

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій,
автоматизації, електроінженерії та радіоелектроніки

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри електронної техніки

Вовна О.В.

(підпис)

(ініціали, прізвище)

«__» _____ 2019 р.

Випускна кваліфікаційна робота

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка електронного пристрою технічного обліку та збору даних
про споживання енергоресурсів»

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕлС-15

(шифр групи)

напрямку підготовки 6.050802 «Електронні пристрої та системи»

(шифр і назва напрямку підготовки)

спеціальності Електронні системи

(шифр і назва спеціальності)

Петров Валерій Вікторович

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник доцент кафедри ЕТ, к.т.н., доц.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

О.А. Штепа

(підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

*Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.*

Студент _____

(підпис)

Покровськ – 2019 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій,
автоматизації, електроінженерії та радіоелектроніки

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки

(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____

(дата)

з оцінкою _____

Секретар ДЕК _____

(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота

бакалавра

Тема: «Розробка електронного пристрою технічного обліку та збору даних про
споживання енергоресурсів»

Спецчастина: _____

Виконавець, студент

гр. ЕлС – 15

_____ Петров В.В.

(підпис, дата, П.І.П)

Керівник

_____ доц. Штепа О.А.

(підпис, дата, П.І.П)

Консультанти:

_____ проф. Зорі А.А.

(підпис, дата, П.І.П)

_____ проф. Вовна О.В.

(підпис, дата, П.І.П)

_____ доц. Лактіонов І.С.

(підпис, дата, П.І.П)

_____ ст. викл. Тюрін Є.А.

(підпис, дата, П.І.П)

Нормоконтроль

_____ проф. Вовна О.В.

(підпис, дата, П.І.П)

Покровськ – 2019

Державний вищий навчальний заклад

"Донецький національний технічний університет"

Інститут, факультет Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації, електроінженерії та радіоелектроніки

Кафедра Електронна техніка

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалаврНапрямок підготовки 6.050802 «Електронні пристрої та системи»

(шифр і назва)

Спеціальність Електронні системи

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри електронної техніки

Вовна О.В.

«_____» _____ 2019 року

ЗАДАНИЯ

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Петров Валерій Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка електронного пристрою технічного обліку та збору даних про споживання енергоресурсів

керівник проекту (роботи) Штепа Олександр Анатолійович, к.т.н., доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 06.05.2019 року № 256

2. Строк подання студентом проекту (роботи).

3. Вихідні дані до проекту (роботи).

Технічна документація та матеріали з переддипломної практики

4.Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз та характеристика об'єкту; обґрунтування та розробка структурної схеми електронного пристрою; розробка принципової схеми електронного пристрою; оцінка метрологічних характеристик; синтез мікропроцесорної частини електронного пристрою; розробка конструкції та зовнішнього вигляду електронного пристрою.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	доц. каф. ЕТ, к.т.н., Штепа О.А.		
2	зав. каф. ЕТ, д.т.н., проф. Вовна О.В.		
3.1	доц. каф. ЕТ, к.т.н., Лактіонов І.С.		
3.2	проф. каф. ЕТ, д.т.н., проф., Зорі А.А.		
А	зав. каф. ЕТ, д.т.н., проф. Вовна О.В.		
Б	ст. викл. каф. ОП, Тюрін Є.А.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Стан питання вимірювального контролю споживання електроенергії		
2	Розробка технічного завдання на проектування електронного пристрою обліку та збору даних про споживання енергоресурсів		
3	Розробка структурної схеми пристрою обліку та збору даних про споживання енергоресурсів		
4	Розробка принципової схеми пристрою обліку та збору даних про споживання енергоресурсів		
5	Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві		

Студент

_____ (підпис)

Петров В.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Штепа О.А.

_____ (прізвище та ініціали)

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

Посада П.І.Б.	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Петров В.В. Розробка електронного пристрою технічного обліку та збору даних про споживання енергоресурсів / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за напрямом підготовки 6.050802 «Електронні пристрої та системи» спеціальності «Електронні системи». – ДВНЗ «ДонНТУ», Покровськ, 2019.

Пояснювальна записка: 54 стор., 19 рис., 6 табл., 18 посилань.

Виконаний аналіз актуальності для автоматичного та централізованого отримання інформації щодо витрати та споживання енергоресурсів. Обґрунтовано та розроблено структурну схему електронного пристрою. Виконаний аналіз сучасних методів вимірювального контролю щодо споживання електричної енергії. Визначено оптимальні засоби і виконано на їх основі синтез структурної схеми вимірювального каналу для визначення спожитої електроенергії. Розроблено електричну принципову схему та проведено аналіз особливостей під час її функціонування.

Для обробки вимірювальної інформації використано мікроконтролер, який має необхідні функціональні можливості. На основі вибраного мікроконтролера типу PIC16F87х розроблено принципову схему пристрою. Як сенсори струму використані резистивні шунти. Вони забезпечують надійність простоту, невразливість до впливу магнітних полів на характеристики і параметри електронного пристрою, що розроблено.

Ключові слова: енергетичний моніторинг, контроль енергоспоживання, збір, обробка інформації, інтерфейс зв'язку, схема, напруга.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
1 СТАН ПИТАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.....	9
1.1 Аналіз функціональних можливостей системи обліку електроенергії	9
1.2 Теоретичні основи вимірювання електричної енергії.....	11
1.3 Дискретизація сигналів технічного обліку та збору даних про споживання електроенергії.....	14
1.4 Постановка задачі на проектування електронного пристрою.....	16
2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ ОБЛІКУ ТА ЗБОРУ ДАНИХ ПРО СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ.....	18
3 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ ОБЛІКУ ТА ЗБОРУ ДАНИХ ПРО СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ.....	21
3.1 Синтез принципової схеми вимірювального пристрою.....	21
3.2 Розрахунок вузлів принципової схеми вимірювального пристрою.....	25
ВИСНОВКИ.....	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	41
Додаток А – Технічне завдання на розробку електронного пристрою технічного обліку та збору даних про споживання енергоресурсів.....	43
Додаток Б – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуацій на підприємстві.....	48

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АЦП	– аналогово-цифровий перетворювач;
АЧХ	– амплітудно-частотна характеристика;
БЖ	– блок живлення;
МПП	– мережевий приймач-передач;
РМО	– робоче місце оператора;
УП	– узгоджувальний пристрій;
ФЧХ	– фазочастотна характеристика.
ЦДП	– центральний диспетчерський пункт.

ВСТУП

У теперішній час активно впроваджується програма щодо передачі інформації за мережами передачі енергії. Впровадження та виконання цієї концепції виконується під час реалізації державної програми щодо енергозбереження. Реалізація цієї програми пов'язана з використанням та впровадженням сучасних засобів, які виконують облік електроенергії на кожному етапі, а саме під час виробництва, транспортування, розподілу та споживання.

Концепція політики України щодо енергозбереження основана на підвищенні ефективності під час використання первинних енергоресурсів, а не в обмеженні кінцевих споживачів у енергоресурсах. Для розвитку країни необхідно впроваджувати ефективний енергетичний аудит і менеджмент. Ці складові є основою для оптимального використання енергоресурсів. Енергетичний менеджмент є складовою керування енергоспоживанням.

Для реалізації енергозбереження в Україні необхідно виконувати впровадження реальних заходів в бюджетних установах. У відповідності з розпорядженням Кабінету Міністрів України від 26 квітня 2017 р. № 732-р «Про затвердження плану заходів із впровадження систем енергетичного менеджменту в бюджетних установах» [1] необхідно обов'язково впроваджувати енергетичний моніторинг і менеджмент у всіх бюджетних організаціях.

Метою дослідження є підвищення ефективності обліку та збору даних про споживання енергоресурсів для умов державних і бюджетних установ завдяки розробці та впровадженню електронного пристрою.

1 СТАН ПИТАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

1.1 Аналіз функціональних можливостей системи обліку електроенергії

Система обліку електроенергії виконує такі функції:

- дистанційний збір інформації від інтелектуальних пристроїв обліку;
- передачу інформації до особистого кабінету оператора;
- обробку інформаційних повідомлень і їх передача до інформаційних системи – ІС, ГІС ЖКГ та ін.

Система контролю за споживанням електричної енергії виконує та забезпечує достовірний облік енергоресурсів, що дає можливість отримувати економічний ефект як організаціям-постачальникам, так і кінцевим споживачам. Впровадження заходів щодо підвищення ефективності технологій обміну даними дозволяють спростити комерційний облік енергетичних ресурсів, а також зменшити вартість. Впровадження системи дозволить виконувати автоматизований облік з максимальною точністю вимірювання, а також отримувати аналітичну інформацію. Ця інформація використовується для розробки та удосконалення програм енергетичного збереження та підвищення ефективності енергетичної галузі.

На рисунку 1.1 наведено структуру системи обліку витрат електричної енергії [2, 3]. Відносно невелика вартість та компактність такого рішення дозволяє уникнути використання кабелів завдяки впровадженню всіх переваг технології mesh-мереж [4].

Основні існуючі сучасні систем [3]:

1. «АСЗД – автоматизовані системи збору даних про споживання електроенергії». Ця система встановлюється на прилади обліку та реєстратори, які існуючі в замовника. За функціонування та точність роботи несе відповідальність замовник.

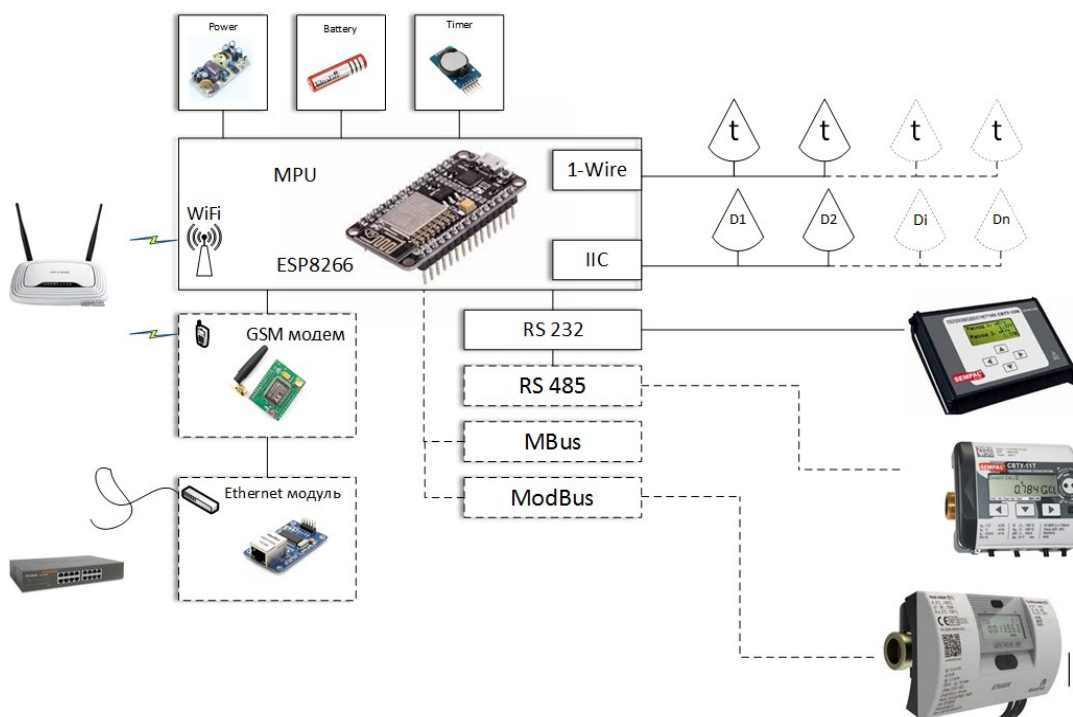


Рисунок 1.1 – Структура автоматизованої системи обліку витрат енергоносіїв

2. «АСТОЕ – автоматизовані системи технічного обліку електроенергії». Встановлюються пристрої обліку, які мають задані метрологічні характеристики, що відповідає технічному завданню замовника. АСТОЕ призначена для внутрішнього контролю та аудиту за споживанням електричної енергії безпосередньо на місцях.

3. «АСКОЕ – автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії». Пристрої обліку встановлюються у відповідності до вимог ринку електричної енергії та організацій, що її поставляють. АСКОЕ призначено для виконання комерційних розрахунків з компаніями, що займаються продажем електричної енергії

4. «АІВСКOE – автоматизовані інформаційно-вимірювальні системи комерційного обліку електроенергії» призначені для оптового ринку електричної енергії та потужності. АІВСКOE відповідає всім потребам і вимогам оптового ринку електричної енергії.

1.2 Теоретичні основи вимірювання електричної енергії

«Активна електрична потужність є корисна потужність, яка відбирається навантаженням та перетворюється до енергії будь-якого іншого виду, а саме теплової, механічної, електричної, електромагнітної та ін.» [5]. Активну потужність розраховують як усереднену за період сигналу в певний інтервал часу миттєвих значень вхідного струму та напруги (див. рис. 1.2). Одиниця вимірювання – Вт.

