

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Розробка пристрою для автоматизованого тренування акумуляторних батарей

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр, назва

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Шифр, назва

Освітня програма «Електропобутова техніка»

Шифр БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 4 курсу
група ЕТз-21-1


Підпис


О. О. Ямковий
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

С. І. Пундик
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

О. Г. Тимошук
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:


Підпис, дата

В. С. Неймак
Ініціали, прізвище

Зав. кафедри МАЕЕС

2 06 2025 р.

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень бакалавр

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Шифр і назва


Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Шифр і назва

Освітня програма Електропобутова техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС


2 . 06 . 2025

ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Ямковий Олексій Олександрович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка пристрою для автоматизованого тренування акумуляторних батарей

керівник роботи Пундик Сергій Іванович, к.т.н.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 7 02 2025 р. № 23

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 2.06.25

3. Вихідні дані до роботи характеристики зарядно-тренувального пристрою

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

Вступ. 1 Огляд та аналіз технічної літератури з тематики бакалаврської роботи. 2. Розробка пристрою для автоматизованого тренування акумуляторних батарей 3. Розрахунки пристрою для автоматизованого тренування акумуляторних батарей. Висновки. Перелік джерел посилань.

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

1. Зарядно-тренувальні пристрої (ДО, А1). 2. Пристрій для автоматизованого тренування акумуляторних батарей (Е1, А1). 3. Пристрій для автоматизованого тренування акумуляторних батарей (Е3, А1). 4. Плата пристрою для автоматизованого тренування акумуляторних батарей (Д1, А1). 5. Пристрій для автоматизованого тренування акумуляторних батарей (Д2, А1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____


КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Огляд та аналіз технічної літератури		
2. Розробка пристрою для автоматизованого тренування акумуляторних батарей		
3. Розрахунки пристрою для автоматизованого тренування акумуляторних батарей		
4. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу		

Студент


Підпис

Керівник роботи


Підпис

О.О. Ямковий
Ініціали, прізвище

С.І. Пундик
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до бакалаврської кваліфікаційної роботи студента спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

1. Прізвище, ім'я та по батькові Ямковий Олексій Олександрович

2. Тема бакалаврської роботи Розробка пристрою для автоматизованого тренування акумуляторних батарей

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента _____

4. Об'єм бакалаврської роботи: креслень 5 арк., сторінок записки 53

5. Наразі, поряд із літій-іонними акумуляторами, продовжують широко використовуватись нікель-кадмієві акумулятори. Ці батареї є економічнішими за літій-іонні та зберігають свою функціональність за будь-яких погодних умов. На відміну від них, літій-іонні акумулятори деяких виробників демонструють зниження продуктивності при низьких температурах. В дипломній роботі сконструйовано прилад, призначений для автоматичного тренування акумуляторів. Процедура тренування є критичною для збереження оптимального функціонування акумуляторів та забезпечення коректного відображення їхнього реального заряду. Даний процес базується на циклічній розрядці та зарядці. В бакалаврській роботі здійснюється розробка пристрою для автоматизованого тренування акумуляторних батарей. В розрахунково-пояснювальній записці наведено всі необхідні розробки, а також розділи, що відповідають встановленим вимогам. В першому розділі проведено огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень з тематики бакалаврської роботи, а саме типи акумуляторних батарей та пристроїв для тренування АКБ. В другому здійснюється розробка пристрою для автоматизованого тренування акумуляторних батарей. В третьому розділі проведено розрахунки пристрою для автоматизованого тренування акумуляторних батарей.

Підпис студента 

" 2 " 06 2025 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 3 від "19" 06 2025 р.

Оцінка проекту ЕК 4,5 / B

Рекомендації ЕК впровадження у виробництво

Особливі відмітки —

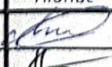


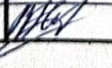
Технічний секретар 

" 19 " 06 2025 р.

ЗМІСТ

	стор.
Вступ.....	5
1 Огляд та аналіз технічної літератури з тематики бакалаврської роботи.....	7
1.1 Типи акумуляторних батарей.....	7
1.2 Пристрої для тренування АКБ.....	16
Висновки до першого розділу.....	19
2 Розробка пристрою для автоматизованого тренування акумуляторних батарей.....	21
2.1 Розробка структурно-функціональної схеми.....	21
2.2 Підбір елементної бази.....	23
2.3 Розробка схеми електричної принципової.....	25
2.4 Розміщення компонентів на друкованій платі пристрою.....	29
2.5 Розробка конструкції друкованої плати.....	31
2.6 Розробка алгоритму програми мікроконтролера.....	32
Висновки до другого розділу.....	33
3 Розрахунки пристрою для автоматизованого тренування акумуляторних батарей.....	34
3.1 Розрахунок силової частини схеми.....	34
3.2 Розробка та розрахунок системи керування.....	38
Висновки до третього розділу.....	50
Висновки.....	51
Перелік джерел посилань.....	52

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Змн.	Арк.	№ доцм.	Підпис	Дата				
		Яковий О. О.			Розробка пристрою для автоматизованого тренування акумуляторних батарей	Літ.	Арк.	Архів
		Пундик С. І.					4	53
		Тимошук О. Г.				ХНУ зр. ЕТз-21-1		
		Неймак В. С.						

ВСТУП

Наразі, поряд із літій-іонними акумуляторами, продовжують широко використовуватись нікель-кадмієві акумулятори. Ці батареї є економічнішими за літій-іонні та зберігають свою функціональність за будь-яких погодних умов. На відміну від них, літій-іонні акумулятори деяких виробників демонструють зниження продуктивності при низьких температурах.

Нікель-кадмієві батареї знаходять своє застосування в електротранспорті, де їх використовують як тягові елементи, а також у трамваях та тролейбусах для живлення систем керування. На річковому та морському флоті їх також застосовують. В авіації ці акумулятори широко використовують як бортові джерела живлення для літаків і гелікоптерів, забезпечуючи їх необхідною енергією.

Крім того, нікель-кадмієві акумулятори використовують як джерела живлення для автономних шуруповертів, гайковертів та дрилів, роблячи їх портативними та зручними у використанні.

Негативною рисою нікель-кадмієвих акумуляторів є так званий "ефект пам'яті", що з'являється, коли акумулятор заряджають без попереднього повного розряджання. Внаслідок цього з плином часу максимальна ємність акумулятора зменшується, а час його функціонування скорочується.

В цій дипломній роботі буде сконструйовано прилад, призначений для автоматичного тренування акумуляторів. Процедура тренування є критичною для збереження оптимального функціонування акумуляторів та забезпечення коректного відображення їхнього реального заряду. Даний процес базується на циклічній розрядці та зарядці.

Акумулятор з'єднується через резистор з масою, після чого повністю розряджається. Потім він підключається до ланцюга живлення та починає заряджатися, поки не досягне значення напруги, що залишається незмінним

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

протягом тривалого часу в одному циклі заряду. У випадку, коли максимальне значення напруги не досягає потрібного рівня, цикл розряду та заряду повторюється.

Створений у межах цієї дипломної роботи пристрій здатен бути корисним для сервісних центрів, що обслуговують акумуляторні батареї, будівельних організацій, що експлуатують значний парк автономних шуруповертів та дрилів, а також для лікарень, де застосовуються прилади для моніторингу життєвих показників пацієнтів, котрі їх постійно носять.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ З ТЕМАТИКИ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ

1.1 Типи акумуляторних батарей

Акумуляторна батарея – самостійне джерело живлення, що може збирати та утримувати енергію. Принцип роботи переважної більшості моделей полягає в циклічній трансформації хімічної енергії в електричну. Це забезпечує багаторазове використання пристрою (цикли заряду-розряду). Певні типи акумуляторів розроблені для різноманітних умов використання. Детально розглянемо основні з них.

АКБ розрізняються показниками, що відповідають застосуванню з потрібною частотою та в різноманітних обставинах. Найбільш поширені пристрої:

- свинцево-кислотні – завдяки легкій технології виробництва виділяються доступною вартістю. Переваги: міцність, нескладне обслуговування, незначне саморозрядження. Існують чотири види: стаціонарні – для енергетичного устаткування, портативні – для електроінструментів, тягові – для електрокарів, стартерні – для автомобілів.

- літій-іонні акумулятори – їхні особливості: компактні розміри, значний термін служби та ефективність за низьких температур. Ідеальні для інтенсивного використання, витримують часті цикли розрядження-зарядження. Літій-іонний акумулятор – найкращий варіант для пристроїв, що використовуються регулярно та часто, як-от смартфони, ноутбуки або будівельні інструменти.

- нікель-кадмієві батареї – вони працюють у широкому температурному діапазоні, витримують багато циклів заряджання та розряджання, а також підтримують швидке заряджання. Найкраще працюють за умови періодичного використання. Застосовуються в електромобілях, морських і

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

річкових суднах, трамваях, тролейбусах та інших транспортних засобах.

- нікель-залізни – акумулятор, відомий своєю винятковою міцністю. Він відмінно переносить як глибоке розрядження, так і численні цикли перезарядки. Крім того, цей тип акумулятора здатний зберігати працездатність навіть при неповному заряді.

Свинцево-кислотні (рис. 1.1).

Ці акумулятори набули широкого застосування через свою універсальність і доступну ціну. Вони випускаються у багатьох модифікаціях, знайшовши своє місце в системах безперебійного живлення, резервного енергопостачання, охоронних комплексах, сонячних електроустановках, автомобілях, промислового обладнанні та у сфері побутових приладів та пристроїв.

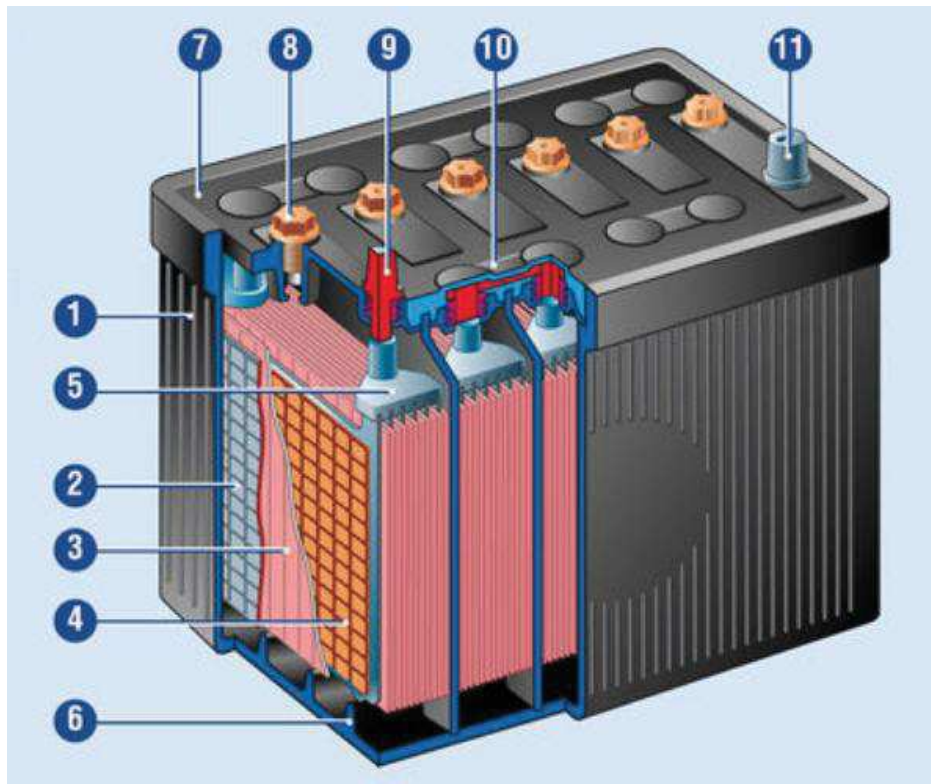


Рисунок 1.1 – Будова свинцево-кислотного АКБ

1- корпус АКБ. Виконаний з кислотостійкого діелектричного полімеру (поліетилен, поліпропілен та подібні до них).

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

2 - струмовідвідна решітка негативного електрода (часто виготовляється з губчастого свинцю).

3 - сепаратор для відділення ґрат позитивного та негативного електродів (пористий кислотостійкий діелектрик).

4 - струмовідвідна решітка позитивного електрода, виконана з двоокису свинцю.

5 - баретка. Паралельно поєднує пластини однієї полярності.

6 - опорні елементи для створення зазору між електродами та дном корпусу. Зазор дозволяє осідати реагенту решітки, що відшарувався.

7 - кришка.

8 - заглушка заливного отвору.

9 - позитивний вивід.

10 - перемичка. Поєднує блоки пластин однієї полярності.

11 - негативний вивід.

Принцип роботи.

Функціонування свинцево-кислотних АКБ базується на взаємодії металів і рідини. Це оборотний процес, який стає можливим, коли з'єднуються контакти негативних та позитивних пластин. Ці пластини виготовлені зі свинцю, а електроліт – це розчин сірчаної кислоти. Саме ці складові вступають у реакцію одна з одною під час заряджання та розряджання акумулятора.

