

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства та природокористування

Навчально-науковий інститут енергетики, автоматики та водного господарства

Кафедра енергетики

02/02-15М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни
«Електротехніка та електроніка» для здобувачів вищої освіти
першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною
програмою «Гідроенергетика» спеціальності 145 «Відновлювальні
джерела та гідроенергетика» денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково-
методичною радою з якості
ННІ ЕАВГ
Протокол № 2 від 13.10.2025 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Електротехніка та електроніка» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Гідроенергетика» спеціальності 145 «Відновлювальні джерела та гідроенергетика» денної та заочної форм навчання [Електронне видання] / Василюк С. В., Ільчук В. В., Глушук В. С. – Рівне : НУВГП, 2025. – 40 с.

Укладачі:

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

Ільчук В. В. старший викладач кафедри енергетики;

Глушук В. С. старший лаборант кафедри енергетики.

Відповідальний за випуск:

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

Керівник групи забезпечення спеціальності 145 «Відновлювальні джерела та гідроенергетика»:

Галич О. О., доцентка кафедри енергетики, к.т.н.

© С. В. Василюк,
В. В. Ільчук,
В. С. Глушук, 2025
© НУВГП, 2025

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 регулювальних характеристик двигуна постійного струму.....	32
Література.....	39

ВСТУП

Метою освітньої компоненти є формування у здобувачів вищої освіти здатностей та навичок роботи з електротехнічними пристроями, двигунами, електронними компонентами.

В результаті вивчення даного курсу здобувач освіти повинен набути наступних компетентностей: здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями; здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях; здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології; здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел; здатність приймати обґрунтовані рішення; здатність застосовувати відповідні методи математики, природничих та технічних наук і комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення інженерних завдань в гідроенергетичній галузі; здатність проектувати та експлуатувати гідроенергетичне устаткування; здатність виявляти, класифікувати і описувати ефективність систем і компонентів енергосистеми на основі використання аналітичних методів, моделювання та експериментальних досліджень; здатність використовувати технічну літературу, бази даних та інші джерела інформації у професійній діяльності в гідроенергетичній галузі; здатність розробляти плани і проекти для забезпечення досягнення поставленої певної мети з урахуванням всіх аспектів вирішуваної проблеми, включаючи виробництво, експлуатацію, технічне обслуговування та утилізацію гідроенергетичного обладнання.

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.

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

Режим холостого ходу (х.х.) трансформатора – це режим роботи, при якому вторинна обмотка трансформатора розімкнена, а до первинної обмотки прикладається номінальна напруга. В режимі х.х. струм у вторинній обмотці дорівнює нулю, а у первинній обмотці протікає струм холостого ходу.

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.

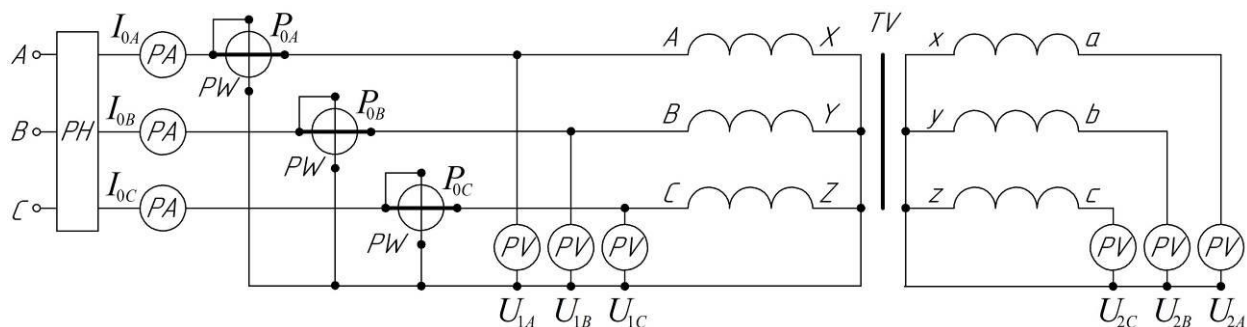


Рисунок 1.1 – Схема дослідження холостого ходу трифазного двообмоткового трансформатора

Комплект електровимірювальних 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:

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{3U_1I_0}. \quad (1.5)$$

При номінальній напрузі на вході трансформатора визначаються наступні величини.

Коефіцієнт трансформації:

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

Відносне значення струму х.х. (у % 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.

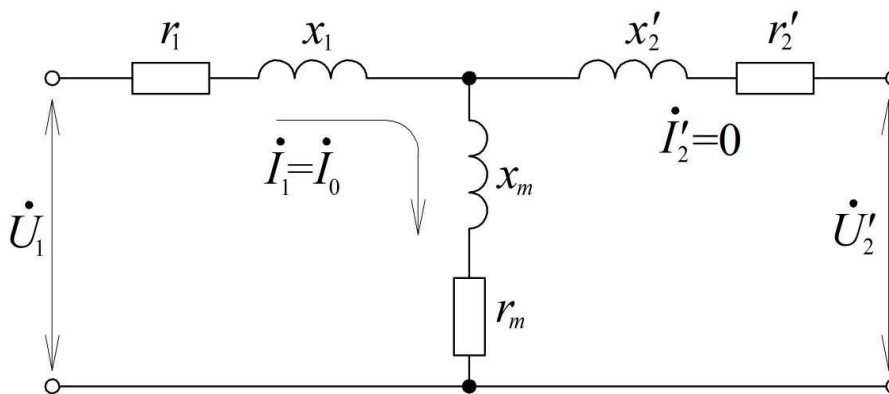


Рисунок 1.2 – Заступна схема трансформатора в режимі х.х.

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 дослідів.

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.

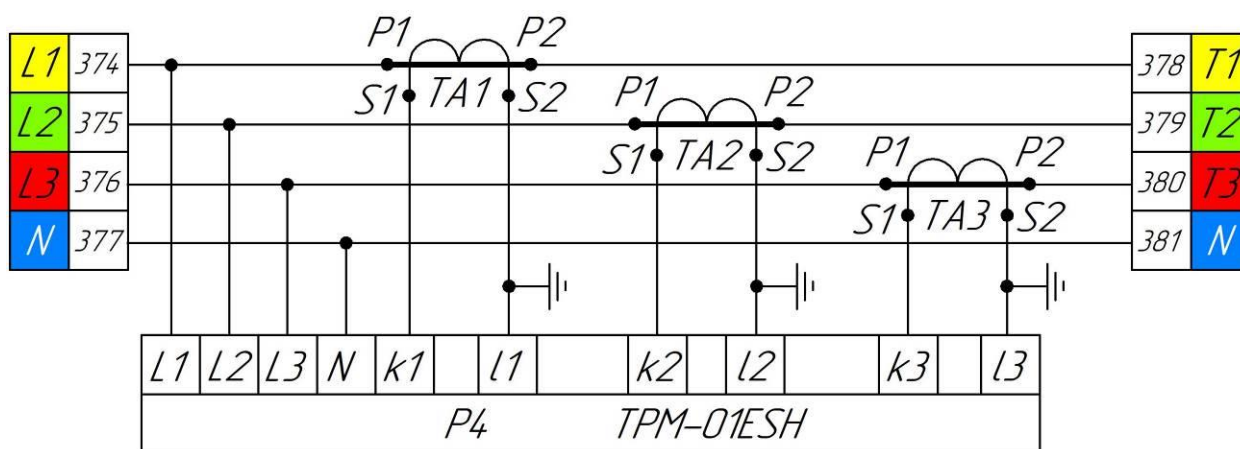


Рисунок 1.5 – Схема приєднання аналізатора P4 на лабораторному стенді, ауд. 508

На екрані аналізатора параметрів розташовані цифрові та світлодіодні індикатори, рис. 1.7. Чотири цифрових індикатори 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 A)

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;

kVARh – 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.

