

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні
Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

рівень вищої освіти другий магістерський
(другий магістерський) рівень

на тему Дослідження та розробка стабілізованого інвертора напруги для фотоелектричних систем

Виконав: студент (ка) II курсу, групи 8.1532

Сазонов О. В.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Напряму підготовки 153
(шифр)

Спеціальності Мікро- та наносистемна техніка

(назва)

Керівник доцент, доцент, к.т.н.

Верьовкін Л. Л.

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

Рецензент Завідувач кафедри ЕІКС ІННІ ім. Ю.М. Потебні, професор, д.т.н., Коваленко В. Л.

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

м. Запоріжжя - 2023 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потєбні

Рівень вищої освіти другий магістерський рівень
(перший (бакалаврський) рівень, другий (магістерський) рівень)
Напря́м підготовки _____
(шифр)
Спеціальність 153 Мікро- та наносистемна техніка
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕІСПЗ

Критська Т. В.

“10” грудня 2023 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Сазонов Олександр Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження та розробка стабілізованого інвертора напруги для фотоелектричних систем

керівник проекту (роботи) Верьовкін Леонід Леонідович, доцент, к.т.н.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “01” травня 2023 року №639-с

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 20 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Спектральний діапазон довжин хвиль, в якому виконуються дослідження 300-1000 нм; межі виміру коефіцієнтів пропускання 0-125 %; оптична щільність 0,1-2,5 %; основна відносна погрішність виміру коефіцієнта пропускання не більше 0,5 %; робоча довжина кювети 5 мм; живлення пристрою – комбіноване: мережа 115/230В і батарея 9В.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Дослідження оптичних методів проведення клінічних аналізів. Розробка мікроелектронної системи фотометричного аналізу діагностичної інформації. Техніко-економічне обґрунтування розробки мікроелектронної системи фотометричного аналізу діагностичної інформації Охорона праці та техногенна безпека.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Оптична схема фотокolorиметра КФК-3-03-«ЗОМЗ». Структурна схема пристрою для фотометричного аналізу діагностичної інформації. Моделювання розрахованої схеми інтегратора. Результати моделювання залежності вихідної напруги інтегратора від рівня вхідного сигналу. Схема мікроелектронної системи фотометричного аналізу діагностичної інформації.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
<i>I</i>	<i>Верьовкін Л.Л., доцент</i>	<i>13.10.2023</i>
<i>II</i>	<i>Верьовкін Л.Л., доцент</i>	<i>10.11.2023</i>
<i>III</i>	<i>Верьовкін Л.Л., доцент</i>	<i>17.11.2023</i>
<i>IV</i>	<i>Верьовкін Л.Л., доцент</i>	<i>23.11.2023</i>

7. Дата видачі завдання 01.05.2023 року**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
<i>1</i>	<i>Аналітичний огляд оптичних методів проведення клінічних аналізів</i>	<i>14.09.2023</i>	
<i>2</i>	<i>Дослідження конструкцій приладів для проведення клінічних аналізів оптичними методами</i>	<i>18.09.2023</i>	
<i>3</i>	<i>Аналіз оптичної системи фотоколориметра КФК-3-03-«ЗОМЗ»</i>	<i>13.10.2023</i>	
<i>4</i>	<i>Моделювання функціональної схеми пристрою</i>	<i>20.10.2023</i>	
<i>5</i>	<i>Розрахунок основних параметрів оптичного випромінювача</i>	<i>27.10.2023</i>	
<i>6</i>	<i>Розрахунок основних параметрів диференціального каналу обробки фотометричної інформації</i>	<i>03.11.2023</i>	
<i>7</i>	<i>Побудова пристрою мікропроцесорного блоку обробки інформації</i>	<i>10.11.2023</i>	
<i>8</i>	<i>Техніко-економічне обґрунтування</i>	<i>17.11.2023</i>	
<i>9</i>	<i>Охорона праці та техногенна безпека</i>	<i>23.11.2023</i>	
<i>10</i>	<i>Написання пояснювальної записки</i>	<i>02.12.2023</i>	
<i>11</i>	<i>Оформлення графічного матеріалу</i>	<i>08.12.2023</i>	
<i>12</i>	<i>Попередній захист дипломної роботи</i>	<i>09.12.2023</i>	
<i>13</i>	<i>Оприлюднений захист кваліфікаційної роботи</i>	<i>12.12.2023</i>	

Студент

(підпис)

Сазонов О. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Верьовкін Л. Л.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

(підпис)

Верьовкін Л. Л.

(прізвище та ініціали)

Реферат

Дипломна робота містить 73 сторінки, 49 рисунків, 16 таблиць, 15 джерел літератури.

Об'єкт дослідження – інвертуючі стабілізатори напруги в складі фотоелектричних систем.

Мета роботи – розробка та розрахунок елементів інвертуючого стабілізатора напруги в складі автономної фотоелектричної системи.

Задачі роботи: розробити схему блока керування потужністю, який забезпечує контроль за електропостачанням споживачів електроенергії; розробити схему інвертуючого стабілізатора постійної напруги 12В в змінну напругу 220В; провести аналіз функціонування розроблених схем фотоелектричної системи.

Методика досліджень – моделювання пристрою за допомогою програмних забезпечень Electronics Workbench, SPlan, Sprint Layout.

Короткий виклад результатів досліджень – розроблена схема інвертуючого стабілізатора напруги дозволяє від акумуляторів постійної напруги 12 В отримати синусоїдальний сигнал напругою 220 В, із спотвореннями менше 3%, який не міняє значення амплітуди напруги при підключенні навантаження більше 10%.

Результати впровадження – модель електронного приладу пройшла випробування на кафедрі ЕІСПЗ.

Прогнозні пропозиції – рекомендується для подальшого удосконалення та проведення випробування при побудові фотоелектричних систем.

НАПРУГА, ІНВЕРТОР, СТАБІЛІЗАТОР, ГЕНЕРАТОР, АКУМУЛЯТОР, РЕЛЕ-РЕГУЛЯТОР, ІНДИКАТОР, МІКРОСХЕМА

Робота виконана на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення з 01 травня по 10 грудня 2023 року.

Зміст

	Стор.
Вступ	6
1 Дослідження принципів побудови систем електропостачання на основі сонячної енергетики	8
1.1 Огляд характеристик та параметрів сонячних елементів	8
1.2 Технічні характеристики і параметри сонячних елементів	13
1.3 Елементи автономної сонячної фотоелектричної системи	18
1.4 Схеми сонячних фотоелектричних систем	19
2 Розробка інвертуючого стабілізатора напруги для фотоелектричних систем	23
2.1 Розробка блоку керування потужністю	24
2.1.1 Схема індикації пристрою контролю напруги	26
2.1.2 Пристрій контролю заряду акумуляторної батареї	32
2.1.3 Схема пристрою контролю ступеню заряду акумуляторних батарей	33
2.2 Розробка печатної плати пристрою контролю напруги і ступеню заряду акумуляторних батарей	35
2.3 Моделювання схеми інвертуючого стабілізатора напруги підключених споживачів	40
2.3.1 Моделювання генератора частоти	42
2.3.2 Розробка стабілізованого джерела живлення	47
2.3.3 Розробка двохтактного перетворювача частоти	48
2.4 Розробка конструкції блоку керування потужністю фотоелектричних систем	55
3 Техніко - економічне обґрунтування розробки електронної схеми інвертуючого стабілізатора напруги	57
3.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення схеми інвертуючого	

стабілізатора напруги	57
3.2 Розрахунок витрат на виробництво схеми інвертуючого стабілізатора напруги	61
4 Охорона праці та техногенна безпека при розробці пристрою для лікування електричними струмами	63
4.1 Характеристика об'єкта	63
4.2 Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	64
4.3 Заходи з поліпшення умов праці	65
4.4 Виробнича санітарія	65
4.5 Електробезпека об'єкта	67
4.6 Пожежна та техногенна безпека об'єкта	68
4.7 Розрахунок освітлення робочого місця	68
Висновки та рекомендації	71
Перелік посилань	72

Вступ

Перетворення сонячної енергії в електричну відбувається за допомогою сонячних панелей. Сонячний модуль або фотоелектрична панель - це електричний пристрій, який перетворить частину сонячного електромагнітного випромінювання в постійний електричний струм. Оскільки величина сонячного випромінювання дуже сильно міняється протягом дня, а вночі взагалі немає сонячного світла, переважно використовувати сонячні батареї для зарядки акумуляторів або використовувати в системах з буферним акумулятором або конденсатором.

Природно при конструюванні сонячної системи необхідно враховувати і втрати в дротах, і перехідні опори контактів і втрати в приєднаних пристроях: контролерах заряду і так далі тим більше що питання економії, у тому числі економії енергії, при використанні сонячних систем набувають особливо важливого значення [1].

Енергія, отримана від сонячних батарей, прямує на зарядку акумуляторів – це необхідно по двох причинах: згладжування нерівномірності вступу енергії, наприклад в хмарну погоду, і потребу в енергії тоді, коли немає сонячного випромінювання (вночі і в похмурі дні). Для підбору кількості і типу акумуляторів використовуються теж два параметри: конструкція інвертора (напруга на низькій стороні) і струм зарядки, який може поступати від декількох джерел і не повинен перевищувати 10 % від номінальної ємності для кислотних акумуляторів і 25-30% від номінальної ємності для лужних. Якщо в інверторі є зарядний пристрій від мережі, то він повинен автоматично регулювати зарядний струм залежно від міри заряду акумуляторів. Окрім цього, особливо якщо заряджання від існуючої мережі відсутнє, необхідно аби акумулятори не боялися сульфатації пластин і розшарування електроліту, інакше заряджання маленьким струмом, який часто буває в похмуру погоду, швидко виведе акумулятори зі строю.

Близькій до ідеальної конструкції слід рахувати ту сонячну електростанцію, де різні групи навантажень отримують живлення від різних інверторів.

Багато фірм випускають інвертори з самими різними властивостями. Вони можуть відрізнятися формою вихідного сигналу (найбільш прості і дешеві на виході дають прямокутний сигнал, так званий «меандр», виготівники, частіше називають його: модифікованою синусоїдою, імітованою синусоїдою, псевдо-синусоїдою, квазі-синусоїдою і так далі), способом компенсації навантажень (за рахунок збереження амплітуди напруги або площі кривої), вживаним схемним рішенням (одне або два перетворення напруги, імпульсним або аналоговим перетворенням сигналу). Деякі інвертори мають вбудований зарядний пристрій від існуючої мережі, інші можуть здійснювати підживлення мережі і направляти енергію, отриману від сонця в мережу. Конструкція інвертора може бути найрізноманітнішою.

Актуальна розробка інвертуючого стабілізатора напруги, який повинен видавати чистий синусоїдальний сигнал із спотвореннями менше 3%, не міняти значення амплітуди напруги при підключенні навантаження більше 10%, мати значний запас по перевантаженню і набір захисних функцій: від короткого замикання в навантаженні, від неправильного під'єднування до акумуляторів, від перевантаження, від несправності акумуляторів, не допускати глибокого розряду акумуляторів.

1 Дослідження принципів побудови систем електропостачання на основі сонячної енергетики

1.1 Огляд характеристик та параметрів сонячних елементів

Сонячний елемент (СЕ) є первинним перетворювачем фотоелектричної системи, який перетворює світлову енергію сонця в електричну енергію. М.О.Дикий приводить приклад сонячного елемента, який представляє собою псевдо квадрат розмірами 103,5мм × 103,5мм, 125мм × 125мм.

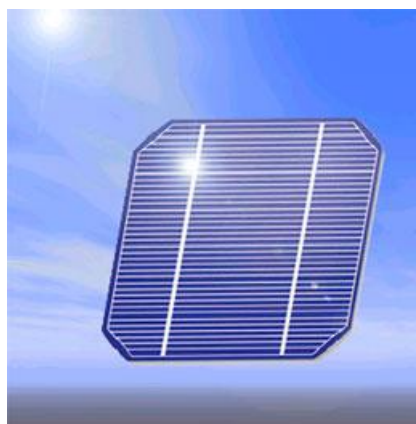


Рисунок 1.1 – Фотоперетворювач (СЕ) з полем на тильній поверхні (ПТП СЕ)

Сонячні елементи виготовляються на основі монокристалічного кремнію як "р", так і "n" типу провідності. Базова структура : n⁺ - р - р⁺ структура на кремнії "р" типу, р⁺ - n - n⁺ структура на кремнії "n" типу, тобто фотоперетворювач (СЕ) з полем на тильній поверхні (ПТП СЕ), (рис. 1.1). Робоча поверхня текстурована, відповідно орієнтації пластин кремнію (100). Тильна поверхня - гладенька. Контакти на робочій і тильній поверхні - сітчасті, отримані шляхом нанесення пасти методом трафаретного друку.

