

Хмельницький національний університет  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

### Розробка стенда для вимірювання електричних параметрів побутової техніки

Назва теми

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр, назва

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Шифр, назва

Освітня програма «Електропобутова техніка»

Шифр МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 2 курсу  
група ЕТм-23-1

Підпис

Челяднік А.О.

Ініціали, прізвище

Керівник

Підпис, дата

докт. філ. Поліщук А.О.

Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

Підпис, дата

С.І. Луконин

Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Підпис, дата

доц. Неймак В.С.

Ініціали, прізвище

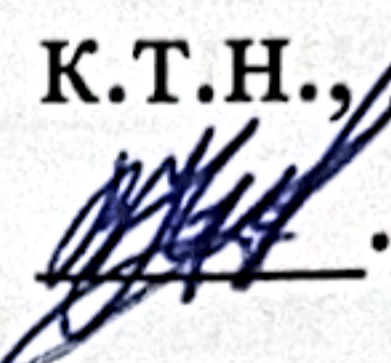
Зав. кафедри МАЕЕС

17 12 2024 р.

Хмельницький 2024

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту і архітектури  
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем  
Освітній рівень магістр  
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»  
Шифр і назва  
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
Шифр і назва  
Освітня програма «Електропобутова техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри МАЕЕС  
к.т.н., доц. Неймак В.С.  
 . 12 . 2024р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Челяднік Артур Олександрович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка стенда для вимірювання електричних параметрів побутової техніки

керівник роботи доктор філософії Поліщук А.О.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 26 08 2024 р. № 60

2. Строк подання студентом роботи на кафедру \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи Технічні характеристики стендів – аналогів та побутової техніки

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Огляд та аналіз способів і устаткування для вимірювання електричних характеристик електропобутової техніки. 2. Розроблення конструкції стенду для вимірювання електричних характеристик електропобутової техніки. 3. Дослідження роботи електропобутової техніки із застосуванням розробленого стенда. Висновки. Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) Аркуш 1. Побутова техніка. Документ оглядовий (A1). Аркуш 2. Пристрої для вимірювання напруги і струму. Документ оглядовий (A1). Аркуш 3. Стенд для вимірювання електричних параметрів. Схема комбінована структурна (A1). Аркуш 4. Електронний лічильник. Схема комбінована структурна (A1). Аркуш 5. Стенд для вимірювання електричних параметрів. Схема електрична принципова (A1). Аркуш 6. Стенд для вимірювання електричних параметрів. Вид загальний (A1). Аркуш 7. Підключення лічильника в мережу. Документ оглядовий (A1). Аркуш 8. Стенд для вимірювання електричних характеристик. Документ

ілюстраційний. Аркуш 9. Дослідження роботи побутової техніки. Розрахунок (A1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Огляд та аналіз способів і устаткування для вимірювання електричних характеристик електропобутової техніки	до 29.10.24р.	
2. Розроблення конструкції стенду для вимірювання електричних характеристик електропобутової техніки	до 15.11.24р.	
3. Дослідження роботи електропобутової техніки із застосуванням розробленого стенда	до 20.11.24р.	
4. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	до 12.12.24р.	

Студент

Підпис

А.О. Челяднік

Ініціали, прізвище

Керівник роботи

Підпис

А.О. Поліщук

Ініціали, прізвище

# АНОТАЦІЯ

до магістерської роботи студента  
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка».

1. Прізвище, ім'я та по батькові Челяднік Артур Олександрович

2. Тема магістерської роботи Розробка стенда для вимірювання електричних параметрів побутової техніки

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента \_\_\_\_\_

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 9 арк., сторінок записки 68

5. Вимірювання величин знаходять все ширше застосування не тільки в технічних науках і промисловості, але також у медицині, біології, сільському господарстві та охороні довкілля. Вимірювання є основою для забезпечення ефективності технологічних процесів та високої якості продукції. Жодне наукове дослідження або розробка в галузі науки й техніки не можливі без вимірювань. Створення стенда для вимірювання електричних параметрів побутової техніки є надзвичайно актуальною задачею.

В магістерській роботі розроблено стенд для вимірювання електричних параметрів побутової техніки. В першому розділі проведено огляд та аналіз способів і устаткування для вимірювання електричних характеристик електропобутової техніки. В другому здійснено розробку конструкції стенду для вимірювання електричних характеристик електропобутової техніки. В третьому розділі виконано дослідження роботи електропобутової техніки із застосуванням розробленого стенда.

Підпис студента

Чел

" 17 " 12 20 24 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 1 від " 23 " 12 20 24 р.

Оцінка проекту ЕК

добре/с

Рекомендації ЕК \_\_\_\_\_

Особливі відмітки \_\_\_\_\_

Технічний секретар

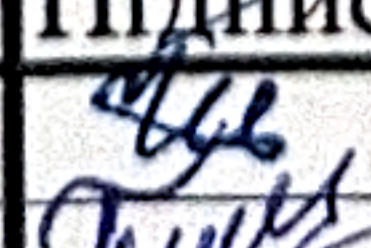
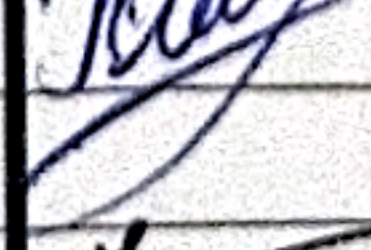


AS

" 23 " 12 20 24 р.

# ЗМІСТ

		стор.
	Вступ	6
1	Огляд та аналіз способів і устаткування для вимірювання електричних характеристик електропобутової техніки	8
1.1	Фактори, що визначають ефективність і надійність електропобутової техніки	8
1.2	Засоби вимірювання електричних величин	16
1.3	Вимірювання електричних параметрів за допомогою лічильників енергії	23
1.4	Висновки до першого розділу	30
2	Розроблення конструкції стенду для вимірювання електричних характеристик електропобутової техніки	31
2.1	Системний підхід до розробки експериментального стенда для дослідження електропобутової техніки	31
2.2	Розроблення структурної схеми стенду для вимірювання електричних характеристик	37
2.3	Розроблення корпусу стенда для вимірювання електричних характеристик	42
2.4	Розроблення різних схем підключення	44
2.5	Розрахунок електричних компонентів стенда для оцінки його характеристик	49
2.6	Висновки до другого розділу	52
3	Дослідження роботи електропобутової техніки із застосуванням розробленого стенда	53

МРМА24.00.00.000 ПЗ

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата				
Виконав		Челяднік			Розробка стенда для вимірювання електричних параметрів побутової техніки Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Поліщук				М	4	68
Н.контр.					ХНУ гр.ЕТм-23-1			
Затвер.		Неймак						

3.1	Виготовлення приладу для визначення електричних характеристик електропобутової техніки	53
3.2	Вибір об'єкту, що досліджується	54
3.3	Вибір обладнання для фіксації та обробки експериментальних даних	58
3.4	Стенд для визначення електричних характеристик електропобутової техніки	60
3.5	Результати експериментальних досліджень	60
3.6	Висновки до третього розділу	63
	Висновки	64
	Перелік джерел посилання	65
	Додатки	

## ВСТУП

Вимірювання величин знаходять все ширше застосування не тільки в технічних науках і промисловості, але також у медицині, біології, сільському господарстві та охороні довкілля. Вимірювання є основою для забезпечення ефективності технологічних процесів та високої якості продукції. Жодне наукове дослідження або розробка в галузі науки й техніки не можливі без вимірювань [1, 2].

Можна стверджувати, що рівень розвитку науки й техніки, а також технічний прогрес у різних галузях промисловості завжди визначаються розвитком вимірювальної техніки. Це твердження базується на ролі вимірювань як джерела найоб'єктивнішої інформації про навколишній світ [1, 2].

Особливо важливе місце займають електричні вимірювання, які завдяки численним перевагам перед неелектричними методами стали основними у різних галузях [3]. Вони охоплюють вимірювання електричної напруги, опору, сили струму, частоти, фази змінного струму, потужності, електричної енергії, індуктивності, ємності та інших величин.

Сфера використання електричних вимірювань дуже широка:

- наукові дослідження у фізиці, хімії та біології;
- технологічні процеси в енергетиці, металургії, хімічній промисловості;
- транспорт, розвідка та видобуток корисних копалин;
- метеорологічні та океанологічні дослідження;
- медична діагностика;
- виробництво і експлуатація радіо- та телевізійної техніки, літаків і космічних апаратів.

Різноманітність електричних величин, широкий діапазон їх значень, високі вимоги до точності вимірювань, а також численні умови й сфери застосування обумовлюють різноманіття методів та засобів вимірювання. Вимірювання "активних" електричних величин, таких як струм або напруга, базуються на безпосередньому їх впливі на вимірювальний прилад і зазвичай супроводжуються

					МРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

споживанням певної кількості енергії від об'єкта вимірювання. Вимірювання "пасивних" величин, наприклад опору або індуктивності, потребує додаткового живлення для об'єкта вимірювання.

Сучасний розвиток електричних вимірювань включає використання нових фізичних ефектів, таких як ефект Холу, для створення більш чутливих та високоточних приладів; застосування електронних досягнень; мініатюризацію пристроїв; автоматизацію процесів вимірювань; та уніфікацію метрологічних стандартів.

Переваги електричних вимірювань включають:

- універсальність, можливість вимірювання як електричних, так і неелектричних величин після їх перетворення в електричні;

- дистанційність - можливість передавати результати вимірювань на великі відстані;

- висока швидкість вимірювань завдяки малоінерційним приладам;

- можливість досягнення високої чутливості та точності;

- використання комп'ютерної техніки для обробки вимірювальних даних.

З урахуванням розвитку автоматизованих інформаційно-вимірювальних систем обліку та контролю якості електроенергії, такі системи стають основою для вдосконалення вимірювань електричних характеристик побутової техніки. Тому обрана тема є актуальною і матиме практичне значення для підготовки фахівців у галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

					МРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

# 1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СПОСОБІВ І УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОПОБУТОВОЇ ТЕХНІКИ

## 1.1 Фактори, що визначають ефективність і надійність електропобутової техніки

Сучасне життя складно уявити без електропобутових приладів, які значно полегшують виконання різноманітних домашніх справ [4]. Сьогодні кожна родина користується електрочайниками, кухонними комбайнами, кавоварками, холодильниками, прасками, пирососами, блендерами, соковижималками, мультиварками та багатьма іншими зручними пристроями.

Електроприлади беруть на себе значну частину рутинної роботи, зберігаючи наш час і надаючи зручності у щоденних справах. Наприклад, багато хто не уявляє ранку без ароматної кави з кавоварки або тосту, приготованого на тостері. Такі пристрої настільки міцно інтегрувалися у наше життя, що без них важко обійтися [5, 6].

Взяти хоча б блендер, який дає змогу подрібнити продукти за бажанням господині. Він незамінний у сім'ях із маленькими дітьми, адже дозволяє швидко готувати свіжі пюре, заощаджуючи час матері для спілкування з дитиною.

Електропраски сучасного покоління не тільки чудово справляються з прасуванням, а й дозволяють відпарювати речі. Завдяки вдосконаленій конструкції, ризик зіпсувати річ мінімізований, що додає зручності в догляді за одягом.

Не менш популярними є електросоковижималки, які дають можливість швидко приготувати корисний, свіжий сік без жодних добавок. Соковижималка стала постійним супутником для багатьох родин, сприяючи здоровому способу життя.

Електром'ясорубка – справжня мрія будь-якої господині. Цей пристрій не тільки полегшує працю на кухні, але й економить час, який жінка може присвятити родині. А кухонний комбайн за декілька хвилин нашаткує овочі або натре продукти, варто лише обрати потрібну насадку і натиснути кнопку.

					MPMA24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, електропобутова техніка стає незамінним помічником у кожному домі, роблячи домашні справи легшими та приємнішими [5, 6].

Загальний вигляд електром'ясорубки KENWOOD MG 710 наведено на рис.1.1 (аркуш [МРМА24.00.00.000ДО1]) [7].



Рисунок 1.1 – Електром'ясорубка KENWOOD MG 710

Технічні характеристики електром'ясорубки наведені в табл.1.1 [7].

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики електром'ясорубки KENWOOD MG 710

Параметр	Величина
Максимальна потужність при блокуванні електричного двигуна, Вт	2000
Номінальна потужність електродвигуна, Вт	700
Продуктивність, кг/хв	3
Матеріал корпусу	Метал
Функція «Реверс»	+
Вага пристрою	7,3 кг

Мультиварка - універсальний кухонний електроприлад, що дозволяє швидко та якісно приготувати різноманітні страви [8]. Хоча на ринку вона з'явилася відносно нещодавно, її популярність вже заслужено зросла серед споживачів, а також серед підприємств громадського харчування. Це зумовлено її багатофункціональністю, продуктивністю, простотою у використанні, а також здатністю замінити інші кухонні прилади, такі як аерогриль, скороварка, пароварка тощо. На сьогодні мультиварка стала незамінною як для великих родин, так і для сімей із двох-трьох осіб (рис.1.2).



Рисунок 1.2 – Мультиварка REDMOND RMC-M4502 [9]

Технічні характеристики мультиварки REDMOND RMC-M4502 приведені в табл.1.2.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики мультиварки REDMOND RMC-M4502

Параметр	Величина
1	2
Потужність електродвигуна, Вт	860
Об'єм, л	5

Продовження табл.1.2

Кількість програм	34
Дисплей	+
Пароварка	+
Ручний режим	+
Вага пристрою, кг	5,4

Якщо людина мріє про натуральну каву, то це можна зробити використовуючи електрокавомолку [10]. За кілька хвилин можна насолоджуватися свіжозмеленим ароматним напоєм. Сучасна побутова техніка стала частиною нашого життя, забезпечуючи комфорт, до якого ми швидко звикли, і значно спрощуючи повсякденні справи.

Пилососи – це пристрої для видалення пилу та забруднень з поверхонь шляхом всмоктування за допомогою повітряного потоку [11]. Вони поділяються на:

- промислові;
- побутові.

Серед побутових пилососів (рис. 1.3) виділяють кілька основних типів:

- підлогові,
- ранцеві,
- ручні,
- автомобільні тощо.

На рис.1.3 наведено пилосос без мішка LG VK 89302 H [12].



Рисунок 1.3 – Пилосос LG VK 89302 H

Технічні характеристики пирососа LG VK 89302 пирососа LG VK 89302 Н наведено в табл.1.3 [12].

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики пирососа LG VK 89302 пирососа LG VK 89302 Н

Параметр	Величина
Тип пирососа	Без мішка контейнерного типу
Споживана потужність, Вт	2000
Потужність всмоктування, Вт	420
Обсяг пило збірника, л	1,2
Рівень шуму, дБ	78
Вага, кг	6

Електрочайники - це електричні пристрої, призначені для швидкого та зручного нагрівання води. Завдяки автоматичному вимиканню після закипання вони безпечні у використанні й допомагають уникнути перегріву. Сучасні електрочайники відрізняються за об'ємом, потужністю, дизайном, а також можуть мати додаткові функції, як-от підтримання температури, індикація рівня води та багаторазові фільтри для очищення води. Електрочайники стали невід'ємною частиною побуту, забезпечуючи швидкий доступ до гарячої води для приготування напоїв та страв [13].



Рисунок 1.4 – Електричний чайник Zelmer 17Z012 [13]



шка, дезінфекція парою, економія енергії та автоматичне дозування миючих засобів. Пральна машина значно спрощує домашній побут, забезпечуючи швидке та ефективно очищення речей [15].



Рисунок 1.5 – Холодильник Samsung RB33J3000EL [14]

Таблиця 1.5 – Технічні характеристики холодильника Samsung RB33J3000EL [14]

Параметр	Величина
Тип холодильника	Двокамерний
Загальний об'єм, л	331
Об'єм холодильної камери, л	212
Об'єм морозильної камери, л	98
Клас енергетичного споживання	A+
Споживання електричної енергії на рік, кВт/рік	280
Споживання електричної енергії на добу, кВт	0,767
Кількість компресорів	1

На рис.1.6 приведено загальний вигляд, а в табл.1.6 технічні характеристики пральної машини GORENJE W7222/S [15].



Рисунок 1.6 – Машини для прання GORENJE W7222/S

Таблиця 1.6 – Технічні характеристики пральної машини GORENJE W7222/S

Характеристики	Величина
Клас енергоспоживання, %	A -20
Споживання електричної енергії, kWh	169
Приєднувальна потужність, Вт	2000
Номінальний струм, А	10
Тип електричного двигуна	колекторний
Кількість обертів, об/хв	1000

Тривалість роботи електроприладів та електроніки залежить не лише від якості їхнього виготовлення, а й від стабільності електричної енергії, яку вони споживають [16]. Стрибки напруги та її відключення в мережі можуть серйозно пошкодити техніку.

Перепади напруги є серйозною загрозою для електроніки та побутових приладів. У нестабільних електромережах напруга може падати до 180 В або підійматися до 250 В, хоча стандартна напруга має складати 220 В з допустимим

відхиленням +/- 10%. Більшість сучасних виробників обладнують техніку вбудованим захистом, але це може бути недостатньо. Наприклад, деякі пральні машини припиняють роботу при напрузі нижче 180 В. Проте, у сервісних центрах зазвичай не покривають ремонт техніки, що згоріла від стрибка напруги, за гарантією. Тому додаткове стабілізуюче обладнання є доцільною інвестицією, адже заміна пошкоджених приладів може обійтися значно дорожче.

