

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства та природокористування

Навчально-науковий інститут енергетики, автоматики та водного господарства

Кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих
технологій

04-03-397М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни
«Інтелектуальні системи електропостачання»
для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня
за освітньо-професійною програмою «Автоматизація, комп'ютерно-
інтегровані технології та робототехніка» спеціальності 174
«Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка» денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково-
методичною радою з якості
ННІЕАВГ
Протокол № 1 від 24.09.2024 р.

Рівне – 2024

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Інтелектуальні системи електропостачання» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» денної та заочної форм навчання. [Електронне видання] / Василець С.В., Літковець С. П., Василець К. С., Ільчук В. В. – Рівне : НУВГП, 2024. – 60 с.

Укладачі:

- Василець С. В.** професор кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій, доктор технічних наук, професор
- Літковець С. П.** доцент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій, кандидат технічних наук, доцент
- Василець К. С.** доцентка кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій, докторка філософії
- Ільчук В. В.** старший викладач кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Відповідальний за випуск:

Древецький В. В., завідувач кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій, доктор технічних наук, професор.

Керівник групи забезпечення спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»:

Рудик А. В., професор кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій, доктор технічних наук, професор.

© С. В. Василець,
С. П. Літковець,
К. С. Василець,
В. В. Ільчук, 2024
© НУВГП, 2024

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Лабораторна робота 1. Дослідження функціонування мікропроцесорного реєстратора параметрів мережі РПМ-416.....	5
Лабораторна робота 2. Дистанційне оцінювання ефективності функціонування споживачів електроенергії.....	17
Лабораторна робота 3. Дослідження режимів роботи двигунного навантаження у складі системи електропостачання за даними засобів вимірювальної техніки.....	32
Лабораторна робота 4. Розшифрування OBIS кодів лічильників електроенергії інтелектуальних систем електропостачання.....	47
Література.....	52
Додаток А. Принципова електрична схема удосконаленого пункту розподілу електроенергії ПР-11.....	53
Додаток Б. Перелік вимірювальних каналів реєстратора РПМ-416.....	54
Додаток В. Коди OBIS.....	55

ВСТУП

Метою освітньої компоненти є формування у здобувачів освіти сучасного рівня знань, умінь і навичок проектування та експлуатації інтелектуальних автоматичних пристроїв у складі мереж Smart Grid, а також розуміння необхідності застосування сучасних технологій, методів та алгоритмів для функціонування інтелектуальних систем електропостачання.

Завдання: оволодіти теоретичною базою і практичними вміннями побудови та експлуатації інтелектуальних систем електропостачання.

В результаті вивчення даної дисципліни здобувач набуває здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу, здатність застосовувати методи моделювання та оптимізації для дослідження і підвищення ефективності систем і процесів керування складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами. В результаті навчання здобувач вміє застосовувати сучасні підходи і методи моделювання та оптимізації для дослідження та створення ефективних систем автоматизації складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами, а також аналізувати виробничо-технічні системи у певній галузі діяльності як об'єкти автоматизації і визначати стратегію їх автоматизації та цифрової трансформації.

Тематика лабораторних робіт тісно пов'язана з лекціями. Для підготовки до лабораторних робіт рекомендується ґрунтовно вивчити відповідний теоретичний матеріал. Також необхідно докладно ознайомитися з методичними вказівками. Лабораторні роботи виконуються з використанням експериментальних стендів, що розміщені в ауд. 508, 509. Стенди функціонують під напругою 380 В, тому до виконання робіт студенти допускаються лише після інструктажу з техніки безпеки. Дослідна схема збирається на відключеному стенді. Вмикати напругу на стенд можна тільки після дозволу викладача.

Результати виконання кожної лабораторної роботи оформлюються у вигляді звіту, вимоги до оформлення якого наведені у методичних вказівках. Звіт подається викладачів до захисту на наступному занятті. Для підготовки до захисту можна скористатися переліком контрольних питань.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Дослідження функціонування мікропроцесорного реєстратора параметрів мережі РПМ-416

Мета: встановити залежність напруг на трифазному несиметричному навантаженні, що зібране за схемою «зірка», від наявності нульового проводу.

ЛАБОРАТОРНЕ УСТАТКУВАННЯ

Лабораторне обладнання розміщене в ауд. 508. Для виконання лабораторної роботи використовується:

1. Мікропроцесорний реєстратор параметрів мережі РПМ-416, що входить до складу удосконаленого пункту розподілу електроенергії ПР-11, рис. 1.1. Принципова електрична схема удосконаленого ПР-11 наведена на у додатку А.

Документація на мікропроцесорний реєстратор параметрів мережі РПМ-416 доступна на сайті виробника:

<https://novatek-electro.com/product/reestrator-rpm-416.html>

https://novatek-electro.com/docs/ua/doc_rpm-416_ua.pdf

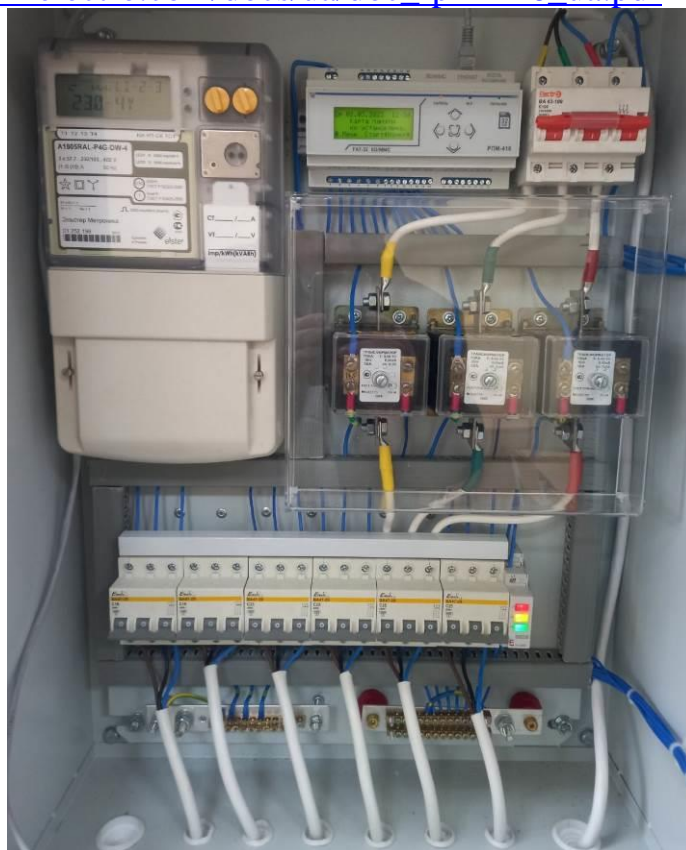


Рисунок 1.1 – Внутрішній вигляд удосконаленого пункту розподілу електроенергії ПР-11

2. Лампи розжарювання, що створюють активне трифазне навантаження, рис. 1.2.

3. Мультиметр.



Рисунок 1.2 – Панель ламп розжарювання для створення активного навантаження

В лабораторній роботі досліджується вплив стану нейтралі на функціонування трифазного навантаження. Заступну схему досліджуваної системи ілюструє рис. 1.3. Нейтральний вивід U_N вимірювальних кіл за напругою реєстратора підключено до нульової точки навантаження, що забезпечує вимірювання фазних напруг на навантаженні в разі обриву нейтралі.

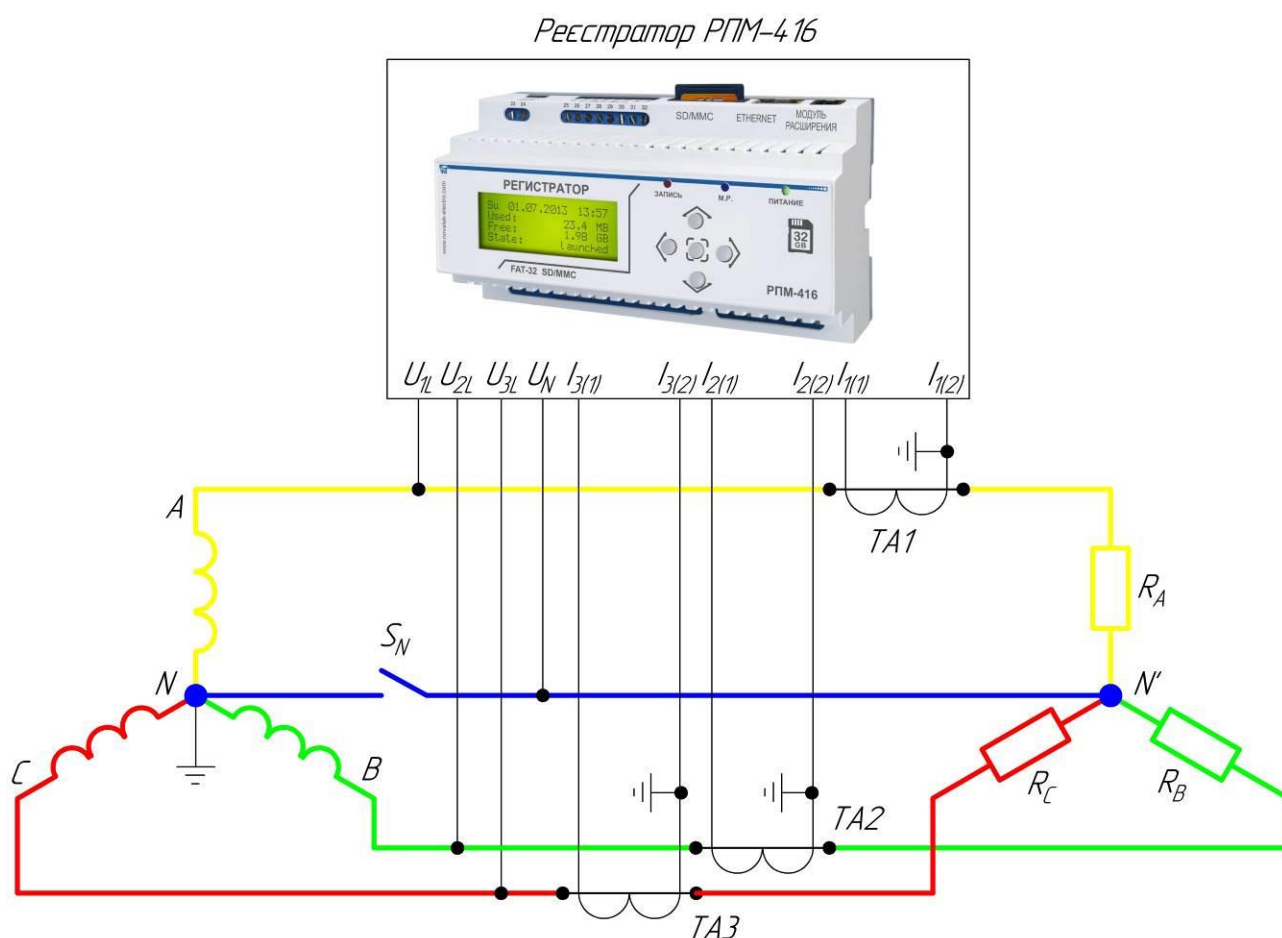


Рисунок 1.3 – Заступна схема лабораторної установки

Умови проведення дослідів наведено у табл. 1.1.

Умови проведення дослідів

Дослід	Стан нейтралі	Характер навантаження
1	норма	симетричне
2	норма	несиметричне
3	обрив	симетричне
4	обрив	несиметричне

ЗАВДАННЯ

Забезпечити вимірювання параметрів трифазного навантаження за допомогою мікропроцесорного реєстратора параметрів мережі РПМ-416. Виконати порівняльний аналіз функціонування трифазного симетричного та несиметричного навантаження, що зібране за схемою «зірка», за наявності та відсутності нульового проводу. Результати відобразити за допомогою векторної діаграми.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Дослід 1. Дослідження функціонування симетричного трифазного навантаження за наявності нульового проводу

1. В ауд. 508 пересвідчитися, що з лабораторного стенда знята напруга. Зібрати схему лабораторного стенда відповідно схеми на рис. 1.4, а. При цьому мультиметр використовувати як **амперметр змінного струму**, що вимірює струм у нульовому проводі.

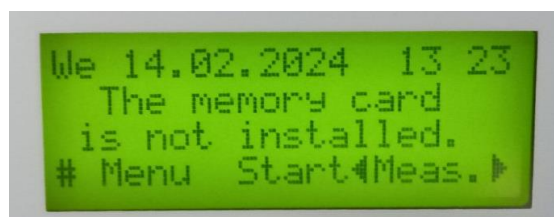
Зібрана схема стенда зображена на рис. 1.5. Зробити фото лабораторного стенда для додавання до звіту.

2. Розмістити на панелі лампи: **EL1 – 300 Вт; EL2 – 300 Вт; EL3 – 300 Вт.**

3. **Показати схему викладачу!**

4. **З дозволу викладача подати напругу на стенд за допомогою автоматичного вимикача ЩРН.**

5. Реєстратор вклучиться, після ініціалізації на екрані буде відображено головний екран:



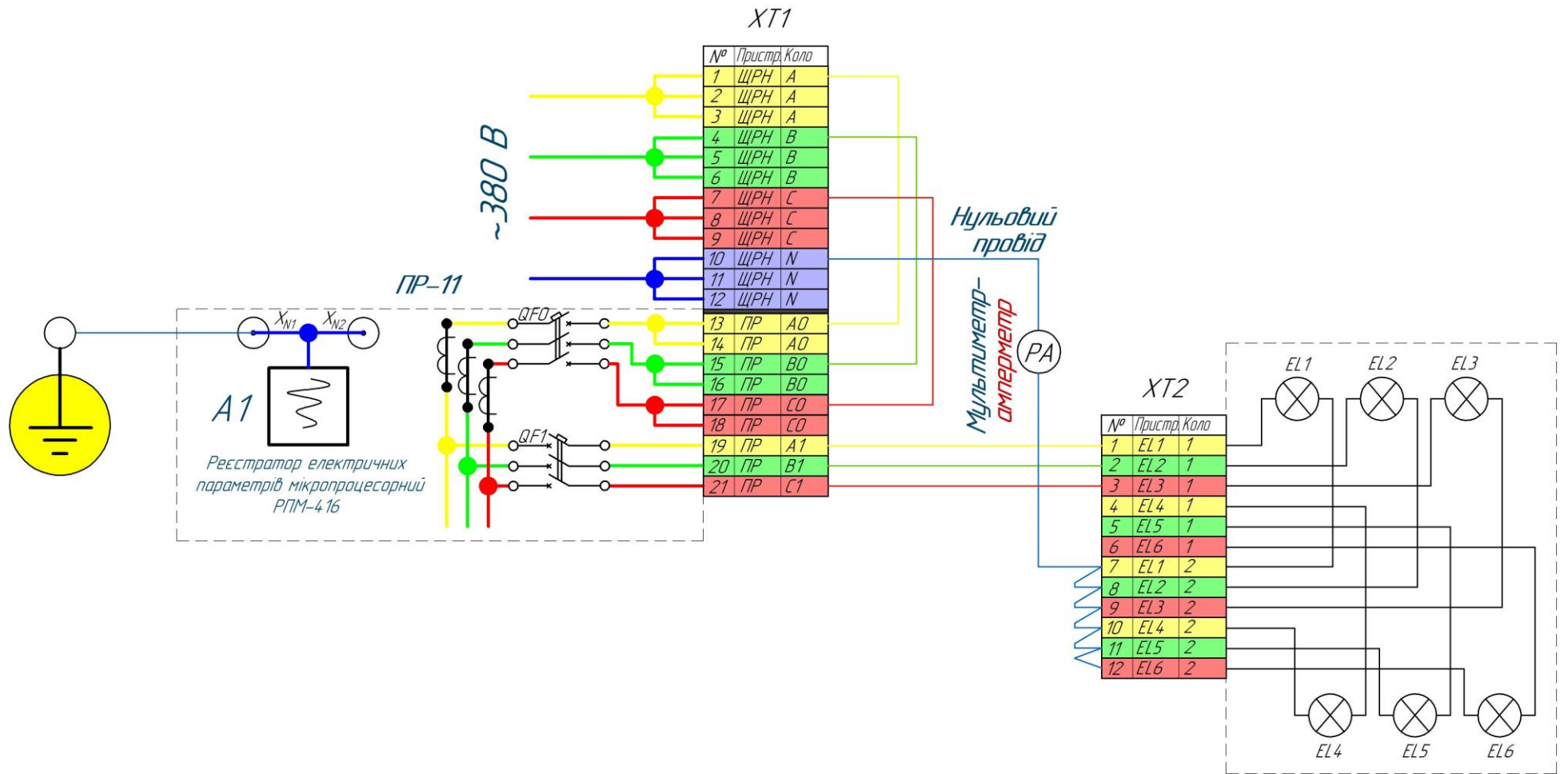


Рисунок 1.41, а – Схема з'єднань елементів лабораторного стенда при **нормальному стані** нульового проводу

Цей провідник забезпечує вимірювання системи фазних напруг на навантаженні при обриві нейтралі

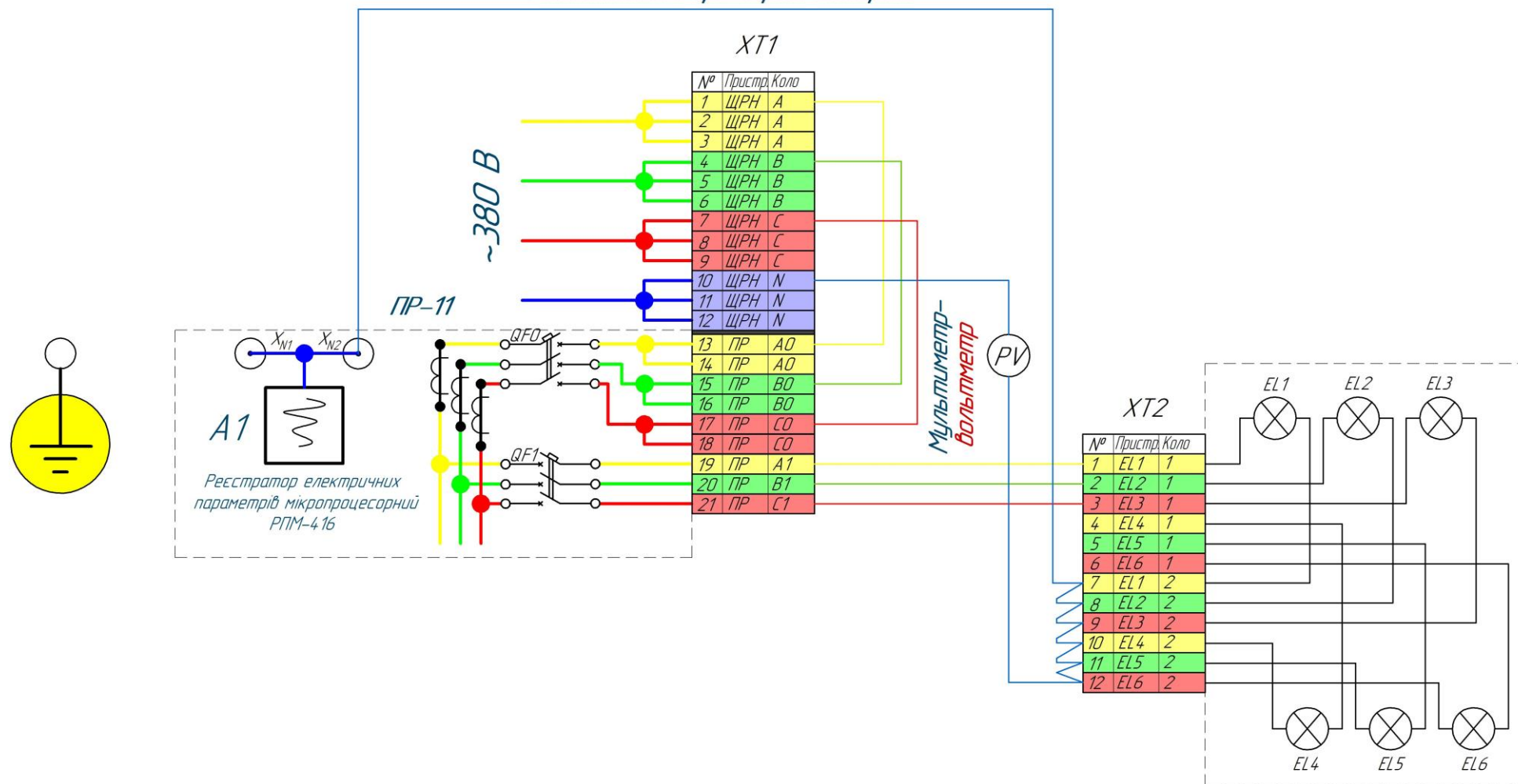


Рисунок 1.41, б – Схема з'єднань елементів лабораторного стенда при **обриві** нульового проводу

