

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

Кафедра мікроелектронних та електронних інформаційних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

перший (бакалаврський)

(рівень вищої освіти)

на тему Розробка системи контролю рівня заряду батареї

Виконав: студент (ка) 4 курсу, групи 6.1539-с
спеціальності 153 Мікро- та наносистемна
техніка

(код і назва спеціальності)

освітньої програми 153 Мікро- та наносистемна
техніка

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації 153 Мікро- та наносистемна техніка

(код і назва спеціалізації)

Кирилюк Д.О.

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент кафедри МЕЕІС, доцент,
к.т.н., Ніконова А.О.

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

Рецензент _____

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

Запоріжжя
2022

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

Кафедра мікроелектронних та електронних інформаційних систем

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

(перший (бакалаврський) рівень)

Спеціальність Мікро- та наносистемна техніка

(назва)

Освітня програма 153 Мікро- та наносистемна техніка

(шифр)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Т.В.Критська

16 травня 2022 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА ЗДОБУВУЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Кирилюк Діана Олександрівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра Розробка системи контролю рівня заряду батареї

керівник кваліфікаційної роботи бакалавра Ніконова Аліна Олександрівна

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "17" січня 2022 року № 91-с

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи бакалавра 02 травня 2022 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи бакалавра

операційний підсилювач LM358, літій-полімерна акумуляторна батарея, TL431, біполярний транзистор BC547

розробити)

1. Огляд існуючих технологічних рішень систем контролю рівня заряду батареї

2. Розробка системи контролю рівня заряду батареї

3. Охорона праці та техногенна безпека

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

Л1- Принцип роботи акумуляторної батареї

Л2- Схеми контролю заряду батареї

Л3 – Електрична принципова схема контролю заряду батареї

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи бакалавра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
I	<i>Ніконова А. О.</i>	<i>18.01.2022</i>
II	<i>Ніконова А. О.</i>	<i>20.02.2022</i>
III	<i>Ніконова А. О.</i>	<i>12.04.2022</i>

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Примітка
1	<i>Огляд існуючих технічних рішень</i>	<i>18.01-30.01</i>	
2	<i>Типи акумуляторних батарей</i>	<i>30.01-10.02</i>	
3	<i>Аналіз роботи літій полімерних акумуляторів</i>	<i>10.02-10.02</i>	
4	<i>Обґрунтування вибору датчика радіації</i>	<i>20.02-12.03</i>	
5	<i>Розробка схеми індикатора заряду акумулятора</i>	<i>12.03-28.03</i>	
6	<i>Розробка схеми індикатора заряду акумулятора з використанням операційного підсилювача</i>	<i>28.03-02.04</i>	
7	<i>Моделювання схеми в електронному середовищі EWB</i>	<i>02.04-12.04</i>	
8	<i>Розділ охорони праці та техногенної безпеки</i>	<i>12.04-16.04</i>	
9	<i>Оформлення плакатів</i>	<i>16.04-25.04</i>	
10	<i>Доклад</i>	<i>25.04-01.05</i>	

Студент _____ *Кирилюк Діана Олександрівна*
(підпис) (прізвище та ініціали)Керівник роботи (проекту) _____ *Ніконова Аліна Олександрівна*
(підпис) (прізвище та ініціали)**Нормоконтроль пройдено**Нормоконтролер _____ *Верьовкін Леонід Леонідович*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Реферат

Дипломна робота містить 62 сторінку, 26 рисунка, 4 таблиці, 15 джерел літератури.

Об`єкт роботи – система контролю рівня заряду батареї

Ціль роботи – розробити систему контролю рівня заряду батареї на операційних підсилювачах які значно спрощують конструкцію системи а також стабілізують її роботу.

Задачі роботи – проведення аналізу основних видів акумуляторів, які виготовляються та використовуються в промисловості, визначення їх конструктивних особливостей та зовнішнього вигляду деяких з них, дослідження найбільш ефективних методів вимірювання та розробка приладу, фізичні характеристики і точність якого відповідатимуть сучасним потребам.

Методика дослідження – моделювання пристрою з допомогою програмного забезпечення Electronics WorkBench.

Короткий виклад результатів досліджень: на підставі аналізу існуючих схем контролю рівня заряду батареї проведено обґрунтування і побудована електрична схема на операційних підсилювачах які значно спрощують конструкцію системи а також стабілізують роботу схеми.

Результати впроваджень – результати моделювання перетворювача лінійних та кутових переміщень рекомендовано до впровадження в навчальний процес на кафедрі МЕІС.

АКУМУЛЯТОР, ЛІТІЙ, СИСТЕМА КОНТРОЛЯ, СТАБІЛІТРОН,
КОМПАРАТОР, ОПЕРАЦІЙНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ, ТРАНЗИСТОР,
СВІТЛОДІОД

Дипломну роботу виконано на кафедрі МЕЕІС з 17.01.22 по 02.05.22

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ.....	9
1.1 Поняття батареї та загальні відомості акумуляторних батарей.....	9
1.1.1 Поняття акумулятора.....	10
1.1.2 Принцип роботи акумуляторна.....	11
1.1.3 Будова акумуляторної батареї.....	12
1.2 Основні характеристики акумулятора.....	15
1.2.1 Ємність акумулятора.....	15
1.2.2 Напруга батареї.....	16
1.2.3 Допустима глибина розряду.....	17
1.2.4 Термін служби акумулятора.....	18
1.2.5 Діапазон робочої температури.....	19
1.2.6 Саморозряд акумулятора.....	20
1.2.7 Струм заряду.....	21
1.2.8 Габарити та вага батареї.....	21
1.3 Типи акумуляторних батарей.....	22
1.3.1 Нікелево-кадмієві (Ni-Cd) акумулятори.....	24
1.3.2 Нікелево-металогідридні (Ni-MH) акумулятори.....	26
1.3.3 Літієво-іонні (Li-Ion) акумуляторні батареї.....	27
1.3.4 Літієво-полімерні акумуляторні батареї (Li-polymer).....	29
1.3.5 Свинцево-кислотні (LEAD ACID) акумуляторні батареї.....	30
2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ РІВНЯ ЗАРЯДУ БАТАРЕЇ...32	
2.1 Особливості використання лігій полімерних акумуляторів.....	32
2.2 Розробка схеми індикатора заряду акумулятора.....	34
2.3 Реалізація схеми контролю рівня заряду батареї на операційних підсилювачах.....	41
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	49

3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	49
3.2 Заходи з поліпшення умов праці.....	53
3.3 Пожежна безпека.....	54
3.4 Техногенна безпека.....	55
3.5 Розрахунок захисного заземлення.....	57
ВИСНОВКИ.....	60
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	61

ВСТУП

В сучасному світі існує багато пристроїв, які спрощують життя та побут. Ці пристрої, для повсякденної експлуатації сприяють також безпечному та якісному життю. Сучасна електронна та побутова техніка працюватиме надійно та продуктивно лише за умови безперервного постачання енергії належної якості. Різкі стрибки напруги, раптове припинення подачі струму можуть спровокувати вихід з ладу вартісних приладів. У свою чергу, система безперебійного живлення для дому дозволяє мінімізувати подібні ризики, повністю контролюючи енергопостачання важливих систем та обладнання.

Акумулятори – найважливіший елемент системи резервного живлення, тому що саме вони забезпечують функціонування техніки при виникненні несправностей в централізованій мережі енергоспоживання. Акумуляторна батарея є джерелом постійного току. Переважна кількість типів АКБ засновано на циклічному перетворенню хімічної енергії в електричну, що дозволяє багаторазово накопичувати та в подальшому віддавати електроенергію з батареї.

Акумулятори широко застосовують в техніці: на автомобільному, морському, повітряному і залізничному транспорті, в радіотехніці, на телефонних і електричних станціях, електромобілях, для освітлення і сигналізації на штучних супутниках Землі, космічних апаратах тощо.

Для проведення постійного контролю заряду акумулятора необхідна оптимізація цифрової системи, відкриття нових методів визначення рівня заряду, рішення питань точності вимірювань. Удосконалення методів та засобів швидкого та точного визначення заряду акумуляторної батареї являється актуальною та своєчасною темою для досліджень. [1]

1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ

1.1 Поняття батареї та загальні відомості акумуляторних батарей

Батарéя, Електрична батарéя (для невеликих компонентів частіше Батарéйка, також Елемéнт живлення) — електричний або електронний компонент, джерело живлення, яке містить запас енергії і робить її доступною в електричній формі для пристроїв, підключених до нього. Найчастіше зустрічається тип батареї з електрохімічними запасами енергії (хімічне джерело струму). Також існують електростатичні компоненти (конденсатор) і паливні комірки. Технічно терміном батарея правильно називати сукупність послідовно (або паралельно) з'єднаних електрохімічних комірок.

Історія батарейок почалася в ХІХ столітті. «Піонером» став Алессандро Вольта, який винайшов перший гальванічний елемент (т.зв. Вольтів стовп). Незабаром стали з'являтися й інші подібні вироби, але всі вони виробляли електроенергію всього декілька хвилин. Сьогодні на ринку представлено величезну кількість батарейок та акумуляторів, які можуть довготривало «живити» електропристрої. У цьому матеріалі ми розповімо про сучасні гальванічні елементи та допоможемо зробити вибір, згідно з їхніми технічними характеристиками та особливостями.

Переважно батареї складаються з певної кількості електрохімічних комірок. Для отримання електроенергії у електрохімічних комірках використовується різниця електродних потенціалів двох металів, занурених у електроліт. Прикладом ранньої батареї може слугувати стовп Вольта, який складається із набору електрохімічних комірок кожна з яких складає один елемент.

Електричні батареї працюють за рахунок окислення і відновлення молекул. Під час окислювально-відновних реакцій (при звільненні електронів з молекул) виробляється/генерується електричний струм.

Хімічні джерела струму — це пристрої, засновані на перетворенні хімічної енергії в електричну. За принципом роботи їх можна розділити на:

1. Первинні (батареї) – містять активні речовини, внутрішні процеси яких необоротні. Після повного витрачання енергії їх необхідно утилізувати та замінити новими. Головна перевага — доступна вартість. З недоліків — неможливість перезаряджання;

2. Вторинні (акумулятори, АКБ) – містять компоненти, які відновлюються при заряджанні. Перевага — можливість багаторазового використання. «Слабкі місця» — дорожнеча та необхідність придбання зарядного пристрою.

Відзначимо, що використання акумуляторів не завжди виправдано. Якщо техніка споживає мало енергії, то краще купити звичайні батареї. Вигода від використання АКБ особливо очевидна на «ненажерливих» приладах. Регулярна заміна одноразових елементів живлення в фотоапаратах, джойстиках або дитячих іграшках може бути вельми витратною, а акумуляторні батареї при правильній експлуатації прослужать досить довго.

Саме електричний акумулятор належить до категорії вторинних хімічних джерел струму.[1]

1.1.1 Поняття акумулятора

Електричний акумулятор (від лат. *assimulare* — «нагромаджувати») — хімічне джерело електричного струму багаторазової дії, основна специфіка якого полягає в зворотності внутрішніх хімічних процесів, що забезпечує його

багаторазове циклічне використання (через заряд-розряд) для накопичення електричної енергії та автономного електроживлення різноманітних електротехнічних пристроїв та систем.

Акумулятори – найважливіший елемент системи резервного живлення, тому що саме вони забезпечують функціонування техніки при виникненні несправностей в централізованій мережі енергоспоживання. Акумуляторна батарея є джерелом постійного току. Переважна кількість типів АКБ засновано на циклічному перетворенню хімічної енергії в електричну, що дозволяє багаторазово накопичувати та в подальшому віддавати електроенергію з батареї.

Акумуляторна батарея забезпечує електричним струмом всі споживачі, поки двигун не працює або працює на дуже малих обертах, також є резервним джерелом живлення в разі виходу з ладу генератора. Якщо генератор вийшов з ладу, не варто затягувати з його ремонтом, необхідно відразу вирішувати проблему. Тривале використання виключно АКБ може вивести її з ладу, причому в найбільш невідповідний момент.

Одним із основних функціональних призначень АКБ є пуск двигуна за допомогою стартера. [3-5]

1.1.2 Принцип роботи акумуляторна

Принцип дії акумулятора заснований на зворотності хімічної реакції. Найпоширеніші електричні (кислотні та лужні) акумулятори накопичують хімічну енергію (внаслідок зворотних хімічних реакцій між речовиною електродів та електролітом), і віддають електричну енергію, будучи гальванічними елементами. Працездатність акумулятора може бути відновлена шляхом заряду, тобто пропусканням електричного струму в

напрямку, зворотному напрямку струму при розряді: на від'ємному електроді (катоді) реакція окиснення замінюється реакцією відновлення, а на позитивному електроді (аноді) реакція відновлення змінюється на реакцію окиснення.

Загальний принцип роботи акумулятора не сильно відрізняється від одного виробника до іншого. І загальний принцип дії можна виразити так:

1. Полімерний контейнер, зроблений спеціально для того, щоб він витримував всі вібрації в процесі експлуатації і не ушкоджувався агресивною внутрішнім середовищем сірчаної кислоти;

2. Корпус розділений на окремі герметичні комірки, кожна з яких виступає в ролі окремої маленької батарейки, але сполучені між собою послідовну зв'язок;

3. У кожній такій банку розташовані спеціальні пластини, які виступають в ролі катода та анода, тобто, джерела збереження електричної енергії А паралельне з'єднання в єдине ціле підвищує вольтаж конструкції в цілому;

4. Вся конструкція залита спеціальним розчином сірчаної кислоти, певної щільності, і називається електроліт. [6]

1.1.3 Будова акумуляторної батареї

В акумуляторній батареї відбувається перетворення хімічної енергії в електричну. Хімія полягає в тому, що у розчин сірчаної кислоти помістили дві пластини зі свинцю, і на пластинах зробили виводи (рисунком 1.1).

Приєднали до виводів два дроти від генератора, почали крутити його, щоб той виділяв електричний струм, і зарядили АКБ (поки акумулятор заряджається, він є споживачем струму). У цьому разі електрична енергія

перетворилася в хімічну — акумулятор зарядився. Від'єднали від виводів генератор і приєднали, наприклад, лампочку — і вона загорілася! Тому що почався процес перетворення хімічної енергії на електричну. Принадність цієї конструкції в тому, що процеси зарядки і розрядки можна виконувати багаторазово. І якщо дотримуватися основних, досить нескладних, правил експлуатації АКБ, вона може прослужити тривалий час.

