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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Розробка конструкції стенду для повірки лічильників електричної енергії

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Шифр БРМА 23.00.00.000 ПЗ

Виконав студент
3 курсу група ЕТс-20-2 _____ Марчук Н. В.
Підпис Ініціали, прізвище

Керівник _____ к.т.н.,доц. Горященко С.Л.
Підпис, дата Ініціали, прізвище

Нормоконтролер _____ С. І. Пундик
Підпис, дата Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри МАЕЕС _____ д.т.н., проф. Поліщук О.С.
Підпис, дата Ініціали, прізвище

20 06 2023 р.

Хмельницький 2023

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень бакалавр

Галузь знань 14 Електрична інженерія
Шифр і назва

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Шифр і назва

Спеціалізація Електропобутова техніка

Освітня програма

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

20.06.2023

З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Марчук Назарій Вікторович
Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка конструкції стенду для повірки лічильників електричної енергії.

керівник роботи Горященко Сергій Леонідович , к.т.н., доцент
Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 1 03 2023 р. № 5

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 20.06.23 р.

3. Вихідні дані до роботи енергетичні характеристики силового обладнання та мережі

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ. 1. Огляд літературних джерел. 2. Розробка схеми вимірювального стенду. 3.Розрахунки конструкції стенду. Висновки Перелік джерел посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)
1. Лічильники електричної енергії. (ДО, А1). 2 Системи перевірки лічильників (ДО, А1). 3. Вузол напруги (Е3, А1). 4. Стенд для повірки лічильників електричної енергі (В2, А1). 5. Стенд для повірки лічильників електричної енергії. (В3, А1).

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 літературних джерел		
2. Розробка схеми вимірювального стенду		
3. Розрахунки елементів стенду		
4. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу		

Студент _____ Підпис Н.В. Марчук Ініціали, прізвище

Керівник роботи _____ Підпис С.Л. Горященко Ініціали, прізвище

А Н О Т А Ц І Я

до бакалаврської кваліфікаційної роботи студента
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

1. Прізвище, ім`я та по батькові Марчук Назарій Вікторович

2. Тема магістерської роботи Розробка конструкції стенду для повірки лічильників електричної енергії.

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента _____

4. Об'єм бакалаврської роботи: креслень 5 арк., сторінок записки 56

5. Основні розділи розрахунково-пояснювальної записки: _____
Вступ. 1. Огляд літературних джерел. 2. Розробка схеми вимірювального стенду. 3.Розрахунки елементів стенду Висновки Перелік джерел посилань.

Підпис студента _____

"26" 06 2023 р.

Р І Ш Е Н Н Я Е К:

Протокол N1 від "27" 06 2023 р.

Оцінка проекту ЕК добре 4,0/С
Рекомендації ЕК в навчальний процес

Особливі відмітки _____

Технічний секретар _____

"27" 06 2023 р.

Зміст

стр

Вступ……………………………………………………………………………2

1. Огляд літературних джерел…………………………………………………6

1.1 Автоматизоване обладнання для повірки лічильників електроенергії………………………………………………………………………6

1.2 Еталонний стандарт RS 3330………………………………………………8

1.3 Еталонний стандарт RS 2x30………………………………………………9

1.4 Обладнання для перевірки лічильників електроенергії ELMA…….11

1.5 Обладнання для перевірки однофазних лічильників Astel 1.2………14

1.6 Трифазний калібратор і тестер С300В…………………………………16

1.7 Пристрій повірки лічильника електроенергії……...………………18

Висновки до першого розділу……...………...………………………...22

2 Розробка схеми вимірювального стенду……………………………………23

2.1 Розробка схеми електричної принципової ……………………………..23

2.2 Розробка несучої конструкції стенда……………………………………27

2.3 Обладнання для калібрування………………………………………….. 30

2.4 Розробка вузла живлення стенду …………………………………………33

2.5 Порядок налагодження та роботи пристрою…………………………...34

Висновки до другого розділу…………………………………………..37

3. Розрахунки елементів стенду…………...……………………………………...38

3.1 Завдання для розрахунків………………………………………………… 38

3.2 Визначення струму трансформатора…………………………………... .38

3.3 Перерізи та діаметри провідників обмотки…………………………42

3.4 Число витків обмотки………………………………………………….. .44

3.5 Мідні обмотки трансформатора………………………………………47

3.6 Струм холостого ходу трансформатора………………………………...43

Висновки до третього розділу…………………………………………51

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БРМА 23.00.00.000 ПЗ			
Розроб.		Марчук Н.			Розробка конструкції стенда для повірки лічильників електричної енергії	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Горященко С.					2	53
Т.Контр						гр.ЕТс-20-2		
Н. Контр.								
Затверд.		Поліщук О.С.						

4.4 Порядок роботи……49
4.5 Характерні несправності та методи їх усунення……..51
4.6 Висновки до четвертого розділу……52
ВИСНОВКИ……..…….53
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ……

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						2
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Вузол напруги стенда для повірки лічильників електричної енергії (в подальшому – вузол напруги стенда) призначений для забезпечення кіл напруги необхідними значеннями напруги, в процесі повірки однофазних і трифазних лічильників активної та реактивної енергії змінного струму частоти 50 Гц.

Вузол напруги стенда призначений для роботи в закритих опалювальних приміщеннях при температурі навколишнього повітря від плюс 10^0С до плюс 35^0С і відносної вологості до 80%.

Вузол напруги стенда дозволяє повіряти прилади змінного струму на частоті 50 Гц: однофазні і трифазні лічильники активної і реактивної енергії класу 2,0 і нижче за зразковим ватметром і секундоміром.

Вузол напруги стенда забезпечує можливість одночасної повірки чотирьох лічильників. Для одночасної повірки великого числа лічильників передбачена можливість під'єднання до стенда додаткового пульта з лічильниками.

Живлення вузла напруги стенда здійснюється від три провідної мережі змінного струму напругою 220 В або від чотири провідної мережі напругою 380 В частотою 50 Гц.

Зміна напруги живлення із 220 на 380 В створюється переключенням вузла напруги стенда і фазорегулятора із "трикутника" на "зірку".

Вузол напруги стенда забезпечує:

- номінальні значення напруг у кожній із фаз ланцюга напруги: 150; 300; 600 В;

- підключення навантажень до кожної фази в ланцюзі напруги не більше 120 В·А.

- дві незалежні трьохфазні симетричні електричні ланцюги для роздільного регулювання струму, напруги і кута зсуву фаз між ними.

Регулюючі прилади напруги забезпечують плавне пофазне регулювання напруги в межах від 2% до 110% від номінальних значень.

Кути зсуву фаз між фазовими напругами і фазовими струмами регулюються від 0 до 120% за допомогою фазорегулятора.

Габаритні розміри стенда не більше (1260×1050×655) мм.

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Автоматизоване обладнання для повірки лічильників електроенергії

Точність еталонного лічильника потужності та енергії доступна до 0,01 %. Еталонний вимірювач вимірює всі основні та впливові величини, включаючи гармонійний аналіз і спотворення тестових сигналів.

Доступна потужність і максимальний струм 240 А надзвичайно чистого синтезованого 4-квадрантного тестового сигналу задовольняють потреби як прецизійних, так і потужних випробувальних лабораторій. Тестовий сигнал може бути створений із визначеним користувачем вмістом гармонік і попередньо визначеними формами сигналу.

Інтелектуальні блоки локальної оцінки високої роздільної здатності використовують відбиваючі оптичні датчики, які сканують позначки на диску лічильника, і пасивні датчики, які сканують світлодіодний вихід електронних лічильників. Датчики нечутливі до зовнішнього освітлення та мають можливість автоматичного калібрування, що усуває можливість ручного налаштування. Опціональний оптичний канал зв'язку забезпечує одночасний обмін даними з електронними лічильниками. Вбудовані дільники з дистанційним керуванням дозволяють оцінювати високопостійні лічильники світловими імпульсами до 1 кГц. [1]

Система обробки має місткість кількох мобільних лічильників з 20 перевіреними лічильниками кожна. Візки підготовлені або для ручного підключення потужних лічильників струму, або можуть бути оснащені швидкодіючими роз'ємами для менших струмів. Також доступна статична версія системи обробки.

Додаткові прецизійні трансформатори з електронною компенсацією дозволяють одночасно перевіряти лічильники електроенергії з взаємопов’язаними ланцюгами струму та напруги.

Ручний пристрій бездротового збору даних із вбудованим лазерним сканером штрих-кодів забезпечує універсальний локальний збір даних із перевірених лічильників.

Керуюче програмне забезпечення для Microsoft Windows, що входить до комплекту постачання, забезпечує багатомовну роботу з визначеними користувачем словниками, зручну для користувача конфігурацію процедур тестування, операцій з базою даних і сумісну з Microsoft Office форму виведення документів на будь-який пристрій виведення системи.

Локальна мережа та база даних забезпечують автоматичний обмін даними, централізовану оцінку та архівацію в лабораторіях із кількома тестовими обладнаннями.

1.2 Еталонний стандарт RS 3330

Еталонний стандарт RS 3330 розроблено для вимірювання найвищої можливої точності величин, пов’язаних з електричними вимірювання потужності та енергії. Еталонний стандарт розроблений таким чином, щоб відповідати всім вимогам, які висуваються до еталонного зразка стандарт в одно- і трифазних системах випробувань і калібрування, див. рис.1.1 [2].

Екстремальна смуга пропускання 10 кГц і частота дискретизації 125 000 відліків/секунду дозволяють аналізувати гармоніки та інтергармоніки. Спотворених сигналів до 200 гармоніки основного сигналу.

Reference Standard оснащений чотирма універсальними вільно програмованими імпульсними виходами. Імпульси можуть бути призначені користувачем до різних виміряних величин або для створення постійної частоти

з метою тестування. Висока вихідна частота перевищення 4 МГц дозволяє мінімізувати період інтеграції при тестуванні лічильника без впливу на точність.

Вибір діапазону може здійснюватися вручну або автоматично. Reference Standard оснащений інтерфейсами USB, RS232 і Ethernet для комп'ютерних систем і мереж. Прецизійний лічильник для вимірювання електроенергії та енергії. Найвища точність 0,01 % (опціонально до 0,005 %).

Широкий діапазон вимірювання від 0,1 мА до 120 А та від 0,1 до 600 В.

Рисунок 1.1 - Еталонний стандарт RS 3330

Екстремальна смуга пропускання 10 кГц і частота дискретизації 24 біта 125 000 вибірок/с. Гармоніки та інтергармоніки до 200 гармоніки (цифрова обробка до 1024 гармоніки). Входи струму та напруги призначені для категорії безпеки CAT IV 300 В / CAT III 600 В.

Пристрій має: цифрові входи для зовнішніх інтелектуальних датчиків напруги та струму (включаючи датчики змінного та постійного струму); чотири незалежних імпульсних входу; чотири незалежні повністю програмовані імпульсні виходи, які можна призначити вибраним величинам. Програмована константа імпульсних виходів до 4 МГц. Мережа Ethernet для дистанційного керування та обміну даними по всьому світу

1.3 Еталонний стандарт RS 2x30

Еталонним стандартом RS 2x30 є а однофазний (RS 2130) і трифазний (RS 2330) прецизійний лічильник для вимірювання електроенергії та енергії. Еталонний стандарт призначений для задоволення всіх вимог, що висуваються до еталонного стандарту в системах тестування та калібрування одно- та трифазних лічильників електроенергії. Еталонний стандарт (Еталонний стандарт) може бути встановлений на будь-який реальний або штучний режим роботи в трифазній системі та здатний оцінювати окремі кількості на фазу та трифазну кумулятивні кількості також, див рис.1.2. [3].