4 – Умовне позначення величини струму (за вторинним струмом вимірювальних трансформаторів):

H (high) – ≥ 4 A; M (medium) – від 1 A до 4 A; L (low) – ≤ 1 A;

5 – вказує на відображення значення у тисячах. Наприклад, якщо реальна величина становить 34500, то на дисплеї буде відображено 34,50 і буде світитися індикатор «k».

6 – Вказує на стан вихідних реле OUT1 та OUT2.

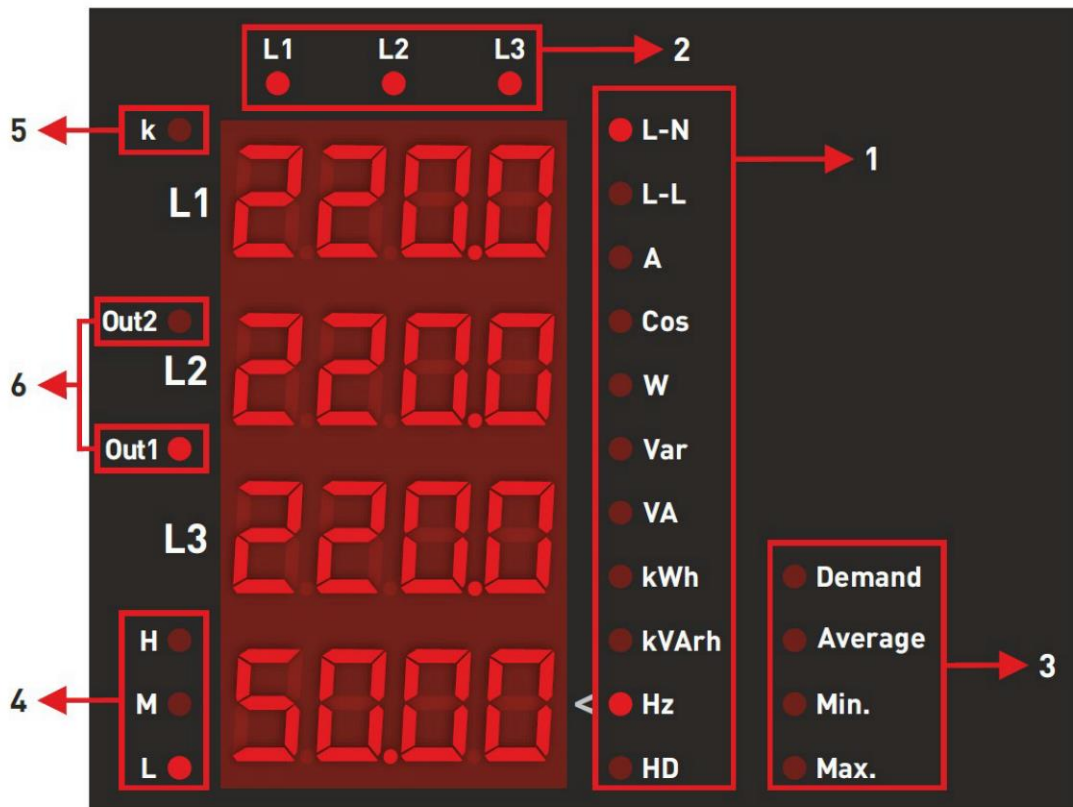


Рисунок 1.7 – Екран аналізатора параметрів мережі типу TPM-01ESH

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 автотансформаторів 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.

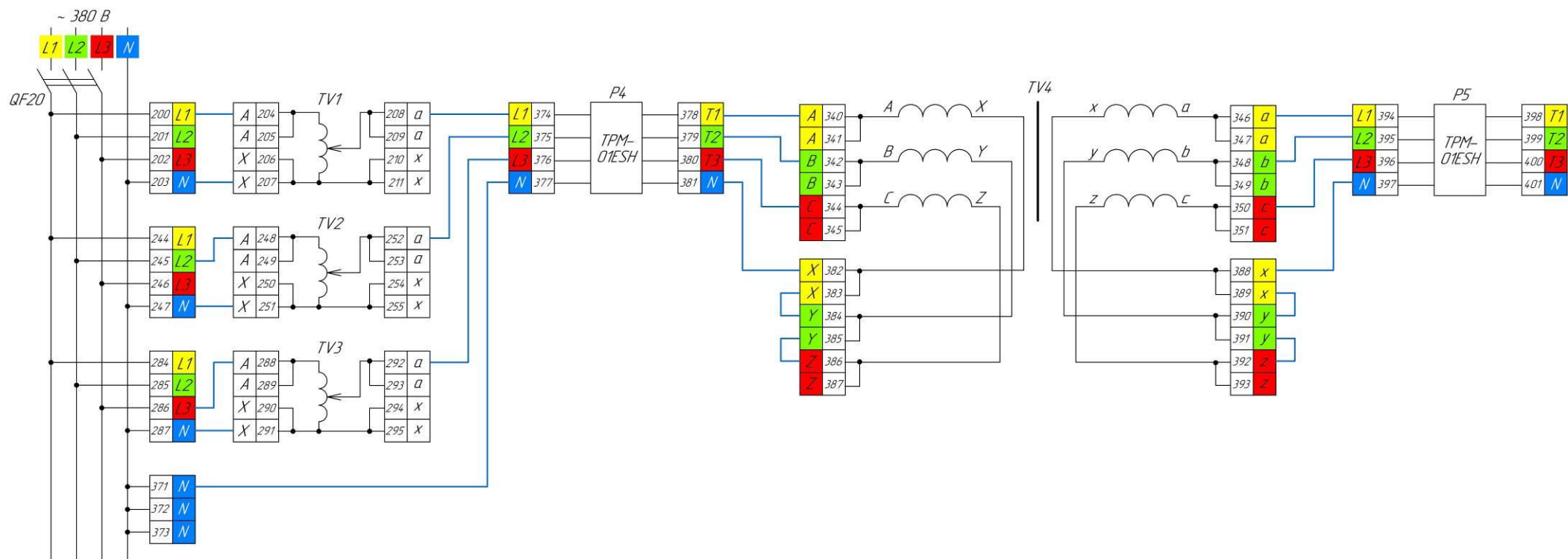


Рисунок 1.9 – Схема з'єднання елементів лабораторного станда для дослідження режиму холостого ходу трифазного трансформатора

Таблиця 1.1

Результати вимірювань та обчислень характеристики холостого ходу трифазного двообмоткового трансформатора

Виміряно														Обраховано							
$U_{1A}, \text{ В (TV1)}$		$U_{1B}, \text{ В (TV2)}$		$U_{1C}, \text{ В (TV3)}$		$I_{0A}, \text{ А}$	$I_{0B}, \text{ А}$	$I_{0C}, \text{ А}$	$P_{0A}, \text{ Вт}$	$P_{0B}, \text{ Вт}$	$P_{0C}, \text{ Вт}$	$U_{2A}, \text{ В}$	$U_{2B}, \text{ В}$	$U_{2C}, \text{ В}$	$U_1, \text{ В}$	$U_2, \text{ В}$	$I_0, \text{ А}$	$P_0, \text{ Вт}$	$\cos\varphi_0$		
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. Плавню 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 вхідній 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.

