

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАРЯДНОГО ПРИСТРОЮ
СВИНЦЕВО-КИСЛОТНИХ АКУМУЛЯТОРІВ**

Виконав студент IV курсу, групи ЕТс-41
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

_____ Бешинський А.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник _____ Коваль В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____ Вакуленко О.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри _____ Тарасенко М.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2022

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Тарасенко М.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 2022 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)
студенту Бешинському Андрію Васильовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення ефективності зарядного пристрою свинцево-кислотних акумуляторів

Керівник роботи к.т.н., доц. Коваль В.П.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «01» лютого 2022 року № 4/7-76

2. Термін подання студентом завершеної роботи до 14.06.2022

3. Вихідні дані до роботи Зарядний пристрій повинен забезпечувати заряд свинцево-кислотних акумуляторів до напруги 14,7 В і стабілізувати струм заряду відповідно до вимог, що ставляться до такого типу пристроїв

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Зарядні пристрої автомобільних акумуляторів із застосуванням мікроконтролера.

2. Розробка структурної схеми пристрою.

3. Розробка принципової схеми.

4. Імітаційне моделювання основних вузлів зарядного пристрою та зробити висновки про їх Працездатність.

5. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

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

1. Влаштування і етапи зарядки АКБ.

2. Вибір елементної бази та основних вузлів.

3. Принципова схема зарядного пристрою.

4. Моделювання схеми керування струмом заряду.

5. Моделювання схеми живлення операційних підсилювачів LM358.

6. Моделювання вимірювального перетворювача струм-напруга.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТс–41. - Т. : ТНТУ, 2022.

Стор. 61; рис. 42; табл. 2; креслень (презентацій) 20; джерел 7.

Кваліфікаційна робота бакалавра виконана на підставі завдання на тему: «Підвищення ефективності зарядного пристрою свинцево-кислотних акумуляторів».

Метою роботи є підвищити ефективність процесу зарядки свинцево-кислотних акумуляторів шляхом вдосконалення схеми зарядного пристрою

У роботі проведено аналіз принципу роботи зарядних пристроїв автомобільних акумуляторів із застосуванням мікроконтролера, розроблено структурну та принципову схему пристрою зарядки та вибрано елементну базу для її основних вузлів. Здійснено імітаційне моделювання основних вузлів зарядного пристрою та зроблено висновки про їх працездатність.

Ключові слова: СВИНЦЕВО-КИСЛОТНИЙ АКУМУЛЯТОР, ЗАРЯДНИЙ ПРИСТРІЙ, ПРОЦЕС ЗАРЯДУ

ЗМІСТ

ВСТУП

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	8
1.1 Типи акумуляторних батарей.....	8
1.2 Зарядні пристрої автомобільних акумуляторів із застосуванням мікроконтролера	10
1.3 Висновки до розділу	13
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	14
2.1 Розробка структурної схеми пристрою.....	14
2.2 Вибір елементної бази та основних вузлів	15
2.2.1 Вибір блоку живлення	15
2.2.2 Вибір мікроконтролера.....	16
2.2.3 Вибір енкодера	20
2.2.4 Вибір дисплея	21
2.3 Розробка принципової схеми	22
2.3.1 Вибір операційного підсилювача	22
2.3.2 Живлення операційних підсилювачів LM358.....	24
2.3.3 Живлення мікроконтролера та обв'язки	26
2.3.4 Схема керування струмом заряду.....	27
2.3.5 Вимірювальний перетворювач струм-напруга	31
2.3.6 Вимірювальний перетворювач струму на ОП LM358	34
2.3.7 Реалізація захисту	36
2.3.8 Підвищення частоти мікроконтролера	37
2.3.9 Розрахунок радіатора регулюючого транзистора.....	38
2.3.10 Додаткове регулювання струму заряду	39
2.4 Висновки до розділу	43
3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	
3.1 Середовище моделювання.....	44

3.2 Моделювання схеми живлення операційних підсилювачів LM358	44
3.3 Моделювання схеми живлення мікроконтролера та обв'язування	45
3.4 Моделювання схеми керування струмом заряду	46
3.5 Моделювання вимірювального перетворювача струм-напруга.....	48
3.6 Моделювання вимірювального перетворювача струму на ОУ LM358	49
3.7 Висновки до розділу	50
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	52
4.1 Можливість виникнення статичної електрики та заходи боротьби з нею.....	52
4.2 Фізичні основи електробезпеки	54
4.3 Зонування територій за ступенем небезпеки	55
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	58
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	59

ВСТУП

Актуальність теми. Складно уявити сучасне життя без транспортних засобів, останні кілька років їх кількість на землі збільшилася більш ніж в 3 рази. Майже в кожному транспортному засобі, чи це легкові автомобілі чи вантажівки різних класів, не обійтися без джерела постійного струму. На сьогоднішній момент у цій ролі найчастіше виступають свинцево-кислотні акумулятори.

Технології виробництва акумуляторів постійно вдосконалюються, але середня тривалість життя акумуляторної батареї не перевищує 2-4 роки. Така мала тривалість може пояснюватися кліматичними умовами та людським фактором.

У зв'язку з особливостями нашого клімату, дуже часто, особливо в холодну пору року автолюбителям стикаються з необхідністю зарядки автомобільного акумулятора. В епоху автоматизації, коли багато типових завдань беруть на себе мікроконтролери, цю проблему не складно вирішити. Проблема якісного заряду акумуляторних батарей є актуальною.

Мета кваліфікаційної роботи: підвищити ефективність процесу зарядки свинцево-кислотних акумуляторів шляхом вдосконалення схеми зарядного пристрою.

Відповідно до даної мети ставляться такі **завдання**:

1. Провести аналіз принципу роботи зарядних пристроїв автомобільних акумуляторів із застосуванням мікроконтролера.
2. Розробити структурну схему пристрою зарядки та вибрати елементну базу для її основних вузлів.
3. Розробити принципову схему зарядного пристрою.
4. Здійснити імітаційне моделювання основних вузлів зарядного пристрою та зробити висновки про їх працездатність.

Структура роботи. Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається

з вступу, 4 частин, висновків та переліку посилань. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 61 арк. формату А4, графічна частина – 20 аркушів презентації.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Типи акумуляторних батарей

Акумуляторна батарея (АКБ) - це джерело постійного струму, яке призначене для накопичення та зберігання енергії. Переважна кількість типів акумуляторних батарей заснована на циклічному перетворенні хімічної енергії на електричну, це дозволяє багаторазово заряджати та розряджати батарею.

З часу винаходу першого акумулятора минуло вже понад 150 років і зараз неможливо уявити сучасний світ без резервних джерел живлення на основі батарей. На даний момент винайдено більше трьох десятків типів, що відрізняються своїм складом, а також застосуванням.

Умовно можна виділити такі типи АКБ [1]:

- літієві (літій-іонні) – тип електричного акумулятора, який широко поширений у сучасній побутовій електронній техніці. Такий акумулятор найчастіше використовується для живлення ноутбуків, фотоапаратів та іншої техніки, але в сучасних телефонах він вже використовується рідко, оскільки витісняється прогресивнішим типом батарей. Їхній основний недолік у високій чутливості до перезаряду, тому в пристроях, де використовуються такі батареї, обов'язково встановлюють контролер, який обмежує заряд;

- нікель-кадмієві - тип електричного акумулятора, який на сьогоднішній день все ще досить широко використовується в народному господарстві. Даний тип здатний витримувати велику кількість розрядів і зарядів, стійкий до низьких температур і має великий допустимий струм розряду. Одними з основних його переваг є низька ціна та великий термін служби. Недоліки зазначеного виду в тому, що він швидко саморозряджається, має низьку щільність енергії та його застосування обмежується з міркувань охорони навколишнього середовища (кадмій є отруйною речовиною);

- свинцево-кислотні – тип електричного акумулятора, який застосовується у транспортних засобах. Свинцеві акумулятори можуть

використовуватися багаторазово. Вони є вторинними джерелами струму, які працюють за рахунок створення хімічних реакцій. При роботі у великій кількості витрачаються хімічні елементи, але наступна зарядка їх відновлює.

У автомобілях переважно використовується свинцево-кислотний тип. Найчастіше батарея складається з 6 акумуляторів (банок), кожна номінальною напругою близько 2,2, з'єднаних послідовно в батарею (рис. 1.1).

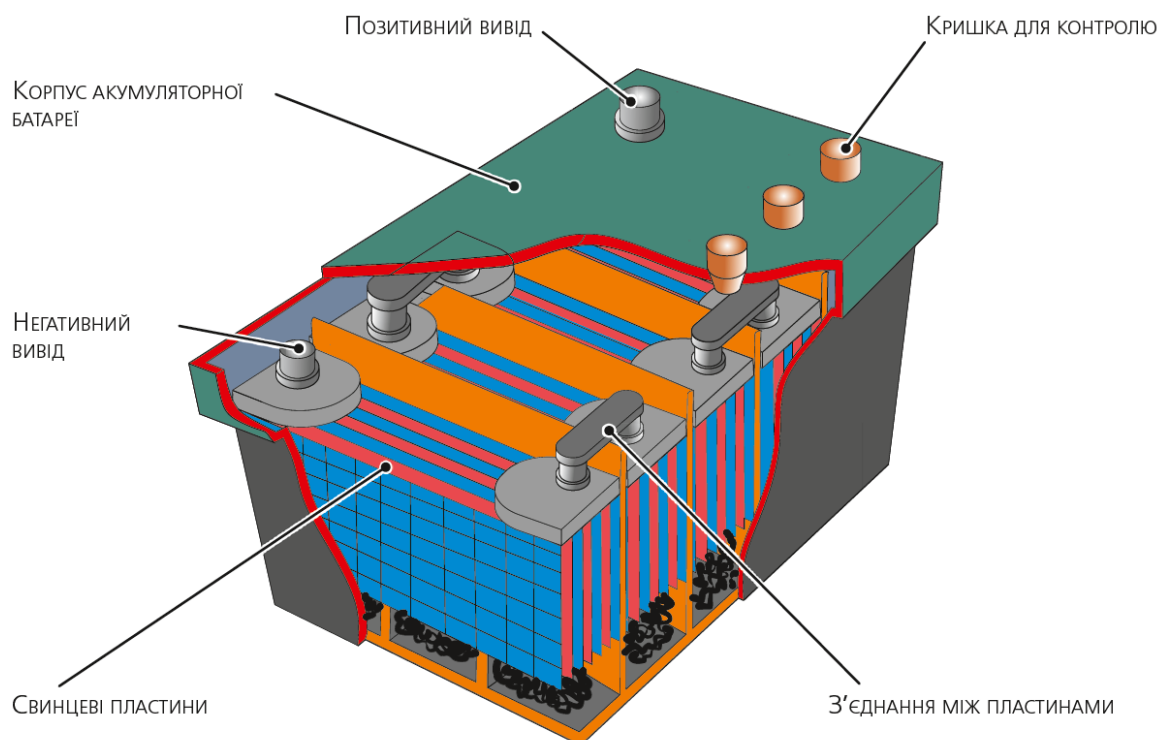


Рисунок 1.1 - Влаштування автомобільної АКБ

Звичайний електроліт є сумішшю дистильованої води і сірчаної кислоти з щільністю в межах $1,23-1,31 \text{ г/см}^3$ (що більша щільність електроліту, тим більше морозостійка батарея), але зараз з'явилися автомобільні АКБ побудовані на базі технології AGM (Absorbent Glass Mat) - в ній рідкий електроліт абсорбований у пористих сепараторах зі скловолокна, розміщених між електродами, а також гелеві акумулятори, де в рідкий електроліт додають речовину на основі двоокису кремнію (SiO_2), в результаті чого утворюється густа маса, що нагадує за консистенцією желе (технологія назва GEL).

У даній кваліфікаційній роботі розглядається процес заряду електричного акумулятора свинцево-кислотного типу, що знайшов найбільш широке

застосування в автомобільній техніці.

1.2 Зарядні пристрої автомобільних акумуляторів із застосуванням мікроконтролера

Зарядні пристрої (ЗУ) автомобільних акумуляторів є зовнішніми пристроями. Вони живляться від мережі 220-230 В змінного струму штепсельним роз'ємом і забезпечені затискачами-крокодилами для приєднання до клем акумулятора [2].

ЗУ для автомобільних акумуляторних батарей із застосуванням мікроконтролера (МК) має вагомні переваги перед звичайним зарядним пристроєм без застосування. Головне завдання такого пристрою, як і всієї техніки в принципі, в якій застосовується МК, це розширення функціоналу не на збиток простоті роботи з пристроєм. Простіше кажучи, такі пристрої заощаджують час і не вимагають якихось спеціальних знань під час роботи з ними.

Використання мікроконтролера (англ. controller - регулятор, керуючий пристрій) дозволяє впровадити у пристрій величезний функціонал, який згодом може практично виключати участь людини у процесах, з якими працює цей пристрій.

Ось деякий функціонал ЗУ для АКБ із застосуванням МК :

- подача струму більшого, ніж струм саморозряду (для компенсації саморозряду (див. крапельна підзарядка)), але меншого, ніж максимальний струм заряду (для запобігання руйнуванню акумулятора);
- реалізація алгоритму розряду/заряду, ефективного для цього типу акумулятора (NiMH, Ni-Cd або Li-Ion) при цьому хімічному складі компонентів;
- вимірювання температури (за допомогою термодатчика) для аварійного відключення зарядки на холоді або при перегріві (для запобігання псуванню акумулятора);

- вимірювання тиску (за допомогою датчика тиску) для аварійного відключення зарядки при витoku газів (для запобігання вибухам та витокам).

Завданням даної роботи є удосконалення пристрою для заряджання автомобільних свинцево-кислотних акумуляторних батарей (АКБ) із застосуванням мікроконтролера.

Заряд акумуляторних батарей (далі АКБ) повинен здійснюватися в напівавтоматичному режимі, тобто оператору необхідно встановити тільки струм заряду АКБ, далі пристрій повинен автоматично підтримувати заданий струм заряду. Струм заряду повинен бути достатнім для повного заряду АКБ. Живлення пристрою повинно здійснюватись від побутової мережі змінного струму (220 В, 50 Гц) [3].

Для цієї роботи потрібно прийняти точні рамки параметрів АКБ. Логічно зробити це, з принципу «попит породжує пропозицію», тобто вибрати найбільш поширену акумуляторну батарею і згідно з цим принципом, вибрати найпоширеніший тип свинцево-кислотних АКБ: стартерні АКБ з напругою 12 В та ємністю до 85 А·год.

На даний момент зарядка автомобільного АКБ із застосуванням звичайного зарядного пристрою є цілим алгоритмом дій зі своїми особливостями:

- оптимальна сила струму для підзарядки акумулятора, це 10% номінальної ємності АКБ, тобто при енергоємності батареї 55 А·год, сила струму не повинна перевищувати 5,5 А;

- оптимальна напруга на клеммах зарядного пристрою це +10% від номінальної напруги повністю зарядженої батареї. Наприклад, у повністю зарядженого АКБ напруга на виході становить 12,6 В, тоді 10% від номінального напруги, це 1,26 В. У результаті виходить, що для оптимальної зарядки АКБ потрібно 13,86 В;

- не можна допускати заряду батареї великим струмом, оскільки це руйнує складну структуру АКБ;

- слід постійно стежити за струмом зарядки та напругою на АКБ;

- сигналом про повний заряд АКБ буде утримання показника напруги на одному рівні протягом години, або опускання струму заряду до нуля.

І це може бути неповний алгоритм дій, оскільки існують різні режими зарядки АКБ, що служать як для відновлення батарей, так і для продовження терміну їх служби. На рис.1.2 відображені етапи зарядки АКБ.