Зараз намагаються отримати значне підвищення коефіцієнту корисної дії (ККД) фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) за рахунок створення перетворювачів із двосторонньою чутливістю (до +80 % до ККД з тої сторони, що вже маємо), застосування люмінесцентно перевипромінюючих структур, попереднього розкладання сонячного спектру на дві чи більше спектральні області за допомогою багатошарових плівкових світлоділників з подальшим перетворенням кожної ділянки спектру окремими ФЕП. Структура сонячного елемента показана на рисунку 1.2.

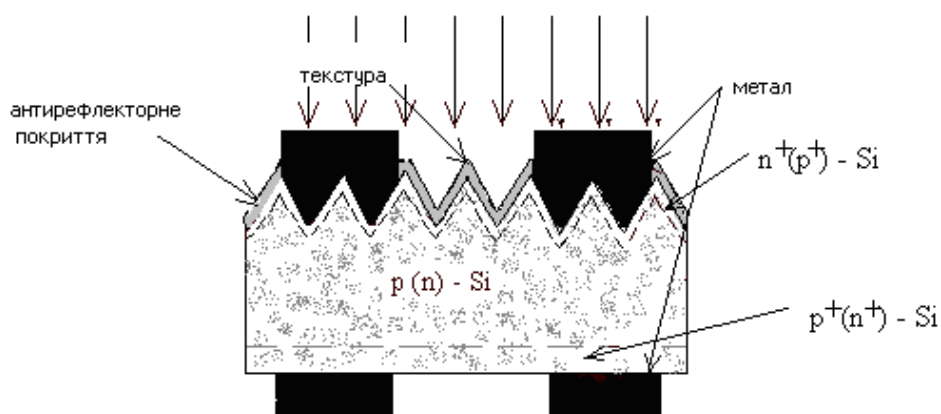


Рисунок 1.2 - Структура сонячного елемента

Окремі колони зв'язаних атомів свинцю та сірки створюють шахматний мотив на цьому зображенні шостинанометрової квантової точки (рисунок 1.3), отриманої за допомогою просвічуючої електронної мікроскопії. Такі наночастинки були суспензійовані у розчиннику і висушені як фарби для створення пластикової інфрачервоної сонячної чарунки.

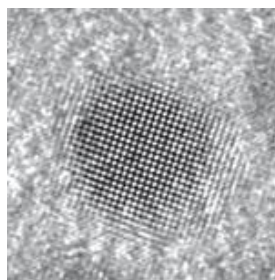


Рисунок 1.3 – Шостинанометрова квантова точка, отримана за допомогою просвітленої електронної мікроскопії

Джерелом енергії сонячного випромінювання служить термоядерна реакція – кожену секунду на Сонці $\sim 6 \cdot 10^{11}$ кг водню перетворюється в гелій.

Дефект маси при цьому складає 4000 кг, що згідно співвідношенню Ейнштейна $E=mc^2$ призводить до виділення $4 \cdot 10^{20}$ Дж енергії. Основна частина цієї енергії виходить у вигляді електромагнітного випромінювання у діапазоні 0,2-3 мкм. Оскільки повна маса Сонця $\sim 2 \cdot 10^{30}$ кг, воно повинне перебувати у достатньо стабільному стані вище 10 млрд. років з постійним виділенням енергії.

Інтенсивність сонячного випромінювання у вільному просторі на віддаленні, що дорівнює середній відстані між Землею та Сонцем, називається сонячною сталою. Її величина становить - 1353 Вт/м^2 . При проходженні через атмосферу сонячне світло послаблюється в основному через поглинання інфрачервоного випромінювання парами води, ультрафіолетового випромінювання – озоном, розсіювання випромінювання частинками атмосферного пилу та аерозолями (рис. 1.4).

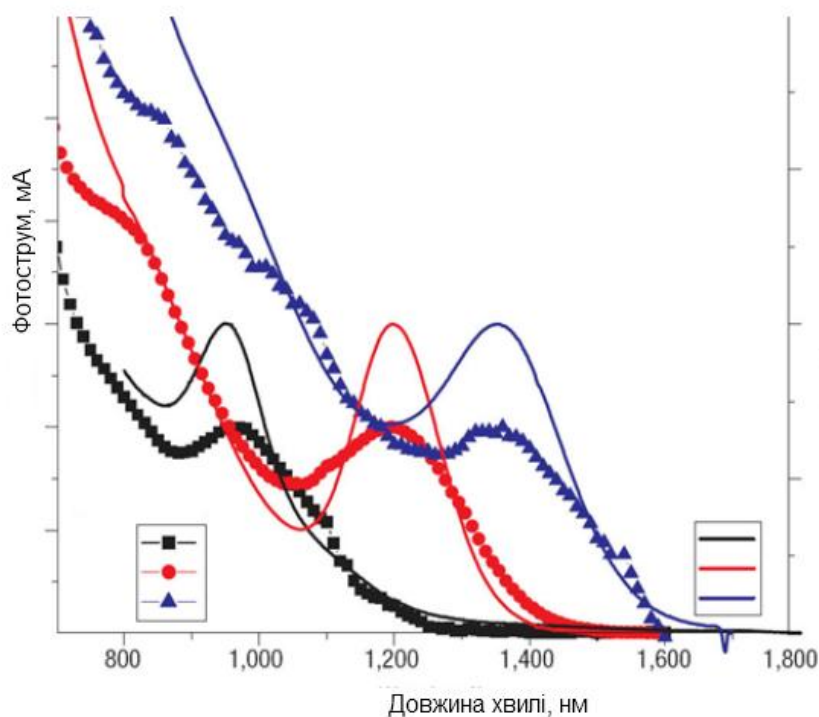


Рисунок 1.4 – Залежність фотоструму від довжини хвилі та спектр поглинання

Показник атмосферного впливу на інтенсивність сонячного випромінювання, що досягає земної поверхні, називається «повітряною масою» (AM). AM визначається як секанс кута між Сонцем і зенітом.

На рисунку 1.5. показаний спектральний розподіл інтенсивності сонячного випромінювання у різних умовах. Верхня крива (AM0) відповідає сонячному спектру за межами земної атмосфери (наприклад на борту космічного корабля), тобто при нульовій повітряній масі. Вона апроксимується розподілом інтенсивності випромінювання абсолютно чорного тіла при температурі 5800 К. Криві AM1 і AM2 ілюструють спектральний розподіл сонячного випромінювання на поверхні Землі, коли Сонце в зеніті, а кут між Сонцем та зенітом становить 60° , відповідно. При цьому повна потужність випромінювання – відповідно порядку 925 і 691 Вт/м². Середня інтенсивність випромінювання на Землі приблизно співпадає з інтенсивністю випромінювання при AM=1,5 (Сонце - під кутом 45° до горизонту).

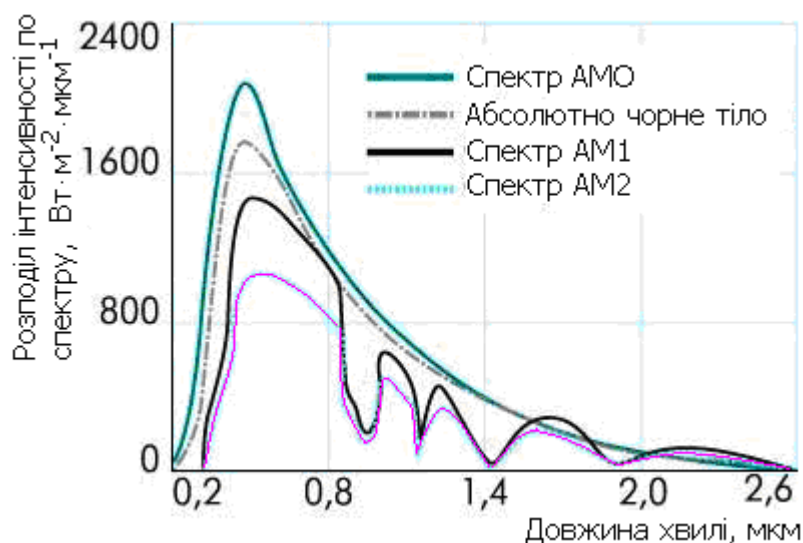


Рисунок 1.5 – Розподіл інтенсивності по спектру сонячного випромінювання

Таким чином, при використанні вискоефективних методів перетворення енергії Сонце може забезпечувати бурно зростаючу потребу в ній практично вічно.

Найпростіша конструкція сонячного елемента – приладу для перетворення енергії сонячного випромінювання на основі монокристалічного кремнію показана на рисунку 1.6. На малій глибині від поверхні кремнієвої пластини р-типу сформований р-n-перехід з тонким металічним контактом. На тильну сторону пластини нанесений суцільний металічний контакт.

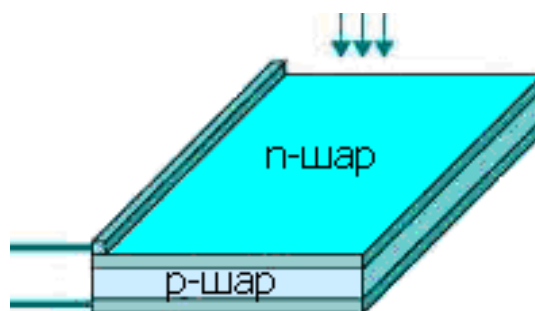
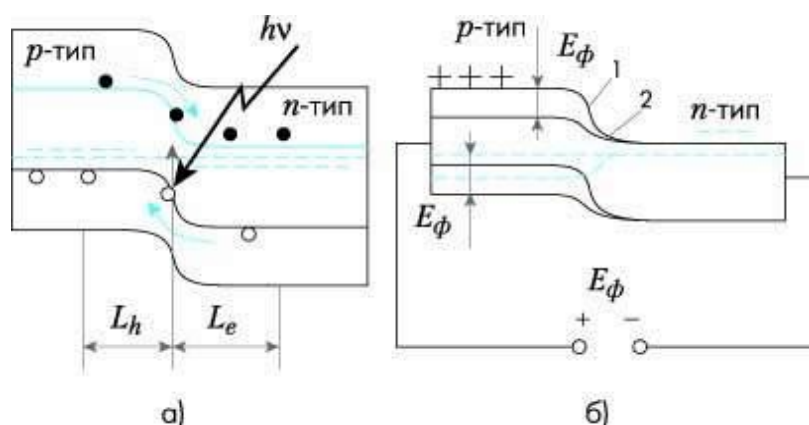


Рисунок 1.6 - Конструкція сонячного елемента

Коли сонячний елемент засвічується, поглинені фотони генерують нерівноважні електронно-діркові пари. Електрони, що генерують в р-шарі поблизу р-n-переходу, підходять до р-n-переходу і існуючим у ньому електричним полем виносяться в n-область. Аналогічно і надлишкові дірки, створені у n-шарі, частково переносяться у р-шар (рис. 1.7 а).



а) - в початковий момент засвічення ;

б) – зміна зонної моделі під дією постійного освітлення і виникнення фото-ЕРС

Рисунок 1.7 - Зонна модель розімкнутого р-n-переходу

У результаті n-шар отримує додатковий негативний заряд, а р-шар - позитивний. Знижується первинна контактна різниця потенціалів між р- і n-шарами напівпровідника, і у зовнішньому ланцюзі з'являється напруга (рис. 1.7 б). Негативному полюсу джерела струму n-шар, а р-шар - позитивному.

