

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра мікроелектронних та електронних інформаційних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

бакалавра

(рівень вищої освіти)

на тему Розробка пристрою для вимірювання напруги
та струму

Виконав: студент 5 курсу, групи ЕА-17-183
спеціальності 171 «Електроніка»

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Електроніка

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації _____

(код і назва спеціалізації)

Шкінци І. Д.

(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н. доц. кар. МЕНІС Шеміт С.А.

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

Рецензент Шершов С.А.

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

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра мікроелектронних та електронних інформаційних систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Спеціальність 171 «Електроніка»
(код і назва)
Освітня програма Електроніка
(код і назва)
Спеціалізація _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Критська Т.В.

“ _____ ” _____ 2022 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Шкітунець Івану Дмитровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Розробка пристрою для вимірювання
напруги та струму

керівник роботи к.т.н. доц Шмагій С.П.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від “14” 01 2022 року № 91-С

2 Строк подання студентом роботи 24.05.22

3 Вихідні дані до роботи Напруга 220V, струм 2.5A, кількість
фаз - 3

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Пристрої виміру напруги та струму, 2. Розробка структури
3 Розрахункова частина 4 Конструктивна та технологічна частини
5 Економічне обґрунтування 6 Оцірка праці

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Схема електричної структури, схема електрична принципова
схема електрична принципова, плана друкована, складальні креслення
Економічні показники, охорона праці.

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	к.т.н. фоз Швані С.А.		
2	к.т.н. фоз Швані С.А.		
3	к.т.н. Швані С.А.		
4	к.т.н. Швані С.А.		
5	к.т.н. Швані С.А.		
6	к.т.н. Швані С.А.		

7 Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1	25.04 - 28.04	
2	Розділ 2	29.04 - 4.05	
3	Розділ 3	5.05 - 9.05	
4	Розділ 4	10.05 - 11.05	
5	Розділ 5	12.05 - 13.05	
6	Розділ 6	13.05 - 16.05	
7	Графічна частина	17.05 - 20.05	

Студент Швані С.А.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) Швані С.А.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер Турчанов К.В.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Сторінок - 82, рисунків - 24, використаних джерел - 23.

У дипломному проекті проаналізовані існуючі пристрої вимірювання струму та напруги. Розглянуті структурні схеми та основні принципи вимірювання напруги та струму, які необхідні для розробки пристрою на сучасній елементній базі.

В рамках розробки пристрою були проаналізовані існуючі мікроконтролери та по критеріям завдання було обрано відповідну модель.

СТРУМ, НАПРУГА, АНАЛОГОВО-ЦИФРОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ,
МІКРОКОНТРОЛЕР, ОПЕРАЦІЙНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ, ДІСПЛЕЙ, ПОХИБ-
КА.

ЗМІСТ

Вступ	6
1 Пристрої виміру напруги та струму	7
1.1 Елементна база систем виміру	7
1.2 Вимірювання напруги	8
1.2.1 Вимірювання постійних струму та напруги	8
1.2.2 Вимірювання змінних струму та напруги	13
1.3 Відхилення, коливання та інші важливі параметри напруги	15
1.4 Провали напруги та тимчасові перенапруги	18
1.5 Аналіз існуючих схемотехнічних рішень	22
1.6 Аналіз існуючих АЦП	24
2 Розробка структури системи	32
2.1 Вибір мікроконтролера для системи управління	32
2.2 Вибір АЦП	38
2.3 Мікросхеми для обробки сигналів з датчиків струму	40
2.4 Вибір засобу індикації	42
3 Розрахункова частина	43
3.1 Розрахунок трансформатора	43
3.2 Розрахунок стабілізатора	47
4 Конструкторсько-технологічна частина	50
4.1 Конструкція перетворювача	50
4.2 Технологія виготовлення та збірки друкарської плати	51
5 Економічне обґрунтування	58
5.1 Суми витрат по статтям кошторису	58
5.1.1 Розрахунок зарплати розробників технічної документації	58
5.1.2 Розрахунок зарплата за виготовлення	

дослідного зразка	59
5.1.3 Розрахунок вартості матеріалів	60
5.1.4 Матеріальні витрати на зразок	60
5.1.5 Собівартість дослідного зразка	61
5.1.6 Розрахунок кошторису витрат на конструкторську підготовку виробництва	62
5.1.7 Розрахунок заробітної плати робочих в разі серійного виготовлення виробу	62
5.1.8 Розрахунок планованої собівартості одиниці продукції проводиться на основі калькуляційних статей	62
5.2 Розрахунок терміну окупності розробки	63
6 Охорона праці та техногенна безпека	65
6.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів	65
6.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів	68
6.3 Виробнича санітарія	70
6.4 Електробезпека	70
6.5 Пожежна та техногенна безпека	73
Висновки	76
Перелік використаних джерел	77
Додаток А	79
Додаток Б	80
Додаток В	82

ВСТУП

Вимірювання фізичних величин застосовують не тільки в технічних науках, а й в інших галузях. Вимірювання є гарантом забезпечення ефективних технологічних процесів та високої якості продукції, без вимірювання не мислимі всі дослідження науки і техніки. Загальний рівень розвитку науки і техніки, технічний прогрес у всіх галузях завжди визначався і визначається рівнем розвитку вимірювальної техніки. Це ствердження впливає з ролі вимірювань як джерела найоб'єктивнішої інформації про навколишній матеріальний світ. Особливо важлива роль електричних вимірювань, які завдяки ряду переваг над не електричними вимірюваннями, стали основними.

Переваги електричних вимірювань:

- універсальність, тобто можливість вимірювань не тільки електричних величин, а й не електричних, попередньо перетворивши на електричні;
- дистанційність – можливість передачі вимірюваної інформації у вигляді електричних сигналів на практично довільні відстані від досліджуваного об'єкта;
- можливість вимірювань швидкозмінних величин за допомогою малоінерційних електронних засобів вимірювальної техніки;
- можливість забезпечення високої чутливості та потрібної точності;
- можливість комп'ютеризації вимірювань.

Сучасна інформаційна техніка дає можливість вимірювати найрізноманітніші величини (електричні, магнітні та неелектричні). У переважній більшості неелектричні величини вимірюються електричними вимірювальними приладами після попереднього перетворення неелектричних величин в електричні як найзручніші для передачі, підсилення та вимірювання.

В данні роботі ставиться мета проаналізувати структурні схеми існуючих пристроїв та методики для виміру напруги та струму.

1 ПРИСТРОЇ ВИМІРУ НАПРУГИ ТА СТРУМУ

1.1 Елементна база систем виміру

Сучасну вимірювальну техніку важко уявити без такої важливої складової, як мікроконтролер. В останній час на активно використовуються різноманітні побутові та промислові електронні пристрої. В багатьох таких пристроях працює мікроконтролер.

Технології на основі мікроконтролерів дуже ефективні. Один і той же пристрій, який раніше збирався на традиційних елементах, будучи зібрано з використанням мікроконтролерів, становиться простіше. Вони не потребують налагоджування та менші за розміром. Крім цього, з використанням мікроконтролерів з'являються практично безмежні можливості по додаванню нових споживчих функцій та можливостей до вже існуючих пристроїв.

Незважаючи на те, що мікроконтролери AVR появились на ринку близько 26 років тому, їх популярність до сьогоднішнього часу дуже велика. З кожним роком вони охоплюють все нові ланки на ринку. Не останню роль в цьому відіграє відношення показників ціна/швидкодія/енерговикористання, до цього часу являються майже найкращі на ринку 8 – бітних мікроконтролерів. Крім того постійно зростає число виготовлення сторонніми виробниками різних програмних та апаратних засобів підтримки розробок пристроїв на їх основі. Все це дозволяє говорити про мікроконтролери AVR, які останні роки виготовляє фірма Місгосіп паралельно зі своєю продукцією. Мікроконтролери сімейства Мега підтримують декілька режимів низького енерговикористання, мають блок переривання, сторожевий таймер та допускають програмування безпосередньо в готовому пристрою.

Метою роботи є розробка пристрою для вимірювання напруги та струму, основою якої є мікроконтролер.

Для побудови мікропроцесорної системи необхідно обрати найбільш енергоефективні елементи [1,4].

Для вирішення поставленої задачі, проектування було поділено на 2 етапи. На першому етапі – аналіз точності аналогово-цифрових перетворювачів. Для їх стабільної роботи та виконання відповідних функцій необхідно було обрати наступні елементи: конденсатори, резистори, транзистори та діоди. На другому етапі побудови мікропроцесорної системи інформаційного табло необхідно було обрати найбільш ефективний та економічний спосіб відображення інформації, яку можуть виконувати світлодіоди або рідкокристалічні індикатори зі спеціалізованим контролером.

1.2 Вимірювання напруги

Діапазон значень напруги або за необхідності струму, що треба вимірювати в сучасній практиці дуже широкий (від часток пікоампер до сотень кілоампер, від часток нановольт до одиниць кіловольт). Вимірювання малих струмів та напруг є типовою задачею, що виникає під час роботи з різними первинними перетворювачами – тензорезистивні, терморезистивні, п'єзоелектричні, іонізаційні і т. д. До малих струмів та зарядів належать струми від 10^{-18} – 10^{-5} А; напруги – 10^{-10} – 10^{-5} В; заряду – 10^{-12} – 10^{-5} Кл. Нижчі границі діапазонів відповідають реально досяжним порогам чутливості відповідних вимірювальних приладів [1].

1.2.1 Вимірювання постійних струму та напруги

Для вимірювань постійних струмів та напруг найчастіше використовують магнітоелектричні прилади, яким властиві висока чутливість, точність, широкий діапазон вимірювань. Магнітоелектричні прилади з вмонтованими шунтами та додатковими резисторами дають змогу вимірювати струм від 10^{-8} до 50 А, а напругу – від 10^{-5} до 1000 В. Приведемо основні схеми вимірювань напруги вольтметром з додатковим резистором (рис. 1.1).

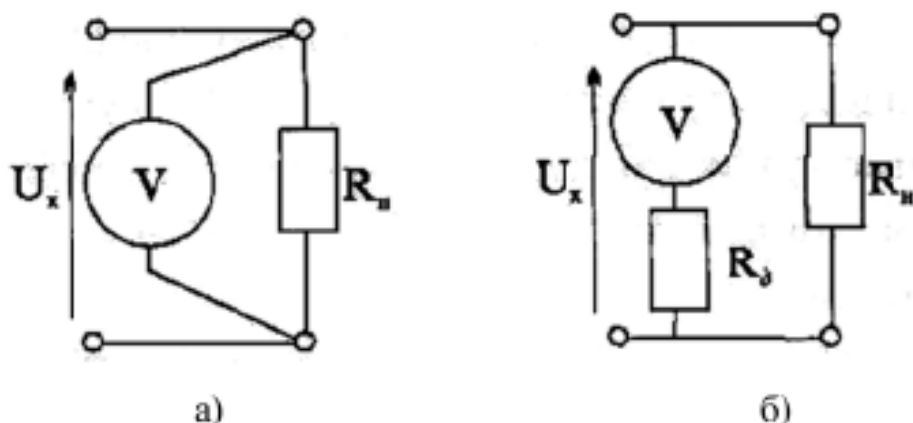


Рисунок 1.1 – Основні схеми вимірювань напруги вольтметром (а) та вольтметром з додатковим резистором (б)

$$U_x = U_V + I_V \cdot R_g = U_V \left(1 + \frac{R_g}{R_V} \right),$$

де I_V, U_V, R_V – параметри вольтметра;

R_g – опір додаткового резистора

Номинальний струм додаткових резисторів повинен збігатися за значенням зі струмом повного відхилення вольтметра, а його опір вибирається таким, щоб множник $1 + \frac{R_g}{R_V}$ був цілим числом кратним 2 або 5, або 10.

Клас точності додаткового резистора повинен бути вищим від класу точності вольтметра.

Основні схеми вимірювання струму:

За допомогою амперметра;

- За допомогою мілівольтметра з шунтом.

$$I_x = I_{ш} + I_{mv} = \frac{U_{ш}}{R_{ш}} + \frac{U_{ш}}{R_{mv}} = \frac{U_{ш}}{R_{ш}} \left(1 + \frac{R_{ш}}{R_{mv}} \right),$$

де $I_{ш}, U_{ш}, R_{ш}$ – параметри шунта;

I_{mv}, R_{mv} – опір та струм мілівольтметра

Клас точності шунта повинен бути вищим від класу точності мілівольметра. Для вимірювання струмів, що перевищують 10 кА (це максимальне значення для серійних шунтів) можна скористатися паралельним з'єднанням декількох шунтів.

Приведемо основні схеми вимірювання струму (рис. 1.2).

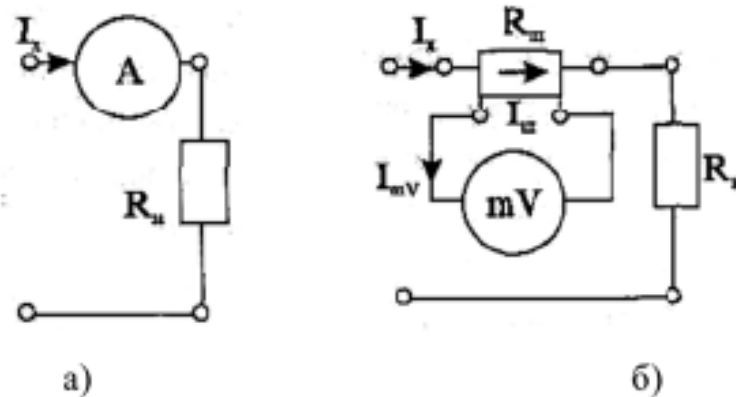


Рисунок 1.2 – Основні схеми вимірювання струму за допомогою амперметра (а) та мілівольметра з шунтом (б)

Для вимірювання дуже великих струмів, а також для вимірювання струму в колах високої напруги, застосовують вимірювальний трансформатор постійного струму з магніторезистивним амперметром.

Вимірювання струму та напруги може відбуватися за допомогою електродинамічних приладів, електростатичних амперметрів, аналогових та цифрових електронних приладів.

Електродинамічні прилади за точністю не поступаються магнітоелектричним, однак мають значно менший діапазон вимірювань (1 мА – 10 А по струму, від 1 до 600 В) та вони споживають значно більшу потужність, тому їх застосування на постійному струмі обмежене.

Суттєву перевагу мають електростатичні вольтметри. Вони практично не споживають потужності від досліджуваного об'єкта, тому їх доцільно застосовувати для вимірювання напруги в малопотужних колах.

Найширші можливості мають електронні (аналогові, цифрові) прилади. Важливими перевагами є:

- Широкодіапазонність;
- Мале споживання енергії від досліджуваного об'єкта;
- Висока точність;

Переваги цифрових приладів:

- Висока швидкодія;
- Автоматичний вибір діапазону вимірювання;
- Визначення полярності вимірюваної величини
- Можливість передачі та реєстрації результатів вимірювання.

Найточніші вимірювання напруги здійснюються за допомогою компенсаторів напруги постійного струму. Принцип дії компенсатора полягає в тому, що вимірювальна ЕРС або напруга U_x урівноважується з відповідним падінням напруги на компенсаційній опорі при проходженні через нього струму від зовнішнього джерела напруги. Якщо вимірювана напруга не перевищує верхньої границі вимірювання компенсатора, то вона подається на затискачі компенсатора. Похибка залежить від класу точності компенсатора і може бути зведена до 0,002%. Якщо вимірювана величина перевищує верхню границю вимірювання компенсатора, що в більшості випадків становить 1,2 або 2,4 В, використовують подільники напруги. Приведемо схему вимірювання напруги за допомогою компенсатора напруги постійного струму (рис. 1.3).

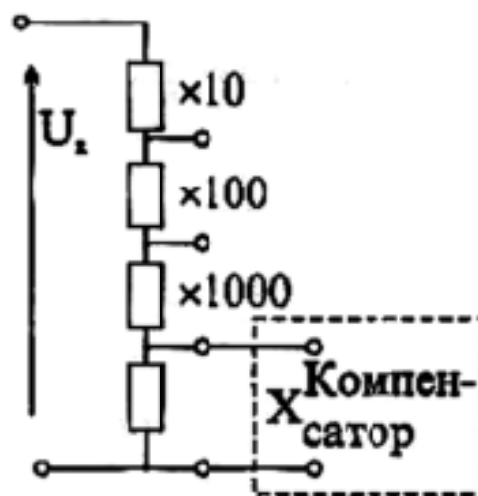


Рисунок 1.3 – Схема вимірювання напруги компенсатором напруги постійного струму

Серійні подільники напруги дають змогу розширити границі вимірювання компенсатора до 1000 В. Здебільшого вони мають коефіцієнт ділення 10, 100, 1000.

Вимірювання струму за допомогою компенсатора полягає у вимірюванні спаду напруги на відомому опорі R_0 . Приведемо схему вимірювання струму компенсатором напруги постійного струму (рис. 1.4).

Значення опору R_0 вибирають таким, щоб падіння напруги на ньому не перевищує верхньої границі вимірювання компенсатора. Для точних вимірювань великих постійних струмів використовують метод компарування – безпосереднього порівняння двох однорідних величин, одна з яких пропорційна вимірювальній величині, інша може бути виміряна з високою точністю.

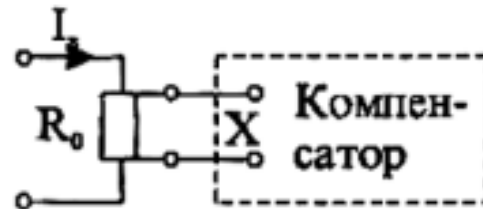


Рисунок 1.4 – Схема вимірювання струму компенсатором напруги постійного струму

Вимірювання великих постійних струмів зводиться до вимірювання порівняно невеликого струму, значення якого може бути визначене з високою точністю.

Покажемо на рисунку принципову схему резистивного компаратора струму (рис. 1.5).

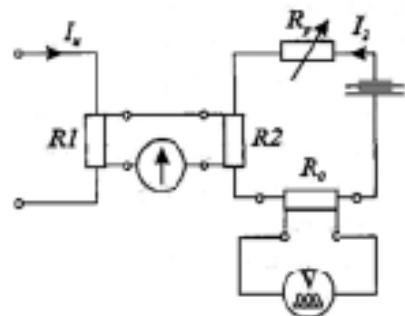


Рисунок 1.5 – Принципова схема резистивного компаратора струму ($R_1 \ll R_2$)

Принцип роботи резистивного компаратора струму оснований на порівнянні падіння напруг, що створюється великим струмом I_x та компенсаційним струмом I_2 на двох точних резисторах R_1 і R_2 . Оскільки струм I_2 значно менший від струму I_x , він може бути виміряний точно по падінню напруги на зарядовому опорі R_0 за допомогою цифрового вольтметра.

$$I_x R_1 = I_2 R_2$$

$$I_x = \frac{I_2 R_2}{R_1}$$

Для точних вимірювань дуже великих постійних струмів використовують магнітні компаратори.