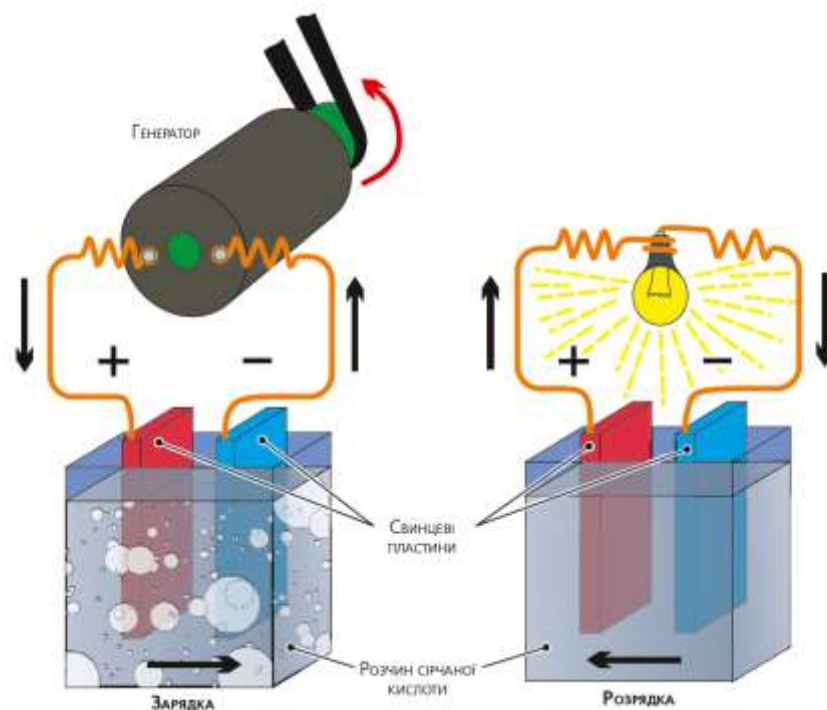


Рисунок 1.1 – Принцип роботи акумуляторної батареї

Найпростіший акумулятор складається з двох пластин, поміщених в корпус (його ще називають банкою), цей корпус заповнений розчином сірчаної кислоти (який називається електролітом) і закритий зверху кришкою. У кришці є отвори, через які виведено по два виводи від кожної з пластин (позитивної та негативної).

Будь-яка АКБ складається з декількох (найчастіше з шести) найпростіших батарей, описаних вище. Чому саме із шести? Бортова мережа автомобіля розрахована на 12 В, а отже, й акумуляторна батарея має видавати

стільки ж. З огляду на свої розміри одна банка (дві пластини) забезпечує напругу приблизно 2 В. Для отримання 12 В позитивні та негативні пластини з'єднують послідовно і роблять два загальні виводи — позитивний і негативний (рисунок 1.2).

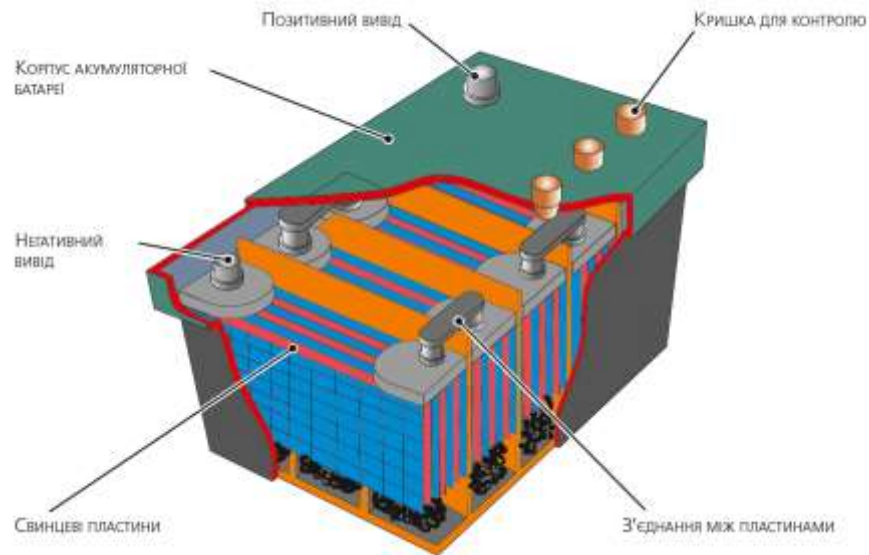


Рисунок 1.2 – Будова акумуляторної батареї

На багатьох сучасних автомобілях для запобігання крадіжці головного модуля аудіосистеми встановлений своєрідний захист, який блокує аудіомагнітоли після відключення негативної клеми від акумуляторної батареї. Щоб магнітола запрацювала, в неї необхідно ввести певний код — ключ. Якщо ви купуєте новий автомобіль, цей код вам вручать у салоні, якщо купуєте машину з рук, необхідно уточнити у власника наявність такого коду.

Варто пам'ятати, що в деяких сучасних автомобілях після відключення АКБ і повторного підключення бортовий комп'ютер може вивести повідомлення про помилку, яку можна скинути за допомогою спеціалізованого обладнання на СТО. [7]

1.2 Основні характеристики акумулятора

1.2.1 Ємність акумулятора

Цей параметр відображає кількість енергії, яку може зберегти батарея, вимір проводиться в Ампер * годинах. На поточний момент в Україні можна купити акумулятори ємністю від 0,6 до 4000 Аг. Наприклад, батарея з ємністю 200 Аг здатна забезпечити електроживленням навантаження струмом 2 А протягом 100 годин, або струмом 8 А протягом 25 годин і т.д. Обов'язково треба враховувати, що при збільшенні споживаного струму буде відбуватися зниження ємності акумуляторної батареї, саме по цій причині виробники вказують ємність з додатковим параметром – С.

Додаткова, але дуже важлива характеристика маркується латинською буквою «С» з числовим параметром, як правило від 1 до 48 годин та вказує на ємність акумуляторної батареї при розряді в певний проміжок часу (С1, С5, С10, С20 і т.д.). Значення С10 прийнято вважати стандартним значенням та переважна кількість виробників вказує ємність при 10-ти годинному розряді. При виборі ємності акумуляторної батареї необхідно обов'язково враховувати час протягом якого буде здійснюватися розряд. На рисунку 1.3 зображена залежність ємності від часу розряду.

У процесі експлуатації ємність буде поступово знижуватися, це йде процес «старіння» батареї, який виникає через зниження щільності свинцевих пластин та часткової втрати первинного свинцю позитивних та негативних пластин. Висока інтенсивність використання та глибокі розряди приведуть до швидкого зносу позитивних та негативних пластин акумулятора та виходу його з строю. Щоб цього не відбувалося, необхідно передбачати резервний

запас ємності. Для збільшення ємності батарейного кабінету застосовується декілька акумуляторів із паралельним з'єднанням. [8]

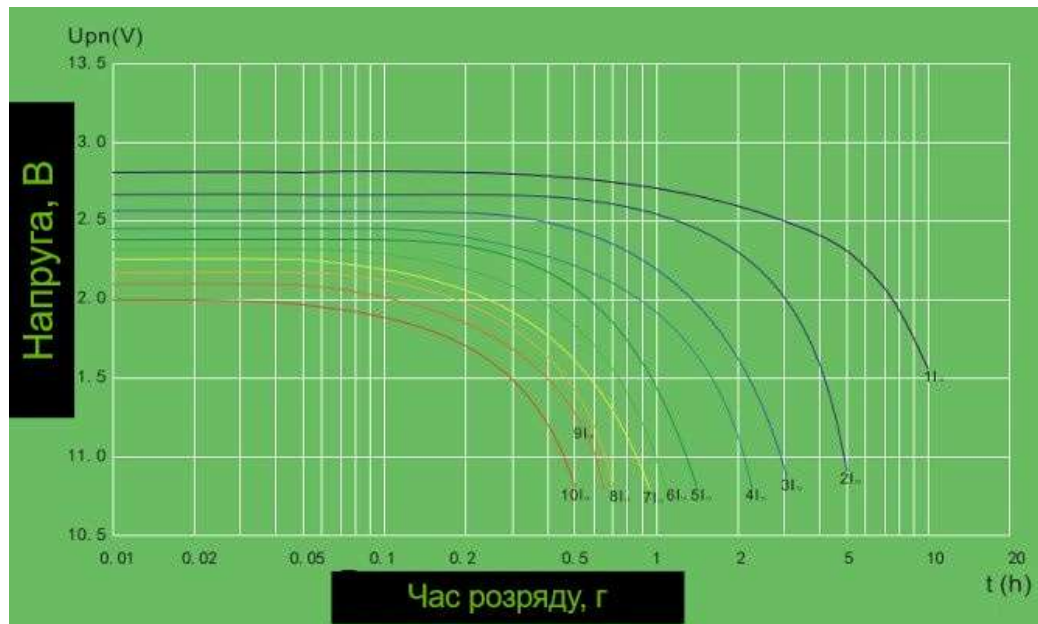


Рисунок 1.3 – Залежність ємності акумулятора від часу розряду

1.2.2 Напруга батареї

Рівень напруги – основна характеристика, по якій відбувається вибір акумулятора. На зараз розповсюдженні елементи та акумулятори з такими значеннями напруги: 1.2, 2.4, 6, 12 В. Батарейний банк з більш високою напругою (24, 48, 36 В і т.д.) збирається за допомогою декілька 12 В акумуляторів з послідовним типом підключення.

За допомогою вимірювання рівня напруги можна оцінювати ступінь зарядженості та ступінь зносу необслуговуваних типів батареї. Вимірювання напруги відбувається протягом декількох годин, коли акумулятор повністю не діють та відключено від зарядного пристрою. [8]

1.2.3 Допустима глибина розряду

Різні типи акумуляторів мають рекомендовані параметри глибини розряду. Приведена таблиця 1.1, в якій вказано найбільш поширенні характеристики акумуляторів допустимої та рекомендованої глибини розряду.

Таблиця 1.1 – Значення допустимих та рекомендованих значень розряду акумуляторів

Тип батареї	Допустимий розряд, %	Рекомендований розряд, %
VRLA	70	40
AGM VRLA	80	50
GEL VRLA	90	50
OPZV	90	60
OPZS	90	60
Li-ion	100	90
Ni-Cd	100	70

Рівень розряду є основним фактором в терміні служби акумулятора на ряду з інтенсивністю експлуатації. Навіть саму дорогу та якісну свинцево-кислотну батарею можна вивести зі строю за 7-10 днів, якщо виробляти повний 1000% розряд до напруги 9 В декілька разів поспіль.

Найбільш стійким до глибоких розрядів є літій-іонні та нікель-кадмієві, а також спеціалізовані свинцево-кислотні батареї, які були оптимізовані розробниками для глибоких розрядів. Розряди у межах рекомендованих значень забезпечує суттєве збільшення терміну служби. [8]

1.2.4 Термін служби акумулятора

Сучасні свинцево-кислотні батареї оптимізовані для різноманітних режимів роботи. Одні мають менший термін служби, але забезпечують більш високу розрядну характеристику, інші – більший, але підходять для рідкісних розрядів та роботи у буферному режимі і т.д. Тому якщо вказано термін служби 10 років, ця інформація відповідає ідеальному режиму експлуатації, коли не перевищується циклічний ресурс та глибини розряду.

Термін експлуатації цілком залежить від кількості здійснених циклів заряду та розряду, а також залежить від навколишнього середовища, де встановлена батарея. Чим сильніше розряджається акумулятор та чим довше він знаходиться в розрядженому стані, тим менше він прослужить. Чим вище навколишня температура, тим активніше проходить хімічна реакція і тим сильніше піддаються руйнуванню свинцевих пластин.

У таблиці 1.2 приведені значення терміну служби та циклічного ресурсу акумуляторів в залежності від їх типів. Ці данні відповідають для оптимальної температури експлуатації 20 – 25°C.

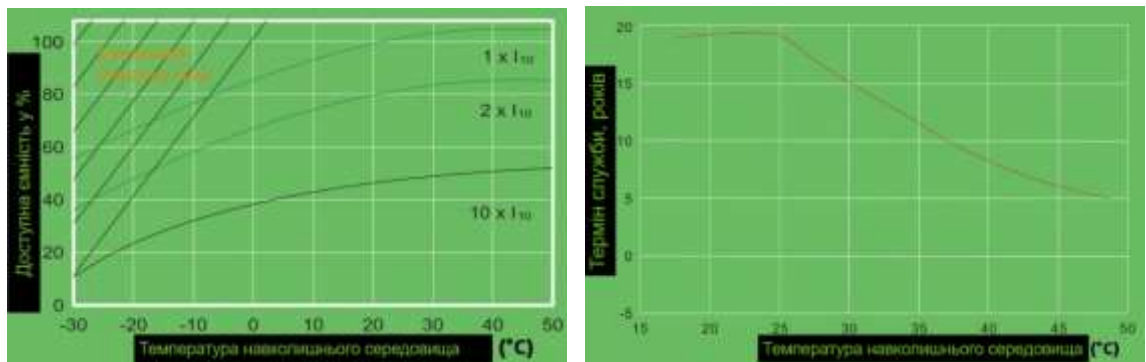
Таблиця 1.2 – Ресурс у залежності від типу акумуляторів

Тип акумулятора	Циклічний ресурс при глибині розряду				Термін служби, роки
	25%	50%	75%	100%	
VRLA	700-1000	350-500	230-400	150-300	3-5
AGM VRLA	800-2100	500-1200	300-800	200-600	5-15
GEL VRLA	2500-3000	1200-1750	800-1000	600-800	10-15
OPZV	2500-3000	1200-1750	800-1000	600-800	10-15
OPZS	5000-6000	3000-3500	1500-1750	1000-1200	20-25
Ni-Cd	<6000	<4000	<2000	<1500	20-25
Li-ion	<7000	<5000	<2000	<1500	20-25

1.2.5 Діапазон робочої температури

За винятком літій-іонного типу, де використовується мінерал - літій, принцип роботи акумуляторів заснований на хімічних елементах та взаємодії між ними. Тому практично всі основні характеристики акумуляторів залежать від температури довкілля. Як правило, при підвищенні температури термін експлуатації знижується, причому якщо температура вище $\sim 35^\circ\text{C}$, термін служби свинцево-кислотних батарей скоротиться вдвічі (рисунок 1.4, а).

Рівень температури навколишнього середовища також надає вплив на доступну ємність акумулятора. При зниженні температури відбувається падіння ємності. При -20°C ємність батареї знизиться на 30-40% від номінального значення (рисунок 1.4, б). [8]



а – залежність терміну служби акумулятора;

б – залежність ємності акумулятора

1.4 – Залежності характеристик акумулятора від температури навколишнього середовища

1.2.6 Саморозряд акумулятора

Саморозряд – характерне явище для акумуляторі усіх типів (рисунок 1.5). Даний показник відображає ступінь мимовільної втрати ємності у процесі простою повного заряду. Характеристика саморозряду вказується в процентному відношенні за певний проміжок часу.

