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

Кафедра електроніки, інформаційних систем
та програмного забезпечення
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

перший бакалаврський
(рівень вищої освіти)

на тему *Розробка системи контролю та підтримки оптимальної роботи акумуляторних батарей*

Виконав: студент (ка) *IV* курсу, групи *6.1532-с*

Спеціальності *153 (176) Мікро- та наносистемна техніка*
(код і назва спеціальності)

освітньої програми *Мікро- та наносистемна техніка*
(код і назва освітньої програми)
Е. А. Сергоян
(ініціали та прізвище)

Керівник *доцент кафедри ЕІСПЗ, доцент, к.т.н.*
Ніконова А. О.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент *інженер конструктор конструкторського бюро Колосова*
Григор'єва І. К.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя
2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю. М. ПОТЕБНІ

Кафедра _____*електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення*____
Рівень вищої освіти ____*перший (бакалаврський)*_____
Спеціальність *153 (176) Мікро- та наносистемна техніка*_____
(код і назва)

Освітня програма _____*Мікро- та наносистемна техніка*_____
(код і назва)

Спеціалізація _____

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ____*ЕІСПЗ*_____
_____*Критська Т. В.*____
"_*10*_" _*червня*_ 20_*25*_ року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

_____*Сергояну Едуарду Андрійовичу*_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи_ *Розробка системи контролю та підтримки оптимальної роботи акумуляторних батарей*_____
керівник роботи _*Ніконова Аліна Олександрівна, доцент, к.т.н.*_____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від *"27" грудня 2024 року №2029-с*
2. Строк подання студентом роботи _____*10 червня 2025року*_____
3. Вихідні дані до роботи *Обрати систему контролю за станом параметрів при експлуатації хімічних джерел живлення*_____
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): *Системи керування технічним станом акумуляторів джерел безперебійного живлення. Розробка блоку контролю Пристрій контролю внутрішнього опору та ємності акумуляторних батарей. Охорона праці та техногенна безпека.*_____
_____
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
*Аналіз функціонування схеми керування індикаторами напруги. Схема електрична принципова пристрою контролю напруги і ступеню заряду акумуляторних батарей. Аналіз функціонування пристрою контролю заряду акумуляторної батареї. Печатна плата пристрою. Схема контролю внутрішнього опору та ємності.*_____

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
I	*Ніконова А. О., доцент*	
II	*Ніконова А. О., доцент*	
III	*Ніконова А. О., доцент*	

7. Дата видачі завдання _____*10.02.2025 року*_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	*Аналіз типів акумуляторів, які використовуються для накопичення електроенергії*	*28.02.2025*	
2	*Дослідження типів несправностей акумуляторної батареї*	*21.03.2025*	
3	*Розробка пристрою контролю заряду акумуляторної батареї*	*04.04.2025*	
4	*Розробка пристрою контролю ступеню заряду акумуляторних батарей*	*25.04.2025*	
5	*Розробка пристрою контролю внутрішнього опору та ємності акумуляторних батарей*	*08.05.2025*	
6	*Охорона праці та техногенна безпека*	*23.05.2025*	
7	*Оформлення пояснювальної записки*	*10.06.2025*	
8	*Рецензування, нормоконтроль, підписання роботи*	*13.06.2025*	
9	*Оприлюднений захист магістерської роботи*	*18.06.2025*	

Студент _____ _____*Сергоян Е. А.*_____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) _____ _____*Ніконова А. О.*_____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ _____*Верьовкін Л. Л.*_____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Реферат

Дипломна робота містить 71 сторінку, 35 рисунків, 2 таблиці, 14 джерел літератури.

Об’єкт дослідження –системи контролю параметрів акумуляторних батарей.

Мета роботи – розробка системи контролю, яка забезпечить підтримку оптимальної роботи акумуляторних батарей, а також покращить їх продуктивність та надійність..

Задачі роботи – здійснити моделювання та розробку контролера зарядки акумуляторної батареї; розробити пристрій виміру внутрішнього опору акумуляторної батареї; провести аналіз результатів розробки, з метою виявлення ефективності та можливості впровадження в системах безперебійного живлення.

Методика досліджень – моделювання пристрою за допомогою програмних забезпечень Electronics Workbench 5.12, SPlan 5.0, Layout 4.0.

Короткий виклад результатів досліджень – розроблена система контролю напруги, ступеню заряду, внутрішнього опору та ємності акумуляторних батарей необхідна для підвищення надійності джерела безперебійного живлення.

Результати впроваджень – макет електронного приладу пройшов випробовування на кафедрі ЕІСПЗ.

Прогнозні пропозиції – рекомендується для впровадження в безперебійних системах електроживлення.

АКУМУЛЯТОР, НАПРУГА, СТРУМ, ОПІР, ЄМНІСТЬ, ТЕМПЕРАТУРА, ЗАРЯД, РОЗРЯД

Дипломну роботу виконано на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення, з 10.02.2025 по 10.06.2025.

Зміст

Вступ ……..	6
1 Системи керування технічним станом акумуляторів джерел безперебійного живлення …….	8
1.1 Типи акумуляторів, які використовуються для накопичення електроенергії ……	8
1.2 Типи несправностей акумуляторної батареї ……	13
1.3 Визначення технічного стану літій-іонних батарей ……	15
1.4 Контролери заряду акумуляторної батареї ……..	18
1.4.1 Схема контролю заряду акумуляторної батареї ……...	24
1.5 Контроль температурного режиму розряду або заряду акумуляторів	26
1.6 Контроль внутрішнього опору акумуляторів ……..	27
2 Розробка системи контролю напруги і ступеню заряду акумуляторних батарей ……	31
2.1 Розробка блоку контролю ……..	31
2.2 Схема індикації пристрою контролю напруги …….	32
2.3 Пристрій контролю заряду акумуляторної батареї …….	40
2.4 Схема пристрою контролю ступеню заряду акумуляторних батарей	42
2.5 Розробка печатної плати пристрою контролю напруги і ступеню заряду акумуляторних батарей ……	45
2.6 Пристрій контролю внутрішнього опору та ємності акумуляторних батарей……	48
2.6.1 Моделювання регістра зсуву ……..	50
2.6.2 Загальна схема контролю внутрішнього опору та ємності акумуляторних батарей ……..	54
3 Охорона праці та техногенна безпека ……..	57
3.1 Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих	

факторів …….	57
3.2 Заходи з поліпшення умов праці ……...	58
3.3 Виробнича санітарія ……...	59
3.4 Електробезпека ……...	61
3.5 Пожежна та техногенна безпека ……	62
3.6 Розрахунок освітлення робочого місця ……	63
Висновки та рекомендації ……	66
Перелік посилань ……..	67
Додатки ……..	69

Вступ

Технології в галузі енергонакопичення в останні роки стрімко пішли в гору і налічують величезний асортимент безперебійних систем живлення (БСЖ) та акумуляторних батарей.

Проблеми, які виникають при експлуатації акумуляторів, пов'язані з їх старінням, фізичним зносом, а також багато в чому - з умовами роботи.

В БСЖ і в системах електроживлення постійного струму застосовуються свинцево-кислотні необслуговувані герметичні батареї VRLA типу, які працюють в буферному режимі, коли більшу частину часу вони заряджаються і віддають енергію в навантаження тільки при пропажі напруги зовнішньої мережі електропостачання.

Особливістю батарей цього типу (особливо низькоякісних, вироблених з переробленого свинцю) є те, що вони можуть відмовити раптово. Незворотні процеси виникають в свинцево-кислотних акумуляторах не відразу і не раптом, а причина відмови в більшості випадків визначається умовами експлуатації: температурою навколишнього середовища, режимами заряду і розряду, якістю і щільністю електроліту, його рівнем в елементах батареї та ін.

Необхідність контролю АКБ випливає вже з того факту, що час її життя обмежено, батарея старіє. Втрачаються початкові параметри, час підтримки зменшується, розвивається процес сульфітації пластин. Тому контролювати стан АКБ дуже важливо.

Основний з параметрів, які необхідно перевіряти при моніторингу акумуляторних батарей - ємність або обсяг енергії, яку запасає батарея. Це свого роду консолідуючий параметр, який знаходиться у взаємозв'язку з декількома іншими, впливають на ємність батареї і термін її служби. До них відносяться, зокрема, температура навколишнього середовища, внутрішній опір батареї, параметри заряду і розряду.

Температура навколишнього середовища (робоча температура) - важливий і навіть визначальний параметр. Акумуляторна батарея будь-якого типу підпорядковується закону електрохімічної активності, її знос знаходиться в експоненціальній залежності від температури. Чим вона вища, тим більш активні електрохімічні процеси в акумуляторі і швидше йде втрата його робочих характеристик. Тому робоча температура є, мабуть, самим критичним параметром для свинцево-кислотних АКБ (лужні нікель-кадмієві акумулятори в меншій мірі схильні до впливу температурного чинника, тому в суворих кліматичних умовах - арктичних, і, навпаки, надто жарких - застосовують саме цей тип батарей).

Внутрішній опір (провідність або імпеданс) акумуляторної батареї для БСЖ – це параметр, який дозволяє оцінити реальний стан АКБ і прогнозувати її час життя. З збільшенням внутрішнього опору падає і ємність акумулятора. За зміною імпедансу можна прогнозувати раптовий вихід батареї з ладу. Внутрішній опір АКБ починає рости, потім у якійсь точці він росте дуже швидко, і після цього батарея швидко втрачає ємність і виходить з ладу. Наступ цієї події означає, що акумулятор слід замінити. Високий внутрішній опір може вказати також на можливі послаблення з'єднань в місцях підключення до АКБ або на обрив усередині неї.

Контроль напруги на батареї дозволяє визначити такі відмови, як коротке замикання між пластинами батареї. Крім того, контроль напруги і струму АКБ дає можливість простежити історію експлуатації батареї: коли і скільки часу вона перебувала в спокої або працювала на навантаження, зафіксувати величину струму розряду і якою була його глибина, як відбувався заряд акумулятора і т.д.

Актуальність полягає в розробці сучасних систем контролю за станом параметрів акумуляторних батарей.

1 Системи керування технічним станом акумуляторів джерел безперебійного живлення

Ефективне управління станом акумуляторів є однією з ключових проблем сучасної електронної інженерії. У зв'язку зі стрімким зростанням попиту на джерела безперебійного живлення (ДБЖ), питання покращення їхньої енергоефективності, безпеки та надійності набуває дедалі більшої актуальності. Сучасні дослідження спрямовані на розробку новітніх методів моніторингу, діагностики та управління акумуляторними системами, що дозволяє продовжити термін служби батарей та підвищити ефективність їх використання [1].

Незважаючи на значний прогрес у цій сфері, багато аспектів управління акумуляторами систем безперебійного живлення залишаються недостатньо розробленими. Існуючі методи оцінки стану заряду та технічного стану мають свої обмеження та потребують подальшого вдосконалення для досягнення більшої точності та надійності. Таким чином, дана магістерська робота присвячена розробці оптимальної системи керування технічним станом акумулятора електромобіля, яка базується на використанні передових методів моделювання та контролю.

1.1 Типи акумуляторів, які використовуються для накопичення електроенергії

Акумуляторна батарея (АКБ) є ключовим елементом, відповідальним за зберігання електроенергії, яка живить системи безперебійного живлення.

Проблеми, такі як деградація батареї з часом та обмежені технологічні можливості, стають об'єктом досліджень для вдосконалення та оптимізації цього ключового компонента ДБЖ. Розглядаються різні аспекти, включаючи

хімічний склад батарей, їх технічні властивості, проблеми деградації, технологічні проблеми та нові розробки в галузі електричних батарей. Дослідження також фокусується на використанні інновацій та алгоритмів для ефективного управління енергією, оптимізації зарядки та розрядки, а також на вирішенні проблем теплової стійкості. Результати дослідження можуть визначити подальші напрямки розвитку технологій електричних батарей і сприяти вдосконаленню довгострокової ефективності та стабільності ДБЖ.

Акумуляторні батареї, які використовуються в джерелах безперебійного живлення та інверторах, включають свинцево-кислотні (Lead Acid), нікель- кадмієві (NiCd), нікель-металогідридні (NiMH), літій-іонні (Li-ion), літій-іонні полімери (LiPo). Найбільш поширеним типом батарей в сучасних ДБЖ є літій-іонні і літій-полімерні батареї, оскільки їхня висока енергетична щільність в порівнянні з їх вагою. Кількість електрики (тобто електричний заряд), що зберігається в батареях, вимірюється в ампер-годинах або в кулонах, причому загальна енергія часто вимірюється в Ватт-годинах. Батареї становлять істотну вартість ДБЖ.

Акумулятори WET типу – свинцево-кислотні батареї можуть бути розроблені для високої потужності та є недорогими, безпечними та надійними. Однак низька питома енергія, низька продуктивність при низьких температурах, короткий календар і життєвий цикл перешкоджають їх використанню. Розробляються передові високо-потужні свинцево-кислотні батареї, але ці батареї використовуються лише в комерційно доступних інвертор них системах [2]. Свинцево-кислотні акумулятори є найдешевшими і в минулому найбільш поширеними тяговими батареями.

Свинцево-кислотні акумулятори (рис. 1.1) складаються з електродних пластин, виготовлених з свинцю, діоксиду свинцю та електроліту - розчину сірчаної кислоти (H_2SO_4). Принцип роботи акумулятора полягає в перетворенні електричної енергії в хімічну (коли акумулятор заряджається) і навпаки з хімічної в електричну енергію (при розряджанні).

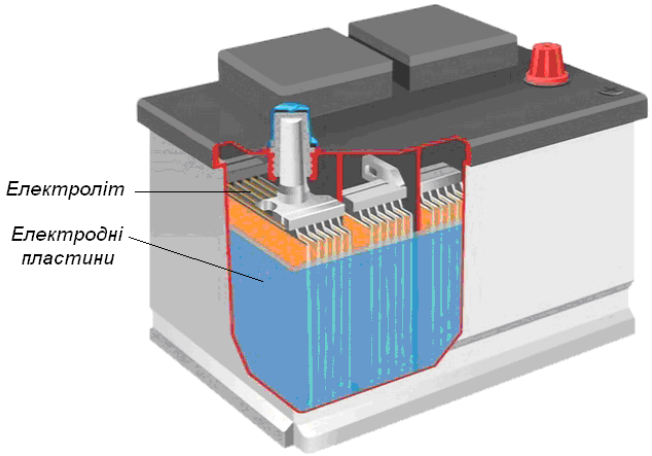


Рисунок 1.1 – Будова свинцевого акумулятора

Акумулятори типу VRLA (SLA) - удосконалена технологія свинцево-кислотних батарей. Даний тип батарей має герметичний корпус з спеціальним клапаном для стравлювання надлишкових тисків. Замість рідкого електроліту в акумуляторах використовують абсорбуючий скляний мат (AGM), або гелевий елемент (GEL). На відміну від свинцево-кислотних акумуляторів - технологія VRLA (SLA) не потребує регулярного обслуговування та доливання електроліту, крім цього AGM та GEL акумулятори можуть встановлюватись в будь-якій орієнтації, в той час, коли кислотні акумулятори повинні бути строго у вертикальному положенні задля уникнення проливу електроліту.

Акумулятори AGM (рис. 1.2) типу надзвичайно схожі з WET типом, основна відмінність полягає в тому, що електроліт знаходиться не в рідкому, а в абсорбуючому скляному маті, завдяки такому рішенню, акумулятори можна використовувати навіть лежачи. Між позитивною та негативною пластинами знаходиться свого роду губка просякнута електролітом, яка утримує електроліт в своїх порах. Усі дрібні пори абсорбуючого скляного мату заповнені електролітом, а великі пори слугують для рециркуляції газів, які утворюються в наслідок тривалої роботи акумулятора [2].

Нікель-метал-гідридні батареї (рис. 1.3), які регулярно використовуються в комп’ютерному та медичному обладнанні, пропонують розумну питому енергію та потужність.

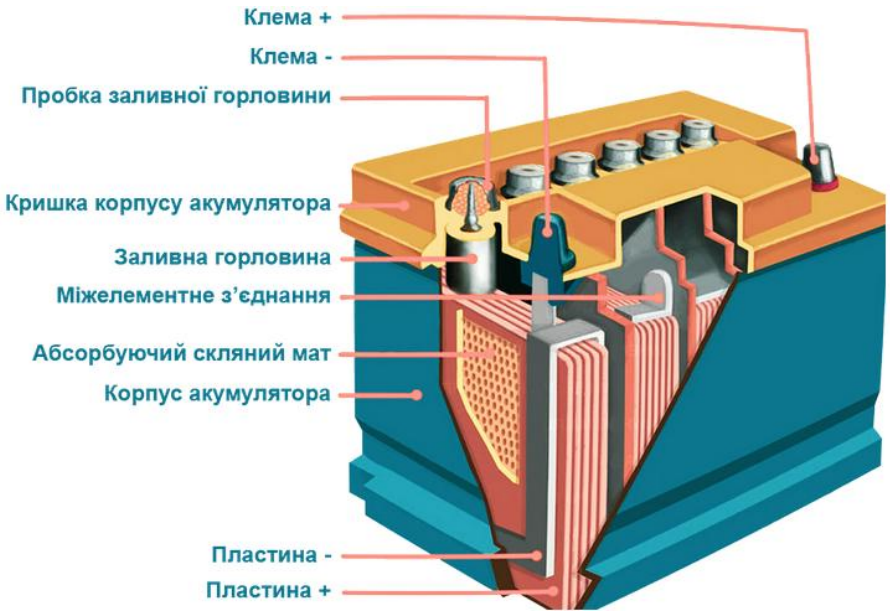


Рисунок 1.2 – Будова акумулятора AGM типу

Нікель-метал-гідридні батареї мають набагато довший життєвий цикл, ніж свинцево-кислотні, безпечні та стійкі до зловживання. Основними проблемами, пов'язаними з нікель-металгідридними батареями, є їх висока вартість, високий рівень саморозряду та виділення тепла при високих температурах, а також необхідність контролювати втрати водню. Нікель-металгідридні батареї тепер вважаються відносно зрілою технологією. Хоча вони менш ефективні (60-70%) при зарядці та розряді, ніж навіть свинцево-кислотні, вони мають питому енергію 30-80 Вт/кг, що набагато вище, ніж свинцево-кислотних.



Рисунок 1.3 - Нікель-метал-гідридна батарея

Літій-іонні типи акумуляторів (Li-ion) (рис. 1.4) на сьогодні є найбільш технологічно розвиненими в порівняні WET, VRLA, AMG чи GEL типами. Літієві акумулятори мають величезний запас енергії, при надзвичайно малих розмірах та вазі.

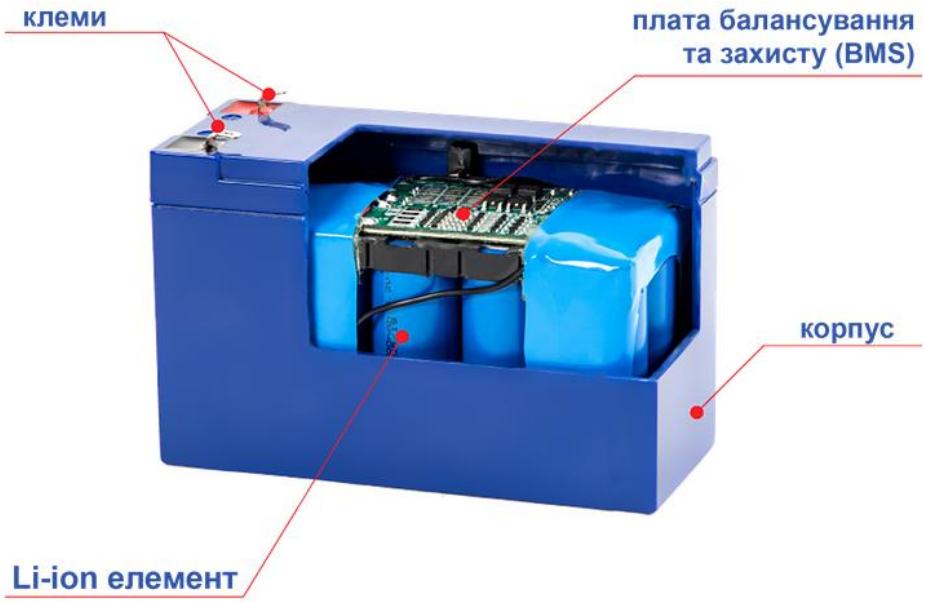


Рисунок 1.4 – Li-іон акумулятор

Акумулятори володіють найбільшим співвідношенням місткості до розмірів корпусу, завдяки чому Li-ion батареї дають змогу виготовляти потужні акумулятори з мінімальними розмірами та вагою. Даний тип акумуляторів застосовується в пристроях з великим енергоспоживанням, або там, де вимагається максимальна тривалість автономної роботи.

