення відношення короткого замикання синхронного генератора.....	49
Лабораторна робота №7. Дослідження регулювальних характеристик двигуна постійного струму.....	55
Література.....	62

ВСТУП

Метою освітньої компоненти є формування у здобувачів вищої освіти розуміння принципу функціонування трансформаторів та електромеханічних перетворювачів, процесів перетворення електричної енергії.

У результаті вивчення даного курсу здобувач освіти повинен набути наступних компетентностей: здатність вирішувати практичні задачі із залученням методів математики, фізики та електротехніки; здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з роботою електричних машин, апаратів та автоматизованого електроприводу; здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з проблемами виробництва, передачі та розподілення електричної енергії; здатність оперативно вживати ефективні заходи в умовах надзвичайних (аварійних) ситуацій в електроенергетичних та електромеханічних системах.

Тематика лабораторних робіт тісно пов'язана з лекціями, тому під час підготовки до лабораторної роботи необхідно ґрунтовно вивчити відповідний теоретичний матеріал. Крім того, готуючись до лабораторної роботи, студент має ознайомитися з методичними вказівками. Лабораторні роботи виконуються на лабораторних стендах під напругою, тому допуск до виконання робіт надається тільки після проходження інструктажу з техніки безпеки з фіксацією у спеціальному журналі. Подавати напругу на стенд можна тільки з дозволу та під контролем викладача.

Для виконання лабораторних робіт використовується наступне обладнання (ауд. 502, 508, 509): трансформатор трифазний типу ТСЗІ-2,5; асинхронний двигун типу АИР-71А2; асинхронний генератор (АОЛ2-11-6У3), з'єднаний через пасову передачу з асинхронним двигуном (АОЛ2-11-4У3); синхронний генератор типу ЕС-52-4У2, з'єднаний пружною муфтою з двигуном постійного струму ПН-28,5; двигун постійного струму типу ЕП-110/245, з'єднаний з тахогенератором типу ЕТ-7/110; частотний перетворювач Danfoss VLT Micro Drive FC 51; лампове навантаження; пристрій збудження асинхронного генератора; лабораторні автотрансформатори (5 кВА, 2 кВА, 0,5 кВА); аналізатори параметрів мережі типу ТРМ-01ESH; мультиметри, цифрові вольтметри.

За результатами виконання кожної лабораторної роботи студент готує звіт згідно з вимогами, які наведені в кінці вказівок до кожної роботи. Студент має представити та захистити викладачеві звіт на наступному лабораторному занятті. Під час підготовки до захисту слід орієнтуватися на перелік контрольних запитань.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Випробування трифазного трансформатора в режимі холостого ходу

Мета: дослідити функціонування трифазного двообмоткового трансформатора в режимі холостого ходу.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

У режимі холостого ходу (х.х.) трансформатора до його первинної обмотки підведена напруга номінального рівня, а вторинна обмотки розімкнена. При цьому в первинній обмотці протікає невеликий струм, який називають струмом холостого ходу. У вторинній обмотці струм дорівнює нулю.

Оскільки корисна потужність при роботі трансформатора в режимі х.х. дорівнює нулю, то потужність P_0 , яку споживає трансформатор в режимі х.х., витрачається на магнітні втрати у магнітопроводі (втрати на перемагнічування магнітопроводу та вихрові струми) та електричні втрати у міді первинної обмотки (втрати на нагрівання обмотки при протіканні по ній струму). Оскільки струм х.х. зазвичай має невелике значення (2–10 % від номінальної величини струму), то електричними втратами у первинній обмотці можна знехтувати та вважати, що вся потужність х.х. являє собою потужність магнітних втрат у сталі магнітопроводу. Тому магнітні втрати у трансформаторі прийнято називати втратами холостого ходу.

Дослід х.х. трифазного трансформатора проводять відповідно до схеми на рис. 1.1.

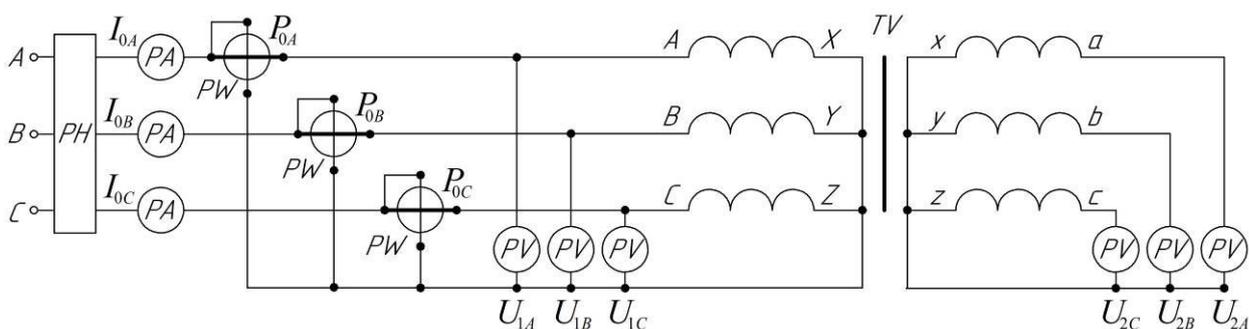


Рисунок 1.1 – Схема досліду холостого ходу трифазного двообмоткового трансформатора

Комплект вимірювальних приладів, що включені до схеми, дає змогу безпосередньо вимірювати для кожної фази: напругу U_1 , що прикладається до первинної обмотки; струм х.х. I_0 ; потужність х.х. P_0 ; напругу U_2 на виводах вторинної обмотки. Напруга до первинної обмотки підводиться через регулятор напруги РН, що дозволяє плавно підвищувати напругу від 0 до $1,15U_{1ном}$. При цьому через приблизно однакові інтервали струму х.х. записують покази приладів, а потім будують характеристики х.х.: залежність струму х.х. I_0 , потужності х.х. P_0 та коефіцієнта потужності х.х. $\cos\phi$ від

первинної напруги U_1 . Характеристики мають криволінійний характер, що обумовлено магнітним насиченням магнітопроводу, яке настає при визначеній величині U_1 .

Для конкретного значення напруги на вході трансформатора, що визначається регулятором РН, за показами приладів визначаються наступні величини.

Середнє значення вхідної фазної напруги:

$$U_1 = \frac{U_{1A} + U_{1B} + U_{1C}}{3}, \quad (1.1)$$

де U_{1A} , U_{1B} , U_{1C} – виміряні вхідні фазні напруги трансформатора.

Середнє значення вихідної фазної напруги в режимі х.х.:

$$U_2 = \frac{U_{2A} + U_{2B} + U_{2C}}{3}, \quad (1.2)$$

де U_{2A} , U_{2B} , U_{2C} – виміряні вихідні фазні напруги трансформатора.

Середнє значення фазного струму х.х.:

$$I_0 = \frac{I_{0A} + I_{0B} + I_{0C}}{3}, \quad (1.3)$$

де I_{0A} , I_{0B} , I_{0C} – виміряні фазні струми х.х. трансформатора.

Потужність х.х. трансформатора:

$$P_0 = P_{0A} + P_{0B} + P_{0C}, \quad (1.4)$$

де P_{0A} , P_{0B} , P_{0C} – виміряні фазні потужності х.х. трансформатора.

Коефіцієнт потужності х.х. становить:

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{3U_1 I_0}. \quad (1.5)$$

При номінальній нарузі на вході трансформатора визначаються наступні величини.

Коефіцієнт трансформації:

$$k = \frac{U_1}{U_2}. \quad (1.6)$$

Відносне значення струму х.х. (y % від номінальної величини):

$$i_0 = \frac{I_0}{I_{ном}} 100 \%, \quad (1.7)$$

де $I_{ном}$ – номінальний фазний струм первинної обмотки, яке дорівнює:

$$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{3U_{1ф.ном}}, \quad (1.8)$$

причому $U_{1ф.ном}$ – номінальна фазна напруга первинної обмотки.

В режимі х.х. струм первинної обмотки трансформатора відповідає струму намагнічення ($\dot{I}_1 = \dot{I}_0$), струм вторинної обмотки дорівнює нулю ($\dot{I}_2 = 0$), рис. 1.2.

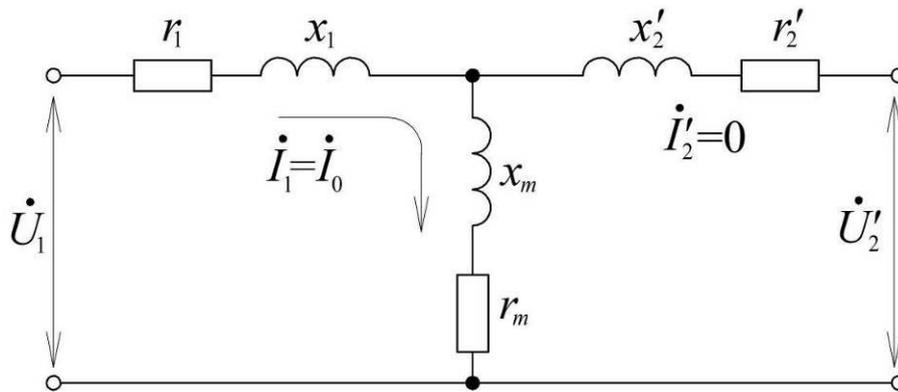


Рисунок 1.2 – Заступна схема трансформатора в режимі х.х.

Падіння напруги в первинній гілці заступної схеми в режимі х.х. $I_0(r_1 + jx_1)$ є несуттєвим, тому допускається параметри гілки намагнічення обраховувати за наступними залежностями.

Повний опір гілки намагнічення:

$$z_m = \frac{U_1}{I_0}. \quad (1.9)$$

Активний опір гілки намагнічення:

$$r_m = z_m \cos \varphi_0, \quad (1.10)$$

Індуктивний опір гілки намагнічення:

$$x_m = \sqrt{z_m^2 - r_m^2}. \quad (1.11)$$

ОПИС ОБЛАДНАННЯ

Лабораторна робота виконується на стенді, що розташований в ауд. 508. Нижче описано обладнання, що використовується для виконання досліду.

Трансформатор трифазний типу ТСЗІ-2,5

Трифазні трансформатори серії ТСЗІ (ТУУ 31.1-31624085-001:2010) з природним повітряним охолодженням, що включаються в мережу змінного струму частотою 50-60 Гц, призначені для живлення електроінструменту, кіл управління і низьковольтних освітлювальних мереж, рис. 1.3.

Значення основних параметрів трансформатора ТСЗІ-2,5:

Номинальна потужність, кВА.....	2,5
Частота, Гц.....	50 (60)
Фаз.....	3
Сторона ВН:	
напруга, В.....	380
струм, А.....	3,8
Сторона НН:	

напруга, В.....	220 (380)
струм, А.....	6,6 (3,8)
Схема та група з'єднання.....	Yн/Δ-11; Yн/Yн-0
Струм х.х., %.....	18
Напруга к.з., %.....	3,8
ККД, %.....	95
Клас нагрівостійкості ізоляції.....	В
Ступінь захисту.....	IP21
Випробувальна напруга, В.....	4000



а)



б)



в)

Рисунок 1.3 – Трифазний двообмотковий трансформатор ТСЗІ-2,5:
а – вигляд із захисним кожухом; б – магнітопровід;
в – на лабораторному стенді в ауд. 508

Аналізатор параметрів мережі типу ТРМ-01ESH

Пристрій призначено для вимірювання значень наступних параметрів електромережі, рис. 1.4:

- амплітуди гармонічних складових струму та напруги до 31 гармоніки;
- активна, реактивна (індуктивна та ємнісна) та повна потужність за кожною фазою;
- коефіцієнт потужності за кожною фазою;
- мінімальні, максимальні та середні значення лінійної та фазної напруги;

- струми фаз;
- активна та реактивна енергія;
- баланс фазних струмів та напруг.



Рисунок 1.4 – Аналізатор параметрів мережі типу TPM-01ESH

На лабораторному стенді розташовано два однакових аналізатори, що позначаються P4 та P5. Вимірювальні струмові кола приєднуються до електромережі за допомогою вимірювальних трансформаторів струму, рис. 1.5. На стенді розташовані вимірювальні трансформатори струму типу S25B, первинний/вторинний номінальні струми 25/5 А, клас точності 0,5, рис. 1.6.

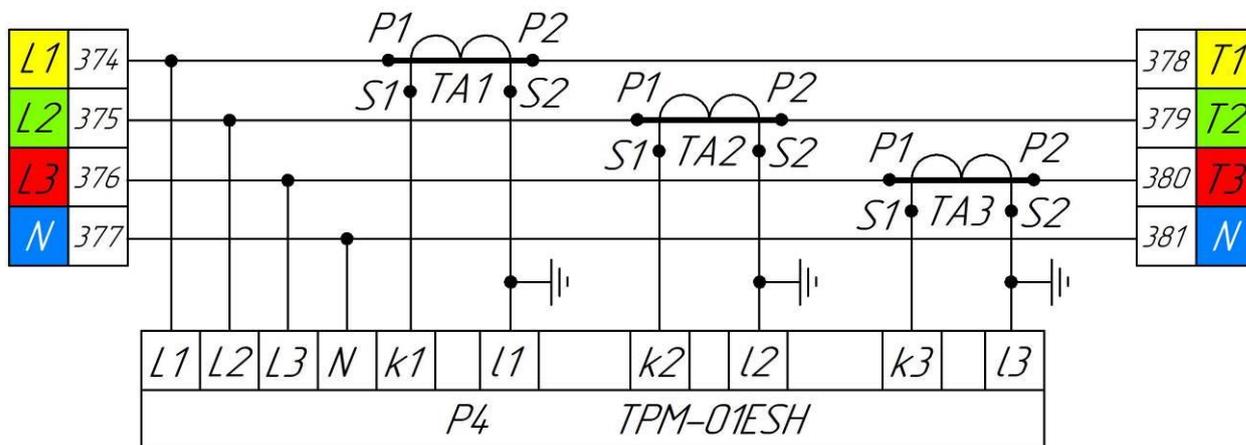


Рисунок 1.5 – Схема приєднання аналізатора P4 на лабораторному стенді, ауд. 508

На екрані аналізатора параметрів розташовані цифрові та світлодіодні індикатори, рис. 1.7. Чотири цифрових індикаторів призначені для відображення поточних значень обраних параметрів. Визначення параметра, значення якого відображається на цифрових індикаторах, здійснюється за допомогою світлодіодних індикаторів. Такі індикатори умовно поділяються на 6 груп, що позначені на рис. 1.7. Розглянемо призначення кожної з груп.



Рисунок 1.6 – Вимірювальний трансформатор струму типу S25B (25/5 А)

- 1 – Найменування параметра, значення якого відображається:
 - L–N – фазна напруга (фаза-нейтраль);
 - L–L – лінійна напруга (фаза-фаза);
 - A – струм;
 - Cos – коефіцієнт потужності;
 - W – активна потужність («-» – експорт);
 - Var – реактивна потужність («-» – ємнісна потужність);
 - VA – повна потужність;
 - kWh – активна енергія;
 - kVAh – реактивна енергія («-» – ємнісна енергія);
 - Hz – частота;
 - HD – гармонійні викривлення.
- 2 – Фаза, яку характеризує параметр (L1, L2, L3).
- 3 – Значення параметра, що відображається:
 - Min – мінімальне значення (період усереднення 2 с);
 - Max – максимальне значення (період усереднення 2 с);
 - Average – середнє значення (період усереднення 5 хв);
 - Demand – максимальне середнє за 15 хв значення навантаження (струм, потужність);жоден індикатор цієї групи не світиться – поточне значення.

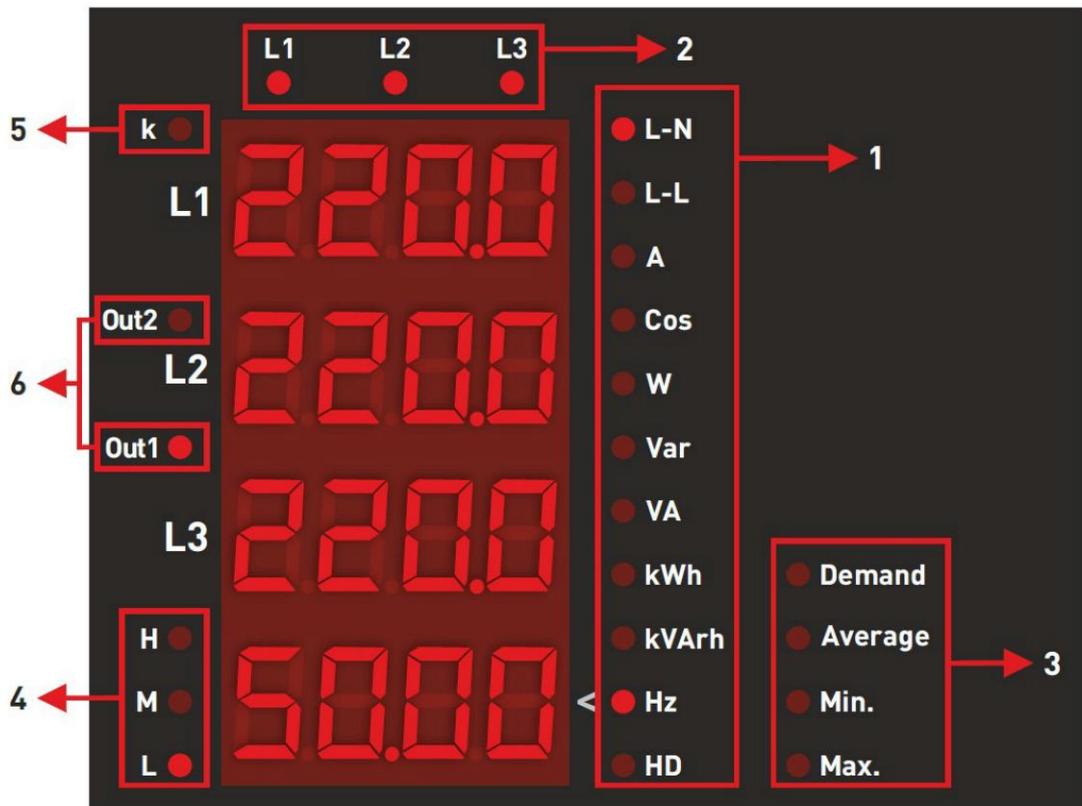


Рисунок 1.7 – Екран аналізатора параметрів мережі типу TPM-01ESH

Призначення кнопок:

-  ESC – при знаходженні в меню здійснює вихід без збереження налаштувань;
-  SET – здійснює вхід до меню або до параметра для його зміни, зберігає налаштування параметра;
-  DOWN – здійснює вибір параметра для відображення (L–N, L–L, A, Cos тощо), в режимі меню – змінює параметр;
-  RIGHT – здійснює вибір значення параметра, що відображається (Min, Max тощо), в режимі меню – змінює параметр.