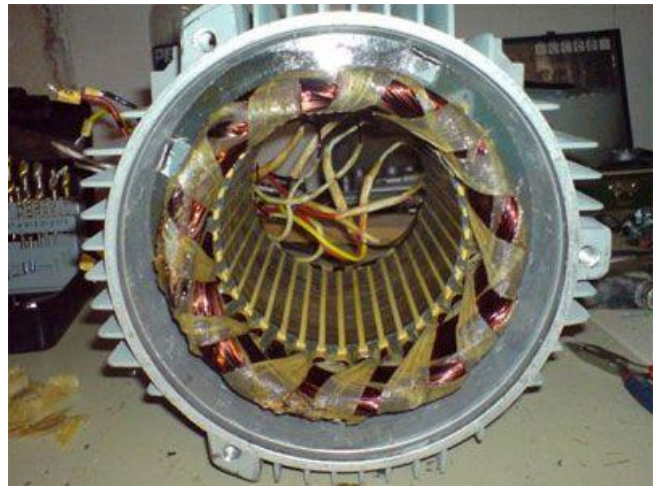
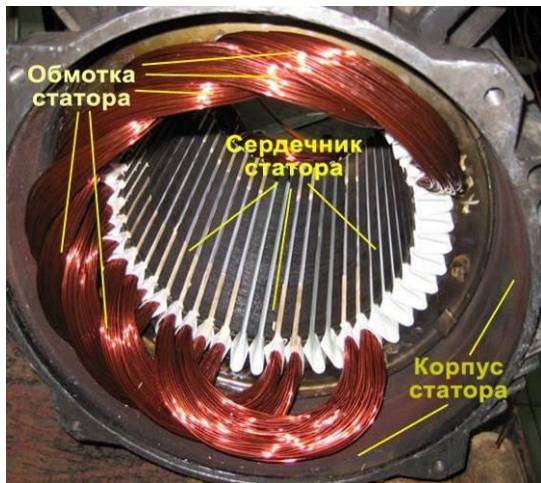


Рисунок 2.1 – Обмотка статора асинхронного двигуна

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 [1]. 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 C1–C6 (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.

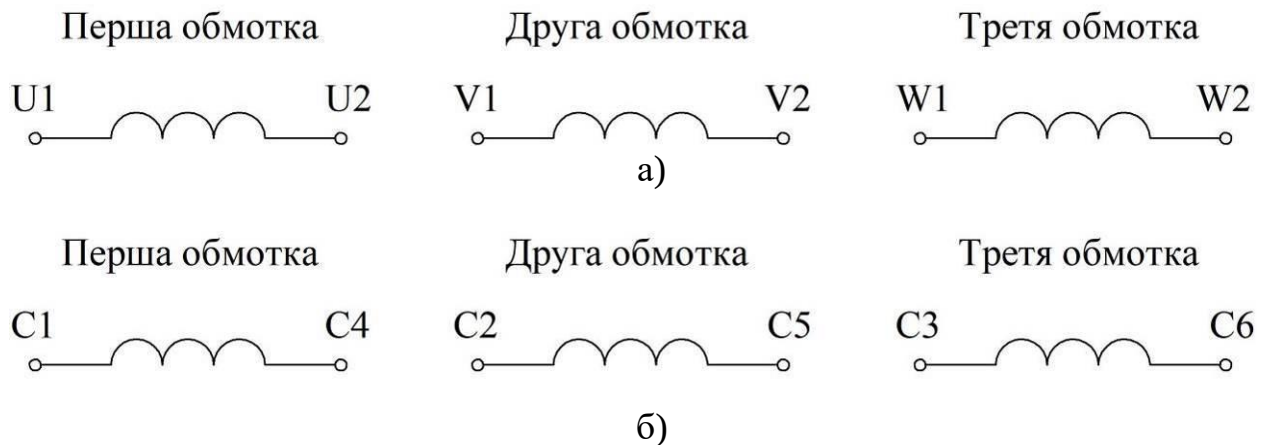


Рисунок 2.3 – Позначення виводів обмоток статора:
а – для двигунів нового зразка відповідно до ДСТУ EN 60034-8:2018;
б – для двигунів старого зразка.

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.

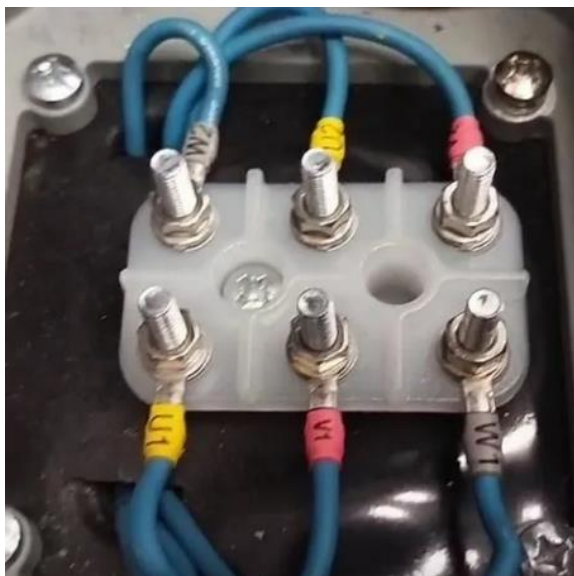


Рисунок 2.4 – Виводи статорної обмотки в клемній коробці двигуна

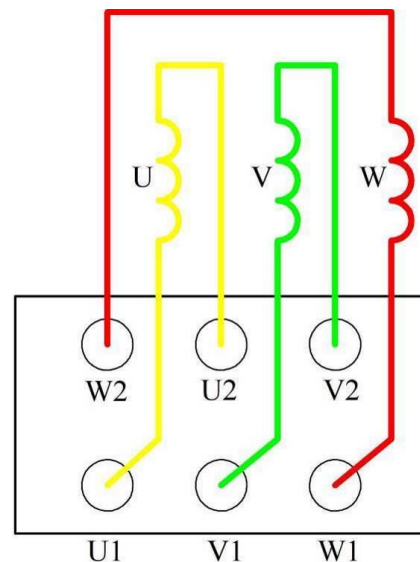


Рисунок 2.5 – Розташування виводів статорної обмотки в клемній коробці

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.