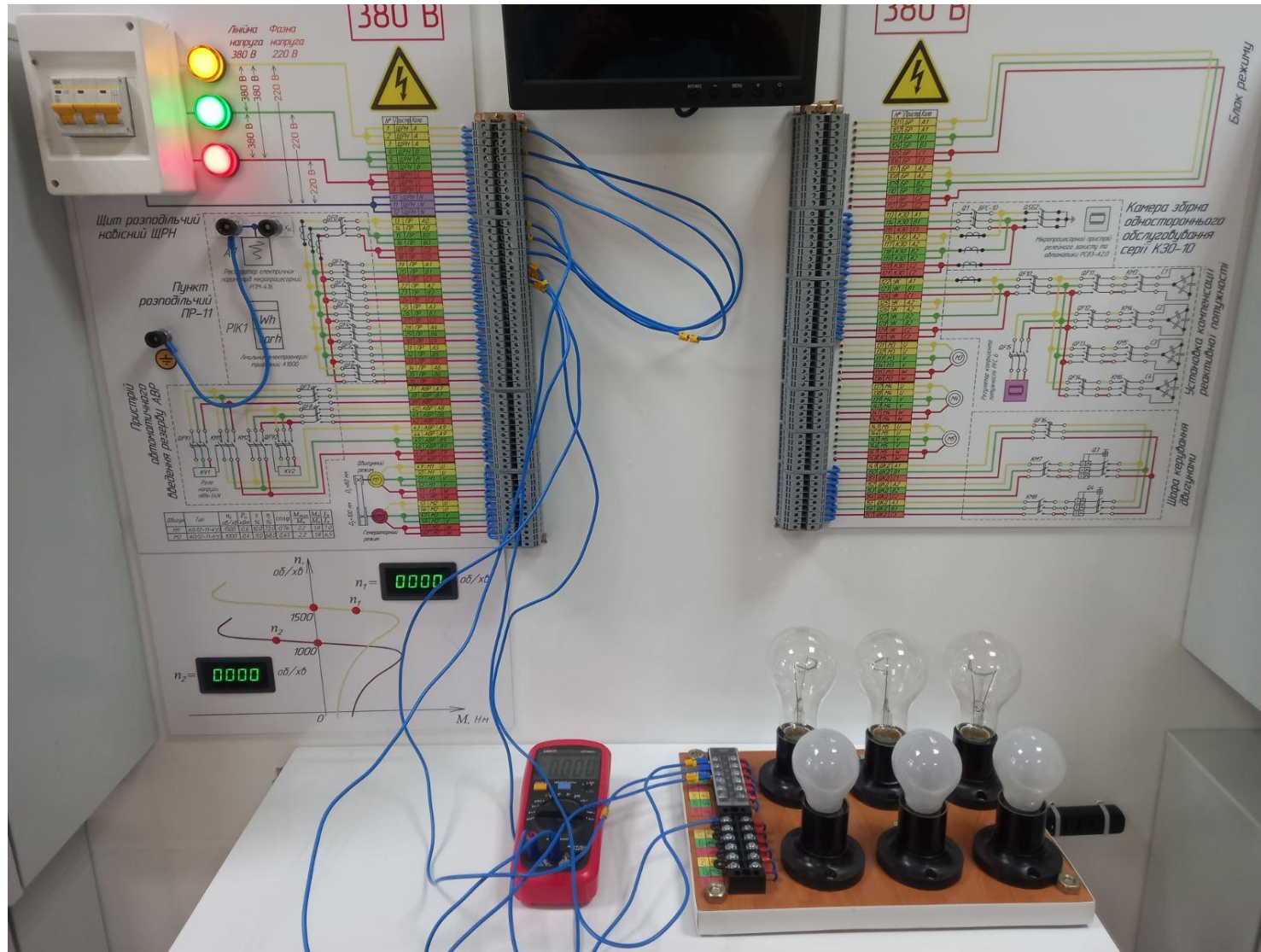


Рисунок 1.5 – З'єднання елементів лабораторного станда

6. Сконфігурувати реєстратор шляхом задавання типів вимірювальних трансформаторів струму. Для цього обрати пункт «Menu» («Меню»). Для вибору пункту меню використовуються кнопки ► (вправо), ◀ (вліво). Для відкриття пункту меню використовується кнопка ■ (введення, центральна кнопка). Вибрати наступні підменю: «Base channels» («Базові канали») – «Channel 4» («Канал 4») – «Current sensor» («Давач струму»), що відповідає трансформатору ТА1. Задати первинний номінальний струм вимірювального трансформатора струму відповідно до типу трансформаторів, що використовуються у складі ПР-11. Аналогічно встановити первинні номінальні струми ТА2 (канал 5) та ТА3 (канал 6). Вийти на головний екран.

7. **Ввімкнути автоматичний вимикач QF0 у складі ПР-11.**

8. Обрати пункт меню «Meas.» («Вимірювання»).

9. На екрані буде відображено виміряні параметри каналу КН01:



Для гортання списку параметрів каналу використовуються кнопки ▲ ▼. Для переходу до наступного або попереднього каналу слід натиснути кнопки ► ◀. Вихід до головного екрану здійснюється за допомогою кнопки ■.

Список всіх каналів та параметрів, що вимірюються, наведено у додатку Б.

10. **Ввімкнути автоматичний вимикач QF1, на лампи буде подана напруга.**

11. Занести до табл. 1.2 результати вимірювань (стовпчик Дослід 1).

12. Відключити автоматичний вимикач QF1.

13. Відключити автоматичного вимикача ЩРН.

Дослід 2. Дослідження функціонування несиметричного трифазного навантаження за наявності нульового проводу

14. **Обережно, лампи можуть бути гарячими!** З дозволу викладача замінити лампу розжарювання: EL1 – 100 Вт; EL2 – 300 Вт; EL3 – 300 Вт.

15. **З дозволу викладача подати напругу на стенд за допомогою автоматичного вимикача ЩРН.**

16. **Ввімкнути автоматичний вимикач QF1 у складі ПР-11.**

17. Занести до табл. 1.2 результати вимірювань (стовпчик Дослід 2).

18. Відключити автоматичний вимикач QF1.

19. Відключити автоматичного вимикача ЩРН.

Таблиця 1.2

Результати вимірювань

Канал	Параметр	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3	Дослід 4
		N – норма	N – норма	N – обрив	N – обрив
		EL1 = 300 ВТ	EL1= 100 ВТ	EL1= 300 ВТ	EL1= 100 ВТ
		EL2 = 300 ВТ	EL2= 300 ВТ	EL2= 300 ВТ	EL2= 300 ВТ
		EL3 = 300 ВТ	EL3= 300 ВТ	EL3= 300 ВТ	EL3= 300 ВТ
Результати вимірювань реєстратором РПМ-416					
1	$U_a, В$				
2	$U_b, В$				
3	$U_c, В$				
4	$I_a, А$			х	х
5	$I_b, А$			х	х
6	$I_c, А$			х	х
16	$P_a, ВТ$			х	х
	$Q_a, ВАр$			х	х
	$S_a, ВА$			х	х
	$\cos \varphi_a$			х	х
17	$P_b, ВТ$			х	х
	$Q_b, ВАр$			х	х
	$S_b, ВА$			х	х
	$\cos \varphi_b$			х	х
18	$P_c, ВТ$			х	х
	$Q_c, ВАр$			х	х
	$S_c, ВА$			х	х
	$\cos \varphi_c$			х	х
19	$U_{ab}, В$				
	$U_{bc}, В$				
	$U_{ca}, В$				
Результати вимірювання мультиметром					
	$U_N, В$	х	х		
	$I_N, А$			х	х

Дослід 3. Дослідження функціонування симетричного трифазного навантаження при обриві нульового проводу

20. Зібрати схему лабораторного стенда відповідно схеми на рис. 1.4, б. При цьому мультиметр використовувати як **вольтметр змінного струму**, що вимірює напругу зсуву нейтралі.

21. **Обережно, лампи можуть бути гарячими!** З дозволу викладача замінити лампу розжарювання: EL1 – **300 Вт**; EL2 – 300 Вт; EL3 – 300 Вт.

22. **З дозволу викладача подати напругу на стенд за допомогою автоматичного вимикача ЩРН.**

23. **Ввімкнути автоматичний вимикач QF1 у складі ПР-11.**

24. Занести до табл. 1.2 результати вимірювань (стовпчик Дослід 3).

25. Відключити автоматичний вимикач QF1 у складі ПР-11.

26. Відключити автоматичний вимикач ЩРН.

Дослід 4. Дослідження функціонування несиметричного трифазного навантаження при обриві нульового проводу

27. **Обережно, лампи можуть бути гарячими!** З дозволу викладача замінити лампу розжарювання: EL1 – **100 Вт**; EL2 – 300 Вт; EL3 – 300 Вт.

28. **З дозволу викладача подати напругу на стенд за допомогою автоматичного вимикача ЩРН.**

29. **Ввімкнути автоматичний вимикач QF1 у складі ПР-11.**

30. Занести до табл. 1.2 результати вимірювань (стовпчик Дослід 4).

31. Відключити автоматичний вимикач QF1 у складі ПР-11.

32. Відключити автоматичний вимикач ЩРН.

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДІВ

33. Проаналізувати характер навантаження. Як співвідносяться номінальна та виміряна потужність ламп розжарювання? Чому дорівнює реактивна потужність? Чому? Як співвідносяться активна та повна потужності? Чому дорівнює коефіцієнт потужності?

34. Проаналізувати вплив характеру навантаження (симетричне, несиметричне) на величину струму у нульовому проводі відповідно до результатів дослідів 1 та 2. Як змінюється величина струму нульового проводу при зміні симетрії навантаження? Чому? Яку роль відіграє нульовий провід при з'єднанні навантажень у «зірку»? Результати аналізу відобразити у звіті.

35. Проаналізувати вплив характеру навантаження (симетричне, несиметричне) на умови функціонування споживача при обриві нульового проводу відповідно до результатів дослідів 3 та 4. Як змінюється величина напруги зсуву нейтралі при зміні симетрії навантаження? Чому? За яких умов нульовий провід може не використовуватися? Результати аналізу відобразити у звіті.

36. За результатами дослідів 2 та 4 побудувати векторну діаграму, що відображає лінійні та фазні напруги навантаження при нормальному стані нульового проводу та в разі обриву. Визначити величину напруги зміщення нейтралі за векторною діаграмою та аналітичним шляхом, як показано в наступному пункті. Порівняти результати розрахунків з вимірним значенням.

37. Побудова векторної діаграми починається з побудови векторів фазних та лінійних напруг за наявності нульового проводу, тобто за даними досліду 2, рис. 1.6. При цьому вектори напруг будують в обраному масштабі. В такому ж масштабі будують вектори фазних напруг після обриву нульового проводу (за даними досліду 4). Оскільки положення нульової точки N' після обриву нейтралі заздалегідь невідоме, то з точок A, B, C за допомогою циркуля проводять дуги, радіус яких відповідає довжинам відповідних векторів фазних напруг після обриву нуля. Місце перетину дуг відповідає положенню точки N'. Довжина вектора \dot{U}_N , з урахуванням масштабу, визначає діюче значення напруги зсуву нейтралі U_{N5} , що визначене за векторною діаграмою. Одержане значення необхідно занести до табл. 1.3 та визначити відносну похибку, вважаючи за дійсне значення вимірне в досліді 4 значення U_{N4} , В.

Таблиця 1.3

Порівняння вимірних та розрахованих значень напруги зміщення нейтралі

Виміряно в досліді 4	Визначено за векторною діаграмою		Обчислено аналітично	
U_{N4} , В	U_{N5} , В	δ , %	U_{N6} , В	δ , %

38. Визначення величини напруги зміщення нейтралі аналітичним шляхом здійснюється наступним чином.

Активні провідності фаз до та після обриву нейтралі можуть вважатися незмінними, тому на основі даних досліду 2, враховуючи активний характер навантаження, можна знайти:

$$Y_a = I_a / U_a; \quad Y_b = I_b / U_b; \quad Y_c = I_c / U_c. \quad (1.1)$$

Вектори фазних напруг до обриву нейтралі становили (за даними досліду 2):

$$\dot{U}_a = U_a \cdot e^{j0^\circ}; \quad \dot{U}_b = U_b \cdot e^{-j120^\circ}; \quad \dot{U}_c = U_c \cdot e^{j120^\circ}. \quad (1.2)$$

Діюче значення напруги зсуву нейтралі дорівнює:

$$U_{N6} = \left| \frac{\dot{U}_a \cdot Y_a + \dot{U}_b \cdot Y_b + \dot{U}_c \cdot Y_c}{Y_a + Y_b + Y_c} \right|. \quad (1.3)$$

Одержану величину слід занести до табл. 1.3 та обчислити відносну похибку обчислення.

39. Проаналізувати одержані в табл. 1.3 величини відносних похибок.

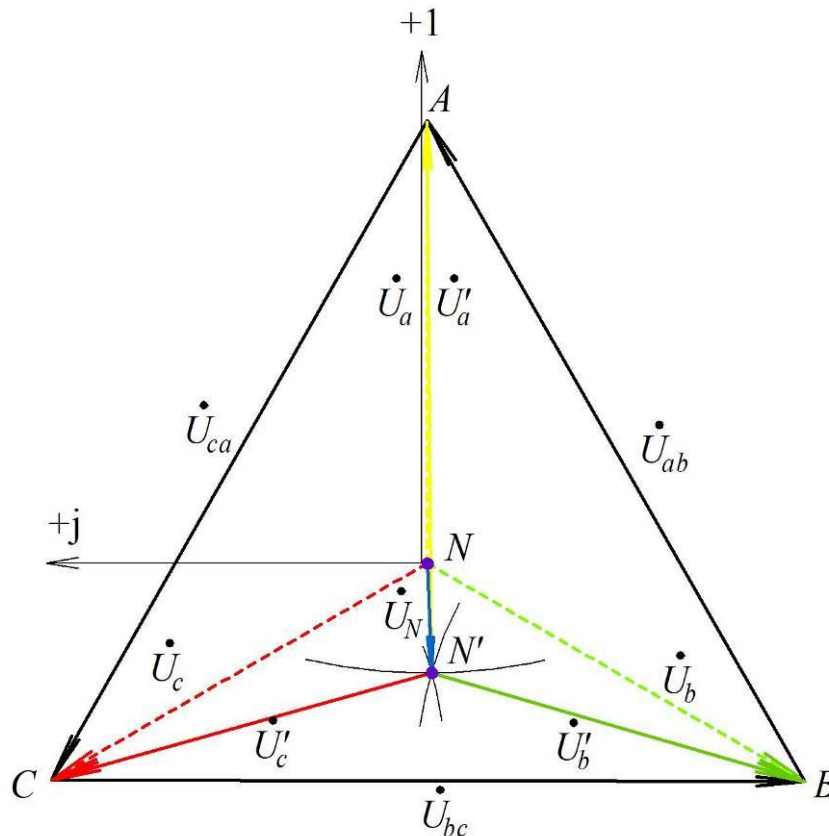


Рисунок 1.6 – Векторна діаграма напруг для схеми «зірка»: при обриві нульового проводу з’являється напруга \dot{U}_N між нульовими вузлами генератора та навантаженням

Вміст звіту з лабораторної роботи

1. Тема, мета роботи.
2. Фото лабораторного стенда.
3. Заповнену табл. 1.2 з результатами вимірювань.
4. Аналіз результатів дослідів за вимогами п. 26–31, включаючи векторну діаграму (рис. 1.6) та табл. 1.3.
5. Висновки.

Контрольні запитання

1. Як впливає обрив нульового проводу на функціонування трифазного симетричного навантаження, що з’єднане у «зірку»? Обґрунтувати свою відповідь результатами вимірювань.
2. Як впливає обрив нульового проводу на функціонування трифазного несиметричного навантаження, що з’єднане у «зірку»? Обґрунтувати свою відповідь результатами вимірювань.
3. Поясніть схему підключення аналізатора відповідно до додатка А.
4. Поясніть порядок роботи з аналізатором. Яким чином зчитуються виміряні значення?

5. Чи достатньо для підключення асинхронного двигуна до електромережі трижильного кабелю? Чи необхідно використовувати чотирижильний? Чому? Обґрунтувати свою відповідь результатами вимірювань.

6. Яке практичне значення мають результати вимірювань для експлуатації розподільних електромереж 0,38 кВ? Обґрунтуйте відповідь посиланням на нормативні документи.

7. Як змінилося б положення вектора \dot{U}_N на векторній діаграмі (рис. 1.6) в разі різної потужності всіх трьох ламп навантаження.

8. Перелічити функціональні можливості аналізатора РПМ-416.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

Дистанційне оцінювання ефективності функціонування споживачів електроенергії

Мета: навчитися аналізувати результати вимірювань для визначення електричних та механічних втрат двигунного навантаження у складі інтелектуальної СЕП.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Найбільш поширеним типом споживачів електроенергії на промислових підприємствах є електродвигуни, зокрема – асинхронні електричні машини. Особливості технологічного процесу та режим роботи машини (механізму) визначає режим роботи електродвигуна: двигунний або генераторний. Часто двигун переводять до генераторного режиму для економії електроенергії або виконання визначених технологічних операцій.

Зокрема, Харківський машинобудівний завод «Світло шахтаря» виготовляє приводні блоки скребкових конвеєрів для гірничої промисловості, рис. 2.1. До складу таких пристроїв входить редуктор, який після вироблення має пройти передексплуатаційні випробування. Останні передбачають функціонування редуктора протягом певного часу під різними рівнями механічного навантаження. Для зменшення втрат електроенергії використовується взаємне навантаження приводних блоків, коли один з двигунів навмисно переводиться до генераторного режиму роботи.



Рисунок 2.1 – Блок приводу БПК160

Під час передексплуатаційних випробувань приводні блоки з'єднуються за допомогою спеціального додаткового редуктора-прискорювача (рис. 2.2). Це забезпечує функціонування одного з асинхронних двигунів в двигунному режимі, іншого – в генераторному. Зміна рівнів механічного навантаження забезпечується використанням тиристорного регулятора напруги.