Електроди складаються з ґратчастої структури, покритої порошками, що збільшують контактну поверхню з електролітом. Це сприяє збільшенню ємності акумуляторної батареї. Аноди, або позитивні пластини, впресовані в ґрати з використанням діоксиду свинцю. Для виготовлення катодів, тобто негативних пластин, застосовують губчастий свинець. Пластини розділені сепараторами, що запобігають короткому замиканню між електродами в процесі заряду або розряду. Сучасні акумулятори мають електродні ґрати, що містять додаткові метали. Чистий свинець не може похвалитися високою

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

міцністю, тому пластини легують сурмою або кальцієм.

Грати, подібно катоду й аноду, занурюються в електролітичний розчин. Для приготування кислотного розчину застосовується дистильована вода, адже вона не містить шкідливих елементів, здатних погіршити функціональність приладу.

Коли лампочка з'єднується з двома пластинами, коло замикається, і з'являється електричний струм, викликаючи хімічний процес усередині структури. На пластинах починається корозія, а на свинці формується сульфат свинцю. Розряд акумулятора спричиняє утворення нальоту на пластинах. В повністю розрядженій батареї ці компоненти вкриті сульфатом свинцю, і мають майже однаковий потенціал відносно електроліту, що призводить до низької напруги.

Коли зарядний пристрій з'єднується з клемми акумулятора, струм тече через електроліт у протилежному напрямку. Відбувається хімічна реакція. Молекули кислоти розпадаються, і сульфат свинцю зникає з пластин. Внаслідок цього вони відновлюють свої електричні властивості, тобто батарея заряджається на повну потужність. На жаль, пластини не очищаються на 100% в реальності, тому АКБ має обмежений термін служби. З часом ємність батареї знижується до 70-80% від її початкового значення.

Типи та різновиди.

Залежно від конструкції акумулятори класифікуються на обслуговувані та необслуговувані. Перші, герметичні, передбачають можливість монтажу у будь-якій орієнтації та не потребують жодного втручання в процесі експлуатації. Другі ж потребують періодичного контролю показників густини та рівня електроліту. Герметичні свинцево-кислотні моделі мають позначення SLA (Sealed Lead Acid Battery). Варіанти з клапаном регулювання тиску маркуються VRLA (Valve Regulated Lead Acid), придатні для використання в житлових умовах та роботи в буферному режимі. Вони не

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вимагають додаткової вентиляції або спеціального обслуговування. Перейдемо до розгляду основних типів акумуляторних батарей.

Стартерні (Lead-Acid).

Стартерні акумулятори розроблені для приведення в рух моторів машин та іншої техніки. Вони видають великий пусковий струм на кілька секунд. Ці пристрої вразливі до сильних розряджень, тому не варто їх розряджати менше ніж 10 В. Після того, як АКБ віддала пусковий струм стартеру автомобіля, вона починає заряджатися для повернення витраченої енергії. Моделі типу Lead-Acid вимагають належної вентиляції і періодичного обслуговування.

AGM.

AGM (Absorbent Glass Mat) – герметичні акумулятори, які не потребують обслуговування. Конструкція таких батарей передбачає наявність абсорбованого електроліту, виготовленого зі скловолоконного матеріалу. Це потрібно для забезпечення процесу рекомбінації газів. У звичайних акумуляторах, під час набирання заряду, молекули води діляться на водень та кисень. Ці гази згодом виходять назовні, через спеціальні отвори для вентиляції. В AGM-батарей пориста пластина зі скловолокна утримує гази. Кисень, отриманий в результаті розпаду молекули води, переміщається від позитивної до негативної пластини. Він залишається на катоді, поки не з'єднається з воднем, утворюючи знову воду. Надлишковий газ, який може утворитися внаслідок хімічних реакцій, виводиться через клапан на корпусі.

Літій-іонні (літієві) (рис. 1.2).

Літій-іонні акумулятори (Li-ion), через вражаючу щільність енергії та компактні габарити, на 2-4 рази переважають за ємністю Свинцево-кислотні. Їх основна козира – швидке відновлення заряду від 0 до 100% (1-2 години). Ці моделі – серце портативних пристроїв: смартфонів, планшетів, лептопів та комп'ютерів, рацій і подібного. Крім того, їх активно задіюють для прибирання та на складських потужностях, у електротранспорті

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(гіроскутерах, самокатах, велосипедах тощо), джерелах безперебійного живлення, спеціалізованих інструментах, сонячних електростанціях та різноманітних інших системах.

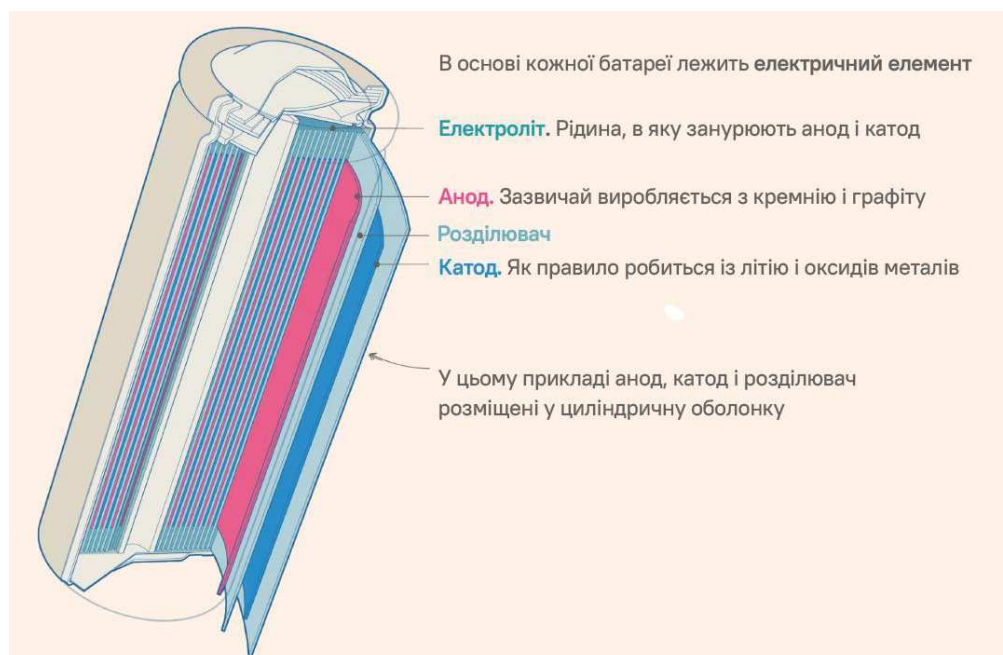


Рисунок 1.2 – Будова літій-іонного АКБ

Принцип роботи.

Основою конструкції Li-ion пристроїв є анод, що зроблений з пористого вуглецю, нанесеного на мідну фольгу, та катод, виготовлений з оксиду літію, нанесеного на алюмінієву фольгу. Роздільником слугує пористий поліпропіленовий сепаратор, який насичений електролітом, що виконує функцію провідника. Всі компоненти вміщені в герметичний корпус, електроди з'єднані з струмознімачами. У деяких варіантах конструкції передбачено клапан, що відповідає за регулювання тиску всередині.

Мідні та алюмінієві пластини, змащені електролітом, розділені пористим прошарком, згорнуті у циліндр. Корпус набуває відповідної форми. У випадку іншого укладання пластин, прилад матиме форму призми або пакетика. Моделі розрізняються складом катода. Незалежно від використаного матеріалу, принцип дії літієвих акумуляторів єдиний для

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

пристроїв усіх типів. Під час подачі електричного струму, позитивно заряджені йони літію (Li^+) відділяються від молекул оксиду та мігрують до графітового електрода. Це спричиняє окиснення, внаслідок чого акумулятор заряджається.

Коли літій-іонний акумулятор розряджається під навантаженням, відбувається обернений процес. Йони Li^+ переміщуються з графітового електрода назад до шару оксиду літію, відновлюючи його початковий стан.

Літієві акумулятори вельми вразливі до перенавантаження. Коли їх перезаряджають, на поверхні анода накопичується літій у металевій формі. Згодом ця речовина здатна реагувати з електролітом. Одночасно на катоді відбувається активне вивільнення кисню, що проявляється у потужному нагріві, збільшенні тиску і навіть порушенні цілісності корпусу батареї.

Заряджання пристроїв відбувається у два кроки. Спочатку заряджають постійним струмом $0,2\text{C}-1\text{C}$ до досягнення напруги $4,2\text{ В}$, це триває близько 40 хвилин. Далі заряджають при фіксованій напрузі. Процес заряджання завершується, коли зарядний струм зменшується до 3% від номінального значення. Для тривалого терміну служби літієвої батареї рекомендується заряджати її струмом 50% від ємності ($0,5\text{C}$).

З часом літій-іонні акумулятори "старішають", всередині утворюються продукти окиснення, відбувається втрата частини ємності. Термін служби акумулятора закінчується, коли він втрачає 30% від початкової ємності. Ресурс більшості моделей в середньому становить 1000 циклів заряду-розряду. Для подовження строку служби, радиться не перебільшувати оптимальний струм заряджання (50% від номінальної ємності пристрою). Скажімо, ідеальний струм заряджання для акумулятора на 20 мАг — 10C . Також важливо уникати глибокого розрядження та перезаряду АКБ, виключати переохолодження й перегрів, не зберігати розрядженим тривалий період.

Типи та різновиди.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Літєві прилади розрізняються широким спектром варіацій, кожна з яких використовує різноманітні катодні матеріали. В аноді деяких моделей можлива повна або часткова заміна графіту.

Літій-кобальтові (LiCo).

Ці пристрої створені для забезпечення живлення високотехнологічних пристроїв, завдяки їх високій енергетичній щільності. Їх інтегрують у смартфони, ноутбуки, цифрові фотоапарати та інші гаджети. Від'ємно заряджений електрод виготовлено з кобальтового оксиду, а позитивний — з графіту. У першого шарувата структура, і при розрядженні іони літію переміщуються від аноду до нього, заряджаючи — у зворотному напрямку.

Акумулятори LiCo не слід заряджати чи розряджати струмом, що перевищує їхню номінальну ємність, зазвичай у межах від 150 до 200 Вт·год/кг. Наприклад, батарея на 2600 мА·год не зможе коректно функціонувати, якщо сила струму буде вищою за це значення. Спроби зарядити або розрядити акумулятор з використанням сили струму, що перевищує 2600 мА·год, призведуть до перегріву. Літій-кобальтові акумулятори обладнуються особливим захистом, щоб контролювати заряд і розряд на безпечному рівні. Недоліки LiCoO₂: недовгий термін експлуатації, чутливість до нагрівання та обмежена кількість перезарядів.

Літій-марганцеві (LiMn).

У батареях даного типу катод виготовлено з літій-оксиду-марганцю. Це зумовлює виникнення тривимірних шпинелевих структур, що полегшують міграцію іонів до електроду. Завдяки цьому внутрішній опір зменшується, а швидкість заряду зростає. Ще одна перевага цієї конструкції – термічна стійкість та високий рівень захищеності.

Невеликий опір забезпечує можливість оперативного заряджання та дозволяє витримувати короткі, але інтенсивні імпульси струму до 50А. Гнучкий дизайн дозволяє оптимізувати функціональність акумулятора для різних потреб, вдосконалюючи його параметри. Літій-марганцеві батареї

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

застосовуються у потужному електроінструменті, медичному обладнанні, а також у електричних та гібридних транспортних засобах.

Літій-полімерні (Li-Pol, Li-polymer, Li-Po).

Літій-полімерні акумулятори виокремлюються серед літій-іонних моделей завдяки здатності підтримувати більші струми розряду. Їхньою ключовою особливістю є використання полімеру у формі гелю або твердого тіла, насиченого літієм, замість традиційного рідкого електроліту. Завдяки цій технології, ці елементи живлення можуть бути спроектовані та виготовлені з практично будь-якою формою та габаритами.

У тестах, спрямованих на продуктивність та безпеку, вони демонструють виняткові результати. Ці пристрої характеризуються мінімальним саморозрядом, слабким "ефектом пам'яті" та великою ємністю. Негативною рисою цих моделей є суттєве зниження електричних характеристик при низьких температурах. Це пов'язано з кристалізацією полімеру.

Літій-полімерні акумулятори постачаються у двох конфігураціях: звичайній та високострумівій. Різниця між ними полягає в найбільшій силі струму розряду. У стандартних акумуляторів вона зазвичай трохи перевищує 3С, а у високострумівих може досягати 10С.

АКБ Li-Pol демонструють добру працездатність, коли використовуються активно, витримуючи багато циклів заряджання та розряджання. Їх часто можна зустріти в портативних пристроях, як-от: смартфони, електронні книги та планшети, а також у радіокерованих моделях, портативних електроінструментах та навіть деяких електромобілях.

Літій-залізо-фосфатні (LiFePO₄).

Акумулятори LiFePO₄ мають катод з літій-залізо-фосфату та анод з вуглецю. Вони витримують екстремальні температури (від -30 до +50 °С), тому їх можна використовувати на вулиці. Ці елементи живлення безпечні: вони не загоряються та не вибухають при надмірній напрузі.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Літій-залізо-фосфатні акумулятори демонструють високу стійкість до надлишкового заряду та коливань в електромережі. Вони здатні витримувати піковий струм розряду до 25С, а також тривале перебування під впливом підвищеної напруги. Саморозряд протягом місяця становить всього 1,5%. Ці пристрої відзначаються довговічністю: їхній робочий цикл сягає 2000, а термін зберігання може становити до 15 років.