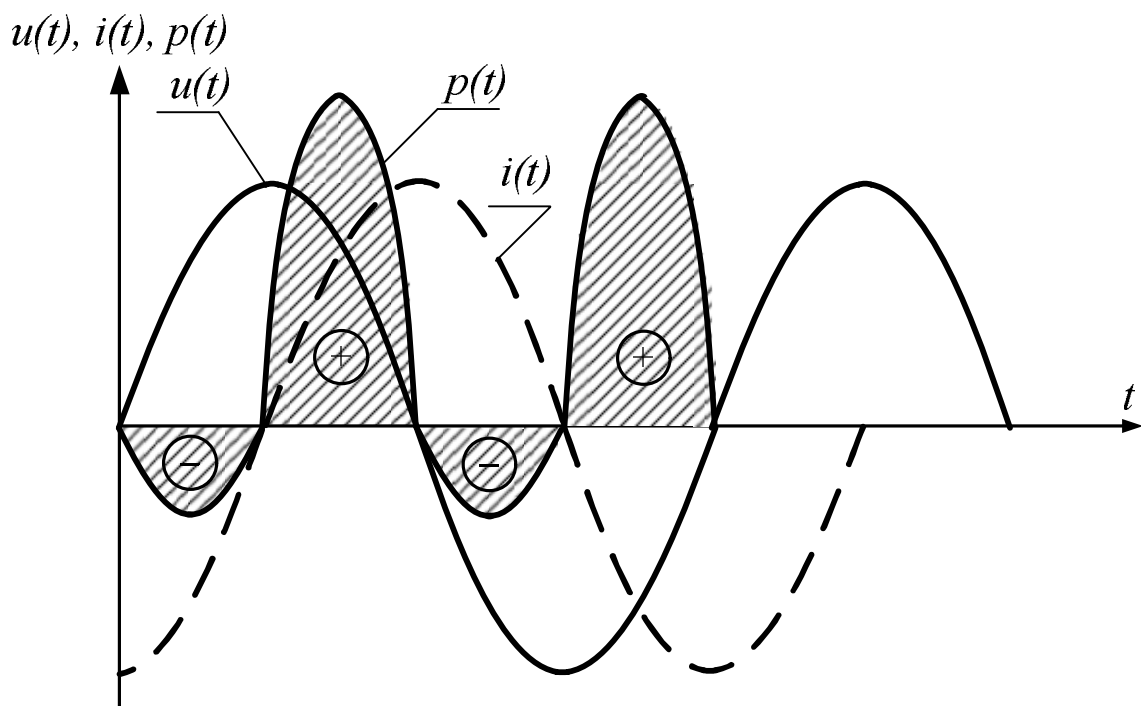


Рисунок 1.2 – Розрахунок активної потужності

У колах змінного струму повна електрична потужність має дві складові – активну та реактивну. Реактивна потужність виникає під час дії не нульового кута між фазами напруги та струму. Реактивна потужність спочатку споживається, а потім повертається завдяки реактивним властивостям навантаження. У цій роботі виконується розробка пристрою, що вимірює тільки активну потужність.

Для виконання вимірювання потужність необхідно в кожен момент часу визначати миттєві значення струму та напруги в вимірюваних колах. Для вимірювання в режимі on-line цих величин у теперішній час розроблено достатньо велика кількість сенсорів струму та напруги. Найбільшого розповсюдження отримали дільник напруги, трансформаторний сенсор та електронний ізолюваний сенсор. Кожен тип сенсора має переваги і недоліки. Використання дільника напруги є найбільш простим способом вимірювання напруги (див. рис. 1.3).

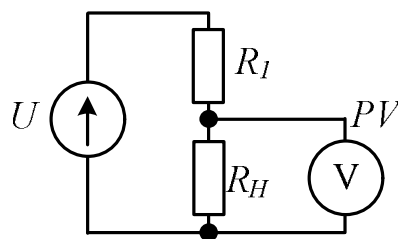


Рисунок 1.3 – Дільник напруги як сенсор напруги

Переваги використання сенсора напруги на основі дільника:

- широкий діапазон частот і напруг, що визначається номінальним значенням резисторів;

- висока точність;

- виконує вимірювання як постійної, так і змінної напруги.

До недоліків можна віднести:

- відсутність гальванічної розв'язки, під час підключення до промислових мереж необхідно захистити користувача від електричних кіл або застосувати гальванічну розв'язку;

- низький к.к.д., весь струм дільника перетворюється в тепло.

Трансформаторний сенсор напруги зазвичай використовують під час вимірювання високовольтних кіл більше 6 кВ. До переваг можна віднести:

- широкий діапазон робочих напруг, який досягає сотень кіловольт і вище;

- має місце гальванічна розв'язка.

До недоліків застосування трансформаторного сенсора можна віднести:

- застосовується тільки на змінному струмі;
- використання на певній смузі частот.

Як вимірювачі струму зазвичай використовують вимірювальний трансформатор струму, резистивний шунт, сенсор струму на ефекті Холла вимірювальний трансформатор струму, котушку Роговського.

Вимірювальний шунт є найпростішим сенсором вимірювання струму. «Під час протікання струму через активний опір, на ньому відбувається падіння напруги, яке пропорційно вимірюваного струму» [5]. «Падіння напруги на опорі призводить до виділення потужності у вигляді тепла, що є основним недоліком цього сенсора» [5]. Під час вимірювання значних значень сили струму використовуються низькоомні шунти, які мають значення сотні мікроом. Основними перевагами цього сенсора є простота та здійснення вимірювання постійного та змінного струму, а також широкий діапазон вимірювання частот та струму.

Вимірювальний трансформатор струму – трансформатор, у якого первинна обмотка підключається до джерела струму, а вторинна обмотка замикається на вимірювальний пристрій. Основним недоліком трансформаторів струму є здатність вимірювати тільки змінний струм. Трансформатор здатний вимірювати струм тільки певною частотою, тому що в ньому використовується металеве осердя. Ця проблема розв'язується, якщо видалити металеве осердя. Такий сенсор називається повітряним трансформатором або котушкою Роговського, схема застосування якої наведено на рис. 1.4.

На відміну від інших сенсорів, використання яких вимагає безпосереднього електричного контакту з колом, котушка Роговського встановлюється зверху провідників кола як пояс.

Недолік трансформаторних сенсорів струму є те, що вони змінюють фазу сигналу з необхідністю компенсації. Це ускладнює схемотехнічну реалізацію пристроїв, в яких ці сенсори застосовуються.

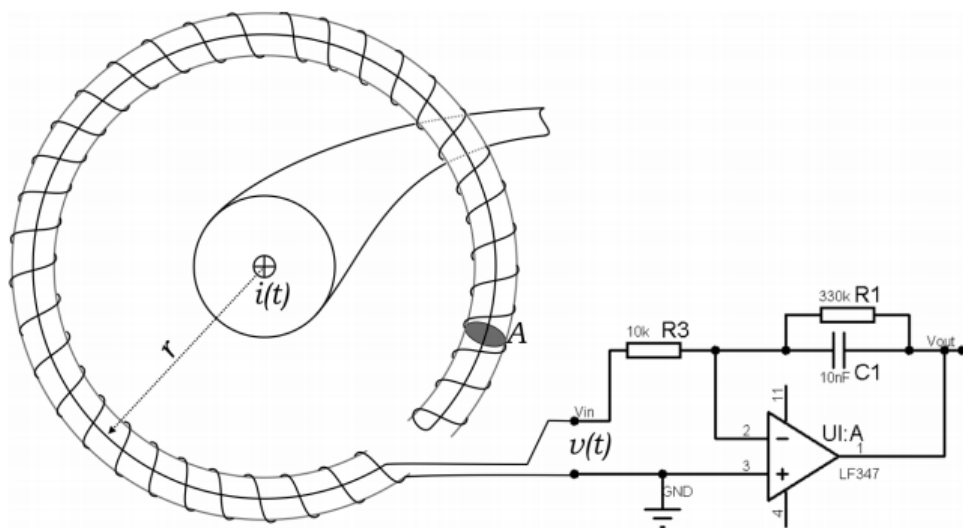


Рисунок 1.4 – Схема застосування котушки Роговського

«Датчики струму на ефекті Холу використовують ефект виникнення різниці потенціалів під час приміщення провідника зі струмом у магнітне поле» [6, 7]. Ці сенсори не використовуються в пристроях контролю витрат електричної енергії. Вони мають високу чутливість до зовнішнього магнітного поля. Усі сенсори окрім резистивного шунта схильні до впливу магнітного поля.

1.3 Дискретизація сигналів технічного обліку та збору даних про споживання електроенергії

Для вибору частоти опитування вихідних сигналів сенсорів, що вимірюють електричні параметри, необхідно застосовувати теорему Котельникова-Шеннона. Для відновлення сигналу з частотою f необхідно зчитування інформацію з частотою більше ніж $2f$ [8]. Для отримання високої точності вимірювання параметрів необхідно відновити сигнал до 20 гармоніки промислової частоти. Для зчитування сигналу промислової мережі 50 Гц необхідно вибрати частоту дискретизації більш 2000 Гц.

У сучасних пристроях обліку електроенергії зазвичай використовуються спеціалізовані вимірювальні мікросхеми. Ця мікросхеми приймають сигнали з

перетворювачів напруги та струму, виконують їх множення та передають на інформацію щодо вимірюваної потужності. У теперішній час кількість таких мікросхем досить велика. Це дозволяє вибрати оптимальний за функціоналом та ціною варіант. Компанія ST Microelectronics є передовим виробником цього типу мікросхем. Одним з перших зразків цього типу є мікросхема ADE7755, яку виготовлено компанією Analog Devices.

У таблиці 1.1 наведено перелік сучасних спеціалізованих інтегральних мікросхем компанії «STMicroelectronics» [9].

Таблиця 1.1 – Спеціалізовані інтегральні мікросхеми компанії «STMicroelectronics»

Назва	Вимірювальні величини	Кількість каналів вимірювання	Точність вимірювання активної потужності, %	Інтерфейс зв'язку
STPM01	Потужність, миттєві значення струму та напруги	2	0,1	SPI
STPM11	Активна потужність			Імпульсний вихід
STPM11				
STPM13				
STPM14				
STPM33	Потужність, миттєві значення струму та напруги	3		SPI, UART
STPM34		4		

1.4 Постановка задачі на проектування електронного пристрою

У теперішній час існує достатньо велика кількість типів пристроїв контролю витрат електричної енергії, функціональні можливості яких постійно розширюються виробниками. Основні напрямки удосконалення пристроїв: підвищення надійності, запобігання розкраданню електричної енергії, реалізація віддаленого зв'язку з пристроєм обліку завдяки різним інтерфейсам. Для дистанційного зчитування інформації з сотень пристроїв контролю витрат електричної енергії широкої популярності набули автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії.

Основні функціональні можливості, які повинні забезпечуватися пристроєм обліку та збору даних про споживання енергоресурсів:

1. Для обліку тарифів та збереження повної інформації здійснення відліку часу та дати. Якщо відсутнє зовнішнє живлення, то пристрій повинен працювати від літєвої батарея.
2. Збереження значень активної та/або реактивної (в залежності від опції) потужності після закінчення декількох попередніх місяців, зазвичай 12.
3. Збереження значень активної та/або реактивної (в залежності від опції) за деяка попередніх днів.
4. Запис та збереження в пам'яті усереднених значень потужності в заданому інтервалі за тарифними зонами доби в поточному та за декілька попередніх місяців.
5. Відключення навантаження під час перевищення значень порогу потужності та напруги.
6. Відключення навантаження під час впливу магнітного поля з індукцією, величина якої становить 200 мТл, що дії протягом десяти секунд.
7. Запис до журналу інформаційних подій.
8. Можливість контролювати витрати енергії під час зміни напрямку струму.
9. Вимірювальний контроль миттєвих значень параметрів електричної

енергії та індикація:

- середньоквадратичного значення фазної напруги;
- середньоквадратичного значення струму;
- активної та реактивної потужностей;
- коефіцієнта активної потужності.

10. Наявність оптичного виходу, до якого поступають імпульси, що відповідає постійної лічильника.

11. Наявність інтерфейсів: оптичний порт по ГОСТ MEK 61107-2011[6, 7], EIA 232, EIA 485, радіомодем, GSM модем, комбінований модем, PLC модем, Ethernet, Meter-Bus, Bluetooth, WiFi.

12. Можливості програмування пристрою споживачем.

13. Якщо живлення відсутності, то забезпечується індикації. Якщо індикатор вийшов з ладу, то значення можуть передаватися через оптичний порт.

Метою дослідження є підвищення ефективності обліку та збору даних про споживання енергоресурсів для умов державних і бюджетних установ завдяки розробці та впровадженню електронного пристрою.

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ ОБЛІКУ ТА ЗБОРУ ДАНИХ ПРО СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ

До складу пристрою обліку та збору даних про споживання енергоресурсів входить узгоджувачий пристрій, перетворювач потужності на основі інтегральної мікросхеми типу ADE7751 [10], мікроконтролер PIC16F87X, джерело живлення та вбудований ЕСМ. На рисунку 2.1 наведено структурну схему пристрою для вимірювання потужності, де позначено: УП – узгоджувальний пристрій; МПП – мережевий приймач-передавач; БЖ – блок живлення; РМО – робоче місце оператора; ЦДП – центральний диспетчерський пункт.