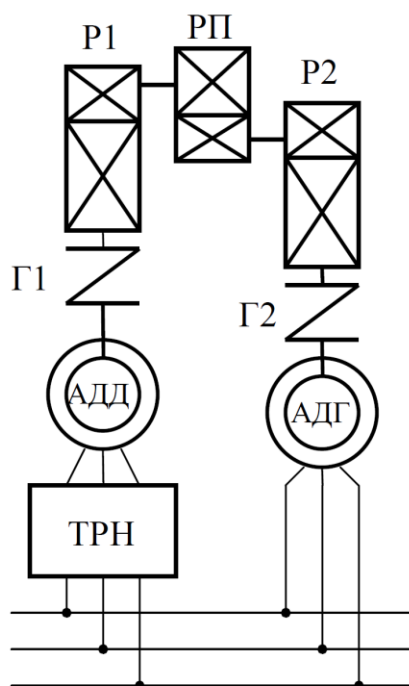


Рисунок 2.2 – Структурна схема навантажувального стенда для передексплуатаційних випробувань приводних блоків в умовах ХМЗ «Світло шахтаря»: АДД – асинхронний двигун, що працює в двигунному режимі; АДГ – асинхронний двигун, що функціонує в генераторному режимі; Г1, Г2 – гідромуфти; P1, P2 – редуктори у складі приводних блоків; РП – редуктор-прискорювач; ТРН – тиристорний регулятор напруги

Баланс активної та реактивної потужностей

На рис. 2.3 наведена спрощена схема випробувального стенда, що розглядається. На схемі прийняті наступні позначення:

$P_{ел1}$ – активна потужність, що споживається стендом з мережі;

$P_{ел2}$ – активна потужність, що споживається АДД;

$P_{ел3}$ – активна потужність, яку АДГ віддає в мережу;

$P_{мех1}$ – потужність на валу АДД;

$P_{мех2}$ – потужність на валу АДГ;

$P_{вд}$ – втрати потужності в АДД;

$P_{вг}$ – втрати потужності в АДГ;

$P_{вп}$ – втрати потужності в механічній передачі;

Q_{L1} – реактивні індуктивна потужність, що надходить з мережі до стенда;

Q_{L2} – реактивні індуктивна потужність, що споживається АДД;

Q_{L3} – реактивні індуктивна потужність, що споживається АДГ.

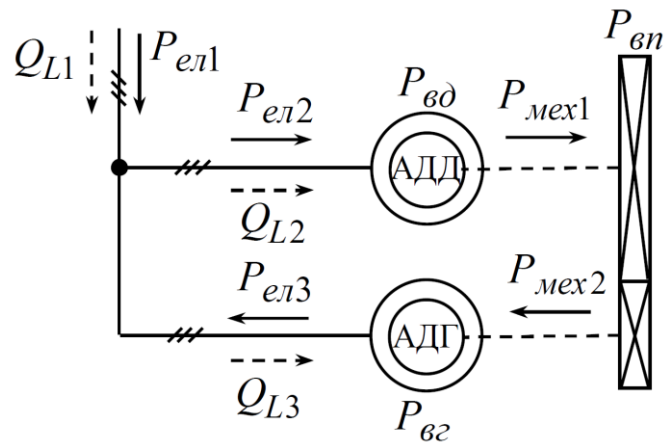


Рисунок 2.3 – Схема випробувального стенда, що пояснює розподіл потужностей

Активна потужність, яка втрачається в системі, відповідає активній потужності, що споживається двигуном, окрім потужності, яка повертається генератором до електромережі:

$$P_{ел1} = P_{ел2} - P_{ел3}. \quad (2.1)$$

Електрична машина, що функціонує у двигунному режимі, дорівнює потужності на валу двигуна та втратам:

$$P_{ел2} = P_{мех1} + P_{вд}. \quad (2.2)$$

На вал генератора передається потужність за виключенням механічних втрат в передачі:

$$P_{мех2} = P_{мех1} - P_{вп}. \quad (2.3)$$

До мережі генератор віддає підведену потужність з урахуванням втрат в машині:

$$P_{ел3} = P_{мех2} - P_{вг}. \quad (2.4)$$

Залежність (2.4) з урахуванням (2.3) має вигляд:

$$P_{ел3} = P_{мех1} - P_{вп} - P_{вг}. \quad (2.5)$$

Враховуючи (2.2) та (2.5) до (2.1), одержимо баланс активної потужності в системі:

$$P_{ел1} = P_{вд} + P_{вп} + P_{вг}. \quad (2.6)$$

Залежність (2.6) говорить про те, що з електромережі споживається активна потужність тільки на покриття втрат в електричних машинах та механічній передачі між ними.

Баланс реактивної потужності:

$$Q_{L1} = Q_{L2} + Q_{L3}. \quad (2.7)$$

Реактивна індуктивна потужність споживається з мережі як двигуном, так і генератором. Це забезпечує створення основного магнітного потоку. Це пояснюється тим, що необхідною умовою функціонування асинхронної машини як у двигунному, так і у генераторному режимі є наявність електромережі, що забезпечує машини реактивною потужністю для створення магнітного поля.

Визначення електричних та механічних втрат у випробувальному стенді

Випробувальний стенд може бути поданий заступною схемою, рис. 4, де активно-індуктивний опір фази двигуна подано еквівалентними елементами R , X . Розглянемо випадок під'єднання до електромережі тільки двигуна М1, при цьому обмотка двигуна М2 відключена. Тоді активна потужність, що споживається фазами двигуна М1, витрачається на покриття електричних втрат в двигуні та механічних втрат в обох двигунах та механічній передачі. З використанням еквівалентного опору R_1 фази двигуна М1 баланс активної потужності становить:

$$P_{1a} + P_{1b} + P_{1c} = R_1[I_{1a}^2 + I_{1b}^2 + I_{1c}^2] + P_m, \quad (2.8)$$

де P_{1a} , P_{1b} , P_{1c} – активні потужності, що споживаються фазами А, В, С двигуна М1 в разі відключеного стану М2; I_{1a} , I_{1b} , I_{1c} – діючі значення струмів фаз двигуна М1; P_m – втрати в механічній частині стенда (у механічних частинах М1, М2 та механічній передачі).

У випадку функціонування тільки двигуна М2 баланс активної потужності становить:

$$P_{2a} + P_{2b} + P_{2c} = R_2[I_{2a}^2 + I_{2b}^2 + I_{2c}^2] + P_m. \quad (2.9)$$

У випадку підключення до мережі обох двигунів:

$$P_{3a} + P_{3b} + P_{3c} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} [I_{3a}^2 + I_{3b}^2 + I_{3c}^2] + P_m. \quad (2.10)$$

З рівнянь (2.8) та (2.9) виразимо еквівалентні опори R_1 , R_2 , а рівняння (2.10) подамо у вигляді неявної функції від P_m , тоді:

$$R_1 = \frac{P_{1a} + P_{1b} + P_{1c} - P_m}{I_{1a}^2 + I_{1b}^2 + I_{1c}^2}; \quad (2.11)$$

$$R_2 = \frac{P_{2a} + P_{2b} + P_{2c} - P_m}{I_{2a}^2 + I_{2b}^2 + I_{2c}^2}; \quad (2.12)$$

$$F(P_m) = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} [I_{3a}^2 + I_{3b}^2 + I_{3c}^2] + P_m - P_{3a} - P_{3b} - P_{3c} = 0. \quad (2.13)$$

Значення втрат P_m в механічній частині стенда може бути обчислено як корінь функції (2.13) з урахуванням виразів (2.11) та (2.12). Електричні втрати в двигуні можуть бути оцінені з використанням еквівалентного опору як:

$$\Delta P = 3I^2 R. \quad (2.14)$$

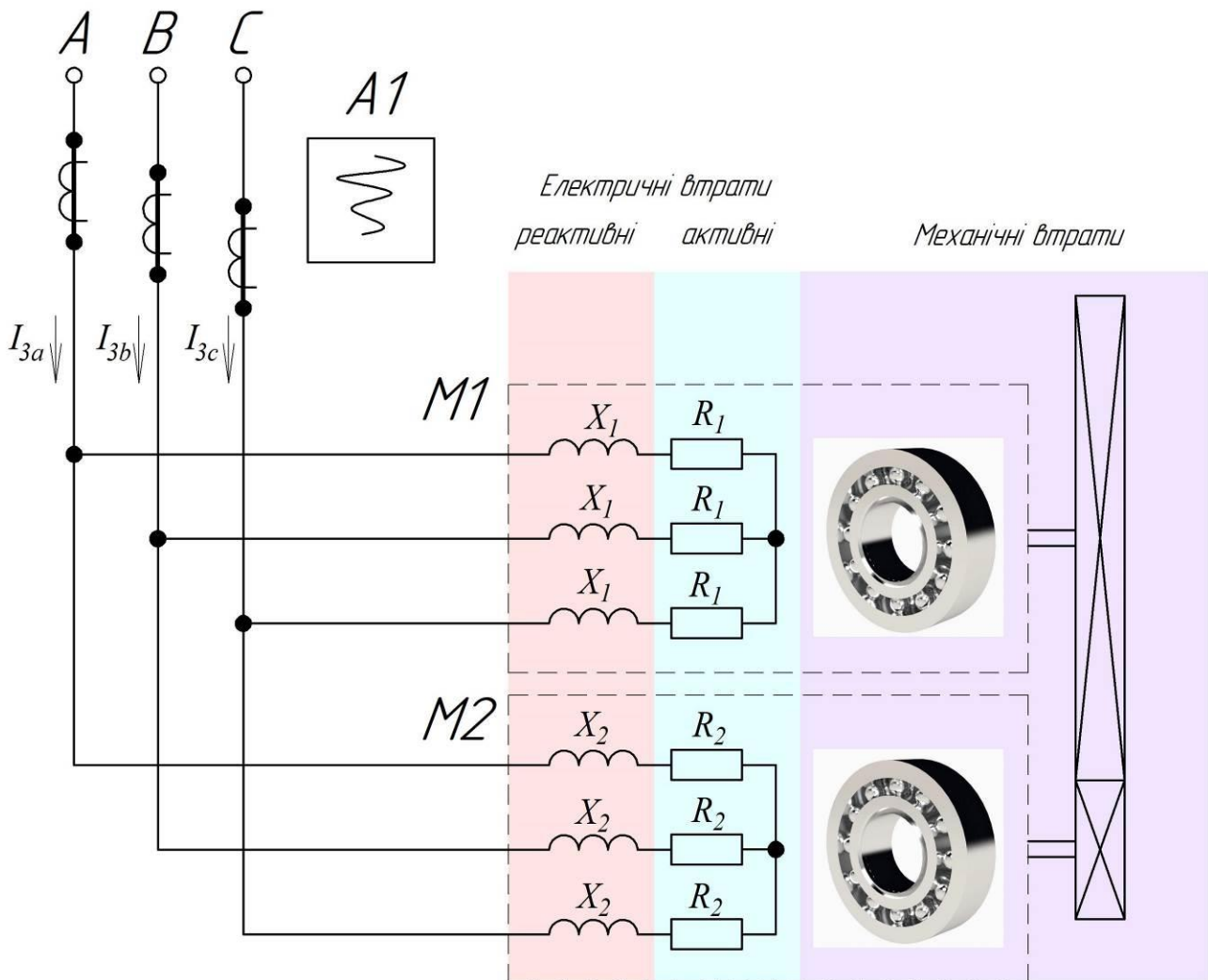


Рисунок 2.4 – Заступна схема випробувального стенда для визначення електричних та механічних втрат

ЛАБОРАТОРНЕ УСТАТКУВАННЯ

Лабораторна робота проводиться з використанням лабораторного стенда, що розміщений в ауд. 508. Для проведення роботи використовується наступне обладнання.

1. Система двох асинхронних машин, що з'єднані за допомогою ремінної передачі, рис. 2.5. Машина M1 працює у двигунному режимі, M2 – у генераторному. Значення параметрів машин наведено у табл. 2.1.

2. Шафа керування двома двигунами, рис. 2.6.

3. Мікропроцесорний реєстратор параметрів РПМ-416, рис. 2.7, у складі ПР-11, що використовується для вимірювання значень параметрів у загальній частині мережі.

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Лабораторна робота виконується з використанням наступного програмного забезпечення:

1. Програма RPM-416 Data Analysis для контролю і налаштування реєстратора електричних параметрів РПМ-416 по протоколу зв'язку Modbus TCP, <https://novatek-electro.com/programne-zabezpechennya/rpm-416-data-analysis.html>

2. Програма Advanced IP Scanner для сканування мережі <https://www.advanced-ip-scanner.com/ua/>

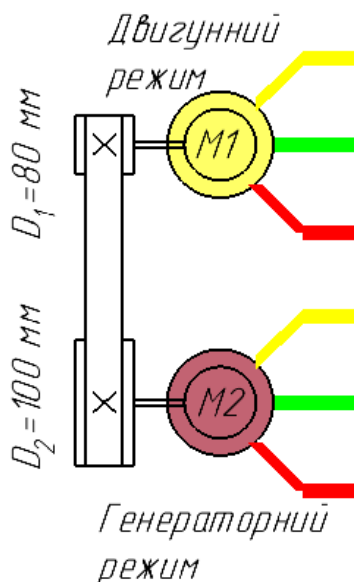


Рисунок 2.5 – Механічне з'єднання асинхронного двигуна та генератора

Таблиця 2.1

Значення параметрів асинхронних машин, що використовуються для досліду

Двигун	Тип	n_c об/хв	P_H кВт	s %	η %	$\cos\varphi$	$\frac{M_{max}}{M_H}$	$\frac{M_n}{M_H}$	$\frac{I_n}{I_H}$
M1	A0/2-11-4У3	1500	0,6	10,0	72,0	0,76	2,2	1,8	7,0
M2	A0/2-11-6У3	1000	0,4	9,0	68,0	0,65	2,2	1,8	6,5

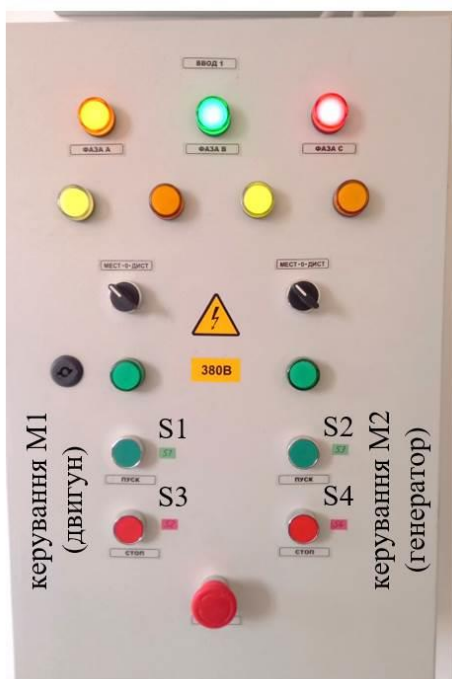


Рисунок 2.6 – Шафа керування двома двигунами



Рисунок 2.7 – Мікропроцесорний реєстратор параметрів РРМ-416

ЗАВДАННЯ

На основі вимірювань проаналізувати електричні втрати потужності в двигунах та механічні втрати в лабораторному стенді.

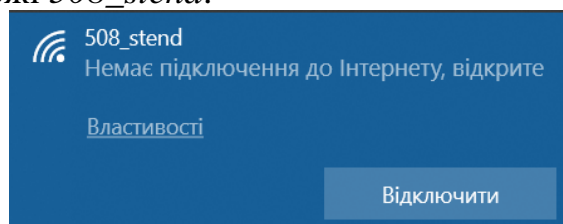
ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Складання схеми лабораторного стенда

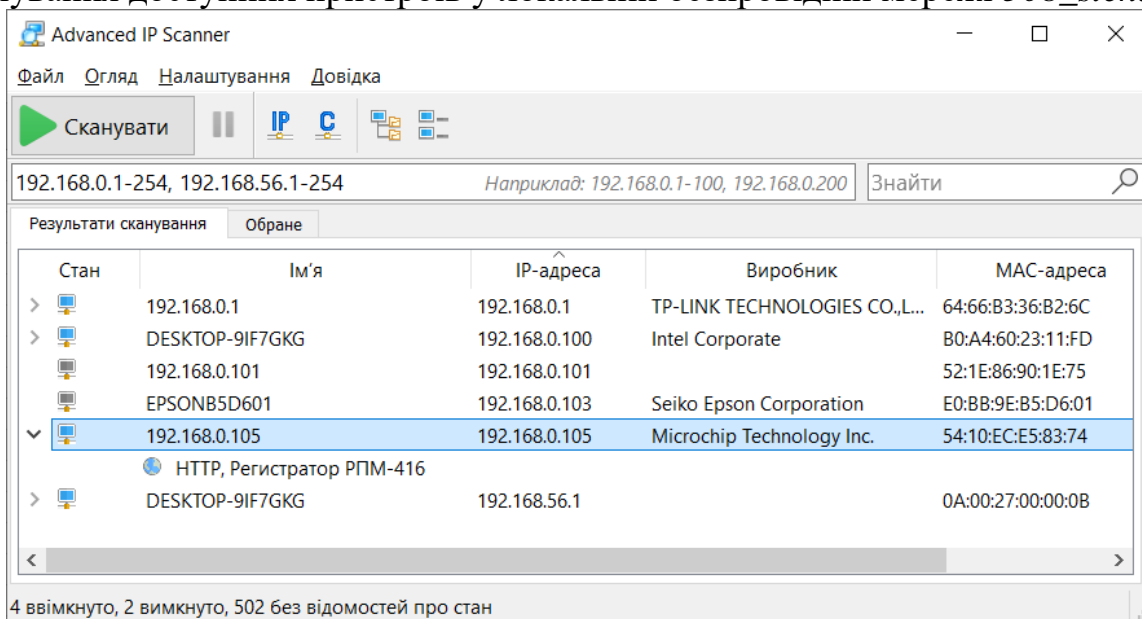
1. Зібрати схему лабораторної установки відповідно до рис. 2.8. Зробити фото лабораторної установки для додавання до звіту.
2. Показати зібрану схему викладачеві.

Підключення до реєстратора за безпроводною мережею

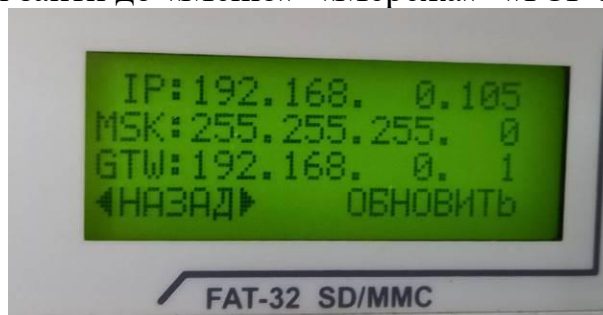
3. Тільки з дозволу викладача подати напругу на лабораторний стенд: ввімкнути автоматичний вимикач ЩРН та автоматичний вимикач QF0 у складі ПР-11.
4. На ноутбучі оновити перелік доступних безпроводних мереж, підключитися до мережі 508_stend.




5. Запустити програму Advanced IP Scanner з метою пошуку IP-адреси реєстратора. В головному вікні програми натиснути кнопку Старт для сканування доступних пристроїв у локальній безпроводній мережі 508_stend.

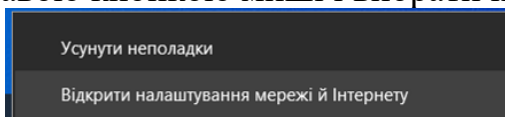


Також IP-адреса та MAC-адреса реєстратора доступні у меню пристрою. Для відображення цих даних на екрані необхідно за допомогою кнопок керування пристроєм зайти до «Меню»—«Мережа»—«TCP-IP»—«Стан»:



6. Для коректної роботи програми «РПМ-416 Аналізатор даних» необхідно, щоб комп'ютер та пристрій знаходилися в одній локальній мережі. Для цього необхідно явно задати IP-адресу та маску мережі комп'ютера.