1.2.2 Вимірювання змінних струму та напруги

Для вимірювання діючого значення струму та напруги промислової частоти найчастіше користуються електро-магнітними, електро-динамічними та феро-динамічними приладами, а на підвищених – термоелектричними, електро-статичними та електронними аналоговими та цифровими приладами [1].

Середня область значень змінних струму та напруги – 10 мА – 10 А та 1 – 600 В може бути виміряна будь-яким з приладів вище перелічених систем. Однак при вимірюванні та при виборі конкретних приладів слід враховувати їх конкретні особливості.

Для вимірювання струму менше 1 мА і напруги нижче 0,1 В ефективно застосовувати електронні прилади, нижні границі вимірювання яких досягає 10^{-9} А і по напрузі 10^{-6} В.

Найвищу границю вимірювання по струму мають електромагнітні амперметри; по напрузі – електростатичні. Сучасні цифрові вимірювальні при-

лади можуть вимірювати значення діючої напруги частотою від 1,5 Гц до 1 МГц в діапазоні від 1 мкВ до 750 В.

Для розширення границь вимірювання амперметром застосовують вимірювальні трансформатори струму. Покажемо на рисунку схему вимірювання змінного струму з використанням вимірювального трансформатора струму (рис. 1.6).

Похибка вимірювання включає похибки амперметра і коефіцієнт трансформації струму. Щоб зменшити вплив останньої клас точності вимірювання трансформатором завжди беруть вищим від класу точності амперметра.

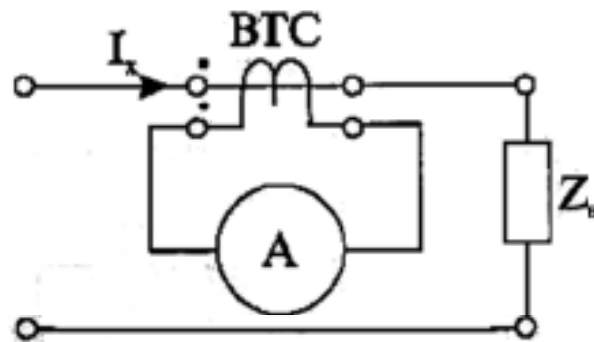


Рисунок 1.6 – Схема вимірювань змінного струму з BTC

$$I_x = I_A \cdot k_I,$$

де k_I – номінальний коефіцієнт трансформації вимірювального трансформатора струму;

Z_n – навантаження

Напругу, яка перевищує 600 вимірюють використовуючи вимірювальні трансформатори напруги. Приведемо схему вимірювань змінної напруги з вимірювальним трансформатором напруги (ВТН) (рис. 1.7).

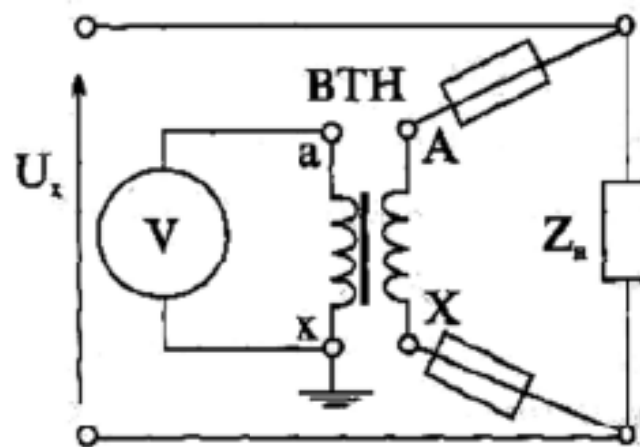


Рисунок 1.7 – Схема вимірювань змінної напруги з ВТН

$$U_x = U_y \cdot k_U,$$

де k_U – номінальний коефіцієнт трансформації вимірювального трансформатора напруги

Якщо напруга кола перевищує 600 В, вторинну обмотку і корпус трансформатора заземляють.

Прилади прямого перетворення забезпечують вимірювальні напруги та струму не нижче 0,1 %. Точніші вимірювання можна проводити за допомогою компараторів [1].

1.3 Відхилення, коливання та інші важливі параметри напруги

Відхилення напруги від її номінального значення характеризується показником усталеного відхилення напруги δU_y на виводах приймачів електроенергії, нормально допустиме значення якого дорівнює $\pm 5\%$, а граничнодопустиме – $\pm 10\%$ від номінальної напруги $U_{\text{ном}}$.

Усталене відхилення напруги обчислюють за виразом:

$$\delta U_y = \frac{U_y - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100$$

де $U_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N U_i^2}{N}}$ – усереднене середньоквадратичне значення напруги з

N спостережень (не менше 18 спостережень) за інтервал часу в одну хвилину;
 U_{\max} – номінальна лінійна чи фазна напруга.

Здебільшого усталене відхилення напруги δU_y визначається за показами автономних цифрових вольтметрів або як таких, що входять у склад складніших приладів чи інформаційно-вимірювальних систем.

Одним із основних показників, що характеризують коливання напруги, є розмах зміни напруги δU_t . Граничне допустиме значення розмаху зміни напруги, обвідна якої, а отже, і середньоквадратичне значення напруги, має форму меандра (рис. 1.8) і нормується стандартом ГОСТ 13109-97. Залежно від інтервалу Δt_w між змінами напруги, δU_t не повинен перевищувати $\pm 4,0\%$ при $\Delta t_w = 60$ хв і $\pm 0,4\%$ при $\Delta t_w = 0,1$ хв. Розмах зміни напруги визначають за формулою:

$$\Delta U_t = \frac{U_i - U_{i+1}}{U_{\max}} \cdot 100$$

де U_i та U_{i+1} – значення екстремумів, що ідуть один за одним і визначаються на кожному півперіоді основної частоти.

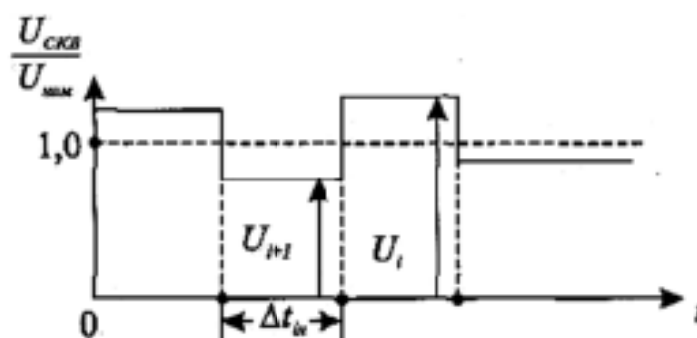


Рисунок 1.8 – Розмах зміни напруги для коливань напруги за формою меандра

Несинусоїдальність напруги характеризується коефіцієнтом спотворення форми кривої напруги та коефіцієнтом n -ї гармонічної складової.

Коефіцієнт спотворення синусоїдальної кривої напруги K_U визначається як

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^m U_n^2}}{U_1} \cdot 100$$

де U_1 – діюче значення напруги основної частоти;

U_n – діюче значення n -ї гармоніки, причому в ГОСТ 13109-97 - регламентується $m = 40$.

Допускається визначити K_U як

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^m U_n^2}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100$$

Значення коефіцієнта n -ї гармонічної складової визначається як

$$K_{U_n} = \frac{U_n}{U_{\text{ном}}} \cdot 100$$

Оцінюють значення цих коефіцієнтів як результат усереднення N їх вимірювань на інтервалі часу в 3 с. Кількість вимірювань повинна бути не менше ніж 9.

При цьому основними вимірювальними засобами є спектральні аналізатори та вимірювачі нелінійних спотворень електричних сигналів. Перші з них ґрунтуються на застосуванні системи фільтрів, кожен з яких налаштований на кратну основній частоту повторення. Останнім часом, завдяки розвитку мікропроцесорів, використовують спеціальні алгоритми цифрових фільтрів, що базуються на опрацюванні миттєвих значень дискретизованих сигналів. Такі прилади дають змогу отримувати спектральний розклад сигналів електромережі із задекларованою кількістю n гармонік з точністю не вище $\pm 1\%$. Другий вид пристроїв, що вимірюють лише значення k_U , будується на основі високодобротного фільтра, який відокремлює сигнал основної гармоніки від сумарного сигналу, залишаючи тільки сигнал, що характеризує вищі гармоніки, починаю-

чи з другої. З відношення отриманого діючого значення напруги вищих гармонік до діючого значення напруги основної гармоніки U_1 або номінальної напруги $U_{ном}$ знаходять коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги мережі k_U . Похибка вимірювання k_U при цьому становить не менше $\pm 0,5\%$.

1.4 Провали напруги та тимчасові перенапруги

Провали напруги та тимчасові перенапруги можуть виникати в результаті перерегулювань систем стабілізації напруги або внаслідок комутаційних процесів мережі (рис. 1.9).

Явище провалу напруги фіксується в момент часу t_a , коли з'являється різке зниження обвідної середньоквадратичного значення напруги на півперіоді основної частоти нижче від рівня $0,9 U_{ном}$. Тривалість провалу $\Delta t_n = t_k - t_a$, де t_k – момент часу відновлення середньоквадратичного значення напруги за півперіод частоти мережі до значення $0,9 U_{ном}$. Якісним показником провалу напруги є її глибина $\delta U_y = \frac{U_y - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100$, де $U_{ном}$ – найменше зі всіх вимірюваних середньоквадратичних значень напруги [1].

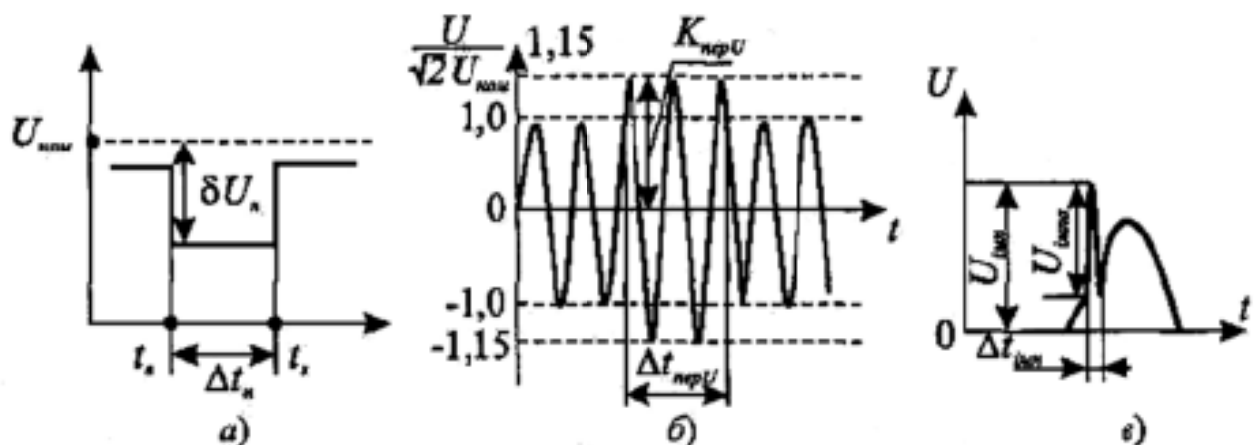


Рисунок 1.9 – Провал напруги (а); часова перенапруга (б) та імпульсне спотворення напруги (в)

Завдяки комутативним та атмосферним явищам в мережі найчастіше можливі два види різкого збільшення напруги. Перший з них характеризується порівняно тривалим (до однієї хвилини) зростанням амплітуди напруги із збереженням форми сигналу, близької до синусоїдальної (рис. 9,б). Це збільшення напруги називають часовою перенапругою. Початком цього явища вважають момент різкого перевищення амплітуди напруги U_m упродовж кожного півперіоду значення $1,1\sqrt{2}U_{ном}$, причому тривалість фронту такого зростання напруги не повинна перевищувати 5 мс. Закінчення перенапруги відбувається в момент повернення амплітуди контрольованої напруги до значення $1,1\sqrt{2}U_{ном}$. Інтервал між цими моментами часу називають тривалістю часової перенапруги $\Delta t_{пер} U$. Інколи для визначення $\Delta t_{пер} U$ використовують як граничне не амплітудне, а середньоквадратичне значення напруги ($1,1U_{ном}$). Крім тривалості $\Delta t_{пер} U$, основним показником явища часової перенапруги вважають коефіцієнт часової перенапруги, що визначається з виразу

$$K_{перU} = \frac{U_{m\max}}{\sqrt{2}U_{ном}}$$

де $U_{m\max}$ – найбільше з виміряних за час контролю амплітудне значення вхідної напруги.

Крім означених перевищень, в електричній мережі часто зустрічаються швидкі імпульсні спотворення форми напруги (рис. 1.9, в). Здебільшого тривалість таких одно-чи біполярних імпульсів становить $\Delta t_{имп} = 1 \text{ мкс} \dots 5 \text{ мс}$. Розрізняють амплітуду власне імпульсу $U_{ал\text{имп}}$ відокремленого від кривої синусоїдальної напруги, та максимальне сумарне значення напруги $U_{имп}$ з урахуванням миттєвого значення синусоїдальної напруги. Залежно від номінального значення напруги мережі $U_{ном}$ та її особливостей максимальне значення $U_{имп}$ може сягати $(3 \dots 10) U_{ном}$. Так, наприклад для мережі $U_{ном} = 220 \text{ кВ}$ – $(U_{имп})_{\max}$ може досягати до 705 кВ.

Якщо для вимірювання показників часової перенапруги та провалів напруги здебільшого застосовують спеціалізовані цифрові вольтметри на основі АЦП та едно-кристальних мікропроцесорів з ядром типу MCS[®]51 чи з RISC-архітектурою, то для контролю імпульсів напруги частіше використовують імпульсні вольтметри. Найпростіші, але менш точні схеми з похибкою вимірювання в межах $\pm 1,0 \dots \pm 5,0 \%$ реалізуються за допомогою різних варіантів впрямних схем амплітудного значення напруги на швидкодіючих напівпровідникових діодах. Застосування принципів побудови аналогових обчислювальних машин з різними функціональними і операційними перетворювальними схемами дає змогу точніше виділити момент появи і закінчення імпульсу на фоні синусоїдального сигналу напруги та визначити амплітуду імпульсу.

Один з варіантів реалізації таких вимірювачів з амплітудно-часовим перетворенням імпульсів напруги наведено на рис. 10, де СЗ - схема заряду конденсатора С, СТС - стабілізатор струму розряду цього конденсатора, СА - схема аналізу заряду-розряду С.

Поява імпульсу напруги викликає заряд накопичувального конденсатора до значення напруги, яке дорівнює амплітуді імпульсу $U_{имп}$. Після цього відбувається паралельне перетворення накопиченої напруги двома каналами. За допомогою вибраного режиму розрядження конденсатора, близького до лінійного, стабільним струмом схеми СТС на першому виході отримують прямокутний імпульс з періодом повторення $T_{max} = f(U_{имп})$.

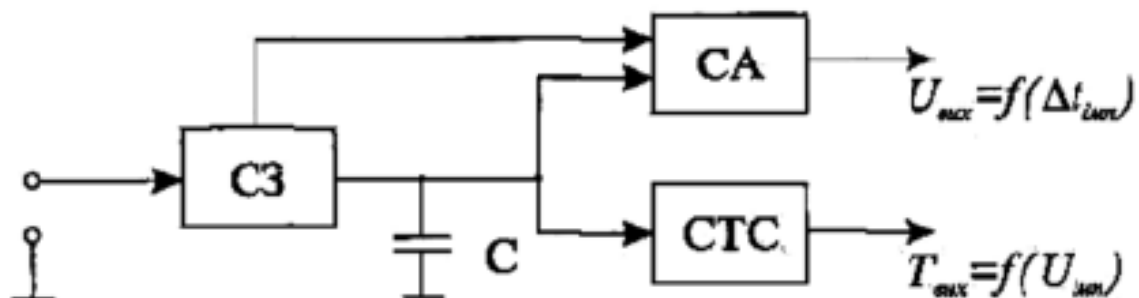


Рисунок 1.10 – Схема амплітудно-часового та часо-амплітудного перетворення імпульсів напруги

Похибка отриманого результату визначається наявною нелінійністю розрядження конденсатора C і сягає $\pm 1,0... \pm 2,0\%$ для найменшої амплітуди імпульсу ($U_{\text{имп}}\text{)}_{\text{мін}} = 100$ В в мережі з $U_{\text{ном}} = 380$ В.

Одночасно схемою аналізу СА на другому виході формується напруга $U_{\text{ска}}$ пропорційна часу лінійного заряду конденсатора C , тобто

$$U_{\text{ска}} = \frac{k_t}{C} \int_0^{\Delta t_{\text{имп}}} i dt = \frac{k_t I \Delta t_{\text{имп}}}{C},$$

де I - струм заряду конденсатора, k_t - коефіцієнт пропорційності, що визначається особливостями схем СЗ та СА. Точність вимірювання мінімальних тривалостей $\Delta t_{\text{имп}}$ до 10 мкс та амплітуди імпульсу до 100 В в мережі з $U_{\text{ном}} = 380$ В становить $\pm 1,0...2,5\%$.

Несиметрія напруг. Відомо, несиметричну трифазну систему можна розкласти на 3 симетричні системи: прямої, зворотної та нульової послідовності.

Несиметрія трифазної системи напруг характеризується такими показниками якості енергії, як коефіцієнтом несиметрії напруг за зворотною послідовністю:

$$K_{2V} = \frac{U_2}{U_1} 100$$

та коефіцієнтом несиметрії напруг за нульовою послідовністю:

$$K_{0V} = \frac{\sqrt{3}U_0}{U_1} 100$$

де U_0 – напруга нульової послідовності;

U_1 – напруга прямої послідовності;

U_2 – напруга зворотної послідовності [1].

1.5 Аналіз існуючих схемотехнічних рішень

Багатоканальний дистанційний вольтметр який наведено далі є пристроєм, що дозволяє віддалено вимірювати значення змінних синусоїдальних напруг від декількох різних джерел (шість каналів в даній реалізації) і представляти отриману інформацію на шести трьохрозрядних семисегментних індикаторах. Розробка пристрою обумовлена необхідністю постійного контролю енергопостачання обладнання, розташованого на деякому віддаленні від місця знаходження людини. В даний час пристрій застосовується для контролю трьох фаз вхідної напруги, що подається на промисловий нормалізатор і трьох фаз знімається напруження. Відстань від місця вимірювання до місця індикації складає 800м. Конструктивно вольтметр виконаний у вигляді двох модулів - модуля вимірювання та передачі, що розташовується безпосередньо в місці вимірювання, а так само модуля прийому та індикації, що встановлюється на робочому місці. Зв'язок між двома модулями організовується за допомогою пари проводів. Канал зв'язку гальванічно розв'язаний від вузлів пристрою, що знаходяться під небезпечною напругою, передача інформації проводиться струмовим сигналом, що має значення до 30мА [2].