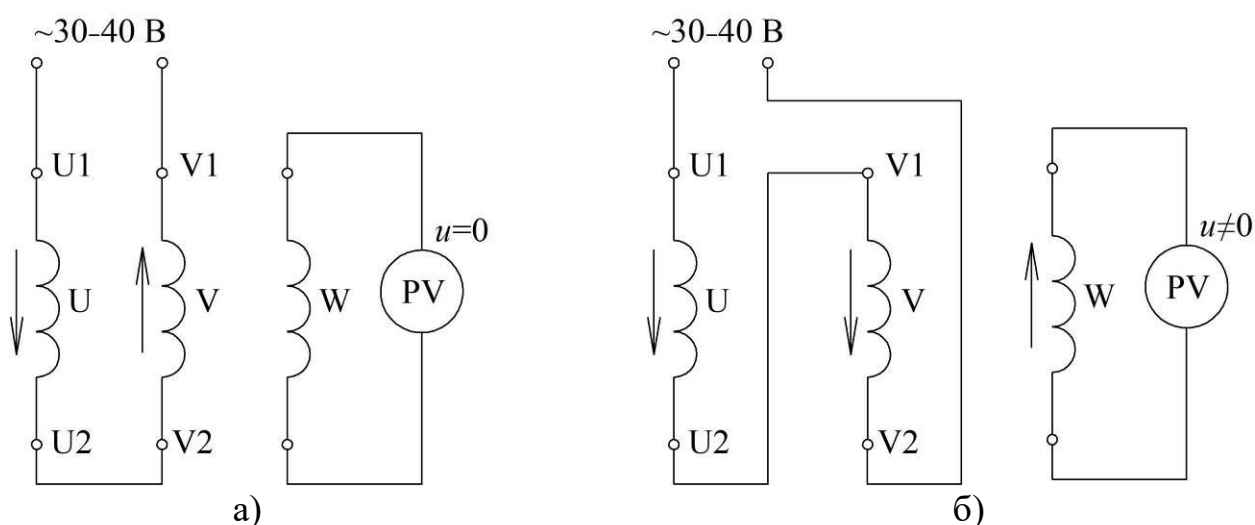


Рисунок 2.6 – Перевірка маркування виводів статора за допомогою джерела змінного струму: а – при з'єднанні двох обмоток однойменними виводами на третій обмотці напруга відсутня; б – при з'єднанні двох обмоток різнойменними виводами на третій обмотці є напруга

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 АИР-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 РЗ типу UT58В, 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 дослідів

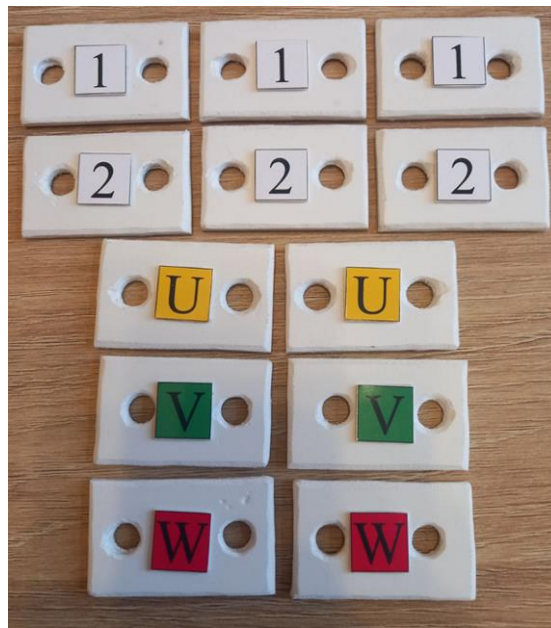


Рисунок 2.10 – Комплект бирок, за допомогою яких здійснюється маркування

3 ЗАВДАННЯ

Виконати маркування виводів статорної обмотки асинхронного двигуна. При цьому необхідно забезпечити обертання вала за годинниковою стрілкою (CW – Clockwise, «прямий» напрям, «правий» напрям) 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 продзвонювання 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. Переконатися, 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.

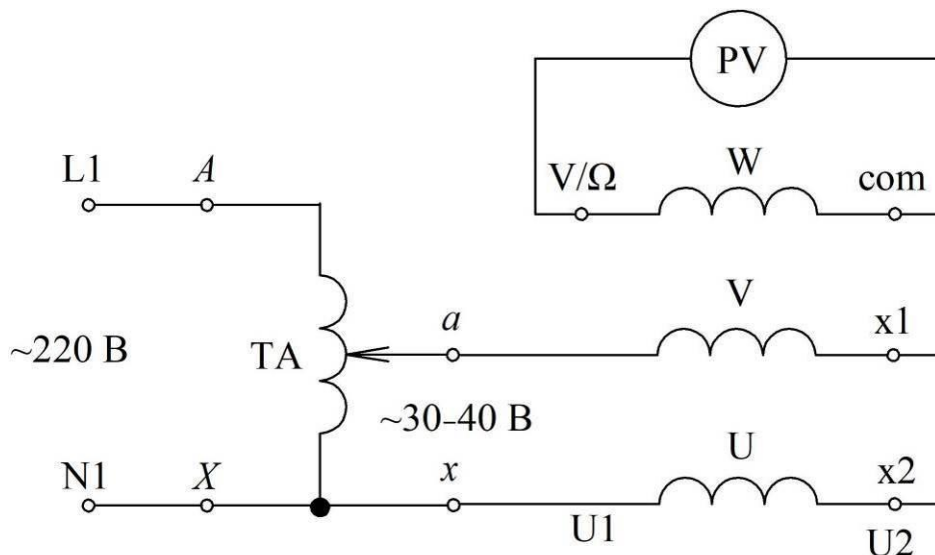


Рисунок 2.11 – Схема вимірювання для маркування обмотки V

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 клемі 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».

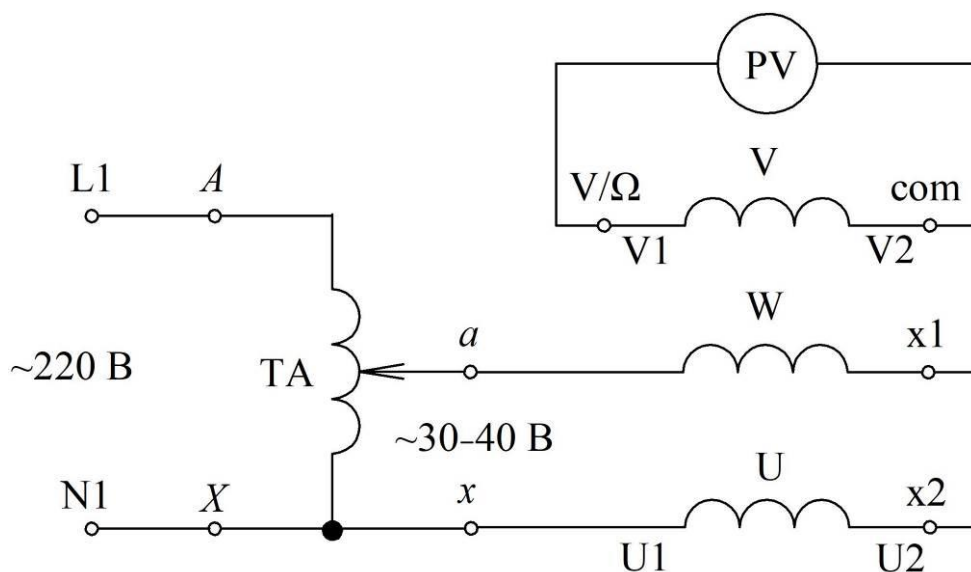


Рисунок 2.12 – Схема вимірювання для маркування обмотки W

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

29. Переконавшись, 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.