Літій-нікель-марганець-кобальт-оксидні (Li-NMC, NMC).

У Li-NMC акумуляторах катоди виготовляють з нікелю, марганцю та кобальту. Ключова ефективність досягається вдалим балансом між марганцем та нікелем. Марганець, зі своєю шпинельною структурою, хоч і збільшує внутрішній опір, а відтак і знижує енергетичну щільність, є досить стабільним. Нікель навпаки, менш стабільний, проте його енергетична щільність значно вища. Саме взаємна компенсація цих двох елементів забезпечує оптимальні робочі характеристики акумулятора, поєднуючи сильні сторони кожного з них.

1.2 Пристрої для тренування АКБ

Сучасні виробники електроніки пропонують схожі пристрої, проте вони, як правило, базуються винятково на аналогових компонентах і не можуть похвалитися такою ж гнучкістю, як пристрої, розроблені на основі мікроконтролерів.

Схема аматорського, аналогового пристрою, що використовується для ручної розробки акумулятора [10]. Схема наведена на рисунку 1.3.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

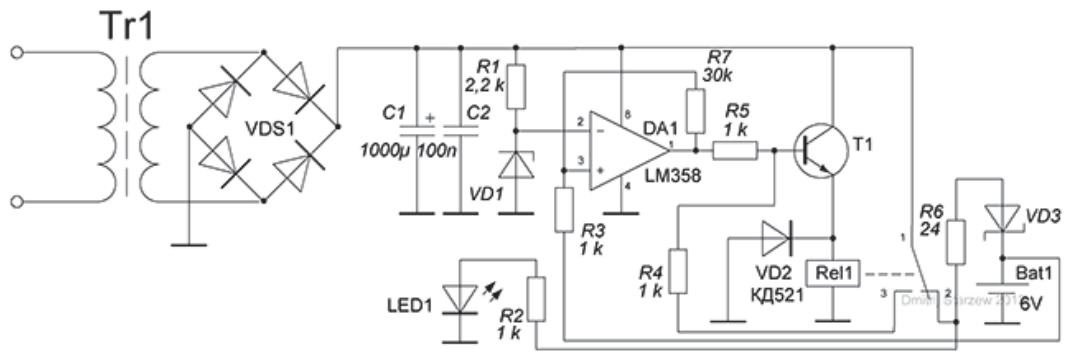


Рисунок 1.3 – Схема аналогового пристрою для ручного тренування батареї

Пристрій функціонує на основі ручного перемикаччя акумулятора між режимами розряджання та заряджання.

Перевагою цієї конструкції є її безперечна простота та низька вартість. Мінусом є ручне керування і відсутність захисту від надмірного розряджання акумулятора. Користувач повинен самостійно відслідковувати показник напруги на акумуляторі і вчасно перемикачти його з режиму розряду на заряджання. Має сенс виготовляти такий пристрій для тренувань на одну або дві батарейки, оскільки тренувальний процес забирає багато часу і вимагає постійного нагляду.

Автоматичний тренувальний пристрій АКБ [11]. Схема цього пристрою показана на рис. 1.4.

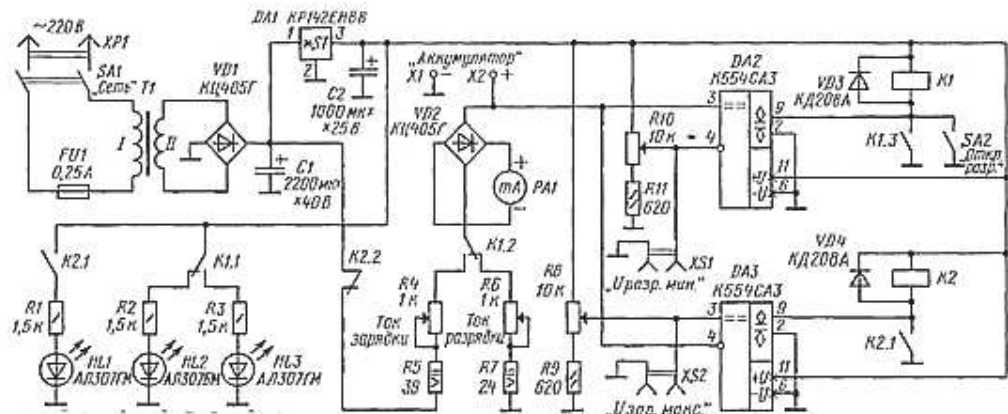


Рисунок 1.4 – Схема електрична принципова пристрою автоматичного тренування батареї

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Цей прилад передбачає тренування акумуляторів виключно в автоматизованому форматі.

Користувач власноруч налаштовує граничні значення напруги для заряджання та розряджання акумулятора. Для цього під'єднують вольтметр до контактів XS1 і, регулюючи змінний резистор R10, встановлюють найменшу напругу розряду. Далі, перепідключають вольтметр до XS2 і, змінюючи опір R8, налаштовують мінімально допустиму напругу заряджання.

До плюсів цієї конструкції слід віднести певну варіативність, якщо порівнювати з попереднім варіантом. Мінусами ж будуть відсутність індикатора, який показує актуальну напругу батареї, а також потреба у окремому вольтметрі для налаштування пристрою.

Зарядний пристрій Turnigy Fatboy 8 1300 Вт [12].

Цей пристрій, що випускається сингапурською компанією LEO Energy Pte Ltd., Revolectrix, стоїть окремо від аматорських схем. Розробник не публікує схему внутрішнього устрою пристрою і не пояснює принцип його роботи.

Зовнішній вигляд цього пристрою показаний на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 – Зарядний пристрій Turnigy Fatboy 8 1300W Workstion

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Цей апарат може заряджати та розряджати різноманітні акумулятори: нікель-кадмієві, літій-іонні, літій-полімерні, літій-марганцеві та свинцеві, що працюють від 6, 12 і 24 Вольт. Крім того, передбачено функцію збільшення циклів заряду-розряду акумулятора, хоча це, по суті, тренування для батареї: пристрій виконує стільки циклів, скільки вкаже користувач, не відстежуючи відновлення ємності акумулятора.

Переваги цього пристрою включають: різноманітність типів акумуляторів, що підтримуються, легкість в експлуатації, можливість встановлення декількох циклів розрядження та заряджання, а також наявність гарантійного сервісу.

Але, окрім переваг, цей пристрій має також низку недоліків, зокрема:

- низька надійність. Незважаючи на запевнення виробника, користувачі у своїх відгуках скаржаться на поломки пристрою вже після нетривалого періоду експлуатації;

- відсутність повністю автоматизованого режиму тренування акумулятора. Як згадувалось вище, користувач може встановити лише кількість циклів заряду-розряду, відсутня функція «виконувати цикли розряду-заряду до відновлення ємності батареї»;

- велике споживання енергії;

- досить висока вартість самого пристрою - \$199,95, плюс слід врахувати ціну плати з балансувальними роз'ємами, котру необхідно купувати окремо, і доставку з-за кордону, яка також влітає в копійчку через вагу пристрою, що сягає майже двох кілограмів.

Висновки до першого розділу

Проведено огляд типів акумуляторних батарей, їх різновиди та принцип роботи, а саме свинцево-кислотних – стартерних, AGM, гелевих;

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

літій-іонних – літій-кобальтових, літій-марганцевих, літій-полімерних, літій-залізо-фосфатних; нікель-кадмієвих; нікель-залізних.

Представлено інформацію про пристрої для тренування акумуляторних батарей, їх основні переваги та недоліки.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						20
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

2 РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ТРЕНУВАННЯ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ

2.1 Розробка структурно-функціональної схеми

Цей пристрій, відповідно до технічних умов, включає такі складові:

- мікроконтролер PIC18F452;
- панель керування;
- блок індикації;
- два перемикачі;
- роз'єм для з'єднання пристрою з генератором стабільного струму;
- гніздо для під'єднання акумулятора до приладу.

Мікроконтролер застосовується для обробки сигналів, які надходять від панелі управління, з метою фіксації та зберігання показників напруги акумулятора. Він здійснює аналіз отриманих даних і, враховуючи їх, вирішує, чи з'єднувати акумулятор з живленням або заземленням через резистор. Крім цього, його завданням є візуалізація інформації про напругу на семисегментному індикаторі та активація певного світлодіода, залежно від поточного етапу роботи.

Панель керування обладнана п'ятьма кнопками, кожна з яких надсилає такі команди мікроконтролеру:

- а) автоматичний режим (мікроконтролер визначає режим заряджання або розряджання, ґрунтуючись на поточній і попередній напрузі акумулятора). Якщо цю кнопку не активовано, функціонує ручний режим;
- б) режим заряджання (надсилає інструкцію мікроконтролеру активувати заряджання акумулятора; в автоматичному режимі недоступний);
- с) режим розряджання (аналогічна дія, як і в попередньому пункті);
- д) відображення поточного показника напруги на АКБ на семисегментному індикаторі;

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

е) візуалізує семисегментний індикатор, котрий показує тривалість процесу: скільки часу пройшло з моменту початку заряджання/розряджання батареї.

Два транзисторні ключі забезпечують живлення акумулятора для заряджання, використовуючи напругу живлення, або підключають його через резистор до землі для розряду. Управління відкриттям та закриттям цих ключів здійснюється мікроконтролером.

Індикаторний блок складається з семисегментного індикатора і трьох світлодіодів різних кольорів світіння.

Семисегментний індикатор показує поточне значення напруги акумулятора або час, що минув з моменту зарядки/розрядки акумулятора. Ця інформація надходить на індикатор від мікроконтролера.

Електрична структурна схема показана на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Схема структурна тренувального пристрою акумуляторної батареї

Три світлодіоди інформують користувача про активний режим роботи:

- 1) червоний – режим заряду;
- 2) жовтий – режим розряду;
- 3) зелений – неактивність пристрою.

Світлодіоди з'єднуються з мікроконтролером, і вмикаються за його розпорядженням.

2.2 Підбір елементної бази

Схема, що ґрунтується на мікроконтролері, демонструє більшу адаптивність у порівнянні з аналоговою електронікою. Завдяки цьому підходу, конфігурування функцій пристрою стає можливим без потреби в суттєвих змінах самої електричної схеми.

У таблиці 2.1 подано основні характеристики мікроконтролера PIC18F452 [7].

Таблиця 2.1

Основні характеристики мікроконтролера PIC18F452

Параметр	PIC18F452
Тактова частота	DC-40 МГц
Пам'ять програми (байти)	32 тис.
Пам'ять програм (інструкцій)	16384
Пам'ять даних (байти)	1536
Пам'ять даних EEPROM (байти)	256
Джерела переривання	17
Порти вводу/виводу	ПОРТ А, Б, В, Г, Е
Таймери	4
Модуль ККТ	2

Послідовні інтерфейси	MSSP на адресу USART
Паралельні інтерфейси	ПСП
10-розрядний модуль АЦП	8 каналів
Скинути	POR, BOR, RESET команда, переповнення стека, вичерпання стека (PWRT, OST)
Програмований детектор зниженої напруги	+
Програмоване зниження напруги живлення (BOR) Скидання	+
Команди мікроконтролера	75
Корпус	40ДПП

Опір резистора R15, через який проходить струм розряду акумуляторної батареї, обчислювали за формулою (1).

$$R = \frac{U}{I_{розр}}, \quad (2.1)$$

де U – напруга акумуляторної батареї;

$I_{розр}$ – струм розряду.

Струм розряду для акумулятора на 4,5 вольта мусить бути в районі 90 мА, а отже:

$$4,5\text{В}/0,09\text{А}=50(\text{Ом}).$$

З резисторів, що зараз пропонуються, найближче до потрібного значення опору має опір 51 Ом.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потужність резистора визначається за формулою:

$$P = I^2 R, \quad (2.2)$$

$$0.092 * 51 = 0,4131 \text{Вт}$$

Підійдуть резистори з потужністю 0,5 Вт і вище. Обрано резистор CF-50 - 0,5 - 51 Ом + 5%.

Аналогічно було розраховано і інші резистори.

2.3 Розробка схеми електричної принципової

Схема електрична принципова тренувального пристрою акумуляторної батареї показана на рисунку 2.2.

Панель керування реалізована на основі п'яти кнопок тактування SDTX-210-N, котрі з'єднані з портом С мікроконтролера. Заземлення забезпечується через резистори CF-25, кожен з яких має номінальний опір 430 Ом.