Еталонний стандарт (Reference Standard) базується на прецизійному 24-розрядному аналого-цифровому перетворенні та технології цифрової обробки сигналу, що дозволяє точно оцінювати всі основні та інформативні величини. Окрім вимірювання всіх видів потужності, напруги, струму та фази, вимірювач вимірює вміст гармоній та спотворення вхідних сигналів. Константа вимірювача Reference Standard, що генерує пропорційні значенням імпульси на чотирьох частотних виходах, вільно програмується. Ця унікальна функція

разом із надзвичайно високою максимальною вихідною частотою, що перевищує 2 МГц, дозволяє точно оцінювати похибку перевірених лічильників навіть за найкоротший період інтеграції. Всі чотири вільно програмовані незалежні імпульсні виходи можна призначити різним величинам, що, наприклад, дозволяє потроїти тестову здатність трифазної тестової системи під час тестування однофазних лічильників. Будь-який із імпульсних виходів можна налаштувати для генерування будь-якої точної постійної частоти для цілей тестування. Еталонний стандарт RS 2330 оснащений трьома повністю незалежними вхідними ланцюгами диференціальної напруги. Таким чином, вимірювач можна налаштувати для оцінки сигналів на трьох незалежних каналах. Ця функція в поєднанні з можливістю призначення імпульсних виходів будь-якій комбінації вхідних каналів дозволяє використовувати пристрій, наприклад, в однофазній системі з одним каналом як опорним, тоді як вільні канали можуть контролювати додаткову інформацію, як споживана потужність ланцюгів струму і напруги або помилка контакту в випробувальному ланцюзі.

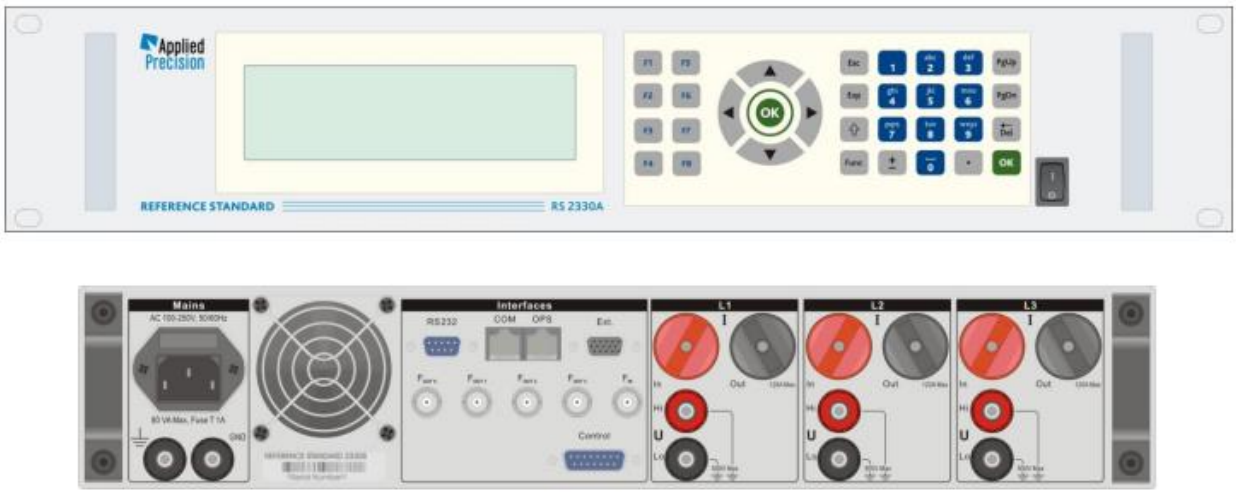


Рисунок 1.2 - Еталонний стандарт RS 2x30

Пристрій має: вимірювання постійного струму до 120, 160 або 200 А; Постійний діапазон напруги та струму з функцією автоматичного налаштування діапазону; незалежні вхідні канали (три повністю незалежні вхідні схеми диференціальної напруги в трифазному варіанті); чотири незалежні повністю програмовані імпульсні виходи, які призначаються для різних величин або постійної частоти; можливість прямого тестування лічильника (з аксесуарами, що входять в комплект).

1.4 Обладнання для перевірки лічильників електроенергії ELMA

Обладнання для перевірки лічильників електроенергії ELMA призначене для автоматизованого калібрування та тестування лічильників електроенергії, див. рис.1.3 [4]. Його також можна використовувати як випробувальне обладнання для енергетичних стандартів для перевірки та калібрування енергетичних стандартів і еталонних лічильників у лабораторіях. Обладнання для перевірки лічильників електроенергії ELMA відповідає IEC 60736.

Завдяки модульній концепції дає змогу адаптувати специфікації до конкретних потреб лабораторії.

Точність еталонного лічильника потужності та енергії доступна до 0,01 %. Еталонний вимірювач вимірює всі основні та впливові величини, включаючи гармонійний аналіз і спотворення тестових сигналів.

Доступна потужність і максимальний струм 240 А надзвичайно чистого синтезованого 4-квадрантного тестового сигналу покривають потреби як прецизійних, так і потужних випробувальних лабораторій. Тестовий сигнал може бути створений із визначеним користувачем вмістом гармонік і попередньо визначеними формами сигналу.

Інтелектуальні блоки локальної оцінки високої роздільної здатності використовують відбиваючі оптичні датчики, які сканують позначки на диску

лічильника, і пасивні датчики, які сканують світлодіодний вихід електронних лічильників. Датчики нечутливі до зовнішнього освітлення та мають можливість автоматичного калібрування, що виключає ручне налаштування. Система дозволяє використовувати 2 оптичні датчики для визначення активного та реактивного світлодіода лічильника. Вбудовані дистанційно керовані дільники дозволяють оцінювати високопостійні лічильники світловими імпульсами до 2,5 кГц рис.1.4 [4].

Додатковий оптичний канал зв'язку забезпечує одночасний обмін даними з електронними лічильниками. Система обробки має місткість кількох мобільних лічильників з 8, 10, 12, 16, 20 або 24 перевіреними лічильниками кожна.

Візки підготовлені або для ручного підключення потужних лічильників струму, або можуть бути оснащені швидкодіючими роз'ємами для менших струмів. Також доступна статична версія системи обробки.

Додаткові прецизійні електронно компенсовані трансформатори дозволяють одночасно перевіряти лічильники електроенергії з взаємопов’язаними ланцюгами струму та напруги.

Додатковий портативний пристрій бездротового збору даних із вбудованим лазерним сканером штрих-кодів забезпечує універсальний локальний збір даних із перевірених лічильників.

Програмне забезпечення керування для Microsoft Windows, що надається, забезпечує багатомовну роботу з визначеними користувачем словниками, зручну конфігурацію процедур тестування, операцій з базою даних та сумісний з Microsoft Office визначена користувачем форма вихідних документів на будь-який пристрій виведення системи.

Локальна мережа та база даних забезпечують автоматизований обмін даними, централізовану оцінку та архівування в лабораторіях з кількома тестовими обладнаннями.

Рисунок 1.3- Обладнання для перевірки лічильників електроенергії ELMA з фіксованою системою обробки лічильників (стандартне, вертикальне розміщення лічильників)

Рисунок 1.4 - Обладнання для перевірки лічильників електроенергії ELMA з горизонтальним розміщенням лічильників - повністю автоматичне (настроюване, горизонтальне розміщення лічильників)

1.5 Обладнання для перевірки однофазних лічильників Astel 1.2

Обладнання для перевірки лічильників ASTeL 1.2 є повністю автоматичною системою, яка дозволяє одночасне багатопозиційне калібрування та повірку однофазних лічильників електроенергії. ASTeL 1.2 забезпечує повну сумісність зі стандартом IEC 60736. Завдяки чудовим параметрам, чудовій функціональності та видатній гнучкості ASTeL 1.2 є ідеальним рішенням для комунальних компаній, виробників лічильників електроенергії, державних інститутів метрології, метрологічних лабораторій та інших клієнтів, зацікавлених у перевірці лічильників електроенергії , див рис.1.6 [5].

ASTeL 1.2 призначений для тестування різноманітних лічильників електроенергії. Вони включають, але не обмежуються:

- активна і реактивна енергія;
- електромеханічні (також з імпульсними виходами) і електронні;
- із закритими посиланнями I-P;
- багатотарифний, до 16 тарифів;
- багатофункціональні та багатоквадрантні з регістрами активної/реактивної енергії/потужності;
- лічильники передоплати;
- розумні лічильники з передачею даних;
- еталони, портативні та стаціонарні багатофункціональні мультиметри тощо.

Підтримка конкретних лічильників клієнта може бути додана за запитом.

ASTeL 1.2 дозволяє виконувати тести відповідно до міжнародних стандартів. Вони включають, але не обмежуються:

- основна помилка (тест на точність);
- пусковий струм;

- біг без навантаження;
- тестування регістрів енергії (тест циферблата) та індикатора максимального попиту;
- постійний тест;
- перевірка регістрів максимальної потреби (електромеханічних або електронних);
- перевірка імпульсних виходів;
- попередній нагрів;
- тестування впливу частоти, гармонійних спотворень, напруги, струму та інших параметрів на похибку вимірювального приладу.

Спеціальні тести клієнта можуть бути додані за запитом. Повністю автоматичні процедури перевірки лічильників. Процедури автоматичного налаштування лічильника. Класи точності еталонного зразка: 0,01, 0,02, 0,04. Широкий діапазон напруг до 480 В і струмів до 240 А. Незалежне функціонування сигналів напруги та струму. Можливість генерації гармонік до 50-ї. Широкий спектр функцій безпеки. Гнучка та велика кількість позицій тестування. Одночасне тестування лічильників з різними константами.

Багатофункціональне керуюче програмне забезпечення на базі Windows. Доступні однофазні джерела живлення з різною вихідною потужністю та різною здатністю гармонік.

Доступні однофазні підвісні стійки з різною кількістю тестових позицій, різним розташуванням тестових позицій, ручним або пневматичним затисканням лічильника, додатковими роздільними трансформаторами IP та широким набором аксесуарів і опцій (див. рис.1.5).

Базове операційне програмне забезпечення Windows® із майстрами, багатими бібліотеками, процедурами автоматичного налаштування лічильників, звітами та сценаріями доступне багатьма мовами.

Стандартні версії вимірювального обладнання ASTeL 1,2 здатні генерувати гармоніки до 21-го порядку. Версії з покращеною гармонікою, позначені літерою H, здатні генерувати гармоніки до 50-го порядку.

Рисунок 1.5 - Обладнання для перевірки однофазних лічильників Astel 1.2

1.6 Трифазний калібратор і тестер C300B

Калібратор і тестер трифазної потужності C300B використовується для налаштування, перевірки та повірки вимірювальних приладів, таких як; лічильники електроенергії, захисні реле частоти, напруги та струму, трансформатори та кліщі струму, вимірювачі активної та реактивної потужності, фазометри, частотоміри, амперметри, вольтметри, перетворювачі, системи моніторингу та аналізатори якості електроенергії, , див. рис.1.6 [6].

C300B — це одно-/трифазне джерело змінного струму та напруги з класом точності 0,02 або 0,05 і програмованими значеннями для гармонік. Він генерує напругу до 560 В у піддіапазонах 70 В, 140 В, 280 В і 560 В. Струм

доступний до 120 А в піддіапазонах 0,5 А, 6 А, 20 А та 120 А. Діапазон частот від 40 Гц до 500 Гц, а фазовий кут від 0 до 360°. При однофазному підключенні він може генерувати струм до 360А.