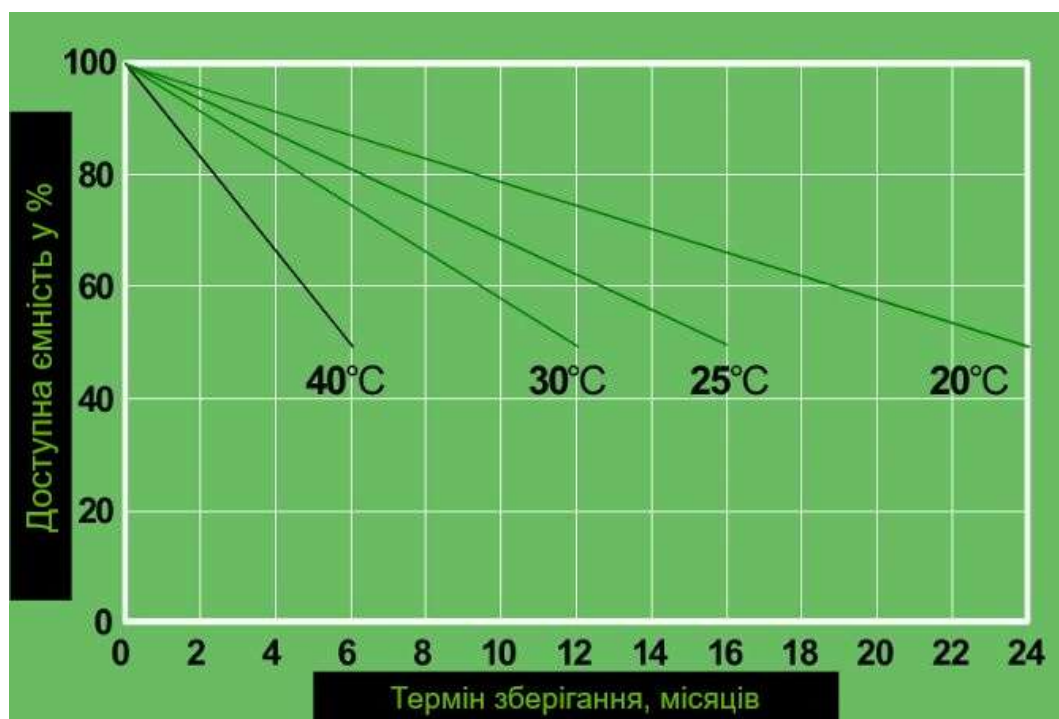


Рисунок 1.5 – Саморозряд акумулятора

На показники саморозряду впливає температура навколишнього середовища. При підвищенні температури, показник буде зростати. Причиною виникнення саморозряду служить виділення молекул кисню на електроді позитивного заряду, а підвищення температури є каталізатором даного процесу. [8]

1.2.7 Струм заряду

Сила струму яким здійснюється заряд акумуляторної батареї напряму залежать від ємності заряджаємої батареї (рисунок 1.6). Свинцево-кислотні акумуляторні батареї заряджаються 10-30% струмом від номінальної ємності, в залежності від системи, можуть застосовуватися та менш потужні зарядні пристрої. [8]

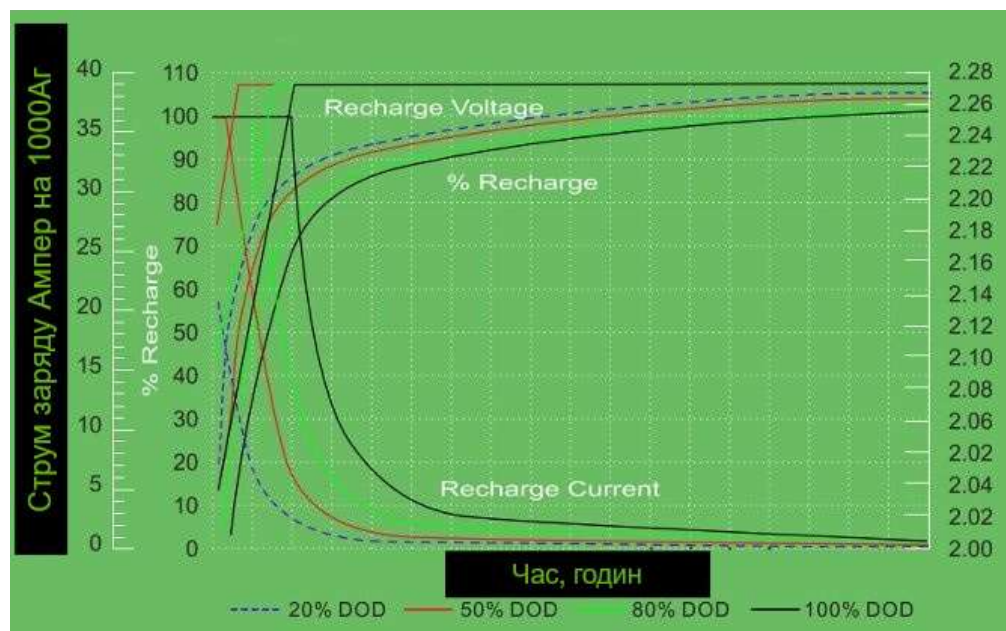


Рисунок 1.6 – Зарядна характеристика

1.2.8 Габарити та вага батареї

В залежності від ємності акумуляторів розміри та вага змінюються, за рідкісним випадком можуть бути зміни розміру при однаковій ємності. Існують загальновизначені розміри невеликих акумуляторів до 250 А·г, які

застосовуються як вбудовані джерела живлення для систем безперебійного живлення, дитячих іграшок, гольф-карів, і т.д.

Вага акумуляторів є додатковим показником його якості. Якщо проводить порівняння між характеристиками акумуляторів різних серій або виробників, чим батарея важче, тим більше в ній свинця. Це каже про те, що пластина взаємодіє з кислотою товщі та хімічне джерело живлення забезпечить більший циклічний ресурс та термін служби. [8]

1.3 Типи акумуляторних батарей

До найбільш вживаних в мобільних телефонах і радіозв'язку ставляться такі типи акумуляторів:

- нікелево-кадмієві (Ni-Cd)
- нікелево-металогідридні (Ni-MH)
- літієво-іонні (Li-Ion)
- герметичні свинцево-кислотні (SLA)
- літієво-полімерні (Li-polymer)

Різні типи акумуляторів мають не тільки різну вартість, але і відрізняються за основними параметрами: кількістю циклів перезарядки, максимального терміну зберігання, що віддається ємності, розмірами, температурному діапазону роботи, можливостям прискореної зарядки і т. д.

Акумулятори виконуються як у вигляді одного елемента, так і декількох, послідовно включених і оформлених в одному корпусі елементів - батареї. Деякі моделі акумуляторів включають в себе електронні елементи управління, що забезпечують контроль режиму заряду і захист акумулятора від неправильної експлуатації.

Як правило, кожен виробник використовує оригінальну технологію виробництва, і, відповідно, свої власні розробки по конструкції тих чи інших моделей. Тим не менше можна виділити кілька загальних підходів до конструкції різних типів акумуляторів.

Наприклад, свинцево-кислотний акумулятор складається, як правило, з двох пластин (електродів), поміщених в електроліт (водний розчин сірчаної кислоти).

У нікелево-кадмієвого елемента негативні і позитивні пластини скатані разом і поміщені в металевий циліндр. Позитивна пластина складається з гідроксиду нікелю, а негативна - з гідроксиду кадмію. Дві пластини ізольовані роздільником, який зволожений електролітом.

Нікелево-металогібридний акумулятор конструктивно схожий на нікелево-кадмієвий акумулятор, але має інший хімічний склад електроліту і електродів. У літієво-іонному акумуляторі електроди й сепаратор (роздільник) поміщені в електроліт з літієвої солі.

Ємність, що виражається в ампер-годинах ($A \cdot \text{год.}$, $mA \cdot \text{год.}$) або ват-годинах ($Вт \cdot \text{год.}$), - це кількість енергії, яку батарея може віддати в навантаження за одну годину.

На практиці ємність батареї зазвичай вимірюється аналізатором акумуляторних батарей. Наприклад, акумуляторна батарея номінальною ємністю $1200 \text{ mA} \cdot \text{год.}$ віддає в навантаження струм 1200 mA протягом однієї години.

По ідеї витрата енергії в більш короткий час повина бути такою ж, як і у випадку більш повільного розряду, так як віддається така ж кількість енергії, тільки протягом більш короткого часу - однак на практиці це не так, головним чином через кінцевого значення внутрішнього опору акумулятора. При розряді акумулятора, встановленого в аналізатор, який дозволяє регулювати різні струми розряду, більш висока енергія буде віддаватися в тому випадку, якщо батарея розряджається більш низьким струмом. [9]

1.3.1 Нікелево-кадмієві (Ni-Cd) акумулятори

Нікелево-кадмієві акумулятори (рисунок 1.7) випускаються в різних країнах світу приблизно з 1950 року. На сьогоднішній день більше 50% всіх акумуляторів для портативного обладнання є нікелево-кадмієві. Серед усіх типів акумуляторів нікелево-кадмієвий - єдиний, який найкраще віддає максимальну ємність, забезпечує велику кількість циклів заряду, розряду, якщо періодично здійснюються глибокі розряди (до 1 В на елемент).



Рисунок 1.7 – Структура нікель-кадмієвих (Ni-Cd) акумуляторів

Джерела живлення цього типу характеризуються енергетичною щільністю близько 40-60 Вт*h/kg, забезпечують близько 1500 перезаряджень, а їх швидкість саморозряду становить не більше 20% в місяць (причому до

10% розряду - протягом перших 24 годин і до 20% - в перший місяць після заряду).

Недоліки та переваги цього типу акумуляторів можемо розглянути у таблиці 1.3.

Ni-Cd акумулятори люблять швидкий заряд, розряд навпаки більш повільний до стана повного розряду та підзарядки імпульсу струма. Такий тип акумуляторів, які здатні працювати у самих жорстких умовах.

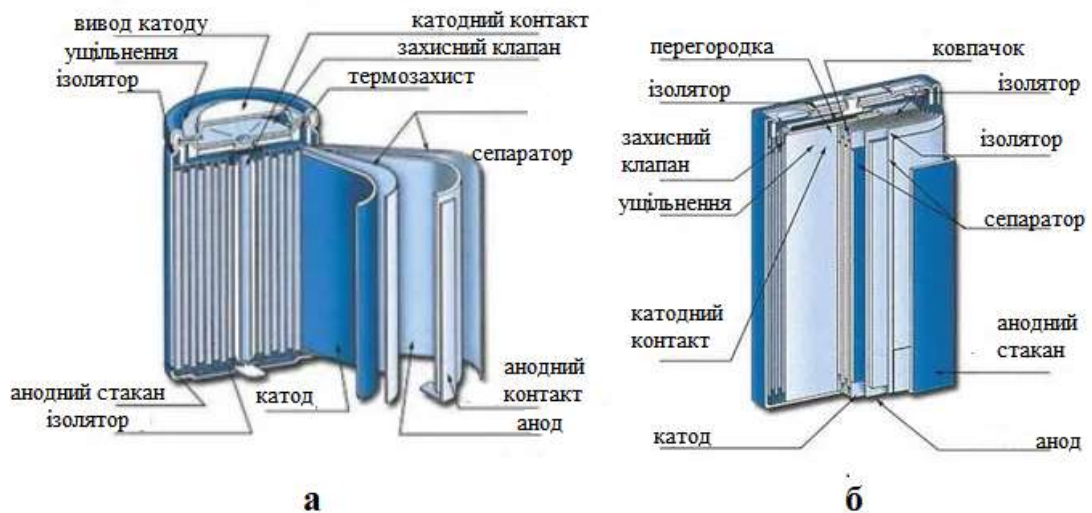
Для нікель-кадмієвих акумуляторів необхідний повний періодичний розряд. Якщо його не робити, це може призвести до формування крупних кристал на пластинах елементів, що значно знижує ємність (так званий «ефект пам'яті»). [9]

Таблиця 1.3 – Переваги та недоліка нікелево-кадмієвих акумуляторів

Переваги	<ul style="list-style-type: none"> • низька вартість; • висока стійкість до перепадів температур; • гарна стійкість до великих струмів заряду та розряду, так як малий внутрішній опір дозволяє віддавати великі струми (інші типи акумуляторів це не влаштовує); • велика кількість циклів "заряду-розряду"
Недоліки	<ul style="list-style-type: none"> • наявність так званого "ефекту пам'яті"; • даний тип акумулятора екологічно забруднений, так як кадмій є високотоксичною речовиною; • є проблеми з переробкою, тому як порівняно низька питома ємність, хоча і не у всіх випадках це є критично

1.3.2 Нікелево-металогідридні (Ni-MH) акумулятори

Нікелево-металогідридні акумулятори (рисунок 1.8) відомі на ринку з кінця 80-х років. Поштовхом до розробки і виробництва цих акумуляторів з'явилася, головним чином, їх більш висока щільність енергії в порівнянні з Ni-Cd. Основний випуск нікель металогідридних акумуляторів проводиться у двох формах: призматичної та циліндричної.



а – циліндричні Ni-MH елементи;

б – призматичні Ni-MH елементи

Рисунок 1.8 – Структура нікелево-металогідридних акумуляторів

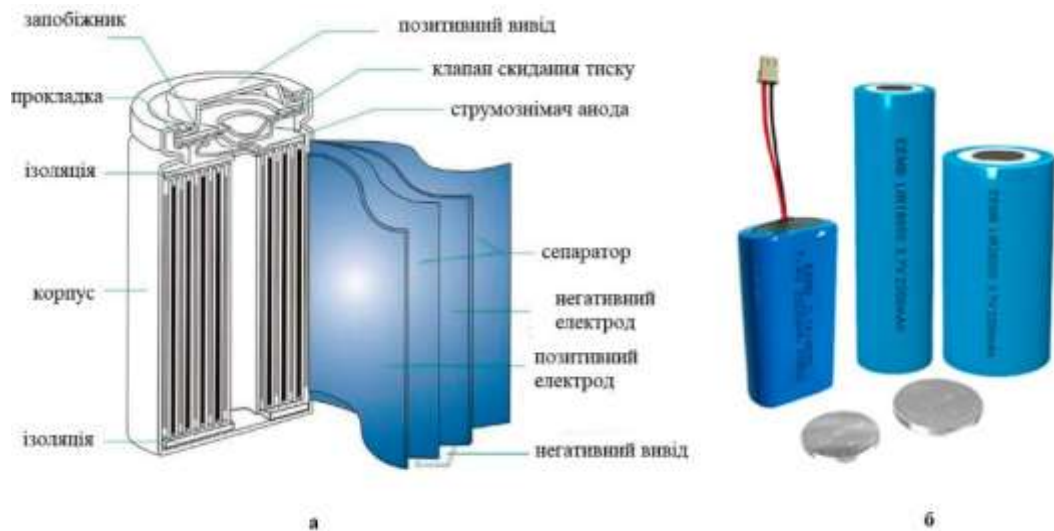
Деякі з відмітних переваг сьогоденного Ni-MH акумулятора в порівнянні з Ni-Cd: велика питома ємність (при тих же габаритних розмірах значення ємності на 30% більше), меншу вагу; менш схильний до "ефекту пам'яті"; до складу акумулятора входить менша кількість токсичних металів, і в даний час він вважається екологічно чистим.

