

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ
(м. Київ)

Факультет інформаційних технологій та електроніки
(повне найменування факультету)

Кафедра електронних апаратів
(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту

освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр
(бакалавр, спеціаліст, магістр)
спеціальності 172 – Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва спеціальності)

на тему Пристрій для заряду акумуляторних батарей
асиметричним струмом

Виконав: студент групи Ел-20з
Буянов В.О.
(прізвище, та ініціали) (підпис)

Керівник Паеранд Ю.Е.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Завідувач кафедри Паеранд Ю.Е.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ
(м. Київ)

Факультет _____ інформаційних технологій та електроніки _____

Кафедра _____ електронних апаратів _____

Освітньо-кваліфікаційний рівень _____ бакалавр _____
(бакалавр, спеціаліст, магістр)

Спеціальність _____ 172 – Телекомунікації та радіотехніка _____
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Ю.Е. Паеранд
“ ____ ” _____ 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

Буянову Віталію Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Пристрій для заряду акумуляторних батарей акумуляторних
асиметричним струмом _____

керівник проекту _____ Паеранд Юрій Едуардович, к.т.н., професор _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ ____ ” _____ № _____

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____ 31.05.2024 _____

3. Вихідні дані до роботи _____ Матеріали переддипломної практики _____

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

1) Аналітичний огляд

2) Розробка структурної схеми пристрою

3) Розробка та обґрунтування електричної принципової схеми

4) Розрахунок елементів і вузлів

5) Розробка друкованої плати пристрою

6) Моделювання

5. Дата видачі завдання _____ 10.02.2024 _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний огляд	15.02.24 – 28.02.24	
2	Розробка структурної схеми пристрою	01.03.24 – 15.03.24	
3	Розробка та обґрунтування електричної принципової схеми	16.03.24 - 30.03.24	
4	Розрахунок елементів і вузлів	01.04.24 – 19.04.24	
5	Розробка друкованої плати пристрою	20.04.24 – 04.05.24	
6	Моделювання	05.05.24 – 15.05.24	
7	Оформлення і перевірка пояснювальної записки	16.05.23 – 31.05.23	

Студент Буянов В.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) Паєранд Ю.Е.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка 79 сторінок, 31 рисунок, 3 таблиці, 21 джерело.

Об'єктом проектування дипломної роботи є пристрій заряду акумуляторів асиметричним струмом.

Ціль роботи - розробка зарядного пристрою.

У процесі роботи проведені розробка й розрахунки структурної та принципової схем пристрою, конструктивна розробка пристрою.

Основні конструктивні й техніко-експлуатаційні показники: простота та універсальність приладу, висока надійність, доступна елементна база.

Прилад може застосовуватись для заряду акумуляторних батарей з одночасним відновленням їх ємності, дозаряду та тренування акумуляторних батарей. Заряд батарей саме асиметричним струмом забезпечує подовження строку служби акумуляторів, високі техніко-економічні показники батарей на усьому їх життєвому циклі.

АСИМЕТРИЧНИЙ СТРУМ, ПРИСТРІЙ ЗАРЯДУ, ДАТЧИК НАПРУГИ,
МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, БЛОК ЖИВЛЕННЯ

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД	9
1.1 Аналіз ринку акумуляторних батарей	10
1.2 Метод квазісталого струму	12
1.3 Двухінтервальні методи заряду	13
1.3.1 Метод заряду за часом	13
1.3.2 Метод контролю з контролем спаду напруги	14
1.3.3 Метод контролю градієнта температури	15
1.3.4 Метод безперервної зарядки батареї	16
1.3.5 Заряд батареї імпульсним струмом	17
1.3.6 Заряд батареї асиметричним струмом	17
2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ	20
3 РОЗРОБКА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ	24
4 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ І ВУЗЛІВ	27
4.1 Обґрунтування вибору елементів і функціональний аналіз схеми	27
4.1.1 Вибір схеми і елементів блоку управління	27
4.1.2 Обґрунтування елементів давача напруги батареї.....	28
4.1.3 Розрахунок давача струму заряду	30
4.1.4 Розрахунок елементів вузла узгодження	30
4.2 Обґрунтування вибору елементів схеми живлення системи керування....	32
4.2.1 Стабілізатор напруги системи керування	32
4.2.2 Розрахунок випрямляча та вибір елементів	33
4.2.3 Розрахунок ємності конденсатора фільтру	35
4.2.4 Розрахунок параметрів трансформатора	36
4.3 Обґрунтування вибору елементів схеми живлення силової частини	35
4.3.1 Розрахунок випрямляча	36

4.3.2 Розрахунок силового трансформатора	37
5 РОЗРОБКА ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ ПРИСТРОЮ	41
5.1 Вибір елементної бази	41
5.1.1 ATMEGA 8535-16PU	39
5.1.2 Операційний підсилювач LM 709 CN	43
5.1.3 Стабілізатор напруги KP142EH5	44
5.1.4 Конденсатори оксидно-електролітичні K50-24	45
5.1.5 Конденсатори типу КД2 (C1, C2)	46
5.1.6 Резистори С2-23	46
5.1.7 Резистор С5-35В	47
5.1.8 Кварцовий резонатор КХ-3Н 4.0 MHz	48
5.1.9 Діод випрямний КД213А	49
5.1.10 Діод випрямний 2Д106А	49
5.1.11 Транзистор КТ825А	50
5.1.12 Транзистор КТ827А	51
5.1.13 Випрямляючий міст KBPC10005, (BR10005)	52
5.1.14 Випрямляючий міст KBPC10005, (BR10005)	52
5.1.15 Випрямляючий міст W01M	52
5.1.16 Трансформатор ТПП-150-220	53
5.1.17 Трансформатор ТП114-Ю5	54
5.2 Визначення вимог до механічних и кліматичних дій	54
5.3 Трасування провідників і розміщення елементів провідного рисунку	55
5.4 Розробка конструкторської документації друкованої плати	57
5.5 Вибір умов охолодження і розрахунок теплового режиму	58
5.6 Розрахунок надійності пристрою	66
6 МОДЕЛЮВАННЯ	71
6.1 Поняття моделювання та його функції	71
6.2 Моделювання системи керування	71
6.3 Моделювання силової частини	74

ВИСНОВКИ	77
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	78

ВСТУП

На даний момент у світі відбувається справжній бум у галузі електрохімічних джерел струму. У першу чергу це пов'язано з появою портативної електроніки, яка має потребу в компактних джерелах живлення високої ємності. Крім того, електрохімічні джерела живлення почали активно впроваджуватися в нові галузі транспорту (електричні та гібридні автомобілі), розширюється використання акумуляторних батарей в джерелах безперебійного живлення. Акумуляторні батареї набагато економічніше одноразових джерел живлення, вигідніші в екологічному плані.

Темпи нинішнього і очікуваного зростання ринку акумуляторів дуже великі. На перше місце виходять відносно нові та перспективні літій-іонні акумулятори, у той час як класичні, такі як свинцево-кислотні, нікель-кадмієві здають свої позиції.

У зв'язку з широким використанням акумуляторних батарей в пристроях електроживлення на сьогоднішній день актуальною є проблема продовження їхнього терміну експлуатації, зменшення забруднення навколишнього середовища та зменшення фінансових витрат на технічне обслуговування акумуляторних батарей та оновлення їх парку. Вирішення цієї проблеми може бути досягнуто шляхом удосконалення пристроїв і способів заряду акумуляторних батарей, в тому числі заряду батарей імпульсним асиметричним струмом, оскільки такий заряд суттєво продовжує термін їх служби. Підвищення ефективності цих способів та покращення пристроїв заряду надасть можливість їх більш широкому застосуванню.

У даному дипломному проекті пропонується пристрій заряду акумуляторів асиметричним струмом, який дозволяє заряджати батарею, продовжуючи строк її служби. Метод заряду асиметричним струмом базується на ефекті зменшення сульфатації електродів, що збільшує ємність акумуляторної батареї.

Заряд акумулятору проводиться за допомогою різнополярних імпульсів струму (довгого імпульсу заряду та відносно короткого імпульсу розряду).

Внаслідок такої форми зарядного струму, кисень, який виділяється у процесі заряду батареї відділяється від катоду, запобігаючи його окисленню. Кристали сульфату свинцю, що накопичуються на катоді, починають швидше розчинятись, тим самим збільшуючи площу електродів та збільшуючи ємність акумулятору.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Аналіз ринку акумуляторних батарей

На даний момент у світі відбувається справжній бум у галузі електрохімічних джерел струму. У першу чергу це пов'язано з появою портативної електроніки, яка має потребу в компактних джерелах живлення високої ємності. Крім того, електрохімічні джерела живлення почали активно впроваджуватися в нові галузі транспорту (електричні та гібридні автомобілі), розширюється використання акумуляторних батарей в джерелах безперебійного живлення. Акумуляторні батареї набагато економічніше одноразових джерел живлення, вигідніше в екологічному плані.

Темпи нинішнього і очікуваного зростання ринку акумуляторів дуже великі. На перше місце виходять відносно нові та перспективні літій-іонні акумулятори, у той час як класичні, такі як свинцево-кислотні, нікель-кадмієві здають свої позиції.

Феноменальне зростання в галузі виробництва літій-іонних акумуляторів обумовлений, перш за все, їх високими експлуатаційними характеристиками: питома енергія - до 150 Вт·год на кілограм, довгий термін роботи - до 1000 циклів заряду-розряду.

Дуже важливою характеристикою акумуляторних батарей є здатність витримувати багаторазові цикли заряду-розряду без істотного зниження експлуатаційних параметрів. Однак у вторинних джерелах електроенергії це постійно відбувається. З кожним новим циклом заряду акумуляторної батареї вона втрачає частину своєї ємності.

Основні причини розряду та втрати ємності акумуляторних батарей :

- перезаряд;
- саморазряд;
- розпад електроліту;
- пасивація;
- розчин активних матеріалів.

У системах електроживлення широко використовуються акумуляторні батареї різних типів. Для їх заряду використовують різні зарядні пристрої - від найпростіших, в яких використовується заряд постійним струмом без контролю заряду, до високотехнологічних складних мікропроцесорних систем, де заряд контролюється за такими параметрами, як температура, напруга і струм заряду .

У зв'язку з широким використанням акумуляторних батарей в пристроях електроживлення на сьогоднішній день актуальною є проблема продовження їхнього терміну експлуатації, зменшення забруднення навколишнього середовища та зменшення фінансових витрат на технічне обслуговування акумуляторних батарей та оновлення їх парку. Вирішення цієї проблеми може бути досягнуто шляхом удосконалення пристроїв і способів заряду акумуляторних батарей, в тому числі заряду батарей імпульсним асиметричним струмом, оскільки такий заряд суттєво продовжує термін їх служби. Підвищення ефективності цих способів та покращення пристроїв заряду надасть можливість їх більш широкому застосуванню.

Актуальною є задача розробки та вдосконалення пристроїв і способів заряду акумуляторів імпульсними асиметричними струмами з підвищеною ефективністю та побудови алгоритмів ефективного управління зарядом акумуляторів.

У більшості представлених на ринку систем заряду акумуляторних батарей неможливо регулювання параметрів заряду в процесі роботи пристрою, що ускладнює зміну параметрів заряду з урахуванням впливу поточного стану акумуляторної батареї, етапів її життєвого циклу, особливостями використання. У представлених на ринку пристроях в основному використовуються методи заряду, які досить схемотехнічно легко реалізуються, але, разом з тим, мають недоліки в порівнянні з методами заряду імпульсним і асиметричним струмами. На сьогодні перспективним і найпрогресивнішим методом заряду акумуляторних батарей є заряд імпульсними струмами.

В імпульсному режимі заряду задається тривалість імпульсів, їх амплітуда, скважність, форма. Можливо чергувати імпульси різної полярності (асиметричний заряд). Аналіз перехідних процесів при заряді акумулятора асиметричним струмом дозволяє отримати інформацію про характер явищ, що відбуваються в акумуляторі під час роботи пристрою у режимі реального часу.

1.2 Метод квазісталого струму

Метод заряду квазісталім струмом являє собою один з найбільш простих методів заряду. Акумуляторна батарея заряджається протягом усього часу програми напруги заряду. Метод характеризується тим, що на початку процесу заряду струм заряду максимальний, і зменшується зі зростанням рівня заряду батареї. Графіки напруги та струму приведені на рисунку 1.1.

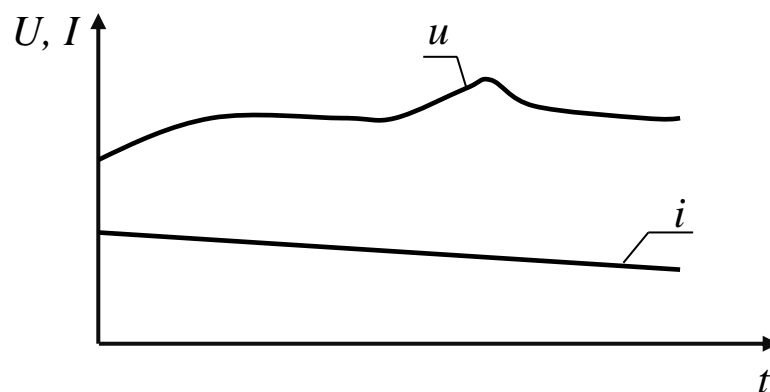


Рисунок 1.1 - Метод заряду квазісталім струмом

Переваги методу:

- простота конструкції схеми.

Недоліки схеми:

- значний час заряду;
- великі енергетичні втрати на розігрів резистора еквівалентної схеми;
- неможливість зміни параметрів заряду під час роботи пристрою.

1.3 Двохінтервальні методи заряду

Двохінтервальні методи заряду характеризуються розбивкою часу роботи на два інтервали. У першому інтервалі здійснюється безпосередній заряд акумуляторної батареї струмом заряду. У другому інтервалі заряду безпосереднього заряду акумулятора не відбувається, а відбувається компенсація саморозряду невеликим струмом. Відмінність методів полягає в організації контролю за моментом закінчення заряду батареї, тобто закінченням першого інтервалу. У другому інтервалі у всіх методів проводиться компенсація саморозряду батареї струмом від 0,05 до 0,033 від номінального струму заряду батареї.

1.3.1 Метод заряду за часом

Метод заряду за часом характеризується розбиттям часом заряду батареї на два інтервали. У першому, жорстко обмеженому за часом, інтервалі відбувається основний заряд батареї струмом 0,2 від номінального. На другому інтервалі струм зменшують до повного заряду батареї. Тривалість інтервалу вибирається експериментально. Тривалість інтервалу обмежена таймером, який входить до складу системи. Метод відноситься до двохінтервальних методів заряду.

Переваги методу:

- простота конструкції схеми.

Недоліки схеми:

- не враховується початковий рівень заряду акумуляторної батареї.

Графіки напруги та струму приведені на рисунку 1.2.

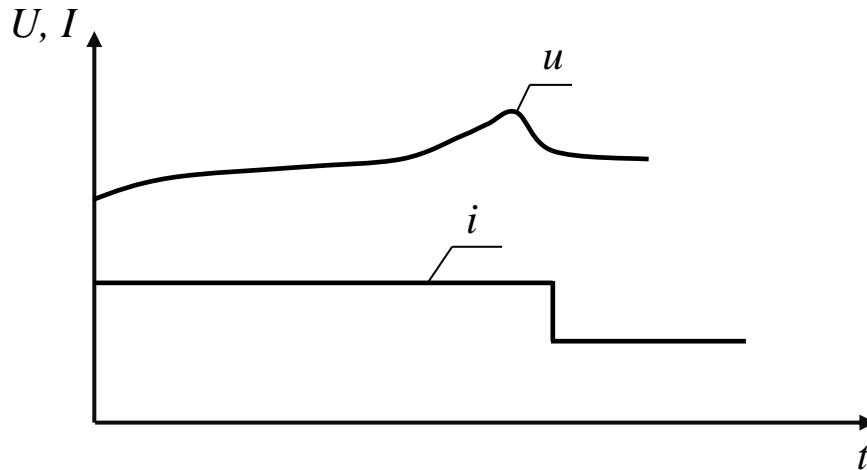


Рисунок 1.2 - Метод заряду за часом

1.3.2 Метод контролю з контролем спаду напруги

Метод заряду контролю спаду напруги характеризується розбиттям по часу заряду батареї на два інтервали. У першому інтервалі часу відбувається основний заряд батареї струмом від 0,5 номінального до номінального струму батареї. Ознакою закінчення першого етапу заряду є падіння напруги батареї (15-20 мВ на елемент). Сигнал закінчення першого етапу визначається за допомогою компаратора, що входить до складу схеми. Метод відноситься до двухінтервальних методів заряду. Графіки напруги та струму приведені на рисунку 1.3.