Дані акумулятори є доволі вибагливими і потребують своєрідного догляду та контролю. Однією з важливих складових літій-іонних акумуляторів є BMS контролер, який контролює процес зарядки та розрядки, аналізує стан усіх компонентів, знімає показники температури, напруги, опору та інші показників. Крім цього BMS плата розподіляє та балансує струми між компонентами акумулятора. Літій-іонні акумулятори мають доволі велику кількість підвидів, найбільш поширені це: літій-залізо-фосфатні, літій-кобальтові, літій-марганцеві, літій-нікель-марганець-кольбат-оксидні, літій-нікель-кольбат-алюміній-оксидні, літій-титанні.

Літій-іонні акумулятори в даний час використовуються в більшості портативних споживчих пристроях, таких як стільникові телефони та ноутбуки, через їх високу енергію на одиницю маси порівняно з іншими системами накопичення електроенергії. Вони також мають високе співвідношення потужності до ваги, високу енергоефективність, хорошу продуктивність при високих температурах і низький саморозряд. Більшість компонентів літій-іонних акумуляторів можна переробити, але вартість відновлення матеріалів залишається проблемою для галузі. Міністерство енергетики США також підтримує премію Lithium-Ion Battery Recycling Prize для розробки та демонстрації вигідних рішень для збору, сортування, зберігання та транспортування відпрацьованих і викинутих літій-іонних батарей для подальшої переробки та відновлення матеріалів. Більшість сучасних джерел безперебійного живлення використовують літій-іонні акумулятори, хоча точний хімічний склад часто відрізняється від акумуляторів споживчої електроніки. Дослідження та розробки тривають, щоб зменшити їх відносно високу вартість, подовжити термін їх служби та вирішити проблеми безпеки щодо перегріву. Традиційна літій-іонна хімія включає катод оксиду літію кобальту і графітовий анод. Недоліком традиційних літій-іонних батарей є короткий цикл життя і значне погіршення з віком. Матеріал катода також дещо токсичний. Традиційні літій-іонні батареї створюють ризик пожежної безпеки при проколі або неправильному заряді.

1.2 Типи несправностей акумуляторної батареї

Для сучасних акумуляторів зниження ємності є важливим показником їх технічного стану.

Основні причини зниження ємності.

1) Фазовий перехід електродних матеріалів. Наприклад, зниження ємності акумуляторів на основі оксиду літій-марганцю відбувається головним чином через розчинення іонів марганцю. Коли іони марганцю потрапляють

на негативний електрод, руйнується катод-електролітне тверде міжфазне (КЕМ) покриття. Для відновлення міжфазної плівки потрібне споживання іонів літію, що призводить до зменшення кількості доступних іонів літію. Дослідження характеристик старіння літій-іонних акумуляторів показали, що ступінь старіння акумуляторів зростає із збільшенням кількості циклів зарядки та розрядки. Під час процесу зарядки та розрядки опір КЕМ-плівки постійно зростає. Це призводить до посилення імпедансних характеристик акумулятора та зниження коефіцієнта дифузії іонів на електроді, що, в свою чергу, спричиняє швидке зниження напруги розряду та швидке зменшення ємності розряду. Однак, деякі акумулятори, наприклад, на основі літій-титанату, можуть не утворювати КЕМ-плівки під час роботи [3].

2) Зниження кінетичних характеристик електрода. За допомогою спектроскопії з індуктивно-зв'язаною плазмою та вимірювання характеристик імпедансу та поляризації електрода було проаналізовано, що під час циклу зарядки та розрядки літій-іонного акумулятора відбувається негативна зміна фази, значно зростає опір, Опір плівки SEI (твердо-електролітний міжфазний шар) значно збільшується, літій-іон анода вбудовується в реакцію, що призводить до зменшення ємності зберігання іонів електрода та втрати ємності, що свідчить про те, що втрата ємності акумулятора є негативною динамічною характеристикою і є основною причиною зниження ємності.

3) Розклад електроліту. Під час зарядки та розрядки сам електроліт має певну нестабільність, і з вуглецевмісним електродом відбувається реакція відновлення, яка споживає електроліт та його розчинник.

4) Утворення КЕМ-плівки. Утворення КЕМ-плівки є результатом реакції відновлення, яка відбувається після контакту органічного розчинника з анодним матеріалом. Літій-іони, витрачені на утворення КЕМ-плівки, змінюють баланс ємності. Тим часом, КЕМ-плівка призводить до ізоляції та дезактивації електрода, що призводить до зниження ємності.

Таким чином, погіршення технічного стану (ТС) літій-іонних акумуляторів впливає безліч факторів, таких як зміна фази електродного матеріалу,

динамічні характеристики електрода, стан розкладу електроліту та утворення КЕМ-плівки. Основний принцип зображено на (рис. 1.5). Кількісна оцінка механізму зниження ємності сприяє покращенню оцінки ТС та здібність літій-іонних акумуляторів до прогнозування та сприяння зменшенню втрати ємності під час їх експлуатації [4].

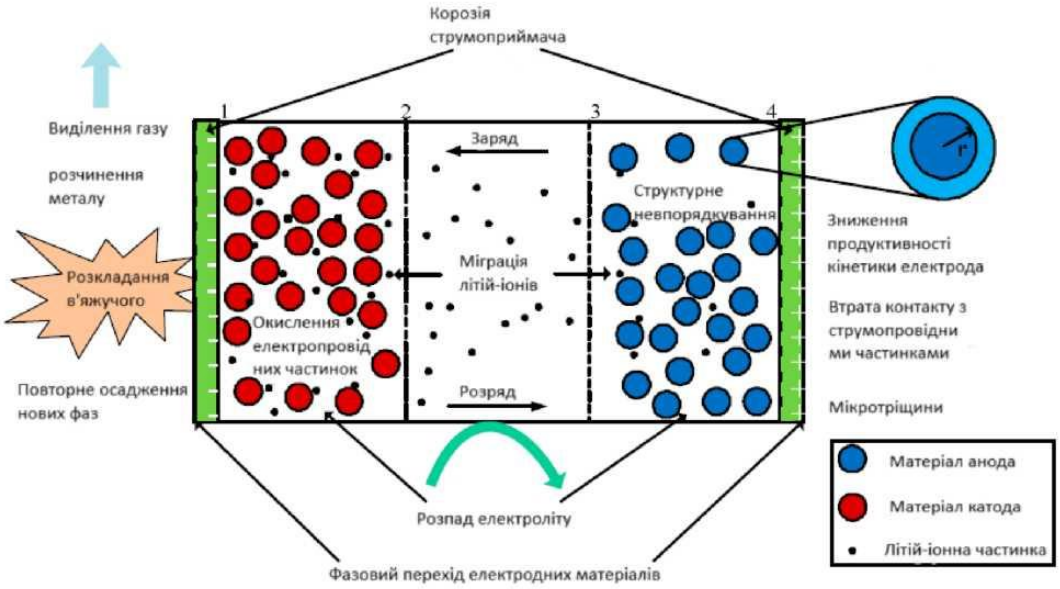


Рисунок 1.5 - Базова схема старіння літій-іонного акумулятора

1.3 Визначення технічного стану літій-іонних батарей

З інтенсифікацією процесів заряджання та розряджання батарей та накопичення часу зберігання, технічний стан батареї поступово погіршується [5]. Її потужність та ємність демонструють різні рівні затухання, ємність батареї зменшується, а внутрішній опір збільшується. Таким чином, ємність та внутрішній опір загалом використовуються для визначення ТС.

Визначення ємності.

Технічний стан є одним з важливих параметрів літій-іонних батарей, котрий змінюється в залежності від зміни ємності батареї, як показано нижче:

$$SOH = Qm/Qr \cdot 100\%, \qquad (1.1)$$

де Qr - оцінена ємність, а Qm - поточна максимально доступна ємність батареї, виміряна в рейтингових умовах. ТС також значно варіюється через вплив температури та множника вимірюваного струму. Згідно з вимогами щодо продуктивності літій-іонних батарей, стандарт IEEE 1188.1996 чітко вказує, що якщо ТС батареї менше 80%, це свідчить про досягнення кінця експлуатаційного терміну, і батарея повинна бути замінена.

Визначення внутрішнього опору.

Технічний стан визначається відповідно до внутрішнього опору батареї за такою формулою:

$$SOH = Re - R/Re - Rn \cdot 100\%, \quad (1.2)$$

де R - внутрішній опір в поточному стані; Re - внутрішній опір батареї при досягненні кінця експлуатаційного терміну; Rn - внутрішній опір нової батареї. Багато вчених визначають ТС батареї за внутрішнім опором або оцінюють та передбачають ТС на основі внутрішнього опору батареї. Збільшення внутрішнього опору є важливим показником старіння батареї і є однією з причин подальшого погіршення ТС батареї.

Визначення ємності, яка міститься в електроді.

Під час використання літієвих батарей іони літію будуть рухатися разом з переносом заряду. Згідно з електрохімічним механізмом реакції електрода, ТС літієвих батарей може бути оцінено за концентрацією іонів літію в електроді:

$$SOH = Q/Q_0 \cdot 100\%, \quad (1.3)$$

де Q - номінальна ємність, а Q_0 - менша концентрація літію після кількох циклів.

Оцінка та прогноз технічного стану літій-іонних батарей

Неточна оцінка та прогноз ТС можуть легко призвести до неправильної оцінки робочого стану батареї, впливати на точну ідентифікацію стану несправності батареї та збільшувати ризик прихованої небезпеки системи батарей. Тому точна оцінка та прогноз ТС літій-іонної батареї є дуже важливою для експлуатації транспортних засобів.

Наразі оцінка та прогноз ТС літій-іонної батареї стикаються з чотирма основними проблемами.

1) Складність вимірювання. ТС літій-іонної батареї є внутрішнім параметром батарей, який не може бути безпосередньо виміряний датчиком. Лише за допомогою напруги, струму та температури та інших відповідних параметрів його можна отримати шляхом інтеграції, приблизної обробки та інших методів, що ускладнює точну ідентифікацію параметрів ТС.

2) Сильна часова змінність. ТС літій-іонної батареї не тільки тісно пов'язаний з екологічними стресами, такими як температура, струм та режим завантаження, але також залежить від внутрішнього багатопараметрового зв'язку, такого як поточний внутрішній стан іонів, співвідношення позитивних та негативних активних матеріалів та інтенсивність електрохімічної реакції.

3) Невідворотність. Зараз більшість методів прогнозу використовують дані для прогнозу, які піддаються впливу відмінностей мономерів та мають низьку повторюваність. Також надійність та своєчасність ідентифікації є низькими.

г) Висока нелінійність. У реальному процесі експлуатації технічний стан літій-іонних батарей перетинається множинними внутрішніми та зовнішніми факторами, і її крива деградації є високо-нелінійною, що ускладнює точну ідентифікацію та надійність ТС.

З урахуванням цих проблем поточні дослідження головним чином проводять систематичні дослідження з багатьох аспектів, таких як точна побудова моделі, прогноз параметрів стану системи та проектування архітектури даних. Це може бути поділено на три категорії: метод на основі моделі, метод на основі даних та метод технології фузії.

Оптимальний температурний діапазон, при якому зберігається номінальна ємність і забезпечується максимальний термін служби батареї: від +20° до +25°С. Вважається, що ресурс АКБ зменшується в два рази при збільшенні температури на кожні десять градусів. Граничні для кислотно-свинцевих

акумуляторів робочі температури - не вище +50° не нижче -60°С. З подальшим підвищенням температури може виникнути так званий «тепловий розгін», і батарея вийде з ладу.

При зниженні температури електрохімічні реакції йдуть повільніше. При низьких температурах з зменшенням електрохімічної активності знижуються і можливості батареї по віддачі в навантаження енергії, її ємність зменшується. При цьому АКБ може працювати на межі своїх можливостей, що також знижує термін її служби. Тому є такий своєрідний «острів» стабільної роботи акумуляторів в діапазоні температур від +5 до +25°С.

Не випадково, коли вказується ємність та термін служби АКБ, обмовляється, при якій температурі і в якому режимі експлуатації: при певному розряді (зазвичай 10-годинному С10 або 20-годинному С20) для кінцевої напруги на елементі 1,8 В, або іншому.

1.4 Контролери заряду акумуляторної батареї

Надійність акумуляторних батарей, які використовуються в системах безперебійного живлення, залежить від режимів заряду і експлуатації.

Одна з основних проблем при заряді акумуляторної батареї - це нерівномірний заряд окремих акумуляторів в батареї. З зростанням кількості акумуляторів, відбувається різке зниження надійності і довговічності батареї. Вирішення цієї проблеми дозволить перейти на вищу робочу напругу, збільшуючи кількість акумуляторів в батареї, і одночасно понизити номінальні струми і перетин провідників мережі систем безперебійного живлення.

Перевищення граничних параметрів напруги і температури при заряді наводить до скорочення термінів експлуатації [6].

Термін служби акумуляторів знижується по наступних причинах:

- осипання активної маси пластин в шлам, яке усувається за допомогою інгібіторів (сповільнювачів корозії), які вводяться в активну масу позитивних пластин;

- сульфатація пластин при розряді (саморозряді) і тривалому зберіганні, яка сповільнюється вживанням «плаваючого заряду» (Float charge).

Саморозряд кислотних акумуляторів складає 100...200 мА на 100 А·ч і це наводить до передчасного виходу їх з строю. Тому вміст акумуляторів в режимі «плаваючого заряду» визнаний єдиним способом продовження їх терміну служби [2]. У виробничих умовах вимір і стабілізація струму саморозряду на фоні струму навантаження скрутно. Зарядний пристрій в номінальному режимі забезпечує заряд акумуляторної батареї стабільною напругою. Для компенсації процесів саморозряду (і супутньої сульфатації) необхідно підтримувати різницю потенціалів між пластинами на рівні 150 мВ. При цьому поляризація пластин створює умови для відновних процесів на пластинах. Поляризаційна різниця потенціалів між пластинами визначається таким чином:

$$\Delta\varphi_{\text{п}} = I_C R_0 ,$$

де I_C - струм батареї; R_0 – внутрішній опір елемента.

Різниця потенціалів додається до ЕРС холостого ходу в режимі «плаваючого заряду». Наприклад, при ЕРС акумуляторів 2,06 В (але може бути і інше значення 2,04...2,14 В, залежно від щільності електроліту) напруга «плаваючого заряду» дорівнюватиме 2,06 + 0,15 = 2,21 В/елемент.

Підвищення поляризаційної різниці потенціалів між пластинами, а отже, і напруги «плаваючого заряду» не наводить до збільшення терміну служби, а лише до «википання» електроліту і руйнування пластин.

Із-за відмінності у внутрішніх опорах окремих елементів, поляризаційна різниця потенціалів між пластинами різних елементів батареї різна. Для того, щоб мінімальна напруга на елементі батареї, який «відстає по напрузі», забезпечувала поляризаційну різницю потенціалів 150 мВ, доводиться збільшувати напругу на батареї. Якщо напруга вибрана більше приведеного вище значення, то елементи, які «випереджають по напрузі», мають поляризаційну різницю потенціалів між пластинами більше 150 мВ. Унаслідок технологічної різниці у внутрішніх опорах елементів і підвищеної напруги «плаваючого

заряду» відбуваються два процеси, які наводять, зрештою, до виходу з строю елементів батареї:

- «температурний розгін» напруги на елементах;

- википання електроліту в акумуляторах, які «випереджають по напрузі».

«Температурний розгін» напруги на елементах полягає в тому, що внутрішній опір акумулятора має негативний температурний коефіцієнт. Батарея, яка знаходиться під напругою вище необхідного для компенсації саморозряду, виділяє зайву енергію в тепло. Наслідком тепловиділення є нагрів і зменшення внутрішнього опору акумуляторів. Зменшення внутрішнього опору елементів, при стабільній напрузі на батареї, наводить до підвищення потужності, яка виділяється на них, і нагріву. У свою чергу, підвищення температури акумулятора на 10°С знижує термін його служби удвічі [3].

Таким чином, підвищеній буферній напрузі супроводять два процеси:

- збільшення розкиду параметрів елементів батареї;

- википання води з електроліту і осипання в шлам пластин.

Зниженій буферній напрузі відповідає сульфатація пластин.

Википання води з елементів супроводиться втратою ємкості. Відомо, що втрата 10% води наводить до виходу з строю елемента по умові зниження ємкості до 80% від номінальної. Деякі фірми для компенсації втрати води виготовляють акумулятори з надлишковим об'ємом електроліту. Можлива компенсація википання води, коли напруга «плаваючого заряду» для негерметичних акумуляторів вибирається на порозі кипіння електроліту і його величина достатня для компенсації саморозряду самого «відстаючого» елементу батареї.

Внутрішній опір акумулятора має негативний температурний коефіцієнт, отже при пониженні температури поляризація пластин зменшуватиметься. При недостатній поляризації акумулятор саморозряджається і йде сульфатація пластин.

Зниження напруги «плаваючого заряду», як і зниження температури, ведуть до саморозряду. Саморозряд наводить до зменшення гарантованого часу розряду до кінцевої напруги. Сульфатація зменшує ефективну площу пластин і максимальну фактичну ємкість.

Підвищення напруги «плаваючого заряду», як і підвищення температури, ведуть до втрати води і осипання пластин - старіння акумулятора.

Зміна температури і зарядної напруги однаково впливають на довговічність акумуляторів. Підвищення будь-чого з них веде до втрати води, пониження - до сульфатації.

Як старіння, так і сульфатація наводять, кінець кінцем, до виходу з ладу акумулятора по критерію зниження фактичної ємності нижче 80% від номінальної.

Існує оптимальна з точки зору ресурсу і довговічності напруга «плаваючого заряду» для кожного значення температури батареї. Проте, відносна зміна температури менш істотно позначається на ресурсі батареї, чим відносна зміна напруги. В деякій мірі збільшенням напруги «плаваючого заряду» можна компенсувати зменшення температури і навпаки, зменшенням напруги компенсувати її підвищення.

Поважно відзначити, що термокомпенсація напругою заряду для герметичних батарей служить єдиним способом досягнути компромісу між сульфітацією і втратою води, оскільки компенсація цієї втрати неможлива.

Всі доступні для розгляду технічні умови експлуатації акумуляторів різних фірм вимагають термокомпенсації напругою «плаваючого заряду». В даний час фірми виготівники джерел живлення (YUASA, SIEMENS, ABB, TeleNokia, ITALTEL, Ericsson Nikola Tesla) випускають випрямлячі, які підтримують режим термокомпенсації «плаваючого заряду». Вітчизняних випрямлячів такого класу в даний час немає. На рисунку 1.6 приведена типова залежність напруги «плаваючого заряду» від температури, яка підтримується вказаними вище випрямлячами.