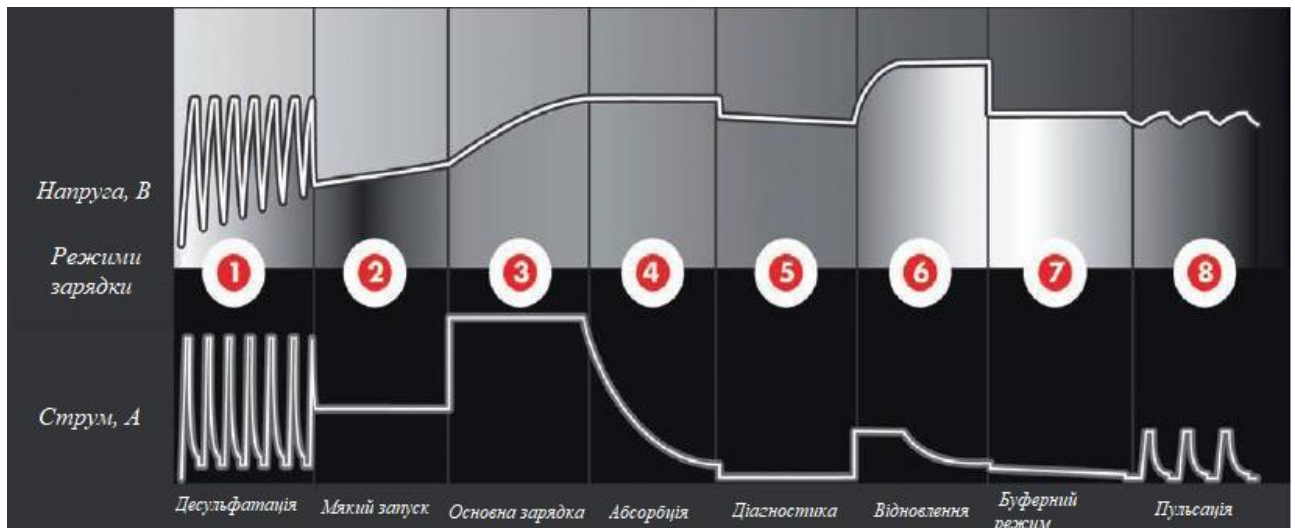


Рисунок 1.2 - Етапи зарядки АКБ

Все це в результаті при правильному підході може займати багато часу, цю проблему чудово вирішує застосування МК.

У своїй роботі я поставив наступні вимоги до пристрою:

1. Простота в управлінні - управління пристроєм планую реалізувати лише одним компонентом - енкодер з тактовим натисканням.
2. Виведення на дисплей інформації про струм та напругу заряду - дана інформація дозволить користувачеві оцінювати приблизний час заряджання та служитиме для інформування.
3. Захист від замикання клем зарядного пристрою - одна з основних функцій, яка переважає у всіх подібних сучасних пристроях, оскільки без неї великий шанс виходу з експлуатації основного компонента - мікроконтролера.
4. Захист від переполюсування при підключенні клем зарядного пристрою до акумулятора - аналогічно до попереднього пункту - все це спрямоване на продовження життя приладу.

5. Повна автоматизація заряду батареї, а саме:
- регулювання струму заряду батареї, спираючись на показання вольтметра та амперметра;
 - вимкнення заряду при несправності або повному зарядженні батареї.

Це мінімальні вимоги, які будуть реалізовані у пристрої, але їх може бути набагато більше.

1.3 Висновки до розділу

1. Для живлення основного електрообладнання у автомобілів переважно використовується свинцево-кислотний тип акумуляторів.
2. При проектуванні власного зарядного пристрою слід дотримуватися наступних вимог:
 - Оптимальна сила струму для підзарядки акумулятора, це 10% номінальної ємності АКБ, тобто при енергоємності батареї 55 А·год, сила струму не повинна перевищувати 5,5 А.
 - Оптимальна напруга на клеммах зарядного пристрою це +10% від номінальної напруги повністю зарядженої батареї. Наприклад, у повністю зарядженого АКБ напруга на виході становить 12,6 В, тоді 10% від номінального напруги, це 1,26 В.
 - Не можна допускати заряду батареї великим струмом, оскільки це руйнує складну структуру АКБ.
 - Слід постійно стежити за струмом зарядки та напругою на АКБ.
 - Сигналом про повний заряд АКБ буде утримання показника напруги на одному рівні протягом години, або опускання струму заряду до нуля.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Розробка структурної схеми пристрою

Основне завдання - створення системи управління зарядом АКБ на МК.

Перше, що потрібно в даній роботі, це блок живлення проєктованого пристрою, який перетворює мережеву напругу на постійну. Другий і не менш важливий елемент це мікроконтролер. Далі потрібна схема управління струмом заряду, за допомогою якої МК визначає величину струму, що надходить на акумулятор.

Для правильного регулювання мікроконтролером струму заряду йому потрібно знати величину струму і напруги на батареї. Для цього будуть застосовуватися датчик струму та датчик напруги. Для виведення інформації про процес, струм заряду та напругу буде використаний дисплей, а для управління - енкодер.

У результаті отримано структурну схему пристрою, зображену рис.2.1.

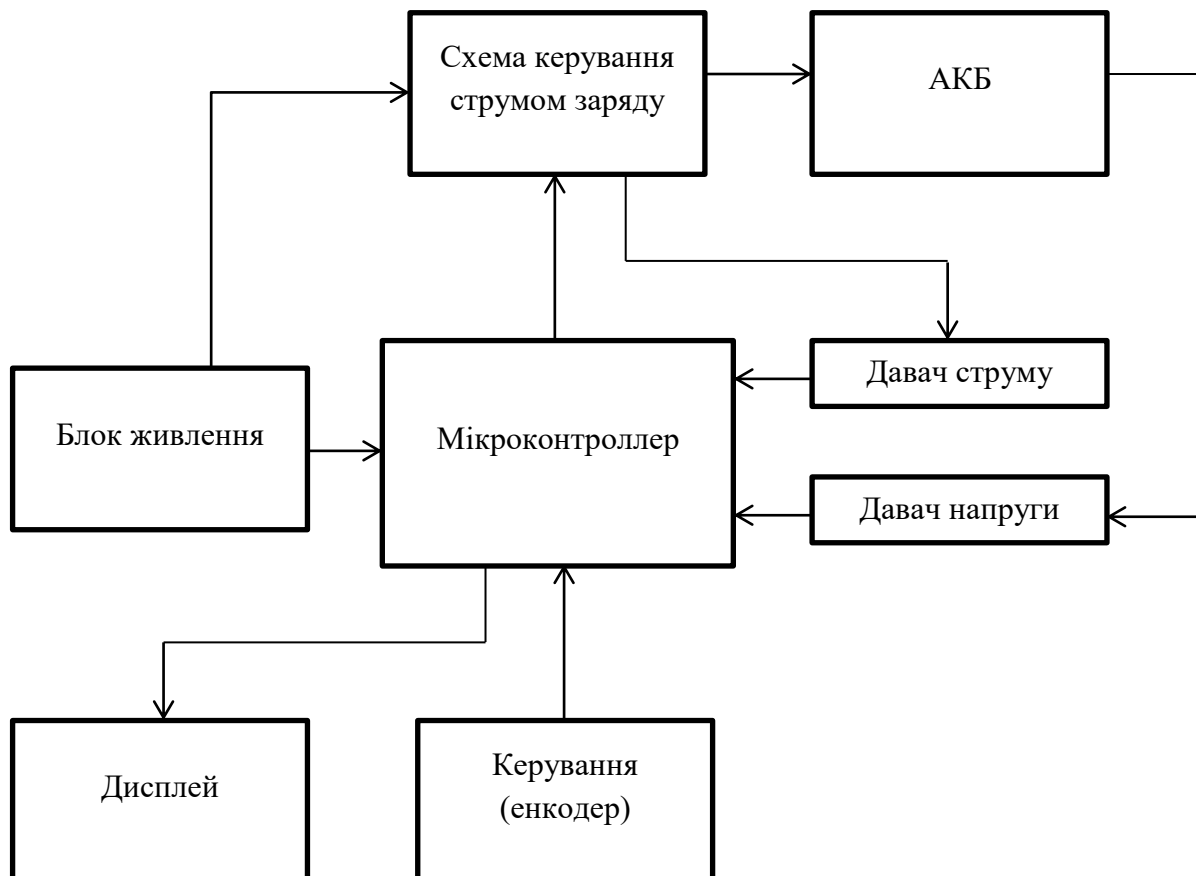


Рисунок 2.1 – Структурна схема пристрою

Блок живлення забезпечує енергією мікроконтролер, який керує струмом заряду за допомогою спеціальної схеми. Ця схема так само, як і МК живиться від напруги того ж таки блоку живлення. Далі схема управління струмом заряду живить безпосередньо акумулятор, заряджаючи його. Оскільки струм заряду не може бути однаковий через те, що в міру заряду акумулятора він падає, мікроконтролер стежить за цим струмом заряду за допомогою датчика струму.

Також, до мікроконтролера підключений датчик напруги, який у свою чергу підключений до акумулятора. Це коло так само повинне служити для того, щоб мікроконтролер знав про процеси, спираючись на які він повинен правильно регулювати струм заряду. Нижче до МК підключені блоки введення-виводу та енкодер. Повна електрична принципова схема зображена у додатку А.

Вибір елементної бази вирішено робити в наступному порядку: для початку потрібно вибрати основний блок живлення, далі мікроконтролер з елементами введення виводу, а потім всі компоненти, що залишилися. Цей порядок буде найбільш логічним, оскільки при підборі елементної бази спиратимемося не тільки на завдання та вимоги, але й на вибір попередніх компонентів.

2.2 Вибір елементної бази та основних вузлів

2.2.1 Вибір блоку живлення

Спочатку слід визначитися з блоком живлення пристрою. Середньому автомобільному акумулятору, з вище сказаного, потрібна сила струму в середньому до 6 А, а напруга близько 14 В. Приблизно в цих рамках підбирано параметри блоку живлення.

Класифікація джерел живлення здійснюється за принципом дії. Основних варіантів тут два: трансформаторний та імпульсний. Застосування трансформаторного блоку живлення у цій роботі менш доцільне через відсутність у ньому додаткового захисту від замикання. Так як дана робота не

комерційна і використання в ньому більш дешевих компонентів не є однією з цілей, то для нього підійде імпульсний блок живлення.

При виборі імпульсного блоку живлення є такі переваги як захист від підвищених струмів, коротких замикань, хороший вбудований фільтр, а також він має підстроювальний резистор, для регулювання вихідної напруги. Виходячи з написаного вище, був обраний імпульсний блок живлення фірми Mean Well моделі RS-75-15, показаний на рис.2.2.



Рисунок 2.2 - Імпульсний блок живлення Mean Well RS-75-15

Вихідна напруга даного блоку живлення 15 В, так само в даному блоці живлення є можливість регулювання вихідної напруги за допомогою вбудованого підстроювального резистора від 13,5 до 16,5 В. Номінальний вихідний струм цього блоку живлення 5 А з запасом до 6 А.

2.2.2 Вибір мікроконтролера

Мікроконтролер (Micro Controller Unit, MCU) - мікросхема, призначена для управління електронними пристроями. Типовий мікроконтролер поєднує в одному кристалі функції процесора і периферійних пристроїв, містить ОЗУ і (або) ПЗУ. По суті це однокристальний комп'ютер, здатний виконувати відносно прості завдання. Відрізняється від мікропроцесора інтегрованими в мікросхему пристроями вводу-виводу, таймерами та іншими периферійними пристроями. [4]

При виборі мікроконтролера насамперед потрібно визначити:

- які сигнали МК повинен обробляти і як швидко;
- яким чином МК керуватиме схемою управління струмом заряду;
- можливість підключення різних варіантів дисплея та енкодера.

Отже, спираючись на функціональну схему, видно, що пристрій буде мати два датчики, датчик струму та напруги. Вважаю, що дані датчики будуть аналоговими: по-перше, для більшої простоти пристрою, по-друге, тому що всі датчики розташовані на одній платі, а значить дуже близько до МК, і проблем із втратою точності показань датчиків не буде. Приходимо до висновку, що МК повинен мати мінімум два аналогові входи.

Далі потрібно вирішити, яким чином контролер керуватиме схемою, що регулює струм заряду. Даною схемою обраний мікроконтролер керуватиме засобами широтно-імпульсної модуляції сигналу (ШІМ, англ. pulse-width modulation (PWM)). ШІМ, це процес управління потужністю, що підводиться до навантаження шляхом зміни шпаруватості імпульсів, при постійній частоті. Отже, друга вимога – це наявність хоча б одного виводу, який підтримує ШІМ.

Що стосується швидкодії мікроконтролера, то цей пристрій не передбачає управління швидкоплинними процесами. Знімати показання з датчиків струму та напруги не потрібно частіше ніж один раз на секунду. Навіть при частому знятті показань та активному регулюванні шпаруватості ШІМ сигналу, часу буде достатньо і для роботи з дисплеєм і для управління МК енкодером. Так що навіть «найповільніші» сучасні мікроконтролери можуть працювати в реальному масштабі часу, стосовно даного приладу. Інша характеристика – це дискретність АЦП у мікроконтролері. Для вимірювання напруги струму достатньо використовувати 8-розрядний АЦП, який при вимірюванні напруги від 0 до 5 забезпечує точність аналогово-цифрового перетворення.

У результаті вимоги до мікроконтролера такі:

- мікроконтролер повинен мати мінімум два аналогові входи;
- наявність хоча б одного виводу, що підтримує ШІМ;
- швидкодія не важливо;

- вбудований АЦП з дискретністю 8 біт;
- мінімум три дискретні входи;
- виводів мікроконтролера повинно вистачити на підключення будь-якого дисплея з огляду на вже зайняті вище виводи.

Маючи ці вимоги, обрано мікроконтролер сімейства AVR: Atmega 8 у корпусі DIP28 (рис. 2.3).

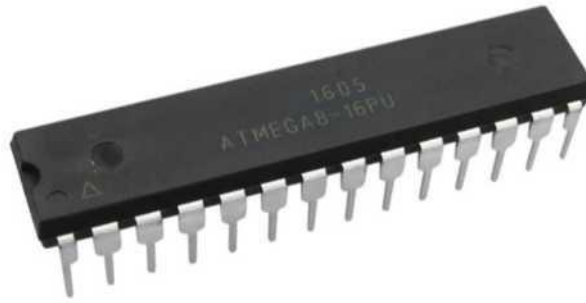


Рисунок 2.3 - Зовнішній вигляд МК Atmega 8 у корпусі DIP28

Технічні характеристики даного мікроконтролера:

- програмна пам'ять дорівнює 8 кБ, цикл становить 10 000 разів;
- обсяг флеш пам'яті 512 байт, який зберігає змінні (цикл перезапису 100 000);
- оперативна пам'ять (ОЗП) 1 Кбайт;
- 32 регістри загального призначення;
- два 8-ми розрядні таймери/лічильники з роздільним прескалером, режим порівняння, режим захоплення;
- таймер реального часу із незалежним генератором;
- три канали ШІМ;
- шість каналів АЦП, канал 10-ти розрядний;
- послідовний інтерфейс двопровідний;
- програмований послідовний USART;
- послідовний інтерфейс SPI (провідний/відомий);
- сторожовий таймер із незалежним генератором;
- аналоговий компаратор;
- внутрішній RC генератор;

- режими зі зниженим енергоспоживанням: Idle, Power-save, Powerdown, Standby, ADC Noise Reduction;
- напруга від 4.5 до 5.5 В;
- тактова частота від 0-16 МГц.

Функціональна схема внутрішнього пристрою показана на рис. 2.4, а розташування виводів даного мікроконтролера зображено на рис. 2.5.