С300В може автоматично отримувати характеристики похибок для вимірюваних значень і часових характеристик лічильників електроенергії реле захисту, використовується стандартний імпульсний вхід S0 з можливістю підключення фотоскануючої головки. Під час тестування перетворювачів, трансформаторів струму та затискачів використовується вхід постійного струму з діапазонами 10 В/20 мА та вхід змінного струму з діапазонами 10 В/100 мА/5 А. Для тестування захисного реле використовуються три таймера з входами пуск/зупинка та роздільною здатністю 1 мс. Два додаткових бінарних виходи використовуються для сигналізації стану калібратора в режимі роботи/очікування.

Управління калібратором здійснюється за допомогою персонального комп'ютера під управлінням операційної системи Windows з встановленим програмним забезпеченням Calpro 300. Система має:

- трифазне джерело напруги до 560в;
- трифазне джерело струму до 120а і однофазне до 360а;
- програмування гармонік напруги та струму до 64-ї;
- моделювання параметрів якості електроенергії;
- імпульсний вхід для перевірки лічильників електроенергії;
- входи запуску / зупинки для перевірки захисних реле;
- вхід для вимірювання змінного струму для трансформаторів і тестування затискачів;
- вхід вимірювання постійного струму для тестування перетворювача;
- інтерфейс RS232C і програмне забезпечення для персонального комп'ютера Calpro 300.

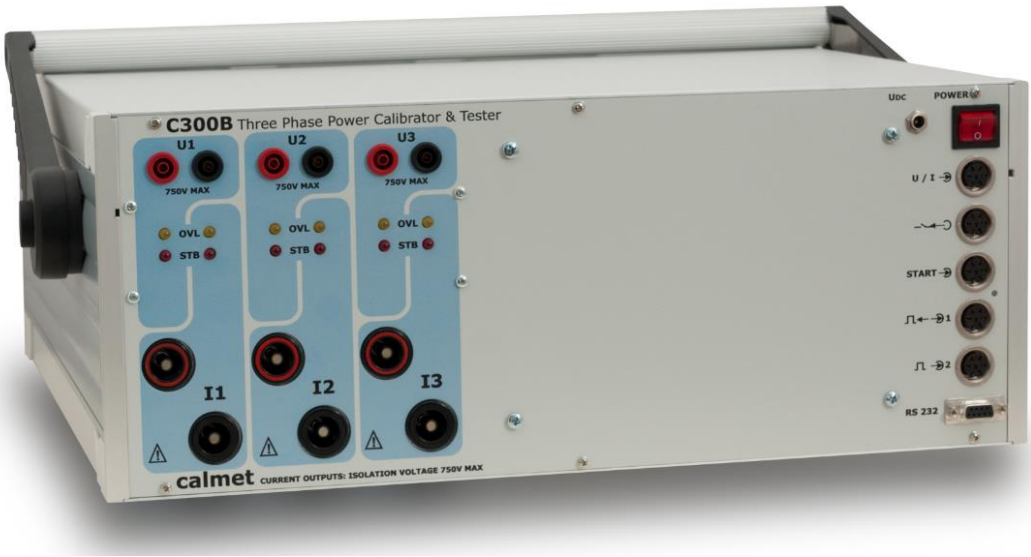


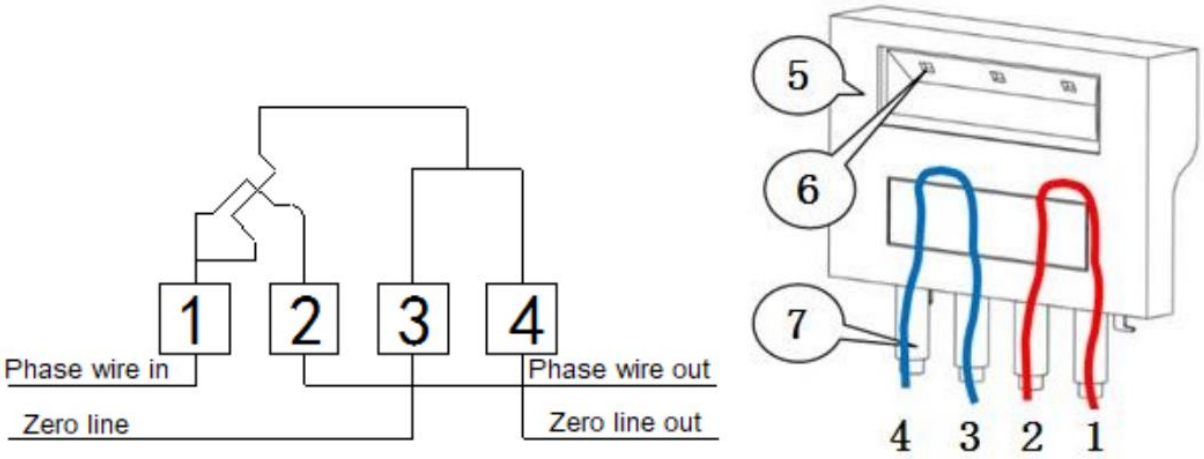
Рисунок 1.6- Трифазний калібратор і тестер C300B

1.7 Пристрій повірки лічильника електроенергії

Основна конструкція плати без живлення — це двостороння коротка проводка з роз’ємами, яка прикріплена за допомогою механізму блокування та вказівок щодо світлодіодного освітлення, як показано на малюнку 1. Вставте плату без живлення в закріпіть направляючий отвір роз’єму та натисніть кнопку фіксатора. Роз'ємна плата закріплює з'єднувальну базову пластину, і надійне з'єднання підтверджується світлодіодним індикатором. На цей час необхідно замінити фазний провід та нуль однофазного лічильника електроенергії. Провід замикаються окремо, що дозволяє зняти старий лічильник і встановити новий без відключення електроенергії [7].

Відповідно до принципу розводки повірочних робіт на місці, завершіть дизайн спеціальної вставної смуги для виїзної повірки лічильників електроенергії. Струм фазної лінії надходить з клеми 1 лічильника електроенергії і виходить з клеми 2 лічильника електроенергії. Нейтральна лінія входить з клеми 3 лічильника електроенергії та виходить з клеми 4 лічильника

електроенергії. Роз’єм безперервного пристрою для заміни лічильника потужності забезпечений направляючими отворами для штифтів для фіксації, тобто клеми 1, 2, 3 і 4 мають направляючі отвори для штифтів, що закладає основу для розробки спеціальних вставних планок для перевірки на місці. Спеціальна вставна смуга для польової перевірки використовується зі спеціальною базовою пластиною проводки для нон-стоп заміна лічильників для проведення виїзної повірки лічильників електроенергії. До складу входять: (1) штекер з ізоляційною захисною втулкою (висувною), (2) шпилька переднього з’єднання, (3) рухома кнопка, (4) структура пряжки, структурна схема спеціальної вставної плати для польової перевірки показана на малюнку 2, а принципова схема спеціальної вставної плати для польової перевірки показана на рис 1.7.



1. Фазова лінія в;
2-фазний вихід;
3. Нульовий рядок;
4. Вихід нульової лінії;
5. Оболонка щита без відключення;
6. Запірний механізм;
7. Роз'єми.

Рисунок 1.7 - Основна структура плати без живлення

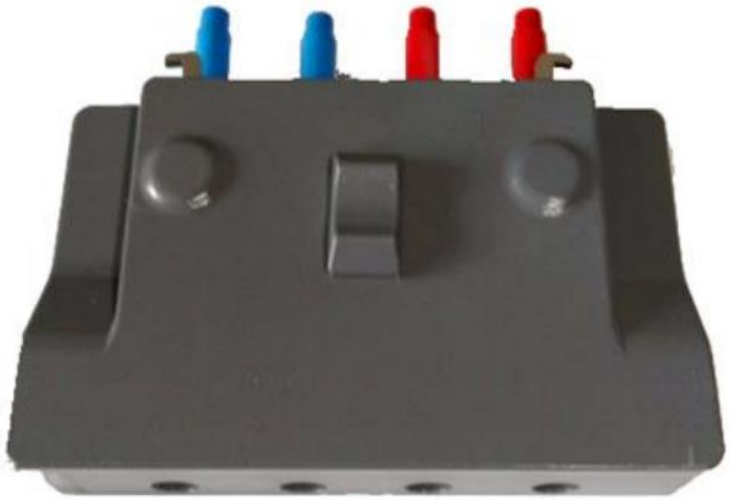


Рисунок 1.8 - Принципова схема спеціальної вставної плати для перевірки на місці

Зовнішня структура спеціальної вставної плати для польової перевірки узгоджується з відстанню між клемами вставної плати без відключення живлення, а внутрішній принцип прямо протилежний внутрішньому принципу невимикання живлення. вставна плата. Основна структура спеціальної плати для перевірки на місці має 4 клеми на передньому кінці для прямого з'єднання з 4 клемами лічильника електроенергії через об'єднавчу плату без відключення живлення. З'єднувальні контакти чотирьох внутрішніх клем 1, 2, 3 і 4 використовують незалежні провідні канали, а задній кінець використовує 4 отвори для під'єднання до клем електропроводки польового калібратора, що еквівалентно різниці між польовим калібратором і між лічильником електроенергії формується повний канал живлення, щоб він міг співпрацювати з калібратором на місці та платою безперебійної проводки для завершення перевірки лічильника електроенергії на місці.

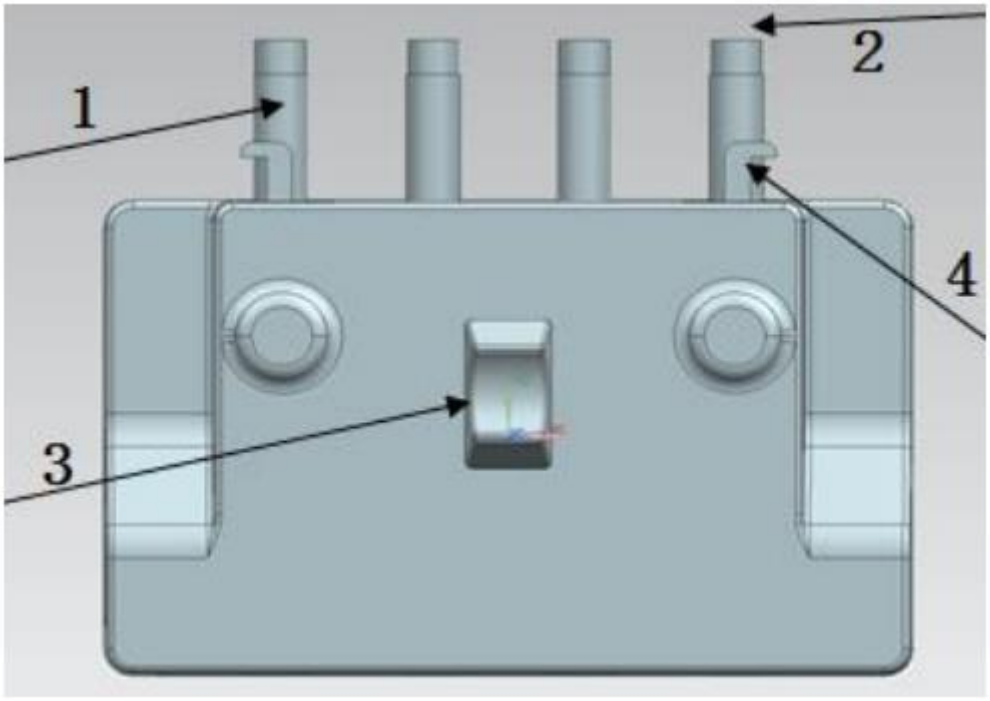


Рисунок 1.9 - Структурна схема спеціальної плати для перевірки на місці

Тверда смола Somos® Imagine 8000 використовується для спеціальної вставної стрічки для перевірки на місці. Somos® Imagine 8000 не тільки недорогий, але й виробляє компоненти з чудовою безпекою, довговічністю, точністю та вологостійкістю [20]. Спеціальна вставна смуга для перевірки в польових умовах добре працює зі спеціальною нижньою пластиною проводки для безперервної заміни лічильника електроенергії. Мідний штекер має самовідновлювану ізоляційну захисну гільзу, а також має пряжку та відповідні кнопки для запобігання випаданню штекера. Якщо необхідно відкалібрувати лічильник електроенергії на місці, зніміть протиугінну кришку, вставте чотири штирі спеціальної вставної планки для повірки на місці в чотири штифти напрямних отворів вилки безперебійного живлення захисної перегородки. і міцно вставте їх, щоб відкалібрувати сайт. Вимірювальні дроти напруги та струму тестера з'єднані чотирма передніми з'єднувальними шпильками для здійснення заміни лічильника електроенергії без збою живлення.