Щоб вибрати оптимальний захист, потрібно визначити, які саме прилади потребують захисту від перепадів напруги. Наприклад, коливання напруги, що є відносно безпечними для холодильника, можуть вивести з ладу електроніку. Холодильник також вразливий до стрибків напруги, особливо коли вони співпадають із моментом ввімкнення мотора. Тому, хоча сучасні прилади часто мають вбудовані системи захисту, для тривалої роботи доцільно застосовувати стабілізатори.

Таким чином, якість роботи побутової техніки безпосередньо залежить від стабільності електроенергії. З метою зменшення енергоспоживання важливо використовувати економічні прилади з підвищеним захистом від коливань напруги. Серед важливих характеристик техніки на надійність також впливають струм, напруга і потужність електроприладів.

## 1.2 Засоби вимірювання електричних величин

Вимірювання – це процес експериментального визначення значень фізичної величини за допомогою спеціальних приладів [17]. Точність та достовірність вимірювань фізичних величин і технологічних параметрів мають велике значення для науки і техніки.

Для визначення сили струму і напруги в електроприладах використовуються амперметри, міліамперметри, мікроамперметри, мультиметри, гальванометри, аналогові та цифрові вольтметри.

					MPMA24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Амперметр є приладом для вимірювання електричних струмів, його зображення наведено на рис.1.7 (аркуш [МРМА20.00.00.000ДО2]) [18]. Залежно від вимірюваного струму вони можуть мати різні назви: міліамперметр, мікроамперметр.



Рисунок 1.7 – Зовнішній вигляд амперметра М838

Міліамперметр має межу вимірювання менше одного ампера, а мікроамперметр – менше одного міліампера [19]. Існують також кілоамперметри для великих струмів. У мілі- та мікроамперметрах струм проходить безпосередньо через прилад, тоді як у кілоамперметрах він ніколи не проходить через коло приладу. Для вимірювання великих струмів використовують трансформатори струму (для змінного струму) або шунти (для постійного). Гальванометри вимірюють дуже малі струми (від кількох мікроампер до 10-11А), але їх головна функція – визначення відсутності струму у мостових схемах.

Амперметри можуть працювати на основі електромагнітної, електродинамічної, магнітоелектричної, феродинамічної чи теплової систем. Перші чотири типи можуть вимірювати як постійні, так і змінні струми. Магнітоелектричні амперметри підходять для вимірювання постійного струму, а для змінного застосовуються з напівпровідниковими випрямлячами, хоча їхня точність обмежена (2,5-4,0) [19].

Електромагнітні амперметри прості та надійні, використовуються для постійного та змінного струму, з обмоткою нерухомої котушки, що з'єднана з затискачами. Переносні амперметри часто мають дві межі вимірювання, які перемикаються завдяки намотуванню котушки двома паралельними провідниками, що з'єднуються послідовно або паралельно [19]. Схема амперметра для номінальних струмів 5 і 10А наведена на рис. 1.8.

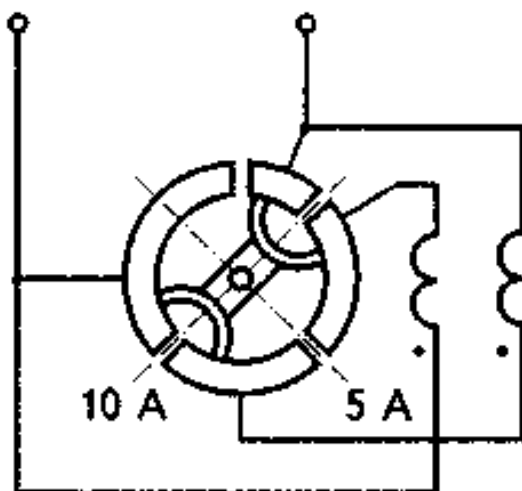


Рисунок 1.8 – Схема електромагнітного двограничного амперметра

Електромагнітні амперметри для розширення меж вимірювання зазвичай використовуються з трансформаторами струму, а не шунтами. Магнітоелектричні амперметри складніші та дорожчі, оскільки їхні обмотки рамок, що створюють обертовий момент, розраховані на малі струми через підведення струму через пружини з малою площею перерізу [19].

Ці амперметри оснащуються внутрішнім шунтом, який пропускає основну частину струму, а обмотка діє як мілівольтметр, вимірюючи падіння напруги на шунті. При одній межі вимірювання шкала калібрується в амперах, а при використанні універсальних шунтів – у вигляді умовних поділок. Схема наведена на рис. 1.9 [20].

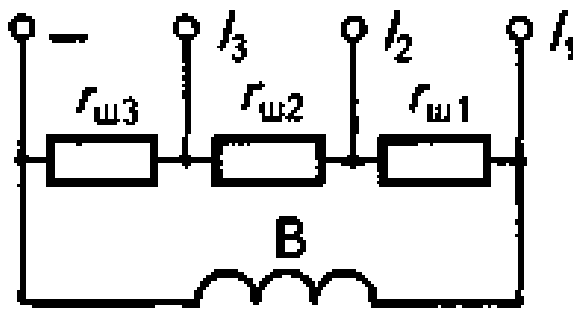


Рисунок 2.9 – Схема магніто електричного амперметра

У всіх магнітоелектричних амперметрах з обмоткою рамки послідовно увімкнено резистор із манганіну, що зменшує похибку приладу, спричинену нагріванням обмотки через протікання струму та зміни температури навколишнього середовища [19].

Електродинамічні амперметри використовуються переважно як зразкові вимірювальні прилади, створені на базі електродинамічного механізму. Вони однаково придатні для вимірювань постійного та змінного струму, мають складнішу будову і більшу потужність, ніж електромагнітні прилади. Будову електродинамічного механізму показано на рис. 1.10, а принципову схему амперметра з двома межами вимірювання струму – на рис. 1.11.

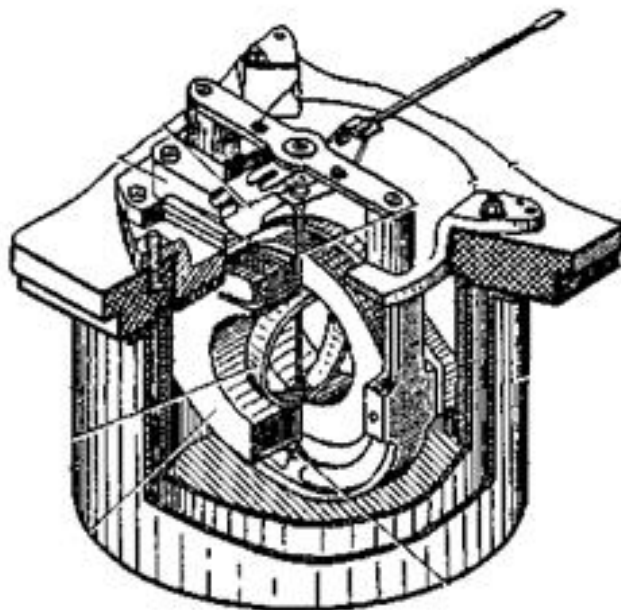


Рисунок 1.10 – Електродинамічна система (вимірювальний механізм)

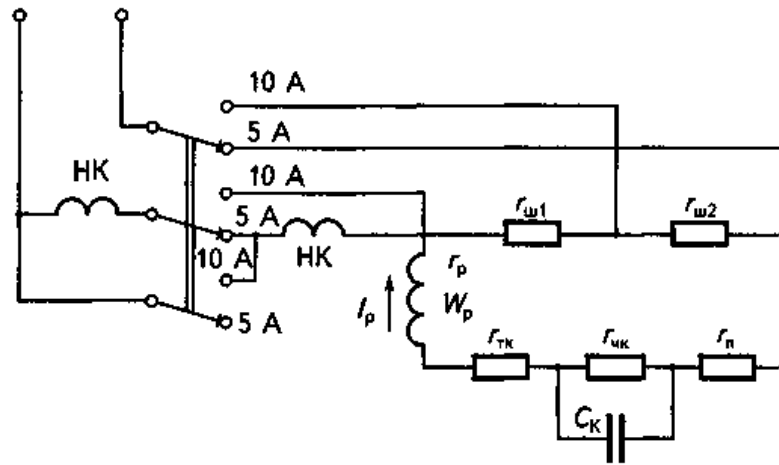


Рисунок 1.11 – Електродинамічний амперметр – схема принципова

Перемикання границь вимірювання струмів у зазначеній схемі проводиться перемикачем.

Вольтметр – це прилад для вимірювання електричної напруги між двома точками в електричному колі. Це пристрій для вимірювання в електричних колах електрорушійної сили чи напруги. Загальний вигляд цифрового вольтметра UNI-T представлений на рис.1.12 [21].



Рисунок 1.12 – Зовнішній вигляд цифрового вольтметра UNI-T

Вольтметр підключається паралельно до пристрою, де необхідно виміряти напругу. Його виготовляють на основі електродинамічних, магнітоелектричних

них, феродинамічних, електромагнітних, теплових і електростатичних механізмів. Магнітоелектричні вольтметри вимірюють постійну напругу, а електродинамічні та електростатичні – як постійну, так і змінну. Електромагнітні та феродинамічні вольтметри можуть використовуватись з постійним і змінним струмом за умови відповідної обробки матеріалів.

Обмотки вимірювальних механізмів виконуються з великою кількістю витків для забезпечення точності при мінімальному споживанні струму. У більшості вольтметрів, крім електростатичних, є додатковий опір, розташований всередині корпусу приладу. Він знижує вплив тепла, що виділяється обмотками, на вимірювальний механізм.

Додаткові опори на пластинах краще охолоджуються, проте менш надійні, ніж котушкові опори. Стаціонарні вольтметри налаштовуються на певну номінальну напругу, а якщо використовуються з трансформаторами, шкала адаптується до первинної обмотки [19, 20].

Переносні вольтметри зазвичай мають кілька меж вимірювання напруги завдяки наявності внутрішніх додаткових опорів, які послідовно з'єднані між собою та з обмоткою вимірювального механізму. Схема триграничного вольтметра на межі 75, 150 і 300 В представлена на рис. 1.13.

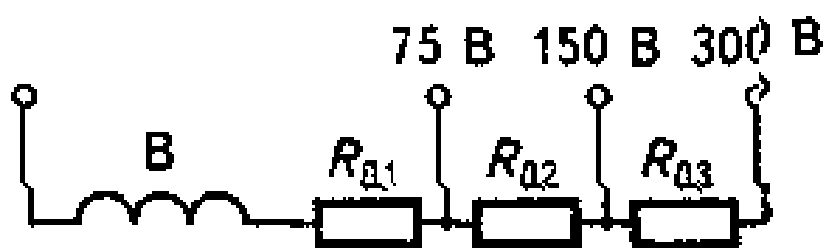


Рисунок 1.13 – Схема трьохграничного вольтметра

Додаткові опори  $R_{D1}$ ,  $R_{D2}$  і  $R_{D3}$  можуть складатися з кількох котушок для точного налаштування загального опору приладу для кожної межі. Перемикання здійснюється шляхом підключення провідника до відповідного затискача. Для безпеки електричне коло потрібно вимкнути під час перемикання меж, але

вольтметри часто оснащуються важільними або кнопковими перемикачами для зручності.

Такі вольтметри можуть змінювати додаткові опори та перемикати секції котушок вимірювального механізму з послідовного на паралельне з'єднання. Це дозволяє зменшити споживану потужність при високих напругах. Мілівольтметри зазвичай мають одну межу вимірювання, виготовляються на основі магнітоелектричних механізмів для постійного струму, а для змінного струму – як електронні прилади [19, 20].

Мультиметр – це багатофункціональний вимірювальний прилад, що поєднує функції вольтметра, амперметра та омметра (рис. 1.14).



Рисунок 1.14 – Мультиметра

Існують тестери з розширеним функціоналом, які можуть вимірювати індуктивність, ємність, полярність, температуру тощо.

Існують цифрові та аналогові мультиметри. Цифрові моделі зручніші, оскільки покази відображаються у вигляді чисел на екрані, що забезпечує більшу точність залежно від розрядності. Проте точність мультиметра залежить не лише від розрядності, а й від якості аналогово-цифрового перетворювача, стабільності, захисту від шумів та калібрування. Найпоширенішими є 3- і 5-розрядні моделі.

Мультиметр має два виводи – чорний (загальний) і червоний (потенційний) – та кілька отворів для підключення. Отвір для загального виводу позначається як com або (-), а червоний вивод використовується для вимірювання опору, напруги або струму (позначення А, mA, 10A тощо).

Перемикач мультиметра дозволяє вибрати межі вимірювання. Наприклад, стрілочний тестер може мати такі межі для постійної та змінної напруги, струму та опору. Мультиметр також забезпечує функції вимірювання струму, опору, напруги, продзвонювання, тестування діодів і транзисторів, генерацію тестових сигналів, вимірювання індуктивності, ємності, частоти та температури [12].

### 1.3 Вимірювання електричних параметрів за допомогою лічильників енергії

Вимірювання напруги і струму в електроприладах може здійснюватися також за допомогою електронних лічильників енергії.

Лічильники електричної енергії класифікуються за такими критеріями.

Тип підключення:

- пряме підключення – лічильники підключаються безпосередньо до силового кола;
- трансформаторне підключення – лічильники підключаються через вимірювальні трансформатори;

Вимірювальні величини:

- однофазні лічильники (220В, 50 Гц);
- трифазні лічильники (380В, 50 Гц). Сучасні моделі трифазних лічильників можуть підтримувати однофазний облік [23].

Конструкція.

Індукційні лічильники – магнітне поле нерухомих котушок створює обертальний момент на рухливому диску, а кількість обертів цього диску пропорційна спожитій енергії.

					MPMA24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Електронні лічильники – перетворюють змінний струм і напругу в електронні імпульси, які пропорційні активній енергії. Вони можуть мати електромеханічний або повністю електронний лічильний механізм.

Гібридні лічильники – комбінують індукційні або електронні вимірювальні частини з цифровим інтерфейсом [23].

Індукційні лічильники поступово витісняються через такі недоліки, як відсутність автоматичного зняття показів, однотарифний облік, великі похибки вимірювання, поганий захист від несанкціонованого втручання, низьку функціональність і складнощі в установці порівняно з сучасними електронними моделями.

Електронні лічильники мають низьку переваг, зокрема облік за кількома тарифами, довший міжперевірочний період (4-16 років) і здатність витримувати значні навантаження [23]. Крім того, електронні лічильники відрізняються високою точністю (до 0,1 класу точності), що забезпечується електронним інтегратором та іншими вузлами, які здійснюють аналого-цифрове перетворення і облік.

Електронні лічильники можуть вимірювати активну і реактивну потужність в одно- і трифазних колах змінного струму. Вони здатні виконувати ряд додаткових функцій, зокрема:

- облік енергії за різними тарифами (денний, нічний);
- вимірювання частоти мережі;
- вимірювання напруги, струму, часу і дати;
- збереження інформації про спожиту енергію за різні періоди [23].

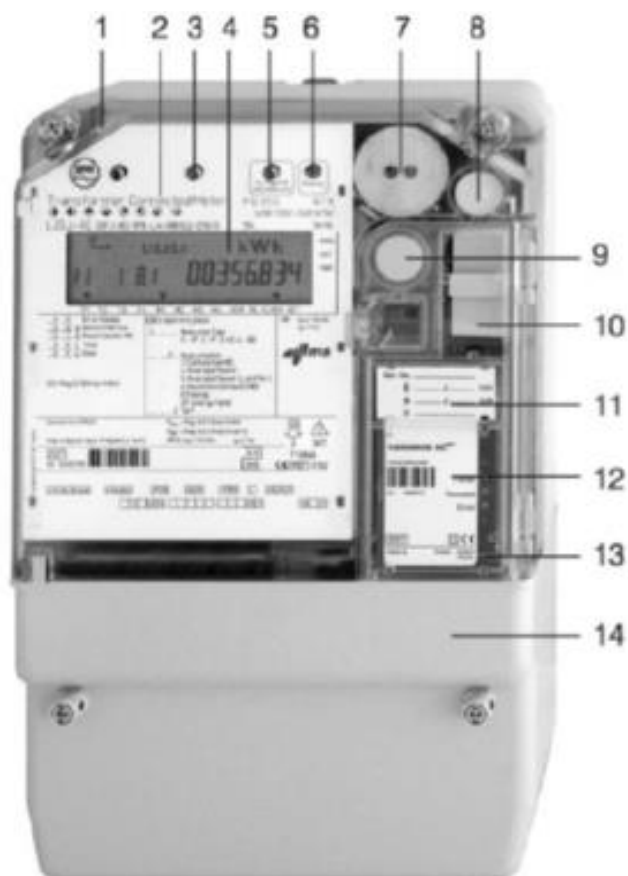
Прикладом є електронний лічильник «LZQJ-XC», що враховує активну і реактивну енергію за різними тарифами, відповідає стандартам точності та безпеки [24]. Для його монтажу необхідно дотримуватися інструкцій, забезпечуючи правильне підключення фаз і нейтралі.