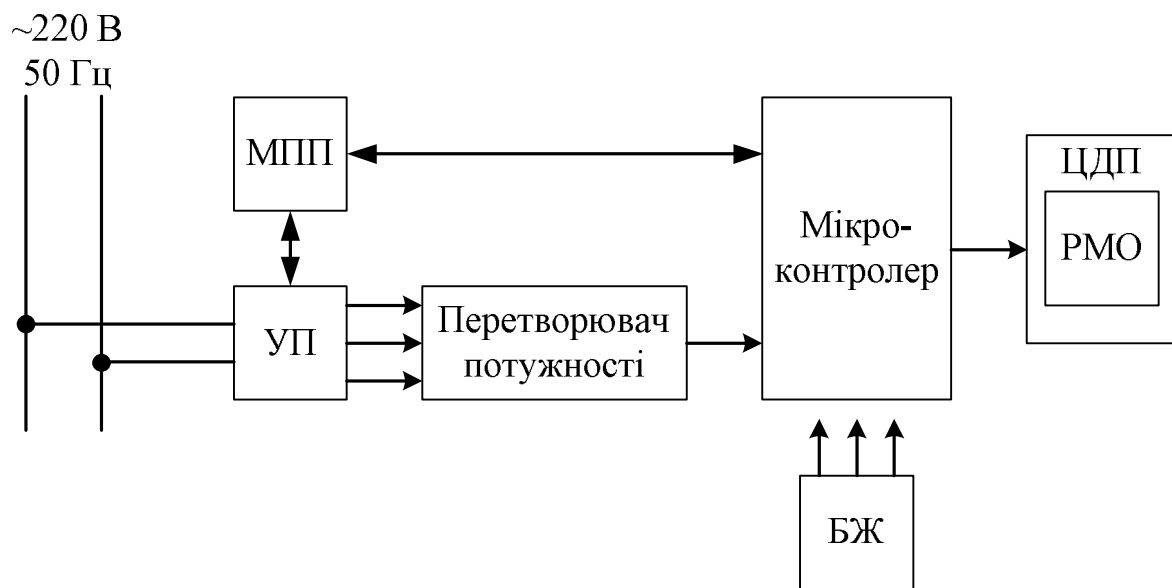


Рисунок 2.1– Структурна схема пристрою для вимірювання потужності

Значення повтої потужності, що розсіюється на навантаженні двопровідного кола змінного струму, дорівнює

$$P = \frac{U_m \cdot I_m}{2} = U_{ef} \cdot I_{ef}, \text{ ВА}, \quad (2.1)$$

де U_m та I_m – амплітуди напруги та струму; $U_{ef} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$ та $I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ – їх ефективні значення.

Значення повної потужності дорівнює геометричній сумі активної та реактивної складової:

$$P_a = P \cdot \cos \varphi, \text{ Вт}; \quad (2.2)$$

$$P_p = P \cdot \sin \varphi, \text{ ВАр}, \quad (2.3)$$

де φ – зсув фази між напругою та струмом.

Похибка вимірювання під час визначення потужності визначається наступними складовими похибки:

- нестабільності джерела живлення;
- АЦП;
- підсилювача;
- зсуву фаз між каналами.

Похибка від нестабільності джерела живлення мікросхеми ADE7751. Для оцінки впливу зміни напруги живлення на результат вимірювання потужності мікросхему ADE7751 підключили до зовнішнього джерела живлення з номінальним значенням напруги 5 В. Після цього до напруги живлення введено перешкоду на частоті 100 Гц з середньоквадратичним значенням напруги 200 мВ. З цими параметрами виконані вимірювання потужності на виході мікросхеми ADE7751 з тим самим рівнем вхідного сигналу. Значення похибки представлено в % на наведено на рис. 2.2. Після виконання вимірювання на номінальній напрузі живлення 5 В, значення напруги змінено в межах $\pm 5\%$. Під час цього, також виконані вимірювання потужності на виході мікросхеми ADE7751 з тим самим рівнем вхідного сигналу. З аналізу представленої залежності можна зробити висновок, що похибка вимірювання від нестабільності джерела живлення, якщо величина струму складає одиниці мА становить 0,2%.

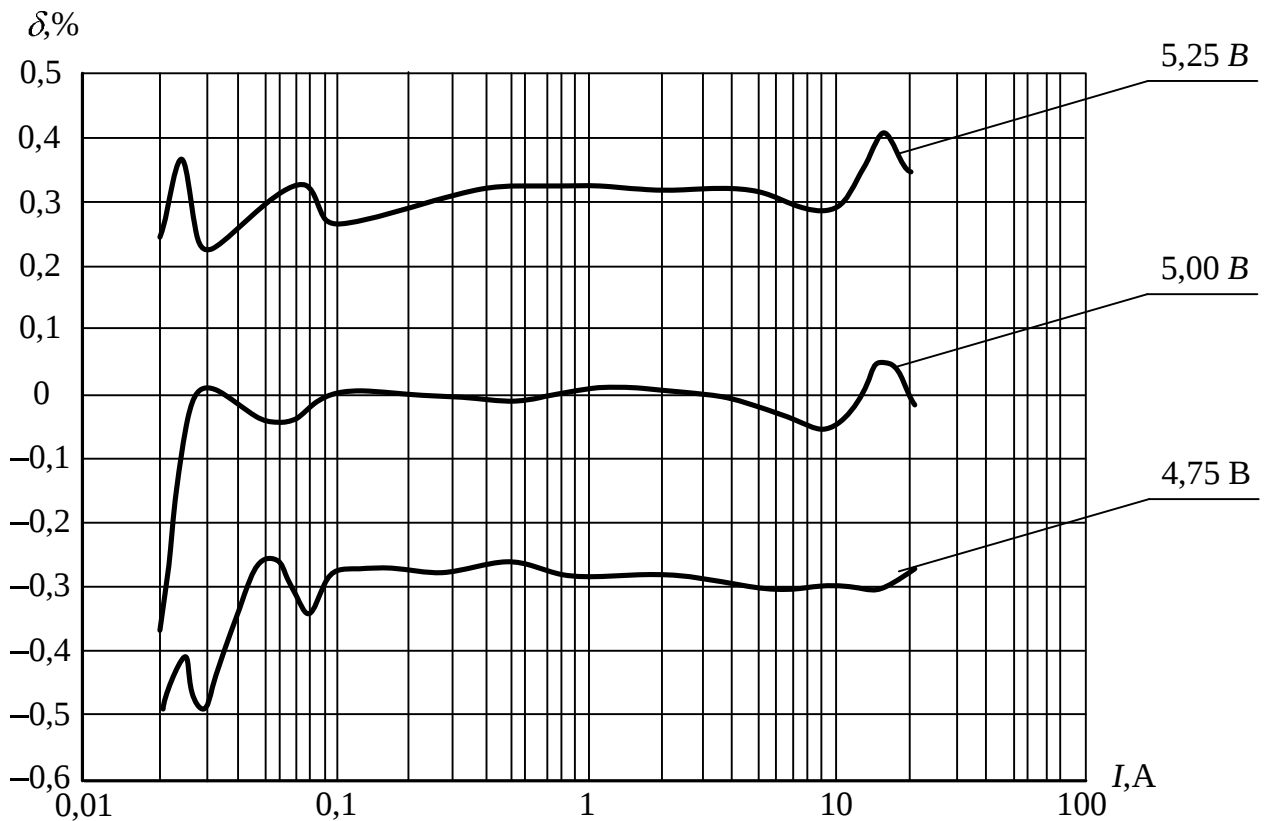


Рисунок 2.2 – Похибка від нестабільності напруги живлення

Похибка АЦП має місце під час дії постійної напруги зсуву на вході АЦП. Тобто, якщо замкнути аналоговий вхід АЦП, то на виході буде мати місце цифровий сигнал, величина якого пропорційна напрузі зсуву. Якщо до входу підключити фільтр високої частоти, то постійна складова напруги зсуву зменшується та на розрахунок потужності ця похибка вносить незначних вклад.

Похибка підсилення мікросхемою ADE7751 визначається як різниця між сигналом з частотою на виході без зсуву та вихідним сигналом з частотою в ідеальному випадку. Розкид значення вихідної частоти складає 0,1% від номінального значення.

Наявність фільтра високої частоти вносить до сигналу фазовий зсув, що випереджає. Для зсуву цього сигналу за фазою та забезпечення рівності затримки за фазами між каналами використовується схема корекції фази. Ця схема забезпечує відповідність фаз сигналів в межах $\pm 0,1^\circ$ у діапазоні частот від 45 Гц до 65 Гц, та $\pm 0,2^\circ$ – від 40 Гц до 1 кГц.

3 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ ОБЛІКУ ТА ЗБОРУ ДАНИХ ПРО СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ

3.1 Синтез принципової схеми вимірювального пристрою

Визначення потужності здійснюється цифровим методом під час вимірювання величин напруги або струму. Частота вибірки дорівнює 4000 Гц ($T=250$ мкс). Вимірювальні числові значення напруги та струму перемножуються тим самим розраховується пропорційне миттєве значення активної потужності, що споживається.

Для забезпечення зв'язку з МПП та подальшим об'єднанням вимірювачів потужності до локальної мережу, вимірювальний пристрій має інтерфейс типу «струмова петля». Цей інтерфейс має оптрону пару приймач-передавач, що включені зазвичай послідовно. Для забезпечення стійкої роботи інтерфейсу необхідно обмежити величину струму, що протікає в петлі, на рівні 10 мА. Кожен вимірювальний пристрій має індивідуальну мережеву адресу, що ініціалізується нулем та може перевизначатися будь-яким необхідним значенням.

Обмін інформацією між пристроєм та комп'ютером керування здійснюється в пакетному режимі за принципом «команда-відповідь» з інтерфейсом, який має такі параметри

- швидкість передачі 992 бод.
- режим передачі – 8 біт з перевіркою на непарність, 1 стоп-біт, зпочатку молодші біти.
- інформації-двійковий побайтовий спосіб передачі, команди складаються з декількох полів, які передаються послідовно без розривання в часі.

Електронний вимірювальний пристрій завжди веденим. Пристрій не передає інформацію до каналу без запиту керуючого комп'ютера.

Комп'ютер передає адресні запити до вимірювальних пристроїв у вигляді послідовності двійкових байт. На ці послідовності вимірювальний пристрій надсилає відповідь у вигляді послідовності двійкових байт. Число байт запиту та відповіді не є фіксованою величиною, вона залежить від характеру запиту та стану пристрою. Байти в послідовностях йдуть один за одним, вони не мають розривів у часі. За стоповим бітом попереднього байта має місце стартовий біт наступного байта, якщо він є. Після закінчення послідовності або кадру має місце тайм-аут. Тривалість тайм-ауту залежить від швидкості та дорівнює часу передачі від 6 до 7 байт, це складає 20 мс для швидкості 2400 Бод;

Запит або відповідь вимірювального пристрою на запит не можуть надсилатися раніше ніж тайм-ауту, після закінчення попереднього запиту. Початок запиту та відповіді – байта адреси мережі, закінчення – два байта контрольної суми CRC. Послідовно з навантаженням споживача включений шунт, який використовується для перетворення струму до напруги. Шунт має лінійну характеристику перетворення в діапазоні від одиниць мА до 100 А.

До AD7751 підключаються два сенсори струму, один включається до фазного проводу навантаження, а інший – до нейтрального (див. рис 3.1).

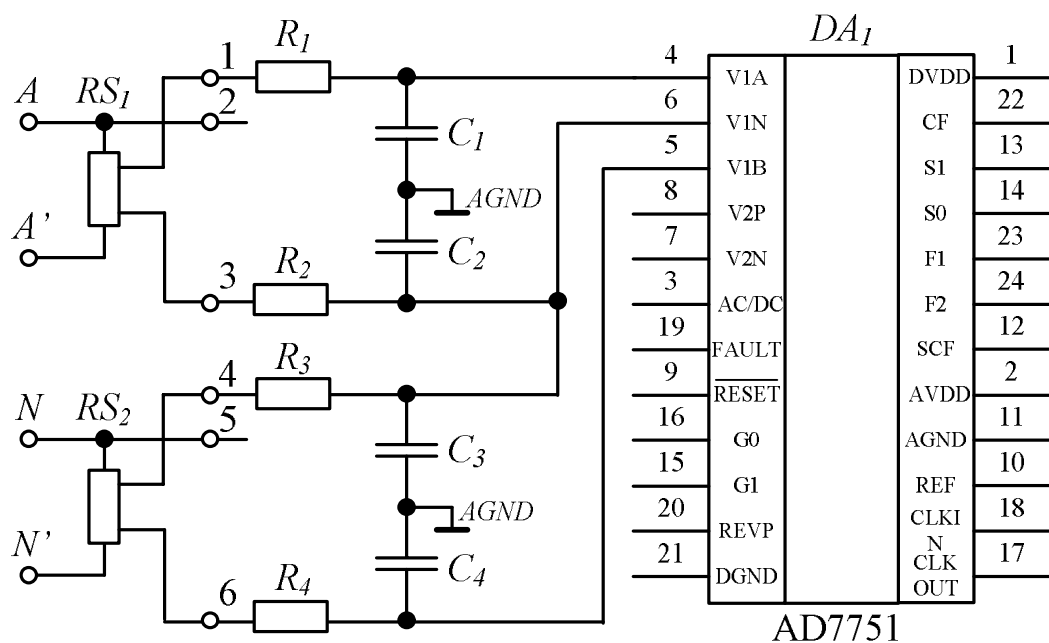


Рисунок 3.1 – Схема підключення сенсорів до перетворювача

Вхідні підсилювачі вимірювального каналу струму («Сенсор I») мають чотири значення коефіцієнта підсилення $K_I = 1, 2, 8$ і 16 . Ці значення відповідають максимальним вхідним напругам $\pm 660, \pm 330, \pm 82$ і ± 41 мВ. Максимальне значення вхідної напруги вимірювального каналу «Сенсор U» дорівнює ± 660 мВ. У мікросхемі ADE7751 вихідний сигнал F_1/F_2 пропорційний величині активної потужності. Вихідний високочастотний сигнал CF теж пропорційний їй, проте він має залишкові пульсації на частоті 100 Гц. Ці пульсації присутні на виході ФНЧ, який включений після перемножувача.