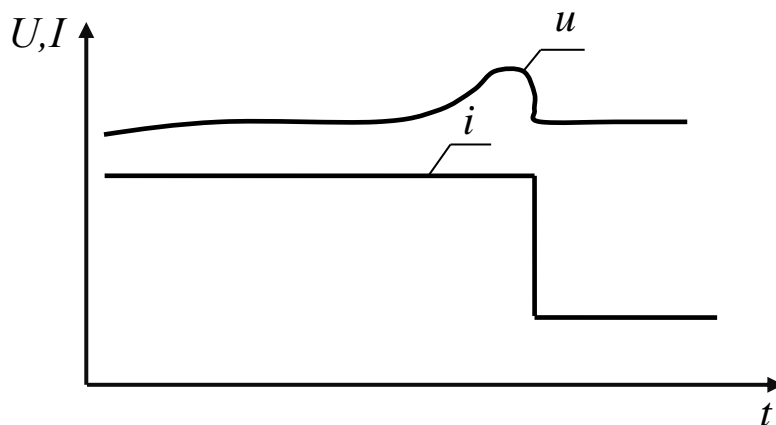


Рисунок 1.3 - Метод заряду з контролем спаду напруги

Переваги методу:

- висока швидкість заряду батареї.

Недоліки схеми: - можливі помилки при визначенні часу закінчення заряду батареї. Наслідком цього можливий значний розряд акумулятора.

1.3.3 Метод контролю градієнта температури

Метод контролю спаду напруги характеризується розбиттям часом заряду батареї на два інтервали. У першому інтервалі часу відбувається основний заряд батареї струмом від 0,5 номінального до номінального струму батареї. Ознакою закінчення першого етапу заряду є зростання градієнта температури батареї внаслідок гідролізу води, який супроводжується виділенням тепла. Сигнал закінчення першого етапу визначається за допомогою датчика температури, що входить до складу схеми. Метод відноситься до двухінтервальних методів заряду. Графіки напруги та струму приведені на рисунку 1.4.

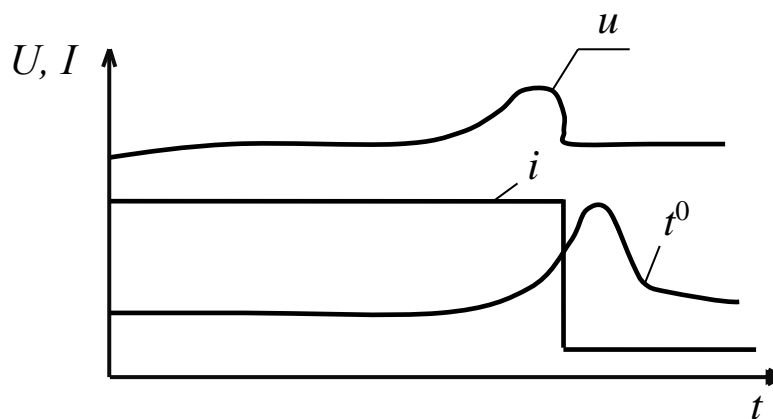


Рисунок 1.4 - Метод заряду з контролем градієнта температури

Переваги схеми:

- висока швидкість заряду батареї;

- надійність визначення моменту закінчення заряду.

Недоліки схеми:

- необхідність вбудовувати датчик температури в пристрій акумуляторної батареї.

1.3.4 Метод безперервної зарядки батареї

Метод безперервної зарядки батареї характеризується постійним зарядом батареї невеликим струмом, який не може викликати ефект перезаряду батареї і підтримує її в максимально зарядженому стані. Величина струму заряду визначається виходячи з періодичності використання батареї. При частому використанні величина струму заряду звичайно становить від 0,033 до 0,05 від номінального струму батареї. При рідкісному використанні величина струму складає від 0,02 до 0,033 від номінального струму батареї. Даний метод відноситься до двухінтервальних методів заряду, але на відміну від попередніх, в ньому жорстко обмежений час розряду. Графіки напруги та струму приведені на рисунку 1.5.

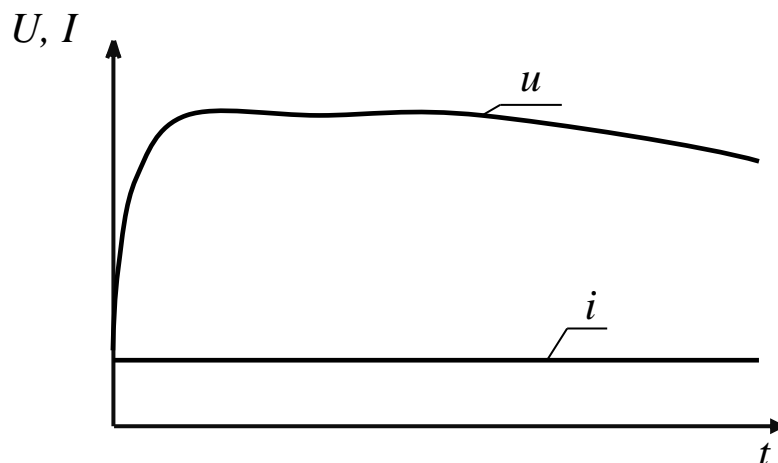


Рисунок 1.5 - Метод заряду з безперервної підзарядкою батареї

Переваги схеми:

- простота конструкції;
- низька вартість зарядного пристрою.

Недоліки схеми:

- відсутність контролю величини заряду.

До загальних недоліків двухінтервальних методів заряду можна віднести порівняно невеликий термін служби батарей і наявність ефекту пам'яті.

1.3.5 Заряд батареї імпульсним струмом

Метод заряду батареї імпульсним струмом характеризується імпульсним струмом заряду. Між імпульсами струму є невеликі проміжки часу, протягом яких батарея знаходиться у спокої, що дозволяє хімічним процесам в акумуляторі рівномірно розподілитися по всій поверхні електродів. Амплітуда струму звичайно дорівнює подвоєному номінальному струму батареї. Форма струму заряду дозволяє частково уникнути прояву ефекту пам'яті, що проявляється у зменшенні ємності батареї в процесі експлуатації.

Ознакою закінчення заряду може бути як зменшення напруги батареї, так і збільшення градієнта температури. Графіки напруги та струму приведені на рисунку 1.6.

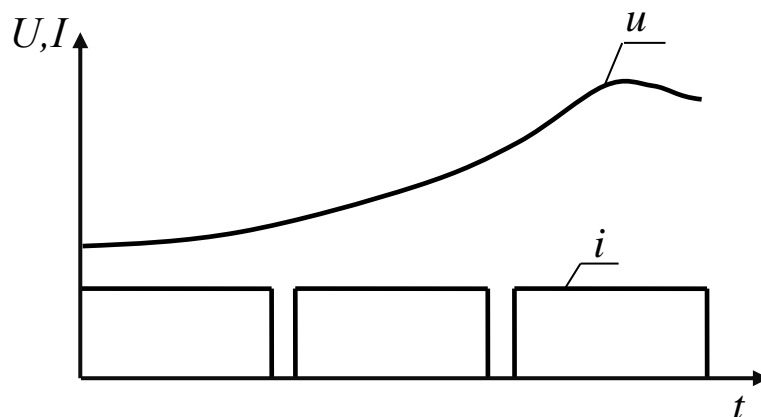


Рисунок 1.6 - Метод заряду імпульсним струмом

Переваги схеми:

- значне зменшення ефекту пам'яті акумуляторної батареї.

Недоліки схеми:

- складна конструкція системи заряду.

1.3.6 Заряд батареї асиметричним струмом

Метод заряду батареї асиметричним струмом (або метод імпульсного заряду зі зворотними імпульсами) характеризується зарядом батареї постійними імпульсами струму з постійною амплітудою, між якими є короткі паузи, а також

короткі імпульси розрядного струму з підвищеною амплітудою. Внаслідок такої форми зарядного струму кисень, який виділяється у процесі заряду батареї відділяється від реагуючого електрода, що дозволяє уникнути його окислення і продовжити термін служби батареї.

При використанні методу заряду асиметричним струмом, напруга батареї в кінці процесу на 10-14% менше ніж при застосуванні інших методів заряду. Застосовуючи метод заряду асиметричним струмом, виділення тепла зменшується на 25% у порівнянні з двухінтервальними методами контролю градієнта і імпульсним методом. З огляду на те, що при заряді асиметричним струмом ємність батареї максимальна, можна зробити висновок про те, що даний метод якісно вище ніж конкуруючі методики, розглянуті раніше. При цьому зменшується внутрішній тиск в батареї при заряді, практично зникає ефект пам'яті батареї, збільшується номінальна ємність. Графіки напруги та струму приведені на рисунку 1.7.

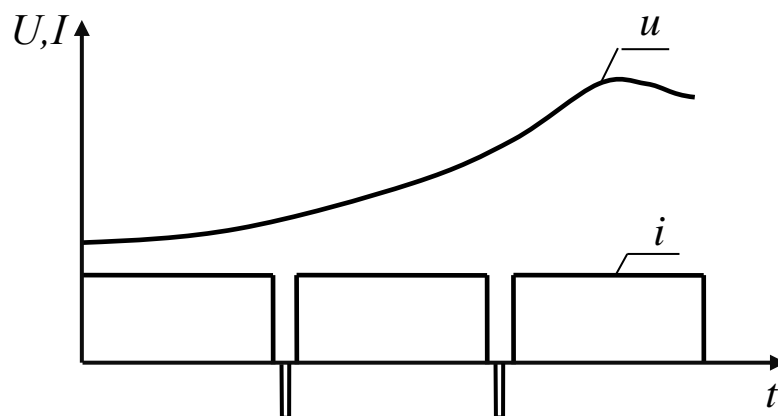


Рисунок 1.7 - Метод заряду асиметричним струмом

Переваги схеми:

- значне зменшення ефекту пам'яті акумуляторної батареї;
- зниження пікових значень температури батареї при заряді;
- зниження пікових значень внутрішнього тиску при заряді батареї.

Недоліки схеми:

- складна конструкція системи заряду;
- збільшення часу роботи на 8-13%.

Загальна схема заміщення акумулятора являє собою складну комбінацію активних опорів, ємностей, а в окремих випадках і індуктивностей. У більшості випадків вона може бути визначена тільки прямими вимірами.

Проведений аналіз методів заряду показав, що метод заряду імпульсним асиметричним струмом перевершує за якісними показниками інші і дозволяє збільшити термін служби батареї в 1,5-3 рази.

Огляд пристроїв заряду акумуляторних батарей імпульсним асиметричним струмом показує, що їх низький ККД заважає використанню методу заряду імпульсним асиметричним струмом, хоча такий спосіб заряду дозволяє значно продовжити термін служби батарей, істотно зменшити забруднення навколишнього середовища і зменшити фінансові витрати на оновлення парку батарей.

Таким чином, завдання розробки та вдосконалення пристроїв і способів заряду акумуляторних батарей імпульсними асиметричними струмами з підвищеною ефективністю та побудови алгоритмів ефективного управління зарядом акумуляторних батарей є актуальною.

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ

На основі аналітичного огляду, визначені вимоги до структурного складу пристрою, що розробляється. Ними є наявність у складі пристрою датчику струму заряду і розряду акумуляторної батареї, давача напруги, блоку живлення, системи керування, силовими ключами заряду та розряду батареї.

Блок комутації та захисту бере на себе функції вмикання та вимикання пристрою, захисту пристрою та питаючих ланцюгів від нештатних ситуацій та потенційних проблем (короткого замикання у пристрою, та ін.).

Блок живлення системи керування – живить систему керування на базі мікроконтролера. Малопотужний блок живлення повинен постачати постійною стабілізованою напругою систему керування, протистояти можливим перешкодам у питаючому тракті.

Програматор – блок що дозволяє змінювати режими роботи мікроконтролера, завантажувати в нього нові версії програми. Доцільно використати додатково стандартизований порт щодо забезпечення легкого зв'язку пристрою з персональним комп'ютером.

Блок живлення силової частини живить акумуляторну батарею, забезпечує силову частину якісною напругою зі сталим струмом необхідного номіналу.

Система керування – керуючий пристрій на базі мікроконтролера, який керує роботою пристрою, аналізує стан та рівень заряду акумуляторної батареї, обирає оптимальні параметри для якісного заряду батареї. Аналізує сигнали з датчиків напруги та струму, генерує послідовність імпульсів до силової частини. Має вбудований аналого-цифровий перетворювач, за допомогою якого система керування приймає сигнали від давачів струму та напруги.

Давач струму заряду забезпечує подачу необхідного рівня напруги до системи керування, інформує систему керування про зарядний струм.

Давач напруги батареї аналізує стан заряду акумуляторної батареї, реалізує необхідного рівня напруги, необхідний системі керування.

Перетворювач напруги – пристрій, постачальник постійного струму до акумуляторної батареї з потрібними параметрами.

Акумуляторна батарея – об’єкт який заряджає пристрій.

Силовий ключ розряду батареї - пристрій, який реалізує заряд асиметричним током. Замикає батарею на баластний резистор, реалізуючи розряд батареї.

Структурна схема пристрою, що розробляється, наведена на рис. 2.1.

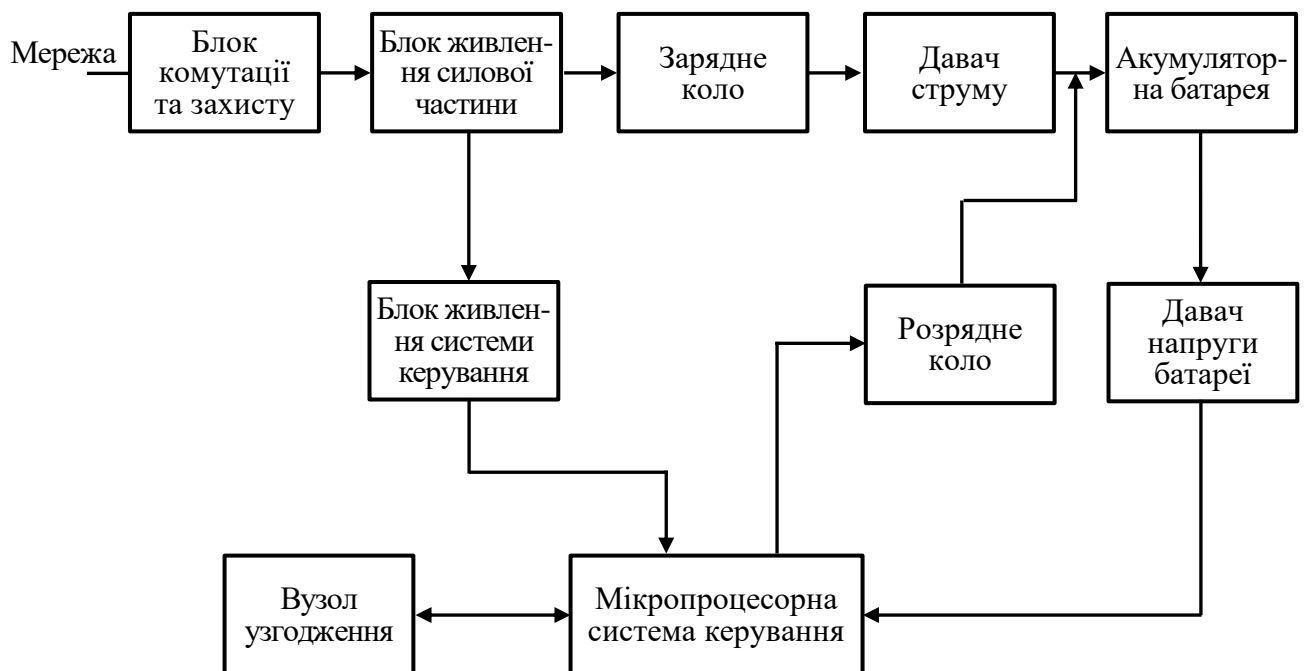


Рисунок 2.1 – Структурна схема пристрою

Виконання системи керування на мікроконтролері дозволяє суттєво спростити схемотехнічну частину приладу, що здешевлює схему та робить її більш надійною.

Прилад умовно можна поділити на три незалежні частини – блок керування, живлення та силову частину. Схема керування повністю керує силовою частиною. Режим роботи пристрою повністю залежить від програми, за якою працює схема керування.

При включенні пристрою, схема керування приймає сигнали за давачів напруги акумуляторної батареї та визначає режим роботи всього пристрою. Система починає працювати якщо з давачу напруги поступає сигнал що:

- батарея підключена;
- підключення батареї вірно (контроль полярності підключення);
- батарея потребує заряду (не заряджена на 100 відсотків).