В правому нижньому кутку екрану на значку безпроводної мережі  необхідно натиснути правою кнопкою миші і вибрати пункт меню:



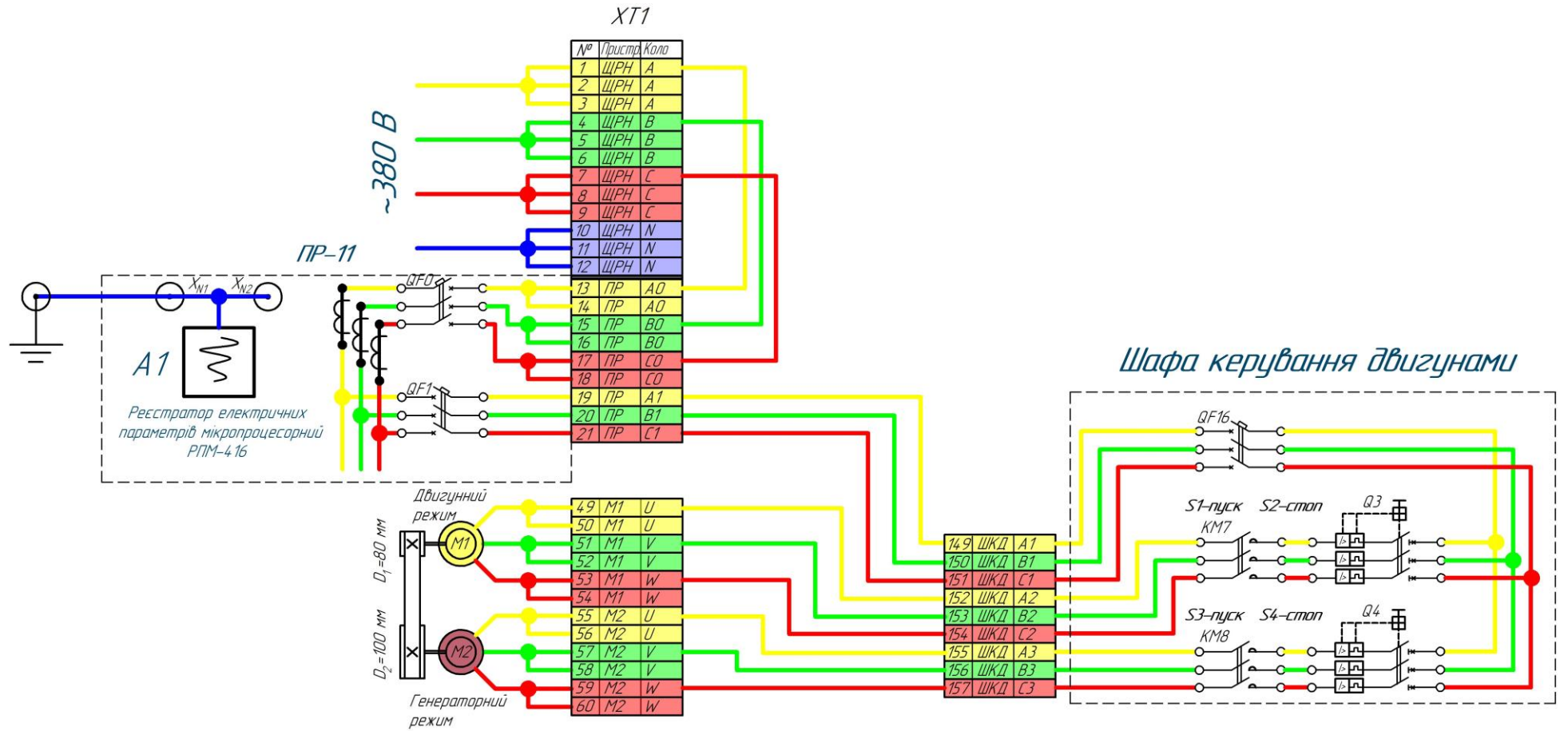
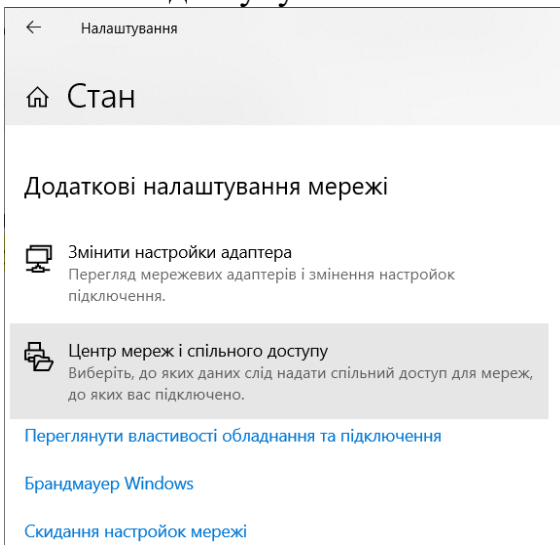
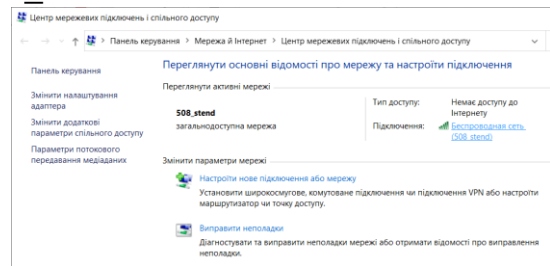


Рисунок 2.8 – Схема з'єднань лабораторного обладнання в ауд. 508 для дослідження функціонування двигунного навантаження

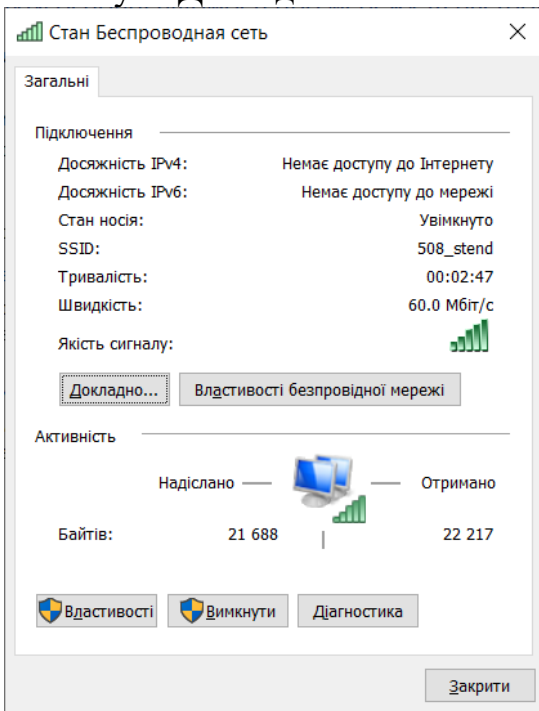
Відкрити Центр мереж і спільного доступу:



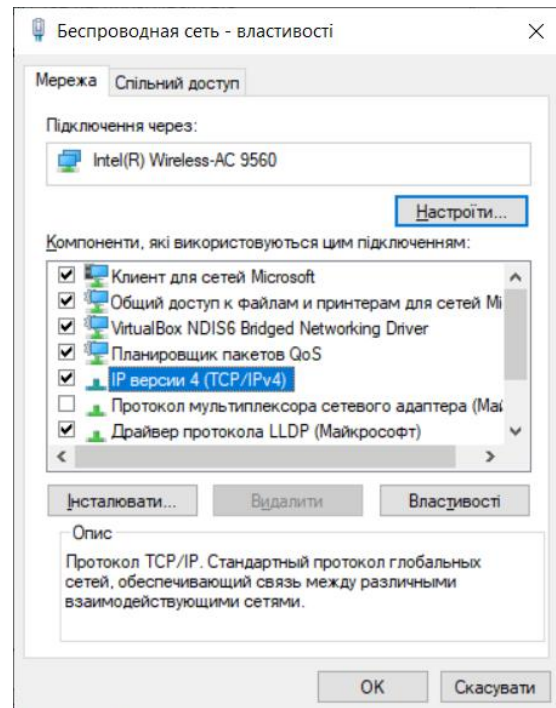
Натиснути на назві мережі 508_stend:



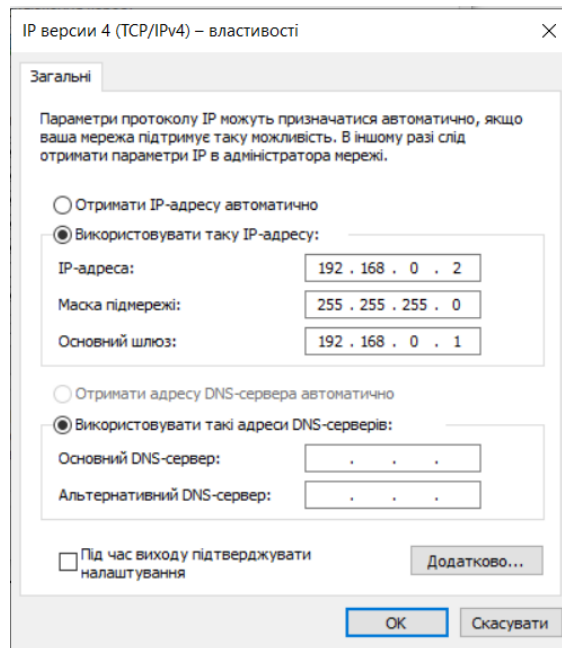
У вікні стану підключення натиснути Докладно:



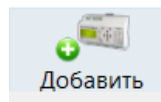
Обрати TCP/IPv4 і натиснути Властивості:



Відмітити «Використовувати таку IP-адресу». Ввести IP-адресу, що не співпадає з наявними в локальній мережі, маску підсистеми (255.255.255.0) та основний шлюз (192.168.0.1):

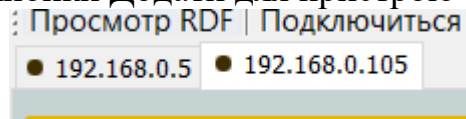


7. Запустити програму «РПМ-416 Аналізатор даних». Натиснути кнопку додавання нового пристрою

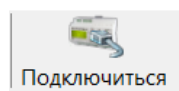


8. Ввести IP-адресу реєстратора. Номер порта змінювати не треба. Можна ввести власну назву пристрою. Заводський пароль admin

Після натискання кнопки Додати для пристрою буде створена вкладка:



Знаходячись на створеній вкладці, необхідно натиснути кнопку «Підключитися»:



На екрані мають відображатися значення робочих параметрів, що вимірюються реєстратором, приклад – на рис. 2.10.

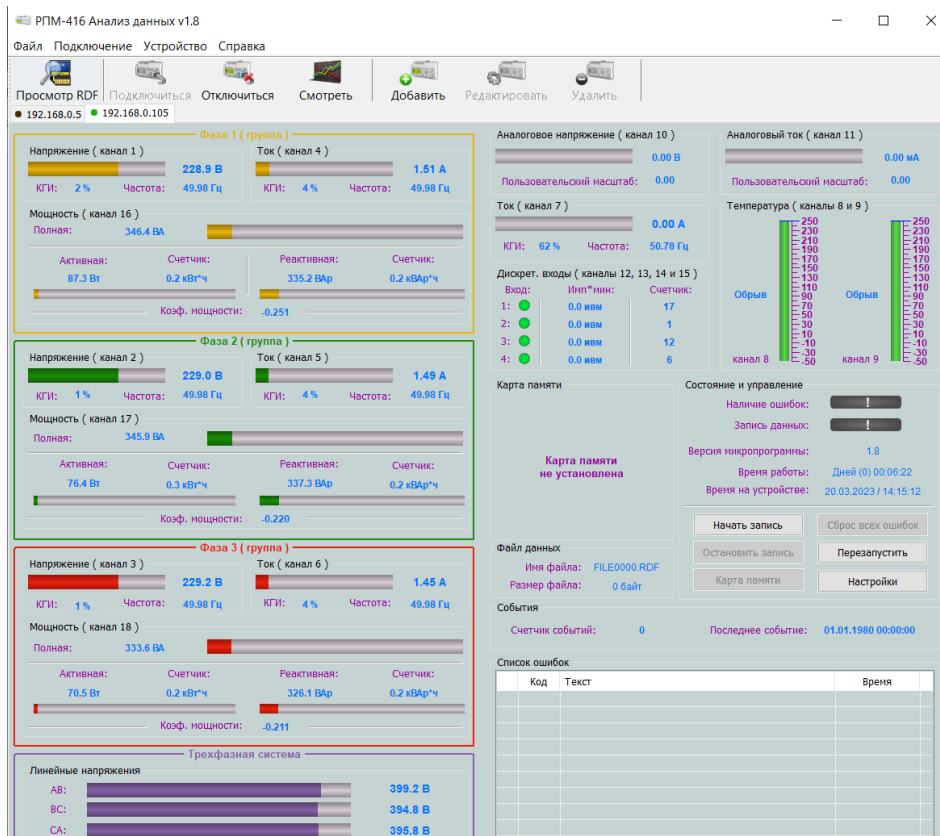


Рисунок 2.10 – Вимірювання значень робочих параметрів в програмі «РПМ-416 Аналізатор даних»

9. Ввімкнути автоматичний вимикач QF1 у складі ПР-11.

10. На шафі керування двигунами (рис. 2.11) натиснути кнопку S1, що запустить двигун M1.

11. Зберегти вигляд вікна програми «Аналізатор даних», задати ім'я файлу «M1_дослід1.jpg».

12. Вимкнути двигун M1 шляхом натискання кнопки S3.

13. Ввімкнути двигун M2 шляхом натискання кнопки S2.

14. Зберегти вигляд вікна програми «Аналізатор даних», задати ім'я файлу «M2_дослід1.jpg».

15. Ввімкнути двигун M1, натиснувши кнопку S1. Таким чином в роботі знаходяться обидва двигуни.

16. Зберегти вигляд вікна програми «Аналізатор даних», задати ім'я файлу «M1_M2_дослід1.jpg».

17. Відключити двигуни, натискаючи кнопки S3, S4.

18. Повторити пп. 10–17 для дослідів 2–5, зберігаючи файли з іменами «...дослід2.jpg»– «...дослід5.jpg».

19. Відключити автоматичні вимикачі у складі ПР-11. Відключити автоматичний вимикач ЩНР.

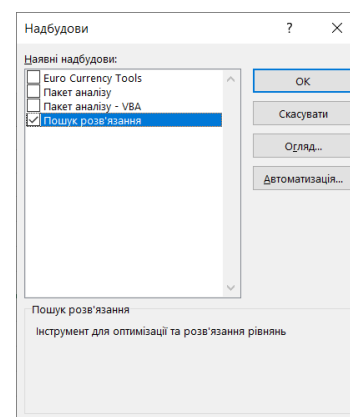
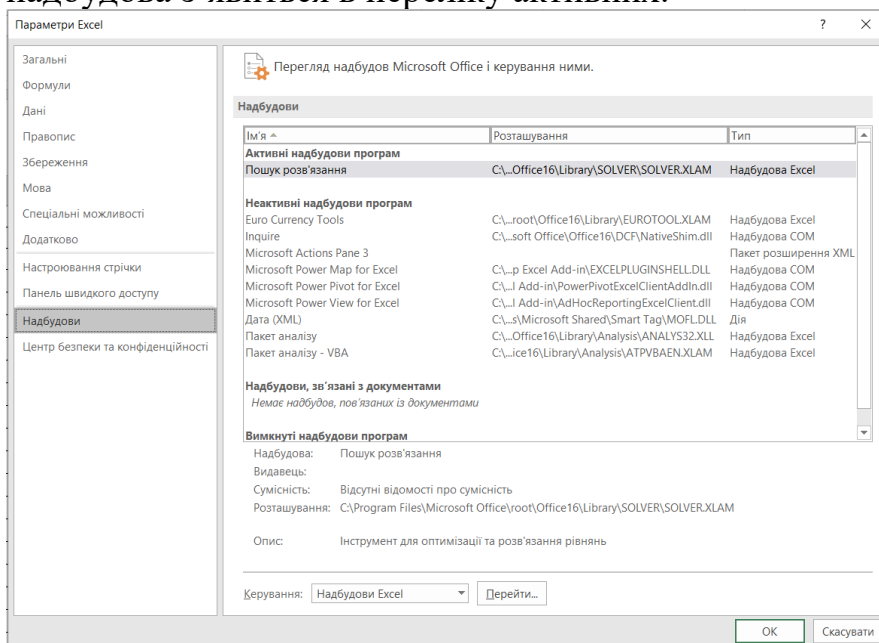
20. Закрити програму «Аналізатор даних».

21. Відповідно до п. 2.6 відкрити вікно властивостей TCP/IPv4 та перевести перемикач в положення «Отримувати IP-адресу автоматично».

ОБРОБЛЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

22. Створити таблицю Excel за зразком табл. 2.2.

23. В Excel підключити надбудову «Пошук розв'язання». Для цього зайти в меню Файл–Параметри, обрати вкладку «Надбудови», в рядку Керування натиснути кнопку Перейти та відмітити пункт «Пошук розв'язання». Вказана надбудова з'явиться в переліку активних.



24. Занести до табл. 2.2 (рядки 4–21) результати вимірювань зі збережених файлів.

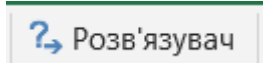
25. До комірок C23–G23 занести початкові значення для втрат механічної потужності. Наприклад, 100.

26. До комірок C24–G24 внести формули відповідно до виразу (2.11).

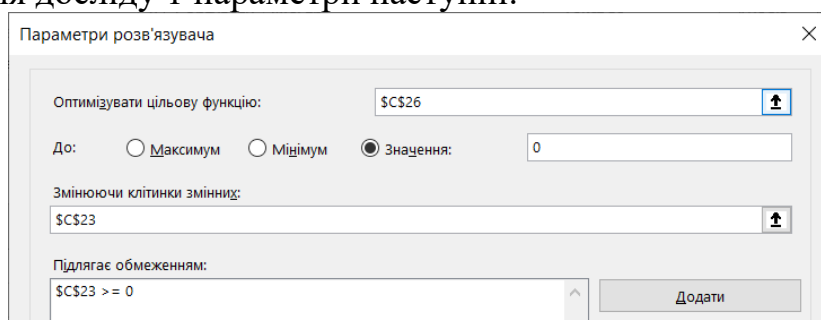
27. До комірок C25–G25 внести формули відповідно до виразу (2.12).

28. До комірок C26–G26 внести вираз функції (2.13).

29. Для кожного з дослідів з використанням надбудови «Пошук розв'язання» знайти корінь функції $F(P_m) = 0$, що відповідає втратам в механічній частині. Для цього необхідно в меню Дані вибрати пункт



В діалоговому вікні налаштувати параметри розв'язувача. Наприклад, для дослідів 1 параметри наступні:



Після натискання кнопки «Розв'язати» корінь буде знайдено.

Таблиця 2.2

Результати вимірювань та розрахунків (таблиця в Excel)

	A	B	C	D	E	F	G
1	Режим	Параметр	Дослід №				
2			1	2	3	4	5
3			Виміряно				
4	M1	I_{1a}, A					
5		I_{1b}, A					
6		I_{1c}, A					
7		$P_{1a}, Вт$					
8		$P_{1b}, Вт$					
9		$P_{1c}, Вт$					
10	M2	I_{2a}, A					
11		I_{2b}, A					
12		I_{2c}, A					
13		$P_{2a}, Вт$					
14		$P_{2b}, Вт$					
15		$P_{2c}, Вт$					
16	M1+M2	I_{3a}, A					
17		I_{3b}, A					
18		I_{3c}, A					
19		$P_{3a}, Вт$					
20		$P_{3b}, Вт$					
21		$P_{3c}, Вт$					
22			Розраховано				
23	$P_m, Вт$		100	100	100	100	100
24	$R_1, Ом$						
25	$R_2, Ом$						
26	$F(P_m)=$						
27	$m[P_m], Вт$						
28	$s[P_m], Вт$						
29	$m[R_1], Ом$						
30	$s[R_1], Ом$						
31	$m[R_2], Ом$						
32	$s[R_2], Ом$						

30. В комірках рядків 27–32 необхідно обчислити математичні сподівання та стандартні відхилення для параметрів P_m , R_1 , R_2 .