Рисунок 1.10 – Структурна схема вольтметра

Технічні характеристики пристрою:

- Вимірюється напруга: 100-330V AC, 50Hz;
- Інтервал між вимірами: 0.5 сек. (оновлюються всі 6 значень);
- Напруга живлення модуля прийому та індикації: 7-25V DC;
- Напруга пробую гальванічної розв'язки модулів: 5.0кВ;

- Максимальна похибка вимірювання: $\pm 1,5\%$.

Аналого-цифрове перетворення проводиться за допомогою АЦП, інтегрованого в МК ATmega8 [3]. Для вимірювання діючого значення змінної напруги реалізований алгоритм детектування піку синусоїдального сигналу і його подальше множення на амплітудний коефіцієнт синусоїди. Живлення модуля вимірювання та передачі проводиться через безтрансформаторний блок живлення від першого каналу вимірюваної напруги. При падінні напруги на цьому каналі нижче рівня 90В модуль відключиться. Світлодіод HL1 служить для індикації процесу передачі інформації приймального модулю.

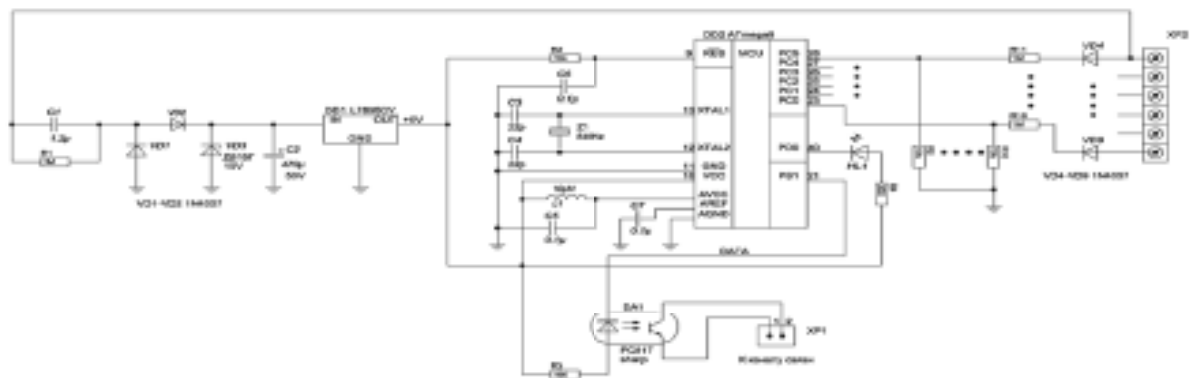


Рисунок 1.11 – Схема електрична принципова вольтметра.

Вимірювальна частина

Живлення модуля прийому та індикації здійснюється від зовнішнього джерела постійної напруги 7 - 25В. У нормальному режимі на всіх індикаторах відображаються значення вимірюваної напруги, відповідні певному каналу. За відсутності посилок від передавача в перебігу більш 2 -х періодів поновлення (приблизно 1,4 сек.) На всіх індикаторах відображається слово "Err", що сигналізує про порушення каналу зв'язку, або несправності передавача. Індикація повертається в нормальний режим після отримання чергової послілки. Зниження напруги по якомусь з каналів, крім першого, нижче 100В призводить до індикації " --- " на відповідному індикаторі, інші канали відображаються в

нормальному режимі. У даному виконанні вольтметра проводиться вимірювання виключно мережевого змінної напруги, однак внісши мінімальні зміни в програмну частину МК передавального модуля, а так само змінивши номінали резисторів дільників напруги R5 - R10 і R11 - R16, можливо вимірювати і постійна напруга по всіх або декількох окремих каналах [2].

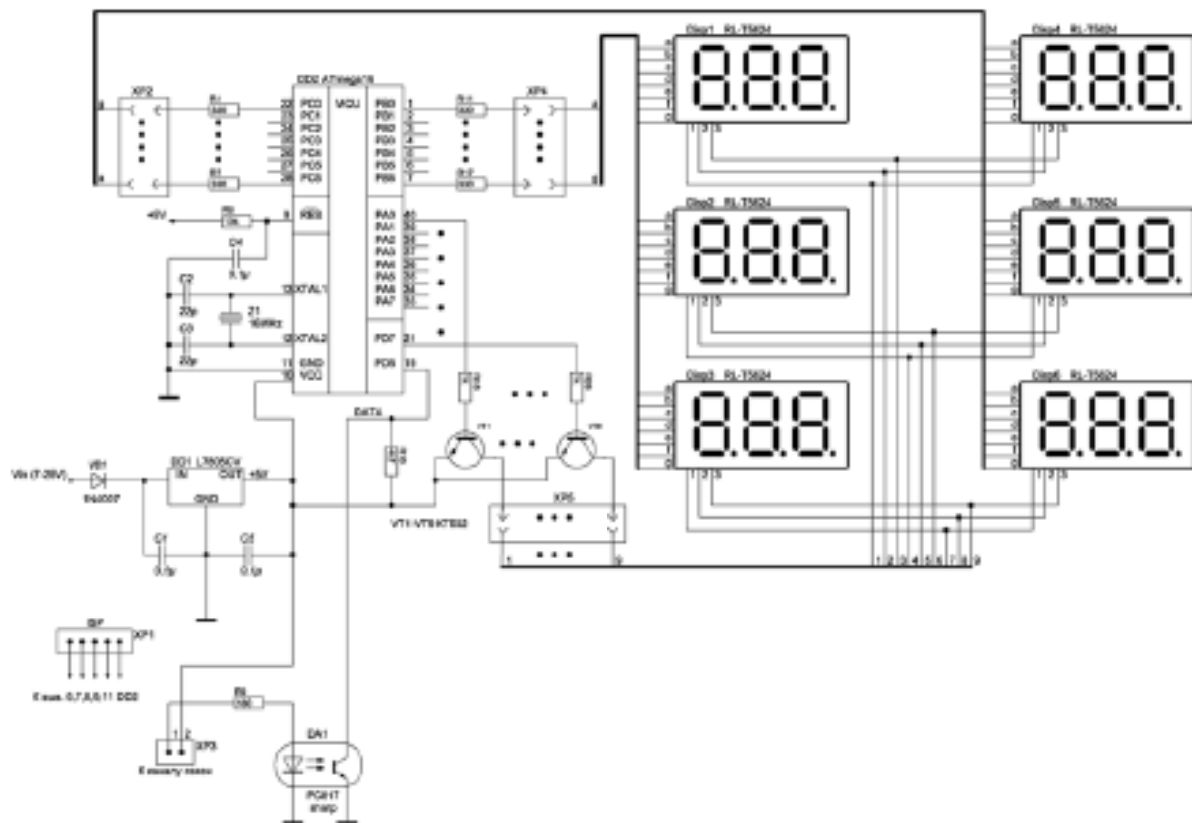


Рисунок 1.11 – Схема електрична принципова вольтметра.

Індикаторна частина

1.6 Аналіз існуючих АЦП

Одночасна вибірка каналів забезпечує зчитування даних з датчиків, що відносяться до одного моменту часу. Багатоканальні АЦП містять пристрої вибірки та зберігання (ПВЗ або T / H track - and - hold) по кожному каналу, АЦП, схему синхронізації, схему вихідного інтерфейсу (послідовний або паралельний). Пристрій вибірки й зберігання являє собою осередок аналогової пам'яті з ключем. Управління процесом вибірки (ключ відкритий - ключ закритий)

тий) здійснюється схемою синхронізації. Ключовими параметрами, що визначають фазову точність вибірки по каналах, є затримка фіксації аналогового рівня від моменту подачі фронту сигналу і розкид часу фіксації по каналах. Процес перетворення аналогових даних в цифрові складається з фази фіксації даних у пристрої вибірки та зберігання, послідовного або паралельного перетворення даних в цифровий код і передачі реєстрового файлу в хост-процесор для обробки. У більш простих і дешевих схемах використовується послідовне в часі перетворення за допомогою одного каналу АЦП і комутатора, підключеного до виходів схем вибірок та зберігання (див. рис. 1.12).

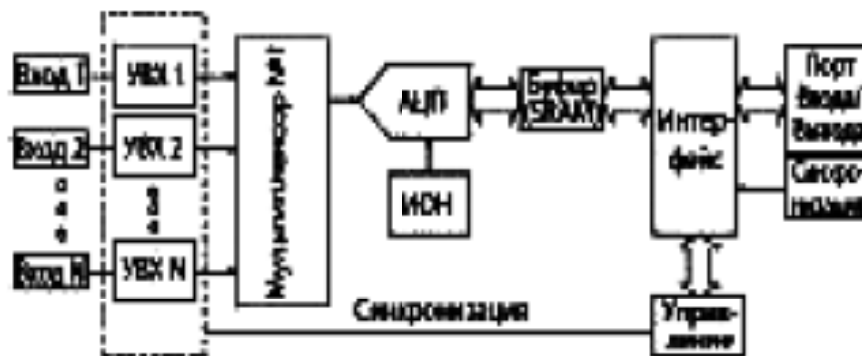


Рисунок 1.12 - Структура багатоканального АЦП одночасної вибірки з одним каналом перетворення аналог - цифра і мультиплексором

Однак більшу продуктивність забезпечує використання паралельного аналого -цифрового перетворення відразу по всіх каналах (див. рис. 1.13). В останньому випадку за рахунок паралельного перетворення його час значно скорочується. Однак вартість такого АЦП також вище, ніж у АЦП з послідовним поканальним перетворенням.

Для забезпечення високих швидкостей перетворення і передачі даних використовується паралельний інтерфейс з 12/14/16- і навіть 24 - розрядної шиною. При невисоких швидкостях перетворення, але з високою точністю, зазвичай використовується дешевший послідовний інтерфейс.

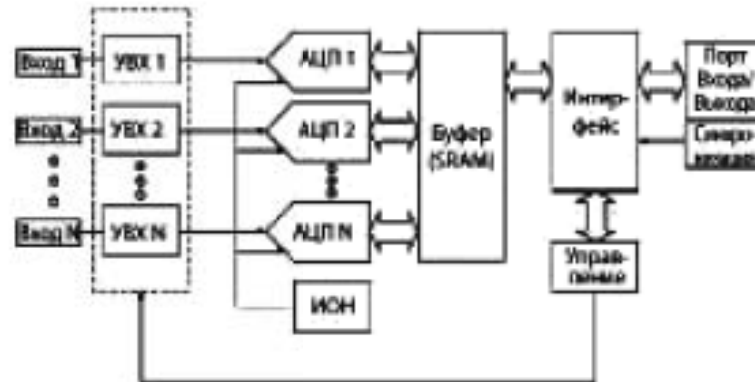


Рисунок 1.13 - Багатоканальний АЦП одночасної вибірки та з декількома модулями аналого -цифрового перетворення

Для вимірювання з великим динамічним діапазоном використовується т.зв. принцип перетворення сигма -дельта і аналогічна попередній архітектура - кілька АЦП з синхронізованими ПВЗ.

Області застосування багатоканальних АЦП з одночасною вибіркою:

- Тестове промислове багатоканальне вимірювальне обладнання.
- Мультіфазні електроприводи.
- Моніторинг трифазних мереж на підстанціях.
- Пристрої захисту високовольтних мереж напруги.
- Джерела безперебійного живлення.
- Синусно-косинусні прецизійні датчики кута.
- Багатовекторний аналіз в вібраційних стендах.
- Медична багатоканальна діагностична апаратура.
- Гідро -, радіо-, ультразвукова локаційна апаратура.

Класифікація багатоканальних АЦП з одночасною вибіркою фірми Махіт. Для задоволення різних вимог, що виникають у процесі проектування вимірювальних систем, компанія Махіт розробила ряд АЦП з одночасною вибіркою, які відрізняються числом каналів, продуктивністю, точністю, типом цифрового інтерфейсу, діапазоном входних напруг і ціною (див. Табл. 1.1) [4].

Таблиця 1.1 - Основні параметри багатоканальних АЦП з одночасною вибіркою фірми Maxim

Тип	Число каналів	Разрядність, бит	SNR, дБ	Частота виборки, скорость передачи, квыб./с	Задержка и разброс выборки по каналам	Интерфейс	Диапазон входных сигналов, В	Корпус
MAX 1304	8	12 1 канал SAR ЦАП	71	456 при активных 8 каналах	8-нс задержка 100-пс разброс по каналам	Параллельная 12-разрядная шина, 20 МГц	0...5 В	48 TQFP 7 × 7 мм
MAX 1305	4						MAX1304/ MAX1305/ MAX1306	
MAX 1306	2							
MAX 1308	8						±5 В	
MAX 1309	4						MAX1308/ MAX1309/ MAX1310	
MAX 1310	2							
MAX 1312	8						±10 В	
MAX 1313	4						MAX1312/ MAX1313/ MAX1314	
MAX 1314	2							
MAX1316	8	14 1 канал SAR АЦП	76	250 при 8 активных каналах	10-нс апертура задержки 50-пс разброс по каналам	Параллельная, 14-разрядная шина, 16,6 МГц	0...5 В	48 LQFP 7 × 7 мм
MAX1317	4						MAX1316/ MAX1317/ MAX1318	
MAX1318	2							
MAX1320	8						±5 В	
MAX1321	4						MAX1320/ MAX1321/ MAX1322	
MAX1322	2							
MAX1324	8						±10 В	
MAX1325	4						MAX1324/ MAX1325/ MAX1326	
MAX1326	2							
MAX11044	4	16 4 канала АЦП	92	250 при 8 активных каналах	10-нс апертура задержки 100-пс разброс по каналам	Параллельная 16-разрядная шина, 20 МГц	±4,0...±5,2 В	56 TQFN 8 × 8 мм
MAX11045	6							
MAX11046	8							
MAX 11040	4	24 4 канала Дельта-сигма АЦП	106 при 16 квыб./с 117 при 1 квыб./с	Программируемая 0,25...64	Программируемая задержка 0...333 мкс	Последовательный, 4-проводный SPI/QSPI/MICROWIRE	±2,2 В	38 TSSOP

Всі типи АЦП мають роздільне живлення аналогових і цифрових ланцюгів. Діапазон напруг живлення аналогової частини 4,75... 5,25 В, а цифровий - 2,7... 5,25 В. Незважаючи на однополярної харчування, деякі наведені АЦП можуть працювати з джерелами двополярності сигналів, при цьому їх напруга може перевищувати напруга живлення самих мікросхем.

Всі зазначені прилади мають вбудований джерело опорного напруги. Виконання в корпусах TQFP, QFP, LQFP забезпечують малі габарити розроблюваних пристроїв. Структура 12-розрядних ЦАП MAX1304 - MAX1314. Структура усіх мікросхем цієї серії АЦП однакова (див. рис. 1.14). Для аналого-цифрового перетворення використовується схема з одним АЦП і мультиплексор. Мікросхеми серії відрізняються числом каналів і діапазоном входних напруг. Це найбільш доступні і недорогі АЦП з одночасною вибіркою в номенклатурі Maxim.

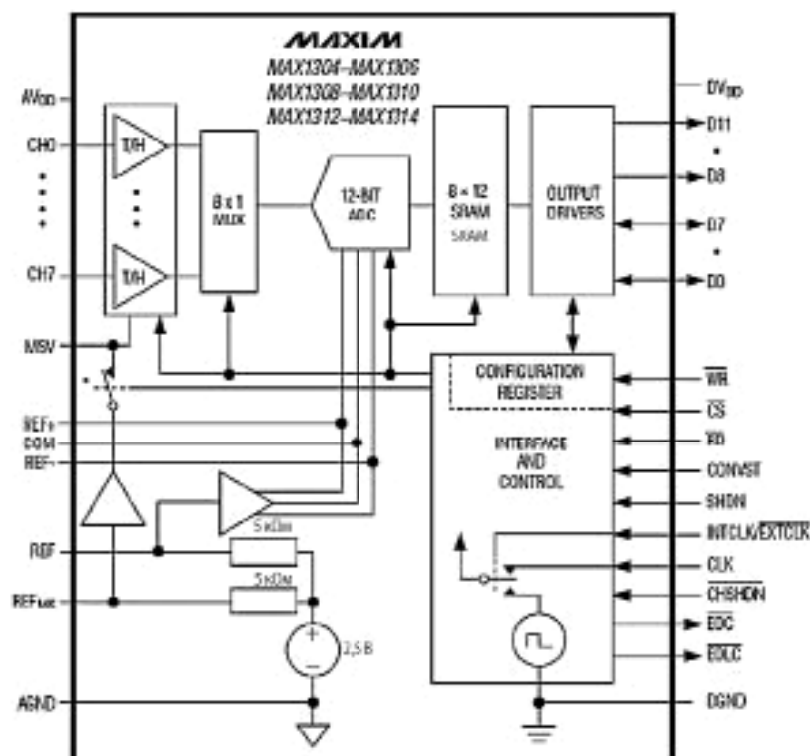


Рисунок 1.14 - Структура 12 - розрядних АЦП з одночасною вибіркою серії MAX1304 — MAX1314

Мікросхеми містять внутрішнє джерело опорної напруги, а також джерело синхронізації. Двонаправлена 12-розрядна шина забезпечує високу швидкість передачі даних в хост- процесор. З цієї ж шини проводиться конфігурація режимів АЦП. Для зниження енергоспоживання передбачені режими роботи Shutdown і PowerSaving.

Лінійка 14-розрядних АЦП MAX1316 - MAX1318, MAX1320 - MAX1322, MAX1324 - MAX1326У даній серії багатоканальних АЦП з одночасною вибіркою використовується схема з одним ядром аналого-цифрового перетворення та мультиплексор. Мікросхеми цієї серії мають однакову структуру (див. рис. 1.15). Відмінність полягає в числі каналів і діапазоні входних напруг. Це 14-розрядний розвиток попередньої розробки MAX1304 - MAX1314. Відповідно, більше і ціна цих мікросхем, в порівнянні з аналогічними мікросхемами 12-розрядної серії.

