

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)

«___» _____ 2020 р.

Випускна кваліфікаційна робота

магістра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка та дослідження електронної системи обліку інформації
щодо споживання енергоресурсів»

Виконав: студент 2 курсу, групи ЕЛТм-19

(шифр групи)

спеціальності 171 Електроніка

(шифр і назва спеціальності)

Петров Валерій Вікторович

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник професор кафедри ЕТ, д.т.н., проф.

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

А.А. Зорі

(підпис)

Рецензент _____

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

(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 – 2020 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

_____ магістра

Тема: «Розробка та дослідження електронної системи обліку інформації щодо
споживання енергоресурсів»

Спецчастина: _____

Виконавець, студент

гр. ЕЛТм – 19

_____ Петров В.В.

(підпис, дата, П.І.П)

Керівник

_____ проф. Зорі А.А.

(підпис, дата, П.І.П)

Консультанти:

_____ проф. Вовна О.В.

(підпис, дата, П.І.П)

_____ проф. Зорі А.А.

(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 – 2020

**Державний вищий навчальний заклад
"Донецький національний технічний університет"**

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

Кафедра Електронна техніка

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації

(шифр і назва)

Спеціальність 171 Електроніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри електронної техніки

Вовна О.В.

« » 2020 року

**З А В Д А Н Н Я
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Петров Валерій Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка та дослідження електронної системи обліку інформації щодо споживання енергоресурсів

керівник проекту (роботи) Зорі Анатолій Анатолійович, д.т.н., проф.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від 23.09.2020 року № 693

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 технічних характеристик об'єкту; математична модель вимірювального каналу; обґрунтування та розробка структури електронної системи; розробка структурної та принципової схем мікропроцесорного блоку

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	д.т.н., проф., проф. каф. ЕТ Зорі А.А.		
2	д.т.н., проф., проф. каф. ЕТ Зорі А.А.		
3	д.т.н., проф., зав. каф. ЕТ Вовна О.В.		
4	к.т.н., доц., доц. каф. ЕТ Лактіонов І.С.		
А	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	Аналіз і стан реалізації моніторингу споживання електричної енергії		
2	Розробка структури електронної системи обліку та збору інформації щодо споживання електричної енергії		
3	Розробка принципової схеми електронної системи обліку та збору інформації щодо споживання електричної енергії		
4	Розробка алгоритмічного та програмного забезпечення електронної системи обліку та збору інформації щодо споживання електричної енергії		
5	Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві		

Студент

_____ (підпис)

Петров В.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Зорі А.А.

_____ (прізвище та ініціали)

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

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

АНОТАЦІЯ

Петров, В.В. Розробка та дослідження електронної системи обліку інформації щодо споживання енергоресурсів / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 171 Електроніка. – ДВНЗ «ДонНТУ», Покровськ, 2020.

Пояснювальна записка: 82 стор., 40 рис., 6 табл., 18 посилань.

Метою дослідження є підвищення інформативності під час обліку споживання енергоресурсів завдяки розширенню функціональних можливостей електронної системи.

Об'єкт дослідження: процеси, що протікають у вимірювальних каналах електронної системи обліку та збору інформації щодо споживання електричної енергії.

Предмет дослідження: методи та засоби підвищення точності та інформативності засобів вимірювання потужності, що споживається від живлячої мережі змінного струму.

Розроблено структурно-алгоритмічну організацію електронної вимірювальної системи потужності, що споживається від живлячої мережі змінного струму, та алгоритми функціонування її підсистем. Розроблено основи методики інженерного проектування вимірювальних каналів електронної системи визначення потужності, що споживається, від живлячої мережі змінного струму.

Розроблено структуру електронної системи обліку та збору інформації щодо споживання електричної енергії, принципові схеми блоків та вузлів електронної системи; алгоритмічного та програмного забезпечення електронної системи вимірювання потужності електричної енергії, що споживається.

Ключові слова: вимірювання, потужність, споживання, електрична мережа, алгоритм функціонування, контролер, облік, обробка даних.

ABSTRACT

Petrov, V.V. Development and research of the electronic system of the information accounting on the energy consumption / Graduation qualification work for obtaining an educational degree 'Master' in specialty 171 Electronics. – SHEI 'DonNTU', Pokrovsk, 2020.

Explanatory note: 82 p., 40 fig., 6 tables, 18 references.

The aim of the study is to increase the information content when accounting for energy consumption due to the expansion of the functionality of the electronic system.

Object of research: the processes occurring in the measuring channels of the electronic system of accounting and collection of information on the consumption of electrical energy.

Subject of research: methods and means of increasing the accuracy and information content of measuring instruments for power consumption from the AC supply network.

The structural and algorithmic organization of the electronic measuring system of the power consumption from the AC mains, and the algorithms for the functioning of its subsystems have been developed. The fundamentals of the methodology for engineering design of measuring channels of an electronic system for determining the power consumed from the AC mains have been developed.

The structure of the electronic system for metering and collecting information on electricity consumption, schematic diagrams of blocks and nodes of the electronic system was developed; algorithmic and software for the electronic system for measuring the power of electrical energy consumed.

Key words: measurement, power, consumption, electric network, operation algorithm, controller, accounting, data processing.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ І СТАН РЕАЛІЗАЦІЇ МОНІТОРИНГУ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.....	11
1.1 Аналіз функцій систем моніторингу обліку та споживання електричної енергії.....	11
1.2 Методи та засоби вимірювального контролю витрат електроенергії.....	13
1.3 Дискретизація сигналів під час розробки вимірювальної системи споживання електричної енергії.....	17
1.4 Постановка задачі на розробку електронної системи обліку інформації щодо споживання енергоресурсів.....	18
2 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ТА ЗБОРУ ІНФОРМАЦІЇ ЩОДО СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	21
3 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ТА ЗБОРУ ІНФОРМАЦІЇ ЩОДО СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.....	32
3.1 Синтез принципової схеми електронної вимірювальної системи.....	32
3.2 Розрахунок блоків схеми електричної принципової вимірювача.....	37
4 РОЗРОБКА АЛГОРИТМІЧНОГО ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ТА ЗБОРУ ІНФОРМАЦІЇ ЩОДО СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.....	52
4.1 Розробка структури програмного забезпечення електронної системи	52
4.2 Розробка алгоритму взаємодії контролера з PKI.....	54
4.3 Розробка алгоритму взаємодії з мікросхемою ADE7753.....	61
ВИСНОВКИ.....	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	74
ДОДАТОК А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві.....	76

ВСТУП

Актуальність теми. У теперішній час виконується впровадження програми щодо передачі інформаційних повідомлень за допомогою мереж енергопостачання. Виконання та впровадження зазначеної концепції здійснюється в межах програми для забезпечення енергозбереження в Україні. Реалізація цієї державної програми забезпечує впровадження та використанням найсучасніших засобів, що здійснюють облік електричної енергії на наступних етапах: виробництва, транспортування енергії, розподілення, а також споживання.

Концепція держави щодо збереження електричної енергії базується не на обмеженні постачання енергоресурсів кінцевим споживачам, а на підвищенні ефективності під час застосування первинних енергоресурсів.. Для розвитку України необхідно застосовувати сучасний та ефективний енергетичний менеджмент та аудит. Зазначені дві складові є основними для забезпечення оптимального застосування енергетичних ресурсів. Енергетичний менеджмент є базою для здійснення керування під час споживання електричної енергії.

Для здійснення та реалізації збереження електричної енергії в державі необхідно впроваджувати реальні заходи в установах бюджетної сфери. Так, 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 впроваджувати та здійснювати моніторинг та менеджмент в енергетичній області в усіх установах бюджетної сфери. Тому розробка та дослідження електронної системи обліку інформації щодо споживання енергоресурсів є актуальною науково-технічною задачею.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення інформативності під час обліку споживання енергоресурсів завдяки розширенню функціональних можливостей електронної системи.

Для досягнення зазначеної мети в дослідженні представлені **такі задачі**:

- проаналізувати стан реалізації моніторингу споживання електричної енергії;
- розробити структуру електронної системи обліку та збору інформації щодо споживання електричної енергії;
- розробити принципову схему електронної системи обліку та збору інформації щодо споживання електричної енергії;
- розробити алгоритмічне забезпечення електронної системи обліку та збору інформації щодо споживання електричної енергії.

Об'єкт дослідження: процеси, що протікають у вимірювальних каналах електронної системи обліку та збору інформації щодо споживання електричної енергії.

Предмет дослідження: методи та засоби підвищення точності та інформативності засобів вимірювання потужності, що споживається від живлячої мережі змінного струму.

Методи дослідження базуються на положеннях теорії інформаційно-вимірювальних систем, теорії вірогідності та математичної статистики, теорії випадкових процесів, комп'ютерного моделювання, теорії планування наукового експерименту.

Наукова новизна одержаних результатів.

Розроблено структурно-алгоритмічну організацію електронної вимірювальної системи потужності, що споживається від живлячої мережі змінного струму, та алгоритми функціонування її підсистем.

Практичне значення одержаних результатів.

Розроблено основи методики інженерного проектування вимірювальних каналів електронної системи визначення потужності, що споживається, від живлячої мережі змінного струму.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати кваліфікаційної роботи магістра одержані автором самостійно. Автором особисто розроблено: структуру електронної системи обліку та збору

інформації щодо споживання електричної енергії, принципові схеми блоків та вузлів електронної системи; алгоритмічного та програмного забезпечення електронної системи вимірювання потужності електричної енергії, що споживається.

Апробація результатів роботи. Основні розділи роботи пройшли апробацію на наукових семінарах кафедри електронної техніки ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (м. Покровськ, 2019 – 2020 рр.).

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Структура випускної кваліфікаційної роботи магістра визначена загальною схемою наукового дослідження, метою досліджень та шляхами її реалізації. Випускна кваліфікаційна робота має в своєму складі вступ, чотири розділи, основні висновки та список використаних джерел. Загальний обсяг роботи містить 82 сторінки тексту, зокрема 73 сторінки основного тексту, 40 рисунків, 6 таблиць та список використаних джерел з 18 найменувань.

1 АНАЛІЗ І СТАН РЕАЛІЗАЦІЇ МОНІТОРИНГУ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

1.1 Аналіз функцій систем моніторингу обліку та споживання електричної енергії

Система, які здійснює облік і моніторинг електричної енергії забезпечую наступні функції:

- дистанційний збір інформації від пристроїв, які здійснюють інтелектуальних облік споживаної електричної енергії;
- передачу інформаційних повідомлень до особистого кабінету оператора;
- обробку інформації, а також її передачу до інформаційно-вимірювальних системи – ЖКГ, ІС, ГІС та ін.

Система вимірювального контролю споживання електроенергії забезпечує виконання достовірного обліку енергетичних ресурсів. Це дає можливість отримувати економічний ефект як організаціям, які здійснюють постачання енергії так і споживачам, які є кінцевими. Впровадження заходів, які дозволять підвищити ефективність обміну даними, спростить облік енергетичних ресурсів та підвищить її комерціалізацію, що зменшить вартість кінцевому споживачеві. Використання електронної системи дозволить здійснювати облік в автоматизованому режимі з високою точністю вимірювання, а також одержувати аналітичну інформацію. Застосування цієї інформації необхідно для забезпечення удосконалення існуючих і розробки нових програм енергозбереження, що дозволить підвищити ефективність енергетичної галузі держави.

Структурну схему системи обліку витрат електричної енергії наведено на рис. 1.1 [2, 3]. Вартість такого рішення є невеликою, також завдяки компактності застосуванню MESH-мереж [4] можна не використовувати кабелі.

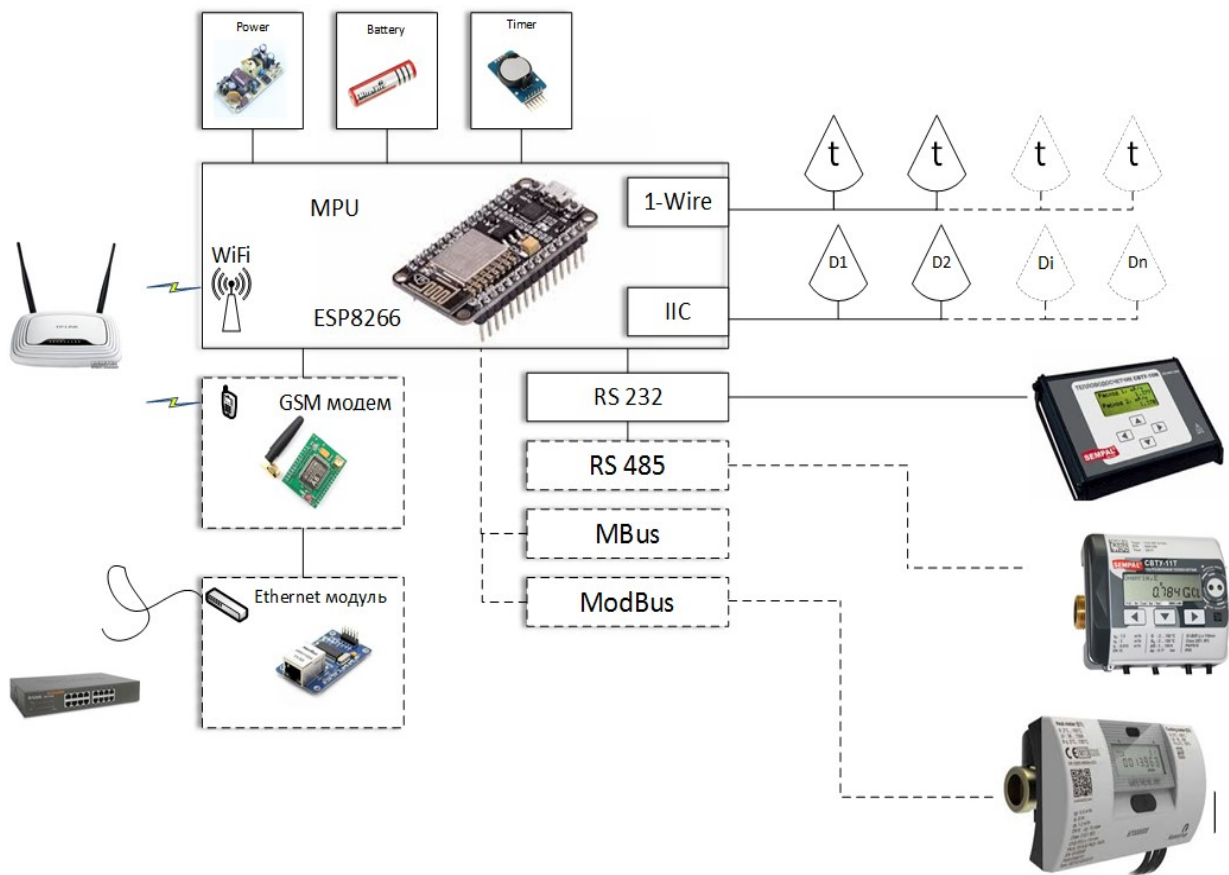


Рисунок 1.1 – Структурна схема автоматизованої системи обліку витрат енергетичних носіїв

У теперішній час застосовуються наступні сучасні систем [3]:

1. «АСЗД – автоматизована система збирання даних щодо споживання електроенергії». АСЗД встановлюється на пристрою обліку й реєстрації, що використовуються замовником. За точність роботи та функціонування відповідальність несе замовник.

2. «АСТОЕ – автоматизована системи технічного обліку електричної енергії». Система встановлюється на пристрої обліку. Ці пристрої мають регламентовані метрологічні характеристики та відповідають технічному завданню замовника. Система призначається для здійснення внутрішнього вимірювального контролю та аудиту щодо споживанням електроенергії.

3. «АСКОЕ – автоматизована система комерційного обліку електричної енергії». Система, яка здійснює облік, встановлюється у відповідності до вимог комерційного ринку електроенергії та організацій, що є поставником

електроенергії. Система призначена для здійснення комерційних розрахунків з підприємствами, які здійснюють продаж електроенергії.

4. «АІВСКОЕ – автоматизована інформаційно-вимірювальні системи комерційного обліку електричної енергії» застосовується на оптовому ринку електроенергії й потужності. Система відповідає всім вимогам і потребам оптового ринку електроенергії.

1.2 Методи та засоби вимірювального контролю витрат електроенергії

«Активна електрична потужність є корисною потужністю, що споживається навантаженням і перетворюються до енергії іншого виду: електричної, електромагнітної, теплової, механічної та ін.» [5]. Активну потужність визначають як осереднену за певний період сигналу в інтервал часу миттєвих значень вхідного напруги та струму (див. рис. 1.2). Одиницею вимірювання активної потужності є Вт.

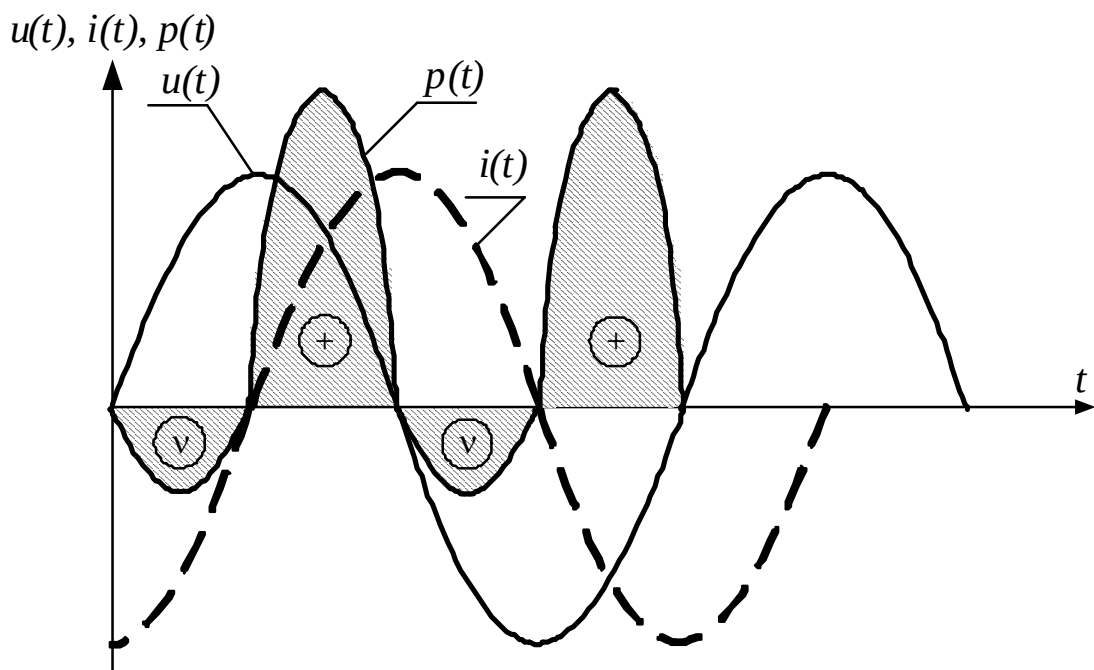


Рисунок 1.2 – Розрахунок активної потужності сигналу в інтервалі часу миттєвих значень вхідного напруги та струму

У колах змінного електричного струму значення повної електричної потужності складається з активної та реактивної складових. Реактивна складова потужності з'являється при дії ненульового зсуву фаз між струмом та напругою. Реактивна складова потужності спочатку споживається, після цього вона повертається за рахунок реактивним властивостям навантаження. У випускній кваліфікаційній роботі здійснюється розробка вимірювальної електронної системи тільки активної потужності.

Для здійснення вимірювання активної потужності в кожен момент часу визначається миттєві значення напруги та струму в вимірюваних електричних колах. Для вимірювання, яке відбувається в режимі on-line величин напруги та струму в теперішній час спроектовано та розроблено велику кількість датчиків напруги та струму. Максимального розповсюдження отримали датчик на основі дільника напруги, електронно-ізолюваний датчик та трансформаторний датчик. Кожен тип наведених вище датчиків має свої недоліки та переваги. Застосування датчика на основі дільника напруги є самим простим методом вимірювання величини напруги (див. рис. 1.3).

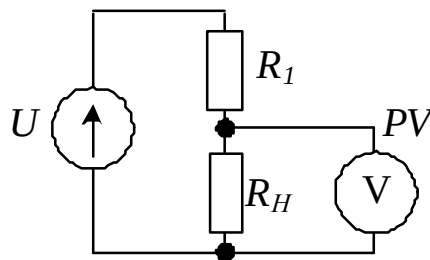


Рисунок 1.3 – Датки напруги на основі дільник

До переваг під час застосування датчика напруги на базі її дільника можна віднести:

- достатньо широкий діапазон зміни напруги та частоти, що забезпечуються номінальними значенням опорів резисторів;
- високе значення точності вимірювання;
- може здійснювати вимірювання постійного та змінного значення напруги.