На рисунку 3.2 наведено схему мережевого живлення, яка реалізована на елементах C_5, C_6, VD_1 та VD_2 .

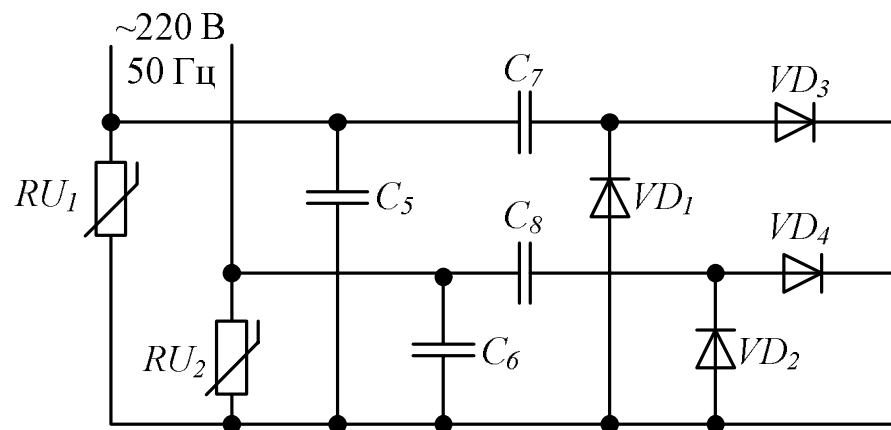


Рисунок 3.2 – Принципова схема мережевого живлення

Принципову схему гальванічно-ізолюваного стабілізованого джерела живлення наведено на рис. 3.3. Для стабілізації напруги 5 В та живлення пристрою застосовано мікросхему DA₂. Також до складу стабілізованого джерела живлення входять діоди $VD_2 - VD_4$, конденсатори $C_{11} - C_{22}$.

Принципову схему підключення кварцового резонатора ZQ₂ до мікроконтролера PIC16F76(DD₃) наведено на рис. 3.4. Принципову схему сторожового таймера, який реалізовано на мікросхемі IN1705D(DD₁) та елементах R₂₃ – R₂₄, наведено на рис. 3.5. IN1705D [12] використовується для контролю живлення 5 В та генерування сигналів скидання для мікроконтролерів.

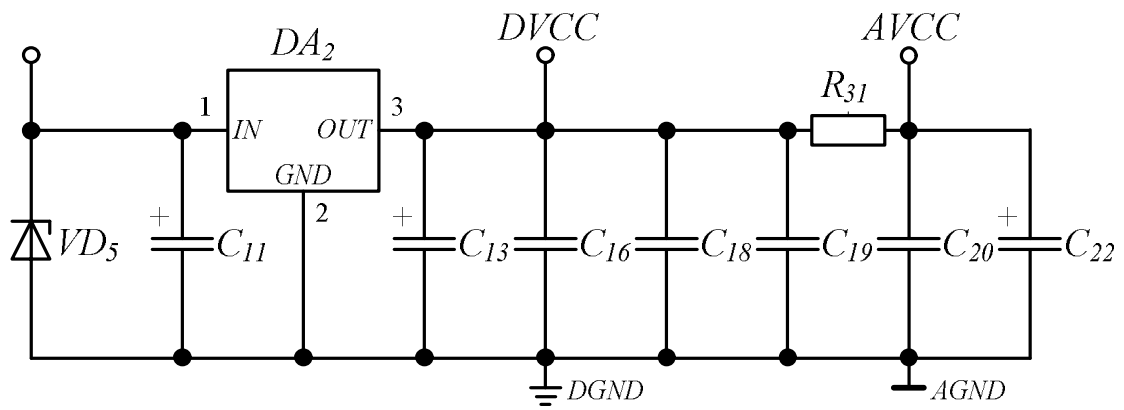


Рисунок 3.3 – Принципова схема гальванічно-ізольованого стабілізованого джерела живлення

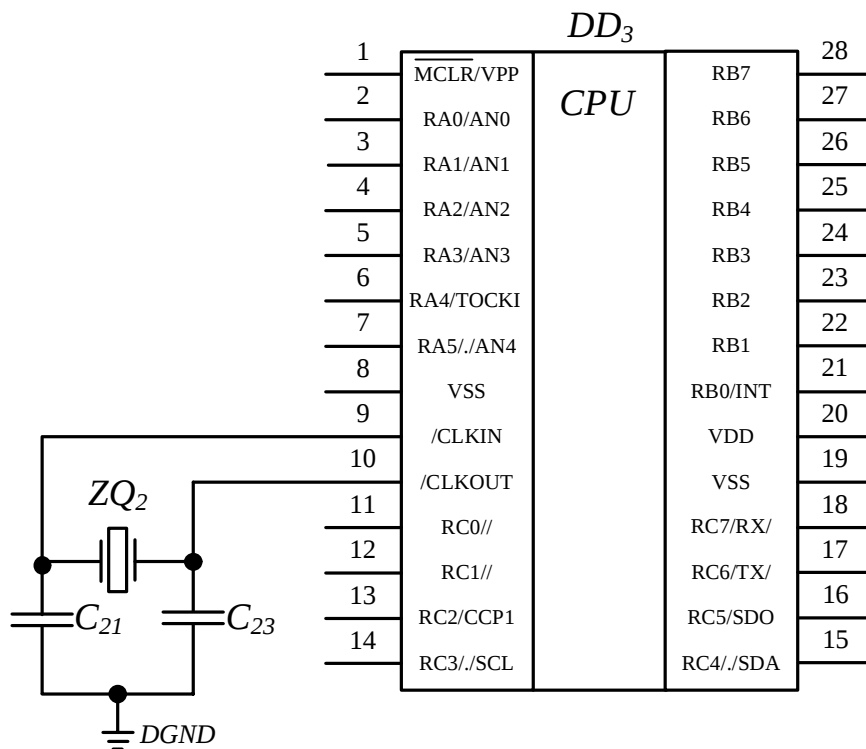


Рисунок 3.4 – Принципова схема підключення кварцового резонатора ZQ₂ до мікроконтролера PIC16F76

Якщо в контрольній точці виявлено падіння напруги, то мікросхема IN1705D генерує імпульс на виході. Імпульс активного низького рівня, який має тривалість мінімум 200 мкс. Величина напруга первинного джерела живлення повинна бути менше ніж значення напруги в контрольній точці протягом 5 мкс, перш ніж імпульс буде сформований. Шум, який має місце в

напрузі джерела живлення усувається, що дозволяє запобігати помилковим перериванням.

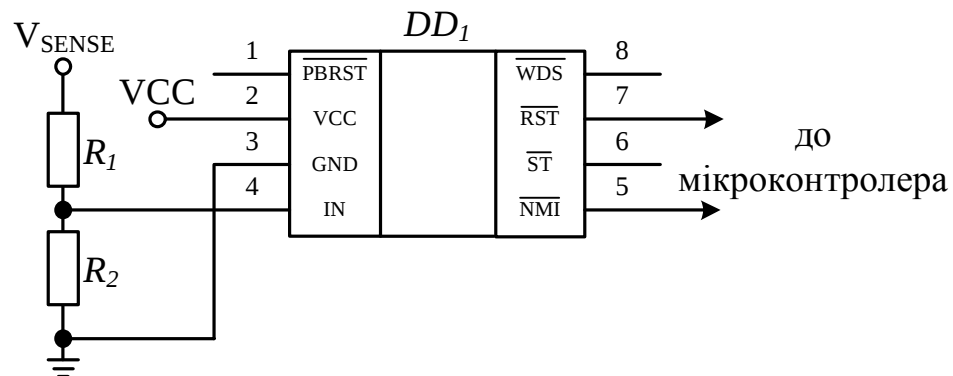


Рисунок 3.5 – Принципова схема сторожового таймера

3.2 Розрахунок вузлів принципової схеми вимірювального пристрою

Для нормальної роботи перетворювача потужності ADE7751 необхідно виконати перетворення з сигналу струму до напруги. Для цього використовується шунт. Вихідний сигнал напруги надходить з дільника напруги. Сигнал вихідної напруги з перетворювачів струму надходять до входів каналів струму перетворювача потужності ADE7751. Ці входні канали струму мають диференційний вхід. Входи V1A та V1B позитивні, а входи V1N і VCN – негативні (інвертуючи). Максимальне значення пікового диференціального сигналу на вході каналу V1 не повинно перевищувати ± 660 мВ. Якщо ця умова виконується, то параметри перетворювача відповідають технічному опису [10].

Канал V1 має коефіцієнт підсилення, що програмується (PGA). Це забезпечує вибір коефіцієнта підсилення з ряду 1, 2, 8 або 16. Зазначена особливість дозволяє забезпечити інтерфейс між перетворювачами потужності ADE7751 і струму більш простим.

Максимально допустиме значення диференціальної напруги між V1A (V1B) та V1N складає ± 660 мВ. Диференціальний сигнал напруги на входах

необхідно подаватися відносно AGND. Максимально допустиме значення синфазного сигналу складає ± 100 мВ.

Від перетворювача напруги мережі аналогові сигнали напруги подаються на входи перетворювача потужності ADE7751. Вхід V2P – позитивний відносно негативного входу V2N. Максимальне пікове значення диференціального сигналу напруги на вході каналу не повинно перевищувати ± 600 мВ, що забезпечую номінальну роботу перетворювача потужності ADE7751[10].

Диференціальний сигнал напруги повинен подаватися на вхід каналу напруги відносно AGND. Величина синфазної напруги на вході каналу V2 повинна бути не більш 100 мВ відносно AGND. Якщо величина синфазної напруги на вході дорівнює нулю, то можна досягти найкращого результату.

Під час вибору шунта існує декілька особливостей, а саме:

1. Необхідно забезпечити мінімальну потужність, що розсіюється на шунті. Величина робочого струму складає 100 А, отже, значення максимальної потужності, що розсіюється на шунті:

$$P_{ш} = 100^2 \cdot R_{ш} \leq 2 \text{ Вт.} \quad (3.1)$$

У відповідності до стандарту IEC 1036 максимальне значення потужності, що розсіюється, становить 2 Вт. Це значення включає також енергію, що споживається від джерела живлення.

2. Якщо має місце велике значення потужності, що розсіюється, то необхідно забезпечити відведення тепла.

3. Під час замикання кола існує можливість втрутитися в роботу вимірювального перетворювача. Якщо величина опору шунта мала, то вплив зовнішнього замикання буде мінімальним. Тобто, вимірювальний шунт повинен мати найменше значення опору, але з іншого боку використання шунта повинно забезпечити достатнє значення діапазону сигналу на вході каналу V2P.

На основі проведеного аналізу та розрахунку вибираємо величину опору шунта $R_{ш} = 175 \text{ мкОм}$.

Величина напруги мережі між фазою та нулем складає 220В з максимальним струмом $I_{\max}=100 \text{ А}$ ($I_b=5\text{А}$). Постійна перетворювача потужності $=100 \text{ імпульсів/кВт}\cdot\text{година}$, опір шунта $R_{ш} = 175 \text{ мкОм}$. Падіння напруга, що утворюється на шунті під час дії струму $I_b=5 \text{ А}$ дорівнює:

$$5 \text{ А} \cdot 175 \text{ мкОм} = 0,875 \text{ мВ}.$$

Під час розробки перетворювача потужності необхідно на входах каналів встановлювати значення напруги, яке відповідає середині шкали, тобто половині від максимального. Це дає можливість виконувати калібрування перетворювача потужності. Також під час визначення максимального навантаження перетворювачем потужності на вході вимірювального каналу струму рекомендується встановлювати напругу, значення якої не перевищує половини від максимального. Зазначені рекомендації дають можливість виконувати визначення напруги під час дії максимального струму з запасом. Також пристрій може працювати з сигналам, які мають високий пік-фактор, а саме з високим значенням амплітуди до середньоквадратичної величини.