1.8 Висновки по розділу

Проведений аналіз існуючих конструкцій пристроїв для повірки лічильників електричної енергії, якій зведено до БРМА 23.00.00.000 ДО1 показує, що сучасні системи оснащені контактами, спеціальними повірочними трансформаторами, контрольно-регулюючими пристроями. Для розробки конструкції стенду треба передбачити наявність всіх цих компонентів, огляд окремих компонентів зведені до БРМА 23.00.00.000 ДО2.

2 РОЗРОБКА СХЕМИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО СТЕНДУ

2.1 Розробка схеми електричної принципової

Згідно технічного завдання вузол напруги стенда для повірки лічильників електричної енергії повинен забезпечити значення напруг у кожній із фаз кола напруги: 150, 300, 600 В.

Регулюючі пристрої напруги мають забезпечувати плавне пофазне регулювання напруги в межах від 2% до 110% від номінальних значень.

Зсув фаз між фазовою напругою і фазовим струмом необхідно забезпечити в межах від 0 до 120 ^{0} за допомогою фазорегулятора.

Увімкнення в мережу здійснюємо за допомогою автоматичних трифазних вимикачів.

Для захисту від коротких замикань необхідно забезпечити увімкнення через плавкі запобіжники.

Захисний пристрій від перенавантажень кола напруги складається з трьох електромагнітних реле максимального струму та реле змінного струму.

З урахуванням [9] для плавного регулювання напруги у кожній із фаз застосовуємо двощіткові автотрансформатори у вторинне коло яких увімкнені вольтододаткові трансформатори.

Для отримання різних номінальних значень напруг застосовуємо підвищувальні трансформатори із підвищувальними секційними обмотками.

До регулюючих автотрансформаторів підключимо первинні обмотки підвищуючих трансформаторів з вторинних обмоток яких будуть зніматися напруги 150, 300 і 600 В.

Для підключення кіл напруги зразкових приладів необхідно передбачити затискачі.

Схема електрична структурна вузла напруги стенда для повірки трифазних лічильників представлена на рис. 2.1 і на кресленні БРМА 23.00.00.00 Е2

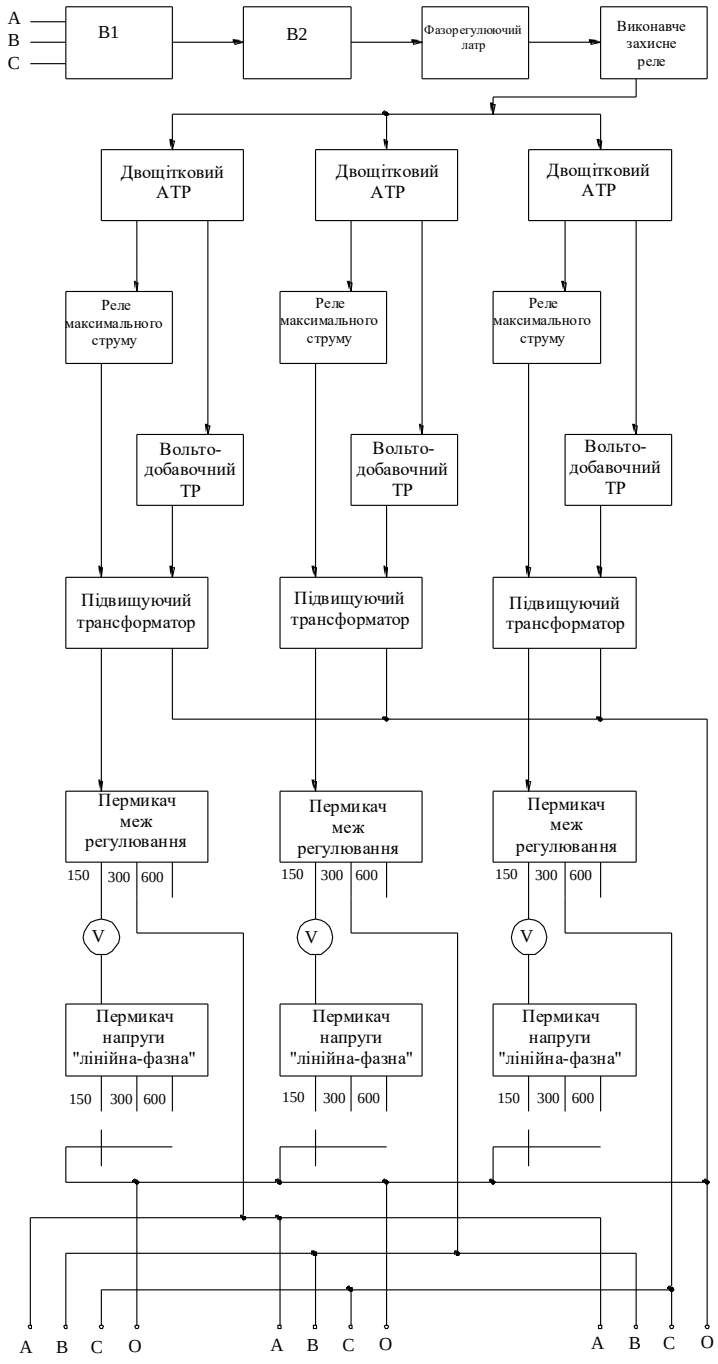


Рисунок 2.1 – Схема вузла напруги

Перемикання границь регулювання здійснюється за допомогою перемикачів які одночасно підключають контрольні вольтметри для вимірювання лінійної або фазної напруги.

На основі схеми електричної структурної розробляємо схему електричну принципову, яка представлена на кресленні БРМА 23.00.00.00 Е3

Напруга живлення з вхідних зажимів стенда через плавкі запобіжники FU1, FU2, FU3, подається на вимикач S1, який здійснює увімкнення стенда. При увімкненні загорається зелена сигнальна лампа HL1, живлення якої здійснюється за допомогою трансформатора Т1.

Вимикачем S2 здійснюється увімкнення вузла напруги.

В залежності від напруги мережі живлення вузол напруги вмикається трикутником при напрузі мережі 220 В, або зіркою при напрузі 380 В. Для цієї мети в колі напруги перемикання відбуваються на фазорегуляторі.

Вторинна обмотка фазорегулятора увімкнена “трикутником”. Напруга з вторинної обмотки фазорегулятора через контакти захисного пристрою від коротких замикань подається на автотрансформатори регулюючого пристрою кола напруги.

Захисний пристрій від перевантажень кола напруги складається з трьох електромагнітних реле максимального струму К2, К3, К4 і реле змінного струму К1.

У випадку перенавантаження стенда (струм споживання більше 1 А), реле максимального струму спрацьовує і своїми нормально відкритими контактами замикає коло виконавчого реле К1, яке розриває коло напруги.

Після усунення перенавантаження або замикання для приведення схеми в робочий стан необхідно розімкнути вимикачем S2 коло напруги. При цьому обмотка реле К1 знеструмлюється, і контакти реле повертаються у своє початкове (нормально замкнене) положення.

Регулюючі пристрої кола напруги працюють наступним чином: напруга 220 В кожної фази кола напруги подається на двощіткові автотрансформатори

T5, T6, T7. У вторинне коло кожного автотрансформатора увімкнені вольтодобавочні трансформатори T11 T12 T13, коефіцієнт трансформації яких дорівнює 1:15. Така схема дозволяє здійснювати грубе і плавне регулювання в кожній фазі за допомогою 1 автотрансформатора.

В колі вузла напруги регульована напруга з автотрансформаторів подається на первинні обмотки підвищувальних трансформаторів T17, T18, T19.

В колі напруги первинні обмотки підвищувальних трансформаторів T17 T18 T19 підключаються до регулювальних автотрансформаторів пофазно через вимикачі S4, S5, S6.

Вторинні обмотки підвищувальних трансформаторів з'єднані між собою в зірку. Для отримання різних номінальних значень напруг обмотки секціоновані. У вторинні кола підвищуючи трансформаторів увімкнені контрольні вольтметри і зажими для підключення кіл напруги повіряємих приладів.

Перемикання меж регулювання здійснюється за допомогою перемикача S10. Одночасно з перемиканням межі регулювання перемикаються додаткові опори до контрольних вольтметрів і тим самим змінюються межі вимірювання. Перемикачем S11 контрольні вольтметри переключаються для вимірювання або лінійної або фазної напруги.

При увімкненні межі регулювання 600 В загорається червона сигнальна лампа HL1, яка сигналізує про роботу з підвищеною напругою. Живлення цієї сигнальної лампи відбувається від трансформатора T1. При увімкненні границь регулювання 150 і 300 В послідовно з лампою вмикається додатковий опір одного із контрольних вольтметрів, і лампа гасне.

Для підключення кіл напруги кожного з трьох зразкових приладів передбачено по дві пари зажимів. До однієї пари зажимів з позначкою U_A ,U_B або U_C підведено фазну напругу. Напруга, яка підводиться до другої пари зажимів, з позначкою U змінюється перемикачем S12 у відповідності з

вибраною схемою увімкнення зразкових приладів при повірці лічильників (схема вимірювання методом двох ватметрів, схема вимірювання реактивної потужності методом трьох ватметрів і схема для повірки лічильників, що вимірюють реактивну потужність і мають внутрішній зсув 60^0). Перемикачем S13 при повірці лічильників реактивної енергії з внутрішнім зсувом 60^0 підключаються семитруючі опори R7, R8, R9, які разом з опорами кіл напруги утворюють семитричну “зірку”.

2.2 Висновки до другого розділу

Виконана розробка джерела живлення стенду, як необхідної частини еталонного вимірювання, а саме - розроблена електрична схема підключення. Дана схема дозволяє регулювати напругу в заданих межах за допомогою перемикачів які одночасно підключають контрольні вольтметри для вимірювання лінійної або фазної напруги.

3. РОЗРАХУНКИ

3.1 Завдання для розрахунків

Для подальшого проектування стенда нам потрібно провести розрахунки трансформатора напруги, що необхідний для еталонного джерела живлення стенду.

Вихідні дані до розрахунку:

Число фаз m = 1.

Номінальна потужність вторинної обмотки: P_2=100 ВА, P_3=100 ВА.

Номінальні напруги: U_1=220 В, U_2=300 В і U_3=600 В.

Частота: f_1=50 Гц.

Коефіцієнти потужності навантаження: $\cos\varphi_2$=1, $\cos\varphi_3$=1.

Особлива умова: трансформатор мінімальної вартості для тривалої роботи при температурі навколишнього 50^0С, виконання-відкрите, охолодження-повітряне.