До недоліків застосування датчиків на основі дільника напруги відносять:

- немає гальванічної розв'язки, якщо підключення здійснюється до промислової мережі необхідно забезпечити захист користувача від дії електричного кола або використовувати гальванічну розв'язку;
- низьке значення коефіцієнту корисної дії, значення струму дільника напруги перетворюється в теплову потужність.

Датчик напруги трансформаторного типу застосовується під час вимірювального контролю електричних високовольтних кіл, які мають діюче значення більше ніж 6 кВ.

Переваги датчика напруги трансформаторного типу :

- широкий значення зміни робочої напруги, що сягає більше ніж сто кіловольт;
- є гальванічна розв'язка.

Недоліки датчика напруги трансформаторного типу:

- використовується тільки під час вимірювання параметрів змінного струму;
- застосовується на деякій смузі частот.

Для вимірювання струму застосовують вимірювальний датчик струму трансформаторного типу, шунт з резисторів, датчик струму, який базується на ефекті Холла, котушку Роговського.

Шунт, який вимірює, є самим простим датчиком вимірювання струму. «При протіканні струму через активний опір, на ньому має місце падіння напруги, величина якого пропорційна значенню вимірюваного струму» [5]. «Під час отримання падіння напруги на резисторів виділяється потужність, як тепло, це є одним з основних недоліків описаного датчика » [5]. Якщо відбувається вимірювання великих значень струму застосовуються шунти, які мають низький омичний опір. Величина цього опору може сягати сотень мікроом. До основних переваг зазначеного датчика можна віднести: простота, можливість виконання вимірювання за постійним, а також змінним струмом; широкий діапазонне значення вимірювання струму та частоти.

Датчик на основі вимірювального трансформатора струму – це трансформатор, який має підключену до джерела струму первинну обмотку. До вторинної обмотки цього трансформатора підключається пристрій, що здійснює вимірювання. До основного недоліку датчиків на основі трансформатора струму можна віднести здатність здійснення вимірювати тільки за змінним струмом. Трансформатор може здійснювати вимірювання струму тільки на деякій частоті тому, що до складу трансформатора входить осердя з металу. Цю проблему можна вирішити при умові, якщо осердя видалено. Цей датчик має назву котушка Роговського або повітряний трансформатором. Схему включення котушки Роговського (повітряного трансформатора) наведено на рис. 1.4.

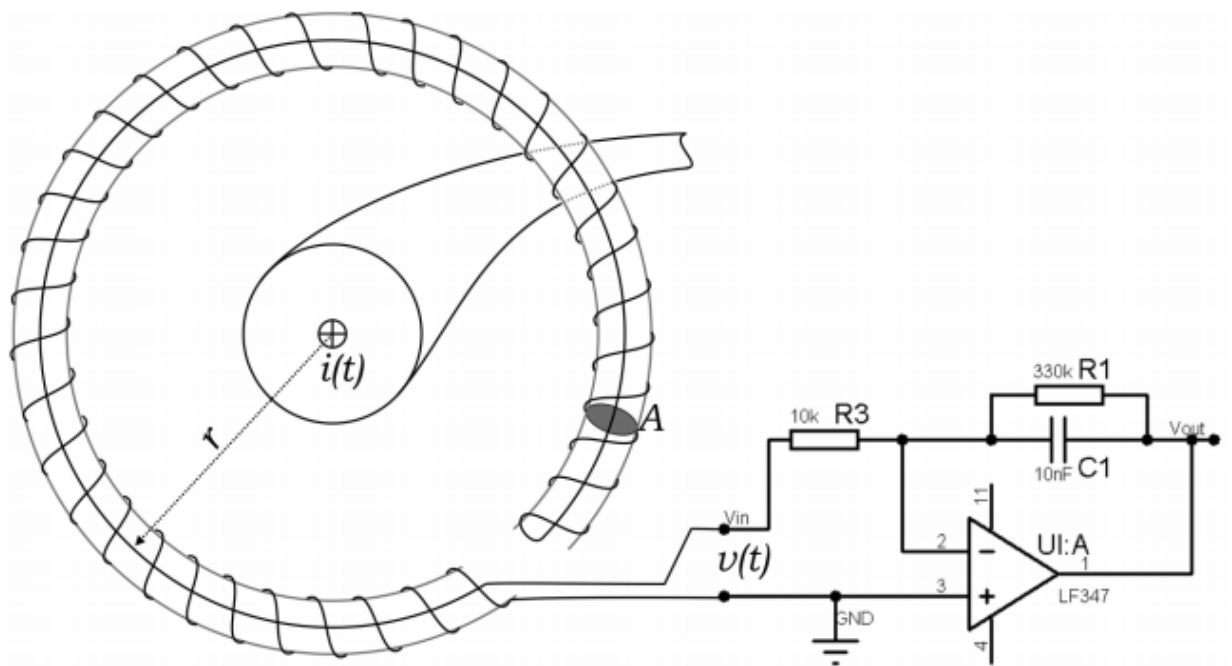


Рисунок 1.4 – Схема включення котушки Роговського
(повітряного трансформатора)

Котушка Роговського, яка на відміну від інших датчиків, що безпосередньо підключаються до контактів електричного кола, розташовується зверху від провідників у вигляді пояса.

До недоліків датчиків на основі трансформаторів струму можна віднести те, що ці трансформатори змінюють фазу сигналу, а це потребує наявності її

компенсації. Схемотехнічна компенсація ускладнює реалізацію зазначених систем, де використовуються ці датчики.

«Датчики струму, які основані на ефекті Холу, застосовують ефект під час дії якого виникає різниця потенціалів, що відбувається при приміщенні до магнітного поля провідника зі струмом» [6, 7]. Зазначені датчики застосовуються в пристроях вимірювання витрат електроенергії. Ці датчики мають високе значення чутливості до дії зовнішнього електромагнітного поля.

На всі зазначені датчики, крім резистивного шунта, істотно впливає дія магнітного поля.

1.3 Дискретизація сигналів під час розробки вимірювальної системи споживання електричної енергії

Під час вибору частоти опитування вихідних сигналів датчика використовують Котельникова-Шеннона. Для здійснення відновлення сигналу, який має максимальну частоту F , то необхідно здійснювати зчитування інформацію з частотою, величина якої більше $2F$ [8]. Для того, щоб отримати високу точність вимірювання необхідно здійснювати відновлення сигналу до двадцятої гармоніки від частоти промислової мережі. Для здійснення зчитування сигналу з частотою 50 Гц від промислової мережі вибирають значення частоти дискретизації більш ніж 2 кГц.

Під час обліку електроенергії в сучасних пристроях застосовуються спеціалізовані мікросхеми. Ці мікросхеми здійснюють приймання сигналів від перетворювачів струму та напруги. Також мікросхеми здійснюють множення цих сигналів та передачу інформацію щодо зміни потужності, яка вимірюється. Кількість даних мікросхем у теперішній час дуже велика, що дозволяє здійснити оптимальний за ціною та функціоналом варіант. Фірма ST Microelectronics виробляє більшість мікросхем цього типу. Одним з перших зразків такого типу мікросхем є ADE7755, яка виготовляється фірмою Analog Devices.

Перелік спеціалізованих сучасних мікросхем фірми «STMicroelectronics» наведено в табл. 1.1 [9].

Таблиця 1.1 – Спеціалізовані мікросхеми фірми «STMicroelectronics»

Назва	Величини, що вимірюється	Кількість вимірювальних каналів	Значення похибки вимірювання активної потужності, %	Інтерфейс, який використовується для зв'язку
STPM01	Потужність, миттєві значення напруги та струму	2	0,1	SPI
STPM11	Потужність (активна)			Імпульсний вихід
STPM11				
STPM13				
STPM14				
STPM33	Потужність, миттєві значення напруги та струму	3		SPI, UART
STPM34		4		

1.4 Постановка задачі на розробку електронної системи обліку інформації щодо споживання енергоресурсів

У теперішній час промисловістю виробляється дуже велика кількість пристроїв, які застосовуються для вимірювання витрат електричної енергії. Функції цих пристроїв виробниками постійно розширюються. До основних напрямків, що спрямовано на удосконалення пристроїв відносять: підвищення рівня надійності, зниження ризику розкрадання електроенергії, забезпечення віддаленого зв'язку з системою обліку інформацією завдяки застосуванню різних

інтерфейсів. Для здійснення дистанційного зчитування інформації з великої кількості пристроїв, що здійснюють вимірювання витрат електроенергії зазвичай застосовуються системи комерційного автоматичного обліку електричної енергії.

До основних функціональних можливостей, що забезпечується пристроєм збору та обліку інформації щодо споживання енергетичних ресурсів, відносять:

1. Для здійснення обліку тарифів, а також зберігання комплексної повної інформації забезпечується зберігання відліку дати та часу. Під час відсутнього зовнішнього живлення пристрій працює від літійового акумулятора.

2. Здійснюється зберігання значень активної та/або реактивної (залежить від функціонала) потужності після завершення кількох попередніх місяців, зазвичай кількість місяців дорівнює 12.

3. Зберігання значень активної та/або реактивної (залежить від функціонала) за деякою кількістю попередніх днів.

4. Здійснення запису та зберігання до пам'яті значень, що усереднено, потужності, які знаходяться в певному інтервалі, а також визначення тарифних зон доби, що здійснюється в поточному, а також за деякою кількістю попередніх місяців.

5. Забезпечення оперативне відключення навантаження, якщо перевищується поріг значення за потужністю та напругою.

6. Здійснення відключення від навантаження, якщо вплив магнітного поля, величина індукції якого більше 200 мТл, становить протягом 10 секунд.

7. Забезпечується запис інформаційних подій до журналу.

8. Здійснення можливості контролю витрати електричної енергії, якщо змінюється напрямок струму.

9. Забезпечується вимірювання миттєвих значень параметрів електроенергії та їх індикація:

- середньоквадратичного (с.к.о.) значення струму;
- с.к.о. значення напруги фази;
- активної та реактивної потужностей;
- коефіцієнта активної потужності.

10. У пристрої необхідною умовою є наявність оптичного виходу, до цього виходу надходять імпульси, кількість яких відповідає постійної лічильника.

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

12. Можливості здійснення програмування пристрою кінцевим споживачем.

13. Під час відсутності живлення є можливість забезпечувати індикацію. Якщо індикація вийшла з ладу, то інформація передається через оптичний порт.

Метою дослідження є підвищення обліку інформації щодо споживання енергоресурсів завдяки розширенню функціональних можливостей електронної системи.

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ТА ЗБОРУ ІНФОРМАЦІЇ ЩОДО СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

До складу електронної системи обліку та збору інформації щодо споживання електричної енергії входить пристрій узгодження, перетворювач потужності на базі мікросхеми інтегральної типу ADE7751 [10], мікроконтролер PIC16F87X, джерело опорного живлення та ЕСМ. Структурну схему електронної системи вимірювання потужності наведено на рис. 2.1, де позначено: ПУ – пристрій узгодження; ППМ – приймач-передавач мережевий; БЖ – блок живлення; РМО – робоче місце оператора; ЦДП – центральний пункт диспетчера.

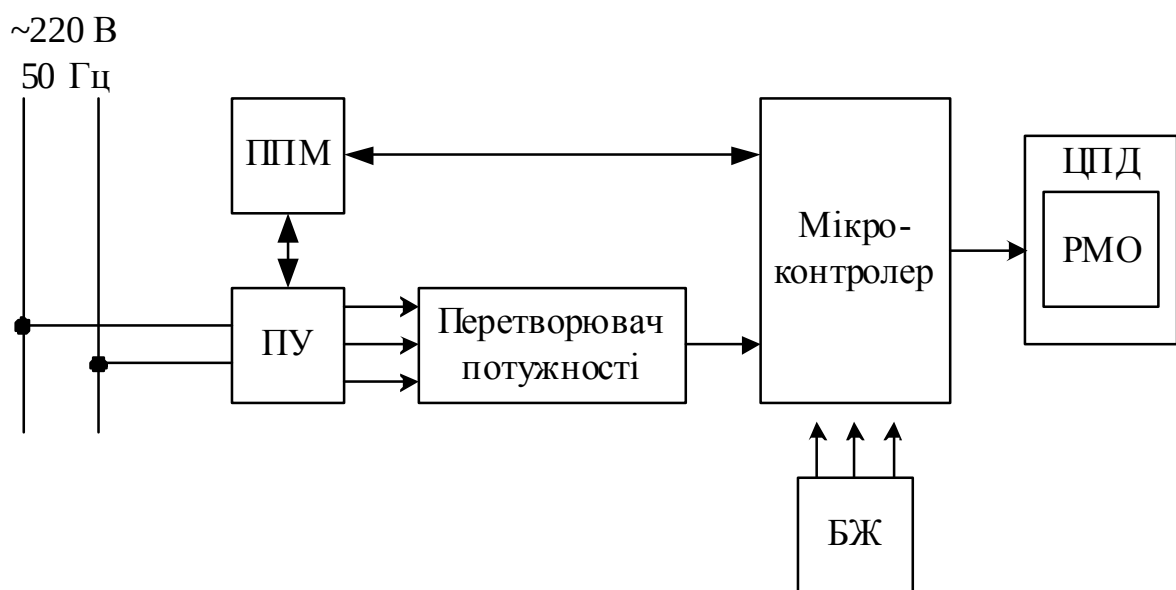


Рисунок 2.1– Структурна схема електронної системи вимірювання потужності

Величина потужності, що розсіюється на навантаженні кола змінного струму, визначається за співвідношенням:

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

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

Величина повної потужності визначається як геометрична сума активної та реактивної складової потужності:

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

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

де φ – фазовий зсув між напругою й струмом.

Потужність P_a розсіюється на активній частині навантаження, яка споживає енергію, а P_p – на реактивній, а саме на ємнісний та індуктивний частині. Якщо має місце реактивна потужність, то величина кута зсуву фаз знаходиться в межах від -90° до 90° . Негативні значення кута відповідають ємнісному характеру навантаження, а позитивні – індуктивному характеру навантаження.

У деяких випадках значення струму навантаження має негативний вид, під час цього навантаження стає джерелом енергії. Наприклад, електродвигун під час дії певних умов використовується як електрогенератор. Для негативного типу навантаження величина кута зсуву фаз може змінюватися в діапазоні від 90° до 270° , де 270° відповідає величині кута -90° .

Під час множення функцій напруги

$$u(t) = U_m \cdot \cos \omega t$$

і струму

$$i(t) = I_m \cdot \cos(\omega t - \varphi)$$

отримують формулу для розрахунку активної потужності

$$p_a(t) = P_a + P_m \cdot \cos(2\omega t - \varphi), \quad (2.4)$$

що містить функції P_a (2.2) та змінної складової, яка має подвоєну частоту. Так як і миттєву напругу $u(t)$ та струм $i(t)$, потужність $p_a(t)$ називають миттєвою, а P_a є середньою активною потужністю.

У відповідності до формули (2.4), визначають P_a за допомогою вимірювальних інтегральних мікросхем завдяки множенню функцій, які представлено у вигляді електричних сигналів від датчиків. Після цього здійснюють низькочастотну фільтрацію змінної складової. Потім виконується інтегрування та отримують значення енергії споживання (Вт/годину). Інтегратор може бути зовнішнім, також підключається до мікросхеми електромеханічний індикатор, який має кроковий двигун. Живлення цього двигуна здійснюється імпульсами з виходу інтегральної мікросхеми. Частота цих імпульсів пропорційна величині активної потужності P_a .

Для здійснення вимірювання величини реактивної потужності вводиться додатковий фазовий зсув 90° між напругою та струмом. Також під час вимірювання величини реактивної потужності здійснюється множення функції напруги та струму з додатковим фазовим зсувом 90° . Потім отримують функцію реактивної потужності, а саме її миттєве значення $p_p(t)$, потім отриману функцію $p_p(t)$ фільтрують та одержують отримують величину P_p , значення якої пропорційно середньої реактивної потужності.

Величина похибки вимірювання потужності визначається такими складовими:

- від нестабільності джерела опорного живлення;
- АЦП;
- коефіцієнта підсилення підсилювача;
- фазового зсуву між каналами.

Похибка від нестабільності джерела опорного живлення інтегральної мікросхеми типу ADE7751. Для визначення впливу зміни напруги джерела живлення на величину вимірювання потужності інтегральної мікросхеми типу

ADE7751 необхідно підключитися до зовнішнього джерела опорної напруги з номінальним значенням 5 В. Після підключення до джерела опорної напруги вводиться перешкода на частоті 100 Гц, середньоквадратичне значення якої дорівнює 200 мВ. З такими параметрами виконуються вимірювання величини потужності на виході інтегральної мікросхеми типу ADE7751 за рівнем вхідного сигналу. На рис. 2.2 наведено зміну похибки вимірювання (в %) від струму.

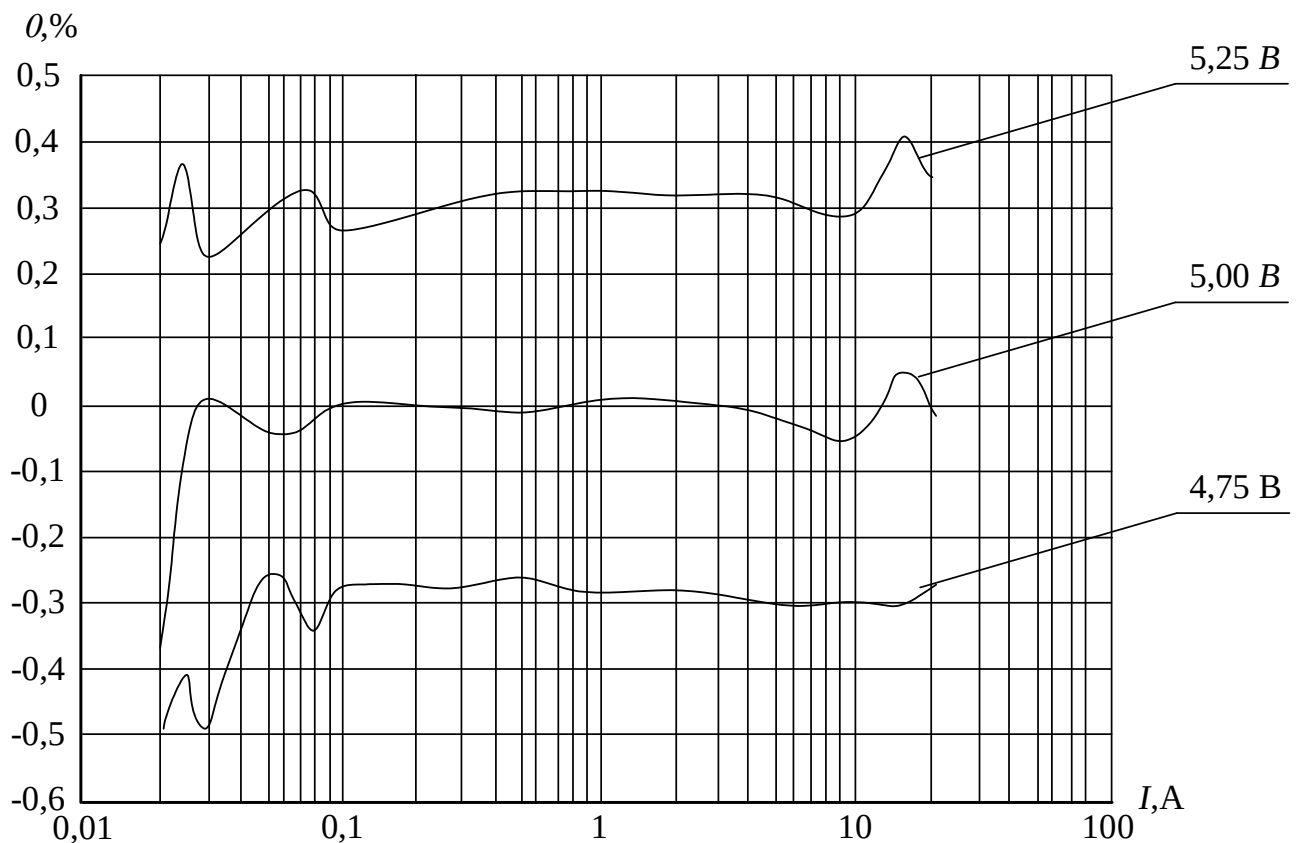


Рисунок 2.2 – Зміна величини похибки від нестабільності джерела опорної напруги

Після здійснення вимірювання під час дії номінальної напруги живлення 5 В, значення напруги може бути змінено в діапазоні $\pm 5\%$. Ці вимірювання виконують на виході мікросхеми типу ADE7751 з тим самим рівнем вхідного сигналу. З аналізу наведеної залежності можна зробити висновок, що величина похибки вимірювання від зміни нестабільності джерела живлення складає 0,2% під час зміни величини струму одиниці мА.