1.2 Технічні характеристики і параметри сонячних елементів

Кремнієві сонячні елементи являються нелінійними пристроями і їх поведінку неможливо описати звичайною формулою типу закону Ома. Замість неї для пояснення характеристик елемента можна користуватися сімейством простих для розуміння кривих – вольт-амперних характеристик (ВАХ)

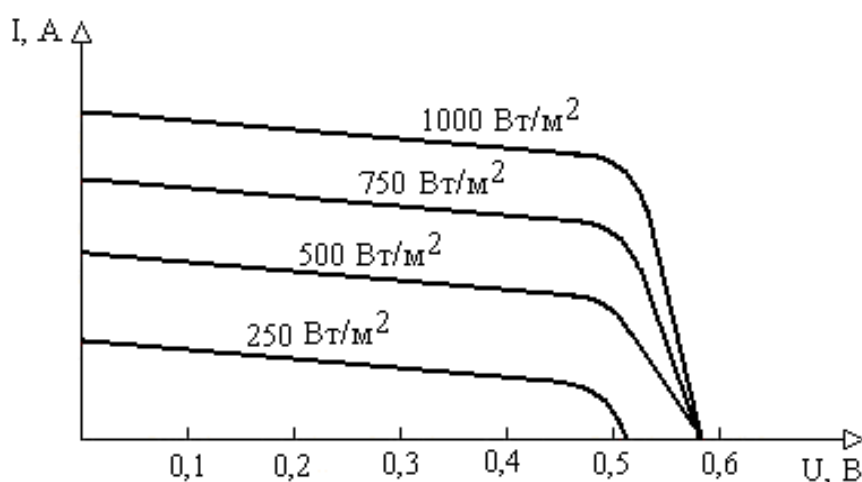
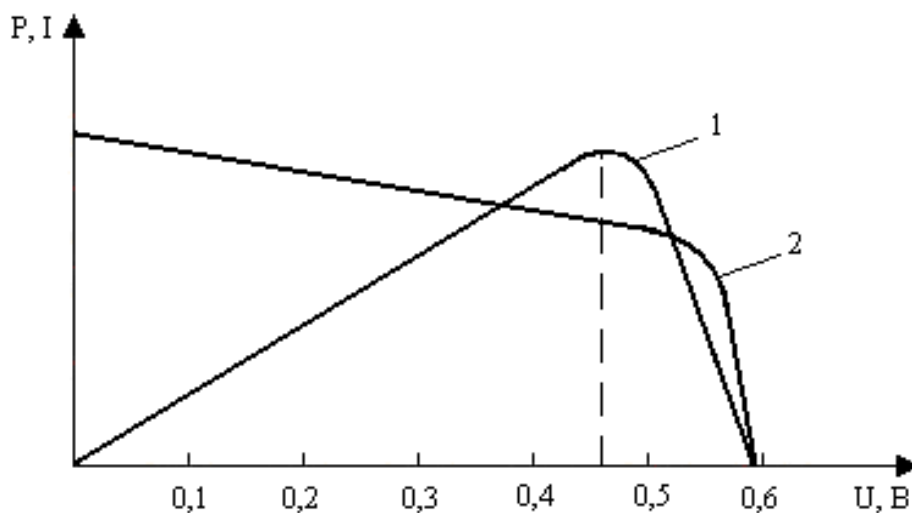


Рисунок 1.8 - Сімейство ВАХ сонячного елемента

Напруга холостого ходу, що генерується одним елементом, трохи змінюється при переході від одного елемента до іншого в одній партії і від однієї фірми виробника до іншої і становить близько 0.6 В. Ця величина не залежить від розмірів елемента. Зі струмом же все навпаки. Він залежить від інтенсивності світла і розміру елемента, під яким розуміється площа його поверхні.

Елемент розміром 100×100 мм у 100 разів краще за елемент розміром 10×10 мм і, відповідно, він при тій же освітленості дасть струм у 100 разів більший.

Навантажуючи елемент, можна побудувати графік залежності вихідної потужності від напруги отримавши дещо подібне зображенню на рисунку 1.9.



1 - крива потужності;

2 - крива струму.

Рисунок 1.9 - Залежність вихідної потужності від напруги

Пікова потужність відповідає напрузі близько 0,47 В. Таким чином, щоб правильно оцінити якість сонячного елемента, а також заради порівняння елементів між собою в однакових умовах, необхідно навантажити його так, щоб вихідна напруга дорівнювала 0,47 В. У таблиці 1.1 приведені електричні параметри сонячних елементів для нормальних умов.

Величина фото-ЕРС, що встановлюється при освітленні переходу випромінюванням постійної інтенсивності описується рівнянням вольт-амперної характеристики (ВАХ) (рис. 1.10):

$$U = (kT/q)\ln(1 + (I_{ph} - I)/I_s), \quad (1.1)$$

де I_s – струм насичення; I_{ph} - фотострум.

Таблиця 1.1 Електричні параметри сонячних елементів

Електричні параметри	Розмір, мм	
	(102,8×102,8)±1 Ø125мм,Ø135мм	(125×125) ±1 Ø150мм
Струм короткого замикання, А	3,0 - 3,8	4,50 - 5,32
Напруга холостого ходу, В	0,57 - 0,61	0,57 - 0,61
Струм максимальної потужності, А	2,9 - 3,45	4,3 - 5,1
Напруга максимальної потужності, В	0,48 - 0,50	0,46 - 0,50
Ефективність, %	13 - 16	13 - 16

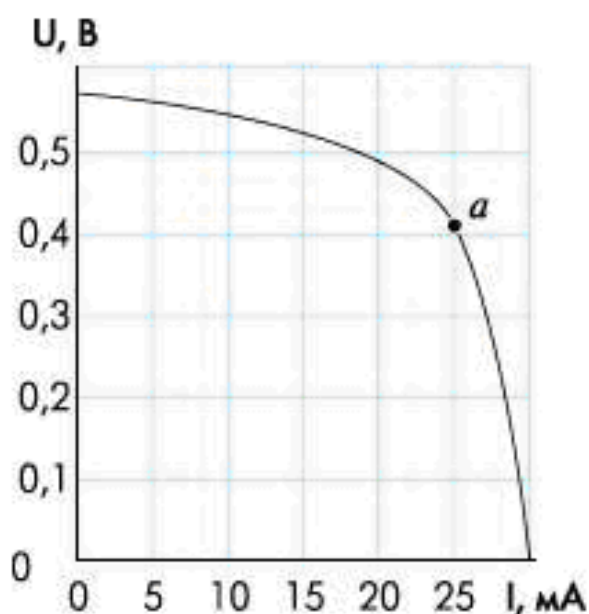


Рисунок 1.10 - Вольт-амперна характеристика сонячного елемента

ВАХ пояснює еквівалентна схема фотоелемента (рис. 1.11), яка містить джерело струму:

$$I_{ph} = SqN_0Q, \quad (1.2)$$

де S - площа фотоелемента, Q – коефіцієнт збирання – безрозмірний множник (<1), що показує яка доля всіх створених світлом електронно-діркових пар (SN_0) збирається р-п переходом.

Паралельно джерелу струму увімкнений р-п перехід, струм через який становить:

$$I_1 = I_s (e^{qU/kT} - 1) \quad (1.3)$$

p-n перехід шунтує навантаження, і при збільшенні напруги струм через нього швидко зростає. У навантаження (опір R) відбирається струм I.

Рівняння ВАХ справедливе і при освітленні фотоелементу світлом довільного спектрального складу, змінюється лише значення фотоструму I_{ph} .

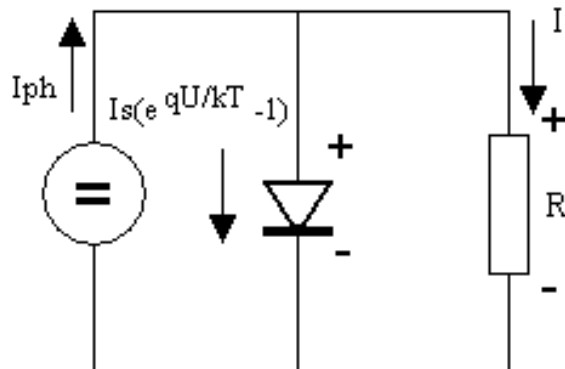


Рисунок 1.11 – Еквівалентна схема сонячного елемента

Максимальна потужність відбирається у тому випадку, коли фотоелемент знаходиться у режимі, відміченому точкою **a** (рис. 1.10).

Максимальна потужність, знята з 1 см^2 , дорівнює:

$$P = I_{ph} \cdot U = x \cdot I_{кз} \cdot U_{хх}, \quad (1.4)$$

де x – коефіцієнт форми чи коефіцієнт заповнення вольт-амперної характеристики, $I_{кз}$ – струм короткого замикання, $U_{хх}$ – напруга холостого ходу.

Важливим моментом роботи сонячних елементів являється їх температурний режим. При нагріванні елемента на один градус більше за $25 \text{ }^\circ\text{C}$ він втрачає напругу в $0,002 \text{ В}$, тобто $0,4 \text{ \%/градус}$. На рисунку 1.12 приведено сімейство кривих ВАХ для температур $25 \text{ }^\circ\text{C}$ і $60 \text{ }^\circ\text{C}$.

В ясну сонячну погоду елементи нагріваються до $60\text{-}70^\circ \text{C}$ втрачаючи $0,07\text{-}0,09 \text{ В}$ кожний. Це і є основною причиною зниження ККД сонячних елементів, що призводить до падіння напруги, що генерується елементом.

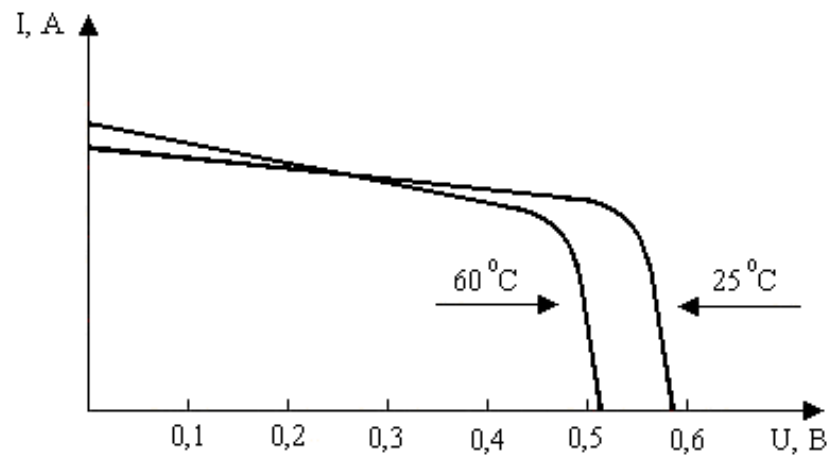


Рисунок 1.12 - Сімейство кривих ВАХ для температур 25° С і 60° С

ККД звичайного сонячного елемента коливається у межах 10-16 %. Це означає, що елемент розміром 100×100 мм при стандартних умовах може генерувати 1-1,6 Вт.

Стандартними умовами для паспортизації елементів у всьому світі признаються наступні:

- освітленість 1000 Вт/м²;
- температура 25°С;
- спектр АМ 1,5 (сонячний спектр на широті 45°)

Точка перетину кривої з віссю напруг називається напругою холостого ходу - U_{xx} , точка перетину з віссю струмів – струм короткого замикання $I_{кз}$.

Максимальна потужність модуля визначається як найбільша потужність при STC (Standart Test Conditions) (рис. 1.13).

Напруга, відповідна максимальній потужності, називається напругою максимальної потужності (робочою напругою - U_p), а відповідний струм – струмом максимальної потужності (робочим струмом - I_p).

Напруга холостого ходу модуля мало залежить від освітленості, в той час як струм короткого замикання, а відповідно і робочий струм, прямо пропорційні освітленості.

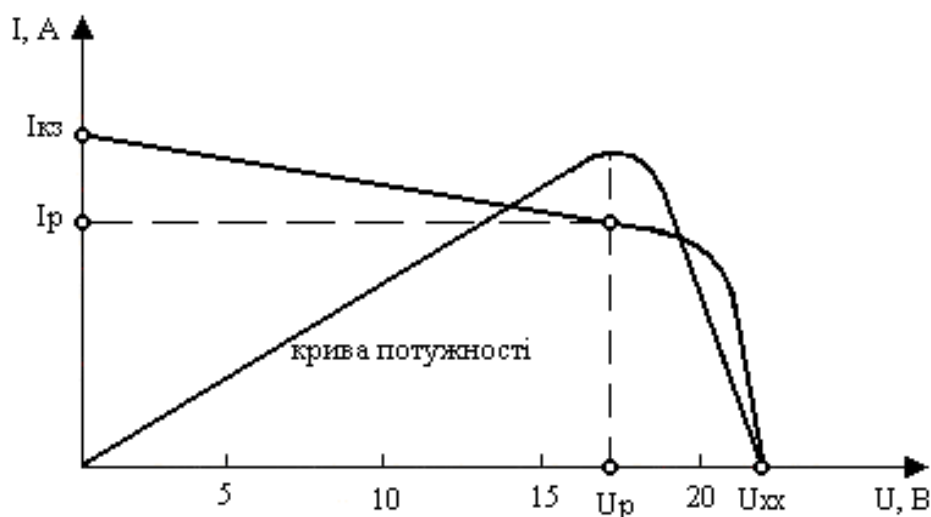


Рисунок 1.13 - Графік кривої потужності

Спектральна чутливість сонячного елемента – це залежність струму короткого замикання від довжини хвилі оптичного випромінювання, що падає на поверхню, розраховуючи на одиницю потужності випромінювання.

У стандартних умовах вимірюються стаціонарні значення спектральної чутливості. Автоматизоване вимірювання динаміки спектральної чутливості дозволяє спостерігати часові зміни струму короткого замикання, обумовлені процесами з різноманітними характерними часовими перерозподілами електронів та дірок у сонячному елементі.

1.3 Елементи автономної сонячної фотоелектричної системи

Сонячні модулі перетворюють сонячну енергію в електричну.

Сонячний контролер - це пульт управління енергетичною системою. Контролер не допускає перевантаження системи або зворотного струму в нічний час.