Вибір типу та основних співвідношень трансформатора буде робити з урахуванням [11, 12]. У відповідності з вихідними даними найбільш доцільним по конструкції являється броневий тип трансформатора з осердям із штампованих Ш-подібних пластин і мідними обмотками. Відношення маси сталі до маси міді приймаємо $\alpha = \frac{G_c}{G_k} = 5{,}5$ [5]. В якості матеріалу осердя можна прийняти електротехнічну сталь марки Э41 з товщиною листа $\delta_c = 0{,}5$

3.2 Визначення струму трансформатора

Розрахунок трансформатора проводимо згідно методики, представленої в [13]. Величина струму первинної обмотки трансформатора:

$$I_1 = \frac{P}{U_1 \eta \cos \varphi_1}, \qquad (3.1)$$

де P- сумарна активна потужність вторинної обмотки трансформатора, Вт;

U_1, U_2, U_3– задана напруга окремих обмоток;

P_2, P_3 – задана потужність вторинних обмоток, ВА;

$\cos \varphi_2$, - задані коефіцієнти потужності навантажень;

ŋ – К.К.Д , величина якого для малих трансформаторів до декілька сотень вольтампер знаходяться в межах 0,70÷0,93

$$I_1 = \frac{P}{U_1 \eta \cos \varphi_1} = \frac{200}{127 \times 0{,}86 \times 0{,}89} = 2{,}06 \text{ А},$$

$$\cos \varphi_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{I_\mu}{I_{1a}}\right)}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 0{,}5^2}} = 0{,}89. \qquad (3.3)$$

Приймаємо:

$$I_{1p} \approx I_\mu\% \approx 50\%, \text{ при } \cos \varphi_2 = 1 \text{ і } \cos \varphi_3 = 1$$

де I_μ - намагнічуючий струм в середній та крайній фазах трифазного трансформатора.

По кривій: ŋ= $f(P)$ [13, рис.17] для P= 200 ВА знаходимо ŋ ≈ 0,86.

Струми вторинних обмоток:

$$I_2 = \frac{P_2}{U_2} = \frac{100}{300} = 0{,}33 \text{ А};$$

$$I_3 = \frac{P_3}{U_3} = \frac{100}{600} = 0{,}17 \text{ А.}$$

Попереднє значення індукції в стержні приймаємо $B_\text{с} = 1{,}3$ Тл.

Попереднє значення товщини струму в мідних проводах обмотки приймаємо j= 3,8 А/мм^2.

Поперечний переріз стержня осердя трансформатора:

$$S'_\text{с} = \text{С}\sqrt{\frac{P_1 \alpha \cdot 10^2}{\text{ʃ}_1 B_\text{с} j}} \text{см}^2 \qquad (3.4)$$

Поперечний переріз ярма трансформатора броневого типу:

$$S'_\text{я} = \frac{S'_\text{с}}{2} \text{ см}^2 \qquad (3.5)$$

де $P_1 = U_1 I_1$ – потужність, що споживається первинною обмоткою трансформатора, ВА

$$S'_\text{с} = \text{С}\sqrt{\frac{P_1 \alpha \cdot 10^2}{\text{ʃ}_1 B_\text{с} j}} = 0{,}7\sqrt{\frac{453{,}2 \cdot 5{,}5 \cdot 10^2}{50 \cdot 1{,}3 \cdot 3{,}8}} \approx 22{,}24\text{см}^2;$$

$$S'_\text{я} = \frac{S'_\text{с}}{2} = \frac{22{,}24}{2} = 11{,}12\text{см}^2;$$

$$P_1 = U_1 I_1 = 220 \cdot 2{,}06 = 453{,}2 \text{ ВА.}$$

Геометричний поперечний переріз стержня $S_\text{с}$ і ярма $S_\text{я}$ осердя з урахуванням коефіцієнта заповнення перерізу сталю визначається наступним чином:

$$S_{\text{с}} = \frac{S'_{\text{с}}}{\kappa_{\text{З}}}; \qquad S_{\text{я}} = \frac{S'_{\text{я}}}{\kappa_{\text{З}}}; \tag{3.6}$$

де $\kappa_{\text{З}}$ - коефіцієнт заповнення перерізу осердя сталю, береться із [13, табл. 3], в залежності від товщини листа $\delta_{\text{с}}$.

Висота ярма складає:

$$h_{\text{я}} = \frac{S_{\text{я}}}{\text{b}} \tag{3.7}$$

Повний поперечний переріз осердя буде:

$$S_{\text{с}} = \frac{S'_{\text{с}}}{\kappa_{\text{З}}} = \frac{22{,}24}{0{,}92} = 24{,}17\text{см}^2$$

$$S_{\text{я}} = \frac{S'_{\text{я}}}{\kappa_{\text{З}}} = \frac{11{,}12}{0{,}92} = 12{,}09\ \text{см}^2$$

Число витків обмоток трансформатора розрахуємо таким чином.

Попереднє число витків первинної обмотки трансформатора:

$$w'_1 = \frac{(U_1 - \frac{\Delta U\% \cdot U_1}{200})10^4}{4{,}44 \cdot \text{ƒ}_1\ B'_{\text{с}} S'_{\text{с}}} \tag{3.8}$$

де $\text{ƒ}_1 -$ задані первинні напруга та частота.

Величина $\Delta U\% = 10\%$ знайдена по кривій $\Delta U\% = \text{ƒ}(P)$ [13, рис. 17] для P= 100 ВА.

$$w'_1 = \frac{(U_1 - \frac{\Delta U\% \cdot U_1}{200})10^4}{4{,}44 \cdot \text{ƒ}_1\ B'_{\text{с}} S'_{\text{с}}} = \frac{(453{,}2 - \frac{10 \cdot 453{,}2}{200})10^4}{4{,}44 \cdot 50 \cdot 1{,}3 \cdot 22{,}24} = 670{,}85$$

Попередня величина падіння напруги в обмотках трансформатора, що припадає на один виток обмотки при навантажені, В/виток

$$e_w^{'} = \frac{U_1 - \frac{\Delta U\% \cdot U_1}{200}}{W_1^{'}} \tag{3.9}$$

$$e_w' = \frac{U_1 - \frac{\Delta U\% \cdot U_1}{200}}{w_1'} = \frac{453{,}2 - \frac{10 \cdot 453{,}2}{200}}{670{,}85} = 0{,}642$$

Попереднє число витків вторинної обмотки трансформатора:

$$w_2' = \frac{U_2 - \frac{\Delta U\% \cdot U_2}{200}}{e_w'} = \frac{300 + \frac{10 \cdot 300}{200}}{0{,}642} = 490{,}65;$$

$$w_3' = \frac{U_3 - \frac{\Delta U\% \cdot U_3}{200}}{e_w'} = \frac{600 + \frac{10 \cdot 600}{200}}{0{,}642} = 981{,}31.$$

Таким чино приймаємо:

$$w_1 = w_1' = 671;$$

$$w_3 = w_3' = 981;$$

$$e_w = e_w' = 0{,}642 \text{ В/виток.}$$

3.3 Перерізи та діаметри провідників обмотки

Попереднє значення поперечних перерізів проводів обмоток

$$q_1' = \frac{I_1}{j_1'} \text{ мм}^2, \tag{3.10}$$

$$q_2' = \frac{I_2}{j_2'} \text{ мм}^2 , \quad (3.11)$$

$$q_3' = \frac{I_3}{j_3'} \text{ мм}^2, \quad (3.12)$$

$$q_1' = \frac{I_1}{j_1'} = \frac{2{,}06}{3{,}8} = 0{,}542\text{мм}^2;$$

$$q_2' = \frac{I_2}{j_2'} = \frac{0{,}33}{3{,}8} = 0{,}086\text{мм}^2;$$

$$q_3' = \frac{I_3}{j_3'} = \frac{0{,}17}{3{,}8} = 0{,}044\text{мм}^2.$$

Найближчі перерізи і діаметри провідників згідно додатку 1 [13] дорівнюють:

$$q_1 = 0{,}273 \text{ мм}^2$$

$$q_2 = 0{,}0572\text{мм}^2,$$

$$q_3 = 1\,,13 \text{ мм}^2.$$

За вибраними перерізами проводів уточнюємо густину струму в обмотках, $\text{А}/\text{мм}^2$:

$$j_1 = \frac{I_1}{q_1}; \quad (3.13)$$

$$j_2 = \frac{I_2}{q_2}\ ; \quad (3.14)$$

$$j_3 = \frac{I_3}{q_3}. \quad (3.15)$$

Кінцеве значення густини струму у вибраних провідниках:

$$j_1 = \frac{I_1}{q_1} = \frac{2{,}06}{0{,}273} = 7{,}54\text{А}/\text{мм}^2;$$

$$j_2 = \frac{I_2}{q_2} = \frac{0{,}33}{0{,}0572} = 5{,}77\text{А/мм}^2;$$

$$j_3 = \frac{I_3}{q_3} = \frac{0{,}17}{1{,}13} = 0{,}15\text{А/мм}^2.$$

Вибираємо провідники марки ПЭЛ.

Висота вікна осердя трансформатора:

$$H = \sqrt{k \cdot \frac{q_1 w_1 + q_2 w_2 + q_3 w_3}{100 k_{\text{вк}}}}, \qquad (3.16)$$

Н – висота вікна осердя;

k – відношення висоти вікна осердя до ширини,

$$k = \frac{H}{\text{с}} = 2{,}0 \div 3{,}0 ;$$

– коефіцієнт заповнення вікна сердечника обмотки; для малих силових трансформаторів величина приблизно може бути прийнята в межах

$$H = \sqrt{2{,}8 \cdot \frac{0{,}273 \cdot 670{,}85 + 0{,}0572 \cdot 490{,}65 + 1{,}13 \cdot 981{,}31}{100 \cdot 0{,}24}} = 12{,}41 \text{ см}.$$

3.4 Число витків обмотки

Число шарів цієї обмотки:

$$m_1 = \frac{w_1}{n_1} = \frac{670{,}85}{184{,}53} = 3{,}63 \approx 3{,}6;$$

Товщина першої обмотки 2 мм.

Число витків другої обмотки в одному шарі - 490.

Число шарів цієї обмотки:

$$m_2 = \frac{w_2}{n_2} = \frac{490}{387} = 1{,}3;$$

Товщина другої обмотки:

$$\delta_2 = m_2(d_{2\text{i}} + \gamma_2) = 1{,}3(0{,}305 + 0{,}05) = 0{,}46 \text{ мм}.$$

Число витків третьої обмотки в одному шарі – 981.

Число шарів цієї обмотки:

$$m_3 = \frac{w_3}{n_3} = \frac{981}{92{,}26} \approx 10{,}64;$$

Товщина третьої обмотки. 124 мм.

Ширина вікна осердя 25 мм,

З урахуванням : ε_3 = 3мм , ε_0 = 1 мм; $\delta_{12} = \delta_{13}$ = 0,5 мм; k_2 = 1,2.

Ізоляція між обмотками зроблена з електрокартону ЕВ (ГОСТ 2824-60).

Відношення

$$\frac{H}{\text{c}} = \frac{124{,}1}{25{,}03} = 4{,}95$$

Осердя зібране із Ш-подібних пластин безвідхідної штамповки відповідно [13]: $H = 12$ см; c= 25 см;а $= 3$ см; $h_я = 1{,}5$ см.