Похибка АЦП обумовлена від дії величини постійної напруги зсуву, яку приведено до входу АЦП. Якщо замкнути аналоговий вхід АЦП, то на його виході буде значення цифрового сигналу, величина цього значення пропорційна напрузі зсуву. Під час підключення до входу АЦП фільтра високої частоти величина постійної складової напруги зсуву зменшується. У результат визначення потужності зазначена похибка вносить дуже незначних вклад.

Величина похибки підсилення інтегральною мікросхемою типу ADE7751 визначається як різниця між сигналом, на виході з частотою без зсуву та з частотою вихідним сигналом у ідеальному випадку. Розкид значення вихідної частоти становить 0,1% від номінальної величини.

Під час підключення фільтра високої частоти до АЦП утворюється фазовий зсув, який випереджає. Для забезпечення зсуву цього сигналу за фазою, а також необхідної рівності затримки за фазами між двома каналами застосовується схема фазової корекції. Наявність зазначеної схеми забезпечує зсув фаз сигналів в діапазоні $\pm 0,1^\circ$ для частот від 45 Гц до 65 Гц, а також $\pm 0,2^\circ$ – від 40 Гц до 1 кГц. Ефект впливу напруги зсуву на результат визначення активної потужності наведено на рис. 2.3.

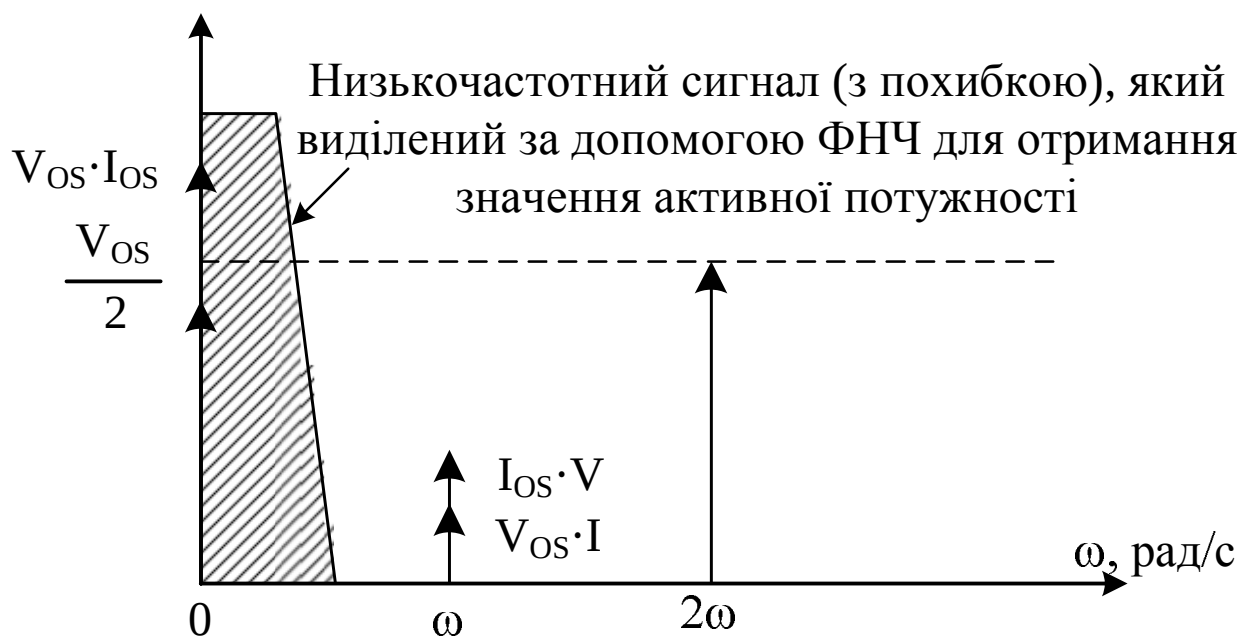


Рисунок 2.3 – Виділення низькочастотного сигналу за допомогою фільтра низької частоти

З аналізу рис. 2.3 можна зробити висновок, що наявність напруги зсуву в каналах напруги та струму призводить до того, що в результаті множення двох сигналів з'явиться постійна складова. Постійна складова виділяється фільтром низької частоти (ФНЧ). Ця складова застосовується для розрахунку величини потужності в кожній фазі. Зсув вносить постійну складову похибку до результату розрахунку енергії. Вплив цієї складової усувається завдяки використанню фільтра високої частоти в вимірювальному каналі струму. Після усунення постійної складової з одного каналу, величина похибки обумовленої цією складовою зникає після перемноження сигналів. Значення похибки виду $\cos \omega t$ усувається або за допомогою введення фільтра низької частоти, або під час здійснення перетворення цифрового сигналу до частоти. Інтегральна мікросхема типу ADE7751 забезпечує зсув фаз в діапазоні частот від 40 Гц до 1 кГц. Коректне співвідношення фаз є дуже важливим під час застосування в вимірювальних системах потужності. Якщо буде мати місце порушення співвідношення фаз між вимірювальними каналами, то це призведе до виникнення значної величини похибки вимірювання під час дії низьких значень коефіцієнта потужності. На рис. 2.4 наведено форми напруги та струму під час дії індуктивного навантаження. У наведеному прикладі струм відстає від напруги на 60° (величини коефіцієнта потужності дорівнює $P_F = -0,5$). Якщо струм та напруга мають синусоїдальну форму, то величина потужності дорівнює:

$$V_{\text{rms}} \cdot I_{\text{rms}} \cdot \cos(60^\circ),$$

індекс rms позначає середньоквадратичне значення.

Якщо виникає похибка зсуву фази (φ) завдяки дії зовнішнім колам, то величина сумарної похибка розраховується за формулою:

$$\frac{\cos(\delta^\circ) - \cos(\delta^\circ + \varphi_e)}{\cos(\delta^\circ)} \cdot 100 \%,$$

де δ – фазовий кут між напругою та струмом; φ_e – зовнішня похибка, обумовлена зсувом фази.

Якщо величина похибки зсуву фази дорівнює $0,2^\circ$ та коефіцієнті потужності $P_F = 0,5$ (60°), то сумарна похибка складе величину $0,6\%$. Отже, якщо наявність дуже невеликої фазової похибки призводить до виникнення значної величини похибки вимірювання під час дії низького значення коефіцієнта потужності.

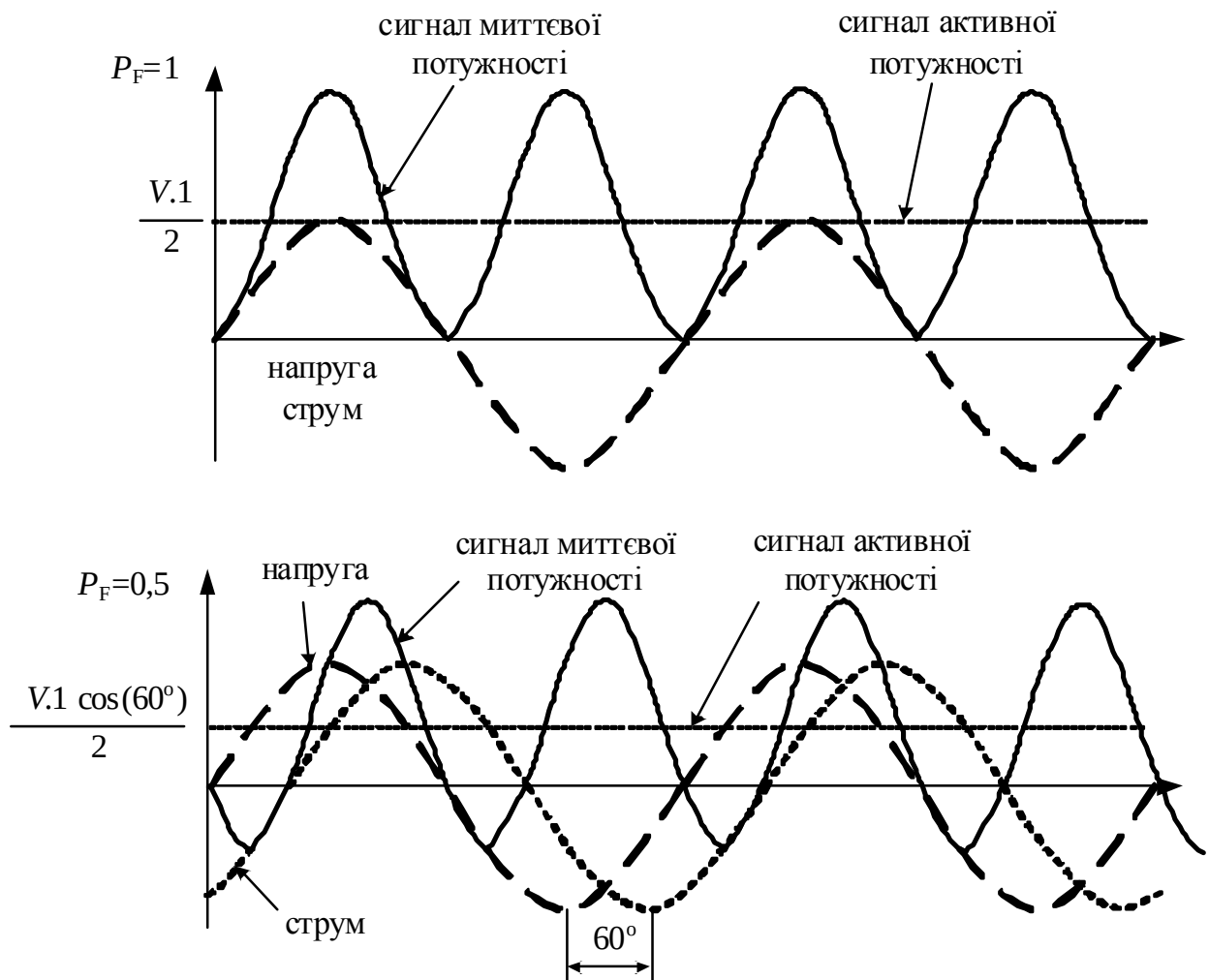


Рисунок 2.4 – Діаграми сигналів напруги та струму під час дії індуктивного навантаження

Одним з можливих джерел виникнення зовнішньої фазової похибки є наявність антиаліасингового фільтра на входах каналів вимірювальних каналів напруги та струму. Цей пристрій є фільтром низької частоти, який

підключається до входу аналого-цифрового перетворювача. Фільтр необхідний для запобігання можливим спотворенням, що пов'язано з накладенням спектра під час здійснення аналогово-цифрового перетворення. Ефект накладення спектра (aliasing), який може призвести до появи похибки під час роботи перетворювача потужності, на базі інтегральної мікросхеми типу ADE7751, наведено на рис. 2.5.

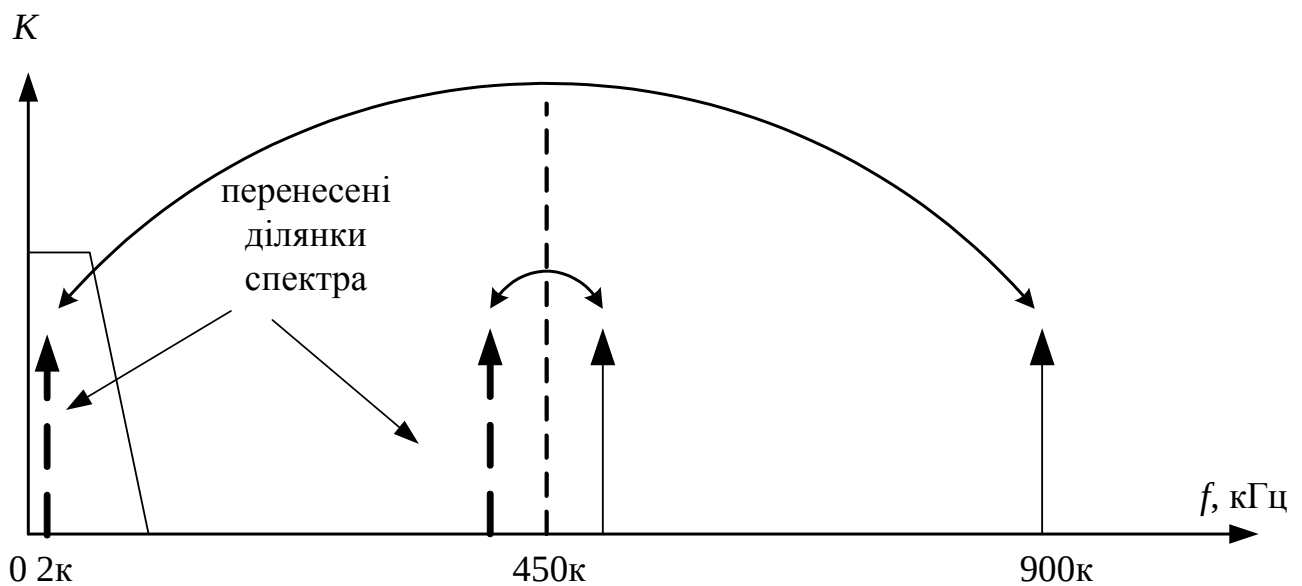


Рисунок 2.5 – Ефект накладення спектра (aliasing)

Мікросхема типу ADE7751 має в своєму складі шість сигма-дельта АЦП для здійснення перетворення в цифровий формат сигналів напруги та струму. У сигма-дельта АЦП високе значення частоти дискретизації, величина якої складає 900 кГц. На рис. 2.5 наведено, яким чином частотні складові (див. рис. 2.5 – чорні стрілки), що мають частоту вище, ніж половина частоти дискретизації (відомі, як частота Найквіста), тобто 450 кГц, відображаються (або переносяться) до нижньої частини спектра щодо частоти 450 кГц (на рис. 2.5 наведено пунктирними стрілками). Ефект аліасингу має місце в будь-якому аналогово-цифровому перетворювачі, це не залежить від архітектури АЦП. Тільки складові спектра з частотами, які близькі до частоти дискретизації (900 кГц), будуть переміщені до смуги частот від 0 до 2 кГц. Це дозволяє

застосувати простий фільтр низької частоти для придушення високочастотних складових (900 кГц).

Найпростіший тип ФНЧ – це просте RC-коло. Цей фільтр є однополюсним зі спадом -20 dBs/декаду. Крім АЧХ, всі фільтри мають ФЧХ. На рис. 2.6 та 2.7 наведено АЧХ і ФЧХ простого RC-фільтра ($R = 1$ кОм, $C = 0,033$ мкФ).

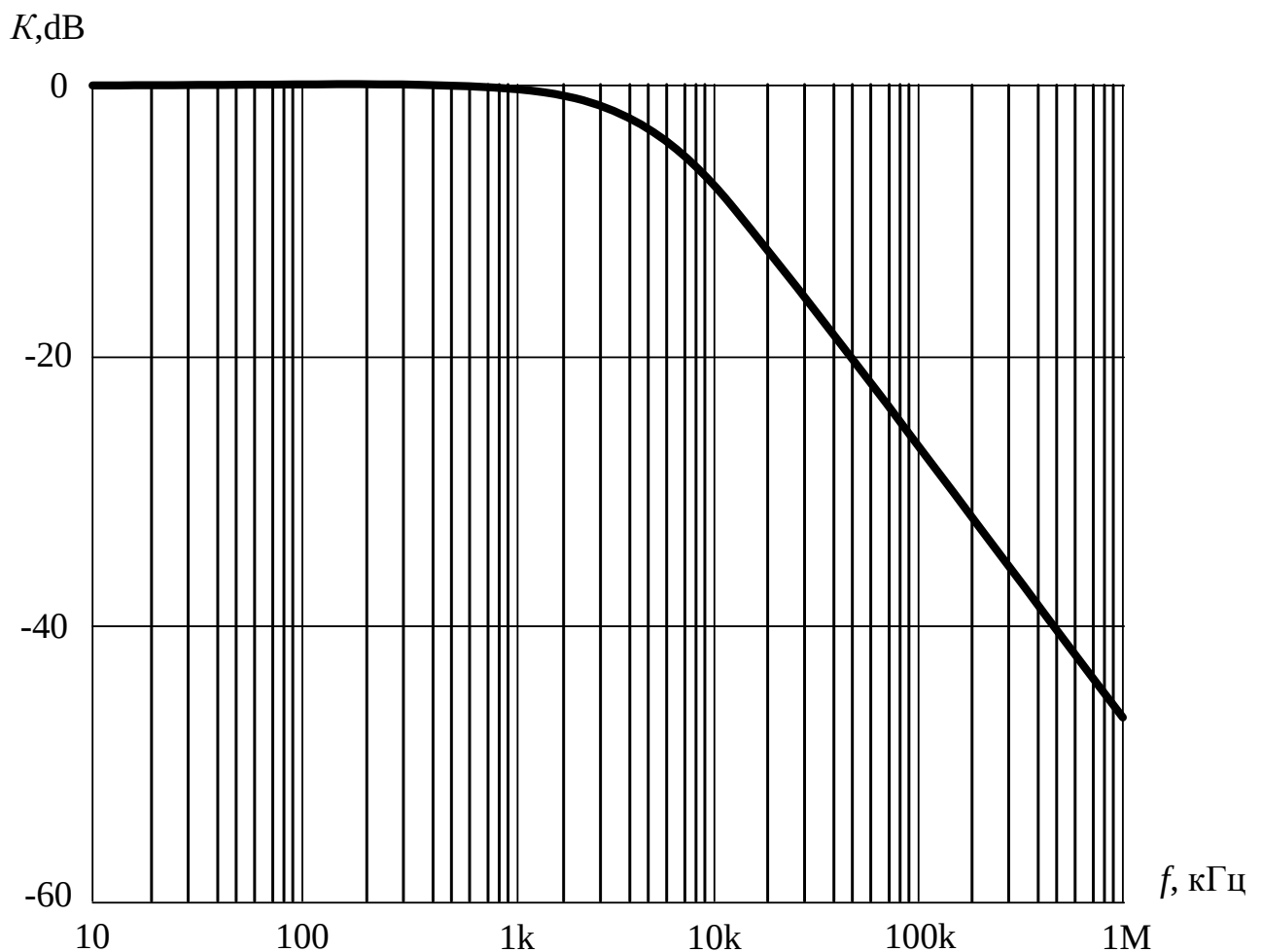


Рисунок 2.6 – Амплітудно-частотна характеристика RC – фільтра

З аналізу представлених залежностей (див. рис. 2.6 та рис. 2.7) можна зробити висновок, що придушення на частоті 900 кГц для цього ФНЧ більше ніж 40 dBs. Цієї величини достатньо, щоб надійно уникнути виникнення ефектів аліасінгу.