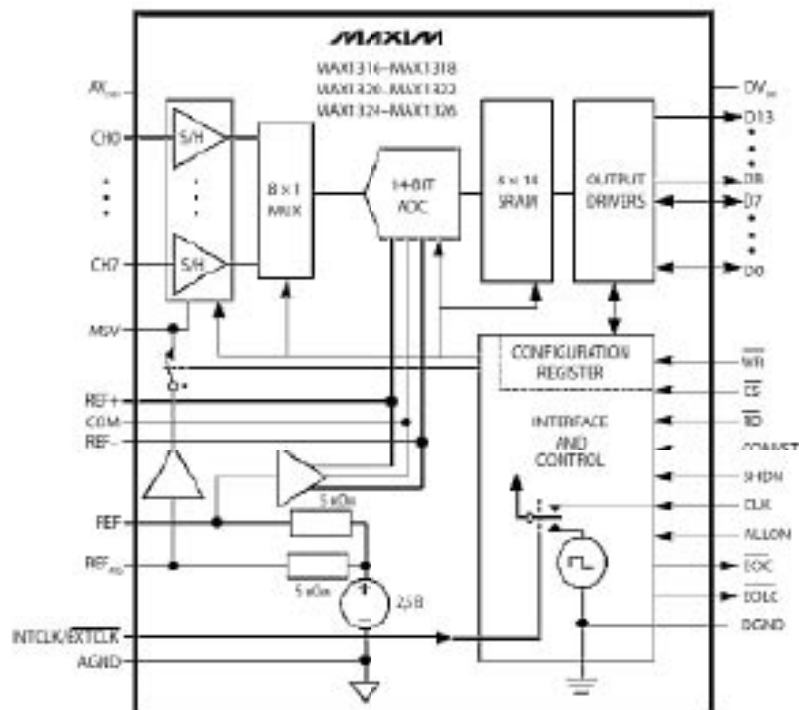


Рисунок 1.15 - Структура 14 - розрядних АЦП серії MAX1316 — MAX1326

Мікросхеми мають внутрішнє джерело опорної напруги, але додатково може підключатися і зовнішній ІОН. Мікросхеми відрізняються двома параметрами - числом каналів, діапазоном входних напруг і, відповідно, швидкістю передачі. Чим менше число каналів, тим коротше цикл перетворення і передачі кадру даних. При використанні всього одного каналу цикл перетворення і передачі складає всього 1,6 мкс, а для варіанту з використанням 8 каналів - 3,7 мкс. Слід взяти до уваги, що ціна мікросхем цієї серії в великій мірі зале-

жить від числа каналів. Для восьми каналних типів АЦП вона максимальна. Для чотирьохканальних модифікацій ціна нижча в два і більше разів. Для двоканальних модифікацій ціна знижується ще більш ніж у чотири рази.

Для зниження енергоспоживання передбачені режими роботи Shutdown і PowerSaving. Для зв'язку з процесором обробки використовується двонаправлена 14-розрядна шина даних, по якій здійснюється конфігурування режимів роботи каналів АЦП. Для скорочення часу перетворення може використовуватися режим суміщення циклів передачі попереднього каналу з циклом перетворення подальшого каналу. Робочий температурний діапазон: $-40... +85^{\circ}\text{C}$. Для досягнення 14 - розрядної точності в окремих додатках рекомендується використовувати вхідні буферні підсилювачі, реалізовані, наприклад, на ОУ MAX4350 або MAX4265. Структура 16-розрядних АЦП MAX 11044/45/46 Мікросхеми цієї серії виконані за однією схемою і відрізняються лише числом вхідних аналогових каналів - відповідно, 4; 6 і 8. У структурі використовується паралельне перетворення за допомогою поканального незалежних АЦП, що забезпечує високу швидкість перетворення вибірок. 16-розрядна паралельна шина забезпечує високу швидкість передачі даних в хост- процесор. Особливістю мікросхем цієї серії MAX11044/45/46 (див. рис. 1.16) є високий опір вхідних каскадів - до 1 ГОм. Для ряду додатків з високоімпедансними датчиками це властивість дозволяє значно спростити завдання поєднання датчика, знизити вплив шумів і допомогти реалізувати максимальний дозвіл.

Висока продуктивність даної серії АЦП і число каналів як не можна краще підходить для додатків, пов'язаних з управлінням багатофазним електроприводом. На рис.1.17 показано приклад використання АЦП в системі управління трифазним електроприводом на основі сигнального процесора. Два канали 8-канального АЦП MAX 11046 використовуються для перетворення даних кутового синусно-косинусного датчика, інші три канали - для моніторингу струмових ланцюгів трифазного електродвигуна [5].

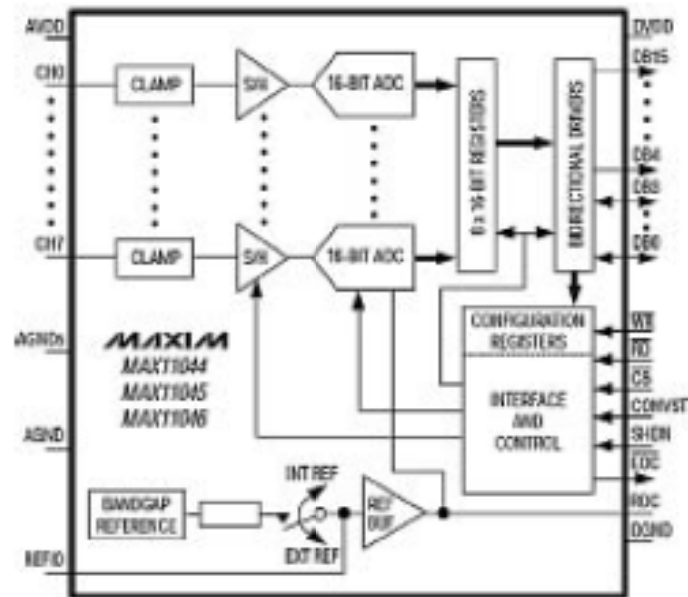


Рисунок 1.16 - Структурна схема 16 - розрядних АЦП з одночасною вибіркою серії MAX11044/45/46

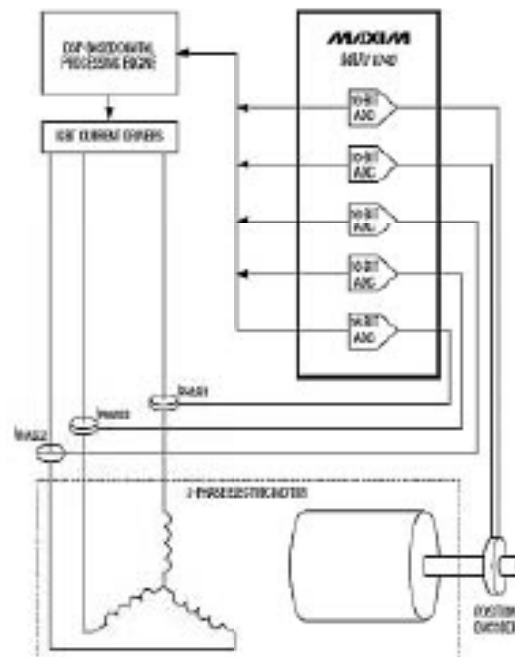


Рисунок 1.17 - Приклад використання АЦП в системі управління трифазних електроприводом

Таким чином, проаналізувавши існуючі рішення можна зробити висновки по вибору мікроконтролеру та схем збору та відображення інформації о напруги, що вимірюється.

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ СИСТЕМИ

2.1 Вибір мікроконтролера для системи управління

При виборі мікроконтролера для системи управління треба враховувати, що він повинен виконувати наступні функції:

- контролювати наявність напруги в електромережі. Якщо вона пропадає, то мікропроцесор припиняє вимірювання;
- виводить на дисплей інформацію для повідомлення користувача про проблеми з електроживленням у колі виміру струму;
- автоматично виконує розрахунки середнього значення напруги та струму;
- контролює інформування о струмі на дисплеї в реальному масштабі часу для користувача;
- забезпечує режим вимірювання потужності;
- проводить самотестування в режимі відключення трансформаторів напруги;
- відображає меню користувача, в якому він може змінювати режими роботи кожного з каналів вимірювання.

Основні критерії вибору мікроконтролера представлені нижче в порядку важливості:

1. Придатність для прикладної системи.

а) Чи має мікроконтролер необхідне число контактів / портів введення / виводу, тому що в разі їх нестачі він не зможе виконати роботу, а в разі надлишку ціна буде занадто високою.

Обраний мікроконтролер повинен мати, як мінімум, 4 порти введення/виводу.

б) Чи має він всі необхідні пристрої, такі як послідовні порти введення/виводу, RAM, ROM, A/D, D/A і т.д.

в) Чи має ядро CPU відповідну пропускну здатність, тобто обчислювальну, що дозволяє обробляти системні запити протягом усього життя системи на обраній прикладній мові?

2. Доступність.

а) Чи існують пристрої в достатніх кількостях?

б) Чи проводиться воно зараз?

3. Підтримка розробника.

а) Асемблер.

б) Компілятори

в) Засоби налагодження (внутрішній емулятор).

г) Відладчики програм у вихідних текстах.

Виходячи з вище сказаного, був обраний мікроконтролер фірми Atmel ATmega32, який задовольняє всім, що пред'являються до нього, вимогам.

ATmega32 – 8-бітовий мікроконтролер AVR® з 8 Кбайт FLASH пам'яттю програм.

Відмітні особливості:

- - Висока продуктивність при малому споживанні;
- - RISC архітектура;
- - 130- команд, більшість виконуваних за один машинний такт;
- - 32x8 робочих регістра загального призначення;
- - Повністю статичний режим;
- - До 16 MIPS продуктивність при 16 МГц;
- - Вбудованій 2-х тактний помножувач;
- - Незалежна пам'ять програм і пам'ять даних;
- - 8К байтів FLASH пам'яті програм з внутрісистемним самопрограмуванням;
- - 10 000 циклів записи-стирання;

- - Завантажувальна область пам'яті з незалежними ключовими бітами;

- - 512 байтів EEPROM;

- - 100 000 циклів записи- стирання;

- - 512 байтів внутрішньої SRAM;

- - Програмованій ключ доступу до програм і пам'яті даних;

Периферія:

- два 8-бітових таймера/лічильника з програмованим переддільником і режимом порівняння;

- один 16 бітовий таймер/лічильник з програмованим переддільником, режимом порівняння і захоплення;

- лічильник реального годині з програмованим генератором;

- чотири ШПМ генератора:

- 8 канальний, 10- бітовий АЦП

- 8 простих уніполярних входів;

- 7 диференціальних входу (тільки для TQFP);

- 2 диференціальних входу з програмованим посиленням (x1, x10, x200) (тільки для TQFP);

- байт орієнтований двопровідний інтерфейс;

- програмованій послідовний USART;

- Master/Slave SPI;

- вбудованій аналоговий компаратор;

- програмованій Watchdog з генераторами, що перемикаються;

Спеціальні функції контролера:

- Reset при включенні і пониженні напруги живлення;

- зовнішні і внутрішні джерела переривання;

- внутрішній RC-генератор, що калібрується;

- шість режимів енергозбереження.

- Idle, зменшення шуму АЦП, економічний, вимкн., очікування і розширений режим очікування;
- 40- вивідний корпус PDIP, 44-вивідний TQFP, 44-х PLCC і 44-х MLF.
- 32 програмованих входу-виходу;

Робоча напруга живлення:

2.7В до 5.5В ATmega32L;

4.5В до 5.5В ATmega32;

Робоча тактова частота:

0- 8 МГц ATmega32L;

0-16 МГц ATmega32.

На рис 2.1 приведена блок- схема ATmega 32 [6].

Загальний опис:

ATmega32/L є КМОП 8-бітовим мікроконтролером, побудованим на розширеній AVR RISC архітектурі. Використовуючи команди виконувані за один машинний такт, контролер досягає продуктивності в 1 MIPS на робочій частоті 1 МГц, що дозволяє розробникові ефективно оптимізувати споживання енергії за рахунок вибору оптимальної продуктивності.

AVR ядро поєднує розширений набір команд з 32 робочими регістрами загального призначення. Все 32 регістри сполучено з АЛУ, що забезпечує доступ до двох незалежних регістрів на годину виконання команди за один машинний такт. Завдяки вибраній архітектурі досягнута найвища швидкість коду і відповідно висока продуктивність в 10 разів перевершує швидкість відповідного мікроконтролера CISC.

ATmega32/L містить: 8К байт внутрішньо програмованої FLASH пам'яті програм з можливістю читання в процесі запису, 512 байтів EEPROM, 512 байтів SRAM, 32 входи-виходи загального призначення, 32 робочих регістра, три гнучкі таймери/лічильники з режимом порівняння, зовнішні і внутрішні переривання, послідовний програмований USART, байт орієнтований дво-провідний інтерфейс, 8-канальний, 10-бітовий АЦП з додатковим про-

грамованим диференціальним підсилювачем (для TQFP корпусу), програмований таймер з внутрішнім генератором, послідовний порт SPI Watchdog і шість, вибраних програмно, режимів заощадження енергії.

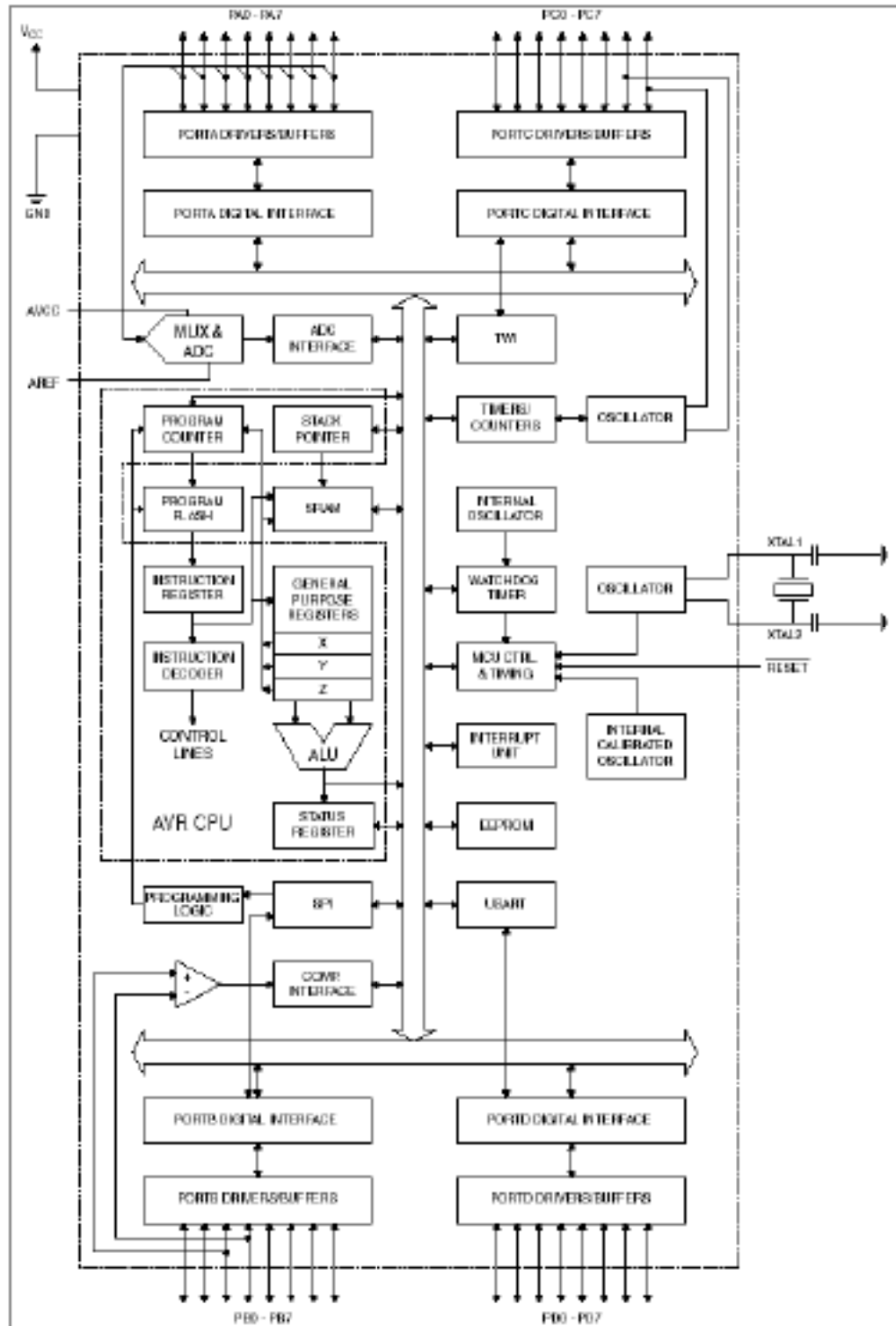


Рисунок 2.1 – Блок - схема мікроконтролеру

На рис. 2.2 приведено розташування виводів мікроконтролера.

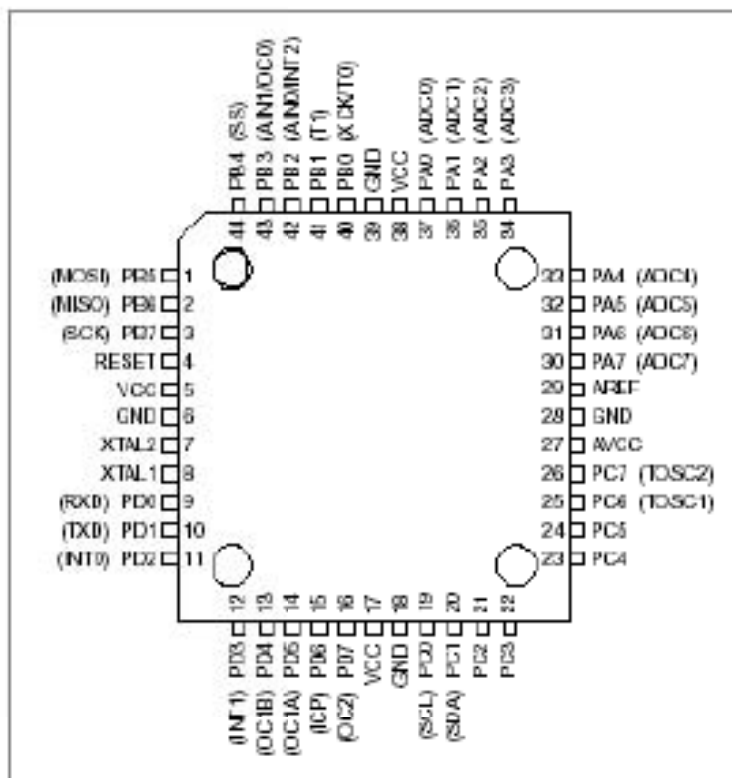


Рисунок 2.2 – Розташування виводів мікроконтролера

У режимі Idle ЦПП не функціонує тоді як функціують SRAM, таймери/лічильники, SPI порт і система переривань. У ATmega32 існує спеціальний режим приглушення шуму АЦП, при цьому в цілому в сплячому режимі функціонує тільки АЦП і асинхронний таймер для виключення цифрових шумів в процесі перетворення АЦП. У режимі Вискл. процесор зберігає вміст всіх регістрів, заморожує генератор тактових сигналів, припиняє всі інші функції кристала до приходу зовнішнього переривання або надходження зовнішньої команди Reset. У режимі очікування працює генератор тактових частот в той час як решта блоків знаходиться в сплячому режимі. Швидкий перехід в

нормальний режим роботи забезпечує мале споживання енергії. У розширеному режимі очікування в робочому стані знаходяться основний генератор і асинхронний таймер.