Індикаційний блок містить семисегментний індикатор

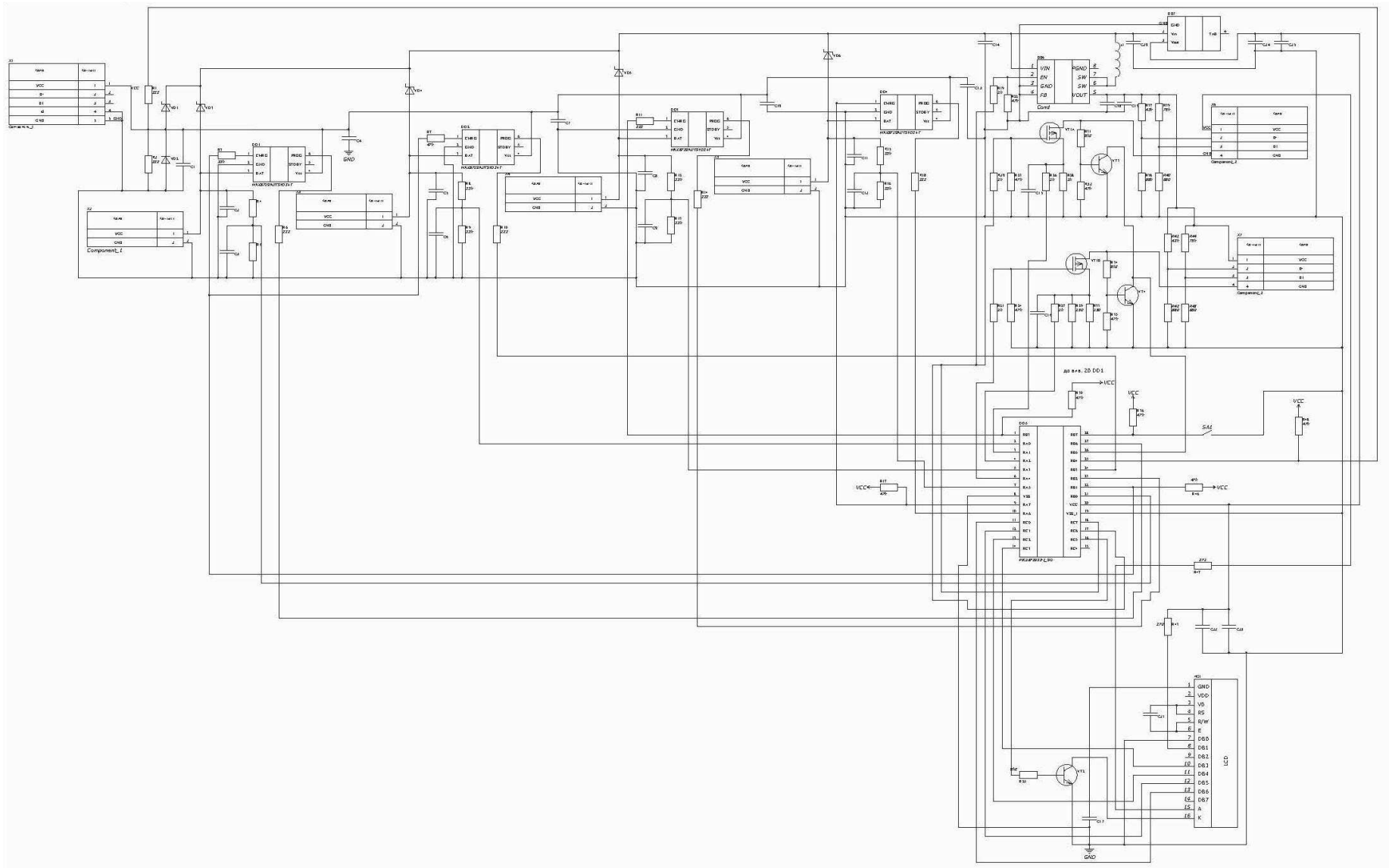
HDSP-433G від Agilent Led Display та три світлодіоди. Індикатор приєднується вісьмома виводами (сім сегментів та крапка) до порту В мікроконтролера через резистори CF-25, а трьома контактами (керування кожним розрядом індикатора) до порту Е.

Світлодіодні:

1. Червоний – L-1344IT.
2. Жовтий – L-1344YD.
3. Зелений – L-1344GT.

Світлодіоди під'єднуються анодами до порту D мікроконтролера, а катоди з'єднуються із землею через резистори CF-25.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунк 2.2 – Схема електрична принципова тренувального пристрою акумуляторної батареї

Два перемикачі для підключення акумуляторної батареї до джерела живлення або землі реалізовані на транзисторах VT1 - KT816A та VT2, VT3 - KT815Г.

Транзистор VT1 керується аналоговим виводом мікроконтролера через регулювання резистора R6-PV32P502. У відкритому стані він пропускає струм живлення акумулятора, отже, забезпечує його заряджання.

Транзистор VT3 також контролюється аналоговим портом мікроконтролера, використовуючи підлаштовчий резистор R4, котрий відповідає R6. Коли VT3 відмикається, база VT2 з'єднується з землею через резистор R14, аналог CF-25, що має опір 430 Ом. Це забезпечує відкриття VT2, дозволяючи струму з акумулятора проходити через резистор R15 та стікати в землю. Відтак, акумулятор розряджається.

Резистор R1, маркований як CF-25 з номінальним опором 10 кОм, під'єднаний до блоку живлення та входу MCLR мікроконтролера, виконує функцію придушення перешкод, що впливають на коректне функціонування контролера.

Кристалічний резонатор HC-49U з'єднується з виводами мікроконтролера OSC1 та OSC2.

Підвищувальний перетворювач постійної напруги.

На рисунку 2.3 зображено підвищувальний перетворювач постійної напруги (ППН), на рисунках 2.4 та 2.5 наведено графіки роботи в різних режимах.

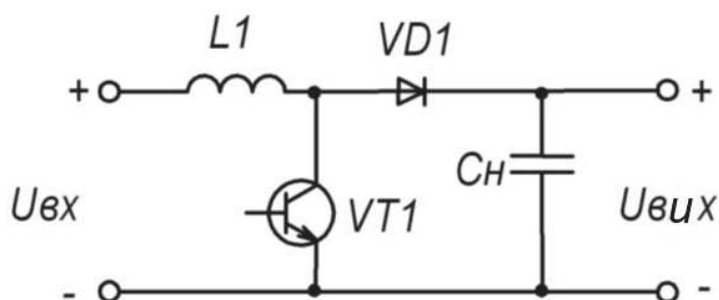


Рисунок 2.3 – Підвищувальний перетворювач постійної напруги

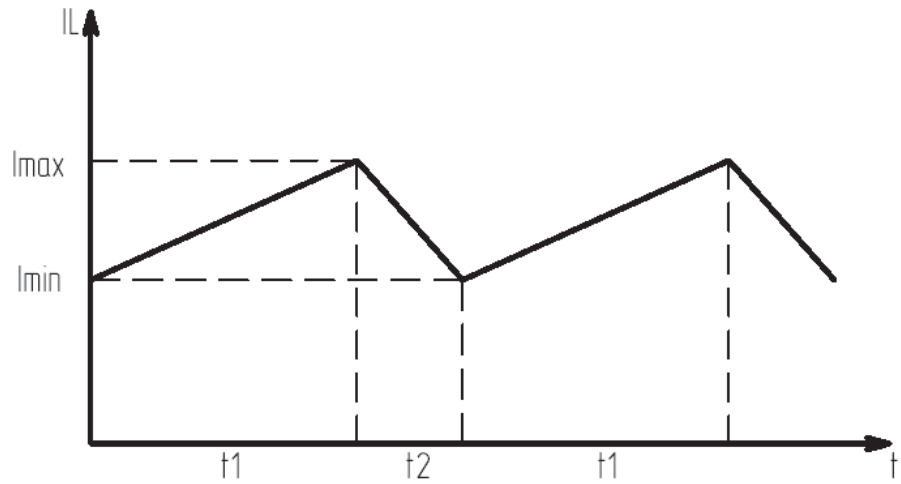


Рисунок 2.4 – Графіки безперервних струмів

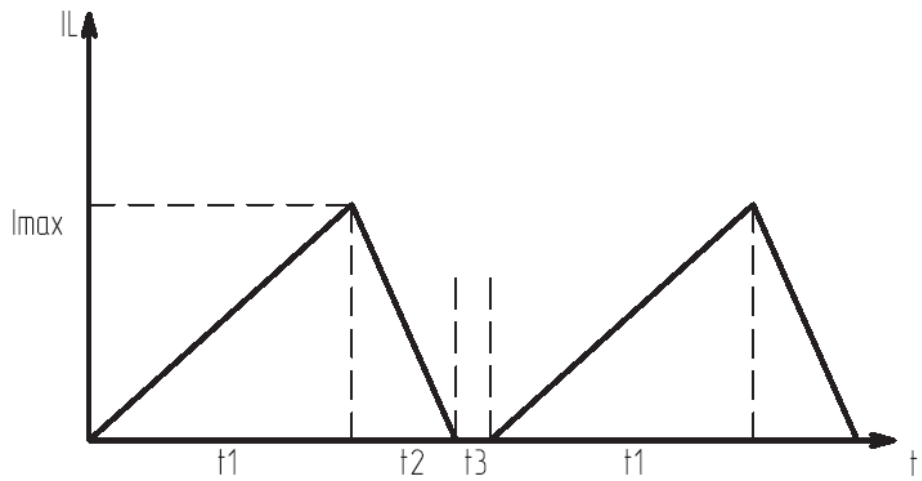


Рисунок 2.5 – Графіки переривчастих струмів

Понижувальний перетворювач постійної напруги.

На рисунку 2.6 представлений понижувальний перетворювач постійної напруги, рисунку 2.7 – його графіки.

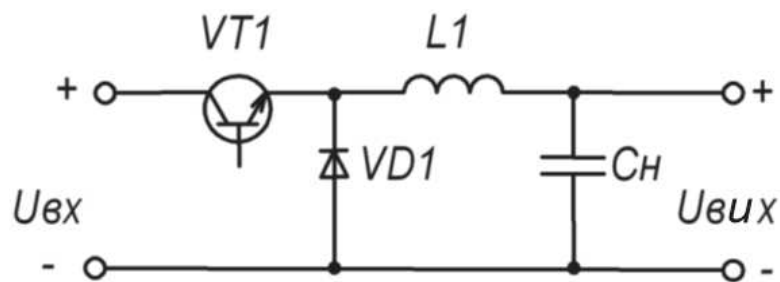


Рисунок 2.6 – Понижувальний перетворювач постійної напруги

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

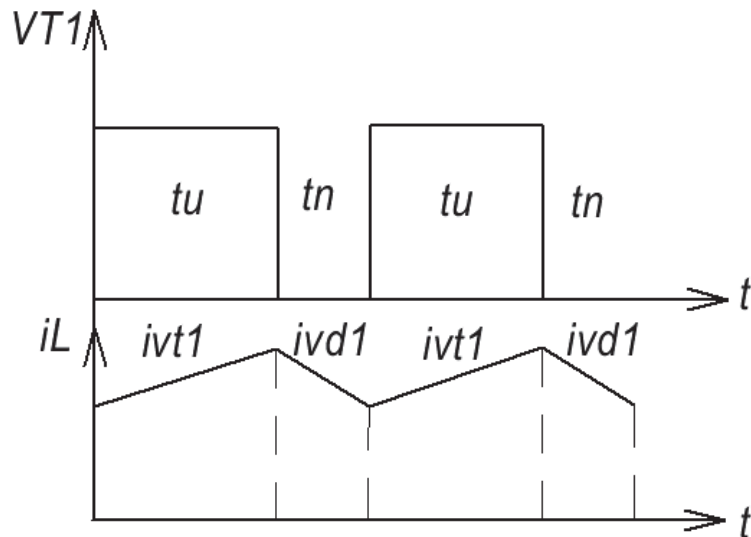


Рисунок 2.9 – Графіки роботи понижувального перетворювача постійної напруги

У першій фазі процес триває протягом часу t_u . Транзистор $VT1$ перебуває у відкритому стані та проводить струм i_{vt1} , що прямує від $U_{вх}$ до конденсатора навантаження крізь індуктивність $L1$. Струм проходить ланцюгом $U_{вх} - VT1 - L1 - C_n$, заряджаючи конденсатор C_n . У другій фазі транзистор закривається, і енергія з дроселя переходить на навантаження. З плином певного часу транзистор t_n знову відкривається, і цикл повторюється.

2.4 Розміщення компонентів на друкованій платі пристрою

Елементи на друкованій платі були зорієнтовані з найбільшою ретельністю (рис. 2.10), прагнучи звести до мінімуму довжину провідників, які з'єднують ці елементи. Це гарантувало оптимальне функціонування з'єднань.