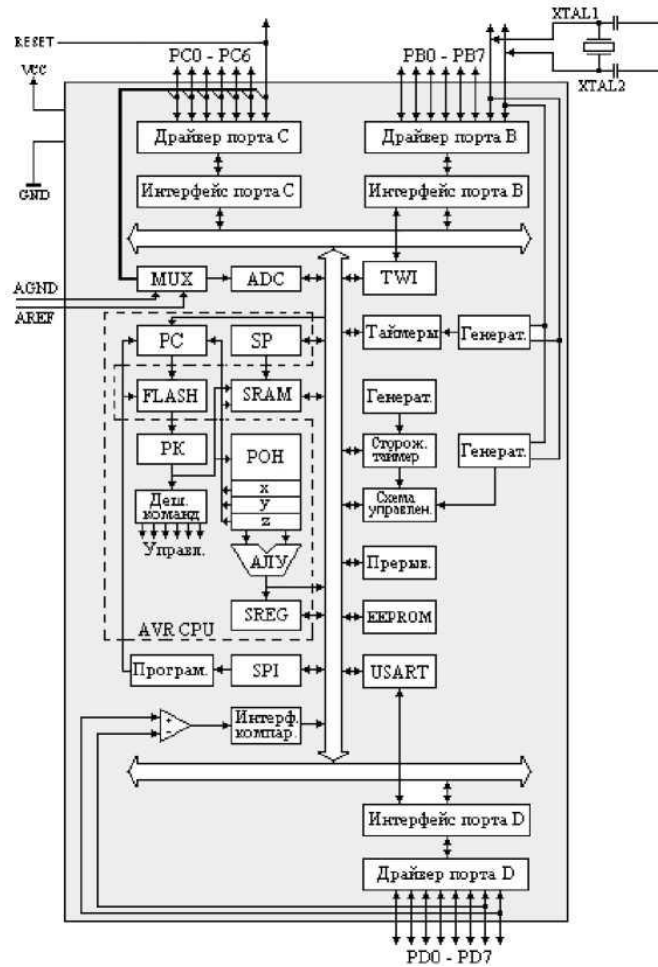


Рисунок 2.4 – Функціональна схема внутрішнього пристрою Atmega 8



Рисунок 2.5 - Розміщення виводів мікроконтролера Atmega 8

2.2.3 Вибір енкодера

Виходячи з поставлених вимог вище до контролера, для управління програмою, потрібно буде підключити один енкодер з тактовим натисканням. Щоб вибрати відповідний енкодер, треба зрозуміти логіку його роботи, для цього варто заглянути в його технічну документацію і подивитися схему пристрою. Це дозволить визначити, скільки потрібно висновків МК для підключення енкодера. Найпростіший і найбільш підходящий для даного пристрою - енкодер для впайки в плату, наприклад Bourns PEC11, оскільки всі пристрої в даному корпусі (рис. 2.6) у різних виробників аналогічні за логікою роботи, розмірами та характеристиками, то можна брати будь-який енкодер з тактовим натисканням і п'ятьма виодами.

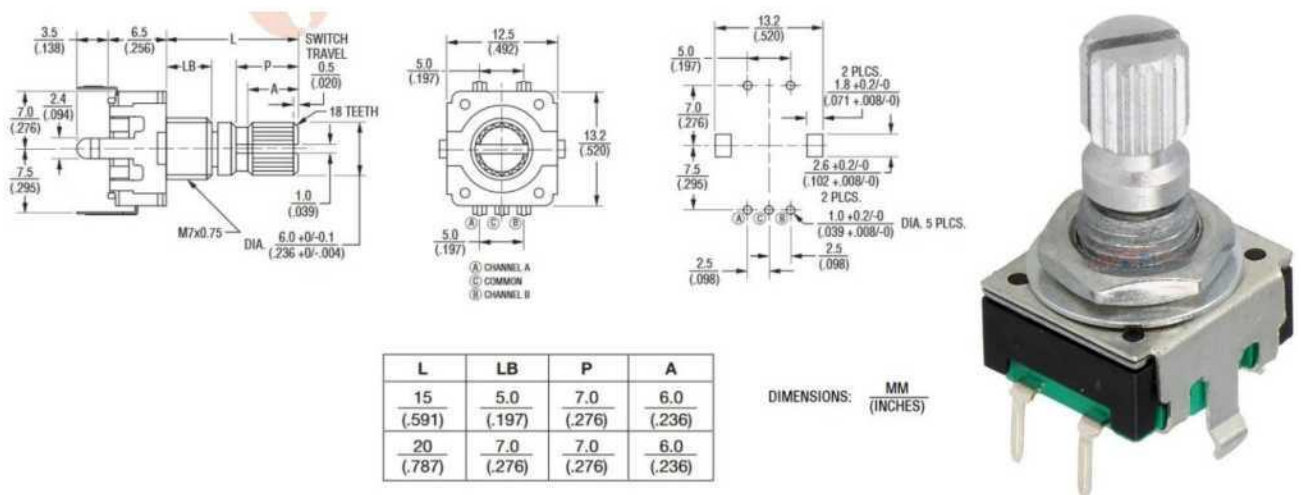


Рисунок 2.6 - Енкодер Bourns PEC11

Нижче, на рис. 2.7, наведена схема підключення цього енкодера до мікроконтролера, а також приблизна принципова електрична схема його внутрішньої будови:

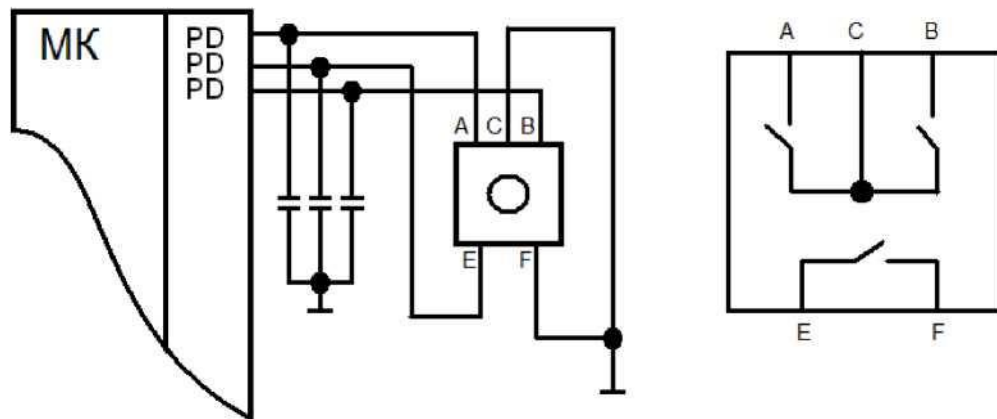


Рисунок 2.7 - Схема підключення енкодера до мікроконтролера

Вище видно, що для підключення потрібно всього три цифрові входи: для ніг A і B – контактів, що передають кут повороту, та E – тактового натискання.

2.2.4 Вибір дисплея

Як сказано вище, обрано мікроконтролер сімейства AVR: Atmega 8 у корпусі DIP28A. Вибір дисплея впав на найбільш часто використовуваний із цим МК дворядковий, шістнадцяти символний дисплей W1602A (рис. 2.8), для підключення якого використовується 7 дискретних виходів контролера.



Рисунок 2.8 - Зовнішній вигляд дисплея W1602A

На закінчення робимо висновок, що вибраний мікроконтролер цілком задовольняє вимоги, маючи 13 дискретних ввідів/виводів, три з яких мають

можливість використання їх як ШІМ генераторів. Шість каналів аналогового входу із дискретністю АЦП до 10 розрядів. Цього цілком вистачає ще й для підключення, обраного надалі дисплея. Для його підключення по 4-бітній шині використовується 7 дискретних виходів мікроконтролера, так що ще 6 залишаються вільними, один з яких буде використаний як ШІМ генератор, а три для підключення енкодера.

2.3 Розробка принципової схеми

2.3.1 Вибір операційного підсилювача

Наступний етап даної роботи – це розробка принципової схеми. На даному етапі обрано блок живлення з вихідною напругою 15 В, мікроконтролер моделі Atmega 8, а також деяку обв'язку для введення-виведення інформації. Для управління мікроконтроллером струмом заряду акумулятора, а також вимірювання напруги та поточного струму на АКБ, вирішено використовувати операційний підсилювач.

Операційний підсилювач (ОП; англ. operational amplifier, OpAmp) - підсилювач постійного струму з диференціальним входом і, як правило, єдиним виходом, що має високий коефіцієнт посилення. Вихід операційного підсилювача прагне до того, щоб різниця на його входах дорівнювала нулю.

Для подальшого використання вирішено вибрати досить поширений операційний підсилювач LM358, зовнішній вигляд та схема включення якого представлена на рис. 2.9.

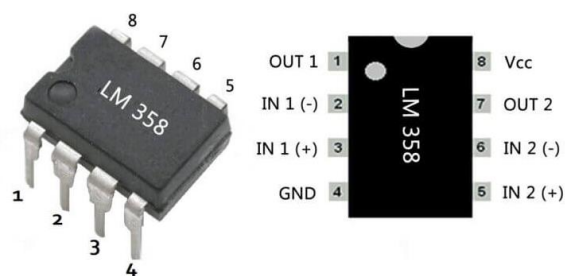


Рисунок 2.9 - Операційний підсилювач LM 358

Як видно, це два малопотужні операційні підсилювачі з високим коефіцієнтом підсилення та частотною компенсацією в одному корпусі DIP8, його технічні характеристики наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики ОП LM358

Параметр	Значення
Однополярне живлення	від 3 до 32 В
Двополярне живлення	$\pm 1,5$ до ± 16 В
Струм споживання	0,7 мА
Синфазна вхідна напруга	3 мВ
Диференціальна вхідна напруга	32 В
Синфазний вхідний струм	20 нА
Диференціальний вхідний струм	2 нА
Диференціальний коефіцієнт посилення за напругою	100 дБ
Розмах вихідної напруги	від 0 Вт до VCC - 1,5 В
Коефіцієнт гармонійних спотворень	0,02%
Максимальна швидкість наростання вихідного сигналу	0,6 В/мкс
Частота одиничного посилення (з температурною компенсацією)	1,0 МГц
Максимальна потужність, що розсіюється	830 мВт
Діапазон робочих температур	0...70 °С

На основі цього операційного підсилювача буде створено схему, що дозволяє мікроконтролеру управляти струмом заряду завдяки широтно-імпульсній модуляції. Також на основі ОП потрібно синтезувати схеми вимірювальних перетворювачів. Вимірювальний перетворювач - це технічний засіб, що служить для перетворення вимірюваної величини в іншу величину або вимірювальний сигнал, зручний для обробки, зберігання, подальших перетворень, індикації та передачі, але не сприймається оператором.

У цій роботі вимірювальні перетворювачі потрібні для того, щоб за допомогою АЦП мікроконтролера можна було вимірювати напругу на акумуляторі і струм в колі заряду.

Вникаючи у докладні технічні характеристики обраного операційного підсилювача, можна дізнатися, що він не має корисної в даному випадку особливості під назвою rail-to-rail. Простіше кажучи, в такому ОП без двополярного живлення, напруга на виході не може дорівнювати нулю, а значить, для живлення даного ОП потрібна і додатна і від'ємна напруга. Тоді спочатку потрібно синтезувати схему для двополярного живлення LM358. Також, для мікроконтролера та дисплея потрібна напруга +5 В, їх потрібно перетворити з +15 В.

2.3.2 Живлення операційних підсилювачів LM358

Для повноцінного живлення операційного підсилювача не вистачає «від'ємної» напруги від 1,5 до 16 В. Потрібну напругу отримуємо за допомогою двох конденсаторів та двох діодів, з'єднаних послідовно, а також генератора сигналу з амплітудою 5 В. Схема даного джерела від'ємної напруги наведена на рис. 2.10 [4].

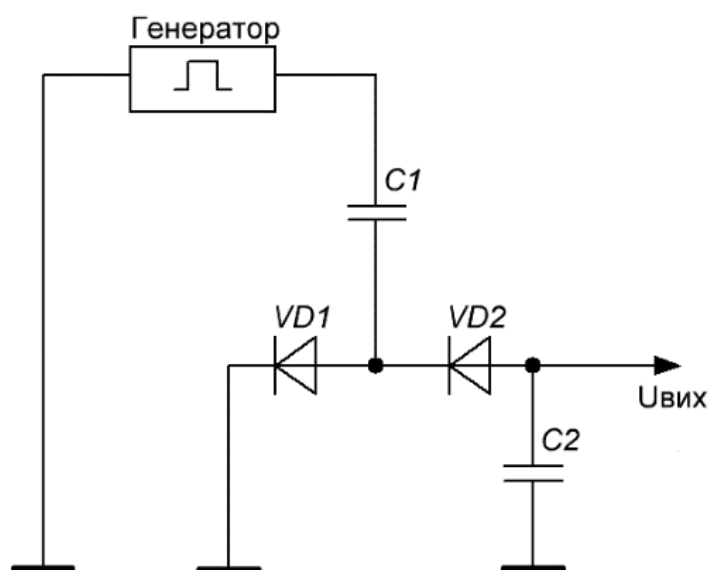


Рисунок 2.10 - Схема генератора від'ємного потенціалу

Генератор сигналу можемо сміливо взяти з вільного виходу мікроконтролера, що підтримує ШІМ, оскільки за підрахунками в МК залишаються вільні цифрові висновки, що не використовуються, за допомогою широтно-імпульсної модуляції. Єдина вимога, потрібно буде програмно постійно генерувати сигнал на одному з виходів.

Далі виберемо номінали конденсаторів цієї схеми. Для цього потрібно визначитися з частотою генератора та входною напругою. Мікроконтроллер Atmega 8 може генерувати ШІМ сигнал із частотою до 1 кГц при частоті 8 мГц і з напругою живлення, в даному випадку це 5 В. Задамо середню частоту генерації сигналу 50 кГц. В Atmega 8 найближче значення частоти, виходячи з його технічних характеристик (рис. 2.11), це 64 кГц.

CS	CS	CS	Description
0	0	0	No clock source (Timer/Counter stopped).
0	0	1	clkT2S/(No prescaling)
0	1	0	clkT2S/8 (From prescaler)
0	1	1	clkT2S/32 (From prescaler)
1	0	0	clkT2S/64 (From prescaler)
1	0	1	clkT2S/128 (From prescaler)
1	1	0	clkT2s/256 (From prescaler)
1	1	1	clkT2S/1024 (From prescaler)

Рисунок 2.11 - Частоти генерації ШІМ сигналу в МК Atmega 8

Взагалі у цій схемі не важливі параметри конденсаторів, тому що від їх ємності залежить лише час, через який дана схема видаватиме від'ємну напругу. Для простоти вибираємо конденсатори ємністю 0,1 мкФ. Їх цілком вистачить у тому, щоб генерувати від'ємний потенціал.

Оскільки на звичайних діодах напруга падає на 0,7, а на двох діодах вона в сумі впаде майже на 1,5, то доцільніше використовувати діоди Шоткі, оскільки падіння напруги на них становить 0,2 В, а також вони будуть грати роль захисту виходу мікроконтролера.

В даному проекті використовуємо вже готове збирання діодів Шоткі - BAT54S, виконане в корпусі для поверхневого монтажу SOT-23. Також для мінімізації паразитних коливань на вхід даної схеми поставили резистор з опором в 100 Ом. У підсумковому варіанті схема генерації від'ємного потенціалу для операційних підсилювачів у разі виглядає наступним чином (рис. 2.12).

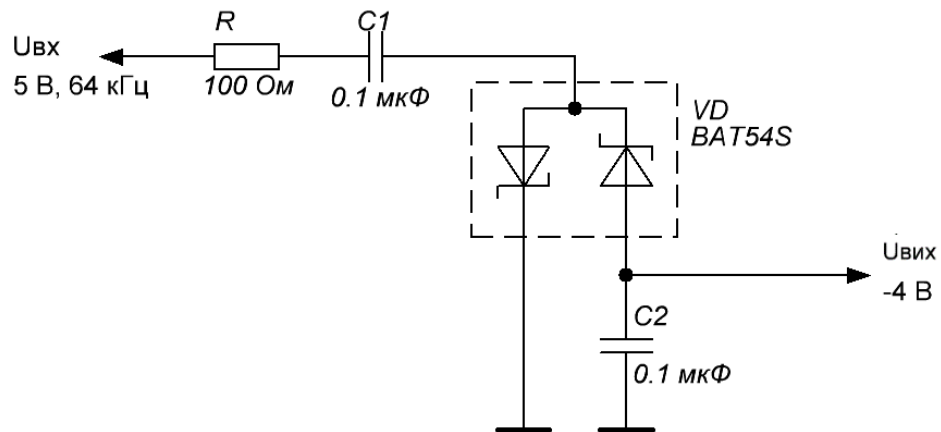


Рисунок 2.12 - Схема генерації «від'ємної» напруги

2.3.3 Живлення мікроконтролера та обв'язки

Для живлення мікроконтролера та дисплея у схемі потрібно мати джерело напруги +5 В, таку напругу отримуємо, застосувавши лінійний регулятор напруги, та підключивши його до вхідної напруги від блоку живлення. В даному випадку логічно застосувати стабілізатор напруги LM7805, його технічні параметри наведені у таблиці 2.2 [4].

Як видно з таблиці 2.2, напруга стабілізації схеми дорівнює 5 В при вхідній напрузі від 7 до 25 В, що відмінно підходить при наявній вхідній напрузі рівній 15 В. Для захисту напруги 5 В від стрибків і перешкод потрібно встановити конденсатори на 10 і 0,1 мкФ. Основний захист від перешкод із мережі вже вбудований у блок живлення, тому цих конденсаторів буде достатньо. На рис.2.13 показана підсумкова схема перетворення з +15 В +5 В.