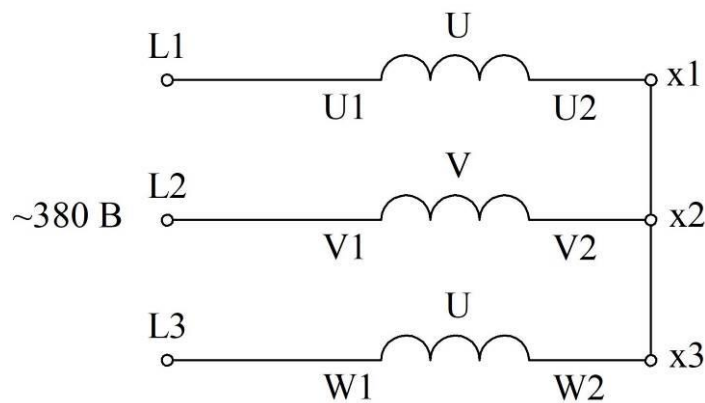


Рисунок 2.13 – Підключення двигуна до джерела живлення за схемою «зірка»

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

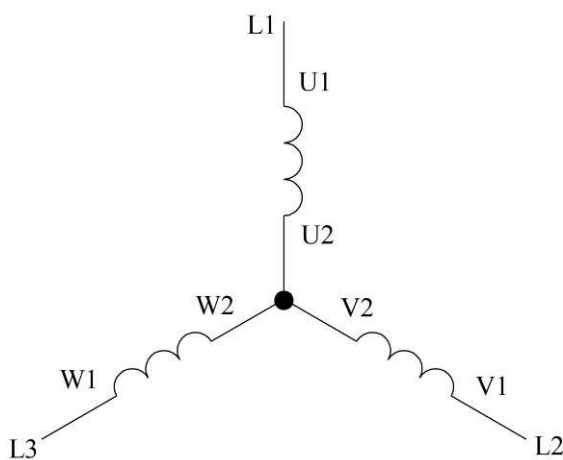
Дослідження схем з'єднання статорних обмоток асинхронного двигуна

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

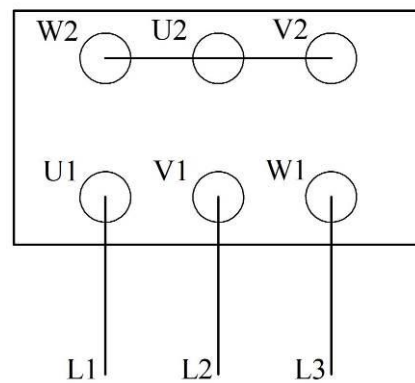
КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

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

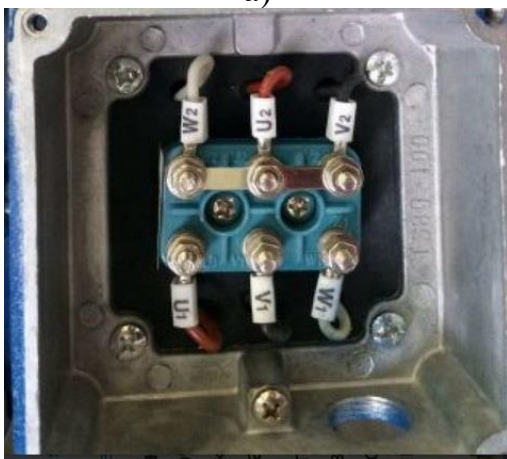
- схема «зірка» (Star Connection, Y), рис. 3.1;
- схема «трикутник» (Delta Connection, Δ), рис. 3.2.



а)



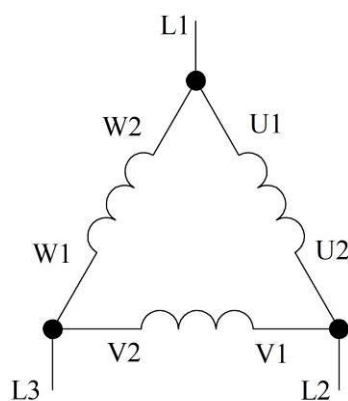
б)



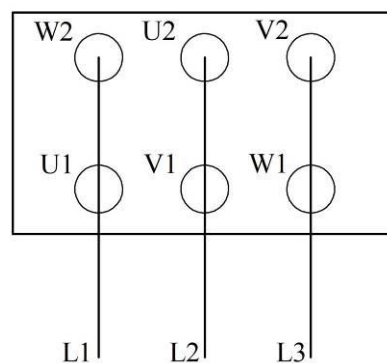
в)

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.



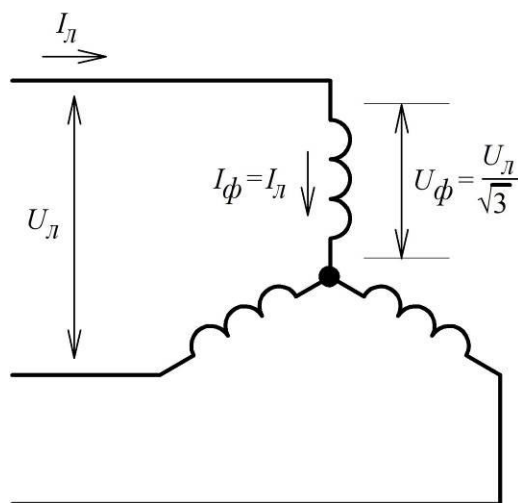
а)



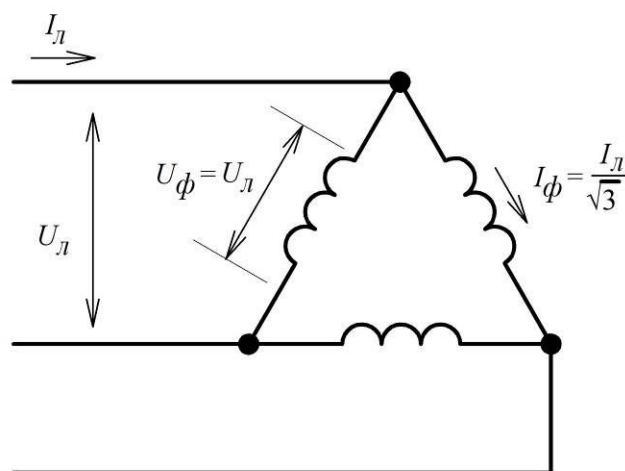
б)

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.