Схема керування подає імпульс на силову частину, який відпирає транзистор. Силова частина починає працювати у режимі імпульсного параметричного перетворювача напруги, з частотою, яку задає схема керування. Схема керування порівнює сигнали з давачу струму заряду, та, якщо струм перевищує граничні умови, схема керування відключає силову частину, та порівнює напругу на батареї (можливо батарея вже повністю заряджена). Якщо батарея потребує подальшого заряду, схема керування дає короткий імпульс розряду (відпирає відповідний транзистор), завдяки чому батарея починає розряджатися на резистор.

Надалі процес повторюється. Блок-схема роботи пристрою приведена на рисунку 2.2.

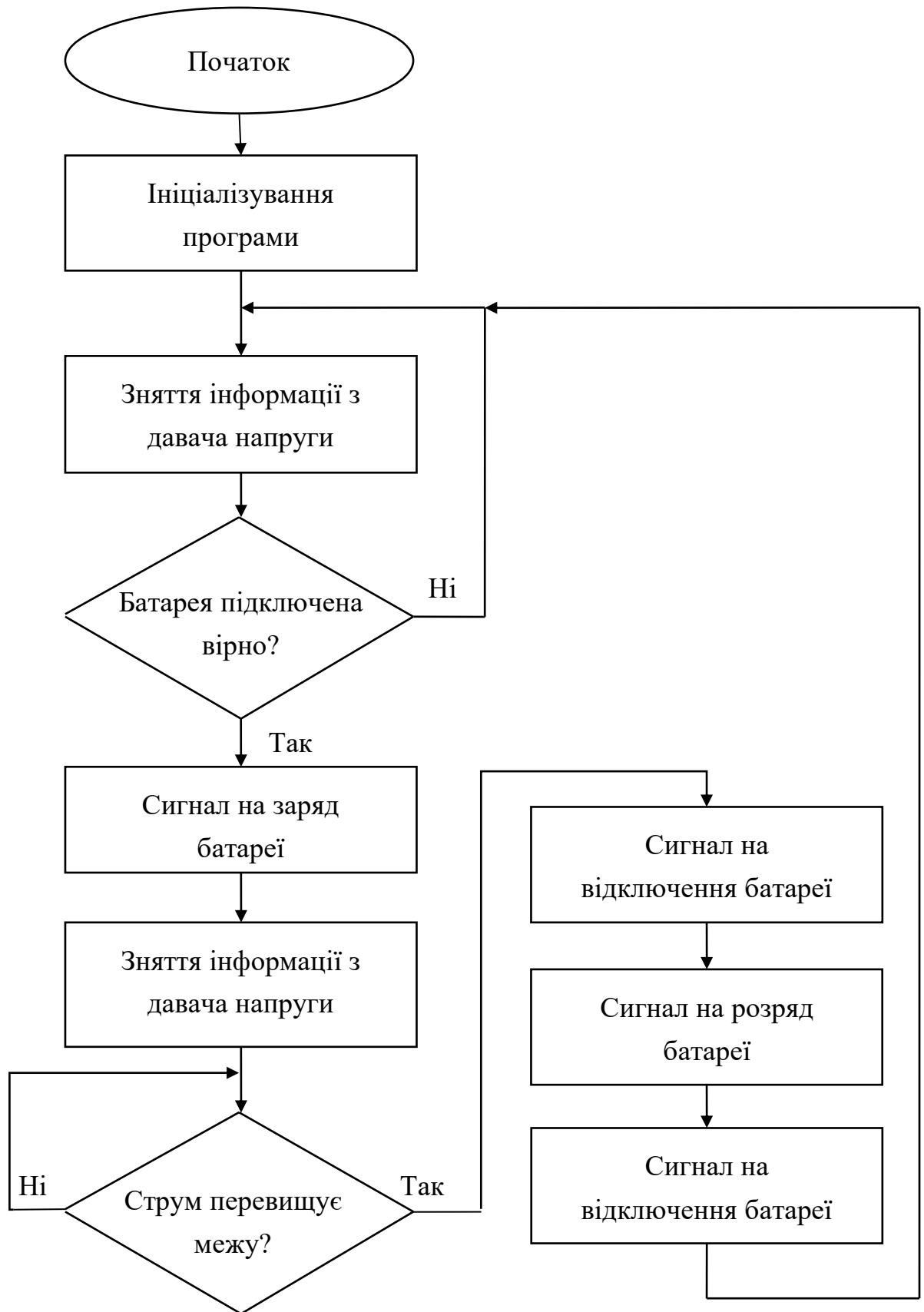


Рисунок 2.2 - Блок-схема алгоритму роботи приладу

3 РОЗРОБКА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПАЛЬНОЇ СХЕМИ

Пристрій зарядний підключається до живлючої мережі змінного струму напругою 220 В через блок комутації та захисту, який забезпечує гальванічну розв'язку між електромережею з напругою 220В та низьковольтними вузлами пристрою, а також захист від можливих нештатних ситуацій (струм короткого замикання). Блок комутації та захисту складається з плавкої вставки та вимикача. При розімкненому вимикачі прилад повністю знеструмлений.

Блок живлення системи керування живить мікропроцесор постійним струмом зі стабільною напругою 5В. Мережева напруга 220 В з допомогою трансформатора понижується до 9В, і подається на випрямляч. Випрямлена напруга позбавляється пульсацій з частотою 100 Гц з допомогою фільтру та подається на стабілізатор на мікросхемі, який забезпечує формування напруги живлення мікроконтролера (5В).

Система керування складається з мікроконтролеру, який повністю виконує функції керування приладом, та стандартною схемою його обв'язки [1]. При включенні пристрою, схема керування приймає сигнали з давача напруги акумуляторної батареї, та визначає режим роботи всього пристрою. Якщо з давача напруги поступає сигнал що: батарея підключена, підключення батареї вірне (контроль полярності підключення), батарея потребує заряду (не заряджена на 100 відсотків), схема керування через операційний підсилювач подає серію імпульсів на силову частину. Силова частина починає працювати у режимі імпульсного параметричного перетворювача напруги, з частотою, яку задає схема керування.

Схема керування порівнює сигнали з давачу струму заряду, та якщо струм перевищує граничні умови, схема керування відключає силову частину (імпульсна послідовність на базу транзистора припиняється, та порівнює напругу на батареї (можливо батарея вже повністю заряджена). Якщо батарея потребує подальшого заряду, схема керування дає короткий імпульс розряду та

відпирає транзистор, завдяки чому батарея починає розряджатися на резистор. Після спливання запрограмованого проміжку часу (тривалості розряду), процес повторюється до досягнення необхідної напруги на акумуляторі (акумулятор повністю заряджений).

Блок живлення силової частини складається з трансформатора, випрямляча та фільтру. Функції даних вузлів аналогічні описаним вище вузлам блоку живлення системи керування. Випрямляч випрямляє струм зі вторинної обмотки трансформатора. Випрямляч виконано по мостовій схемі, за мінімальним коефіцієнтом пульсацій. Фільтр згладжує пульсації струму після випрямляча. На виході формується напруга заряду акумуляторної батареї (15 В).

Зарядне коло (перетворювач напруги) дає можливість керувати процесом заряду (керувати струмом заряду акумуляторної батареї). Перетворювач напруги реалізовано по схемі імпульсного параметричного перетворювача напруги і складається з потужного ключового транзистору, та дроселю, який підтримує струм у навантаженні при комутації транзистора. Цей струм залежить від шпаруватості імпульсів, що подаються на базу транзистора з виходу системи керування. Діод нейтралізує струм зворотної полярності, що створюється за рахунок самоіндукції дроселя.

Для реалізації асиметричного методу заряду акумуляторної батареї потрібне формування коротких імпульсів розряду під час процесу заряду батареї. Розряд батареї реалізується через транзисторний ключ, який вмикається проміж періодами заряду батареї сигналом з виходу системи керування.

Вузол погодження призначений для організації програмування мікроконтролера в схемі пристрою і реалізує стандартний інтерфейс RS-432, що дозволяє легко інтегрувати прилад та значно спростити його програмування та налагодження. Принципова електрична схема вузла погодження (програматора) стандартизована, і повністю сумісна з СОМ-портом персонального комп'ютеру.

Принципова схема пристрою заряду батарей асиметричним струмом приведена на рис. 3.1.

4 РАЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ І ВУЗЛІВ

4.1 Обґрунтування вибору елементів і функціональний аналіз схеми

Розробку принципової схеми і її розрахунок необхідно розпочати зі з'ясування того, за допомогою яких елементів можна реалізувати весь перелік необхідних функцій. Перш за все, варто звернути увагу на специфічні компоненти пристрою. Вітчизняна промисловість виробляє значний обсяг необхідних для роботи пристрою електронних компонентів, але застосування електронних компонентів тільки вітчизняного виробництва, часто не може гарантувати надійність і якість функцій, покладених на пристрій. Вітчизняні компоненти пристрою значно дешевші, але є перелік компонентів зарубіжного виробництва, маючих незначну вартість, які дуже добре зарекомендували себе. Тому, оптимальним варіантом, буде комбіноване застосування компонентів вітчизняної і зарубіжної промисловості.

4.1.1 Вибір схеми і елементів блоку управління

Система керування виконана на інтегральному мікроконтролері ATMEGA 16L [1,2]. Застосування мікроконтролеру дозволяє перекласти складність алгоритму управління на програмну частину. Це значно спрощує схемотехніку приладу, підвищує надійність усього комплексу та значно здешевлює пристрій. Мікроконтролер ATMEGA 16PL потребує зовнішнього тактування за допомогою зовнішнього кварцового резонатору та двох конденсаторів [1,2]. Типова схема підключення мікросхеми приведена на рис/ 4.1.

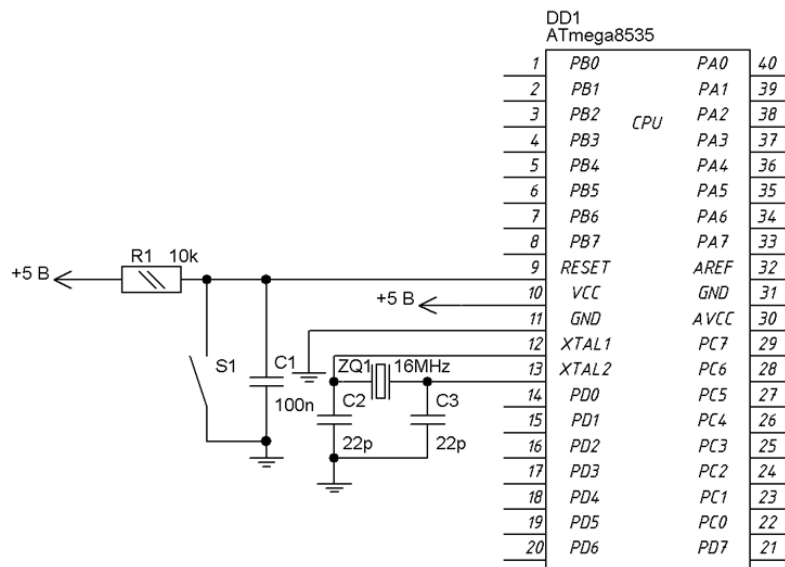


Рисунок 4.1 – Мікроконтролер зі стандартними елементами супроводження

4.1.2 Обґрунтування елементів давача напруги батареї

Давач напруги батареї являє собою подільник напруги, що приводить напругу до діапазону, який можливо подавати на вхід мікроконтролера.

Оскільки вхідний струм АЦП мікроконтролера незначний (для розрахунків приймаємо максимально можливе значення 10 мА), вплив навантаження на роботу подільника напруги можна не враховувати, тому потрібно розрахувати номінали резисторів подільника напруги для забезпечення діапазону напруг 0 ... 5 В при подачі на його вхід напруги, яка може змінюватись від 0 до 15 В (виходячи з того, що зарядка акумуляторної батареї повинна припинятись при досягненні значення напруги 2,48 В на одній банці ($2,48 \times 6 = 14,88$ В)). Типова схема підключення подільника напруги приведена на рисунку 4.2.

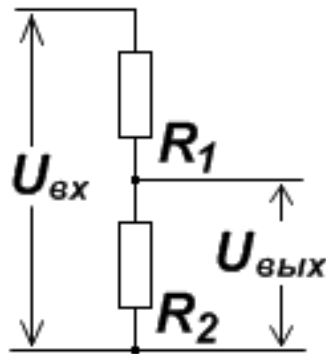


Рисунок 4.2 – Подільник напруги

Розрахунок номіналу резисторів визначається за формулою (4.1):

$$R_2 = \frac{U_{\text{ВИХ}}}{I}, \quad (4.1)$$

де $U_{\text{вих}}$ – вихідна напруга мікроконтролера, В;

I - вхідний струм АЦП мікроконтролера, А.

$$R_2 = \frac{5}{0,01} = 500 \text{ Ом}$$

Для зменшення впливу вхідного опору навантаження на вихідну напругу подільника рекомендується обирати цей резистор з меншим опором, чим розрахований, тому обираємо резистор з опором 300 Ом.

При заданому опорі R_2 розраховується опір R_1 за формулою (4.2):

$$R_1 = \frac{U_{\text{ВИХ}}}{I} - R_2, \quad (4.2)$$

де $U_{\text{вх}}$ – вхідна напруга мікроконтролера, В;

I - вхідний струм АЦП мікроконтролера, А;

R_2 - опором R_2 , Ом.

$$R_1 = \frac{15}{0,01} - 300 = 1200 = 1,2 \text{ кОм}$$

4.1.3 Розрахунок давача струму заряду

Максимальний зарядний струм не повинен перевищувати 7 А. При цьому на вхід мікроконтролера від датчика струму повинна поступати напруга (U_d), яка не повинна перевищувати 1 В. Для розрахунку беремо де який запас по максимальному струмові $I_{зар.мах} = 10$ А.

Тоді значення опору резистора, який в якості датчика струму заряду включений послідовно з акумуляторною батареєю розраховується за формулою (4.3):

$$R_3 = \frac{U_d}{I_{зар.мах}}, \quad (4.3)$$

де U_d - напруга від датчика струму, В;

$I_{зар.мах}$ - максимальний зарядний струм, А.

$$R_3 = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ Ом.}$$

4.1.4 Розрахунок елементів вузла узгодження

Обраний для побудови мікропроцесорної системи керування мікроконтролер ATMEGA 16L має можливості внутрішньосхемного програмування, що спрощує процеси виготовлення виробу, а також внесення змін (при необхідності) в програмне забезпечення в процесі експлуатації.

Програмування виконується шляхом підключення до СОМ-порту персонального комп'ютера. Оскільки інтерфейс RS232 використовує сигнал із амплітудою – 5 ... +5 В, а вхідні вигнали мікроконтролера не повинні перевищувати значення +5В, для програмування необхідно мати вузол узгодження, який забезпечуватиме необхідні електричні параметри сигналів програмування.

Для виключення негативної складової сигналу в ланцюги встановлюються діоди, які пропускають сигнали лише однієї полярності.

Для приведення у відповідність рівнів сигналів програмування використовуються резистивні подільники напруги, методику розрахунок яких було розглянуто вище. Використовуючи цю методику знаходимо значення опорів резисторів подільників напруги.

Амплітуда вхідного сигналу становить 10 В (від – 5 до +5), а вихідна напруга не повинна бути більше 5 В. Вхідний струм становить 1 мА.

Розрахунок номіналу резисторів визначається за формулою (4.4):

$$R_7 = \frac{U_{\text{вих}}}{I}, \quad (4.4)$$

де $U_{\text{вих}}$ – вихідна напруга мікроконтролера, В;

I - вхідний струм АЦП мікроконтролера, А.

$$R_7 = \frac{5}{0.001} = 5000 \text{ Ом.}$$

При заданому опорі R_7 розраховується опір R_6 за формулою (4.5):

$$R_6 = \frac{U_{\text{вих}}}{I} - R_7, \quad (4.5)$$

де $U_{\text{вих}}$ – вхідна напруга мікроконтролера, В;

I - вхідний струм АЦП мікроконтролера, А;

R_7 - опором R_7 , Ом.

$$R_6 = \frac{10}{0.001} - 5 = 5 \text{ кОм.}$$

Обираємо стандартні значення 4.7 кОм.

4.2 Обґрунтування вибору елементів схеми живлення системи керування

Для роботи системи керування потрібне стабілізоване джерело живлення напругою 5 В із вихідним струмом 40 мА.

4.2.1 Стабілізатор напруги системи керування

Стабілізатор напруги стабілізує напругу живлення для системи керування, а також зменшує пульсації напруги після випрямляча. Типова схема фільтру та стабілізатора з використанням інтегральної мікросхеми приведено на рисунку 4.3.