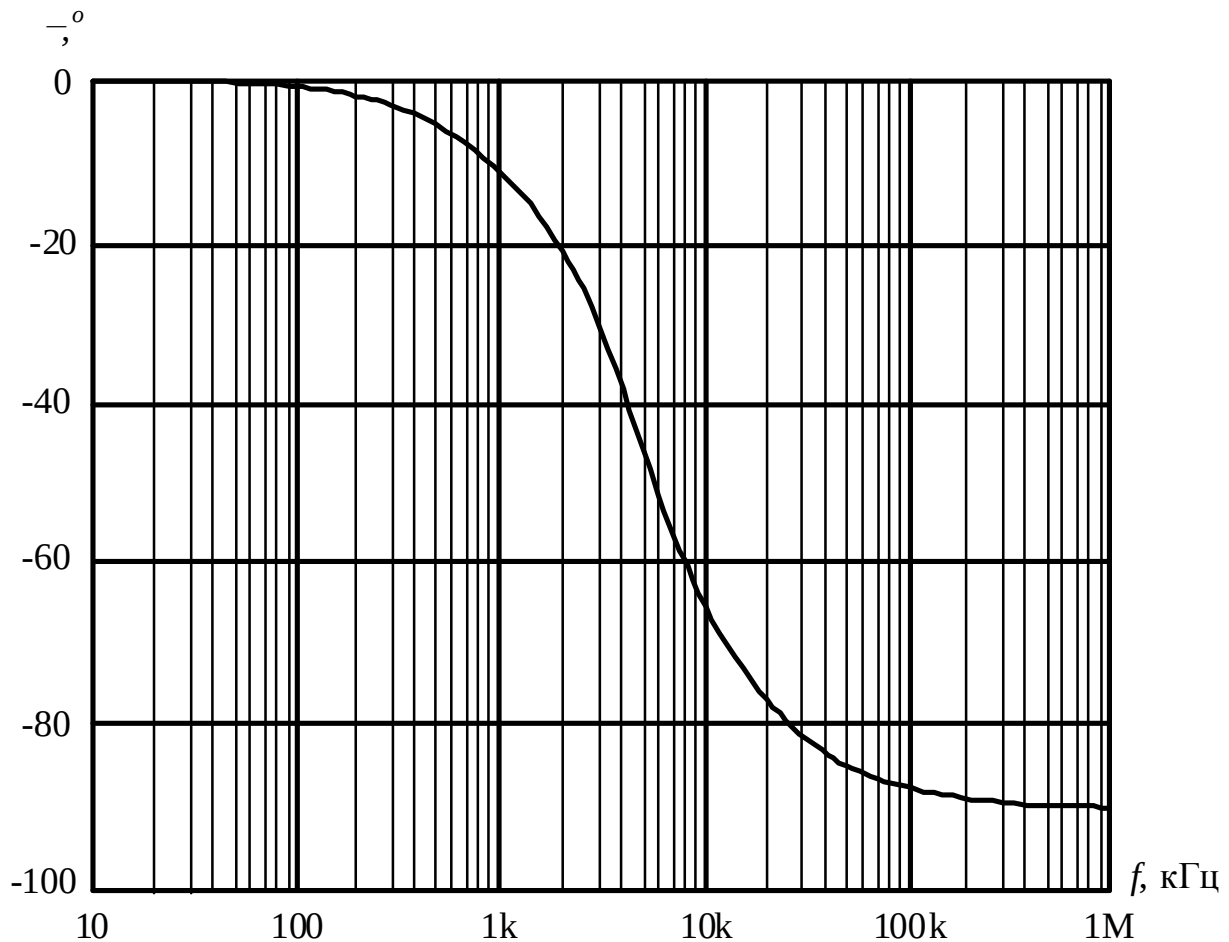


Рисунок 2.7 – Фазочастотна характеристика RC – фільтра

Наявність фазового зсуву може призвести до виникнення значної похибки, тобто якщо фазочастотні характеристики ФНЧ вимірювальних каналів струму та напруги не збігаються. Розбіжності в фазових характеристиках може виникати через невисоку точність допусків номіналів електронних компонентів фільтрів низької частоти. Чим менше частота зрізу ФНЧ (частота визначається на рівні -3 dB), тим більше впливає цей фактор на основній частоті сигналу. Якщо частота зрізу фільтра складає $4,8$ кГц ($R = 1$ кОм, $C = 0,033$ мкФ), то фазова похибка, яку обумовлено розбіжністю значень номіналів електронних компонентів, може мати велике значення. Фазочастотну характеристику ФНЧ на частоті 50 Гц для номінальних значень електронних компонентів та їх зміни: $R = 1 \text{ кОм} \pm 10\%$, $C = 0,033 \text{ мкФ} \pm 10\%$ наведено на рис. 2.8.

Під час аналізу отриманої залежності встановлено, що розкид зсуву фази

складає 0,10, що відповідає величині похибки вимірювання потужності:

$$\frac{\cos(0,1) - \cos(0,1 + \varphi_e)}{\cos(0,1)} \cdot 100 \% = 0,3 \%$$

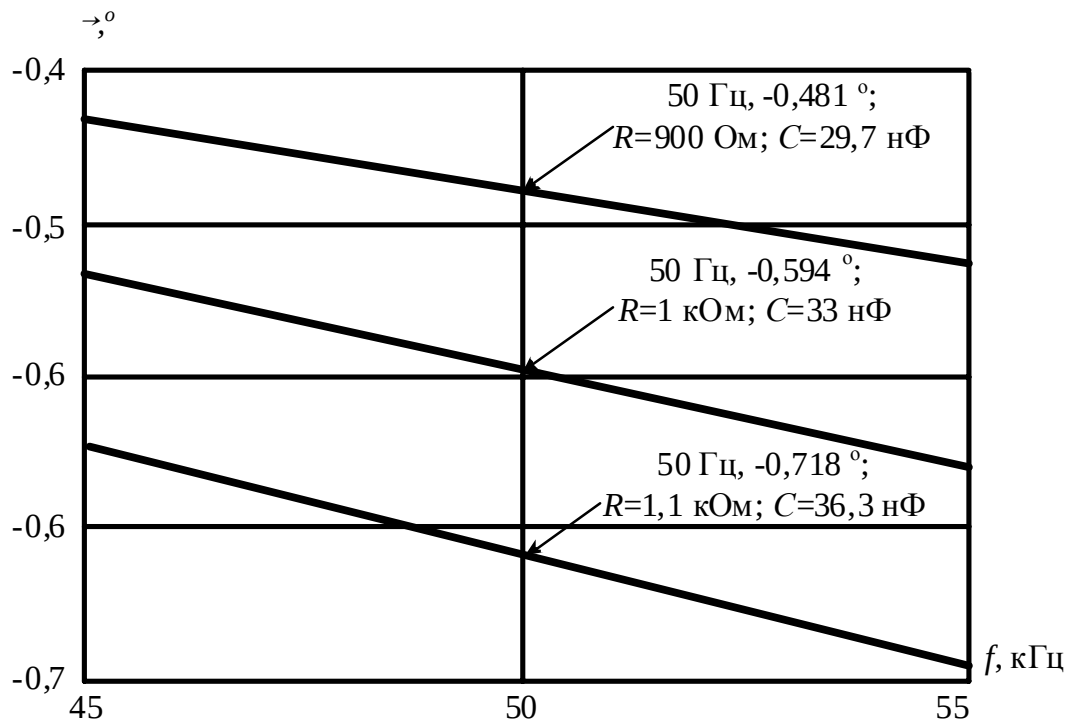


Рисунок 2.8 – Залежність зсуву фази від розкиду значень номіналів електронних компонентів схеми ФНЧ

Під час розробки ФНЧ застосовано резистори з допуском 1 % та конденсатори – 10%, це дозволяє уникнути можливих проблем, що пов'язано з розбіжністю фаз сигналів. У іншому варіанті частоту зрізу можна відсунути до (10 – 15) кГц. Проте, значення частоти зрізу не можна вибирати занадто великою тому, що фільтр припинить виконувати свою основну функцію – придушувати високочастотні складові сигналу. Це призведе до появи шумів.

Величина сумарної похибки під час вимірювання потужності: похибка від нестабільності живлення + похибка підсилення сигналу + похибка зсуву фази між каналами = 0,2% + 0,1% + 0,3% = 0,6% ≈ 1% , що відповідає 1 класу точності вимірювальних пристроїв і систем.

3 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ТА ЗБОРУ ІНФОРМАЦІЇ ЩОДО СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

3.1 Синтез принципової схеми електронної вимірювальної системи

Вимірювання потужності здійснюється опосередкованим методом, завдяки визначенню струму та потужності. Отримані значення перетворюються до цифрової форми. Значення частоти дискретизації дорівнює 4000 Гц ($T=250$ мкс). Миттєве значення активної потужності, що споживається, розраховується під час множення вимірювальних значень струму та напруги.

Для формування зв'язку з ППМ, а також подальше об'єднання розроблених вимірювачів потужності до локальної мережі, необхідно в складі вимірювача застосувати інтерфейс «струмова петля». Інтерфейс складається з оптронної пари приймач-передавач, які включено послідовно. Для підвищення стійкості роботи інтерфейсу виконується обмеження величини струму на рівні 10 мА, що протікає в «струмовій петлі». У кожного вимірювача є індивідуальна мережева адреса, ініціалізація якої здійснюється нулем. Адреса може бути перевизначена будь-яким необхідним значенням.

Обмін інформаційними повідомленням здійснюється між вимірювачем та персональним комп'ютером в пакетному режимі з принципом побудови «команда-відповідь». Цей інтерфейс має наступні параметри:

- режим передачі – 8 біт, який має перевірку на непарність, а також 1 стоп-біт, який має молодші біти спочатку;
- швидкість передачі складає 992 бод (біт/с);
- спосіб передачі інформації – двійковий побайтовий, у якому команди мають декілька полів, що передаються послідовно без розриву в часі.

Розроблений вимірювач завжди є веденим, цей пристрій не здійснює передачу інформацію до каналу без попереднього запиту від персонального

комп'ютера, що здійснює керування.

Персональний комп'ютер здійснює передачу запитів адреси до вимірювача, що здійснюється у вигляді двійкових послідовностей байтів. У відповідь на ці послідовності вимірювач надсилає двійкові послідовності байтів. Кількість байтів відповіді та запиту не є величиною фіксованою. Ця кількість залежить від характеру стану та запиту вимірювального пристрою. Байти в цих послідовностях йдуть послідовно один за іншим, у них відсутні розриви у часі. Після біта стопа попереднього байта йде старт біт наступного байта, якщо він є. Після завершення бітової послідовності або кадру присутній тайм-аут. Довжина тайм-ауту залежить від швидкості, його величина дорівнює часу передачі та становить від 6 до 7 байт. Це відповідає 20 мс для значення швидкості 2400 Бод;

Відповідь та запит від вимірювача не можуть надходити раніше ніж тайм-ауту, що має місце після завершення попереднього запиту. Початок запиту та відповіді відповідають байта адреси в мережі, а закінчення має місце для двох байтів контрольної суми CRC. Послідовно навантаженню споживача підключається шунт, який застосовується для перетворення величини струму до пропорційної напруги. Характеристика передачі шунт є лінійною в межах зміни від одиниць мА до 100 А.

До інтегральної мікросхеми типу AD7751 підключаються два датчика струму, один з яких підключається до фазного проводу навантаження, а інший датчик підключений до нейтрального проводу. Схема підключення датчиків до перетворювача типу AD7751 наведено на рис. 3.1.

Вхідні підсилювачі каналу вимірювання струму («Датчик І») мають чотири значення для коефіцієнта підсилення за струмом $K_I = 1, 2, 8 \text{ і } 16$. Зазначені величини коефіцієнтів відповідають значенням максимальної вхідної напруги $\pm 660, \pm 330, \pm 82 \text{ і } \pm 41 \text{ мВ}$. Значення максимальної вхідної напруги каналу вимірювання «Датчик U» дорівнює $\pm 660 \text{ мВ}$. Інтегральна мікросхема типу ADE7751 має вихідний сигнал F_1/F_2 , величина якого пропорційна значенню активної потужності. Значення високочастотного вихідного сигналу

CF теж пропорційно активної потужності, що споживається, але в цьому сигналі є залишкові пульсації, які мають місце на частоті 100 Гц. Зазначені пульсації є на виході фільтру низької частоти, що підключений після перемножувача.

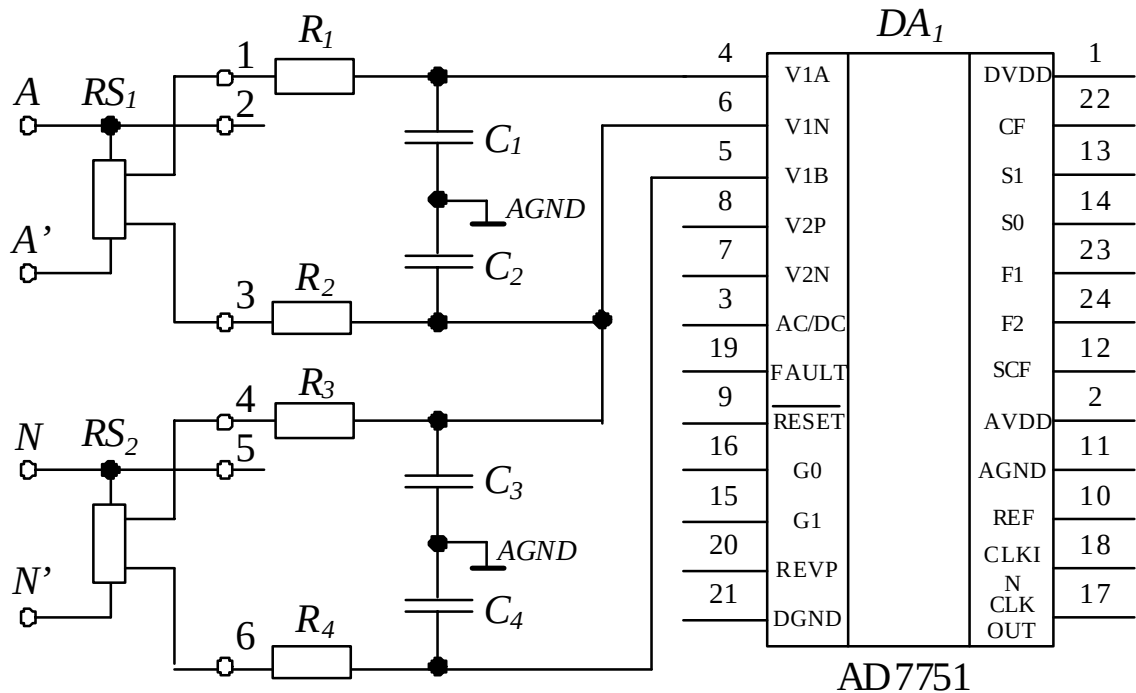


Рисунок 3.1 – Схема підключення датчиків до перетворювача типу AD7751

Схему живлення від промислової мережі, яку реалізовано на конденсаторах C_5, C_6 та діодах VD_1 та VD_2 , наведено на рис. 3.2.

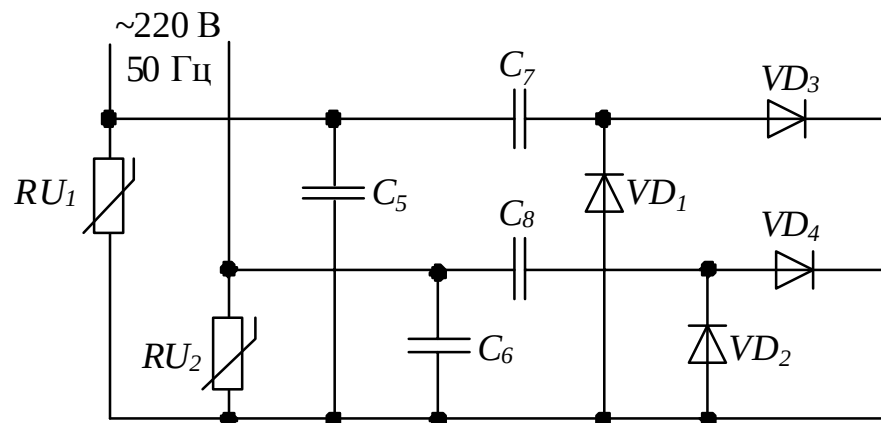


Рисунок 3.2 – Схема живлення від промислової мережі

На рис. 3.3 наведено схему електричну принципову стабілізованого джерела живлення, яка є гальванічно-ізолюваною. Для забезпечення стабілізації величини напруги 5 В, а також живлення вимірювача використано мікросхему DA_2 . До складу джерела живлення, яке є стабілізованим, входять конденсатори $C_{11} - C_{22}$ та діоди $VD_2 - VD_4$.

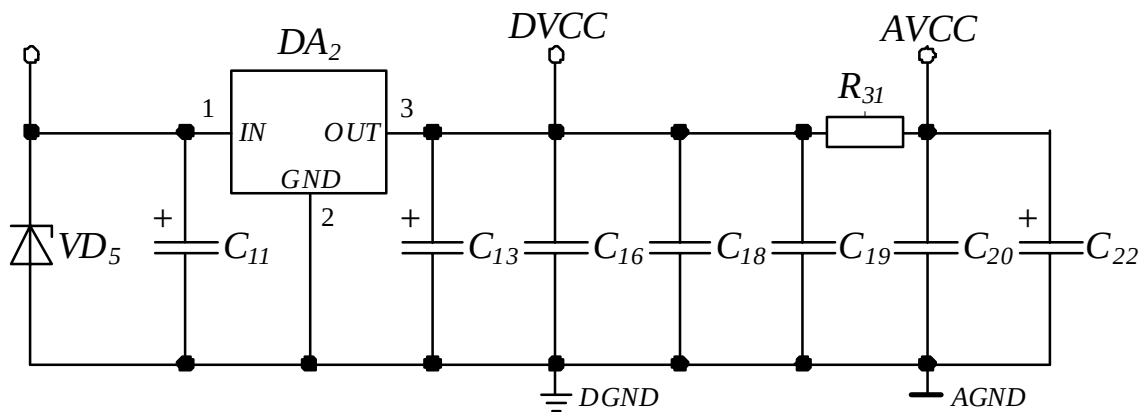


Рисунок 3.3 – Схема електрична принципова стабілізованого джерела живлення, яке є гальванічно-ізолюваним

Схему електричну принципову схему підключення резонатора кварцового ZQ_2 до мікроконтролера типу PIC16F76(DD₃) наведено на рис. 3.4. На рис. 3.5 наведено схему електричну принципову сторожового таймера, що реалізовано на інтегральній мікросхемі типу IN1705D(DD₁) та резисторах $R_{23} - R_{24}$. Мікросхема типу IN1705D [12] застосовується для контролю напруги живлення 5 В, а також здійснює генерування сигналів, що здійснюють скидання мікроконтролерів.

Під час виявлення падіння напруги в контрольній точці на виході мікросхеми типу IN1705D формується імпульс. Цей імпульс має активний низький рівень, мінімальна тривалість якого становить 200 мкс. Значення напруги від первинного джерела живлення повинно бути менше напруги протягом 5 мкс в контрольній точці, перед початком формування імпульсу. Для запобігання помилковим перериванням необхідно усунути шум, який має місце в сигналі напруги джерела живлення.

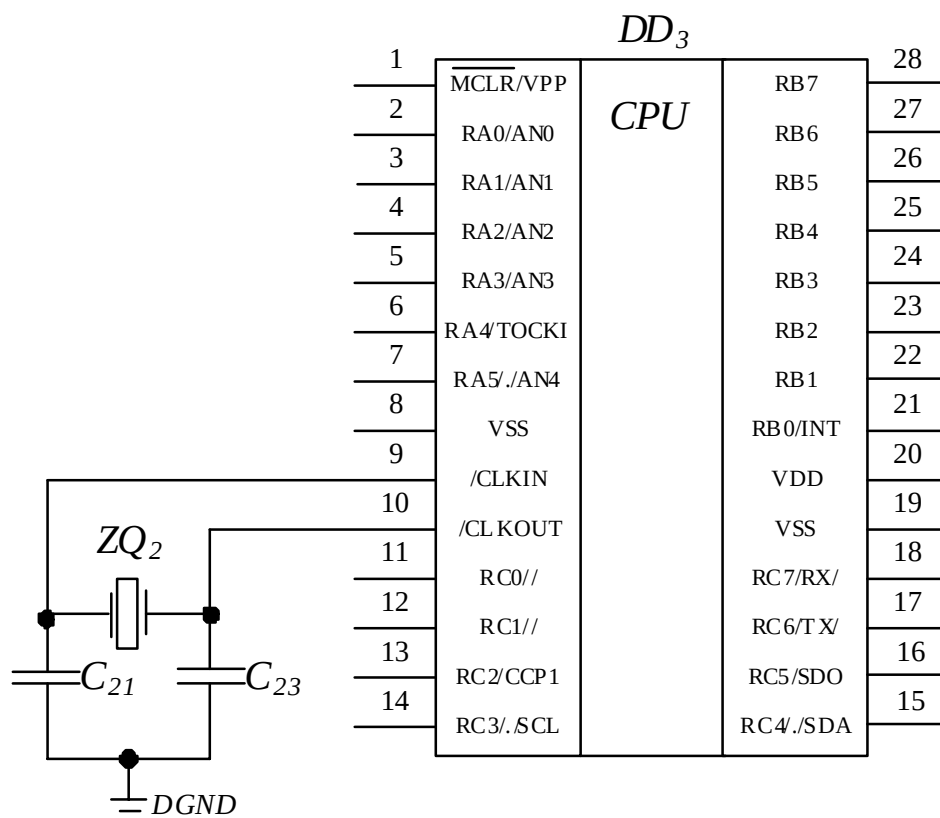


Рисунок 3.4 – Схема електрична принципова підключення резонатора кварцового ZQ_2 до мікроконтролера типу PIC16F76

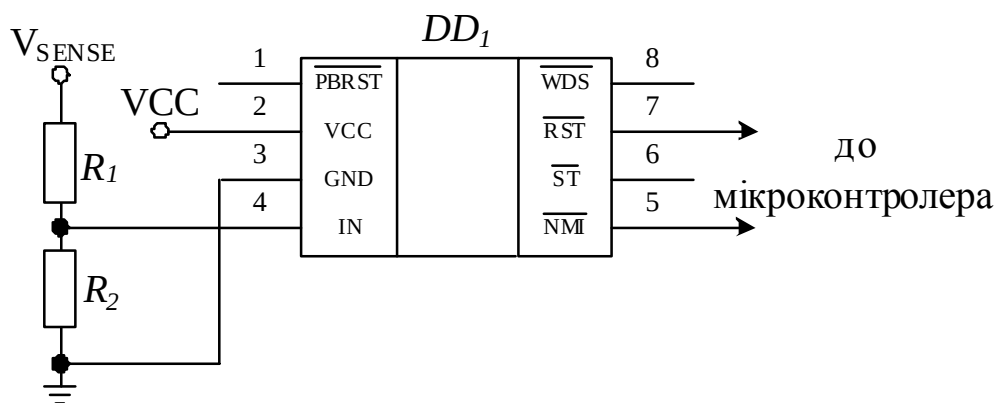


Рисунок 3.5 – Схема електрична принципова сторожового таймера

3.2 Розрахунок блоків схеми електричної принципової вимірювача

Для забезпечення нормального режиму роботи перетворювача потужності на базі інтегральної мікросхеми типу ADE7751 необхідно здійснювати перетворення сигналу струму до величини пропорційної напруги. Це здійснюється за допомогою шунта. Сигнал вихідної напруги знімається з дільника. Вихідний сигнал напруги з перетворювачів струму передається до входів вимірювальних каналів струму перетворювача потужності на базі мікросхеми типу ADE7751. У зазначених входних каналах струму вхід диференційний. Входи струму V1A та напруги V1B є позитивними, а входи струму V1N і напруги VCN – негативні (інвертуючи). Максимальне амплітудне значення піка диференціального сигналу, який подається до входу каналу V1, повинно бути не більше ± 660 мВ. Якщо умова забезпечується, то параметри цього перетворювача відповідають опису технічної документації [10].