3.5 Мідні обмотки трансформатора

Маса мідних обмоток трансформатора у випадку прямокутних котушок визначається наступним способом:

$$\ell_{w1} = 2[\mathrm{a} + \mathrm{b} + 4(\varepsilon_0 + \delta_2 + \delta_{12}) + 2\delta_{12}] = 2 \times [3 + 8{,}06 + 4(0{,}1 + +0{,}046 + 0{,}05) + 2 \cdot 0{,}5] \approx 25{,}69 \text{ см};$$

$$G_{к1} = 8{,}9 \cdot w_1 q_1 \cdot \ell_{w1} \cdot 10^{-5} = 8{,}9 \cdot 670{,}85 \cdot 0{,}273 \cdot 25{,}69 \cdot 10^{-5} = 0{,}419 \text{ кг};$$

$$\ell_{w2} = 2(\mathrm{a} + \mathrm{b} + 4\varepsilon_0 + 2\delta_2) = 2(3 + 8{,}06 + 4 \cdot 0{,}1 + 2 \cdot 0{,}046) \approx 23{,}1 \text{ см};$$

$$G_{к2} = 8{,}9 \cdot w_2 q_2 \ell_{w2} \cdot 10^{-5} = 8{,}9 \cdot 490{,}65 \cdot 0{,}0572 \cdot 23{,}1 \cdot 10^{-5} = 0{,}058 \text{ кг};$$

$$\ell_{w3} = 2[\mathrm{a} + \mathrm{b} + 4(\varepsilon_0 + \delta_2 + \delta_{12} + \delta_1 + \delta_{12} + \delta_{13}) + 2\delta_3] = 2[3 + 8{,}06 + 4(0{,}1 + 0{,}046 + 0{,}05 + 2{,}3 + 0{,}05) + 2 \cdot 0{,}13] = 43 \text{ см};$$

$$G_{к3} = 8{,}9 \cdot w_3 q_3 \ell_{w3} \cdot 10^{-5} = 8{,}9 \cdot 981{,}31 \cdot 1{,}13 \cdot 43 \cdot 10^{-5} = 4{,}24 \text{кг}$$

Загальна маса мідних обмоток:

$$G_к = G_{к1} + G_{к2} + G_{к3} = 0{,}419 + 0{,}058 + 4{,}24 = 4{,}717 \text{ кг}.$$

Втрати в обмотках трансформатора при 75 ^{0}С :

$$P_{к1} = 2{,}4 \cdot j_1^2 \cdot G_{к1} = 2{,}4 \cdot 7{,}54^2 \cdot 0{,}419 = 57{,}17 \text{ Вт},$$
$$P_{к2} = 2{,}4 \cdot j_2^2 \cdot G_{к2} = 2{,}4 \cdot 5{,}77^2 \cdot 0{,}058 = 4{,}63 \text{ Вт},$$
$$P_{к3} = 2{,}4 \cdot j_3^2 \cdot G_{к3} = 2{,}4 \cdot 0{,}15^2 \cdot 4{,}24 = 0{,}23 \text{ Вт}.$$

Загальні втрати в обмотках:

$$P_к = P_{к1} + P_{к2} + P_{к3} = 57{,}17 + 4{,}63 + 0{,}23 \approx 60{,}9 \text{ Вт}.$$

Маса сталі осердя трансформатора:

$$G_{c.c} = 7{,}6H \cdot S_c' \cdot 10^{-3} = 7{,}6 \cdot 12{,}41 \cdot 22{,}24 \cdot 10^{-3} = 2{,}09 \text{ кг},$$

$$l_я = 2 \cdot \text{c} + a + 2 \cdot h_я = 2 \cdot 25{,}03 + 3 + 2 \cdot 1{,}5 = 56{,}06 \text{ см}.$$

$$= 2 \cdot 7{,}6(12{,}41 + 56{,}06) \cdot 11{,}12 \cdot 10^{-3} = 11{,}57 \text{ кг}$$

Загальна маса осердя 16,3 кг

Магнітні втрати в осерді трансформатора:

$$P_{c.c} = k_c \cdot B_я^2 \cdot G_{c.c} = 1{,}35 \cdot 1{,}3^2 \cdot 2{,}09 = 4{,}77 \text{ Вт}.$$

3.6 Струм холостого ходу трансформатора

Розраховується за формулою:

$$I_0 \approx I_\mu = \frac{a \cdot w_c \cdot l_c' + a \cdot w_я \cdot l_я' + 0{,}8 \cdot B_c \cdot n \cdot \delta_э \cdot 10^4}{\sqrt{2} \cdot 670{,}85} =$$

$$= \frac{3 \cdot 1{,}3 \cdot 12{,}41 + 3 \cdot 1{,}3 \cdot 12{,}41 + 0{,}8 \cdot 1{,}3 \cdot 2 \cdot 0{,}004 \cdot 10^4}{\sqrt{2} \cdot 670{,}85} = 0{,}19\ A$$

$$l_c' = H = 12{,}41\text{см};$$

$$l_я' = H + l_я = 12{,}41 + 56{,}06 = 68{,}47 \text{ см}$$

$$a \cdot w_c = a \cdot w_я = 3{,}9$$

По кривій [13,рис. 5.2] для сталі марки Э41 при B_c=$B_я$=1,3 Тл;

$$i_\mu\% = \frac{I_\mu}{I_{1a}} \cdot 100 = \frac{0{,}465}{1{,}83} \cdot 100 = 25{,}4\%$$

$$I_{1a} = I_1 \cdot \cos\varphi_1 = 2{,}06 \cdot 0{,}89 = 1{,}83 \text{ А}$$

Коефіцієнт корисної дії трансформатора:

$$\eta = \frac{P}{P + P_c + P_к} \cdot 100 = \frac{200}{200 + 31{,}16 + 60{,}9} \cdot 100 \approx 68{,}5\ \%$$

3.6.1 Індуктивні падіння напруги і опори обмоток трансформатора

Відносні індуктивні падіння напруги відповідних пар обмоток при розміщенні первинної обмотки між двома вторинними [13], див. рис.3.1.

$$\delta_{s12} = \delta_{12} + \frac{\delta_1 + \delta_2}{3} = 0{,}05 + \frac{2{,}3 + 0{,}46}{3} = 0{,}97 \text{ см}$$

$$e_{s12}\% = \frac{4 \cdot f_1 \delta_{s12} \cdot (I_1 \cdot w_1 \cdot l_{w1} + I_2 \cdot w_2 \cdot l_{w2} \cdot \frac{P_1}{P_2}) \cdot 10^{-6}}{e_w \cdot l_s} =$$

$$= 2{,}25\ \%$$

$$\delta_{s13} = \delta_{13} + \frac{\delta_1 + \delta_3}{3} = 0{,}05 + \frac{2{,}3 + 13{,}6}{3} = 5{,}35 \text{ см}$$

$$e_{s13}\% = \frac{4 \cdot f_1 \delta_{s13} \cdot (I_1 \cdot w_1 \cdot l_{w1} + I_3 \cdot w_3 \cdot l_{w3} \cdot \frac{P_1}{P_3}) \cdot 10^{-6}}{e_w \cdot l_s} =$$

$$= 16{,}1\%$$

$$\delta_{s23} = \delta_{12} + \delta_1 + \delta_{13} + \frac{\delta_2 + \delta_3}{3} = 0{,}05 + 2{,}3 + 0{,}05 + \frac{0{,}46 + 13{,}6}{3} =$$

$$= 7{,}09\ см$$

$$e_{s23}\% = \frac{4 \cdot f_1 \cdot \delta_{s23} \cdot \left(I_2 \cdot w_2 \cdot l_{w2} \frac{P_1}{P_2} + I_3 \cdot w_3 \cdot l_{w3} \cdot \frac{P_1}{P_3}\right) \cdot 10^{-6}}{e_w \cdot l_s} =$$

$$= \frac{4 \cdot 50 \cdot 7{,}09 \cdot \left(0{,}33 \cdot 490{,}65 \cdot 23{,}1 \cdot \frac{453{,}2}{100} + 0{,}17 \cdot 981{,}331 \cdot 43 \cdot \frac{453{,}2}{100}\right) \cdot 10^{-6}}{0{,}365 \cdot 12{,}41}$$

$$= 1{,}5\ \%$$

Тут :

$P_1 = U_1 \cdot I_1 = 220 \cdot 2{,}06 = 453{,}2$ ВА;

$l_s \approx H = 12{,}41$ см.

Індуктивні падіння напруги окремих обмоток:

а) пара обмоток 1 і 2

$$e_{s1}\% = \frac{4 \cdot f_1 \cdot \delta_{s12} \cdot I_1 \cdot w_1 \cdot l_{w1} \cdot 10^{-6}}{e_w \cdot l_s} =$$

$$= \frac{4 \cdot 50 \cdot 0{,}97 \cdot 2{,}06 \cdot 670{,}85 \cdot 25{,}69 \cdot 10^{-6}}{0{,}365 \cdot 12{,}41} = 1{,}5\ \%$$

$$e_{s2}\% = e_{s12}\% - e_{s1}\% = 1{,}5 - 1{,}5 = 0\ \%.$$

б) пара обмоток 1 і 3

$$e'_{s1}\% = \frac{4 \cdot f_1 \cdot \delta_{s13} \cdot I_1 \cdot w_1 \cdot l_{w1} \cdot 10^{-6}}{e_w \cdot l_s} =$$

$$= \frac{4 \cdot 50 \cdot 5{,}35 \cdot 2{,}06 \cdot 670{,}85 \cdot 25{,}69 \cdot 10^{-6}}{0{,}365 \cdot 12{,}41} = 8{,}4\ \%;$$

$$e_{s3}\% = e_{s13}\% - e_{s1}\% = 16{,}1 - 8{,}4 = 7{,}7\ \%.$$

Індуктивні опори короткого замикання пар обмоток:

$$x_{k12} = x_1 + x_2' = \frac{e_{s12}\%\cdot U_1}{100\cdot I_1} = \frac{1{,}5\cdot 220}{100\cdot 2{,}06} \approx 16\ Ом.$$

$$x_{k13} = x_1' + x_2' = \frac{e_{s13}\%\cdot U_1}{100\cdot I_1} = \frac{16{,}1\cdot 220}{100\cdot 2{,}06} \approx 17{,}2\ Ом.$$

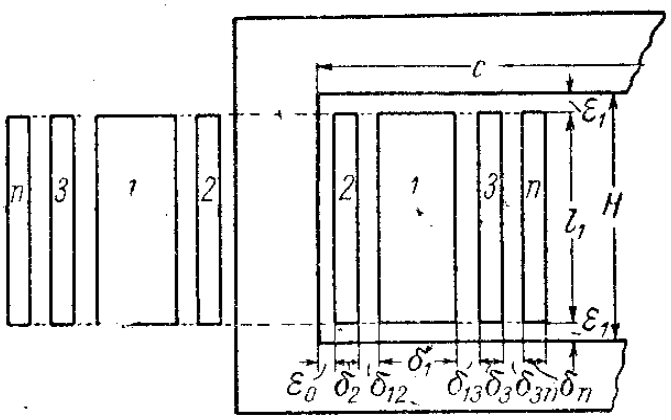


Рисунок 3.1 – Розташування обмоток на осерді трансформатора

Повні опори короткого замикання пар обмоток:

$$z_{k12} = \sqrt{r_{k12}^2 + x_{k12}^2} = \sqrt{92{,}95^2 + 16^2} \approx 94{,}3\ \text{Ом};$$

$$z_{k13} = \sqrt{r_{k13}^2 + x_{k13}^2} = \sqrt{17{,}16^2 + 17{,}2^2} \approx 24{,}3\ \text{Ом}.$$

Напруга короткого замикання пар обмоток

$$e_{k12}\% = \frac{z_{k12}\cdot I_1}{U_1}\cdot 100 = \frac{92{,}95\cdot 2{,}06}{220}\cdot 100 = 87\ \%;$$

$$e_{k12}\% = \frac{z_{k13}\cdot I_1}{U_1}\cdot 100 = \frac{17{,}16\cdot 2{,}06}{220}\cdot 100 = 16\ \%.$$

3.6.2 Зміна напруги трансформатора при навантаженні

Вплив індуктивного падіння напруги на величину зміни напруги невелика.