31. Побудувати графіки залежностей електричних втрат в кожному з двигунів від струму відповідно до (2.14).

Вміст звіту з лабораторної роботи

1. Тема, мета роботи.
2. Основні відомості щодо улаштування випробувального стенда.
3. Основні залежності, що використовувалися для визначення електричних та механічних втрат у випробувальному стенді.
4. Фотографія лабораторного стенда.
5. Вигляд вікна «Аналізатор даних» для одного з дослідів.
6. Заповнену табл. 2.2 з результатами вимірювань та розрахунків.
7. Графіки залежностей електричних втрат в кожному з двигунів від струму відповідно до (2.14).
8. Висновки.

Контрольні запитання

1. Накресліть енергетичну діаграму асинхронного двигуна. Поясніть, які втрати супроводжують функціонування асинхронного двигуна.
2. Поясніть розподіл потужностей випробувального стенда відповідно до рис. 3.
3. З використанням механічної характеристики асинхронного двигуна поясніть умови переходу двигуна до генераторного режиму роботи.
4. Яким чином визначається ковзання асинхронного двигуна?
5. В якому стані знаходиться двигун при $s=1$, $s=0$, $s=-0.1$?
6. Що показує стандартне відхилення нормально розподіленої випадкової величини?
7. В якому діапазоні знаходяться втрати P_m , відповідно до даних обчислень, з імовірністю 0,95?
8. Поясніть терміни «IP-адреса» та «MAC-адреса» цифрового мережевого пристрою.
9. Що позначає маска підмережі 255.255.255.0 ?
10. Для чого в лабораторній роботі використовується надбудова Excel «Пошук розв'язання»? Чи можна було одержати результат без використання такого інструмента? Яким чином?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

Дослідження режимів роботи двигунного навантаження у складі системи електропостачання за даними засобів вимірювальної техніки

Мета: навчитися аналізувати результати вимірювань для визначення режиму роботи навантаження у складі інтелектуальної СЕП.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

В якості двигунного навантаження аналізується навантажувальний стенд для випробувань приводних блоків конвеєрів, що описаний у попередній лабораторній роботі. Дослідити процеси в системі можна за векторною діаграмою, яка відображає співвідношення між фазами та величинами струмів та напруг. Під час роботи стенда одна з асинхронних машин функціонує в режимі двигуна, а інша – в режимі генератора. Нижче розглядаються векторні діаграми асинхронної машини при роботі в кожному з цих режимів. Об'єднання таких діаграм дає змогу одержати загальну векторну діаграму випробувального стенда.

Розглянемо схему заміщення фази асинхронної машини в статичному режимі (рис. 3.1), де позначено: U_1 – фазна напруга мережі; I_1 – струм фази статора; I_0 – струм холостого ходу; I_2' – приведений струм ротора; r_1 – активний опір статора; r_2' – приведений активний опір ротора; x_1 – індуктивний опір, що відповідає розсіянню статора; x_2' – приведений індуктивний опір, що відповідає розсіянню ротора; r_m, x_m – активний та індуктивний опори намагнічення машини; s – ковзання.

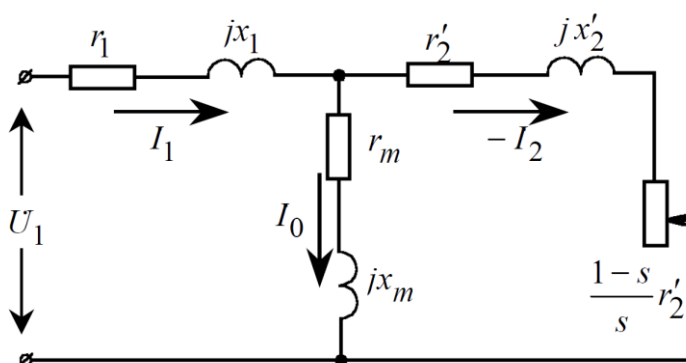


Рисунок 3.1 – Заступна схема асинхронної машини

При роботі в режимі двигуна обертове магнітне поле перетинає провідники статора та ротора в одному напрямку. Це обумовлює співпадіння за фазою електрорушійних сил (ЕРС) статора E_1 та ротора E_2 , рис. 3.2. При функціонуванні в режимі двигуна провідники статора та ротора перетинаються обертовим полем в протилежних напрямках. Це визначає зміну знаку на протилежний ЕРС ротора (рис. 3.3).

Вираз для струму ротора має вигляд:

$$I_2' = \frac{E_2' s}{r_2' + jx_2' s} = \frac{E_2' r_2' s}{r_2'^2 + (x_2' s)^2} - j \frac{E_2' x_2' s^2}{r_2'^2 + (x_2' s)^2}. \quad (3.1)$$

З останньої залежності можна встановити, що перехід до генераторного режиму супроводжується зміною напрямку тільки активної складової струму ротора через зміну знаку моменту. Реактивна складова зберігає свій знак і при від'ємному ковзанні.

З векторної діаграми генератора (рис. 3.3) можна бачити, що між \dot{U}_1 та \dot{I}_1 кут зсуву фаз становить $\varphi_2 > \frac{\pi}{2}$. Це визначає причиною виникнення струму I_1 не напругу мережі, а електрорушійну силу E_1 .

Аналогічний висновок може бути зроблений на основі аналізу виразів для активної та реактивної потужностей. Вираз для електромагнітної (активної) потужності є наступним:

$$P_{em} = m_1 (I_2')^2 \frac{r_2'}{s} = \frac{m_1 U_1^2 \frac{r_2'}{s}}{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + x_k^2} = \frac{m_1 U_1^2 r_2' s}{(r_1 s + r_2')^2 + (x_k s)^2}, \quad (3.2)$$

причому m_1 – число фаз обмотки статора; $x_k = x_1 + x_2'$ – індуктивний опір короткого замикання.

Залежність (3.2) дає змогу встановити, що при переході до генераторного режиму активна потужність змінює свій знак. Це визначає передачу потужності з вторинного кола (з ротора) до первинного (до статора), тобто генератор віддає активну потужність до електромережі.

Реактивна потужності вторинного контуру обчислюється як:

$$\begin{aligned} Q_2 &= m_1 U_1 I_2' \sin \varphi_2 = \frac{m_1 U_1^2}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + x_k^2}} \cdot \frac{x_k}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + x_k^2}} = \\ &= \frac{m_1 U_1^2 x_k s^2}{(r_1 s + r_2')^2 + (x_k s)^2}, \end{aligned} \quad (3.3)$$

де φ_2 – фазове зрушення між ЕРС і струмом ротора генератора.

Залежність (3.3) дозволяє встановити, що знак реактивної потужності зберігається незалежно від того, в якому режимі працює машина: двигунному або генераторному. Асинхронна машина як у двигунному, так і у генераторному режимі споживає реактивну потужність з мережі. Тобто генераторний режим є можливим тільки за наявності мережі, яка може постачати асинхронному генератору реактивну потужність, що необхідна для створення магнітного поля.

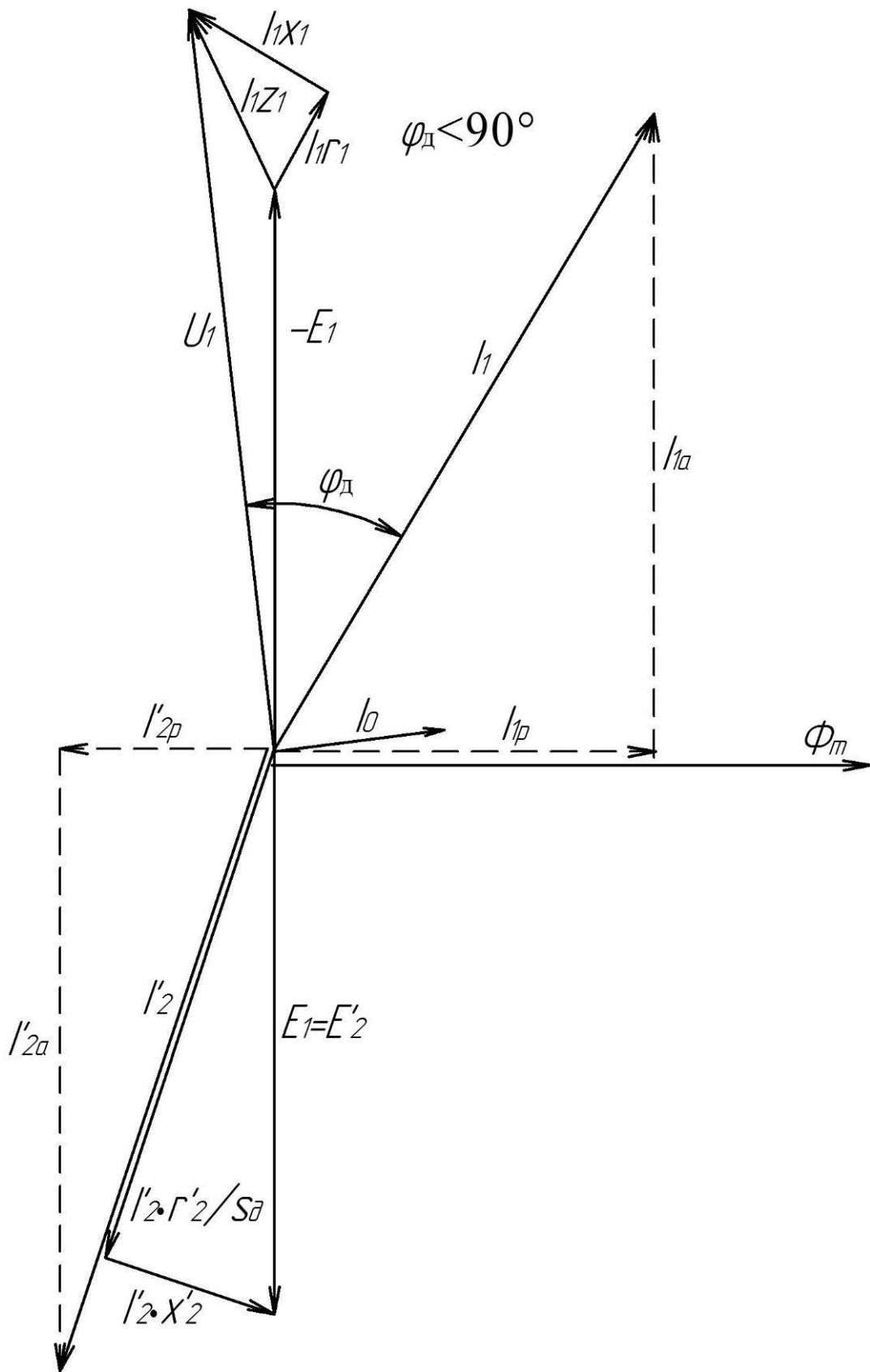


Рисунок 3.2 – Векторна діаграма асинхронного двигуна

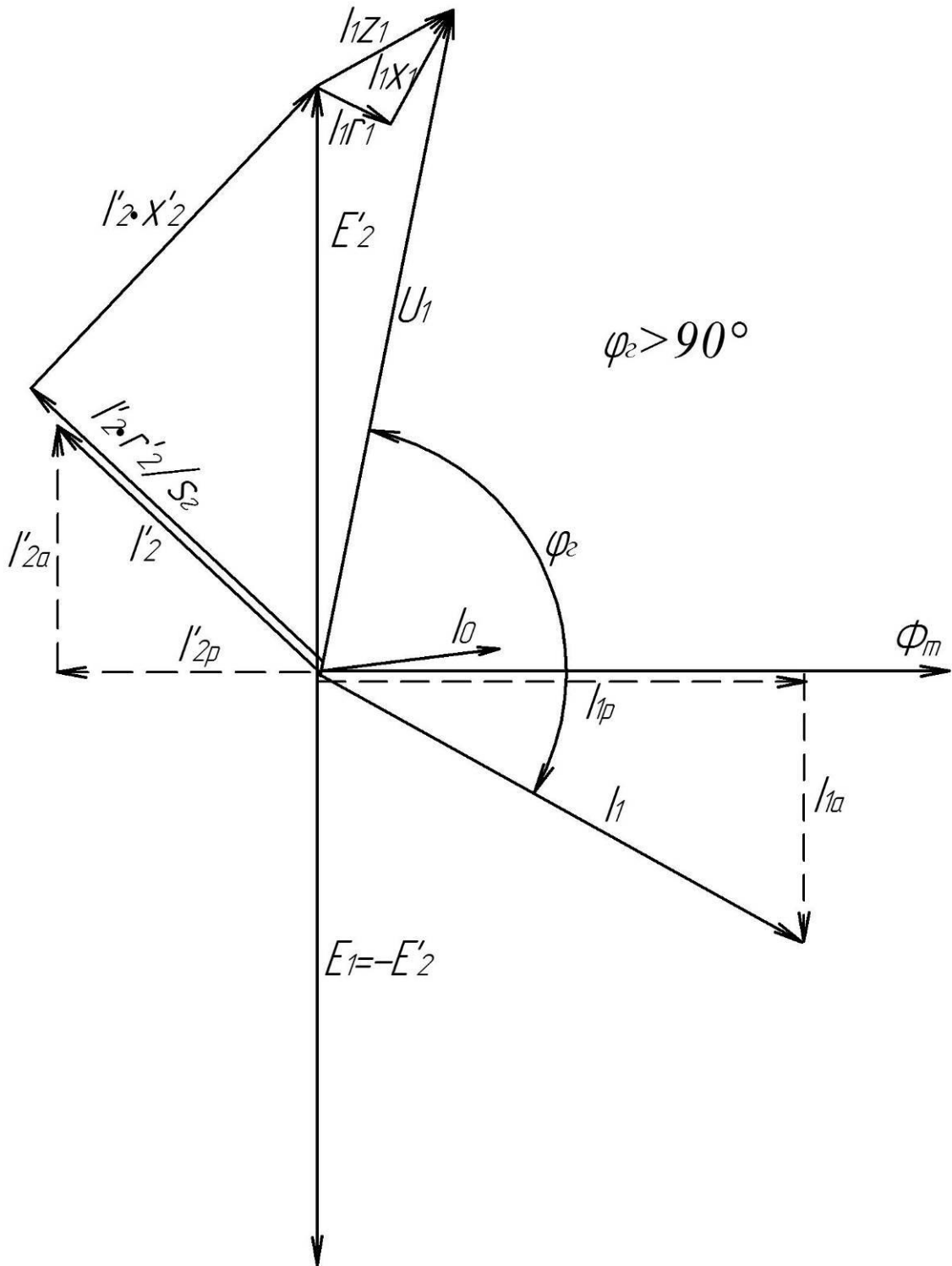


Рисунок 3.3 – Векторна діаграма асинхронного генератора

Узагальнена векторна діаграма випробувального стенда складається з векторних діаграм двигуна (рис. 3.2) та генератора (рис. 3.3). Такі діаграми суміщаються векторами напруг $\dot{U}_{1\partial}$ та \dot{U}_{12} (рис. 3.4), оскільки машини під'єднуються до спільної мережі (рис. 3.5):

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_{1\partial} = \dot{U}_{12}. \quad (3.4)$$

Вектор струму у загальній частині мережі \dot{I}_3 дорівнює геометричній сумі вектора струму $\dot{I}_{1\partial}$ статора двигуна та вектором струму \dot{I}_{12} генератора:

$$\dot{I}_3 = \dot{I}_{1\partial} + \dot{I}_{12}. \quad (3.5)$$

Рис. 3.6 ілюструє фрагмент узагальненої векторної діаграми, що показує фазові співвідношення між вектором напруги мережі \dot{U}_1 та векторами струмів $\dot{I}_{1\partial}$ та \dot{I}_{12} .

Аналіз наведеної векторної діаграми, що наведена на рис. 3.6, дозволяє встановити наступне.

1. Активні складові струму статора двигуна ($I_{1\partial a}$) та генератора (I_{12a}) знаходяться в протифазі, що визначає споживання двигуном та віддачу генератором активної потужності до загальної мережі. Активна складова загального струму визначається як:

$$I_{3,a} = I_{1\partial a} - I_{12a}, \quad (3.6)$$

що говорить про споживання системою активної потужності з загальної мережі лише для покриття втрат.

2. Реактивні складові струмів $I_{1\partial p}$ та I_{12p} знаходяться в фазі, причому:

$$I_{3,p} = I_{1\partial p} + I_{12p}, \quad (3.7)$$

що відображає споживання як двигуном, так і генератором реактивної потужності з мережі живлення для створення основного магнітного потоку.

3. Для фазових кутів двигуна (φ_∂), генератора (φ_2) та зсуву фаз у загальній мережі (φ_3) виконується співвідношення:

$$\varphi_\partial < \varphi_3 < \varphi_2, \quad (3.8)$$

що слідує з виразів (3.4) та (3.5).