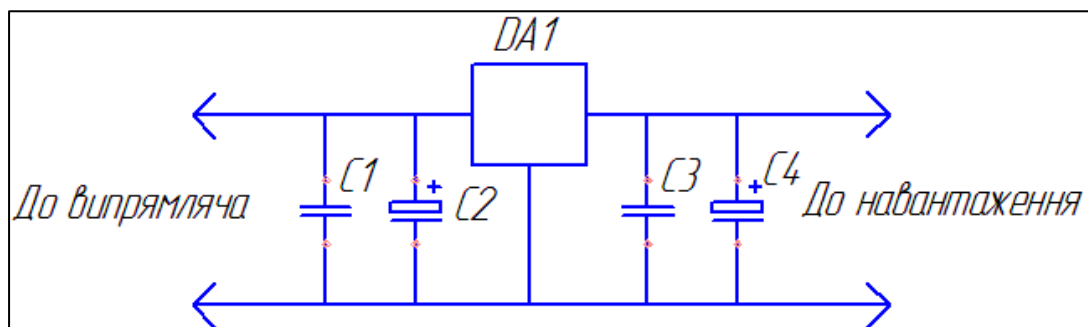


Рисунок 4.3 - Типова схема фільтру та стабілізатора напруги

Використання інтегрального стабілізатора значно спрощує побудову даного вузла і не потребує проведення складних попередніх розрахунків, як у випадку побудови параметричного стабілізатора на дискретних елементах. Достатньо лише підібрати відповідну мікросхему стабілізатора напруги, яка задовольняє заданим параметрам, та впевнитись в надійності її роботи і в наявності умов, що виключають виникнення режимів роботи, які перевищують максимально допустимі для обраної мікросхеми.

В якості ІМС стабілізатора обираємо широко розповсюджену мікросхему КР142ЕН5В - лінійний позитивний стабілізатор напруги в корпусі ТО-220 з фіксованою вихідною напругою 5В.

Обрана мікросхема повністю задовольняє поставленим вимогам. Залишається лише зробити оцінку необхідності використання додаткового тепловідведення.

Приймаємо вхідну напругу рівною 9 В (це значення є стандартним, що дозволить по можливості застосувати трансформатор промислового виробництва).

Тоді максимальна потужність розсіювання мікросхеми при живленні системи керування зарядного пристрою розраховується за формулою (4.6):

$$P_{\max} = (U_{\text{вх}} - U_{\text{вих}}) \cdot I_{\text{сп}}, \quad (4.6)$$

де P_{\max} - максимальна потужність розсіювання, Вт;

$U_{\text{вх}}$ - вхідна напруга, В;

$U_{\text{вих}}$ - вихідна напруга, В;

$$P_{\max} = (9-5) \cdot 0,04 = 0,15 \text{ Вт}$$

Розраховане значення розсіюваної потужності більш ніж в десять разів менше максимально допустимого для КР142ЕН5В, тому її можна застосовувати без додаткових заходів щодо тепловідведення.

4.2.2 Розрахунок випрямляча та вибір елементів

В блоці живлення проєктованого пристрою використовується двонапівперіодний випрямляч, діоди якого увімкнені за мостовою схемою. Випрямляч зображений на рисунку 4.4.

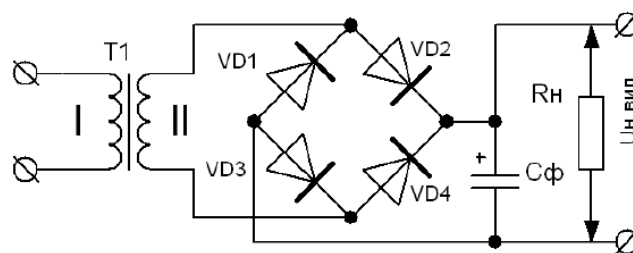


Рисунок 4.4 – Випрямляч

Визначаємо напругу, яка повинна бути на виході мережевого трансформатора за формулою (4.7) :

$$U_2 = B \cdot U_{\text{н.вип}}, \quad (4.7)$$

де $U_{\text{н.вип}}$ – постійна напруга для живлення функціонального вузла, В;

B – коефіцієнт що споживає навантаження, А.

$$U_2 = 0,8 \cdot 9 = 7,2\text{В.}$$

Коефіцієнти для розрахунку випрямляча надано в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Коефіцієнти для розрахунку випрямляча

Коефіцієнт	Струм, що споживається, А					
	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
В	0,8	1,0	1,9	1,4	1,5	1,7
С	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,8

Максимальний струм через кожен діод випрямляча розраховується за формулою (4.8):

$$I_{\text{д}} = 0,5 \cdot C \cdot I_{\text{н}}, \quad (4.8)$$

де $I_{\text{д}}$ – струм через діод, А;

$I_{\text{н}}$ – максимальний струм навантаження, А;

C - коефіцієнт, який залежить від струму навантаження, А.

$$I_{\text{д}} = 0,5 \cdot 2,4 \cdot 0,08 = 0,096\text{А}$$

Зворотна напруга, яку буде прикладено до кожного діода випрямляча розраховується за формулою (4.9):

$$U_{зв} = 1,5 \cdot U_{н.вип} = 1,5 \cdot 9 = 12 \text{ В}, \quad (4.9)$$

По довідковим даним обираємо діодну збірку W01M.

Перевага даному елементу віддана завдяки його низькій ціні, а також з міркувань зменшення габаритів пристрою та зручності монтажу.

4.2.3 Розрахунок ємності конденсатора фільтру

Ємності конденсатора фільтру розраховується за формулою (4.10):

$$C_{\phi} = \frac{3200 \cdot I_{н}}{U_{н} \cdot K_{п}}, \quad (4.10)$$

де C_{ϕ} - ємність конденсатора фільтру, мкФ;

$K_{п}$ - коефіцієнт пульсацій випрямленої напруги.

Для різних типів функціональних вузлів коефіцієнт пульсацій не повинен перевищувати певного значення і для даного випадку може бути рівним $10^{-5} \dots 10^{-4}$. Якщо вихідна напруга випрямляча буде додатково стабілізуватись транзисторним стабілізатором, ємність конденсатора фільтра може бути зменшена у 5÷10 разів.

$$C_{\phi} = \frac{3200 \cdot 0,08}{9 \cdot 10^{-4}} = 284 \text{ мкФ}.$$

Оскільки в схемі вузла живлення використовується транзисторний стабілізатор напруги, можна застосувати ємність меншу розрахункової. Обираємо конденсатор ємністю 100 мкФ.

4.2.4 Розрахунок параметрів трансформатора

В якості трансформатора для живлення схеми керування обираємо трансформатор ТП114 з вихідною напругою 9 В. Максимальний струм його вторинної обмотки складає 0,45 А, що з запасом перевищує необхідний. Оскільки особливих вимог до даного трансформатора не висувається, приймаємо даний елемент без розрахунків.

4.3 Обґрунтування вибору елементів схеми живлення силової частини

Для живлення силової частини доцільно застосовувати джерело живлення, яке буде дозволяти 6-7 А вихідного струму і напругу 14-15 В без стабілізації.

Оскільки даний вузол має велике навантаження по струму, для його надійної роботи необхідно провести попередній розрахунок його основних елементів – силового трансформатора та випрямляча. Оскільки до стабільності напруги в даному вузлі вимог не пред'являється, елементи фільтру можуть бути відсутніми, або застосовуватись без розрахунку.

4.3.1 Розрахунок випрямляча

Випрямляч зображений на рисунку 4.5.

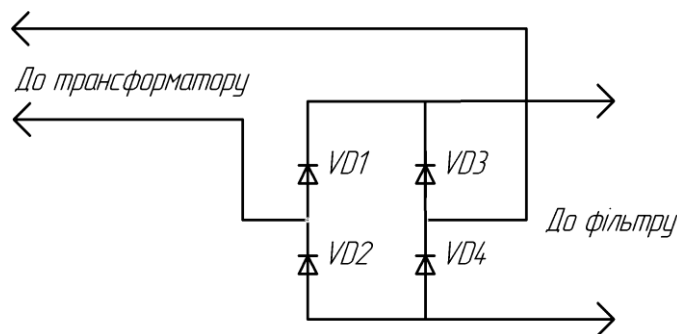


Рисунок 4.5 – Випрямляч

Визначаємо напругу, яка повинна бути на виході трансформатора за формулою (4.11):

$$U_2 = B \cdot U_{н. вип} = 1,7 \cdot 15 = 25,5 \text{ В}, \quad (4.11)$$

де $U_{н. вип}$ – постійна напруга для живлення функціонального вузла, В;

B - коефіцієнт, що споживає навантаження, А.

Максимальний струм через кожен діод випрямляча розраховується за формулою (4.12):

$$I_{д} = 0,5 \cdot C \cdot I_{н}, \quad (4.12)$$

де $I_{д}$ – струм через діод, А;

$I_{н}$ – максимальний струм навантаження, А;

C - коефіцієнт, який залежить від струму навантаження, А.

$$I_{д} = 0,5 \cdot 1,8 \cdot 7 = 6,3 \text{ А},$$

Зворотна напруга, яку буде прикладено до кожного діода випрямляча розраховується за формулою (4.13):

$$U_{зв} = 1,5 \cdot U_{вип} = 1,5 \cdot 15 = 22,5 \text{ В} \quad (4.13)$$

де $U_{вип}$ – постійна напруга для живлення функціонального вузла, В;

По довідковим даним обираємо діодний міст BR10005.

4.3.2 Розрахунок силового трансформатора

Струм первинної обмотки розраховується за формулою (4.14):

$$I_1 = I_{1(2)} = I_2 \frac{U_2}{U_1}, \quad (4.14)$$

де $I_{1(2)}$ – складова струму первинної обмотки, що обумовлена струмом вторинної обмотки, А;

U_1 - вхідна напруга, В;

U_2 - вихідна напруга, В.

$$I_1 = I_{1(2)} = 7 \frac{U_{15}}{220} = 0,477 \approx 0,5 \text{ А},$$

Габаритна потужність трансформатора розраховується за формулою (4.15):

$$P_{\Gamma} = \frac{U_1 \cdot I_1 + U_2 \cdot I_2}{2\eta}, \quad (4.15)$$

де $\eta = 0,9$ - ККД трансформатора.

$$P_{\Gamma} = \frac{220 \cdot 0,5 + 15 \cdot 7}{2 \cdot 0,9} \approx 120 \text{ Ва.}$$

Розрахуємо сталевий сердечник Ш - образного магнітопровода, від площі поперечного перерізу якого залежить передана потужність за формулою (4.16):

$$S = 1,2\sqrt{P} = 1,2\sqrt{P120} = 13,2 \text{ см}^2, \quad (4.16)$$

де S – площа перетину сердечника, см^2 ;

P – габаритна потужність трансформатора, Вт.

Визначимо кількість витків, що припадає на 1 вольт, в первинній і вторинній обмотках, за формулою (4.17):

$$n = \frac{50}{S}, \quad (4.17)$$

де S – площа перетину сердечника, см^2 .

$$n = \frac{50}{13} = 3,85 \text{ витка.}$$

Тоді кількість витків у первинній та вторинній обмотці розраховується за формулою (4.18):

$$n_{1(2)} = U_{1(2)} \cdot n \quad (4.18)$$

$$n_1 = 220 \cdot 3,85 = 847 \text{ витків,}$$

$$n_2 = 15 \cdot 3,85 = 58 \text{ витків.}$$

Кількість витків у первинній обмотці округляємо до 850 витків, а кількість витків у вторинній обмотці округляємо до 60 витків.

Діаметр дротів розраховується за формулою (4.19):

$$d = 0,8 \cdot \sqrt{I}, \quad (4.19)$$

Діаметр дроту первинної обмотки:

$$d_1 = 0,8 \cdot \sqrt{0,477} = 0,55 \text{ мм}$$

Діаметр дроту вторинної обмотки:

$$d_2 = 0,8 \cdot \sqrt{7} = 2,11 \text{ мм}$$

За розрахованими даними можливо виготовити трансформатор з заданими параметрами на броньовому Ш-подібному магнітопроводі Ш40х40, або вибрати готовий трансформатор серед існуючих промислового виготовлення. Обираємо трансформатор ТПП-150-220 [5] з напругою вторинної обмотки 15 В і струмом 10 А, що забезпечить запас надійності.

5 РОЗРОБКА ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ ПРИСТРОЮ

5.1 Вибір елементної бази

5.1.1 АТМЕГА 8535-16PU

Зовнішній вигляд компоненту приведений на рисунку 5.1 та 5.2 [6].

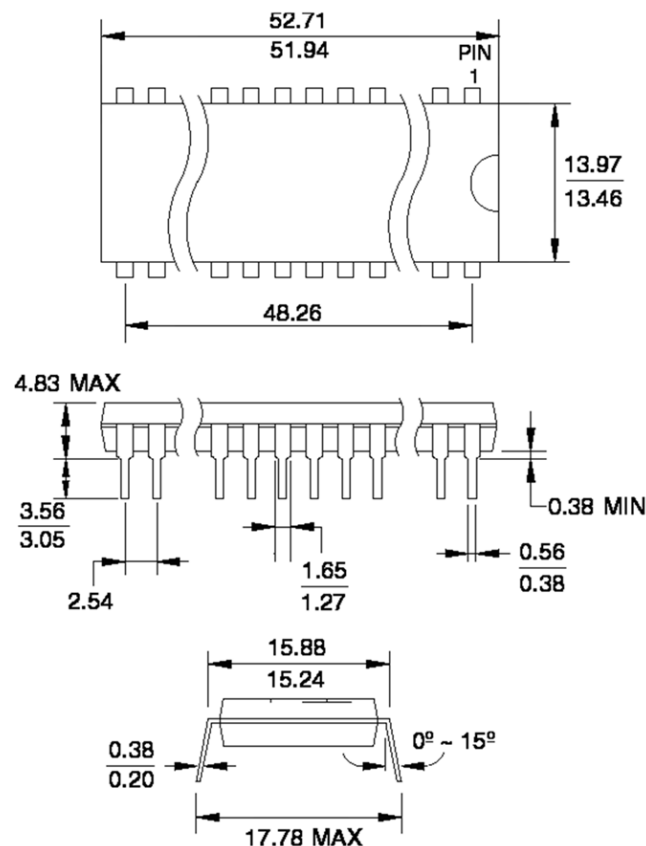


Рисунок 5.1 - Мікроконтролер АТМЕГА 8535-16PU

		PDIP			
(XCK/T0) PB0	1	40	PA0 (ADC0)		
(T1) PB1	2	39	PA1 (ADC1)		
(INT2/AIN0) PB2	3	38	PA2 (ADC2)		
(OC0/AIN1) PB3	4	37	PA3 (ADC3)		
(SS) PB4	5	36	PA4 (ADC4)		
(MOSI) PB5	6	35	PA5 (ADC5)		
(MISO) PB6	7	34	PA6 (ADC6)		
(SCK) PB7	8	33	PA7 (ADC7)		
RESET	9	32	AREF		
VCC	10	31	GND		
GND	11	30	AVCC		
XTAL2	12	29	PC7 (TOSC2)		
XTAL1	13	28	PC6 (TOSC1)		
(RXD) PD0	14	27	PC5		
(TXD) PD1	15	26	PC4		
(INT0) PD2	16	25	PC3		
(INT1) PD3	17	24	PC2		
(OC1B) PD4	18	23	PC1 (SDA)		
(OC1A) PD5	19	22	PC0 (SCL)		
(ICP1) PD6	20	21	PD7 (OC2)		

Рисунок 5.2 - Мікроконтролер АТМЕГА 8535-16PU

Призначення декількох виводів контролеру:

VCC – напруга живлення

GND – земля

Port A (PA7..PA0) – 8-розрядний двонаправлений порт I/O. До виходів порту можуть бути підключені вбудовані резистори навантажень (окремо до кожного розряду). Вихідні буфери забезпечують падаючий струм 20 мА. При використанні виводів порту в якості входу і при установці зовнішнім сигналом в низький стан, струм витікатиме тільки при підключених вбудованих резисторах навантажень.

Port B (PI7..PIO) – 8-розрядний двонаправлений порт I/O з вбудованими резисторами навантажень. Вихідні буфери забезпечують струм 20 мА.

При використанні виводів порту в якості входу і при установці зовнішнім сигналом в низький стан, струм витікатиме тільки при підключених вбудованих резисторах навантажень.

Port 3 (PC7..PC0) – 8-розрядний порт виходу. Вихідні буфери забезпечують падаючий струм 20 мА.

Port D (PD7..PDO) – 8-розрядний двонаправлений порт I/O з вбудованими резисторами навантажень. Вихідні буфери забезпечують падаючий струм 20 мА. При використанні виводів порту в якості входу і при установці зовнішнім сигналом в низький стан, струм витікатиме тільки при підключених вбудованих резисторах навантажень.