Напруга на затискачах вторинних обмоток при навантаженні:

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{w_2}{w_1} \cdot \left(1 - \frac{\Delta U_{12}\%}{100}\right) = 220 \cdot \frac{490{,}65}{670{,}85} \cdot \left(1 - \frac{59{,}22}{100}\right) = 65{,}85 \text{ В};$$

$$U_3 = U_1 \cdot \frac{w_3}{w_1} \cdot \left(1 - \frac{\Delta U_{13}\%}{100}\right) = 220 \cdot \frac{981{,}31}{670{,}85} \cdot \left(1 - \frac{11{,}65}{100}\right) = 285{,}87 \text{ В}$$

Для отримання номінальної напруги при навантаженні на затискачах вторинної обмотки число витків її потрібно зменшити.

Кінцеве значення числа витків:

$$w_2 = 490{,}65 - \frac{65{,}85 - 300}{0{,}365} = 490{,}65 - 22 = 468$$

3.7 Висновки до третього розділу

Проведені розрахунки трансформатора живлення дають можливість визначити необхідні габаритні розміри для проектування конструкції стенду.

4 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ СТЕНДА

4.1 Розробка несучої конструкції стенда

Конструктивно стенд представляє собою прямокутну конструкцію на якому розміщена вертикальна панель приладів і панель закріплення лічильників, що повіряються, розроблялась з урахуванням [15, 16].

На передній панелі стенда розміщені зліва три контрольні вольтметра, справа - три амперметри. Перші амперметр і вольтметр вимірюють напругу і струм фази А, другі фази В, треті фази С.

Під кожним контрольним амперметром розміщені штекерні перемикачі регулюємого струму. У верхній частині панелі розташовані 5 груп затискачів. Кожна група має маркування А,В,С,0, що відповідає порядку слідування фаз і 0 проводу кола напруги, і група затискачів з перемичками для увімкнення струмових кіл повіряємих лічильників.

Вигляд загальний показано на БКМА 23.00.00.000 ВЗ. Загальна конструкція показана на рис.4.1. Позиціями позначено: 1 – лічильник електроенергії, що повіряється; 2 – Табло значень повірки; 3 – блок живлення стенду; 4 – кнопка повірки; 5 – регулятор перемикання режимів блока живлення; 6 - перемикач напруг; 7 – регулятор зміни фаз живлення; 8 – стіл; 9 – несучі напрямні елементи; 10 – елементи фіксації.

У лівій частині на блоці розташовані: частотомір, для контролю частоти напруги мережі. Перемикач 5 перемикає: S1-МЕРЕЖА, S2-НАПРУГА, S3-СТРУМ, Перемикач 6 - перемикач напруг: «ФАЗНА-ЛІНІЙНА» контрольних вольтметрів Перемикач 7 є перемикачем мережі напруги: 150, 300, 600 В..

Рядом з перемикачами розташовані зелена і червона сигнальні лампи.

Внизу зліва розташовані дві пари клем, на які подається напруга 220 В і вимикачі напруг фаз А,В,С, що мають відповідне кольорове маркування.

Регулятори напруги закріплені на алюмінієвій панелі мають спеціальні вирізи для вийманні регуляторів із стола стенда.

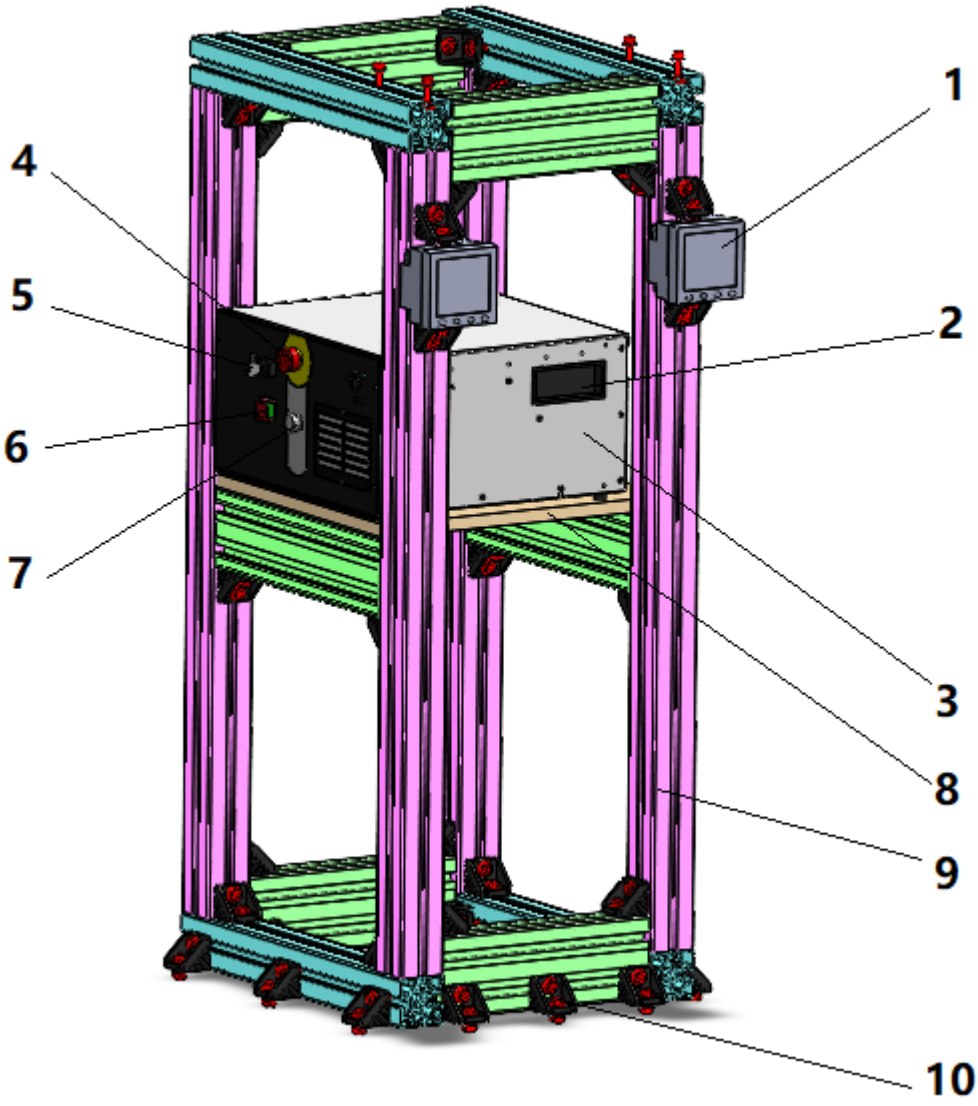


Рисунок 4.1 – Конструкція стенда для повірки лічильників енергії

Правіше розміщені затискачи A,B,C,0 для підключення кіл напруги повіряємих приладів , затискачи з перемикачами, що призначені для розриву нульового проводу кола струму, і клеми з перемикачами, для увімкнення струмових кіл повіряємих приладів.

Панелі із встановленими на них щитками, що мають надписи РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ і РЕГУЛЮВАННЯ СТРУМУ, закріплені до стола стенда гвинтами.

У верхній частині є фіксатори 9, що призначені для розміщення зразкових приладів. Для їх підключення є групи затискачів (по одній на кожну фазу). Два затискача кожної групи призначені для увімкнення в коло струму і дві пари – для увімкнення в коло напруги. До пари затискачів, що мають позначку U_A абоU_B абоU_C, підведена фазна напруга. А до другої з позначенням U-напруга від перемикача схем.

Зліва від затискачів розміщений перемикач схем вимірювання, з права – перемикач семитруючих опорів.

Всередині стенда у блоці також розташовані підвищуючи, понижуючі, вольтодобавочні трансформатори і трансформатори струму, реле захисту, трансформатор, сигнальні лампи і блок симетруючих опорів. З тильної сторони стенда розташовані плавкі запобіжники, які одночасно виконують механічне блокування затискачами для під'єднання живлення і для приєднання фазорегулятора. Там же розташовані затискачи з перемичками для комутації струмових кіл при переході напруги з 220 на 380В. Це все розташовано у окремому блоці, які розмішені в середині стенда.

У зручному місці для оператора, розташовуються на направляючих кріплення для повіряємих приладів.

4.2 Обладнання для калібрування

Для калібрування лічильників електроенергії вибираємо Еталонний стандарт, що має клас точності 0,02 [8, 17]. Його також можна використовувати як самостійне обладнання. Цей стандарт має клас точності 0,02 щодо повної потужності. Його можна використовувати для:

• вимірювання напруги;

• вимірювання струму;

• вимірювання фазового кута;

• вимірювання частоти;

• аналіз гармонік до 63-ї;

• вимірювання потужності, активної, реактивної, повної;

• вимірювання власного споживання;

• обчислення похибок точності автономно з одним імпульсним входом або разом з обчислювачами похибок на стаціонарних стендах;

• реєстрація тестів.

Також використаємо сервер, що підключається до ПК (або планшета) через ethernet-кабель або WiFi і підтримує зв'язок з усіма пристроями:

• еталонний контроль і зворотний зв'язок;

• контролер;

• калькулятори похибок (24 канали);

• лічильник зв'язку (24 канали).

Контролер генерує інформацію для підсилювачів про напруги, струми, фазові кути та форми хвиль. Інші компанії називають цей пристрій напр. контролер форми сигналу або генератор частоти.

Система тестування лічильника складається з трьох підсилювачів напруги в режимі перемикання. Випробувальна напруга генерується синтетично в цифровому електронному джерелі живлення з контролером і підсилювачами режиму перемикання. Підсилювачі мають такі характеристики:

• висока ефективність (≥ 85 %);

• компенсація коефіцієнта потужності підключення до мережі відповідно до EN 60555 / IEC 555;

• висока стабільність при індуктивних, ємнісних і нелінійних навантаженнях;

• дуже висока якість вихідних сигналів, низький загальний коефіцієнт гармонійних спотворень (THD);

• захист від перевантаження, короткого замикання, перегріву.

Підсилювачі мають цифрове управління та мають внутрішні вимірювальні модулі для додаткової стабілізації вихідних значень, Зовнішній вигляд показано на рис.4.2.

Рисунок 4.2 – Еталонний стандарт CL3115

Тестова система лічильника складається з трьох підсилювачів струму в режимі перемикання. Тестовий струм синтетично генерується в цифровому електронному джерелі живлення з контролером і підсилювачами режиму перемикання. Підсилювачі мають такі характеристики:

• висока ефективність (≥ 85 %);

• компенсація коефіцієнта потужності підключення до мережі відповідно до EN 60555 / IEC 555;

• висока стабільність при індуктивних, ємнісних і нелінійних навантаженнях;

• дуже висока якість вихідних сигналів, низький загальний коефіцієнт гармонійних спотворень (THD);

• захист від перевантаження, обриву, перегріву;

Підсилювачі мають цифрове управління та мають внутрішні вимірювальні модулі для додаткової стабілізації вихідних значень.

Скануюча головка HD1080 розроблена для сканування міток ротора та світлодіодів електронних лічильників. Його також можна використовувати для сканування інфрачервоних діодів. Якщо HD1080 використовується для сканування міток ротора лічильників Ferraris, два імпульсних світлодіода запалюють диск ротора. Відбите світло також має імпульсний характер і може бути виявлено незалежно від фонового освітлення.

Кожна позиція вимірювання стаціонарної тестової системи оснащена скануючою головкою HD1080, встановленою на фіксуючому пристрої для легкого позиціонування по всіх 3 осях. Усі скануючі головки додатково встановлені на загальній рейці та мають засоби для підйому з лічильника у разі заміни лічильника.