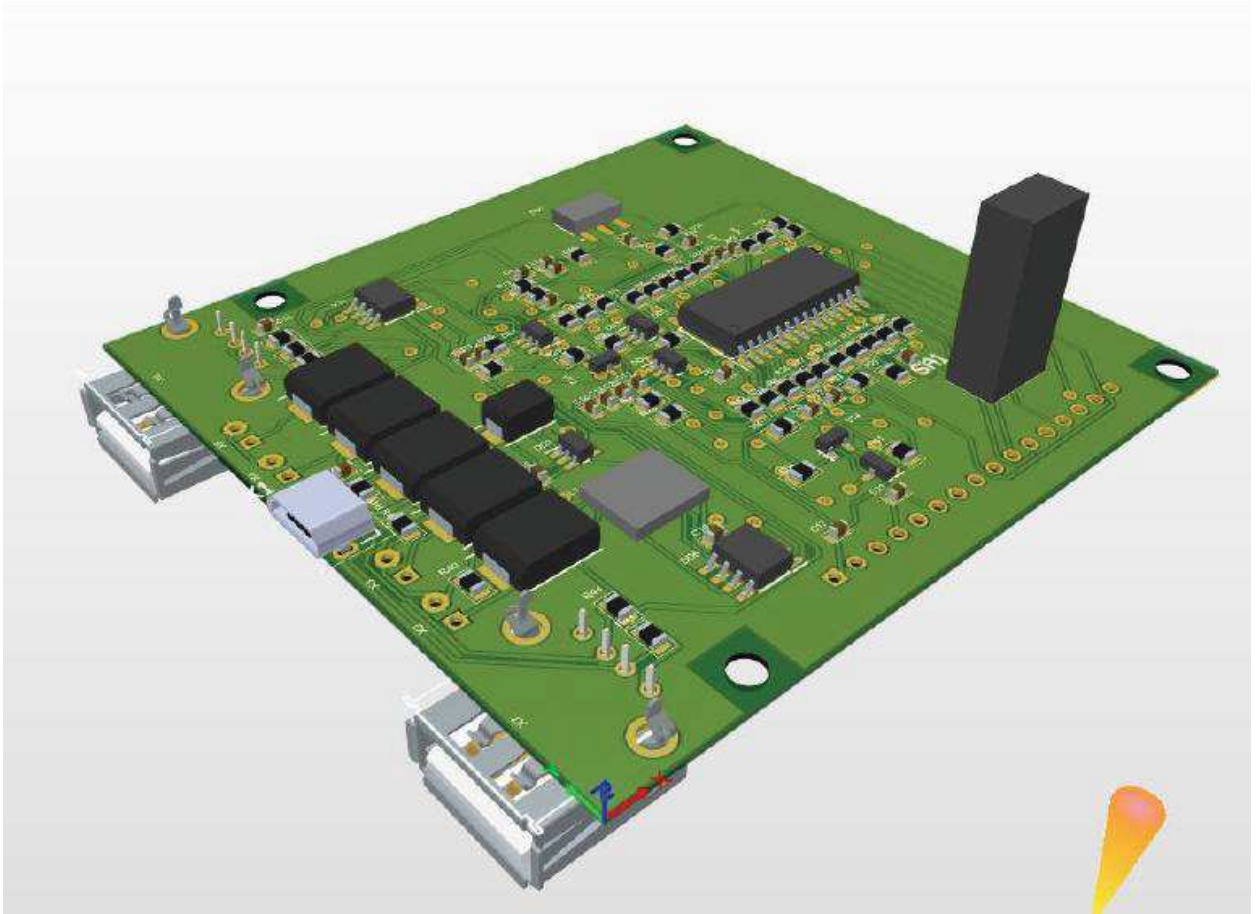


Рисунок 2.10 – Плата пристрою для автоматизованого тренування акумуляторних батарей

Мікроконтролер займає центральне положення на платі, а індикаційна частина та блок керування знаходяться з правого боку.

Семисегментний індикатор розміщено у верхньому правому куті плати, тоді як перемикачі годинника – у нижньому правому.

Конденсатори, котрі забезпечують живлення мікроконтролера, розміщені в безпосередній близькості від контактів VDD та VSS мікроконтролера.

З лівого краю плати розташовані конектори для з'єднання з блоком живлення та батареєю, поряд з резисторами і транзисторами, крізь котрі проходять потоки заряджання та розряджання.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.5 Розробка конструкції друкованої плати

Конструкція реалізована на друкованій платі з габаритами 100x80 (рис.2.11).

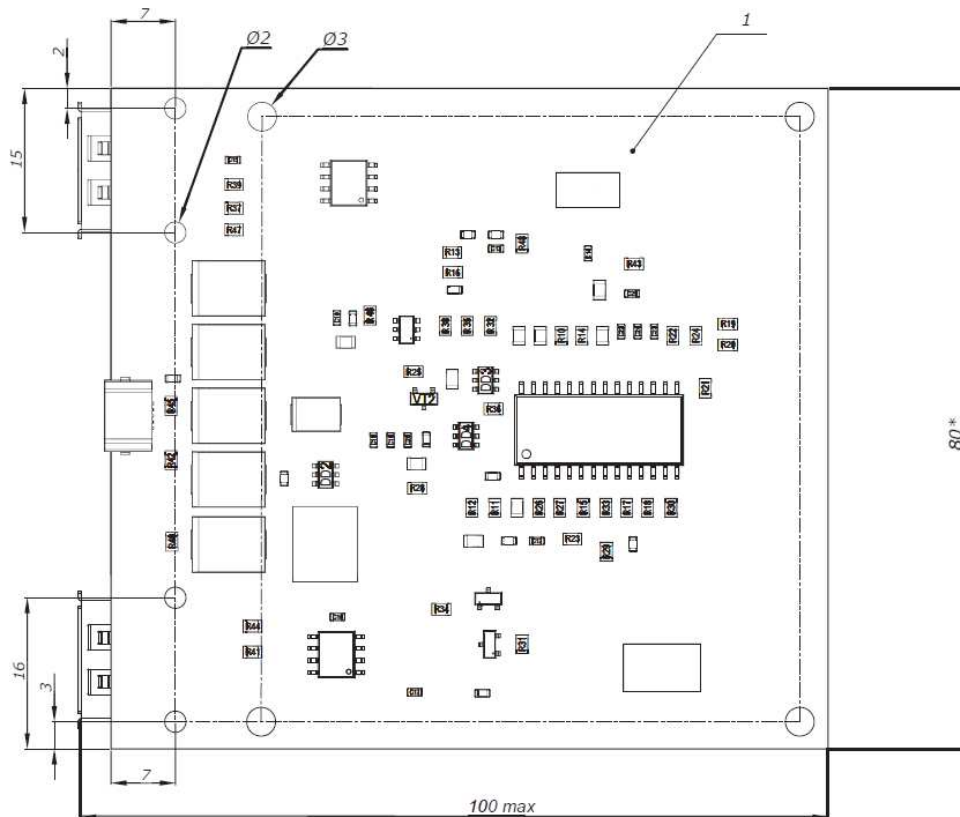


Рисунок 2.11 – Конструкція друкованої плати пристрою для автоматизованого тренування акумуляторних батарей

Щит виготовлено з двобічного склопластику СФ2-35-1,5. Скловолокно вказаної марки відоме своєю високою міцністю. Товщина друкованої плати складає 1,5 мм, а найменша дистанція між провідниками - 0,4 мм. Плата має бути зроблена комбінованим способом, з інтервалом між координатними сітками у 2,5 мм. Для пайки слід застосовувати припій ПОС61. На друкованій платі передбачено покриття навколо отворів для кріплення штифтових компонентів.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

31

Плата створювалась в середовищах P-CAD та AutoCAD. В P-CAD відбувалося розташування компонентів та розкладка друкованої плати. Розведення доріжок здійснив автоматичний трасувальник Quick Route, а також ручне з дотриманням найменших габаритів контактних площадок та струмопровідних доріжок і інтервалів між ними. Далі в AutoCAD було змальовано контур плати.

2.6 Розробка алгоритму програми мікроконтролера

Нижче подано спрощений алгоритм функціонування програми мікроконтролера.

(а) Цикл розряду:

1) активувати транзистор VT1 та деактивувати транзистор VT2, подавши логічний рівень на аналогові виводи мікроконтролера A0 та A1;

2) утримуйте рівень логічного сигналу на контактах протягом 10 хвилин;

3) виміряйте показник напруги на контакті A2. Якщо U перевищує 3,6В, повторно виконайте пункт I-2. Якщо U дорівнює 3,6В, припиніть розряд.

б) Цикл заряджання:

1) замкнути транзистор VT1 та відімкнути VT2, подавши логічний "0" на аналогові виводи мікроконтролера A0 та A1;

2) утримувати нульовий рівень на виводах впродовж 10 хвилин;

3) зчитуйте показники напруги з контакту A2. У випадку, якщо U дорівнює 4,5 В, зупиніть процес заряджання. Якщо ж U є меншим за 4,5 В, зафіксуйте значення напруги у пам'яті та переходьте до виконання кроку II-4;

4) утримуйте логічний нуль на контактах протягом періоду в 10 хвилин;

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5) визначте величину напруги, зіставте її з попереднім показником, зафіксуйте поточне значення у пам'яті. У випадку зростання напруги, повторюємо процедуру, починаючи з пункту II-4. В іншому випадку припиняємо процес заряджання, остаточний зафіксований показник напруги розглядаємо як стабілізований.

в) Автоматичний режим:

1) спочатку виконати цикл розряджання, після цього - цикл заряджання;

2) зафіксувати стабілізовану напругу.

3) здійснити цикл розряджання, після чого - цикл заряджання;

4) зіставити новоотримане значення стабілізованої напруги з попереднім. У випадку, коли воно зросло, повторити виконання пункту III-3. У разі відсутності зростання, зупинити автоматичний режим.

У ручному режимі цикли розряду та заряду є цілком самостійними, і ними керує користувач безпосередньо з панелі управління.

Висновки до другого розділу

Було розроблено структурно-функціональну схему, на базі якої була також розроблена схема електрична принципова пристрою для автоматизованого тренування акумуляторних батарей.

Проведено підбір елементної бази та розроблена конструкція друкованої плати з розміщенням компонентів на ній.

Також було розроблено алгоритм програми мікроконтролера пристрою для автоматизованого тренування акумуляторних батарей.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРАХУНКИ ПРИСТРОЮ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ТРЕНУВАННЯ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ

3.1 Розрахунок силової частини схеми

Силу частину схеми представлено на рис. 3.1. Задачі силової частини – комутація первинних напівобмоток трансформатора TV2. У випадку відсутності напруги в мережі, транзистори VT1 та VT2 по черзі активуються, забезпечуючи подачу живлення з акумуляторної батареї (вивід GB) на первинні напів-обмотки трансформатора. На нижній вторинній обмотці трансформатора TV2 (розташованого зліва) виникає змінна напруга. Далі ця напруга випрямляється діодним мостом, а її пульсації зменшуються завдяки фільтру L1-C6, C7. Верхня вторинна напівобмотка виконує функцію створення керуючих імпульсів для оптотиристора VU1. Через цей оптотиристор навантаження отримує згладжену напругу постійного струму.

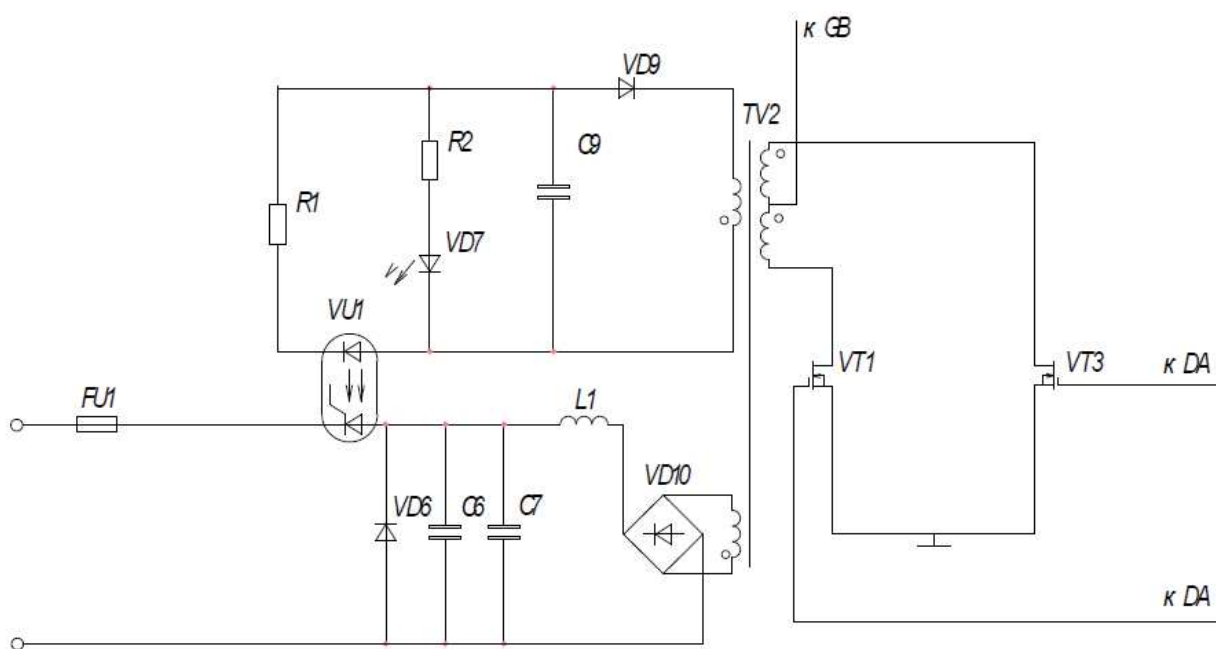


Рисунок 3.1 – Схема принципова силової частини

При виникненні напруги в мережі транзистори припинять відкриватися по черзі, на оптотиристор VU1 не надходитимуть імпульси, він закриється, і навантаження буде від'єднано від виходу випрямляча. Цей процес організовано таким чином, щоб змінна напруга, яка подається на навантаження в цей момент, не потрапила на коротко через випрямний міст.

Доберемо величину вихідного струму так, щоб напруга на вторинній силовій обмотці трансформатора була приблизно рівна випрямленій напрузі у 220 В, яка зазвичай подається на вхід блоку живлення комп'ютера. У розрахунку враховуватимемо значення потужності у 500 Вт, що визначене в поставленому завданні.

$$U_2 = \frac{P_{вих}}{I_{вих}} = \frac{500}{1,6} = 312,5В, \quad (3.1)$$

де $P_{вих}$ – задана потужність, Вт.