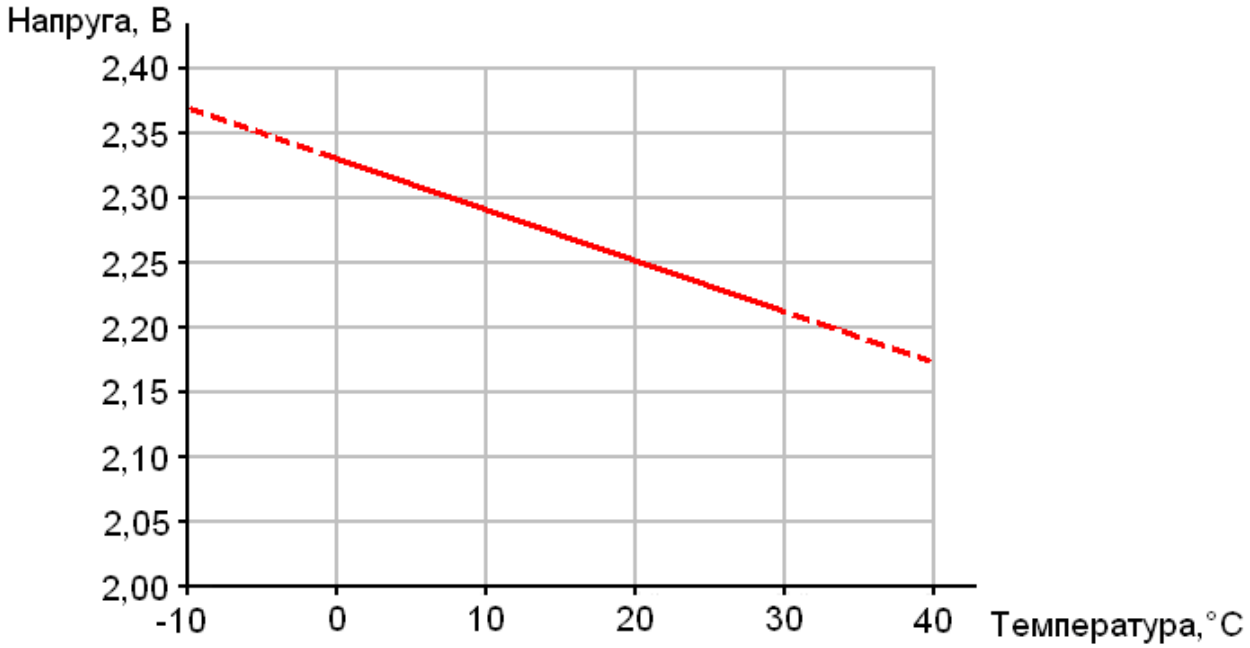


Рисунок 1.6 – Залежність напруги заряду від температури

Для забезпечення довгострокової експлуатації акумуляторної батареї необхідний зарядний пристрій, який враховує температурний розгін на акумуляторах батареї і обмежує зростання напруги на повністю заряджених елементах. Пристрій складається з силової частини і схеми виміру \ контролю.

Контролер постійно виконує виміри температури і напруги на акумуляторах батареї. Якщо свідчення виміряної температури перевищують граничні допустимі значення, то заряд припиняється до тих пір, поки температура не нормалізується. Якщо напруга на акумуляторі перевищує граничний рівень, то пристрій починає обмежувати його. Для забезпечення оптимального режиму заряду і підтримки необхідної величини поляризації, контролер змінює максимальний допустимий рівень зарядної напруги залежно від температури акумулятора. Обмеження напруги на акумуляторах можливо різними способами.

1. Спосіб обмеження напруги за допомогою пасивних компонентів передбачає, що до акумуляторів батареї, на яких напруга заряду перевищує максимальний рівень, паралельно силовим ключам підключають резистивне навантаження. Зарядний струм через акумулятор зменшується. Основні перева-

ги даного способу - простота реалізації і низькі вимоги до швидкодії системи управління. Недоліки - ступінчастість регулювання струмів і втрати потужності на нагрів.

2. Спосіб обмеження напруги за допомогою активних напівпровідникових силових елементів передбачає паралельне підключення до акумуляторів, на яких підвищений рівень напруги, регульованих силових елементів. При цьому способі струм заряду протікає через силовий напівпровідниковий елемент і напруга знижується. Достоїнства даного способу: плавність регулювання струмів навантаження і простота виконання. Недоліки необхідність відведення тепла від напівпровідникових силових елементів.

3. Спосіб обмеження напруги з рекуперацією енергії заряду передбачає використання ШІМ перетворювача, який підключається до акумуляторів з підвищеним рівнем напруги. При цьому способі напруга знижується за рахунок «перекачування» енергії від акумулятора до зарядного пристрою. Достоїнства даного методу: малі втрати енергії, плавність регулювання струмів навантаження і висока швидкодія. Недоліки: складність силової частини і висока вартість пристрою [6].

Структурна схема блоку контролю і вимірів представлена на рисунку 1.7

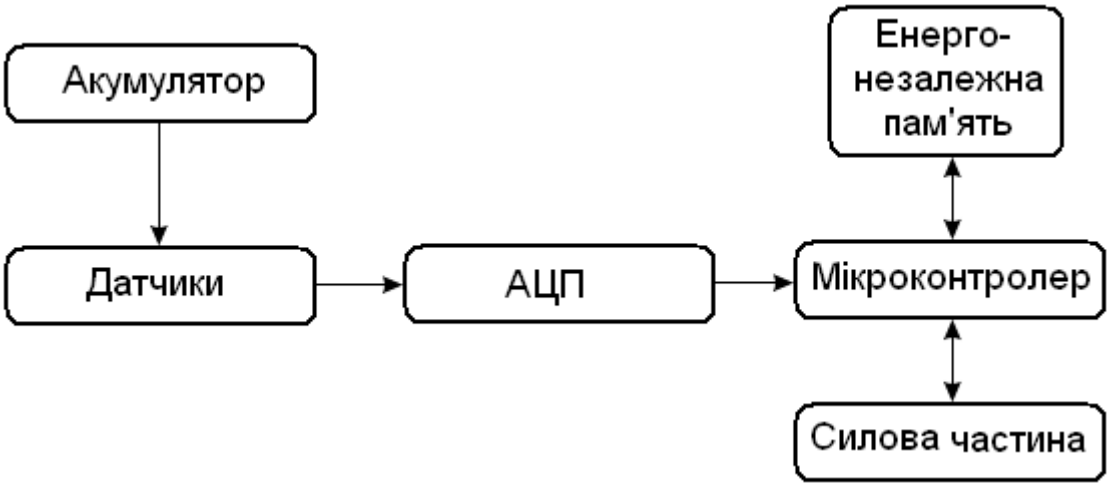


Рисунок 1.7 - Структурна схема блоку контролю і вимірів

Вимірювальна частина підключається безпосередньо до кожного акумулятора батареї і складається з температурного датчика і датчика напруги. За допомогою АЦП відбувається вимір температури і напруги і передача отриманих результатів в мікроконтролер. Залежність напруги від температури зберігається у вигляді таблиць в пам'яті контролера. Контролер виконує порівняння виміряних результатів з результатами які зберігаються в пам'яті, і видає управляючі сигнали для силової частини пристрою обмеження напруги.

1.4.1 Схема контролю заряду акумуляторної батареї

Останніми роками широко використовуються схеми контролю напруги хімічних джерел живлення, де як індикатор використовується один або декілька світлодіодів. При цьому рідке миготіння зеленого світлодіода контрольного пристрою свідчить про те, що напруга на батареї в нормі, а миготіння червоного світлодіода свідчить про розряд батареї нижче за допустиму напругу.

Розглянемо схему контролю напруги джерела живлення, яка володіє досить високою стабільністю роботи (рис. 1.8).

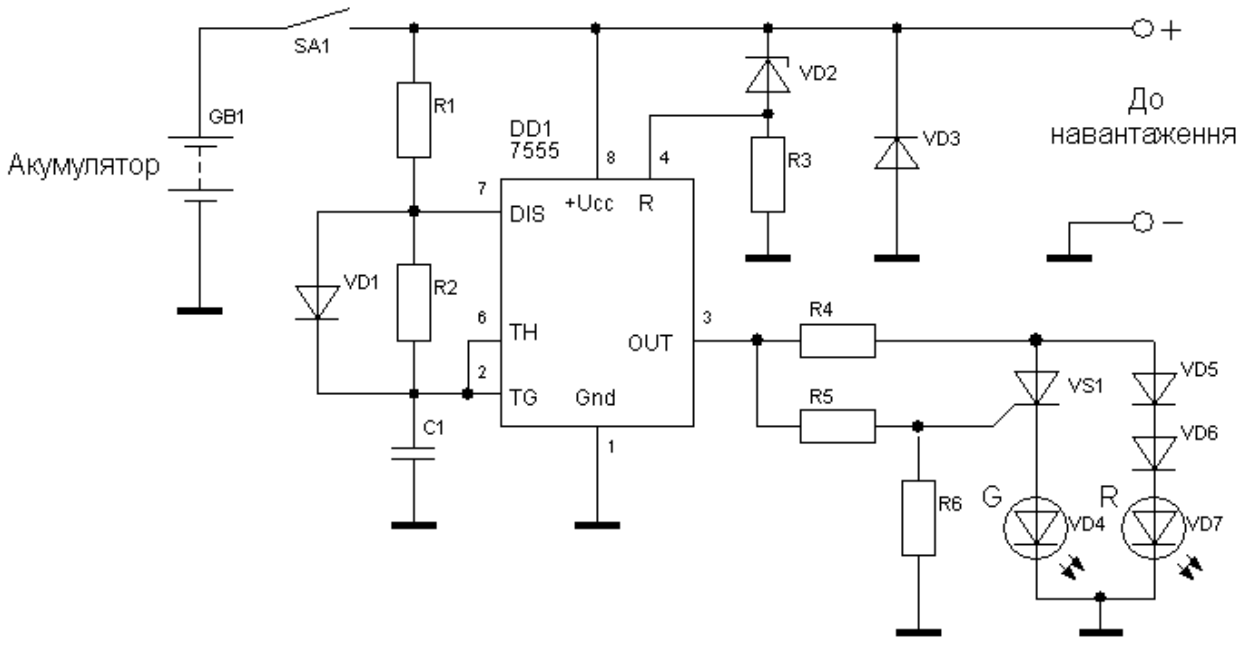


Рисунок 1.8 - Схема контролю напруги джерела живлення

Схема побудована на інтегральному таймері серії 7555. Це КМОН-аналог імпортного таймера 555 або вітчизняного КР1006ВІ1. Використання цієї мікросхеми дозволяє зменшити вжиток струму схемою контролю, що особливо важливе для пристроїв, які живляться від акумуляторних батарей.

Мікросхема DD1 включена як мультивібратор. Заряд конденсатора С1 відбувається через резистор R1 і діод VD1. Розряд цього конденсатора відбувається через резистор R2 і відкритий розрядний транзистор мікросхеми DD1 через вивід 7. Відмінність номіналів резисторів R1 і R2 вдесятеро забезпечує велику шпаруватість вихідних імпульсів таймера DD1, що енергетично дуже доцільно.

При зменшенні напруги контрольованої акумуляторної батареї нижче певної межі, отримується інформація. Для цього вивід 4 DD1 живиться падінням напрузі на резисторі R3. У свою чергу, цей резистор підключений до контрольованого джерела напруги (батареї) через стабілітрон VD2. Напруга стабілізації стабілітрона VD2 для цієї схеми (при роботі з батареєю визначена як 10,2 В. Таким чином, мінімальна допустима напруга на батареї задана 10,2 В.

Якщо напруга на батареї в нормі, то періодично (при формуванні на виході ІМС DD1 короткого позитивного імпульсу) спалахуватиме обидва світлодіода G і R світлодіодної збірки (DD4, DD7), і збірка світитиметься жовтим кольором. У міру пониження напруги на батареї до приблизно 11,8В тиристор VD1 перестане відмикатися, і спалахуватиме лише червоний світлодіод збірки. Це свідчить про те, що батарею треба ставити на зарядку. Коли напруга на батареї стане нижча 10,2 В, світлодіоди перестануть спалахувати – батарея повністю розряджена.

Для «дозволу» роботи таймера DD1 в режимі мультивібратора необхідно, аби напруга на виводі 4 цієї мікросхеми перевищували приблизно 0,6 В. При меншій напрузі робота таймера блокується, і на виході (вивід 3) присутній низький потенціал.

1.5 Контроль температурного режиму розряду або заряду акумуляторів

Оптимальна температура експлуатації більшості типів акумуляторних батарей - +15-25 °С. Як правило, при мінусових температурах спостерігається значне зниження ємкості акумуляторних батарей, робота ж в умовах високих температур довкілля сприяють розвитку деградаційних процесів усередині акумуляторів, прискорюючи процеси старіння і істотно скорочуючи термін їх служби.

Так, наприклад, термін служби нікель-металгідридних і герметичних свинцево-кислотних акумуляторів (технології AGM), які не обслуговуються, в умовах високих температур буде істотно нижчий, ніж при нормальній (близькою до кімнатної) температурі. Не дивлячись на те, що робоча температура нікель-металгідридних акумуляторів встановлюється більшістю виробників на рубежі: -60...+55 °С (-40...+55), оптимальною для їх роботи вважається температура в 20 °С. Виконання заряду / розряду даного типу батарей при високих температурах веде до безповоротного істотного зниження їх ємкості. Якщо експлуатувати акумуляторні батареї вказаного типу при температурі 30 ºС – термін їх життя скоротиться не менше, ніж на 20%, якщо ж експлуатація буде проводиться при 40 °С, то втрати ємкості будуть ще істотніші – до 40%, а при 45 °С – до 50%. Аналогічна ситуація спостерігається і в роботі нікель-кадмієвих і герметичних свинцево-кислотних акумуляторів AGM. У Ni-Cd акумуляторів досить великий діапазон робочих температур, проте вони не зовсім стійкі до високих температур, хоч і вказана властивість виражається у них не настільки яскраво, як в нікель-металгідридних. Що стосується герметичних свинцево-кислотних батарей AGM, те підвищення температури експлуатації на кожних 10 градусів вище 25 °С. призводить до зниження терміну служби акумулятора в 1,5 рази. Перевищення температури в 45-50 °С для них згубно.

Робота в умовах високих температур наводить до прискорення процесів старіння і збільшення внутрішнього опору в більшості типів іонних для літію акумуляторних батарей. Виключенням є фосфатні (LiFePo4) і літій-

полімерні (Li-pol) акумулятори. Такі акумулятори стійкі до температури до 60°С. Літій-полімерні акумулятори з сухим електролітом добре пристосовуються до підвищення температури умов експлуатації. Чим вище буде температура довкілля, тим інтенсивніше в них пробігатимуть іонообмінні процеси.

1.6 Контроль внутрішнього опору акумуляторів

Внутрішнім опором акумулятора прийнято називати опір, який надається акумуляторною батареєю проходженню через неї постійного розрядного або зарядного струму. Збільшення внутрішнього опору веде до швидкого падіння напруги і, як наслідок, до зниження ємкості і струмовіддачі.

Внутрішній опір акумулятора є важливою характеристикою. По ньому точно визначається загальний стан батареї та ресурс, який залишився. Тестери АКБ розраховують максимальний пусковий струм на основі внутрішнього опору. Щоб виміряти цей параметр точно, потрібний спеціальний прилад.

Внутрішній опір АКБ - це опір, який акумулятор надає електричному струму, який протікає через нього. Чим він нижче, тим краще. Схематично його можна уявити як джерело ЕРС з послідовно підключеним до нього резистором.

Фізично внутрішній опір автомобільного акумулятора складається з кількох факторів, які зумовлені його будовою. Найменше на це впливає свинець, з якого виготовлені пластини і клеми АКБ.

Електроліт у зарядженому акумуляторі містить багато сірчаної кислоти і є добрим провідником електричного струму. В електроліті розрядженого акумулятора кислоти мало, і він більше складається з дистильованої води, яка погано проводить струм.

Найвагоміший чинник, який впливає на внутрішній опір АКБ, це площа активних свинцевих пластин. Коли батарея нова, ця площа максимальна, так як пластини не закриті сульфатом свинцю. Коли сульфатів багато, вони зменшують активну площу, яка може контактувати та взаємодіяти з електро-

літом. Це явище називається сульфітацією і воно дуже впливає на внутрішній опір акумулятора автомобіля.

У новому акумуляторі також може спостерігатися внутрішній опір, який перевищує норму. Основна причина – виробник зекономив на свинці, скоротивши кількість пластин, що безпосередньо впливає на цю характеристику АКБ. У процесі експлуатації свинцеві пластини мають властивість руйнуватися та обсипатися. Цей процес також збільшує внутрішній опір АКБ, знижуючи інші його характеристики.

Нормальний внутрішній опір справного зарядженого акумулятора з рідким електролітом знаходиться в межах 4…6 мОм. У AGM він нижче за рахунок специфічної будови 3…4 мОм. Через 4 роки експлуатації цей параметр може збільшитись до 13…15 мОм. Якщо внутрішній опір кислотного акумулятора перевищує 20…30 мОм, він вважається непридатним для подальшої експлуатації.

Виміряти внутрішній опір АКБ за допомогою звичайного омметра неможливо. Зумовлено це тим, що акумулятор це не тільки резистор, але і джерело ЕРС, яке з ним увімкнене послідовно. Найпростіший і найдоступніший спосіб знайти внутрішній опір акумулятора - це виміряти падіння напруги на його виводах під відомим навантаженням. Потім, використовуючи закон Ома, розрахувати опір за цією формулою:

$$R = \frac{U}{I},$$

де R - внутрішній опір АКБ; U - падіння напруги під відомим навантаженням; I - відоме навантаження.

Цей метод програмно закладено у тестерах внутрішнього опору акумуляторів. Також його можна застосувати для розрахунку за допомогою простого мультиметра.

Вимірювання внутрішнього опору АКБ за допомогою спеціального тестера - це найпростіший і досить точний спосіб. У пристрій необхідно ввести вихідні дані та підключити його до виводів акумулятора. Тестер виміряє на-

пругу без навантаження, потім навантажить АКБ невеликим струмом, і з падіння напруги розрахує внутрішній опір.

Більшість тестерів для автомобільних акумуляторів попутно відображають максимальний пусковий струм. Для обчислення максимального пускового струму прилад використовує виміряний внутрішній опір та введене користувачем номінальне значення напруги АКБ.

Для вимірювання внутрішнього опору акумулятора знадобиться мультиметр і якесь навантаження відомої потужності. Найпростіше використовувати автомобільну лампу. Щоб дізнатися, який струм вона споживає, потрібно поділити потужність на номінальну напругу АКБ. Наприклад, автомобільна галогенова лампа ближнього світла на 50 Вт споживає струм 50 : 12 = 4 А. Щоб отримати точніші дані, можна підключити послідовно з навантаженням амперметр.

Внутрішній опір акумулятора вимірюється за таким алгоритмом:

- вмикається мультиметр у режим вимірювання постійної напруги до 20 В;

- підключаються щупи до виводів АКБ;

- підключається до акумулятора навантаження;

- фіксується напруга;

- вмикається навантаження;

- фіксується напруга без навантаження.

- розраховується різниця між напругою без навантаження та з навантаженням.

- ділиться отримане падіння напруги на струм, споживаний навантаженням.

- розраховане значення буде внутрішнім опором АКБ.

Повним внутрішнім опором акумулятора прийнято називати опір, надаваний проходженню через акумулятор постійному розрядному або зарядному струму

$$r = r_n + \frac{E_ж}{I_р},$$

де r_n – опір поляризації.

Опір поляризації зменшується з збільшенням сили струму з зниженням температури.

Омічний опір акумулятора складається з опорів електродів, електроліту, сепараторів, між елементних перемичок та інших струмопровідних деталей

Метою роботи являється розробка системи контролю, яка забезпечить підтримку оптимальної роботи акумуляторних батарей, а також покращить їх продуктивність та надійність.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- здійснити моделювання та розробку контролера зарядки акумуляторної батареї;

- розробити пристрій виміру внутрішнього опору акумуляторної батареї

- провести аналіз результатів розробки, з метою виявлення ефективності та можливості впровадження в системах безперебійного живлення.

2 Розробка системи контролю напруги і ступеню заряду акумуляторних батарей

2.1 Розробка блоку контролю

Блок контролю (рис. 2.1) призначений для повного контролю ресурсу акумуляторних батарей. За допомогою цього блока можна здійснювати керування напругою, ступеню заряду, температурою, ємністю.