Канал V1 має коефіцієнт підсилення, який програмується за допомогою PGA. Під час програмування вибирається коефіцієнта підсилення з наступного ряду значень: 1, 2, 8 або 16. Це дозволяє забезпечити обмін інформацією за допомогою інтерфейсу між перетворювачами потужності на базі інтегральної мікросхеми типу ADE7751 та струму більш простим способом.

Максимальна допустима величина диференціальної напруги між V1A (V1B) та V1N становить ± 660 мВ. Диференціальний сигнал напруги подається на входи відносно AGND. Максимальна допустима величина синфазного сигналу становить ± 100 мВ.

Від перетворювача мережевої напруги здійснюється передача аналогових сигналів напруги до входів перетворювача потужності на базі інтегральної мікросхеми типу ADE7751. Вхід V2P є позитивним по відношенню до V2N (негативного входу). Максимальний значення піку напруги диференціального сигналу, яке подається до входу каналу, не перевищує ± 600 мВ, це забезпечує номінальний режим роботи перетворювача потужності на основі інтегральної

мікросхеми типу ADE7751 [10].

Сигнал напруги диференціальний подається до входу каналу, напруга подається відносно AGND. Значення синфазної напруги, яке подається до входу каналу V2, не повинно перевищувати 100 мВ, ця напруга подається відносно AGND. Під час подачі на вхід синфазної напруги, величина якої дорівнює нулю, досягається найкращий результат.

Деякі особливості під час вибору шунта:

1. Потужність, яке розсіюється на шунті, повинна мати мінімальне значення. Значення робочого струму становить 100 А, тому величина максимальної потужності, яка розсіюється на шунті, дорівнює:

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

У стандарті ІЕС 1036 зазначено, що величина максимальної потужності, яка розсіюється на шунті, дорівнює 2 Вт. Ця величина включає енергію, яка споживається від джерела живлення.

2. Під час розсіювання великої потужності, що розсіюється, необхідно забезпечити відводити тепло.

3. Якщо замкнути коло, то існує можливість втручання до роботи вимірювального перетворювача. Якщо значення опору шунта мало, то впливом зовнішнього замикання можна знехтувати. Величина опору вимірювального шунта повинна мати мінімальне значення опору. З іншого боку застосування шунта повинно забезпечувати достатньо широке значення діапазону вхідного сигналу каналу V2P.

На базі виконаного аналізу та розрахунку вибирається значення опору шунта $R_{ш} = 175 \text{ мкОм}$.

Значення мережевої напруги між фазою та нулем становить 220 В під час дії максимального струму $I_{\max} = 100 \text{ А}$ ($I_b = 5 \text{ А}$). Постійна величина перетворювача потужності становить 100 імпульсів на кВт·година, а значення опору шунта $R_{ш} = 175 \text{ мкОм}$. Величин падіння напруга, яке утворюється під час

проходження струму $I_b=5$ А через шунт дорівнює:

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

Під час налаштування перетворювача потужності на базі інтегральної мікросхеми необхідно на вхідних каналах встановлювати величину падіння напруги, що відповідає половині від максимуму шкали, тобто її середині. Половина падіння напруги на вході дає можливість забезпечення калібрування розробленого перетворювача потужності. Для визначення величини максимального навантаження, що вимірюється перетворювачем потужності на вході каналу струму, необхідно встановлювати значення напруги, величина якої не більше ніж половина від максимального. Ці рекомендації дають можливість здійснювати вимірювання напруги під час дії максимального струму з половинним запасом. Вимірювач, що розробляється, може працювати з вхідними сигналами, що мають високий пік-фактор, а саме з великим значенням амплітуди, яку приведено до середньоквадратичного значення.

Завдяки застосуванню резистивного дільника значення напруги мережі зменшується до амплітуди 250 мВ. Це повинно забезпечувати настройку в діапазоні $\pm 30\%$. Введення діапазону настройки необхідно для здійснення перекриття розкиду номіналів опорів шунта, а також джерела опорного напруги, діапазон зміни якого складає $\pm 8\%$.

Якщо шунт працює на низьких частотах, то він є резистивним елементом. Вплив його реактивної складової є невеликим. Під час застосування шунта в реальних вимірювальних засобах небажаний ефект може спричинити невелике значення паразитної індуктивності. Якщо значення опору шунта складає 200 мкОм, то ефект виникнення паразитної індуктивності стає дуже актуальним. Еквівалентну схему шунта, що застосовується під час розробки вимірювальної системи, наведено на рис. 3.6.

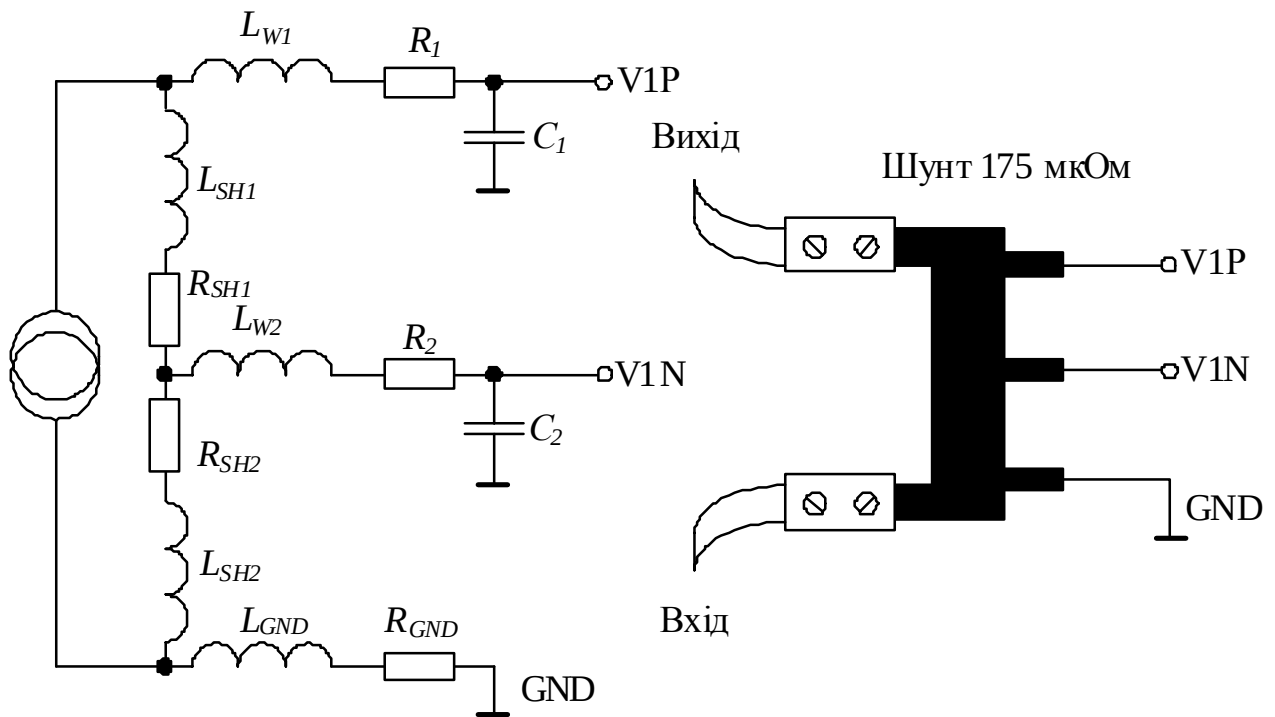


Рисунок 3.6 – Еквівалентна схема шунта, що застосовується під час розробки вимірювальної системи

До шунта підключається три контактами: два контакти V1P та V1N, які використовуються для вимірювання сигналів струму, третій контакт – це спільний GND, він використовується для всієї схеми. Величини опору шунта становить $R_{SH1}=175\text{ мкОм}$. R_{SH2} – опір між контактами шунта, до яких підключається вхід V1N та контакт GND (заземлення схеми).

Паразитні індуктивності, які позначено L_{SH1} та L_{SH2} , мають домінуючий вплив. Вплив величини паразитної індуктивності (див. рис. 3.7) на параметри шунта представлено в вигляді амплітудно-частотна (АЧХ) та фазочастотна (ФЧХ) характеристик антиаліасінгового фільтра. На рис. 3.7 позначено паразитна індуктивність, яка має значення 2 нГн (суцільна лінія на рис. 3.7) та без індуктивності, яка має паразитний вплив (пунктирна лінія на рис. 3.7) [13].

Під час аналізу представлених на рис. 3.7 залежностей встановлено, що наявність паразитної індуктивності впливає на обидві характеристики: АЧХ та ФЧХ. Значення ослаблення сигналу становить -15 дБ на частоті 1 МГц. Цей факт призводить до зменшення точності вимірювання, коли підвищується рівня

шуму. У вимірювальних каналах напруги та струму має місце зсув фази. З аналізу ФЧХ (див. рис. 3.7) встановлено, що між сигналами на входах V1A (V1B) та V2P з'являється зсув фази $0,1^\circ$ на частоті 50 Гц. Величина цього зсуву фаз призводить до появи похибки вимірювання. Значення цієї похибки становить величину 0,3% під час дії коефіцієнта потужності $PF = \pm 0,5$. Причиною цього є поява додаткового нуля в передавальній характеристиці розглянутого фільтра.

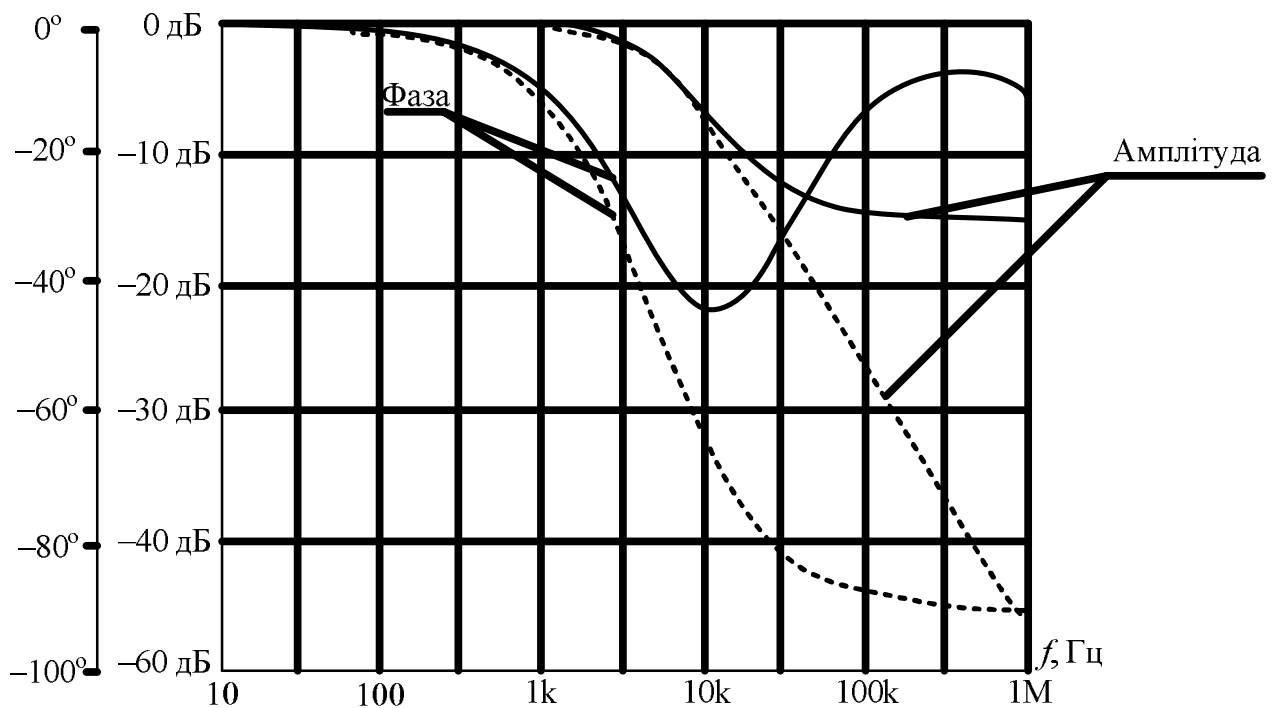


Рисунок 3.7 – АЧХ і ФЧХ фільтра

На базі спрощеної моделі шунта, що представлено на рис. 3.6, визначається як R_{SH1}/L_{SH1} (положенням нуля). Для усунення появи цього додаткового нуля в характеристиці передачі фільтра виконати додавання полюса в тому місці, де знаходиться нуль або в околиці його. Якщо додати RC-кола до аналогового входу V1A (див. рис. 3.8), то це забезпечить введення додаткового необхідного полюса. На рис. 3.9 наведено АЧХ та ФЧХ антиаліасінгового фільтра після введення компенсації паразитної індуктивності. [14].

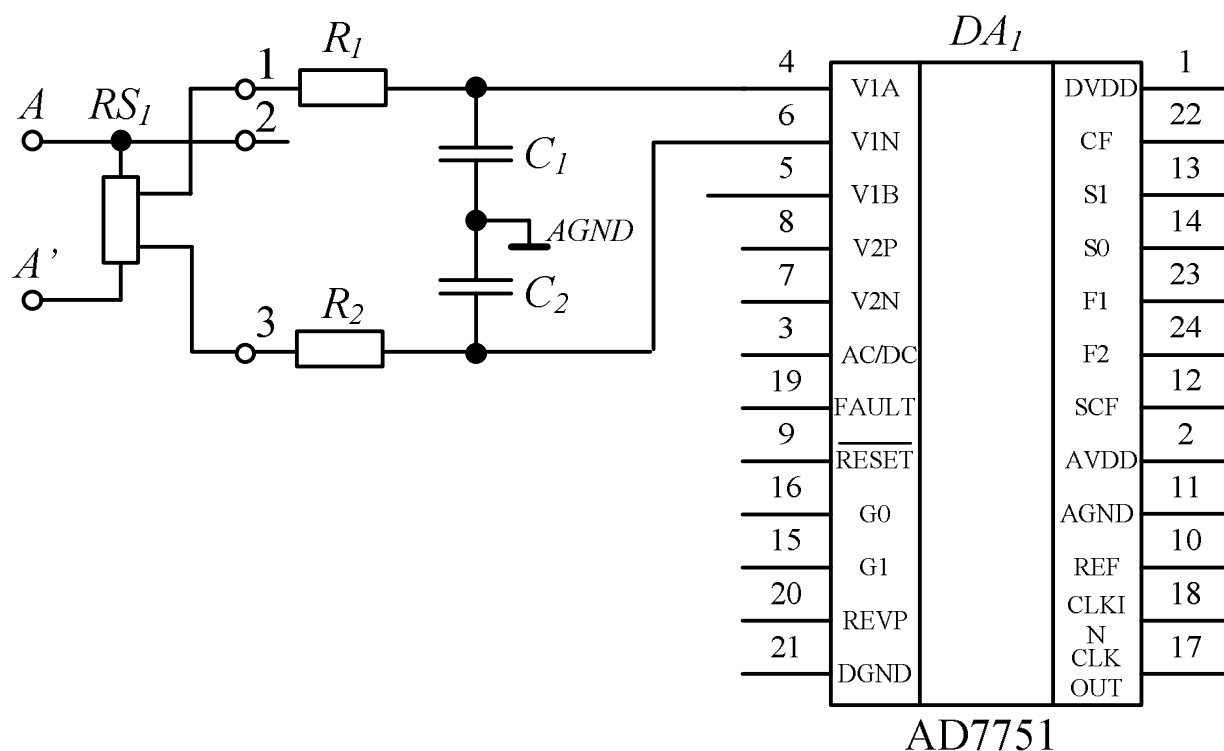


Рисунок 3.8 - Принципова схема з підключенням RC -кола до кожного з аналогових входів V1A, що забезпечує необхідний додатковий полюс

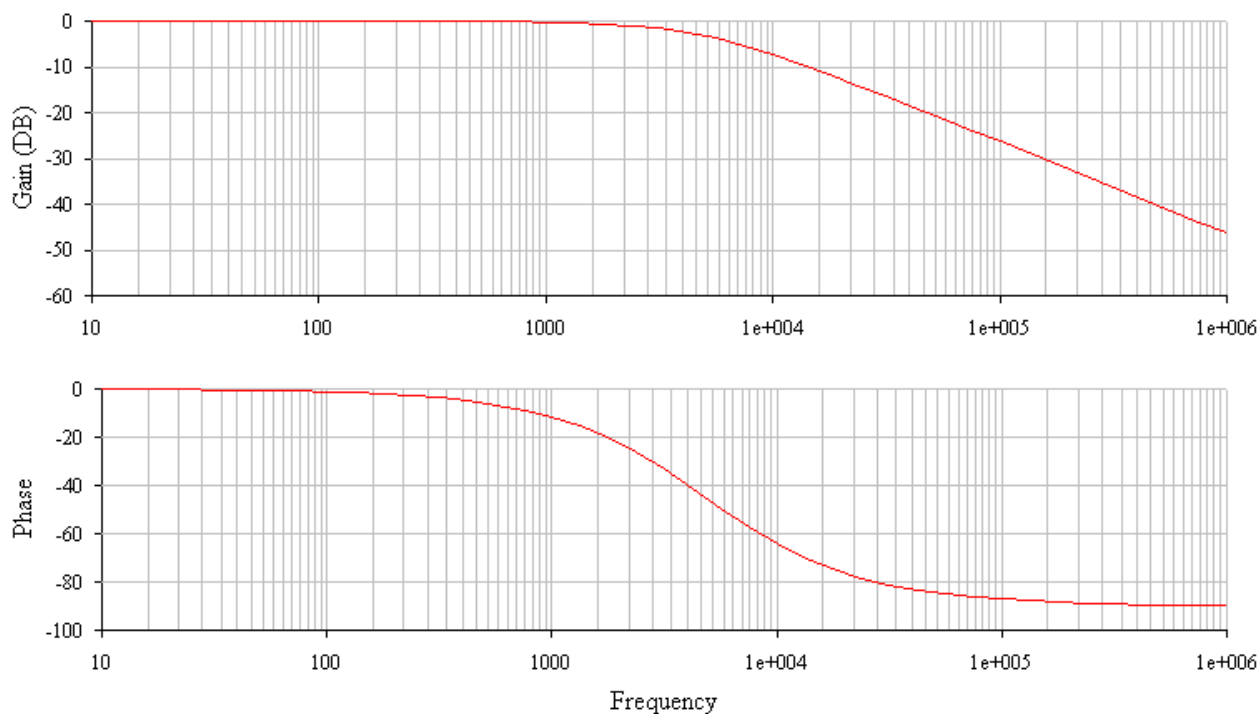


Рисунок 3.9 – АЧХ та ФЧХ антиаліасінгового фільтра з реалізацією компенсації паразитної індуктивності

У інтегральній мікросхемі типу ADE7751 виконується розрахунок добутку сигналів струму та напруги. Після виконання цієї операції результат передається до фільтра низької частотного, де визначається інформація щодо зміни вимірювального значення активної потужності. Після цього здійснюється інформаційного перетворення сигналу напруги до сигналу частоти. Інформація в вигляді імпульсної послідовності, що має високий рівень, передається до виходів F_1 та F_2 . Імпульси на виходах F_1 та F_2 мають дуже низьку частоту. Значення частоти становить 0,68 Гц для змінного струму, якщо до входів інтегральної мікросхемі типу ADE7751 подано такі сигнали керування: $SCF = 0$, $S_0 = 0$ та $S_1 = 0$ (див. табл. 3.1). Величина частоти імпульсів на F_1 та F_2 пропорційна значенню активної потужності, це значення усереднено за досить тривалий проміжок часу (період). Величина частоти імпульсної послідовності пропорційна значенню середньої активної потужності. Перетворення сигналу до частоти здійснюється в автоматичному режимі під час усереднення сигналу активної потужності.