Автотрансформатори

Для зміни напруги, що подається на досліджуваний трансформатор, використовуються три однофазні лабораторні автотрансформатори (ЛАТР), що на стенді позначені TV1–TV3. Номінальна потужність автотрансформатора TV1 5 кВА, TV2 та TV3 – 2 кВА, рис. 1.8. ЛАТР розраховані на вихідну напругу від 0 до 250 В.

ЗАВДАННЯ

Побудувати характеристики холостого ходу та оцінити параметри гілки намагнічення заступної схеми трифазного двообмоткового трансформатора.



Рисунок 1.8 – Лабораторний автотрансформатор

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Вимірювання

1. Пересвідчитися, що стенд знеструмлено та всі автоматичні вимикачі відключені.
2. Зібрати схему досліду відповідно до рис. 1.9.
3. Рукоятки автотрансформаторів TV1, TV2, TV3 виставити у нульове положення.
4. Показати зібрану схему викладачеві. Сфотографувати схему для оформлення звіту.
5. Подавати напругу на стенд можна тільки з дозволу викладача!
6. Ввімкнути автоматичний вимикач QF20, що подає напругу на стенд.
7. За допомогою рукояток автотрансформаторів TV1, TV2, TV3 виставити напругу кожної фази 120 В згідно із першим рядком табл. 1.1. Фактичну напругу контролювати за показами приладу P4 (параметр L-N) та записати до табл. 1.1.
8. За показами P4 записати до табл. 1.1 величини струмів та потужностей (стовпчики 7–12).
9. За показами P5 записати до табл. 1.1 величини фазних напруг на виході досліджуваного трансформатора (стовпчики 13–15).
10. Збільшити напругу на вході трансформатора на 10 В. Записати до табл. 1.1 значення необхідних параметрів. Повторювати досліди до досягненні вхідною напругою величини 240 В.

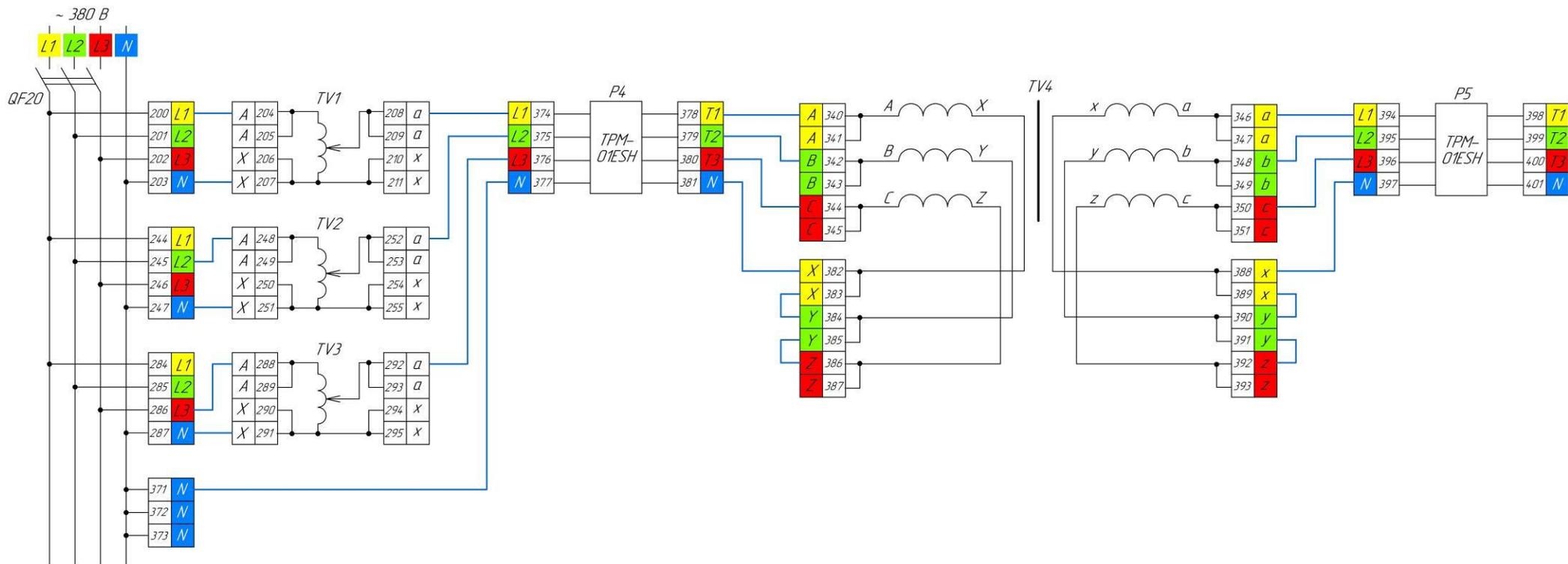


Рисунок 1.9 – Схема з'єднання елементів лабораторного станда для дослідження режиму холостого ходу трифазного трансформатора

Таблиця 1.1

Результати вимірювань та обчислень характеристики холостого ходу трифазного двообмоткового трансформатора

Виміряно												Обраховано									
$U_{1A}, В (TV1)$		$U_{1B}, В (TV2)$		$U_{1C}, В (TV3)$		$I_{0A}, А$	$I_{0B}, А$	$I_{0C}, А$	$P_{0A}, Вт$	$P_{0B}, Вт$	$P_{0C}, Вт$	$U_{2A}, В$	$U_{2B}, В$	$U_{2C}, В$	$U_1, В$	$U_2, В$	$I_0, А$	$P_0, Вт$	$\cos\varphi_0$		
План	Факт (P4)	План	Факт (P4)	План	Факт (P4)	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P5	P5	P5	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)		
-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-	-7-	-8-	-9-	-10-	-11-	-12-	-13-	-14-	-15-	-16-	-17-	-18-	-19-	-20-		
120		120		120																	
130		130		130																	
140		140		140																	
150		150		150																	
160		160		160																	
170		170		170																	
180		180		180																	
190		190		190																	
200		200		200																	
210		210		210																	
220		220		220																	
230		230		230																	
240		240		240																	
$k =$		$I_{ном} =$		А		$i_0 =$		%		$z_m =$		Ом		$r_m =$		Ом		$x_m =$		Ом	

11. Плавно перевести рукоятки автотрансформаторів TV1, TV2, TV3 у нульове положення.

12. Відключити автоматичний вимикач QF20. Відключити напругу в лабораторії.

13. З дозволу викладача розібрати схему досліду.

Розрахунки

14. Користуючись залежностями (1.1)–(1.5), виконати розрахунки та заповнити стовпчики 1–5.

15. Користуючись залежностями (1.6)–(1.11), обрахувати значення параметрів трансформатора при номінальній входній напрузі та занести результати до останнього рядка табл. 1.1.

16. Побудувати характеристики холостого ходу трифазного двообмоткового трансформатора, а саме: $I_0(U_1)$, $P_0(U_1)$, $\cos\varphi(U_1)$. На графіки слід наносити окремі експериментальні точки, з'єднувати експериментальні точки ламаною лінією заборонено, оскільки кожне експериментальне значення включає похибку вимірювання. Необхідно апроксимувати експериментальні точки однією зі стандартних кривих, яка характеризується найбільшим значенням коефіцієнта детермінації R^2 (чим ближче така величина до 1, тим краще обрана крива відповідає експериментальним даним).

Вміст звіту з лабораторної роботи

1. Тема, мета роботи.
2. Фото лабораторного стенда.
3. Схема з'єднання елементів лабораторного стенда для дослідження режиму холостого ходу трифазного трансформатора.
4. Результати вимірювань та обчислень характеристики холостого ходу трифазного двообмоткового трансформатора (табл. 1.1).
5. Характеристики холостого ходу трифазного двообмоткового трансформатора: $I_0(U_1)$, $P_0(U_1)$, $\cos\varphi(U_1)$.
6. Висновки з аналізом одержаних результатів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

Маркування виводів статора асинхронного двигуна

Мета: навчитися експериментально визначати початки та кінці обмоток статора асинхронного двигуна.

1 КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Статорна обмотка асинхронного трифазного двигуна включає три фазні обмотки, рис. 2.1.

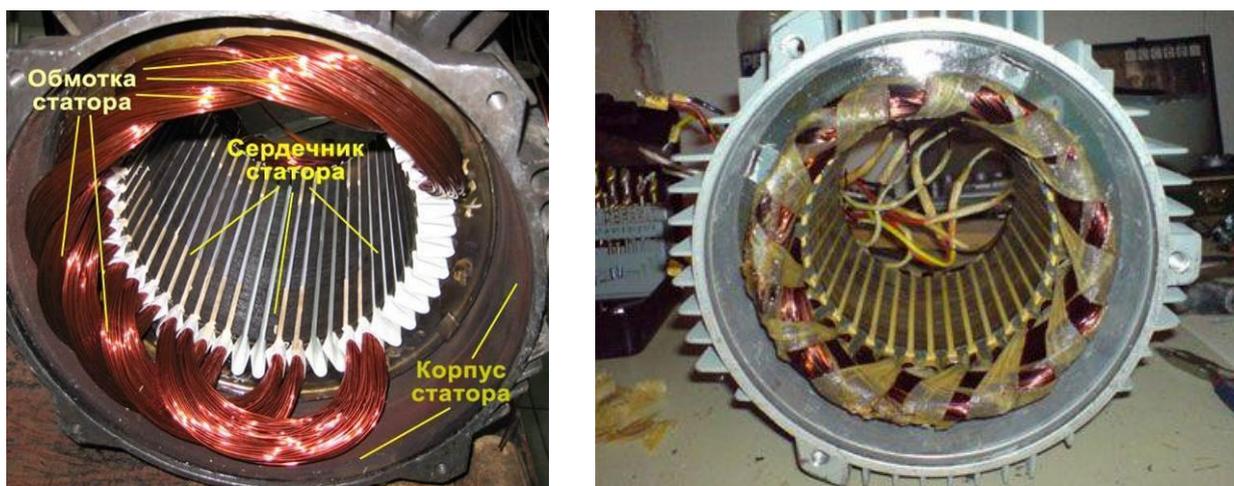


Рисунок 2.1 – Обмотка статора асинхронного двигуна

Кожна з фазних обмоток має два виводи, які відповідають умовному початку та кінцю обмотки. Відповідно, всього від статорної обмотки наявні шість виводів, рис. 2.2.



Рисунок 2.2 – Шість виводів обмотки статора асинхронного двигуна

Порядок маркування виводів електродвигуна визначається ДСТУ EN 60034-8:2018. Відповідно до цього стандарту, для маркування виводів трифазного електродвигуна використовують літерні позначення U, V, W з числовим префіксом: 1 – початок обмотки; 2 – кінець обмотки. У двигунів старого зразка виводи обмоток позначаються С1–С6 (рис. 2.3), а саме:

U1 (C1) – початок першої обмотки, U2 (C4) – кінець першої обмотки;
 V1 (C2) – початок другої обмотки, V2 (C5) – кінець другої обмотки;
 W1 (C3) – початок третьої обмотки, W2 (C6) – кінець третьої обмотки.

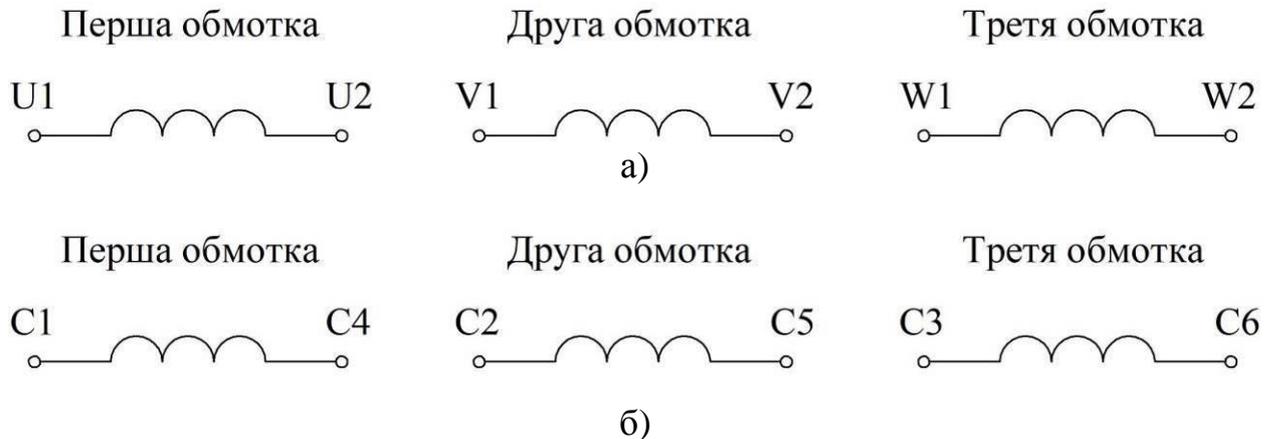


Рисунок 2.3 – Позначення виводів обмоток статора:
 а – для двигунів нового зразка відповідно до ДСТУ EN 60034-8:2018;
 б – для двигунів старого зразка.

Початки та кінці обмоток виводяться до клемної коробки (коробки виводів) електродвигуна, рис. 2.4. В клемній коробці виводи статорної обмотки зазвичай приєднані, як проказано на рис. 2.5.

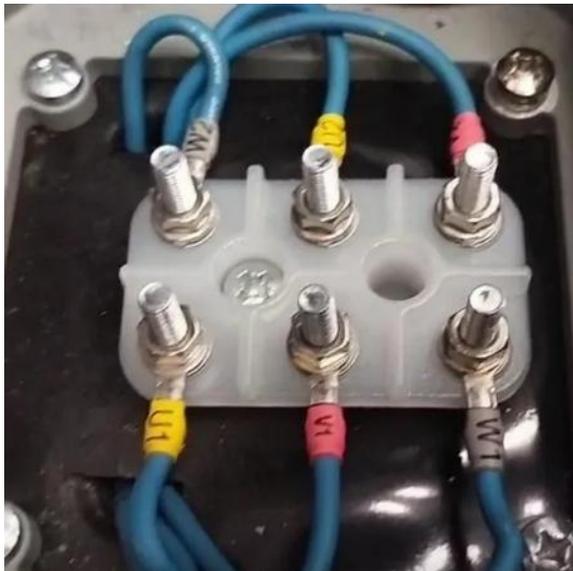


Рисунок 2.4 – Виводи статорної обмотки в клемній коробці двигуна

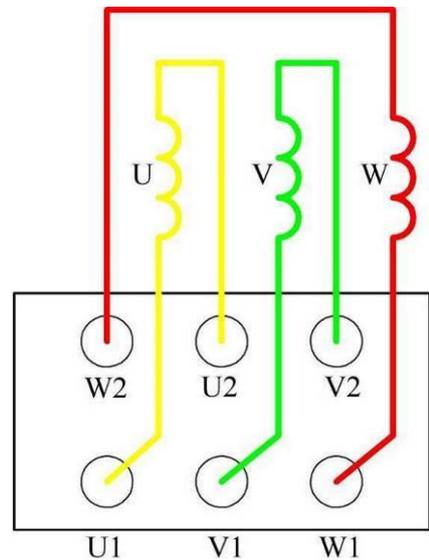


Рисунок 2.5 – Розташування виводів статорної обмотки в клемній коробці

Зазвичай виводи статорних обмоток промарковані та приєднані до відповідних клем в коробці виводів, рис. 2.4, 2.5. Проте бувають випадки,

коли маркування на виводи не нанесено і вони не приєднані до клем, рис. 2.2. В такому разі для правильного підключення асинхронного двигуна необхідно визначити початки і кінці обмоток статора та промаркувати їх.

Для визначення початку та кінця кожної з обмоток використовують наступний метод. Необхідно з'єднати послідовно довільним чином дві фази статора, а їх вільні затискачі приєднати до джерела змінного струму напругою 30–40 В, рис. 2.6. До виводів третьої обмотки слід підключити вольтметр PV. Якщо дві перші фази з'єднані однойменними виводами (кінцями – префікс «2», або початками – «1»), то у третій фазі напруга буде відсутня, рис. 1.6, а. Якщо фазні обмотки з'єднані різнойменними виводами («1»–«2», або «2»–«1»), то вольтметр покаже наявність напруги у третій обмотці. Аналогічним чином визначається початок та кінець обмотки третьої фази.

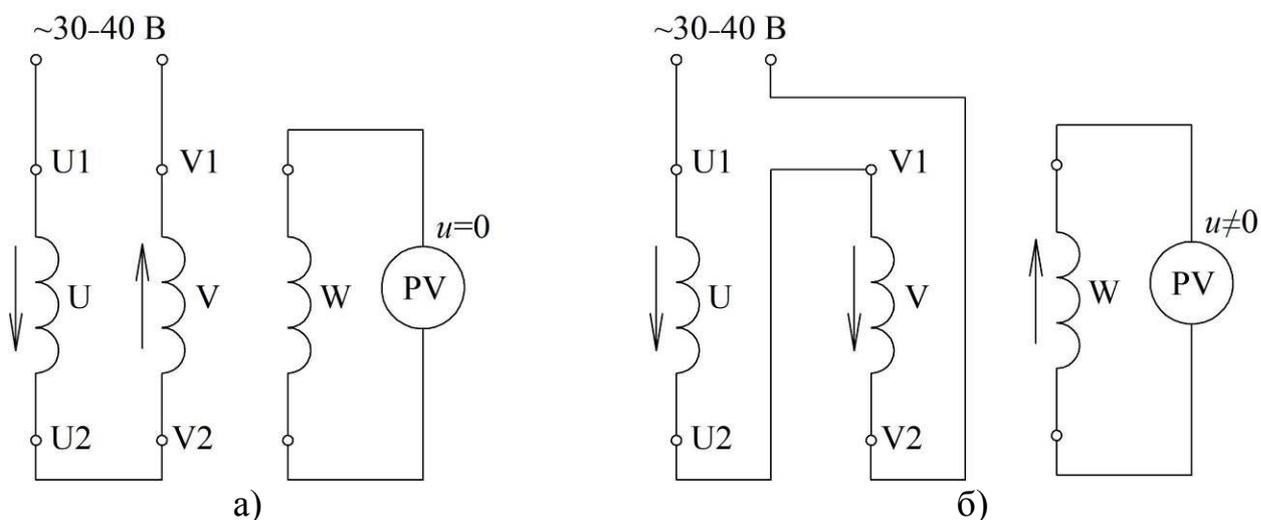


Рисунок 2.6 – Перевірка маркування виводів статора за допомогою джерела змінного струму: а – при з'єднанні двох обмоток однойменними виводами на третій обмотці напруга відсутня; б – при з'єднанні двох обмоток різнойменними виводами на третій обмотці є напруга

Якщо приєднати до мережі двигун з невірним маркуванням обмоток, то буде спостерігатися сильний гул, двигун не буде розвивати необхідний момент. Тривала робота двигуна в такому режимі недопустима.