Акумуляторна батарея накопичує електрику від зарядного пристрою та дозволяє забезпечити безперервну роботу систем безперебійного живлення.



Рисунок 2.1 – Функціональна схема блока керування потужністю

Оскільки працездатність ДБЖ безперечно залежить від ступеня зарядженості свинцево-кислотних батарей, в блок керування потужністю пристрій безпосередньо вбудований блок контролю стану батареї. Світлова та звукова індикація дозволяє оцінити робочий стан джерела енергії.

Блок керування містить пристрій контролю напруги, який вказує на стан (ступінь заряду) акумуляторних батарей. Встановлене співвідношення між кількістю запасеного в батареї заряду і напругою на ній. Як видно з рисунка 2.2, це відношення майже завжди лінійно [7].

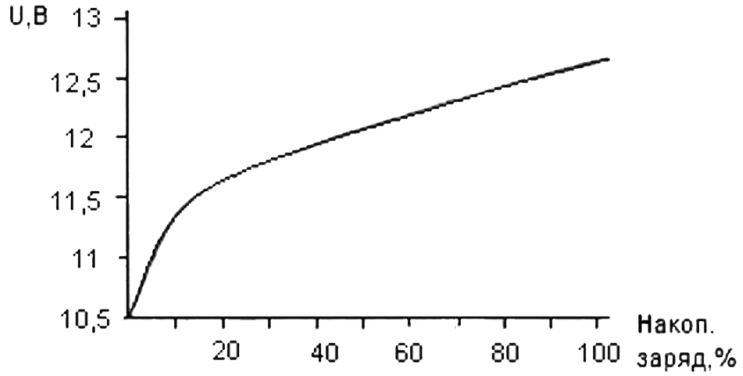


Рисунок 2.2 - Залежність між напругою і ступенем заряду батареї

Область заряду, що нас цікавить, лежить в межах 70—80 % від повного заряду батареї. Саме досягши такої міри заряджання починається газовиділення і необхідно змінити зарядний струм. Для 12-вольтової батареї в цій точці напруга складає 12,6 В. Повністю заряджена батарея розвиває напругу 13,2 В.

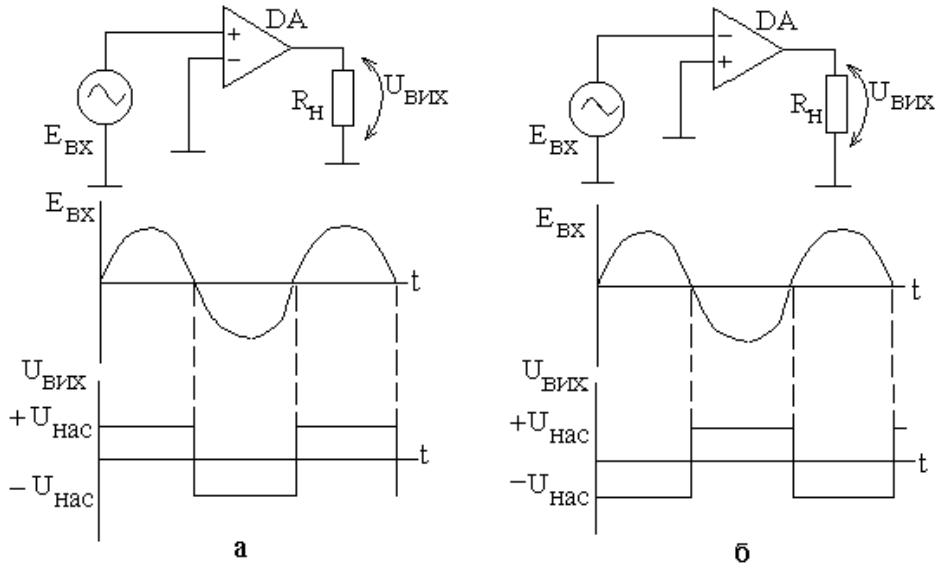
Визначаючи напругу на батареї, можна регулювати зарядний струм. Якщо напруга нижче 12,6 В, то акумуляторні елементи містять менше 80 % заряду і регулятор видає повний зарядний струм. Коли ж напруга на батареї піднімається вище 12,6 В, необхідно понизити зарядний струм.

В пристрої контролю напруги і ступеню заряду акумуляторних батарей, для індикації напруги використаємо світлову смужку, яка сформована десятьма сітлодіодами виведеними на панель корпусу блоку керування. Шкала зчитування побудована таким чином, що кожний наступний світлодіод запалюється при збільшенні напруги на 0,5 В. Якщо горить перший світлодіод, напруга становить 10,5 В, якщо другий - 11 В, якщо третій - 11,5 В і т. д. аж до 15 В.

2.2 Схема індикації пристрою контролю напруги

Згідно з умовами індикаторного контролю напруги необхідно використати компаратори, які відносно опорної напруги будуть здійснювати керування сітлодіодами світлової смужки.

Схеми простих компараторів (пристроїв, які порівнюють два вхідних сигнали) з використанням операційних підсилювачів і часових діаграм, які пояснюють їх роботу, представлені на рисунку 2.3 [8].



а – подача опорної напруги на інвертуючий вхід;

б – подача опорної напруги на неінвертуючий вхід

Рисунок 2.3 - Прості компаратори і часові діаграми їх роботи

На схемі (рис. 2.3,а) на вхід (−) подана опорна напруга землі (0 В). До входу (+) прикладена напруга, яка порівнюється з опорною. Як випливає з

$$U_{вих} = K \cdot E_д,$$

вихідна напруга $U_{вих}$ змінює знак при зміні полярності $E_{вх}$:

$$E_д = E_{вх} - 0.$$

При позитивній півхвилі вхідної напруги Uвих = +Uнас, при негативній Uвих = -Uнас. При заземленні (+) входу (рис. 2.3,б) спостерігається протилежна картина:

$$E_д = 0 - E_{вх}.$$

Обидві схеми (рис. 2.3) дозволяють отримати наступну інформацію про вхідний сигнал: полярність $E_{вх}$, момент рівності $E_{вх}$ нулю і напрям зміни $E_{вх}$ при $E_{вх} = 0$. Дані компаратори називають також детекторами нульового рівня.

Як опорну напругу можна використовувати спеціальне джерело (рис. 2.4). Вхідна напруга порівнюється з $U_{оп} > 0$. Для здобуття опорної напруги можуть використовуватися резистивні дільники і параметричні стабілізатори.

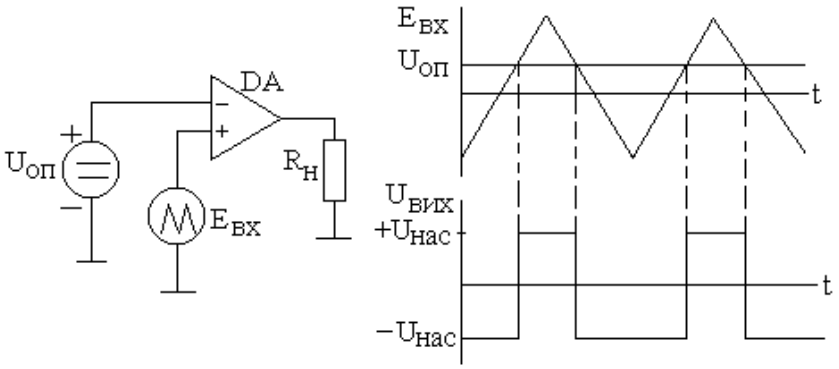
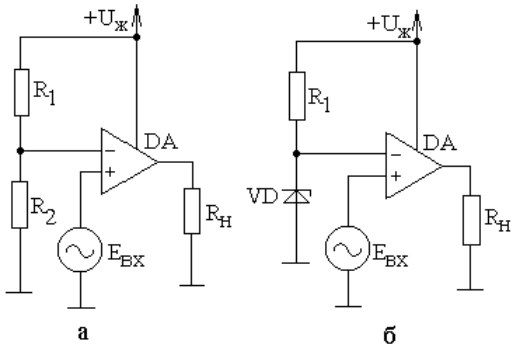


Рисунок 2.4 - Детектор ненульового рівня і часова діаграма його роботи

Для схеми (рис. 2.5,а):

$$U_{ОП} = \frac{+U_{П} \cdot R_2}{(R_1 + R_2)}.$$

Змінюючи опір одного з резисторів можна регулювати $U_{оп}$. Використання стабілітрона VD в схемі, (рис. 2.5,б), дозволяє набути стабільнішого значення $U_{оп}$ в разі зміни напруги джерела живлення [9].



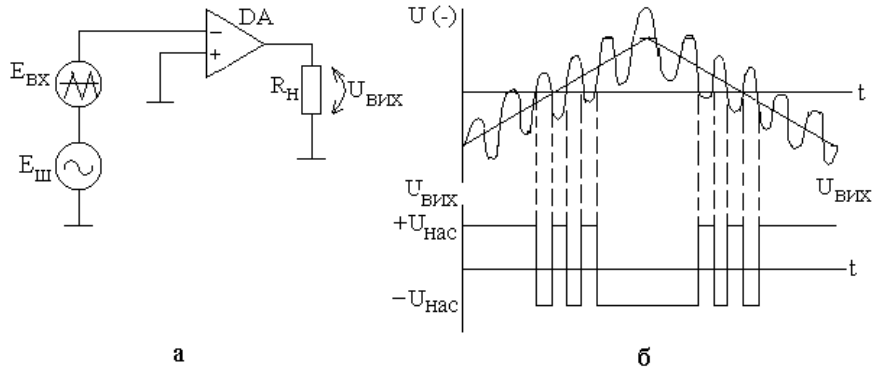
а – схема з дільником напруги;

б – схема із стабілітроном

Рисунок 2.5 - Здобуття опорної напруги від джерела живлення

Як навантаження компаратора можуть використовуватися різні індикатори (стрілочні, світлодіодні і ін.) або електронні схеми. При цьому виникає завдання: узгодження компаратора з конкретним навантаженням.

Розглянуті вище пристрої є простими компараторами і знаходять обмежене вживання. Більшого поширення набули компаратори з позитивним зворотним зв'язком (ПЗЗ), які підвищує надійність спрацьовування. Компаратори (рис. 2.3, 2.4, 2.5) дуже чутливі до зміни вхідного сигналу поблизу опорного рівня. При цьому виникають помилкові спрацьовування (рис. 2.6). Ситуація погіршується, якщо $E_{вх}$ міняється дуже повільно і в сполучних дротах наводяться паразитні ЕРС [9].



а – підключення джерела вхідного сигналу і генератора шуму до ОП;

б – часова діаграма, яка пояснює виникнення помилкових спрацьовувань

Рисунок 2.6 - Поява помилкових спрацьовувань компаратора із-за наведення паразитної ЕРС ($E_ш$) в сполучних дротах

Моделювання схему пристрою керування індикаторами виконано в програмному забезпеченні Electronics Workbench (рис. 2.7).

Аналіз функціонування схеми показує правильність перемикання світлодіодів, згідно зі зміною вхідної напруги відносно опорної. В момент часу зафіксований на рисунку 2.7 амплітуда вхідного сигналу недостатня аби спалахнув верхній світлодіод, що відповідає вимогам контролю напруги розробляємого пристрою.

Для спрощення схемного рішення та зменшення кількості елементів, можливо використати сучасну спеціалізовану мікросхему LM3914 [8].

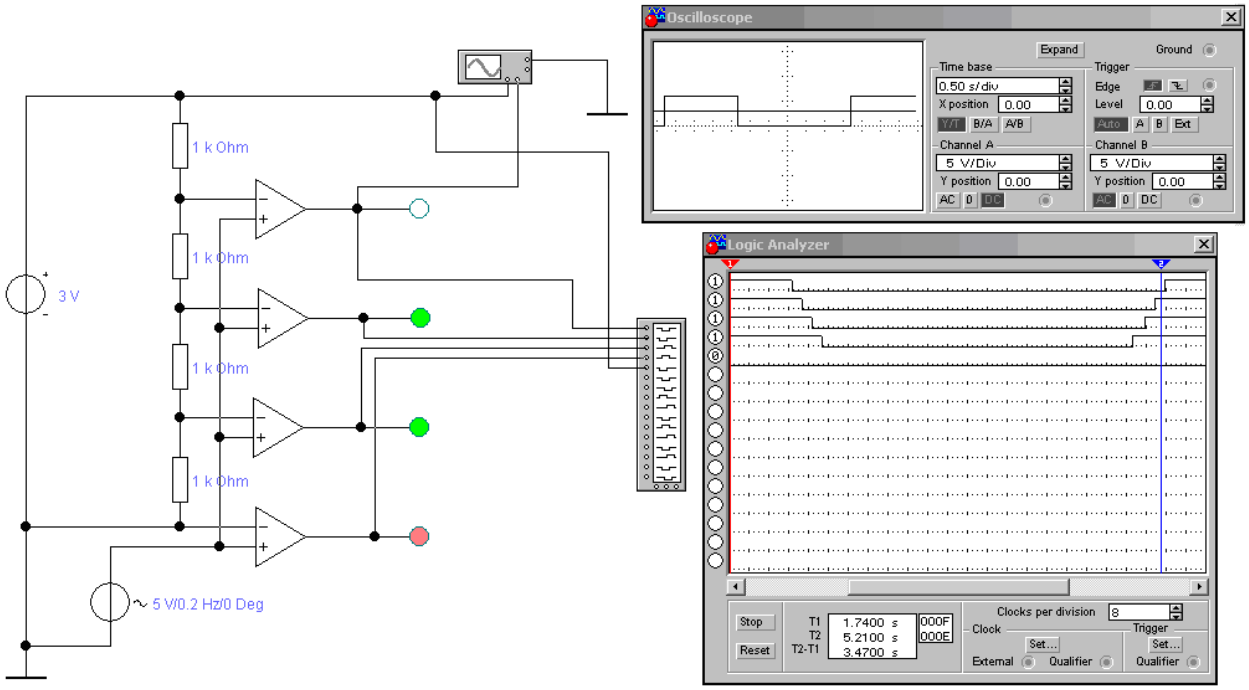


Рисунок 2.7 – Аналіз функціонування схеми керування індикаторами напруги

Мікросхема LM3914 фірми National Semiconductors знайшла застосування в вольтметрах, вимірювачах рівня звуку та інших подібних пристроях, де потрібне візуальне представлення аналогового сигналу. Протягом десятиліть LM3914 широко використовувався в побутовій електроніці, освітніх проектах, зберігаючи свою актуальність, незважаючи на появу передових технологій цифрової індикації. LM3914 працює шляхом вимірювання аналогових рівнів напруги і керування серією світлодіодів для забезпечення лінійного аналогового відображення, що робить його ідеальним для таких застосувань, як індикатори рівня звуку, вольтметри і монітори рівня заряду батареї. Конструкція пристрою має чітко визначену конфігурацію виводів і дозволяє використовувати режими як штрихового, так і точкового відображення, що забезпечує гнучкість у різних електронних проектах. Ключові виводи включають вихідні виводи для світлодіодів, виводи опорної напруги та керуючі виводи для регулювання режимів відображення та яскравості. Здатність мікросхеми налаштовувати діапазони відображення, встановлюючи верхню і

нижню межі напруги, ще більше підвищує її адаптивність до конкретних застосувань.

Поширеним застосуванням LM3914 є індикатор рівня заряду батареї. Він може відображати рівень заряду акумулятора у вигляді гістограми або точкового дисплея, забезпечуючи легке для читання візуальне представлення стану заряду акумулятора. . Ця функція є цінною для портативних електронних пристроїв, де моніторинг стану батареї має вирішальне значення. Схема підключення мікросхеми LM3914 представлена на рисунку 2.8.

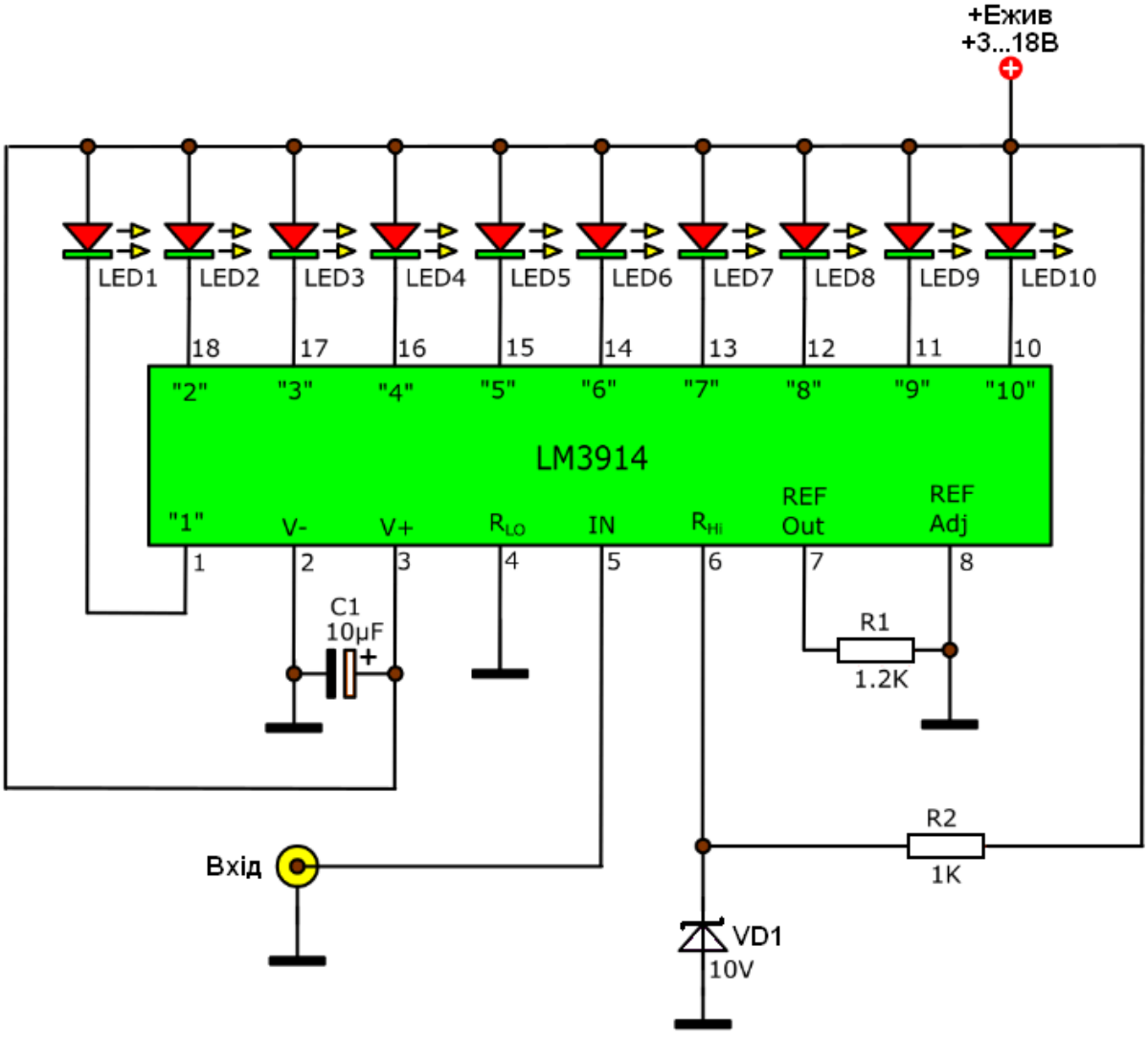


Рисунок 2.8 - Схема підключення мікросхеми LM3914

Основу мікросхеми складають десять компараторів, на інверсні входи яких через буферний операційний підсилювач подається вхідний сигнал, а

прямі входи підключені до відведень резистивного дільника напруги (рис. 2.9).