Мікросхеми випускаються при використанні Atmel технології незалежної пам'яті високої щільності. Вбудована ISP FLASH дозволяє програмувати пам'ять програм через послідовний інтерфейс SPI стандартним програматором незалежної пам'яті, або вбудованою завантажувальною програмою ЦПП, що працює в ядрі. Завантажувальна програма може використовувати будь-який інтерфейс для експорту робочої програми в FLASH пам'ять.

2.2 Вибір АЦП

Аналізуючи завдання приходимо до вибору АЦП. В даному випадку це буде АЦП фірми MAXIM MAX11046 на 8 каналів з одночасною вибіркою. Для реалізації завдання в схему електричну принципову треба включити два таких АЦП [7].

Серія АЦП включає в себе MAX11044/ MAX11044B/ MAX11045/ MAX11045B /MAX11046/ MAX11046B на 16-біт і MAX11054/ MAX11055 / MAX11056 на 14-біт. АЦП запропонувати 4 , 6 або 8 незалежних каналів. Завдяки незалежній вибірці, зберіганню (Т/Н (стеження / зберігання)) і SAR схема забезпечує одночасний відбір з частотою 250ksps для кожного каналу. MAX11044/MAX11044B/MAX11045/ MAX11045B /MAX11046/ MAX11046B і MAX11054/MAX11055 /MAX11056 мають вхід на $\pm 5\text{В}$. Всі входи та виходи за межі діапазону захищені. АЦП також включають в себе вхідний фільтр на сму-гу 4 МГц, внутрішній годинник, і внутрішні або зовнішні опорні напруги. Двонаправлений паралельний інтерфейс на 20 МГц, передає результати перетворення і може приймати сигнали конфігурації. MAX11044 /MAX11044B/ MAX11045/MAX11045B/MAX11046/MAX11046B і MAX11054/ MAX11055 / MAX11056 працюють з 4,75 до 5,25В аналогового живлення та мають окреме гнучке джерело живлення на напругу від 2,7 до 5,25В для зв'язку з хостом без

зсуву рівня. MAX11044 /MAX11044B/MAX11045/MAX11045B/MAX11046 / MAX11046B доступні в 56 - вивідному TQFN і 64 -контактний TQFP корпус в той час як MAX11054/MAX11055 /MAX11056 випускаються тільки в TQFP й працюють в діапазоні температур від -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$ [8].

Зазначені АЦП можуть використовуватись для автоматичного випробувального обладнання, моніторингу коефіцієнта потужності і корекції потужності, захисту багатофазних систем управління двигуном, при аналізі вібрації та осцилограм сигналу.

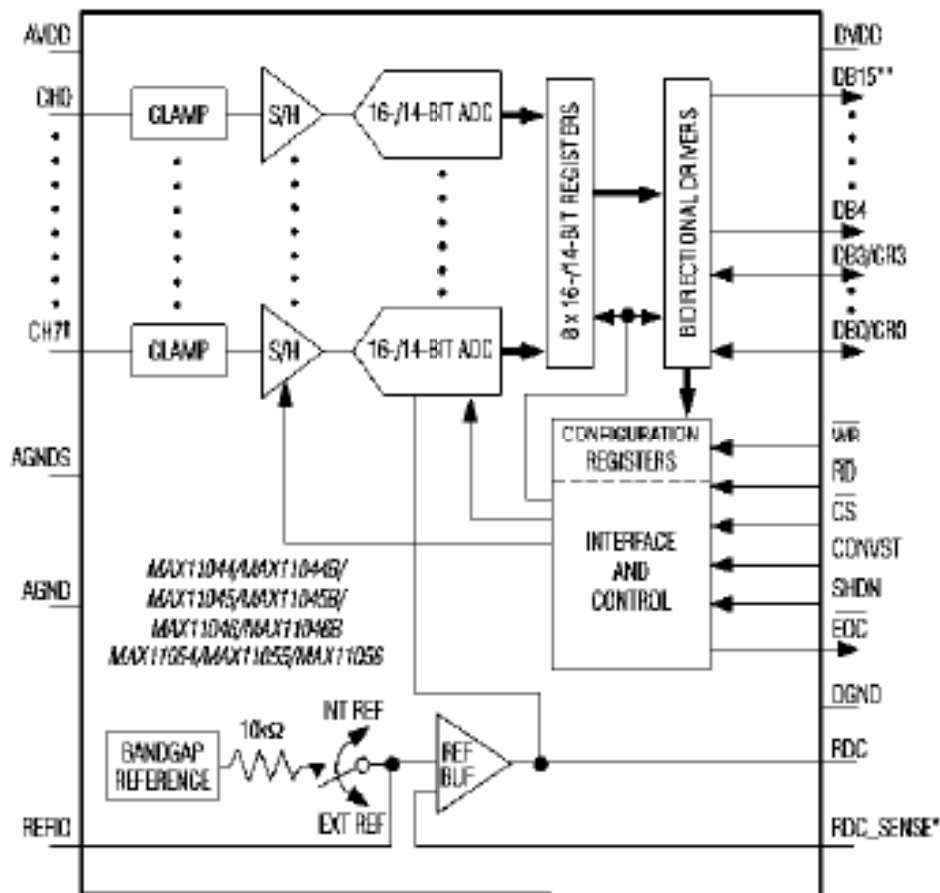


Рисунок 2.3 – Структура АЦП

Характеристики АЦП:

- Одномісний аналогового і цифрового живлення
- високоімпедансні входи до 1ГОм
- Вбудований в чіп Т/Н ланцюга для кожного каналу

- Час перетворення 3 мкс
- Висока пропускна: 250ksps для кожного каналу
- 16-Bit/14-Bit, високошвидкісний, з паралельним інтерфейсом
- внутрішнє тактування перетворення
- 10 нс апертура затримки
- 100пс на канал - канал
- Низький дрейф, Точна 4.096V внутрішнього ІОН який дозволяє обробляти діапазон ± 5 В.
- Зовнішнє завдання діапазону опорної напруги від 3,0 В до 4.25V.

Щоб зберегти фазову інформацію через всі канали, кожен вхід включає схему Т/Н (відстеження і тримання). Вхідна схема відстеження забезпечує 4MHz пропускну спроможність малого-сигналу, надаючи можливість пристрою перетворити в цифрову форму швидкісні події і зміряти періодичні сигнали з пропускними спроможностями, що перевищують ADC норму здійснення вибірки, використовуючи методи субдискретизації. Використовуючи фільтрацію помилкових завад, щоб уникати високочастотних сигналів, що були накладені в смузі частот, що представляють інтерес [9].

2.3 Мікросхеми для обробки сигналів з датчиків струму

Вимірювання струму виробляються найрізноманітнішими способами, але досі найбільш популярним способом залишається вимір струму за допомогою резистору. Базовий принцип цього методу - посилити падіння напруга на струмовимірювальні резистори, використовуючи диференційний підсилювальний каскад на ОП, а потім виміряти отримане напруга. Хоча для побудови підсилювача можна використовувати дискретні компоненти, інтегральні струмові підсилювачі мають значні переваги перед своїми дискретними

опонентами. У них менше температурний дрейф, для їх розміщення потрібно менше місця на друкованій платі, вони здатні працювати в широкому діапазоні синфазних сигналів.

У більшості випадків вимір струму робиться або з боку позитивної шини живлення (у верхньому плечі), або з боку земляний шини (в нижньому плечі). У разі вимірювань в нижньому плечі вимірювальний резистор включається послідовно з шиною землі. При такому включенні синфазна складова вхідного напруги буде невисокою, а вихідна напруга буде прив'язане до землі. Однак вимірювальний резистор при цьому вносить небажану додатковий опір на шляху протікання струму на землю. При вимірах в верхньому плечі вимірювальний резистор включають послідовно з шиною позитивного живлення. В цьому випадку навантаження виявляється заземленої, але резистор повинен справлятися з відносно великим синфазним напругою.

У струмовимірювальних підсилювачах верхнього плеча компанії Maxim використовується струмовимірювальні резистори, розташований між позитивним виводом джерела живлення і входом, на який подається напруга живлення для тієї схеми, моніторинг якої проводиться. Таке розміщення виключає внесення додаткового опору на шляху протікання струму навантаження на землю, що істотно спрощує розведення плати і покращує технічні характеристики схеми в цілому. Серед великої різноманітності односпрямованих і двонапрямлених струмовимірювальних інтегральних схем компанії Maxim є прилади як з вбудованими струмовимірювальні резистори, так і без них [10]. Промисловістю випускаються аналогові мікросхеми з одноразовим калібруванням ACS713.

Мікросхема є датчик струму з вбудованим вимірювальним провідником. Величина вимірюваного струму від 5А до 30А. Структурна схема мікросхеми показана на рис. 2.4 [11].

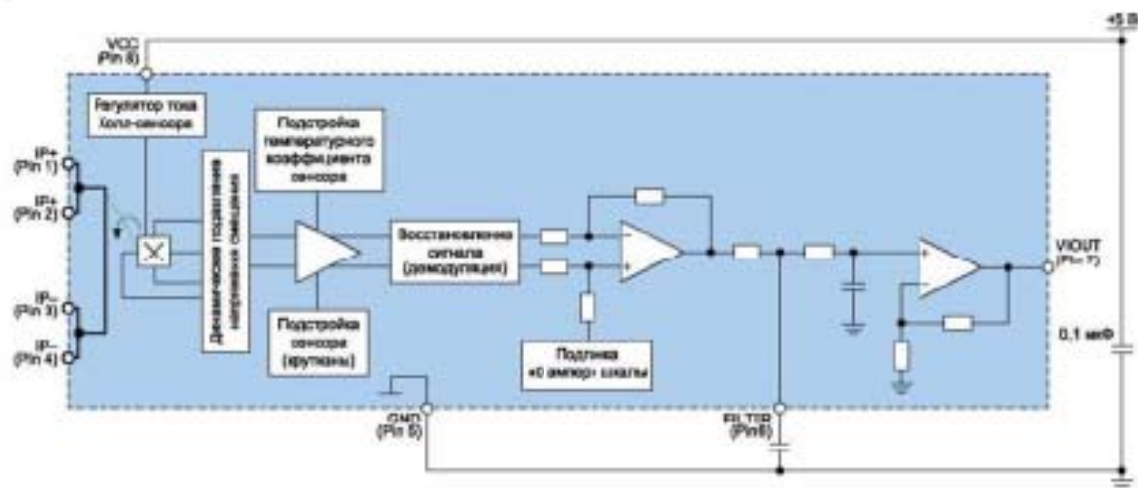


Рисунок 2.4 — Структура ACS713

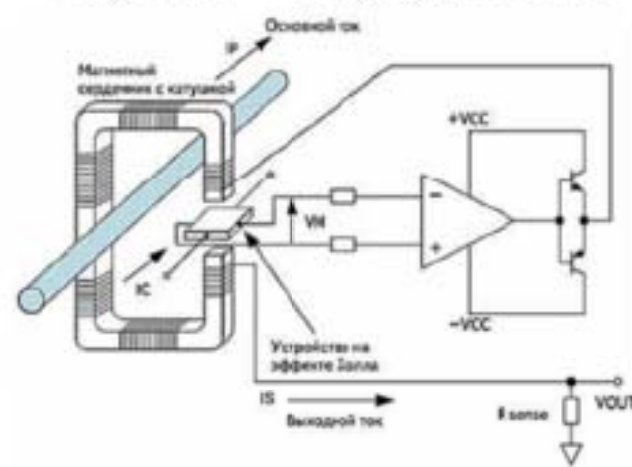


Рисунок 2.5 - Принцип обработки сигнала датчика в микросхемі ACS713

2.4 Вибір засобу індикації

Для відображення інформації існують різноманітні індикатори, такі як рідкокристалічні на світлодіодні матриці. Рідкокристалічні дисплеї в рамках даної роботи будуть більш привабливими з точки зору економічності та інформативності. Аналізуючи перелік доступних на ринку моделей рідкокристалічних дисплеїв найбільш оптимальний для даного пристрою є WH1602B, фірми Winstar Display Co. Ltd.

Характеристики дисплея: кількість символів у рядку - 16, кількість строк — 2, напруга живлення — 5В, сумарна товщина 10.0 мм, інтерфейс: 6800 (ST7066 IC або еквівалентний).

3 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

Для належного живлення вимірювального пристрою треба згідно завдання провести розрахунки джерела живлення з заданими технічними параметрами.

3.1 Розрахунок трансформатора

При розрахунку трансформатора [12], будемо використовувати наступні вхідні данні:

Напруга мережі: $U_1 = 220 \text{ В}$.

Частота струму мережі: $f_c = 50 \text{ Гц}$.

Струм вторинної обмотки: $I_2 = 0,1 \text{ А}$;

Напруга вторинної обмотки: $U_2 = 9 \text{ В}$.

Номінальна потужність трансформатора живлення є сумою номінальних потужностей вторинних обмоток і визначається по формулі:

$$P_{\text{ном}} = \sum_{i=2}^n P_i \quad (3.1)$$

Номінальна потужність вторинних обмоток і розраховується по формулі:

$$P_i = U_i \cdot I_i, \quad (3.2)$$

де U_i – напруга вторинних обмоток; I_i - струм вторинних обмоток.

Визначаємо по формулі 3.1 потужність вторинних обмоток трансформатора:

$$P_2 = 9 \cdot 0,1 = 0,9 \quad , \quad (3.3)$$

На підставі набутих значень по формулі 3.2 обчислюємо номінальну потужність трансформатора:

$$P_{\text{ном}} = 0,9 \quad ,$$

Задаємося ККД трансформатора $\eta = 0,7$.

Розрахуємо потужність в первинній обмотці по формулі:

$$P_1 = \frac{P_{\text{ном}}}{\eta} \quad (3.4)$$

$$P_1 = \frac{0,9}{0,7} = 1,3 \quad .$$

Виходячи з цього ми можемо розрахувати струм в первинній обмотці трансформатора по формулі:

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1} \quad (3.5)$$

де U_1 - напруга мережі, В.

$$I_1 = \frac{1,3}{220} = 0,006 \text{ А}$$

Визначимо активну площу перетину середнього стрижня трансформатора по формулі:

$$S_a = \sqrt{P_1}, \quad (3.6)$$

$$S_a = \sqrt{1,3} = 1,14^2.$$

По довіднику вибираємо типовий броньовий магнітопровід з активною площею перетину стрижня $S_a = 1,76\text{см}^2$ типу Ш12 з параметрами $h=2,2\text{мм}$, $b=0,8\text{мм}$, $c=1,2\text{мм}$.

По графіку визначимо щільність струму в обмотках, яка залежить від потужності трансформатора [13]:

$$\delta = 4 \frac{A}{\text{мм}^2}$$

Розрахуємо площу перетину дроту кожної обмотки трансформатора по формулі:

$$S_m = \frac{I_t}{\delta} \quad (3.7)$$

Знайдемо площу перетину дроту первинної обмотки:

$$S_{1m} = \frac{0,006}{4} = 0,0015^2. \quad (3.8)$$

Обчислюємо за формулою 3.8 площа перетину дроту вторинних обмоток:

$$S_{2m} = \frac{0,1}{4} = 0,025\text{м}^2$$

Розрахуємо діаметр дроту кожної обмотки трансформатора по формулі:

$$d_t = \sqrt{\frac{4 \cdot S_m}{\pi}} \quad (3.9)$$

Знайдемо діаметр дроту первинної обмотки:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0015}{3,14}} = 0,044^2$$

Знайдемо діаметр дроту вторинних обмоток:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,025}{3,14}} = 0,17^2$$

Вибираємо по довіднику стандартний дріт ПЕВ – 1 (одношаровий) з номінальним значенням діаметру дроту: 1 обмотка - 0.25мм; 2 обмотка — 0.51мм .

Розрахуємо число витків кожної обмотки по формулі:

$$\omega_l = \frac{U_l}{f_c \cdot K_\phi \cdot B_m \cdot S_a} \quad (3.10)$$

де f_c - частота струму мережі, Гц;

K_ϕ – коефіцієнт форми, $K_\phi = 4,44$;

B_m – амплітуда магнітної індукції в магнітопроводі, $B_m = 1,21$ Тс.

Знайдемо число витків в первинній обмотці:

$$\omega_1 = \frac{220}{50 \cdot 4,44 \cdot 1,21 \cdot 4,02 \cdot 10^{-4}} = 2037 \text{ витків.}$$

Знайдемо число витків у вторинних обмотках:

$$\omega_2 = \frac{9}{50 \cdot 4,44 \cdot 1,21 \cdot 4,02 \cdot 10^{-4}} = 84 \text{ витка.}$$

Визначимо розміщення обмотки по формулі:

$$S_{\text{моду}} = \omega_1 \cdot S_{1\text{ш}} + \omega_2 \cdot S_{2\text{ш}} + \omega_3 \cdot S_{3\text{ш}} \quad (3.11)$$

$$S_{\text{моду}} = 2037 \cdot 0,0015 + 84 \cdot 0,025 = 5,15 \text{ ВИТКІВ} \cdot \text{ММ}^2$$

Коефіцієнт заповнення вікна трансформатора можна розрахувати по формулі:

$$K_{\text{зап}} = \frac{S_{\text{моду}}}{S_{\text{окна}}} \quad (3.12)$$

де $S_{\text{окна}}$ – площа вікна сердечника, $S_{\text{окна}} = 9 \text{ ММ}^2$.

$$K_{\text{зап}} = \frac{5,15}{9} = 0,61$$

З метою забезпечення заданої вихідної напруги були розраховані діаметр дроту, кількість витків в кожній обмотці і коефіцієнт заповнення вікна трансформатора. Оскільки $K_{\text{зап}} < 1$, отже вся обмотка поміщається на сердечнику і тим самим поліпшується охолодження.

3.2 Розрахунок стабілізатора

В якості джерела стабілізованої напруги для живлення вимірювального пристрою на мікроконтролері вибираємо інтегральну мікросхему серії 78 L05 з параметрами наведеними в таблиці 3.1.