Величина напруги мережі зменшується до 250 мВ завдяки резистивному дільнику, який повинен забезпечувати калібрування в межах $\pm 30 \%$. Це дає можливість перекрити розкид опорів шунта та джерела опорного напруги, значення якого становить $\pm 8 \%$.

Під час роботи на низьких частотах шунт представляє собою резистивний елемент, при цьому впливом його реактивних складових можна знехтувати. Проте, під час використання шунта на практиці в реальних пристроях невелике значення паразитної індуктивності може спричинити небажаний ефект. Це стає дуже актуальним, якщо величина опору шунта становить 200 мкОм. На рисунку 3.6 наведено еквівалентну схему шунта, який використаний під час розробки електронного пристрою.

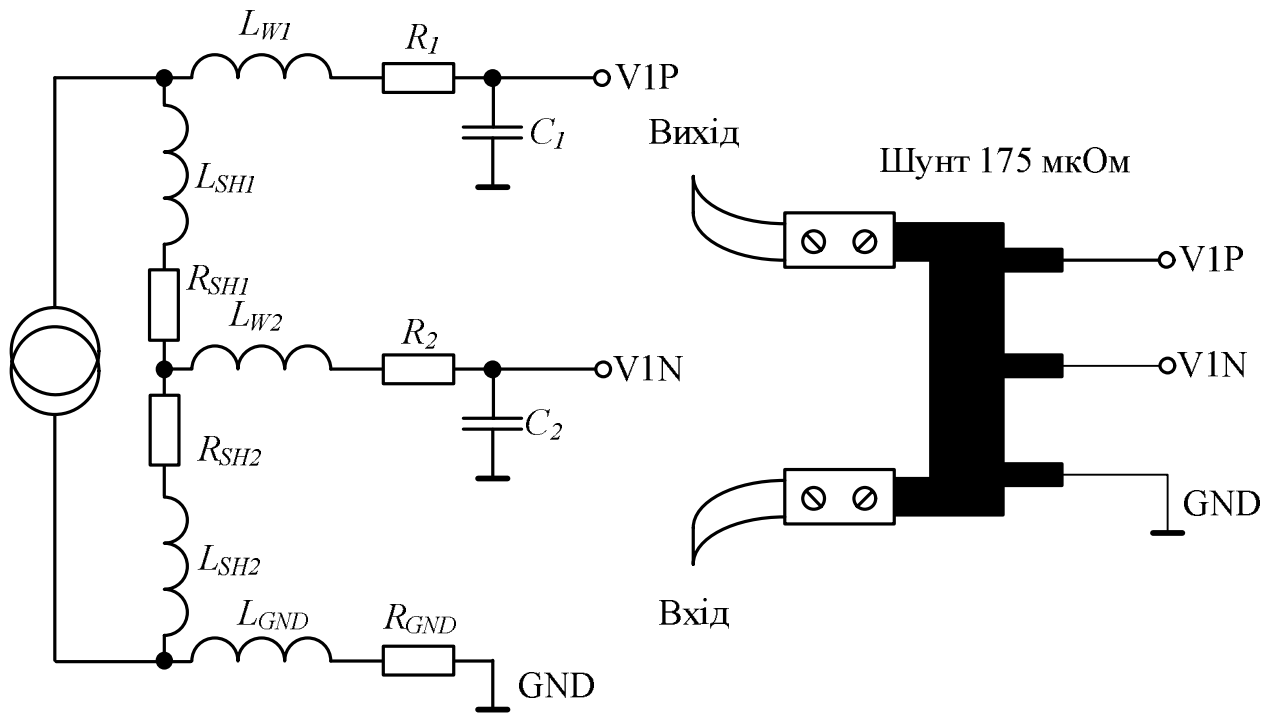


Рисунок 3.6 – Еквівалентна схема шунта

До шунта існує можливість підключення трьома контактами: два контакти V1P та V1N використовуються для вимірювання сигналу струм, а третій контакт – це GND для всієї схеми. Опір шунта $R_{SH1}=175$ мкОм. R_{SH2} – це опір між контактами шунта, до якого підключений вхід V1N та контактом заземлення схеми.

Паразитні індуктивності, які мають домінуючий вплив, позначені L_{SH1} та L_{SH2} . На рисунку 3.7 наведено вплив паразитної індуктивності на параметри шунта, де наведено амплітудно-частотна та фазочастотна характеристики антиаліасінгового фільтра, якщо має місце паразитна індуктивність зі значенням 2 нГн (див. рис. 3.7 суцільна лінія) та без паразитної індуктивності (див. рис. 3.7 пунктирна лінія) [13].

З аналізу залежностей, які наведено на рис. 3.7 видно, що наявність паразитної індуктивності впливає як АЧХ, так і ФЧХ. На частоті 1 МГц величина ослаблення сигналу складає -15 дБ. Це призводить до погіршення точності вимірювання під час дії підвищеного рівня шуму. Також між сигналами струму та напруги в вимірювальних каналах має місце фазовий зсув.

Так між вхідними сигналами V1A (V1B) та V2P на частоті 50 Гц з'являється фазовий зсув величиною $0,1^\circ$. Це значення фазового зсуву призводить до виникнення похибки вимірювання, величина якої складає 0,3%, якщо значення коефіцієнта потужності $PF = \pm 0,5$. Причина – поява в передавальній характеристиці антиалайзінгового фільтра додаткового нуля.

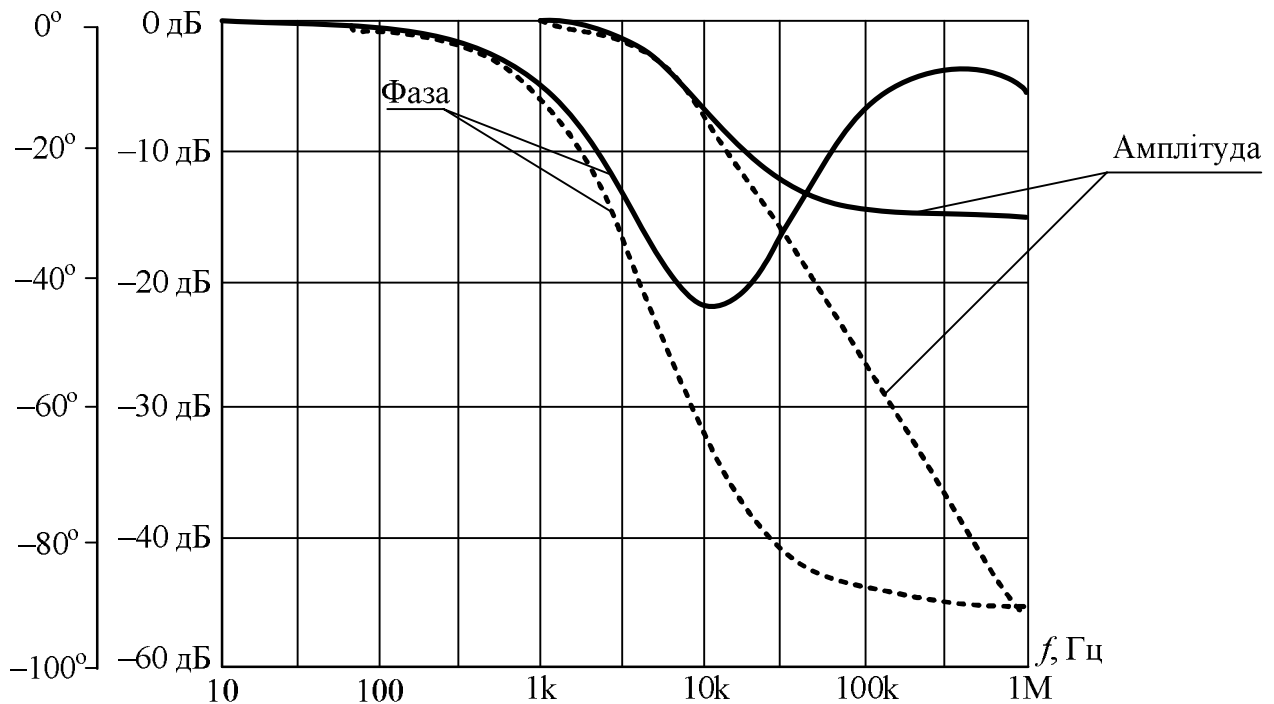


Рисунок 3.7 – АЧХ і ФЧХ антиалайзінгового фільтра

На основі спрощеної моделі шунта, яку наведено на рис. 3.6, визначається положення нуля, як R_{SH1}/L_{SH1} . Для усунення появи додаткового нуля в характеристиці необхідно додати додатковий полюс там, де знаходиться нуль або неподалік неї. Під час додавання RC-кола до кожного аналогового входу V1A (див. рис. 3.8) забезпечить наявність необхідного додаткового полюса.

Амплітудно-частотні та фазочастотні характеристики антиалайзінгового фільтра після реалізації компенсації паразитної індуктивності наведено на рис. 3.9. Моделювання антиалайзінгового фільтра виконано в пакеті прикладних програм EWB [14].

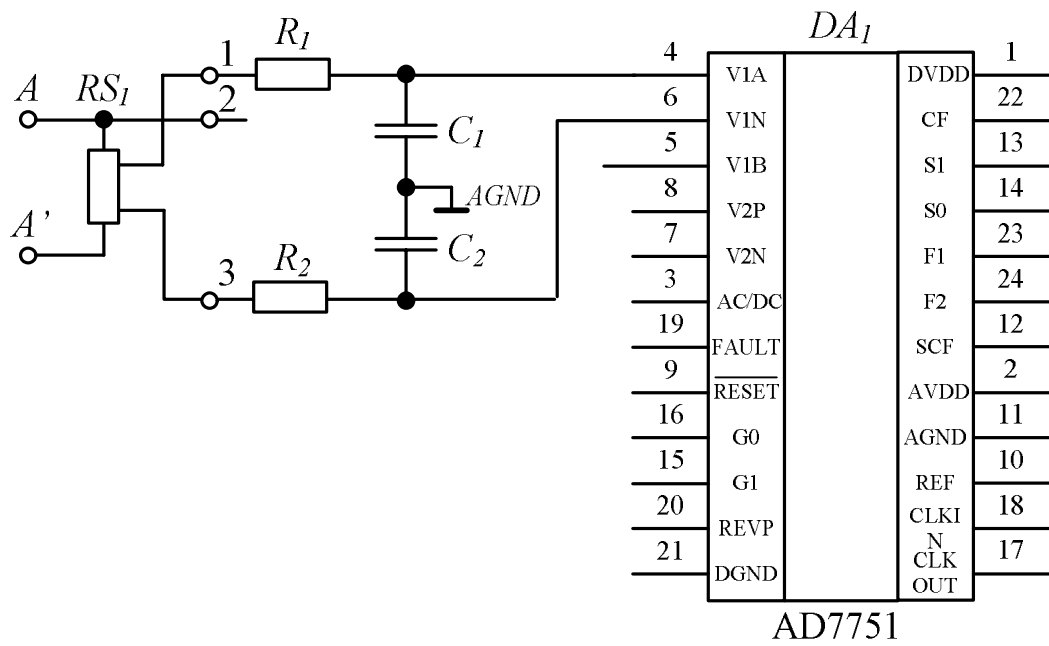


Рисунок 3.8 - Принципова схема з додаванням RC -кола на кожен з аналогових входів V1A для забезпечення необхідного додаткового полюса

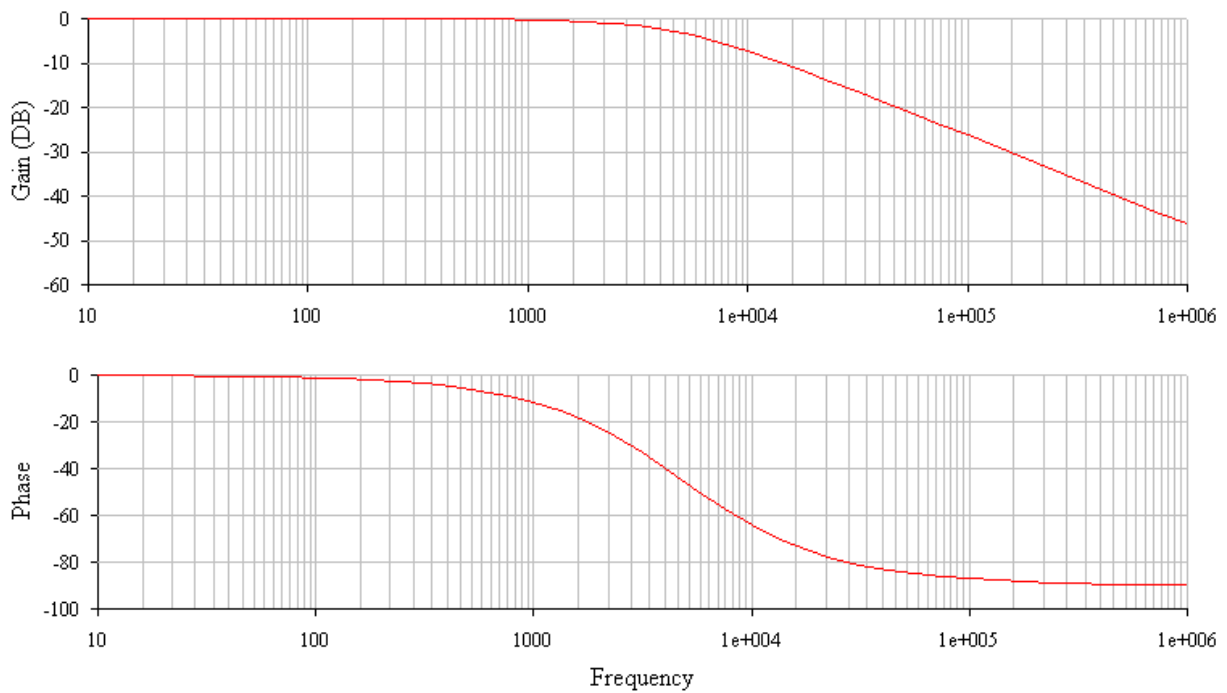


Рисунок 3.9 – Амплітудно-частотна та фазочастотна характеристики антиаліасінгового фільтра після реалізації компенсації паразитної індуктивності