Для вимірювання активної, реактивної та повної потужності слід застосовувати електронний лічильник електроенергії типу «LZQJXC-PHB-E-1.10». Ни-

					MPMA24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

жче представлені його будова, конструкційні та електричні схеми. Загальний вигляд лічильника «LZQJ-ХС» наведено на рис. 1.15 [24].

Лічильники трансформаторного підключення мають бути захищені запобіжником < 10 А (рис.1.16, аркуш [МРМА24.00.00.000ДО3]).



- 1- кришка; 2 - паспорт – щиток; 3 - тестовий світлодіод реактивної потужності;  
4 –дисплей рідкокристалічний; 5 - тестовий світлодіод активної потужності;  
6 - сенсор виклику оптичний; 7 - інтерфейс даних оптичний; 8 - кнопка виклику;  
9 - кнопка параметризації та автоматичного зчитування; 10 - батарея зчитування;  
11 - таблиця для трансформатора із заводською характеристикою; 12 - модуль зв'язку; 13 - кришка на петлях; 14 - кришка терміналу.

Рисунок 1.15 – Лічильник «LZQJ-ХС»:

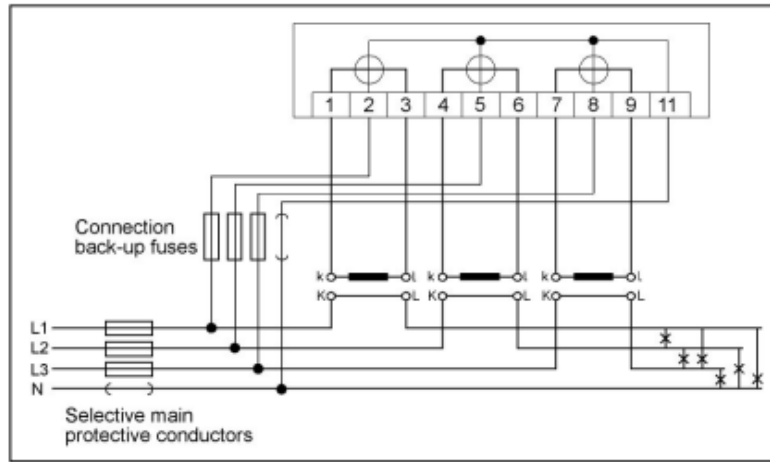


Рисунок 1.16 – Розміщення додаткових запобіжників з лічильниками трансформаторного включення

Електричні лічильники прямого включення мають бути захищені додатковими запобіжниками 100 А. Схема наведена на рис.1.17.

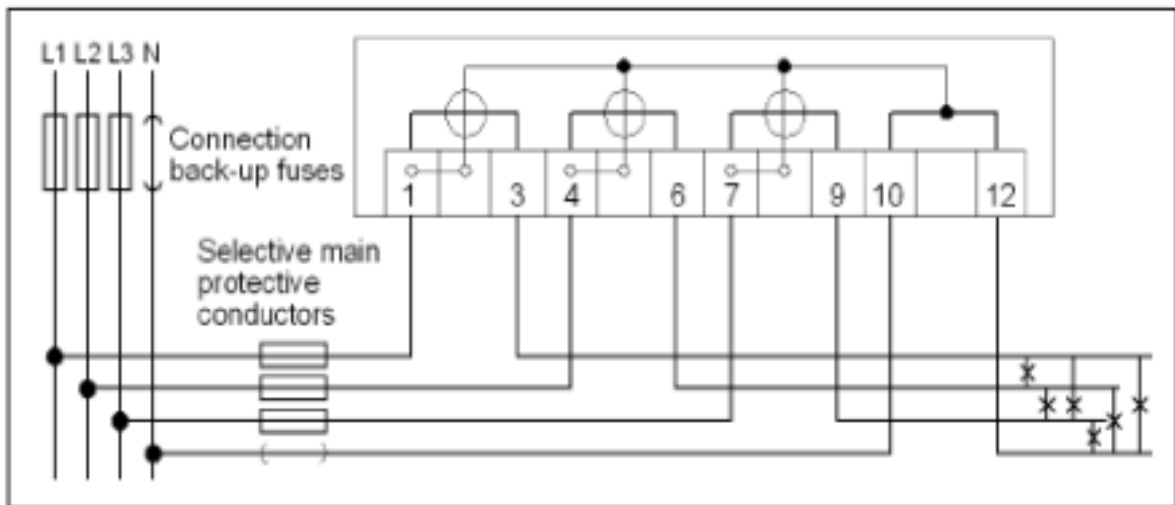


Рисунок 1.17 - Додаткові запобіжники для електролічильників прямого включення

Електроенергія вимірюється шляхом обробки вибіркових значень, які передаються від аналогово-цифрових перетворювачів (ADC) до процесора. Завдяки цьому всі вимірювані величини можуть бути точно розраховані та враховані у

всіх квадрантах (рис.18). Обчислення забезпечують стабільність і актуальність отриманих значень.

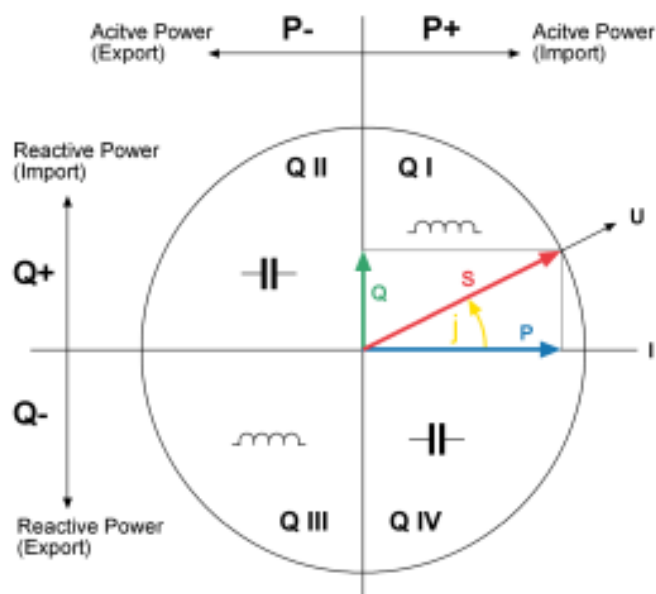


Рисунок 2.18 – Визначення квадрантів

Напруги на затискачах створюють рівні пропорційного інтервалу напруги на внутрішніх дільниках, які подаються на три вхідні канали ADC.

Для вимірювання напруги використовуються струмові трансформатори з компенсацією похибок, значення з яких передаються на три вхідні канали ADC через відповідний підсилювач.

У процесі роботи виміряні дані зберігаються в оперативній пам'яті (RAM). Щодоби дані переносяться в постійну пам'ять. Вимірювальні інтервали можуть бути перервані лише у випадку тривалого вимкнення приладу від мережі. Дані у постійній пам'яті зберігаються не менше 10 років без необхідності використання буферної батареї, що забезпечується якістю флеш-носія [14].

За основу стенду, що проєктується взятий стенд, що розроблений фахівцями кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем на базі електролічильника «Елвін ET 2B5E8ULRT» (рис.1.19).



- атмосферний тиск у межах від 70 до 106,7 кПа відповідно до групи 4 засобів вимірювання за ГОСТ 22261-83.

За стійкістю до механічних впливів лічильники ЕТ відповідають групі 3 за ГОСТ 22261-83. Ці складні електронні прилади мають у своєму складі мікроконтролер і поділяються на дві категорії:

- лічильники для вимірювання одного виду енергії (активної або реактивної);

- лічильники, що вимірюють як активну, так і реактивну енергію.

Кожну групу можна поділити ще на дві категорії:

- лічильники з диференційованим тарифним обліком;

- лічильники без тарифного обліку.

У вхідних колах лічильників ЕТ використовуються активні струмові трансформатори з малою фазовою та амплітудною похибкою. Для перетворення напруги застосовуються високоточні резистивні ділянки напруги з фазовою компенсацією. Живлення забезпечує імпульсне однокатне зворотне джерело живлення з широким діапазоном вхідних напруг. Лічильники оснащені рідкокристалічними дисплеями для відображення інформації. Для телеметричних виходів використовуються оптрони з додатковими транзисторами в схемі Дарлінгтона, а захист забезпечується стабілітронами з напругою стабілізації 30 В. Управління навантаженням здійснюється оптосимістором, який комутує змінну напругу. У багатотарифних моделях передбачені оптосенсори для перегляду показань та налаштування параметрів, які працюють на основі модульованого інфрачервоного випромінювання та фотоприйому з підтвердженням спрацювання червоним світлодіодом.

На рис. 1.20 представлена структурна схема лічильників ЕТ xxxDxGLxT, ЕТ xxxCxGLxT. Сигнали від вхідних кіл струму і напруги передаються попарно через комутатор на аналоговий перемножувач напруги. Вихідна напруга перемножувача подається на інтегратор, а потім на перетворювач напруга-частота. Обчислення імпульсів в енергію, формування вихідних імпульсів і повідомлень

					MPMA24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

про спожиту енергію виконується мікроконтролером. Зберігання показів здійснюється в енергонезалежній пам'яті [24, 25].

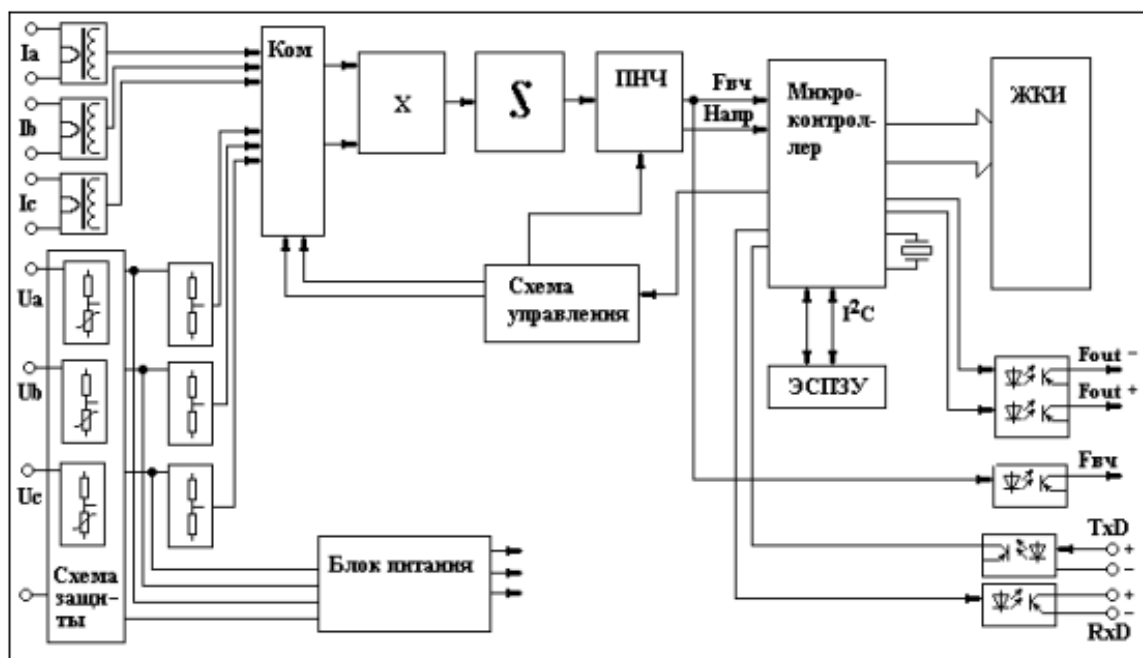


Рисунок 1.20 - Схема структурна лічильників ET xxxDxGLxT,  
ET xxxCxGLxT

#### 1.4 Висновки до першого розділу

На основі проведеного аналізу можна зробити такі висновки:

- розглянуто пристрої, що дозволяють вимірювати електричні параметри електропобутової техніки широкого діапазону;
- виявлено потребу у створенні стенда, який дозволить у лабораторних умовах досліджувати різні види електропобутової техніки;
- розроблений стенд може бути застосований на промислових підприємствах, а також використовуватися в освітньому процесі.

## 2 РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ СТЕНДУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОПОБУТОВОЇ ТЕХНІКИ

### 2.1 Системний підхід до розробки експериментального стенда для дослідження електропобутової техніки

Проектування стендів є складним процесом, що включає розробку технічного завдання, проектних пропозицій, ескізного та технічного проєктів, створення функціональних і принципових схем, розрахунків елементів та систем, вибір компоновальної схеми для забезпечення заданих параметрів і підготовку робочої документації [26].

Існують різні підходи до проектування стендів. Індивідуальний підхід зосереджений на вирішенні конкретних завдань для створення стенду, що виникають на підприємствах у зв'язку з контролем окремих параметрів або вузлів. Комплексний (системний) підхід охоплює комплексні завдання для забезпечення якості стенду, включаючи створення системи взаємопов'язаних стендів для тестування, випробування та контролю на всіх етапах життєвого циклу: від проектування до виробництва та експлуатації.

Наявність спеціалізованих експериментальних стендів є важливою умовою для ефективних досліджень, а постійне вдосконалення такої бази – ключовою умовою прогресу електропобутової техніки. Створення експериментальних засобів потребує значних ресурсів і часу, оскільки більшість стендів є унікальними і не мають аналогів. Дослідні програми і випробування узгоджуються з вимогами до розроблюваної техніки, з урахуванням техніко-економічної ефективності [26]:

- експлуатаційні критерії (надійність, відповідність заданим параметрам, інформативність);
- економічні критерії (вартість розробки, ефективність експлуатації);

					MPMA24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



- створення засобів автоматизації стендів, які інтегруються у контур управління, що значно підвищує якість і техніко-економічну ефективність досліджень.

Автоматизація стендів дозволяє [26]:

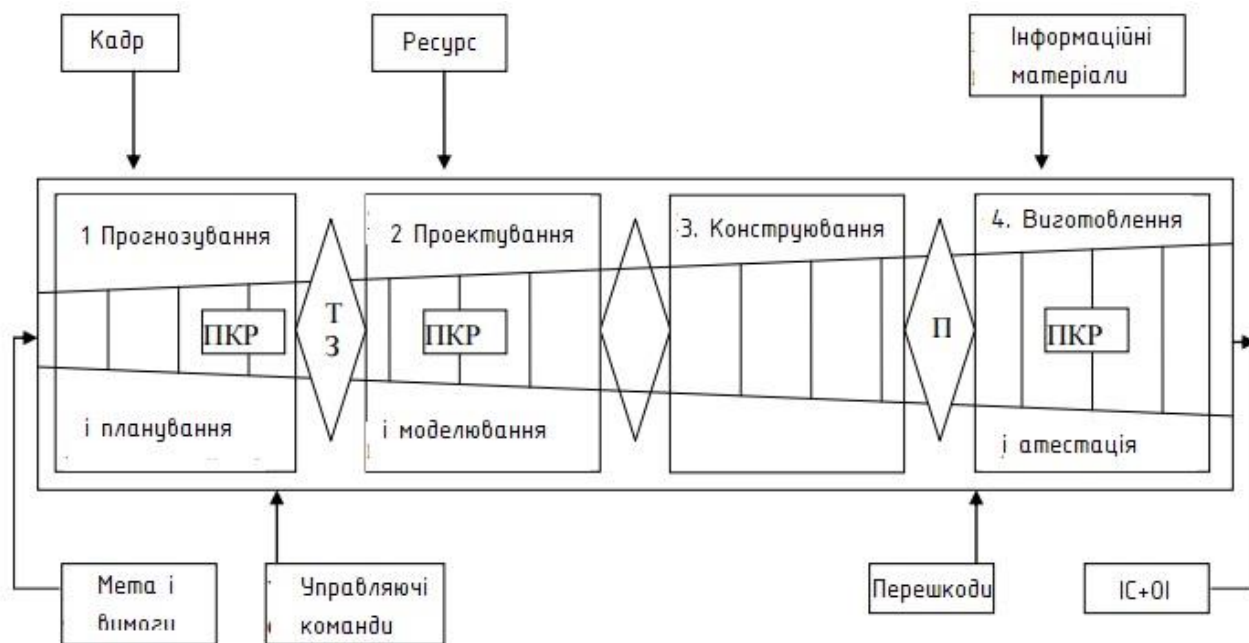
- підвищити ефективність і якість наукових досліджень за допомогою уточнення явищ або процесів із застосуванням ЕОМ;
- отримати нові наукові результати, які були б недосяжними без автоматизації;
- скоротити час і трудомісткість експериментального циклу завдяки пришвидшенню підготовки і проведення експериментів;
- покращити оперативність у зборі, обробці та використанні інформації про якість і надійність;
- зменшити кількість помилок під час вимірювань і обробки даних;
- підвищити точність та достовірність експериментальних результатів;
- збільшити інформативність експерименту завдяки додатковим вимірвальним каналам і повнішій обробці даних;
- посилити контроль за перебігом експерименту та можливість його оптимізації;
- зменшити кількість учасників експерименту, особливо у випадках підвищеного ризику;
- забезпечити швидке отримання результатів у зручній формі (наприклад, графічній).