2 ОПИС ОБЛАДНАННЯ

Для маркування обмоток статора використовується асинхронний двигун типу АІР-71А2, що розміщений на лабораторному стенді в ауд. 509, рис. 2.7. Виводи статора двигуна підключені панелі (клеми U1, U2, V1, V2, W1, W2). Для виконання роботи використовується шлейф з немаркованими проводами (рис. 2.8). В якості джерела низької напруги використовується автотрансформатор типу LTC-500, рис. 2.9. Вимірювання здійснюються мультиметром P3 типу UT58B, розташований на стенді. Маркування

проводів здійснюється бирками: «U» – 2 шт; «V» – 2 шт; «W» – 2 шт; «1» – 3 шт; «2» – 3 шт, рис. 2.10.

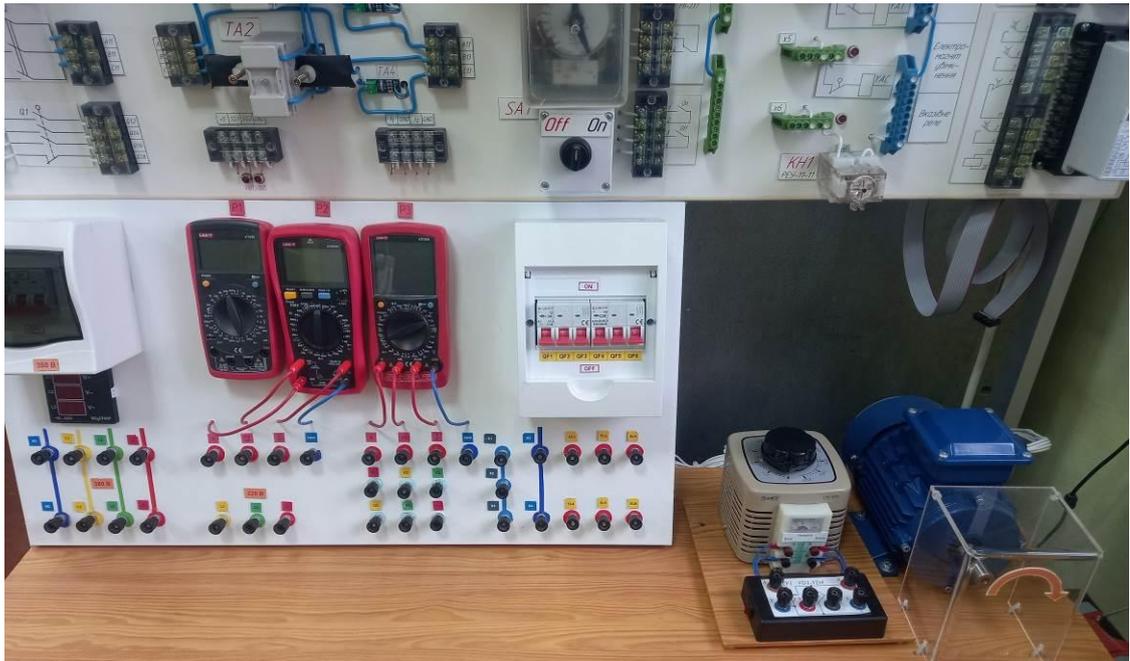


Рисунок 2.7 – Лабораторний стенд (ауд. 509) для проведення експерименту



Рисунок 2.8 – Шлейф з немаркованими проводами, що використовується для виконання лабораторної роботи



Рисунок 2.9 – Автотрансформатор, що використовується для проведення досліду



Рисунок 2.10 – Комплект бирок, за допомогою яких здійснюється маркування

3 ЗАВДАННЯ

Виконати маркування виводів статорної обмотки асинхронного двигуна. При цьому необхідно забезпечити обертання вала за годинниковою стрілкою (CW – Clockwise, «прямий» напрямом, «правий» напрямом) при підключенні відповідно до ДСТУ EN 60034-8:2018.

4 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Маркування виконується у три етапи. На першому етапі необхідно визначити виводи, що відносяться до однієї обмотки. На другому етапі необхідно для обмотки кожної фази визначити початок та кінець. На третьому етапі слід перевірити напрям обертання ротора.

Для визначення виводів, що відносяться до однієї фазної обмотки, необхідно виконати наступні дії.

1. Ввімкнути мультиметр РЗ, виставити режим прозвонювання кіл.
2. Одягнути на будь-який провід, що іде від двигуна, бирку «U» (перша обмотка).
3. Приєднати цей провід до клеми «com» мультиметра РЗ.
4. Почергово торкатися іншими проводами клеми «V/Ω». Провід, при якому виникне звук, також позначити биркою «U».
5. Звільнити клему «com» мультиметра.
6. Позначити биркою «V» будь-який провід з чотирьох непомічених і приєднати цей провід до клеми «com» мультиметра.
7. Почергово торкатися іншими непоміченими проводами клеми «V/Ω». Провід, при якому виникне звук, позначити биркою «V».

8. Перевірити наявність кола між двома проводами, що лишилися непоміченими, і одягнути на них бирки «W».

Таким чином, визначено виводи, що відносяться до кожної з фазних обмоток.

Для визначення початку та кінця в кожній обмотці слід виконати наступне.

9. На проводи, що відносяться до першої обмотки і помічені бирками «U», одягнути бирки «1» та «2». В даному випадку не важливо, на який провід одягти яку бирку. Початки та кінці інших обмоток будуть визначатися відносно обмотки U.

10. Перевести вольтметр в режим вимірювання змінної напруги, межа вимірювання 20 В.

11. Перевести ручку автотрансформатора в положення 30 В.

12. Переконавшись, що напруга на стенді відсутня.

13. Для маркування початку та кінця обмотки V зібрати схему відповідно до рис. 2.11.

14. Показати зібрану схему викладачеві. Сфотографувати схему для оформлення звіту.

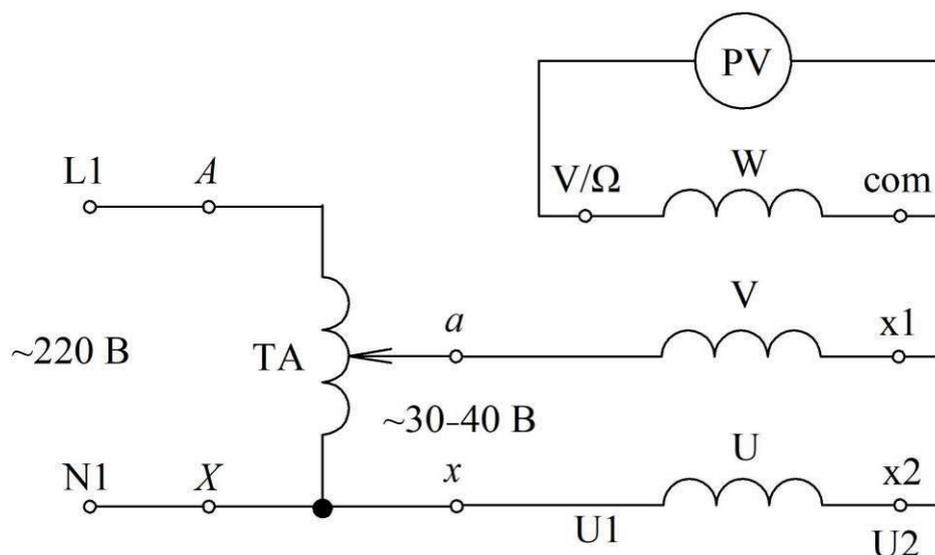


Рисунок 2.11 – Схема вимірювання для маркування обмотки V

15. Подавати напругу на стенд можна тільки з дозволу викладача!

16. Експеримент намагатися проводити якомога швидше, щоб не допустити перегрівання статорної обмотки.

17. Ввімкнути автоматичний вимикач QF0, що подає напругу на стенд.

18. Записати, чому дорівнює напруга за показами вольтметра PV (мультиметра P1).

19. Відключити автоматичний вимикач QF0.

20. Якщо напруга на третій обмотці, за показами PV, близька до нуля (не перевищує 0,2 В), то на провід з биркою «V», що підключений до клемми x1, одягнути бирку «2». На інший вивід обмотки «V» одягнути бирку «1».

Якщо напруга становить близько 2 В, то на провід з биркою «V», що підключений до клеми x1, одягнути бирку «1», а на інший вивід обмотки «V» – бирку «2».

21. Для маркування початку та кінця обмотки W зібрати схему відповідно до рис. 2.12.

22. Показати зібрану схему викладачеві.

23. Подавати напругу на стенд можна тільки з дозволу викладача!

24. Експеримент намагатися проводити якомога швидше, щоб не допустити перегрівання статорної обмотки.

25. Ввімкнути автоматичний вимикач QF0, що подає напругу на стенд.

26. Записати, чому дорівнює напруга за показами вольтметра PV (мультиметра).

27. Відключити автоматичний вимикач QF0.

28. Якщо напруга на другій обмотці, за показами PV, близька до нуля (не перевищує 0,2 В), то на провід з биркою «W», що підключений до клеми x1, одягнути бирку «2». На інший вивід обмотки «W» одягнути бирку «1».

Якщо напруга становить близько 2 В, то на провід з биркою «W», що підключений до клеми x1, одягнути бирку «1», а на інший вивід обмотки «W» – бирку «2».

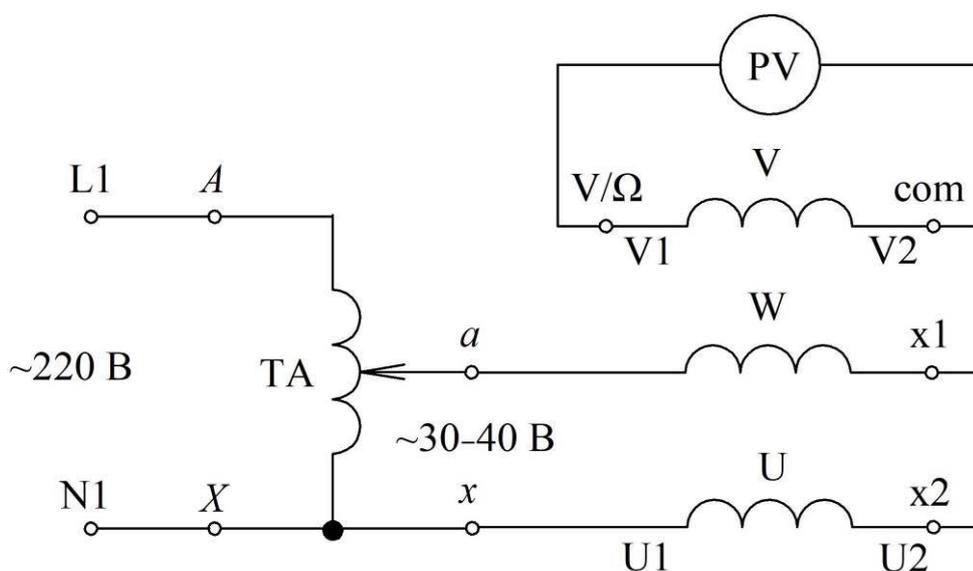


Рисунок 2.12 – Схема вимірювання для маркування обмотки W

Для визначення напрямку обертання двигуна необхідно з'єднати обмотки за схемою «зірка» та підключити до джерела напругою 380 В.

29. Переконайтеся, що QF0 відключений. Підключити виводи U1, V1, W1 до клем L1, L2, L3, відповідно, напругою 380 В, рис. 2.13.

30. Виводи U2, V2, W2 приєднати до клем x1, x2, x3, що з'єднані між собою.

31. Показати зібрану схему викладачеві.

32. Подавати напругу на стенд можна тільки з дозволу викладача!

33. Ввімкнути автоматичний вимикач QF0, що подає напругу на стенд.

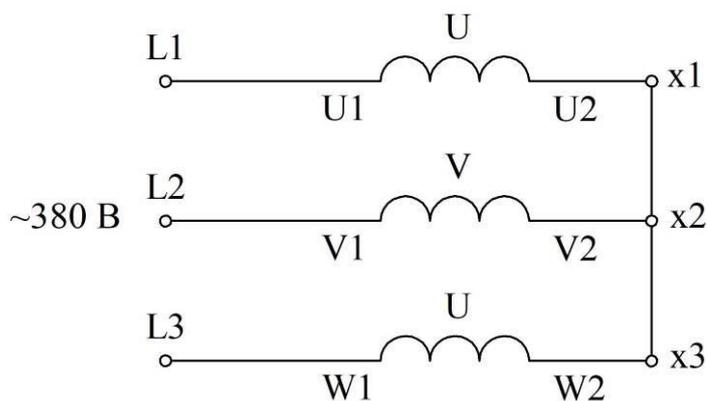


Рисунок 2.13 – Підключення двигуна до джерела живлення за схемою «зірка»

34. Якщо початок та кінець якоїсь з обмоток був визначений помилково, то при роботі двигуна виникає нехарактерний гул. В такому випадку необхідно відключити напругу та виконати визначення початків та кінців знову.

35. Необхідно визначити фактичний напрямок обертання ротора. Ротор має обертатися за годинниковою стрілкою. Якщо так і є, то маркування обмоток було виконано вірно.

Якщо ротор обертається проти годинникової стрілки, то необхідно:

- відключити автоматичний вимикач QF0;
- поміняти місцями на проводах бирки $U1 \leftrightarrow V1$, та бирки $U2 \leftrightarrow V2$ (можна міняти місцями літери іншої пари бирок, тільки слід мати на увазі, що префікси «1» або «2» мають зберігатися);
- підключити двигун до джерела живлення відповідно до рис. 1.13;
- перевірити напрямок обертання ротора;
- відключити автоматичний вимикач QF0;
- сфотографувати промарковані виводи двигуна для додавання до звіту.

Вміст звіту з лабораторної роботи

1. Тема, мета роботи.
2. Принцип маркування виводів двигуна за допомогою джерела змінного струму.
3. Схема лабораторного стенда для пошуку початку та кінця однієї з обмоток.
4. Фотографія зібраної схеми вимірювання для маркування однієї з обмоток.
5. Схема приєднання двигуна за схемою «зірка» до електромережі.
6. Фотографія промаркованих виводів двигуна
7. Висновки з аналізом одержаних результатів.

Контрольні запитання

1. Який чином можна визначити виводи, що відносяться до однієї обмотки?
2. Чому при визначенні початку та кінця обмотки використовують джерело пониженої змінної напруги? Чому не використовується напруга 380 В?
3. Чому важливо визначити початок та кінець для кожної фазної обмотки?
4. Чи можна всі кінці обмоток назвати початками, а початки – кінцями? Чи зміниться щось від цього?
5. Поясніть принцип визначення початків та кінців обмоток, користуючись схемами на рис. 2.6. Чому в одному випадку вольтметр показує відсутність напруги, а в іншому – наявність?
6. Від чого залежить напрямок обертання ротора?
7. Як можна змінити напрямок обертання ротора електродвигуна?
8. Для чого в лабораторній роботі використовується автотрансформатор?
9. Як позначаються виводи обмоток статора електродвигуна?
10. Накресліть клемну коробку двигуна та позначте розташування виводів обмоток.
11. Накресліть обмотки двигуна та вкажіть літерно-цифрове позначення виводів обмоток.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

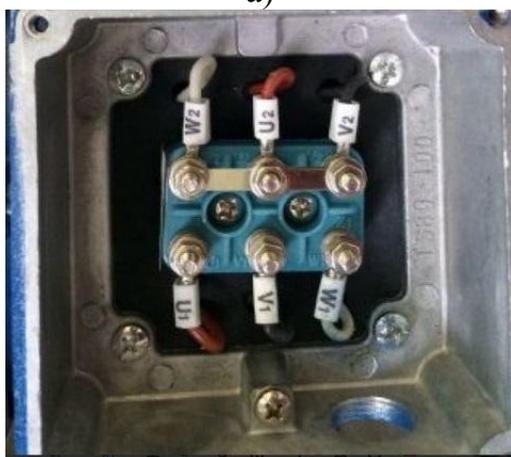
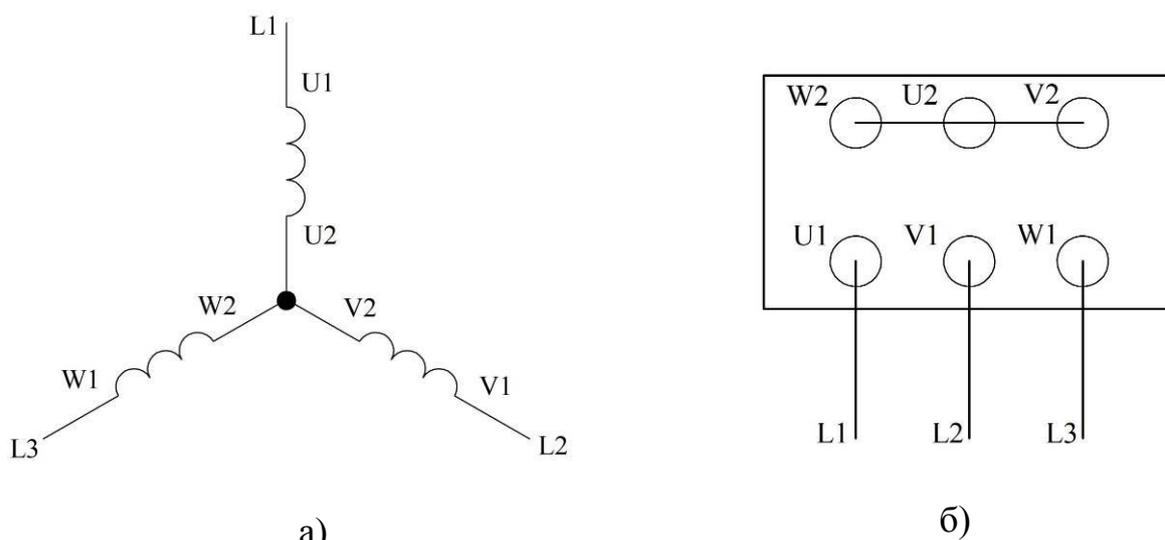
Дослідження схем з'єднання статорних обмоток асинхронного двигуна

Мета: вивчити схеми з'єднання фазних обмоток статора та умови приєднання до електромережі.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Використовуються дві основні схеми з'єднання обмоток статора асинхронного двигуна:

- схема «зірка» (Star Connection, Y), рис. 3.1;
- схема «трикутник» (Delta Connection, Δ), рис. 3.2.