Наведемо ККД трансформатора і втрати на напівпровідникових приладах (випрямному мосту і тиристорах) $\eta = 0,8$:

$$P_1 = \frac{P_{вих}}{\eta} = \frac{500}{0,8} = 625Вт, \quad (3.2)$$

де η – ККД.

Тоді на кожну з половин первинної напівобмотки буде потужність:

$$P_{1нап} = \frac{P_1}{2} = \frac{625}{2} = 312,5Вт, \quad (3.3)$$

де P_1 – потужність первинної напівобмотки, Вт.

Струм транзисторів VT1 і VT3:

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{VT1} = I_{VT1} = \frac{P_{1nan}}{U_{AKB}} = \frac{312,5}{12} = 26,04 A, \quad (3.4)$$

де P_{1nan} – потужність, яка розрахована в формулі вище, Вт;

U_{AKB} – напруга акумулятора, В.

Були обрані транзистори VT1 і VT3 типу IRFZ44E [9], розраховані на напругу 60 В, струм 48 А з опором каналу 23 мОм.

Вольт-амперні характеристики показані на рисунку 3.2.

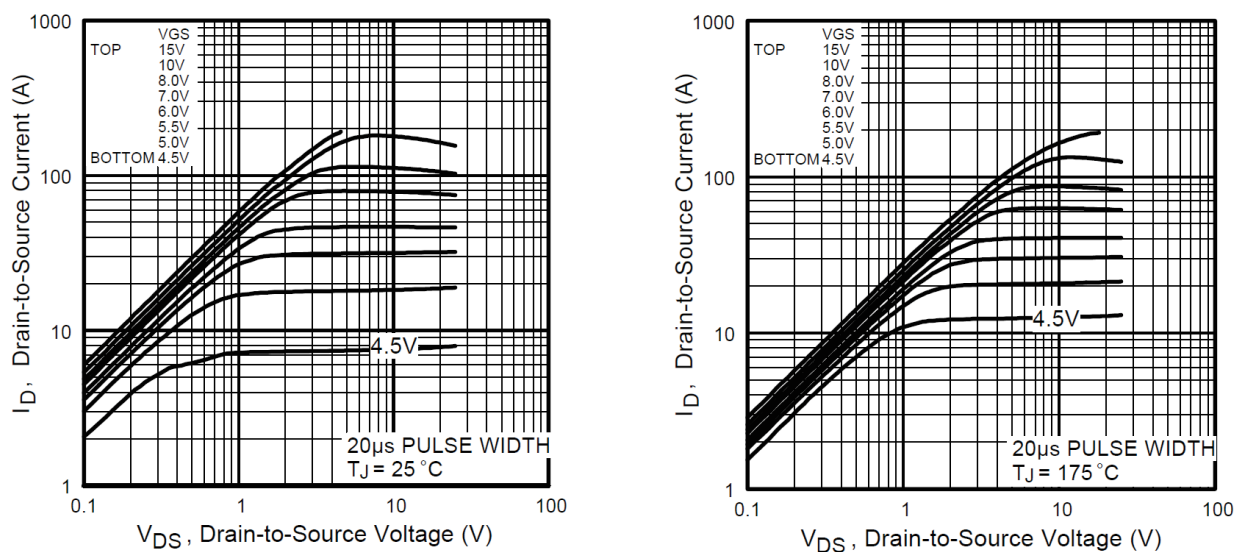


Рисунок 3.2 – ВАХ транзистора IRFZ45E

Для розрахунку трансформатора ми застосували спеціальний онлайн-сервіс. Обрані параметри:

Магнітний сердечник – кільцевий тип: 60x40x10 мм (зовнішній діаметр, внутрішній діаметр, висота) [11].

Первинна напівобмотка: 5 витків дротом діаметром 3,6 мм.

Силова вторинна обмотка: 120 витків дротом діаметром 0,7 мм.

Був обраний діодний міст типу 4GBU04. Вісь розрахована на напругу 400 В, струм 4А [13, 14].

Струм, що прямує після мосту, проходить через опотиристор VU1. Ми зупинили свій вибір на опотиристорі моделі TO125-12,5-4. Цей

оптотиристор спроможний витримати напругу до 400 В, а силу струму – до 12,5 А. Струм керування дорівнює 200 мА [12].

В якості захисного елемента використовуємо запобіжник FU1 типу ВП4-4, на струм 2А.

В якості захисного діода VD6 був обраний тип 1N5404 [13]. Діод розрахований на зворотну напругу 400В; струм – 3А.

Ємність С6 взята з типу К50-35-100мкФ, розрахованого на 350 В. Це конденсатор електролітичного зразка, під час роботи з ним слід пам'ятати про полярність.

Активний опір навантаження:

$$R_d = \frac{U_d}{I_d} = \frac{315}{1,6} = 196,875 \text{ Ом}, \quad (3.5)$$

де U_d – напруга навантаження, В;

I_d – струм навантаження, А.

Індуктивність дроселя L1:

$$L_1 = \frac{2 \cdot R_d}{\omega \cdot m \cdot (m^2 - 1)} \cdot \frac{I_d}{\Delta I} = \frac{2 \cdot 196,875}{314 \cdot 2 \cdot (4-1)} = \frac{393,75}{1884} = 0,2 \text{ Гн}, \quad (3.6)$$

де R_d – опір навантаження, Ом;

ω – частота мережі;

m – число пульсацій випрямленої напруги;

$I_d / \Delta I$ – відношення значення пульсацій струму, згідно з розрахунковим методом, прийняте в діапазоні (0,1...0,25).

Була обрана індуктивність L1 типу В82111-Е-С22.

Знайдемо ємність конденсатора С7:

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$L_7 = \frac{1+q}{\omega^2 \cdot m^2 \cdot L_1} \cdot \frac{U_d}{\Delta U} = \frac{1+0,057}{314^2 \cdot 4 \cdot 0,2 \cdot 0,3} = 44 \text{ мкФ}, \quad (3.7)$$

де q – коефіцієнт пульсації напруги;

L – значення індуктивності дроселя L_1 .

Обрали: С7 : К10 – 17Б – 47 мкФ.

Коли напруга в мережі знижується і акумулятор перебирає на себе роботу, засвічується світлодіод VD7. Ми використали червоний світлодіод, модель КА-3020ЕС. Споживання струму: 20 мА.

Для установки сили струму використовувався баластний резистор R2.

$$R_2 = \frac{12 - U}{I_{IP}} = \frac{12 - 1.8}{20 \cdot 10^{-3}} = 560 \text{ Ом}, \quad (3.8)$$

де U – падіння напруги на діоді, В;

I_{IP} – струм, А.

Обрали R2: МЛТ- 0.5 Вт і 1 кОм [5].

Був обраний електролітичний конденсатор типу С9: К50-35 на 1000мкФ х 16 В [7].

Ми вибрали VD9 типу 1N4148 з прямим струмом 150 мА і зворотною напругою 200 В.

Розрахуємо R1:

$$R_1 = \frac{12 - U_{VD1}}{I_1} = \frac{12 - 2.5}{0.15} = 63.3 \text{ Ом}, \quad (3.9)$$

де U_{VD1} – напруга розблокування, В;

I_1 – струм світлодіода оптодіоду, А.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Розробка та розрахунок системи керування

Центральним компонентом системи керування буде мікросхема TL494CN. Це популярний ШІМ-контролер, спроектований для побудови джерел живлення. Даний чіп є найбільш поширеним у блоках живлення для комп'ютерів. Його внутрішня структура продемонстрована на рисунку 3.3, а функціональне призначення контактів подано на рисунку 3.4. Застосовуватимемо цю мікросхему згідно з її описом, що міститься у [11].

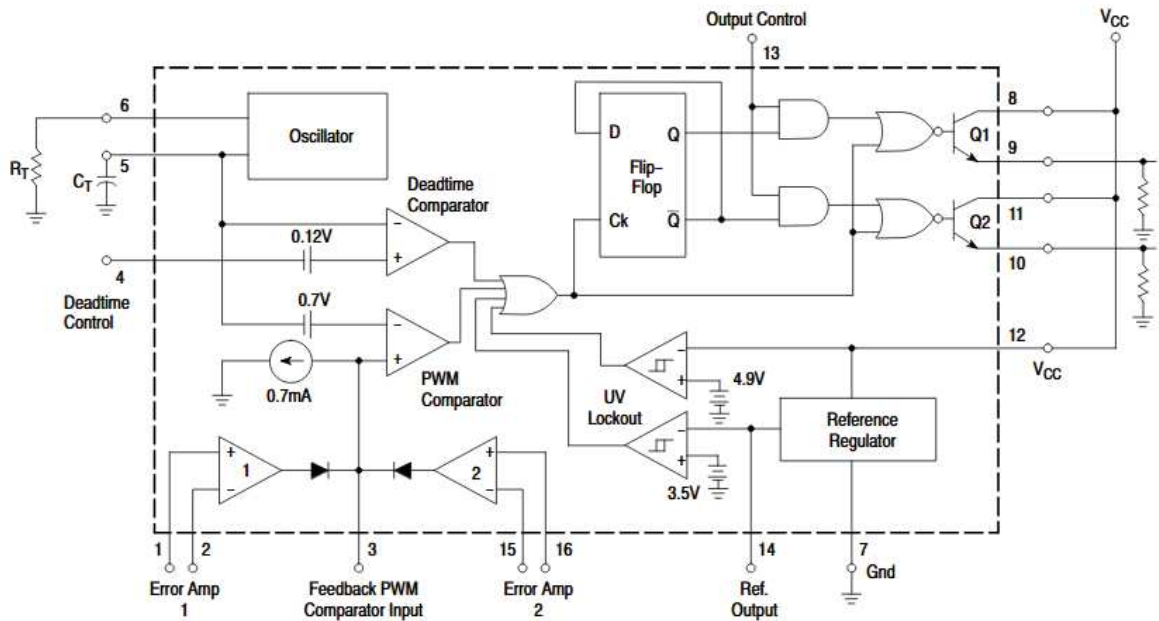


Рисунок 3.3 – Внутрішня будова мікросхеми TL494CN

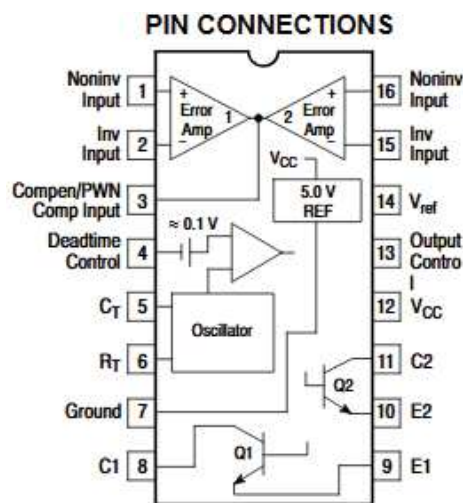


Рисунок 3.4 – Функціональне призначення контактів мікросхеми TL494CN

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

TL494 не тільки має у своєму складі ключові вузли, що необхідні для контролю імпульсним блоком живлення, але й розв'язує чимало базових проблем та зменшує обсяг додаткових схем, потрібних при розробці пристрою. TL494 — це мікросхема керування з фіксованою частотою та широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ). Модуляція вихідних імпульсів здійснюється порівнянням пілкоподібного сигналу, створеного внутрішнім генератором на синхронізуючому конденсаторі (СТ), з одним із двох керуючих сигналів. Якщо керуючий сигнал стає вищим, вихідний імпульс звужується; і навпаки, якщо керуючий сигнал стає нижчим, вихідний імпульс розширюється. Відтак, тривалість вихідного імпульсу зменшується. Керуючий D-тригер по чергово розподіляє модульований імпульс на кожний з двох вихідних транзисторів.

Джерело опорної напруги.

TL494 володіє інтегрованим еталонним джерелом напруги 5 В, що доступне на контакті REF. Окрім забезпечення опорної напруги, це джерело постачає живлення для схеми керування, D-тригера, генератора, компаратора мертвого часу та ШІМ-компаратора [5].

Стабілізатор застосовує безступеневу смугу пропускання, як головний орієнтир, щоб утримувати термічну стабільність нижче 100 мВ у робочому діапазоні температур повітря від 0°C до 70°C. Захист від короткого замикання важливий для забезпечення безпеки джерела опорної напруги; Для додаткових схем зсуву доступний струм навантаження у 10 мА [14]. Внутрішнє значення запрограмоване на початкову точність $\pm 5\%$ та підтримує стабільність менше 25 мВ при вхідній напрузі від 7 В до 40 В. Коли вхідна напруга менше 7 В, регулятор насичується в межах 1 В на вході, здійснюючи контроль над ним [5].

Генератор.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Генератор виводить позитивний сигнал пілкоподібної форми на компаратори мертвого часу та ШІМ для порівняння з різними сигналами керування.

Керування часом затримки.