На жаль, Ni-MH акумулятор має і недоліки в порівнянні з Ni-Cd акумулятором, а саме: має набагато меншу кількість циклів заряду розряду; ціна Ni-MH акумулятора вище, ніж Ni-Cd, хоча і не завжди може бути головною проблемою, якщо користувач віддає перевагу невеликому розміру і вазі; температурний режим роботи менше, ніж у Ni-Cd акумулятора; в порівнянні з Ni-Cd і Li-Ion акумуляторами, у Ni-MH акумулятора найнижча навантажувальна здатність - він не може віддавати великі струми; цей тип акумуляторів <боїться> глибоких розрядів, тому що довговічність батареї безпосередньо пов'язана з глибиною розряду; саморозряд більш ніж в 1,5 рази вище, ніж у Ni-Cd акумулятора, що є важливим параметром при зберіганні.

Ni-MH не любить великого зарядного струму, як Ni-Cd, так як в процесі зарядки виділяється значно більша кількість тепла. Крім того, в зарядному пристрої потрібно більш складний алгоритм для виявлення повного заряду, ніж для Ni-Cd акумулятора. Сучасна Ni-MH батарея обладнана внутрішнім зчитувачем температури, щоб допомогти виявленню повного заряду. Перезаряд акумулятора в дешевому зарядному пристрої (ЗУ) (не має автоматичного відключення) може привести до перегріву і повного руйнування акумулятора. [9, 10]

1.3.3 Літієво-іонні (Li-Ion) акумуляторні батареї

Виробництво літієво-іонних акумуляторних батарей почалося на початку 90-х років. На сьогоднішній день найбільшим постачальником цього типу батареї є компанія Sony. Головна перевага літієво-іонних акумуляторів полягає у високій питомої ємності Li-Ion, що принаймні, в два рази більша, ніж у Ni-Cd акумулятора. Ознайомитись з зовнішнім видом та структурою такого типу акумуляторних батарей можна на рисунку 1.9.



а – структурна схема;

б – зовнішній вигляд

Рисунок 1.9 – Літієво-іонні (Li-Ion) акумуляторні батареї

Літій - дуже легкий метал, має найбільший електрохімічний потенціал і забезпечує найбільший вміст енергії.

Крім того, Li-Ion має відносно низький саморозряд і в ньому повністю відсутній "ефект пам'яті", завдяки чому час від часу можна дозаряджати і не зовсім розряджений акумулятор. Кількість циклів "заряду-розряду" за даними більшості виробників (так як у кожного виробника свої технології і відповідно кількість циклів дещо відрізняється) трохи більше, ніж у Ni-MH акумулятора.

Основний недолік літієво-іонних (Li-Ion) батарей висока вартість і малий діапазон робочих температур, хоча це і не завжди є критичним фактором.

У конструкції сучасних літієво-іонних (Li-Ion) акумуляторів присутні так звані smart-мікросхеми. Це дозволяє управляти зарядним пристроєм таким чином, щоб процес зарядки був найбільш ефективним в залежності від пропрацював кількості циклів "заряду-розряду". [9, 10]

1.3.4 Літійово-полімерні акумуляторні батареї (Li-polymer)

Первісна концепція батареї літій-полімеру (рисунок 1.10) заснована на використанні твердого електроліту на полімерній основі. Ця ідея передбачає технологічність у виробництві, і відповідно низьку ціну. Щільність енергії цього типу батарей ще більше, тобто приблизно в три рази вище, ніж у нікелево-кадмієвого акумулятора, а саморозряд значно нижче.

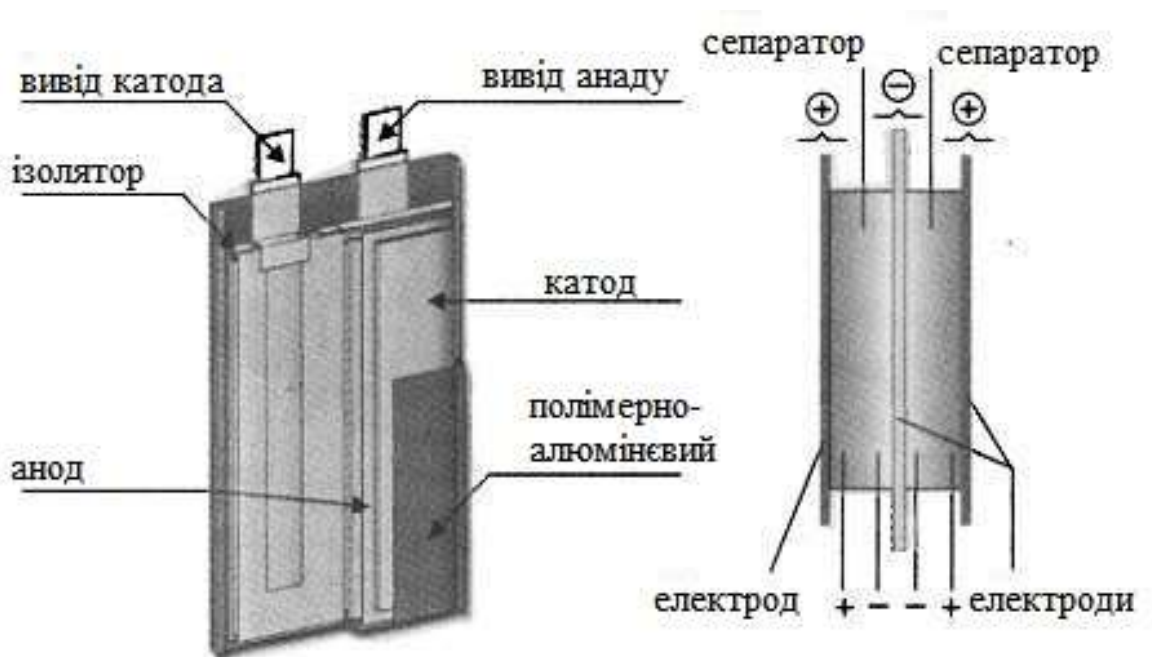


Рисунок 1.10—Структура літійово-полімерних акумуляторів (Li-polymer)

Використання твердого електроліту дозволяє довести розміри елементів акумулятора до 1 мм в товщині. Так як дана конструкція не містить рідкого електроліту і реалізується набором різних плівок, то можна отримувати дуже гнучкі конструктивні форми. Акумулятор такого типу має дуже малу товщину, що дозволяє йому надавати необхідну форму (наприклад, повторити форму стільникового телефону).

Недолік літійово-полімерного акумулятора в тому, що він не може віддавати великі струми розряду і, також, як і літійово-іонний (Li-Ion), не любить низьких температур. [9, 10]

1.3.5 Свинцево-кислотні (LEAD ACID) акумуляторні батареї

На відміну від інших типів акумуляторних батарей свинцево-кислотна батарея (рисунок 1.11) зазвичай використовується, коли потрібна велика ємність, вимоги до ваги не критичні і вартість батареї повинна зберегтися низькою.

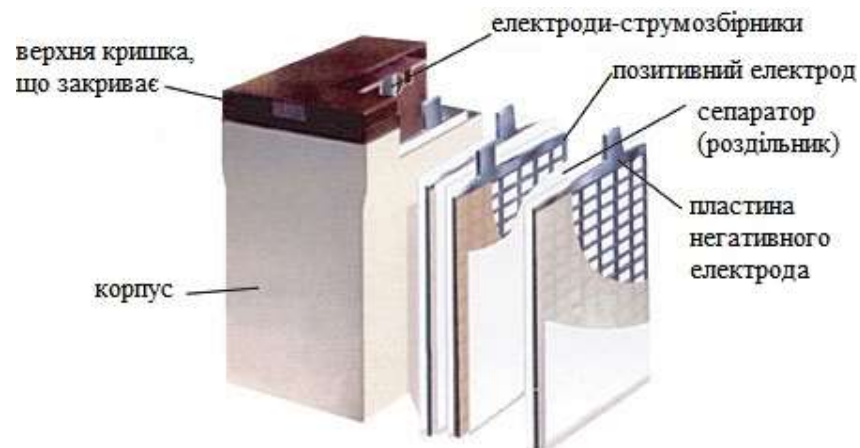


Рисунок 1.11 – Структура свинцево-кислотних (LEAD ACID) акумуляторів

Переваги герметичних свинцево-кислотних (SLA) акумуляторних батарей: відносно невисока вартість; повна відсутність "ефекту пам'яті"; низький саморозряд; в сучасних герметичних свинцево-кислотних акумуляторах, в залежності від середньої глибини розрядки, кількість циклів може досягати 800-1000.

Недоліки SLA-батарей: акумуляторні батареї SLA мають найнижчу питому ємність, хоча в багатьох випадках це може бути і некритичним; на відміну від Ni-Cd SLA страшені глибокі цикли розряду (це безпосередньо веде до скорочення кількості циклів "заряду-розряду").

Метою даної дипломної роботи є розробка індикатора розрядження літій-полімерних акумуляторних батарей. Для досягнення мети треба вирішити наступні задачі:

- особливості використання акумуляторів типу літій-полімерних;
- розробити схему індикатору заряду такого акумулятора;
- реалізувати схеми контролю рівня заряду батареї на операційних підсилювачах. [9]

2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ РІВНЯ ЗАРЯДУ БАТАРЕЇ

2.1 Особливості використання літій полімерних акумуляторів

Літій є хімічно активним елементом та у чистому вигляді відсутній при експлуатації у сучасних акумуляторах, однак при деяких ситуаціях таких як струми короткого замикання, надмірні струми заряду або розряду або перезаряд нижче певних рівнів напруги може виділятися на внутрішніх електродах акумулятора, що при певних умовах може призвести до займання і вибуху.

Літій полімерні акумулятори є оновленою та вдосконаленою версією літій іонних батарей. Їхня відмінність полягає в тому, що під дією введених іонів електроліту полімери переходять у напівпровідниковий стан. За рахунок цього вони набагато тонші і легші за літійові аналоги, можуть бути будь-яких розмірів і не мають обмежень у конструктивному виконанні. Зовнішня частина літій полімерних акумуляторів, які часто використовуються для планшетів, гаджетів і цифрової техніки, виготовляється з металізованого полімеру.

Літій-полімерні акумулятори на сьогодні хоч і мають свої недоліки але використання даних акумуляторів в світі стрімко зростає, так як вони мають високий показник питомої (на масу) енергії, а також здатні віддавати великі струми розряду. Ці акумуляторні джерела струму більш безпечні в експлуатації, ніж літій-іонні акумулятори попередніх поколінь завдяки відсутності рідкого електроліту. Тому для моделей з силовою електроустановкою цим акумуляторам, практично, немає наразі альтернативи. Для попередження виходу акумулятора з ладу використовують пристрій, який

контролює і вирівнює напругу (до 4,2 V) на кожній секції акумулятора в послідовно з'єднаній батареї. Цей прилад уявляє собою систему балансірів. При експлуатації акумуляторної батареї бажано використовувати систему контролю та управління (СКУ), що являє собою набір елементів, що забезпечують:

- відстеження заданих параметрів таких як система балансірів, акумуляторів та акумуляторних батарей;
- алгоритм функціонування акумуляторної батареї з метою її безпечного використання і підвищення експлуатаційних характеристик таких як повторне підключення при встановленні рівнів, що відповідають допустимим, аварійне вимкнення акумуляторів від зовнішніх кіл заряду або розряду при надмірних струмах);
- можливість зміни налаштувань контрольованих параметрів користувачем;
- передачу користувачу інформації про значення контрольованих параметрів.
- виконання інших функцій для забезпечення оптимальних режимів заряду, розряду, а також споживчих характеристик.

Реалізація необхідних функцій в СКУ може бути забезпечена з використанням елементної бази загального призначення, або за допомогою спеціалізованих мікросхем. Кожен варіант має свої недоліки та переваги. В загальному випадку для реалізації необхідних функцій система повинна включати в себе наступні модулі:

- датчики температури,
- вузли вимірювання струму і напруги,
- АЦП,
- пристрій обробки інформації від датчиків,
- пристрій розрахунку ємності ЛПАБ,
- пристрій управління силовими ключами, що від'єднують блок акумуляторів від полюсів ЛПАБ і зовнішніх кіл заряду-розряду,

- інтерфейс для зв'язку з зовнішніми пристроями,
- пристрої індикації поточної ємності.

В деяких випадках, при реалізації меншої кількості функцій склад і структура СКУ може бути значно простішою.

Більшість систем оцінювання стану приладів вимагають моделі акумуляторів, які можуть точно описувати реакцію напруги під час поточного процесу заряду/розряду. Тому моделювання батарей стало невід'ємною частиною розробки СКУ. Також це необхідно для здійснення прогнозування подальшого розвитку процесу розряду акумулятора і встановлення залишкового часу. Схеми простих еквівалентних моделей зазвичай застосовуються в методах моделювання на основі фізичних явищ. Такі моделі мають ряд недоліків, оскільки представляють акумулятор як простий конденсатор, який здатен накопичувати заряд в процесі заряджання і віддавати заряд в процесі розряджання, що зовсім не враховує електрохімічні процеси, що протікають всередині акумулятора.

В роботі була виконана реалізація схем заряду батареї на базі програми Electronic Workbench.

2.2 Розробка схеми індикатора заряду акумулятора

Індикатор заряду акумулятора базується на регульованому стабілітроні TL431 - інтегральна схема трививідного регульованого паралельного стабілізатора напруги з покращеною температурною стабільністю. Із зовнішнім дільником TL431 здатна стабілізувати напругу від 2,5 до 36 В при струмах до 100 мА. Типове відхилення фактичної величини опорної напруги від паспортного значення вимірюється одиницями мВ, гранично допустиме відхилення становить кілька десятків мВ.