Оскільки АЦП, мікроконтролер та РК-індикатор всі працюють від 5В, то в даному випадку достатньо одного стабілізатора.

Таблиця 3.1 - Параметри мікросхеми 78L05

Вхідна напруга $U_{вх}$, В	8,5 ÷ 35
Вихідна напруга $U_{вих}$, В	5 ± 0,2
Струм навантаження $I_{нав...}$, А	0,01
Нестабільність вихідної напруги, %	4
Мінімальне падіння напруги, В	2

Розрахунок проводиться з умовою, щоб джерело напруги забезпечувало вихідну напругу 5В. Схема включення мікросхеми 78L05 приведена на рис. 3.1.

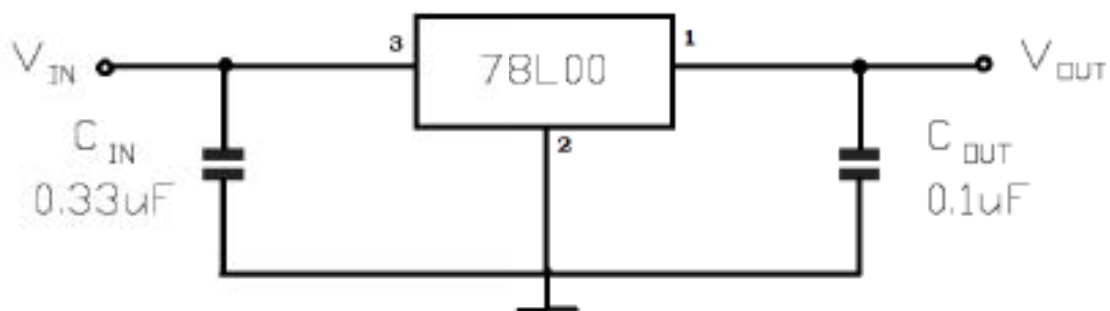


Рисунок 3.1 – Схема включення мікросхеми 78L05

Напруга на вході стабілізатора повинна складати $U_{вх}$ з урахуванням коефіцієнта пульсацій вхідної напруги $K_p = 5\%$

$U_{вих.min}$ визначається по формулі:

$$U_{вих.min} = U_n + U_{пад} \quad (3.13)$$

де ΔU – падіння напруги на регулюючому елементі ІМС.

$$U_{вих.min} = 5,0 + 2,0 = 7,0 \text{ В.}$$

Тоді $U_{вх.min}$ рівно:

$$U_{ex.min} = U_{ex} \cdot 1,05, \quad (3.14)$$

$$U_{ex.min} = 7,0 \cdot 1,05 = 7,35 \text{ В.}$$

$U_{вх.min}$ відповідає напрузі мережі живлення $U_{сmin} = 0,9U_{ном}$. Таким чином:

$$U_{ex.ном} = U_{вх.min} / 0,9, \quad (3.15)$$

$$U_{ex.ном} = 7,352 / 0,9 = 8,16 \text{ В.}$$

На вході інтегральної мікросхеми встановлюється електролітичний конденсатор С1, який є фільтром і виключає вплив перешкод з боку входу стабілізатора. Для підвищення стійкості стабілізатора, на виході повинен бути також встановлений конденсатори (електролітичний і керамічний підключені паралельно). В цьому випадку вибираємо конденсатор К50-80, ємністю 100 мкФ на 25В.

На виході та виході стабілізатору для забезпечення стабільності також встановлюється керамічний конденсатор ємністю 0,1 мкФ з робочою напругою 50В.

4 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Конструкція перетворювача

Конструкція пристрою для вимірювання напруги та струму виконана таким чином. Основні елементи приладу знаходяться в корпусі довжина якого 135 мм, ширина 85 мм та висота 68 мм. Передня панель приладу кріпиться до шасі чотирма гвинтами М4. На передній панелі встановлені індикатор для візуального контролю показань та режимів роботи: кнопки «Меню», «ОК», тумблер.

За допомоги DipTrace проводилось проектування принципів схем і друкованих плат (EDA — система). DipTrace включає в себе чотири основні програми:

- Schematic - розробка принципів схем;
- PCB Layout - розводка плат, ручна і автоматичне трасування;
- ComEdit - редактор корпусів;
- SchemEdit - редактор компонентів;

Основні функції:

- Редактор плат - проектування плат за допомогою потужного авто-трасувальника, зручною ручного трасування і системи позиціонування компонентів.

- Редактор схем - проектування схем з підтримкою ієрархії і необмеженої кількості аркушів. Експорт в редактор плат, список мереж (netlist) або симулятор.

- Редактори компонентів і корпусів - дозволяють створювати свої бібліотеки.

- Стандартні бібліотеки - містять більше 100 000 компонентів.

- 3D попередній - дозволяє переглядати тривимірну модель плати. З програмою поставляються більш 2.5 тис. 3D-моделей корпусів.

- Імпорт / Експорт - система може імпортувати схеми, плати і бібліотеки з P-CAD, PADS і інших популярних програм. Експорт в P-CAD, Gerber і інші формати дозволить підготувати плати для будь-якого виробництва.

- Російський інтерфейс, довідка, підручник і форматки - дозволять швидко вивчити й ефективно користуватися програмою.

4.2 Технологія виготовлення та збірки друкарської плати

Друкована плата являє собою плоску ізоляційну підставу, на одній або обох сторонах якої розташовані струмопровідні смужки металу (провідники) відповідно до електричної схеми.

Застосування друкованих плат дозволяє полегшити настройку апаратури і виключити можливість помилок при її монтажі, так як розташування провідників і монтажних отворів однаково на всіх платах даної схеми. Використання друкованих плат, обумовлює також можливість зменшення габаритних розмірів апаратури, поліпшення умов відведення тепла, зниження металоємності апаратури і забезпечує інші конструктивно-технологічні переваги в порівнянні з об'ємним монтажем.

Виготовлення друкарських плат відбувається на виробничій ділянці, де встановлено необхідне устаткування. Для виготовлення друкарських плат (ДП) використовують:

- шаруваті матеріали: фольгированные і нефольгированные листові діелектрики (папір, склотканина і ін.);

- нешаруваті матеріали (листові матеріали на основі фотопласта, сополімера, арилокса і ін.).

Залежно від кількості шарів з електропровідним рисунком, друковані плати поділяють на:

- односторонні (ОДП; є тільки один шар фольги);

- двосторонні (ДДП; два шари фольги);
- багатошарові (БДП; фольга не тільки на двох сторонах плати але і у внутрішніх шарах діелектрика), які застосовуються у випадках, коли розводка сполук на двосторонній платі стає занадто складною.

Залежно від умов експлуатації вибирається марка матеріалу ДП. Звичай ДП розробляються простій прямокутної форми, конфігурацію, що відрізняється від прямокутної, застосовують в технічно обґрунтованих випадках.

Процес виготовлення друкованої плати можна умовно розділити на п'ять основних етапів:

- попередня підготовка заготовки (очищення поверхні, знежирення);
- нанесення тим чи іншим способом захисного покриття;
- видалення зайвої міді з поверхні плати (травлення);
- очищення заготовки від захисного покриття;
- сверловка отворів, покриття плати флюсом, лудіння.

1. Попередня підготовка заготовки є початковим етапом і полягає в підготовці поверхні майбутньої друкованої плати до нанесення на неї захисного покриття. У цілому за тривалий проміжок часу технологія очищення поверхні не зазнала скільки-небудь значних змін. Весь процес зводиться до видалення окислів і забруднень з поверхні плати з використанням різних абразивних засобів і подальшого знежирення шкіри.

2. Нанесення захисного покриття є найважливішим етапом у процесі виготовлення друкованих плат, і саме їм на 90% визначається якість виготовленої плати. Найбільш популярними є три способи нанесення захисного покриття.

- Ручне нанесення захисного покриття. При цьому способі креслення друкованої плати переноситься на склотекстоліт вручну за допомогою якогось пристосування, яке пише.

Особливу увагу слід звернути на якість обробки краю трубки або голки: під час малювання вони не повинні дряпати плату, в іншому випадку можна по-

шкодити вже зафарбовані ділянки. В якості барвника при роботі з такими пристосуваннями можна використовувати розведений розчинником бітумний або якийсь інший лак, цапонлак або навіть розчин каніфолі в спирті. При цьому необхідно підібрати консистенції барвника таким чином, щоб він вільно надходив при малюванні, але в той же час не витікав і не утворював крапель на кінці голки або трубки. Варто відзначити, що ручний процес нанесення захисного покриття досить трудомісткий і годиться тільки в тих випадках, коли необхідно дуже швидко виготовити невелику плату. Мінімальна ширина доріжки, якої можна домогтися при малюванні вручну, становить порядку 0,5 мм.

- Використання «технології лазерного принтера і праски». Дана технологія з'явилася порівняно недавно, проте відразу одержала широке розповсюдження в силу своєї простоти і високої якості одержуваних плат. Основу технології складає перенос тонера (порошку, використовуваного при друку в лазерних принтерах) з якої-небудь підкладки на друковану плату. При цьому можливі два варіанти: або використовувана підкладка відділяється від плати перед травленням, або, якщо в якості підкладки використовується алюмінієва фольга, вона стравлюється разом з міддю.

Варто відзначити, що в силу особливостей друку лазерних принтерів шар тонера в середині великих суцільних полігонів досить малий, тому слід по мірі можливості уникати використання таких областей на платі, або після зняття підкладки доведеться підретушувати плату вручну. У цілому використання даної технології після деякого тренування дозволяє домогтися ширини доріжок і зазорів між ними аж до 0,3 мм.

- Застосування фоторезистів. Фоторезистом називається чутлива до світла речовина, яка під впливом освітлення змінює свої властивості. Сутність застосування фоторезиста полягає в наступному: на плату з нанесеним на неї шаром фоторезиста накладається фотошаблон і виробляється її засвітка, після чого засвічені (або незасвічені) ділянки фоторезиста змиваються спеціальним розчинником, в якості якого зазвичай виступає їдкий натр (NaOH). Всі фоторе-

зисти діляться на дві категорії: позитивні та негативні. Для позитивних фоторезистів доріжці на платі відповідає чорна ділянка на фотошаблоні, а для негативних, відповідно, прозора. Найбільшого поширення набули позитивні фоторезисти як найбільш зручні в застосуванні

Після нанесення шару фоторезиста необхідно висушити отриману плівку. Робити це рекомендується при температурі 70-80 градусів, причому спочатку потрібно підсушити поверхню при невеликій температурі і лише потім поступово довести температуру до потрібного значення. Час сушіння при вказаній температурі становить порядку 20-30 хвилин. В крайньому випадку допускається сушіння плати при кімнатній температурі протягом 24 годин. Плати з нанесеним фоторезистом повинні зберігатися в темному прохолодному місці.

Наступним дією після нанесення фоторезиста є експонування. При цьому на плату накладається фотошаблон (бажано стороною друку до плати: це сприяє збільшенню чіткості при експонуванні), який притискається тонким склом або шматком шлексигласу. При досить невеликих розмірах плат для притиску можна використовувати кришку від коробки компакт-диска або відміту від емульсії фотопластинку. Оскільки область максимуму спектральної чутливості більшості сучасних фоторезистів припадає на ультрафіолетовий діапазон, для засвічення бажано використовувати лампу з великою часткою УФ-випромінювання в спектрі (ДРШ, ДРТ та ін.). У крайньому випадку, можна використовувати потужну ксенонову лампу. Час експонування залежить від багатьох причин (тип і потужність лампи, відстань від лампи до плати, товщина шару фоторезиста, матеріал притискного покриття тощо) і підбирається експериментально. Проте в цілому час експонування становить зазвичай не більше 10 хвилин навіть при експонуванні під прямими сонячними променями.

Прояв більшості фоторезистів здійснюється розчином їдкого натру (NaOH) - 7 грамів на літр води. Краще всього використовувати свіжоприготований розчин, що має температуру 20-25 градусів. Час прояву залежить від товщини плівки фоторезиста і знаходиться в межах від 30 секунд до 2 хвилин.

Після прояви плати можна піддавати травленню в звичайних розчинах, оскільки фоторезист стійкий до впливу кислот. При використанні якісних фотошаблонів застосування фоторезиста дозволяє отримати доріжки шириною аж до 0,15-0,2 мм.

3. При видалення зайвої міді з поверхні плати відомо багато складів для хімічного травлювання. Всі вони відрізняються швидкістю протікання реакції, складом речовин, що виділяються в результаті реакції, а також доступністю необхідних для приготування розчину хімічних реактивів.

Найбільш популярні розчини для травлення:

- Хлорное залізо (FeCl_3) - мабуть, найвідоміший і найпопулярніший реактив. Сухе хлорне залізо розчиняється у воді до тих пір, поки не буде отриманий насичений розчин золотисто-жовтого кольору (для цього потрібно близько двох столових ложок на склянку води). До недоліків даного розчину слід віднести освіту в процесі реакції відходів, які осідають на платі і перешкоджають нормальному протіканню процесу травлення, а також порівняно низьку швидкість реакції.

- Персульфат амонію - світла кристалічна речовина, розчиняється у воді виходячи зі співвідношення 35 г речовини на 65 г води. До недоліків цього розчину відноситься необхідність підтримання необхідного температурного режиму і перемішування.

- Раствор соляної кислоти (HCl) і перекису водню (H_2O_2). Для приготування цього розчину необхідно до 770 мл води додати 200 мл 35% соляної кислоти і 30 мл 30% перекису водню. Готовий розчин повинен зберігатися в темній пляшці, не закритим герметично, тому що при розкладанні перекису водню виділяється газ. Увага: при використанні даного розчину необхідно дотримуватися всіх запобіжних заходів при роботі з їдкими хімічними речовинами. Всі роботи необхідно проводити тільки на свіжому повітрі або під витяжкою. При попаданні розчину на шкіру її необхідно негайно промити великою кількістю

води. Недоліком даного розчину є необхідність суворого дотримання при роботі з ним усіх заходів обережності.

4. Очищення заготовки, сверловка, нанесення флюсу, лудіння.

Після завершення травлення і промивання плати необхідно очистити її поверхню від захисного покриття. Зробити це можна яким-небудь органічним розчинником, наприклад, ацетоном. Далі необхідно просвердлити всі отвори. Найзручніше для свердління плат використовувати електродвигуни типу ДПМ-35Н і їм подібні з насадженим на їх вал невеликим цанговим патроном. Після свердловки потрібно обробити отвори: видалити всі щербини і задирки. Зробити це можна наждачним папером.

Наступним етапом є покриття плати флюсом з подальшим лудінням. Можна використовувати спеціальні флюси промислового виготовлення (найкраще змивані водою або взагалі не потребують змивання) або просто покрити плату слабким розчином каніфолі в спирті. Лудіння можна проводити двома способами: зануренням в розплав припою або за допомогою паяльника і металевого обплетення, просоченої припоєм. У першому випадку необхідно виготовити залізну ванночку і заповнити її невеликою кількістю сплаву Розі або Вуда. Розплав повинен бути повністю покритий зверху шаром гліцерину щоб уникнути окислення припою. Для нагрівання ванночки можна використовувати перевернутий праску або електроплитку. Плата занурюється в розплав, а потім виймається з одночасним видаленням надлишків припою ракелем з твердої гуми.

На цьому процес виготовлення друкованої плати вважається закінченим і можна приступати до монтажу елементів на ній.

Вихідним параметром при конструюванні друкованих плат є крок координатної сітки. За допомогою координатної сітки регламентуються основні геометричні розміри друкованих плат. Як правило, центри всіх видів отворів на друкованих платах розташовуються у вузлах координатної сітки. Її основний крок 2.5 мм, додатковий - 0.635 мм. При компонованні друкованої плати

прагнуть досягти максимального заповнення її поверхні навісними елементами і розмістити їх так, щоб забезпечити найкоротші зв'язки між ними, що виконуються друкованими провідниками. Розміри визначаються відомчими нормативами і ГОСТами. За даними цих документів максимальний розмір друкованої плати не повинен перевищувати 240x360 мм. Перевага при розробці віддається малогабаритним платам, так як великогабаритні друковані плати мають малу механічну міцність і складні у виготовленні.

Товщина плати, як правило, відповідає товщині фольгованого діелектрика і вибирається залежно від вимог, що пред'являються до конструкції виробу, методу виготовлення плати, ваги і габаритів встановлюваних елементів і не перевищує 3 мм. Перехідним елементом від отвору, в який вставляється вивід встановлюваного елемента, до друкованого провідника є контактна площадка.

Важкі елементи (наприклад, трансформатори) або елементи, схильні до механічних впливів (тумблери, потенціометри, підлаштування конденсатори), встановлюються насамперед за допомогою своїх утримувачів. Такі утримувачі забезпечують механічне кріплення відповідних елементів до плати і запобігають обрив і поломку виводів під впливом механічних навантажень.

У разі необхідності роблять додаткове кріплення корпусів елементів до плати за допомогою прив'язки, приклеювання, установки хомутів, скоб і інших утримувачів. Установку елементів на друковані плати рекомендується починати з менших за розмірами. Всі елементи встановлюють таким чином, щоб лужена частина виведення виходила з монтажного отвору.

5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Одним з основних показників, за допомогою якого оцінюється економічна ефективність нової техніки, є величина капітальних вкладень [14].

До таких капітальних вкладень відносяться витрати на науково-дослідні і дослідно-конструкторські роботи, включаючи випробування і доопрацювання дослідних зразків.

Для визначення вартості конструкторської підготовки виробництва складається кошторис витрат з моменту отримання завдання до виготовлення і заводських випробувань дослідного зразка включно і коректування документації за наслідками цих подій.

5.1 Суми витрат по статтям кошторису

5.1.1 Зарплата розробників по етапам розраховується, виходячи з кількості технічної документації (схем, креслень, текстової документації), що розробляється, з використанням нормативів базового підприємства на розробку різних видів документації. Зарплата виконавців по кожному етапу є сумою добутків тривалості етапів в днях на денну ставку виконавця (по всім виконавцям).

Тривалість етапу визначається як добуток кількості листів розробленої документації на відповідну норму часу в норма-годинах на розробку, поділене на число прийнятих розробників і середню тривалість робочого дня (8,0 годин) [14].

Денна ставка виконавця визначається відношенням місячного окладу до середнього числа робочих днів в місяці (22 дні).

В таблиці 5.1 приведений розрахунок заробітної плати розробників технічної документації пристрою для вимірювання напруги та струму.