Процес проектування є системою взаємопов'язаних і доцільно організованих технічних рішень, які можна представити як систему проектування (СП). Елементами такої системи є конструкторські рішення на різних стадіях і етапах проектування, а їх взаємозв'язок виражається через потік документів, що містять матеріали з конструкторськими рішеннями та допоміжні документи, необхідні для організації й управління СП [26].

					МРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Процес розробки в узагальненому вигляді складається з чотирьох стадій прийняття конструкторських рішень [26]:

- прогнозування і планування розробки;
- проектування і моделювання;
- конструювання;
- виготовлення, атестація і впровадження (рис. 2.1).



ПКР – прийняття конструкторських рішень; П - проект

Рисунок 2.1 – Схема системи розроблення:

Системний підхід до проектування отримав розвиток в організації процесу створення і науково обґрунтованого вибору рішень, а також у їх взаємному узгодженні для досягнення максимального ефекту. Організація проектування передбачає створення моделі процесу проектування, що базується на концепції управління.

Проектні процедури поділяються на процедури аналізу і синтезу (рис. 2.2). Синтез передбачає створення опису експериментального стенду, тоді як аналіз спрямований на визначення властивостей та дослідження працездатності

стенду на основі його опису. Тобто синтез створює, а аналіз оцінює проекти експериментальних стендів [26].

Процедури аналізу можуть бути однотипними або різноманітними. Однотипний аналіз передбачає визначення значень внутрішніх і зовнішніх параметрів та обчислення значень вихідних параметрів об'єкта. Завдання такого аналізу зводиться до одноразового розв'язання рівнянь, що утворюють математичну модель.



Рисунок 2.2 – Схема проектних процедур

Багатоваріантний аналіз полягає у вивченні властивостей експериментального стенду в певній області простору внутрішніх параметрів, що вимагає багаторазового розв'язання систем рівнянь.

Процедури синтезу поділяються на параметричні та структурні.

Структурний синтез спрямований на визначення структури експериментального стенду, включаючи перелік типів елементів, що його складають, та способів їх зв'язку між собою у складі стенду [26].

Параметричний синтез передбачає встановлення числових значень параметрів елементів при заданій структурі та умовах працездатності.

На рис. 2.3 наведена послідовність етапів проектування.

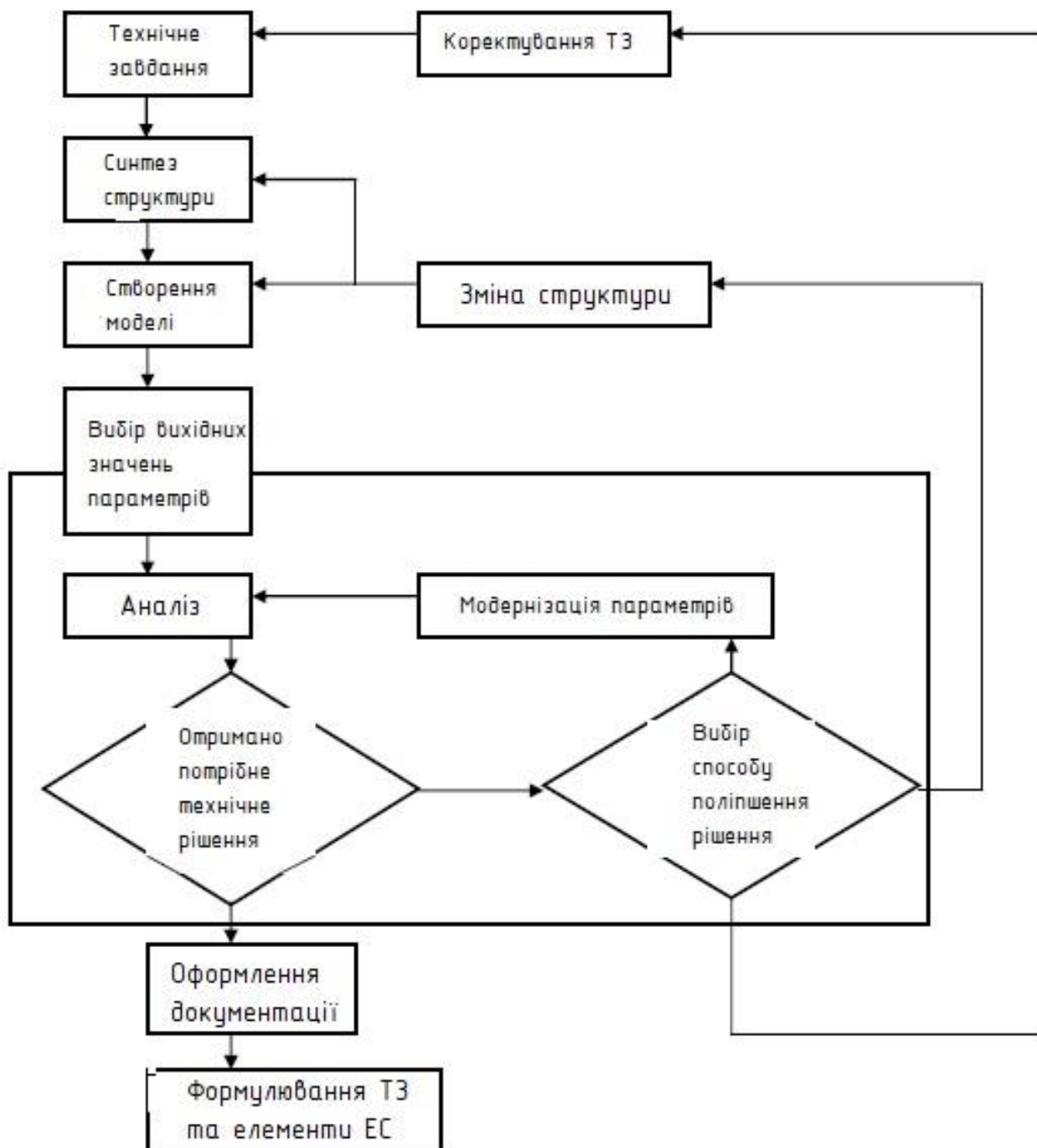


Рисунок 2.3 – Схема процесу проектування стенду для експериментів

Проектування експериментального стенду починається з розробки початкового варіанту його структури. Для оцінки цього варіанту створюються математична модель, динамічно подібна модель (ДПМ), фізична модель та стенд. Після вибору початкових значень параметрів елементів виконується аналіз варіантів, за результатами якого можна оцінити працездатність експериментального стенду. Якщо рішення є незадовільним, обирається один із можливих шляхів покращення проекту, найчастіше шляхом зміни числових значень параметрів елементів. Сукупність процедур модифікації параметрів, аналізу та оцінки результатів становить параметричний синтез. У випадку, якщо за допомогою параметричного синтезу не вдається досягти необхідних умов працездатності, модифікується структура експериментального стенду [26].

Новий варіант структури синтезується, і для нього повторюються процедури моделювання та параметричного синтезу. У виняткових випадках коригується технічне завдання, що обумовлює ітеративний характер процесу проектування.

## 2.2 Розроблення структурної схеми стенду для вимірювання електричних характеристик

Структурна схема є сукупністю елементарних ланок об'єкта та зв'язків між ними і виступає одним із типів графічних моделей [27, 28]. Елементарна ланка – це частина об'єкта, системи управління тощо, яка реалізує певну функцію.

Елементарні ланки зображаються у вигляді прямокутників, а зв'язки між ними позначаються суцільними лініями зі стрілками, що вказують напрям дії. У сфері енергетики, електротехніки та електромеханіки поряд зі структурною схемою розрізняють також принципіві та функціональні схеми. Серед них структурна є найменш деталізованою.

					МРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Вона використовується для відображення загальної структури пристрою, включаючи основні блоки, вузли, частини та головні зв'язки між ними. Структурна схема повинна пояснювати призначення пристрою та його функціонування в основних режимах, а також взаємодію між складовими частинами. Незважаючи на деяку свободу у позначеннях, бажано дотримуватись загальноприйнятих правил.

Запропоновано наступну конструкцію стенду типу LZQJ-ХС. Структурна комбінована схема показана на рис.2.4 (аркуш [МРМА24.01.00.000С1]).

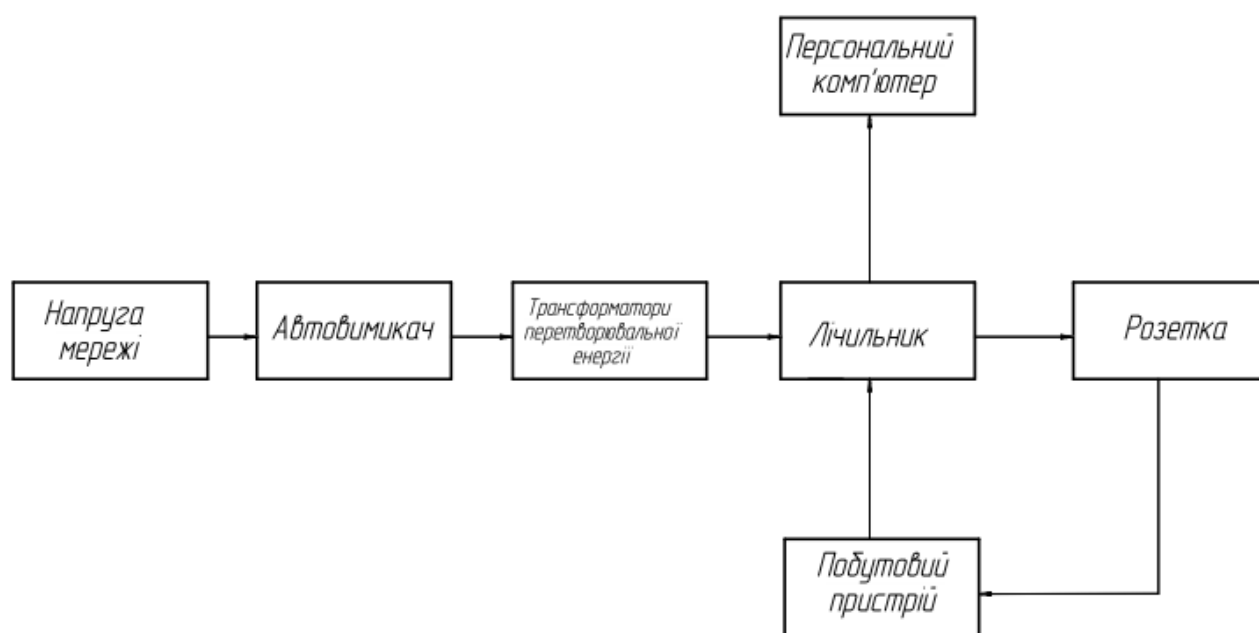
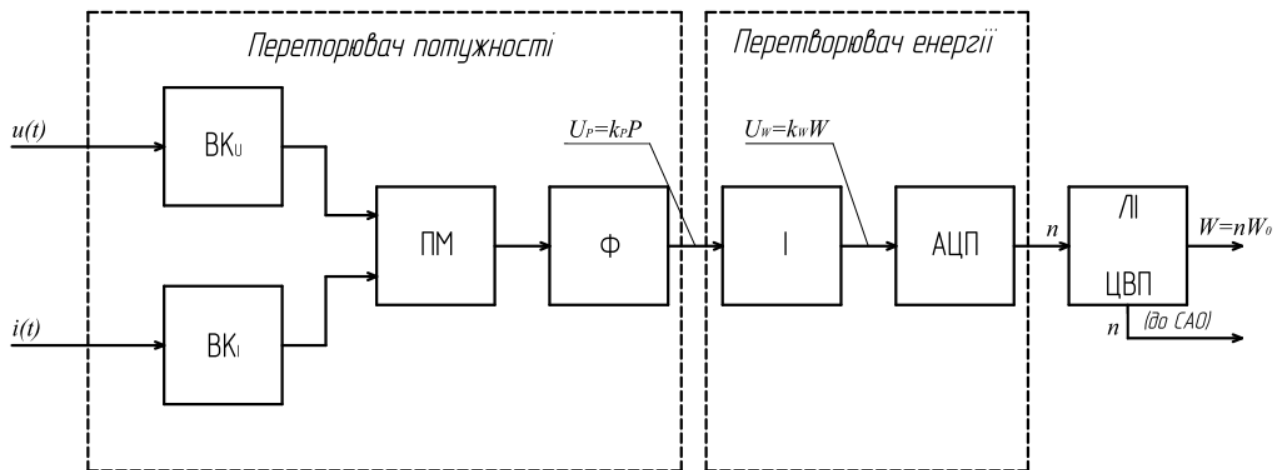


Рисунок 2.4 – Комбінована структурна схема стенду для вимірювання електричних характеристик електропобутової техніки

Стенд функціонує наступним чином. Напруга спочатку подається на автоматичний вимикач. При його активації напруга передається на трансформатори струму, а потім надходить до електронного лічильника. З лічильника напруга подається на розетку для підключення електропобутового пристрою. Інформація з лічильника передається в електронно-обчислювальну машину за допомогою оптоголовки.

Комбінована структурна схема заснована на електролічильнику. На рис. 2.5 (аркуш [МРМА24.02.00.000С1]) представлена комбінована структурна схема типового електронного лічильника енергії, основними вузлами якого є:

- перетворювач потужності в напругу;
- перетворювач енергії у кількість імпульсів;
- лічильник імпульсів із цифровим відліковим пристроєм.



$ВК_U$ ,  $ВК_I$  – вхідні кола напруги та струму;  $\Phi$  – фільтр; ПМ – перемножувач; АЦП – аналого-цифровий перетворювач; І – інтегратор; ЦВП – цифровий відліковий пристрій; ЛІ – лічильник імпульсів; САО – система автоматизованого обліку енергії.

Рисунок 2.5 – Структурна комбінована схема електронного лічильника:

Перетворювач потужності у напругу, на який подається роздільно напруга споживача  $u(t)$  та  $i(t)$ , складається із:

- вхідних кіл напруги  $ВК_U$  та струму  $ВК_I$ ;
- фільтра низької частоти  $\Phi$ ;
- перемножувача сигналів ПМ.

У вхідних колах перетворювача зазвичай застосовують:

- ділники напруги,

- масштабні перетворювачі - вимірювальні трансформатори струму і напруги,
- вимірювальні підсилювачі, призначенням яких є утворення сигналів, придатних для нормальної роботи перемножувача ПМ.

Перемножувач сигналів може бути побудований за одним із відомих принципів – з однією вимогою забезпечення необхідних метрологічних параметрів. Фільтр нижніх частот здійснює функцію інтегрування вихідного сигналу перемножувача, тобто миттєвої потужності  $p(t) = u(t) \cdot i(t)$ .

Виходячи з цього вихідна напруга перетворювача потужності визначатиметься за формулою:

$$U_P = k_P P, \quad (2.1)$$

де  $k_P$  – коефіцієнт перетворення перетворювача потужності;

$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt$  – середнє значення потужності споживача за період  $T$ .

Перетворювач енергії за певну кількість імпульсів складається з інтегратора І та АЦП. Вихідний сигнал інтегратора, зробленого на основі операційного підсилювача, пропорційний до енергії  $W$ , яка споживається навантаженням за час  $t = t_2 - t_1$ .

Інтегратор та АЦП повинні бути збудовані так, щоб одному імпульсу на виході АЦП відповідала енергія  $W_0$  певного рівня, прийнята за одиницю у цьому електролічильнику.

Тобто:

$$W_0 = k_0, \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

де  $k_0 = 10^{-2}; 10^{-3}$  тощо.

Виходячи з цього кількість імпульсів  $n$ , що приходить на лічильник імпульсів ЛІ за час  $t$ , буде пропорційна до енергії  $W$ , що споживається за цей час:

					МРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$W = nW_0 \quad (2.2)$$

Результат вимірювання виводиться на цифровий відліковий пристрій ЦВП або дисплеї, а також у цифровому коді поступає в систему автоматизованого обліку енергії САО.

Гранична величина основної відносної похибки електронних лічильників  $\delta_{A,гр}$ , якщо  $m \geq 0,2$  дорівнює класу точності  $k$ . Відповідно:

$$\delta_{A,гр} = \pm k, \% \quad (2.3)$$

а якщо  $m = 0,1 \dots 0,2$  – то знаходять за формулою:

$$\delta_{A,гр} = \pm k \left( 0,9 + \frac{0,02}{m} \right) \% \quad (2.4)$$

де  $m = \frac{UI \sin \varphi}{U_{нл} I_{нл}}$  – коефіцієнт навантаження;

$\varphi$  – кут зсуву фаз між напругою та струмом споживача;

$I, U$  – діючі значення струму і напруги споживача;

$U_{нл}, I_{нл}$  – номінальні значення напруги і струму електrolічильника [27].

Напруга від електромережі 380 В подається на автоматичний вимикач. Від нього електрична напруга передається на електронний лічильник і трансформатори струму. Для зчитування показників із трансформаторів струму напруга подається на лічильник. До лічильника підключаються розетки на 380В, а також розетка на 220В через фазу 1 і фазу 0 (рис. 2.6) (аркуш [МРМА24.00.00.000Е3]).