TL431 - трививідний пороговий елемент, побудований на біполярних транзисторах, - свого роду аналог ідеального транзистора з порогом перемикання $\approx 2,5$ В. "База", "колектор" і "емітер" TL431 зазвичай називаються відповідно керуючим входом (R), катодом (C) та анодом (A). Позитивна напруга керування U_{ref} прикладається між керуючим входом і анодом, а вихідним сигналом служить струм катод-анод I_{KA}

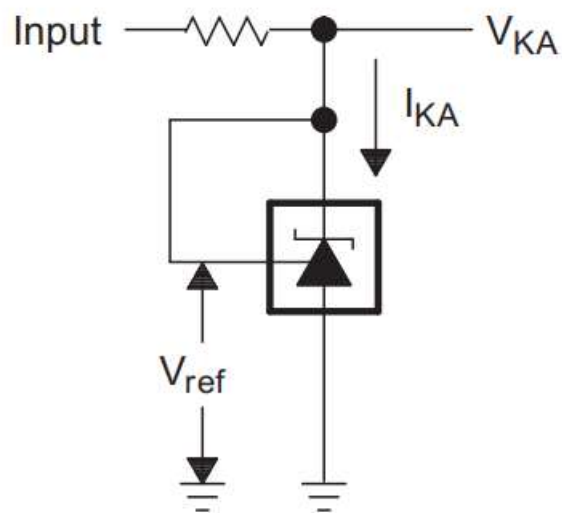


Рисунок 2.1 – Схемна реалізація TL431

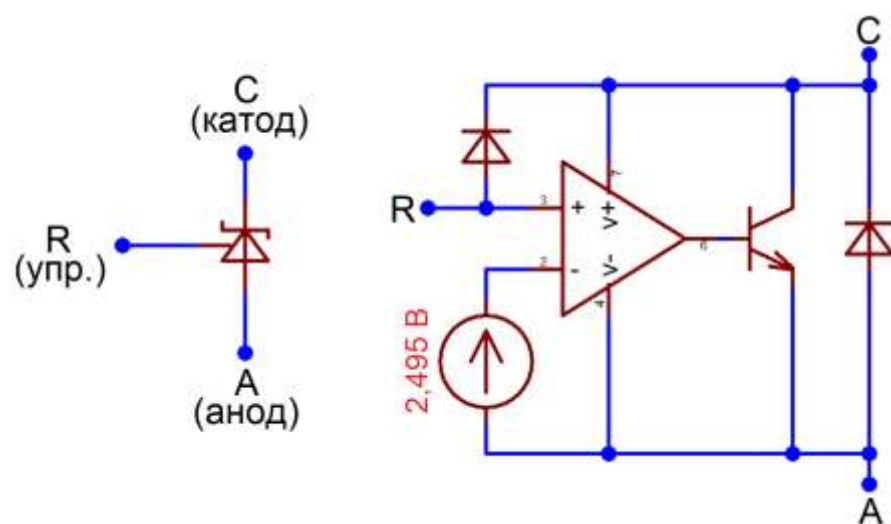


Рисунок 2.2 - Умовне графічне позначення та блок-схема TL431

Якщо U_{ref} не перевищує порога перемикавання, то вихідний каскад закритий, а управляючі їм каскади споживають у спокої струм типової величини 100...200 мкА. З наближенням U_{ref} до порога перемикавання струм, споживаний управляючими каскадами, досягає величини порядку 300 ... 500 мкА, при цьому вихідний каскад залишається закритим. Після перевищення порога вихідний каскад плавно відкривається, $I_{КА}$ наростає з крутизною приблизно 30 мА/В. Коли U_{ref} перевищить поріг приблизно на 3 мВ, а $I_{КА}$ досягне приблизно 500...600 мкА, крутизна стрибкоподібно зростає приблизно до 1 А/В. З досягненням номінальної крутизни, типове значення якої становить 1 ... 1,4 А/В, схема виходить на режим стабілізації, в якому поводить себе подібно до класичного перетворювача диференціальної напруги в струм. Зростання струму припиняється тоді, коли управляюча напруга стабілізується дією петлі негативного зворотного зв'язку, включеної між катодом і керуючим входом. Установленне при цьому значення U_{ref} 2,5 і називається опорним (U_{REF}). У менш поширеному релейному режимі (режимі компаратора) петля ООС відсутня, а зростання струму обмежено лише характеристиками джерела живлення та навантаження

За допомогою двох резисторів можна встановити напругу пробою в діапазоні від 2,5 до 36 В. Стабілітрон працює таким чином, що починає проводити струм при перевищенні на ньому певної напруги, поріг якого ми можемо встановити за допомогою дільника напруги на резисторах R1 та R2.

Розглянемо як працює L431 на прикладі найпростішої схеми стабілізації, що складається із самого стабілітрона та одного резистора. До катода підключається позитивний, а аноду негативний полюс живлення. Для включення мікросхеми, її керуючий електрод подається опорне напруга (V_{ref}).

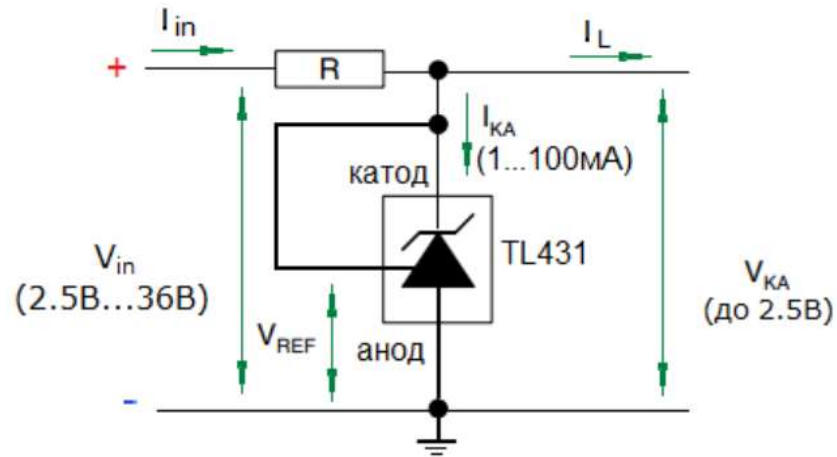


Рисунок 2.3 – Схема стабілізації

Якщо його значення буде більше 2.5, то стабілітрон майже відразу відкриється і почне пропускати через себе струм ($I_{КА}$), яким можна запитати відповідне навантаження. Його значення зростатиме разом із підвищенням рівня V_{in} . $I_{КА}$ можна визначити за формулою $I_{КА} = (V_{in} - V_{ref}) / R$. При цьому вихідна напруга схеми буде стабілізована на рівні опорного ($V_{КА} = V_{ref}$), що не перевищує 2.5 В і незалежно від поданого на вході V_{in} .

На рисунку 2.4. представлена реалізація схеми контролю заряду батареї в EWB

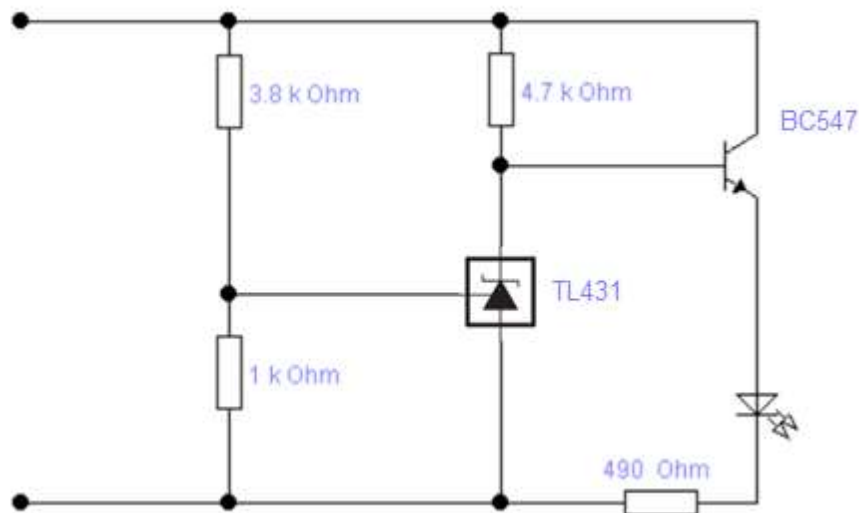


Рисунок 2.4 - Реалізація схеми контролю заряду батареї в EWB

Напруга пробою може змінюватися від 2,5 до 36В за допомогою входу «Ref». Припустимо, що індикатор повинен увімкнутись при зниженні напруги акумулятора нижче 12 вольт.

Опір резистора R2 може бути будь-якого номіналу. Однак краще використовувати круглі числа (для полегшення підрахунку), наприклад 1к (1000 Ом), 10к (10 000 Ом). Обираємо R2=1КОм

Резистор R1 розрахуємо за такою формулою:

$$R1=R2*(V_0/2,5V - 1) \quad (2.1)$$

$$R1=1000*(12/2,5- 1)=3,8 \text{ КОм}$$

Для різних значень напруг значення резистору R1=1КОм, значення R2 буде мати такі значення:

5В – 1к

7,2В – 1,88к

9В – 2,6к

12В – 3,8к

15В — 5к

18В – 6,2к

20В – 7к

24В – 8,6к

Для низької напруги, наприклад, 3,6В резистор R2 повинен мати більший опір, наприклад, 10к оскільки струм споживання схеми буде меншим.

Резистор R3 для схеми можна розрахувати за такою формулою:

$$R3 = (U_{\min} - V_{REF}) / I_{\min} \quad (2.2)$$

U_{\min} - мінімальна напруга

V_{REF} - 2,5 В

I_{min} - мінімальний струм

Однак значення U_{min} слід обирати нижче за очікуване. Для 12В візьмемо 11,8 В. Необхідно також додати 2 мА для правильної роботи схеми - щоб при мінімальному напрузі (у нашому випадку менше 12 В) через резистор протікав струм понад 1 мА.

$$R3 = (11,8 \text{ В} - 2,5 \text{ В}) / 0,002 \text{ А} = 4650 \text{ Ом}$$

Резистор R4 можна розрахувати за такою формулою:

$$R4 = (U_{on} - I_{min} * R3 - U_{led}) / I_{led} \quad (2.3)$$

U_{on} - напруга в робочому стані - включено

I_{min} - мінімальне значення струму, що протікає через TL431 - візьмемо 1 мА

R3 – розрахований раніше

U_{led} - напруга на світлодіоді

I_{led} - струм, що протікає через світлодіод

Припустимо: $U_{on} = 12 \text{ В}$, $I_{min_off} = 1 \text{ мА}$, $R3 = 4,7 \text{ кОм}$, $U_{led} = 2,4 \text{ В}$, $I_{led} = 10 \text{ мА}$.

$$R4 = (12 \text{ В} - 0,001 \text{ А} * 4700 \text{ Ом} - 2,4 \text{ В}) / 0,010 \text{ А} = 9,6 \text{ В} - 4,7 / 0,010 \text{ А} = 4,9 / 0,010 \text{ А} = 490 \text{ Ом}$$

Для реалізації схеми обрано транзистор BC547, габаритні та настановні розміри транзистора:

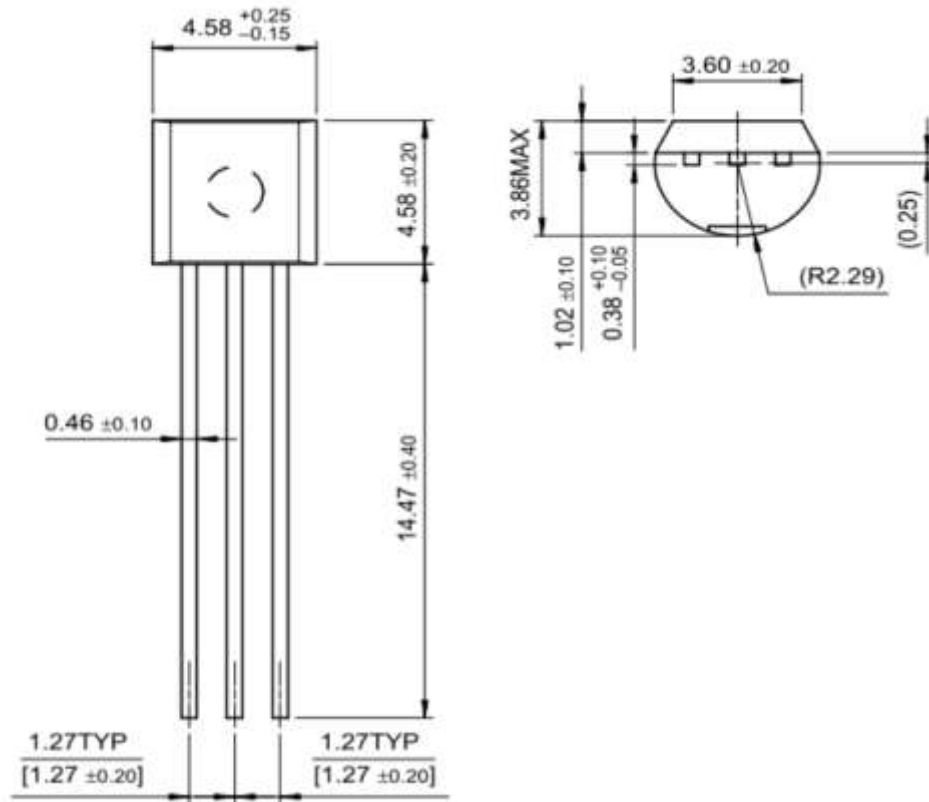


Рисунок 2.5 - Габаритні розміри транзистора BC547

Характеристики транзистора BC547:

- структура - n-p-n
- напруга колектор-емітер, не більше: 45 В
- напруга колектор-база, трохи більше: 50 В
- напруга емітер-база, трохи більше: 6 В
- струм колектора, не більше: 0.1 А
- потужність колектора, що розсіюється, не більше: 0.5 Вт
- коефіцієнт посилення транзистора струмом (h_{fe}): від 110 до 800
- гранична частота коефіцієнта передачі струму: 150 МГц

Таким чином, розраховано всі елементи функціональної схеми. Ця схема може бути навантажена струмом максимум 100 мА (один світлодіод приблизно 25 мА). За схемою індикатора розряду потрібно перевірити максимальне навантаження транзистора (для BC547 воно становить 100 мА).

Споживання струму самого TL431 становить лише 1,5 мкА – практично непомітно.

Регульований стабілітрон регулює негативний потенціал, тому до схеми доданий резистор R3, завданням якого є включення транзистора, коли TL431 вимкнений. Резистор R4 служить обмеження струму світлодіоді.

Якщо в схемі буде відсутній транзистор, то тоді світлодіод буде гаснути, коли напруга впаде нижче за виставлений рівень. Безумовно, така схема не буде працювати при низьких напругах через відсутність достатньої напруги та/або струму для живлення світлодіода. Дана схема має один мінус, який полягає у постійному споживанні струму, в районі 10 мА.

2.3 Реалізація схеми контролю рівня заряду батареї на операційних підсилювачах

Для реалізації даної схеми (рисунок 2.5) було використано операційні підсилювачі LM358, які значно спрощують конструкцію системи а також стабілізують її роботу. Інформація про ступінь розряду батареї поступає по принципу світлодіодного стовбчика, тобто чим вище напруга на батареї, тим менше світлодіодів загоряється. Замість моделі батареї ми будемо використовувати елемент V1, який йде із спрощеними параметрами, та напруга у цій батареї встановлена 16 В. За допомогою резистора регульованого R11 с опором 10 Ом виконується саме імітація розряду акумуляторної батареї. Та напруга, що йде з контрольного виводу даного резистора, знаходиться на перший вхід всіх чотирьох компараторів U1-U4 через ланцюжок резисторів R1-R5.