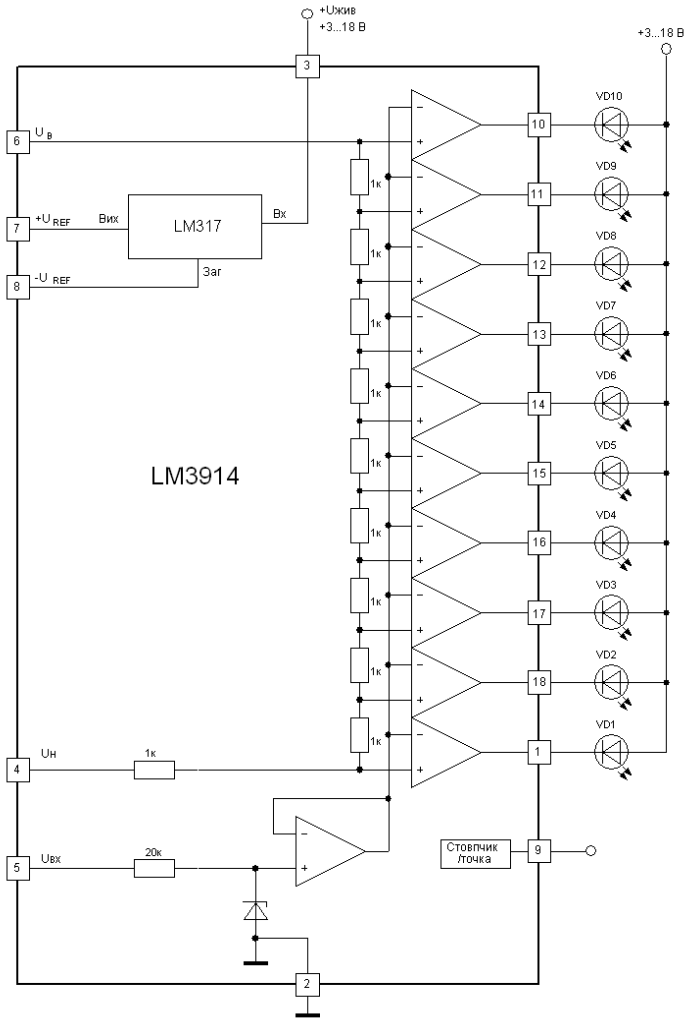


Рисунок 2.9 - Структура базової мікросхеми LM3914

Виходи компараторів являються генераторами вхідного струму, що дозволяє підключати світлодіоди без обмежувальних резисторів. Індикація може виконуватися або одним світлодіодом (режим “точка”), або лінійкою з світлодіодів, які світяться, висота якої пропорційна рівню вхідного сигналу (режим “стовпчик”). Ця напруга має бути в межах від 0 до рівня, на 1,5В менше напруги джерела живлення, яке підключається до виводу 3

“Ціна ділення” індикатора, тобто збільшення вхідної напруги, яка викликає включення чергового світлодіода, складає 0,1 від різниці $U_в$ - $U_н$.

Вхідний сигнал $U_{вх}$ подають на вивід 5, а напруга, яка визначає діапазон рівнів, які відображаються – на виводи 4 (нижній рівень $U_н$) і 6 (верхній рівень $U_в$).

Індикатор на мікросхемі LM3914 працює таким чином. Поки напруга на вході $U_{вх}$ менша, ніж на вході $U_н$ плюс "ціна ділення", жоден світлодіод не світиться. Як тільки ця напруга порівняється, включається світлодіод HL1, підключений до виходу 1. У режимі "точка" при збільшенні вхідної напруги струм по виходу 1 припиняється і з'являється струм виходу 2, при цьому гасіння першого світлодіода і включення другого відбувається одночасно, свічення як би "перетікає" з одного світлодіода в інший, і не виникає ситуації, коли обидва світлодіода погашено.

У режимі "стовпчик" включення чергового світлодіода не викликає гасіння попереднього. Мікросхема LM3914 призначена для побудови індикаторів з лінійною шкалою, і всі резистори її дільника мають однаковий опір. Типова схема подачі вхідного сигналу на мікросхему LM3914 показана на рисунку 2.10 [9].

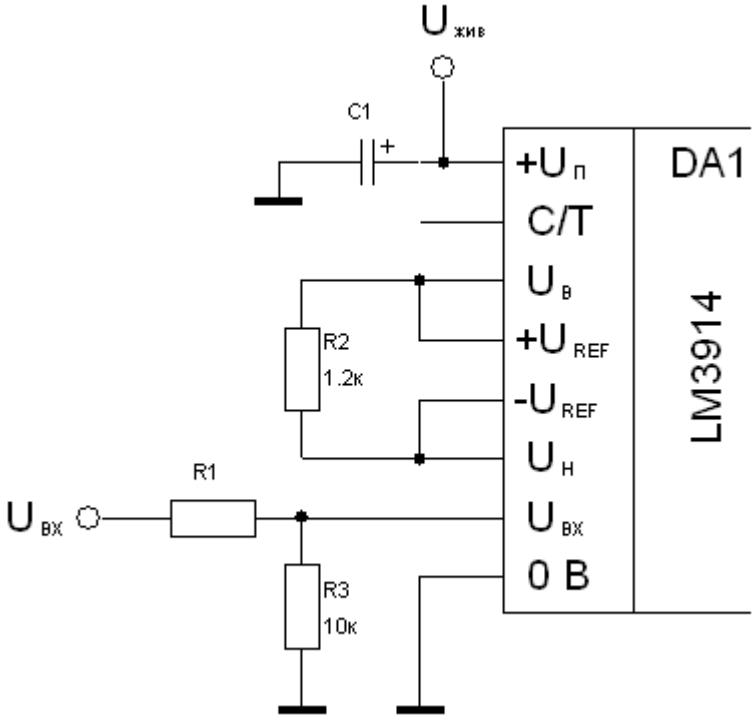


Рисунок 2.10 - Схема подачі вхідного сигналу на мікросхему LM3914

Опір резистора R1 вибирають відповідно до рівня вхідного сигналу U_{max}, при якому повинен включатися верхній світлодіод шкали, по формулі:

$$R1 = R2\left(\frac{U_{max}}{1{,}25 - 1}\right).$$

Опір резистора R3 визначає струм через світлодіоди.

2.3 Пристрій контролю заряду акумуляторної батареї

Пристрій контролю напруги акумуляторної батареї дозволяє перевірити стан кола заряду. У нормальних умовах зарядна напруга не повинна перевищувати 15,5 В, інакше батарея може вийти зі строю. При заряді акумуляторної батареї нижче 10,5 В, можлива сульфатація пластин і їх руйнування.

У схему введена звукова сигналізація. Якщо з якої-небудь причини напруга в системі впаде нижче 10,5 В, зазвучить сигнал тривоги. Можна підключити до сигналізації також 15-вольтовий вивід індикатора, щоб сигнал подавався і у випадку перезарядження батареї.

У зв'язку з цими умовами робота схеми індикації на мікросхемі LM3914 повинна здійснюватися в режимі «точка» [8]. Світлодіоди із збільшенням напруги заряду загоряються і гаснуть послідовно. Таким чином можливо зафіксувати критичні мінімальну і максимальну напруги (рис. 2.11).

Режим роботи блоку індикації «точка» імітовано за допомогою схеми дешифратора, керування якого здійснює Word Generator. Досягши мінімальної і максимальної напруги заряду, спрацьовує схема сигналізації. Правильність функціонування схеми підтверджується діаграмами (рис. 2.12).

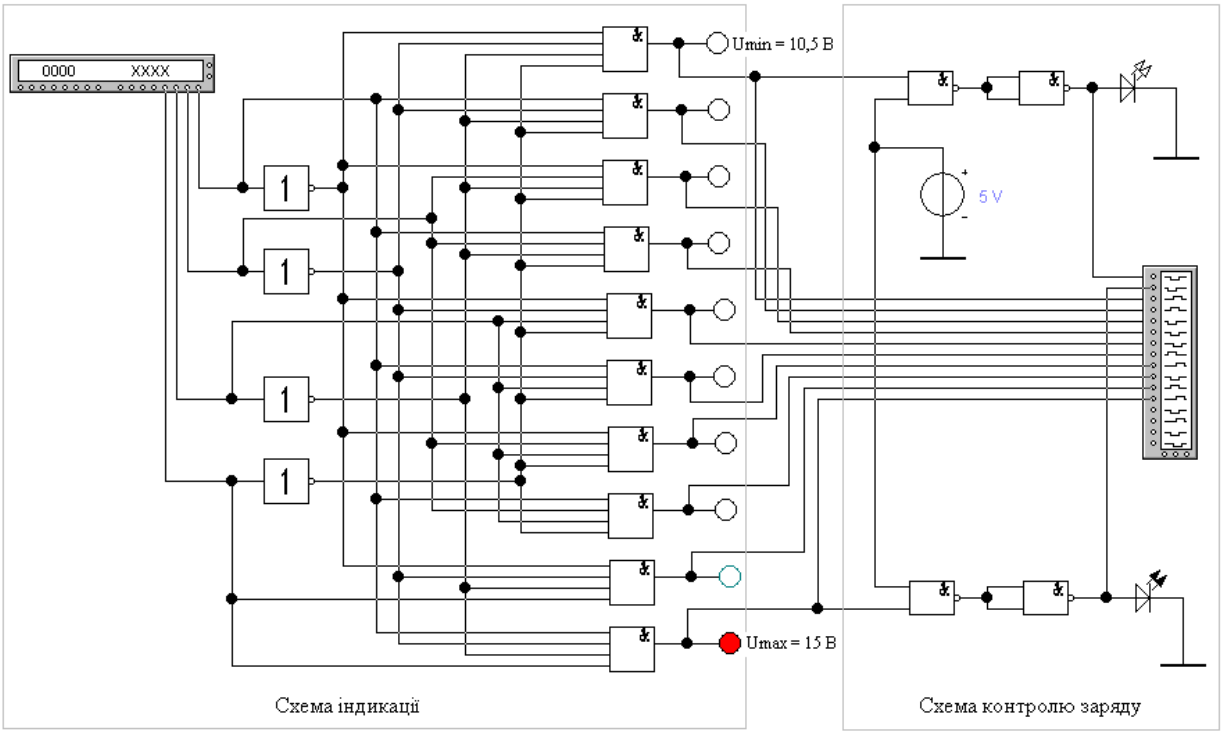


Рисунок 2.11 – Аналіз функціонування пристрою контролю заряду акумуляторної батареї

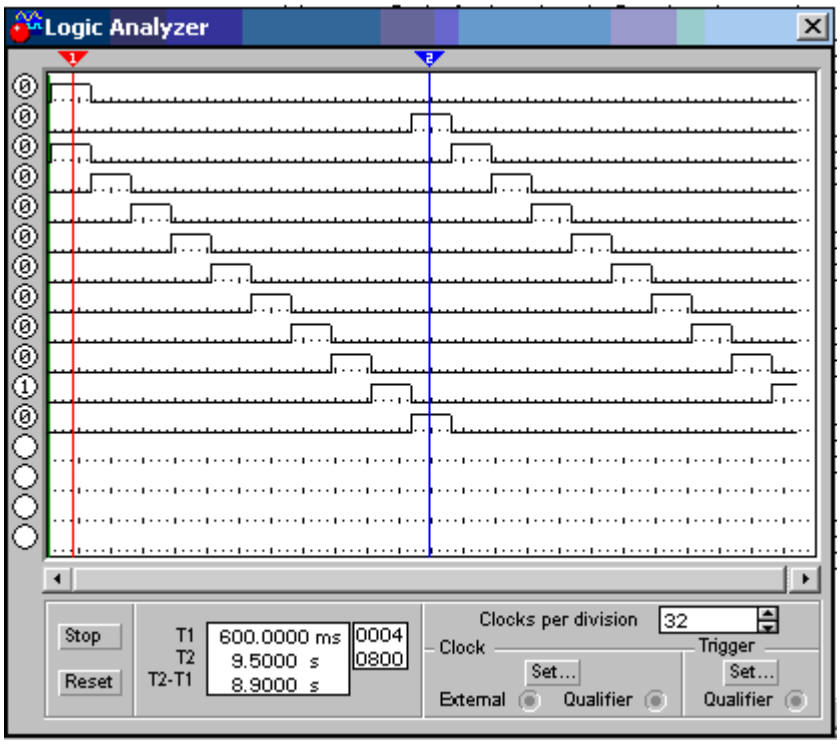
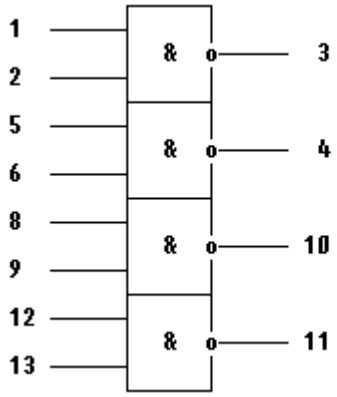


Рисунок 2.12 – Діаграма функціонування схеми контролю заряду акумуляторної батареї

2.4 Схема пристрою контролю ступеню заряду акумуляторних батарей

Для реалізації схеми контролю ступеню заряду акумуляторної батареї оберемо мікросхему К561ЛА7. Логічна модель мікросхеми зображена на рисунку 2.13 [10] і містить чотири двох входових елемента І-НЕ. Алгоритм функціонування одного елемента представлений в таблиці 2.1. Викостовуючи два елемента для кожного каскаду контролю реалізуємо задані функції і забезпечуємо контроль мінімальної і максимальної напруги заряду.



N вив.	Назначение	N вив.	Призначення
1	Вхід	8	Вхід
2	Вхід	9	Вхід
3	Вихід	10	Вихід
4	Вихід	11	Вихід
5	Вхід	12	Вхід
6	Вхід	13	Вхід
7	Загальний	14	Ucc

Рисунок 2.13 - Логічна модель мікросхеми К561ЛА7

Таблиця 2.1 - Алгоритм функціонування елемента 2І-НЕ

Входи		Вихід
A	B	F
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Рівняння функціонування елементу 2І-НЕ:

$$F = \overline{A + B}$$

Схема електрична принципова пристрою контролю напруги і ступеню заряду акумуляторних батарей представлена на рисунку 2.14.

Резистори R1, R2, R3 утворюють дільник напруги, який дозволяє понизити вхідну напругу 12 В (від акумуляторної батареї) на 2,5 В. Це необхідних для роботи мікросхеми DA1. Масштаб перетворення напруги мікросхемою DA1, встановлюється змінним резистором R6. Вхідна напруга від акумуляторної батареї поступає на компаратори усередині DA1, які визначають його значення. Це значення потім відображається одним з 10 світлодіодів (табл.. 2.2).

Стан батареї відображається двояко за допомогою кодування кольором світлодіодів. Наприклад, 13-вольтовий діод має зелений колір свічення.

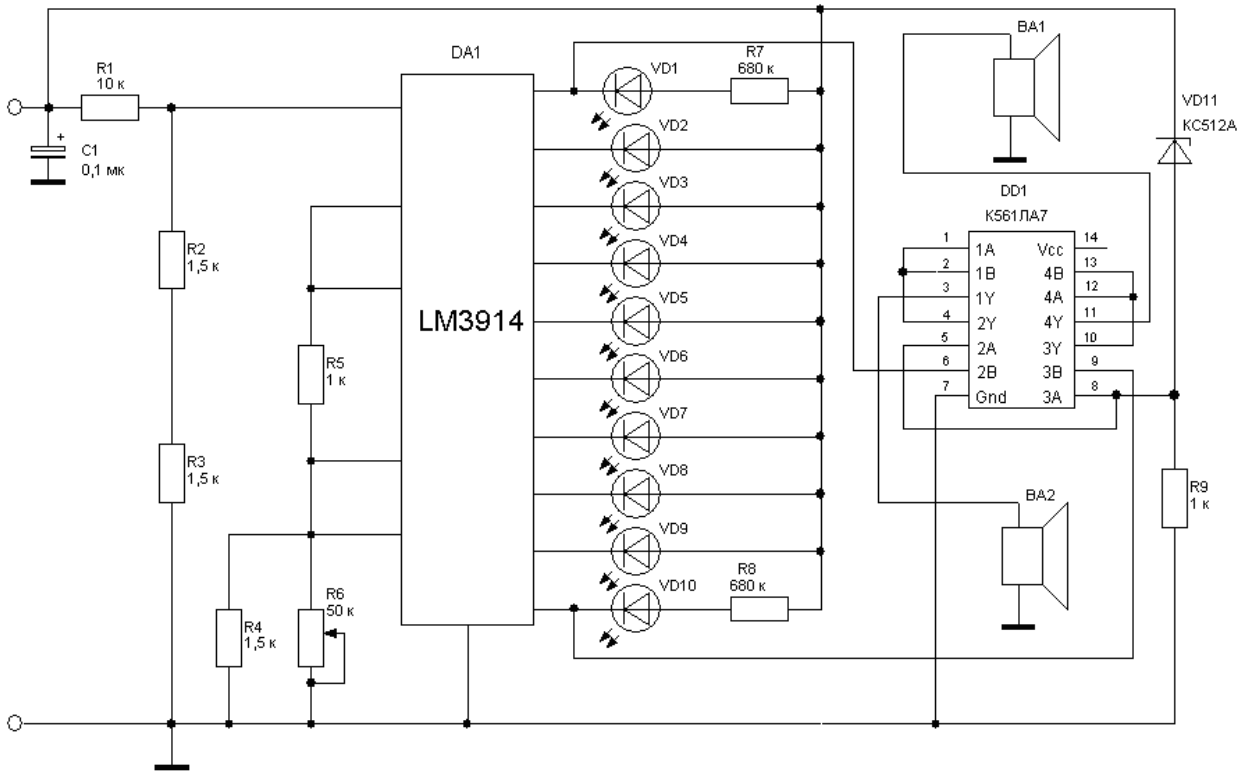


Рисунок 2.14 - Схема електрична принципова пристрою контролю напруги і ступеню заряду акумуляторних батарей

Вважається, що батарея з напругою 12-14 В працездатна. Однак якщо напруга батареї знижується до 11,5 В, а потім до 11 В, то заряд виснажується. Ці діоди мають жовтий колір свічення. Останній 10,5-вольтовий діод має червоний колір свічення. Якщо напруга акумуляторної батареї впала до цього рівня, то в ній мало (або взагалі немає) запасеної енергії. Таким чином за до-

помогою колірної шкали можна визначити точне значення напруги батареї і її зарядовий стан.

Таблиця 2.2 – Коментарі до інформації, яка відображається світлодіодами

Світлодіод	Напруга, В	Колір свічення	Коментарі
СД1	10,5 – 11,0	Червоний	Батарея розряджена; не допускати розрядження за вказані межі
СД2	11,0 – 11,5	Жовтий	Увага: в батареї залишилось менше 10% заряду
СД3	11,5 – 12,0	--	В батареї залишилось менше 40 % заряду
СД4	12,0 – 12,5	Зелений	Ступінь заряду батареї 50 – 90 %
СД5	12,5 – 13,0	--	Батарея може бути заряджена недостатньо
СД6	13,0 – 13,5	--	Батарея повністю заряджена, ступінь зарядженості 100%
СД7	13,5 – 14,0	--	Батарея достатньо заряджена
СД8	14,0 – 14,5	--	Батарея достатньо заряджена
СД9	14,5 – 15,0	--	Батарея заряджена максимально
СД10	15,0 – 15,5	Червоний	Зарядна напруга дуже велика; у звичайних умовах можуть виникнути проблеми

2.5 Розробка печатної плати пристрою контролю напруги і ступеню заряду акумуляторних батарей

Електронна частина схеми виконана із застосуванням печатного монтажу. При конструюванні схем пристроїв на печатних платах використовують наступні методи.

Моносхемний застосовують для нескладної радіо електронної апаратури (РЕА). В цьому випадку вся електрична схема розташовується на одній печатній платі (ПП). Моносхемний метод має обмежене застосування, оскільки дуже складні ПП незручні при налаштуванні і ремонті РЕА.

Схемно-вузловий метод застосовують при виробництві масовою і серійною РЕА. При цьому методі частина електричної схеми, що має чіткі вхідні і вихідні ланцюги (каскади УВЧ, УПЧ, блоки розгорток і т. п.), розташовується на окремій платі. Ремонтопридатність таких виробів більша. Недолік — складність системи сполучних дротів, що зв'язують окремі плати [11].