Стенд, що розробляється в роботі, дозволить досліджувати певну кількість електропобутових приладів. Під час роботи пристроїв також можна буде спостерігати як змінюється напруга, струм та потужність.

					МРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

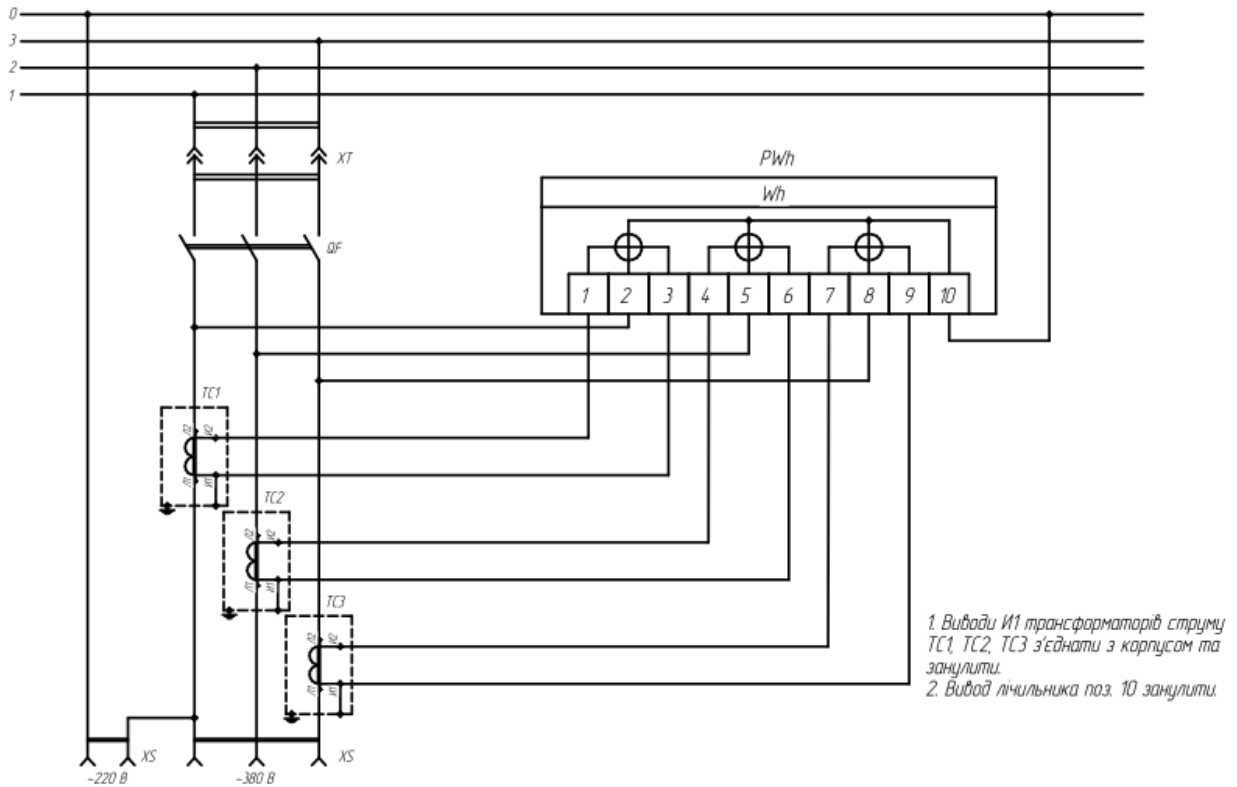


Рисунок 2.6 – Схема електрична принципова стану для вимірювання електричних характеристик

### 2.3 Розроблення корпусу стану для вимірювання електричних характеристик

Необхідно було виготовити корпус відповідно до розмірів, зазначених на кресленні (МРМА24.00.00.000В3). Після виготовлення корпусу слід спершу розрахувати та зробити отвори для кріплення його компонентів.

Для цього потрібно використати такі компоненти:

- трансформатори струму ТК–30/5 для розширення меж вимірювання;
- електронний лічильник типу LZQJ–XC для вимірювання активної, реактивної та повної потужності;
- трьохфазний автоматичний вимикач із заданим струмом автоматичного спрацювання (10А);
- однофазні та трьохфазні розетки;

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.  
42

- клему заземлення та трьохфазну вилку типу ВШ30–В–А–25/380.

Після цього необхідно встановити автоматичний вимикач 1, однофазну та трьохфазну розетки 2, 3, електронний лічильник 4 і три трансформатори типу ТК–30/5 5. Через спеціальний отвір у корпусі потрібно підвести трьохфазну вилку 6 для підключення до електромережі.

Корпус був виготовлений із матеріалу ДСП товщиною 20 мм, що має електричну міцність 17...30 кВ/мм, нагрівостійкість 115...125 °С і густину від 1,25 до 1,4 г/см<sup>3</sup>.

Загальний вигляд розробленого стенду представлено на рис. 2.7.

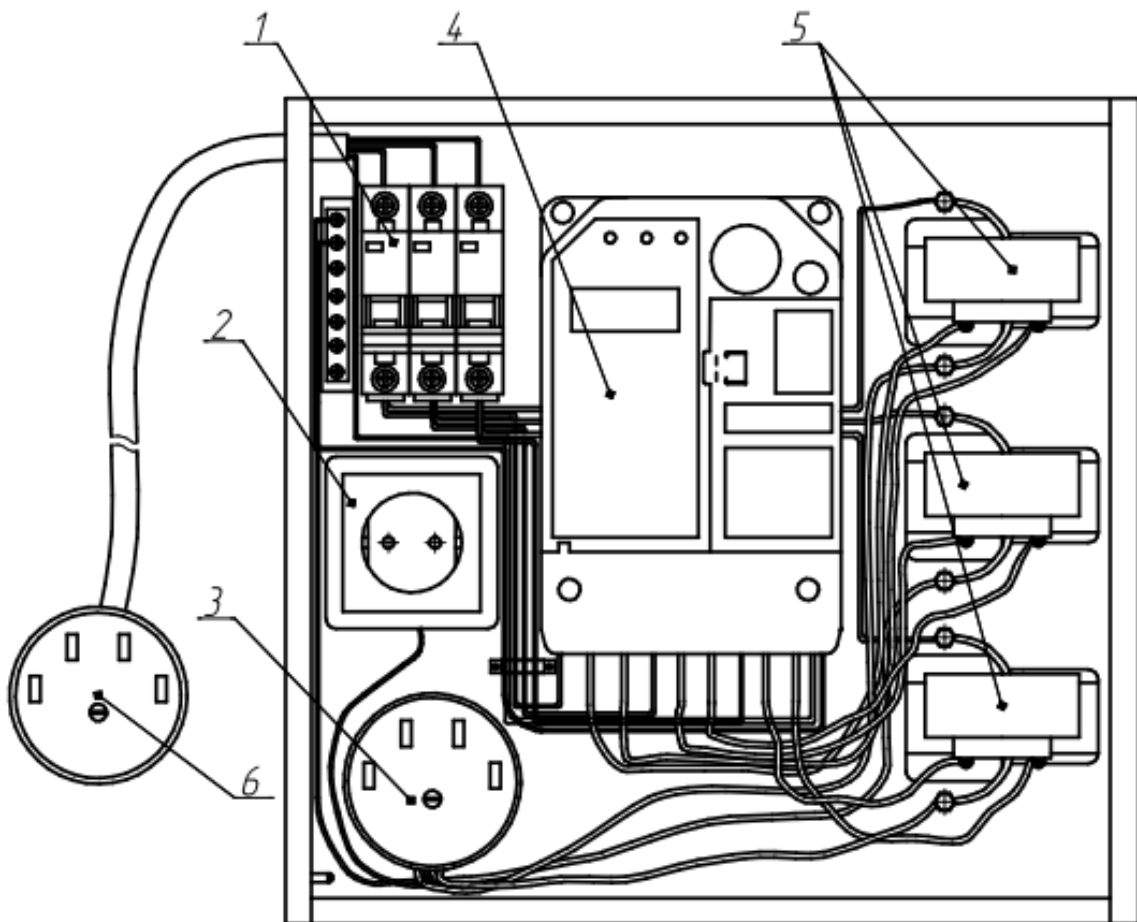


Рисунок 2.7 – Загальний вигляд стенду

Для під'єднання складових стенда було застосовано одножильний монтажний провід марки ПМВ, ізолюваний поліхлорвінілом, що має наступні характеристики:

						МРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк. 43
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата			

- максимальну робочу напругу 380 В;
- номінальний перетин 0,75 мм<sup>2</sup>;
- витримує робочі температури в інтервалі від –60 до +70 °С.

#### 2.4 Розроблення різних схем підключення

Стенд створений на базі електронного лічильника марки «LZQJ–XC». Цей лічильник можна підключити за різними схемами.

На рис.2.8 – 2.14 наведені можливі схеми підключення електронного лічильника [23]:

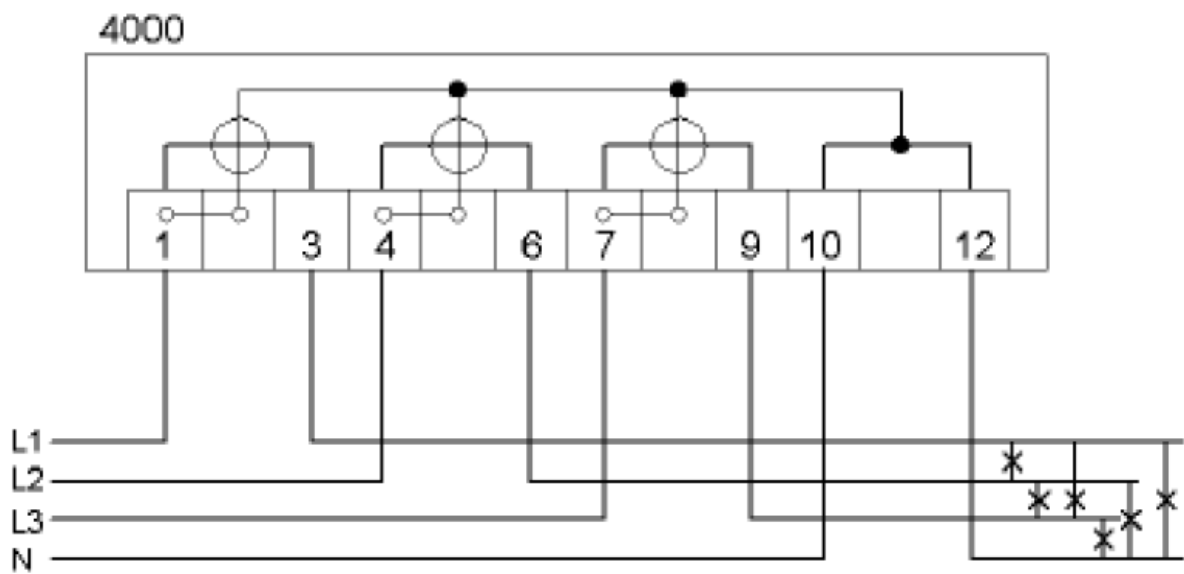


Рисунок 2.8 – Три фазний лічильник прямого включення в чотири провідну електромережу

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.  
44

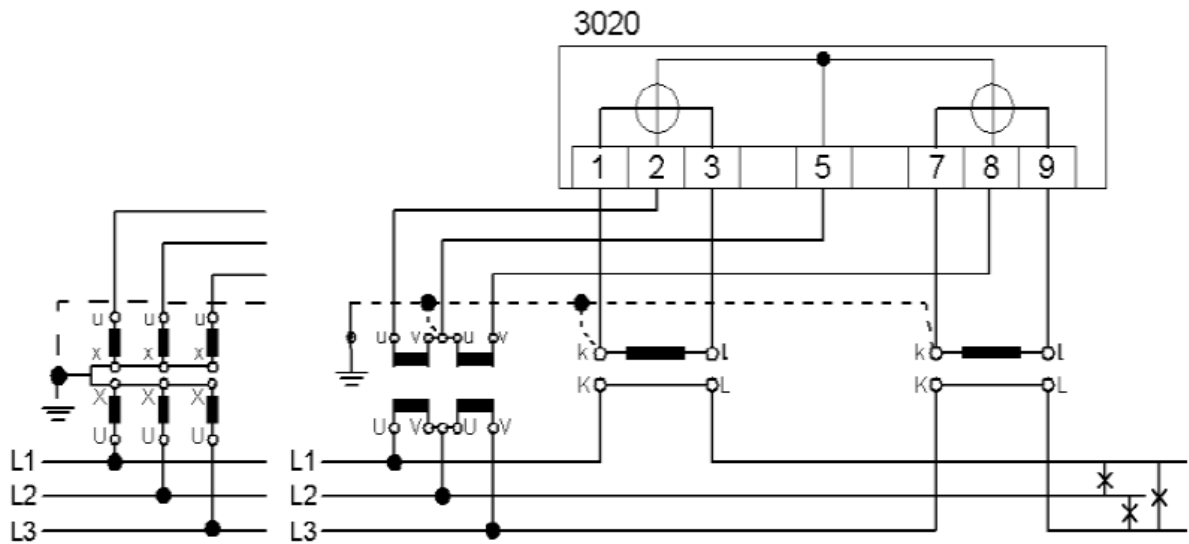


Рисунок 2.9 – Лічильник трансформаторного включення для під'єднання до трансформатору струму і напруги в три провідних електромережах

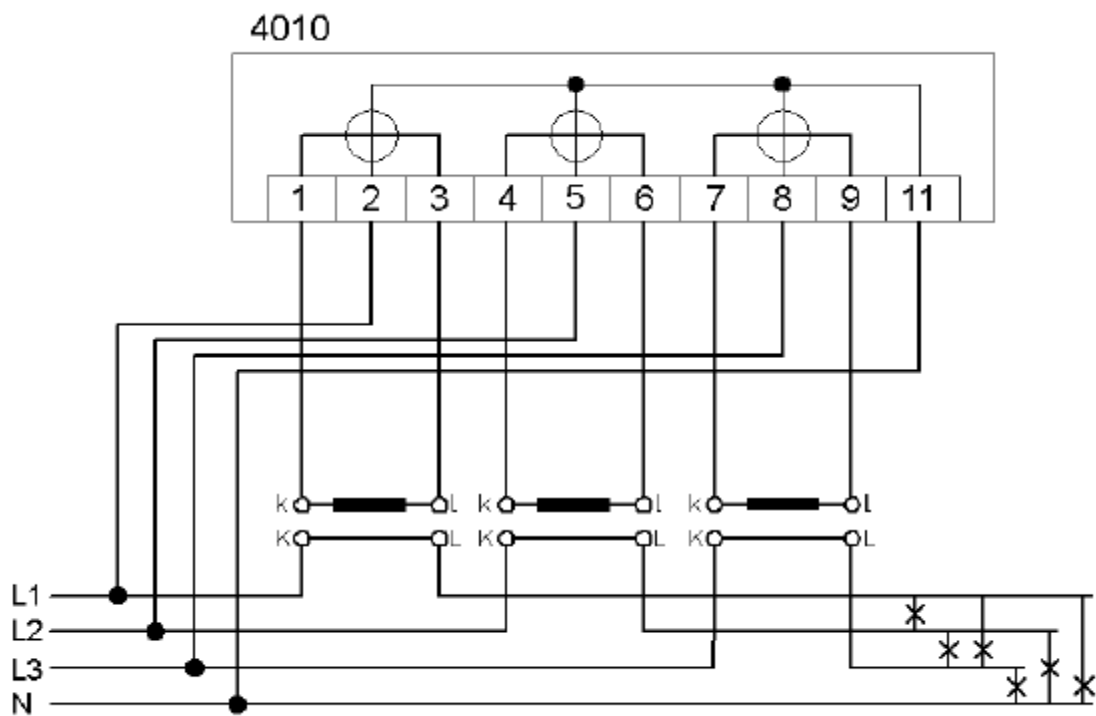


Рисунок 2.10 – Електронний лічильник трансформаторного вмикання для підключення до трансформаторів струму в чотири провідну електромережу