Вхід керування мертвим інтервалом визначає найкоротшу тривалість мертвого часу (час блокування). Вихід компаратора блокує перемикання транзисторів Q1 та Q2 [10, 14], якщо вхідна напруга перевищує лінійну напругу генератора. Внутрішнє зміщення 110 мВ забезпечує мінімальний мертвий час приблизно 3% за умови, що контакт DTC з'єднано із землею. У разі подачі напруги на контакт DTC, тривалість мертвого часу збільшується. Це забезпечує можливість лінійної зміни тривалості мертвого часу. Діапазон - від мінімальних 3% до 100%, залежно від зміни вхідної напруги. Вхідна напруга змінюється від 0 В до 3,3 В. Вхід керування мертвим часом (DTC) має високий опір ($I < 10 \text{ мкА}$). Він призначений для використання у випадках, коли потрібно додаткове регулювання робочого циклу. Правильне керування вимагає підключення цього контакту або до живлення, або до землі. Розрив у ланцюзі в цьому випадку призведе до невизначеного стану [5].

Компаратор.

Компаратор схильний до зсуву відносно джерела опорної напруги. Це гарантує ізоляцію від вхідного джерела живлення, підвищуючи стабільність роботи. Вхідні характеристики компаратора не передбачають гістерезис, тож необхідний захист від небажаних спрацьовувань поблизу порогу перемикання. Час реакції компаратора становить 400 нс з будь-якого з входів керування до вихідних транзисторів при перевантаженні лише на 100 мВ. Завдяки цьому забезпечується позитивне регулювання вихідного сигналу в напівперіод для ефективної роботи у рекомендованому діапазоні частот 300 кГц.

Широтно-імпульсна модуляція (ШІМ).

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Компаратор додатково регулює тривалість вихідного імпульсу. Для цього лінійно наростаючу напругу з синхронізуючого конденсатора СТ зіставляють із керуючим сигналом, який надходить з виходу підсилювачів похибки. Вхід КТ з'єднується через послідовний діод, котрий не присутній на вході керуючого сигналу. Це вимагає, щоб керуючий сигнал, що генерується виходом підсилювача помилки, мав напругу приблизно на 0,7 В вищу, ніж на виводі Т. Така умова потрібна для блокування логіки виходу, забезпечуючи максимальний цикл роботи без необхідності зменшувати керуючу напругу до потенціалу землі. Ширина вихідного імпульсу варіюється в діапазоні від 97% періоду до 0%, коли вихідна напруга похибки підсилювача змінюється від 0,5 В до 3,5 В [12, 13].

Підсилювачі помилок.

Обидва підсилювачі помилок, що мають великий коефіцієнт підсилення, живляться напругою зміщення від шини живлення VI. Вони функціонують як однополярні підсилювачі з несиметричним виходом, адже кожен з них активний лише тоді, коли вихідний сигнал знаходиться на високому рівні [6].

Це дає змогу кожному підсилювачу функціонувати автономно, мінімізуючи тривалість вихідного імпульсу. При об'єднанні обох вихідних сигналів за логікою АБО на інвертуючому вході ШІМ-компаратора переважає підсилювач, котрий потребує найкоротшого вихідного імпульсу. Виходи підсилювачів під'єднуються до низького рівня за допомогою генератора струму, щоб гарантувати максимальну ширину імпульсу у випадку вимкнення обох підсилювачів.

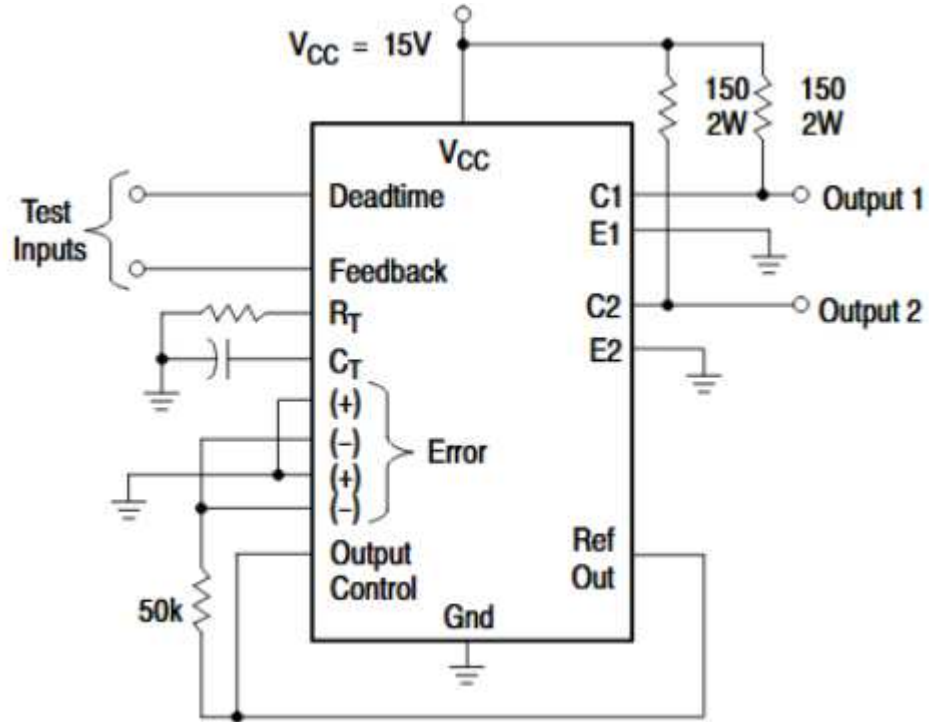
Керування виходом (OUTPUT CTRL).

Контакт OUTPUT CTRL встановлює режим роботи вихідних транзисторів: паралельний або двотактний. Цей вхід одночасно живить D-тригер, будучи джерелом його живлення. Контакт OUTPUT CTRL

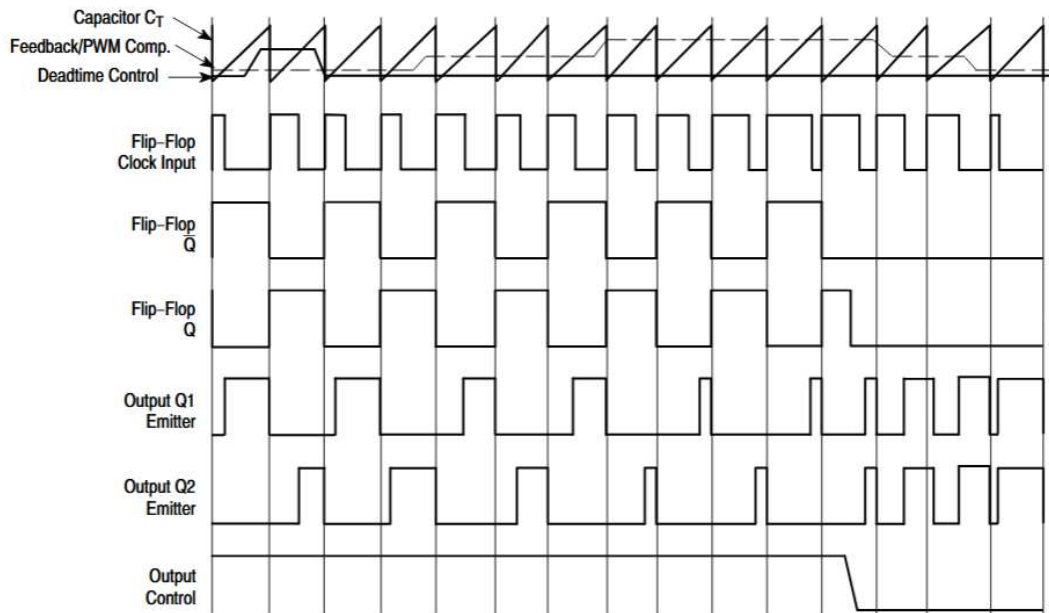
					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

функціонує асинхронно, напряму впливаючи на вихідний сигнал, оминаючи генератор та D-тригер [5].

Мінімальна схема включення мікросхеми та її часові діаграми наведені на рисунку 3.5.



а) мінімальна схема включення



б) часові діаграми роботи

Рисунок 3.5 – Роз'яснення роботи мікросхеми TL494

Вхідні умови мають бути чітко зафіксовані та визначені у заявці. Для забезпечення паралельної роботи вихідних транзисторів, ВИХІД CTRL потрібно заземлити. Це призведе до відключення D-тригера та його виходів. У такому режимі імпульси, які реєструються на виході компаратора мертвого часу/ШІМ, передаються через обидва вихідні транзистори паралельно. Для роботи у режимі Push-Pull, контакт OUTPUT CTRL необхідно підключити до еталонного пристрою з напругою 5 В.

Вихідні транзистори.

TL494 оснащено двома вихідними транзисторами. Обидва транзистори сконструйовані як відкритий колектор/відкритий емітер, і кожен може як віддавати, так і споживати струм до 200 мА. Напруга насичення транзисторів становить менше 1,3 В в конфігурації із спільним емітером та менше 2,5 В в конфігурації емітерного повторювача. Виходи захищені від перевантаження, що допомагає запобігти поломкам, але не мають достатнього обмеження струму, аби використовувати їх як виходи струму [6].

Згідно з описаною вище мікросхемою, було спроектовано систему управління, що зображена на рисунку 3.6.

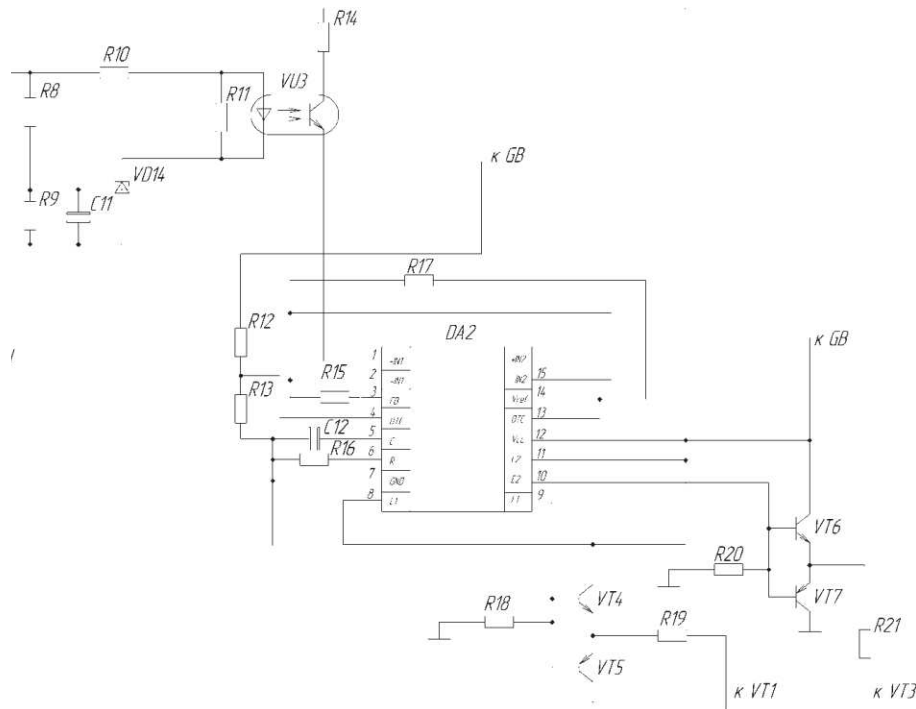


Рисунок 3.6 – Розроблена схема системи керування

Для зворотного зв'язку ми вибрали оптрону VU3 від PC817 [14].

Нехай струм фотопари PC817 дорівнює 10 мА [19].

Тоді опір R10 дорівнює:

$$R_{10} = \frac{U_{вих}}{I_{вихVU3}} = \frac{315}{10 \cdot 10^{-3}} = 31.5 \text{ Ом}, \quad (3.10)$$

де $U_{вих}$ – вихідна напруга, В;

$I_{вихVU3}$ – струм оптопары VU3, А.

Величина R8:

$$R_8 = \frac{U_{вих} - U_{R9}}{I_{R8}} = \frac{315 - 2.5}{1 \cdot 10^{-3}} = 312.5 \text{ Ом}, \quad (3.11)$$

де $U_{вих}$ – вихідна напруга, В;

I_{R8} – струм резистора R8, А;

U_{R9} – напруга на резисторі R9, В.

Обираємо R8 з [18] – PVZ3A334.

Розраховуємо величину опору R9:

$$R_9 = \frac{U_{R9} \cdot R8}{U_{вих} - U_{R9}} = \frac{2.5 \cdot 312.5 \cdot 10^3}{315 - 2.5} = 2.5 \text{ кОм}, \quad (3.12)$$

де R8 – опір резистора, Ом.

Обираємо C11: K10-17A-H90-0,1 мкФ.

Значення напруги буде задаватися дільником резисторів R12 і R13.

Опір R13 становить 3 кОм. Тоді:

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_{12} = \frac{R_{13} \cdot (U_{AKB} - U_{R13})}{U_{R13}} = \frac{3 \cdot 10^3 \cdot (15 - 5)}{5} = 6 \text{кОм}, \quad (3.13)$$

де $R_{13} = 3 \text{кОм}$;

U_{AKB} – напруга акумулятора, В;

U_{R13} – напруга на резисторі R13, В.

Частота TL494 задається зовнішнім RC-ланцюгом.

Припустимо, нам потрібна частота 100 кГц. Дамо R16 рівним 10 кОм.