Функціонально-вузловий метод застосовують в РЕА з використанням мікроелектронних елементів. При цьому ПП містить провідники комутації функціональних модулів в єдину схему. На одній платі можна зібрати дуже складну схему. Недолік цього методу — різке збільшення складності ПП. У ряді випадків всі провідники не можуть бути розташовані на одній і навіть обох сторонах плати. При цьому використовують багатошарові печатні плати БПП, об'єднуючі в єдину конструкцію декілька шарів печатних провідників, розділених шарами діелектрика.

Відповідно до ДСТУ 23751-94 розрізняють три методи виконання печатних плат: ручний, напівавтоматизований і автоматизований. Переважними є напівавтоматизований і автоматизований методи. При ручному методі розміщення навісних елементів (компоновка) і розробка провідного рисунка (трасування) здійснюється уручну. При напівавтоматизованому методі конструювання можливі два варіанти:

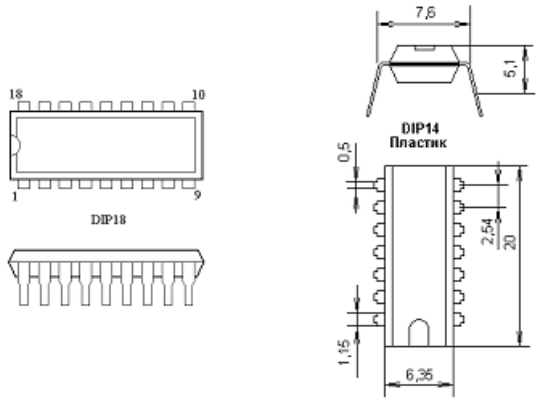
- розміщення навісних елементів на печатній платі за допомогою ЕОМ, а розробка провідного рисунка ПП ручним методом;

- розміщення навісних елементів на ПП ручним методом, а розробка провідного рисунка за допомогою ЕОМ.

При автоматизованому методі конструювання розміщення навісних елементів і розробка провідного рисунка ПП виконуються за допомогою ЕОМ. При цьому можливі наступні операції: кодування вихідних даних; контроль закодованої інформації і виправлення помилок; розміщення навісних елементів на платі; трасування печатних провідників з видачею списку нерозведених з'єднань і ескізу провідного рисунка плати; ручна дорозводка з'єднань печатних провідників; контроль спроектованого провідного рисунка плати відповідно до принципової електричної схеми; виведення інформації для управління автоматичними пристроями, призначеними для розробки конструкторської документації і управління технологічними і тестовими автоматами; розробка конструкторської документації з використанням засобів механізації і автоматизації. Окремі етапи автоматизованого методу конструювання можна уточнювати з врахуванням особливостей використовуваних систем автоматизованого проектування.

Методи виготовлення одно- і двохсторонніх печатних плат, гнучких печатних плат і гнучких печатних кабелів класифікують за принципом здобуття провідного рисунка, по методу здобуття провідного рисунка і способу формування зображення рисунка ПП. Для багатошарових печатних плат (БПП) заготівки отримують методами, аналогічними для одно- і двохсторонніх печатних плат, але в них додатково слід забезпечити міжшарові з'єднання, які в основному і характеризують надійність функціонування. Розміри печатної плати залежать від габаритів використовуємої елементної бази. Найбільш габаритними являються корпуси мікросхем (рис. 2.15).

Схема може бути дороблені з використанням малогабаритної СМД елементної бази. Але при цьому знизиться ремонтопридатність схеми.



а б

а – мікросхема LM3914;

б – мікросхема К561ЛА7

Рисунок 2.15 – Габаритні розміри корпусів мікросхем

Розводка струмопровідних доріжок печатної плати і монтажу елементної бази приведена на рисунках 2.16 і 2.17. Печатна плата виконана з одностороннього фольгованого текстоліту розміром 78 × 56 мм і змодельована в програмному застосуванні Layout 40.

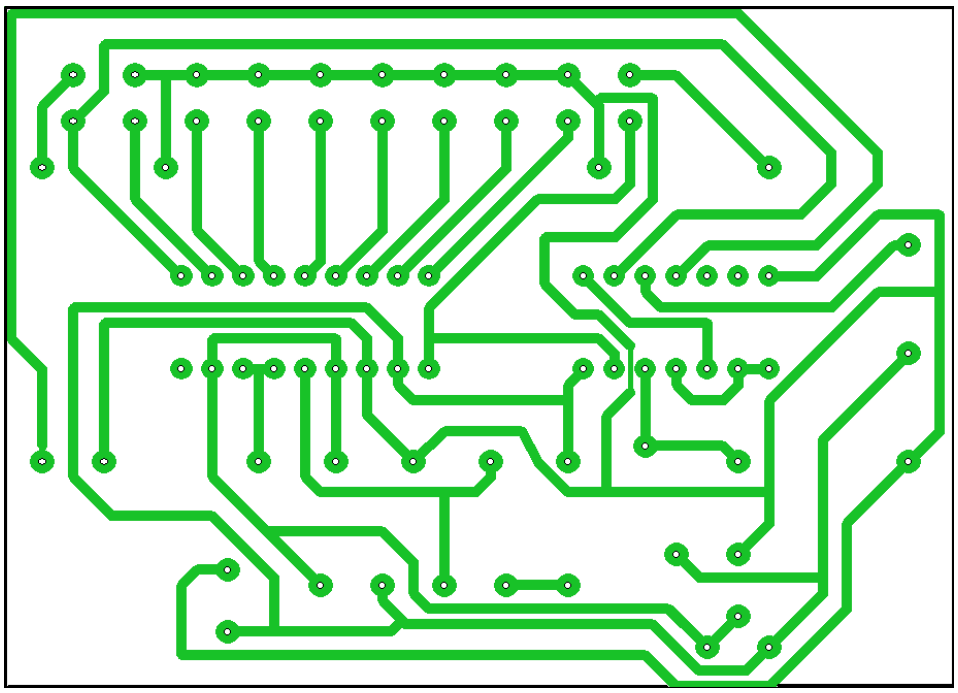


Рисунок 2.16 - Розводка струмопровідних доріжок печатної плати

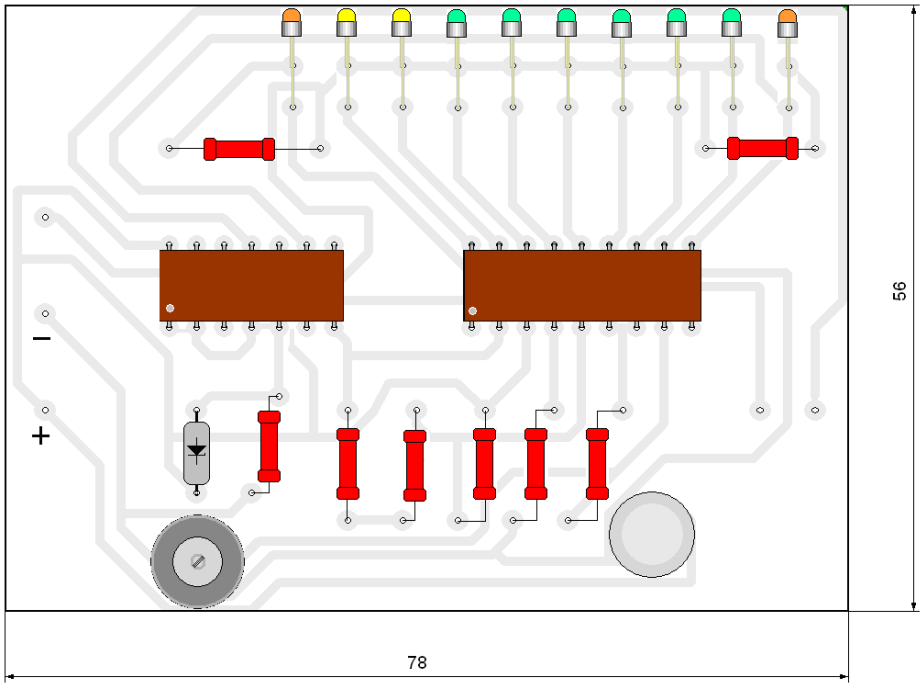


Рисунок 2.17 - Монтаж елементної бази на печатній платі

2.6 Пристрій контролю внутрішнього опору та ємності акумуляторних батарей

В даний час поширеними методами вимірювання внутрішнього опору батарей являються.

Метод щільності.

Метод щільності в основному оцінює внутрішній опір батареї шляхом вимірювання щільності електроліту батареї. Він часто використовується для вимірювання внутрішнього опору свинцево-кислотних акумуляторів відкритого типу і не підходить для вимірювання внутрішнього опору герметичних свинцево-кислотних акумуляторів. Сфера застосування цього методу вузька.

Метод напруги розімкнутого кола.

Метод напруги розімкнутого кола оцінює внутрішній опір батареї шляхом вимірювання напруги на клемах батареї. Точність дуже низька, можна навіть зробити неправильні висновки. Оскільки навіть акумуляторна батарея, ємність якої стала дуже малою, напруга на її клемах все ще може вести себе нормально під час повторного плаваючого стану.

Метод розряду постійним струмом.

Метод розряду постійним струмом полягає у вимірюванні миттєвого падіння напруги на батареї шляхом розрядження батареї миттєвим високим струмом і обчисленні внутрішнього опору батареї за законом Ома. Хоча цей метод широко використовується на практиці, він також має деякі недоліки. Якщо цей метод використовується для визначення внутрішнього опору батареї, його необхідно виконувати в статичному або автономному стані, а вимірювання в дистанційному режимі неможливо досягти. Більше того, сильнострумовий розряд завдасть більшої шкоди батареї, що вплине на ємність і термін служби батареї.

Метод інжекції змінного струму.

Метод змінного струму вводить в акумулятор постійний сигнал змінного струму I_S для вимірювання сигналу відповіді напруги U_0 на обох кінцях батареї, а різниця фаз θ між ними використовується для визначення внутрішнього опору R батареї за формулою імпедансу. Цей метод не потребує розрядження акумулятора, він може реалізувати дистанційне виявлення внутрішнього опору батареї, тому це не вплине на продуктивність акумулятора. Однак цей метод потребує вимірювання сигналу змінного струму I_s, сигналу відгуку напруги U_0 та різниці фаз θ між напругою та струмом. Видно, що цей метод не тільки має багато факторів перешкод, але й збільшує складність системи, а також впливає на точність вимірювань. .

Тестер внутрішнього опору.

Тестер внутрішнього опору акумулятора використовує передовий метод перевірки розряду змінного струму, який може точно виміряти напругу та внутрішній опір на обох кінцях батареї та використовувати це для оцінки ємності батареї та технічного стану батареї. Можна вибрати перевірку внутрішнього опору, перевірку напруги та оцінку ємності акумулятора відповідно до необхідних умов.

Найпростішим способом визначення внутрішнього опору акумуляторної батареї є її навантаження після стану спокою, який являє собою стан при

якому впродовж тривалого часу напруга на акумуляторі не змінювалася і він не знаходився в процесі розряду або заряду.

Розроблений прилад (рис. 2.18) дозволяє швидко дефектувати акумулятори по підвищенню внутрішнього опору і вимірювати реальну ємкість акумулятора.

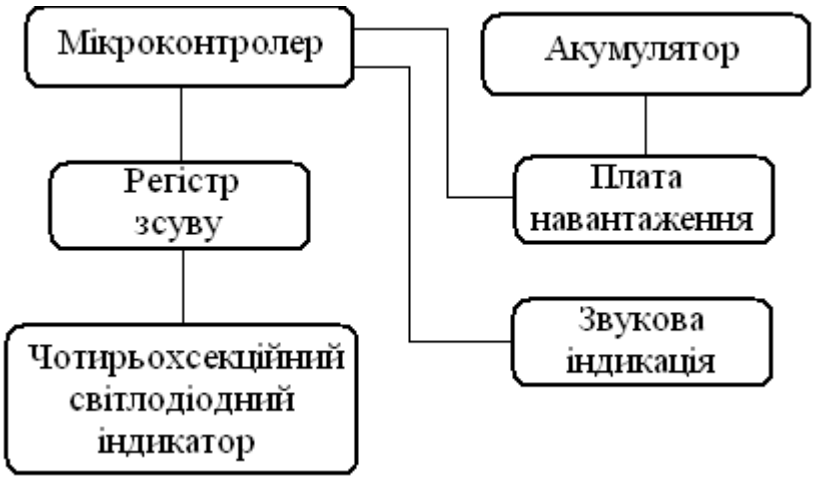


Рисунок 2.18 – Структурна схема пристрою контролю внутрішнього опору та ємності акумуляторних батарей

Ємкість миттєво виміряти не можна. Її можна виміряти або заряджаючи акумулятор (скільки струму він прийме), або розряджаючи його на навантаження (скільки струму він віддасть при розряді)..

При моментальному вимір напруги і внутрішнього опору акумулятора резистор навантаження дорівнює рівно 2 Ом і розсіювана потужність не менше 8 Вт. Резистор складається з сполучених в паралель SMD-резисторів по 10 Ом. На платі навантаження розміщується кнопка включення режиму виміру ємкості і динамік.

2.6.1 Моделювання регістра зсуву

Регістром називається функціональний пристрій для приймання, запам’ятовування, перетворення та передавання двійкової інформації (слів) [10]. Введення (запис) інформації у регістр і зняття (зчитування) інформації з

нього залежать від способу та характеристик з'єднання тригерів, з яких складається регістр. У регістрах пам'яті число вводиться (виводиться) за один такт, а в регістрах зсуву – за n тактів, де n – розрядність чисел.

Регістри зсуву застосовуються для перетворення послідовного коду в паралельний (і навпаки), для перемноження і ділення багаторозрядних чисел і так далі.

У регістрі з послідовним введенням виконується послідовний зсув інформації, яка надходить на вхід, на один розряд вправо в кожному такті синхросигналів (рис. 2.19).

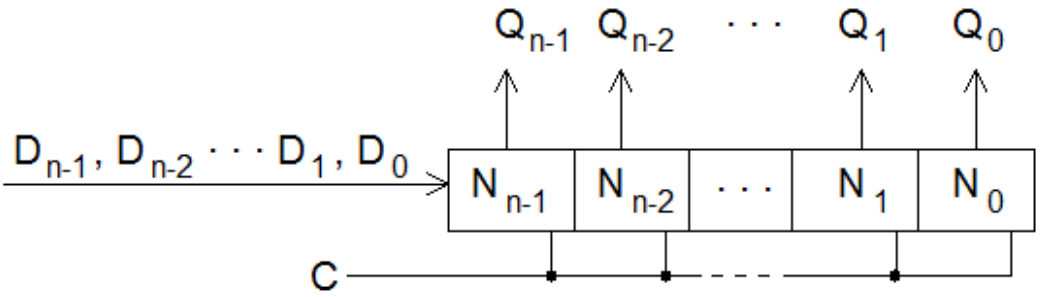


Рисунок 2.19 – Структурна схема регістра зсуву

Схема 8-розрядного регістра зсуву приведена на рисунку 2.20. Завдяки тому, що вихід попереднього розряду сполучений з входом «D» подальшого, кожен тактовий імпульс встановлює подальший тригер в стан, в якому до цього знаходився попередній. Так здійснюється зсув інформації вправо.

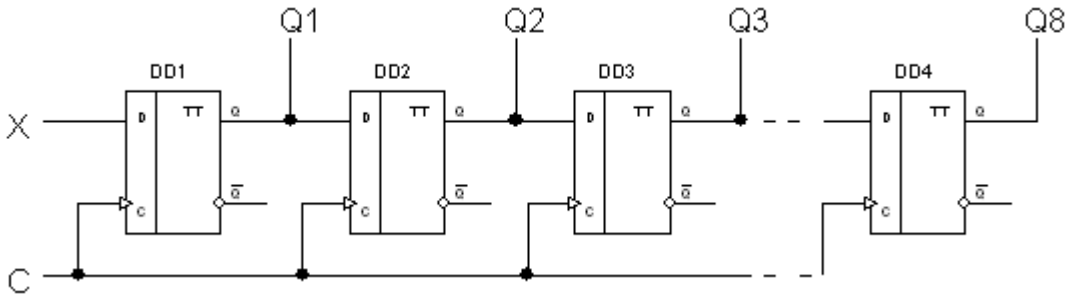


Рисунок 2.20 – Схема 8-розрядного регістра зсуву

Проведемо перевірку функціонування регістру зсуву схеми контролю внутрішнього опору та ємності акумуляторних батарей у програмному забезпеченні EWB (рис 2.21). Діаграма функціонування на рисунку 2.22.

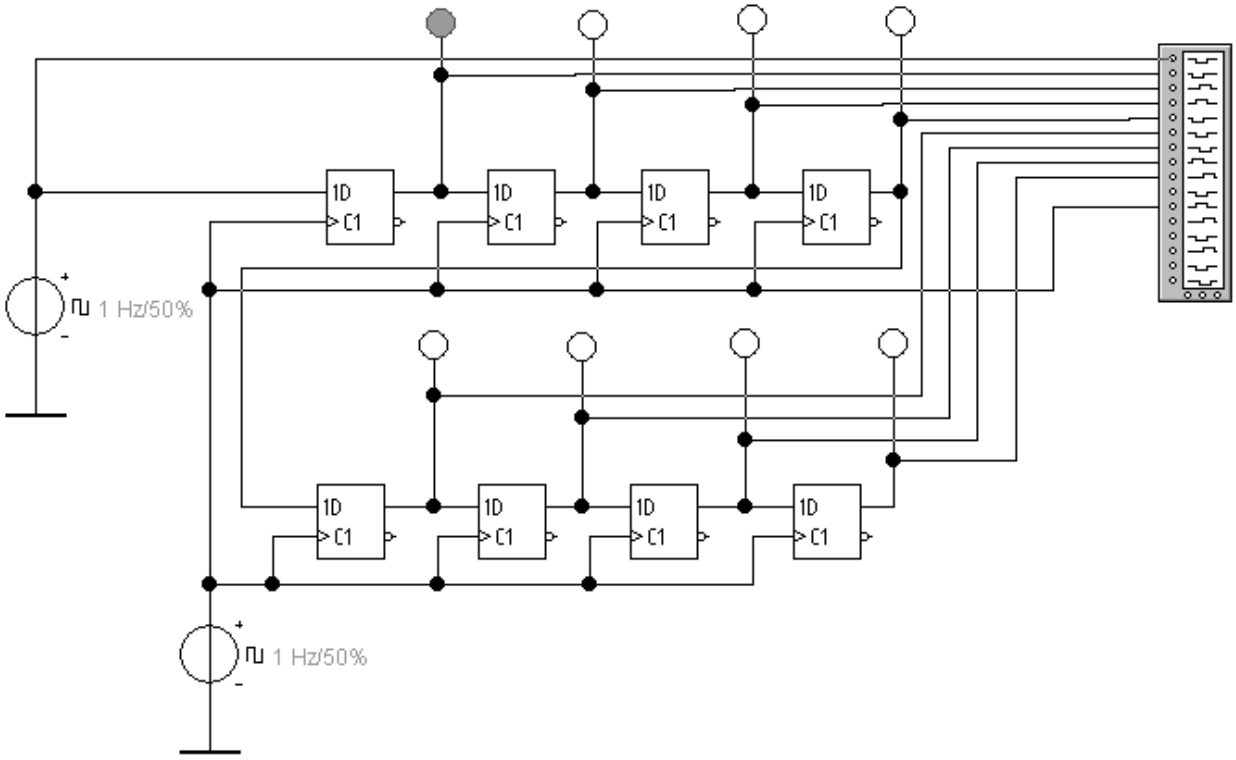


Рисунок 2.21 – Аналіз функціонування схеми 8-розрядного регістра зсуву

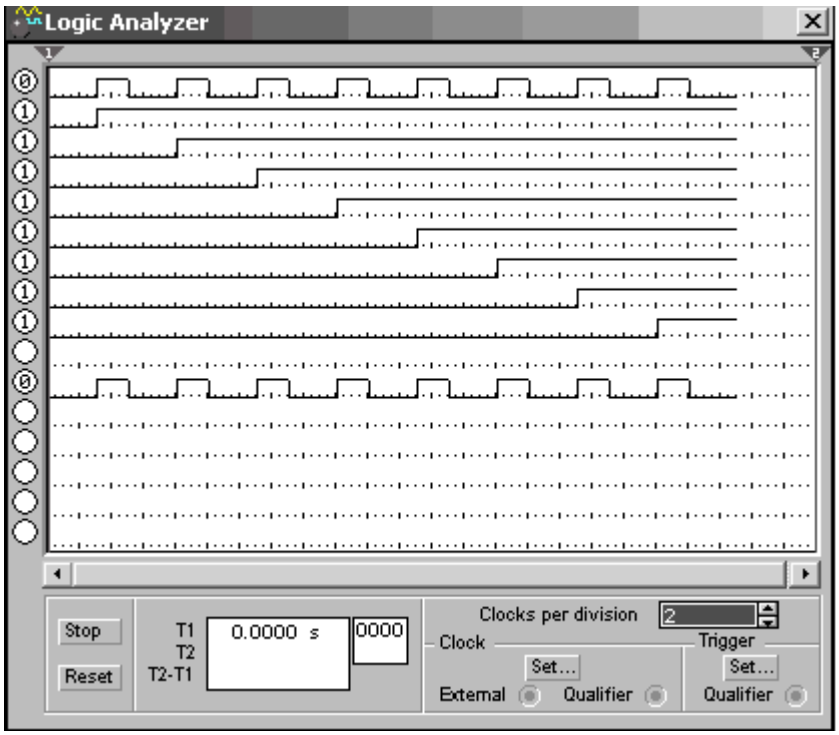


Рисунок 2.22 – Діаграма функціонування 8-розрядного регістра зсуву

У якості регістра зсуву використаємо мікросхему 74HC595 (рис. 2.23).