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

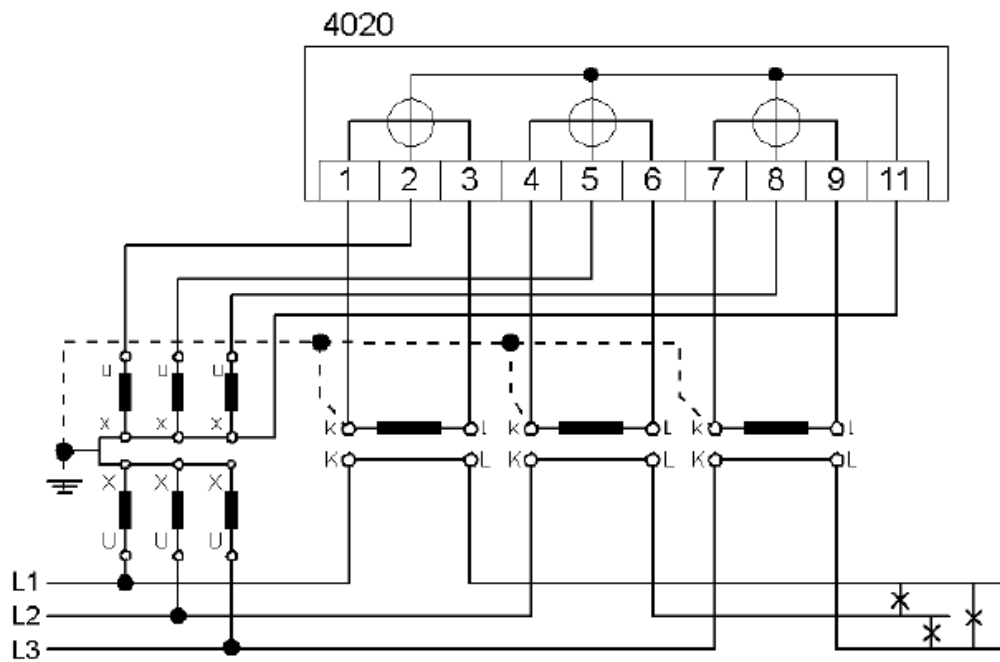


Рисунок 2.11 – Електронний лічильник трансформаторного вмикання для під'єднання до трансформаторів струму і напруги в три провідну електромережу; 4020 тип запису вимірювань М1

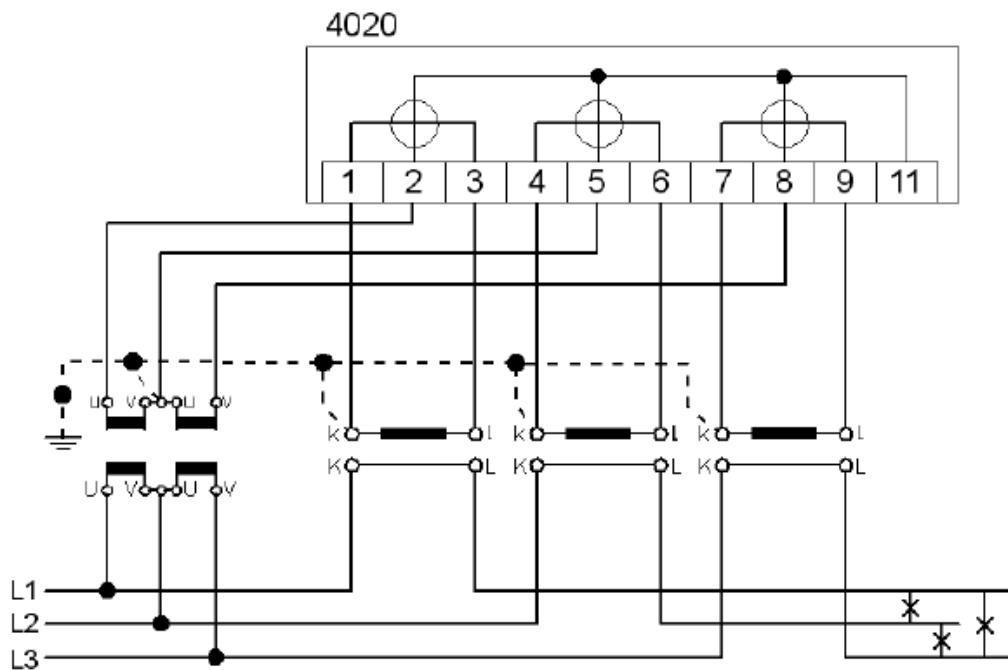


Рисунок 2.12 – Електронний лічильник трансформаторного вмикання для під'єднання до трансформатору струму і напруги в трьох провідну електромережу; 4020 тип запису вимірювань М3

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.

46

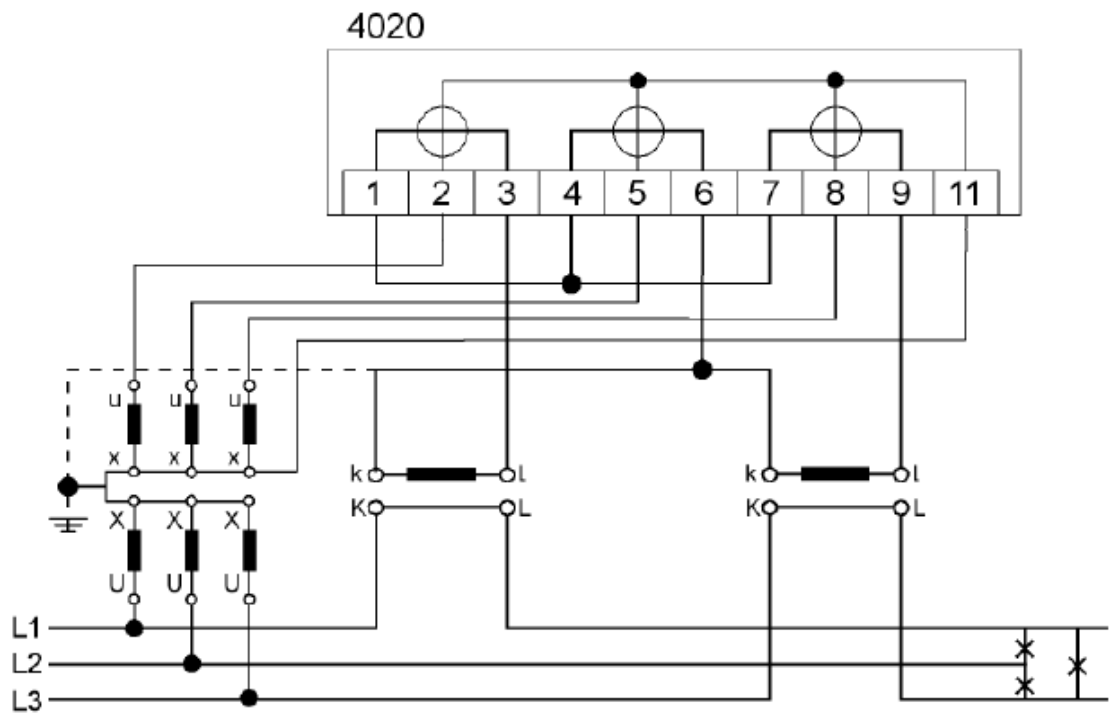


Рисунок 2.13 – Електронний лічильник трансформаторного вимірювання для під'єднання до трансформатору струму і напруги в трьох провідну мережу; 4020 тип запису вимірювань М4

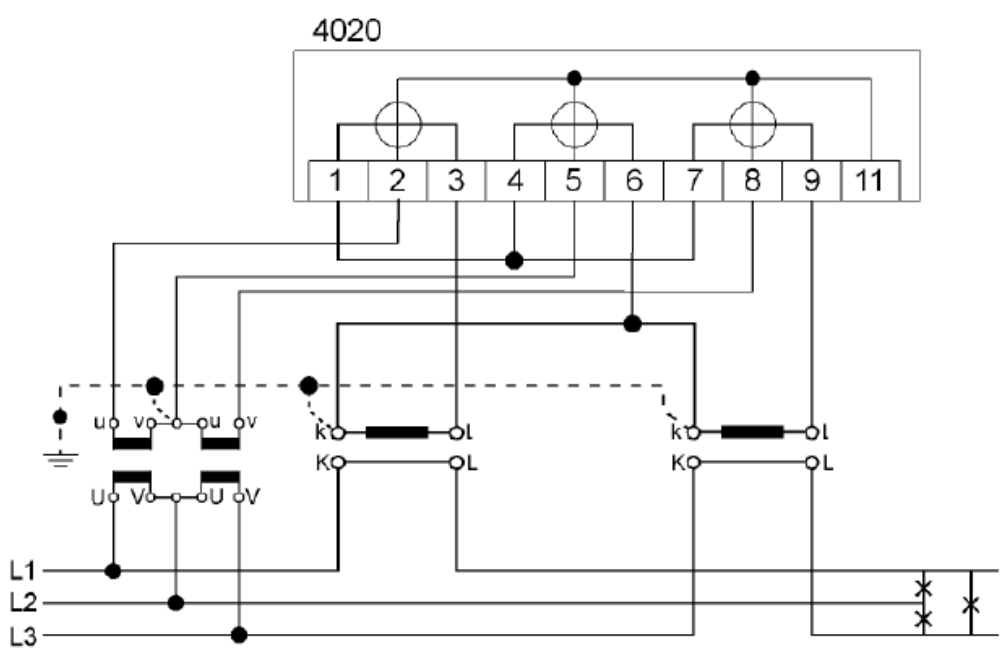


Рисунок 2.14 – Електронний лічильник трансформаторного вимірювання для під'єднання до трансформатору струму і напруги в трьох провідну електромережу (під'єднання до двох трансформаторів струму); 4020 тип запису вимірювань М6

Схема роботи лічильника та його основні функції типу «LZQJ–XC» наведені в додатку Б.

Основні функції лічильника включають:

Можливості підключення електролічильника:

- зв'язок через електронний інтерфейс;
- зв'язок через оптичний інтерфейс даних.

Основні налаштування перед підключенням:

- налаштування інтерфейсу, паролів і адреси лічильника;
- встановлення модему;
- налаштування дати та часу;
- вибір швидкості передачі даних.

Зчитування інформації з лічильника:

- зчитування таблиць 1–3 та сервісної таблиці;
- зчитування операційного журналу;
- зчитування профілю навантаження;
- зчитування журналу подій;
- зчитування користувальницького журналу;
- зчитування сертифікаційного журналу;
- коментування при зчитуванні таблиць; – збереження даних профілю навантаження.

Обробка зчитаних даних:

- відкриття і збереження файлів, зокрема зчитування таблиць, профілів навантаження (включно з конвертованими), протокольних файлів тощо;
- імпульсні контрольні файли;
- передача настановних, параметричних і тарифних файлів імпульсного контролю;
- виконання команд зчитування і запису.

					МРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## 2.5 Розрахунок електричних компонентів стенда для оцінки його характеристик

### 2.5.1 Розрахунок та вибір трансформаторів струму

#### 2.5.1.1 Вихідні дані

Знаходимо номінальний коефіцієнт трансформації  $k_{IH}$  ВТС, очікуваний показник  $I_A$  та границю вимірювання  $I_{KA}$  амперметра при знаходженні струму  $I_X$  орієнтовне значення якого складає 45А.

#### 2.5.1.2 Розрахунок струмів трансформатора

Для вимірювань був застосований ВТС типу И509. Виходячи з умови  $I_{IH} \geq I_X$  та ряду стандартних значень, було взято первинний номінальний струм ВТС  $I_{IH} = 50A$ , а вторинний  $I_{2H} = 5A$ ,

Тобто:

$$k_{IH} = 50A/5A.$$

де  $k_{IH}$  – коефіцієнт трансформації;

$I_{IH}$  – первинний струм;

$I_A$  – покази амперметра;

$I_{KA}$  – межа вимірювання амперметра;

$I_{2H}$  – вторинний струм;

$I_X$  – струм, що вимірюється.

Очікуваний показ амперметра знаходиться за наступною формулою:

$$I_A = I_X/k_{IH}; \quad (2.5)$$

					MPMA24.00.00.000 ПЗ	Арк. 49
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$I_A = 45/50/5 = 4,5 \text{ A.}$$

Межу вимірювання амперметра було вибрано з умови  $I_{KA} \geq I_A$ , відповідно  $I_{KA} = 5\text{A}$  [27].

### 2.5.2 Розрахунок та вибір автоматичного вимикача

При виборі автоматичного вимикача слід знати на яку максимальну потужність буде розроблено стенд для визначення електричних параметрів електрообутової техніки.

Відповідно:

$$P = P_1 + P_2 \dots, \quad (2.6)$$

де  $P_1$  і  $P_2$  – потужність електроприладів.

Для визначення струму було застосовано формулу:

$$I = \frac{P}{U}; \quad (2.7)$$

$$I = \frac{2000}{220} = 9,09 \text{ A.}$$

де  $I$  – струм;

$P$  – потужність;

$U$  – напруга.

Було вибрано автомат на 10 А (номінальний струм). Цього буде достатньо. При величині струму більше 10 А автомат відімкнеться [28].

					МРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

### 2.5.3 Розрахунок та вибір розеток

При виборі розеток номінальний струм визначає величину струму, який прилад може пропускати під час тривалої роботи. Технічні характеристики побутових розеток становлять: 220 В з номінальним струмом 10 А, 16 А або 25 А.

Для розрахунку максимально допустимої потужності електроприладу необхідно перемножити ці значення. Наприклад, для розетки з параметрами 220 В і 25 А максимальна потужність буде:

$$220\text{В} \times 25\text{А} = 5500 \text{ Вт або } 5,5 \text{ кВт [19].}$$

### 2.5.4 Розрахунок та вибір проводів

Основним параметром для розрахунку електричного проводу є його тривале допустиме струмове навантаження, тобто максимальний струм, який провід здатний проводити протягом тривалого часу.

Для однофазної мережі 220 В це буде:

$$I = \frac{P \cdot K_i}{U \cdot \cos \varphi}; \quad (2.8)$$

де  $P$  – потужність сумарна всіх електричних приладів, Вт;

$U$  – напруга електричної мережі, В;

$K_i = 0,75$  – коефіцієнт одночасності;

$\cos \varphi = 1$  – для побутових електричних приладів.

Тоді:

$$I = \frac{3000 \cdot 0,75}{220 \cdot 1} = 10\text{А.}$$

					MPMA24.00.00.000 ПЗ	Арк. 51
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Знаючи значення струму, можна обрати перетин алюмінієвого проводу. Вибираємо перетин 1,5 мм, що дозволяє витримувати навантаження від електроприладів потужністю до 4,6 кВт. Для трьохфазної мережі 380 В це відповідно буде:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi}; \quad (2.9)$$

$$I = \frac{3000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 1} = 4,55 \text{ А.}$$

Враховуючи величину струму, можна підібрати перетин алюмінієвого дроту. Обираємо перетин 2,5 мм, який здатний витримувати навантаження від електроприладів потужністю до 12,5 кВт [29].

## 2.6 Висновки до другого розділу

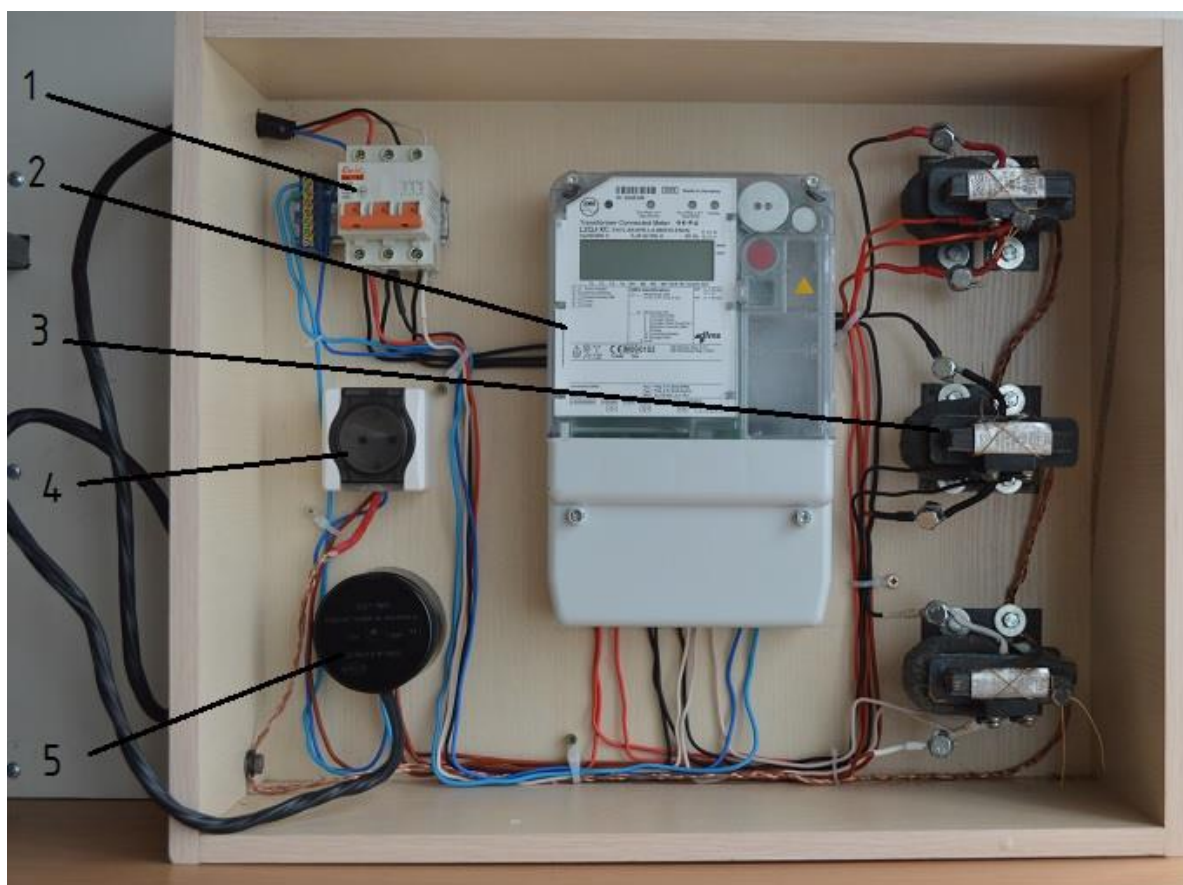
У результаті роботи було створено стенд для вимірювання електричних характеристик електропобутової техніки на основі електронного лічильника типу «LZQJ–XC». Розроблено структурну схему роботи стенду та електронного лічильника, а також електричну принципову схему підключення. Представлено різні схеми підключення лічильника і описано його основні функції. Проведено розрахунок ключових електричних елементів стенду.

					МРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		52

### 3 ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПОБУТОВОЇ ТЕХНІКИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ РОЗРОБЛЕНОГО СТЕНДА

#### 3.1 Виготовлення приладу для визначення електричних характеристик електропобутової техніки

На основі розроблених структурної, функціональної та електричної схем, а також проведених розрахунків і вибору основних елементів, було створено та виготовлено стенд для визначення електричних характеристик електропобутової техніки (рис. 3.1) (аркуш [МРМА24.00.00.000ДІ]).



1 – автомати; 2 – лічильник електричної енергії; 3 – трансформатори струму; 4 – однофазна розетка; 5 – трьох фазна розетка.

Рисунок 3.1 – Стенд для визначення електричних параметрів електропобутової техніки:

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.  
53

## 3.2 Вибір об'єкту, що досліджується

### 3.2.1 Будова пральної машини автомату

Об'єктом дослідження обрано пральну машину Ardo A400 [30].

Основні вузли. Розглянемо загальну будову пральної машини автоматичного типу (рис. 3.2) [31]. Більшість конструктивних елементів пральних машин сімейства Ardo мають подібну структуру з елементами інших моделей пральних машин.

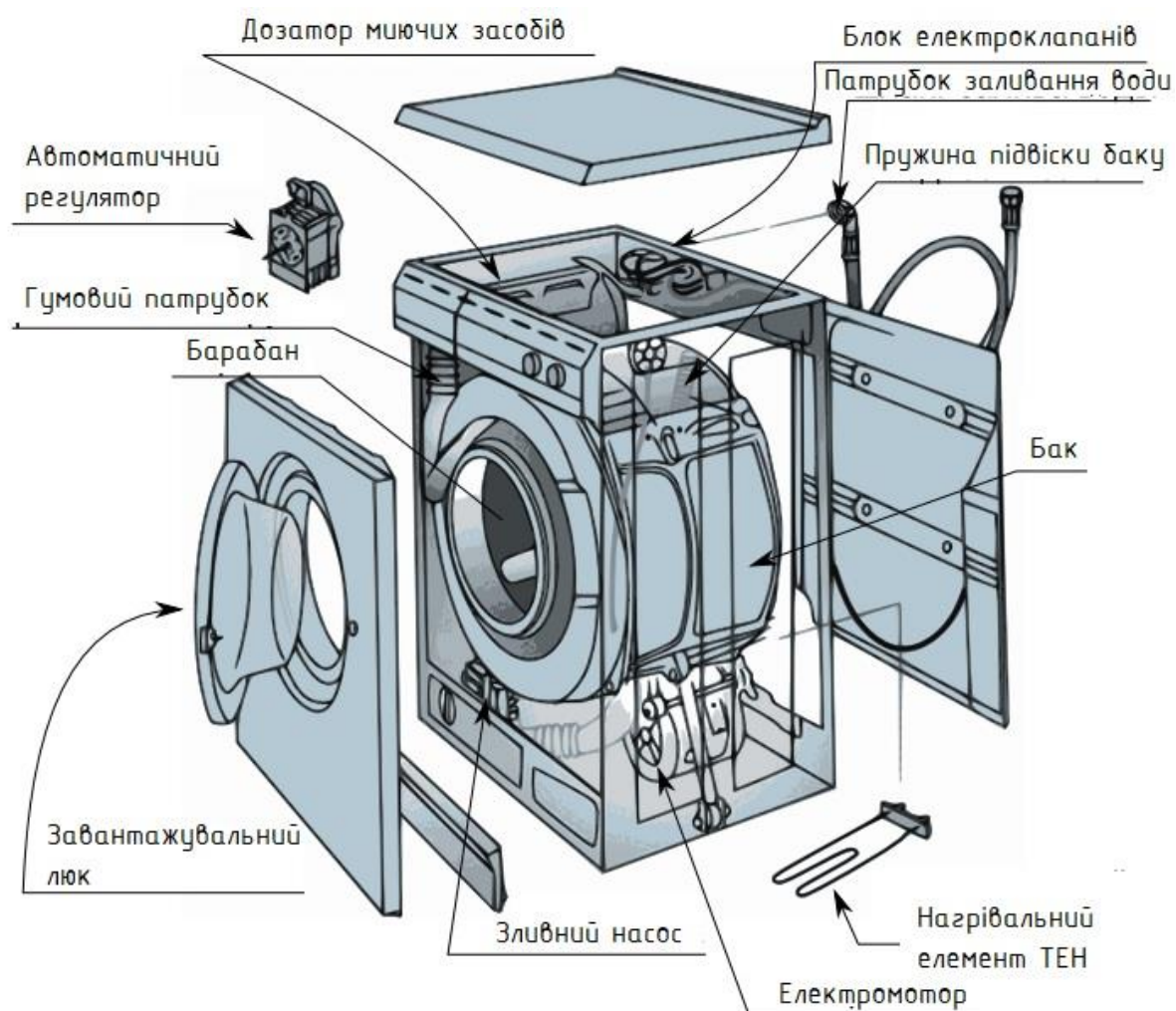


Рисунок 3.2 – Основні вузли пральної машини автомату Ardo

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

MPMA24.00.00.000 ПЗ

Арк.  
54

Бак - спеціальний резервуар, у якому накопичується вода, змішана з миючими засобами, і в якій відбувається процес прання білизни.

Барабан - рухомий перфорований металевий резервуар, розташований усередині бака, куди завантажуються білизна для прання. Мильна вода проникає до барабана через отвори. Обертання барабана забезпечує процеси прання, полоскання та віджимання білизни [31].

Електродвигун - стандартний електромотор, який обертає приводний механізм і забезпечує обертання барабана, що дозволяє виконувати операцію прання. Електродвигун розташований під баком.

Помпа (зливний насос) - електричний водяний насос, що відкачує відпрацьовану воду з бака. Зазвичай активується після кожного циклу прання: зливає мильну воду після основного прання, воду після полоскання, а також залишки після віджиму. Помпа розміщена в лівому нижньому кутку корпусу пральної машини Ardo.

ТЕН (нагрівальний елемент) - важливий компонент, що нагріває холодну воду, яка надходить із водопроводу, до необхідної температури. За потреби вода в баку може нагріватися до 90-95°C. ТЕН встановлюється в бак так, щоб його елементи контактували з водою [31].

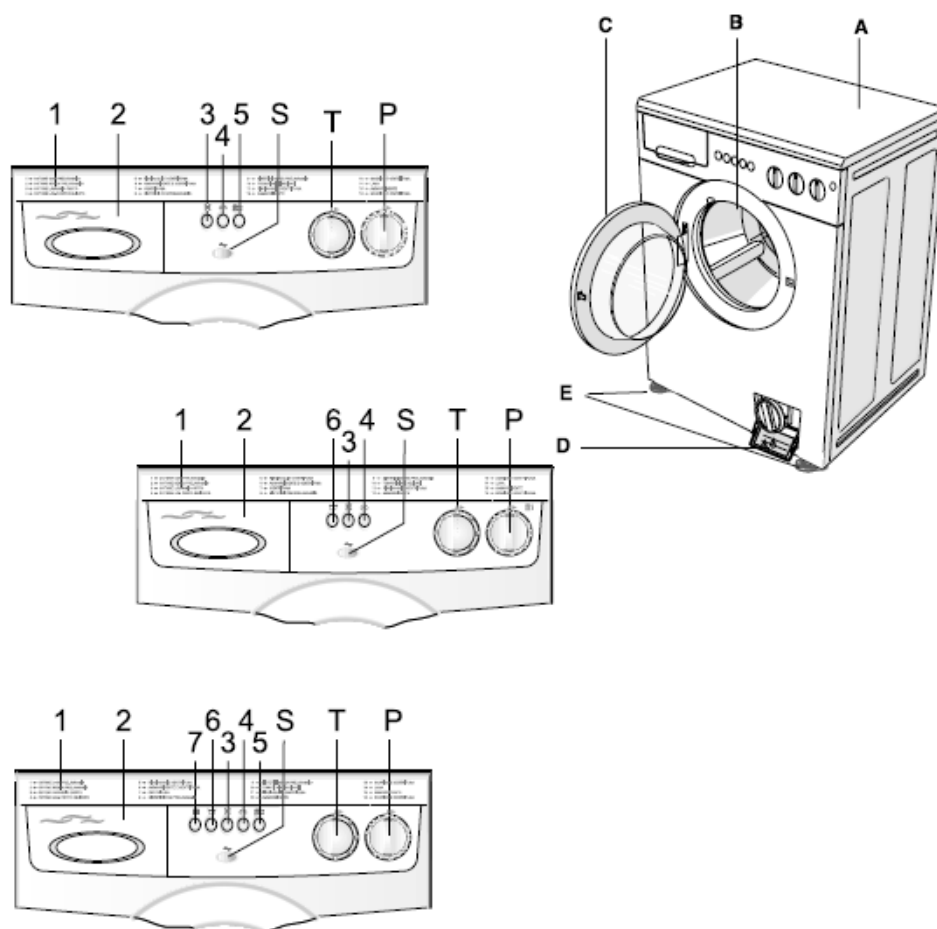
Наливний електроклапан - розташований у місці з'єднання патрубка подачі води з корпусом машини. Він забезпечує надійний бар'єр між водопровідною водою, що надходить під тиском, і внутрішніми комунікаціями машини. Електроклапан відкривається, коли необхідно подати певну кількість води, і закривається після заповнення.

Всі вузли і агрегати розташовані всередині корпусу машини, що складається з металевого каркаса з кришкою, основою, передньою панеллю та задньою стінкою. Окрім основних деталей, залежно від моделі, можуть бути додаткові компоненти, такі як датчики вібрації чи протікання [31].

					MPMA24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

### 3.2.2 Панель керування пральної машини

Панель управління пральної машини показано на рис.3.3 [31].



1 – таблиця програм; 2 – відділення пральних засобів; 3 – кнопка зупинки з водою, 4 – кнопка економічного прання; 5 – кнопка вмикання/вимикання; 6 – кнопка вмикання з водою в баку; 7 – кнопка додаткового ополіскування; P – кнопка вмикання центрифуги; S – контрольна лампа – увімкнено/вимкнено; T – ручка вибору програм; A – верхня кришка; B – барабан; C – дверцята пральної машини; D – фільтр; E – ножки, що регулюються

Рисунок 3.3 – Панель управління пральної машини Ardo A400^

Побутові автоматичні пральні машини можуть мати фронтальне або вертикальне завантаження. Кожен тип має свої переваги, недоліки, конструктивні та

функціональні особливості. Водночас загальний принцип роботи та основні елементи цих машин майже ідентичні.

### 3.2.3 Основні технічні характеристики автоматичної пральної машини

Основні технічні характеристики пральної машини Ardo A400 наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Технічні характеристики автоматичної пральної машини Ardo A400

№ з/п	Характеристика	Параметр
1	Керування	електронне (інтелектуальне)
2	Габаритні розміри (Ш):	60x53x85 см
3	Тип завантаження	фронтальний
4	Максимальне завантаження білизни	5 кг
5	Сушіння	немає
6	Додаткові можливості	вибір температури прання
7	Кількість програм	16
8	Спеціальні програми	прання делікатних тканин, попереднє прання
9	Програма прання вовни	є
10	Захист від протікання води	часткова (корпус)
11	Клас споживання електричної енергії	С
12	Клас ефективності прання	Е
13	Витрати води за прання	65 л
14	Швидкість обертання при віджиманні	до 400 об / хв

### 3.2.4 Принцип роботи пральної машини

#### Принцип роботи пральної машини

Користувач завантажує білизну в пральну машину та вибирає програму прання. Після натискання кнопки «пуск» активується пристрій блокування люка, і починається процес прання.

1 етап. Запускається двигун, швидкість обертання якого контролюється тахо-датчиком. Із бункера дозатора всмоктується суміш води та миючого засобу, а в бак одночасно подається холодна вода в обсязі, визначеному програмою прання. На цьому етапі відбувається замочування білизни.

2 етап. Увімкнення ТЕНу, нагрів якого контролюється датчиком. Відбувається основне прання з параметрами, що визначаються обраною програмою.

3 етап. Машина активує помпу, яка зливає воду, після чого здійснюється віджимання. Пресостат сигналізує про відсутність води в баку, і починається її набір для полоскання білизни.

4 етап. Злив води після полоскання та коротке віджимання, яке повторюється 3-4 рази.

5 етап. Остаточне віджимання на високих оборотах, під час якого відбувається відкачування води. Після завершення цього етапу на пристрій блокування люка надходить сигнал про завершення, і люк розблоковується.

### 3.3 Вибір обладнання для фіксації та обробки експериментальних даних

Для фіксації та обробки експериментальних даних було обрано ноутбук. Ще донедавна ноутбук сприймався більше як предмет розкоші, аніж як повноцінний персональний комп'ютер, що пояснювалося високою вартістю, недостатньою якістю рідкокристалічних дисплеїв тощо. Також його продуктивність була нижчою порівняно зі стаціонарними комп'ютерами. Однак у останні роки ситуація змінилася кардинально. Сьогодні можна придбати цілком гідний ноутбук за

					MPMA24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

доступну ціну, який за своїми можливостями не поступається дешевшим настільним системам [32].

Сучасні ноутбуки стали високопродуктивними та надійними пристроями з великим ресурсом автономної роботи. Вони все частіше знаходять застосування у різних сферах. Їхня обчислювальна потужність цілком порівнянна з настільними робочими станціями, що приваблює дедалі більше користувачів. Водночас вони мають різні технічні характеристики, функціональні можливості та особливості [32].

Для експериментальних досліджень було обрано ноутбук Fujitsu-Siemens AMILO M3438G P71Ey0 P71EN0 із такими характеристиками [33]:

- процесор Intel Pentium M 740 1.73GHz, Dothan, 533MHz шина, 2MB кеш L2;
- оперативна пам'ять 1.5GB DDR2, два слоти (512MB + 1GB);
- чіпсет Intel 915PM + ICH6M;
- 17-дюймовий екран з роздільною здатністю 1440x900px;
- дискретна відеокарта nVidia GeForce Go 7600 256MB;
- жорсткий диск 60GB HDD SATA 2.5 ";
- оптичний привід DVD-RW;
- бездротовий зв'язок WiFi 802.11g;
- провідний зв'язок LAN 100MB / s RJ-45;
- аналоговий модем для телефонної лінії Rj-11;
- слот для карт пам'яті SD;
- порти 3x USB2.0, FireWire 4pin;
- слот для карт розширення ExpressCard 34/54;
- інфрачервоний приймач з пультом дистанційного керування для мультимедійних функцій;
- вбудовані стерео динаміки та мікрофон;
- відеовиходи S-Video та DVI-I;
- операційна система Windows 7 Starter.

					MPMA24.00.00.000 ПЗ	Арк. 59
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

### 3.4 Стенд для визначення електричних характеристик електропобутової техніки

Загальний вигляд розробленого стенду для визначення електричних характеристик пральної машини показано на рис. 3.4 (аркуш [МРМА24.00.00.000ДІ]).



1 – ноутбук; 2 – пральна машина; 3 – прилад для вимірювання електричних параметрів.

Рисунок 3.4 – Стенду для визначення електричних характеристик пральної машини Ardo A400:

### 3.5 Результати експериментальних досліджень

Для перевірки функціональності розробленого стенда було здійснено вимірювання електричних параметрів пральної машини Ardo A400, а також побудовано графіки змін напруги, струму та потужності цього пристрою.

У табл. 3.2 наведено вихідні дані для дослідження пральної машини Ardo A400.

Таблиця 3.2 – Вихідні дані для дослідження пральної машини Ardo A400

Операція	Параметри			
	t, хв	U, В	I, А	P, Вт
Початок роботи	0	217	0,06	8,88
Команда «Набирання води»	1	217	0,092	14
Команда «Прання»	2	218	1,2	57,32
	4	220	0,068	3,28
	5	218	1,28	60,52
	6	218	1,44	66,96
Команда «Зупинка при пранні»	8	218	0,08	3,28
Команда «Пуск з водою»	9	218	0,16	27,28
Команда «Віджимання»	11	218	0,72	38,52
	12	218	0,188	17,72
Команда «Набирання води»	13	216	1,8	275,8
	14	217	0,08	13,84
Функція «Прання»	15	218	0,068	3,88
	17	217	0,128	13,16
Команда «Віджимання»	18	218	0,072	14,84
	19	218	0,72	42,8
	20	218	0,192	14,84
	21	217	1,44	204,76
Команда «Набирання води»	23	217	0,068	14,4
Команда «Прання»	25	218	0,092	19,88
	27	216	0,068	2,8
Команда «Віджимання»	29	217	0,16	27
	33	217	0,8	72,8
	37	218	0,2	15,48
	40	217	1,36	171,72
	43	216	0,124	14,52
Команда «Зупинка»	45	216	0,04	2,68

На основі отриманих експериментальних даних побудовано графічні залежності, що представлені на рис.3.5 – 3.7 (аркуш [МРМА24.00.00.000ДД]).