а)



б)

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

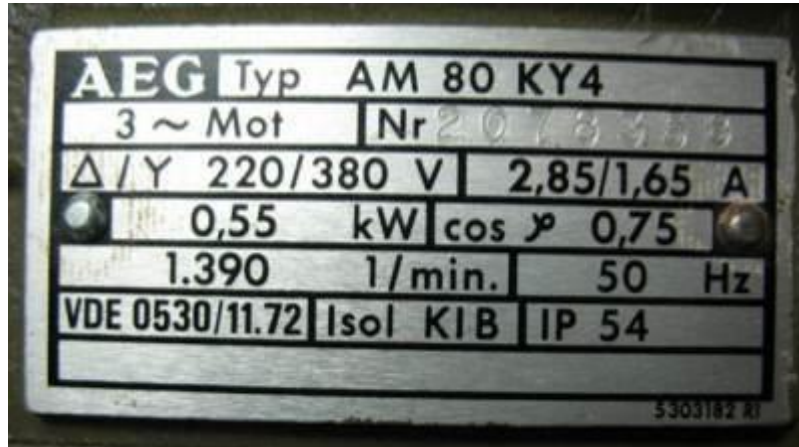


Рисунок 3.4 – Шильдик (табличка, паспорт) асинхронного двигуна AM80KY4

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.

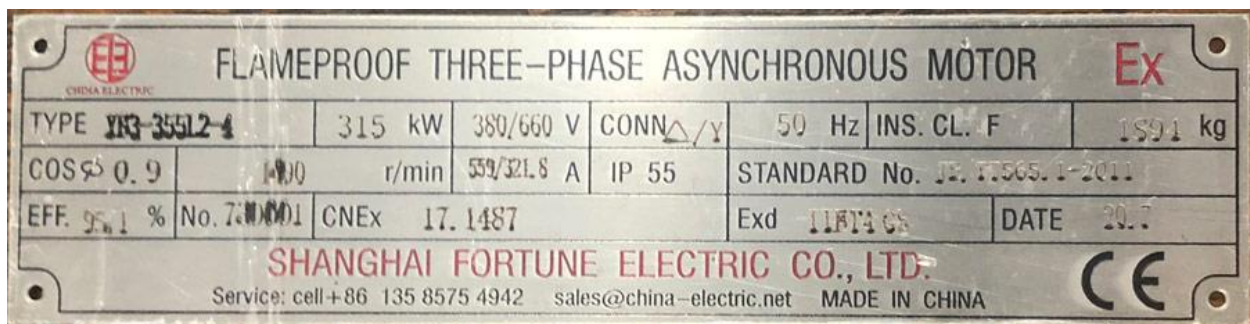


Рисунок 3.5 – Шильдик асинхронного двигуна YB3-355L2-4

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.

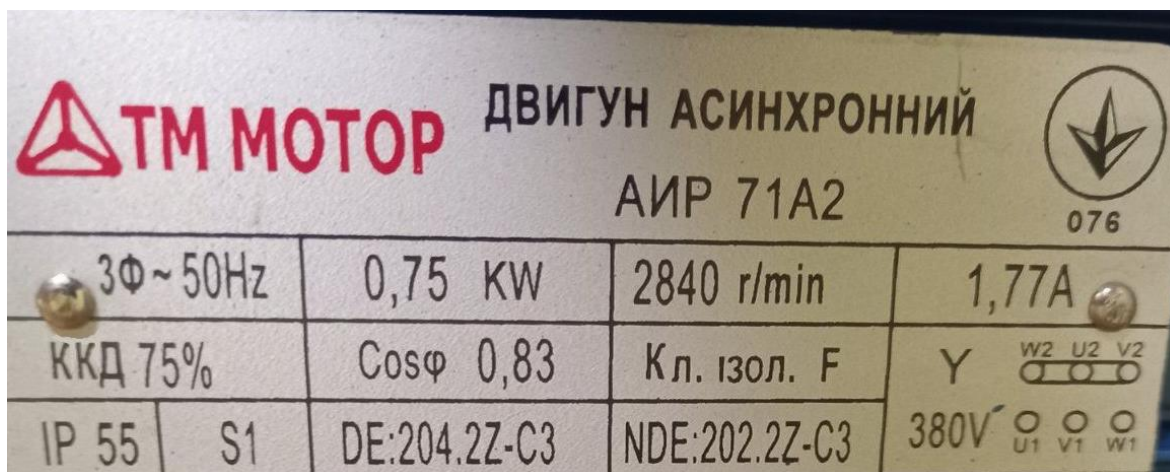


Рисунок 3.6 – Шильдик асинхронного двигуна АИР-71А2, який використовується для виконання лабораторної роботи

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.

4 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 досліді, 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 досліді. Після кожного досліді 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 Р2 та Р3.

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	$U_L, \text{В}$			
	$I_L, \text{А}$			
	$S = \sqrt{3}U_L I_L, \text{В}\cdot\text{А}$			
2	$U_L, \text{В}$			
	$I_L, \text{А}$			
	$S = \sqrt{3}U_L I_L, \text{В}\cdot\text{А}$			
3	$U_L, \text{В}$			
	$I_L, \text{А}$			
	$S = \sqrt{3}U_L I_L, \text{В}\cdot\text{А}$			
4	$U_L, \text{В}$			
	$I_L, \text{А}$			
	$S = \sqrt{3}U_L I_L, \text{В}\cdot\text{А}$			
5	$U_L, \text{В}$			
	$I_L, \text{А}$			
	$S = \sqrt{3}U_L I_L, \text{В}\cdot\text{А}$			
Вибіркові значення статистичних характеристик	$m[U_L], \text{В}$			
	$\sigma[U_L], \text{В}$			
	$m[I_L], \text{А}$			
	$\sigma[I_L], \text{А}$			
	$m[S], \text{В}\cdot\text{А}$			
	$\sigma[S], \text{В}\cdot\text{А}$			

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 Р2 та Р3.

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 $m[U_L]$, лінійного струму $m[I_L]$ та повної потужності $m[S]$. Занести одержані дані до табл. 2.1. 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 $\sigma[U_L]$, лінійного струму $\sigma[I_L]$ 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 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. 4.1) в усталеному режимі роботи дорівнює:

$$n = \frac{U_a}{C_e \cdot \Phi_{\delta d}} - \frac{R_a \cdot M_c}{C_e \cdot C_m \cdot \Phi_{\delta d}^2}, \quad (4.1)$$

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.

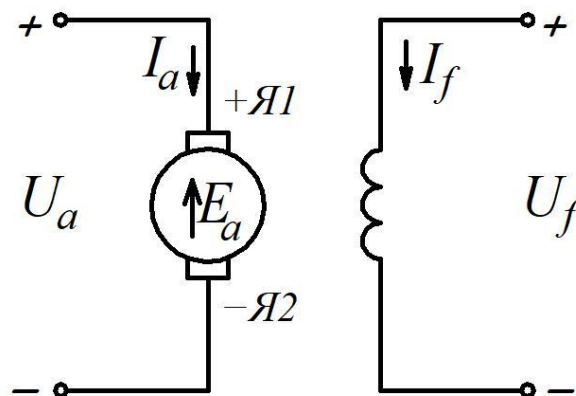


Рисунок 4.1 – Електрична схема приєднання обмоток двигуна постійного струму незалежного збудження

З аналізу (4.1) 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 (4.1), 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. 4.2, а.