RESET – Вхід скидання. Для виконання скидання необхідно утримувати низький рівень на вході протягом двох машинних циклів.

XTAL1 – Вхід інвертуючого підсилювача генератора і вхід схеми вбудованого генератора тактової частоти.

XTAL2 – Вихід інвертуючого підсилювача генератора.

AVCC – Напруга живлення аналого-цифрового перетворювача. Вивід під'єднується до зовнішнього VCC через низькочастотний фільтр.

AREF – Вхід аналогової напруги порівняння для аналого-цифрового перетворювача. На цей вивід, для забезпечення роботи аналого-цифрового перетворювача, подається напруга в діапазоні між AGND і AVCC.

AGND – Цей вивід повинен бути приєднаний до окремої аналогової землі, якщо плата оснащена нею. У іншому випадку вивід під'єднується до загальної землі.

MOSI – Master Output Slave Input – забезпечує обмін даними між хостом та slave-пристроєм (з комп'ютеру до контролера)

MISO – Master Input Slave Output – забезпечує обмін даними між хостом та slave-пристроєм (з контролера до комп'ютеру).

Технічні параметри компоненту:

- діапазон робочих температур -55°C . $+125^{\circ}\text{C}$;
- максимальна робоча напруга 6В;
- максимальне споживання по постійному струму 300 мА;
- максимальна споживана потужність 750 мВт.

5.1.2 Операційний підсилювач LM 709 CN

Технічні параметри компоненту:

- напруга живлення – ± 18 В;
- потужність розсіювання – 250 мВ;
- вхідна напруга - ± 10 В;
- температурний діапазон – від -55°C ... $+150^{\circ}\text{C}$.

Зовнішній вигляд компоненту приведений на рисунку 5.3.

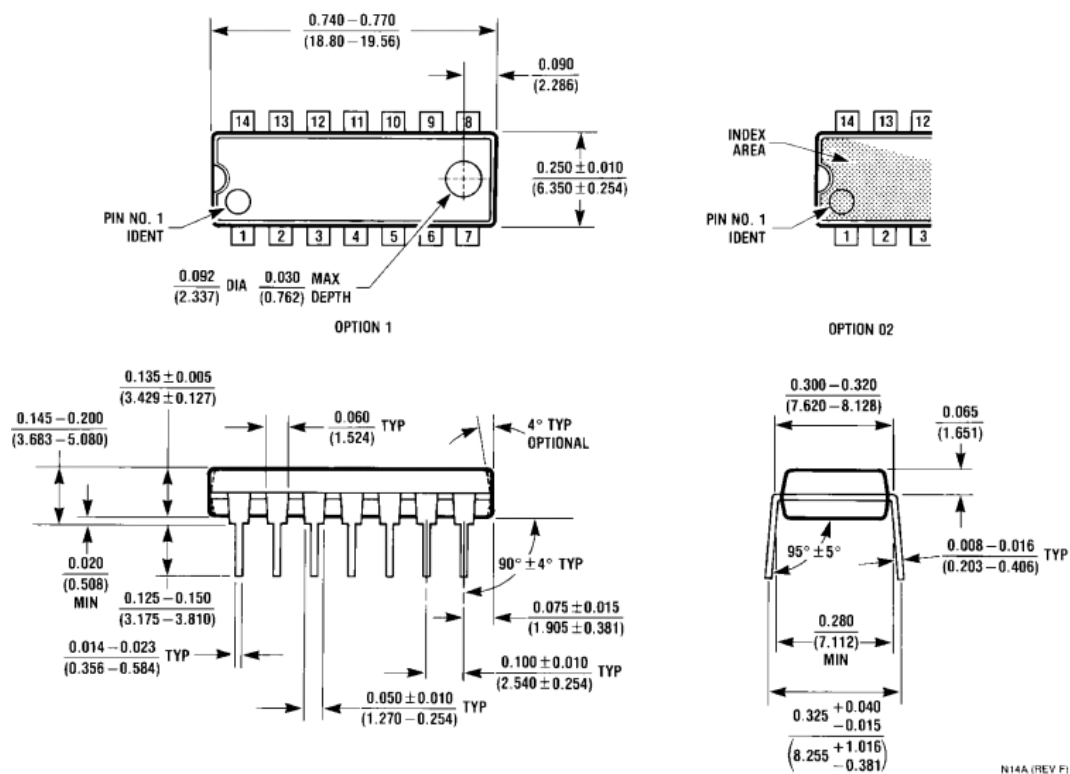


Рисунок 5.3 – Операційний посилювач LM 709 CN

5.1.3 Стабілізатор напруги КР142ЕН5

Технічні параметри компонента [3]:

- номінальна напруга – 5 В;
- максимальна вихідна напруга – 5,1 В;
- номінальна вихідна напруга – 4,9 В;
- максимальний вихідний струм – 1,5 А;
- максимальна вхідна напруга – 15 В.

Зовнішній вигляд компоненту приведений на рисунку 5.4.

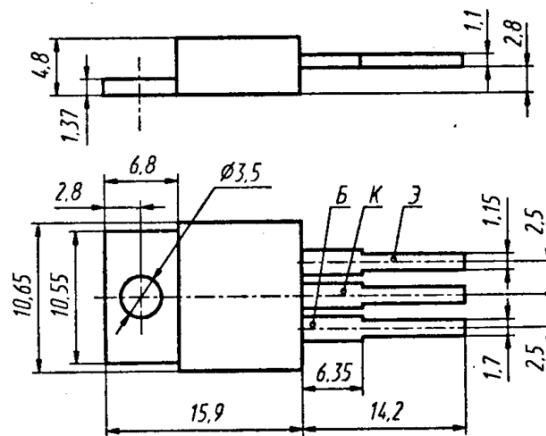


Рисунок 5.4 - Стабілізатор напруги KP142EN5

5.1.4 Конденсатори оксидно-електролітичні К50-24

Конденсатори оксидно-електролітичні алюмінієві. Області застосування: фільтри джерел живлення, шунтуючі ланцюги, ланцюги розв'язки на низьких частотах. Призначені для роботи в колах постійного, пульсуючого струму та в імпульсних режимах. Зовнішній вигляд компоненту приведений на рисунку 5.5.

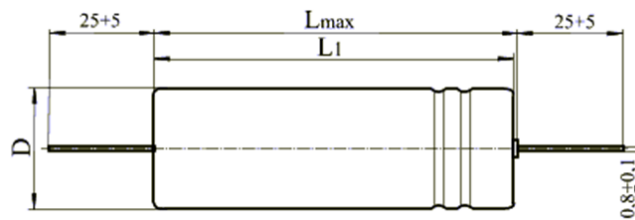


Рисунок 5.5 - Конденсатори К50-24

Технічні параметри компоненту :

- номінальна напруга – 6,3 – 160 В;
- номінальна ємність – 2,2 - 10000 пкФ;
- допустимі відхилення ємності – +50 – 20%;
- температурний діапазон – від -40°C ... +85°C

5.1.5 Конденсатори типу КД2 (С1, С2)

Зовнішній вигляд компоненту приведений на рисунку 5.6.

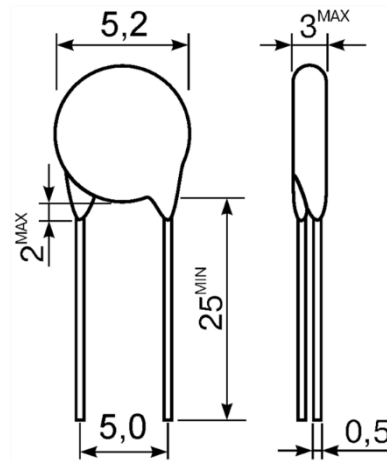


Рисунок 5.6 - Конденсатори КД-2

Конденсатори застосовуються в ланцюгах постійного, пульсуючого, змінного струму та в імпульсних режимах. Дискові конденсатори мають керамічний діелектрик, що забезпечує стійку лінійну залежність ємності від температури компоненту. Конденсатори широко використовуються для настройки контурів та ін.

Технічні параметри компоненту [8]:

- номінальна напруга- 250 В;
- межі номінальних ємностей 1-30 пФ;
- температурний діапазон - від -25 с до +85°С.

5.1.6 Резистори С2-23

Зовнішній вигляд компоненту приведений на рисунку 5.7.

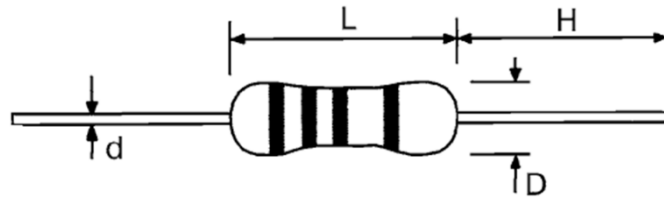


Рисунок 5.7 - Резистор С2-23

Технічні параметри компоненту:

- максимальна робоча потужність - 0,125 Вт;
- максимальна робоча напруга - 250 В;
- діапазон номінальних опорів – 10 Ом – 10 МОм;
- температурний коефіцієнт опору – $100 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$;
- рівень шумів – 0,2 мкВ/В;
- діапазон робочих температур –55 ... +123 °С.

Розміри, мм:

- діаметр резистору – 2,3 мм;
- довжина виводу – 28 мм;
- довжина резистору – 6 мм;
- діаметр виводу – 0,6 мм;

5.1.7 Резистор С5-35В

Зовнішній вигляд компоненту приведений на рисунку 5.8.

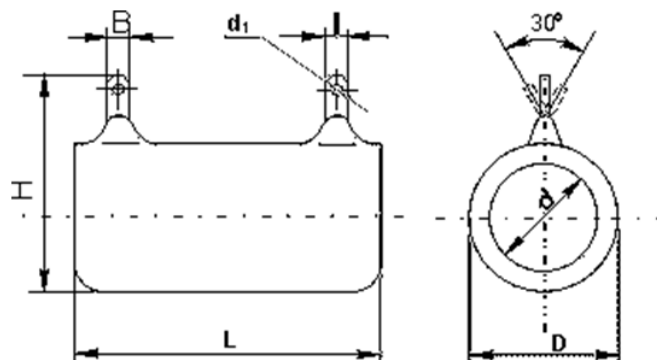


Рисунок 5.8 - Резистор С5-35В

Технічні параметри компоненту [9]:

- максимальна робоча потужність - 10 Вт;
- максимальна робоча напруга - 250 В;
- діапазон номінальних опорів – 1 Ом – 16 кОм;
- температурний коефіцієнт опору – $10 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$;
- діапазон робочих температур – 60 ... +155 °С.

Розміри, мм:

- діаметр резистору – 14 мм;
- діаметр виводу – 4,5 мм;
- довжина резистору – 41 мм;
- довжина виводу – 17 мм;
- висота резистору – 28 мм.

5.1.8 Кварцовий резонатор КХ-3Н 4.0 МГц

Мікроконтролер потребує тактування від внутрішнього генератору або від зовнішнього резонатору. Тактування від зовнішнього резонатору дозволяє працювати мікроконтролеру на нестандартній частоті. Зовнішній вигляд компоненту приведений на рис. 5.9.

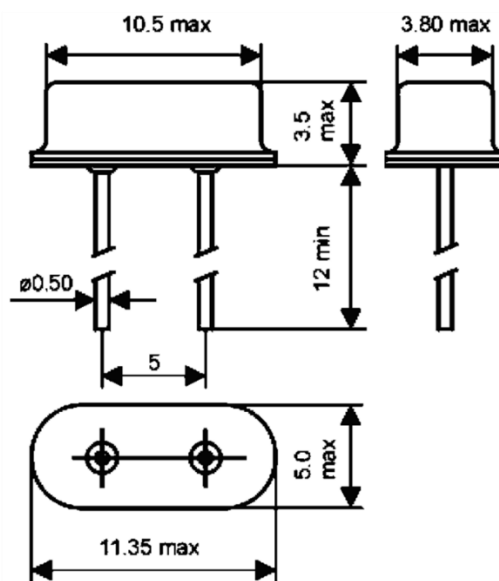


Рисунок 5.9 - Кварцовий резонатор HC49U

Діапазон робочих температур $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Робоча частота 4 МГц.

5.1.9 Діод випрямний КД213А

Діод призначений для роботи у випрямлячах напруги середньої потужності.

Основні параметри діоду КД213А [11]:

- максимальна зворотна напруга – 200 В;
- максимальний прямий струм – 10 А;
- максимальний зворотній струм – 200 мА;
- гранична частота діоду – 200 кГц;
- діапазон робочих температур $-55 \dots +125\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Зовнішній вигляд компоненту приведений на рисунку 5.10.

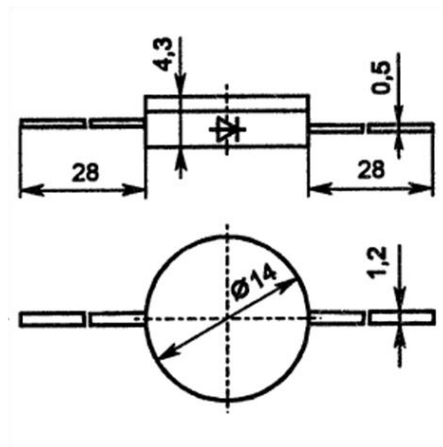


Рисунок 5.10 - Діод випрямний КД213А

5.1.10 Діод випрямний 2Д106А

Діод призначений для роботи у випрямлячах напруги малої потужності.

Основні параметри діоду 2Д106А [12]:

- максимальна зворотна напруга – 100 В;

- максимальний прями́й струм – 300 мА;
- максимальний зворотній струм – 10 мкА;
- максимальна частота діоду – 1 кГц;
- загальна ємність – 113 пФ;
- діапазон робочих температур -60 ... +125 °С.

Зовнішній вигляд компоненту приведений на рисунку 5.11.

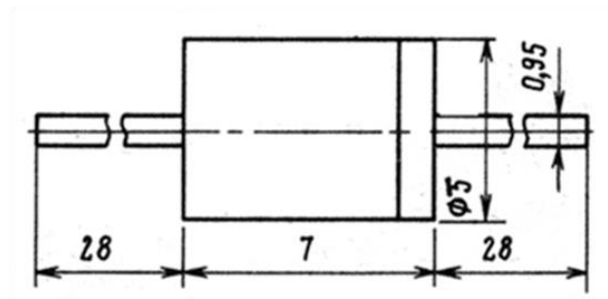


Рисунок 5.11 - Діод випрямний 2Д106А

5.1.11 Транзистор КТ825А

КТ825А –транзистор складений кремнієвий підсилювальний р-п-р.

Призначений для роботи у підсилювачах та перемикачах.

Зовнішній вигляд транзистора приведений на рис. 5.12.

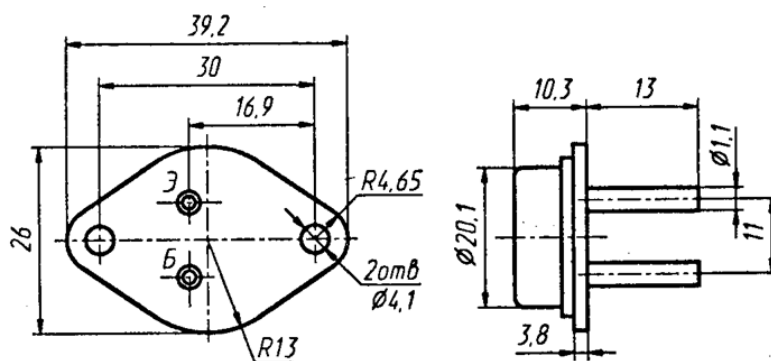


Рисунок 5.12 - Транзистор КТ825А

Основні параметри транзистору КТ825А [13]:

- максимальний струм колектору (постійний) – 20 А;

- максимальна напруга емітер-колектор – 100 В;
- коефіцієнт передачі струму – 500-180000;
- постійна напруга емітер-база – 5 В;
- постійний струм бази – 0.5 А;
- максимальна потужність з тепловідводом – 125 Вт;
- максимальна потужність без тепловідводу – 3 Вт;
- діапазон робочих температур -60 ... +125 °С.

5.1.12 Транзистор КТ827А

КТ827А –транзистор складений кремнієвий підсилювальний п - р - п. Призначений для роботи у підсилювачах та перемикачах. Транзистор випускається у пластмасовому та металевому корпусах.

Зовнішній вигляд компоненту приведений на рис. 5.13.