Таблиця 3.1 – Варіанти вибору частоти під час підключення сигналів керування до входів S_0 та S_1

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

Величина частоти імпульсів на виходах F_1 та F_2 залежить від значення

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} – значення сигналів напруги (середньоквадратичні) на диференціальних входах, В; I_A , I_B та I_C – значення сигналів струму (середньоквадратичні) на диференціальних входах, А; $V_{ДОН}$ – величина джерела опорної напруги, $2,4 \text{ В} \pm 8\%$; F_{1-7} – частота, значення якої вибираються під час подачі сигналів на входи SCF, S_1 , S_0 (див. табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Значення частоти на виходах F_1 та F_2 для постійного вимірювального пристрою з 100 імпульсів/кВт·годину

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

Вибір частоти F_{1-7} здійснюється для максимального струму навантаження, величина якого складає $I_{\max} = 100 \text{ А}$. Значення постійної потужності становить 100 імпульсів/кВт·годину. На базі табл. 3.2 визначається величина частоти 1,00 Гц. Частота імпульсів на виходах F_1 та F_2 під час дії постійної вимірювача, що має значення 100 імпульсів/кВт·годину становить 1,00 Гц зі струмом 100 А та напругою між фазою та GND 220 В. З використанням табл. 3.3 визначається частота 5,09 Гц. Для розробленого вимірювача потужності значення частоти складає $F_{1-7} = 5,09 \text{ Гц}$.

Таблиця 3.3 – Значення частот на виходах F_1 та F_2 під час дії половинного навантаження від максимального

SCF	S_1	S_0	F_{1-7}	F_1 та F_2
1	1	1	0,60	0,11
1	0	0	1,19	0,23
0	0	0	1,27	0,24
1	0	1	4,77	0,92
0	0	1	5,09	0,98
1	1	0	19,07	3,67
0	1	0	19,07	3,67
0	1	1	76,29	14,66

Після підстановки значень частот до рівняння (3.2) отримано величини частоти на виходах:

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

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

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

За допомогою мережевого приймача здійснюється виконання функції приймання й передачі інформації за допомогою мереж змінного струму від 110 до 380 В. Значення швидкості передачі має такі значення: 992 біт/с; 496 біт/с; 248 біт/с; 124 біт/с. Ці значення можуть задаватися під час програмування.

Для забезпечення виправлення одиночних, а також виявлення подвійних помилок в системі застосовується кодування, яке має функцію перешкодозахисту. Зазначені помилки виникають під час здійснення передачі

повідомлень в мережі, в якій має місце перешкоди. Приймач передає з фази до фази, він має достатнє значення чутливості.

Для розробки та створення систем охорони та сигналізації, систем збору інформації, локальних мереж передачі даних, а також систем, що здійснюють централізований контроль і керування електричним обладнанням зазвичай застосовують наявні лінії електромережі.

До особливостей приймача можна віднести [15]:

- є можливість для вибору несучої частоти;
- для здійснення передачі інформаційних повідомлень застосовується частотна маніпуляція;
- кодування інформації здійснюється за допомогою перешкодозахисту, що допомагає виправляти одиночні, а також виявляти подвійні помилки;
- швидкість передачі змінюється та програмується до величини 992 біт/с.;
- інтегральна мікросхема має стандартний 22-вивідний DIP корпус.

На рис. 3.10 наведено умовно-графічне позначення інтегральної мікросхеми типу KP1446XK1 [15], а на рис. 3.11 наведено її структурну мікросхему.

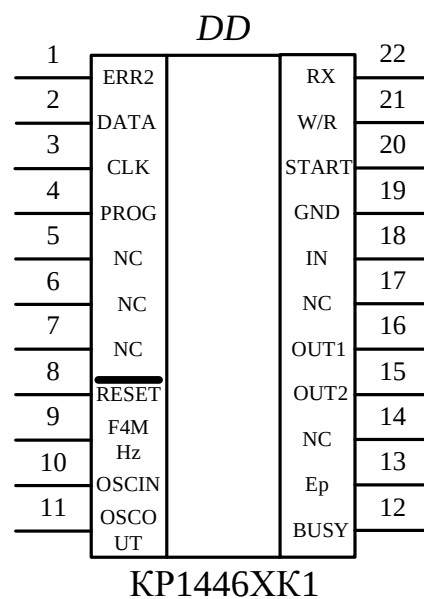


Рисунок 3.10 – Умовно-графічне позначення інтегральної мікросхеми типу KP1446XK1

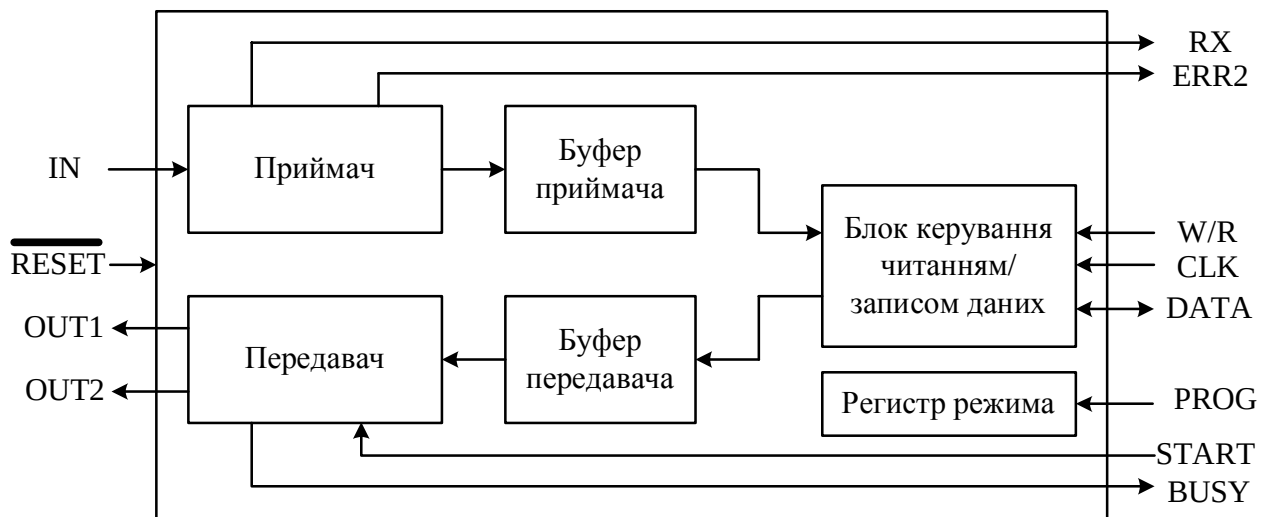


Рисунок 3.11 – Структурна схема інтегральної мікросхеми типу
KP1446XK1

Мікроконтролер є одним з основних елементів схеми. Він функціонує в режимі реального часу. Мікроконтролери серії PIC16F87х [11] працюють в режимах енергозбереження та можуть мати захист коду програми. Мікроконтролер серії PIC16F87х має наступні технічні характеристики [11]:

- «RISK архітектура, яка має високу швидкість»;
- «35 інструкцій»;
- «за один цикл виконуються усі команди, а інструкції переходів виконуються за два цикли»;
- «частота тактова частота DC – 20 МГц, сигнал тактовий»;
«DC – 200 нс, один машинний цикл»;
- «8k x 14 слів програмної FLASH пам'яті»;
- «368 x8 байт оперативної пам'яті даних»;
- «256 x8 байт пам'яті даних EEPROM»;
- «здійснення скидання після включення живлення (POR)»;
- «PWRT – таймер скидання та OST – таймер очікування запуску генератора після підключення живлення»;
- «сторожовий таймер, який має власним RC-генератор»;
- «здійснюється вибір параметрів генератора тактів»;
- «здійснення програмування пристрою»;

- «режим послідовного програмування з низьким живленням»;
- «діапазон зміни напруги живлення від 2,0 до 5,5В»;
- «багатоканальний 10-розрядний АЦП».

Мікроконтролера PIC16F87х має наступні електричні характеристики [11]:

- «RA4 відносно VSS від 0 до +8,5 В»;
- «VDD відносно VSS від –0,3 до +7,5 В»;
- «MCLR відносно VSS від 0 до +14В»;
- «зміна напруги на інших виводах відносно VSS від –0,3 В до VDD+0,3 В»;
- «значення потужність, що розсіюється 1 Вт»;
- «максимальне значення струму виходу VDD 250мА»;
- «максимальне значення струму VSS 300мА»;
- «величина вихідного струму замикання I_{OK} ($V_O < 0$ або $V_O > VDD$) ± 20 мА»;
- «значення вхідного струму замикання I_{IK} ($V_I < 0$ або $V_I > VDD$) ± 20 мА»;
- «максимальна величина вихідного струму витoku каналу вводу/виводу 25 мА»;
- «максимальна величина вихідного струму стоку каналу вводу /вивода 25 мА»;
- «максимальна величина вихідного струму стоку PORTA, PORTB та PORTE 200мА»;
- «максимальна величина вихідного струму стоку портів PORTC та PORTD 200мА»;
- «максимальний робочий діапазон зміни температури від –55°C до +125°C».

АЦП має п'ять каналів. Зарядка внутрішнього конденсатора C_{HOLD} здійснюється під час надходження вхідного аналогового сигналу. Модуль АЦП здійснює перетворення величини напруги на конденсаторі C_{HOLD} до значення пропорційного десяти розрядного коду. Як метод АЦП застосовується метод

послідовного наближення. Для вибору джерела нижньої та верхньої опорної напруги, що здійснюється програмно, застосовуються контакти RA2 або RA3, VDD, VSS. Конденсатору C_{HOLD} необхідно повністю заряджатися до величини вхідної напруги. Це забезпечує необхідне значення точності перетворення. Схему електричну принципову аналогового входу АЦП для визначення часових характеристик наведено на рис 3.12.

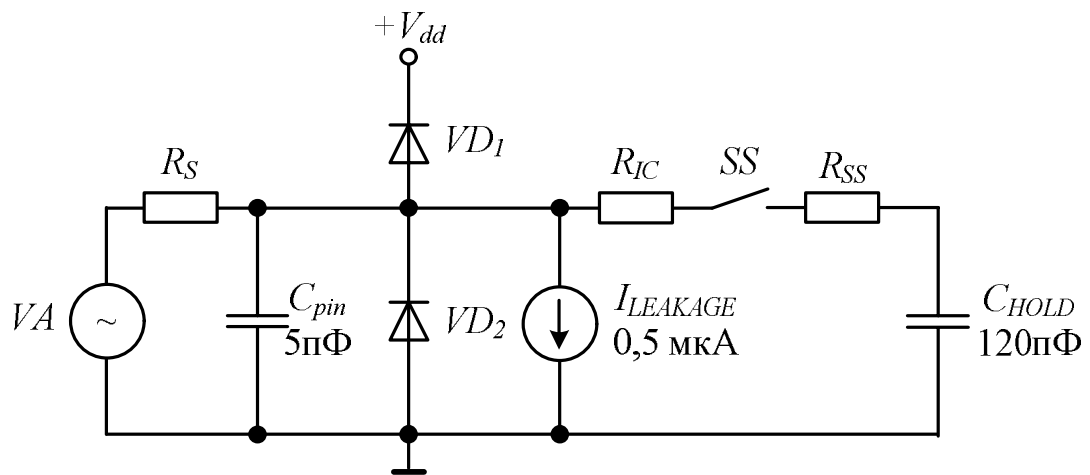


Рисунок 3.12 – Схема електрична принципова аналогового входу АЦП для визначення часових характеристик

Значення опорів резисторів R_{SS} та R_S істотно впливає на час зарядження конденсатора C_{HOLD} . Від величини напруги живлення U_{dd} пропорційно залежить значення опору ключа вибірки (R_{SS}). Максимальна рекомендована величина внутрішнього опору джерела сигналу складає 10 кОм [13].

Після здійснення вибору аналогового каналу забезпечується, значення якої визначається за наступним виразом:

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

де τ_{AMP} – величина затримки підсилювача, значення якої становить 2 мкс; τ_C – постійна часу заряду конденсатора C_{HOLD} ; τ_{COFF} – величина температурного коефіцієнту, значення якого становить $[(T - 25^\circ\text{C}) \cdot (0,05\text{мкс}/^\circ\text{C})]$;

$$\tau_C = -C_{HOLD} \cdot (R_{IC} + R_{SS} + R_S) \cdot \ln\left(\frac{1}{2047}\right) =$$

$$-120 \cdot 10^{-12} \cdot (1 \cdot 10^3 + 7 \cdot 10^3 + 7 \cdot 10^3) \cdot \ln\left(\frac{1}{2047}\right) = 16,47 \text{ мкс.}$$

Постійна часу затримки після завершення вибору каналу АЦП:

$$\tau_{ACQ} = \tau_{AMP} + \tau_C + \tau_{COFF} =$$

$$= 2 \text{ мкс} + 16,47 \text{ мкс} + (50^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \cdot (0,05 \text{ мкс} / ^\circ\text{C}) = 19,72 \text{ мкс.}$$

Для забезпечення живлення АЦП, мікроконтролера та нормальної роботи розробленої електронної системи необхідно застосовувати низьковольтне джерело живлення зі стабілізованою напругою +5 В. До складу блок живлення входить схема випрямляча, фільтр (RC) та стабілізатор напруги + 5 В [16]. Для стабілізації напруги застосовуються інтегральна мікросхема L7815CP [17]. У табл. 3.4 наведено електричні параметри мікросхеми типу L7815CP, а її граничнодопустимі характеристики – в табл. 3.5 [17].

Таблиця 3.4 – Електричні параметри мікросхеми L7915CP

Параметр	Мінімальне	Номінальне	Максимальне
Зміна вихідної напруги, В	–14,3	–15	–15,7
Вихідна напруга при зміні вихідного струму в межах від 5 до 1500 мА, мВ			300
Вихідна напруги при зміні вхідної в межах від 17,5 до 30 В, мВ			300
Дрейф температури вихідної напруги, мВ/°C		–0,9	
Напруга на стабілізаторі, В		3	
Вихідний рівень шуму, мкВ		250	
Придушення пульсацій, дБ	54	60	

Таблиця 3.5 – Граничнодопустимі характеристики інтегральної мікросхеми типу L7915CP

Параметр	Значення
Максимальне значення вхідної напруги, В	35
Максимальне значення вихідного струму, А	1,5
Діапазон змін робочих температур, °С	від 0 до 150

Рекомендована схема включення конденсаторів, а також їх номінальні значення для інтегральної мікросхеми типу L7815CP наведено на рис. 3.13 [17].

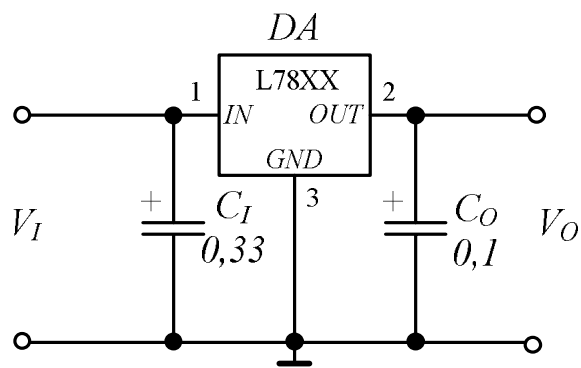


Рисунок 3.13 – Схема електрична принципова включення мікросхеми типу L7915CP

4 РОЗРОБКА АЛГОРИТМІЧНОГО ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ТА ЗБОРУ ІНФОРМАЦІЇ ЩОДО СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

4.1 Розробка структури програмного забезпечення електронної системи

Блок-схему узагальненого алгоритму роботи програми контролера електронної системи наведено на рис. 4.1. Алгоритм роботи програмами після завершення початкової ініціалізації переходить до режиму циклічного зчитування, а також виведення семи значень параметрів електричної мережі до чотирьох рядків рідкокристалічного індикатора. Блок-схему деталізованого алгоритму роботи програми контролеру електронної системи представлено на рис. 4.2.



Рисунок 4.1 – Узагальнений алгоритм роботи програми контролера електронної системи

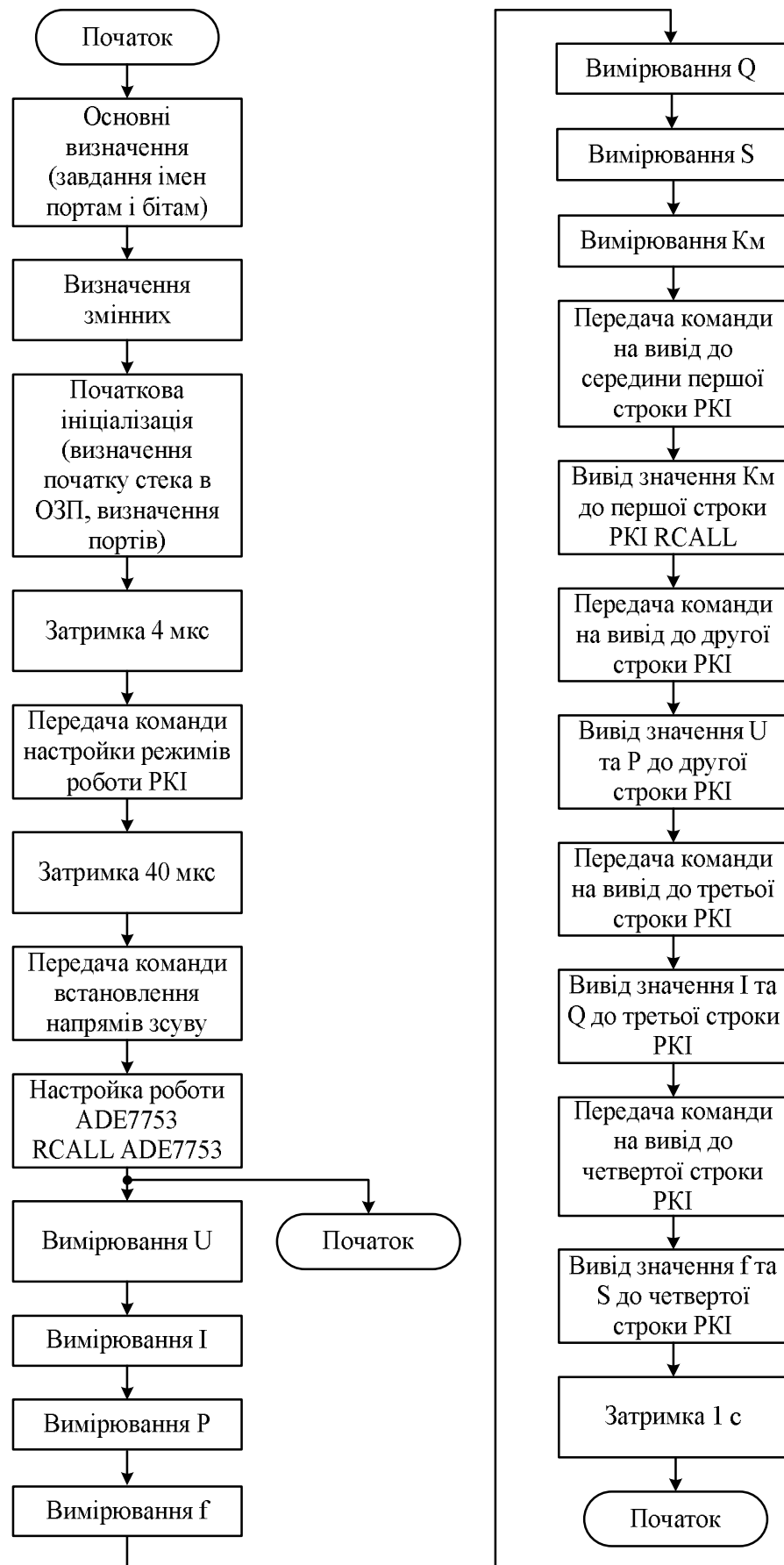


Рисунок 4.2 – Деталізований алгоритм роботи програми контролера електронної системи

На початку знаходиться блок основних визначень, де здійснюється присвоєння імен портам і бітам, а також призначення символічних імен регістрів. Далі визначаються макроси, яких у програмі два: ADDI – додавання до регістру константи та INCW – інкрементування слова – Z-регістр. Після виконання цих дій здійснюється роботи основної програми, що починається з виконання ініціалізації стека, портів, ADE7753 та PKI.