Інвертор перетворить постійний електричний струм від сонячних батарей в змінний, необхідний для живлення електроприладів. Сонячні модулі можуть виробляти лише постійний струм. Є багато електро-споживачів які використовують саме постійний струм (зарядка акумуляторів, освітлення,

радіоапаратура і так далі), але споживачів змінного струму, напругою 220 В не менше.

Пристрій автоматичного введення резерву (АВР), дозволяє перемкнути живлення об'єкту за відсутності сонячної енергії і повному розряді акумуляторів на електромережу.

Електролічильник показує, скільки електроенергії продається власником в загальну мережу або скільки споживається з неї при необхідності, наприклад, в зимовий час.

Акумулятори служать для збереження енергії, виробленої сонячним модулем.

Особливість сонячних батарей – при приєднаному акумуляторі напруга стабілізується на величині що трохи перевищує напругу на акумуляторі (природно за наявності сонячного освітлення), наприклад розряджений лужний акумулятор, з номінальною напругою 12 В, має напругу 3,8 В, при приєднанні сонячної батареї з напругою холостого ходу 16 В за наявності сонячного випромінювання достатньої інтенсивності напруга на акумуляторі складе приблизно 4,0 – 4,1 В і зростатиме у міру зарядки акумулятора, при цьому струм практично залишиться постійним. Таким чином, сонячна батарея є майже ідеальним зарядним пристроєм.

1.4 Схеми сонячних фотоелектричних систем

Згідно з літературними дослідженнями найбільш популярні схеми роботи сонячних електростанцій із споживачем наведені на рисунках . Можливі і інші схеми роботи. В кожному випадку складається індивідуальний проект, який здатний вирішити поставлене перед нами завдання. На рисунку 2.15 показане підключення повітряного генератора до системи сонячної електростанції через гібридний контролер або за допомогою окремого контролера для вітроустановок

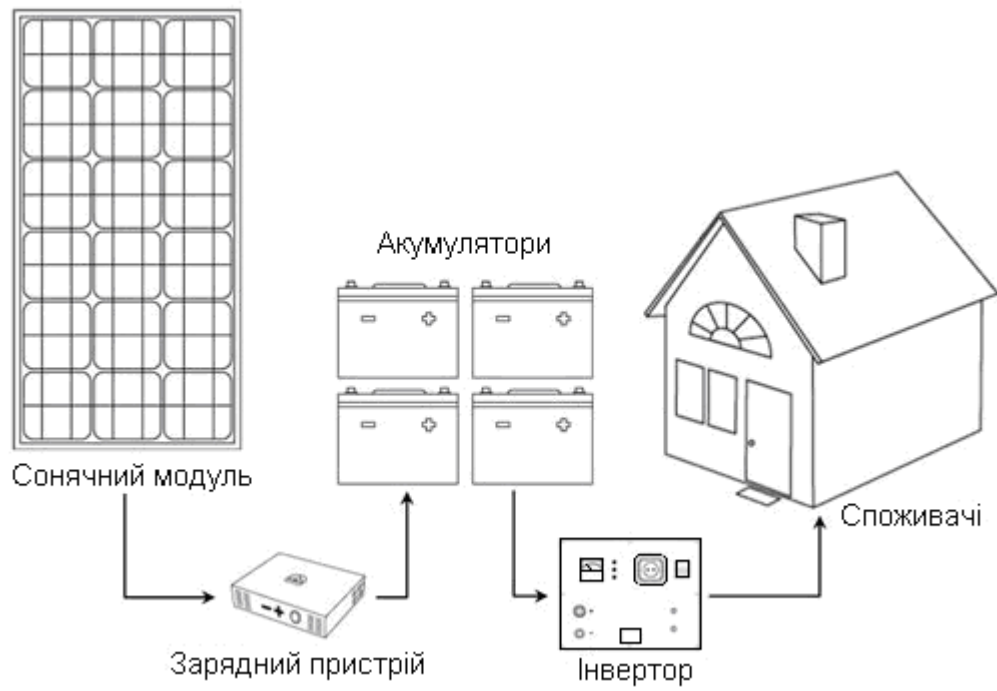


Рисунок 1.14 - Автономне забезпечення об'єкту (з акумуляторами), об'єкт живиться лише від сонячних батарей

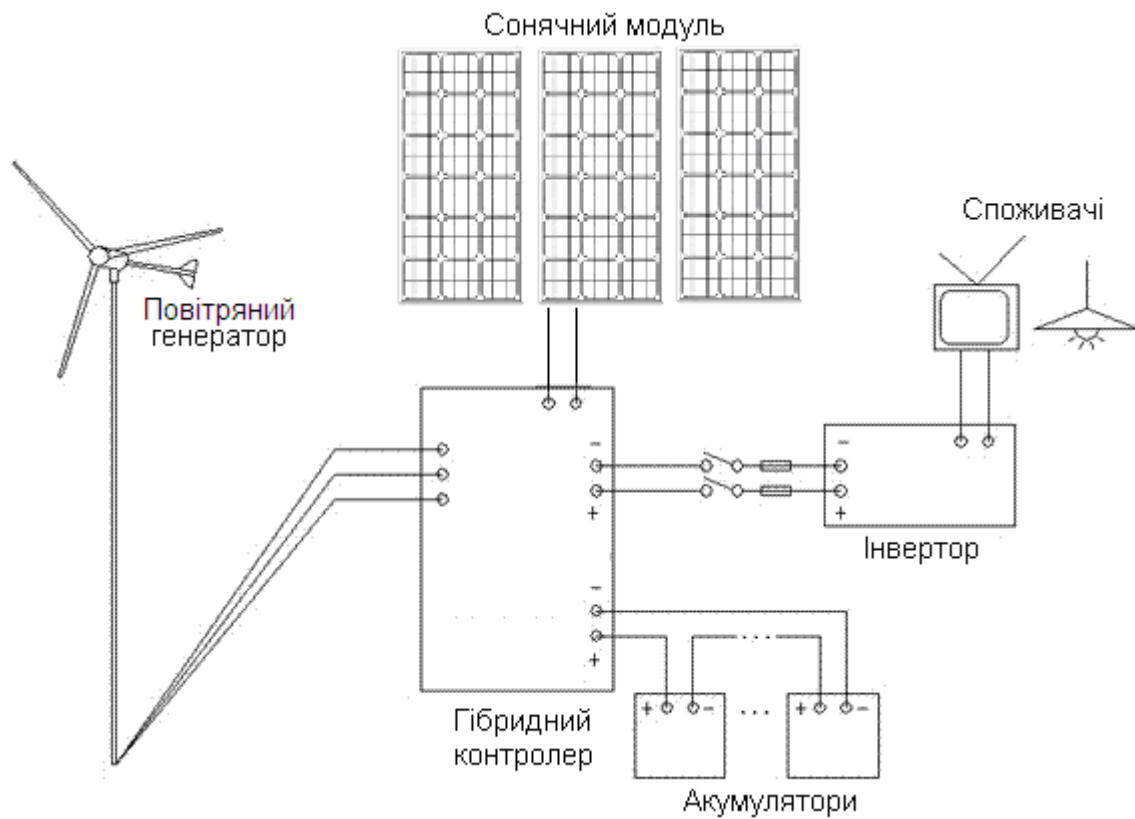


Рисунок 1.15 - Гібридна автономна система - сонце-вітер

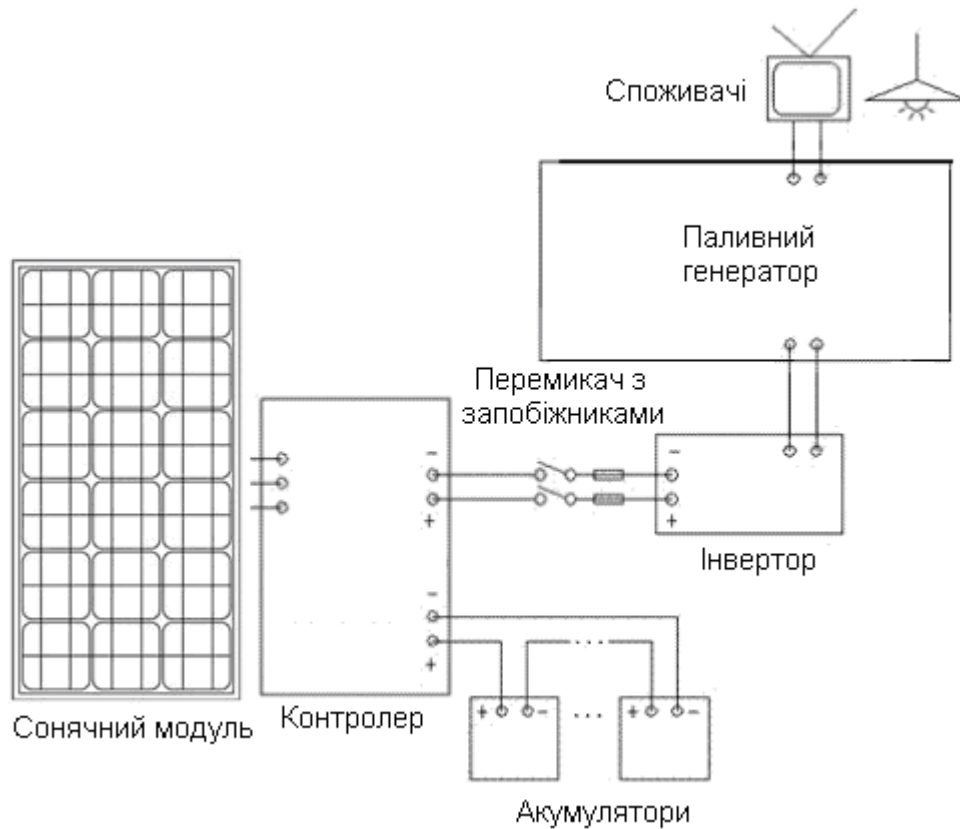


Рисунок 1.16 – Сонячна батарея (з акумуляторами) і резервний паливний генератор

На рисунку 2.16 в разі відсутності сонця і розряді акумуляторних батарей відбувається автоматичний запуск резервного генератора із заряджанням акумуляторної станції.

Пікова вихідна потужність сонячної електростанції (кВт), визначається лише потужністю інвертора і не залежить від кількості сонячних днів, ємкості акумуляторів. Ще її називають «піковим навантаженням». Цей параметр визначає максимальну кількість електроприладів, які можуть бути одночасно підключені до системи. Не можливо одночасно споживати більше електроенергії, чим дозволяє потужність інвертора. Якщо споживається електроенергія рідко, але у великих кількостях, то необхідно застосовувати потужніші інвертори. Для збільшення вихідної потужності можливе одночасне підключення декількох інверторів що мають функцію узгодження, інакше мережу вжитку необхідно ділити.

Швидкість заряду акумуляторної станції (кВт/час) залежить від потужності самої сонячної батареї. При цьому необхідно враховувати, що потужна сонячна батарея займатиме велику площу для своєї установки. Слід також пам'ятати, якщо повноцінне сонячне освітлення батареї буває обмежений час доби, то бажано використовувати сонячну батарею, що забезпечує прискорений зарядний струм, величина якого знаходиться в межах 0,15-0,3 від ємності акумуляторів. Також цей показник прямо залежить від орієнтації сонячних батарей по відношенню до сонця і побічно від температури самих батарей. Чим вище температура сонячних модулів, тим нижче їх продуктивність. Якщо ж сонячна батарея забезпечує струм, менший чим номінальний зарядний струм, менше 0,08 від ємності акумуляторів, то в даному випадку мова може йти не про зарядку, а лише про заряджання акумуляторів. Для забезпечення повного заряду акумуляторів сумарна кількість сонячних елементів в батареї повинна забезпечувати (при максимальному ККД) напругу на 50% більше чим робоча напруга акумуляторної станції.

Метою роботи являється розробка та розрахунок елементів інвертуючого стабілізатора напруги в складі автономної фотоелектричної системи.