У мікросхемі ADE7751 розраховується добуток сигналів струму та напруги. Результат цієї операції передається до низькочастотного фільтра для визначення інформації щодо активної потужності. Після цього виконується перетворення інформаційного сигналу напруги до частоти. Потім інформація передається до виходів F_1 та F_2 , у вигляді імпульсної послідовності, яка має високий рівень. Частоти цих імпульсів на виходах F_1 та F_2 досить низька. Величина частоти складає 0,68 Гц для сигналів змінного струму, якщо на входах мікросхемі ADE7751 встановлені такі режими: $SCF = 0$, $S_0 = 0$ та $S_1 = 0$ (див. табл. 3.1). Частота імпульсів на виходах F_1 та F_2 визначається значенням активної потужності, яке усереднено за досить тривалий період. Значення частоти імпульсів пропорційно середньому значенню активної потужності. Під час перетворення цифрового сигналу до частоти відбувається автоматичне усереднення сигналу активної потужності.

Таблиця 3.1 – Вибір частоти за допомогою входів S_0 та S_1

SCF	S_1	S_0	Максимальне значення частоти для змінного струму, Гц	Максимальне значення частоти для постійного струму, Гц
0	0	0	0,49	0,98
1	0	0	0,46	0,91
0	0	1	1,95	3,91
1	0	1	1,83	3,67
0	1	0	7,33	14,66
1	1	0	7,33	14,66
0	1	1	29,32	58,65
1	1	1	0,23	0,46

Значення частоти імпульсів на виходах F_1 та F_2 визначається в залежності від вхідної напруги сигналів:

$$f = \frac{5,922 \cdot (V_{AN} \cdot I_A + V_{BN} \cdot I_B + V_{CN} \cdot I_C) \cdot F_{1-7}}{V_{ДОН}^2}, \quad (3.2)$$

де f – частота на виходах F_1 та F_2 , Гц; V_{AN} , V_{BN} та V_{CN} – середньоквадратичні значення сигналів напруги на диференціальних входах, В; I_A , I_B та I_C – середньоквадратичні значення сигналів струму на диференціальних входах, А; $V_{ДОН}$ – значення джерела опорної напруги, $2,4 \text{ В} \pm 8\%$; F_{1-7} – одна з семи можливих частот, що вибираються за допомогою логічних сигналів на входах SCF , S_1 , S_0 (див. табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Частоти на виходах F_1 та F_2 під час дії постійної вимірювального пристрою 100 імпульсів/кВт·годину

$I_{\max}$	F_1 та F_2 (Гц)
10	0,1
25	0,25
40	0,40
60	0,60
80	0,80
100	1,00

Під час вибору частоти F_{1-7} при розробці вимірювача потужності максимальний струм навантаження становить $I_{\max} = 100 \text{ А}$, а величина постійної вимірювача потужності дорівнює 100 імпульсів/кВт·годину. На основі таблиці 3.2 визначається значення частоти 1,00 Гц.

Так частота імпульсів на виходах F_1 та F_2 з постійною вимірювача, яка має величину 100 імпульсів/кВт·годину складає 1,00 Гц під час дії струму 100 А та напруги між фазою та GND 220 В. За допомогою таблиці 3.3 у її четвертому стовпці визначаємо частоту 5,09 Гц. Тобто для вимірювача потужності вибирається величина $F_{1-7} = 5,09 \text{ Гц}$.

Таблиця 3.3 – Частоти на виходах F_1 та F_2 під час дії навантаження, величина якого дорівнює половині від максимального

SCF	S_1	S_0	F_{1-7}	Частоти виходах F_1 та F_2 під час дії навантаження, з величиною яка дорівнює половині від максимального
0	0	0	1,27	0,24
1	0	0	1,19	0,23
0	0	1	5,09	0,98
1	0	1	4,77	0,92
0	1	0	19,07	3,67
1	1	0	19,07	3,67
0	1	1	76,29	14,66
1	1	1	0,60	0,11

Якщо підставити значення частоти до рівняння (3.2), то величина частоти на виході:

$$F_{1-7}=5,09 \text{ Гц}; \quad SCF=0; \quad S_1=0; \quad S_0=1;$$

$$V_{AN} = I_A = V_{BN} = I_B = V_{CN} = I_C = \frac{0,5}{\sqrt{2}} = 0,354 \text{ В};$$

$$f = \frac{5,922 \cdot 3 \cdot 0,354 \cdot 0,354 \cdot 5,09}{2,4^2} = 1,96 \text{ Гц}.$$

Мережевим приймачем виконується функція приймання та передачі інформації мережами змінного струму від 110 до 380 В. Швидкість передачі приймає одне з чотирьох значень: 124 біт/с; 248 біт/с; 496 біт/с; 992 біт/с та може задаватися під час його програмування.

Для виправлення одиночних і виявлення подвійних помилок

використовується кодування з перешкодозахисту. Ці помилки можуть виникати під час передачі інформаційних повідомлень у мережі, яка має перешкоди. Приймач може передавати з фази на фазу, він має достатню для цього чутливість.

Для створення систем збору інформації, систем охорони та сигналізації, локальних мереж передачі даних, систем централізованого контролю та керування електрообладнанням дозволяється використання вже наявних ліній електромережі

Особливості приймача [15]:

- для передачі інформації використовується частотна маніпуляція;
- мається можливість вибору несучої частоти;
- швидкість передачі програмується до 992 біт/с.;
- кодування інформації з перешкодозахистом та виправленням
одиначних та виявлення подвійних помилок;
- стандартний 22-вивідний DIP корпус.

Умовно-графічне позначення мікросхеми КР1446ХК1 наведено на рисунку 3.10 [15]. Структурну мікросхеми КР1446ХК1 наведено на рисунку 3.11.

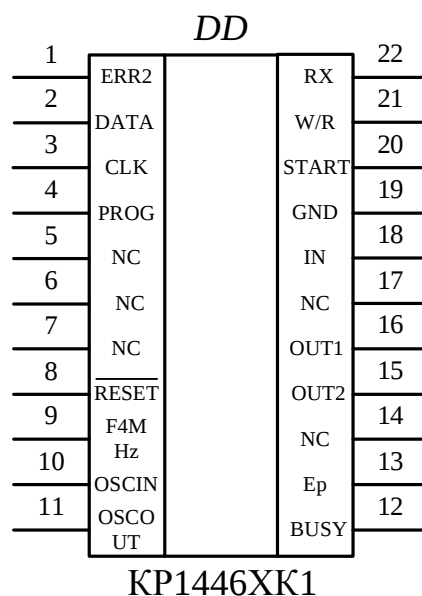


Рисунок 3.10 – Умовно-графічне позначення КР1446ХК1

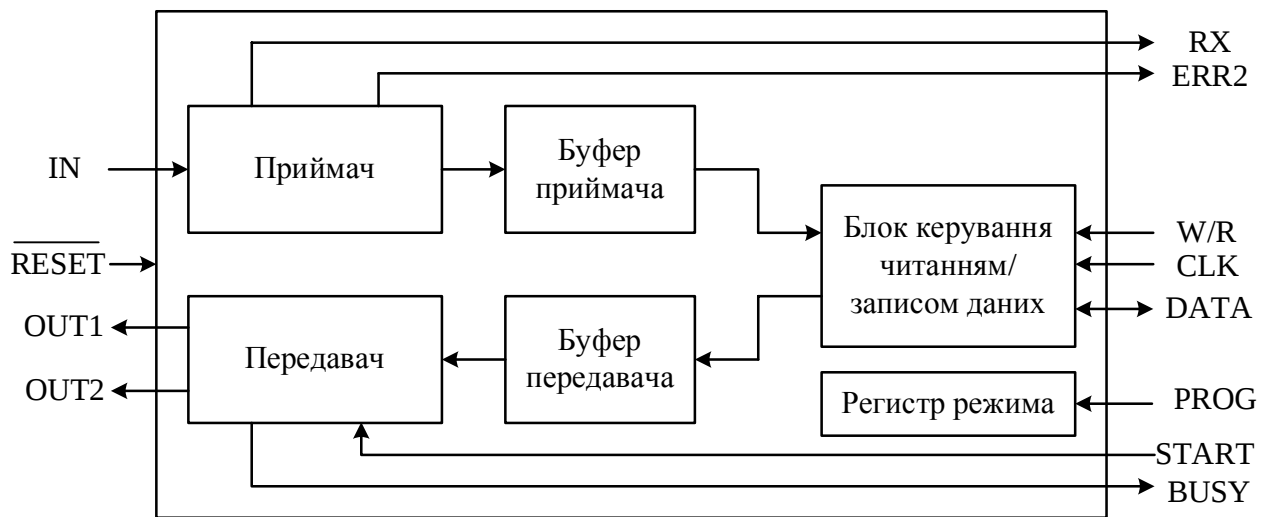


Рисунок 3.11 – Структурна схема мікросхеми KP1446XK1

У теперішній час мікроконтролер є основним елементом схеми, яка працює в режимі реального часу. Мікроконтролери PIC16F87x [11] можуть працювати в режимах енергозбереження та зі захистом коду програми. Характеристика мікроконтролера PIC16F87x [11]:

- «високошвидкісна RISK архітектура»;
- «35 інструкцій»;
- «усі команди виконуються за один цикл, крім інструкцій переходів, що виконуються за два цикли»;
- «тактова частота DC – 20 МГц, тактовий сигнал»;
«DC – 200 нс, один машинний цикл»;
- «до 8к×14 слів FLASH пам'яті програм»;
- «до 368 × 8 байт пам'яті даних (ОЗУ)»;
- «до 256 × 8 байт EEPROM пам'яті даних»;
- «скидання після включенню живлення (POR)»;
- «таймер скидання (PWRT) та таймер очікування запуску генератора (OST) після включення живлення»;
- сторожовий таймер з власним RC-генератором»;
- «вибір параметрів тактового генератора»;
- програмування в готовому пристрої»;

- режим низьковольтного послідовного програмування»;
- «широкий діапазон напруги живлення від 2.0 В до 5,5В»;
- «багатоканальний 10-розрядний АЦП».

Електрична характеристика мікроконтролера PIC16F87х [11]:

- «гранична робоча температура від -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$ »;
- «напруга VDD відносно VSS від $-0,3\text{ В}$ до $+7,5\text{ В}$ »;
- «напруга MCLR відносно VSS від 0 до $+14\text{В}$ »;
- «напруга RA4 відносно VSS від 0 до $+8,5\text{ В}$ »;
- «напруга на інших виводах відносно VSS від $-0,3\text{ В}$ до $\text{VDD}+0,3\text{ В}$ »;
- «потужність, що розсіюється 1 Вт»;
- «максимальний струм вивода VSS 300мА»;
- «максимальний струм виходу VDD 250м»;
- «вхідний струм замикання $I_{IK}(V_I < 0 \text{ або } V_I > \text{VDD}) \pm 20\text{ мА}$ »;
- «вихідний струм замикання $I_{OK}(V_O < 0 \text{ або } V_O > \text{VDD}) \pm 20\text{мА}$ »;
- «максимальний вихідний струм стоку каналу вводу /вивода 25 мА»;
- «максимальний вихідний струм витoku каналу вводу/виводу 25 мА»;
- «максимальний вихідний струм стоку портів вводу /виводу PORTA, PORTB та PORTE 200мА»;
- «максимальний вихідний струм стоку портів вводу / виводу PORTC та PORTD 200мА».

До складу блоку аналого-цифрового перетворення входять п'ять каналів. Під час надходження вхідного аналогового сигналу виконується зарядка внутрішнього конденсатора C_{HOLD} . Блок АЦП виконує перетворення напруги на конденсаторі C_{HOLD} до пропорційного 10-розрядного цифрового коду. Метод АЦП – послідовного наближення. Для програмного вибору джерела верхньої та нижньої опорної напругу використовуються контакти VDD, VSS, RA2 або RA3. Конденсатор C_{HOLD} повинен встигнути повністю заряджатися до значення вхідної напруги, що забезпечує необхідну точність перетворення. На рисунку 3.12 наведено схему аналогового входу АЦП для розрахунку часових характеристик.