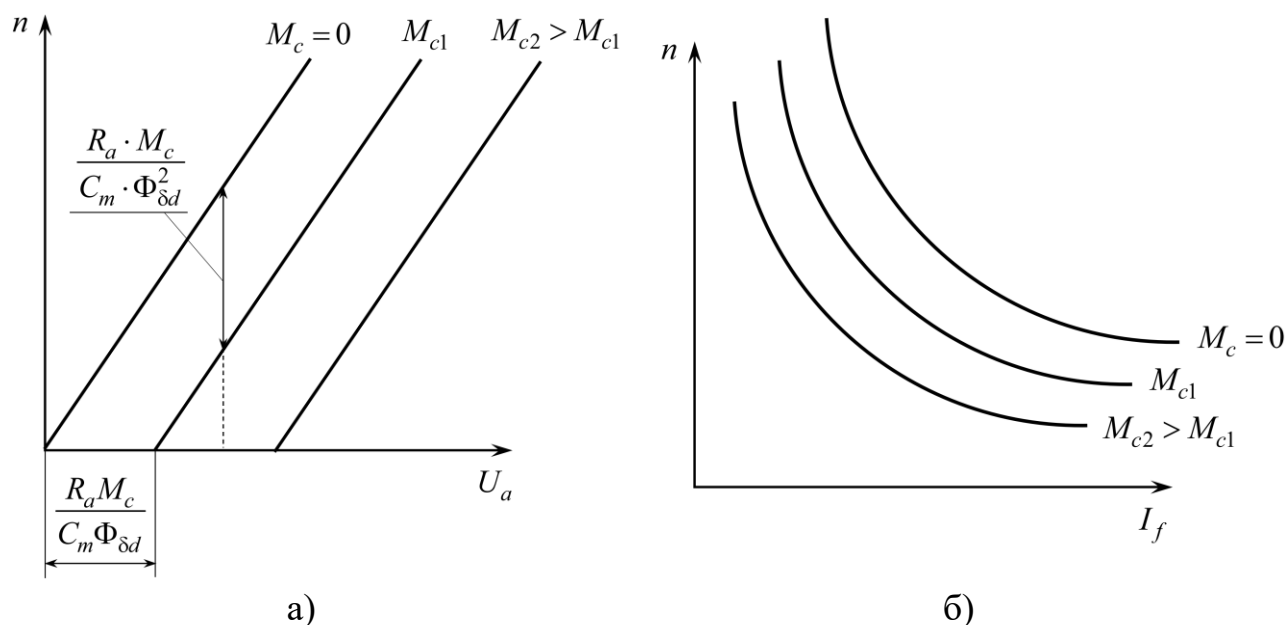


Рисунок 4.2 – Регульовальні характеристики ДПС: а – $n = f(U_a)$; б – $n = f(I_f)$

Регулювання частоти обертання ДПС зміною величини струму збудження.

Відповідно до (4.1) 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. 4.2, 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. 4.3.

До складу стенда входить наступне обладнання:

- двигун М1 постійного струму (ДПС) типу ЕП-110/245 (рис. 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. 4.4, б);
- автотрансформатори типу LTC-500 з діодними мостами на виході, один з яких (TV1) розташований на лабораторному стенді, інший (TV2) – на окремій панелі, рис. 4.3;
- цифрові вольтметри PV1, PV4 типу DJ-V72DC;
- мультиметр типу UT39A+, що виконується як амперметр постійного струму.

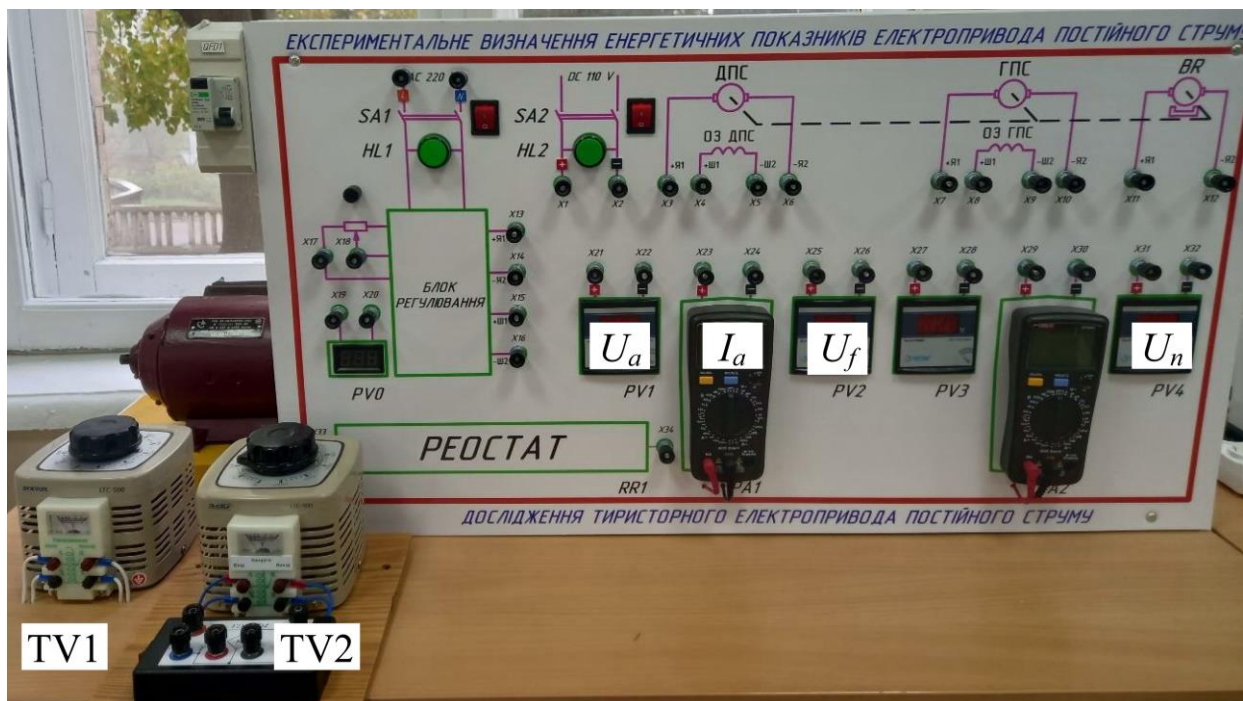
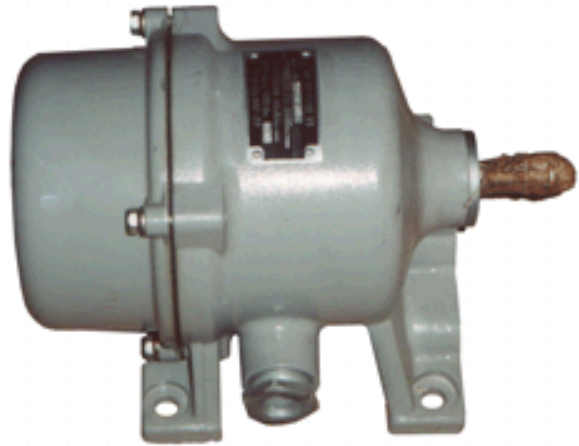


Рисунок 4.3 – Лабораторний стенд для дослідження регулювальних характеристик двигуна постійного струму



*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 4.4 – 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. 4.5.
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.