Таблиця 5.1 – Розрахунок зарплати розробників технічної документації

№	Найменування етапу розробки	Одиниця	К-ть креслень	Норматив часу на одиницю нормо-годин	Трудомісткість етапу люд-годин	Число виконавців	Тривалість етапу, днів	Денна ставка виконавців	Зарплата за етап, грн.
1	Схема електрична принципова	Схема ф.А1	1	17,45	17,45	1	2,181	318,2	694,0
2	Схема електрична структурна	Схема ф.А1	1	1	1	1	0,125	295,5	36,9
3	Складальне креслення	ф.А1	1	17,45	17,45	1	2,181	295,5	644,5
4	Креслення друкованої плати	ф.А1	1	16,9	16,9	1	2,113	331,8	701,0
5	Специфікація	ф.А4	3	1,5	4,5	1	0,563	318,2	179,0
6	Розрахунки	ф.А4	10	6,3	63	1	7,875	295,5	2326,7
7	Записка пояснення	ф.А4	60	1,5	90	1	11,250	295,5	3323,9
Разом									7905,9

5.1.2 Зарплата на виготовлення і випробування дослідного зразка по всім етапам визначається таким чином: дослідний зразок виготовляється і випробується в лабораторії; тривалість цих робіт узяті з досвіду базового підприємства, а потім розраховані аналогічно розрахунку заробітної плати на розробку технічної документації див. табл. 5.1.

При визначенні зарплати на виготовлення дослідного зразка трудомісткість по видам робіт збільшена на 100% проти трудомісткості серійного виробу і підвищені розряди роботи на один з урахуванням ручних робіт в дослідному виробництві.

Таблиця 5.2 – Зарплата на виготовлення дослідного зразка

№	Вид робіт	Середній розряд робіт	Трудомісткість нормо-годин	Тарифна ставка, грн/год	Зарплата, грн.
1	Складальні	5	15	36,9	553,5
2	Монтажні	6	2	40,5	81
3	Регульовальні	5	1	45,7	45,8
Всього:					680,3

Зарплата виконавців на коректування документації визначається з трудомісткості розробки відповідних документів: коректування складає 15% цій трудомісткості.

5.1.3 Накладні витрати беруться у розмірі 40...120% сумарної зарплати розробників з урахуванням виготовлення і випробування дослідного зразка і коректування документації за наслідками випробувань.

5.1.4 Матеріальні витрати на зразок складаються з вартості матеріалів (табл. 5.3) і комплектуючих виробів (табл. 5.4) на проектовану апаратуру. При цьому, виходячи з обліку втрат, вартість матеріалів та комплектуючих збільшена на 30%.

Таблиця 5.3 – Вартість матеріалів

№	Найменування	Одиниця виміру	К-ть на виріб	Ціна за одиницю	Сума, грн
1	Стеклотекстоліт FR4	м ²	0,023	2005,45	46,1
2	ПОС-61	кг	0,070	327,50	22,92
3	Лак	л	0,017	490,30	8,33
4	Флюс	л	0,076	145,00	11,02
Разом:					88,37

Таблиця 5.4 – Витрати на куповані комплектуючі вироби

№	Найменування	Кількість	Ціна одиниці	Сума, грн
1	Трансформатор 220В	1	195	195
2	Конденсатор	10	4,50	45
3	Мікроконтролер	1	55	55
4	Мікросхема МАХ11046	1	532	532
5	Резистор	2	2,50	5
6	РК-індикатор	1	75	75
7	Мікросхеми ОУ	2	5	10
8	Мікросхеми ACS 713	3	208	624
9	Стабілізатор	1	8	8
10	Кнопки	2	7	14
11	Роз'єми	4	15	60
12	Кварцевий резонатор	1	18	18
Разом:				1641

5.1.5 Собівартість дослідного зразка визначається за формою табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Калькуляція собівартості дослідного зразка

№	Стаття витрат	Витрати на проєктований виріб, грн.
1	Матеріали	88,37
2	Куповані комплектуючі вироби	1641
3	Транспортні витрати (5% (п.1+п.2))	86,46
4	Заробітна платня виробничих робочих	680,3
5	Додаткова заробітна плата (10%п.4)	68,03
6	Нарахування на зарплату (37%(п.4+п.5))	276,88
7	ФЗП	
8	Накладні витрати (120% п.4)	816,36
Всього собівартість:		3657,4

5.1.6 В таблиці 5.6 приведено розрахунок кошторису витрат на конструкторську підготовку виробництва.

Таблиця 5.6 – Кошторис витрат на конструкторську підготовку виробництва

№	Стаття витрат	Сума, грн.
1	Зарплата розробників по всім етапам розробки	7905,9
2	Зарплата на коректування технічної документації за наслідками випробувань дослідного зразка (15% п.1)	1287,93
3	Разом:	9874,13
4	Нарахування на зарплату (37% п.3)	3653,43
5	Накладні витрати (120% п.3)	11848,96
6	Собівартість дослідного зразка	3657,4
7	Інші витрати	146
Всього вартість розробки:		29179,92

5.1.7 В таблиці 5.7 приведено розрахунок заробітної плати робочих в разі серійного виготовлення виробу.

Таблиця 5.7 – Зарплата робочих за виготовлення серійного виробу

№	Вид робіт	Середній розряд робіт	Трудомісткість нормо - год	Тарифна ставка, грн/год	Зарплата, грн
1	Складальні	4	2	36,9	73,8
2	Монтажні	5	1	40,5	40,5
3	Регулювальні	5	0,5	45,7	22,85
Всього:					137,15

5.1.8 Розрахунок планованої собівартості одиниці продукції проводиться на основі калькуляційних статей, враховуючи що комплектуючі та матеріали знижені на 30% по відношенню до таблиць 5.3 та 5.4, зведених в таблицю 5.8:

Таблиця 5.8 – Калькуляція собівартості і ціни одиниці виробу

№	Стаття витрат	Витрати на виріб, грн.
1	Матеріали	88,37
2	Куповані комплектуючі вироби	1641
3	Транспортні витрати (5% п.1+п.2)	33,83
4	Основна заробітна плата виробничих робочих	137,15
5	Додаткова заробітна плата (10% п.4)	13,715
6	Нарахування на зарплату (37%(п.4+п.5))	55,82
7	Загальновиробничі витрати (100% п.4)	137,15
8	Разом собівартість	2107,035
9	Прибуток (30% п.8)	677,37
Ціна виробника		2784,4

5.2 Розрахунок терміну окупності розробки

Річний економічний ефект \mathcal{E}_r від впровадження нових виробів розраховується по формулі [15]:

$$\mathcal{E}_r = (\Pi - E_H \cdot K_y) \cdot A_r, \quad (5.1)$$

де Π – прибуток на одиницю продукції (з табл. 5.8 $\Pi = 677,37$ грн.);

E_H – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень ($E_H = 0,15$);

K_y – питомі капіталовкладення на одиницю річного об'єму продукції;

A_r – річний об'єм випуску продукції при серійному виробництві.

Визначаємо питомі капіталовкладення на одиницю річного об'єму продукції:

$$K_y = \frac{K}{A_r}, \quad (5.2)$$

де K – капіталовкладення в розробку виробу (з табл. 5.6 $K = 29179,92$ грн.).

Враховуючи, що річний об'єм випуску продукції при серійному виробництві складає 100 шт/рік:

$$K_y = \frac{29179,92}{100} = 291,8.$$

Тоді передбачуваний річний економічний ефект:

$$\mathcal{E}_r = (677,37 - 0,15 \cdot 291,8) \cdot 100 = 63360 \text{ грн.}$$

Ефективність E розробки визначається згідно:

$$E = \frac{\mathcal{E}_r}{K}, \quad (5.3)$$

$$E = \frac{63360}{29179,92} = 2,17.$$

Термін окупності продукції T рівний зворотній величині ефективності:

$$T = \frac{1}{E}, \quad (5.4)$$

$$T = \frac{1}{2,17} = 0,46 \text{ року}$$

В таблиці 5.9 приводяться загальні економічні показники розробленого пристрою для вимірювання напруги та струму.

Таблиця 5.9 – Економічні показники

№	Показники	Один. виміру	По проектуваному виробу
1	Витрати на КПП	грн.	29179,92
2	Собівартість розробки	грн.	2107,035
3	Ціна підприємства	грн.	2784,4
4	Річний обсяг випуску	шт.	100
5	Річний економічний ефект	грн.	63360
6	Ефективність розробки		2,17
7	Термін окупності додаткових капітальних вкладень	років	0,46

Економічні розрахунки підтвердили доцільність розробки пристрою для вимірювання напруги та струму для серійного виробництва.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

6.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

До небезпечних чинників в лабораторії при розробці пристрою для вимірювання напруги та струму відносяться:

- підвищений рівень шуму на робочому, що виникає від установки штучної вентиляції, паяльної станції та роботи комп'ютеру;
- недостатня освітленість робочої зони;
- пил, що з'являється під час механічної обробки друкованої плати;
- температура при роботі з паяльними станціями;
- небезпека ураження електричним струмом;
- вміст у повітрі робочої зони шкідливих речовин, які утворюються під час пайки;

Надають негативну дію також психофізичні чинники, такі як перенапруження зорових і слухових аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження, що приводять до стомлення, що розвивається, і зниження працездатності.

При двофазному дотику чоловік зазвичай торкається однією рукою однієї фази, іншою рукою – іншої фази. Струм проходить шляхом рука-рука. Ця петля струму вельми небезпечна, оскільки його значна частина проходить через грудну клітку і серце. Небезпека двофазного дотику полягає також в тому, що до тіла людини прикладається найбільша в даній мережі напруга – лінійне. Однофазний дотик менш небезпечно, оскільки струм, що проходить через робочого, обмежується впливом багатьох чинників (опір ізоляції, підлоги, взуттю і так далі).

У таблиці 6.1 приведені фактори виробничого середовища та дана оцінка трудового процесу.

Таблиця 6.1 – Карта умов праці робочого місця розробника

№ п/п	Факторы производственной среды и трудового процесса	Норм. знач. (ПДК, ПДУ)	Факт. знач.	III класс – вредные и опасные условия и характер труда			Время действия фактора, % за смену
				I ст.	II ст.	III ст.	
1.	Вредные химические в-ва, мг/м ³ : I класс опасности: Озон II класс опасности: Оксиды азота III-IV класс опасности: свинец	0,1 0,5 10	0,2 0,7 0,5	2 1,4			80%
2.	Вибрация (общая и локальная), дБ	107	110		3		90%
3.	Шум, дБА	60	70	10			90%
4.	Инфразвук, дБ	-	-	-	-	-	-
5.	Ультразвук, дБ	-	-	-	-	-	-
6.	Неионизирующее излучение: -радиочастотный диапазон, В/м -диапазон пром. частоты, кВ/м -оптич. диапазон (лаз. излуч.), Вт/м ²	25 - -	40 - -	15 - -	- - -	- - -	90% - -
7.	Микрокл. в помещ. теплый период: -температура воздуха, °С -скорость движения воздуха, м/с -относительная влажность воздуха, % -инфракрасное излучение, Вт/м ²	23-25 0,1 40-60 - -	27 0,2 55 - -	2 0,1			90% 90% 90%
8.	NO ₂ від принтера [18]	5 мг/м ³	0,02 мг/ м ³				30
9.	Атмосферное давление, мм рт.ст.	760	748				90%
10.	Тяжесть и напряженность труда	Труд умеренно напряженный Категория тяжести Ia					

Робота розробника виконується згідно з нормами умов праці робочого місця.

В якості припою використовується олов'яно-свинцевий припой, а як флюс використовується безкислотний флюс. Для видалення залишків флюсу застосовується етиловий спирт.

Свинець є надзвичайно небезпечною речовиною (клас 1), відповідно до [18]. ГДК у повітрі робочої зони 0,01мг/м³. Олово є речовиною помірковано небезпечною (клас 3). ГДК у повітрі робочої зони 10 мг/м³. Спирт етиловий є мало-небезпечною речовиною (клас 4). ГДК у повітрі робочої зони 10 мг/м³.

При перевищення допустимої концентрації парів свинцю під час проведення паяльних робіт на організм людини приводить до зміни репродуктивної, нервової, серцево-судинної, імунної та ендокринної систем. Сполуки свинцю можуть викликати легке отруєння, отруєння середньої важкості та важке отруєння. При тривалому впливі виникає отруєння свинцем. Для легкого отруєння характерними є розвиток анемії, для середньої важкості – токсичний гепатит, свинцева коліка, астеновегетативний синдром, для важкого – енцефалопатія, порушення координації рухів, розлади мови, периферичні нейропатії. Характерними симптомами свинцевої інтоксикації є свинцева кайма по краю ясен, а також «свинцевий колорит» - землисто-сіре забарвлення шкіри. Виникає енцефалопатія, яка характеризується головними болями, розладами сну, епілептичними паралічами, коматозними станами, депресією. Рухові розлади характеризуються поліневритом з переважним ураженням розгиначів кисті та стопи. Розвивається тремор витягнутих рук, посмикування очних яблук, болі в руках і ногах, болючість при пальпації по ходу нервів, погіршення зору. При свинцевій інтоксикації виникає свинцева коліка з тріадою симптомів: різкі переймоподібні болі в животі, закрепи, підвищення артеріального тиску. Хворих турбують також гарячка, тошнота, блювота, зміни зі сторони серцево-судинної системи – болі в ділянці серця, аритмія, тахікардія, глухі тони, систолічний шум. Для жінок свинець представляє особливу небезпеку, тому що цей елемент має здатність проникати через плаценту і накопичуватися в грудному молоці.

Також небезпечним при торканні обладнання що вийшло з ладу, але знаходиться під напругою, є електричний струм [16, 20]. Оскільки проходячи через організм, електричний струм надає термічне (опіки, нагрів кровоносних судин, електрометалізація), електролітичне (розкладання крові), біологічне (судоми, порушення діяльності органів дихання і кровообігу) дії.

Небезпека дотику розробника до струмоведучих частин пристрою визначається величиною струму, що протікає через тіло.

Порогові значенні струму такі: безпечний струм – 10 мА, пороговий невідпускаючий струм – 15 мА, смертельнонебезпечне значення струму (фібриляційний) – 100 мА [20].

Робота за комп'ютером, супроводжується підвищенням напруження зору, інтенсивністю і монотонністю праці, збільшенням статичних навантажень, нервово-психічним напруженням, впливом різного виду випромінювань та ін. Внаслідок цього трапляються такі професійні захворювання, як передчасна стомлюваність, погіршення зору, м'язові і головні болі, психічні й нервові розлади, хвороби серцево-судинної системи, онкологічні захворювання та ін.

Шум від вентиляторів вентиляції може тимчасово активізувати або постійно пригнічувати психічні процеси в організмі людини. Він не лише погіршує самопочуття людини і знижує продуктивність праці на 1—15%, але нерідко призводить до професійних захворювань. Інтенсивний щоденний, він повільно й незворотно впливає на незахищений орган слуху і призводить до розвитку нейросенсорної приглухуватості.

6.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів

До організаційних заходів відносяться:

- допуск до роботи;
- нагляд під час роботи;
- оформлення перерви під час роботи;
- оформлення роботи по наряду-допуску.

До роботи по налагодженню вимірювального пристрою допускаються робочі, які пройшли технічні навчання і ознайомлені з обслуговуванням, управлінням і наладкою пристрою, з вивченням правил техніки безпеки і виробничої санітарії, з подальшою перевіркою знань.

Для зниження шуму, що створюється на робочих місцях внутрішніми джерелами, а також шуму, проникаючого ззовні слідує:

- ослабити шум самих джерел (застосування менш шумних вентиляторів ПК та вентиляції);
- понизити ефект сумарної дії відбитих звукових хвиль (звукопоглинальні поверхні конструкцій);
- застосовувати раціональне розташування обладнання лабораторії, столів, ПК, вимірювальних приладів та інш.;
- використовувати архітектурно-планувальні і технологічні вирішення ізоляції джерел шуму.

Для захисту розробника від шкідливої дії шуму застосовуються засоби індивідуального захисту. Ефективність засобів індивідуального захисту може бути забезпечена їх правильним підбором залежно від рівнів і спектру шуму, а також контролем за умовами їх експлуатації.

Для створення сприятливих умов зорової роботи освітлення лабораторії повинне задовольняти таким умовам:

- робочі місця в лабораторії необхідно розташовувати таким чином, щоб до поля зору працюючого не потрапляли вікна та освітлювальні прилади. Монітори повинні встановлюватися під кутом 90 - 105 градусів до вікон та на відстані, не меншій 2,5 - 3 м від стіни з вікнами.

- робоче місце повинно бути обладнане джерелом штучного освітлення. Штучне освітлення здійснюється у вигляді комбінованої системи з використанням люмінесцентних джерел світла у світильниках загального освітлення, які розташовують над робочими поверхнями у рівномірно-прямокутному порядку.

- стіни лабораторії для роботи з ПК мають бути пофарбовані чи обклеєні шпалерами пастельних кольорів з коефіцієнтом відбиття 40 - 60 %.

До санітарно-технічних заходів щодо усунення шкідливого впливу пилу відноситься: устаткування робочих місць місцевою витяжною вентиляцією марки DELI-100-15H, укріплення устаткування суцільними пиленепроникними ко-

жухами з ефективною аспірацією повітря і ін. Нормами лабораторії встановлено також щоденне вологе прибирання приміщення.

Для поліпшення мікроклімату в лабораторії проводиться виведення надлишків тепла для підтримання припустимої температури повітря (23-25 °С). Забезпечення такої умови у теплий період року здійснюється за допомогою припливно-витяжної вентиляції (встановлюється кондиціонер Mitsubishi Electric; в холодний - за допомогою природної вентиляції та опалення.

6.3 Виробнича санітарія

Лабораторія обладнана системами центрального опалення, припливно-витяжної вентиляції з механічним спонуканням, кондиціонування повітря. Система вентиляції забезпечує нормативну величину повітрообміну. Також двічі на день проводиться й природня вентиляція через вікна.

Системи кондиціонування повітря забезпечують в холодний і теплий періоди року температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря в робочій зоні відповідно до раніше обумовлених норм.

Вентиляційне обладнання в основі якого вентилятори ВЕНТС ТТ ПРО необхідно вмикати кожен раз перед виконанням паяльних робіт і вимикати через 10 – 15 хвилин після їх закінчення [19, 20].

Освітленість робочої поверхні, створена світильниками загального освітлення в системі комбінованого, повинна складати не менше 10% нормованої для комбінованого освітлення при таких джерелах світла, які застосовуються для місцевого освітлення [21]. Освітленість даної лабораторії сягає 500 лк, коли мінімальне допустиме значення – 300 лк, індекс передачі кольору джерел світла, Ra становить 90 (мінімальний допустимий – 50), а діапазон колірної температури джерел світла, має лежати в межах $T_c = 3500-5500$ К. Колірна температура світильників даної лабораторій – 4200 К [21].