в)

Рисунок 3.1 – З'єднання обмоток статора за схемою «зірка»: а – принципова схема; б – з'єднання клем в коробці виводів та приєднання до фаз електромережі; в – фото коробки виводів

В коробці виводів деяких електродвигунів може бути тільки три виводи. Це означає, що обмотка вже зібрана за схемою «зірка». В більшості випадків такі двигуни розраховані на живлення від мережі напругою 380 В. Для підключення такого двигуна необхідно вказані виводи просто приєднати до фаз електромережі.

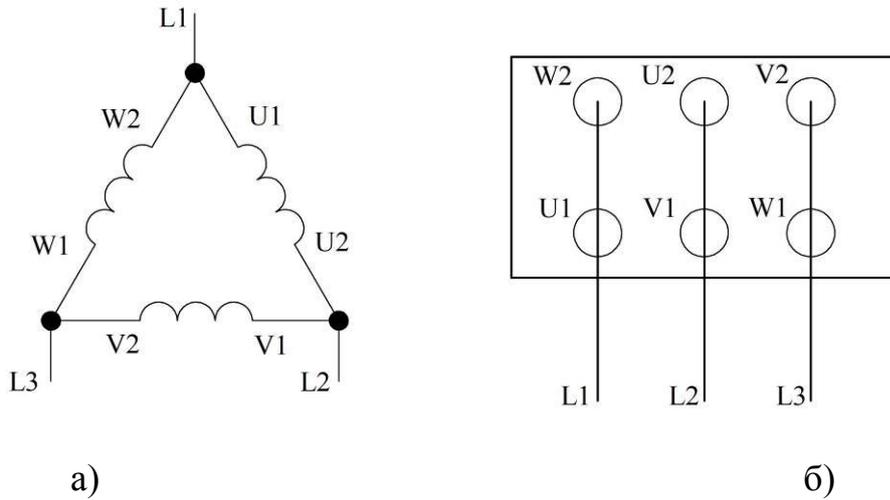


Рисунок 3.2 – З'єднання обмоток статора за схемою «трикутник»: а – принципова схема; б – з'єднання клем в коробці виводів та приєднання до фаз електромережі

Фазні обмотки двигуна розраховані тільки на одну напругу. З'єднання фазних обмоток за схемами «зірка» або «трикутник» дозволяє приєднувати один двигун до електромереж двох різних рівнів напруги. При цьому слід враховувати співвідношення між лінійною та фазною напругами для таких схем з'єднання, рис. 3.3.

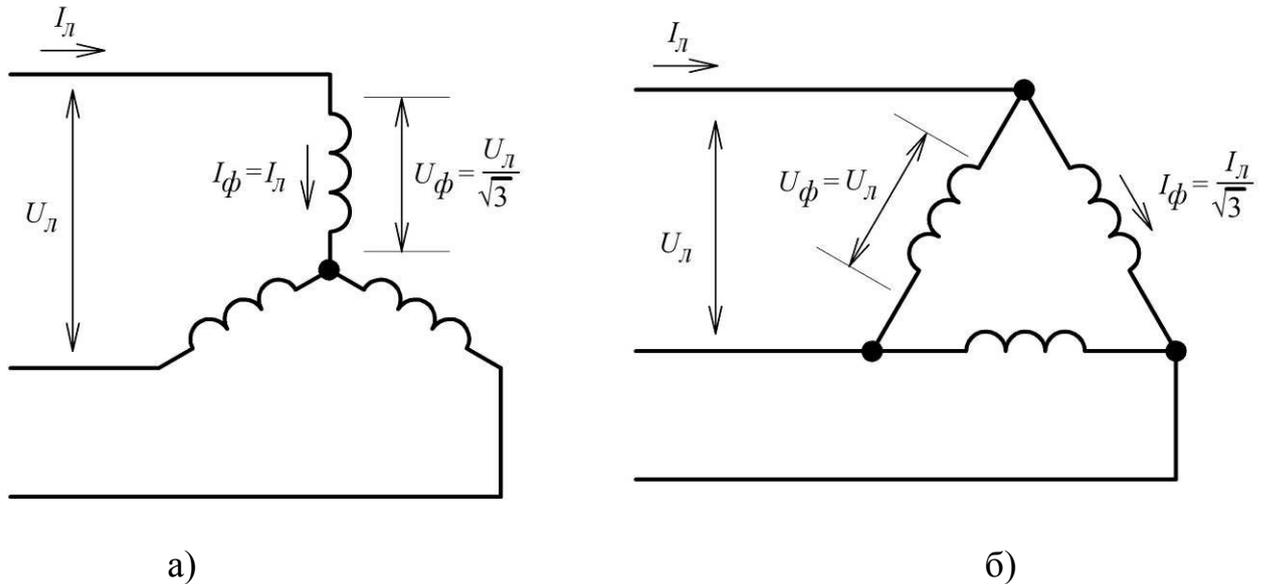


Рисунок 3.3 – Співвідношення між лінійними та фазними величинами для схем «зірка» (а) та «трикутник» (б)

В якості прикладу розглянемо шильдик двигуна, рис. 3.4, де вказано « Δ/Y 220/380 В». З цього напису можна встановити, що номінальна фазна напруга обмотки кожної з фаз становить $U_{\phi}=220$ В (найменша величина з двох приведених). Якщо електромережа має лінійну напругу $U_L=220$ В, то

обмотки слід з'єднувати за схемою «трикутник» (Δ), оскільки для такої схеми $U_{\phi} = U_{л}$. В електромережі лінійною напругою $U_{л} = 380$ В обмотки мають бути з'єднані за схемою «зірка» (Y), оскільки в такому випадку $U_{\phi} = U_{л} / \sqrt{3} = 380 / \sqrt{3} = 220$ В.

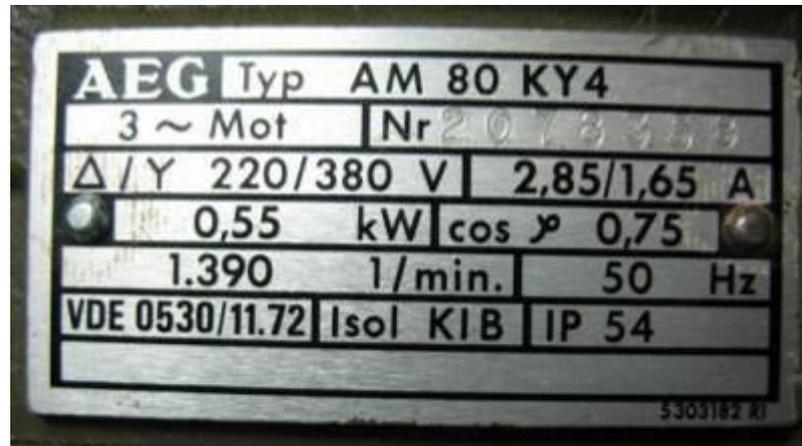


Рисунок 3.4 – Шильдик (табличка, паспорт) асинхронного двигуна AM80KY4

Якщо на шильдику вказано « Δ / Y 380/660 В», рис. 3.5, то такий двигун до мережі лінійною напругою 380 В має приєднуватися за схемою Δ , а до мережі напругою 660 В – за схемою Y . При цьому до фазних обмоток в обох випадках прикладається напруга $U_{\phi} = 380$ В.

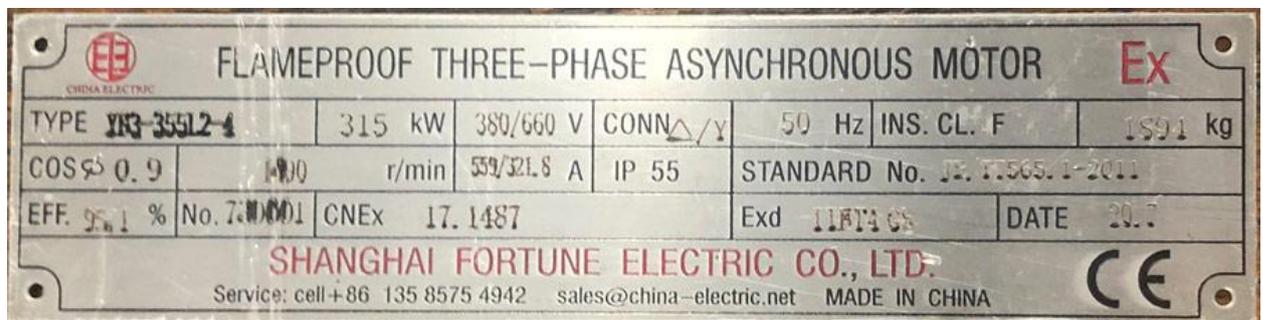


Рисунок 3.5 – Шильдик асинхронного двигуна YB3-355L2-4

Лабораторна робота виконується на лабораторному стенді в ауд. 509. На панель стенда (рис. 3.7) виведені затискачі двох джерел живлення: лінійною напругою 380 В та лінійною напругою 220 В. Також на панелі продубльовані затискачі коробки виводів двигуна типу АІР-71А2, рис. 3.6, що розташований на цьому ж стенді.

ЗАВДАННЯ

На основі вимірювань обчислити повну потужність двигуна при різних схемах з'єднання обмотки статора в разі підключення до джерел 380 В та 220 В. Порівняти результати та зробити висновки.

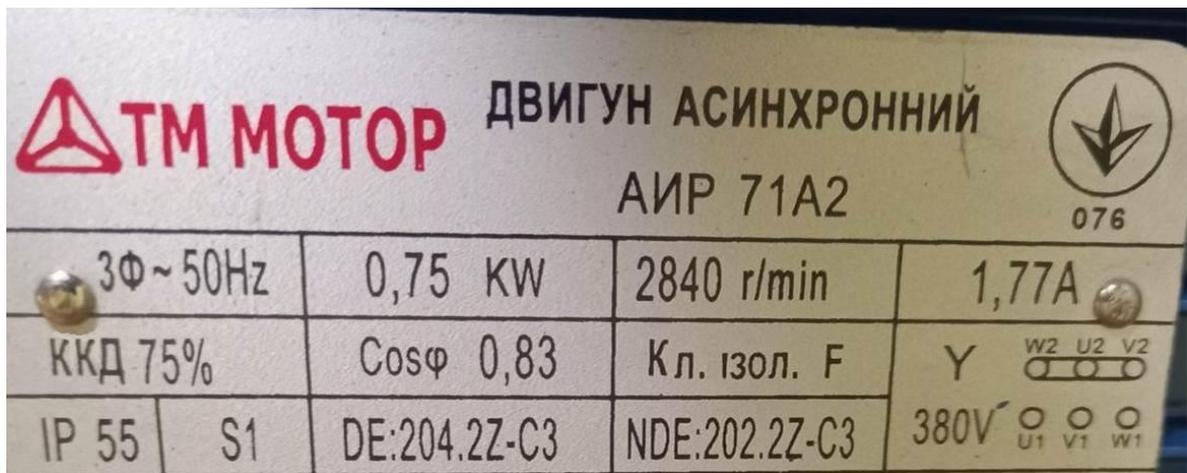


Рисунок 3.6 – Шильдик асинхронного двигуна АИР-71А2, який використовується для виконання лабораторної роботи

ОПИС ОБЛАДНАННЯ

Лабораторна робота виконується на лабораторному стенді в ауд. 509. На панель стенда (рис. 3.7) виведені затискачі двох джерел живлення: лінійною напругою 380 В та лінійною напругою 220 В. Також на панелі продубльовані затискачі коробки виводів двигуна типу АОЛ2–11-6, рис. 3.6, що розташований на цьому ж стенді.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Підключення двигуна при лінійній напрузі 220 В, схема Y.

1. Скласти схему з'єднання клем на панелі лабораторного стенда. При цьому передбачати вимірювання лінійної напруги та лінійного струму. Виводи обмоток двигуна з'єднуються у **зірку** та приєднуються до трифазного джерела **220 В**. Для вимірювання напруги та струму використовувати мультиметри Р2 та Р3.
2. Надати схему викладача на перевірку.
3. З'єднати клеми відповідно до схеми.
4. Показати зібрану схему викладачеві. Сфотографувати схему для оформлення звіту.
5. Подавати напругу на стенд можна тільки з дозволу викладача!
6. Ввімкнути автоматичний вимикач QF0, що подає напругу на стенд.
7. Записати до табл. 3.1, стовпчик 3, в рядки, що відносяться до 1го досліду, величини напруги та струму двигуна.
8. Відключити автоматичний вимикач QF0.
9. Повторити пп. 6–8 ще чотири рази, фіксуючи напругу та струм двигуна для кожного досліду. Після кожного досліду QF0 відключати.

Підключення двигуна при лінійній напрузі 220 В, схема Δ.

10. Впевнитися, що автоматичний вимикач QF0 відключений.

11. Від'єднати з'єднувальні проводи.

12. Скласти схему з'єднання клем на панелі лабораторного стенда при лінійній напрузі 220 В, схема Δ . При цьому передбачати вимірювання лінійної напруги та лінійного струму. Виводи обмоток двигуна з'єднуються у **трикутник** та приєднуються до трифазного джерела **220 В**. Для вимірювання напруги та струму використовувати мультиметри P2 та P3.

13. Повторити дослід п'ять разів відповідно до пп. 2–9 та зафіксувати результати вимірювань до стовпчика 4 табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Результати вимірювань та розрахунків

№ досліду	Виміряно / обраховано	Лінійна напруга мережі		
		220 В		380 В
		Схема з'єднання обмоток статора		
		Y	Δ	Y
1	$U_{л}, В$			
	$I_{л}, А$			
	$S = \sqrt{3}U_{л}I_{л}, В \cdot А$			
2	$U_{л}, В$			
	$I_{л}, А$			
	$S = \sqrt{3}U_{л}I_{л}, В \cdot А$			
3	$U_{л}, В$			
	$I_{л}, А$			
	$S = \sqrt{3}U_{л}I_{л}, В \cdot А$			
4	$U_{л}, В$			
	$I_{л}, А$			
	$S = \sqrt{3}U_{л}I_{л}, В \cdot А$			
5	$U_{л}, В$			
	$I_{л}, А$			
	$S = \sqrt{3}U_{л}I_{л}, В \cdot А$			
Вибіркові значення статистичних характеристик	$m[U_{л}], В$			
	$\sigma[U_{л}], В$			
	$m[I_{л}], А$			
	$\sigma[I_{л}], А$			
	$m[S], В \cdot А$			
	$\sigma[S], В \cdot А$			

Підключення двигуна при лінійній напрузі 380 В, схема Y.

14. Впевнитися, що автоматичний вимикач QF0 відключений.

15. Від'єднати з'єднувальні проводи.

16. Скласти схему з'єднання клем на панелі лабораторного стенда при лінійній напрузі 380 В, схема Y. При цьому передбачати вимірювання лінійної напруги та лінійного струму. Виводи обмоток двигуна з'єднуються у **зірку** та приєднуються до трифазного джерела **380 В**. Для вимірювання напруги та струму використовувати мультиметри P2 та P3.

17. Повторити дослід п'ять разів відповідно до пп. 2–9 та зафіксувати результати вимірювань до стовпчика 5 табл. 3.1.

Оброблення результатів експериментів.

18. Обрахувати повну потужність в кожному досліді, табл. 3.1.

19. Обрахувати вибіркові значення математичного сподівання для лінійної напруги $m[U_{\text{л}}]$, лінійного струму $m[I_{\text{л}}]$ та повної потужності $m[S]$. Занести одержані дані до табл. 3.1. Вибіркове значення математичного сподівання випадкової величини X обчислюється як:

$$m[X] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (3.1)$$

де n – обсяг вибірки; x_i – вибіркові значення.

В Excel для обчислення математичного сподівання використовується функція AVERAGE.

20. Обрахувати вибіркові значення стандартного відхилення для лінійної напруги $\sigma[U_{\text{л}}]$, лінійного струму $\sigma[I_{\text{л}}]$ та повної потужності $\sigma[S]$. Занести одержані дані до табл. 3.1. Вибіркове значення стандартного відхилення випадкової величини X при обсязі вибірки $n \leq 50$ визначається як:

$$\sigma[X] = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m[X])^2}. \quad (3.2)$$

В Excel для обчислення стандартного відхилення використовується функція STDEV.S.

Вміст звіту з лабораторної роботи

1. Тема, мета роботи.
2. Характеристика способів з'єднання обмоток двигунів.
3. Опис обладнання, що використовується.
4. Схеми з'єднання клем на панелі лабораторного стенда та фотографії зібраних схем для наступних випадків: напруга 220 В, схема Y; напруга 220 В, схема Δ; напруга 380 В, схема Y.
5. Заповнена табл. 3.1.
6. Аргументована відповідь на питання: чи можна двигун, на якому позначено «220/380», вмикати за схемою трикутника в мережу 380 В? Пояснити наслідки.
7. Порівняти результати вимірювань на основі табл. 3.1.
8. Висновки з аналізом одержаних результатів.