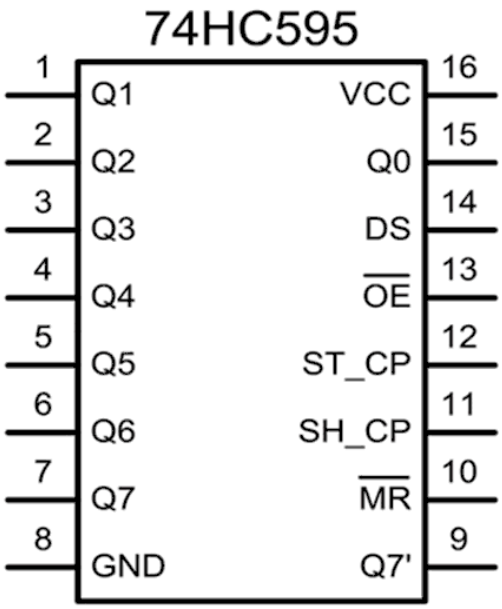


Рисунок 2.23 – Мікросхема 8-розрядного регістра зсуву 74HC595

74HC595 - восьмирозрядний регістр зсуву з послідовним введенням, послідовним або паралельним виведенням інформації, з тригером-клямкою і трьома станами на виході.

Призначення виводів мікросхеми:

Q0…Q7 – виходи регістра, можуть бути в стані 0, 1 або високоімпедансному;

GND – земля;

Q7′ – вихід для послідовного з'єднання регістрів;

MR – скидання значень регістра;

SH_CP – вхід тактових імпульсів;

ST_CP – вхід «замикання» даних;

OE – вхід переводу виходів з високоімпедансного в робочий стан;

DS – вхід даних;

VCC – живлення 2-6 вольт;

Використовуючи всього 3 виходи контролера можна управляти 8 виходами с регістра зсуву.

Дані до мікросхеми передаються послідовно. Біти 0 і 1 передаються в регістр один за одним, причитування бітів відбувається під час вступу синхроімпульсу. Вихід регістра може знаходитися не лише в стані логічних 0 або

1, але і бути в високоімпедансному стані, коли вихід відключений від схеми. У цей стан можуть бути переведені лише всі виходи відразу.

Схема включення мікросхеми 74HC595 представлена на рисунку 2.24.

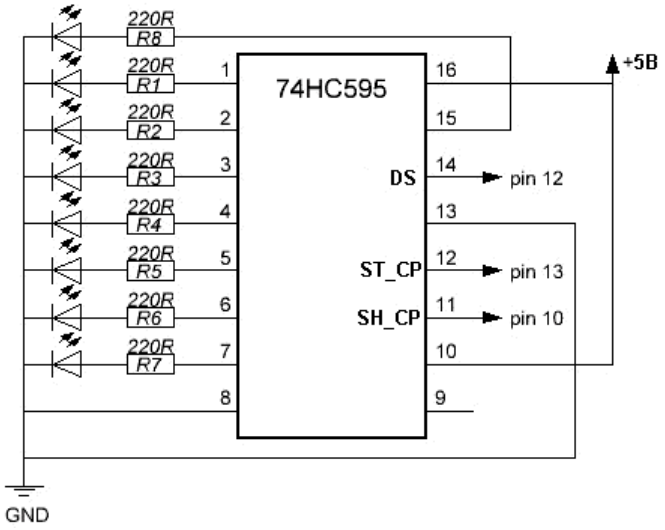


Рисунок 2.24 – Схема включення мікросхеми 74HC595

Працює на інтерфейсі SPI: виводи DS, ST_CP, SH_CP - це шини управління. Відповідно: шина даних (DS), клямка (SH_CP) і тактова лінія (ST_CP). Підключається до будь-яких 3 контактів Arduino (бібліотека SPI в коді не задіяна). В схемі це 12, 10, 13 виходи Arduino (стандарт). Виводи Q0, Q1 ..., Q7 - це виходи регістра (розряди). Для того, щоб стежити за станом кожного з них, підключено на кожен вивід по світлодіоду (з послідовно сполученим резистором, номіналом від 150 до 330 Ом). VCC і GND - це живлення. Підключаємо до +5 В і GND. Вихід Q7` призначений для послідовного з'єднання таких регістрів. MR - вивід скидання. Підключаємо до +5 В (скидання не активне). OE притягуємо до землі (підключаємо до контакту GND).

2.6.2 Загальна схема контролю внутрішнього опору та ємності акумуляторних батарей

У схемі можливе використання як індикаторів із загальним катодом, так і із загальним анодом (режим відображення перемикається комутацією четвертого виводу контролера) (рис. 2.25).

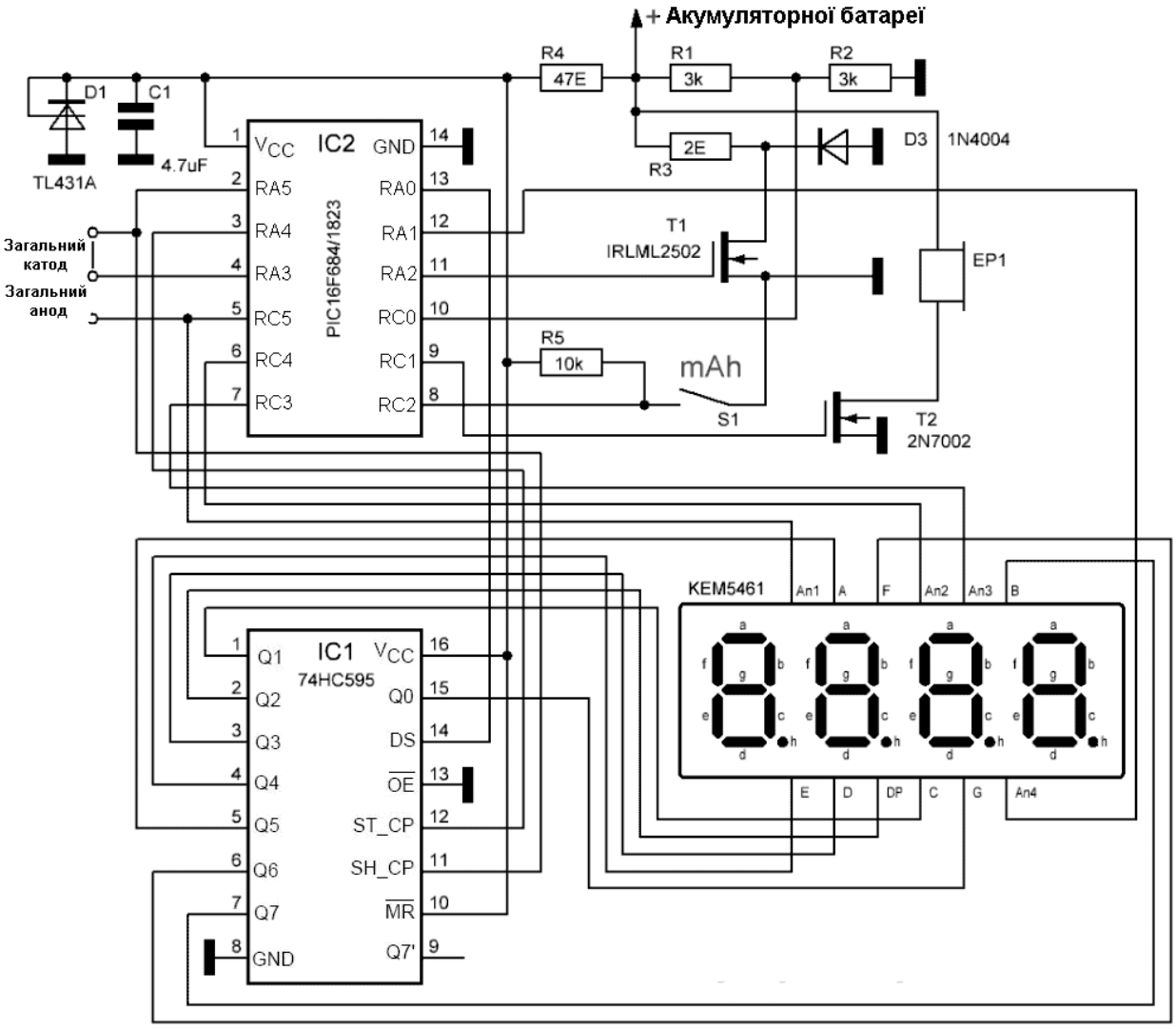


Рисунок 2.25 - Схема контролю внутрішнього опору та ємності акумуляторних батарей

При тривалому пропусканні струму біля 2А на опорі навантаження виділяється потужність близько 8 Вт.

Польовий транзистор VT1 призначений для управління резистором навантаження, з опором каналу близько 50 мОм при прикладанні управляючої напруги до затвора 2,5 В.

Відразу прилад вимірює і відображує напруга і внутрішньо опір підключеного акумулятора. Зображення на екрані змінюються по черзі.

Мобільні пристрої інформаційних, керуючих та телеметричних систем живляться від мобільних генераторів через перетворювачі змінного струму на постійний, від акумуляторних батарей чи за можливості прямо від соняч-

них панелей. Сонячні панелі, як правило, працюють у системі, що передбачає використання акумуляторів для забезпечення функціонування систем, коли сонячні панелі не працюють або не забезпечують достатньої потужності. Підзаряджати акумулятори можна від самих панелей за достатньої потужності сонячних панелей або від зовнішнього джерела постійного струму. Також для функціонування мобільних пристроїв використовують системи живлення тільки від акумуляторів, підзаряджання яких здійснюється від генераторів чи за можливості від стандартних електричних мереж. Всі ці варіанти систем живлення мобільних пристроїв потребують оперативного контролю параметрів акумуляторних батарей та відповідних мереж постійного струму.

Розвиток методів цифрового оброблення сигналів та поява потужних мікропроцесорних компонентів забезпечили можливість впроваджувати у найрізноманітніших сферах діяльності мобільні інформаційні системи, які потребують відповідних систем живлення, що використовують акумуляторні батареї.

Поширення набули системи живлення на основі сонячних панелей, які використовують для живлення найрізноманітніших комплексів, наприклад, у мобільній та портативній електроніці, електромобілях, авіації, космосі, для енергозабезпечення будівель тощо. Такі системи, як правило, використовують акумуляторні батареї. Для цього необхідні відповідні засоби, щоб забезпечити заряджання акумуляторних батарей з оптимальними параметрами, що дасть змогу максимально продовжити їх термін експлуатації та мінімізувати риск виникнення аварійних ситуацій. Значну роль у цьому відводять пристроям контролю параметрів акумуляторних батарей та відповідних мереж постійного струму [11].

3 Охорона праці та техногенна безпека

3.1 Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Як об’єкт дослідження розглянуто приміщення в якому проводяться дослідні роботи та роботи з відео термінальними пристроями.

Приміщення, в якому знаходяться відео термінальні пристрої, має такі характеристики:

- довжина приміщення 8,5 м;
- ширина приміщення 5,9 м;
- висота 4 м;
- число вікон 3;
- кількість робочих місць 28;
- забарвлення інтер'єру: біла стеля, блідо-бежеві стіни, підлога металева,
- обтягнута лінолеумом коричневого кольору.

Небезпечні та шкідливі фактори за природою дії поділяються на такі групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні [12].

В приміщені діють такі фізичні небезпечні та шкідливі фактори:

- підвищена чи знижена температура повітря робочої зони (в холодний та теплий період року);
- підвищений рівень інфразвукових коливань, ультразвуку, іонізуючих випромінювань, статичної електрики, електромагнітних випромінювань, ультрафіолетової чи інфрачервоної радіації;
- підвищені чи знижені вологість, іонізація та рухомість повітря (залежно від періоду року;
- небезпечне значення напруги в електричному колі; підвищена напруженість електричного чи магнітного полів;

- недостатня освітленість робочої зони; підвищена яскравість світла;

Також присутні небезпечні та шкідливі психофізіологічні фактори, до яких належать фізичні (статичні та динамічні) і нервово-психічні перевантаження (розумове перенапруження, перенапруження органів чуття, монотонність праці, емоційні перевантаження).

3.2 Заходи з поліпшення умов праці

Одним із заходів є підвищення комфортності роботи шляхом раціоналізації параметрів робочого місця та робочого приміщення з ергономічної точки зору [13].

Обсяг приміщення на одного працюючого за санітарними нормами має становити не менше 20 м^3, а площа приміщення – не менше 6 м^2. Ширина основних проходів у приміщенні повинна становити не менше 1,5 м. Ширина виходів з приміщення повинна бути не менше 1 м, висота – не менше 2,2 м. Дане приміщення має обсяг V=188,06 м^3 , а площу S=50,15 м^2, кількість людей 10 чоловік. Таким чином наше приміщення не відповідає нормам з ергономічної точки зору.

Для зменшення впливу психофізіологічних факторів складено правильний графік трудового дня, встановлено необхідний час перерв, темп та ритм роботи, які необхідні для зменшення дії на організм людини фізичних зусиль, що в свою чергу дозволяють захистити людину від перевтомлення та втрати здоров’я.

До засобів захисту відносяться: вентиляція, штучне освітлення, звукоізоляція. Існують нормативи, що визначають комфортні умови і гранично допустимі норми запиленості, температури повітря, шуму, освітленості. Важливу роль відіграє забарвлення приміщень, яка повинна бути світлою.

З метою запобігання або зменшення впливу на працюючих шкідливих і небезпечних виробничих чинників застосовують засоби колективного та індивідуального захисту.

Засоби колективного захисту призначені для:

- нормалізації повітряного середовища кабінету і робочих місць (вентиляція, кондиціонування, опалення, автоматичний контроль і сигналізація);

- нормалізації освітлення кабінету і робочих місць (джерела світла, освітлювальні прилади, світлозахисне обладнання, світлофільтри). При недоліку природного освітлення необхідно користуватися штучним.;

- захисту від іонізуючих, інфрачервоних, ультрафіолетових, електромагнітних, лазерних, магнітних та електричних полів (огородження, герметизація, знаки безпеки, автоматичний контроль і сигналізація, дистанційне керування тощо);

- захисту від шуму, вібрації (огородження, звукоізоляція, віброізоляція). Для зменшення рівня шуму, який перевищує норму в лабораторному приміщенні можна застосовувати оздоблювальні матеріали з шумопоглинаючим ефектом;

- захисту від ураження електричним струмом (різні види огородження, захисне заземлення, автоматичне відключення, дистанційне керування).

Забезпечення недоступності струмоведучих частин досягається ізолюванням струмопровідних кабелів і проводів;

- захисту від дії механічних факторів (огородження, автоматичний контроль і сигналізація, знаки безпеки);

- захисту від хімічних факторів (огородження, герметизація, вентиляція та очищення повітря, дистанційне керування, знаки безпеки);

- захисту від високих і низьких температур навколишнього середовища (огородження, автоматичний контроль і сигналізація, термоізоляція, дистанційне керування).

3.3 Виробнича санітарія

Мікроклімат характеризується наступними параметрами: температура, вологість, швидкість повітря, атмосферний тиск, шум [14].

Для нашого приміщення температура підтримується завдяки вентиляції (природної і штучної) в теплу пору року, та за допомогою опалення та герметизації приміщення в холодну пору року. Допустимі норми температури для холодної пори року 21-23°С, для теплої складає 22-24°С.

Наше приміщення відповідає цим температурним нормам.

В даному приміщенні є два види вентиляції:

– природна (аерація через вікна і двері);

– примусова (припливно-витяжна).

Функціонально близьким, але відмінним від вентиляції за способом повітрообміну є кондиціонування. В даному приміщені є наявність кондиціонера, який підтримує в приміщенні комфортні умови незалежно від зовнішніх умов (визначеної температури, вологості, чистоти повітря і швидкості повітряних потоків).

Вологість повітря в даному приміщенні не перевищує 75%, що відповідає допустимим нормам. Це реалізується за допомогою вентиляції і кондиціонування приміщення, а також за рахунок проведення вологих збирань.

У приміщенні є наявність відео термінальних пристроїв та учбових стендів для проведення дослідних робіт. Усі ці устаткування мають низький рівень шуму, що в свою чергу не перевищує допустиму норму рівня шуму в 65 дБ.

У приміщенні, де знаходяться відео термінальні пристрої, використовується змішане освітлення, тобто поєднання природного і штучного освітлення.

В якості природного - бокове освітлення через вікна. В даному приміщенні використовується загальне штучне освітлення.

Розрахунок його здійснюється за методом світлового потоку, з урахуванням потоку, відбитого від стін і стелі.

Нормами для даних робіт в приміщенні встановлена необхідна освітленість робочого місця $E_н$ = 200лк (середня точність роботи по розрізненню деталей розміром від 1 до 5 мм).

3.4 Електробезпека

Приміщення за ступенем небезпеки ураження людей електричним струмом відповідно до ПУЕ і ДСТу 12.1.013-98 являється приміщенням без підвищеної небезпеки [13].

Приміщення сухе, добре опалюване з струмонепровідною підлогою, з температурою 18-24 °С, з вологістю 40-50%. З електроустаткувань в ньому знаходяться відео термінальні пристрої та учбові стенди, які знаходяться під напругою.

Причини ураження електричним струмом такі: 1. Пошкодження устаткування, 2. Пошкодження ізоляції, 3. Коротке замикання на землю або на корпус, 4. Порушення правил техніки безпеки и роботи с електроустаткуванням.

Для забезпечення електробезпеки в даному приміщенні використовуються такі технічні засоби:

- захисне заземлення;
- мала напруга;
- захисне відімкнення;
- ізоляція струмопроводів;
- знаки безпеки.

Захисне заземлення — навмисне електричне з'єднання з землею або її еквівалентом металевих струмопровідних частин, що можуть опинитися під напругою.

Учбові стенди, які знаходяться в приміщенні, працюють на мінімально можливих напругах, що забезпечує додаткову безпеку.

Усі електроустаткування можна у разі потреби вимкнути через електронний щит управління, який миттєво знеструмлює усі стенди та відео термінальні пристрої. Скрізь, де встановлені розетки є попереджувальні знаки.