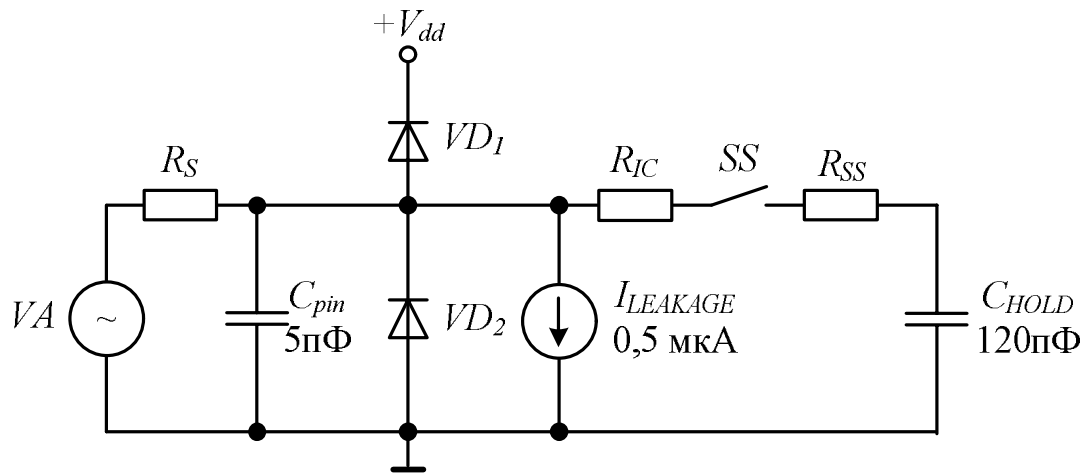


Рисунок 3.12 – Схема аналогового входу АЦП для розрахунку часових характеристик

Величини опорів резисторів R_S та R_{SS} впливають на час зарядки конденсатора C_{HOLD} . Від напруги живлення U_{dd} залежить величина опору ключа вибірки (R_{SS}). Максимальне значення, що рекомендується, для внутрішнього опору джерела аналогового сигналу 10 кОм [13].

Після вибору аналогового каналу необхідно забезпечити затримку, величина якої визначається за формулою%

$$\tau_{ACQ} = \tau_{AMP} + \tau_C + \tau_{COFF}, \quad (3.3)$$

де τ_{AMP} – час затримки підсилювача, величина якого складає 2 мкс; τ_C – час заряду конденсатора C_{HOLD} ; τ_{COFF} – температурний коефіцієнт, величина якого дорівнює [(Температура – 25°C)·(0,05мкс/°C)];

$$\begin{aligned} \tau_C &= -C_{HOLD} \cdot (R_{IC} + R_{SS} + R_S) \cdot \ln\left(\frac{1}{2047}\right) = \\ &= -120 \cdot 10^{-12} \cdot (1 \cdot 10^3 + 7 \cdot 10^3 + 7 \cdot 10^3) \cdot \ln\left(\frac{1}{2047}\right) = 16,47 \text{ мкс.} \end{aligned}$$

Час затримки після вибору каналу АЦП дорівнює:

$$\begin{aligned}\tau_{ACQ} &= \tau_{AMP} + \tau_C + \tau_{COFF} = \\ &= 2 \text{ мкс} + 16,47 \text{ мкс} + (50^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \cdot (0,05 \text{ мкс} / ^\circ\text{C}) = 19,72 \text{ мкс}.\end{aligned}$$

Для живлення АЦП, мікроконтролера та нормальної роботи електронного пристрою необхідно використати низьковольтне джерело стабілізованої напругу +5 В. Блок живлення має в своєму складі схему випрямлення, RC-фільтр і стабілізатор напруги + 5 В [16]. Як стабілізатора використовується мікросхему типу L7815CP [17], електричні параметри якої наведено в табл. 3.4, а гранично характеристики в табл. 3.5 [17].

Таблиця 3.4 – Електричні параметри мікросхеми L7815CP

Параметр	Мінімальне	Номінальне	Максимальне
Вихідна напруга, В	-14,3	-15	-15,7
Зміна вихідної напруги під час зміни вхідної в діапазоні від 17,5 до 30 В, мВ			300
Зміна вихідної напруги під час зміни вихідного струму в діапазоні від 5 до 1500 мА, мВ			300
Температурний дрейф вихідної напруги, мВ/°C		-0,9	
Придушення пульсацій, дБ	54	60	
Падіння напруги на стабілізаторі, В		3	
Вихідний шум, мкВ		250	

Таблиця 3.5 – Граничні характеристики мікросхеми L7915CP

Параметр	Значення
Максимальний вихідний струм, А	1,5
Діапазон робочих температур, °С	від 0 до 150
Максимальна вхідна напруга, В	35

На рисунку 3.13 наведено рекомендовану схему включення конденсаторів та їх номінальні значення для мікросхеми L7815CP [17].

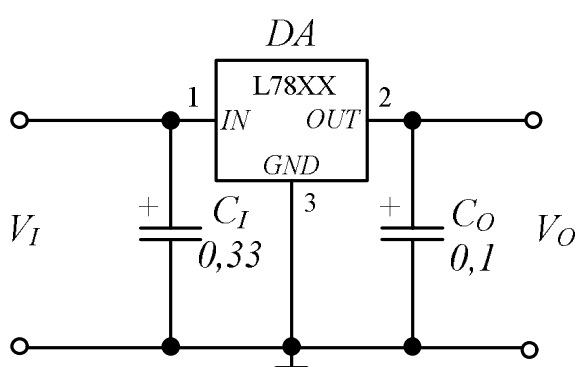


Рисунок 3.13 – Схема включення мікросхеми L7915CP

ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи розроблений електронний пристрій технічного обліку та збору даних про споживання енергоресурсів. Виконаний аналіз актуальності для автоматичного та централізованого отримання інформації щодо витрати та споживання енергоресурсів. Обґрунтовано та розроблено структурну схему електронного пристрою. Виконаний аналіз сучасних методів вимірювального контролю щодо споживання електричної енергії. Визначено оптимальні засоби і виконано на їх основі синтез структурної схеми вимірювального каналу для визначення спожитої електроенергії. Розроблено електричну принципову схему та проведено аналіз особливостей під час її функціонування.

За основу розробки вибрано поширене та актуальне технічне рішення, яке застосовується під час проектування сучасних електронних пристроїв обліку електричної енергії. В основі цього рішення є застосування спеціалізованих вимірювальних мікросхем, які мають високий ступень інтеграції. Ці мікросхеми призначені для високоточної генерації імпульсів з частотою, значення якої пропорційно миттєвому значенню потужності, що вимірюється. Підхід, що використано, дає змогу забезпечити високий рівень метрологічних характеристик та підвищену надійність електронного пристрою, що розроблено.

Для обробки вимірювальної інформації використано мікроконтролер, який має необхідні функціональні можливості. На основі вибраного мікроконтролера типу PIC16F87х розроблено принципову схему пристрою. Як сенсори струму використані резистивні шунти. Вони забезпечують надійність простоту, невразливість до впливу магнітних полів на характеристики і параметри електронного пристрою, що розроблено.

Розроблений електронний пристрій технічного обліку та збору даних про споживання енергоресурсів може бути застосовано як у промисловості, малому та середньому бізнесі, так і у сфері громадських і бюджетних установ, а також у приватному секторі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про затвердження плану заходів із впровадження систем енергетичного менеджменту в бюджетних установах. Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 26 квітня 2017 р. № 732-р.
2. Енергетичні мережі [Електронний ресурс]: Автоматизовані системи обліку електроенергії. – Режим доступу: <http://leg.co.ua>. – Назва з титул. екрану.
3. Коцар, О.В. Автоматизовані системи контролю, обліку та управління енерговикористанням: навч. посібн /О.В.Коцар. – Дніпро: Середняк Т.К., 2017. – 44с.
4. Енергетична ефективність України. Кращі проектні ідеї [електронне видання]: Проект «Професіоналізація та стабілізація енергетичного менеджменту в Україні» / С.П. Денисюк, О.В. Коцар, Ю.В. Чернецька. – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. – 79 с.
5. Сенько, В.Ф. Теорія електричних кіл: навч. посіб. / В.Ф. Сенько, О.В. Вовна, І.С. Лактіонов. – Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2017. – 254 с.
6. Рожнов, Е. Электронные счетчики электроэнергии бытового и промышленного назначения // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес.– № 1, 1998. – С. 29 – 32.
7. Рожнов, Е. Новые электронные средства для учета электроэнергии / Е. Рожнов // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес.– № 1, 1999. – С. 42–43.
8. Бобало, Ю.Я. Основы радиоэлектроники: навч. посіб. / Ю.Я. Бобало, Р.І. Желяк, М.Д. Кіселичник та ін.; за ред. Б.А. Мандзія. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2002. – 455 с.
9. STMicroelectronics [Електронний ресурс]: Programmable single phase energy metering IC with tamper detection. – Режим доступу: <https://www.st.com/en/data-converters/stpm01.html>. – Назва з титул. екрану.
10. Analog Devices [Електронний ресурс]: Single Phase Energy Metering IC with On-Chip Fault Detection. – Режим доступу:

<https://www.analog.com/ru/products/ade7751.html#product-overview>. – Назва з титул. екрану.

11. Microchip [Електронний ресурс]: PIC16F87X. – Режим доступу: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/30292d.pdf>. – Назва з титул. екрану.

12. Integral [Електронний ресурс]: Мікросхема контролю живлення зі схемою моніторингу первинного джерела IN1705D. – Режим доступу: https://www.integral.by/sites/default/files/IN1705R_4.pdf. – Назва з титул. екрану.

13. Капустян, В.И. Проектирование активных RC-фильтров высокого порядка/ В.И. Капустян. – М.: Радио и связь, 1982. – 160 с.

14. Переверзєв, А.В. Моделювання в електроніці: підручник / А.В. Переверзєв, В.І. Бойко, А.А. Зорі та ін. – 2-ге вид., переробл. і доповн. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2010. – 352 с.

15. QRZ [Електронний ресурс]: Приймач-передавач за мережею змінного струму 110-380 В. – Режим доступу: <https://www.qrz.ru/reference/micro/datasheet/kr1446xk1.pdf>. – Назва з титул. екрану.

16. Сенько В.Ф. Енергетична електроніка: навчальний посібник / В.Ф. Сенько, О.В. Вовна, А.А. Зорі. – 2-е вид., доповн. і переробл. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2014. – 312 с.

17. STMicroelectronics [Електронний ресурс]: L7815CP. – Режим доступу: https://www.st.com/content/st_com/en/products/power-management/linear-voltage-regulators/standard-voltage-regulators/l78.html. – Назва з титул. екрану.

18. Жидецкий, В.Ц. Практикум по охране труда / В.Ц. Жидецкий и др. – Л.: Афиша. – 2000 – 349 с.

ДОДАТОК А – Технічне завдання на розробку електронного пристрою технічного обліку та збору даних про споживання енергоресурсів

А.1 Найменування й область застосування пристрою

А.1.1 Повне найменування пристрою

Електронний пристрій технічного обліку та збору даних про споживання енергоресурсів, скорочено ЕПОЗСЕ.

А.1.2 Область застосування пристрою

Основні об'єкти, що можуть бути віднесено до бюджетних установ: навчальні заклади, лікарні, будівлі державних установ і т.д.

А.1.3 Загальна характеристика об'єкту контролю

ЕПОЗСЕ забезпечує достовірний облік, який одночасно вигідний організаціям-постачальникам, господарюючим суб'єктам, власникам житла та державі. Удосконалення технологій обміну даними дозволило істотно спростити комерційний облік енергоресурсів, знизити вартість його впровадження. Впровадження ЕПОЗСЕ дозволяє автоматизувати облік, домогтися його максимальної точності, отримати аналітичну інформацію, яка необхідна для розробки та коригування програм з енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності.

А.2 Підстави для проведення проектних робіт

Підставою для проведення проектних робіт є наказ по ДВНЗ «ДонНТУ» № 256 від 06.05.2019 р. про затвердження тем випускних кваліфікаційних робіт

бакалаврів.

А.3 Мета та призначення розробки

А.3.1 Мета розробки

Метою дослідження є підвищення ефективності обліку та збору даних про споживання енергоресурсів для умов державних і бюджетних установ завдяки розробці та впровадженню електронного пристрою.

А.3.2 Призначення розробки

ЕПОЗСЕ повинен дозволяти вести облік кількості спожитої електроенергії з центрального диспетчерського пульта (ЦДП). Вимірювальні значення потужності мають заносяться до Flash-пам'ять, звідки в будь-який момент часу за запитом з ЦДП зчитуватися та передаватися за мережею змінного струму 220 В з допомогою мережевого приймача на базі КР1446ХК1.

А.4 Джерела розробки

Технічна документація та звіт з переддипломної практики.

А.5 Технічні вимоги

А.5.1 Найменування, кількість і призначення блоків пристрою

До складу ЕПОЗСЕ входять наступні пристрої:

Узгоджувальний пристрій (УП) використовується для отримання навантаження, достатньо низького для роботи АЦП та одночасного коректного підрахунку спожитої енергії.