Таблиця 2.2 – Технічні параметри стабілізатора напруги LM7805

Параметр	Значення
Робоча температура	0°C ~ 125°C
Струм вихідний	1 А
Число регуляторів	1
Напруга - падіння (Тур.)	2 при струмі 1 А
Напруга вхідна	від 7 до 25 В
Напруга вихідна	5 В
Топологія регулятора	Positive Fixed
Lead Free Status / RoHS Status	Lead free / RoHS Compliant

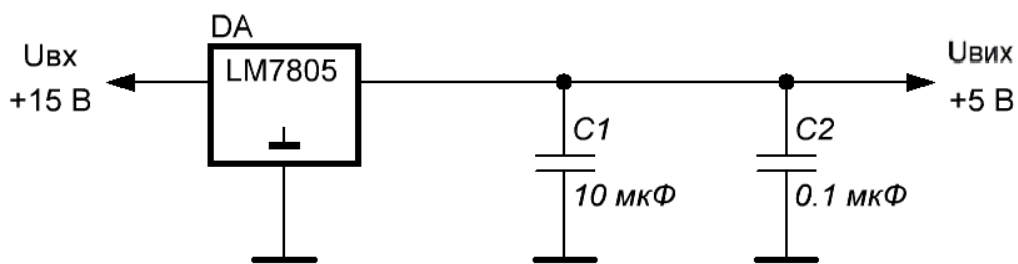


Рисунок 2.135 - Схема перетворення +15 В +5 В

2.3.4 Схема керування струмом заряду

Як і вирішено вище, схему управління струмом заряду ґрунтуватиметься на ОУ LM358. Для цього використовуємо схему звичайного лінійного джерела струму (рис. 2.14).

Стабілізація струму проводиться за рахунок основної властивості ОП - прагнення зрівняти різницю потенціалів у своїх входах за рахунок підвищення чи зниження напруги на виході.

У цій схемі операційний підсилювач буде вирівнювати напругу від джерела опорної напруги та падіння напруги на шунті. Операційний підсилювач, змінюючи напругу на виході, підключеному до затвора транзистора, змінює значення струму, що протікає через транзистор (і

відповідно через шунт). А від значення струму, який протікає через шунт, залежить падіння напруги на шунті, яке в свою чергу і прагне вирівняти ОП порівнюючи його з напругою від джерела опорної напруги. Регулювання струму через навантаження припиниться тоді, коли падіння напруги на шунті дорівнюватиме напрузі від джерела опорної напруги.

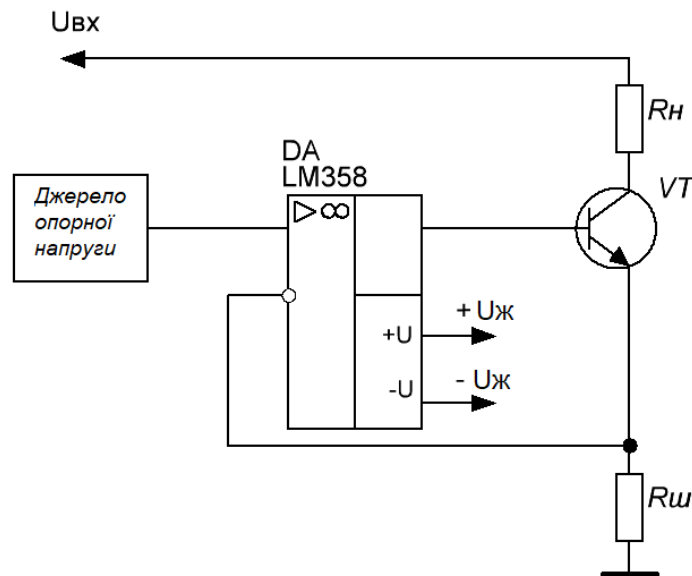


Рисунок 2.14 - Лінійне джерело струму

Для цієї схеми потрібен польовий NPN транзистор, вибираємо IRF540N, оскільки він за своїми параметрами відмінно підходить для обмеження струму 5 А, а управління затвором цього транзистора не складно буде здійснити за допомогою обраного вище операційного підсилювача LM358.

Для використання цієї схеми у роботі необхідно її модернізувати, насамперед слід визначитися з номіналом шунтуючого резистора, оскільки струм буде змінюватися від 0 до 5 А, доцільно використовувати резистор номіналом 0,1 Ом. Тоді за законом Ома:

$$U = I \cdot R = 5 \text{ А} \cdot 0,1 \text{ Ом} = 0,5 \text{ В.} \quad (2.1)$$

Це означає, що при струмі 5 А, падіння напруги на шунті буде 0,5 В. Далі в схему слід додати резистори і деякі стабілізуючі елементи (рис. 2.15).

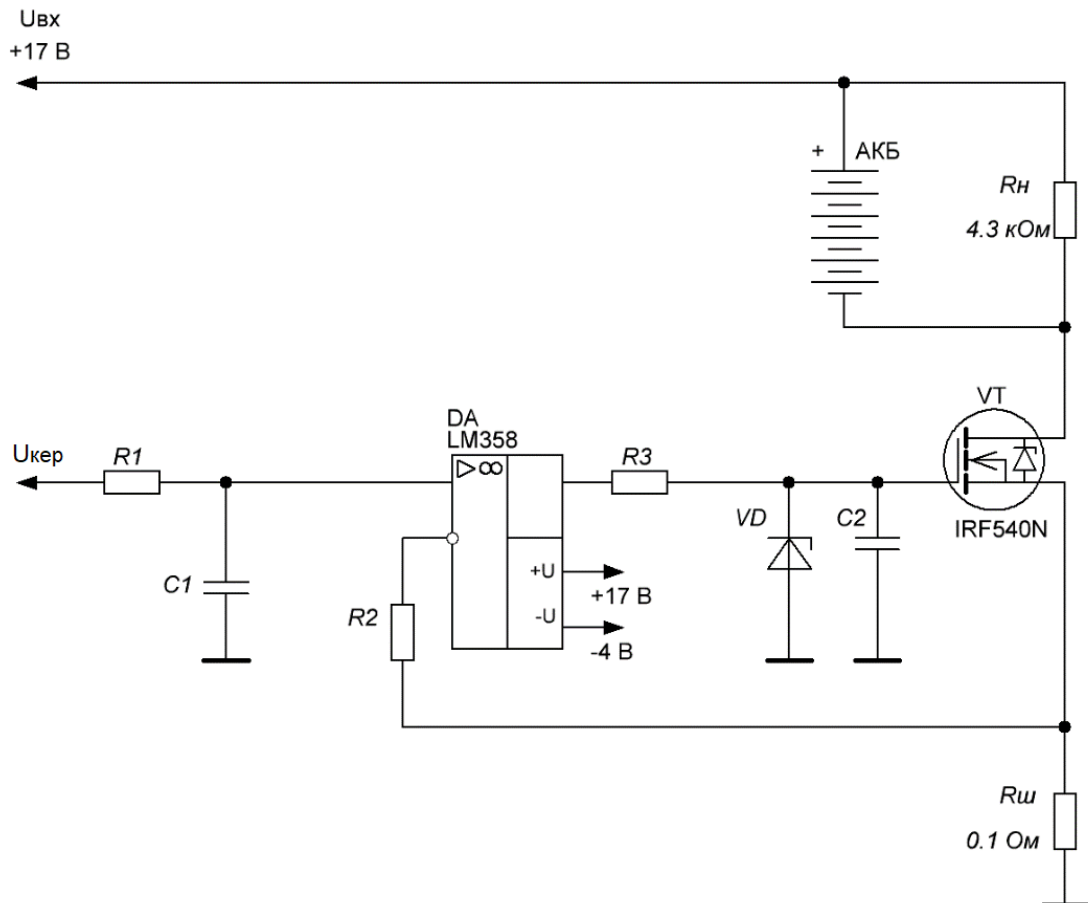


Рисунок 2.15 - Лінійне джерело струму для заряду АКБ

Резистор R служить як резистор навантаження. Він потрібний для того, щоб при відключенні акумулятора від клем коло не було розірване. Елементи R_1 , C_1 , R_2 – застосовуються для стабілізації схеми. Номінали резисторів вибираємо однакові: 20 кОм , а конденсатора 10 мкФ . Елементи R_3 і C_2 , а також стабілітрон VD введені в схему для стабілізації шкідливої властивості операційного підсилювача самозбуджуватися при роботі з ємнісним навантаженням. У даному випадку її роль виконує затвор польового транзистора. Номінал резистора дорівнює 1 кОм , конденсатора 10 мкФ , цього буде достатньо при частоті ШІМ 64 кГц і амплітуді 5 В . Для захисту від стрибків напруги використаний стабілітрон на 15 В - $IN4744$.

Керуюча напруга буде змінюватися мікроконтролером, для цього буде використаний інтегруюча ланка з резистора та конденсатора. Також слід передбачити можливість налаштування вихідної випрямленої напруги для того, щоб мати можливість вручну підлаштовувати керуючу напругу. Для цього далі

введено наступне електричне коло, представлене на рис. 2.16.

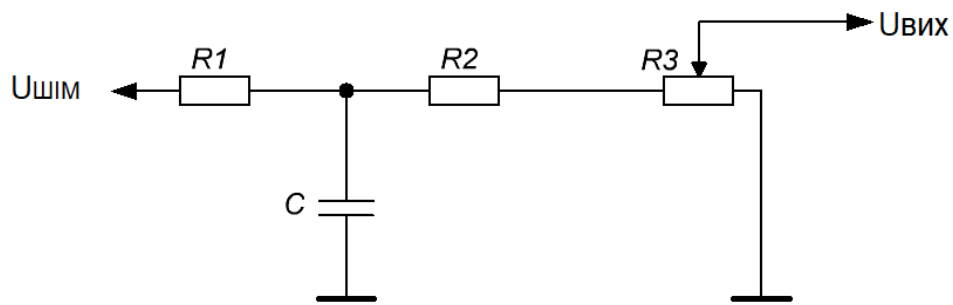


Рисунок 2.16 - Схема регулювання напруги для ШІМ

Номінали інтегруючого кола досить буде задати 300 Ом і 10 мкФ, тобто R_1 тут дорівнює 300 Ом, а $C = 10$ мкф. Далі йде подільник напруги, що служить для точного налаштування вихідної напруги, його слід розрахувати так, щоб на виході даного кола напруга була 0,5 В, при вхідній напрузі 5 В. Виходячи з формули розрахунку і тимчасово приймаючи, що замість потенціометра для розрахунку використовується постійний резистор, розраховуємо за формулою (2.2).

$$U_{вих} = \frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot U_{вх}. \quad (2.2)$$

Прийmemo резистор R_2 рівним 15 кОм тоді:

$$0,5В = \frac{R_3}{12кОм + R_3} \cdot 5В. \quad (2.3)$$

Звідси $R_3 = 1,333$ кОм, але оскільки у схемі вище використовується будівельний резистор, можна прийняти R_2 рівним 10 кОм, а $R_3 = 5$ кОм. Зрештою, схема регулювання струму для заряду АКБ має такий вигляд (рис. 2.17).

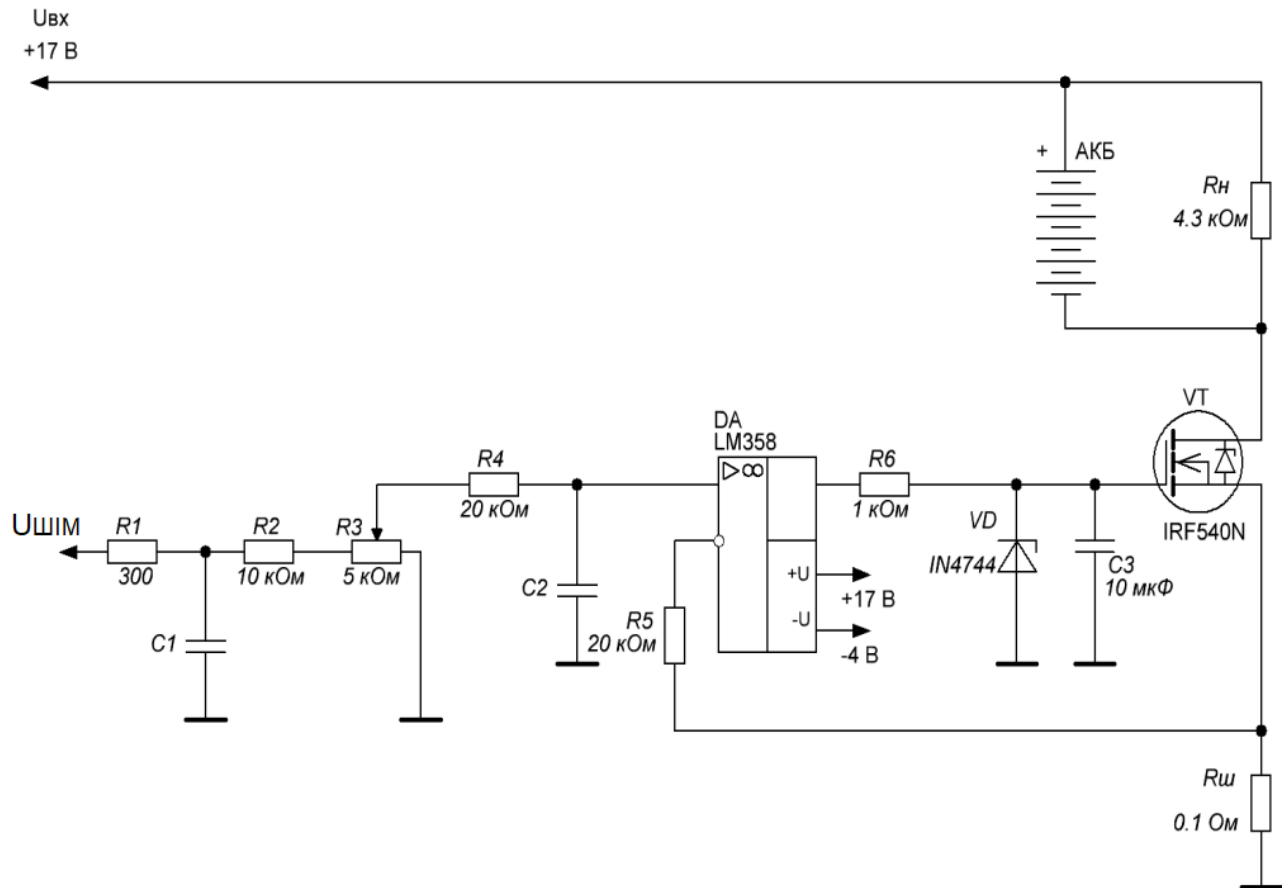


Рисунок 2.17 - Схема керування струмом заряду АКБ з керуванням ШІМ

Ця схема підтримує заданий струм заряду самостійно, опираючись на падіння напруги на шунті, а опорна напруга, тобто величина підтримуваного струму заряду, задається мікроконтролером за рахунок зміни шпаруватості ШІМ сигналу.

2.3.5 Вимірювальний перетворювач струм-напруга

Як вже відомо, на даному етапі, номінальна величина струму, яка повинна бути виміряна, знаходиться в межах 5 А. Також відомо, що в схемі застосований AVR мікроконтролер Atmega 8, виходячи з технічних характеристик якого видно, що в ньому вбудований 10 бітний АЦП, опорною напругою якого є або напруга живлення 5 В, або вбудована опорна напруга 2,56 В. Для більшої простоти вирішено, що опорною напругою вбудованого АЦП буде 5 В.

У результаті, ми маємо наступні вихідні дані для побудови датчика струму, величина струму, що вимірюється 0-5 А і величина вихідної напруги датчика 0-5 В.

Датчик струму побудований на операційному підсилювачі LM358, його характеристики наведено у таблиці 2.2. .

Величина струму вимірюється за падінням напруги на тому ж шунті опором 0,1 Ом, на якому базується схема регулювання струму заряду. Найчастіше в таких схемах як шунт застосовується плівковий резистор, з опором 0,1 Ом.

Падіння напруги на шунті U вимірюється за допомогою закону Ома, розраховуючи його при силі струму 5 А і шунті 0,1 Ом.

$$U = I \cdot R = 5 \text{ А} \cdot 0,1 \text{ Ом} = 0,5 \text{ В.} \quad (2.4)$$

Це означає, що при струмі 5 А, падіння напруги на шунті буде 0,5 В. Величина недостатня, для вимірювання її за допомогою АЦП мікроконтролера, а значить потрібно її підсилити, для цього і буде застосований операційний підсилювач.