Розрахуємо C12:

$$C_{12} = \frac{1.1}{f \cdot R_{16}} = \frac{1.1}{100 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^3} = 1.1 \text{нФ}, \quad (3.14)$$

де f – частота, Гц;

U_{AKB} – напруга акумулятора, В;

R16 – опір резистора, Ом.

Розрахуємо R14:

$$R_{14} = \frac{U_{AKB}}{I_{вихVU3}} = \frac{12}{50 \cdot 10^{-3}} = 240 \text{Ом}, \quad (3.15)$$

де $I_{вихVU3}$ – вихідний струм оптопарі VU3, А.

До складу мікросхеми входить операційний підсилювач [16]. Для його використання ми будемо використовувати елементи R15 і R17.

Візьмемо R17 = 10 кОм. Тоді R15:

$$R_{15} = R_{17} \cdot K = 10 \cdot 10^3 \cdot 20 = 200 \text{кОм}, \quad (3.16)$$

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де K – коефіцієнт підсилення;

$R16$ – опір резистора, Ом.

Для посилення вихідного керуючого сигналу з мікросхеми будемо використовувати каскади підсилювача на VT4, VT5, VT6, VT7

Виберемо комплементарні пари VT4 і VT6 – КТ3102 ВМ, а VT5 і VT7 – КТ3107G.

На опори R18 і R20 пішло 1 кОм, а на резистори R19 і R20 – 8,2 кОм.

Виходячи з даних про обраному акумуляторі, візьмемо силу струму зарядного пристрою 2.8 А.

Візьмемо резистор R7 опором 0,5 Ом. Тоді падіння напруги на цьому резисторі складе 1,4 вольта.

Сума напруг на базі емітера і резисторі R4:

$$U_{BE+R4} = U_{R4} + U_{BE} = 1.4 + 0.7 = 2.1В, \quad (3.17)$$

де U_{R4} – напруга на резисторі R4, В;

U_{BE} – напруга база-емітер транзистора, VT2 В.

Був обраний стабілітрон 2,4 В VD12 типу В7Х55С2 [14].

Значення R6:

$$R_6 = \frac{U_{3AP} - U_{VD12}}{0.2} = \frac{15 - 2.4}{0.2} = 63Ом, \quad (3.18)$$

де U_{3AP} – напруга, необхідна для заряду АКБ, В;

U_{VD12} – напруга стабілітрона VD12, В.

Обрано діод VD13, ми вибрали тип 1N5400.

Під час роботи ІПП від мережі буде світитися зелений світлодіод VD11 типу 204G4.

Розрахуємо резистор R5:

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_5 = \frac{U_{3AP} - U_{VD11}}{I_{VD11}} = \frac{15 - 1.2}{0.01} = 1380 \text{ Ом}, \quad (3.19)$$

де U_{3AP} – напруга при заряді АКБ, В;

U_{VD11} – напруга падіння на світлодіоді VD11, В.

I_{VD11} – струм VD11, А.

Обрали R5 – KNP-200-2-1,5.

Решта елементи будуть підібрані відповідно до прикладу. Схема зворотного зв'язку і підключення акумуляторної батареї наведена на рисунку 3.7.

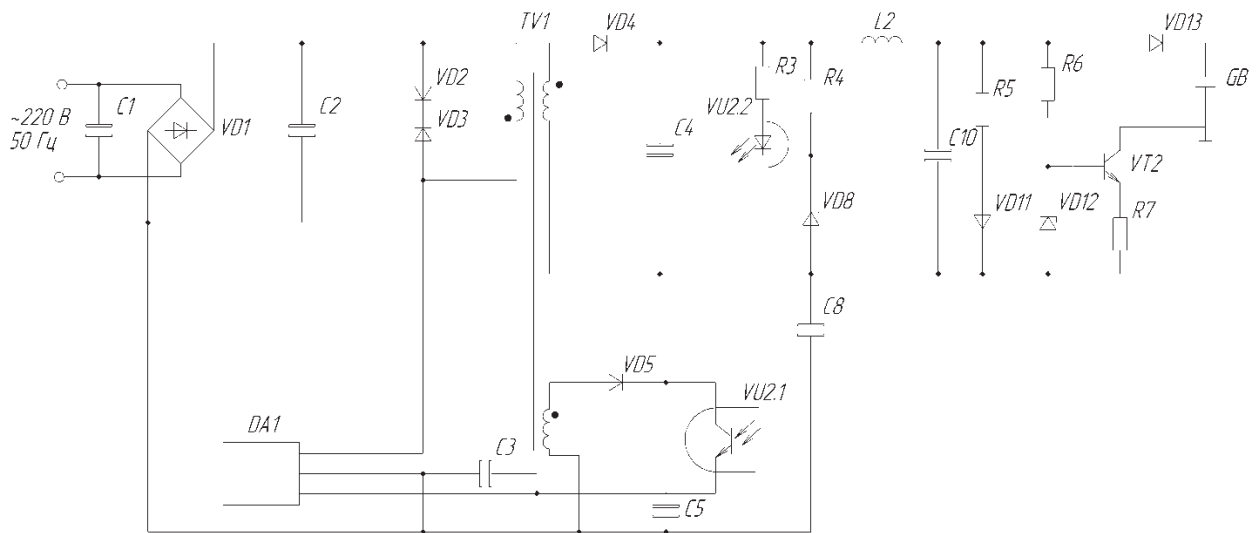


Рисунок 3.7 – Схема зворотного зв'язку і підключення акумуляторної батареї

Повна електрична принципова схема, розроблена в цьому розділі, показана на рисунку 3.8.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

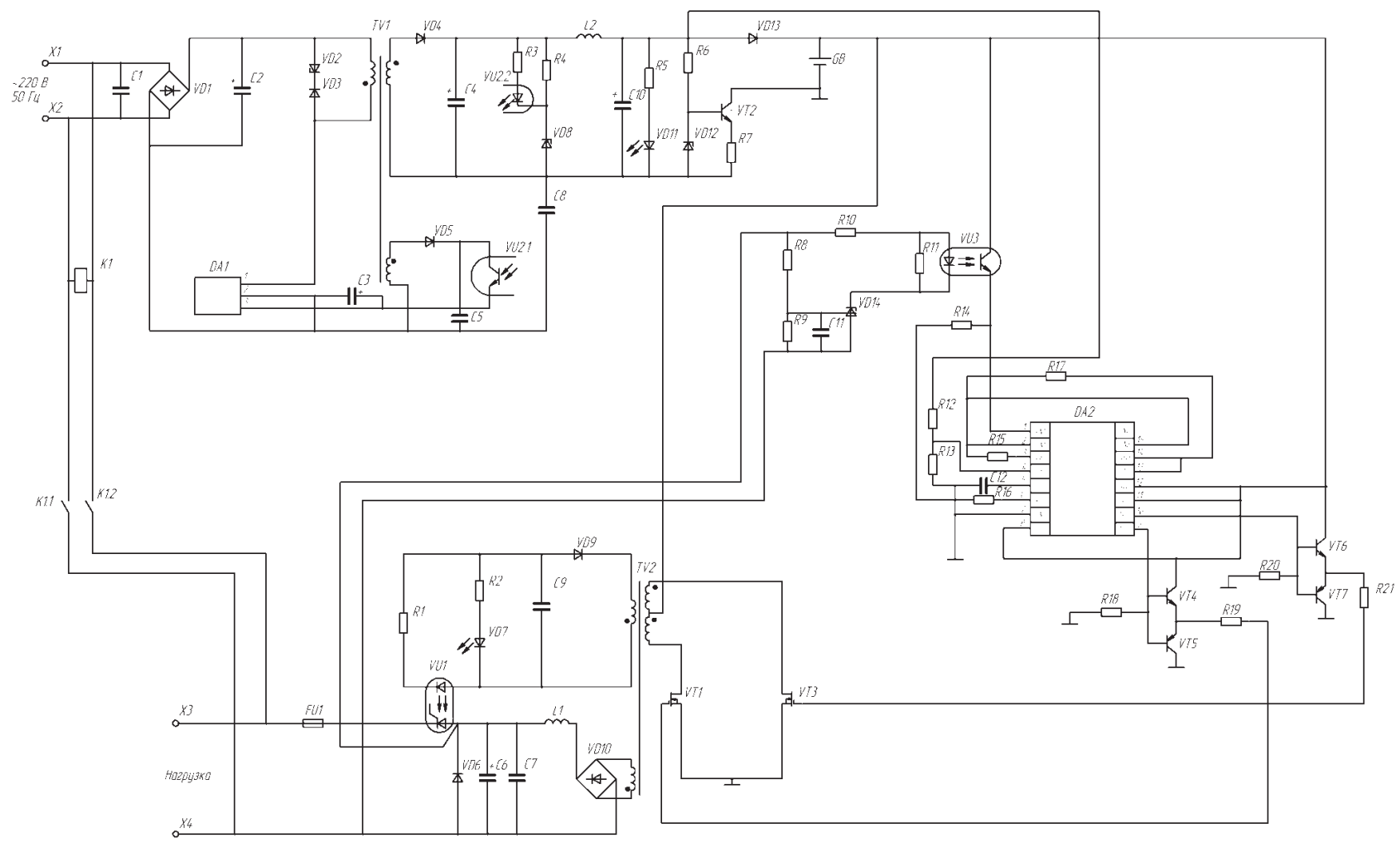


Рисунок 3.1 – Схема електрична принципова пристрою для автоматизованого тренування акумуляторних

Висновки до третього розділу

Було проведено розрахунки пристрою для автоматизованого тренування акумуляторних батарей, а саме силовій частини схеми та системи керування.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В результаті роботи над бакалаврською роботою розроблено пристрій для автоматизованого тренування нікель-кадмієвих акумуляторів. Його основна задача – відновлення втраченої ємності таких акумуляторів.

Проведено огляд типів акумуляторних батарей, їх різновиди та принцип роботи, а саме свинцево-кислотних – стартерних, AGM, гелевих; літій-іонних – літій-кобальтових, літій-марганцевих, літій-полімерних, літій-залізо-фосфатних; нікель-кадмієвих; нікель-залізних.

Представлено інформацію про пристрої для тренування акумуляторних батарей, їх основні переваги та недоліки.

Було розроблено структурно-функціональну схему, на базі якої була також розроблена схема електрична принципова пристрою для автоматизованого тренування акумуляторних батарей.

Проведено підбір елементної бази та розроблена конструкція друкованої плати з розміщенням компонентів на ній.

Також було розроблено алгоритм програми мікроконтролера пристрою для автоматизованого тренування акумуляторних батарей.

Проведено розрахунки пристрою для автоматизованого тренування акумуляторних батарей, а саме силовій частини схеми та системи керування.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Сайт схеми пристрою [електронний ресурс] – Режим доступу <https://radiolub.com/page/zhurnal-radio-2005-8> (дата звернення 23.02.2025).
2. Програма для розрахунку надійності РЕА [електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <http://eguru.tk.te.ua/mod/resource/view.php?id=60057> (дата звернення 24.02.2025).
3. Конденсатор ЕСАР [електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://www.radiolibrary.com/reference/transformers-tn/tn20.html> (дата звернення 1.03.2025).
4. Резистор MFP [електронний ресурс] – Режим доступу: URL <https://www.chipdip.com/product/elc10d101e> (дата звернення 3.03.2025).
5. Конденсатор NPO [електронний ресурс] – Режим доступу: URL <http://ippart.com/download/3655a026-13e6-4b56-a0bb-8fd05df9b19d.pdf> (дата звернення 1.04.2025).
6. Світлодіод L-1503GT [електронний ресурс] – Режим доступу <http://www.platan./shop/part/PBS-4.html>. (дата звернення 3.04.2025).
7. Змінний резистор 16к1 [електронний ресурс] – Режим доступу: URL <http://www.rct.com/catalog/box-header-connector/pbs-4.html>. (дата звернення 4.04.2025).
8. Резистор підстроювальний 3329Н [електронний ресурс] – Режим доступу: URL <http://studies.in.ua/bjd-zaporojec/1211-173-osnovn-tehnchn-taorganzacyun-zahodi-schodo-proflaktiki-virobnichogo-travmatizmu-ta-profesyonoizahvoryuvanost.html>(дата звернення 4.04.2025).
9. Перемикач ASV-09-102 "Jietong Switch" [електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://www.chipdip.com/product/asw-09-102-red> (дата звернення 1.05.2025).

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Кнопка PBS-11A "Jietong Switch" [електронний ресурс] – Режим доступу: URL: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/leg12_62137.html (дата звернення 1.05.2025).

11. Діод 1N4448 "Diodec" [електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://eandc./catalog/detail.php?ID=3809>(дата звернення 1.05.2025).

12. Кварцовий резонатор ZTB-6,5МГц [електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://www.platan.com/cgi-bin/qwery.pl/id=995635956> (дата звернення 1.05.2025).

13. Мікросхема CD4093BE "Texas Instruments" [електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://www.tme.eu//details/17812cp/stabilizatorynapriazheniia-nereguliruemye/stmicroelectronics/> (дата звернення 1.05.2025).

14. Мікросхема bt91531 "NXP" [електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://relecom.com.ua/Home/Product?nomenclatureId=70460>(дата звернення 1.05.2025).

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		