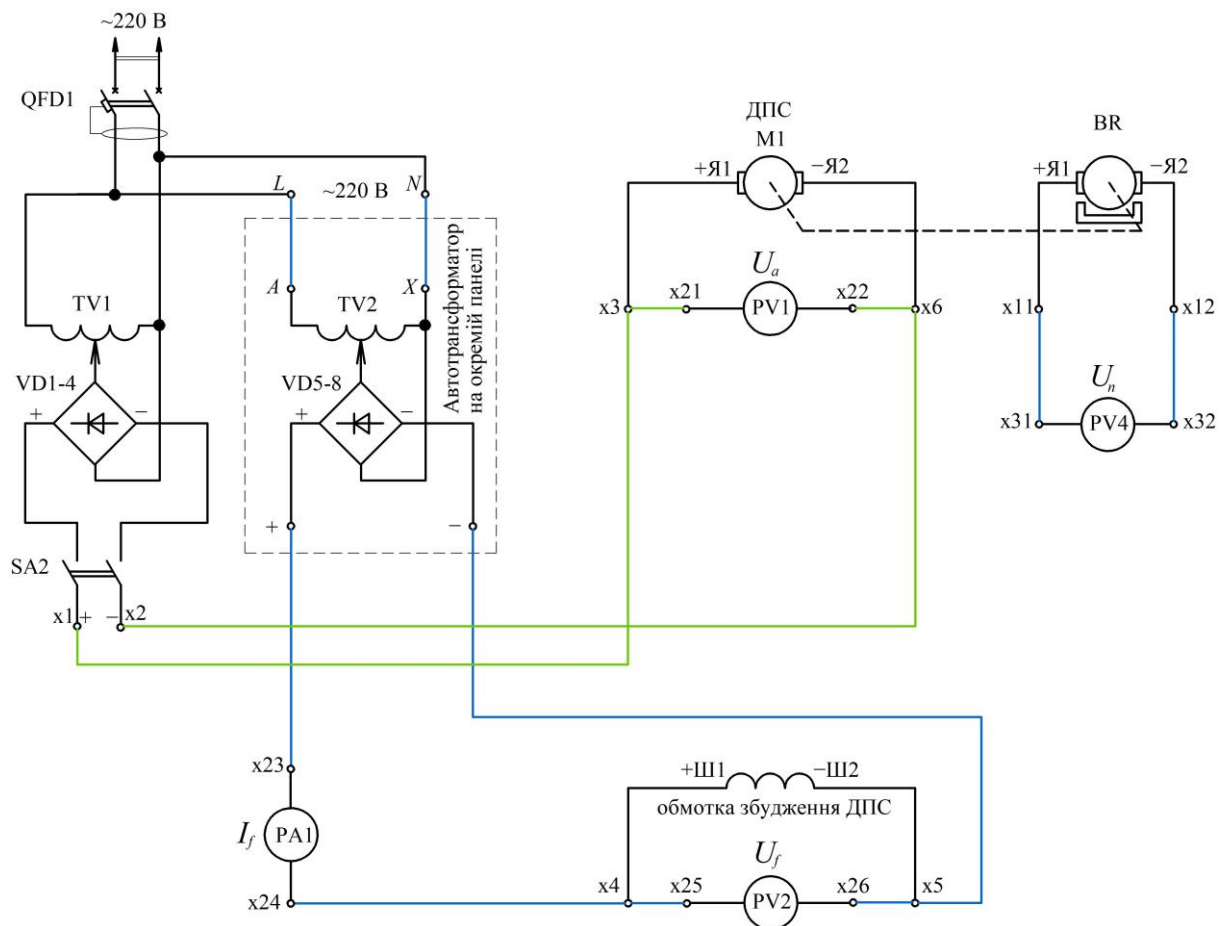


Рисунок 4.5 – Схема лабораторного стенда для дослідження регульовальних характеристик двигуна постійного струму

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. 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. 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.

Таблиця 4.1

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			Обраховано
U_a , В (PV1)		U_n , В (PV4)	$n=U_n / 0,06$, об/хв
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				Обраховано
U_f , В (PV2)		I_f , мА (РА1)	U_n , В (PV4)	$n=U_n / 0,06$, об/хв
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:

$$n = \frac{U_n}{0,06}, \quad (4.2)$$

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. 4.1).
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. 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)
2. ДСТУ EN IEC 60947-4-1:2019 «Апаратура комутаційна та апаратура керування низьковольтна. Частина 4-1. Електромагнітні контактори та пускачі електродвигунів».
3. ДСТУ 2.702:2013 Єдина система конструкторської документації. Правила виконання електричних схем.
4. Охріменко В. М. Споживачі електричної енергії: підручник. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 286 с.
5. Василега П. О. Електропостачання: підручник. Суми: Сумський державний університет, 2019. 521 с.
6. Мілих В. І., Павленко Т. П. Електропостачання промислових підприємств: підручник для студентів електромеханічних спеціальностей. Київ : «Каравела», 2018. 272 с.
7. Козирський В. В., Волошин С. М. Основи електропостачання: підручник. Київ : Компрінт, 2021. 497с.
8. Billings K., Morey T. Switchmode Power Supply Handbook. New York : McGraw-Hill Companies, 2011. 854 p.
9. Правила улаштування електроустановок. Київ : Міненерговугілля України, 2017. 618 с.
10. Харченко В. Ф., Якунін О. А., Воропай В. Г. Електропостачання міст та промислових підприємств : конспект лекцій. Харків : ХНУМГ імені О. М. Бекетова, 2019. 238 с.
11. Ачкасов А. Є., Лушкін В. А., Охріменко В. М., Кузнєцов А. І., Воронкова Т. Б. Електропостачання у будівництві : навчальний посібник. Харків : ХНАМГ, 2012. 159 с.
12. Електричні апарати: навч. посіб. / В. О. Лесько, В. О. Комар, С. В. Кравчук, О. В. Сікорська. Вінниця: ВНТУ, 2018. 102 с. URL: http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Lesko_2018_102.pdf
13. Клименко Б. В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: навчальний посібник. Харків: Вид-во «Точка», 2012. 340 с. URL: https://elprivod.nmu.org.ua/files/electrical_apparatus/Klimenko_Aparati.pdf

14. Осташевський М. О., Юр'єва О. Ю. Електричні машини і трансформатори / За ред. В. І. Мілих. К. : Каравела, 2018. 452 с. URL: http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Ostashev_2018_452.pdf
15. Загальна електротехніка і основи електроніки : навчальний посібник / Співак В. М., Гуржий А. М., Нельга А. Т., Ітякін О. С. Київ : КПІ, 2020. 266 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/c6e9d089-502d-4358-b48f-61ac262f72fd/content>
16. Матвієнко М. П. Основи електротехніки : підручник / Вид. 2-ге перероб. і доп. К. : Вид-во Ліра-К, 2018. 228 с. URL: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Matvienko_2018_228.pdf
17. Основи електротехніки, електроніки та мікропроцесорної техніки : навч. посіб. / В. Ф. Болюх, В. Г. Данько, Є. В. Гончаров; за ред. В. Г. Данька ; НТУ «ХП». Харків: Планета-Прінт, 2019. 248 с. URL: https://document.kdu.edu.ua/info_zab/141_1614.pdf
18. 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.
19. Бєлікова Л. Я., Шевченко В. П. Електричні машини : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закладів. О. : Наука і техніка, 2012. 480 с.