ІСТ CL2030-D використовується для забезпечення гальванічним струмом лічильників енергії для тестування та калібрування.

Кожна позиція лічильника на стійці має власну ІКТ. Ізоляційні трансформатори струму потрібні, коли зв’язки струм-потенціал всередині лічильника не можуть бути розімкнуті.

4.3 Інструкція з роботи та ремонту

Викрутити плавкі вставки, невипадаючі гвинти та відкрити двері.

Відкрутивши гвинти, зняти задню стінку для доступу в відсік станини.

Провести внутрішній огляд установки.

Установити і закріпити стійку для підвішення лічильників.

Установити вольтметри, амперметри ці частотомір в вирізи передньої панелі і провести підключення до них відповідних провідників джгуту.

Переконатись, що вимикачі МЕРЕЖА, НАПРУГА та СТРУМ знаходяться в положенні ВИКЛ.

Установити перемикач границь напруги в положення150 В, ручки автотрансформаторів кола струму та напруги в крайнє ліве положення.

Переконатись, що в колі струму зажими для підключення повіряємих зразкових пристроїв та зажими 0-0 замкнуті перемичками.

Привести схему установки у відповідності з напругою мережі. З’єднати обмотку статора фазорегулятора в “зірку” при напрузі мережі 380 В і в “трикутник”- при напрузі мережі 220 В.

Обмотка ротора фазорегулятора у всіх випадках повинна бути з’єднана в “трикутник”.

Поставити в кола струму перемички в положення 380 В або 220 В в залежності від напруги мережі. При напрузі мережі 380 В коло живлення повинне бути 4-провідним (3 фази і нульовий провід).

Закріпити задню стінку на станині.

Підключити фазорегулятор до зажимів установки, використовуючи кабель із комплекту з’єднувальних провідників.

Заземлити корпус установки.

Підключити мережу до зажимів установки кабелем з перерізом не менш 2,5 мм^2.

Закрити двері установки і вкрутити плавкі вставки. Установка підготовлена до роботи.

4.4 Порядок роботи

Установити і підключити повіркові пристрої до відповідних зажимів установки (лічильники підвішуються на тримачі верхньої стійки, щитові пристрої закріплюються в прилеглому штативі або установлюються на столі установки).

Установити в поглибленні на столі необхідні для повірки зразкові прилади і під єднати їх до відповідних зажимів

При повірці лічильників (ватметрів) встановити перемикач, розміщений в поглибленні стола зліва, в положення, відповідне до потрібної схеми для повірки даного типу лічильників (ватметром). Кола напруги зразкових ватметрів при цьому під єднати до зажимів з позначенням В.

У випадку повірки лічильників реактивної енергії з внутрішнім зсувом 60^0 перемикач ВІЗ встановити в положення, відповідно встановленому у ватметрах номінальної напруги.

Встановити необхідні границю регулювання за струмом і напругою штепсельним перемикачем і перемикачем 150 В, 300 В, 600 В у відповідності з номінальними значеннями струму і напруги повіряємих пристроїв.

Перевести вимикач МЕРЕЖА в положення ВКЛ. При цьому повинна загорітися зелена сигнальна лампа.

Відрегулювати величину напруги. Для цього:

а) переконатись, що перемикач ЛІНІЙНЕ-ФАЗНЕ знаходиться у положенні ФАЗНЕ;

б) перевести перемикач НАПРУГА в положенні ВКЛ. При цьому, якщо включена границя регулювання 600 В, повинна загорітись красна сигнальна лампа;

в) включити, в тих фазах, де потрібно, вимикачі регулювального пристрою мережі напруги .

г) обертаюча ручка автотрансформатора мережі напруги, встановити потрібні значення напруг за контрольними вольтметрами.

Якщо при цьому в мережі відбудеться перегрузка або коротке замикання, і запрацює захисний пристрій, встановити вимикач НАПРУГА в положення ВИКЛ. Виведіть ручки автотрансформатора в крайнє ліве положення. Усунути неполадку.

Після цього пристрій знову готовий до роботи.

Встановити потрібне значення напруги за контрольними вольтметрами.

Регулювати величину струму. Для цього необхідно:

а) перевести вимикач СТРУМ в положення ВКЛ;

б) обертаючи ручки автотрансформатора кіл струму, встановити потрібне значення струму за контрольними амперметрами;

в) за допомогою фазорегулятора встановити потрібний коефіцієнт потужності;

г) зняти покази повіряємих приборів.

Вивести ручки автотрансформаторів в крайнє ліве положення після проведення повірки.

Переведіть вимикач регулювання пристрою кіл напруги у відключене положення (вниз).

Відключити штекери штепсельного перемикача (холосте гніздо).

Перевести вимикачі НАПРУГА, СТРУМ, МЕРЕЖА в положення ВИКЛ. При цьому зелена і червона сигнальні лампи повинні згаснути.

Відключити повіряємі і зразкові пристрої.

Замкнути перемички зажимів для струмових кіл повіряємих і зразкових приборів.

4.5 Характерні несправності та методи їх усунення

Для забезпечення функціонування вузла в умовах експлуатації необхідно, щоб всі його параметри відповідали вимогам технічних умов. Тому на кінцеві стадії виготовлення вузла проводять на регулювально-налагоджувальні роботи.

В складних пристроях спочатку регулюють окремі функціональні вузли, блоки, а потім – пристрій в цілому.

Найбільш складною частиною операції повірки функціонування являє собою діагностика несправностей. Несправності можуть бути як механічні, так і електричні.

Характерними ознаками електричних несправностей являються: обрив ланцюга, значне збільшення (зменшення) опору ланцюга, коротке замикання, місцевий підвищений нагрів або перегрів радіоелементів.

Існують наступні способи відшукування несправностей: зовнішній огляд; спосіб заміни окремих елементів, вузлів; спосіб проміжних вимірювань; спосіб виключення; спосіб порівняння.

Зовнішній огляд – спосіб відшукування несправностей за допомогою органів зору, слуху, нюху, відчуття. Цим способом можна виявити механічні і ряд електричних несправностей.

Спосіб заміни окремих елементів широко використовується в пристроях побутового обладнання. В пристроях в яких використовують печатні плати з’єднані за допомогою роз’ємних з’єднань, також застосовують цей спосіб. Замінюючи плати, можна знайти несправні і в подальшому уже виявляти несправності у даній платі.

Спосіб проміжних вимірювань полягає в послідовній перевірці проходження сигналу від блоку до блоку, від каскаду до каскаду до виявлення несправного блоку, каскаду, елементів. При даному способі пошук несправностей зазвичай проводиться від вхідних каскадів виробу до вихідних.

Спосіб виключення полягає в послідовному виключенні із пошуку справних каскадів вузлів, блоків. При даному способі пошук несправностей зазвичай проводять від вихідних каскадів блоків до вхідних.

Спосіб порівняння полягає в порівнянні результатів перевірки каскаду який відмовив, вузла, блока з результатами перевірки справних однотипних каскадів, блоків, вузлів.

Вибір способу пошуку несправності залежить від схеми і конструкції провіряє мого вузла, каскаду, блоку, виробу в цілому.

4.6 Висновки до четвертого розділу

Була розроблена структура стенду, з використання направляючих та фіксаторів, що дозволяє утримувати блок живлення, поверяємі лічильники.

Завдяки особливості конструкції стенда можливо встановлення 4 лічильників одночасно на ньому.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання бакалаврської роботи, розроблено конструкцію стенду для повірки лічильників електричної енергії. Крім того проведена розробка електричної схеми та зроблені відповідні розрахунки блоку напруги стенду для повірки лічильників електричної енергії. Розроблений стенд відповідає технічному завданню і може використовуватися на виробництві для метрологічної атестації лічильників активної та реактивної електричної енергії. Передбачено встановлення одночасно 4 лічильників. Вибрано еталонний лічильник для калібрування режимів роботи стенду.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Lin Weibin, Chen Lei, Xiao Yong, et al. Current status and development trend of R&D and application of field calibration technology for electric energy meters. Electrical Measurement and Instrumentation, 2016, 53(12): 1-6.
2. Electricity Meter Test Equipment ELMA [Електронний ресурс] // APPLIED PRECISION. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: https://www.appliedp.com/product/electricity-meter-test-equipment-elma/.
3. Isolation Current Transformer CMR-I [Електронний ресурс] // PPLIED PRECISION. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: https://www.appliedp.com/product/isolation-current-transformer-cmri.
4. ASTEL 1.2 SINGLE-PHASE METER TEST EQUIPMENT [Електронний ресурс] // MeterTest Sp.. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: http://www.meter-test-equipment.com/en/p/astel-1-2-single-phase-meter-test-equipment/.
5. TE30 THREE-PHASE NETWORK ANALYSER AND TESTER OF ELECTRICITY METERS AND INSTRUMENT TRANSFORMERS [Електронний ресурс] // MeterTest Sp. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: http://www.meter-test-equipment.com/en/p/te30-three-phase-network-analyser-and-tester-of-electricity-meters-and-instrument-transformers/.
6. Multi Position Test Systems [Електронний ресурс] // MTE. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: https://www.mte.ch/products/stationary-test-equipment/meter-test-systems-33/multi-position-test-systems-13.
7. Multi-position test bench DC [Електронний ресурс] // ZERA. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: https://www.zera.de/en/product/meter-testing/stationary-meter-test-systems-dc/test-benches-dc/multi-position-test-bench-dc/. /

8. Energy Meter Testing [Електронний ресурс] // SPEA. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: https://www.spea.com/en/industries/energy-meter-testing/.https://clouglobal.com/test-bench-cl3000/
9. GDYB-S3 THREE PHASE ENERGY METER TEST SYSTEM (3 POSITIONS) [Електронний ресурс] // HvHipot. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: 9. https://www.hvhipot.com/gdyb-s3-three-phase-energy-meter-test-system-3-positions-product/.
10. Design and Research of Plug-in Strip for Field Verification of Electric Energy Meter Wei Yin1 , Shengfei Tang1 , Weijie Zhu1 , Jin Chen1 , Jianguo Xie2 , Guodong Sun2 and Qin Xu 2, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 651 (2021) 022095 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/651/2/022095
11. Дудюк Д. Л., та ін.. Електричні вимірювання. Навчальний посібник – Львів: Афіша, 2003 – 272 с.
12. Поліщук Є. С., Дорожовець М. М., Яцук В. О. та інші. Метрологія та вимірювання техніка: Підручник. Львів: Видавництво «Бескид Біт», 2003. – 544 с.
13. Цюцюра В. Д., Цюцюра С. В. Метрологія та основи вимірювань. Навч. посіб. – К.: Знання – Прес, 2003. – 180 с. – (Вища освіта XXI століття).
14. Готра З. Ю., Матвиив В. И., Паскур П. П. Справочник регулировщика радиоелектронной аппаратуры. – 2-е изд., перероб. – Львов: Каменер, 198. – 184 с.
15. Lu Zuliang. Discussion on field verification of electric energy meters. Electrical Measurement and Instrumentation, 2011, 48(1): 1-4.
16. Li Qian, Zhang Shuhan, Lu Yibiao, et al. Research on field verification technology of digital electric energy measurement system. Electrical Measurement and Instrumentation, 2010, 47(10): 25-28.
17. Zheng Wenlin, Zhang Li. Replacing low-voltage meters without power failure. China Electric Power Enterprise Management, 2011(10): 104.

18. Femine A D, Gallo D, Landi C, et al. Measurement equipment for on-site calibration of energy meters. IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings, 2007: 1-6.
19. Yang Huayun, Ai Bing, Jiang Bo, et al. Development of field calibrator for digital electric energy meter. Electrical Measurement and Instrumentation, 2013, 50(6): 53-57