Для даного варіанту використовуємо схему неінвертуючого підсилювача (рис. 2.18), що має нескінченно великий вхідний і нескінченно малий вихідний опір, що є перевагою.

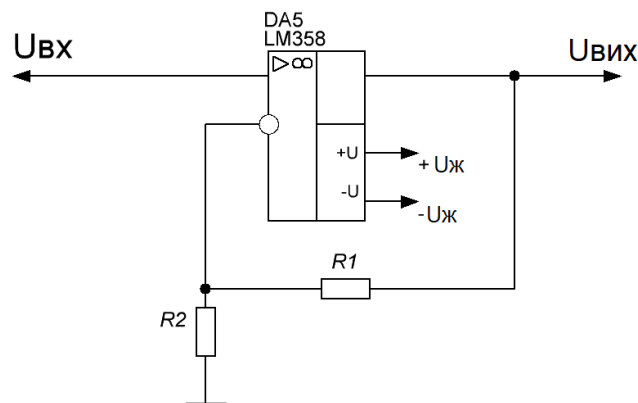


Рисунок 2.18 - Схема неінвертованого перетворювача на LM358

Коефіцієнт перетворення операційного підсилювача розраховується за

такою формулою (2.5).

$$K_v = 1 + \left(\frac{R_1}{R_2} \right). \quad (2.5)$$

Цей коефіцієнт потрібно зробити рівним 10, щоб вимірюване падіння напруги на шунті в 0,5 В відповідало напрузі на виході підсилювача в 5 В. Саме таке співвідношення потрібно для того, щоб при максимальній зміні струму (від 0 до 5 А) АЦП перетворював в максимальних своїх межах. За рахунок цього узгодження рівнів напруги досягаємо максимальної точності при аналогово-цифровому перетворенні.

Для цього коефіцієнта підсилення вибираємо резистор R_1 номіналом 20 кОм, відповідно резистор R_2 має бути номіналом 2,2 кОм. Отримуємо схему підсилювача для датчика струму, з вхідною напругою від 0 до 0,5 і вихідним від 0 до 5 В.

Далі слід адаптувати цю схему для даної роботи, застосувавши захист від стрибків напруги, прив'язку виходу до землі та передбачити можливість підстроювання.

На виході схеми щодо землі ставиться стабілізатор напруги, розрахований на 5 В, щоб захистити вхід мікроконтролера від підвищеної напруги, був обраний стабілізатор IN4734A. На вході використовується резистор для захисту струму, номіналом в 1 кОм, а на вході і виході щодо землі ставляться конденсатори, що згладжують, номіналом 0,1 мкФ.

Так само, щоб АЦП МК не зчитував шуми, коли на вході схеми нічого немає, вихід слід прив'язати до землі подільником напруги з плечами 300 Ом і 10 кОм, а замість резистора R_2 на 2,2 кОм вибираємо підстроювальний резистор номіналом в 5 кОм. Підсумкова схема перетворювача показана на рис. 2.19.

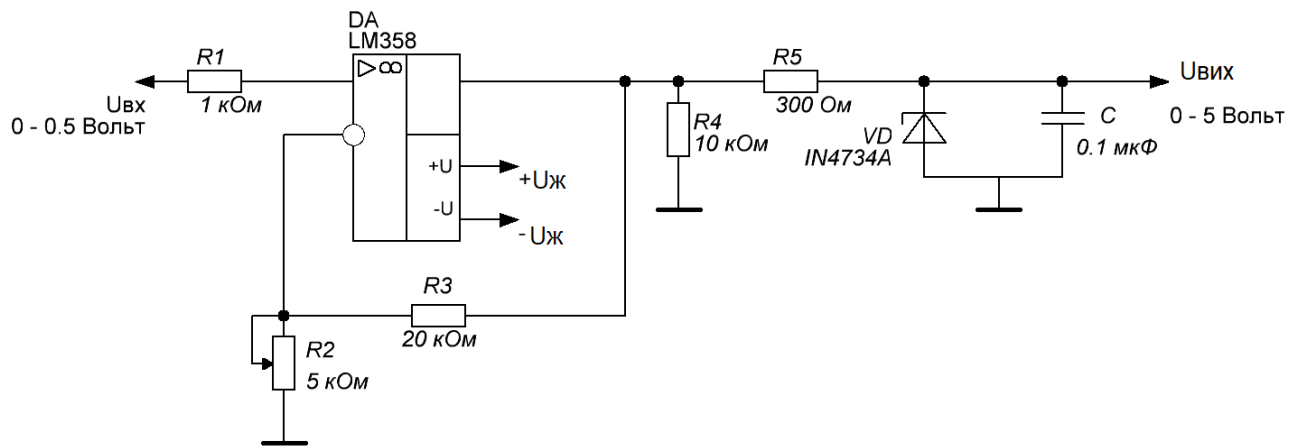


Рисунок 2.19 - Схема неінвертованого перетворювача

2.3.6 Вимірювальний перетворювач струму на ОП LM358

У нашому випадку вимірювальний перетворювач класифікується як масштабуючий, тобто призначений для зміни розміру величини або вимірювального сигналу задане число разів.

Отже потрібно знімати покази напруги в межах від 0 до 15 В. Знімаються вони тим самим мікроконтролером Atmega 8, а значить, на виході датчика потрібно отримати напругу від 0 до 5 В. Так як знімати напругу потрібно не відносно нульової точки, а між джерелом напруги і силовим транзистором, то в даному випадку доцільно використовувати схему на основі диференціального підсилювача, схема якого наведена на рис. 2.20.

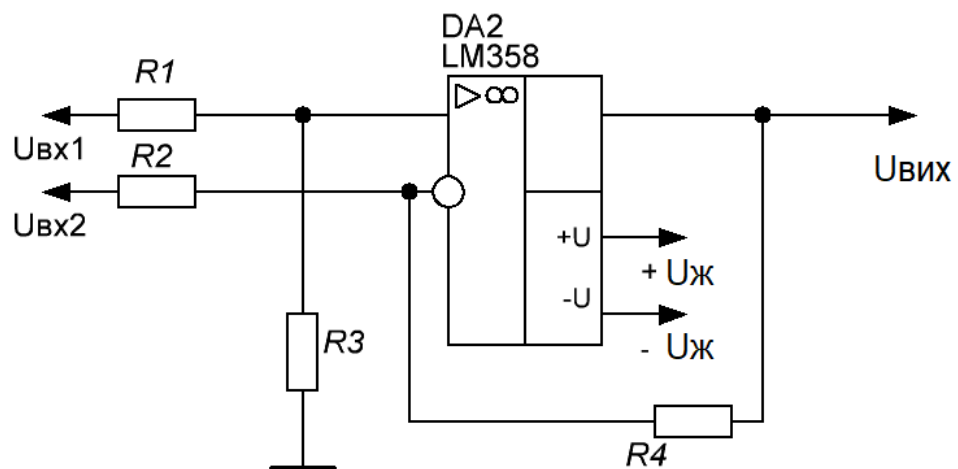


Рисунок 2.20 - Схема диференціального підсилювача на LM358

Ця схема базується на підвищенні різниці напруги на входах. Внаслідок властивостей ідеального операційного підсилювача (він має високий коефіцієнт посилення по напрузі) різниця потенціалів між його входами дорівнює нулю.

На рис. 2.21 дана схема включена в кола з транзистором, що регулює струм заряду АКБ, в цілому являє собою готовий датчик.

Схема перетворює різницю напруг у точках «1» - між живленням та навантажувальним резистором, та «2» - між навантажувальним резистором та опорами транзистора та шунта. Порівнюючи різницю напруги на цих точках, схема перетворює різницю цієї напруги по коефіцієнту, заданому резисторами R_1 , R_2 , R_3 і R_4 .

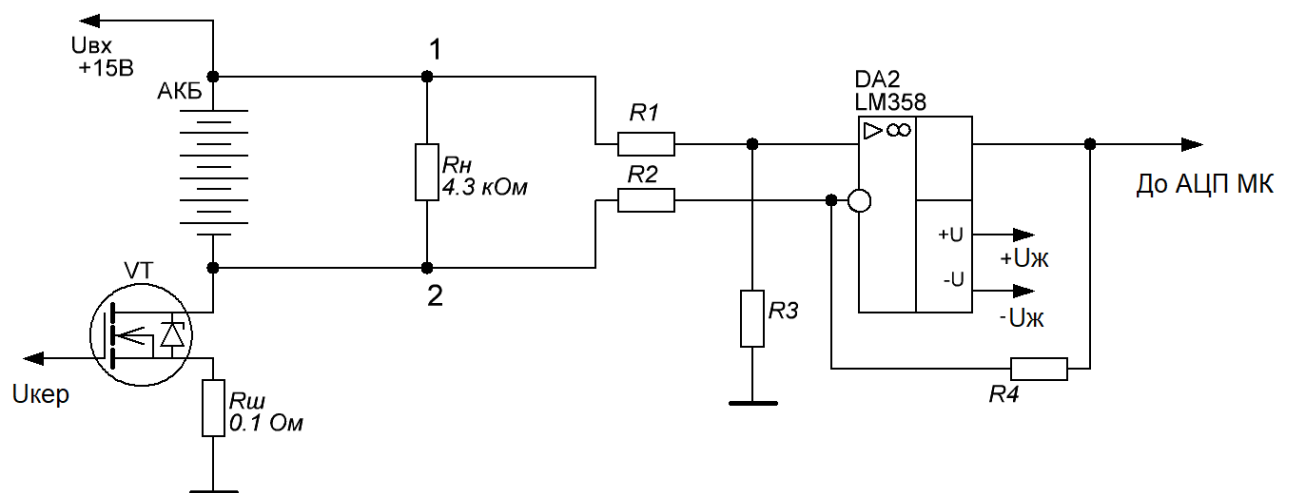


Рисунок 2.21 - Схема перетворювача напруги на LM358

Для даного перетворювача значення двох резисторів R_1 і R_2 повинні дорівнювати, як і значення резисторів R_3 і R_4 . Для їх розрахунку за її рівності використовується формула (2.6).

$$U_{\text{вих}} = U_1 - U_2 \cdot \frac{R_3}{R_1}. \quad (2.6)$$

Вважаючи, що різниця потенціалів U_1 і U_2 буде 15, при цьому на виході ОП має бути 5, розраховано значення резистора $R_3 = 1$ кОм, а $R_1 = 3$ кОм. Як і у випадку з вимірювальним перетворювачем струму в напругу, слід передбачити

можливість підстроювання схеми, захист від перешкод та перевантажень. Для цього аналогічно поставлено стабілізатор на 5 В - IN4734A, підключений відносно землі, так само паралельно стабілізатору конденсатор на 0,1 мкФ, а для точного підстроювання коефіцієнта перетворення резистор R_3 потрібно зробити підстроювальним з номіналом 2,2 кОм. Підсумкова схема представлена на рис.2.22.

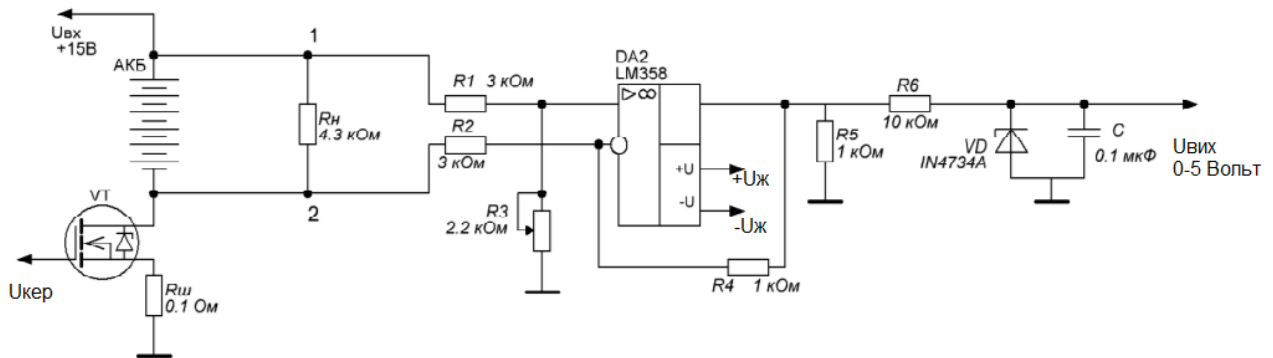


Рисунок 2.22 - Підсумкова схема перетворювача напруги на LM358

2.3.7 Реалізація захисту

У вимогах до пристроїв заряду є наявність захисту від переполюсування та захисту від замикання контактів, для їх реалізації достатньо буде додати ключ між АКБ та блоком живлення. Ключем потрібно буде керувати за допомогою дискретного виходу мікроконтролера, для цієї мети підходить електромагнітне реле, яке бажано живити від напруги 15 В, що воно видавало менше перешкод в коло живлення мікроконтролера. Для цього послідовно з керуючими контактами реле слід встановити резистор опором 200 Ом, але тоді керувати реле потрібно буде через транзисторний ключ. Для цього використано NPN транзистор MJE13005 та резистор в 1 кОм, оскільки напруга насичення даного транзистора близько 0,5 В. Відомо, що при вимкненні реле, в котушці виникає ЕРС самоіндукції досить великих розмірів і для запобігання цьому ефекту та захисту ключового транзистора слід поставити діод паралельно обмотці котушки реле. Підсумкова схема примусового відключення

акумуляторної батареї від блока живлення показана на рис. 2.23.

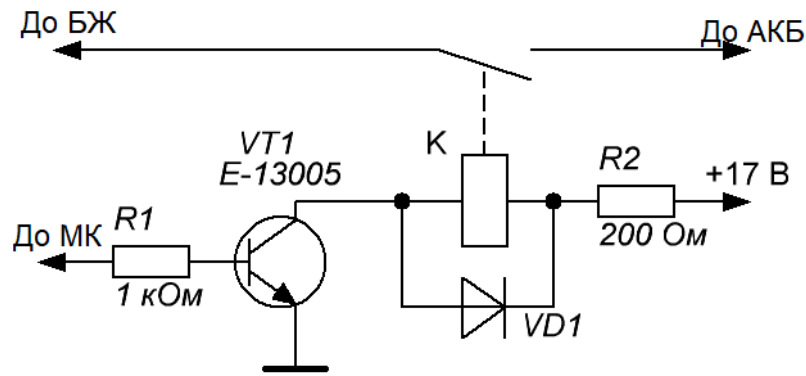


Рисунок 2.23 - Захист від переполюсування та замикання контактів

Працює захист наступним чином – реле роз'єднує блок живлення та схему регулювання струму заряду. Програмно замикати реле слід лише в тому випадку, якщо датчики, підключені до схеми регулювання струму заряду, показують напругу батареї. Це означатиме, що акумулятор підключено до кола і правильно підключено.

2.3.8 Підвищення частоти мікроконтролера

Для підвищення ефективності роботи зарядного пристрою підвищено частоту дискретизації мікроконтролера до 16 МГц, щоб збільшити швидкість оновлення інформації на дисплеї і швидкість відгуку на керуючі впливи. Ця можливість передбачена мікроконтролером Atmega 8, необхідно лише підключити зовнішній генератор за схемою зображеною на рис. 2.24.

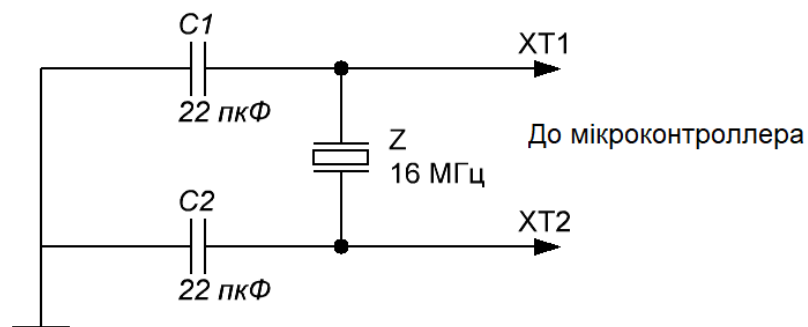


Рисунок 2.24 - Зовнішній генератор частоти мікроконтролера

2.3.9 Розрахунок радіатора регулюючого транзистора

Так як через транзистор протікатимуть досить великі струми, йому потрібно підібрати радіатор. Перше, що необхідно знати, це гранична температура роботи обраного транзистора IRF540N. Як видно з рис. 2.25, гранична температура кристала даного транзистора +175 °C.