3.5 Пожежна та техногенна безпека

Приміщення відноситься за вибухопожежною небезпекою до категорії “В” [14].

Основними причинами пожеж в даному приміщенні є:

- необережне поводження з вогнем;
- незадовільний стан електротехнічних пристроїв, порушення правил їх монтажу та експлуатації;
- невиконання вимог нормативних документів з питань пожежної безпеки.

Приміщення за класом пожеж відноситься до категорії “Е”. Це горіння обладнання та установок, які знаходяться під електричною напругою. Серед необхідних засобів гасіння пожежі в даному приміщені є два вуглекислих вогнегасники типу ОУ-2. Для мінімізації виникнення пожежі в даному приміщені вчасно проводиться профілактичний огляд та ремонт електроустаткування. В приміщенні є план евакуації згідно якого люди повинні залишити приміщення у разі виникнення пожежі.

Для евакуації людей на випадок пожежі, згідно СНіП 11-90-81, на поверсі є два евакуаційні виходи, розташованих в протилежних кінцях будівлі. Ширина дверей і сходів рівна 1,6 м, що відповідає нормі. Відстань від найбільш видаленого робочого місця до найближчого виходу – 15 м. Швидкість просування людей при евакуації – 16 м/мін.

У даній будівлі застосовують звукову систему сигналізації. При появі сигналу сповіщення про пожежу співробітники організовано без паніки покидають лабораторію і, залежно від місця спалаху, слідують або вліво через лабораторний корпус для виходу на вулицю Фанатську, або управо для виходу на вулицю Незалежної України (рис. 3.1).

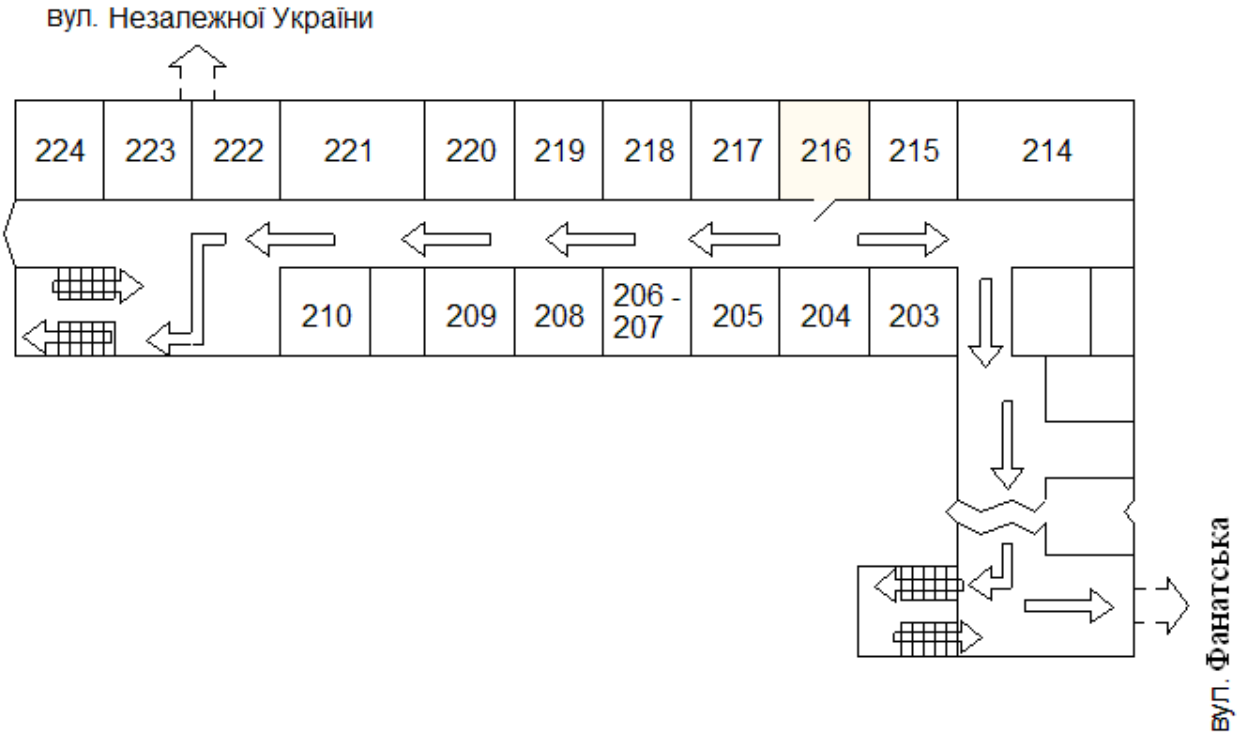


Рисунок 3.1 – План евакуації при пожежі із аудиторії

3.6 Розрахунок освітлення робочого місця

Загальний світловий потік визначається за формулою [14]:

$$Fз = \frac{Eн \cdot S \cdot z1 \cdot z2}{V}, \qquad (3.1)$$

де Ен - нормована освітленість (Ен=200лк), S - площа приміщення; z1 - коефіцієнт, який враховує старіння ламп і забруднення світильників (z1=1.5); z2 - коефіцієнт, який враховує нерівномірність освітлення приміщення (z2=1.1); V - коефіцієнт використання світлового потоку; визначається в залежності від коефіцієнтів відбиття від стін, стелі, робочих поверхонь, типів світильників і геометрії приміщення.

Площа приміщення:

$$S = A \cdot B = 8{,}5 \cdot 5{,}9 = 50{,}12 \text{ м}^2, \qquad (3.2)$$

Виберемо з таблиці [14] коефіцієнт використання світлового потоку за наступними даними:

- коефіцієнт відбиття білої стелі Rп = 70%;

- коефіцієнт відбиття від стін, забарвлених в світлу фарбу Rст = 50%;

- коефіцієнт відбиття від підлоги, покритої лінолеумом темного кольору

$$Rp = 10\%;$$

- індекс приміщення

$$h = 4м - 0,725 = 3,275$$

$$I = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{8,5 \cdot 5,9}{3,275 \cdot (8,5 + 5,9)} = 1,06 \qquad (3.3)$$

Знайдений коефіцієнт V = 0,64 [14].

За формулою (3.1) визначаємо загальний світловий потік:

$$Fз = \frac{200 \cdot 50,12 \cdot 1,1 \cdot 1,5}{0,64} = 25873 \text{ лм}$$

Для організації загального штучного освітлення виберемо лампи типу ЛБ65. Люмінесцентні лампи мають ряд переваг перед лампами розжарювання: їх спектр ближче до природного; вони мають велику економічність (більше світловіддача) і термін служби (у 10-12 раз). Поряд з цим є й недоліки: їх робота супроводжується іноді шумом; гірше працюють при низьких температурах; їх не можна застосовувати у вибухонебезпечних приміщеннях; вони мають малу інерційність. Для нашого приміщення люмінесцентні лампи підходять.

Світловий потік однієї лампи ЛБ65 становить не менш Fл = 4600 лм. Число N ламп, необхідних для організації загального освітлення визначається за формулою:

$$N = \frac{Fз}{Fл} = \frac{25873}{4600} = 5,6 \qquad (3.4)$$

В якості світильників вибираємо ПВЛ-1, 1×65 Вт. Електрична потужність однієї лампи ЛБ65 Wл = 65 Вт.

Потужність всієї освітлювальної системи:

$$W = Wл \cdot N = 65 \cdot 6 = 390 \text{ Вт} \qquad (3.5)$$

Розміщення світильників ПВЛ-1, 1×65 Вт представлено на рисунку 3.2.

Таким чином, щоб забезпечити світловий потік Fз= 25873 лм в даному приміщенні використовується 6 світильників з 1 лампою ЛБ65 в кожному.

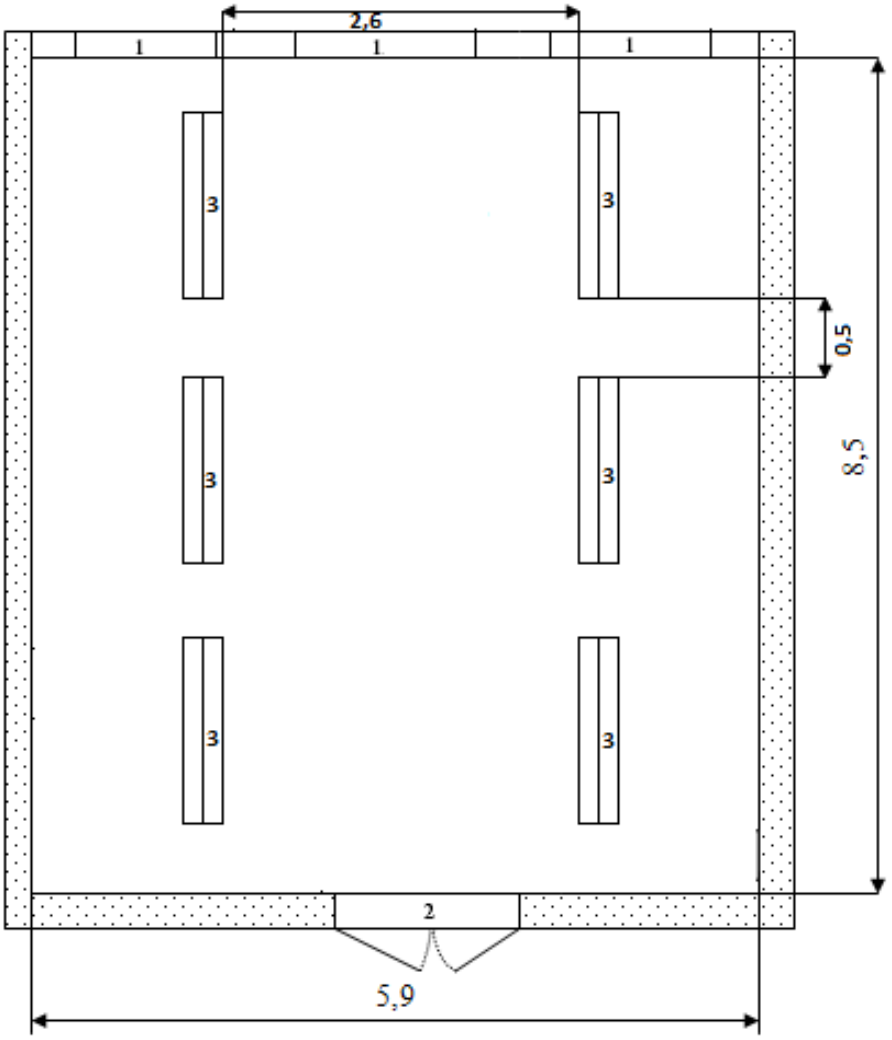


Рисунок 3.2 – План розташування світильників

Згідно розрахунків освітленість приміщення відповідає встановленим нормам.

Висновки та рекомендації

1. Розроблена схема контролю напруги і ступеню заряду акумуляторних батарей, яка призначена для повного аналізу ресурсу та продуктивності.

2. Схема контролю внутрішнього опору та ємності акумуляторних батарей дозволяє оцінити реальний стан АКБ і прогнозувати її час життя.

3. Розроблена система контролю напруги, ступеню заряду, внутрішнього опору та ємності акумуляторних батарей необхідна для підвищення надійності джерела безперебійного живлення.

Рекомендується подальша модернізація розробленої системи з метою удосконалення, підвищення ремонтопридатності та надійності.

Перелік посилань

1. Літій-полімерний акумулятор LiPo 2000 mAh 3.7V. [Електронний документ]. РКС компоненти: вебсайт.

URL:https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/lipo-2000-mah-3-7v-10x34x50mm geb-akumulyator-litij-polimernij_166494.html

(дата звернення 08.04.25).

2. STM32F103C8 Arm-based Cortex. [Електронний документ]. St.com: вебсайт.

URL:https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/f2/1f/e1/41/ef/59/4d/50/DM00058181.pdf/files/DM00058181.pdf

(дата звернення 09.04.25).

3. Atmega328P Miniature Single-Cell, Fully Integrated Li-ion, Li-Polymer Charge Management Controlles. [Електронний документ]. Mouser: вебсайт.

URL: https://www.mouser.com/datasheet/2/268/20001984g-846362.pdf

(дата звернення 19.04.25).

4. Лавриненко В.Ю. Довідник по напівпровідниковим приладам. Київ : Техніка, 1984. 424 с.

5. Tessier A., Dubois M., Trovao J. Real-Time Estimator Li-ion Cells Internal Resistance for Electric Vehicle Application. World Electric Vehicle Journal. Vol. 8, No. 2. 2016. P. 410-421.

6. Alonso, M., Amaris, H., Germain, J.G. and Galan, J.M. “Optimal Charging Scheduling of Electric Vehicles in Smart Grids by Heuristic Algorithms”. Energies, 2014. Vol. 7, pp. 2449-2475.

7. Воробйова. О. М., Іванченко В. Д.. Основи схемотехніки: підручник. [2-е вид.]. Одеса : Фенікс, 2009. 388 с.

8. Бойко В. І., Гуржій А. М., Жуйков В. Я. Схемотехніка електронних систем: Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої: Підручник. Київ : Вища шк., 2004. 366 с.

9. Кожем'яко В. П., Павлов С. В., Тарновський М. Г. Оптоелектронна схемотехніка. Навчальний посібник. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. 189 с.

10. Верьовкін Л. Л., Світанько М. В., Кісельов Є. М., Хрипко С. Л. Цифрова схемотехніка: підручник. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 214 с. ISBN 978-617-685-023-6.

11. Рябенький В.М., Жуйков В.Я., Гулий В.Д.. Цифрова схемотехніка: навчальний посібник. Львів : "Новий Світ-2000", 2019. 736 с. ISBN 978-966-418-067-9.

12. Кожемякін Г.Б., Рижков В.Г., Бєлоконь К.В. Охорона праці та техногенна безпека: методичні вказівки до виконання розділу магістерських робіт для студентів ЗДІА всіх спеціальностей денної та заочної форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 48 с.

13. Ткачук К.Н. Охорона праці і довкілля в радіоелектронній промисловості. Київ : Вища шк., 1988. 240 с.

14. Горобець А.І. Степаненко А.І. Охорона праці в радіоелектронній промисловості. Київ : Техніка, 1987. 345 с.

Додаток А

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІНІСТЕРСТВА ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Науково-дослідна частина ЗНУ
Наукове товариство студентів, аспірантів та докторантів ЗНУ
Рада молодих вчених ЗНУ

14-18 квітня 2025року

XVIII університетська науково-практична конференція студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених

«МОЛОДА НАУКА-2025»



Запоріжжя, 2025

Сергоян Едуард
студент 4 курсу ІННІ
Наук. кер.: канд. техн. наук, доц. Ніконова А.О.

СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ АКУМУЛЯТОРІВ

Ефективне управління станом акумуляторів є однією з ключових проблем сучасної електронної інженерії. У зв'язку зі стрімким зростанням попиту на джерела безперебійного живлення (ДБЖ), питання покращення їхньої енергоефективності, безпеки та надійності набуває дедалі більшої актуальності. Сучасні дослідження спрямовані на розробку новітніх методів моніторингу, діагностики та управління акумуляторними системами, що дозволяє продовжити термін служби батарей та підвищити ефективність їх використання.

Основний з параметрів, які необхідно перевіряти при моніторингу акумуляторних батарей - ємність або обсяг енергії, яку запасає батарея. Це свого роду консолідуючий параметр, який знаходиться у взаємозв'язку з декількома іншими, впливають на ємність батареї і термін її служби. До них відносяться, зокрема, температура навколишнього середовища, внутрішній опір батареї, параметри заряду і розряду.

Температура навколишнього середовища (робоча температура) - важливий і навіть визначальний параметр. Акумуляторна батарея будь-якого типу підпорядковується закону електрохімічної активності, її знос знаходиться в експоненціальній залежності від температури. Чим вона вища, тим більш активні електрохімічні процеси в акумуляторі і швидше йде втрата його робочих характеристик. Тому робоча температура є, мабуть, самим критичним параметром для свинцево-кислотних АКБ (лужні нікель-кадмієві акумулятори в меншій мірі схильні до впливу температурного чинника, тому в суворих кліматичних умовах - арктичних, і, навпаки, надто жарких - застосовують саме цей тип батарей).

Внутрішній опір (провідність або імпеданс) акумуляторної батареї для систем безперебійного живлення – це параметр, який дозволяє оцінити реальний стан АКБ і прогнозувати її час життя. З збільшенням внутрішнього опору падає і ємність акумулятора. За зміною імпедансу можна прогнозувати раптовий вихід батареї з ладу. Внутрішній опір АКБ починає рости, потім у якійсь точці він росте дуже швидко, і після цього батарея швидко втрачає ємність і виходить з ладу. Наступ цієї події означає, що акумулятор слід замінити. Високий внутрішній опір може вказати також на можливі послаблення з'єднань в місцях підключення до АКБ або на обрив усередині неї.

Контроль напруги на батареї дозволяє визначити такі відмови, як коротке замикання між пластинами батареї. Крім того, контроль напруги і струму АКБ дає можливість простежити історію експлуатації батареї: коли і скільки часу вона перебувала в спокої або працювала на навантаження, зафіксувати

величину струму розряду і якою була його глибина, як відбувався заряд акумулятора і т.д.

Для забезпечення довгострокової експлуатації акумуляторної батареї необхідний зарядний пристрій, який враховує температурний розгін на акумуляторах батареї і обмежує зростання напруги на повністю заряджених елементах. Пристрій складається з силової частини та схеми виміру і контролю.

Контролер постійно виконує виміри температури і напруги на акумуляторах батареї. Якщо свідчення виміряної температури перевищують граничні допустимі значення, то заряд припиняється до тих пір, поки температура не нормалізується. Якщо напруга на акумуляторі перевищує граничний рівень, то пристрій починає обмежувати його. Для забезпечення оптимального режиму заряду і підтримки необхідної величини поляризації, контролер змінює максимальний допустимий рівень зарядної напруги залежно від температури акумулятора. Структурна схема блоку контролю і вимірів представлена на рисунку 1.

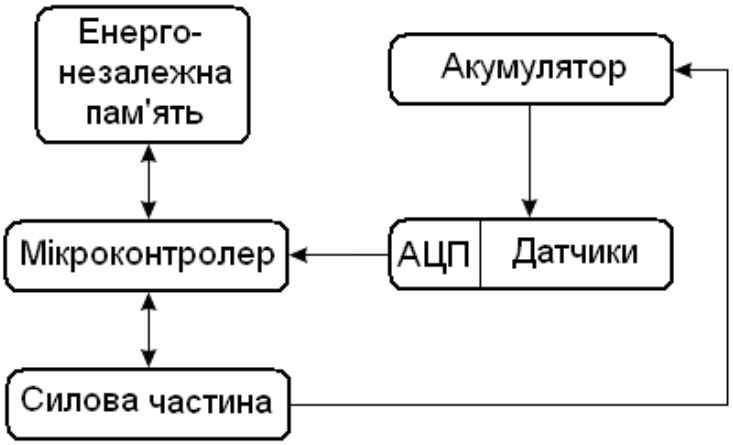


Рисунок 1 - Структурна схема блоку контролю і вимірів

Вимірювальна частина підключається безпосередньо до кожного акумулятора батареї і складається з температурного датчика і датчика напруги. За допомогою АЦП відбувається вимір температури і напруги і передача отриманих результатів в мікроконтролер. Залежність напруги від температури зберігається у вигляді таблиць в пам'яті контролера. Контролер виконує порівняння виміряних результатів з результатами які зберігаються в пам'яті, і видає управляючі сигнали для силової частини пристрою обмеження напруги.

Література:

1. Токаренко В. М., Сирота В.І., Колмаков В. М. Практикум по будові, технічному обслуговуванню і ремонту автотранспорту. Київ : Урожай, 1992. 320 с.

2. Верьовкін Л.Л., Світанько М.В., Кісельов Є.М., Хрипко С.Л. Цифрова схемотехніка: підручник. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 214 с. ISBN 978-617-685-023-6.