Контрольні запитання

1. Які основні схеми використовуються для з'єднання статорних обмоток двигуна?
2. Які співвідношення між фазними та лінійними струмами і напругами для схеми «зірка»?
3. Які співвідношення між фазними та лінійними струмами і напругами для схеми «трикутник»?
4. Як позначаються виводи статорних обмоток в коробці виводів?
5. Як необхідно з'єднати клеми в коробці виводів для реалізації схеми «зірка»?
6. Як необхідно з'єднати клеми в коробці виводів для реалізації схеми «трикутник»?
7. На яку напругу розрахована фазна обмотка двигуна, на шильдику якого написано «220/380 В»?
8. На яку напругу розрахована фазна обмотка двигуна, на шильдику якого написано «380/660 В»?
9. Яким чином необхідно приєднати до електромережі 380 В двигун, на шильдику якого вказано «220/380 В»?
10. Яким чином необхідно приєднати до електромережі 380 В двигун, на шильдику якого вказано «380/660 В»?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

Дослідження самозбудження асинхронного генератора

Мета: експериментально одержати робочі характеристики автономного асинхронного генератора

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Асинхронна машина може працювати у двох основних режимах: двигунний та генераторний. Асинхронний двигун перетворює електричну енергію у механічну. Асинхронний генератор, навпаки, перетворює механічну енергію в електричну. Асинхронної машини в обох режимах (двигунному та генераторному) споживає реактивну потужність. Активна потужність споживається з мережі асинхронним двигуном та віддається до мережі асинхронним генератором.

Асинхронний генератор широко використовується у складі вітрових установок потужністю до декількох МВт та малих гідроелектростанцій. Асинхронний генератор конструктивно практично не відрізняється від асинхронного двигуна, має короткозамкнений ротор. Відомо про використання в якості генератора асинхронних машин з фазним ротором. Такий генератор може працювати у складі електромережі або автономно. В першому випадку реактивна потужність, необхідна для збудження генератора, споживається з електромережі, в другому – необхідно передбачити джерело реактивної потужності. Найчастіше реактивна потужність, необхідна для роботи автономного асинхронного генератора, забезпечується конденсаторними батареями (генератор із самозбудженням). До переваг такого генератора слід віднести високу надійність. Недоліком є залежність параметрів вихідної напруги від частот обертання первинного джерела обертового моменту. Зміна частоти обертання ротора електрогенератора при зміні швидкості вітру, особливо у вітрогенераторах без механічної коробки передач, спричиняє коливання частоти вихідної напруги установки. Такі збурення погіршують якість вихідної напруги генератора, через що погіршується якість електропостачання в автономній електромережі, або у мережі Microgrid, що працює у острівному режимі. Такі особливості функціонування асинхронного генератора обумовлюють актуальність дослідження його робочих характеристик.

Типова схема самозбудження асинхронного генератора за допомогою конденсаторів наведена на рис. 4.1. Первинний двигун (вітро- або гідро-турбіна) D обертає ротора АГ. Під час запуску навантаження Z не приєднано до виводів генератора. До обмотки статора генератора приєднано лише конденсаторну батарею C . Після виходу генератора на номінальну частоту обертання та стабілізації вихідної напруги, навантаження приєднується за допомогою контактора KM .

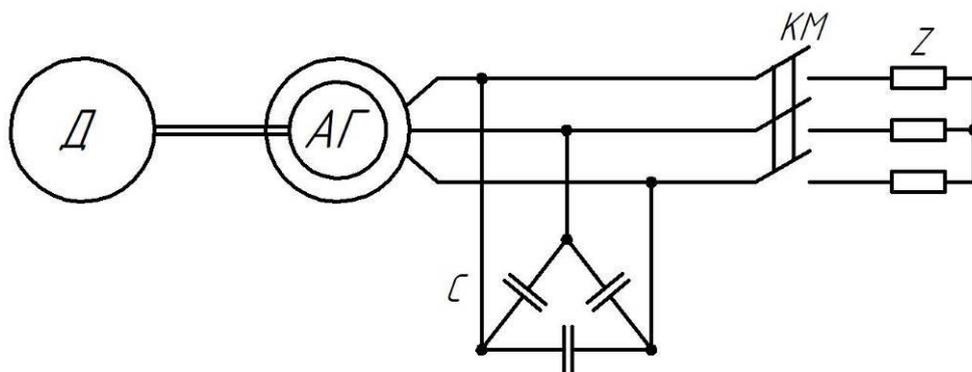


Рисунок 4.1 – Схема самозбудження асинхронного генератора за допомогою конденсаторів

Механізм самозбудження полягає в наступному. Магнітна система асинхронної машини характеризується залишковою намагніченістю. Коли ротор такої машини обертається, вказана намагніченість призводить до наведенні у статорі ЕРС. Ця електрорушійна сила призводить до появи у конденсаторах, що приєднані до обмотки статора, струму. Струм, протікаючи обмотками статора, підвищує магнітний потік машини. Внаслідок цього напруга на статорі збільшується. Процес триває до врівноваження ЕРС, що наводиться у обмотках генератора, та напруги на конденсаторах. Регулювати вихідну напругу асинхронного генератора можливо змінюючи ємнісний струм, який збуджує генератор. Для цього використовується ступінчасте регулювання ємності підключених конденсаторів.

ОПИС ОБЛАДНАННЯ

Лабораторна робота виконується в ауд. 508 за допомогою лабораторного стенда, що включає наступне обладнання:

- асинхронний генератор М2 (типу АОЛ2-11-6У3, номінальна потужність 0,4 кВт), обертовий момент на який передається через пасову передачу від асинхронного двигуна М1 (типу АОЛ2-11-4У3, 0,6 кВт), рис. 4.2;
- частотний перетворювач Danfoss VLT Micro Drive FC 51, рис. 4.3, який регулює частоту обертання асинхронного двигуна М1;
- навантаження з трьох ламп розжарювання потужність 40 Вт кожна;
- мультиметри, що використовуються в якості вольтметра та амперметра;
- пристрій збудження асинхронного генератора.



Рисунок 4.2 – Асинхронний двигун та генератор, що використовуватися для проведення дослідів



Рисунок 4.3 – Частотний перетворювач Danfoss VLT Micro Drive FC 51

До складу пристрою збудження асинхронного генератора, рис. 4.4, входять наступні компоненти: конденсаторні батареї С1, С2 (типу TENSE ТТК-0.5), що комутуються автоматичними вимикачами; електромагнітний контактор для підключення навантаження; мікропроцесорне реле напруги.



Рисунок 4.4 – Пристрій збудження асинхронного генератора

Структурна схема пристрою збудження асинхронного генератора наведена на рис. 4.5. Асинхронний генератор приєднується до схеми через автоматичний вимикач QF1. До складу схеми входять дві конденсаторні батареї С1 та С2 ємністю $3 \cdot 0,5$ мкФ кожна. Кожна з таких батарей приєднується до виходу QF1 через автоматичні вимикачі QF2 та QF3, відповідно. Приєднання навантаження здійснюється контактором КМ1. Контактор вмикається мікропроцесорною схемою в разі, якщо вихідна напруга генератора перевищує уставку.

Для вимірювання вихідної напруги АГ використовується датчик напруги ДН (типу ZMPT101B), що приєднується до виходу генератора через резистивний дільник напруги R. Аналоговий сигнал за напругою, гальванічно відділений від високовольтного кола та масштабований, надходить до вбудованого АЦП мікроконтролера МК. Мікроконтролер живиться від блока живлення БЖ. Уставка на ввімкнення контактора КМ1 виставляється за допомогою потенціометра R0. Значення уставки та фактична напруга на виході генератора відображаються на екрані TFT. В разі виконання умови для ввімкнення контактора, сигнал подається до підсилювача П через оптопару ОР, звідки надходить до КМ1. До складу схеми входить вимірювач частоти вихідної напруги генератора, що позначений PF1 типу DJ-F36, рис. 4.6.

Принципова електрична схема пристрою збудження асинхронного генератора наведена на рис. 4.7.

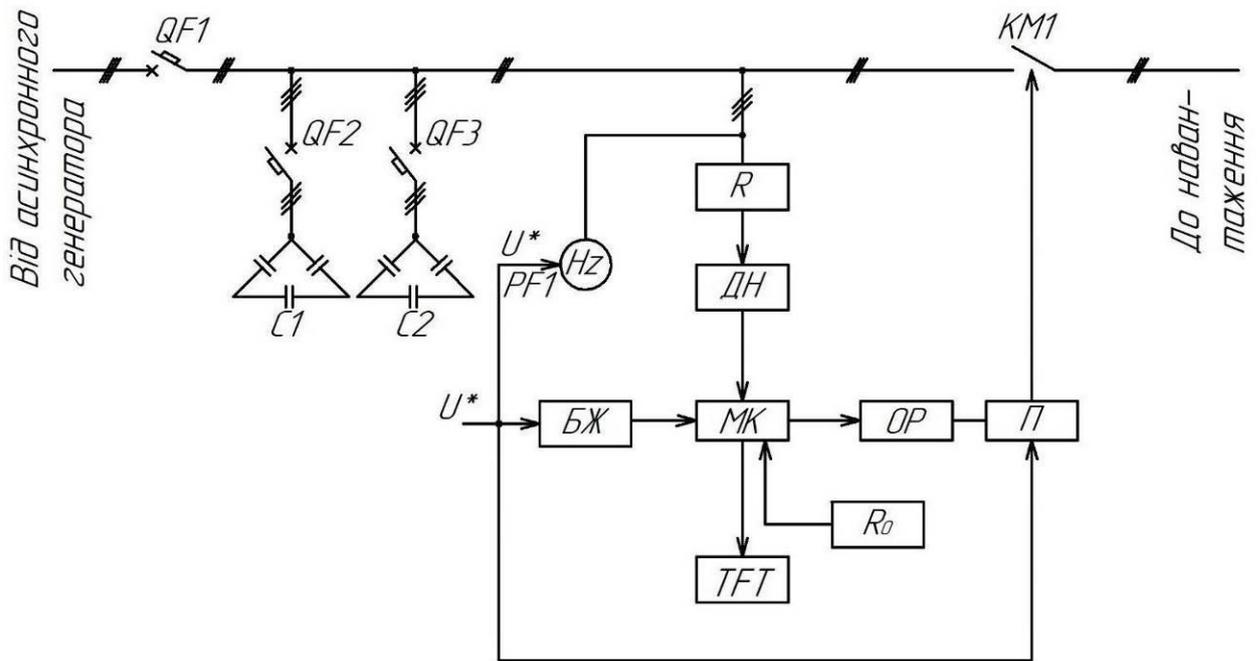


Рисунок 4.5 – Структурна схема пристрою збудження асинхронного генератора: QF1 – автоматичний вимикач асинхронного генератора; QF2, QF3 – автоматичні вимикачі конденсаторних батарей С1 та С2, відповідно; R – резистивний діляк напруги; ДН – датчик напруги; МК – мікроконтролерна плата; ОП – опторозв'язка; П – перемикач; U^* – напруга живлення; БЖ – блок живлення; TFT – дисплей



Рисунок 4.6 – Частотомір типу DJ-F36

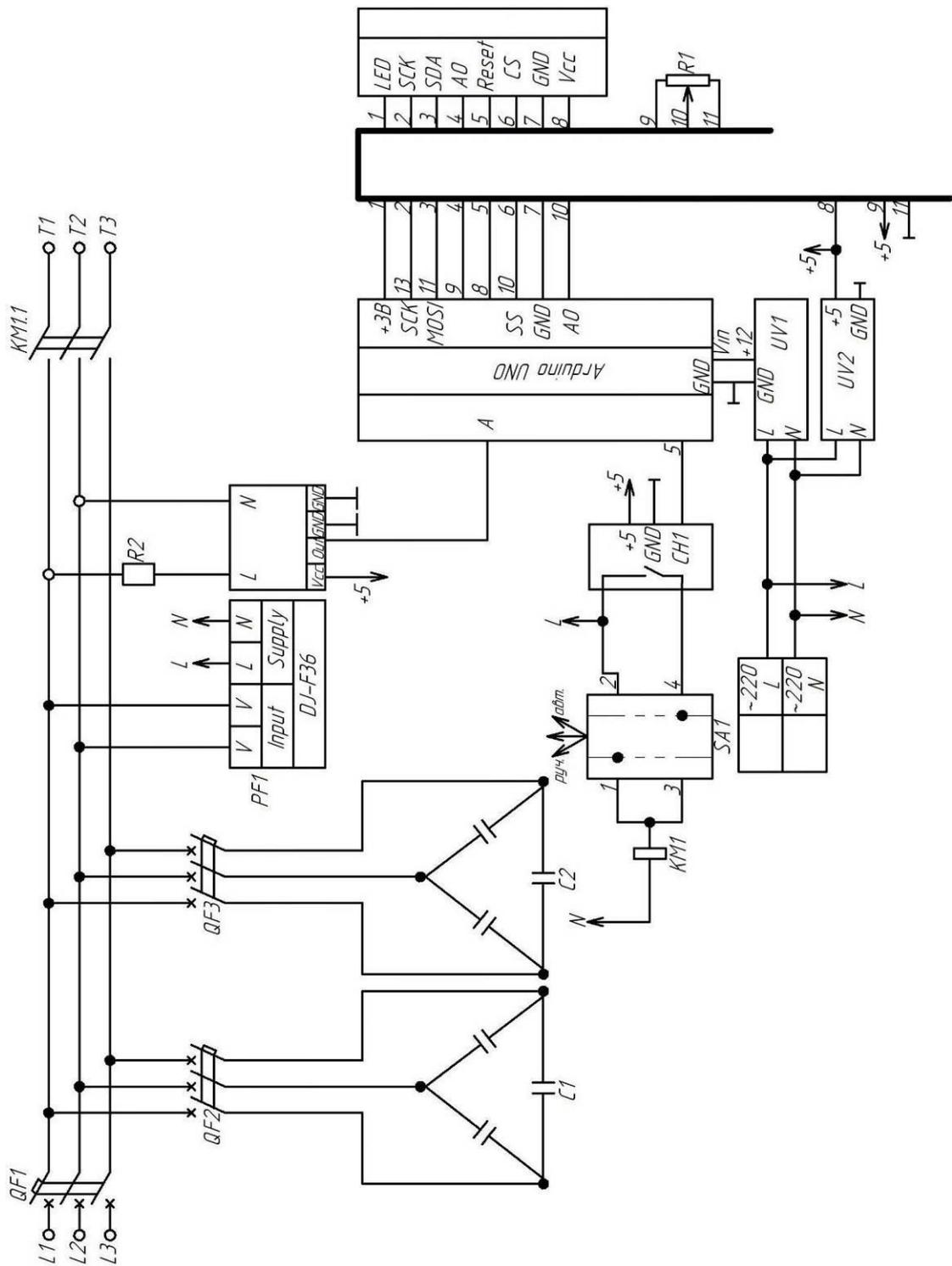


Рисунок 4.7 – Принципова електрична схема пристрою збудження асинхронного генератора

ЗАВДАННЯ

Виконати запуск електричних машин, досягти самозбудження генератора М2, виконати реєстрацію наступних параметрів для декількох значень частоти обертання n_2 , об/хв, ротора генератора:

- діюче значення U , В, вихідної напруги генератора;
- частота f , Гц, вихідної напруги генератора;
- струм I , мА, фази навантаження.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Вимірювання

1. Пересвідчитися, що стенд знеструмлено та всі автоматичні вимикачі відключені.
2. Зібрати схему досліду відповідно до рис. 4.8.
3. Налаштувати мультиметр, що виконує функцію вольтметра, на вимірювання змінної напруги, межа вимірювання 600 В. Налаштувати мультиметр, що виконує функцію амперметра, на вимірювання змінного струму, межа вимірювання 20 А.
3. Показати зібрану схему викладачеві. Сфотографувати схему для оформлення звіту.
4. Подавати напругу на стенд можна тільки з дозволу викладача!
5. Ввімкнути автоматичний вимикач QF0, що подає напругу на стенд.
6. Ввімкнути частотний перетворювач. За допомогою потенціометра на виносному пульті керування встановити частоту вихідної напруги 50 Гц.
7. Виставити на пристрої збудження уставку спрацювання реле напруги 230 В. Перемикач режиму роботи перевести у положення «АВТО».
8. Ввімкнути на пристрої збудження автоматичний вимикач QF1.
9. Підключити конденсаторну батарею С1, ввімкнувши QF2.
10. Спостерігати, чи настало збудження асинхронного генератора.
11. Підключити конденсаторну батарею С2, ввімкнувши QF3. Чи настало збудження генератора?
12. Занести до табл. 4.1 значення вимірюваних величин.
13. Змінюючи частоту обертання приводного двигуна, заносити до табл. 1 значення вимірюваних величин.
14. Після заповнення табл. 4.1 відключити автоматичний вимикач QF1. Відключити частотний перетворювач. Відключити автоматичний вимикач QF0.
15. З дозволу викладача розібрати схему досліду.

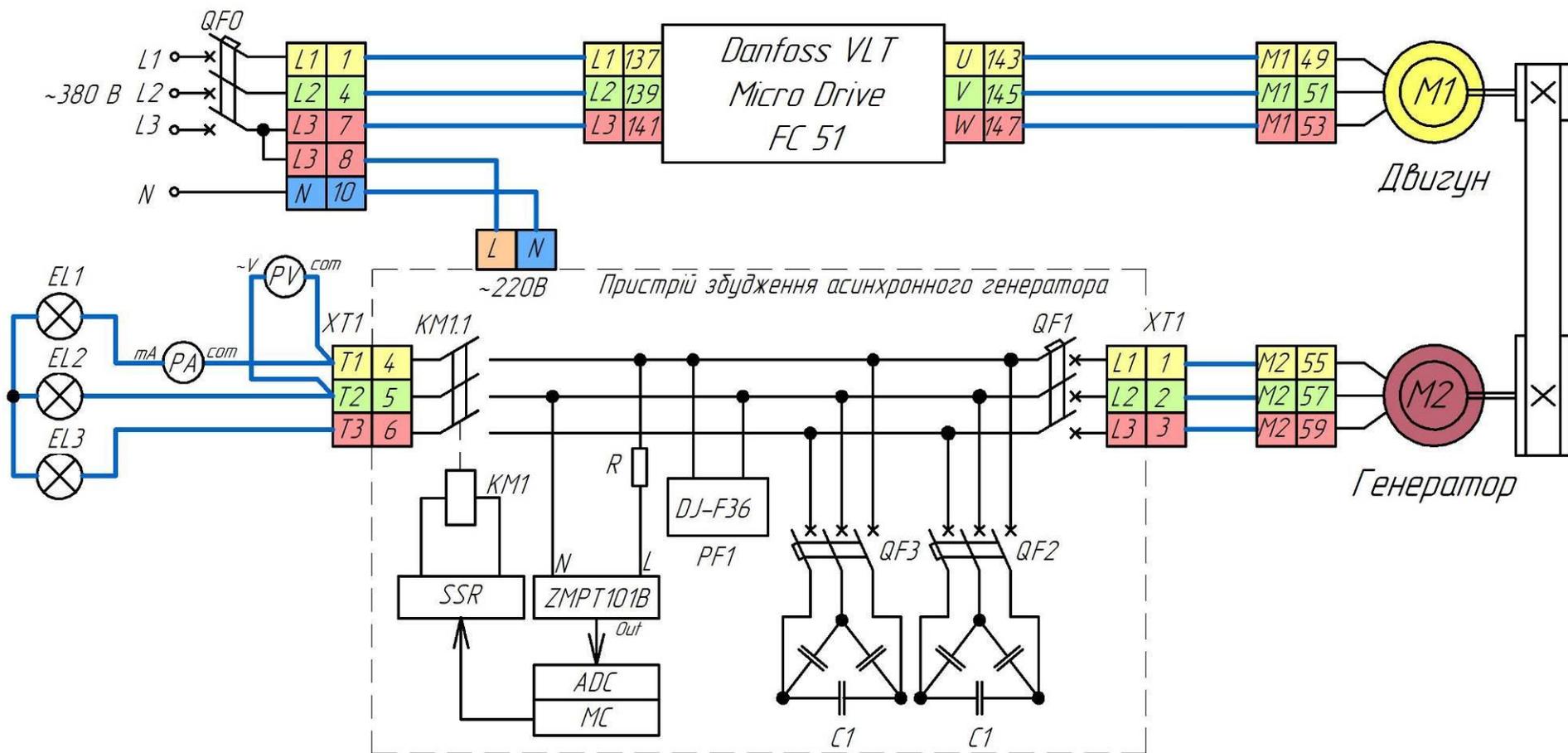


Рисунок 4.8 – Схема з'єднання елементів лабораторного стенда для дослідження самозбудження асинхронного генератора

Результати вимірювання робочих характеристик автономного асинхронного генератора

№ точки	n_2 , об/хв	U , В (PV)	I , А (РА)	f , Гц (PF)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Оброблення результатів

16. За експериментальними точками побудувати робочі характеристики автономного асинхронного генератора, а саме: $U(n_2)$; $f(n_2)$; $f(U)$; $I(U)$. На графіках нанести експериментальні точки (точки ламаною лінією не з'єднувати)! Експериментальні точка необхідно апроксимувати прямою лінією (в Excel – додати лінію тренду).