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10\text{V}$	33	A
$I_D @ T_C = 100^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10\text{V}$	23	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	110	
$P_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Power Dissipation	130	W
	Linear Derating Factor	0.87	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
I_{AR}	Avalanche Current ①	16	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ①	13	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	7.0	V/ns
T_J	Operating Junction and	-55 to + 175	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf·in (1.1N·m)	

Рисунок 2.25 - Граничні режими роботи транзистора IRF540N

Для підбору радіатора потрібно визначити, скільки Ват тепла виділяється на кристалі транзистора. Максимальний струм визначається за формулою (2.7).

$$P = U \cdot I = 15 \text{ В} \cdot 5 \text{ А} = 75 \text{ Вт.} \quad (2.7)$$

Тепловий опір перехід-корпус даного транзистора, як видно з рис. 2.26, дорівнює 1,15 °C/Вт.

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	1.15	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

Рисунок 2.26 - Параметри теплових опорів транзистора IRF540N

Виходячи з розрахунків вище, враховуючи, що транзистор у максимальному режимі роботи виділяє 75 Вт тепла, а тепловий опір перехід-корпус дорівнює 1,15 °C/Вт, отримуємо, що різниця між переходом та фланцем

корпусу буде рівна:

$$1,15 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт} \cdot 75 \text{ Вт} = 86,25 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (2.8)$$

Оскільки максимальна температура кристалу дорівнює $+175 \text{ } ^\circ\text{C}$, то максимальне нагрівання фланця корпусу транзистора не повинно перевищувати:

$$175 \text{ } ^\circ\text{C} - 86,25 \text{ } ^\circ\text{C} = 88,75 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (2.9)$$

Далі за формулою (2.10) ми розрахуємо потрібний тепловий опір Q .

$$Q = \frac{88,75 \text{ } ^\circ\text{C}}{75 \text{ Вт}} = 1,18 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт} \quad (2.10)$$

Тоді за грубою формулою (2.11) для розрахунку площі тепловідведення S

$$S = \left(\frac{50}{1,18 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт}} \right)^2 = 1795,46 \text{ см}^2 \quad (2.11)$$

У результаті отримуємо, що радіатор для силового транзистора повинен мати мінімальну площу 1800 см^2 , але оскільки бажано не використовувати транзистор у його граничних режимах роботи, потрібно взяти радіатор з площею не менше 2000 см^2 , або використовувати примусове охолодження радіатора.

2.3.10 Додаткове регулювання струму заряду

Схема регулювання струму на транзисторі перетворює велику кількість енергії на теплоту, а значить, має проблеми з ККД і великим тепловиділенням.

У той же час обраний блок живлення є імпульсним і має можливість підстроювання вихідної напруги від 13,5 до 16,5 В. Для цього в ньому є резистивний подільник, одне плече якого є підстроченим резистором, виведеним на зовнішню частину корпусу для ручного підстроювання опору. Вирішено використати цю функцію для додаткового регулювання, щоб знизити тепловиділення на транзисторі до мінімуму.

Щоб мати можливість змінювати опір резистора за допомогою мікроконтролера, вирішив використовувати транзисторний оптрон. Це електронний прилад, що складається з випромінювача світла – світлодіода та фотоприймача польового транзистора. Вибрав поширений оптрон РС123, його електротехнічні характеристики представлені на рис. 2.7.

■ Electro-optical Characteristics				(Ta= 25°C)				
Parameter		Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit	
Input	Forward voltage	V_F	$I_F = 20\text{mA}$	-	1.2	1.4	V	
	Reverse current	I_R	$V_R = 4\text{V}$	-	-	10	μA	
	Terminal capacitance	C_T	$V = 0, f = 1\text{kHz}$	-	30	250	pF	
Output	Collector dark current	I_{CEO}	$V_{CE} = 50\text{V}, I_F = 0$	-	-	100	nA	
	Collector-emitter breakdown voltage	BV_{CEO}	$I_C = 0.1\text{mA}, I_F = 0$	70	-	-	V	
	Emitter-collector breakdown voltage	BV_{ECO}	$I_E = 10\mu\text{A}, I_F = 0$	6	-	-	V	
Transfer characteristics	Collector current	I_C	$I_F = 5\text{mA}, V_{CE} = 5\text{V}$	2.5	-	20	mA	
	Collector-emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_F = 20\text{mA}, I_C = 1\text{mA}$	-	0.1	0.2	V	
	Isolation resistance	R_{ISO}	DC500V, 40 to 60%RH	5×10^{10}	10^{11}	-	Ω	
	Floating capacitance	C_T	$V = 0, f = 1\text{MHz}$	-	0.6	1.0	pF	
	Cut-off frequency	f_c	$V_{CE} = 5\text{V}, I_C = 2\text{mA}$ $R_L = 100\Omega, - 3\text{dB}$	-	80	-	kHz	
	Response time	Rise time	t_r	$V_{CE} = 2\text{V}, I_C = 2\text{mA}$ $R_L = 100\Omega$	-	4	18	μs
		Fall time	t_f		-	3	18	μs

Рисунок 2.27 - Електротехнічні характеристики оптрона РС123

Дослідним шляхом виміряли опір підстроювального резистора в блоці живлення, він виявився рівним 1,2 кОм. Замість нього в блок живлення слід впаяти звичайний резистор з таким самим опором. Паралельно йому повинен розташовуватися фототранзистор оптрона, а з іншого боку, керувати опором транзистора мікроконтролер знову ж таки через ШІМ сигналу. Для цього між ногою МК і оптроном поставили диференційне коло, що складається з конденсатора та резистора. Їхні номінали будуть такі ж, як і на вході кола, що відкриває транзистор. У результаті отримали коло, що керує вихідною

напругою блоку живлення за допомогою мікроконтролера (рис. 2.8).

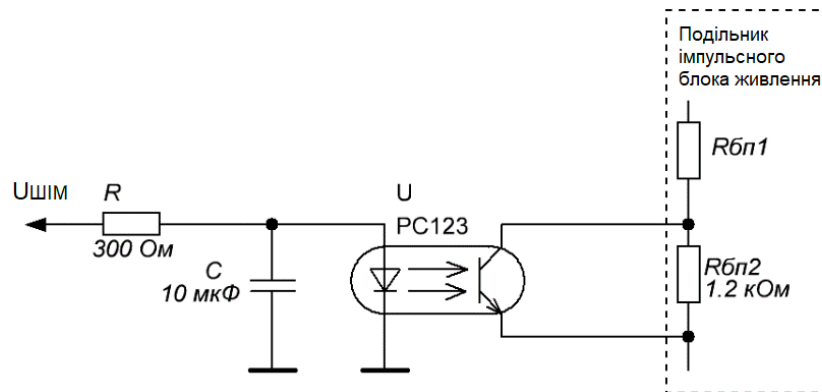


Рисунок 2.28 - Керування вихідною напругою БЖ

Для зчитування напруги на батареї саме для розрахунку регулювання даної схеми, слід ввести в схему відокремлений датчик, в якості нього буде використано дільник напруги. Плечі дільника повинні забезпечувати вихідну напругу приблизно в 0-5, при вхідному 0-15, за формулою (2.12) і R_2 вибрано рівним 5 кОм, звідси випливає, що $R_1 = 10$ кОм.

$$U_{вих} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_{вх} = \frac{5}{R_1 + 5} \cdot 15. \quad (2.12)$$

Так само для захисту входу мікроконтролера від стрибків, застосовуються стабілізатор на 5 В і конденсатор на 0,1 мкФ. У результаті одержано простий перетворювач напруги (рис. 2.29) для зчитування напруги на АКБ.

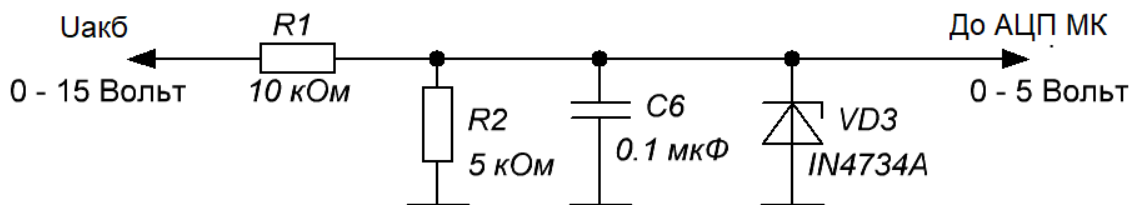


Рисунок 2.29 - Коло для зчитування напруги АКБ

Логіка роботи цих елементів буде наступна: мікроконтролер стежитиме за напругою АКБ і регулюватиме вихідну напругу блоку живлення, максимально

можливо наближаючи його до напруги АКБ. Це дозволить значно розвантажити силовий регулюючий транзистор, знизивши потужність на транзисторі на 5-10 Вт.

Ще одним плюсом даної схеми є можливість виключення цих кіл із схеми без внесення змін до коду програми, це зроблено за рахунок відокремленості цих кіл від інших. Це дозволить зробити плату більш універсальною і застосовувати її з іншими джерелами живлення без можливості внесення в них змін.

Оскільки планується, що кінцева схема у майбутньому має бути втілена у пристрій, перед остаточним синтезом схеми потрібно додати кілька кіл.

У результаті схема має збиратися на друкованій платі. Вирішено схему розділити на дві частини: перша і основна частина, це схема, що управляє, а друга, це панель введення виведення. Для цього потрібно буде передбачити елементи, що з'єднують. Аналогічні елементи слід передбачити і для з'єднання напругою блоку живлення кола з платою. Так само, для з'єднання плати з джерелом живлення та зарядними проводами (проводами, що приєднують АКБ до схеми), потрібно буде передбачити використання клемних колодок.

Враховуючи те, що основною перевагою пристрою буде управління зарядом акумуляторної батареї за допомогою мікроконтролера. Як відомо, програмний код мікроконтролера часто вимагає налагодження. Для зручності налагодження вирішено вивести на плату пристрою роз'єм, що дозволяє прошивати мікроконтролер "на місці". Для прошивки даного МК найлегше використовувати інтерфейс ICP, у цьому випадку потрібно 4 з'єднання - RESET, MOSI, MISO та SCR, підключені відповідно до ніг 1, 17, 18 та 19 мікроконтролера. Для цього слід передбачити елементи, що з'єднують.

Оскільки налагодження мікроконтролера відбуватиметься на платі, так само бажано передбачити на ній кнопку скидання, підключену до входу мікроконтролера РС6. Це дозволить перезапустити програму контролера без вимкнення живлення.

2.4. Висновки до розділу

1. Запропоновано структурну схему зарядного пристрою для свинцево-кислотного акумулятора.

2. Вибрано основний блок живлення та мікроконтролера з елементами вводу-виводу.

3. В результаті аналізу вимог до зарядних пристроїв подібного типу та принципу роботи свинцево-кислотних акумуляторів здійснено вибір основних електричних схем для всіх функціональних елементів. Проведені необхідні розрахунки номінальних значень елементів електричних схем.

3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

3.1 Середовище моделювання

Програмний продукт компанії National Instruments під назвою Multisim, частина програмного пакету, що дозволяє за допомогою персонального комп'ютера моделювати електронні схеми. NI Multisim дозволяє створити схему, використовуючи велику бібліотеку компонентів, та емулювати поведінку інтегральної схеми за допомогою стандартного промислового симулятора SPICE. [5].

Перед наступним етапом необхідно перевірити окремі частини схеми на працездатність. Крім перевірки працездатності це також дозволить краще розуміти те, як мікроконтролер повинен працювати з елементами схеми, що внесе ясність у логіку написання програмного коду.

3.2 Моделювання схеми живлення операційних підсилювачів LM358

Перевірка схем проводиться у порядку [6]. Почнемо з перевірки генератора «від'ємної» напруги для живлення операційних підсилювачів. Для цього збираємо схему у середовищі Multisim (рис. 3.1).

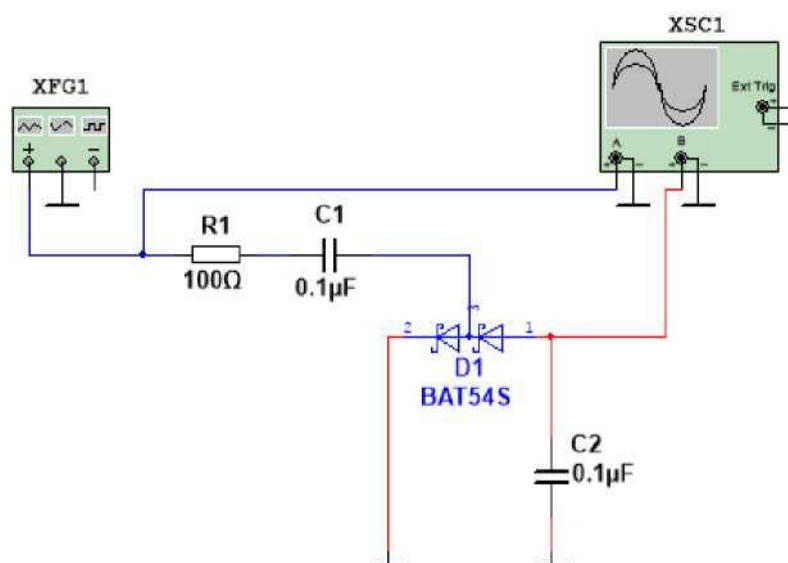


Рисунок 3.1 - Схема генератора «від'ємної» напруги у середовищі Multisim

Налаштування генератора задаємо відповідно такими, які потрібні для правильної роботи схеми. Генератора в даному випадку прирівнюється до ШІМ генератору мікроконтролера, що формує сигнал зі шпаруватістю 50 %, і частотою 64 кГц. Запустивши моделювання схеми, відкриваємо вікно осцилографа (рис. 3.2).

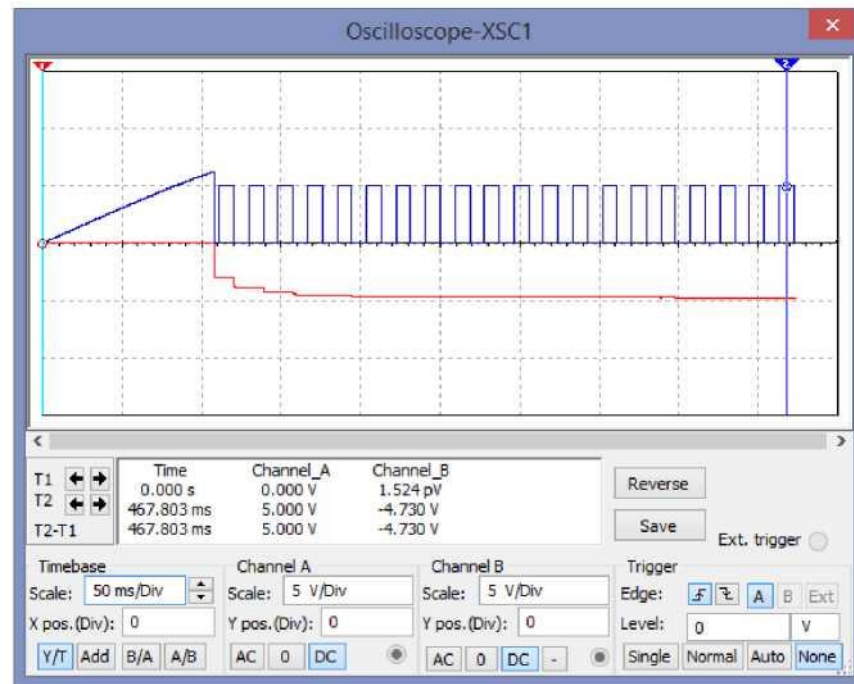


Рисунок 3.2 - Вікно осцилографа

Як видно з графіків, генератор генерує від'ємну напругу рівну майже -5, робимо висновок, що схема працює правильно.

3.3 Моделювання схеми живлення мікроконтролера та обв'язування

Далі проводимо перевірку простої схеми генератора напруги +5 на основі LM358. На рис. 3.3 показана зібрана схема з підключеними до неї мультиметрами, що показують вхідну та вихідну напругу.