6.4 Електробезпека

До технічних заходів при виконанні робіт із зняттям напруги на струмоведучих частинах і поблизу них відносяться:

- перевірка відсутності напруги на струмоведучих частинах;
- накладення заземлителя;
- вивішування попереджувальних і приписуючих плакатів, огорожа робочих місць і струмоведучих частин, які залишилися під напругою.

Технічним засобом безпечної експлуатації вимірювального пристрою є захисне заземлення – навмисне електричне з'єднання із землею металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою унаслідок замикання на корпус і по інших причинах.

Одним з найнебезпечніших чинників в лабораторії є електричний струм. Вимірювальний пристрій, струмоведучі провідники, корпус обладнання несуть велику потенційну небезпеку, оскільки в процесі експлуатації розробник може торкнутися частин, що знаходяться під напругою в результаті пошкодження (пробою) ізоляції. Реакція людини на електричний струм виникає лише при протіканні останньої через тіло людини.

Як розрахунок визначимо величину струму, що проходить через розробника при однофазному і двофазному дотику, залежно від величини опору ізоляції лабораторного устаткування, ПК, вимірювальних пристроїв та інш.

Струм, що проходить через людину при фазному дотику, визначається по формулі [22]:

$$I_{np} = \frac{\sqrt{2} U_{\phi}}{R_s + r_{\text{ч}}}, \quad (6.1)$$

де U_{ϕ} - лінійна напруга ($U_{\phi} = 220 \text{ В}$);

$R_{\text{л}}$ – опір тіла людини (приймаємо $R_{\text{л}} = 1000 \text{ Ом}$);

$r_{із}$ – опір ізоляції обладнання (приймаємо для лабораторії $r_{1із} = 30 \text{ кОм}$,
 $r_{2із} = 40 \text{ кОм}$ $r_{3із} = 60 \text{ кОм}$)

Отже

$$I_{np1} = \frac{220}{1000 + 30 \cdot 10^3} \approx 7 \text{ мА}$$

$$I_{np2} = \frac{220}{1000 + 40 \cdot 10^3} \approx 5 \text{ мА}$$

$$I_{np3} = \frac{220}{1000 + 60 \cdot 10^3} \approx 4,0 \text{ мА}$$

Порівняємо розрахункові значення струмів дотику зі встановленими: безпечний струм – 10 мА, пороговий невідпускаючий струм – 15 мА, смертельнонебезпечне значення струму (фібриляційний) – 100 мА.

Таким чином, струм $I_{np3} = 4 \text{ мА}$ при опорі ізоляції 60 кОм є менш небезпечним для розробника.

З виконаних розрахунків слід зробити висновок: опір ізоляції устаткування, рівний або більший за 60 кОм, - найбільш оптимальний варіант, оскільки значення струмів при однофазному і двофазному дотику менш небезпечні для людини.

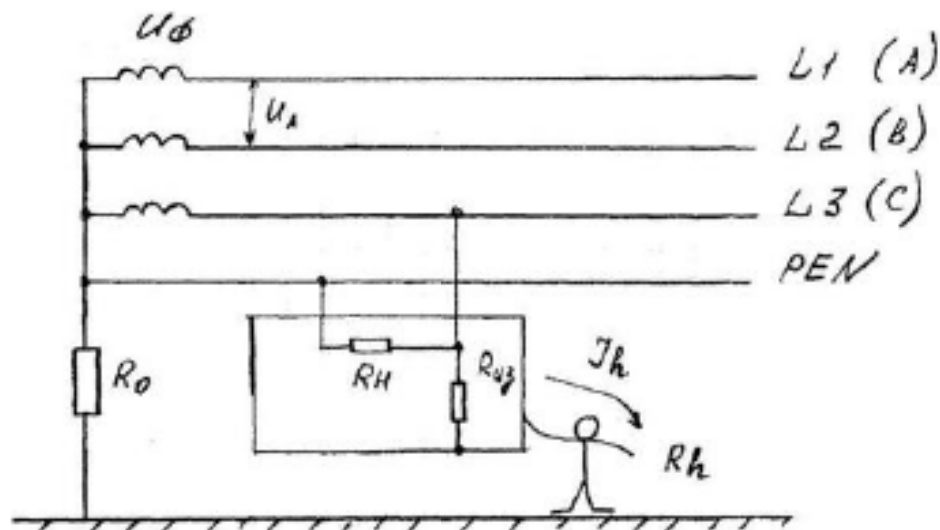


Рисунок 6.1 – Схема при торканні людини до корпусу вимірювального при-
 строю

6.5 Пожежна та техногенна безпека

Пожежа в лабораторії представляють особливу небезпеку, оскільки зв'язані з великими матеріальними втратами. Лабораторія відноситься до категорії Д (пожежонебезпечна) характеризується наявністю тільки негорючих речовин і матеріалів в холодному стані та кабельні електропроводки до обладнання.

По класу пожежі лабораторія відноситься до класу Е - пожежі пов'язані з горінням електроустановок. Основними джерелами виникнення пожежі у лабораторії є:

- недотримання умов протипожежної безпеки;
- коротке замикання проводки або вимірювального пристрою, ПК.

До засобів гасіння пожежі, призначених для локалізації невеликих спалахів, відносяться пожежні стовбури, внутрішні пожежні водопроводи, вогнегасники, сухий пісок, азбестові ковдри і тому подібне

Для швидкої ліквідації вогнищ спалаху використовуються вогнегасники типу ОУ-5А (углекислотний вогнегасник), призначений для гасіння легкозаймистих і горючих рідин, твердих речовин, електроустановок, що знаходяться під напругою, цінних речей і матеріалів. Розташовуються вогнегасники в безпосередній близькості від робочого місця.

Для запобігання виникненню пожежі в приміщенні лабораторії передбачена електрична пожежна сигналізація, що складається із сповіщаючих датчиків типу ИП-212-50М2.

Організаційні заходи щодо пожежної безпеки проводять з метою забезпечення правильної експлуатації електроустановки і проведення протипожежного інструктажу серед оперативно-ремонтного персоналу.

Дії при пожежі в лабораторії:

- подзвонити за номером 101;
- визначте для себе, виходити чи не виходити назовні. Переконайтеся, що

за дверима немає пожежі, приклавши свою руку до дверей або до металевої ручки. Якщо вони гарячі, то ні в якому разі не відкривайте двері;

- не входьте туди, де велика концентрація диму і видимість менше 10 метрів.

Якщо дим і полум'я дозволяють вийти з приміщення (будівлі) назовні:

- ідіть швидше від вогню, використовуючи основні і запасні шляхи евакуації;

- вимкніть попутно електроенергію;

- ідіть до виходу на зігнувшись, так як шкідливі продукти горіння скупчуються на рівні нашого зростання і вище, закриваючи при цьому рот і ніс підручними засобами захисту;

- по дорозі за собою щільно закривайте двері;

- покинувши небезпечне приміщення, повідомте про себе посадовим особам.

Якщо дим і полум'я в сусідніх приміщеннях не дозволяє вийти назовні:

- не піддавайтеся паніці;

- накрийтеся повністю мокрим покривалом (тканиною);

- перевірте чи існує можливість вийти на дах або спуститися по пожежній драбині.

Якщо можливості евакуюватися немає, то для захисту від тепла і диму необхідно надійно загерметизувати своє приміщення:

- щільно закрийте входні двері, заткніть щілини двері зсередини приміщення, використовуючи при цьому будь-яку тканину;

- закрийте вікна, кватирки, заткніть вентиляційні отвори;

- якщо є вода, постійно змочуйте двері, підлогу.

Якщо приміщення наповнилося димом, треба пересуватися низько зігнувшись, прикривши рот і ніс вологою ганчіркою, в бік вікна та привертати до себе увагу людей на вулиці.

В лабораторії евакуація відбувається по плану на випадок виникнення пожежі. Інструкція про заходи пожежної безпеки (план евакуації людей), включає в себе загальну інструкцію для будинку та інструкція для окремої лабораторії, згідно з [23]. План евакуації показано на рис. 6.2.

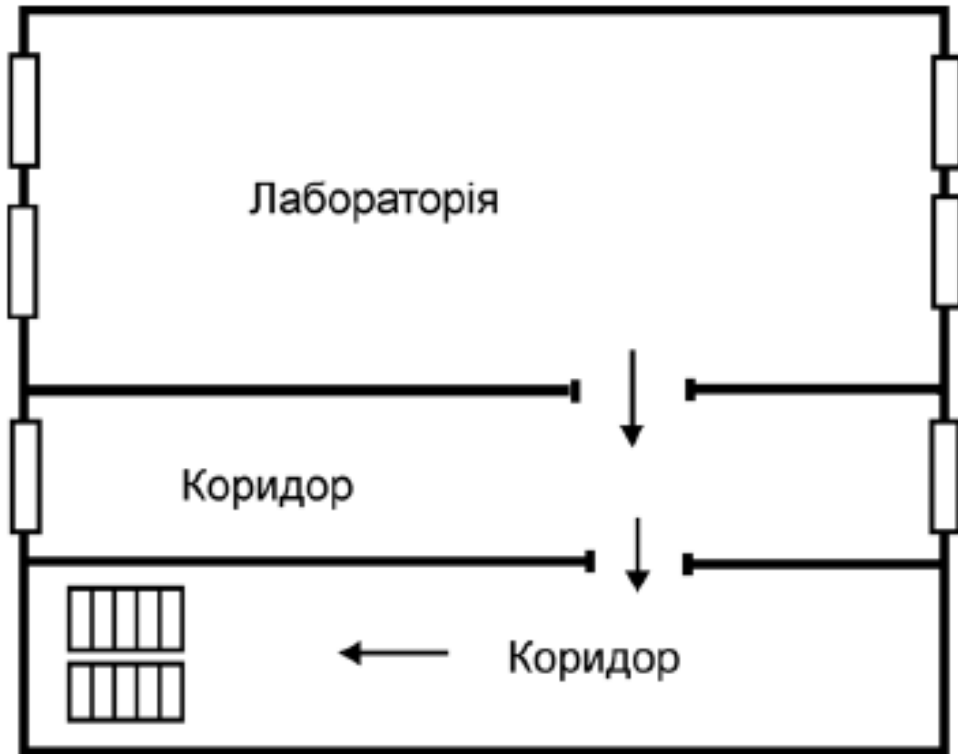


Рисунок 6.2 — План евакуації з лабораторії

ВИСНОВКИ

В роботі було вирішено актуальне завдання по розробці пристрою виміру напруги та струму, на основі мікроконтролера.

Був проведений аналіз існуючих на сьогоднішній день подібних систем, алгоритм їх роботи та була визначена й обґрунтована структурна схема.

Було проаналізовано методи вимірювання напруги. Визначено вимоги до мікроконтролера та інших елементів схеми електричної принципової.

В результаті згідно завдання обрано багатоканальний АЦП з одночасною вибіркою фірми Maxim. Мікроконтролер 8-ми розрядний фірми Microchip.

В розрахунковій частині було проведено розрахунок блока живлення з параметрами вхідної напруги 220В та вихідної 5В, для потреб вимірювального пристрою.

Економічні розрахунки підтвердили доцільність розробки пристрою для вимірювання напруги та струму для серійного виробництва. Строк окупності склав 0,46 року.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мирский Г. Я. Электронные измерения: 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1986 – 440с., ил.
 2. Магда Ю.С. Современные микроконтроллеры. Архитектура, программирование, разработка устройств. ДМК Пресс, 2012, 224с.
 3. Микроконтроллеры Microchip [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.microchip.com
 4. Евгений Звонарев. Разнообразие архитектур АЦП компании Maxim// Новости электроники. №8. 2005 г.
 5. 24-Bit, 4-Channel, Simultaneous-Sampling, Cascadable, Sigma-Delta ADC//MAX11040 Datasheet.
 6. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Classic фирмы «Atmel».- М.: Издательский дом «Додэка - XXI». 2002. - 288 с. ил.
 7. Анатолий Андрусевич. Многоканальные АЦП с одновременным сэмплированием//Новости электроники. №5. 2008 г.
 8. Евгений Звонарев. Разнообразие архитектур АЦП компании Maxim// Новости электроники. №8. 2005 г.
 9. Maxim integrated. Data Converters [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.maximintegrated.com/en/products/analog/data-converters.html>
 10. Current Sensors [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.allegromicro.com/en/products/sense/current-sensor-ics>.
 11. Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC ACS713. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.allegromicro.com/~media/Files/Datasheets/ACS713-Datasheet.ashx>
- Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Classic фирмы «Atmel».- М.: Издательский дом «Додэка - XXI». 2002. - 288 с. ил.

12. Ермолин Н.П. Как рассчитать маломощный силовой трансформатор. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1961. - 50 с. (Б-ка электромонтера. Вып. 33).
13. Терещук Р.М., Домбругов Р.М., Босый Н.Д. Справочник радиолюбителя. Киев, Государственное издательство технической литературы УССР. 1957. - 508с.
14. Стуколов П.М. Организация, планирование и управление предприятиями электронной техники. -М.:Высш.шк., -1986.
15. Стуколов П.М. Экономика электронной промышленности.-М.:Высш.шк., - 1983
16. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учеб. пособие для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 448с., ил.
17. НАПБ Б.03.002-2007 Нормы определения категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
18. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
19. СНиП 2.04.05-92. «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».
20. Правила устройства электроустановок.- «Госэнергонадзор», 2009г. 704с.
21. СНиП 11-4-79. Естественное и искусственное освещение.
22. Конов А. А. Электрооборудование жилых зданий. - М.: Додека 21, 2003. -256 с.
23. СНиП 2.01.02-85. Противопожарные нормы.

Лист № 1
 Лист № 2
 Лист № 3
 Лист № 4
 Лист № 5
 Лист № 6
 Лист № 7
 Лист № 8
 Лист № 9
 Лист № 10
 Лист № 11
 Лист № 12
 Лист № 13
 Лист № 14
 Лист № 15
 Лист № 16
 Лист № 17
 Лист № 18
 Лист № 19
 Лист № 20
 Лист № 21
 Лист № 22
 Лист № 23
 Лист № 24
 Лист № 25
 Лист № 26
 Лист № 27
 Лист № 28
 Лист № 29
 Лист № 30
 Лист № 31
 Лист № 32
 Лист № 33
 Лист № 34
 Лист № 35
 Лист № 36
 Лист № 37
 Лист № 38
 Лист № 39
 Лист № 40
 Лист № 41
 Лист № 42
 Лист № 43
 Лист № 44
 Лист № 45
 Лист № 46
 Лист № 47
 Лист № 48
 Лист № 49
 Лист № 50
 Лист № 51
 Лист № 52
 Лист № 53
 Лист № 54
 Лист № 55
 Лист № 56
 Лист № 57
 Лист № 58
 Лист № 59
 Лист № 60
 Лист № 61
 Лист № 62
 Лист № 63
 Лист № 64
 Лист № 65
 Лист № 66
 Лист № 67
 Лист № 68
 Лист № 69
 Лист № 70
 Лист № 71
 Лист № 72
 Лист № 73
 Лист № 74
 Лист № 75
 Лист № 76
 Лист № 77
 Лист № 78
 Лист № 79
 Лист № 80
 Лист № 81
 Лист № 82
 Лист № 83
 Лист № 84
 Лист № 85
 Лист № 86
 Лист № 87
 Лист № 88
 Лист № 89
 Лист № 90
 Лист № 91
 Лист № 92
 Лист № 93
 Лист № 94
 Лист № 95
 Лист № 96
 Лист № 97
 Лист № 98
 Лист № 99
 Лист № 100

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<u>Документация</u>		
A1			MEEIC.D2.170700.00.00.00.00 СБ	Розробка пристрою для вимірювання напруги та струму Складальне креслення		
A1			MEEIC.D2.170700.00.00.00.00 E3	Розробка пристрою для вимірювання напруги та струму Схема електрична принципова		
A1			MEEIC.D2.170700.00.00.01.00 E3	Розробка пристрою для вимірювання напруги та струму Блок живлення Схема електрична принципова		
A4			MEEIC.D2.170700.00.01.00.00 ПЗЗ	Розробка пристрою для вимірювання напруги та струму Блок живлення Перелік елементів		
A1			MEEIC.D2.170700.00.02.00.00	Розробка пристрою для вимірювання напруги та струму Плата друкована		
A1			MEEIC.D2.170700.00.00.00.00.00 Д1	Розробка пристрою для вимірювання напруги та струму Економічні показники		
A1			MEEIC.D2.170700.00.00.00.00.00 Д2	Розробка пристрою для вимірювання напруги та струму Охорона праці		

MEEIC D2.170700.00.00.00.00

Изм.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата
Разроб.		Шкітун	<i>[Signature]</i>	23.05
Проб.		Шмаліу	<i>[Signature]</i>	23.05
Н.контр.		Турішев	<i>[Signature]</i>	23.05.22
Утв.		Критська	<i>[Signature]</i>	23.05

Розробка пристрою для вимірювання напруги та струму

Лист	Лист	Листов
	1	2

ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ
Е/А-17-183

Копіював

Формат А4

Поз. озна-чення	Наименование	Кол.	Примечание
<u>Конденсатори</u>			
C1-C5	K10 - 7B - 0,1 мкФ - 50В, NPO +/-5%	5	
C6..C7	K10 - 7B - 22 пФ - 50В, NPO +/-5%	2	
C8	K10 - 7B 0,1 ккФ х 25 В, NPO +/-5%	1	
DA1	Мікросхема ACS 713	1	Allegro
DA2..DA3	Мікросхема LM358	2	TI
DA4..DA5	Мікросхема ACS 713	2	Allegro
DD1	Мікросхема MAX11046	1	Maxim
DD2	Мікросхема ATmega32	1	Microchip
HG1	Рідкокристалічний дисплей WH1602	1	Winstar
R1	Резистор MFR-0.25 5% 10 kOm	1	
R2	Резистор підбудовний PV36W103 5% 10 kOm	1	KLS
XP1..XP2	Роз'єм 10844042 20A 600V	1	Molex
XP3..XP4	Роз'єм B5H-PH-K	1	Molex
ZQ1	Кварцевий резонатор 24,576 MHz	1	Geyer

МЕЕІС Д2.170700.00.00.00.00 ПЗЗ								
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Разработка пристрою для вимірювання напруги та струму	Лист	Лист	Листов
Разраб.	Шкітун	Шкітун	Шкітун	22.08		1	2	
Проб.	Шмалій	Шмалій	Шмалій	22.08	Перелік елементів	ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ		
Н.контр.	Турішев	Турішев	Турішев	22.08		ЕЛ-17-183		
Утв.	Кратська	Кратська	Кратська	22.08		Формат А4		
Копіював								