Перетворювач потужності(ПП) : ICAD7751 є мікросхему для вимірювача потужності електроенергії високої точності.

Мікроконтролер: Мікроконтролер побудований на базі PIC16F87х. Робоча програма забезпечує роботу контролера зі заданим алгоритмом.

Мережевий приймач-передавач (МПП): виконує функцію прийому та передачі інформації за мережею змінного струму 220/380В.

Джерело живлення: забезпечує випрямлення напруги мережі та згладжування пульсацій.

А.5.1.1 Конструктивні вимоги

ЕПОЗСЕ повинна бути виконана у вигляді металевого корпусу з кришкою, на передню панель якого виводиться комутаційні елементи та необхідна інформація. Габаритні розміри якого не повинні перевищувати 500 x 400 x 300 мм.

А.5.1.2 Вимоги до ваги

Вага електронного пристрою не повинно перевищувати 5 кг.

А.5.2 Показники призначення

Технічні вимоги до ЕПОЗСЕ:

- гранична робоча температура від -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$;
- напруга VDD відносно VSS від $-0,3\text{ В}$ до $+7,5\text{ В}$;
- напруга MCLR відносно VSS від 0 до $+14\text{В}$;
- напруга RA4 відносно VSS від 0 до $+8,5\text{ В}$;
- напруга на інших виводах відносно VSS від $-0,3\text{ В}$ до $\text{VDD}+0,3\text{ В}$;
- потужність, що розсіюється 1 Вт ;
- максимальний струм вивода VSS 300mA ;

- максимальний струм виходу V_{DD} 250м;
- вхідний струм замикання $I_{IK} (V_I < 0 \text{ або } V_I > V_{DD}) \pm 20 \text{ мА}$;
- вихідний струм замикання $I_{OK} (V_O < 0 \text{ або } V_O > V_{DD}) \pm 20 \text{ мА}$;
- максимальний вихідний струм стоку каналу вводу /вивода 25 мА;
- максимальний вихідний струм витоку каналу вводу/виводу 25 мА;
- максимальний вихідний струм стоку портів вводу /виводу PORTA, PORTB та PORTE 200мА;
- максимальний вихідний струм стоку портів вводу / виводу PORTC та PORTD 200мА.

А.5.3 Вимоги до надійності

Середній наробіток на відмову, годин	не менш 40 000;
Середній час відновлення, годин	не більш 1,0;
Імовірність безвідмовної роботи	не менш 0,95.

А.5.4 Вимоги до технологічності, рівня уніфікації та стандартизації

ЕПОЗСЕ повинен бути технологічним у виготовленні та мати максимальну кількість уніфікованих та стандартизованих збірних одиниць.

А.5.5 Умови експлуатації

ЕПОЗСЕ, що проектується, повинен нормально функціонувати під час зміни температури навколишнього середовища від 0 до + 40°C, відносної вологості до 98 % та барометричного тиску від 700 до 800 мм.рт.ст.

А.5.6 Вимоги безпеки, охорони праці, здоров'я і навколишнього середовища

Заходи щодо охорони праці потрібно розробити відповідно до НПАОП, ДСТУ, ССБТ, СНіПами, правилами по ПУЕ, ПТБ та іншими спеціальними документами та підтвердити розрахунками або обґрунтуванням із посиланням на відповідний документ.

А.6 Етапи розробки

Випускна кваліфікаційна робота бакалавра відповідає стадії розробки «Технічне проектування» і повинен мати такі документи: пояснювальна записка; схема електрична структурна; схема електрична принципова.

ДОДАТОК Б – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві

До приміщення науково-дослідного відділу й організації робочого місця з обліком шкідливих виробничих факторів пред'являється ряд вимог. Приміщення в якому знаходиться робоче місце з ПК повинно мати природне освітлення, бажано з однобічним розміщенням світопрорізів, площа осклянілості яких не повинна перевищувати 25 % від площі стіни світопрорізами. Віконні прорізи в приміщенні з ПК повинні мати регульовані жалюзі чи занавеси або інші сонцезахисні пристрої. Не допускається розташування робочих місць із ПК у підвальних і цокольних поверхах. Робочі місця з ПК рекомендується розміщати в окремих приміщеннях. Площа на одного працюючого з ПК повинна складати 6 м^2 , об'єм – 20 м^3 . Неприпустиме розташування ПК, при якому працюючий звернений обличчям, або спиною до вікон чи кімнати задньої частини ПК, у яку монтуються вентилятори[15].

Забороняється застосовувати для обробки інтер'єра приміщень із ПК полімерні матеріали (дерев'яностружечні плити, шпалери що миються, плівкові та рулоні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик та ін.), що виділяються в повітря шкідливі хімічні речовини, що перевищують гранично допустимі концентрації, не включені в «Перелік дозволених , МЗ» 1977-1985 р.

В лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідної роботи робочі місця з ПК розташовані від стіни з вікнами на відстані 1 м, відстань між столами складає 3 м. Екрани відеомоніторів ПК знаходяться від очей користувача на відстані 700 мм відповідно до СН 512-78, приміщення ($S=21 \text{ м}^2$, $V=73,5 \text{ м}^3$) дозволяє розташовувати більше 3 робочих місця.

Робочі місця в положенні сидячі відповідають вимогам ДСТ 12.2.032 – 78 та ДСТ 12.2.029 – 77. Поверхня робочого столу знаходиться на висоті 0,75 метрів від підлоги, розміри робочої поверхні стільниці складають 1050x590 міліметрів, розміри вільного простору для ніг під столом складає висота 650, глибина 550, ширина 450 міліметрів відповідно. Робочий стілець оснащений

підйомно-поворотнім пристроєм, що забезпечує регуляцію висоти сидіння і спинки, пневматичним і гідравлічними амортизаторами та обладнанні підлокітниками.

Б.1 Мікроклімат робочого місця

У приміщенні науково-дослідного відділу є джерела тепловиділення, тому необхідно визначити необхідні умови його вентилявання. Витрату повітря в приміщенні з додатковим тепловиділенням визначаємо за формулою:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)}, \quad (\text{Б.1})$$

де $Q_{\text{НАД}}$ – надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.; c – теплоємність повітря (0,237 ккал/кг); p – обсягова вага повітря (1,226 кг/м³); t_B – температура витяжного повітря (30°C); t_H – температура приточного повітря (20°C).

Розрахуємо надлишкове надходження тепла за наступною формулою:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{СР}}, \quad (\text{Б.2})$$

де $Q_{\text{УСТ}}$ – виділення тепла від устаткування; $Q_{\text{ПЕР}}$ – виділення тепла робітниками; $Q_{\text{ОСВ}}$ – надходження тепла від електричного освітлення; $Q_{\text{СР}}$ – надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначимо виділення тепла від устаткування за формулою:

$$Q_{\text{УСТ}} = P \cdot K_a \cdot K_o \cdot 860, \quad (\text{Б.3})$$

де P – сумарна потужність устаткування, кВт/год; K_a – коефіцієнт установленної потужності (0,95); K_o – коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$\begin{aligned} Q_{уст} &= [x_1 \cdot k_1 + x_2 \cdot k_2 + x_3 \cdot k_3 + x_4 \cdot k_4 + x_5 \cdot k_5 + x_6 \cdot k_6 + x_7 \cdot k_7 + \\ &+ x_8 \cdot k_8 + x_9 \cdot k_9] \cdot K_a \cdot K_o \cdot 860 = \\ &= [1 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,06 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,6 + 4 \cdot 0,15 + \\ &+ 1 \cdot 3,5] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 5131 \text{ ккал/год.} \end{aligned}$$

Визначимо виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою наступної формули:

$$Q_{пер} = n \cdot g = 2 \cdot 100 = 200 \text{ ккал/год,} \quad (\text{Б.4})$$

де n – кількість працюючих; g – кількість тепла, що виділяє один працівник за годину (100 ккал/год.).

Визначимо надходження тепла від електричного освітлення за формулою:

$$Q_{осв} = E_M \cdot g_1 \cdot S = 300 \cdot 0,05 \cdot 21 = 315 \text{ ккал/год,} \quad (\text{Б.5})$$

де E_M – нормована освітленість для цієї зорової роботи, величина якої дорівнює 300 лк; g_1 – питома тепловиділення на 1 м² підлоги при 1 лк освітленості (для / люмінесцентних ламп – 0,05 ккал/год.) S – площа приміщення, м².

Визначимо надходження тепла від сонячної радіації через вікна за наступною формулою:

$$Q_{сп} = F \cdot g_2 \cdot K_{осл} = 7,5 \cdot 65 \cdot 0,4 = 195 \text{ ккал/год,} \quad (\text{Б.6})$$

де F – площа віконних прорізів (3х2,5=7,5 м²); g_2 – кількість тепла, що

надходить через 1 м² віконного прорізу (65 ккал/год.); $K_{осл}$ – коефіцієнт ослаблення, приймаємо 0,4.

Визначимо кількість надлишкового тепла:

$$Q_{НАД} = Q_{УСТ} + Q_{ПЕР} + Q_{ОСВ} + Q_{СР} = 5131 + 200 + 315 + 195 = 5841 \text{ ккал/год.}$$

Визначимо витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{Q_{НАД}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)} = \frac{5848}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (30 - 20)} = 2010 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

Існуюча в наявності система кондиціонування та вентилявання має продуктивність 2200 куб. м./годину, що задовольняє необхідним нормативам.

Параметри мікроклімату на робочих місцях регламентуються ДНАОП 0.03.3.15 – 86 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень № 4088–86». Відповідно доданих санітарних норм температура повітря, швидкість руху повітря та відносна вологість у холодні періоди року повинна складати (22 – 24) градуса за Цельсієм, 0,1 метра в секунду та 40-60 % відповідно. При збереженні всім параметрів можливе коливання температури від 21 до 25 градусів Цельсія. У теплі періоди року температура повітря повинна складати (23 – 25) градусів Цельсія, рухливість повітря (0,1 – 0,2) метрів секунду, вологість (40 – 60) %. Температура може коливатися від 22 до 26 градусів Цельсія при збереженні всіх інших параметрів мікроклімату. Вище зазначені норми цілком відповідають фактичним даним приміщення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідним відділом.

Б.2.2 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання для приміщення, в якому використовуються зорові роботи високої точності

Розміри приміщення: довжина ($a=6$ м), ширина ($b=3,5$ м), висота ($h=3,5$ м). Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття $P_{стелі} = 70 \%$, $P_{стін} = 50 \%$. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,7$ м. Для освітлення прийнято світильники типу УПМ-15, які підвищуються до стелі, відстань від світильника до стелі $h_c = 0,4$ м. Мінімальна освітленість за нормами $E=200$ лк.

1) Визначимо висоту підвісу світильників над підлогою

$$h_0 = H - h_c = 3,5 - 0,4 = 3,1 \text{ м.}$$

Для світильників загального освітлення з лампами розжарювання потужністю до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно до СНІП П-4-79 повинна бути у межах (2,5 – 4,0) м, залежно від характеристики світильника. В лабораторії виміральної техніки та науково-дослідному відділу відповідає цій вимозі.

2) Визначимо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p = 3,1 - 0,4 = 2,7 \text{ м.}$$

Рівномірність освітлення досягається при відповідному співвідношенні відстані між світильниками (L) та висоти їх підвісу (h).

3) Визначимо рекомендовану відстань між світильниками

$$L = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 2,7 = 1,9 \text{ м.}$$

4) Розрахуємо необхідну кількість світильників

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{6 \cdot 3,5}{2^2} = 6.$$

Приймаємо 6 світильників, враховуючи розміри приміщення розміщуємо їх у два ряди по 3 штуки.

5) Світловий потік лампи світильника (Φ_L) визначається за формулою:

$$\Phi_L = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta},$$

де E – нормативна освітленість, лк; K_3 – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп; S – площа приміщення, що освітлюється, м²; Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розширювання (1,15); N – кількість світильників; n – кількість ламп у світильнику; η – коефіцієнт використання світового потоку, який визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення (i) та коефіцієнтів відбиття стін та стелі.

6) Визначимо показник приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{6 \cdot 3,5}{3,5 \cdot (6 + 3,5)} = 2,21.$$

Коефіцієнт використання $\eta = 0,48$ для світильника УПМ-15 (при $i = 2,5$, $P_{стелі} = 70\%$, $P_{стін} = 50\%$)

Світловий потік одного світильника, а значить і лампи, оскільки за конструктивним виконанням у світильнику цього типу встановлена лише одна лампа, дорівнює:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 21 \cdot 1,15}{6 \cdot 1 \cdot 0,48} = 1677 \text{ лм.}$$

9) обираємо лампу Б-150 потужністю 150 Вт, світловий потік якої становить 2100 лм. Хоча це значення на 18% більше розрахованого, однак не перевищує встановлену норму ($-0\% < \Phi_{\text{л}} < +20\%$). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$P_{\text{CB}} = P \cdot N = 150 \cdot 6 = 900 \text{ Вт.}$$