Вміст звіту з лабораторної роботи

1. Тема, мета роботи.
2. Фото лабораторного стенда.
3. Схема з'єднання елементів лабораторного стенда для дослідження самозбудження асинхронного генератора.
4. Таблиця з результатами вимірювання робочих характеристик автономного асинхронного генератора
5. Графіки робочих характеристик автономного асинхронного генератора: $U(n_2)$; $f(n_2)$; $f(U)$; $I(U)$.
6. Висновки з аналізом одержаних результатів.

Контрольні запитання

1. Пояснити, в яких основних режимах може працювати асинхронна машина? Чим відрізняється процес перетворення енергії в цих режимах?

2. Асинхронна машина в двигунному режимі споживає чи віддає активну та реактивну потужність?
3. Асинхронна машина в генераторному режимі споживає чи віддає активну та реактивну потужність?
4. В яких режимах може працювати асинхронний генератор?
5. Для чого слід збуджувати асинхронний генератор?
6. Яким чином збуджують асинхронний генератор?
7. Яким чином параметри вихідної напруги асинхронного генератора залежать від частоти обертання ротора?
8. Поясніть процес самозбудження асинхронного генератора.
9. Поясніть залежність $U(n_2)$ за одержаним графіком.
10. Поясніть залежність $f(n_2)$; за одержаним графіком.
11. Поясніть залежність $f(U)$ за одержаним графіком.
12. Поясніть залежність $I(U)$ за одержаним графіком.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

Дослідження роботи синхронного генератора в режимі холостого ходу

Мета: вивчити пуск синхронного генератора та його функціонування в режимі холостого ходу.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Режим роботи генератора, при якому струм в обмотці якоря (статора) дорівнює нулю, називається холостим ходом. При холостому ході магнітний потік створюється тільки магніторушійною силою обмотки збудження. Цей потік, проходячи через повітряний зазор, зчіплюється з обмоткою якоря і при обертанні індуктора наводить у кожній фазі обмотки якоря електрорушійну силу. Форма кривої ЕРС, індукованої в обмотці якоря при холостому ході, є близькою до синусоїди. Це пояснюється тим, що обмотку якоря трифазних генераторів зазвичай з'єднують зіркою, тому що при цьому відсутні треті гармоніки струму та треті гармоніки лінійних напруг, а також зменшуються втрати потужності в машині.

Характеристика холостого ходу являє собою графік залежності напруги на виході генератора в режимі холостого ходу $U_1 = E_0$ від струму збудження при незмінній частоті обертання $n_1 = \text{const}$. Схема ввімкнення синхронного генератора для зняття характеристики х.х. наведена на рис. 5.1, а.

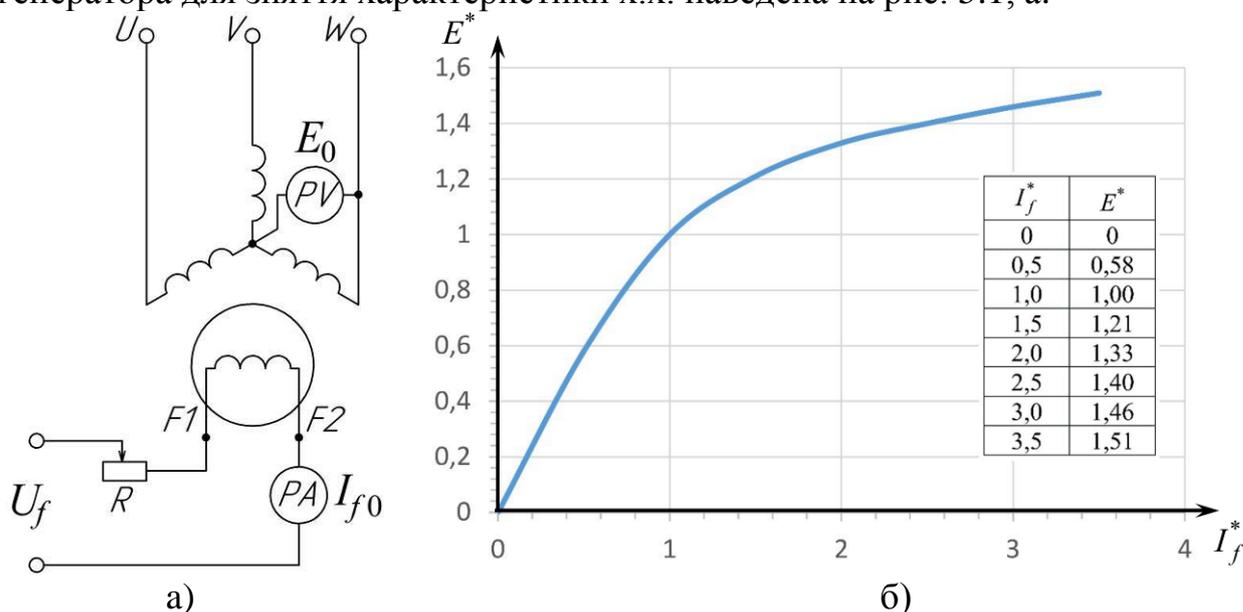


Рисунок 5.1 – Дослід холостого ходу синхронного генератора:

а – схема ввімкнення синхронного генератора (U, V, W – виводи статорної обмотки; F1, F2 – виводи обмотки збудження); б – нормальна характеристика холостого ходу (одиниці вимірювання за осями – відносні одиниці, в.о.)

Якщо характеристики х.х. різних синхронних генераторів зобразити у відносних одиницях $E^* = \varphi(I_f^*)$, то ці характеристики мало чим відрізняються одна від одної і будуть дуже схожі з нормальною

характеристикою холостого ходу, рис. 5.1, б. Таку характеристику широко використовують при розрахунках синхронних машин. При цьому:

$E^* = E_0 / U_{1ном}$ – відносна ЕРС фази обмотки статора;

$I_f^* = I_{f0} / I_{f0ном}$ – відносний струм збудження;

$I_{f0ном}$ – струм збудження в режимі х.х., що відповідає ЕРС х.х.

$E_0 = U_{1ном}$.

ОПИС ОБЛАДНАННЯ

Лабораторна робота проводиться з використанням наступного обладнання:

- синхронний генератор типу ЕС-52-4У2, з'єднаний пружною муфтою з двигуном постійного струму ПН-28,5, рис. 5.2;
- автотрансформатори 0–250 В 2 кВА – 2 шт, 5 кВА – 1 шт;
- трансформатор тороїдальний HDL-10-100 12V;
- аналізатор параметрів мережі типу ТРМ-01ESH;
- мультиметр UNI-T UT89XD.



синхронний генератор
типу ЕС-52-4У2

двигун постійного струму
типу ПН-28,5

Рисунок 5.2 – Електричні машини, що використовуються для проведення дослідів

Синхронний генератор

Тип.....	ЕС-52-4У2; М101
Фаз	3
Частота, Гц.....	50

Номинальна потужність, кВА.....	6,25
ККД, %.....	82
Коефіцієнт потужності.....	0,8
Схема статора.....	Y_0
Номинальна лінійна напруга, В.....	230
Номинальний лінійний струм, А.....	15,7
Режим.....	S1
Номинальна частота обертання, об/хв.....	1500
Маса, кг.....	106
Клас ізоляції.....	B

Генератор виготовлено у горизонтальному, захищеному виконанні з двома підшипниковими щитами та захистом від випадкових торкань до обертових та струмопровідних частин. Вентиляція генератора – аксиальна, витяжна. Повітря забирається відцентровим вентилятором зі сторони контактних кілець генератора. Вентилятор встановлено на валу зі сторони привода. Станина – чавунна, лита, циліндричної форми, має кільцеві фланці на торцях. У верхній частині станини виконано прямокутний отвір, над яким встановлено коробку виводів.

Двигун постійного струму

Двигун являє собою машину постійного струму закритого виконання зі змішаним збудженням. На головних полюсах розміщена дві обмотки: шунтова (паралельного збудження) та серієсна (послідовного збудження).

Тип	ПН-28,5
Потужність, кВт.....	2,5
Напруга, В.....	110
Струм, А.....	29
Частота обертання, об/хв.....	1500
ККД, %	74
Клас ізоляції	A
Вага, кг.....	88

ЗАВДАННЯ

Запустити синхронний генератор, зняти характеристику холостого ходу при плавному збільшенні струму збудження.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Вимірювання.

1. Пересвідчитися, що стенд знеструмлено та всі автоматичні вимикачі відключені.
2. Зібрати схему досліду відповідно до рис. 5.3.

3. Рукоятки автотрансформаторів TV1, TV2, TV3 виставити у нульове положення.
4. Налаштувати мультиметр на вимірювання постійного струму, межа – 20 А.
4. Показати зібрану схему викладачеві. Сфотографувати схему для оформлення звіту.
5. Подавати напругу на стенд можна тільки з дозволу викладача!
6. Ввімкнути автоматичний вимикач QF20, що подає напругу на стенд.
7. За допомогою рукояток автотрансформаторів TV1, TV2 виставити постійну напругу 110 В за показами PV1, PV2.
8. Пересвідчитися, що автотрансформатор TV3 виставлений у нульове положення.
9. Запустити двигун постійного струму. Для цього натиснути кнопку SB4 «Пуск ДПС». Під час запуску має місце падіння напруги на двигуні. Тому слід збільшувати напругу автотрансформаторами TV1, TV2 так, щоб PV1, PV2 показували 110 В.
10. Натиснути кнопку SB6 «Збудження СГ».
11. Плавно збільшувати вихідну напругу автотрансформатора TV3 до досягнення струмом збудження величини 0,05 А (контролювати за показами мультиметра). Занести до табл. 1 фактичне значення струму збудження I_{f0} (за показами мультиметра) та ЕРС генератора E_0 (за показами аналізатора P5 для фази L1).
12. Збільшувати вихідну напругу автотрансформатора TV3 до досягнення струмом збудження вказаних у табл. 5.1 величин, фіксуючи фактичні значення I_{f0} та E_0 .
13. Після досягнення струмом збудження максимальної величини плавно зменшити струм збудження до нуля.
14. Натиснути кнопку SB6 для відключення генератора від джерела збудження.
15. Натиснути кнопку SB4 для зупинки двигуна постійного струму.
16. Вивести автотрансформатори TV1, TV2 у нульове положення.
17. Відключити автоматичний вимикач QF20, що подає напругу на стенд.
18. З дозволу викладача розібрати схему.

Оброблення результатів

19. Обрахувати та занести до табл. 5.1 відносні значення струму збудження I_f^* та ЕРС E^* генератора.
20. Порівняти одержані експериментальні точки з нормальною характеристикою холостого ходу синхронного генератора. Для цього:

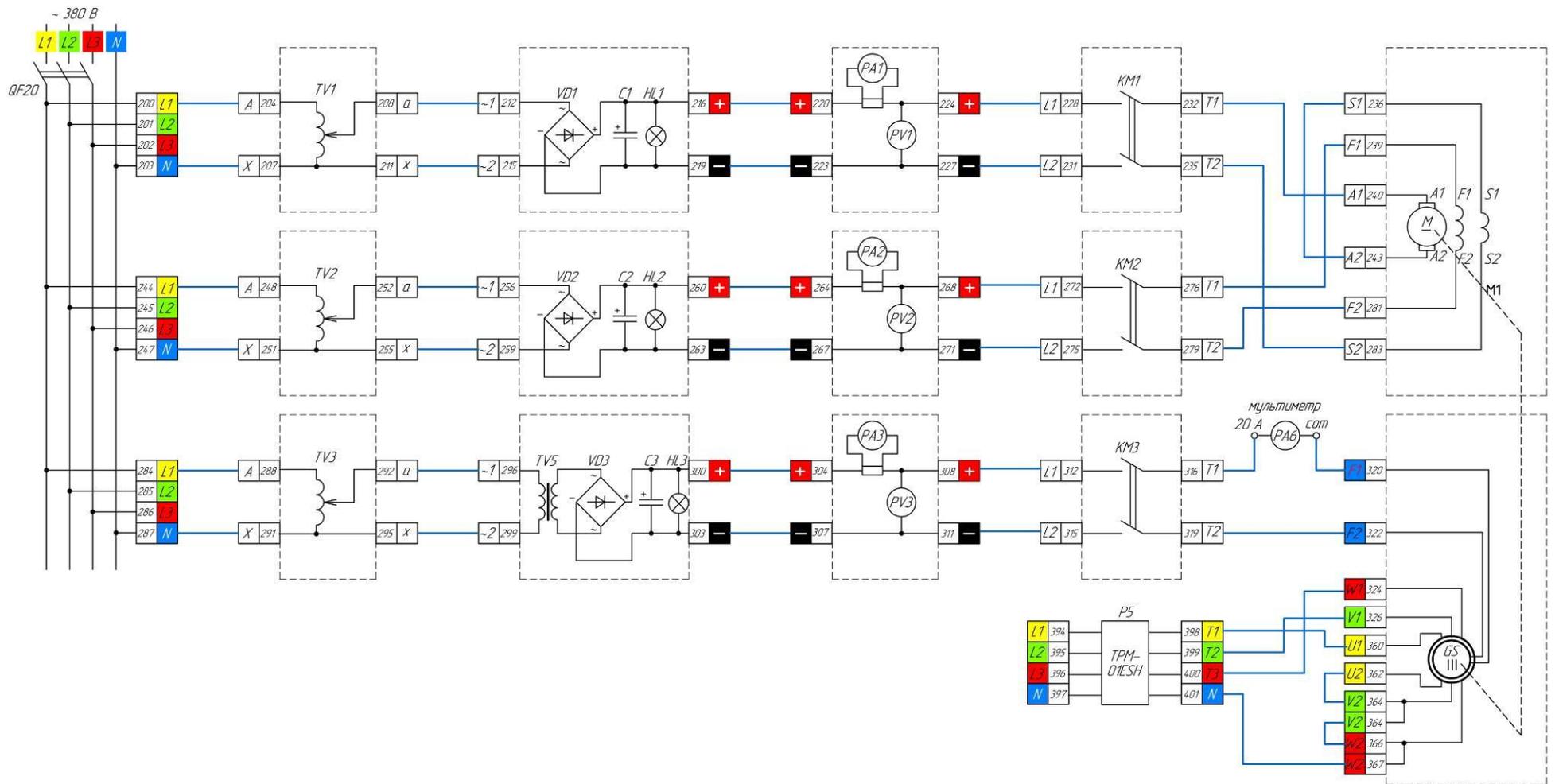


Рисунок 5.3 – Схема з'єднання елементів лабораторного стенда для дослідження характеристики холостого ходу синхронного генератора

Результати дослідження характеристики холостого ходу синхронного генератора

Прізвище _____ Група _____		Обраховано				
Заданий струм збудження	Виміряно		$I_{f0ном} = 4,5 \text{ А};$ $U_{1ном} = 127 \text{ В}$		Точки нормальної х-ки х.х.	Відносна похибка
			I_{f0} , А	E_0 , В		
I'_{f0} , А						
0,05						
0,25						
0,50						
0,75						
1,00						
1,25						
1,50						
1,75						
2,00						
2,25						
2,50						
2,75						
3,00						
3,25						
3,50						
3,75						
4,00						
4,25						
4,50						

– обчислити та внести до табл. 5.1 значення нормальної характеристики х.х. $E_{н.х.}^*(I_f^*)$ при значеннях струму збудження I_f^* відповідно до залежності:

$$E_{н.х.}^*(I_f^*) = a_3 \cdot (I_f^*)^3 + a_2 \cdot (I_f^*)^2 + a_1 \cdot I_f^* + a_0, \quad (5.1)$$

де $a_3=0,0608$; $a_2=-0,4928$; $a_1=1,4134$; $a_0=-0,0011$.

– обчислити величини відносної похибки:

$$\gamma = \frac{E^* - E_{н.х.}^*}{E^*} 100\%. \quad (5.2)$$

21. Побудувати в одній системі координат нормальну характеристику х.х. $E_{н.х.}^*(I_f^*)$ (суцільною лінією) та експериментальні точки $E^*(I_f^*)$.