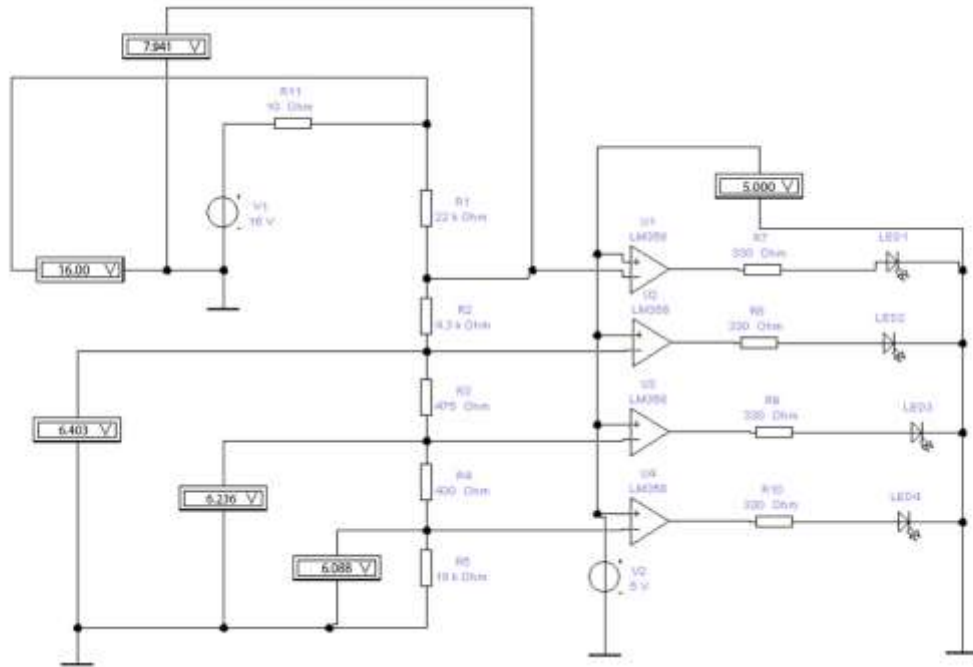
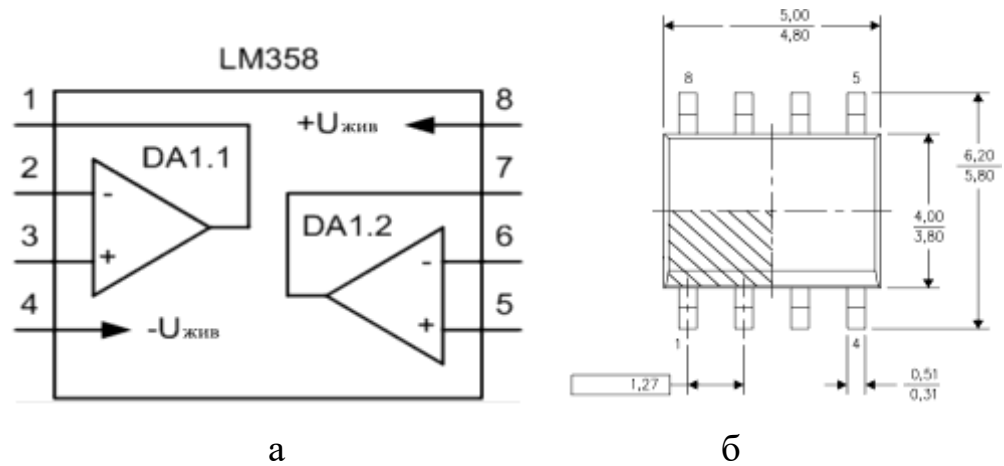


Рисунок 2.6 – Схеми індикатора заряду на операційних підсилювачах

У цій схемі замість стабілітрона, яке використовують як джерело напруги, ми використовуємо модель другої батареї V2, у якій напруга дорівнює 5 В и залишається незмінною, вона надходить вже на інші входи чотирьох компараторів (U1-U4). Для побудови компаратора доцільно використовувати операційний підсилювач LM358 (рисунок 2.6).

Мікросхема LM358 являє собою двоканальний операційний підсилювач з малим енергоспоживанням, з високим коефіцієнтом посилення і внутрішньої частотної корекцією. Мікросхема працює від однополярного джерела живлення в широкому діапазоні напруг від 3В до 30В. Малий струм споживання операційного підсилювача до 2мА практично не залежить від напруги живлення.



а – принципова схема;

б – габаритні розміри

Рисунок 2.7 – Операційний підсилювач LM358

Основна область застосування операційного підсилювача LM358 - підсилювач постійного струму, перетворюючий підсилювач, а також, підсилювач загального призначення в схемах з однополярним джерелом живлення. Технічні характеристики ОП LM358 приведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики ОП LM358

Однополярне живлення, В	3 - 32
Двохполярне живлення, В	$\pm 1,5 - \pm 16$
Струм споживання, мА	0,7
Синфазна вхідна напруга, мВ	3
Диференційна вхідна напруга, В	32
Диференційний вхідний струм, нА	2

Диференційний коефіцієнт посилення по напрузі, дБ	100
---	-----

Принципова схема самого компаратора приведена нижче на рисунку 2.7 для розрахунку його параметрів.

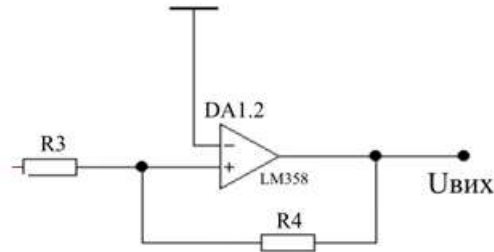


Рисунок 2.8 – Принципова схема компаратора

Визначимо величини опорів R3, R4 для компаратора DA1.2

$$U_{\text{вкл}} = -\frac{R3}{R4} \cdot U_{\text{вих max}} \quad (2.4)$$

$$U_{\text{вкл}} = -\frac{R3}{R4} \cdot U_{\text{вих min}} \quad (2.5)$$

Нехай опір зворотного зв'язку $R4 = 1\text{МОм}$, таким чином з формули знаходимо:

$$R3 = -\frac{R2 \cdot U_{\text{вкл}}}{U_{\text{вих max}}} \quad (2.6)$$

$$\frac{-0,015 \cdot 10^6}{10} = 1,5 \text{ кОм}$$

Для стійкої роботи необхідно виконати умову:

$$\frac{R3}{R4} \leq 0,9 \quad (2.4)$$

$$\frac{1500}{10^6} = 0,0015$$

Умова виконується.

Часові діаграми роботи компаратора приведені на рисунку 2.8.

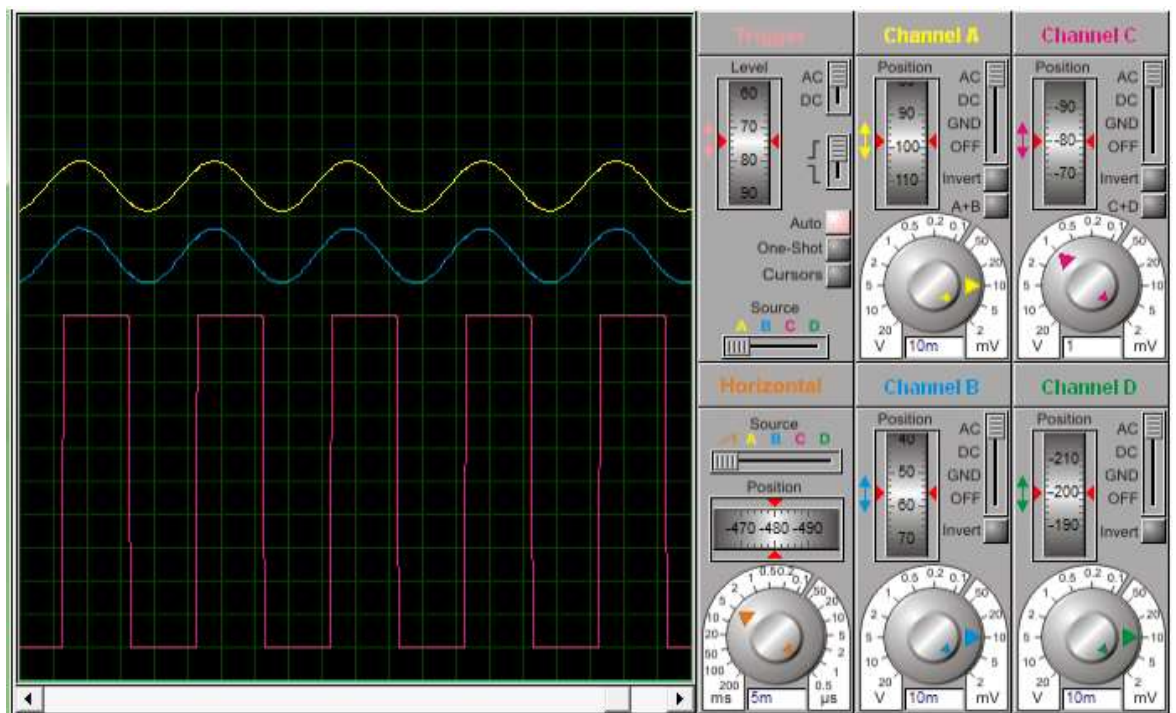


Рисунок 2.9 – Результати моделювання в електронному середовищі Proteus (тимчасові діаграми вихідного сигналу компаратора)

Можемо спостерігати за самими поточними значеннями напруг на вимірювальних входах під час проведення дослідження, таку можливість дає індикатори різниці потенціалів. Під час активації процесу моделювання змінювалась примусово значення регульовального резистора, через що початкова напруга моделі акумуляторної батареї (початково була обрана на рівні 16 В) почала поступово зменшуватися. Таким чином імітуючи

природний процес розряду батареї. Відстеження поточного значення напруги на акумуляторній батареї спостерігається на індикаторі U5. Коли напруга досягає до рівня 12,506 V, спрацьовує компаратор U4 (рисунок 2.9), при цьому буде загоратися маркер моделі світлодіода LED6.

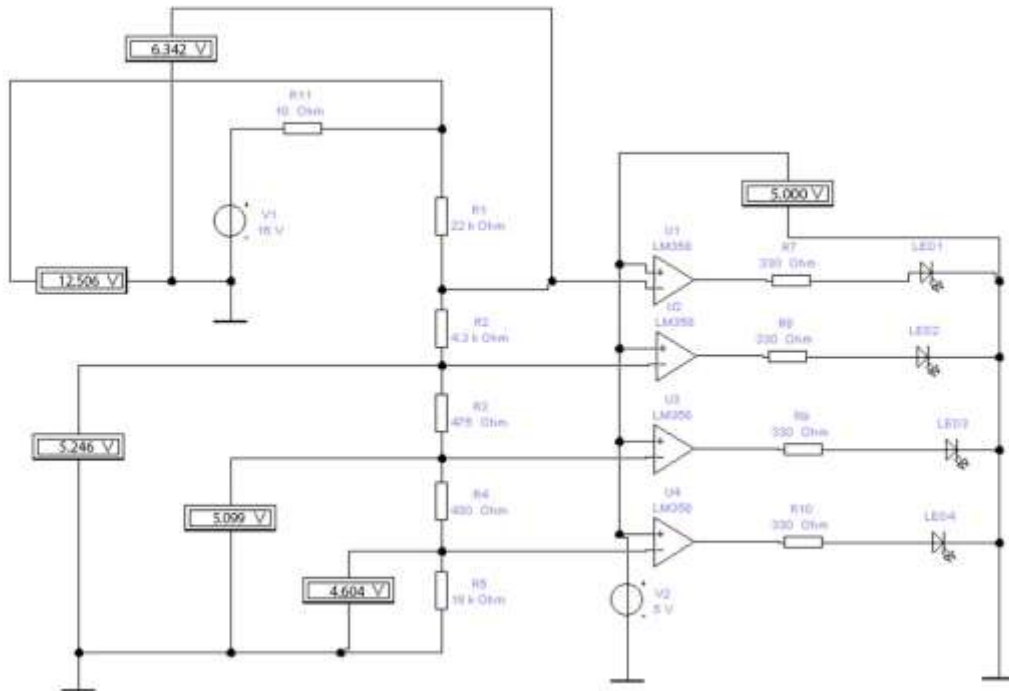


Рисунок 2.10 - Відображення моменту спрацювання компаратора U4

Якщо буде продовжуватися зменшення напругу на моделі акумуляторної батареї і при «розрядному» значенні на маркері U5 рівному 12,269 V буде далі спрацьовувати компаратор U3 (рисунок 2.10), і при цьому активуватися маркер моделі світлодіода LED5.

Спрацювання наступного в лінійці компараторів, компаратора U2 (рисунок 2.11) відбувається при значенні напруги на маркері U5 рівному 11,869 V, при цьому «вмикається» модель світлодіода LED2. Коли останнім спрацьовує компаратор U1 при ще меншому значенні напруги на маркері U5, то в цей момент буде відображатися на моделі світлодіод LED1.