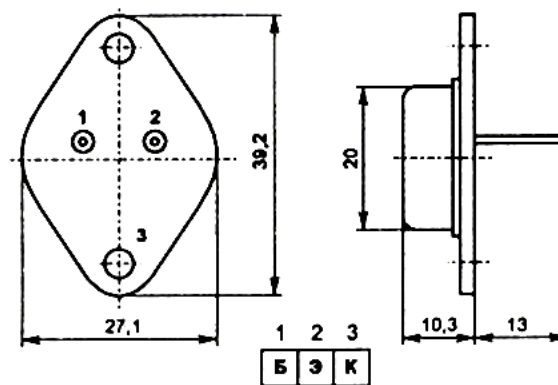


Рисунок 5.13 - Транзистор КТ827А

Основні параметри транзистору КТ827А [14]:

- максимальний струм колектору (постійний) – 20 А;
- максимальна напруга емітер-колектор – 100 В;
- коефіцієнт передачі струму – 500-180000;
- постійна напруга емітер-база – 5 В;
- постійний струм бази – 0.5 А;

- максимальна потужність з тепловідводом – 125 Вт;
- максимальна потужність без тепловідводу – 3 Вт;
- діапазон робочих температур -60 ... +125 °С;

5.1.13 Випрямляючий міст КВРС10005, (BR10005)

Технічні параметри компоненту [15]:

- максимальна зворотна постійна напруга – 50 В;
- максимальний постійний випрямлений струм – 10 А;
- максимальна зворотна імпульсна напруга – 60 В;
- максимальний постійний імпульсний струм – 200 А;
- робоча температура –55 - +125 °С;
- максимальна пряма напруга – 1,1 В.

Зовнішній вигляд компоненту приведений на рис. 5.14.

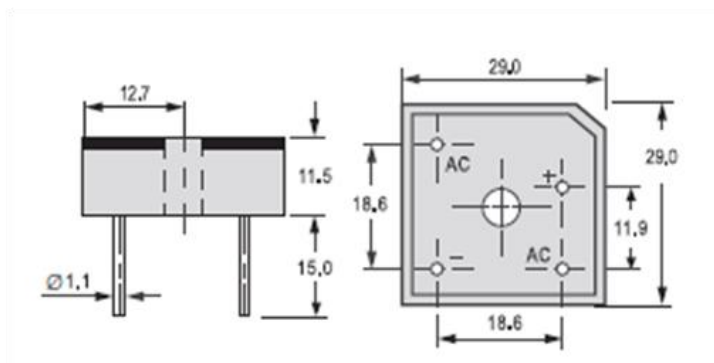


Рисунок 5.14 - Випрямляючий міст КВРС10005

5.1.14 Випрямляючий міст W01M

Технічні параметри компонента [16]:

- максимальна зворотна постійна напруга – 100 В;
- максимальний постійний випрямлений струм – 1,5 А;
- максимальна зворотна імпульсна напруга – 120 В;
- максимальний постійний імпульсний струм – 50 А;
- робоча температура –55 - +125 °С;

Зовнішній вигляд компоненту приведений на рисунку 5.15.

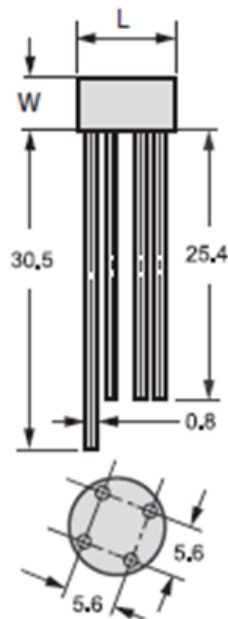


Рисунок 5.15 - Випрямляючий міст W01M

5.1.15 Трансформатор ТПП-150-220

Зовнішній вигляд компоненту приведений на рис/ 5.16.

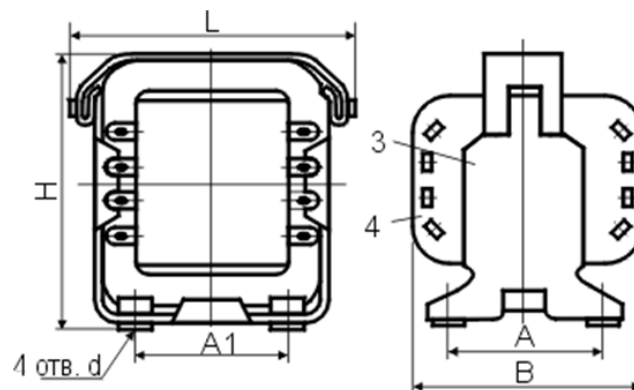


Рисунок 5.16 – Силовий трансформатор живлення ТПП-115-220

Технічні параметри трансформатору [5]:

- робоча частота: 50 Гц;
- напруга первинної обмотки: 220/127 В;
- напруга I вторинної обмотки: 18 В;

- напруга II вторинної обмотки: 6В;
- струм I вторинної обмотки: 8А;
- струм II вторинної обмотки: 12А.

5.1.16 Трансформатор ТП114-Ю5

Зовнішній вигляд компоненту приведений на рис/ 5.17.

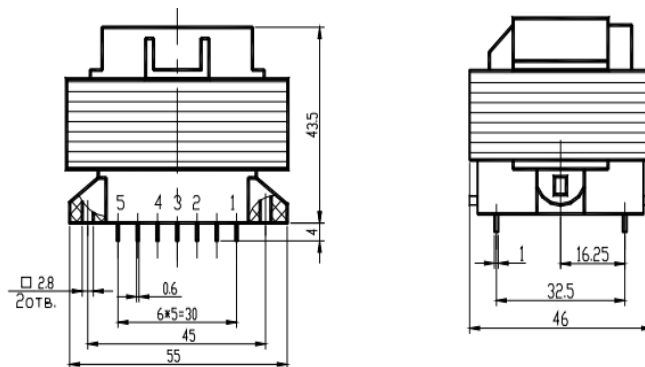


Рисунок 5.17 – Силовий трансформатор живлення ТП114-Ю5

Технічні параметри компонента [17]:

- робоча частота: 50 Гц;
- напруга первинної обмотки: 220/127 В;
- напруга I вторинної обмотки: 13,2 В;
- струм I вторинної обмотки: 1А;
- максимальна вихідна потужність: 13,2 Вт;
- тип магнітопроводу: ШП18бх18/ЕІ54х18;
- габаритні розміри, мм: 54х46х43.5;

5.2 Визначення вимог до механічних и кліматичних дій

Умови розміщення електронного пристрою визначають рівень дії на нього механічних і кліматичних чинників. Тому на стадії конструювання необхідно

визначити характер і рівень цих дій. До таких дій відносять дію механічної вібрації і ударів, температурні дії, дії підвищених і зниженої вологості і тиску.

Визначення вимог до механічних і кліматичних дій здійснюється відповідно до стандарту – ГОСТ 15150-69 [18].

Кліматичного виконання пристрою – У. Пристрій призначений для роботи в районах з помірним кліматом, де зміна температури від $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, із зміною вологості до 80% при температурі $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Категорія розміщення пристрою - 1.1 (для роботи і експлуатаційного зберігання в приміщеннях категорії 4 і для короткочасної роботи в інших умовах, у тому числі і на відкритому повітрі).

5.3 Трасування провідників і розміщення елементів провідного рисунку

Відповідно до ГОСТ 23751-86 [19] друкованих плат за точністю виконання елементів ведучого рисунку розділяються на п'ять класів точності. У даному дипломному проекті вибраний другий клас точності, оскільки плати другого класу точності надійніші і мають мінімальну вартість. Однобічна друкована плата зображена на рисунку 5.18.

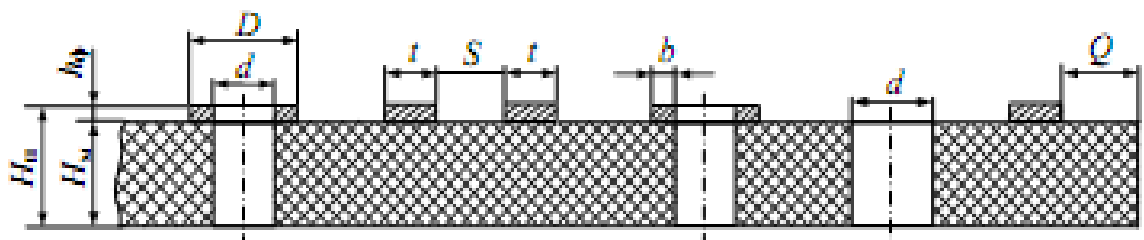


Рисунок 5.18 - Однобічна друкована плата

H_n – товщина друкованої плати; H_M – товщина матеріалу основи друкованої плати; h_ϕ – товщина фольги; b – гарантійний пасок; D – діаметр контактного майданчика; d – діаметр отвору; S – відстань між краями сусідніх елементів провідного малюнка; t – ширина друкованого провідника; Q – відстань від краю друкованої плати, вирізу, паза до елементів провідного рисунку.

Розрахуємо мінімальні діаметри контактних площадок за методикою [20].

Мінімальний діаметр контактної площадки D навколо монтажного отвору з відомим діаметром d визначається за формулою (5.1):

$$D = (d + \Delta d_{\text{в.о}}) + 2b_{\text{Н}} + \Delta t_{\text{р.о}} + 2\Delta d_{\text{мп}} + \sqrt{T_{\text{д}}^2 + T_{\text{D}}^2 + \Delta t_{\text{Н.о}}^2}, \quad (5.1)$$

де $\Delta d_{\text{в.о}}$ - верхнє граничне відхилення діаметру отвору (при $d \leq 1$ мм дорівнює $\pm 0,10$ мм, а при $d > 1$ мм дорівнює $\pm 0,15$ мм);

$b_{\text{Н}}$ – гарантійний поясок на зовнішньому шарі (0, 20 мм);

$\Delta t_{\text{в.о}}$ и $\Delta t_{\text{Н.о}}$ - верхнє та нижнє граничні відхилення ширини провідника відповідно (0.10 мм);

$\Delta d_{\text{тр}}$ – значення підтравлювання діелектрика (для односторонніх плат дорівнює нулю);

$T_{\text{д}}$ – допуск на розташування осей отворів для відповідного класу точності і розмірів плати (для 2 класу точності при розмірі плати по більшій стороні до 180 мм дорівнює 0,15 мм);

T_{D} – допуск на розташування контактних майданчиків для відповідного класу точності і розмірів плати (для 2 класу точності при розмірі плати по більшій стороні до 180 мм дорівнює 0,25 мм).

$$D_1 = 0,7 + 0,1 + 2 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0 + \sqrt{0,15^2 + 0,25^2 + 0,1^2} = 1,6 \text{ мм},$$

$$D_2 = 1,1 + 0,15 + 2 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0 + \sqrt{0,15^2 + 0,25^2 + 0,1^2} = 2,05 \text{ мм},$$

$$D_3 = 4,6 + 0,15 + 2 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0 + \sqrt{0,15^2 + 0,25^2 + 0,1^2} = 5,4 \text{ мм}.$$

5.4 Розробка конструкторської документації друкованої плати

Правила виконання креслень друкованої плати як деталі встановлені ГОСТ 2.417-91 [21].

Розміри на кресленні друкованої плати зазначені нанесенням координатної сітки в прямокутній системі координат.


При завданні розмірів нанесенням координатної сітки всі лінії сітки нумеруються. Крок сітки 2,5 мм. Координатна сітка нанесена на частину поверхні друкованої плати.

За початок відліку в прямокутній системі координат на головному виді креслення друкованої плати прийнятий лівий нижній кут друкованої плати.

Розміри і конфігурацію кріпильних, конструктивних технологічних отворів вибираємо по ГОСТ 11284-75 [10], граничні відхилення розмірів по ГОСТ 25347-82.

Діаметр отвору, його умовний знак, діаметр контактної площадки, кількість отворів об'єднані в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Параметри монтажних отворів і контактних майданчиків.

Умовне позначення отворів	Діаметри отворів, мм	Діаметри контактних площадок, мм	Кількість отворів
	0,6	1,6	122
	1,1	2,05	22
	2,5	-	4
	4,6	8,0	2

5.5 Вибір умов охолодження і розрахунок теплового режиму

В процесі роботи електронного пристрою температура нагріву його елементів не повинна перевищувати допустимих технічними умовами значень. При конструюванні необхідні температурні умови досягаються застосуванням відповідних умов охолодження і раціональним компоновкою при конструюванні.

Попередній вибір системи охолодження проводиться на ранній стадії конструювання [20]. Для цього використовується графіки, що характеризують область доцільного застосування різних способів охолодження.

Оцінка виробляється на підставі попередніх даних за величиною теплового потоку, що приходить на одиницю площі теплообміну згідно з формулою (5.2):

$$\rho = \frac{P \cdot k_p}{S_n}, \quad (5.2)$$

де P – сумарна розсіювана потужність електронного пристрою;

k_p – коефіцієнт, що враховує тиск повітря (при атмосферному тиску $k_p=1$);

S_n – поверхня теплообміну, визначувана геометричними розмірами зони електронного пристрою l_1, l_2, l_3 і коефіцієнтом заповнення об'єму k_v .

Сумарна потужність, що розсіюється електронного пристрою обчислюється за формулою (5.3):

$$P = \sum p_i \cdot k_{HI}, \quad \dots\dots\dots (5.3)$$

де p_i - потужність, що розсіюється кожного елемента окремо;

k_{HI} – коефіцієнт навантаження для i -го елемента.

Розрахунок сумарної потужності, що розсіюється електронного пристрою зведено в таблицю 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати розрахунку сумарної потужності електронного пристрою

Тип елемента	Кількість, шт.	Потужність, Вт	Коефіцієнт навантаження	Розсіює потужність, Вт
Транзистори				
КТ825А	1	7	0,5	3,5
КТ827А	1	7	0,5	3,5
Мікросхеми				
АТМЕГА 8535-16PU	1	0,75	-	0,75
LM709CN	1	0,25	-	0.25
Діод випрямний				
КД213А	1	0,77	0,5	0,385
2Д106А	1	0,21	0,5	0,315
КД213А	1	7	0,5	3.5
Резистори				
С2-23	17	0,125	0,5	1,0625
С5-35	1	7	0,5	3,5
Стабілізатор напруги				
КР142ЕН5	1	0,77	0,5	0,385
Трансформатори				
ТПП-115-220	1	0,7	0,7	4,9
ТП114-Ю5	1	6,6	0,7	4,62
Випрямляючий міст				
W01M	1	1,54	0,5	0,77
BR10005	1	7	0,5	3,5
Сумарна потужність, що розсіюється електронного пристрою				32

Зона друкованої плати пристрою, що проектується, має прямокутну форму з розмірами $210 \times 110 \times 140$ мм ($0,21 \times 0,11 \times 0,14$ м).

Коефіцієнт заповнення $k_3 = 0,8$

Поверхня теплообміну визначається за формулою (5.4):

$$S_3 = 2[l_1 \cdot l_2 + (l_1 + l_2)l_3 \cdot k_3], \quad (5.4)$$

де l_1 – довжина пристрою, що проектується;

l_2 – ширина пристрою, що проектується;

l_3 – висота пристрою, що проектується;

k_3 – коефіцієнт заповнення пристрою, що проектується.

$$S_3 = 0,11 \text{ м}^2$$

Величина теплового потоку, що приходить на одиницю площі теплообміну:

$$p = \frac{32}{0,11} = 290 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Іншим параметром оцінки є величина мінімального допустимого перегріву елементів пристрою, визначається за формулою (5.5):

$$T_{\text{пер}} = T_{\text{min}} - T_{\text{C}} \quad (5.5)$$

де T_{min} – допустима температура корпусу найменш теплостійкого елемента ($T_{\text{min}} = 70$ °С);

T_{C} – температура навколишнього середовища, $T_{\text{C}} = 45$ °С;

$$T_{\text{пер}} = 70 - 45 = 25^{\circ}\text{C}.$$

Найдоцільніше застосовувати природне повітряне охолодження, розташування друкованої плати – горизонтальне у перфорованому корпусі.

Наявність перфорованих отворів враховується коефіцієнтом, що залежить від відносної площі перфорованих отворів визначається за формулою (5.6):

$$q = \frac{S_n}{l_1 \cdot l_2}, \quad (5.6)$$

де S_n – сумарна площа перфораційних отворів.