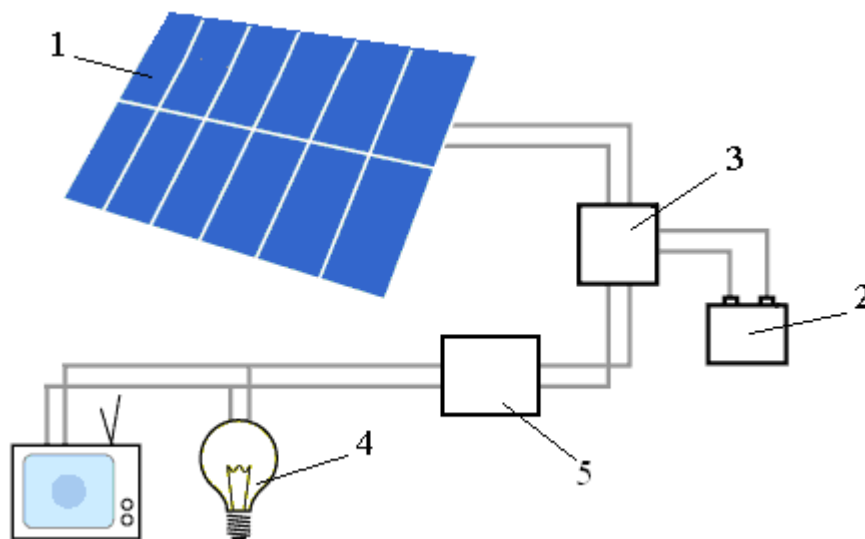
Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання.

1. Розробити схему блока керування потужністю, який забезпечить контроль за електропостачанням споживачів електроенергії.
2. Розробити схему інвертуючого стабілізатора постійної напруги 12 В в змінну напругу 220 В.
3. Провести аналіз функціонування розроблених схем фотоелектричної системи.

2 Розробка інвертуючого стабілізатора напруги для фотоелектричних систем

Особливе місце серед альтернативних і поновлюваних джерел енергії займають фотоелектричні перетворювачі сонячної енергії, вивчення яких перетворилося на окремий науковий напрям – фотовольтаїку. Проте висока вартість сонячних елементів до недавнього часу закривала їм дорогу в області, де без них можна обійтися. Але часи міняються і економічно передові держави в своїх національних програмах вже стимулюють масове вживання сонячних батарей. Виникає проблема аналізу можливостей сонячних елементів.

Автономні фотоелектричні системи (АФС) використовуються там, де немає мереж централізованого електропостачання (рис. 2.1).



- 1 – сонячні панелі;
- 2 – акумулятор;
- 3 - блока керування потужністю;
- 4 – електричне навантаження;
- 5 – інвертуючий стабілізатор напруги

Рисунок 2.1 – Автономна фотоелектрична система

Для забезпечення енергією в темну годину доби або в періоди без яскравого сонячного світла необхідна акумуляторна батарея. АФС часто використовуються для електропостачання окремих будинків. Малі системи дозволяють жити базове навантаження (освітлення і інколи телевізор або радіо). Потужніші системи можуть також жити водяний насос, радіостанцію, холодильник, електроінструмент і тому подібне Система складається з сонячної панелі, контролера, акумуляторної батареї, кабелів, електричного навантаження і інвертуючого стабілізатора напруги.

2.1 Розробка блоку керування потужністю

Блок керування потужністю (рис. 2.2) призначений для повного контролю ресурсу сонячних батарей. За допомогою цього блока можна здійснювати керування електропостачанням споживачів електроенергії. Кожний споживач має схемний захист від дестабілізуючих факторів.

Не дивлячись на нерівномірність добового потоку сонячного випромінювання і його відсутність в нічний час, акумуляторна батарея накопичує електрику яка виробляється сонячною батареєю та дозволяє забезпечити безперервну роботу сонячної енергетичної установки.

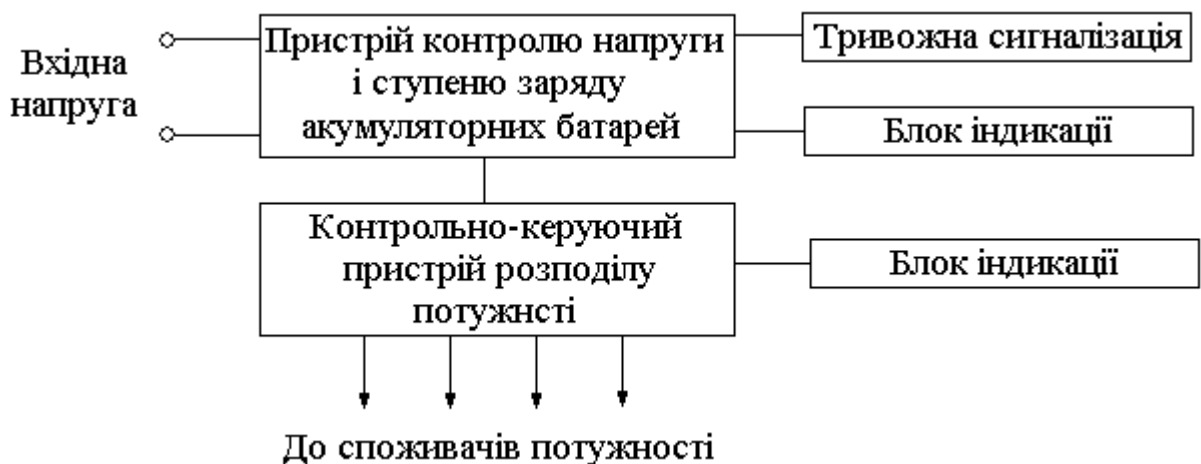


Рисунок 2.2 – Функціональна схема блока керування потужністю

Оскільки працездатність АФС 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 2.3, це відношення майже завжди лінійно.

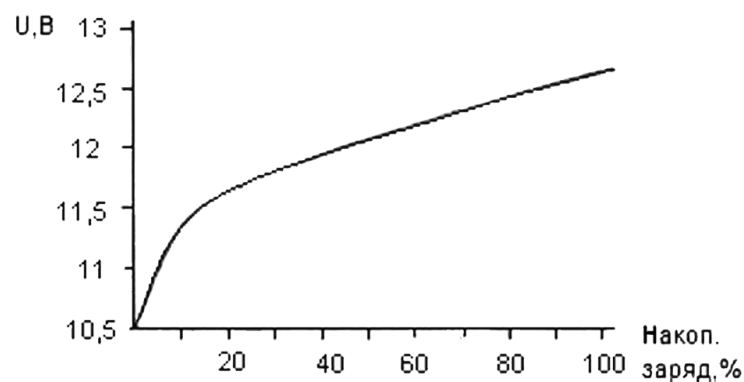


Рисунок 2.3 - Залежність між напругою і ступенем заряду батареї

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.

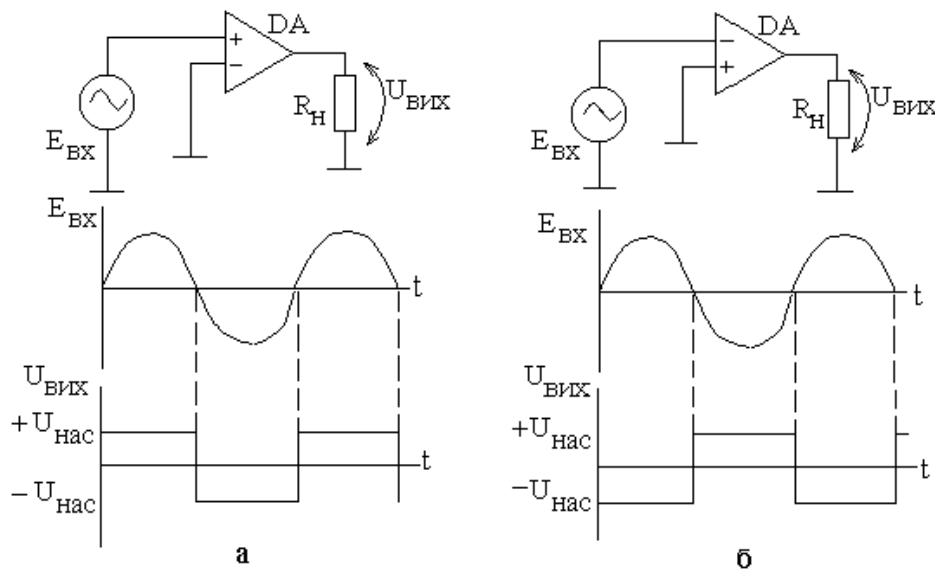
В пристрої контролю напруги і ступеню заряду акумуляторних батарей, для індикації напруги використовуємо світлову смужку, яка сформована десятьма світлодіодами виведеними на панель корпусу блоку керування. Шкала зчитування побудована таким чином, що кожний наступний світлоді-

од 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.

2.1.1 Схема індикації пристрою контролю напруги

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

Схеми простих компараторів (пристроїв, що порівнюють два вхідних сигнали) з використанням ОП і тимчасових діаграм, що пояснюють їх роботу, представлені на рисунку 2.4.



а – подача опорної напруги на інвертуючий вхід;

б – подача опорної напруги на неінвертуючий вхід

Рисунок 2.4 - Прості компаратори і часові діаграми їх роботи

На схемі (рис. 2.4,а) на вхід (-) подана опорна напруга землі (0 В). До входу (+) прикладена напруга, яка порівнюється з опорною. Як впливає з

$$U_{\text{вих}} = K \cdot E_{\text{д}},$$

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

$$E_{\text{д}} = E_{\text{вх}} - 0.$$

При позитивній півхвилі вхідної напруги $U_{\text{вих}} = +U_{\text{нас}}$, при негативній $U_{\text{вих}} = -U_{\text{нас}}$. При заземленні (+) входу (рис. 2.4,б) спостерігається протилежна картина:

$$E_{\text{д}} = 0 - E_{\text{вх}}.$$

Обидві схеми (рис. 2.4) дозволяють отримати наступну інформацію про вхідний сигнал: полярність $E_{\text{вх}}$, момент рівності $E_{\text{вх}}$ нулю і напрям зміни $E_{\text{вх}}$ при $E_{\text{вх}} = 0$. Дані компаратори називають також детекторами нульового рівня.

Як опорну напругу можна використовувати спеціальне джерело (рис. 2.5). Вхідна напруга порівнюється з $U_{\text{оп}} > 0$. Для здобуття опорної напруги можуть використовуватися резистивні дільники і параметричні стабілізатори.

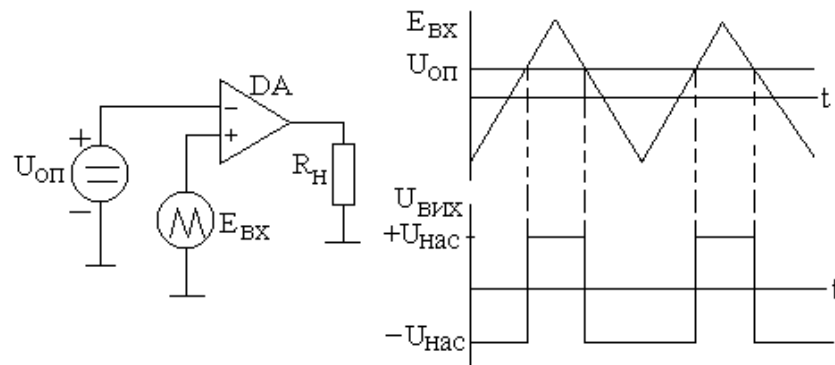
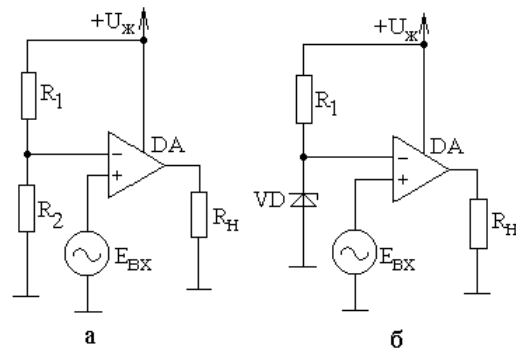


Рисунок 2.5 - Детектор ненульового рівня і часова діаграма його роботи

Для схеми (рис. 2.6,а):

$$U_{\text{оп}} = \frac{+U_{\text{п}} \cdot R_2}{(R_1 + R_2)}.$$

Змінюючи опір одного з резисторів можна регулювати $U_{\text{оп}}$. Використання стабілітрона VD в схемі, (рис. 2.6,б), дозволяє набути стабільнішого значення $U_{\text{оп}}$ в разі зміни напруги джерела живлення.



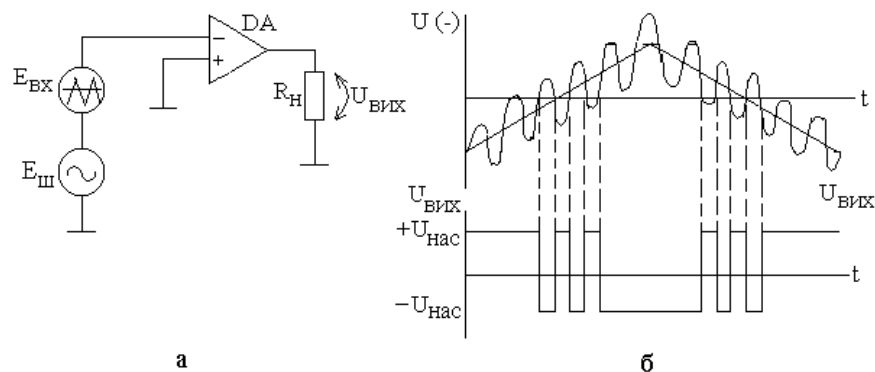
а – схема з дільником напруги;

б – схема із стабілітроном

Рисунок 2.6 - 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), що підвищує надійність спрацьовування. Компаратори (рис. 2.4, 2.5, 2.6) дуже чутливі до зміни вхідного сигналу поблизу опорного рівня. При цьому виникають помилкові спрацьовування, (рис. 2.7). Ситуація погіршується, якщо $E_{\text{вх}}$ міняється дуже повільно і в сполучних дротах наводяться паразитні ЕРС.