Порти B та D налаштовуються на вивід за допомогою встановлення всіх розрядів регістрів DDRB і DDRD. Мікросхема типу ADE7753 дезактивується під час скидання розряду RESET та встановлюється розряд CS керування послідовним портом ADE7753.

Встановлення розряду lcdE регістра даних PORTB здійснюється під час подачі сигналу до лінії E, який є стробом, що супроводжує сигнали на шинах «керування/дані». Запис інформації до PKI здійснюється за спадом цього сигналу.

Здійснюється настройка внутрішнього переривання від таймера / лічильника 0. Це забезпечується завдяки установці бітів I в регістрі SREG та запису відповідних кодів до регістру масок переривань TIMSK (02h), регістр прапорів переривань TIFR (0h) та регістр керування TCCR0 (05h).

4.2 Розробка алгоритму взаємодії контролера з PKI

Під час розробки алгоритму роботи контролера необхідно проробити питання щодо його часової синхронізації PKI-модулем, а також інтегральною мікросхемою типу ADE7753.

Контролер типу ATtiny2313 має швидкодію близько 1 мільйона операцій за секунду тому, що всі команди виконуються за один період тактового імпульсу генератора. Під час розробки електронної системи застосовується модель типу ATtiny2313A-PU, яка має тактову частотою 4 МГц. Отже, одну команду (операцію) контролер виконує за 0,25 мкс. На базі чого написано

підпрограми часової затримки для роботи з ADE7753 та PKI.

Для синхронізації контролера з PKI необхідні різні часові затримки, так після прийому байта даних контролеру індикатора необхідно 40 мкс для здійснення обробки отриманої інформації, протягом якого контролер має утриматись від виконання нових передач. Сигнал на лінії E повинен бути в активному стані протягом 4 мкс. Для забезпечення часових затримок під час роботи з PKI необхідно розробити підпрограму lcdDELAY, алгоритм роботи якої представлено на рис. 4.3.

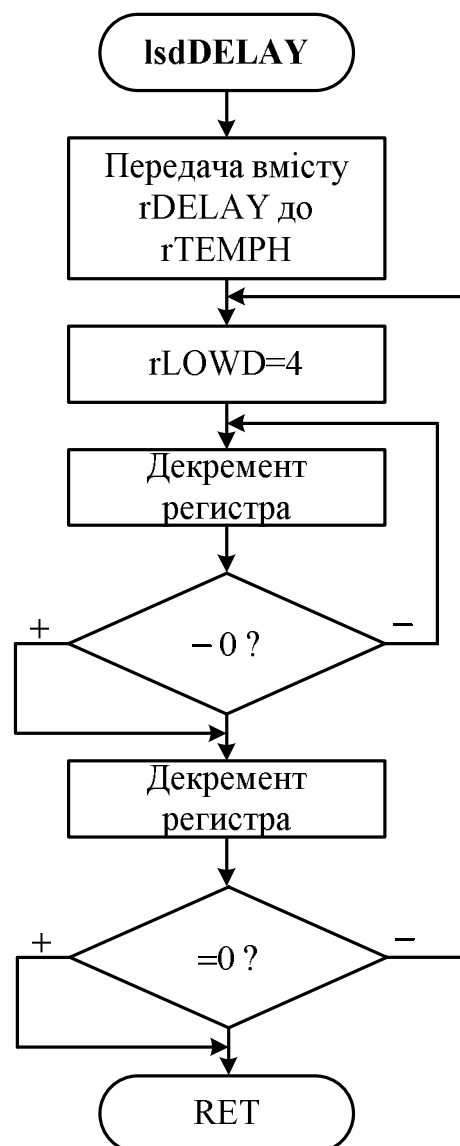


Рисунок 4.3 – Алгоритм роботи підпрограми `lcdDELAY`

До спеціального реєстр `rDELAY` під час виконання основної програми перед здійсненням виклики підпрограми `lcdDELAY` передається значення затримки в мікросекундах. Одну команду (операцію) контролер виконує за 0,25 мкс. Отже, на початку роботи підпрограми `lcdDELAY` до реєстра `rLOWD` заноситься значення константи 4, а потім здійснюється декремент до того, поки не виконається обнуління. Після здійснення цих операцій забезпечується необхідна величина затримки в 1 мкс. Після завершення зазначених операцій вміст реєстра `rTEMPH` декрементується. Це відбувається доти не виконається обнуління реєстру `rTEMPH`, а потім здійснюється повернення до декрементації вмісту реєстра `rLOWD`.

Таким чином, якщо до реєстру `rDELAY` завантажити значення логічної одиниці та викликати підпрограму `lcdDELAY`, то після її виконання одержується значення затримки 1 мкс. Це може бути отримано без обліку часу виконання допоміжних команд.

Після початкової ініціалізації здійснюється передача команд до РКІ, які керують режимами роботи індикатора.

До тимчасового реєстра `rTEMPH` завантажується код команди `$0C`, який позначає, що «включається дисплей, гаситься курсор». Потім викликається підпрограма `lcdCOMMAND`, яка здійснює формування командного байта керування контролером індикатора. Блок-схему алгоритму роботи підпрограми `lcdCOMMAND` наведено на рис. 4.4.

Підпрограма `lcdCOMMAND` здійснює налаштування контролера РКІ на режим введення команди. Це здійснюється за допомогою скидання розряду `lcdA0` реєстра даних `PORTB`. Потім підпрограма виконує пересилання вмісту реєстру `rTEMPH` (тобто код команди) до реєстру введення/виведення `PORTB`. За допомогою підпрограми `lcdPULSE` здійснюється синхронізація сигналів на шині «команди/дані» зі стробом на лінії Е. Після завершення цих операцій відбувається перехід до основної програми.

Запис інформації до РКІ здійснюється за спадом сигналу на лінії Е, який виступає як строб. У підпрограмі `lcdPULSE`, алгоритм роботи якої наведено на

рис. 4.5, через необхідні часові затримки розряд lcdE спочатку скидається, а потім встановлюється.

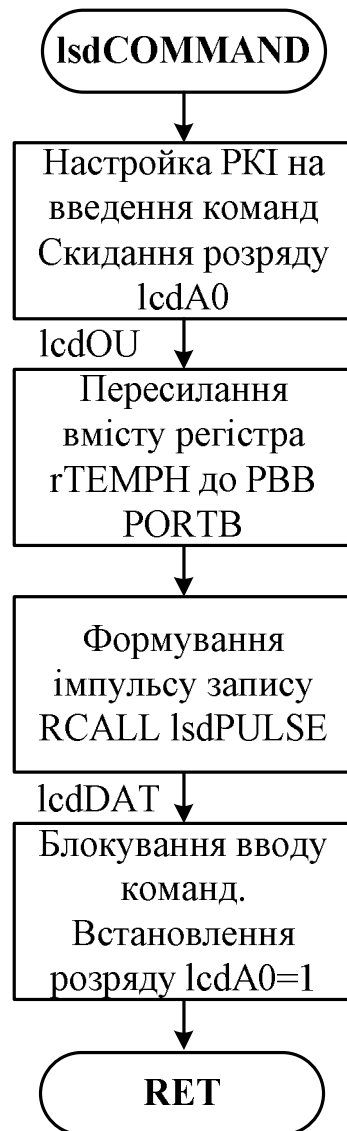


Рисунок 4.4 – Алгоритм роботи підпрограми lcdCOMMAND

Потім на контролер індикатора передаються код команда \$01 – «очищення екрану», код команди \$28 – «встановлення розрядності інтерфейсу 4 біта, встановлення нульової сторінки здійснюється знакогенератором» і код команди \$86 – «встановлення напрямку зсуву вправо».

Після завершення налаштування роботи індикатора програма входить до режиму циклічного опитування мікросхеми ADE7753, а також видачі результатів вимірювання на РКІ. До тимчасового регістра rTEMPH

здійснюється завантаження коду команди \$80. Зазначений код позначає «встановлення адреси DDRAM», що здійснюється лічильником AC. У області DDRAM присвоюється адреса шостому осередку – символи виводяться до середини першого рядка індикатора, а потім викликається підпрограма lcdCOMMAND, яка здійснює передачу командного байта. Після одержання цієї команди данні передаються до контролера PKI. Ці дані представлено ASCII-кодами, вони будуть записуватися до DDRAM.

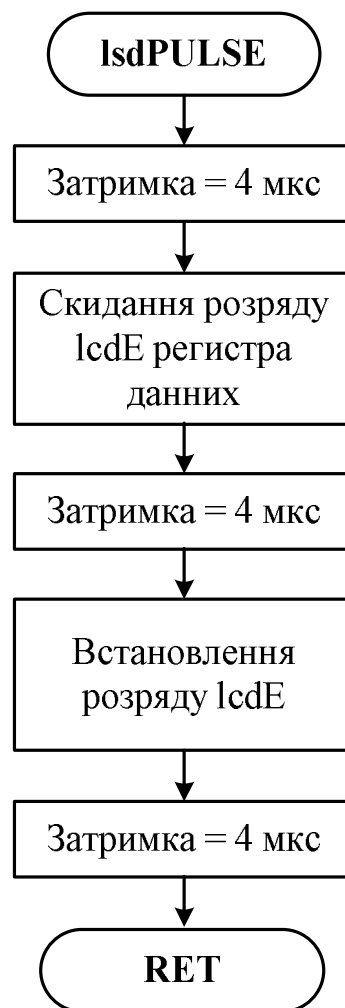


Рисунок 4.5 – Алгоритм роботи підпрограми `lcdPULSE`

Далі здійснюється виклик підпрограма виведення значень параметрів мережі `lcdOUTZNACH`. Підпрограма читає дані з ОЗП, які підраховано з регістрів ADE7753 за допомогою підпрограмою `adeGET`. Данні обробляються підпрограмою та результат виводиться до PKI.

Підпрограма `lcdOUTBUF` здійснює налаштування `PKI` на прийом даних. Перед викликом підпрограми до регістра `rSIZE` заноситься число в діапазоні від 0 до 20, де 20 – максимально можливе число символів, яке може виводиться одним рядком `PKI` та викликається підпрограма `lcdOUTBUF`. Зазначене значення використовується в подальшому для організації циклу почергової передачі символів до `PKI`. На початку роботи підпрограми `lcdOUTBUF`, блок-схему алгоритму якої наведено на рис. 4.6, розряд `lsdA0` регістра даних `PORTB` встановлюється до одиничного стану.

Після цього підпрограма входить до циклу: в регістр `rZDATA` здійснюється завантажується одного байта з адресного простору пам'яті програм. Адреса комірки пам'яті, до якої здійснюється звернення, знаходиться в індексному регістрі `Z`. Потім реєстрова пара `Z` інкрементується, вміст регістра `rZDATA` пересилається до регістра введення/виведення `PORTB` та викликається підпрограма `lcdPULSE`, яка здійснює формування імпульсу запису. Після передачі одного символу вміст регістра `rSIZE`, величина якого відповідає кількості символів в рядку, декрементується, і якщо його значення не дорівнює, то відбувається перехід до початку циклу, в іншому випадку здійснюється вихід до основної програму.

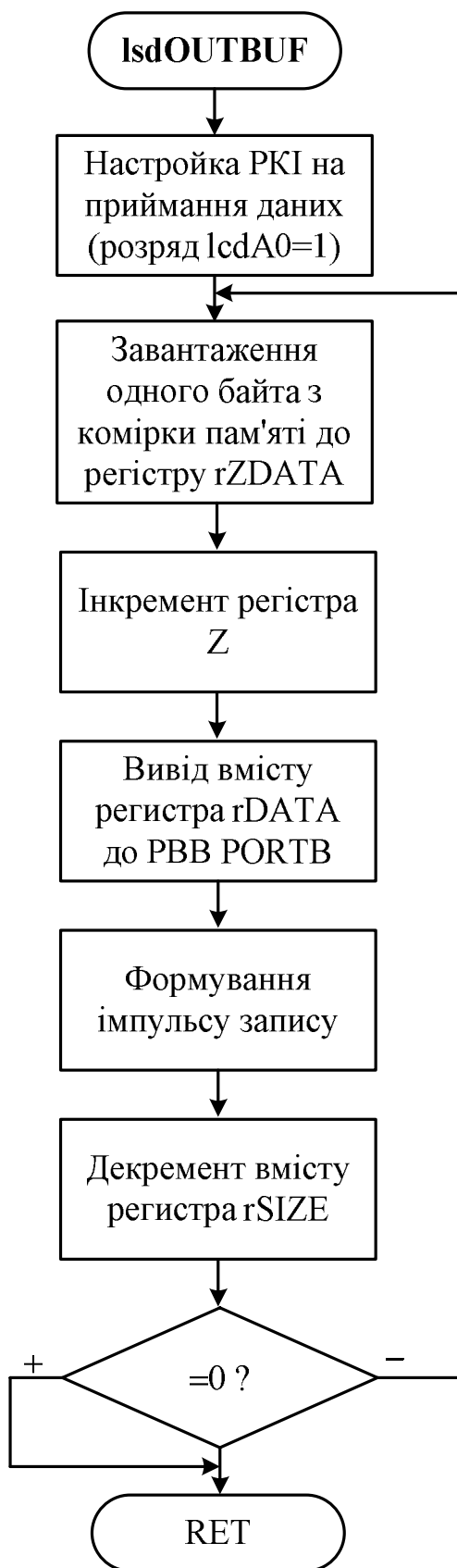


Рисунок 4.6 – Алгоритм роботи підпрограми `lcdOUTBUF`

4.3 Розробка алгоритму взаємодії з мікросхемою ADE7753

Усі можливості мікросхеми ADE7753 щодо розрахунку електричних параметрів доступні через регістри (REGISTERS), які розташовано на кристалі інтегральної мікросхеми. Вміст зазначених регістрів може бути прочитано або оновлено через послідовний SPI-інтерфейс. Після підключення живлення та встановлення високого логічного рівня на виводі RESET за спадом сигналу на виводі CS мікросхема ADE7753 переходить до режиму комунікації. У цьому режимі мікросхема ADE7753 виконує запис до регістра комунікацій. Дані, які записуються до регістра комунікацій, визначають послідовність операцій які виконуються – читання або запис, а також до якого регістра буде здійснюватися звернення. Для роботи з мікросхемою ADE7753 необхідно виконати її первинне налаштування. Для цього використовується підпрограма ADE7753, блок-схема алгоритму якої наведено на рис. 4.7.

У регістрі MODE виконується такі настройки: відключення ФВЧ1 та включення ФНЧ2 для розрахунку активної потужності; встановлення максимальної частоти під час цифрової обробки $CLKIN / 128$ для регістра WAVEFORM. У регістрі INTERRUPT ENABLE REGISTER необхідно не встановлювати жодного прапора, тобто переривання не використовуються. Налаштування вхідних каналів в регістрі GAIN залишаємо за замовчуванням: значення коефіцієнта підсилення для програмованих підсилювачів PGA обох каналів дорівнюють 1, а максимальне значення вхідної напруги для двох каналів не перевищує $\pm 0,5$ В.

Час зміни інформації на РКІ дорівнює 1 с, тому для завдання цього часового інтервалу використовується переривання від таймера / лічильника 0 контролера. Під час організації лічильник rCHET, зі записом 15 циклів до нього, визначається час зміни інформації на РКІ, яке дорівнює $15 \times 65 \text{ мс} = 1 \text{ с}$. Значення 65 мс – час, після закінчення якого виникає переповнення таймера / лічильника 0 під час використання дільника тактової частоти на 1024. Під час зміни вмісту лічильника rCHET, може змінювати час відновлення інформації.

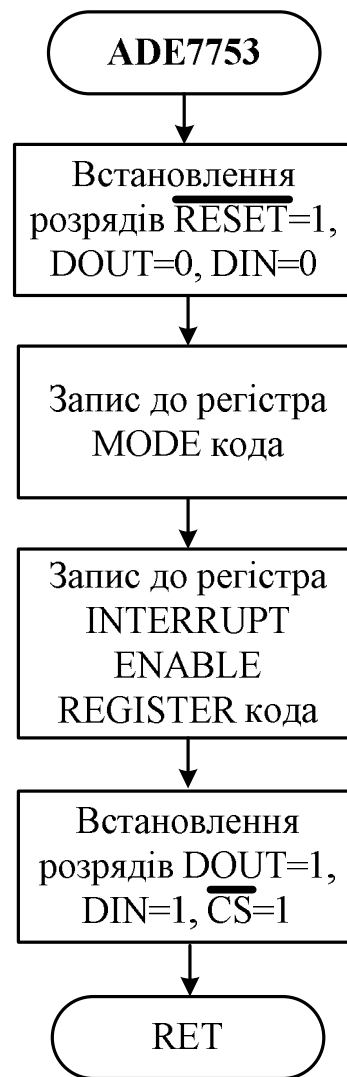


Рисунок 4.7 – Алгоритм настройки мікросхеми ADE7753

Після формування цієї затримки контролер приступає до читання регістрів ADE7753, а також виводу розрахованих значень до РКІ. Підпрограми `adeGET` і `lcdOUTZNACH` призначено для цього. Під час експлуатації електронної системи інформація, що виводиться до РКІ, наведена на рис. 4.8.

Другим значенням є діюче значення струму I . Для здійснення цього, контролер звертається до регістру IRMS за адресою 16h. Під час здійснення цієї операції стає доступним вміст 24-ох розрядного регістра IRMS. Якщо значення дорівнює 0h, тоді струмові кліщі не підключені до мережі живлення. Якщо вміст відрізняється від 0h, то це значення записується до тих самих тимчасових регістрів. Значення зазначених регістрів множаться на коефіцієнт 0,00001525 для переведення до двійково-десятькової системи, а також зберігатися до ОЗП.

строка 1	$K_M=X$	
строка 2	$U=253,0 \text{ В}$	$P=X$
строка 3	$I=X$	$Q=X$
строка 4	$f=50,0 \text{ Гц}$	$S=X$

Рисунок 4.8 – Інформація на РКІ блока електронної системи під час підключення тільки вимірювальних щупів

Третім знаходиться величина активної потужності P . Контролер здійснює звернення до регістру WAVEFORM за адресою 01h. Під час здійснення цієї операції стає доступним вміст 24-ох розрядного регістра WAVEFORM. Це значення записується в тимчасові регістри. Значення зазначених регістрів помножується коефіцієнт 0,163, для переведення до двійково-десятькової системи, а також зберігатися до ОЗП.

Четвертим знаходиться частота мережі f . Здійснюється зчитування 15-ти розрядного регістра PERIOD до тимчасових регістрів rTEMPH1 та rTEMPH2. Значення вмісту помножується на коефіцієнт 0,008. Після цієї операції в тимчасових регістрах знаходиться значення частоти мережі в герцах. Це значення переводиться до двійково-десятькової системи числення, а також зберігатися до ОЗП.

П'ятим знаходиться величина реактивної потужності Q . Контролер здійснює звернення до регістру LVARENERGY за адресою 08h. Під час здійснення цієї операції стає доступним вміст 24-ох розрядного регістра LVARENERGY. Значення, яке знаходиться в цьому регістрі зберігається до тимчасових регістрів і в ОЗП. Потім це значення віднімається від значення цього ж регістра, але отриманого в попередньому циклі. Ця різниця значень

помножується на коефіцієнт 0,326. Отримане значення переводиться до двійково-десятькової системи числення, а також зберігатися до ОЗП.