Загальна площа перфорованих отворів:

$$S_{\text{пер}} = 0,0037 \text{ м}^2$$

Відносна площа перфорованих отворів визначається за формулою (5.7):

$$q = \frac{S_{\text{перф}}}{l_1 \cdot l_2}, \quad (5.7)$$

$$q = \frac{0,0037}{0,16 \cdot 0,14} = 0,21$$

Коефіцієнт, що враховує вплив відносної площі перфорованих отворів на перегрів елементів і ділянок пристрою, визначиться за формулою (5.8):

$$k_{\text{п}} = 0,29 + \frac{1}{1,41 + 4,95q}, \quad (5.8)$$

Яка дійсна в діапазоні значень $0 \leq q \leq 0,8$.

$$k_{\Pi} = 0,29 + \frac{1}{1,41 + 4,95 \cdot 0,21}$$

Перегрів корпусу блоку (пристрою) визначається за формулою (5.9):

$$\theta_1 = 0,1472 \cdot p_k - 0,2962 \cdot 10^{-3} \cdot p_k^2 + 0,3127 \cdot 10^{-6} \cdot p_k^3, \quad (5.9)$$

$$\theta_1 = 0,1472 \cdot 126 - 0,2962 \cdot 10^{-3} \cdot 126^2 + 0,3127 \cdot 10^{-6} \cdot 126^3 = 14,7^{\circ}\text{C}$$

Перегрів нагрітої зони визначається за формулою (5.10):

$$\theta_2 = 0,1390 \cdot p_k - 0,1223 \cdot 10^{-3} \cdot p_k^2 + 0,0698 \cdot 10^{-6} \cdot p_k^3, \quad (5.10)$$

$$\theta_2 = 0,1390 \cdot 126 - 0,1223 \cdot 10^{-3} \cdot 126^2 + 0,0698 \cdot 10^{-6} \cdot 126^3$$

Коефіцієнти, які урахують тиск повітря зовні та у межах корпусу пристрою визначаються за формулами (5.11) та (5.12):

$$k_{\Pi 1} = 0,81 + \frac{1}{0,925 + 4,6 \cdot 10^{-5} \cdot H_1}, \quad (5.11)$$

$$k_{\Pi 2} = 0,8 + \frac{1}{1,25 + 3,8 \cdot 10^{-5} \cdot H_2}, \quad (5.12)$$

$$k_{\Pi 1} = 0,81 + \frac{1}{0,925 + 4,6 \cdot 10^{-5} \cdot 0,101325} = 1,9,$$

$$k_{\Pi 2} = 0,8 + \frac{1}{1,25 + 3,8 \cdot 10^{-5} \cdot 0,101325} = 1,62,$$

Перегрів корпусу приладу з урахуванням перфорованих отворів визначається за формулою (5.13):

$$\theta_k = 0,93 \cdot K_{H1} \cdot k_n \cdot \theta_1, \quad (5.13)$$

$$\theta_k = 0,93 \cdot 1,9 \cdot 0,7 \cdot 14,47 = 6,5 \text{ } ^\circ\text{C},$$

Перегрів нагрітою зони приладу з урахуванням перфорованих отворів визначається за формулою (5.14):

$$\theta_3 = 0,93 \cdot k_{II} \cdot \left[\theta_1 \cdot K_{HI} \left(\frac{\theta_2}{0,93} - \theta_1 \right) \cdot K_{H2} \right], \quad (5.14)$$

$$\theta_3 = 0,93 \cdot 0,7 \cdot \left[14,47 \cdot 1,9 \left(\frac{15,71}{0,93} - 14,47 \right) \cdot 1,62 \right] = 12 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Перегрів повітря у пристрої визначається за формулою (5.15):

$$\theta_{\text{поа}} = 0,6 \cdot \theta_3, \quad (5.15)$$

$$\theta_{\text{пов}} = 0,6 \cdot 12 = 7,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Середня температура повітря у пристрої визначається за формулою (5.16):

$$T_{\text{пов}} = \theta_{\text{пов}} + T_C, \quad (5.16)$$

$$T_{\text{пов}} = 7,2 + 45 = 52,2 \text{ } ^\circ\text{C},$$

Температура корпусу приладу визначається за формулою (5.17):

$$T_K = \theta_K + T_C, \quad (5.17)$$

$$T_K = 6,5 + 45 = 51,5 \text{ } ^\circ\text{C},$$

Температура нагрітої зони визначається за формулою (5.18):

$$T_3 = \theta_3 + T_C, \quad (5.18)$$

$$T_3 = 12 + 45 = 57 \text{ } ^\circ\text{C},$$

За даними, які були визначені за допомогою розрахунку теплового режиму пристрою робимо висновок – пристрій може працювати з природним охолодженням.

Температурний режим окремих теплонавантажених елементів залежить від питомої розсіювальної потужності і визначається за формулою (5.19):

$$q_{\text{ел}} = \frac{P_{\text{ел}}}{S_{\text{ел}}} \quad (5.19)$$

де $P_{\text{ел}}$ - потужність, що розсіюється кожним елементом окремо.

$S_{\text{ел}}$ – площа охолодження елемента.

Перегрів поверхні елемента визначається за формулою (5.20):

$$\theta_{\text{ел}} = \theta_3 \cdot \left(0,75 + 0,25 \cdot \frac{q_{\text{ел}}}{q_3}\right), \quad (5.20)$$

Перегрів навколишнього середовища навколо елемента визначається за формулою (5.21):

$$\theta_{\text{сер ел}} = \theta_{\text{пов}} \cdot \left(0,75 + 0,25 \cdot \frac{q_{\text{ел}}}{q_3}\right), \quad (5.21)$$

Температура поверхні елемента и температура навколишнього середовища елемента визначається за формулами (5.22) та (5.23):

$$T_{\text{ел}} = \theta_{\text{ел}} + T_{\text{С}}, \quad (5.22)$$

$$T_{\text{сер ел}} = \theta_{\text{сер ел}} + T_{\text{С}}, \quad (5.23)$$

Розрахунок перегріву елементів зведено в таблицю 5.3.

Таблиця 5.3 - Розрахунок перегріву елементів

Тип елемента	$P_{\text{ел}}, \text{Вт}$	$S_{\text{ел}}, \text{м}^2$	$\theta_{\text{ел}}, ^\circ\text{C}$	$\theta_{\text{сер}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{ел}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{сер}}, ^\circ\text{C}$
Мікросхеми						
ATMEGA 8535-16PU	334,8	0,00224	12,5	7,5	52,5	47,5
LM709CN						
Стабілізатор напруги						
КР142ЕН5	2567	0,00015	35,5	21	75,5	61
Випрямляючі мости						
W01M	3632	0,000212	46,5	28	86,5	68
BR10005	1650	0,000212	26	16	66	56
Резистори						
C2-23	500	0,000125	14	8	54	48
C5-35	1060	0,0033	20	12	60	52
Діоди випрямляючі						
КД213А	3632	0,00015	46,5	28	86,5	68
2Д106А	854	0,000123	18	11	58	51

Так, як температура поверхні елементів менше максимальної робочої температури елементів, то елементи не перегріваються і працюють нормально.

5.6 Розрахунок надійності пристрою

Визначення надійності пристрою здійснюється по методиці розрахунку по раптових експлуатаційних відмовах за відомими показниками надійності елементів пристрою з урахуванням наступних допущень: відмови елементів статистично незалежні і відмова будь-якого елемента приводить до відмови всього пристрою [20].

Інтенсивність відмов пристрою визначається за формулою (5.24):

$$\lambda_C = k_\lambda \sum_{i=1}^n \alpha_i \lambda_{oi}, \quad (5.24)$$

де λ_{oi} - інтенсивність відмови i -го елемента;

α_i - поправочний коефіцієнт, що враховує вплив температури навколишнього середовища і електричне навантаження приладу;

$k_\lambda = k_{\lambda 1} k_{\lambda 2} k_{\lambda 3}$ - поправочний коефіцієнт, що враховує умови експлуатації пристрою;

$k_{\lambda 1}$ - дії механічних чинників ($k_{\lambda 1} = 1,07$);

$k_{\lambda 2}$ - дія кліматичних чинників ($k_{\lambda 2} = 1$)

$k_{\lambda 3}$ - умови роботи при зниженому атмосферному тиску ($k_{\lambda 3} = 1$).

Мікросхеми інтегральні

Інтенсивність відмов: $\lambda_0 = 1,5 \cdot 10^{-6}$ 1/ч

Кількість елементів: 3

Діоди випрямні

Інтенсивність відмов: $\lambda_0 = 0,6 \cdot 10^{-6}$ 1/ч

Коефіцієнт навантаження: $k_H = 0,5$

Уточнюючий коефіцієнт: $\alpha = 0,97$

Кількість елементів: 5

Транзистори

Інтенсивність відмов: $\lambda_0 = 2 \cdot 10^{-6}$ 1/ч

Коефіцієнт навантаження: $k_H = 0,5$

Уточнюючий коефіцієнт: $\alpha = 0,51$

Кількість елементів: 2

Дросель індуктивності

Інтенсивність відмов: $\lambda_0 = 0,1 \cdot 10^{-6}$ 1/ч

Коефіцієнт навантаження: $k_H = 0,5$

Уточнюючий коефіцієнт: $\alpha = 0,85$

Кількість елементів: 1

Трансформатор

Інтенсивність відмов: $\lambda_0 = 0,1 \cdot 10^{-6}$ 1/ч

Коефіцієнт навантаження: $k_H = 0,5$

Уточнюючий коефіцієнт: $\alpha = 0,85$

Кількість елементів: 2

Резистори постійні

Інтенсивність відмов: $\lambda_0 = 0,2 \cdot 10^{-6}$ 1/ч

Коефіцієнт навантаження: $k_H = 0,5$

Уточнюючий коефіцієнт: $\alpha = 0,85$

Кількість елементів: 17

Резистор постійний потужний

Інтенсивність відмов: $\lambda_0 = 0,6 \cdot 10^{-6}$ 1/ч

Коефіцієнт навантаження: $k_H = 0,5$

Уточнюючий коефіцієнт: $\alpha = 0,43$

Кількість елементів: 1

Конденсатори

Інтенсивність відмов: $\lambda_0 = 0,7 \cdot 10^{-6}$ 1/ч

Коефіцієнт навантаження: $k_H = 0,5$

Уточнюючий коефіцієнт: $\alpha = 0,13$

Кількість елементів: 4

Конденсатори електролітичні

Інтенсивність відмов: $\lambda_0 = 0,7 \cdot 10^{-6}$ 1/ч

Коефіцієнт навантаження: $k_H = 0,7$

Уточнюючий коефіцієнт: $\alpha = 0,9$

Кількість елементів: 3

Кварцовий резонатор

Інтенсивність відмов: $\lambda_0 = 0,7 \cdot 10^{-6}$ 1/ч

Коефіцієнт навантаження: $k_H = 0,6$

Уточнюючий коефіцієнт: $\alpha = 0,9$

Кількість елементів: 1

Роз'єм

Інтенсивність відмов: $\lambda_0 = 0,6 \cdot 10^{-6}$ 1/ч

Коефіцієнт навантаження: $k_H = 0,3$

Уточнюючий коефіцієнт: $\alpha = 0,12$

Кількість елементів: 2

Елементи кріплення

Інтенсивність відмов: $\lambda_0 = 0,4 \cdot 10^{-6}$ 1/ч

Кількість елементів: 4

Плата друкована

Інтенсивність відмов: $\lambda_0 = 0,1 \cdot 10^{-6}$ 1/ч

Кількість елементів: 1

Пайка сполучна

Інтенсивність відмов: $\lambda_0 = 0,04 \cdot 10^{-6}$ 1/ч

Кількість елементів: 150

Дріт сполучний

Інтенсивність відмов на 1 погонний метр: $\lambda_0 = 0,12 \cdot 10^{-6}$ 1/ч

Кількість елементів: 0,4

Загальна інтенсивність відмов приладу:

$$\begin{aligned} \lambda_c = & 4,5 \cdot 10^{-6} + 3 \cdot 10^{-6} + 4 \cdot 10^{-6} + 0,1 \cdot 10^{-6} + 0,2 \cdot 10^{-6} + 3,4 \cdot 10^{-6} \\ & + 0,6 \cdot 10^{-6} + 2,8 \cdot 10^{-6} + 2,1 \cdot 10^{-6} + 0,7 \cdot 10^{-6} + 1,2 \cdot 10^{-6} + 0,48 \\ & \cdot 10^{-6} + 1,6 \cdot 10^{-6} + 0,1 \cdot 10^{-6} + 6 \cdot 10^{-6} = 30,78 \cdot 10^{-6} \end{aligned}$$

Середній наробіток на відмовлення всього пристрою визначиться за формулою

$$T_c = \frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{30.78 \cdot 10^{-6}} = 0.032488 \cdot 10^6$$

Розрахована середній наробіток на відмовлення пристрою складає 32488 годин, що дозволяє безвідмовно працювати 1353 днів (3,7 роки).

6 МОДЕЛЮВАННЯ

6.1 Поняття моделювання та його функції

Моделювання, як термін, означає дослідження об'єктів пізнання на їх моделях; побудова і вивчення моделей реально існуючих предметів процесів або явищ з метою отримання пояснень цих явищ, а також для прогнозу явищ, що цікавлять дослідника.

Головні функції моделі – спрощення отримання інформації про властивості справжнього об'єкту; передача інформації та знань про його властивості; управління і оптимізація об'єктами і процесами; прогнозування та діагностика справжнього об'єкту.

Промоделювати можна як повністю весь пристрій, так і окремо кожен з основних компонентів. Оскільки моделювання всього пристрою є дуже складним завданням, досліджуватимуться тільки його основні блоки.

Для моделювання процесів використовується пакет для моделювання Simulink в середовищі Matlab.

6.2 Моделювання системи керування

Система керування силовою частиною повинна генерувати імпульси керування, залежно від даних датчиків напруги та струму, та від стану заряду батареї. На першому етапі заряду батареї імпульси керування практично не залежать від стану батареї та інших факторів. Імпульс, який вмикає заряд батареї займає 50% від усього періоду управління. Після завершення імпульсу заряду батарея повинна бути в стані спокою, без зовнішньої напруги на її клеммах. У цей період спокою в акумуляторі проходять хімічні реакції які дозволяють рівномірно розподілити накоплену енергію по всій поверхні електродів. У цей

же час спокою замірюється напруга на батареї. Якщо вона більша за напругу цілком зарядженої батареї – процес заряду закінчено.

Період заряду батареї залежить від часу квантування, який в свою чергу залежить від типу мікроконтролеру. У даному проєкті пропонується період заряду батареї дорівнює 10 мілісекунд.

Якщо напруга на батареї менша за напругу цілком зарядженої батареї, система керування подає імпульс розряду батареї. Час спокою та час розряду батареї рівні по часу, і займають 50% періоду заряду. Таким чином батарея може перебувати у трьох станах:

1. Стан заряду, у який на клеммах батареї існує зарядна напруга (50% періоду);
2. Стан спокою, на клеммах батареї нема зовнішньої напруги (25% періоду);
3. Стан розряду, батарея розряджається на розрядний резистор (25% періоду);

Часові діаграми роботи системи керування зображені на рис. 5.2. Модель системи керування, у даному проєкті, являють собою два незалежних блоки DiscretPulseGenerator, з однаковими періодами імпульсів, але зміщених по фазі на 270 електричних градусів. Модель системи керування зображена на рис. 6.1:



Рисунок 6.1 – Модель системи керування у середовищі Simulink

Діаграми роботи схеми керування приведені на рисунку 6.2:

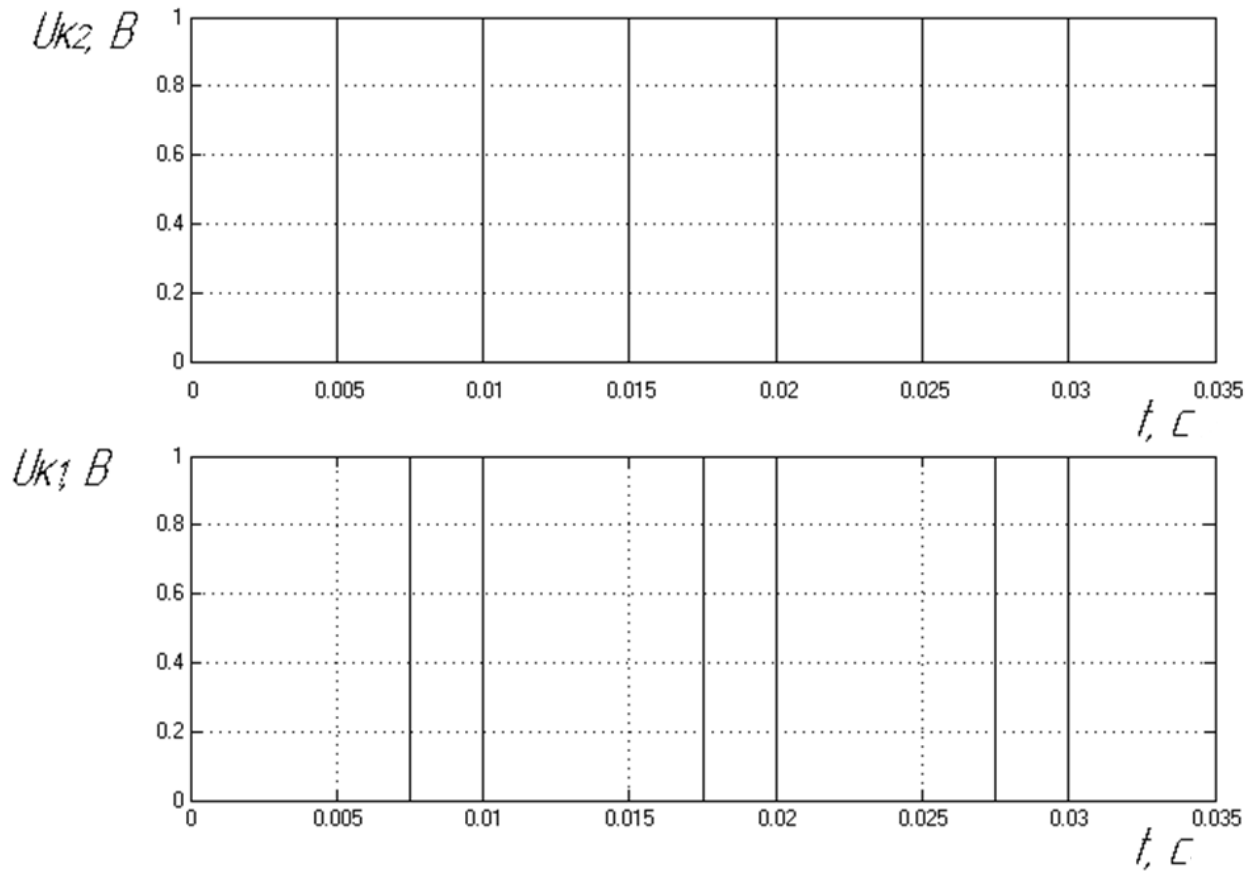


Рисунок 6.2 – Часові діаграми системи керування

Параметри блоків DiscretPulseGenerator зведені до таблиці 6.1:

Таблиця 6.1 – Параметри блоків DiscretPulseGenerator

Назва параметру	Значення блоку Driver1	Значення блоку Driver2
Амплітуда	1	1
Період, сек.	$10 \cdot 10^{-3}$	$10 \cdot 10^{-3}$
Ширина імпульсу, %	50	25
Фазова затримка, сек.	0	$7,5 \cdot 10^{-3}$

6.3 Моделювання силової частини

Моделювання силової частини зводиться до моделювання двох силових транзисторів, які комутують акумуляторну батарею. Перший з транзисторних ключів комутує напругу від імпульсного параметричного перетворювача напруги. Другий комутує батарею на силовий баластовий резистор розряду. Модель пристрою приведена на рисунку 6.3:

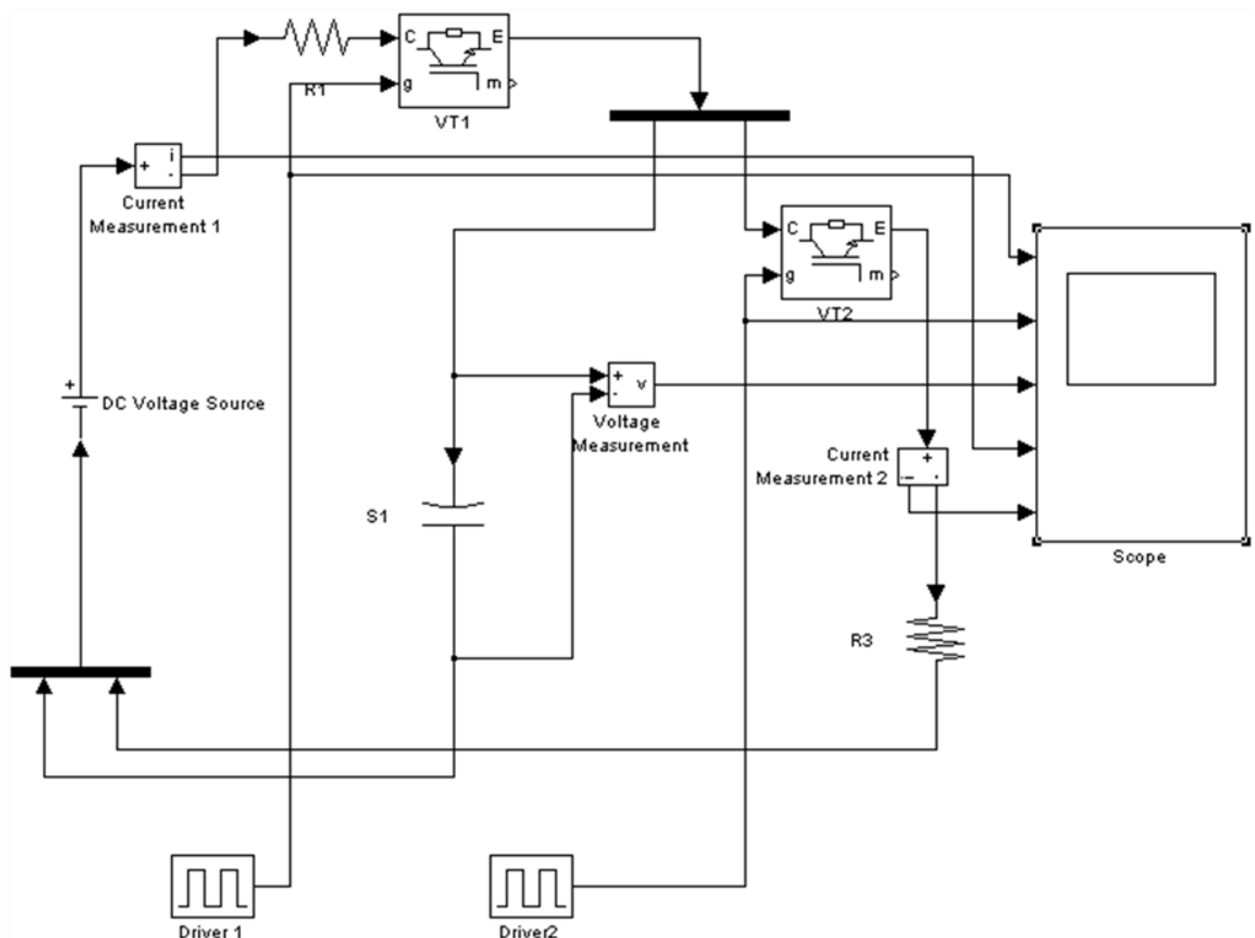


Рисунок 6.3 – Модель пристрою зарядки акумуляторних батарей

Метою моделювання є перевірка та контроль можливості заряду то розряду акумуляторної батареї. За таких умов, імпульсний параметричний перетворювач напруги можна представити як і джерело постійного струму, тим самим значно спростивши модель. Система керування забезпечує максимальний

струм заряду батареї на рівні 5 ампер. У даній моделі струм заряду обмежує резистор R1.

За допомогою розробленої моделі можна отримати графіки напруги та струму у ланцюгах схеми, отримати та проаналізувати зміни стану батареї. На рисунках 6.4 та 6.5 зображений процес заряду батареї та діаграма напруги, струму заряду та струму розряду при збільшеному струмі розряду.

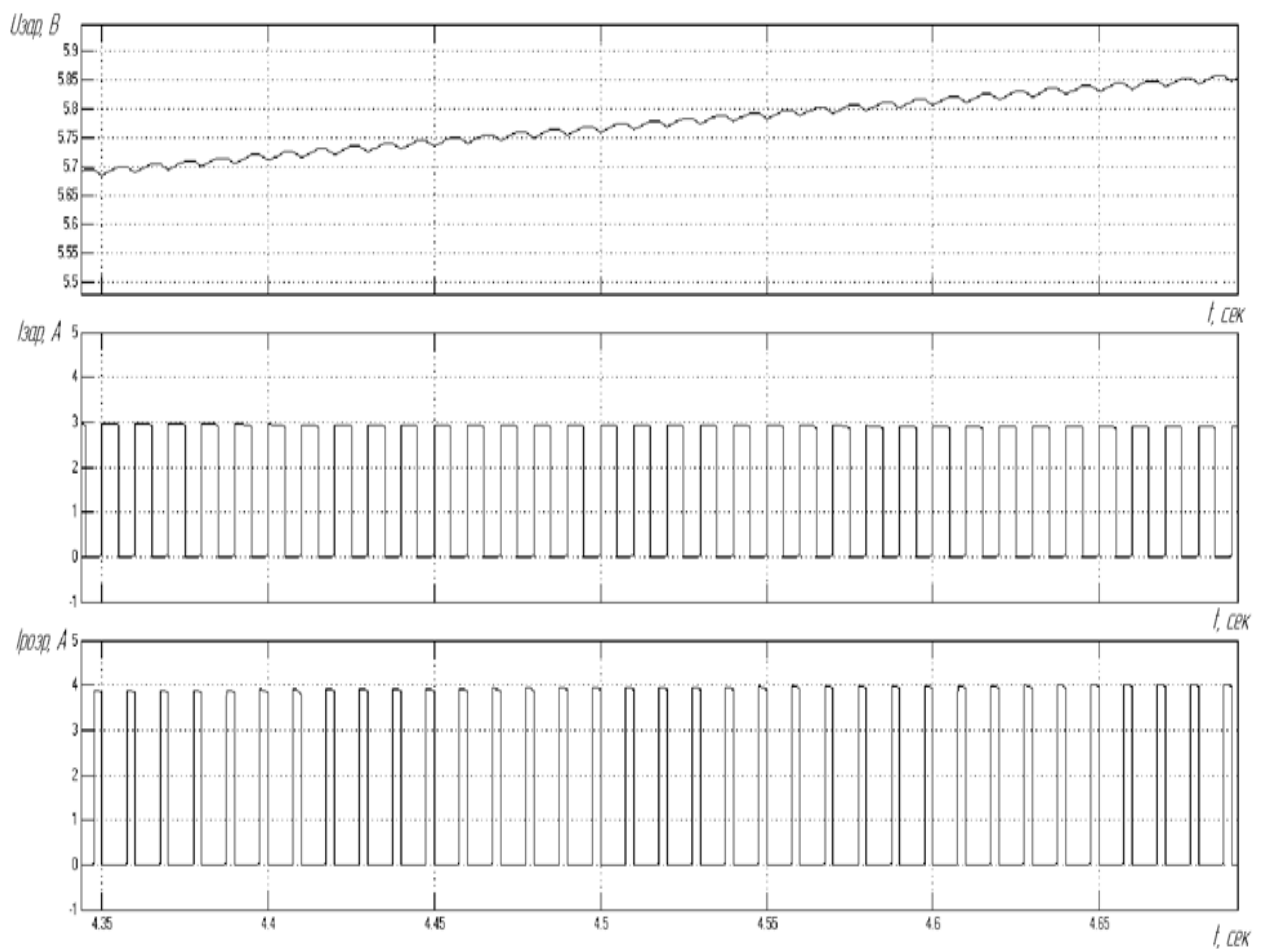


Рисунок 6.4 – Діаграми напруги, струму заряду та струму розряду в процесі заряду батареї.

ВИСНОВКИ

В ході виконання дипломного проекту був розроблений прилад для заряду акумуляторних батарей асиметричним струмом.

Розробляючи прилад для заряду акумуляторних батарей асиметричним струмом була виконана наступна робота.

У дипломному проекті було проаналізовано технічні умови і вимоги, що пред'являються до проєктованого пристрою; зроблено огляд аналогів; розроблена схема електрична структурна і принципова; обрана елементна база. Також здійснений конструкторський розрахунок елементів друкованого монтажу; вибір умов охолодження і розрахунок теплового режиму; оцінена надійність проєктованого пристрою.

Результати розрахунку температура поверхні елементів менше максимальної робочої температури елементів, тобто елементи не перегріваються і працюють нормально.

Середній наробіток на відмовлення пристрою складає 32488 годин, що дозволяє безвідмовно працювати 1353 днів (3,7 роки).

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Баранов В.Н. Применение микроконтроллеров AVR. Схемы, алгоритмы, программы / Баранов В.Н. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2004. – 288 с.
2. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Classic фирмы Atmel / Евстифеев А.В. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2006. – 285 с.
3. КР142ЕН5В (7805) (5,0V & 2A) ТО-220 позитивний стабілізатор напруги. [Електронний ресурс] /Режим доступу: <https://car-led.org/ua/p1263278982-kr142en5v-7805-50v.html> [Дата звернення: 29.03.2023].
4. BR10005 датащи (PDF) - Galaxy Semi-Conductor Holdings Limited [Електронний ресурс] /Режим доступу: <https://www.alldatasheetru.com/datasheet-pdf/pdf/225891/BILIN/BR10005.html> [Дата звернення: 31.03.2023].
5. Трансформатор ТПП 150-220-400. [Електронний ресурс] /Режим доступу: <https://transvit-m.ru/catalog/product/3910> [Дата звернення: 02.04.2023].
6. Микроцип АТМЕГА8535-16PU, 8-битный микроконтроллер AVR, ATmega, 16 МГц, флэш-память 8 КБ, 40-контактный PDIP. [Електронний ресурс] /Режим доступу: https://in.rsdelivers.com/product/microchip/atmega8535-16pu/microchip-atmega8535-16pu-8bit-avr-microcontroller/1310347P?cm_mmc=IN-PPC-DS3A-_-google-_-3_IN_EN_Semiconductors_Microcontrollers_BMM-_-Microchip+-+1310347P+-+ATMEGA8535-16PU-_-atmega8535+16pu&matchtype=p&kwd=381912562720&s_kwid=AL!14853!3!682975467510!p!!g!!atmega8535%2016pu&gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA67CrBhC1ARIsACKAa8S2ln_RlXMBpEs wTMWV6hw_2yAlgix-zPKfnmfF3LFGFeIfvQ9sItAaAq0nEALw_wcB&gclsrc=aw.ds [Дата звернення: 04.04.2023].
7. Конденсатор К50-24 160 В. [Електронний ресурс] /Режим доступу: <https://standart-pribor.com.ua/product/k50-24-160-v-47-mkf-kondensator/> [Дата звернення: 02.04.2023].
8. Конденсатор КД-2 250 В [Електронний ресурс] /Режим доступу: <https://radiokomponent.com.ua/product/kondensator-kd-2-470-pf-250v/> [Дата звернення: 08.04.2023].

9. Резисторы С5-35В 3Вт – 160Вт. [Электронный ресурс] /Режим доступа: <https://radiokomponent.com.ua/product/kondensator-kd-2-470-pf-250v/> [Дата звернення: 08.04.2023].
10. Кварцовий резонатор КХ-3Н 4.0 МГц. [Электронный ресурс] /Режим доступа: <https://imrad.com.ua/ru/kx-3h-4-0-mhz-product-53895> [Дата звернення: 10.04.2023].
11. Диод 2Д213А (=КД213А). [Электронный ресурс] /Режим доступа: <https://radiokomponent.com.ua/product/diod-2d213a/> [Дата звернення: 10.04.2023].
12. Диод 2Д106А. [Электронный ресурс] /Режим доступа: <https://radiokomponent.com.ua/product/diod-2d106a/> [Дата звернення: 10.04.2023].
13. Транзистор КТ825. [Электронный ресурс] /Режим доступа: <https://radiokomponent.com.ua/product/diod-2d106a/> [Дата звернення: 10.04.2023].
14. Составной Транзистор КТ827 А Б В 2Т827 А Б В. [Электронный ресурс] /Режим доступа: <https://retro-if.com.ua/product/sostavnoj-tranzistor-kt827-a-b-v-2t827-a-b-v/> [Дата звернення: 12.04.2023].
15. Техническое описание КВРС10005 (PDF) — Semtech Corporation. [Электронный ресурс] /Режим доступа: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/42443/SEMTECH/КВРС10005.html> [Дата звернення: 12.04.2023].
16. Мост диодный W01M. [Электронный ресурс] /Режим доступа: <https://eandc.ru/catalog/detail.php?ID=4344> [Дата звернення: 12.04.2023].
17. ТП114-Ю5, трансформатор питания. [Электронный ресурс] /Режим доступа: <https://www.platan.ru/cgi-bin/qwery.pl/id=606860560> [Дата звернення: 12.04.2023].
18. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Ис-полнение для различных районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических фак-торов внешней среды. Введ. 01.01.70.
19. ГОСТ 23751-86. Платы печатные. Основные параметры конструкции. - Введ. 01.07.87.
20. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни

«Основи конструювання та технології електронних пристроїв» / Укл: Ю. Е. Паеранд - Сєвєродонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2019. 64.

21. ГОСТ 2.417-91. ЕСКД. Платы печатные. Правила выполнения чертежей. – Введ. 01.07.92.