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

б – часова діаграма, що пояснює виникнення помилкових спрацьовувань

Рисунок 2.7 - Поява помилкових спрацьовувань компаратора із-за наведення паразитною ЕРС ($E_{\text{ш}}$) в сполучних дротах

Моделювання схему пристрою керування індикаторами виконано в програмному забезпеченні Electronics Workbench (рис. 2.8).

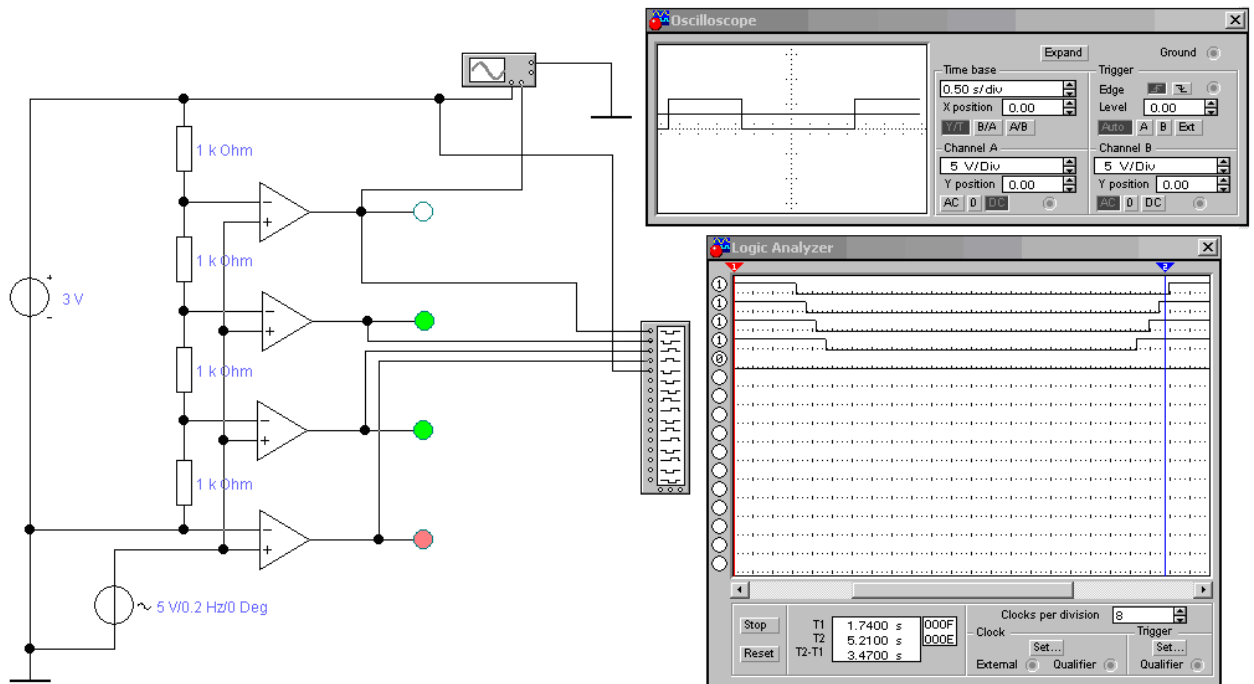


Рисунок 2.8 – Аналіз функціонування схеми керування індикаторами напруги

Аналіз функціонування схеми показує правильність перемикання світлодіодів, згідно зі зміною вхідної напруги відносно опорної. В момент часу зафіксований на рисунку 2.8 амплітуда вхідного сигналу недостатня аби спалахнув верхній світлодіод, що відповідає вимогам контролю напруги розробляемого пристрою.

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

Мікросхеми LM3914 фірми National Semiconductors дозволяють будувати світлодіодні індикатори з різними характеристиками – лінійною, розтягнутою лінійною, логарифмічною, спеціальною для контролю аудіо сигналу.

Структура базової мікросхеми LM3914 представлена на рисунку 2.9.

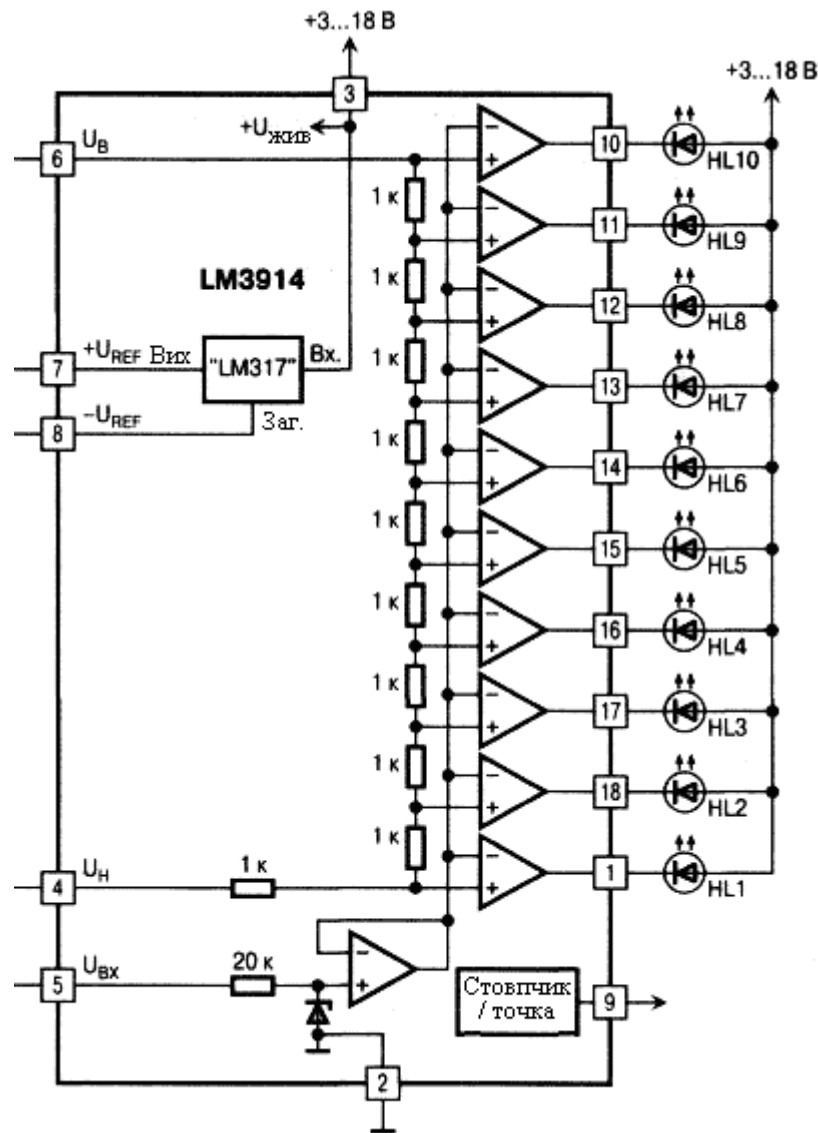


Рисунок 2.9 - Структура базової мікросхеми LM3914

Її основу складають десять компараторів, на інверсні входи яких через буферний ОП подається вхідний сигнал, а прямі входи підключені до відведень резистивного дільника напруги. Виходи компараторів є генераторами впадаючого струму, що дозволяє підключати світлодіоди без обмежувальних резисторів. Індикація може вироблятися або одним світлодіодом (режим “точка”), або лінійкою зі світлодіодів, що 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, що підключається до виводу 3. “Ціна ділення” індикатора, тобто збільшення вхідної напруги, що викликає включення чергового світлодіода, складає 0,1 від різниці $U_B - U_H$. Вхі-

дний сигнал $U_{\text{ВХ}}$ подають на вивід 5, а напруга, що визначає діапазон рівнів, що відображаються, — на виводи 4 (нижній рівень $U_{\text{Н}}$) і 6 (верхній рівень $U_{\text{В}}$).

Індикатор на мікросхемі LM3914 працює таким чином. Поки напруга на вході $U_{\text{ВХ}}$ менша, ніж на вході $U_{\text{Н}}$ плюс “ціна ділення”, жоден світлодіод не світиться. Як тільки ця напруга порівнюється, 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 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.

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

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

Опір резистора R3 визначає струм через світлодіоди.

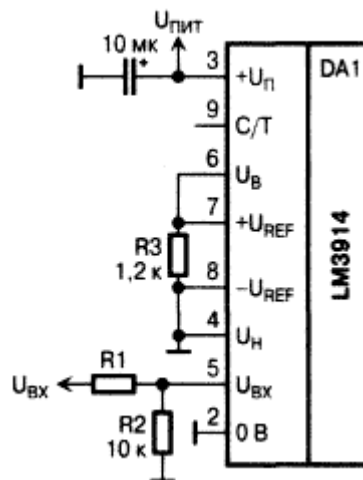


Рисунок 2.10 - Схема подачі вхідного сигналу на мікросхему LM3914

2.1.2 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». Світлодіоди із збільшенням напруги заряду загоряються і гаснуть послідовно. Таким чином можливо зафіксувати критичні мінімальну і максимальну напруги (рис. 2.11).

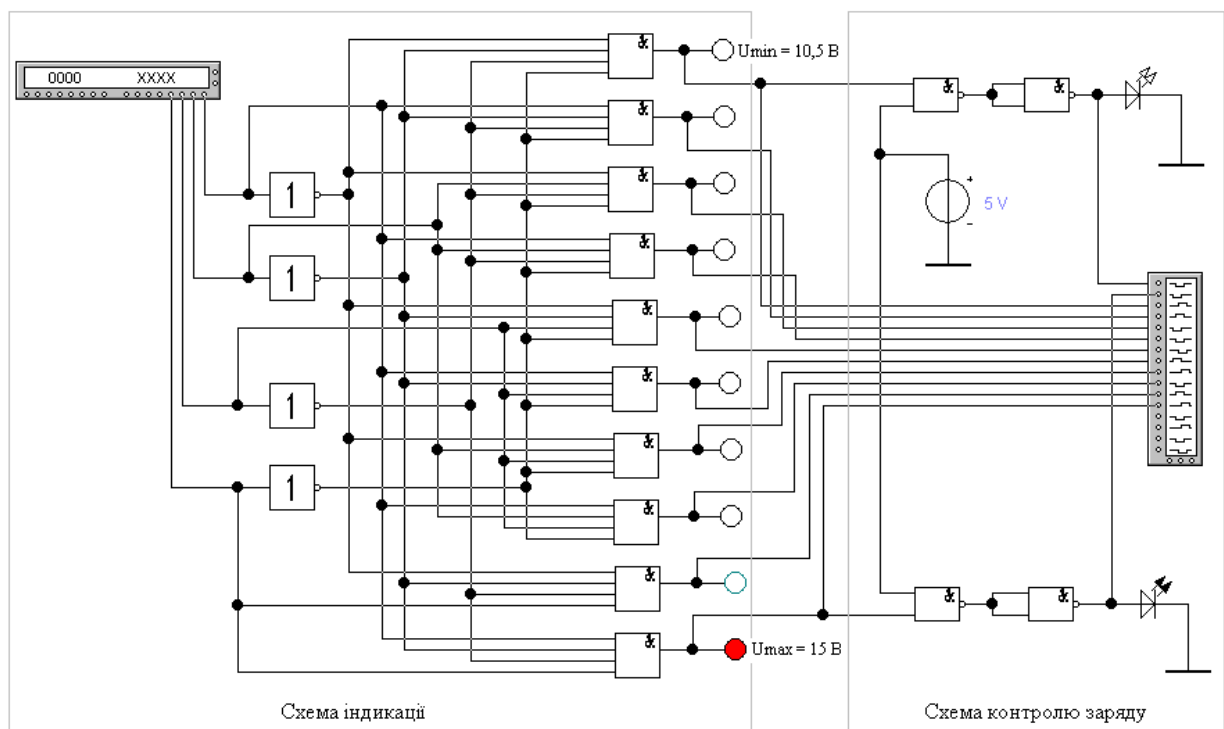


Рисунок 2.11 – Аналіз функціонування пристрою контролю заряду акумуляторної батареї

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).