Шостим знаходиться значення повної потужності S . У ОЗП записано значення U та I , виконується їх перемноження. Отримане значення переводиться до двійково-десятькової системи числення, а також зберігатися до ОЗП.

Сьомим знаходиться коефіцієнт потужності. У ОЗП записано значення P та S . Виконується операція ділення P на S , а потім результат переводиться до двійково-десятькової системи числення та виводиться на РКІ. Також виводяться значення U , P , I , Q , f , S . Блок-схему алгоритму роботи підпрограми `lcdOUTZNACH` для визначення напруги U наведено на рис. 4.9.

Робота підпрограми починається з одержання даних з ОЗП контролера, що збережено там підпрограмою `adeGET`. Ця підпрограма здійснює читання байтів даних з вимірювальної мікросхеми та зберігає результат у спеціально відведених регістрах `rTEMPH`. Потім здійснюється перевірка отриманих даних, для цього значення регістрів `rTEMPH` порівнюється з `const = 0h`. Під час умови рівняння цієї константи підпрограма забезпечує перехід до мітки `NC`.

Якщо здійснюються перехід до мітки `NC`, то на РКІ виводиться рядок « $U = X$ » (див. рис. 4.10). Для цього до реєстрової пари `ZL: ZH` передається молодший та старший байти константи `s2NC * 2`. `s2NC * 2` є міткою (адресою), за якою підпрограма звертається до зарезервованих `DB` простору пам'яті підпрограм, де здійснюється зберігання рядка.

До регістра `rSIZE` завантажується число 3, яке відповідає кількості символів в рядку. Зазначене значення використовується для організації циклу, який здійснює почергову передачу символів (ASCII кодів) на РКІ. Після чого здійснюється виклик підпрограми `lcdOUTBUF` для виведення символів на РКІ.

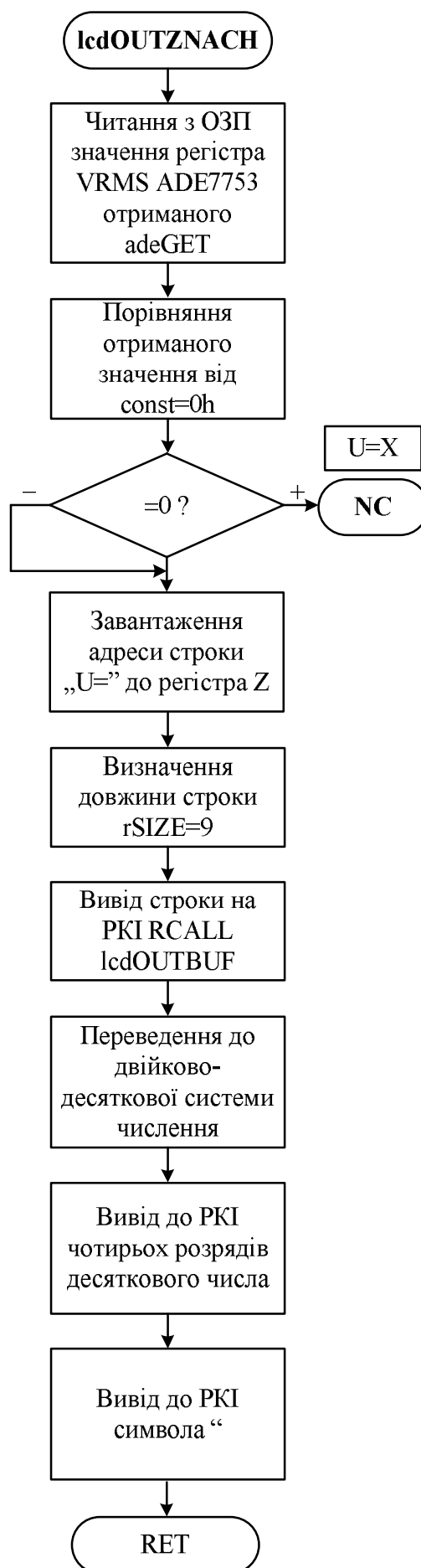


Рисунок 4.9 – Алгоритм роботи підпрограми lcdOUTZNACH



Рисунок 4.10 – Алгоритм роботи підпрограми adeNC

Після перевірки починається робота процедури виведення значення напруги до індикатора. Спочатку здійснюється виведення рядка «U =», для цього до реєстрової пари ZL: ZH завантажується молодший та старший байти константи $s2 * 2$. До регістра rSIZE записується число 9, яке відповідає кількості символів у цьому рядку, а потім викликається підпрограма lcdOUTBUF.

Перед виведенням до індикатора значення регістрів з величиною напруги необхідно здійснити переведення цих значень до двійково-десятькової форми, що забезпечується під час виклику підпрограми pDIV.

Алгоритм роботи підпрограми pDIV базується на послідовному визначенні кількості кожного з десяткових розрядів, що знаходиться в вихідному числі (див. рис. 4.11). Перед початком роботи підпрограми до регістру rDIV записується число 100.

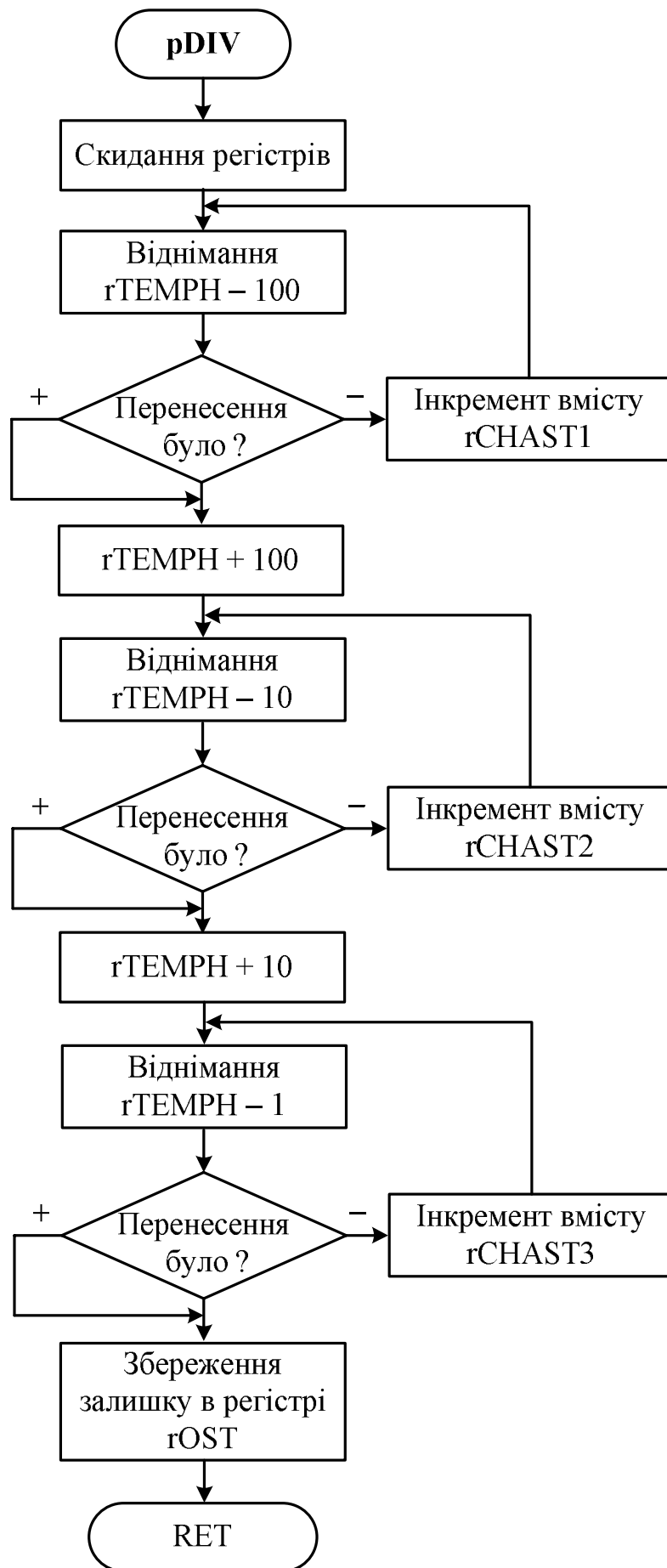


Рисунок 4.11 – Алгоритм роботи підпрограми ділення

Для індикації застосовується чотири розряди, тому від початкового значення по черзі віднімаються константа 100, 10, 1 до моменту часу, поки значення буде негативним. Це виявиться, коли встановиться прапор перенесення. Для цього кількість ітерацій підраховується для кожного розряду та зберігається до регістрів rCHAST (1 -3), залишок після розрахунку заноситься до регістру rOST.

Після отримання чотирьох розрядів десяткового числа, а саме результату вимірювання, необхідно здійснювати виведення їх значень до індикатора так, щоб рядок мав такий вигляд: «U = __ __ __, __ B»

Для забезпечення цілісності рядка, що виводиться в програмі, передбачається застосування мікрокоманди ADDI, що додає константу до регістру Z. За допомогою цієї макрокоманди вміст регістра rCHAST1 (розряд сотень) додається до рядка за адресою, яку записано в регістр Z, а потім програма переходить спочатку до мітки lcdDATA. PKI налаштовується на прийом даних, а потім до підпрограми lcdCOMMAND – значення першого розряду виводиться до PKI послідовно за рядком «U =».

Аналогічно здійснюється вивід значення розрядів разом з комою, а також символ «B».

Робота підпрограма adeGET починається зі зчитування внутрішніх регістрів з ADE7753. Підпрограма здійснює ініціалізацію мікросхеми завдяки скиданню розряд CS (регістр даних PORTD), який керує послідовним портом ADE7753 (див. рис. 4.12). DOUT – логічний вихід, з якого виконується виведення даних від послідовного порту. DIN – вивід, через який здійснюється введення даних. Перед початком запису або читання зазначені розряди скидаються (CBI adeDout і CBI adeDin).

Підпрограма adeWRITEBYTES використовується забезпечення побітового запису кількох байтів інформації до ADE7753.

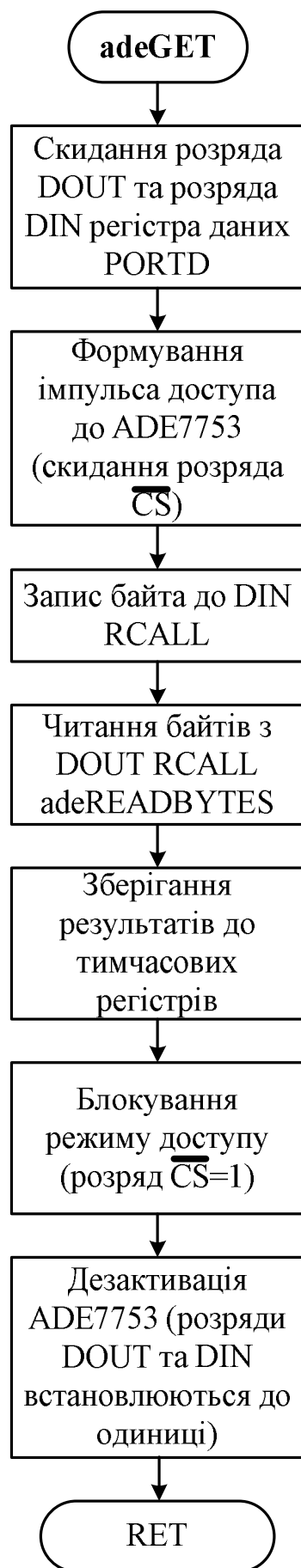


Рисунок 4.12 – Алгоритм роботи підпрограми adeGET

Блок-схему роботи алгоритму підпрограми `adeWRITEBYTES` наведено на рис. 4.13. Перед початком роботи підпрограми до регістра `rTEMPH` завантажуються 8 або 16, що дорівнює кількості бітів запису. До регістрів `rTEMPH` (1-2) записується код, що побітно виводиться до `adeDin`. У підпрограмі здійснюється зсув розрядів регістрів `rTEMPH` (1-2) вліво. Під час висунення за розрядну сітку біт – прапор `C` регістра станів `SREG`, пересилається до `DIN`.

Вміст регістра `rTEMPH` декрементується, а також здійснюється перехід до початку циклу (якщо `rTEMPH` не нуль) або вихід із підпрограми.

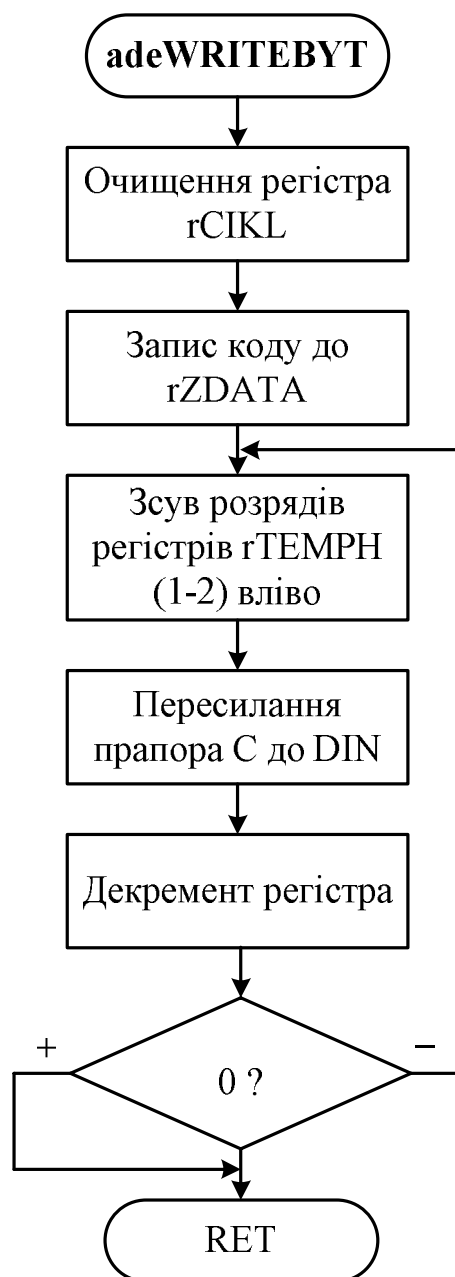


Рисунок 4.13 – Алгоритм роботи підпрограми `adeWRITEBYTES`

Підпрограма `adeREADBYTES` призначено для здійснення побітового читання байтів інформації з ADE7753. Блок-схему алгоритму роботи підпрограми `adeREADBYTES` наведено на рис. 4.14.

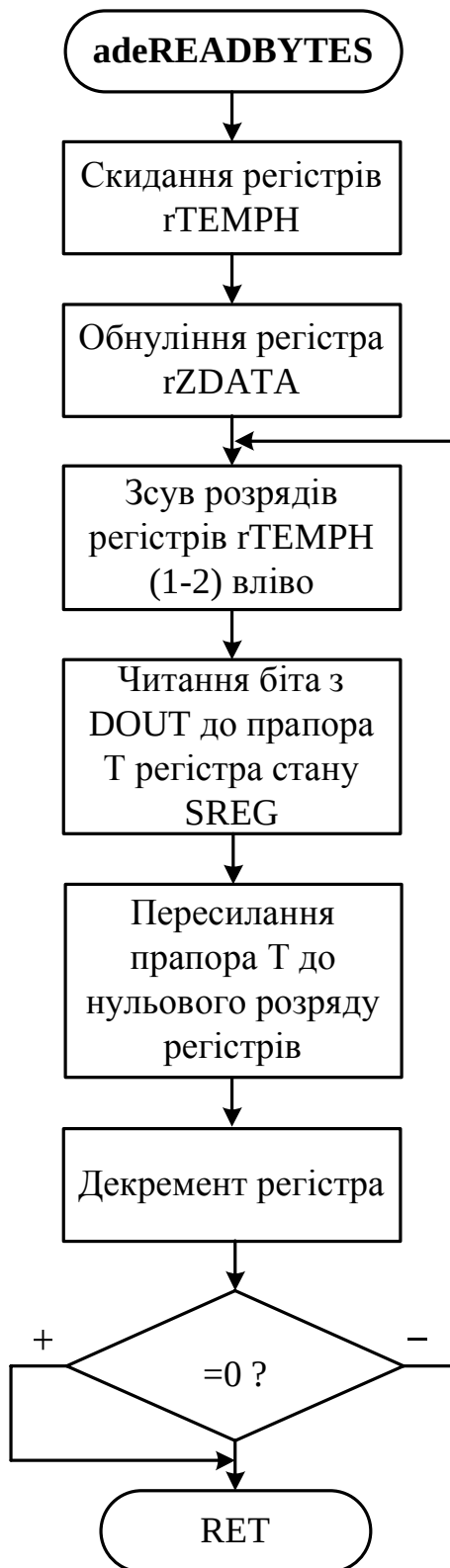


Рисунок 4.14 – Алгоритм роботи підпрограми `adeREADBYTES`

Перед викликом підпрограми `adeREADBYTES` до регістра `rTEMPH` завантажуються 15 або 24, ця величина дорівнює кількості бітів зчитування. На початку скидаються необхідні регістри `rTEMPH` (1-3), які використовуються під час роботи підпрограми. У циклі здійснюється зсув розрядів регістрів `rTEMPH` (1-3) вліво та виклик підпрограми `adeRtoT` (див. рис. 4.15), що пересилає вміст регістру введення / виводу (`PORTD`) до регістр `rBIT`. Потім здійснюється копія розряду `DOUT` цього регістра до прапора `T` регістра станів `SREG`, що забезпечує перехід до підпрограми `adeREADBYTES`.



Рисунок 4.15 – Алгоритм роботи підпрограми `adeRt0T`

Здійснюється копіювання прапор `T` до нульового розряду регістра `rTEMPH` (1-3). Вміст регістра `rTEMPH` декрементується та забезпечується перехід до початку циклу (якщо `rTEMPH` не нуль), або вихід з підпрограми. За допомогою побітового читання з `ADE7753` до регістра `rTEMPH` (1-3) здійснюється запис 15 або 24 розрядних чисел результату вимірювання.

ВИСНОВКИ

Під час виконання випускної кваліфікаційної роботи розроблено електронну систему обліку та збору інформації щодо споживання електричної енергії. Розроблено вимоги щодо автоматичного та централізованого отримання вимірювальної інформації щодо споживання та витрати енергоресурсів. Обґрунтовано й розроблено структуру електронної системи. Виконано аналіз сучасних способів вимірювання споживання електроенергії. Визначені оптимальні технічні засоби, а також виконано на їх базі синтез структури вимірювального каналу для визначення електричної енергії, що споживається. Розроблено схеми електричні принципів та здійснений аналіз особливостей їх функціонування.

У основу технічної розробки покладено найпоширеніше та актуальне рішення, що використано при проектуванні сучасних електронних систем обліку споживання електричної енергії. В основі вибраного технічного рішення покладено використання спеціалізованих мікросхем, в яких високий рівень інтеграції. Зазначені інтегральні мікросхеми призначені для генерації імпульсів, частота яких пропорційна миттєвому значенню активної потужності, що вимірюється. Використаний підхід забезпечить підвищення надійності та високий рівень метрологічних характеристик електронної системи.

Для забезпечення обробки інформації застосовано мікроконтролер, що має необхідний функціонал. На базі використаного мікроконтролера PIC16F87х розроблено схему електричну принципову електронної системи. Як первинні перетворювачі використано резистивні шунти. Шунти забезпечують високу надійність, простоту застосування. Вони невразливі до впливу електромагнітних полів на параметри та характеристики електронної системи.

Розроблена електронна система обліку та збору інформації щодо споживання електричної енергії може бути застосовано як у малому та середньому бізнесі, так і в сфері бюджетних й громадських установ, а також в 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.

ДАТОК А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуацій 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.

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.

А.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:

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

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:

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

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:

$$Q_{\text{УСТ}} = P \cdot K_a \cdot K_{\sigma} \cdot 860, \quad (\text{A.3})$$

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

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

Визначимо виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою наступної формули:

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

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

Визначимо надходження тепла від електричного освітлення за формулою:

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

де E_M – нормована освітленість для цієї зорової роботи, величина якої дорівнює 300 лк; g_1 – питоме 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:

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

де F – площа віконних прорізів ($3 \times 2,5 = 7,5 \text{ м}^2$); g_2 – кількість тепла, що надходить через 1 м^2 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 всіх 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.

А.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:

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