Вміст звіту з лабораторної роботи

1. Тема, мета роботи.
2. Фото лабораторного стенда.
3. Схема з'єднання елементів лабораторного стенда для дослідження характеристики холостого ходу синхронного генератора.
4. Результати дослідження характеристики холостого ходу синхронного генератора (табл. 5.1).
5. Графік нормальної характеристики х.х. $E_{н.х.}^*(I_f^*)$ (суцільною лінією) з нанесеними експериментальними точками $E^*(I_f^*)$.
6. Висновки з аналізом одержаних результатів.

Контрольні запитання

1. Поясніть улаштування синхронного генератора.
2. Яким чином здійснюється збудження синхронного генератора?
3. Який режим називається холостим ходом синхронного генератора?
4. Що показує нормальна характеристики х.х. синхронного генератора?
5. У яких одиницях будується нормальна характеристики х.х. синхронного генератора? Надати пояснення.
6. Наведіть схему ввімкнення синхронного генератора для одержання характеристики х.х.
7. Що показало порівняння експериментальних точок з нормальною характеристикою х.х.?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

Експериментальне визначення відношення короткого замикання синхронного генератора

Мета: побудувати характеристику короткого замикання синхронного генератора та визначити відношення короткого замикання.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Характеристику трифазного к.з. одержують наступним чином: виводи обмотки статора замикають накоротко (рис. 6.1, а) і при обертанні ротора з номінальною частотою поступово збільшують струм збудження до значення, при якому струм короткого замикання перевищує номінальний робочий струм не більше, ніж на 25% ($I_{1кз} = 1,25I_{ном}$). Оскільки в цьому випадку ЕРС обмотки статора має значення, що є в декілька разів меншим, ніж в робочому режимі генератора і, відповідно, основний магнітний потік незначний, то магнітне коло машини виявляється ненасиченою. Тому характеристика короткого замикання являє собою пряму лінію, рис. 6.1, б.

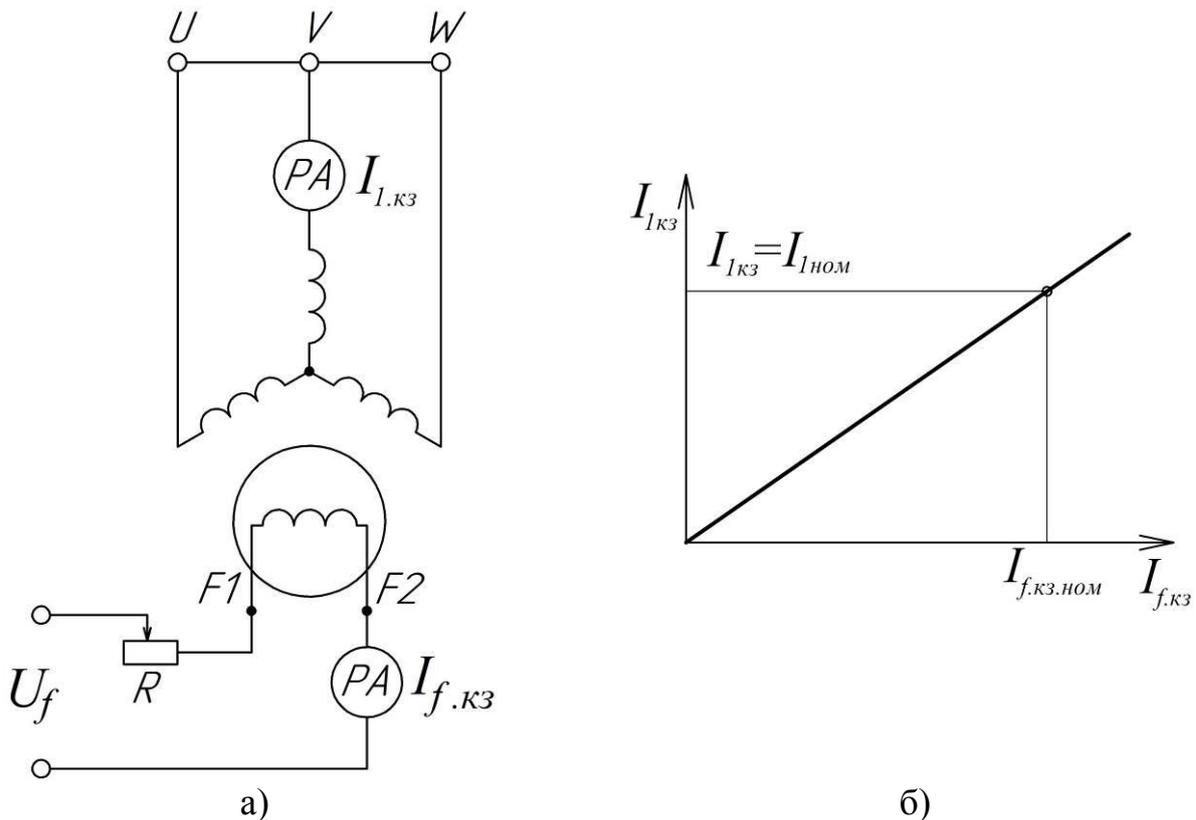


Рисунок 6.1 – Схема для зняття характеристик короткого замикання синхронного генератора (а) та характеристика короткого замикання (б)

Активний опір обмотки статора є невеликим порівняно з індуктивним опором, тому можна вважати, що під час досліду к.з. навантаження синхронного генератора (його власні обмотки) є чисто індуктивним.

Один з важливих параметрів синхронної машини – **відношення короткого замикання (ВКЗ, short circuit ratio, SCR)**, яке являє собою відношення струму збудження $I_{f.0.ном}$, що відповідає номінальній напрузі при х.х., до струму збудження $I_{f.кз.ном}$, який відповідає номінальному струму статора при досліді к.з.:

$$ВКЗ = \frac{I_{f.0.ном}}{I_{f.кз.ном}}. \quad (6.1)$$

Для турбогенераторів ВКЗ=0,4...0,7, для гідрогенераторів ВКЗ=1,0...1,4.

ВКЗ має велике практичне значення при оцінюванні властивостей синхронної машини: машини з малим ОКЗ є менш стійкими при паралельній роботі, характеризуються значними коливаннями напруги при зміні навантаження, однак такі машини мають менші габарити і, відповідно, є дешевшими, ніж машини з більшим ВКЗ.

ОПИС ОБЛАДНАННЯ

Лабораторна робота проводиться з використанням наступного обладнання:

- синхронний генератор типу ЕС-52-4У2, з'єднаний пружною муфтою з двигуном постійного струму ПН-28,5, рис. 6.2;
- автотрансформатори 0–250 В 2 кВА – 2 шт, 5 кВА – 1 шт;
- трансформатор тороїдальний HDL-10-100 12V;
- мультиметри UNI-T UT89XD.



синхронний генератор
типу ЕС-52-4У2

двигун постійного струму
типу ПН-28,5

Рисунок 6.2 – Електричні машини, що використовуються для проведення дослідів

ЗАВДАННЯ

Запустити синхронний генератор, зняти характеристику короткого замикання при плавному збільшенні струму збудження. Обрахувати відношення короткого замикання.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Вимірювання

1. Пересвідчитися, що стенд знеструмлено та всі автоматичні вимикачі відключені.
2. Зібрати схему досліду відповідно до рис. 6.3.
3. Рукоятки автотрансформаторів TV1, TV2, TV3 виставити у нульове положення.
4. Налаштувати мультиметри:
РА6 – на вимірювання постійного струму, межа – 20 А;
РА7 – на вимірювання змінного струму, межа – 20 А.
5. Показати зібрану схему викладачеві. Сфотографувати схему для оформлення звіту.
6. Подавати напругу на стенд можна тільки з дозволу викладача!
7. Ввімкнути автоматичний вимикач QF20, що подає напругу на стенд.
8. За допомогою рукояток автотрансформаторів TV1, TV2 виставити постійну напругу 110 В за показами PV1, PV2.
9. Пересвідчитися, що автотрансформатор TV3 виставлений у нульове положення.
10. Запустити двигун постійного струму. Для цього натиснути кнопку SB4 «Пуск ДПС». Під час запуску має місце падіння напруги на двигуні. Тому слід збільшувати напругу автотрансформаторами TV1, TV2 так, щоб PV1, PV2 показували 110 В.
11. Натиснути кнопку SB6 «Збудження СГ».
12. Плавно збільшувати вихідну напругу автотрансформатора TV3 до досягнення струмом збудження величини 0,05 А (контролювати за показами мультиметра РА6). Занести до табл. 1 фактичне значення струму збудження $I_{f.кз}$ (за показами мультиметра РА6) та струму к.з. генератора $I_{1.кз}$ (за показами мультиметра РА7).
13. Збільшувати вихідну напругу автотрансформатора TV3 до досягнення струмом збудження вказаних у табл. 1 величин, фіксуючи фактичні значення $I_{f.кз}$ та $I_{1.кз}$.
14. Після досягнення струмом збудження максимальної величини плавно зменшити струм збудження до нуля.
15. Натиснути кнопку SB6 для відключення генератора від джерела збудження.
16. Натиснути кнопку SB4 для зупинки двигуна постійного струму.
17. Вивести автотрансформатори TV1, TV2 у нульове положення.
18. Відключити автоматичний вимикач QF20, що подає напругу на стенд.
19. З дозволу викладача розібрати схему.

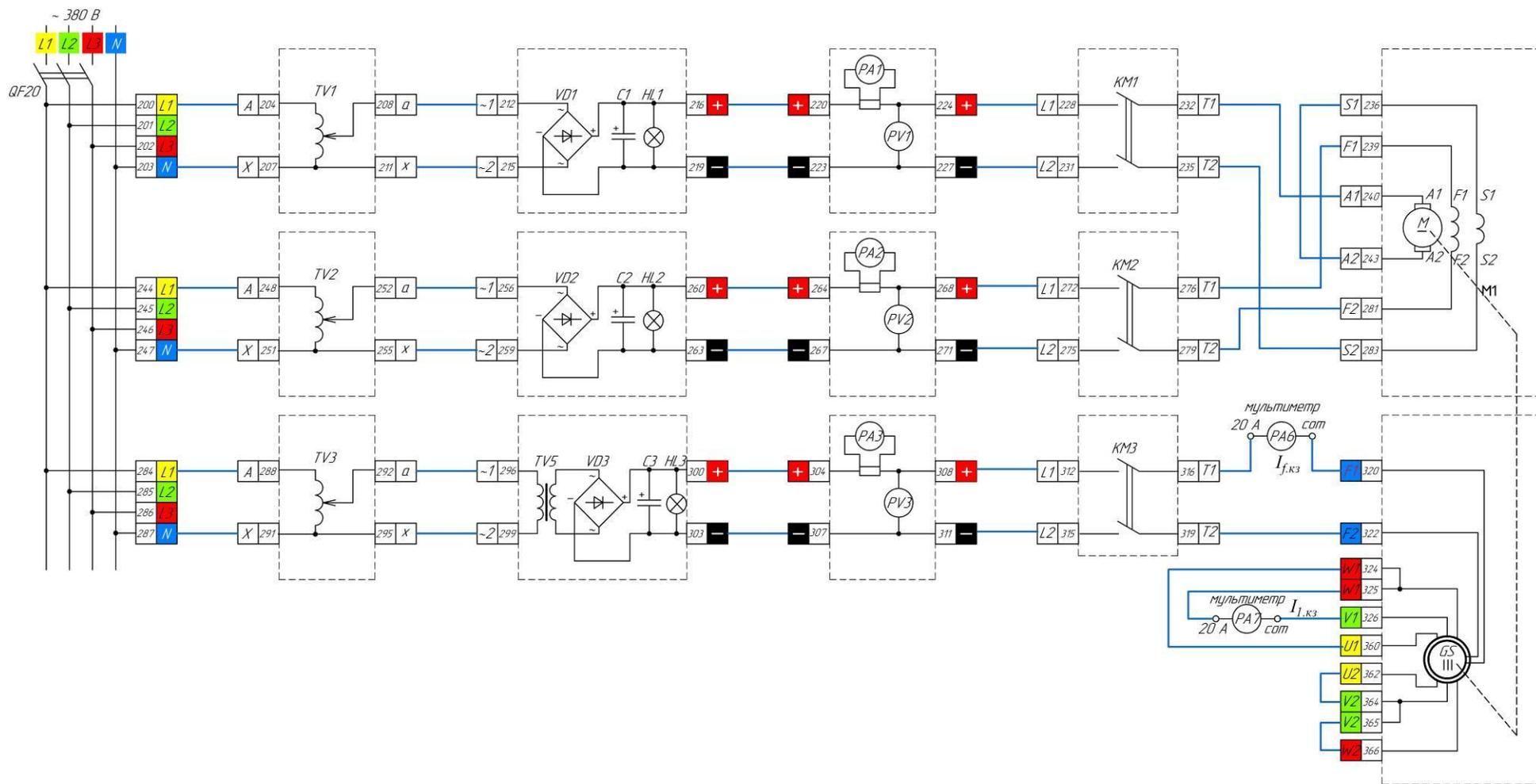


Рисунок 6.3 – Схема з'єднання елементів лабораторного стенда для дослідження характеристики короткого замикання синхронного генератора

Таблиця 6.1

Результати дослідження характеристики короткого замикання синхронного генератора

Заданий струм збудження	Виміряно	
	$I'_{f.k3}, A$	$I_{1.k3}, A$ (РА7)
0,05		
0,25		
0,50		
0,75		
1,00		
1,25		
1,50		
1,75		
2,00		
2,25		
2,50		
2,75		
3,00		
3,25		
3,50		
3,75		
4,00		
4,25		
4,50		

Аналіз результатів дослідів

20. Нанести експериментальні точки в координатах $I_{1.k3}(I_{f.k3})$. Для цього можна скористатися діаграмою типу «Точкова» в Excel.

21. Апроксимувати експериментальні точки прямою лінією:

$$I_{1.k3} = k \cdot I_{f.k3} + b. \quad (6.2)$$

В Excel для цього можна використати інструмент «Лінія тренда». Записати значення коефіцієнтів k, b апроксимуючої лінії.

22. За залежністю (6.2) обчислити значення струму збудження $I_{f.kз.ном}$, яке відповідає номінальному струму статора $I_{1.kз} = I_{1ном} = 15,7$ А.

23. Враховуючи, що в режимі х.х. для досліджуваного генератора номінальній напрузі відповідає струм збудження $I_{f0ном} = 4,5$ А, обчислити за формулою (6.1) відношення короткого замикання.

Вміст звіту з лабораторної роботи

1. Тема, мета роботи.
2. Фото лабораторного стенда.
3. Заповнена табл. 6.1 з результатами вимірювань.
4. Експериментальна характеристика короткого замикання (експериментальні точки, апроксимовані прямою).
5. Обчислені значення $I_{f.kз.ном}$ та відношення короткого замикання.
6. Висновки.

Контрольні запитання

1. Поясніть порядок проведення дослідження короткого замикання синхронної машини.
2. Який характер залежності струму якоря синхронної машини при досліді короткого замикання від струму збудження? Відповідь пояснити.
3. Що представляє собою відношення короткого замикання синхронної машини?
4. Який характер навантаження генератора в досліді к.з.?
5. Побудуйте векторну діаграму синхронного генератора в досліді к.з.
6. Що називають реакцією якоря синхронної машини?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7

Дослідження регулювальних характеристик двигуна постійного струму

Мета: дослідити способи регулювання частоти обертання двигуна постійного струму незалежного збудження.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Частота обертання двигуна постійного струму (ДПС) незалежного збудження (рис. 7.1) в усталеному режимі роботи дорівнює:

$$n = \frac{U_a}{C_e \cdot \Phi_{\delta d}} - \frac{R_a \cdot M_c}{C_e \cdot C_m \cdot \Phi_{\delta d}^2}, \quad (7.1)$$

де U_a – напруга на якорі;

R_a – повний опір кола якоря;

$\Phi_{\delta d}$ – результуючий магнітний потік у повітряному зазорі;

M_c – статичний момент опору на валу;

C_e, C_m – конструктивні коефіцієнти.

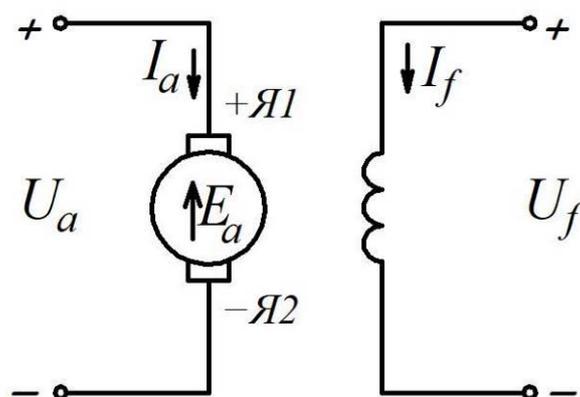


Рисунок 7.1 – Електрична схема приєднання обмоток двигуна постійного струму незалежного збудження

З аналізу (7.1) видно, що частоту обертання ДПС можна регулювати:

– зміною величини напруги якоря U_a ;

– зміною величини магнітного потоку $\Phi_{\delta d}$, тобто зміною струму збудження I_f .

Регулювання частоти обертання ДПС зміною величини напруги якоря.

Відповідно до (7.1), частота обертання прямопропорційно залежить від напруги на якорі. Оскільки перевищення номінальної напруги на якорі є недопустимим, то такий спосіб дає змогу регулювати частоту вниз від номінальної. Такий спосіб регулювання потребує використання джерела

живлення кола якоря з регульованою вихідною напругою. Для двигунів малої потужності це може бути автотрансформатор. Для ДПС будь-якої потужності ефективно застосовуються тиристорні (або транзисторні) керовані випрямлячі, або імпульсні перетворювачі DC/DC.

Залежність частоти обертання від напруги якоря називається регульовальною характеристикою $n = f(U_a)$, яка знімається при незмінному навантаженні на валу $M_c = \text{const}$ та незмінному струмі збудження $I_f = \text{const}$. Залежність $n = f(U_a)$ носить лінійний характер, рис. 7.2, а.