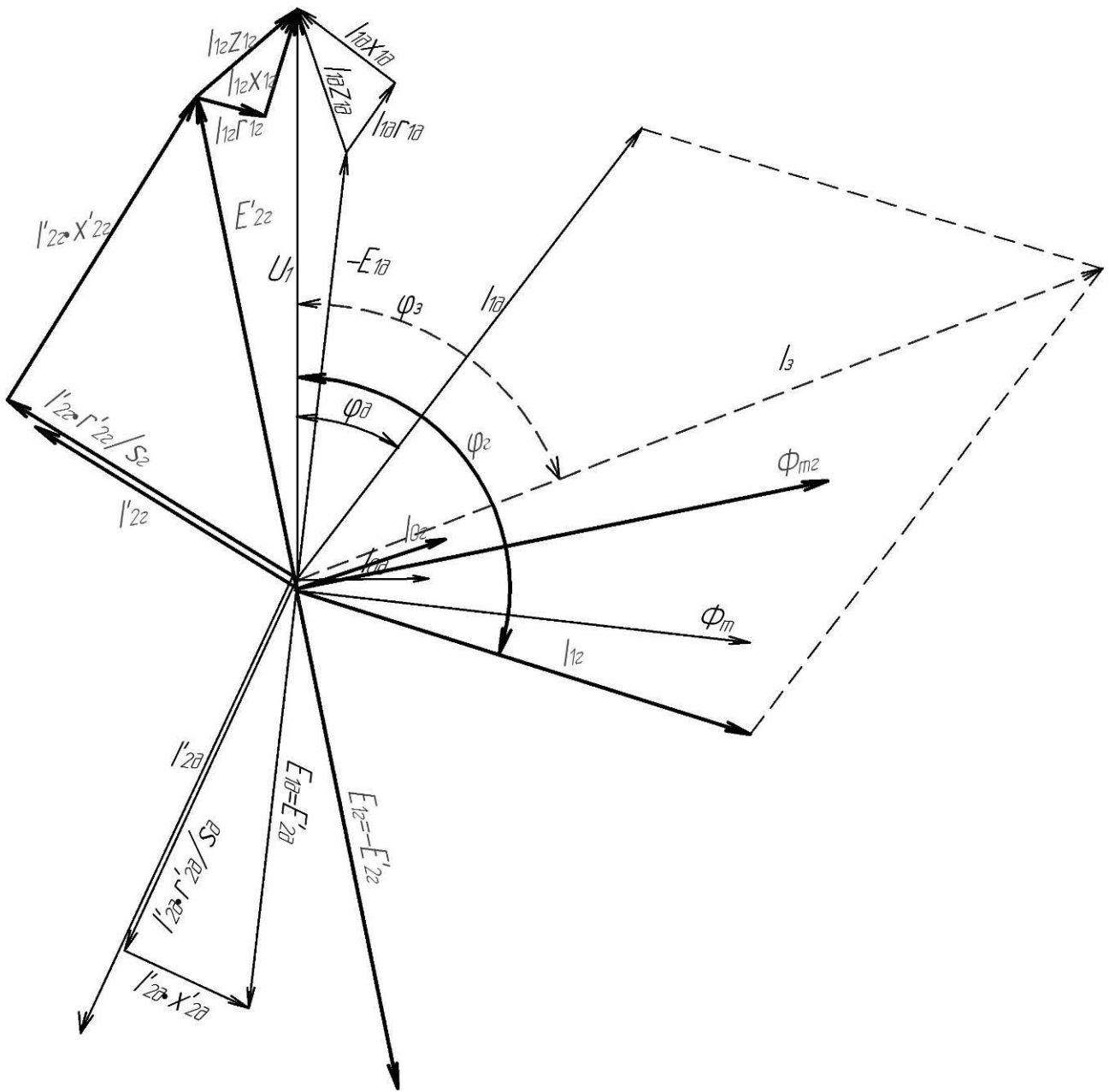


Рисунок 3.4 – Узагальнена вектора діаграма системи АДД–АДГ

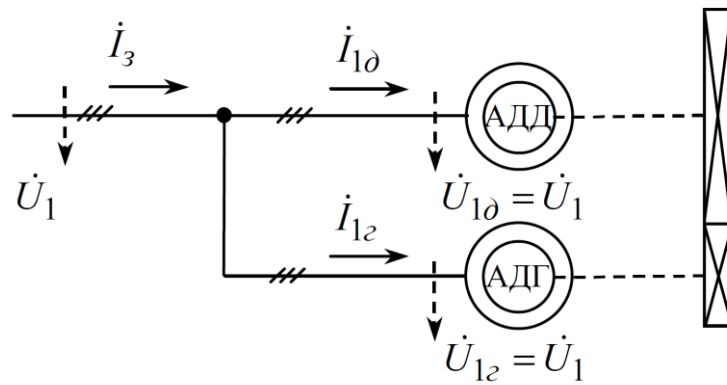


Рисунок 3.5 – Спрощена схема стенду, прийнята для побудови векторної діаграми

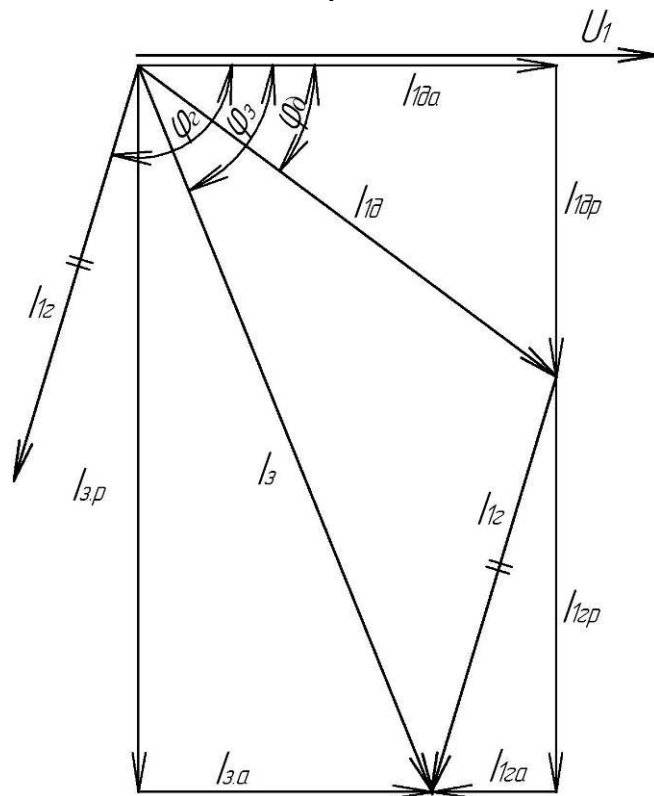


Рисунок 3.6 – Фрагмент узагальненої векторної діаграми системи

ЛАБОРАТОРНЕ УСТАТКУВАННЯ

Лабораторна робота проводиться з використанням лабораторного стенда, що розміщений в ауд. 508. Для проведення роботи використовується наступне обладнання.

1. Система двох асинхронних машин, що з'єднані за допомогою ремінної передачі, рис. 3.7. Машина М1 працює у двигунному режимі, М2 – у генераторному. Значення параметрів машин наведено у табл. 3.1.

2. Шафа керування двома двигунами, рис. 3.8.

3. Тахометри для вимірювання частоти обертання роторів двигунів, цифрові індикатори яких виведені на передню панель лабораторного стенда, рис. 3.9.

4. Панель з цифровими лічильниками електроенергії, рис. 3.10, що використовуються для вимірювання значень робочих параметрів двигунів.

5. Мікропроцесорний реєстратор параметрів РПМ-416, у складі ПР-11, що використовується для вимірювання значень параметрів у загальній частині мережі.

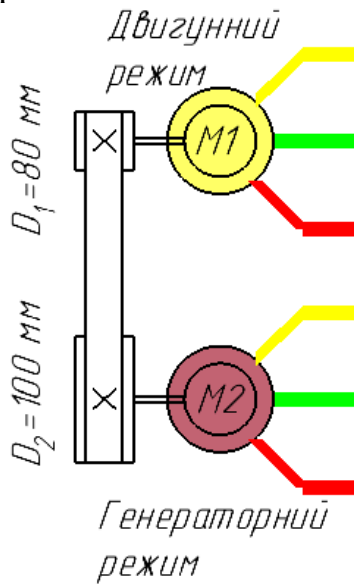


Рисунок 3.7 – Механічне з'єднання асинхронного двигуна та генератора

Таблиця 3.1

Значення параметрів асинхронних машин, що використовуються для досліджу

Двигун	Тип	n_c об/хв	P_H кВт	s %	η %	$\cos\varphi$	$\frac{M_{max}}{M_H}$	$\frac{M_n}{M_H}$	$\frac{I_n}{I_H}$
M1	A0L2-11-4У3	1500	0,6	10,0	72,0	0,76	2,2	1,8	7,0
M2	A0L2-11-6У3	1000	0,4	9,0	68,0	0,65	2,2	1,8	6,5

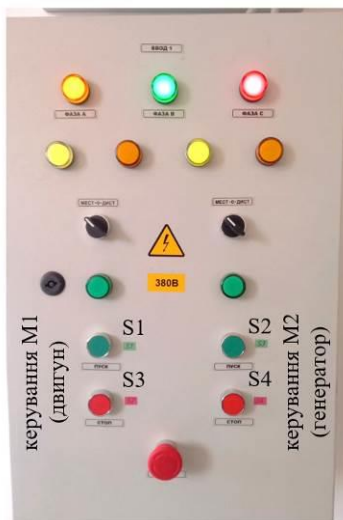


Рисунок 3.8 – Шафа керування двома двигунами

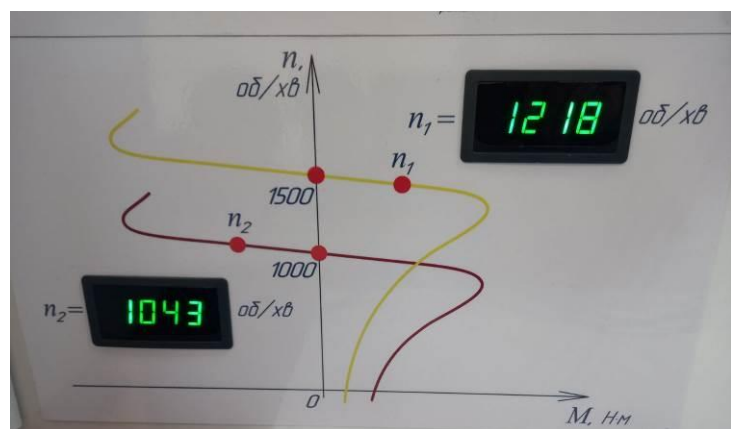


Рисунок 3.9 – Цифрові індикатори тахометрів

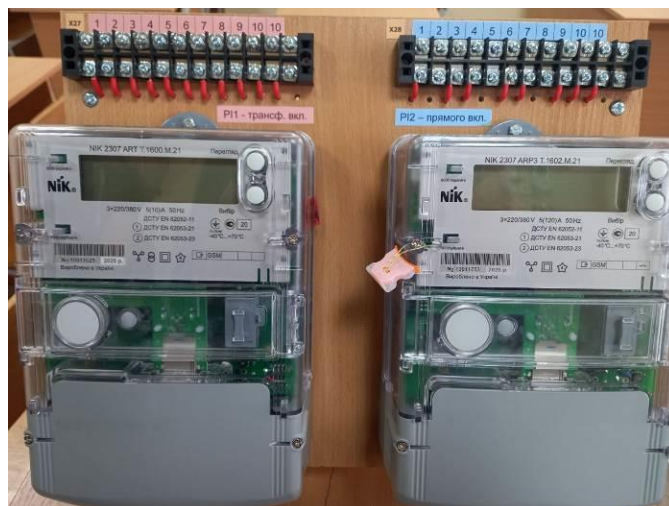


Рисунок 3.10 – Панель з цифровими лічильниками електроенергії, що використовується для вимірювань

ЗАВДАННЯ

На основі вимірювань параметрів електродвигунів лабораторного стенда проаналізувати особливості режимів їх роботи з використанням векторної діаграми.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Складання схеми лабораторного стенда

1. Зібрати схему лабораторної установки відповідно до рис. 3.11. Загальний вигляд під'єднання панелі цифрових лічильників до стенда ілюструє рис. 3.12. Зробити фото лабораторної установки для додавання до звіту.
2. **Показати зібрану схему викладачеві.**

Підключення до реєстратора за Wi-Fi через браузер

3. **Тільки з дозволу викладача подати напругу на лабораторний стенд:** ввімкнути автоматичний вимикач ЩРН та автоматичний вимикач QF0 у складі ПР-11.
4. На ноутбучі оновити перелік доступних безпроводних мереж, підключитися до мережі *508_stend*.
5. За допомогою програми Advanced IP Scanner або вбудованого меню визначити IP-адресу реєстратора.
6. У вікні інтернет-браузера перейти за IP-адресою реєстратора, наприклад: 192.168.0.105/auth.html.
7. Вказати пароль admin.
8. Перейти до вкладки «Вимірювання власні».

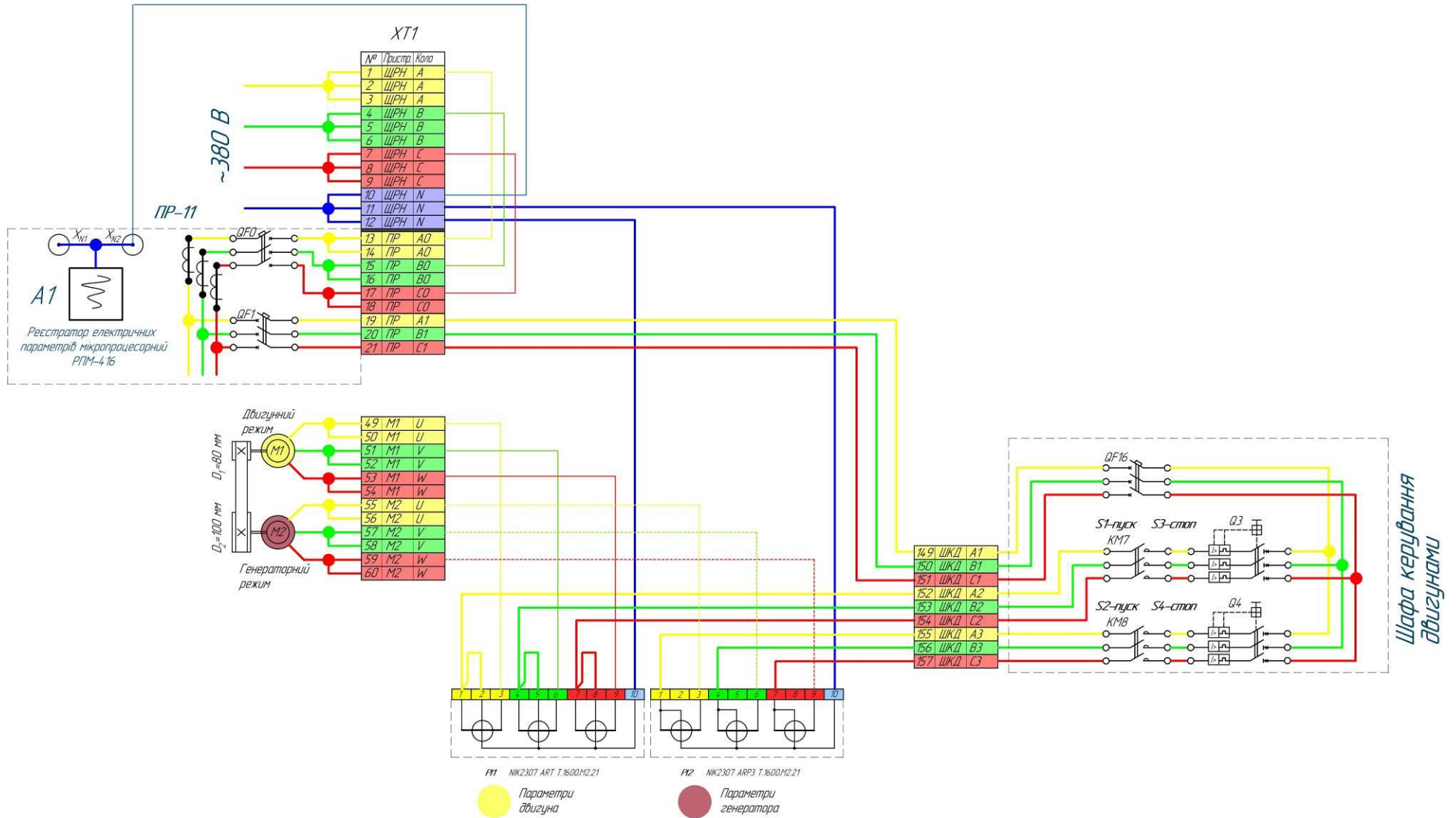


Рисунок 3.11 – Схема з'єднань лабораторного обладнання в ауд. 508 для проведення дослідів

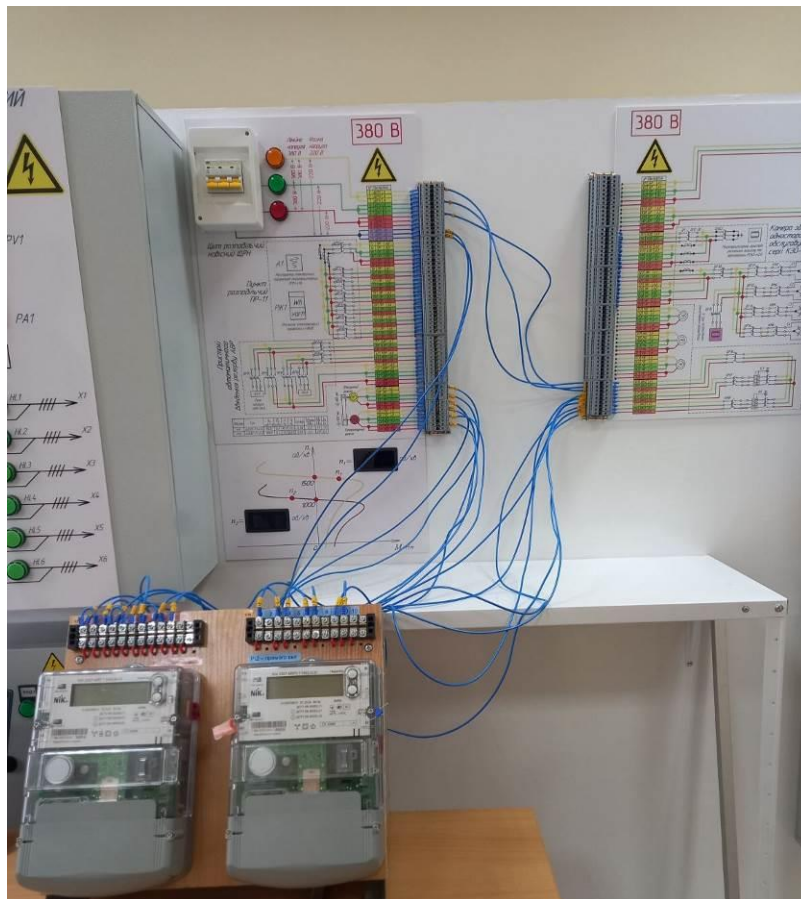


Рисунок 3.12 – Підключення панелі цифрових лічильників електроенергії до лабораторного стенда

Зняття показів вимірювальних приладів

9. Ввімкнути автоматичний вимикач QF1 у складі ПР–11, що подає напругу на шафу керування двигунами.

10. Ввімкнути двигуни М1, М2 за допомогою кнопок S1, S2 на шафі керування двигунами.

11. Занести до табл . 3.2. результати вимірювання частоти обертання за показами тахометрів. Для кожного двигуна необхідно записати по 5 вибірових значень.

Таблиця 3.2

Результати вимірювання частоти обертання за показами тахометрів

Параметр	M1	M2
Вибіркові значення частоти обертання двигуна, об/хв	$n_1 =$	$n_2 =$
	$n_1 =$	$n_2 =$
	$n_1 =$	$n_2 =$
	$n_1 =$	$n_2 =$
	$n_1 =$	$n_2 =$
Математичне сподівання частоти обертання двигуна, об/хв	$\bar{n}_1 =$	$\bar{n}_2 =$

Таблиця 3.3

Результати вимірювання параметрів двигунів цифровими лічильниками

Код OBIS	Параметр	РІ1 (двигун М1)	РІ2 (генератор М2)
Виміряно			
1.7.0	Активна потужність А+ (QI+QIV) сумарно по фазам, кВт	$P_{M1} =$	
21.7.0	Активна потужність А+ (QI+QIV) фази L1, кВт		
41.7.0	Активна потужність А+ (QI+QIV) фази L2, кВт		
61.7.0	Активна потужність А+ (QI+QIV) фази L3, кВт		
2.7.0	Активна потужність А– (QII+QIII) сумарно по фазам, кВт		$P_{M2} =$
22.7.0	Активна потужність А– (QII+QIII) фази L1, кВт		
42.7.0	Активна потужність А– (QII+QIII) фази L2, кВт		
62.7.0	Активна потужність А– (QII+QIII) фази L3, кВт		
31.7.0	Струм фази L1, А	$I_{L1} =$	$I_{L1} =$
51.7.0	Струм фази L2, А	$I_{L2} =$	$I_{L2} =$
71.7.0	Струм фази L3, А	$I_{L3} =$	$I_{L3} =$
33.7.0	Коефіцієнт потужності фази L1	$\cos \varphi_{Ma} =$	$\cos \varphi_{Ma} =$
53.7.0	Коефіцієнт потужності фази L2	$\cos \varphi_{Mb} =$	$\cos \varphi_{Mb} =$
73.7.0	Коефіцієнт потужності фази L3	$\cos \varphi_{Mc} =$	$\cos \varphi_{Mc} =$
3.7.0	Реактивна потужність R+ (QI+QII) сумарно по фазам, кВАр	$Q_{M1} =$	$Q_{M2} =$
23.7.0	Реактивна потужність R+ (QI+QII) фази L1, кВАр		
43.7.0	Реактивна потужність R+ (QI+QII) фази L2, кВАр		
63.7.0	Реактивна потужність R+ (QI+QII) фази L3, кВАр		
4.7.0	Реактивна потужність R– (QIII+QIV) сумарно по фазам, кВАр		
24.7.0	Реактивна потужність R– (QIII+QIV) фази L1, кВАр		
44.7.0	Реактивна потужність R– (QIII+QIV) фази L2, кВАр		
64.7.0	Реактивна потужність R– (QIII+QIV) фази L3, кВАр		
Обчислено			
$I_M = (I_{L1} + I_{L2} + I_{L3}) / 3, A$		$I_{M1} =$	$I_{M2} =$
$\cos \varphi_M = (\cos \varphi_{Ma} + \cos \varphi_{Mb} + \cos \varphi_{Mc}) / 3$		$\cos \varphi_{M1} =$	$\cos \varphi_{M2} =$

12. Покази цифрових лічильників занести до табл. 3.3.