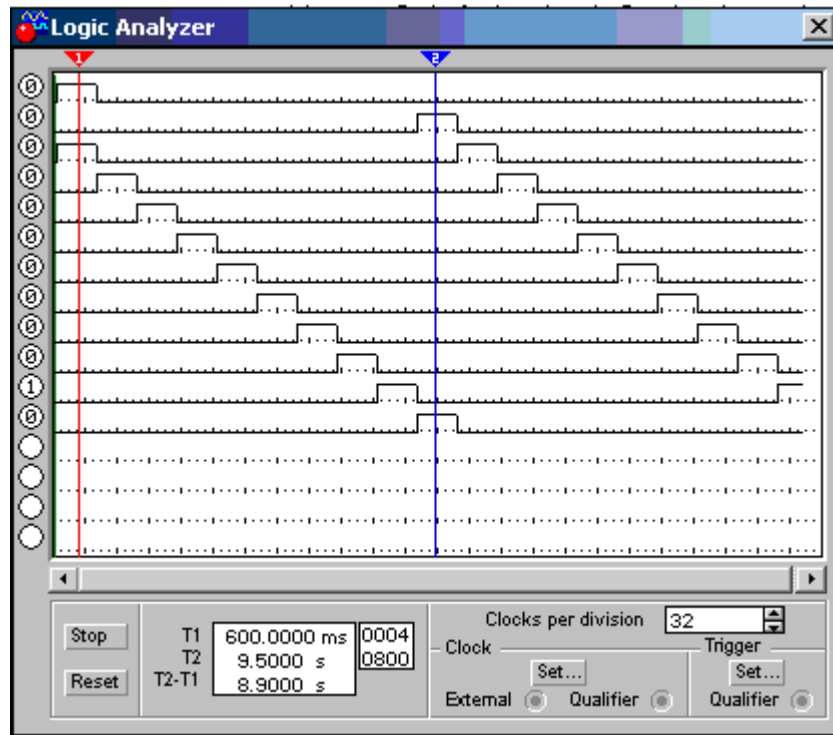


Рисунок 2.12 – Діаграма функціонування схеми контролю заряду акумуляторної батареї

2.1.3 Схема пристрою контролю ступеню заряду акумуляторних батарей

Для реалізації схеми контролю ступеню заряду акумуляторної батареї оберемо мікросхему K561ЛА7. Логічна модель мікросхеми зображена на рисунку 2.13 [5] і містить чотири двох входних елемента І-НІ. Алгоритм функціонування одного елемента представлений в таблиці 2.1. Використовуючи два елемента для кожного каскаду контролю реалізуємо задані функції і забезпечимо контроль мінімальної і максимальної напруги заряду.



Рисунок 2.13 - Логічна модель мікросхеми К561ЛА7

Таблиця 2.1 - Алгоритм функціонування елемента 2І-НІ

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

Рівняння функціонування елемента 2І-НІ:

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

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.

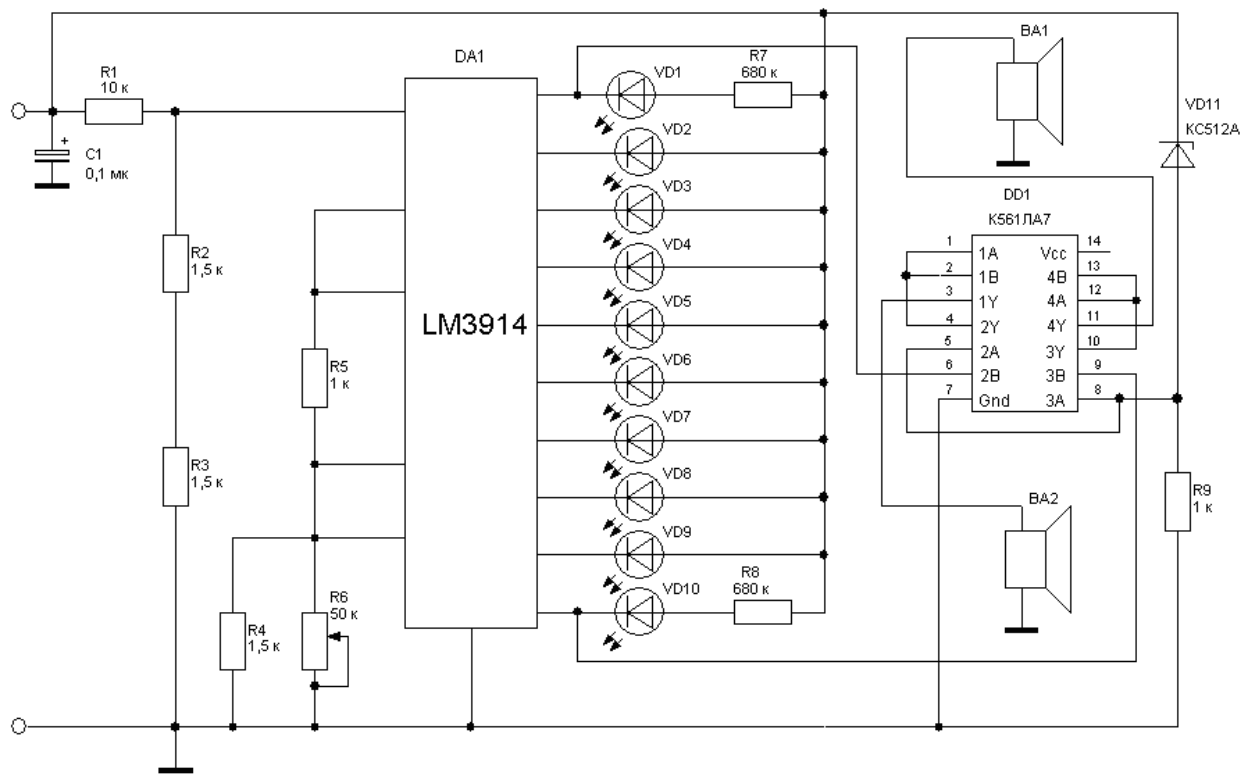


Рисунок 2.14 - Схема електрична принципова пристрою контролю напруги і ступеню заряду акумуляторних батарей

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

2.2 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.

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

Моносхемний застосовують для нескладної радіоелектронної 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 кола (каскади УВЧ, УПЧ, блоки розгортки і т. п.), розташовується на окремій платі. Ремонтпридатність 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.

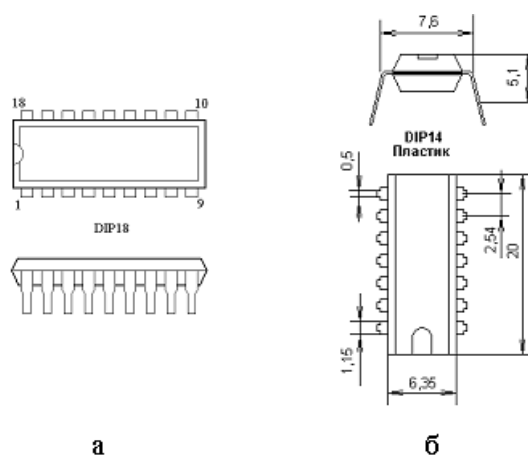
Розрізняють три методи виконання печатних плат: ручний, напівавтоматизований і автоматизований. Переважними є напівавтоматизований і автоматизований методи. При ручному методі розміщення навісних елементів (компоновка) і розробка провідного рисунка (трасування) здійснюється уручну. При напівавтоматизованому 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; кон-

троль 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 розводка 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 багат шарових печатних плат (БПП) заготовки 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 використаної елементної бази. Найбільш габаритними являються корпуси мікросхем (рис. 2.15).



а – мікросхема LM3914;

б – мікросхема K561ЛА7

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.

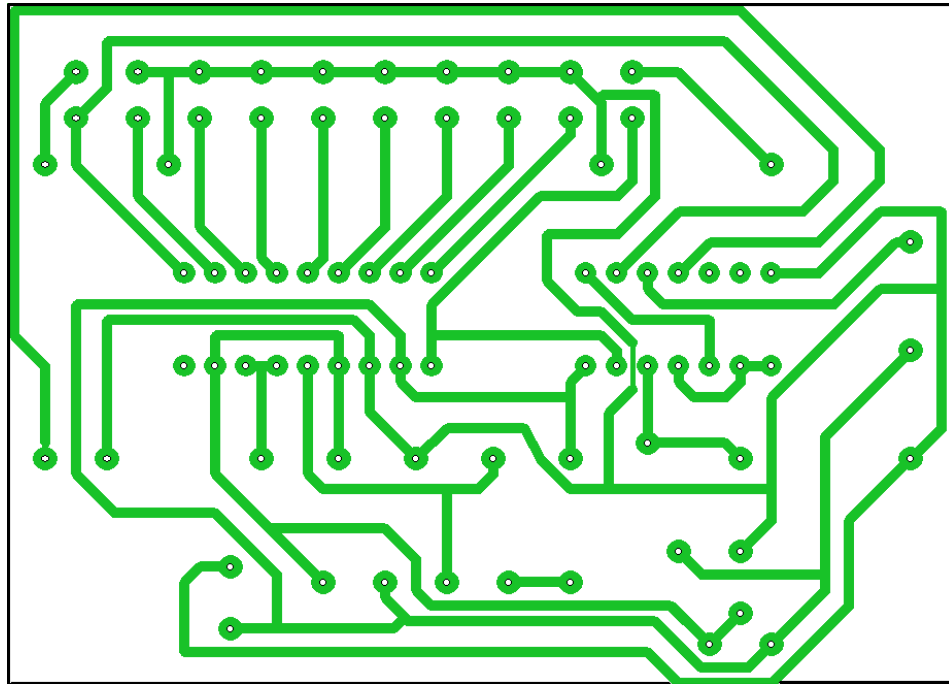


Рисунок 2.16 - Розводка струмопровідних доріжок печатної плати

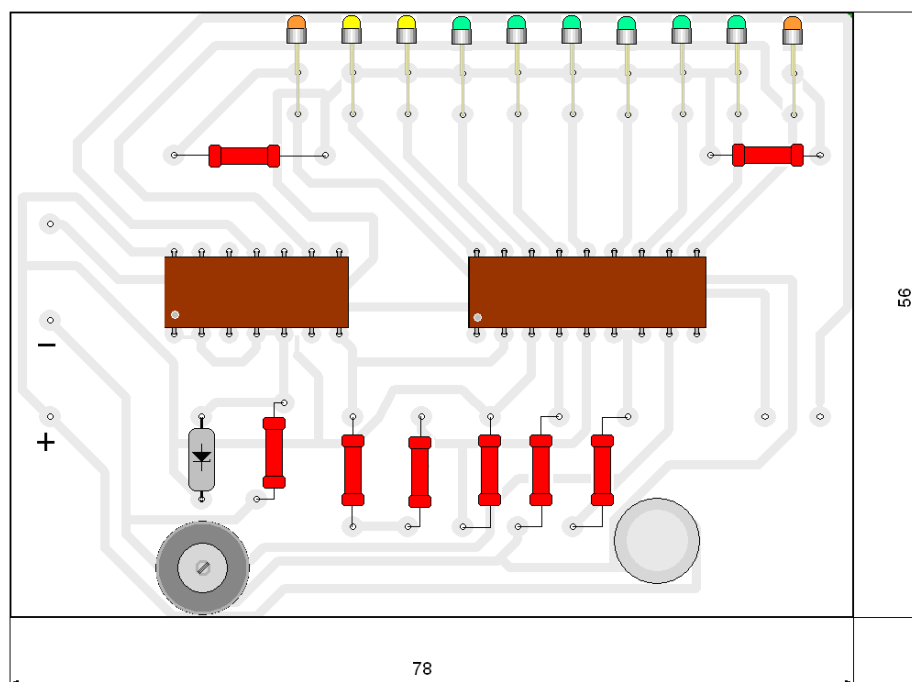


Рисунок 2.17 - Монтаж елементної бази на печатній платі

2.3 Моделювання схеми інвертуючого стабілізатора напруги підключених споживачів

Основне завдання блоку управління потужністю полягає в розподілі фотоелектричної енергії між різними частинами автономної фотоелектричної системи. Він також призначений для акумулювання енергії.

Схема АФС доповнюється інвертуючим стабілізатором, який перетворює постійну напругу 12 В, яка генерується сонячними батареями, в змінну напругу 220 В (рис. 2.18). Така напруга необхідна для живлення більшості споживачів.

Інвертори можуть бути поділені на два типи відповідно до типу фотоелектричних систем:

- інвертори для автономних систем сонячних батарей;
- інвертори для мережевого використання.