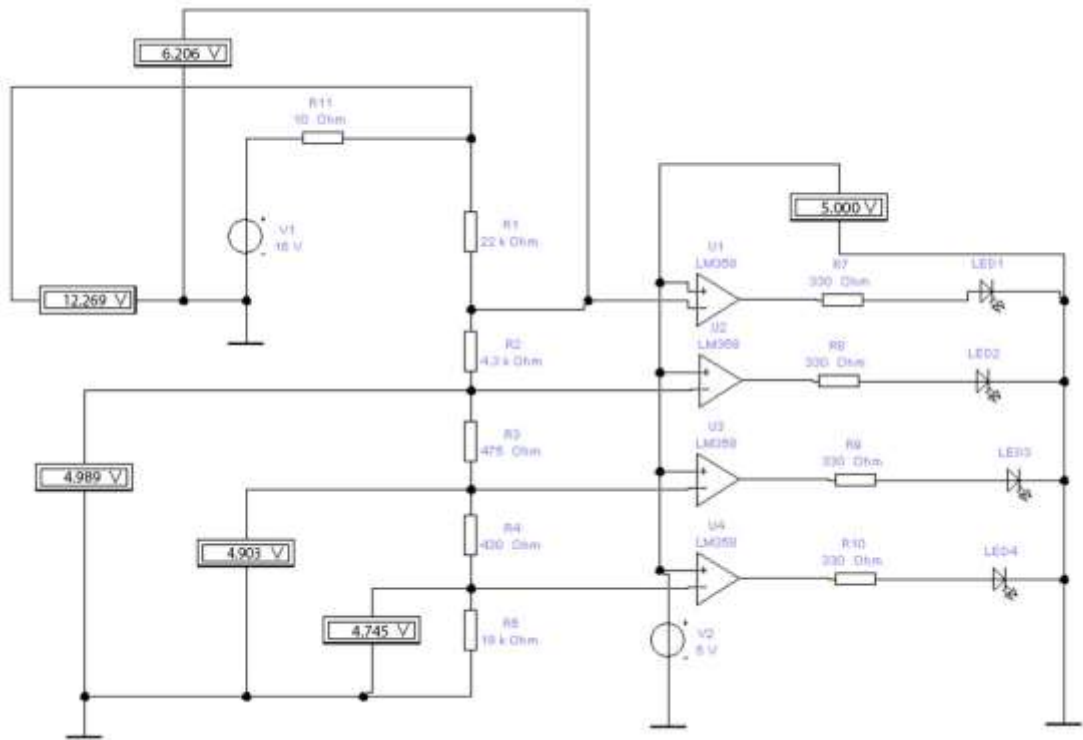


Рисунок 2.11 - Відображення моменту спрацювання компаратора U3

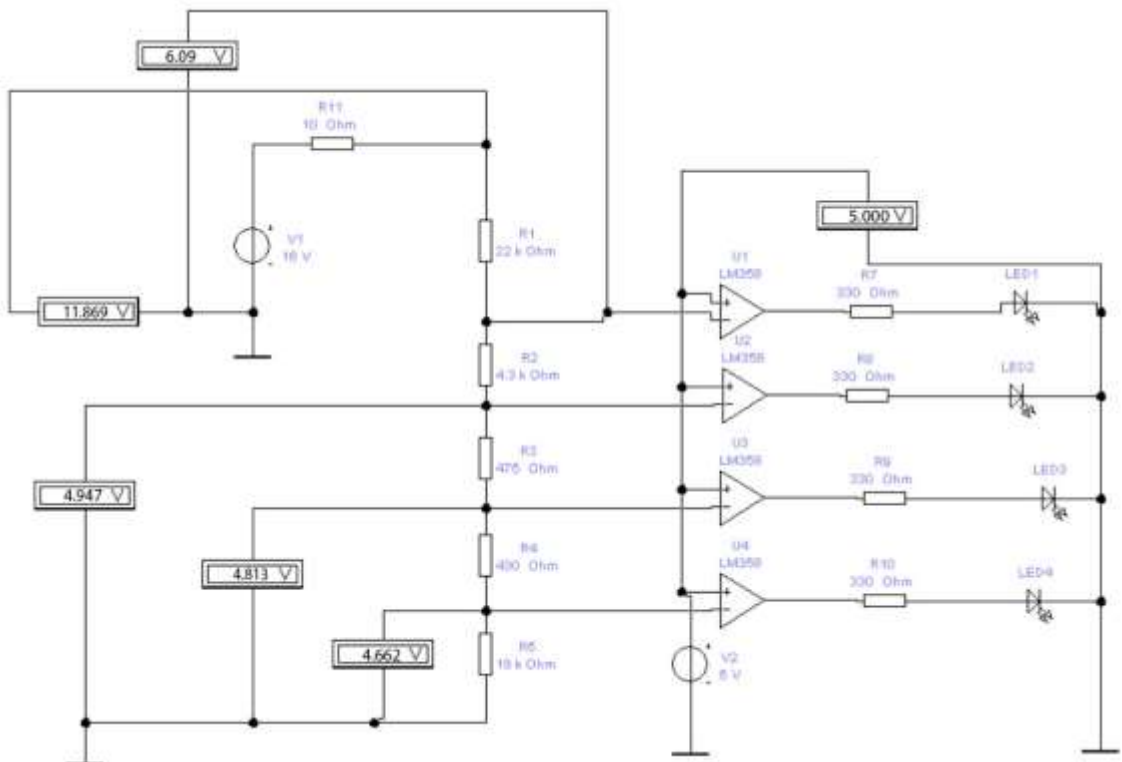


Рисунок 2.12 - Відображення моменту спрацювання компаратора U2

Звернемо увагу, що батареї мають дуже нелінійні електрохімічні характеристики, і вони залежать від різних факторів при чому дуже сильно, на них впливають зовнішні та внутрішні умови. Прості схематичні моделі мають лише обмежену можливість точно врахувати динамічну електрохімічну поведінку літій-полімерних батарей.

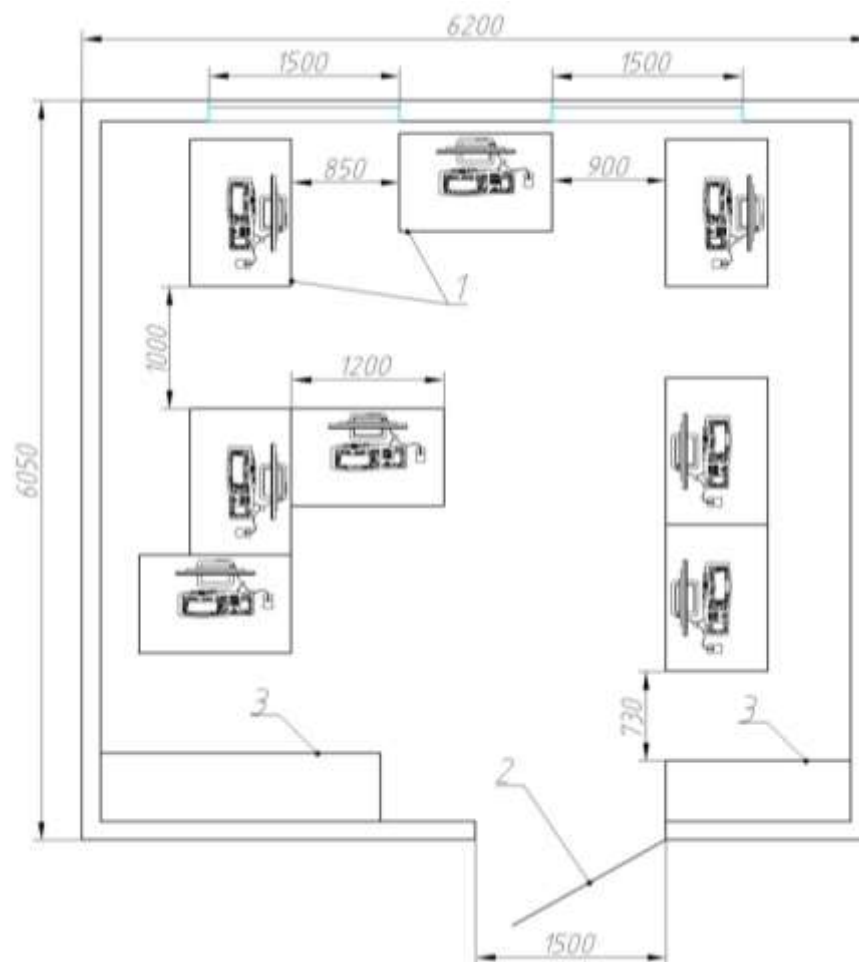
Літій-полімерні акумулятори іпровідне місце в портативних джерелах струму. Особливості їх конструкції дозволяють попередити протікання та займання. Використання літєвих акумуляторів надає можливість значною мірою продовжити роботу портативних пристроїв та розширити їх можливості. Для того, щоб уникнути аварійну ситуацію, необхідно дотримуватися умов експлуатації акумуляторів, а також уважно відноситись до процесу їх заряджання. Вирішити цю проблему може система моніторингу електрозабезпечення приладу, яка використовує методи неруйнівної діагностики стану акумуляторів, що забезпечить можливість контролю поточних параметрів акумуляторної батареї при зміні умов навколишнього середовища.

Розробка та аналіз різних підходів показав, що використання методів електричного моделювання не дозволяє повною мірою відобразити зарядно/розрядні процеси всередині акумулятора але може бути використано для контролю рівня заряда батареї та служити базою для творення математичних моделей цих процесів.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Даний об'єкт: приміщення лабораторії інформаційних технологій (рисунок



1- робочі столи; 2 – двері; 3 – шафа.

Рисунок 3.1 – План розташування робочих місць

Розміри приміщення складають: довжина 6,05 м, ширина 6,2 м, висота

Зм. Загальна площа дорівнює 37,51 м². У приміщенні працюють 8 співробітників, тобто на кожного доводиться по 4,7 м². Забарвлення стін світло-коричневе, стеля - біла, підлога - паркетна, світло-коричнева. У приміщенні лабораторії є два вікна, які виходять на сонячну сторону будівлі. Скло на вікнах закривають жалюзі білого кольору. Джерело світла в приміщенні - люмінесцентні лампи, висота підвіски світильників 2,9 м, відстань між світильниками 1 м.

Особливістю негативного впливу комп'ютерних технологій на працездатність і здоров'я людини є комплексна одночасна дія декількох шкідливих факторів, при значній інтенсивності яких відбувається накопичення і акумулювання їх впливу, що викликає суттєві зміни в організмі людини, розлад функцій окремих органів і систем.

До основних негативних факторів належать: випромінювання різних діапазонів електромагнітного спектру (рентгенівське та оптичне випромінювання, високочастотні та низькочастотні ЕМП, ЕМП з надто низькими частотами, електростатичні поля), шум у джерелі ВДТ, психосоціальні фактори виробничого середовища, нервово-емоційна напруга та інші.

Робота ЕВМ і ВДТ призводить до зміни фонові концентрації іонів повітря. Так приблизно через 5 хвилин роботи монітору концентрація легких негативних іонів знижується в 5-10 разів (фонове значення цього показника становить 350-620 іонів/см³), а через 3 години роботи їх концентрація наближається до нуля. Знижується, також, концентрація середніх і тяжких негативних іонів, натомість концентрація позитивного заряджених іонів різко зростає, що дуже негативно відбивається на газообміні в легенях, загальному почутті людини. Значна кількість позитивних іонів, особливо тяжких, призводить до підвищення артеріального тиску, тахікардії, прояву болю в області серця, затруднення дихання, прискоренню швидкості осідання еритроцитів, розладу функцій центральної нервової системи (дратівливість, головний біль, порушення сну, тонусу м'язів і ін., порушення травлення).

Оптимальним рівнем аероіонізації на робочому місці вважається вміст легких іонів від 150 до 5000 в 1 см³ повітря.

Доза рентгенівського випромінювання перед екраном монітора на відстані 50 см від його поверхні є безпечною, вона не досягає межі допустимого рівня (50 мкР/год), але не вивчена дія цих променів у поєднанні з іншими, які генеруються ЕОМ на людину, що не дозволяє говорити відносно безпечної її дії.

Згідно даних ВООЗ, електромагнітні випромінювання викликають розвиток катаракти. Потенційно сприяють розвитку катаракти іонізуюче, ультрафіолетове - А, інфрачервоне і мікрохвильове випромінювання.

На працездатність та самопочуття людини негативно впливає шум від роботи електронно-обчислювальних машин. При цьому тривала дія шуму призводить до зниження розумової працездатності на 10-15%, швидкої зорової втоми, послаблення уваги, порушення психофізіологічних процесів. Вплив шуму ВДТ є однією із причин розвитку стресу, погіршення настрою, сенсорного перевантаження, змін кровопостачання тканин і органів у зв'язку зі спазмами капілярів.

Професійна діяльність працівника на ВДТ є причиною функціональних змін нервово-м'язового апарата і кровопостачання ока, які призводять до розвитку астеноптичних скарг. Встановлено, що жінки частіше, ніж чоловіки, скаржаться на зоровий дискомфорт. При цьому відмічено, що в більшості випадків частота астенопії зростає зі збільшенням тривалості роботи за ВДТ.

Астеноптичні скарги пов'язані також з освітленням робочого місця, відблиском екрану, тремтінням та мерехтінням зображення, сухістю повітря тощо. Встановлено, що у 72% користувачів ВДТ мають місце скарги на біль в очах. Результатом напруженої тривалої зорової роботи на ЕОМ може бути не лише специфічній зоровий дискомфорт, але і виникнення головного болю.

Стресові стани, які розвиваються при довготривалій напруженій роботі

за ЕОМ, є однією із причин виникнення соматичних, фізіологічних, психологічних змін в організмі.

Фізіологічні порушення супроводжуються розладами функцій шлунково-кишкового тракту, серцево-судинної системи, скелетних м'язів, залоз внутрішньої секреції, шкіри, статевої системи. Встановлено, що ці розлади частіше мають місце у працівників з високою та середньою тривалістю роботи за ЕОМ.

До психологічних і поведінкових розладів відносяться: агресивність, фрустрація, нервозність, дратівливість, порушення сну, швидкий розвиток втоми тощо.

Зміни на соматичному, фізіологічному, психологічному і поведінковому рівнях працівників на електронно-обчислювальних машинах та відеодисплейних терміналах пов'язані з високим навантаженням при виконанні завдань, високою емоційно-психологічною напруженістю та дією негативних виробничих факторів.

Для визначення заходів поліпшення умов праці в даній лабораторії складена таблиця основних характеристик приміщення (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Узагальнена таблиця характеристик лабораторії інформаційних технологій

№	Назва характеристик	Нормативне значення	Фактичне значення	Відхилення
1.	Загальна площа	-	37,51 м ²	-
2.	Кількість робочих місць	-	8	-
3.	Площа 1-го робочого місця	6 м ²	4,7 м ²	-1,3 м ²
4.	Джерело світла в приміщенні - комбіноване	>750лк	800лк	+50лк (норма)

3.2 Заходи з поліпшення умов праці

Організація робочого місця користувача відеотерміналу повинна забезпечувати відповідність усіх елементів робочого місця та їх розташування ергономічним вимогам, характеру та особливостям трудової діяльності. Площа одного робочого місця повинна бути не менше 6 м², а обсяг – не менше 20 м³. Але данна вимога не відповідає дійсності в лабораторії інформаційних технологій, так як площа на одне робоче місце складає лише 4,7 м². Для дотримання ергономічних вимог необхідно перенести два робочих місця в інше приміщення, тим самим вирішиться питання зменшення випромінювання від ЕОМ сусідніх робочих місць.

Робочі місця для працюючих з дисплеями необхідно розташовувати таким чином, щоб до поля зору працюючого не потрапляли вікна та освітлювальні прилади. Відеотермінали повинні встановлювати-

ся під кутом 90 - 105 градусів до вікон та на відстані, не меншій 2,5-3м від стіни з вікнами.

До поля зору працюючого з дисплеєм не повинні потрапляти поверхні, які мають властивість віддзеркалювання. Покриття столів повинне бути матовим з коефіцієнтом 0,25 - 0,4.

Відстань між робочими місцями з ПК повинна бути не меншою 1,5 м у ряду та не меншою 1 м між рядами. ПК повинні розміщуватися не ближче 1 м від джерела тепла.

Відстань від очей користувача до екрану повинна становити 500 - 700 мм, кут зору - 10- 20 градусів, але не більше 40 градусів, кут між верхнім краєм відео терміналу та рівнем очей користувача повинен бути меншим 10 градусів. Найбільш вигідне є розташування екрану перпендикулярно до лінії зору користувача.

Для захисту від шуму у виробничому приміщенні та на робочих місцях застосовуються шумопоглинальні засоби (негорючі спеціальні перфоровані плити, мінеральна вата, підвісні стелі й ін.). Під матричні принтери треба підкладати вібраційні килимки для гасіння вібрації та шуму.