13. У вікні браузера **натиснути кнопку Оновити**, зберегти вигляд екрана з даними вимірювань у графічний файл (або декілька файлів, або надрукувати вигляд веб-сторінки «Вимірювання власні» у pdf).

14. Відключити двигуни М1, М2 за допомогою кнопок S3, S4.

15. Відключити автоматичні вимикачі QF1, QF0 та ЩРН.

16. Занести покази реєстратора зі графічного файлу до табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Результати вимірювання параметрів загальної частини мережі реєстратором

Виміряно		Обчислено	
$U_a, \text{В}$		$U = \frac{U_a + U_b + U_c}{3}, \text{В}$	
$U_b, \text{В}$			
$U_c, \text{В}$			
$I_a, \text{А}$		$I_{M12} = \frac{I_a + I_b + I_c}{3}, \text{А}$	
$I_b, \text{А}$			
$I_c, \text{А}$			
$P_a, \text{Вт}$		$P_{sm} = P_a + P_b + P_c, \text{Вт}$	
$P_b, \text{Вт}$			
$P_c, \text{Вт}$			
$Q_a, \text{ВАр}$		$Q = Q_a + Q_b + Q_c, \text{ВАр}$	
$Q_b, \text{ВАр}$			
$Q_c, \text{ВАр}$			
$\cos\varphi_a$		$\cos\varphi_{M12} = \frac{\cos\varphi_a + \cos\varphi_b + \cos\varphi_c}{3}$	
$\cos\varphi_b$			
$\cos\varphi_c$			

5 ОБРОБЛЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

17. Виконати обчислення необхідних величин у табл. 3.2–3.4.

18. **Визначення режиму роботи двигунів за частотами обертання.** Порівняти математичні сподівання фактичних частот обертання М1 та М2 з синхронними частотами (табл. 3.1) та встановити режим роботи.

19. **Визначення втрат активної потужності.** Занести до табл. 3.5 виміряні значення, обчислити втрати активної потужності та порівняти їх з виміряною величиною.

20. **Визначення споживання реактивної потужності.** Занести до табл. 3.6 виміряні значення, обчислити споживання реактивної потужності та порівняти їх з виміряною величиною.

21. **Визначення фазових кутів.** Занести до табл. 3.7 виміряні значення коефіцієнтів потужності та обрахувати фазові кути.

22. **Побудова векторної діаграми струмів.** Занести до табл. 3.7 виміряні значення струмів. З використанням даних табл. 3.7 побудувати векторну діаграму випробувального стенду відповідно до зразка (рис. 3.6).

Таблиця 3.5

**Визначення втрат активної потужності в електричних машинах
та механічній передачі**

Активна потужність, що споживається двигуном М1 P_{M1} , Вт	Активна потужність, що віддається генератором М2 P_{M2} , Вт	Активні втрати в електричних машинах та механічній передачі, Вт		
		Розраховано $P'_{вт} = P_{M1} - P_{M2}$	Виміряно реєстратором $P_{вт}$	Відносна похибка $\delta = \frac{P_{вт} - P'_{вт}}{P_{вт}} \cdot 100\%$

Таблиця 3.6

Визначення споживання реактивної потужності

Реактивна потужність, що споживається двигуном М1 Q_{M1} , ВАр	Реактивна потужність, що споживається генератором М2 Q_{M2} , ВАр	Споживання реактивної потужності, ВАр		
		Розраховано $Q'_{M12} = Q_{M1} + Q_{M2}$	Виміряно реєстратором Q_{M12}	Відносна похибка $\delta = \frac{Q_{M12} - Q'_{M12}}{Q_{M12}} \cdot 100\%$

Таблиця 3.7

Дані для побудови векторної діаграми

$\cos \varphi_{M1}$	φ_{M1} , град.	$\cos \varphi_{M2}$	φ_{M2} , град.	$\cos \varphi_{M12}$	φ_{M12} , град.
I_{M1} , А		I_{M2} , А		I_{M12} , А	

Вміст звіту з лабораторної роботи

1. Тема, мета роботи.
2. Фото лабораторної установки.
3. Заповнені табл. 3.2–3.4.
4. Аналіз режиму роботи двигунів за частотами обертання відповідно до п.18.
5. Заповнені табл. 3.5–3.7.
6. Векторна діаграма, що ілюструє фазові співвідношення між напругою та струмами випробувального стенда.
7. Висновки з аналізом одержаних результатів.

Контрольні запитання

1. Проаналізуйте заступну схему асинхронної машини, рис. 1. Які величини позначені на схемі? Яка їх фізична сутність?

2. Проаналізуйте векторну діаграма асинхронного двигуна, рис. 2. Поясніть порядок її побудови. Які величини показані на діаграмі? Поясніть положення векторів.

3. Проаналізуйте векторну діаграма асинхронного генератора, рис. 3. Поясніть порядок її побудови. Які величини показані на діаграмі? Поясніть положення векторів.

4. Проаналізуйте векторну діаграму функціонування асинхронного двигуна та генератора у складі випробувального стенда, рис. 4. Поясніть порядок її побудови. Які величини показані на діаграмі? Поясніть положення векторів.

5. Проаналізуйте фрагмент узагальненої векторної діаграми випробувального стенда, рис. 6. Поясніть, яким чином положення векторів струму відносно вектора напруги визначає напрямки активної та реактивної потужностей кожної електричної машини у схемі стенда.

6. Накресліть комплексну площину, позначте квадранти та проаналізуйте умови функціонування активно-реактивного навантаження при розташуванні вектора повної потужності в кожному квадранті.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

Розшифрування OBIS кодів лічильників електроенергії інтелектуальних систем електропостачання

Мета: освоїти навички зчитування показників цифрових лічильників електроенергії за кодами OBIS.

1 ОПИС ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Для виконання лабораторної роботи використовується наступне обладнання (рис. 4.1):

1. Цифровий лічильник електроенергії трансформаторного підключення типу NIK2307 ART T.1600.M2.21, умовне позначення – P11.

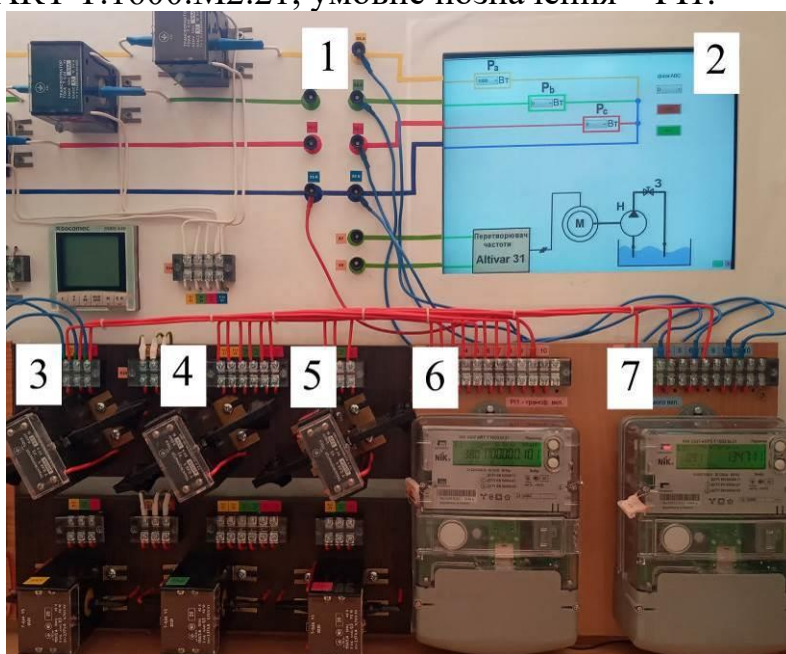


Рисунок 4.1 – Лабораторний стенд для дослідження функціонування цифрових лічильників: 1 – клеми трифазного регульованого навантаження; 2 – екран для керування навантаженням; 3, 4, 5 – вимірювальні трансформатори струму; 6 – лічильник електроенергії P11 трансформаторного підключення типу NIK2307 ART T.1600.M2.21; 7 – лічильник P12 прямого підключення типу NIK2307 ARP3 T.1600.M2.21

2. Цифровий лічильник електроенергії прямого підключення типу NIK2307 ARP3 T.1600.M2.21, умовне позначення – P12.

3. Вимірювальні трансформатори струму (по три кожного типу): Т-0,66-600/5 класу точності 0,5 S; Т-0,66-300/5 класу точності 0,5 S; Т-0,66-100/5 класу точності 0,5.

2 ЗАВДАННЯ

Зчитати покази лічильників з використанням рідкокристалічного дисплея.

3 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Користуючись технічним описом лічильників, що доступний на сайті <https://nik.net.ua/> виробника, розшифрувати умовні позначення: лічильник РІ1 – NIK2307 ART T.1600.M2.21; лічильник РІ2 – NIK2307 ARP3 T.1600.M2.21.

2. Зібрати схему лабораторного стенду в ауд. 509, рис. 4.2. Без дозволу викладача напругу на стенд не подавати.

3. З дозволу викладача ввімкнути лабораторний стенд (автоматичні вимикачі 220В, 380В). Дочекатися завантаження комп'ютера.

4. Користуючись екраном для керування навантаження (поз. 2 на рис. 4.1), подати на вузол обліку навантаження відповідно до табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Навантаження вузла обліку

Варіант	P_a , Вт	P_b , Вт	P_c , Вт	Варіант	P_a , Вт	P_b , Вт	P_c , Вт
1	500	400	1000	15	500	700	300
2	200	600	1100	16	300	800	500
3	600	800	600	17	800	700	600
4	700	600	700	18	700	600	900
5	800	700	400	19	400	600	1000
6	1000	700	400	20	300	1100	800
7	900	600	300	21	300	500	400
8	300	500	400	22	200	1100	1000
9	400	1100	800	23	400	1000	600
10	1100	500	300	24	800	300	900
11	200	500	800	25	600	200	500
12	800	1100	600	26	900	600	800
13	400	300	900	27	1000	800	700
14	700	600	1000	28	500	600	800

5. Записати покази лічильників до табл. 4.2, 4.3, користуючись рідкокристалічними дисплеями та кнопками «Перегляд», «Вибір». Натиснути кнопку «Перегляд», записати до таблиці код параметру та вимірне значення. Для переходу до підменю необхідно натиснути кнопку «Вибір». Для переходу до наступного меню натиснути «Перегляд».

6. При оформленні звіту до табл. 4.2 та 4.3 занести розшифровку кодів OBIS. Для цього можна скористатися додатком В.

Таблиця 4.2

Покази лічильника РІ1 трансформаторного підключення,
зняті з рідкокристалічного дисплея

OBIS	Значення параметра	Розшифрування коду OBIS

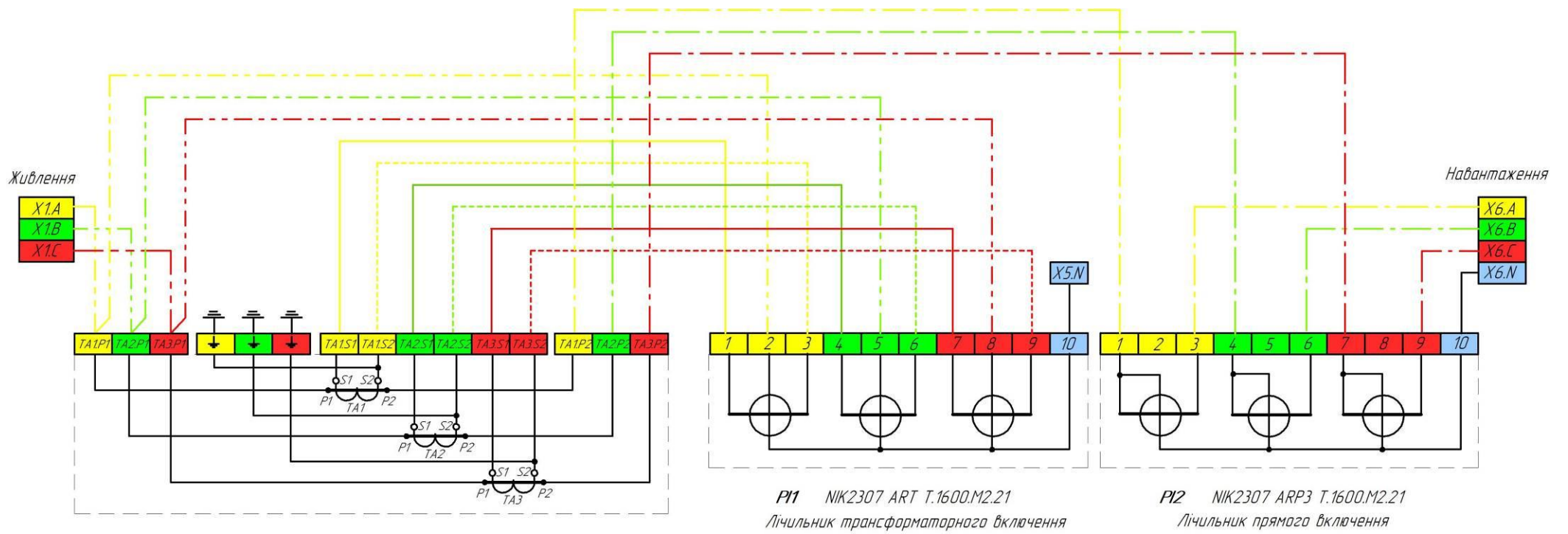


Рисунок 4.2 – Схема під'єднання лічильників до лабораторного стенда

Таблиця 4.3

Покази лічильника РІ2 прямого підключення,
зняті з рідкокристалічного дисплея

OBIS	Значення параметра	Розшифрування коду OBIS

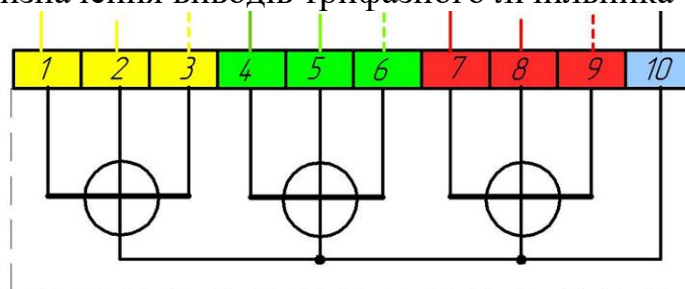
7. Під час оформлення звіту за даними табл. 4.3 необхідно побудувати на комплексній площині векторні діаграми потужностей по кожній фазі окремо та сумарно по всім фазам. Кожну векторну діаграму можна будувати в окремій системі координат.

Вміст звіту з лабораторної роботи

1. Тема, мета роботи.
2. Фотографія підключення лічильників на стенді.
3. Розшифровка типів лічильників.
4. Принципова схема підключення лічильників до лабораторного стенду.
5. Заповнені табл. 4.2, 4.3.
6. Векторі діаграми потужностей (для кожної фази та сумарно по всім фазам).
7. Висновки.

Контрольні питання

1. Для чого призначений вимірювальний трансформатор струму? Як позначаються його виводи? Який номінальний вторинний струм? Чи можна розмикати вторинну обмотку? Чому?
2. Поясніть призначення виводів трифазного лічильника електроенергії:



3. Накресліть принципову електричну схему трифазного вузла комерційного обліку електроенергії.
4. Що позначає клас точності лічильника електроенергії?
5. Проаналізуйте мінімальні вимоги до точності та функціональності засобів вимірювальної техніки, що використовуються для комерційного обліку електроенергії, відповідно до Кодексу комерційного обліку електричної енергії.
6. Дайте визначення поняттю «вузол обліку електричної енергії» відповідно до нормативних документів.

7. Дайте визначення коефіцієнту потужності. Як ця величина пов'язана з активною, реактивною та повною потужностями? Наведіть та поясніть формули.

8. Наведіть одиниці вимірювання активної, реактивної та повної потужності.

9. Наведіть одиниці вимірювання активної, реактивної та повної енергії.

10. Як пов'язані між собою потужність та електрична енергія?

11. Наведіть та проаналізуйте векторну діаграму потужностей на комплексній площині.

12. Охарактеризуйте систему ідентифікації об'єктів (OBIS).

13. Поясніть позначення квадрантів комплексної площини для активної та реактивної потужностей.

14. Як розташований вектор повної потужності на комплексній площині, якщо навантаження носить чисто активний характер (лампи розжарювання)? Чому дорівнює коефіцієнт потужності навантаження в даному випадку?

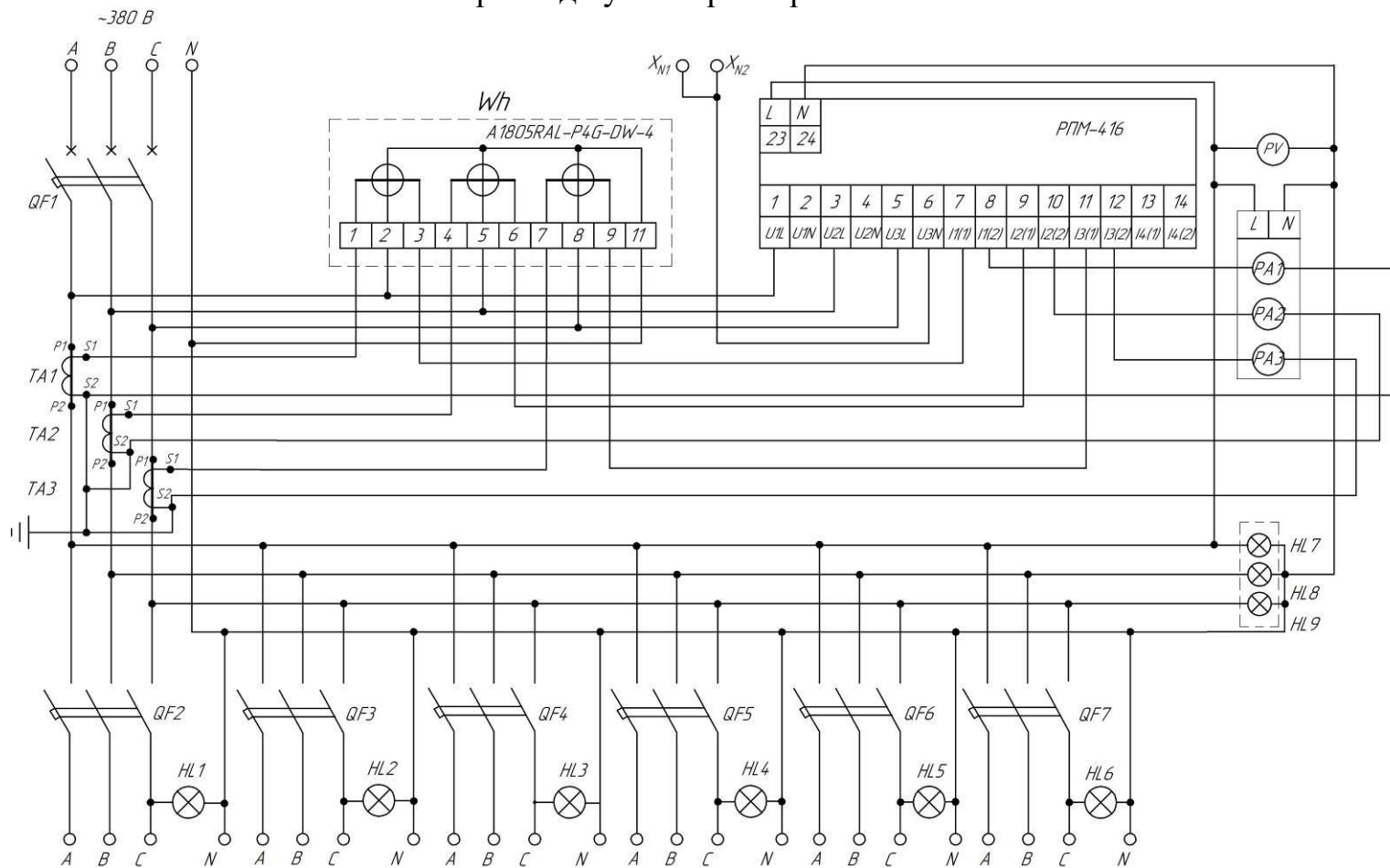
15. До чого призведе обрив нульового провідника у трифазній чотирьохпровідній системі?