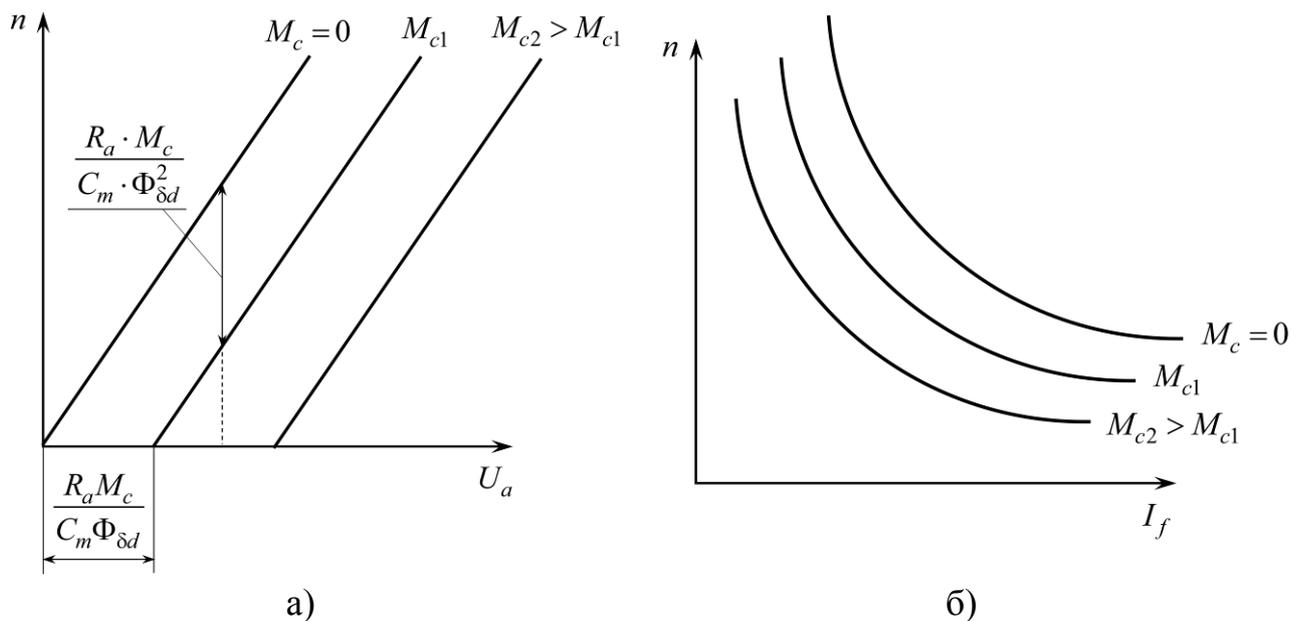


Рисунок 7.2 – Регульовальні характеристики ДПС: а – $n = f(U_a)$; б – $n = f(I_f)$

Регулювання частоти обертання ДПС зміною величини струму збудження.

Відповідно до (7.1) при зменшенні величини магнітного потоку $\Phi_{\delta d}$ частота обертання n збільшується. Двигуни розраховані на роботу в номінальному режимі з найбільшим значенням $\Phi_{\delta d}$, тобто з найменшою частотою n . Тому практично можна тільки зменшувати потік $\Phi_{\delta d}$. Відповідно, такий спосіб дозволяє регулювати частоту обертання вгору від номінальної. Верхня границя регулювання частоти обертання обмежена механічною міцністю машини та умовами комутації. При високих швидкостях комутація колектора погіршується через вібрації щіткового апарату, нестійкості щіткового контакту та інші фактори.

Залежність частоти обертання від струму збудження називається регульовальною характеристикою $n = f(I_f)$, яка знімається при незмінному навантаженні на валу $M_c = \text{const}$ та незмінній напрузі якоря $U_a = \text{const}$. Залежність $n = f(I_f)$ носить гіперболічний характер, рис. 7.2, б, при ненасиченій магнітній системі.

Занадто малі значення струму збудження призводять до збільшення частоти обертання понад допустиму, коли може виникнути механічне пошкодження двигуна. Тому для двигуна незалежного та паралельного збудження забороняється знеструмлювати обмотку збудження.

2 ОПИС ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Дослідження характеристик двигуна постійного струму здійснюється з використанням лабораторного стенда, що зображений на рис. 7.3.

До складу стенда входить наступне обладнання:

- двигун М1 постійного струму (ДПС) типу ЕП-110/245 (рис. 7.4, а) з наступними значеннями параметрів: $P_n = 250$ Вт; $U_n = 110$ В; $I_n = 3,3$ А; $n_n = 4000$ об/хв; $R_a = 1,09$ Ом; $\eta = 0,68$;
- тахогенератор ВР типу ЕТ-7/110 (рис. 7.4, б);
- автотрансформатори типу LTC-500 з діодними мостами на виході, один з яких (TV1) розташований на лабораторному стенді, інший (TV2) – на окремій панелі, рис. 7.3;
- цифрові вольтметри PV1, PV4 типу DJ-V72DC;
- мультиметр типу UT39A+, що виконується як амперметр постійного струму.

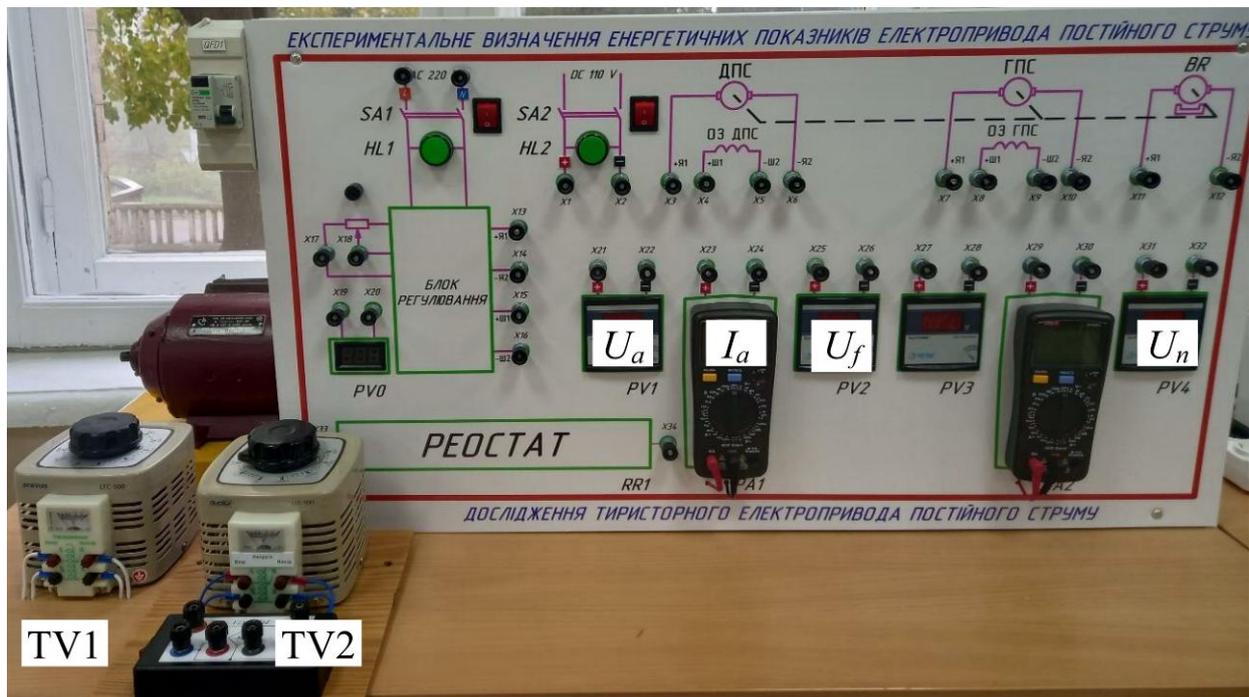
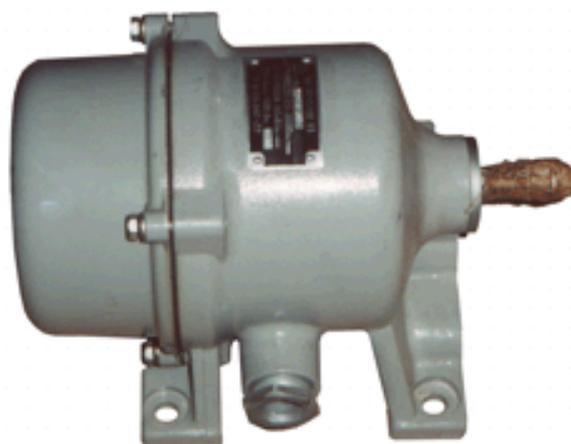


Рисунок 7.3 – Лабораторний стенд для дослідження регулювальних характеристик двигуна постійного струму



*Двигун постійного струму
Тип ЕП-110/245МЧЗ 1Р23 №86061194
0,25 кВт 110 В 3,27 А 4000 об/хв
9,2 кг ЗБУДЖ. ПАРАЛ./НЕЗАЛ.*

а)



*Тахогенератор Тип ЕТ-7/110 ЧЗ
кл. точності 2,5 2000 об/хв
S1 крутизна 60 мВ/(об/хв)
Rнав 500 Ом*

б)

Рисунок 7.4 – Двигун постійного струму типу ЕП-110/245 (а) та тахогенератор типу ЕТ-7/110 (б)

ЗАВДАННЯ

Зняти регульовальні характеристики двигуна постійного струму, а саме:

- $n = f(U_a)$ при $M_c = \text{const}$ та $I_f = \text{const}$;
- $n = f(I_f)$ при $M_c = \text{const}$ та $U_a = \text{const}$.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Виконання вимірювань на стенді

1. Пересвідчитися, що у відключеному стані знаходяться диференційний автомат QFD1.
2. Зібрати схему лабораторного стенда відповідно до рис. 7.5.
3. Надати схему викладачеві на перевірку.
4. Ввімкнути мультиметр РА1, виставити перемикач режиму його роботи на вимірювання постійного струму, межа 400 мА, що відповідає позначці «А=400m».
5. Виставити рукоятки автотрансформаторів у положення 110 В.
6. Ввімкнути SA2. Ввімкнути вимикач на переносному автотрансформаторі TV2.
7. Сфотографувати стенд для оформлення звіту.
8. З дозволу викладача подати напругу на стенд, ввімкнувши диференційний автомат QFD1.

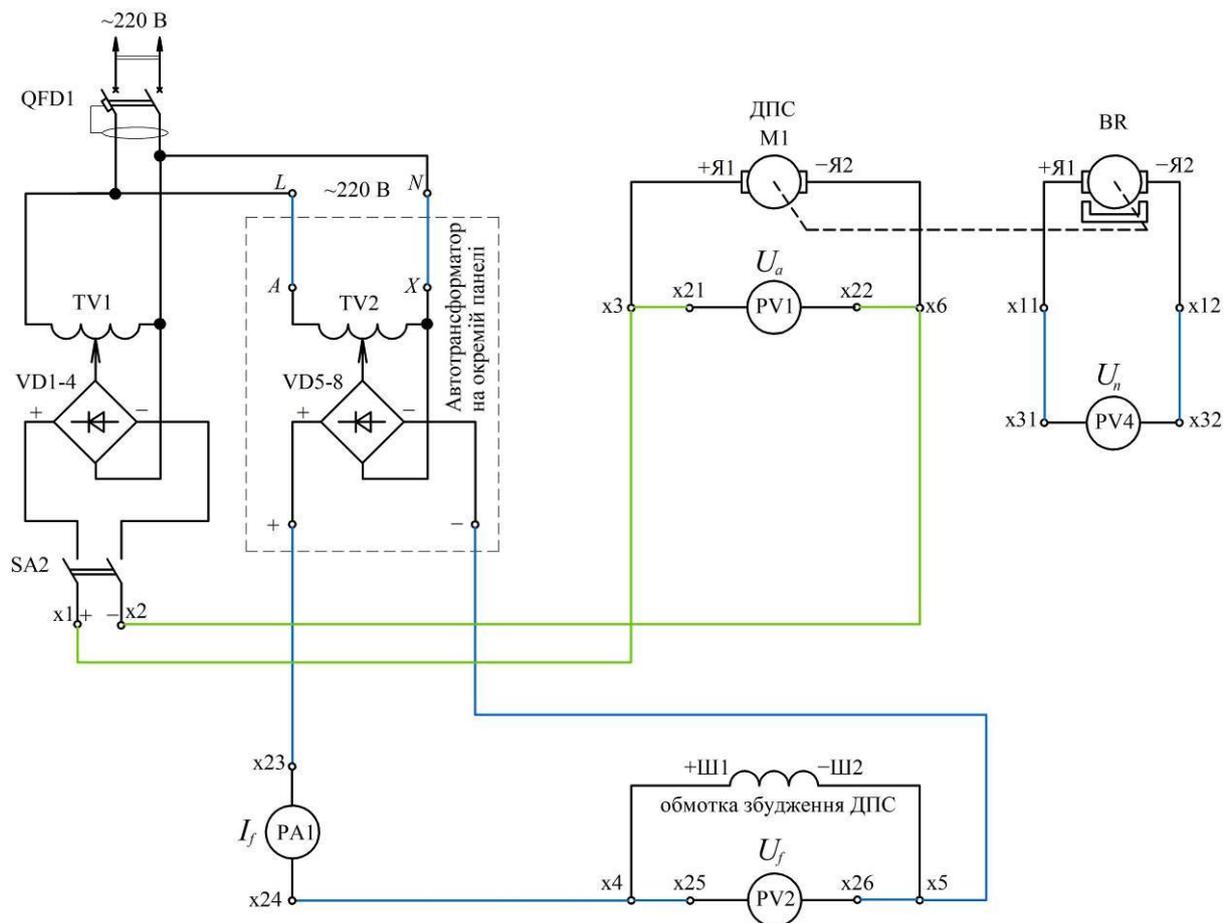


Рисунок 7.5 – Схема лабораторного стенда для дослідження регульовальних характеристик двигуна постійного струму

Дослід 1. Зняття характеристики $n = f(U_a)$

9. Виставити за допомогою TV2 напругу збудження $U_f = 110$ В, контролювати за показами PV2.

10. Для значень напруги якоря 110, 105, ..., 60 В (регулювати за допомогою TV1) занести до табл. 7.1:

- фактичну напругу якоря U_a (за показами PV1);
- напругу тахометра U_n (за показами PV4).

11. Після занесення даних виставити напругу якоря $U_a = 110$ В (за показами PV1).

Дослід 2. Зняття характеристики $n = f(I_f)$

12. Для значень напруги збудження 110, 105, ..., 50 (регулювати за допомогою TV2) занести до табл. 7.1:

- фактичну напругу збудження U_f (за показами PV2);
- струм збудження I_f (за показами PA1);
- напругу тахометра U_n (за показами PV4).

13. Відключити QFD1.

14. З дозволу викладача розібрати схему.

Протокол дослідження регулювальних характеристик двигуна постійного струму

Дослід 1. Зняття характеристики $n = f(U_a)$

Виставити за допомогою TV2 напругу збудження $U_f=110$ В (за показами PV2).

Регулювати напругу якоря за допомогою TV1.

Виміряно		U_n , В (PV4)	Обраховано $n=U_n/0,06$, об/хв
U_a , В (PV1)			
план	факт		
110			
105			
100			
95			
90			
85			
80			
75			
70			
65			
60			

Дослід 2. Зняття характеристики $n = f(I_f)$

Виставити за допомогою TV1 напругу якоря $U_a=110$ В (за показами PV1).

Регулювати напругу збудження за допомогою TV2.

Виміряно			U_n , В (PV4)	Обраховано $n=U_n/0,06$, об/хв
U_f , В (PV2)		I_f , мА (PA1)		
план	факт			
110				
105				
100				
95				
90				
85				
80				
75				
70				
65				
60				
55				
50				

Оброблення результатів вимірювань

15. Для обох дослідів обрахувати частоту обертання ДПС за показами тахометра як:

$$n = \frac{U_n}{0,06}, \quad (7.2)$$

де U_n – напруга тахометра, В;

n – частота обертання, об/хв.

16. За результатами досліду 1 побудувати регульовальну характеристику $n = f(U_a)$. При використанні Excel слід скористатися шаблоном «точкова діаграма», що дозволять нанести в координатних осях експериментальні точки. Через ці точки слід провести лінію регресії, для чого в Excel слід додати лінію тренда типу «пряма».

17. За результатами досліду 2 побудувати регульовальну характеристику $n = f(I_f)$. Побудову виконати аналогічно, причому експериментальні точки слід апроксимувати лінією тренду типу «поліноміальна, степінь 2».

Вміст звіту з лабораторної роботи

1. Тема, мета роботи.
2. Схема лабораторного стенда.
3. Фото зібраної схеми на лабораторному стенді.
4. Протокол дослідження регульовальних характеристик двигуна постійного струму (табл. 7.1).
5. Графіки регульовальних характеристик $n = f(U_a)$ та $n = f(I_f)$ двигуна постійного струму.
6. Висновки.

Контрольні питання

1. Опишіть конструкцію двигуна постійного струму.
2. Які типи двигунів постійного струму за типами збудження Вам відомі?
3. Яка обмотка двигуна називається шунтовою?
4. Яка обмотка двигуна називається серієсною?
5. Які характеристики ДПС називають регульовальними?
6. Який вигляд має залежність частоти обертання ДПС від напруги якоря?
7. Як залежить частота обертання ДПС від струму збудження?
8. Яким чином можна регулювати частоту обертання ДПС вверх від номінальної? Відповідь обґрунтуйте.
9. Яким чином можна регулювати частоту обертання ДПС вниз від номінальної? Відповідь обґрунтуйте.
10. Яке призначення тахометра?

ЛІТЕРАТУРА

1. Гайденок Ю. А. Електричні машини: курс лекцій : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 211 с.
2. Осташевський М. О., Юр'єва О. Ю. Електричні машини і трансформатори / За ред. В. І. Мілих. К. : Каравела, 2023. 452 с.
3. Електричні машини : підручник / Б. Т. Кононов, Г. І. Лагутін, О. Б. Котов та ін.; за заг. ред. Б. Т. Кононова. Харків : ХУПС, 2015. 493 с.
4. Белікова Л. Я., Шевченко В. П. Електричні машини : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закладів. О. : Наука і техніка, 2012. 480 с.
5. Андрієнко В. М., Куєвда В. П. Електричні машини : навч. посіб. К. : НУХТ, 2010. 366 с.
6. Яцун М. А. Електричні машини : підручник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2011. 464 с.
7. ДСТУ EN 60034-8:2018 Машини електричні обертові. Частина 8. Маркування виводів і напрямок обертання (EN 60034-8:2007; A1:2014, IDT; IEC 60034-8:2007; A1:2014, IDT).
8. ДСТУ EN IEC 60947-4-1:2019 «Апаратура комутаційна та апаратура керування низьковольтна. Частина 4-1. Електромагнітні контактори та пускачі електродвигунів».
9. ДСТУ 2.702:2013 Єдина система конструкторської документації. Правила виконання електричних схем.