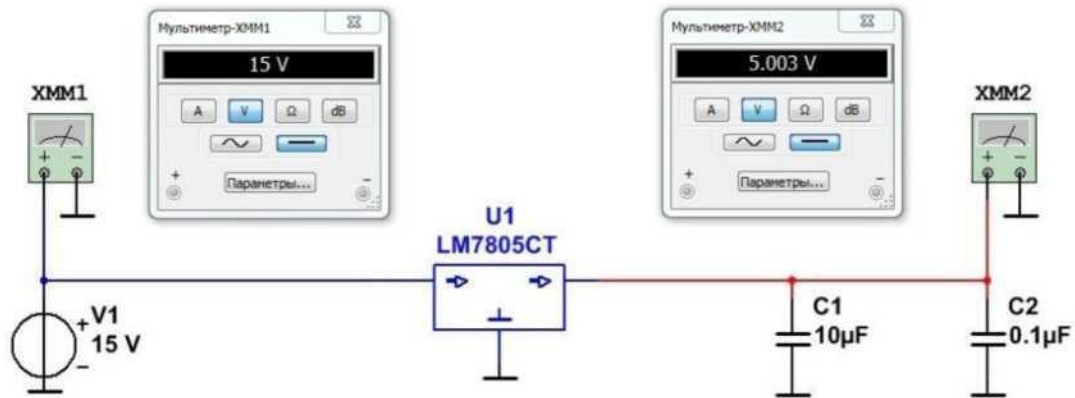


Рисунок 3.3 – Симуляція схеми живлення +5 В

3.4 Моделювання схеми керування струмом заряду

Для перевірки схеми керування струмом заряду акумулятора збираємо в Multisim наступну схему (рис. 3.4).

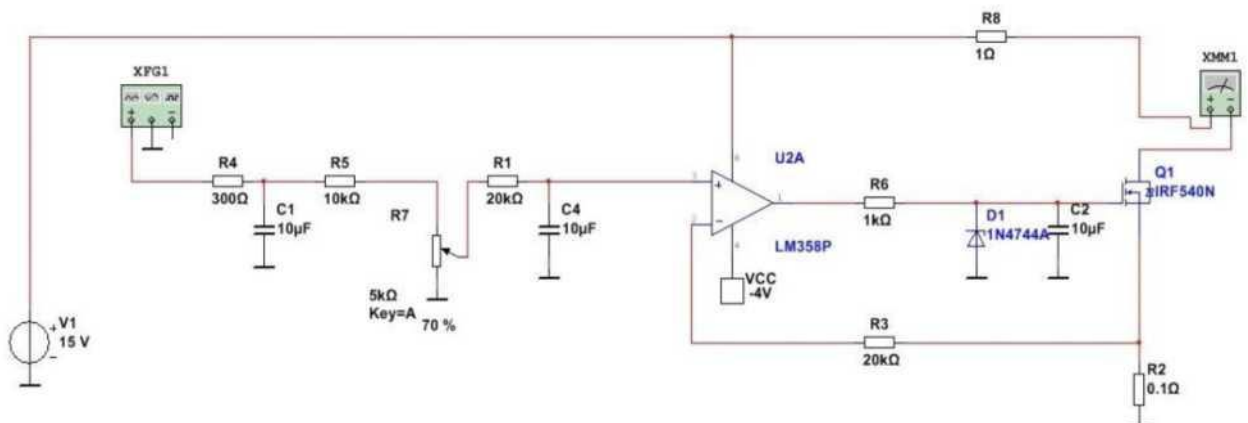


Рисунок 3.4 - Схема керування струмом заряду АКБ Multisim

Для перевірки цієї схеми підключаємо до входу схеми функціональний генератор, що моделює вихід АЦП. Частота сигналу та сама: 62 кГц.

Далі робимо замір струму на виході, задавши шпаруватість сигналу генератора в 50%. Показання амперметра видно на рис. 3.5.

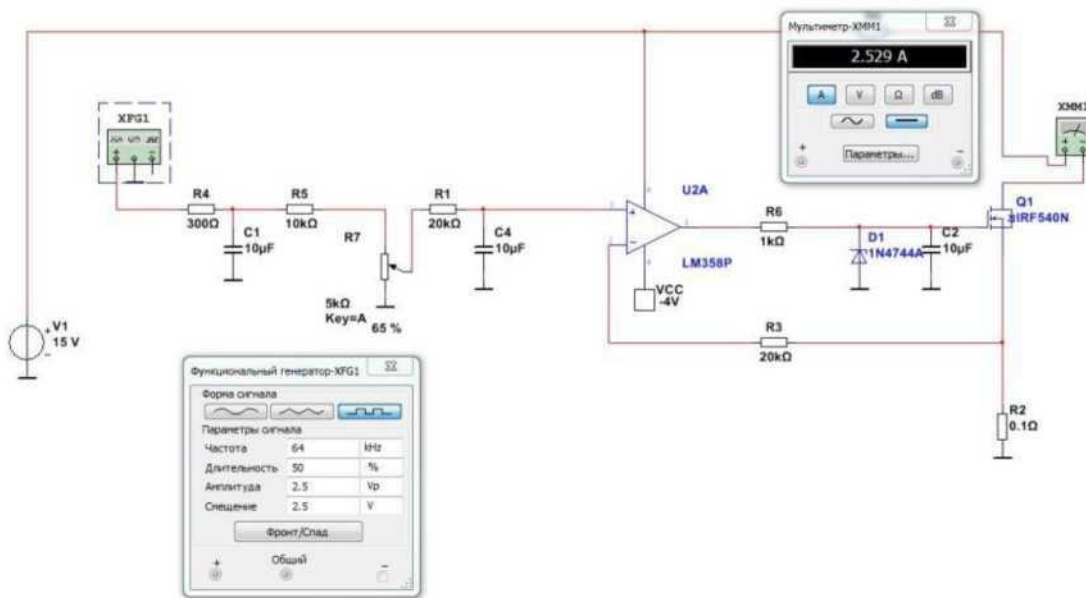


Рисунок 3.5 - Моделювання схеми керування струмом при шпаруватості ШИМ 50 %

Аналогічні виміри робимо змінивши шпаруватість генератора на мінімальну (рис. 3.6) та максимальну (рис. 3.7).

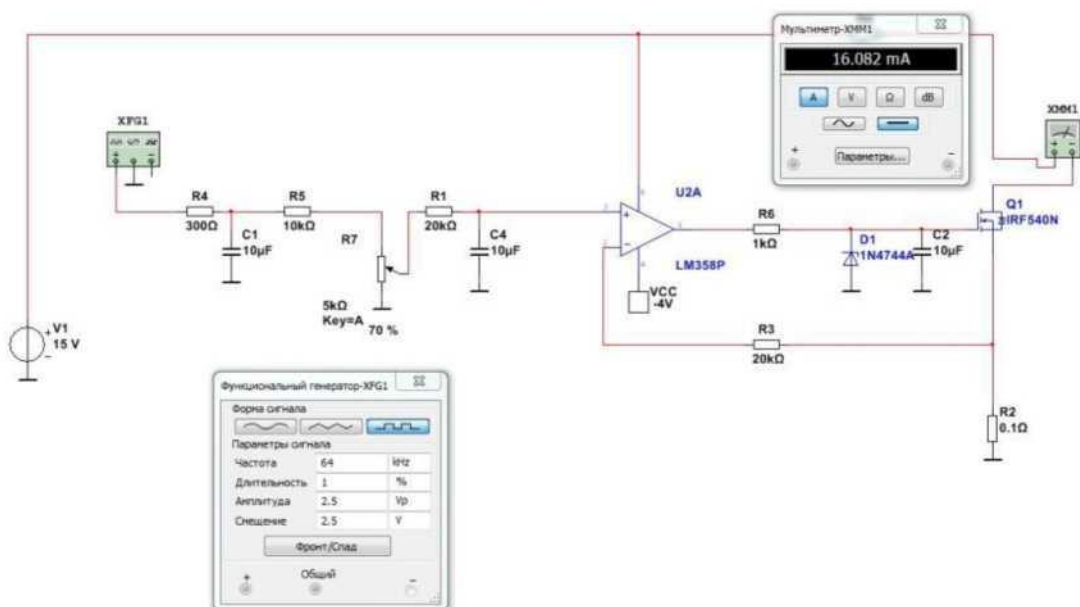


Рисунок 3.6 - Моделювання схеми керування струмом при шпаруватості ШИМ 1 %

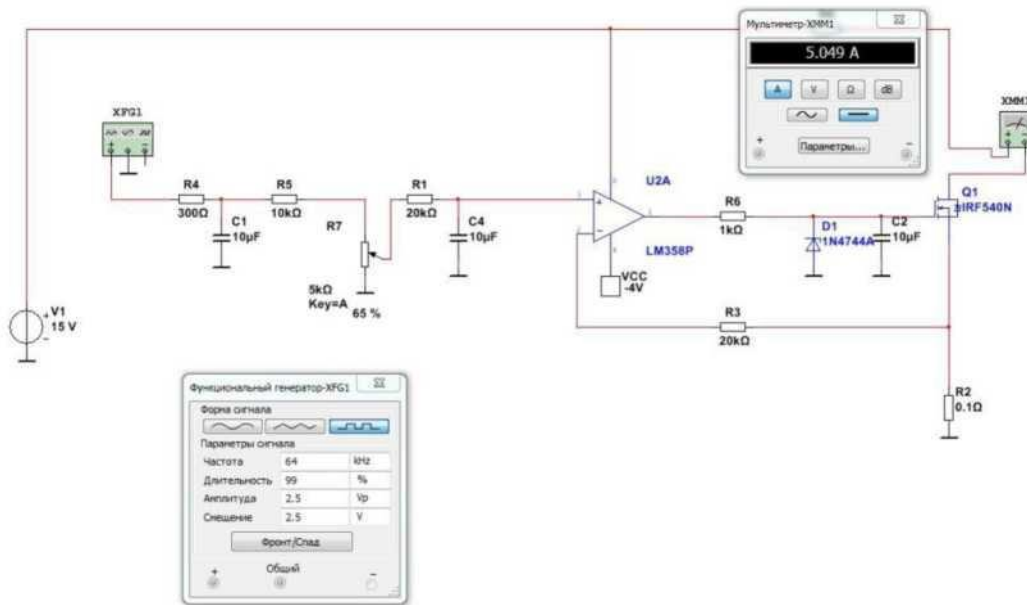


Рисунок 3.7 - Моделювання схеми керування струмом при шпаруватості ШИМ 99 %

Як очевидно з показів амперметра, схема функціонує правильно.

3.5 Моделювання вимірювального перетворювача струм-напруга

Далі збираємо у програмі схему (рис. 3.8) для подальшої перевірки вимірювального перетворювача.

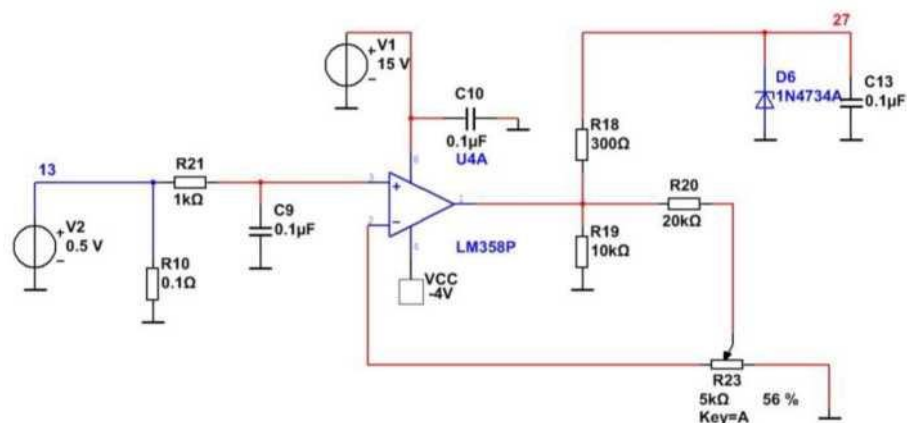


Рисунок 3.8 - Схема перевірки вимірювального перетворювача струм-напруга

За допомогою вбудованого інструменту «DC Sweeper», робимо зняття

вхідної та вихідної напруги схеми, щоб простежити їх залежність один від одного. Як видно з графіка, показаного на рис. 3.9, лінійна залежність і коефіцієнт перетворення вірний.

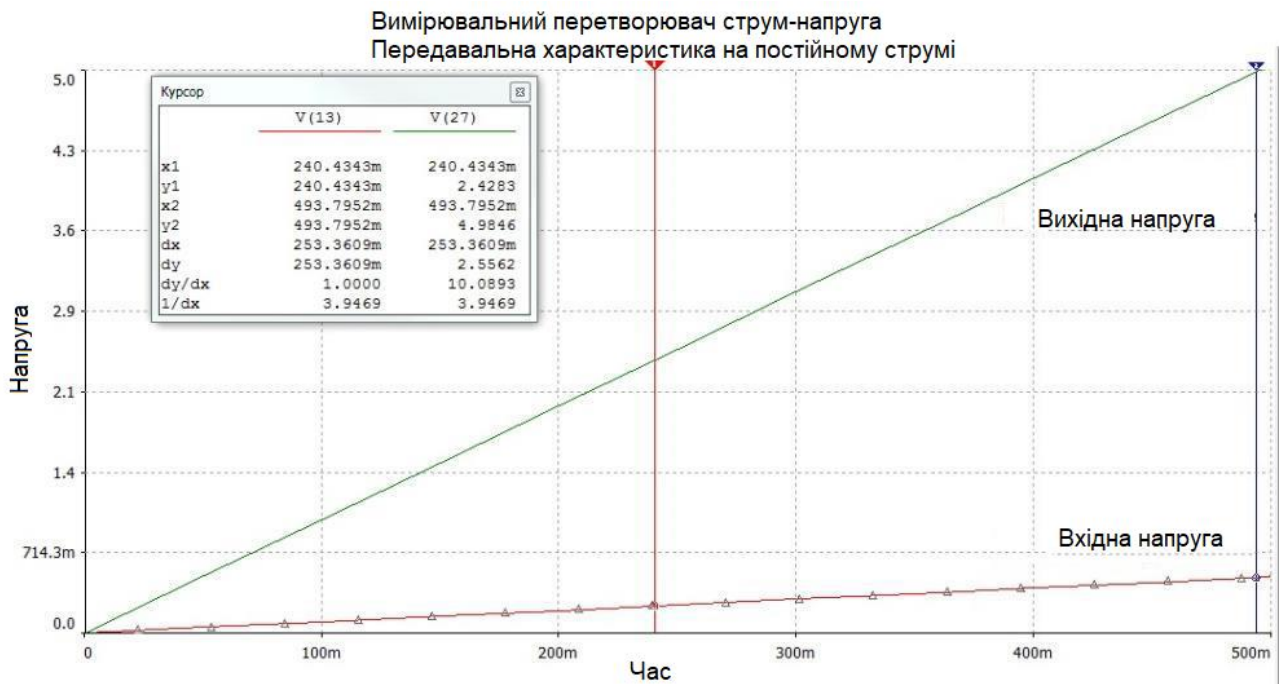


Рисунок 3.9 - Графік залежності вихідної напруги від вхідної

3.6 Моделювання вимірювального перетворювача струму на ОУ LM358

Збираємо вимірювальний перетворювач (рис. 3.10).

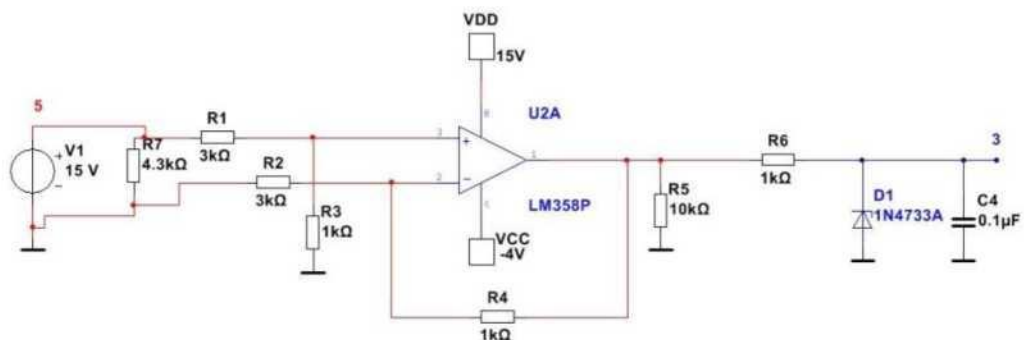


Рисунок 3.10 - Вимірювальний перетворювач струму в середовищі
Multisim

Проводимо моделювання за допомогою інструмента «DC Sweep»,

змінюючи вхідну напругу від 0 до 15 В. Залежність вихідної напруги від вхідної показана на рис. 3.11.