ЛІТЕРАТУРА

- 1 Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими / за заг. ред. акад. НАН України О. В. Кириленка ; Інститут електродинаміки НАН України. К. : Ін-т електродинаміки НАН України, 2016. 400 с.
- 2 Зайцев Є. О., Кучанський В. В., Гунько І. О. Підвищення експлуатаційної надійності та ефективності роботи електричних мереж та електроустановка : монографія. Вінниця : ГО «Європейська наукова платформа», 2021. 156 с.
- 3 Оптимізація режимів електричних мереж з відновлюваними джерелами електроенергії / П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, І. О. Гунько. Вінниця : ВНТУ, 2018. 174 с.
- 4 José M. Maza-Ortega, Antonio Gómez-Expósito (Eds.) HVDC/FACTS for Grid Services in Electric Power Systems. 2020. 276 p. URL: <https://doi.org/10.3390/books978-3-03928-377-4>
- 5 Narain G. Hingorani, Laszlo Gyugyi Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems. Wiley-IEEE Press : 2000. 452 p.
- 6 Suman Bhowmick Flexible AC Transmission Systems (FACTS). Newton Power-Flow Modeling of Voltage-Sourced Converter-Based Controllers. CRC Press, 2016. 319 p.
- 7 Мікропроцесорна техніка : підручник / Ю. І. Якименко, Т. О. Терещенко та ін., за ред. Т. О. Терещенко ; 2-ге вид., перероб. та доповн. К. : ІВЦ «Видавництво «Політехніка»; «Кондор», 2004. 440 с.
- 8 Пупена О. М., Ельперін І. В., Луцька Н. М., Ладанюк А. П. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах : навч. посібник. К. : Вид-во «Ліра-К», 2011. 552с.

ДОДАТОК А

Принципова електрична схема удосконаленого пункту розподілу електроенергії ПР-11



ДОДАТОК Б
Перелік вимірювальних каналів реєстратора РПМ-416

Канал	Номер значення					
	1	2	3	4	5	6
1	Діюча напруга, В	Частота, Гц	Коефіцієнт гармонік, %	Пік + напруга, В	Пік - напруга, В	Миттєва напруга, В
2	Діюча напруга, В	Частота, Гц	Коефіцієнт гармонік, %	Пік + напруга, В	Пік - напруга, В	Миттєва напруга, В
3	Діюча напруга, В	Частота, Гц	Коефіцієнт гармонік, %	Пік + напруга, В	Пік - напруга, В	Миттєва напруга, В
4	Діючий струм, В	Частота, Гц	Коефіцієнт гармонік, %	Пік + струму, А	Пік - струму, А	Миттєвий струм, А
5	Діючий струм, В	Частота, Гц	Коефіцієнт гармонік, %	Пік + струму, А	Пік - струму, А	Миттєвий струм, А
6	Діючий струм, В	Частота, Гц	Коефіцієнт гармонік, %	Пік + струму, А	Пік - струму, А	Миттєвий струм, А
7	Діючий струм, В	Частота, Гц	Коефіцієнт гармонік, %	Пік + струму, А	Пік - струму, А	Миттєвий струм, А
8	Температура, °С	----	----	----	----	
9	Температура, °С	----	----	----	----	
10	Аналогова напруга, В	Значення для користування	----	----	----	
11	Аналоговий струм, мА	Значення для користування	----	----	----	
12	Дискретний вхід	Частота, Імп*хв	Лічильник імпульсів	----	----	
13	Дискретний вхід	Частота, Імп*хв	Лічильник імпульсів	----	----	
14	Дискретний вхід	Частота, Імп*хв	Лічильник імпульсів	----	----	
15	Дискретний вхід	Частота, Імп*хв	Лічильник імпульсів	----	----	
16	Потужність активна, Вт	Потужність реактивна, ВАр	Потужність повна, ВА	Коефіцієнт потужності, cos φ	Лічильник активної енергії, кВт*год	Лічильник реактивної енергії, кВАр*год
17	Потужність активна, Вт	Потужність реактивна, ВАр	Потужність повна, ВА	Коефіцієнт потужності, cos φ	Лічильник активної енергії, кВт*год	Лічильник реактивної енергії, кВАр*год
18	Потужність активна, Вт	Потужність реактивна, ВАр	Потужність повна, ВА	Коефіцієнт потужності, cos φ	Лічильник активної енергії, кВт*год	Лічильник реактивної енергії, кВАр*год
19	Лінійна напруга АВ, В	Лінійна напруга ВС, В	Лінійна напруга СА, В	Напруга зворотної послід-ті, В	Напруга прямої послід-ті, В	Напруга нульової послід-ті, В
20 – 40	Назви вимірюваних значень залежать від підключених модулів розширення					
Примітка – канали 16, 17, 18 та 19 не мають фізичних клем підключення, їх значення розраховуються виходячи з вимірюваних відповідних значень струму і напруги:						
<ul style="list-style-type: none"> – Канал 16 = Канал 1 і Канал 4; – Канал 17 = Канал 2 і Канал 5; – Канал 18 = Канал 3 і Канал 6; – Канал 19 = Кана 1, Канал 2 та Канал 3. 						

ДОДАТОК В Коди OBIS

Система ідентифікації об'єктів (The OBject Identification System, OBIS) визначає ідентифікатори (identification codes, ID-codes) для загальноживаних величин, що вимірюються цифровими лічильниками електроенергії. OBIS визначається стандартом ІЕС 62056-61.

Кожен код включає 6 груп ідентифікаторів. Деякі з цих груп можуть не вказуватися. Групи позначаються наступним чином (табл. В.1):

А-В:С.D.E*F

Таблиця В.1

Позначення груп ідентифікаторів

Група	Опис	Приклад
A	тип вимірюваного середовища	1 – електрика, 8 – вода
B	канал	0 – канал недоступний
C	фізична величина, що визначається A	потужність, енергія, струм тощо
D	параметр фізичної величини, що визначається A та C	максимальне значення, миттєве значення тощо
E	тариф	0 – сумарно, 1 – тариф 1, 2 – тариф 2 ...
F	додаткова деталізація в залежності від A-E	термін надходження платежу, 255 якщо не використовується

Квадранти комплексної площини для активної та реактивної потужності визначаються відповідно до ІЕС 62053-23, рис. В.1.

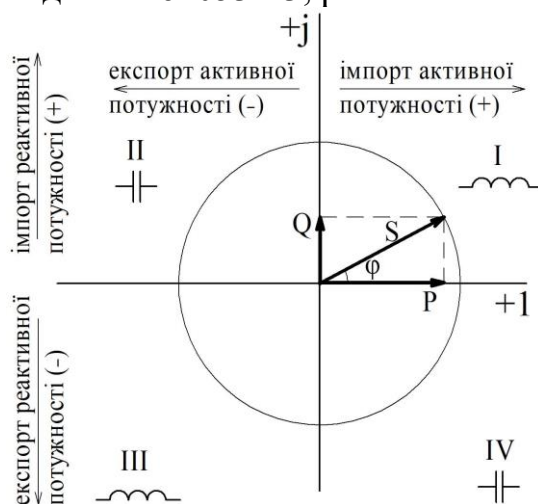


Рисунок В.1 – Визначення квадрантів для активної та реактивної потужності

Типові коди OBIS, що використовуються в цифрових лічильниках, наведені в табл. В.2, В.3.

Таблиця В.2

Найбільш розповсюджені коди OBIS

Коди OBIS	Вимірювані параметри
1.8.0 / 2.8.0	активна енергія імпортована (спожита) / експортована (передана) до мережі
3.8.0 / 4.8.0	реактивна енергія імпортована (спожита) / експортована (передана) до мережі
5.8.0 / 7.8.0	реактивна індуктивна енергія імпортована (спожита) / експортована (передана) до мережі
6.8.0 / 8.8.0	реактивна ємнісна енергія імпортована (спожита) / експортована (передана) до мережі
1.8.1 – 1.8.4	активна енергія імпортована (спожита) за тарифами, диференційованими за періодами часу (зонними тарифами)
2.8.1 – 2.8.4	активна енергія експортована (передана) до мережі за тарифами, диференційованими за періодами часу (зонними тарифами)

Таблиця В.3

Перелік кодів OBIS

Код OBIS	Параметр	Одиниця вимірювання	Умовне позначення
1	2	3	4
Активна енергія			
1.8.0	Додатна активна енергія, загалом	кВт·год	A+
1.8.1	Додатна активна енергія, тариф I	кВт·год	A+ (T1)
1.8.2	Додатна активна енергія, тариф II	кВт·год	A+ (T2)
1.8.3	Додатна активна енергія, тариф III	кВт·год	A+ (T3)
1.8.4	Додатна активна енергія, тариф IV	кВт·год	A+ (T4)
2.8.0	Від'ємна активна енергія, загалом	кВт·год	A-
2.8.1	Від'ємна активна енергія, тариф I	кВт·год	A- (T1)
2.8.2	Від'ємна активна енергія, тариф II	кВт·год	A- (T2)
2.8.3	Від'ємна активна енергія, тариф III	кВт·год	A- (T3)
2.8.4	Від'ємна активна енергія, тариф IV	кВт·год	A- (T4)
15.8.0 / F.8.0	Модуль активної енергії, загалом	кВт·год	A
15.8.1 / F.8.1	Додатна активна енергія, всього за тарифом I	кВт·год	A (T1)
15.8.2 / F.8.2	Додатна активна енергія, всього за тарифом II	кВт·год	A (T2)
15.8.3 / F.8.3	Додатна активна енергія, всього за тарифом III	кВт·год	A (T3)
15.8.4 / F.8.4	Додатна активна енергія, всього за тарифом IV	кВт·год	A (T4)
21.8.0	Додатна активна енергія за першою фазою, загалом	кВт·год	A+ (L1)

1	2	3	4
41.8.0	Додатна активна енергія за другою фазою, загалом	кВт·год	A+ (L2)
61.8.0	Додатна активна енергія за третьою фазою, загалом	кВт·год	A+ (L3)
22.8.0	Від’ємна активна енергія за першою фазою, загалом	кВт·год	A- (L1)
42.8.0	Від’ємна активна енергія за другою фазою, загалом	кВт·год	A- (L2)
62.8.0	Від’ємна активна енергія за третьою фазою, загалом	кВт·год	A- (L3)
35.8.0	Модуль активної енергії за першою фазою, загалом	кВт·год	A (L1)
55.8.0	Модуль активної енергії за другою фазою, загалом	кВт·год	A (L2)
75.8.0	Модуль активної енергії за третьою фазою, загалом	кВт·год	A (L3)
Реактивна енергія			
3.8.0	Додатна реактивна енергія, загалом	кВАр·год	Q+
3.8.1	Додатна реактивна енергія, тариф I	кВАр·год	Q+ (T1)
3.8.2	Додатна реактивна енергія, тариф II	кВАр·год	Q+ (T2)
3.8.3	Додатна реактивна енергія, тариф III	кВАр·год	Q+ (T3)
3.8.4	Додатна реактивна енергія, тариф IV	кВАр·год	Q+ (T4)
4.8.0	Від’ємна реактивна енергія, загалом	кВАр·год	Q-
4.8.1	Від’ємна реактивна енергія, тариф I	кВАр·год	Q- (T1)
4.8.2	Від’ємна реактивна енергія, тариф II	кВАр·год	Q- (T2)
4.8.3	Від’ємна реактивна енергія, тариф III	кВАр·год	Q- (T3)
4.8.4	Від’ємна реактивна енергія, тариф IV	кВАр·год	Q- (T4)
5.8.0	Реактивна енергія за I квадрантом, загалом	кВАр·год	QL+
5.8.1	Реактивна енергія за I квадрантом, тариф I	кВАр·год	QL+ (T1)
5.8.2	Реактивна енергія за I квадрантом, тариф II	кВАр·год	QL+ (T2)
5.8.3	Реактивна енергія за I квадрантом, тариф III	кВАр·год	QL+ (T3)
5.8.4	Реактивна енергія за I квадрантом, тариф IV	кВАр·год	QL+ (T4)
6.8.0	Реактивна енергія за II квадрантом, загалом	кВАр·год	QC+
6.8.1	Реактивна енергія за II квадрантом, тариф I	кВАр·год	QC+ (T1)
6.8.2	Реактивна енергія за II квадрантом, тариф II	кВАр·год	QC+ (T2)
6.8.3	Реактивна енергія за II квадрантом, тариф III	кВАр·год	QC+ (T3)
6.8.4	Реактивна енергія за II квадрантом, тариф IV	кВАр·год	QC+ (T4)
7.8.0	Реактивна енергія за III квадрантом, загалом	кВАр·год	QL-
7.8.1	Реактивна енергія за III квадрантом, тариф I	кВАр·год	QL- (T1)
7.8.2	Реактивна енергія за III квадрантом, тариф II	кВАр·год	QL- (T2)
7.8.3	Реактивна енергія за III квадрантом, тариф III	кВАр·год	QL- (T3)
7.8.4	Реактивна енергія за III квадрантом, тариф IV	кВАр·год	QL- (T4)

1	2	3	4
8.8.0	Реактивна енергія за IV квадрантом, загалом	кВАр·год	QC-
8.8.1	Реактивна енергія за IV квадрантом, тариф I	кВАр·год	QC- (T1)
8.8.2	Реактивна енергія за IV квадрантом, тариф II	кВАр·год	QC- (T2)
8.8.3	Реактивна енергія за IV квадрантом, тариф III	кВАр·год	QC- (T3)
8.8.4	Реактивна енергія за IV квадрантом, тариф IV	кВАр·год	QC- (T4)
Повна енергія			
9.8.0	Повна енергія, загалом	кВА·год	S+
9.8.1	Повна енергія, тариф I	кВА·год	S+ (T1)
9.8.2	Повна енергія, тариф II	кВА·год	S+ (T2)
9.8.3	Повна енергія, тариф III	кВА·год	S+ (T3)
9.8.4	Повна енергія, тариф IV	кВА·год	S+ (T4)
Максимальна потужність			
1.6.0	Максимум додатної активної потужності, загалом	кВт	
1.6.1	Максимум додатної активної потужності, тариф I	кВт	
1.6.2	Максимум додатної активної потужності, тариф II	кВт	
1.6.3	Максимум додатної активної потужності, тариф III	кВт	
1.6.4	Максимум додатної активної потужності, тариф IV	кВт	
2.6.0	Максимум від'ємної активної потужності, загалом	кВт	
2.6.1	Максимум від'ємної активної потужності, тариф I	кВт	
2.6.2	Максимум від'ємної активної потужності, тариф II	кВт	
2.6.3	Максимум від'ємної активної потужності, тариф III	кВт	
2.6.4	Максимум від'ємної активної потужності, тариф IV	кВт	
15.6.0	Максимум модуля додатної активної потужності, загалом	кВт	
15.6.1	Максимум модуля додатної активної потужності, тариф I	кВт	
15.6.2	Максимум модуля додатної активної потужності, тариф II	кВт	
15.6.3	Максимум модуля додатної активної потужності, тариф III	кВт	
15.6.4	Максимум модуля додатної активної потужності, тариф IV	кВт	

1	2	3	4
3.6.0	Максимум додатної реактивної потужності, загалом	кВАр	
4.6.0	Максимум від'ємної реактивної потужності, загалом	кВАр	
9.6.0	Максимум повної потужності, загалом	кВА	
Миттєва потужність			
1.7.0	Додатна активна миттєва потужність	кВт	P+
21.7.0	Додатна активна миттєва потужність за першою фазою	кВт	P+ (L1)
41.7.0	Додатна активна миттєва потужність за другою фазою	кВт	P+ (L2)
61.7.0	Додатна активна миттєва потужність за третьою фазою	кВт	P+ (L3)
2.7.0	Від'ємна активна миттєва потужність	кВт	P-
22.7.0	Від'ємна активна миттєва потужність за першою фазою	кВт	P- (L1)
42.7.0	Від'ємна активна миттєва потужність за другою фазою	кВт	P- (L2)
62.7.0	Від'ємна активна миттєва потужність за третьою фазою	кВт	P- (L3)
15.7.0	Модуль активної миттєвої потужності	кВт	P
35.7.0	Модуль активної миттєвої потужності за першою фазою	кВт	P (L1)
55.7.0	Модуль активної миттєвої потужності за другою фазою	кВт	P (L2)
75.7.0	Модуль активної миттєвої потужності за третьою фазою	кВт	P (L3)
3.7.0	Додатна реактивна миттєва потужність	кВАр	
23.7.0	Додатна реактивна миттєва потужність за першою фазою	кВАр	
43.7.0	Додатна реактивна миттєва потужність за другою фазою	кВАр	
63.7.0	Додатна реактивна миттєва потужність за третьою фазою	кВАр	
4.7.0	Від'ємна реактивна миттєва потужність	кВАр	
24.7.0	Від'ємна реактивна миттєва потужність за першою фазою	кВАр	
44.7.0	Від'ємна реактивна миттєва потужність за другою фазою	кВАр	
64.7.0	Від'ємна реактивна миттєва потужність за третьою фазою	кВАр	
9.7.0	Повна поточна потужність	кВА	

1	2	3	4
29.7.0	Повна поточна потужність за першою фазою	кВА	
49.7.0	Повна поточна потужність за другою фазою	кВА	
69.7.0	Повна поточна потужність за третьою фазою	кВА	
Струми на напруги			
11.6.0	Максимальний струм	A	I _{max}
31.6.0	Максимальний струм за першою фазою	A	I _{max} (L1)
51.6.0	Максимальний струм за другою фазою	A	I _{max} (L2)
71.6.0	Максимальний струм за третьою фазою	A	I _{max} (L3)
91.6.0	Максимальний струм нейтралі	A	I _{max} (N)
11.7.0	Миттєвий струм	A	I
31.7.0	Миттєвий струм за першою фазою	A	I (L1)
51.7.0	Миттєвий струм за другою фазою	A	I (L2)
71.7.0	Миттєвий струм за третьою фазою	A	I (L3)
91.7.0	Миттєвий струм нейтралі	A	I (N)
12.7.0	Миттєва напруга	B	U
32.7.0	Миттєва напруга першої фази	B	U (L1)
52.7.0	Миттєва напруга другої фази	B	U (L2)
72.7.0	Миттєва напруга третьої фази	B	U (L3)
32.7.0	Миттєва напруга нейтралі	B	U (N)
14.7.0	Частота напруги	Гц	f
Метадані			
0.0.0	Адреса лічильника (1)		
0.0.1	Адреса лічильника (2)		
0.2.0	Версія мікропрограми		
0.2.2	Код тарифа		
0.9.1	Час		
0.9.2	Дата		
0.9.4	Дата і час		
0.8.0	Період пікової потужності		
C.1.0	Серійний номер		
C.90.1	Серійний номер оптичного порта		
F.F.0	Регістр помилок лічильника		