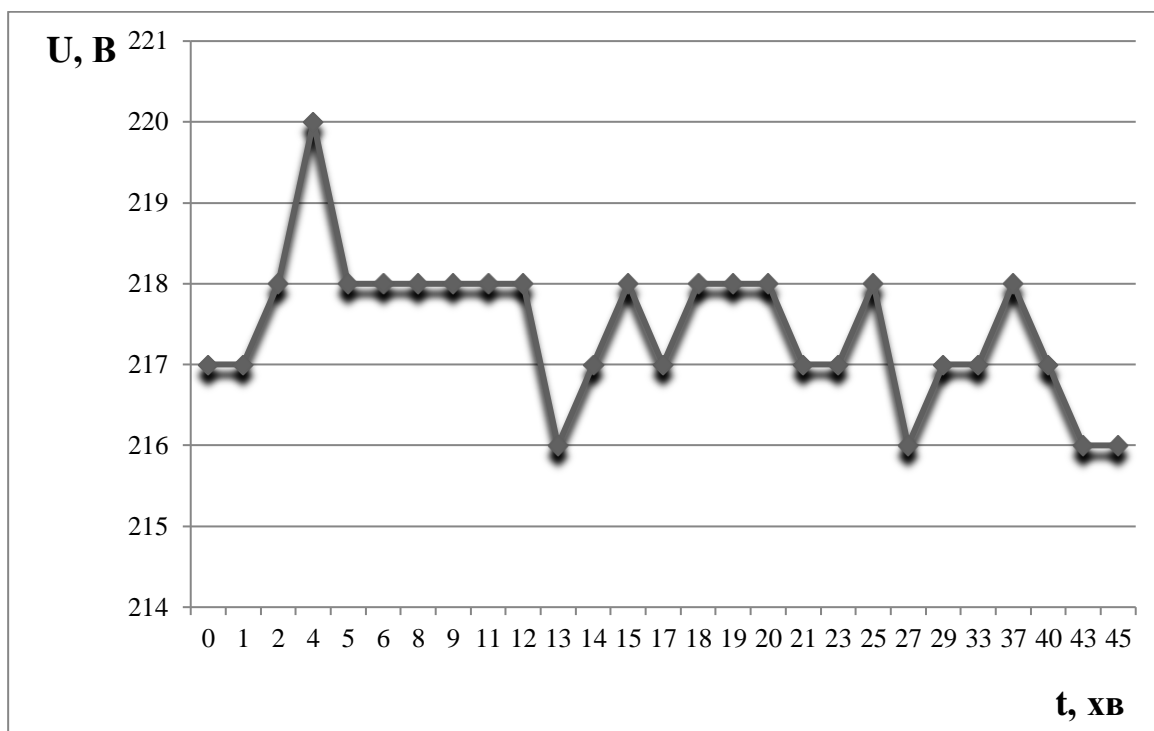


Рисунок 3.5 – Графік зміни напруги відносно часу

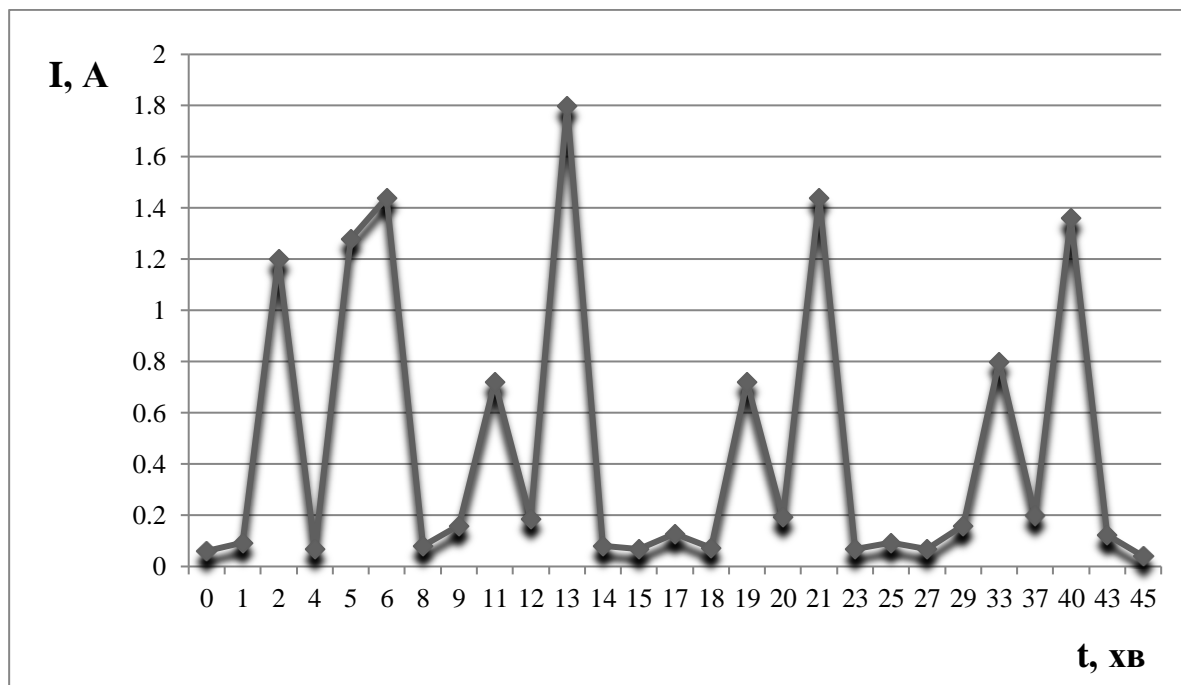


Рисунок 3.6 – Графік зміни струму відносно часу

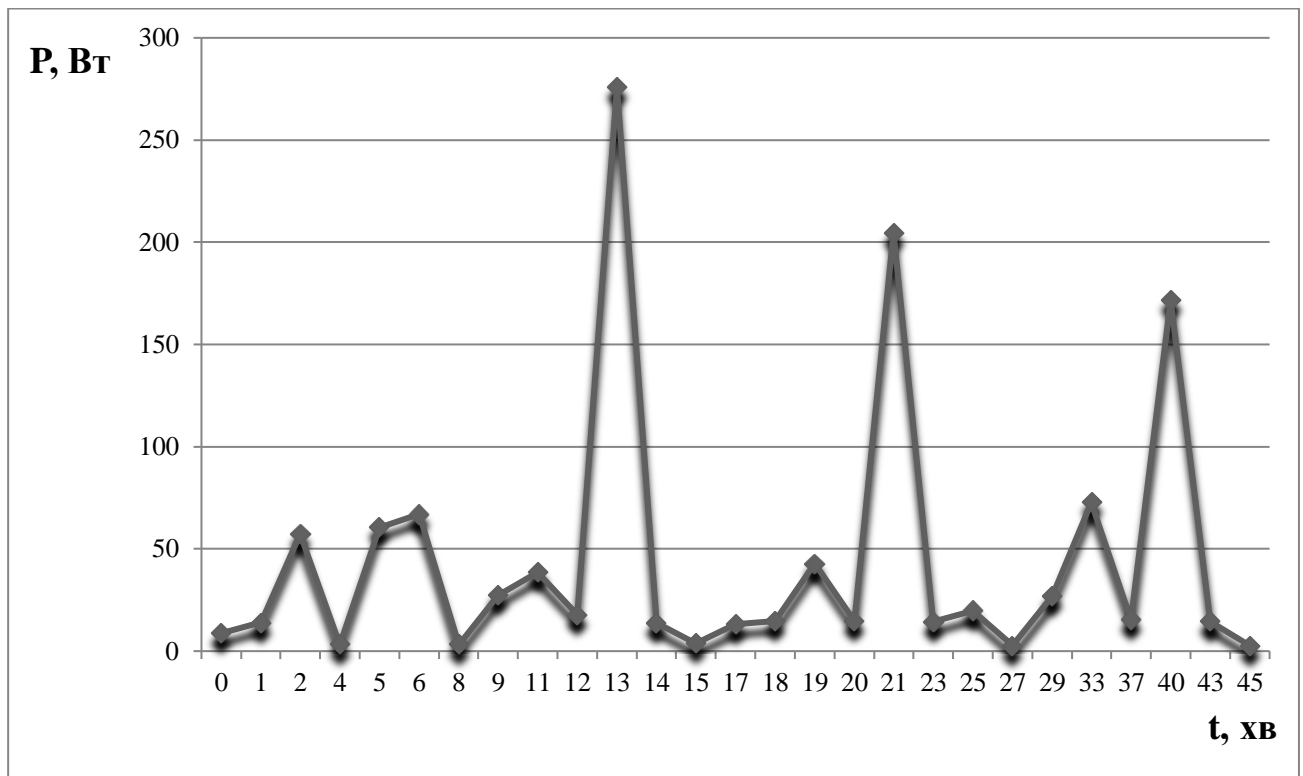


Рисунок 3.7 – Графік зміни потужності відносно часу

### 3.6 Висновки до третього розділу

У даній роботі було створено пристрій для визначення електричних характеристик електропобутової техніки. Обрано об'єкт дослідження, яким стала пральна машина. Проведено підбір обладнання для фіксації та обробки експериментальних даних. Здійснено експеримент, отримано результати та побудовано графіки залежності струму, напруги та потужності від часу.

## ВИСНОВКИ

У ході виконання магістерської роботи було здійснено огляд та аналіз існуючих технологічних і технічних рішень у сфері обладнання, наведено технічні характеристики стенда, вимоги до його конструкції, надійності, експлуатації, безпеки, взаємозамінності та транспортування, а також визначено основні етапи розробки.

Проведено аналіз побутової техніки, яку можна досліджувати в лабораторних умовах, а також засобів вимірювання, таких як амперметри, міліамперметри, вольтметри та цифрові вольтметри. На основі цього зроблено висновок про необхідність створення стенда для вимірювання електричних параметрів побутової техніки.

Розроблено конструкцію стенда, який дозволяє вимірювати напругу, струм і потужність під час роботи електроприладів. Створено комбіновану структурну та електричну принципову схеми роботи стенда. Розглянуто різні варіанти підключення електронного лічильника. Виконано розрахунки ключових компонентів стенда, зокрема трансформаторів струму, розеток, автоматичного вимикача та проводів.

Для перевірки працездатності створеного стенда були проведені вимірювання електричних параметрів пральної машини, а також побудовано графіки змін напруги, струму і потужності цього пристрою.

					МРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Поліщук Є.С., Дорожовець М.М., Яцук В.О. та ін. Метрологія та вимірювальна техніка: Підручник/ Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О. Яцук, В.М. Ванько, Т.Г. Бойко; За ред. проф. Є.С. Поліщука. - Львів: Видавництво "Бескид Біт ", 2003. - 544 с.

2. Metrol Polischuk [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ru.scribd.com/document/503167202/Metrol-Polischuk>

3. Навчальний посібник до самостійного вивчення курсу "Основи метрології і електричних вимірювань" для студентів спеціальності 141 „Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка” денної та заочної форм навчання. – Полтава: ПолтНТУ, 2017. - 141 с.

4. Побутова техніка, без якої важко уявити сучасний дім [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://kurs.if.ua/society/pobutova-tehnika-bez-yakoyi-vazhko-uyavyty-suchasnyj-dim/>.

5. Скиба М.Є., Петко І.В., Бурмістенков О.П., Біла Т.Я. Електропобутова техніка: підручник для студентів вищих навчальних закладів/Скиба М.Є., Петко І.В., Бурмістенков О.П., Біла Т.Я. – Хмельницький: ХНУ, 2017. – 213 с.

6. Устаткування для сервісного обслуговування електропобутової техніки : навч. посіб. / М. Й. Бондаренко, Т. І. Кулік. - Київ : КНУТД, 2019. - 260 с.

7. Характеристики м'ясорубки KENWOOD MG 710 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://bt.rozetka.com.ua/ua/kenwood-mg-710/p91132/characteristics/>.

8. Мультиварка-відмінний помічник на кухні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://posudniydom.com.ua/ua/a211371-multivarka-otlichnyj-pomoschnik.html>.

9. Мультиварка REDMOND RMC-M4502 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://bt.rozetka.com.ua/ua/redmond-rmc-m4502-black/p306697/characteristics/>

					МРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

10. Кавомолка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%BB%D0%BA%D0%B0>.

11. Пилососи: види, типи, характеристики і функції [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://elmag.com.ua/uk/article/pylesosy-harakteristiki>.

12. Характеристики пилососа без мішка LG VK 89302 Н [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://rozetka.com.ua/ua/lg-vk-89302-h/p442419/characteristics/>.

13. Електрочайник Zelmer 17Z012 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ek.ua/ua/ZELMER-17Z012.htm>.

14. Холодильник Samsung RB33J3000EL [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://stinol.ua/ua/p1315703302-holodilnik-samsung-rb33j3000elua.html>.

15. Пральна машина вузька GORENJE W7222/S [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://bt.rozetka.com.ua/ua/1673947/p1673947/>.

16. Яка напруга у мережі небезпечна для техніки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vse-e.com.ua/novosti/kakoe-napriazhenie-v-seti-opasno-dlia-tehniki>

17. Методи вимірювання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib\\_upload/%D0%B3%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9%20%D0%91%D0%B0%D1%85%D0%BE%D0%B2%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9/page5.html](https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/%D0%B3%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9%20%D0%91%D0%B0%D1%85%D0%BE%D0%B2%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9/page5.html).

18. Мультиметр М838 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://voron.ua/catalog/МС-004>.

19. Методичні вказівки щодо організації самостійної роботи студентів III курсу з дисципліни «Електричні вимірювання» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://chpek.com.ua/wp-content/uploads/2017/01/%D0%A1%D0%90%D0%9C%D0%9E%D0%A1%D0%A2%D0%86%D0%99%D0%9D%D0%95->

					МРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

%D0%97%D0%90%D0%9D%D0%AF%D0%A2%D0%A2%D0%AF-  
%D1%82%D0%B8%D1%821.pdf.

20. Міри електрорушійної сили [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://s70d838d809b024ad.jimcontent.com/download/version/1455000872/module/12494925535/name/%D0%A1%D0%B0%D0%BC%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B0%20%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%B0%20%D0%9A%D0%92%D0%9F%20%D1%96%20%D0%9E%D0%9C.pdf>.

21. Цифровий мультиметр UNI-T [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://masteram.com.ua/uk/digital-multimeter-uni-t-ut136cplus/>.

22. Рожков П. П. Контроль та облік електричної енергії: конспект лекцій / П. П. Рожков, С. Е. Рожкова. – Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 107 с

23. Паспорт «Трифазний багатофункціональний лічильник електричної енергії типу LZQJ–XC». 2007р. – 102с.

24. Паспорт «Багатофункціональний лічильник електричної енергії електронний ET Елвін».2005р. – 50с.

25. Лічильники електроенергії. ET-трифазний лічильник [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://energooblik.com.ua/equipment/et-tryfaznyu-lichylnyk>

26. Мадзігон В.М., Тарара А.М. Технічне проектування / За ред. Мадзігона В.М. - К.: Педагогічна думка, 2010. - 189 с.

27. Основи метрології та вимірювальної техніки. Том 2. Вимірювальна техніка / М. Дорожець, В. Мотало, Б. Стадник, В. Василюк, Р. Борек, А. Ковальчик, за ред. Б. Стадника. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005р. – 656с.

28. Автоматичний вимикач, як розрахувати який потрібен? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://elektrovoz.com.ua/ua/blog/avtomatichnij-vimikach-jak-rozrahuvati-jakij-potriben.html>

					MPMA24.00.00.000 ПЗ	Арк. 67
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

29. Калькулятор кабелю [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vse-e.com/ua/kalkulator-kabelya>.

30. Пральна машина Ardo A 400 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://tehnostar.com.ua/stiralnye\\_mashiny/Ardo\\_A\\_400.html?srsltid=AfmBOorKrDQvse\\_M5qke3lddz7eDB0KkrJgMi-kx9pZ8i8CfzbZ6JEZ1](https://tehnostar.com.ua/stiralnye_mashiny/Ardo_A_400.html?srsltid=AfmBOorKrDQvse_M5qke3lddz7eDB0KkrJgMi-kx9pZ8i8CfzbZ6JEZ1).

31. Інструкція для Ardo A400 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://help-book.com.ua/manual/545436/ardo-a400?page=6#google\\_vignette](https://help-book.com.ua/manual/545436/ardo-a400?page=6#google_vignette)

32. Найважливіші технічні характеристики ноутбука [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://digitaload.net.ua/2023/02/27/najvazhlyvishi-tekhnichni-kharakterystyky-pry-vybori-noutbuka/>.

33. Ноутбук Fujitsu-Siemens Amilo M3438G [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://rozetka.com.ua/ua/811/p811/>.

					MPMA24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		