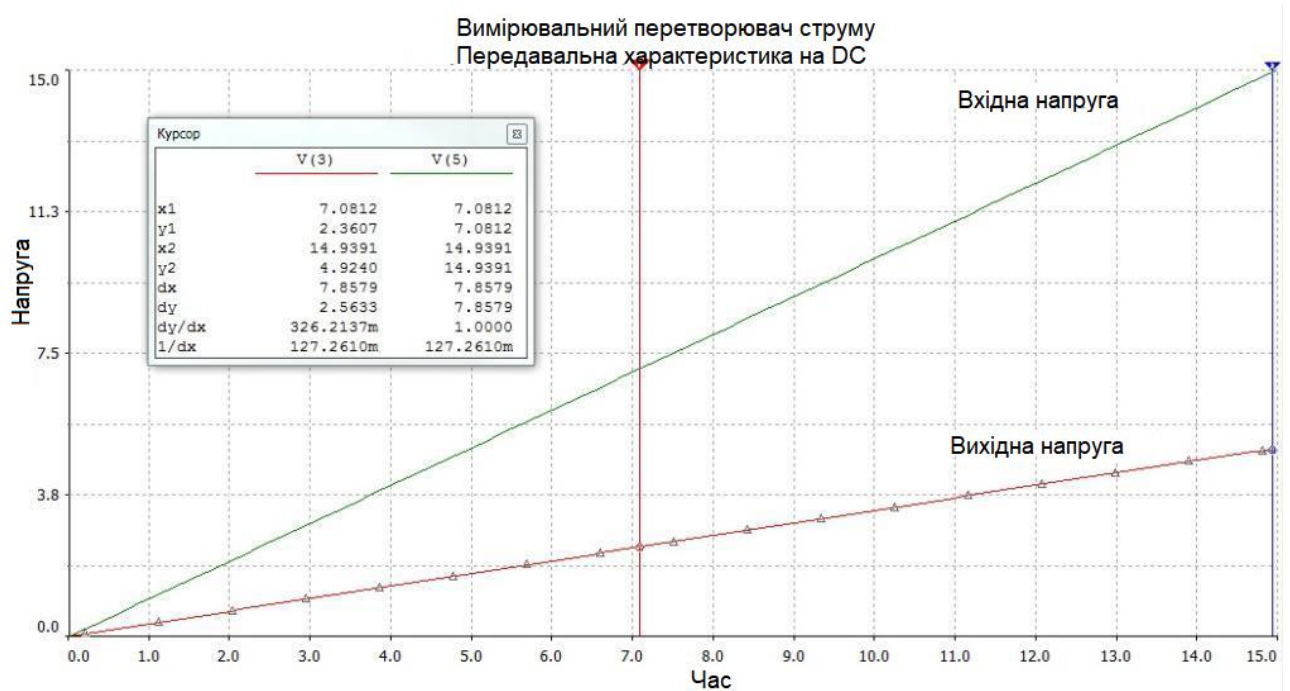


Рисунок 3.11 - Графік залежності вихідної напруги від вхідної

З графіка видно, що лінійна залежність і коефіцієнт перетворення так само вірний.

Отже, всі основні силові частини підсумкової схеми працюють правильно.

Для написання програмного коду слід врахувати підключення всіх частин схеми. У даній кваліфікаційній роботі написання програмного коду - це не основне завдання. Нами використано програмний код від прототипу. Програмний код може бути змінений і більш налагоджений. Програма написана мовою С.

3.7 Висновки до розділу

1. Проведено моделювання основних блоків зарядного пристрою у середовищі імітаційного моделювання Multisim що дозволяє за допомогою персонального комп'ютера моделювати електронні схеми.

2. Здійснено моделювання схеми живлення операційних підсилювачів LM358, моделювання схеми живлення мікроконтролера та обв'язування, схеми керування струмом заряду, вимірювального перетворювача струм-напруга та вимірювального перетворювача струму на ОУ LM358.

3. За результатами моделювання встановлено, що всі основні силові частини підсумкової схеми працюють правильно.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Можливість виникнення статичної електрики та заходи боротьби з нею

Статична електрика - це процес утворення і розділення зарядів у просторі при контакті двох матеріалів, якщо хоча б один з них є діелектриком. Підвищений рівень статичної електрики відноситься до групи фізичних небезпечних і шкідливих виробничих факторів [7].

Суть електризації заключається в тому, що діелектрики за певних умов стають електрично зарядженими. При цьому заряди не виникають і не зникають, а переходять з одного електризованого тіла на інше, накопичуються на поверхнях їх стикання чи переміщуються в межах одного й того ж тіла. Статична електрика може з'являтися на тілах і через індукцію, тобто через взаємодію на відстані. В основному виробництві харчової промисловості це можуть бути процеси помелу зерна, просіювання, транспортування трубопроводах борошна, процеси, пов'язані з приготуванням цукрової пудри, перевезенням чи транспортуванням по трубопроводах спирту, сухих дріжджів, розміщенням і фільтруванням рідин; технологічні процеси, пов'язані із застосуванням плоскопасових передач, транспортерів і т.д.

Якщо напруженість електричного поля перевищує електричну міцність середовища (повітря), то відбувається розряд статичної електрики. Основною причиною, що характеризує здатність різних матеріалів проводити струм, а також визначає їх здатність до електризації, є питомий електричний опір. Умовно прийнято, що при питомому електричному опорі речовин і матеріалів порядку менше 10 Ом·м заряди не накопичують і безпеки не являють. Якщо ж опір високий і велика швидкість відриву поверхні, то заряди зберігаються.

Величина зарядів визначається природою матеріалу і швидкістю розділення поверхонь, тобто інтенсивністю технологічного процесу.

Розряди статичної електрики являються одними з можливих імпульсів

спалахування і вибухів в харчовій промисловості, що зв'язано, в першу чергу, із застосуванням сильно електризуючих речовин і матеріалів (горючі рідини, пил органічного походження). Електризація рідин приводить до спалахування і вибухів втричі частіше, ніж електризація дрібнодисперсних матеріалів, оскільки мінімальна енергія запалювання пилово-вітряних сумішей з 10...100 раз менше. При протіканні рідин величина заряду залежить від діелектричної сталої, її забрудненості, шорсткості стінок, швидкості протікання і діаметра труб.

Захист від статичної електрики та її небезпечних проявів повинен здійснюватись в двох напрямках: усунення електричних зарядів або зменшення їх до безпечних величин.

Апарати, машини, пристрої, які можуть стати джерелами виникнення зарядів статичної електрики, повинні бути заземлені не менше ніж у двох місцях незалежно від заземлення усього технологічного ланцюга.

Звичайні заземлюючі пристрої для захисту від розрядів статичної електрики об'єднують із заземлюючими пристроями для електрообладнання.

Заземлення повинно бути здійснене тільки паралельним приєднанням захисного обладнання. Допустимий опір заземленого пристрою для захисту від статичної електроенергії у вигляді малих струмів витрат допускається не більше 100 Ом.

Гнучкі трубопроводи для перекачування рідин, які здатні генерувати заряди (спирт, бензин, гас тощо), повинні мати металеве заземлене оплетення, а вихідні штуцери мають бути виконані із кольорових металів і з'єднані із заземленим металевим оплетенням.

Серед інших заходів, направлених на заземлення небезпечних проявів розрядів статичної електрики, слід відмітити такі, як заміна плоских пасів текстурними (клиновими); недопущення розприскування рідин при їх розливанні в ємності шляхом опущення завантажувальних труб на відстань не більше 0,2 м від днища приймальної посудини; зміна швидкості переміщення твердих і рідких матеріалів та ін.

4.2 Фізичні основи електробезпеки

Величина струму, що проходить через тіло людини при її попаданні під напругу, в найбільшій мірі визначає тяжкість ураження. Для розробки технічних і організаційно-технічних заходів і засобів профілактики електротравм важливо знати, від яких конструктивних особливостей електроустановок, їх робочих параметрів і стану залежить можлива величина струму через людину при потраплянні під напругу. Крім того, важливо, щоб весь електротехнічний персонал, усі працівники, робота яких пов'язана з експлуатацією електроустановок, чітко розуміли, чим обумовлена, що є причиною тієї чи іншої вимоги з електробезпеки. Таке знання, розуміння вимог чинних нормативів з електробезпеки сприятиме дотриманню їх працівниками, і якраз розуміння цих вимог відрізняє працівників п'ятої групи з електробезпеки від четвертої, і є обов'язковою складовою їх професійної підготовки з питань безпеки [7].

У реальній електричній мережі (повітряній чи кабельній) опір ізоляції проводів відносно землі розподіляється по всій довжині мережі — опорні, підвісні, натяжні ізолятори, ізоляція кабелю. Чим більша протяжність мережі, тим більше ізоляторів, які працюють паралельно, і менший загальний опір ізоляції проводів відносно землі. Необхідний опір ізоляції регламентується чинними нормативами. На практиці ізоляція струмопроводів виконується з реальних діелектриків, питомий опір яких не дорівнює нескінченності. Внаслідок старіння ізоляції, її частого зволоження, забруднення, нагріву, дії агресивного середовища тощо, питомий опір ізоляції знижується. Тому кожна ділянка довжини проводу має опір ізоляції певного значення або провідність, яка відрізняється від нуля, а при роботі реальної мережі мають місце постійні втрати струму (виток струму) через ізоляцію і землю. Таким чином, незважаючи на наявність ізоляції, токопроводи електромережі електрично зв'язані між собою і землею провідниками (ізоляцію) з великим опором.

Відповідно до зазначеного вище, кожна ділянка довжини проводу

електромережі, що знаходиться під напругою, крім опору ізоляції має певну ємність відносно землі. Тому при дотиці людини до неізольованої струмовідної частини (проводу тощо) функціонуючої електромережі струм через людину обумовлюється величиною напруги дотику і ємністю зазначеної вище системи. Ємнісна складова струму через людину при потраплянні під напругу в розгалужених мережах може досягати небезпечних для людини значень. Тому навіть при відключенні мережі від джерела живлення для ремонтно-профілактичних робіт тощо, необхідно заземлити кожен провід переносним заземленням і тільки після цього та перевірки відсутності напруги допускати персонал до роботи.

4.3 Зонування територій за ступенем небезпеки

З метою диференційованого підходу до планування запобіжних заходів здійснюється зонування територій країни, регіонів, міст і населених пунктів за територіями природного і техногенного ризиків.

Територія міста з урахуванням переважного функціонального призначення поділяється на селітебну, виробничу і ландшафтно-рекреаційну.

Селітебна територія має таке призначення: розміщення житлового фонду, громадських будівель і споруд (в т.ч. науково-дослідних комплексів), а також окремих комунальних і промислових об'єктів, які не вимагають утворення санітарно-захисних зон; будівництво шляхів міського сполучення, вулиць, площ, парків, бульварів та інших місць загального користування.

Виробничу територію призначено для розміщення промислових підприємств і пов'язаних з ними об'єктів, комплексів наукових установ з дослідними виробництвами, комунально-складських об'єктів, споруд зовнішнього та приміського транспорту.

Ландшафтно-рекреаційна територія включає міські ліси, лісопарки, лісозахисні зони, водойми, сільськогосподарські угіддя, які разом з парками і скверами селітебної території формують систему відкритого простору. Крім

того, на територіях виділяються небезпечні зони.

Зона можливого небезпечного землетрусу – територія, в межах якої інтенсивність сейсмічного впливу становить сім і більше балів (визначається за картами сейсмічного районування відповідно до ДБН).

Зона вірогідного затоплення – територія, межі якої можуть бути вкриті водою внаслідок стихійного лиха або руйнування гідротехнічних споруд.

Зона вірогідного катастрофічного затоплення – територія, на якій можлива загибель людей, сільськогосподарських тварин і рослин пошкодження або знищення матеріальних цінностей (в першу чергу будівель і споруд), а також збитки навколишньому середовищу.

Зона можливих небезпечних геологічних явищ – територія, у межах якої передбачається виникнення небезпечних геологічних явищ, що становлять загрозу життю і здоров'ю людей, завдають збитків економіці.

Зона можливого радіоактивного забруднення - територія або акваторія, на якій є можливим забруднення поверхні ґрунту, будівель і споруд, атмосфери, води. продуктів харчування радіоактивними речовинами, яке може викликати перевищення нижнього критичного значення доз опромінення населення.

Зона можливого хімічного зараження – територія. В межах якої внаслідок пошкодження або руйнування ємностей з хімічно небезпечними речовинами можливий викид в довкілля цих речовин в концентраціях або кількостях, які становлять загрозу для людей , тварин і рослин впродовж певного періоду.

Зона можливих руйнувань – територія міст. Інших населених пунктів і ОГ, на якій можливе виникнення надмірного тиску у фронті повітряної ударної хвилі, який складає 30 кПа і більше, а також сейсмічний вплив, що спричиняє руйнування будівель, споруд, комунікацій.

Зона можливого утворення завалів – частина зони можливих руйнувань, яка включає ділянки розташування будівель і споруд з прилеглою до них місцевістю, де слід очікувати обвалення будівельних конструкцій та утворення завалів.

Позаміська зона – територія, розташована за межами зон можливих

руйнувань, можливого радіоактивного та хімічного забруднення, вірогідного кас трофічного затоплення, і може бути використана для евакуації населення.

Можливе часткове або повне накладання двох і більше зон можливої небезпеки. На такі території запобіжні заходи проводяться від усіх видів небезпек відповідно до накладених зон.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи можна зробити наступні висновки:

1. Проаналізовано основні типи режимів заряду акумуляторних батарей та сформульовано вимоги, які потрібно дотримуватися при проектуванні зарядного пристрою свинцево-кислотних акумуляторів.

2. В результаті виконаної роботи:

– розроблено схеми взаємодії мікроконтролера з системою управління та отримання інформації;

– реалізовано індикацію поточних параметрів заряду – струму заряду та напруги заряду;

– передбачено захист пристрою від переполюсування зарядних клем та їх замикання.

3. В результаті використання сучасних схемотехнічних рішень у розробленому пристрої, вдалося спростити процедуру заряду акумуляторних батарей і зробити її практично автоматичною. Автоматизація цього процесу дозволить зберегти як час користувача, а й продовжити термін служби акумуляторних батарей за рахунок виключення людського фактору.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Акумуляторні батареї. - К.: Іван Федоров, 1998. -118 с. Сажко В.А., Січко О.Є., Клименко Ю.М., Савін Ю.Х., Волков О.Ф. Мазепа С.С., Куцик А.С. Електрообладнання автомобілів. - Львів: Львівська політехніка, 2004. - 168 с.
2. Носов Н. Особливості зарядки послідовних акумуляторів [Електронний ресурс] / Микола Носов // Мобіповер. – 2010. – Режим доступу до ресурсу : <http://www.mobipower.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=293>.
3. Варипаєв Н. В. Хімічні джерела струму [текст]/ Н. В. Варипаєв, М. А. Нікольський. – М.: Вищ. шк., 1990. – 240 с.
4. Цифрова схемотехніка електронних систем. Підручник / В.І., Бойко, В.Я. Жуйков, В.М. Співак , А.А. Зорі, В.В. Баг-рій, , Т.О. Терещенко. 3-тє вид. допов. і переробл. – К.: Вища школа, 2010. – 426 с.
5. Цифрова та імпульсна схемотехніка. Моделювання та аналіз / В.В. Макаренко, В.М. Співак. Навчальний посібник з грифом Вченої ради НТУУ «КПІ» (протокол . № 6 від 30 червня 2015 р). – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 314 с. іл. ;
6. Є.З. Маланчук. Моделювання та аналіз цифрових схем. Підручник / Є.З. Маланчук, В.В. Макаренко, В.М. Співак, Г. Г. Власюк, А.В. Рудик. – Рівне: НУВГП, 2018. – 463 с.
7. Купчик М.П., Гандзюк М.П , Степанець І Ф, Вендичанський В.Н., Литвиненко А.М., Іваненко. О. В. Основи охорони праці. - К.: Основа, 2000. - 416 с.

Додаток А