Нормалізувати іонний склад повітря виробничої зони можна різними способами: механічна вентиляція, застосування іонізаторів, заземлених захисних екранів тощо.

3.3 Пожежна безпека

Дане приміщення за ступенем пожежної небезпеки можна віднести до класу «Е», тому що в роботі використовується папір, пластикові меблі й меблі

з ДВП. За ступенем вогнестійкості приміщення відноситься до II категорії. Це відповідає нормам пожежної безпеки, зазначеним у СНІП 2.01.02-85.

Приміщення, в яких розташовані комп'ютери, повинні бути не нижче II ступеня вогнестійкості. Поруч з приміщенням не повинен бути приміщень пожежо-та вибухонебезпечних. У приміщеннях повинні зберігатися ті носії інформації, які необхідні для роботи, решта – в окремих приміщеннях на негорючих стелажах у залізних коробках. Підлоги повинні бути знімні і повинні бути виготовлені з негорючих або важко горючих матеріалів. Підпільний простір має бути оснащений системою автоматичної пожежної сигналізацією, автоматичною установкою пожежогасіння. Приміщення повинно бути оснащене сигналізацією з димоповістителями і пожежогасіння. У приміщенні повинні знаходитися переносні вуглекислотні вогнегасники 2 шт. на 20 м².

В аналізованому приміщенні встановлені димоповістелі та пожежною сигналізацією. Приміщення має II ступеня вогнестійкості, так само в приміщенні площею 10 м² є один переносний вуглекислотний вогнегасник, що відповідає нормам охорони праці.

3.4 Техногенна безпека

Показником ефективності евакуації є час, протягом якого люди можуть при необхідності залишити окремі приміщення і будівлю чи споруду загалом. Безпека евакуації досягається тоді, коли час евакуації не перевищує часу настання критичної фази розвитку пожежі, тобто часу від початку пожежі до досягнення граничних для людини значень чинників пожежі (критичних температур, концентрацій кисню тощо).

Виходи вважаються евакуаційними, якщо вони ведуть:

- з приміщень першого поверху назовні безпосередньо або через коридор, вестибюль, сходову клітку;
- з приміщень будь-якого поверху, крім першого, в коридори, що ведуть на сходову клітку (в тому числі через хол); при цьому сходові клітки повинні мати вихід назовні безпосередньо або через вестибюль, відокремлений від прилеглих коридорів перегородками з дверима;
- з приміщень у сусіднє приміщення на цьому ж поверсі, що забезпечене виходами, зазначеними вище.

Евакуаційні виходи повинні розташовуватися розосереджено. Евакуаційних виходів повинно бути не менше двох. Двері на шляхах евакуації повинні відчинятися в напрямку виходу з будівель (приміщень). Допускається влаштування дверей з відкриванням усередину приміщення в разі одночасного перебування в ньому не більше 15 осіб. При наявності людей у приміщенні двері евакуаційних виходів можуть зачинятись лише на внутрішні засуви, які легко відмикаються. Мінімальна ширина шляхів евакуації - не менше 1 м, дверей - не менше 0,8 м. Відстань від найвіддаленішої точки цеху або приміщення до евакуаційного виходу визначається згідно зі СНіП 2.09.02-85 залежно від ступеня вогнестійкості будівлі та кількості людей, що евакуюються.

З метою організації евакуації людей у випадку виникнення пожежі розроблений спеціальний план евакуації працівників будинку, який показаний на рисунку 4.1. Всі двері на шляху евакуації відкриваються тільки у бік виходу. Сумарна ширина сходів, дверей і проходів на шляху евакуації не менша 1 м, що задовольняє вимогам СНіП 2.01.02-85.

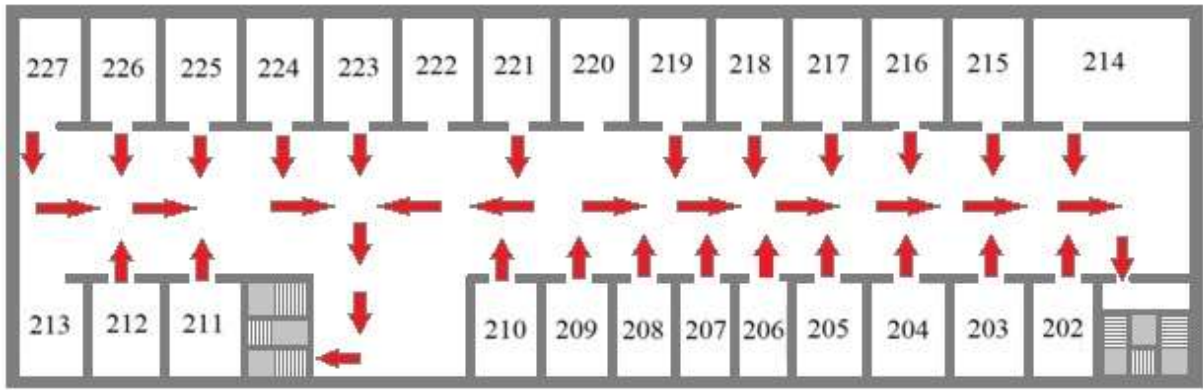


Рисунок 3.2 – План евакуації у випадку виникнення пожежі; 1 – приміщення в якому проводиться аналіз

3.5 Розрахунок захисного заземлення

Заземленню підлягають вимірювальні установки, напруга живлення яких 220В. У якості заземлювача візьмемо сталеві вертикальні стержні довжиною $l = 2$ м, діаметром $d = 0,03$ м, діаметр сполучної смуги $b = 0,03$

Контур заземлення розташовано нагоризонтальному майданчику біля корпусу академії. Грунт - суглинок.

Допустимий опір заземлюючого пристрою (R_n) дорівнює 4 Ом. Визначимо питомий електричний опір ґрунту (суглинка), ρ якого дорівнює 100 Ом·м. Розрахуємо опір розтікання струму одного вертикального стержня:

$$R_B = \frac{\rho}{2\pi l} \cdot \ln \frac{4 \cdot l}{d} = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} \ln \frac{4 \cdot 2}{0,03} = 44,46 \text{ Ом} \quad (3.1)$$

Прийmemo число заземлювачів:

$$n = \frac{R_l}{R_n} = \frac{44,46}{4} = 11,1 \approx 12 \quad (3.2)$$

Визначимо довжину горизонтальної смуги (по контуру):

$$l_{\Gamma} = a \cdot n = 2 \cdot 12 = 24 \text{ м} \quad (3.3)$$

де a - відстань між вертикальними електродами ($a = 2$ м)

Опір горизонтальної смуги:

$$R_{2c} = \frac{\rho}{\pi l_{\Gamma}} \ln \frac{4 \cdot l_{\Gamma}}{b} = \frac{100}{3,14 \cdot 24} \ln \frac{4 \cdot 24}{0,03} = 10,7 \text{ Ом} \quad (3.4)$$

Коефіцієнт екранування для вертикального заземлювача [13]:

$$\eta_{\text{в}} = \frac{0,68+0,56}{2} = 0,62 \quad (3.5)$$

і для горизонтальної смуги

$$\eta_{\Gamma} = \frac{0,34+0,4}{2} = 0,37 \quad (3.6)$$

Опір групи вертикальних заземлювачів:

$$R_{\text{гр}} = \frac{R_{\text{вз}}}{n \cdot \eta_{\text{в}}} = \frac{44,46}{12 \cdot 0,62} = 5,97 \text{ Ом} \quad (3.7)$$

Опір горизонтальної смуги з врахуванням екранування:

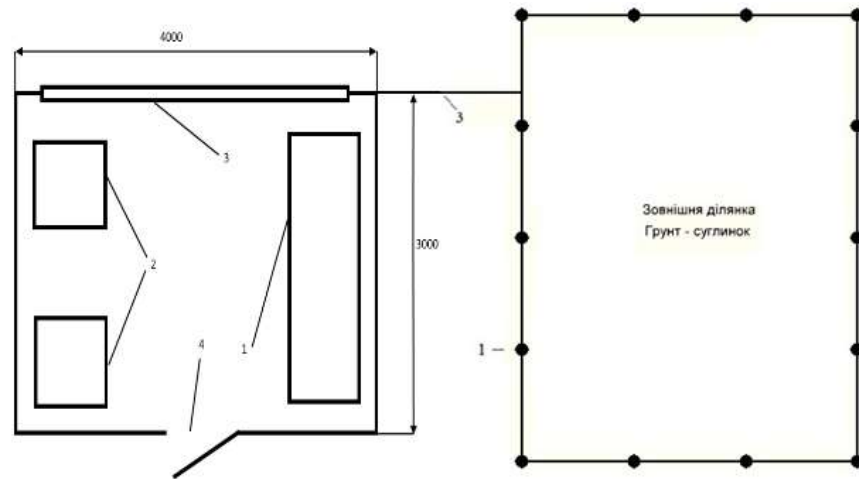
$$R_{\Gamma} = \frac{R_{\text{го}}}{\eta_{\Gamma}} = \frac{10,7}{0,37} = 28,91 \text{ Ом} \quad (3.8)$$

Опір заземлювача в цілому:

$$R_{\text{з}} = \frac{R_{\text{гр}} \cdot R_{\Gamma}}{R_{\text{гр}} + R_{\Gamma}} = \frac{5,97 \cdot 28,91}{5,97 + 28,91} = 4,94 \text{ Ом} \quad (3.9)$$

Як видно опір заземлювача перевищує нормативне (4 Ом), тому збільшимо кількість заземлювачів до $n = 14$, тоді опір заземлювача в цілому складе $R_{\text{з}} = 3,97 < R_{\text{н}}$.

Число заземлювачів дорівнює 14, які розміщені по контуру зовнішньої ділянки, як показано на рисунку 3.3.



1 – заземлювачі; 2 - електроустаткування що заземлюється; 3 - сполучна смуга;

Рисунок 3.3 — Розміщення заземлюючих електродів на зовнішній ділянці та сполученої смуги лабораторії проведення експерименту

Таким чином, для виконання захисного заземлення використовується 14 вертикальних стержнів діаметром 0,03 м, завдовжки 2 м. кожен з яких має опір 44,46 Ом. Опір сполучної смуги 10,7 Ом. Опір заземлювачів в цілому складе 3,97 Ом, що забезпечує безпечну роботу на установках лабораторії.

ВИСНОВКИ

Розглянуті основні види акумуляторів, які виготовляються та використовуються в промисловості, проілюстровані їх конструктивні особливості та зовнішній вигляд деяких з них, пояснені принципи роботи.

Літій-полімерні акумулятори на сьогодні хоч і мають свої недоліки але використання даних акумуляторів в світі стрімко зростає, так як вони мають високий показник питомої енергії, а також здатні віддавати великі струми розряду. Ці акумуляторні джерела струму більш безпечні в експлуатації, ніж літій-іонні акумулятори попередніх поколінь завдяки відсутності рідкого електроліту.

При експлуатації акумуляторної батареї бажано використовувати систему контролю та управління, що являє собою набір елементів, що забезпечують контроль основних параметрів АБ.

Схема індикатору заряду акумулятора яка базується на регульованому стабілітроні TL431 не буде працювати при низьких напругах через відсутність достатньої напруги та/або струму для живлення світлодіода. Дана схема має недолік, який полягає у постійному споживанні струму, в районі 10 мА.

Для реалізація схеми контролю рівня заряду батареї на операційних підсилювачах було використано операційні підсилювачі LM358, які значно спрощують конструкцію системи а також стабілізують її роботу. Інформація про ступінь розряду батареї поступає по принципу світлодіодного стовбчика, тобто чим вище напруга на батареї, тим менше світлодіодів загоряється.

Розробка та аналіз різних підходів показав, що використання методів електричного моделювання не дозволяє повною мірою відобразити зарядно/розрядні процеси всередині акумулятора але може бути використано для контролю рівня заряду батареї та служити базою для творення математичних моделей цих процесів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Розвиток акумуляторів і сьогоднішні можливості фізики: веб-сайт. URL: <http://surl.li/cgffp> (дата звернення: 13.06.2022).
 2. Батарейки та акумулятори: основні типи, призначення, поради щодо вибору: веб-сайт. URL: <https://www.itbox.ua/ua/blog/Batareyki-ta-akumulyatori-osnovni-tipi-priznachennya-poradi-schodo-viboru/> (дата звернення: 11.05.2022).
 3. Енергія про запас: як працюють системи безперебійного живлення для приватного будинку: веб-сайт. URL: <https://solarsystem.com.ua/ru/energiya-pro-zapas-yak-pratsyuyut-systemy-bezperebijnogo-zhyvlennya-dlya-pryvatnogo-budynku/> (дата звернення: 21.05.2022).
 4. Пристрій та принцип дії акумулятора: веб-сайт. URL: <https://aet.ua/ua/articles/ustrojstvo-i-printsip-dejstvija-akkumuljatora.html> (дата звернення: 01.05.2022).
1. Фізичні основи електроніки: курс лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 171 «Електроніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: К.С. Дрозденко, Електронні текстові данні (1 файл: 8,58 Мбайт). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 153 с.
https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/40978/1/FOE_navch_posibnyk.pdf
 2. Основи електроніки. Підручник. Вид. 2-ге перероб. та доп. К.: Видавництво Ліра-К, 2017. 364 с.
<https://lira-k.com.ua/preview/12092.pdf>
 3. Орешкин П.Т. Физика полупроводников и диэлектриков : учеб. пособие для специальности "Полупроводники и диэлектрики" вузов. – <http://ebooks.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Yanovskiy/0035809.djvu>
 4. All about Circuits (Electrical Engineering & Electronics Community) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.allaboutcircuits.com>

5. Electronics Tutorials (Basic Electronics Tutorials and Revision) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.electronics-tutorials.ws>
6. Electronics Hub (Projects, tutorials, Courses) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.electronicshub.org>
7. Стахів П. Г., Коруд В. І., Гамола О. Є. С 77 Основи електроніки: функціональні елементи та їх застосування. Підручник для студентів неелектротехнічних спеціальностей вищих навчальних закладів. Львів: «Новий Світ-2000»; «Магнолія плюс».2003. 208 с.
http://dspace.wnu.edu.ua/bitstream/316497/8500/1/fkit_kki_dke_ksm_LEK.pdf
8. Будіщев М.С. «Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка», Львів, «Афіша», 2001, 424с.
<http://194.44.152.155/elib/local/sk657185.pdf>
9. Основи схемотехніки електронних систем: Підручник [Текст]/ [Бойко В.І., Гуржій А.М., Жуйков В.Я. та ін.].- К.:Вища шк., 2004-527 с.
10. Цифрова схемотехніка: Підручник [Текст]/ Верьовкін Л.Л., Світанько М.В., Кісельов Є.М., Хрипко С.Л. - Запоріжжя. Видавництво ЗДІА, 2016-214 с.