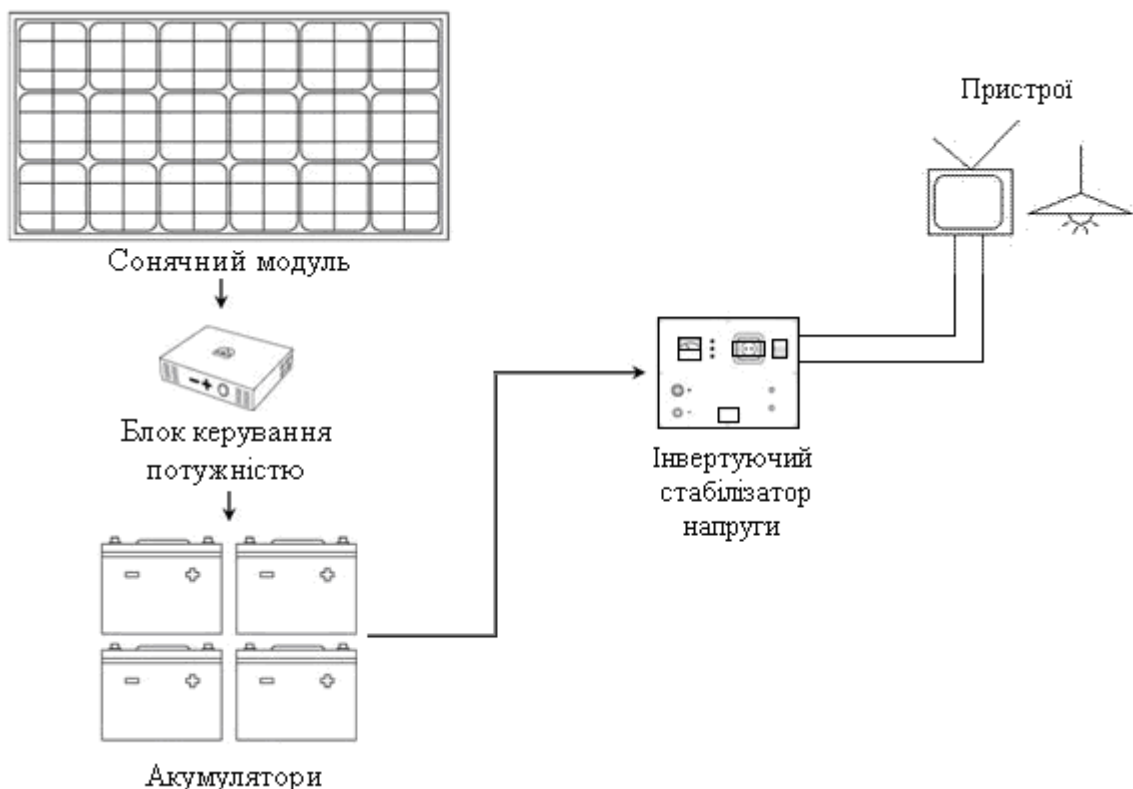


Рисунок 2.18 – Схема АФС з інвертуючим стабілізатором напруги

Вихідний каскад в обох типів багато в чому схожий, а основна відмінність в схемі управління. Перший тип має генератор частоти, а другою пови-

нен працювати синхронно з промисловою мережею (і як генератор частоти використовує саму мережу).

Для всіх типів ключовий параметр - ККД (який має бути більш 90%). Вихідна напруга автономних інверторів як правило складає 220 В (50/60 Гц), а в інверторах потужністю 10-100 кВт можна отримувати трифазну напругу 380 В. Все автономні інвертори трансформують постійний струм акумуляторних батарей. Внаслідок цього вхідна напруга вибирається з ряду 12, 24, 48 і 120 В. Чим більше вхідна напруга, тим простіше інвертор і тим вище за його ККД. При великій напрузі істотно менше втрати на передачу енергії від сонячного генератора до акумуляторної батареї, регулювальника зарядки і інвертора, проте при цьому ускладнюється конструкція сонячної електростанції і її експлуатація при небезпечній напрузі (вище 40 В). До форми вихідного сигналу автономних інверторів пред'являються менш жорсткі вимоги. У ряді випадків (якщо дозволяє навантаження) можливе використання інверторів з трапецієвидним вихідним сигналом. Такі інвертори стоять в 2-3 рази дешевше за інвертори з синусоїдальним вихідним сигналом. Важливий параметр автономних інверторів - залежність ККД від потужності підключеного навантаження. ККД не повинен значно знижуватися при підключенні навантаження вдесятеро меншою (по споживаній потужності), ніж номінальна потужність інвертора. В той же час інвертор повинен витримувати перевантаження у вихідних колоах (при підключенні електродвигунів і інших динамічних навантажень). Таким чином, до автономного інвертора пред'являються наступні вимоги:

- здатність переносити без наслідків перевантаження (як короткочасні, так і тривалі);
- маленькі втрати при малих навантаженнях і на неодруженому ході;
- стабілізація вихідної напруги;
- низький коефіцієнт гармонік;
- високий ККД;
- відсутність перешкод на радіочастотах.

Іноземні фірми пропонують широкий асортимент інверторів, спеціально розроблених для сонячних батарей. Такі інвертори вже мають блок регулювальника відбору максимальної потужності, блок регулювальника заряду, а також додатковий вхід підключення дизель - генератора (для екстреного заряджання акумуляторної батареї).

До вихідного сигналу мережевих інверторів пред'являються найбільш жорсткі вимоги. Для пониження втрат на перетворення такі інвертори працюють при високій вхідній напрузі. Оскільки їх вхідні кола живляться безпосередньо від сонячної батареї, інвертори мають регулювальника відбору максимальної потужності (вбудований в інвертор). Мережеві інвертори мають також блок контролю потужності сонячної батареї (і включаються автоматично, як тільки потужність сонячної батареї стає достатньою для формування змінного сигналу).

2.3.1 Моделювання генератора частоти

Генератор напруги прямокутної форми з високою стабільністю частоти будується за схемою представленою на рисунку 2.19 [5].

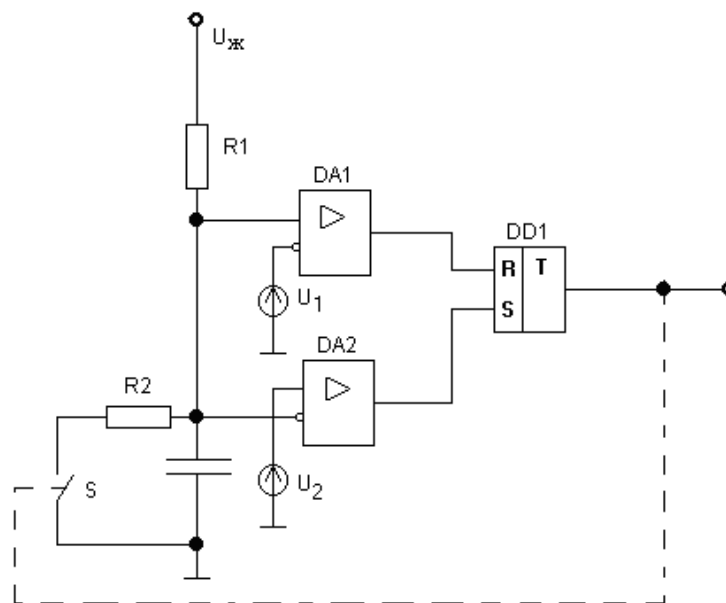


Рисунок 2.19 – Схема генератора імпульсів частотою 500 Гц

До складу її входять два диференціальних підсилювача DA1, DA2, RS-тригер DD1 і керований їм електронний ключ S. Диференціальні підсилювачі DA1, DA2 мають великий коефіцієнт посилення по напрузі і виконують роль компараторів напруги. Компараторами називають пристрої, що використовуються для порівняння двох або декількох сигналів. Так, якщо, наприклад на неінвертуючому вході підсилювача напруга менша, ніж U_2 , то на його виході буде низький рівень вихідного сигналу, відповідний коду 0 для тригера DD1. При підвищенні вхідної напруги і досягнення ним рівня, більшого U_2 , на виході DA1 буде високий потенціал, відповідний коду 1. Зважаючи на великий коефіцієнт посилення по напрузі в підсилювача зазвичай можна вважати, що зміна вихідного сигналу компараторів відбувається у момент рівності напруги на їх диференціальних входах [6].

У початковому стані конденсатор С розряджений ($U_c = 0$). Тоді на виході компаратора DA1 буде логічний 0, а на виході компаратора DA2 - логічна 1. Тригер DD1 знаходиться в стані 1 і ключ S розімкнений.

Конденсатор С заряджається від джерела напруги живлення $U_{ж}$ через резистор R1. Напруга на ньому наростає по експоненціальному закону:

$$U_c(t) = U_n \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right). \quad (2.1)$$

У момент часу t_1 напруга U_c стане рівною напрузі U_1 , $U_c(t) = U_1$. На виході компаратора DA2 з'явиться напруга логічного 0, яка не може змінити стан тригера DD1. Конденсатор С продовжує заряджатися. У момент часу t_2 напруга U_c стане рівною U_2 . При цьому на виході компаратора DA1 з'явиться логічна 1. При подачі логічної одиниці на вхід R тригер DD1 встановиться в нульовий стан і ключ S замкнеться. Паралельно конденсатору С підключиться резистор R2. Тим самим створюється коло розрядки конденсатора. Розрядка здійснюється різницею струмів резисторів R1 і R2. Проте якщо виконуються умови $R1 \gg R2$ і U_2 близько до $U_{ж}$, то струмом резистора R1 можна нехтувати зважаючи на його крихітним. В цьому випадку зміни напруги U_c можна охарактеризувати рівнянням

$$U_c(t) = U_2 e^{-\frac{t}{R_2 C}}. \quad (2.2)$$

Як тільки напруга U_c досягне напруги U_1 , спрацює компаратор DA2 і переведе тригер DD1 в стан 1. Ключ S розімкнеться і процес зарядки і розрядки конденсатора повториться. Проміжки часу, в перебігу яких відбувається зарядка і розрядка конденсатора С, а вихідний сигнал тригера залишається незмінним, часто називають стадіями квазірівноваги (майже рівноваги). Тривалість їх знайдемо з рівнянь (2.1), (2.2). Підставивши в (2.1) замість $U_c(t)$ значення U_1 і U_2 знайдемо проміжки часу t_1 і t_2 :

$$U_1 = U_n \left(1 - e^{-\frac{t_1}{R_1 C}} \right), \quad (2.3)$$

$$U_2 = U_n \left(1 - e^{-\frac{t_2}{R_1 C}} \right). \quad (2.4)$$

Перетворимо (2.3), (2.4) і прологарифмуємо:

$$e^{-\frac{t_1}{R_1 C}} = (U_n - U_1) / U_n; \quad e^{-\frac{t_2}{R_1 C}} = (U_n - U_2) / U_n; \quad (2.5)$$

$$t_1 = -R_1 C \ln(U_n - U_1) / U_n;$$

$$t_2 = -R_1 C \ln(U_n - U_2) / U_n. \quad (2.6)$$

Оскільки тривалість стадії квазірівноваги, визначувана зарядкою конденсатора С,

$$T_1 = t_2 - t_1, \quad (2.7)$$

то підставивши (2.5), (2.6) в (2.7) отримаємо

$$T_1 = -R_1 C \ln \frac{U_n - U_2}{U_n - U_1} = R_1 C \ln \frac{U_n - U_1}{U_n - U_2}. \quad (2.8)$$

Тривалість проміжку часу $t_2 - t_3$ знайдемо з (2.2) підставивши замість $U_c(t)$ напругу U_1 :

$$U_1 = U_2 e^{-\frac{t_3 - t_2}{R_2 C}} \quad (2.9)$$

Перетворивши (2.9) алогічно розглянутому, отримаємо

$$T_2 = R_2 C \ln \frac{U_2}{U_1}.$$

Період коливань

$$T_2 = T_1 + T_2,$$

а частота

$$f = 1/T$$

Тривалість фронтів прямокутної напруги визначається параметрами тригера DD1 і зазвичай оцінюється подвоєним часом затримки поширення в логічних елементах, на основі яких виконаний RS-тригер [7].

Розглянутий принцип здобуття прямокутної напруги використовується в мікросхемі інтегрального таймера КР1006ВИ1. У ньому ключ S виконаний на транзисторі VT1, на виході встановлений додатковий буферний елемент DD2, а роль джерел опорної напруги U_1 , U_2 виконує дільник напруги на резисторах R1, R2, R3.

Генератор побудований на основі інтегрального таймера КР1006ВИ1, структурна схема якого представлена на рисунку 2.20 а. Схема включення його як мультивібратор показана на рисунку 2.20 б [6].

При такому включенні конденсатор С заряджається через резистори R1, R2 до напруги:

$$U_2 = \frac{2}{3}U_{ж},$$

а розряджається через резистор R1 до напруги:

$$U_1 = \frac{1}{3}U_n$$

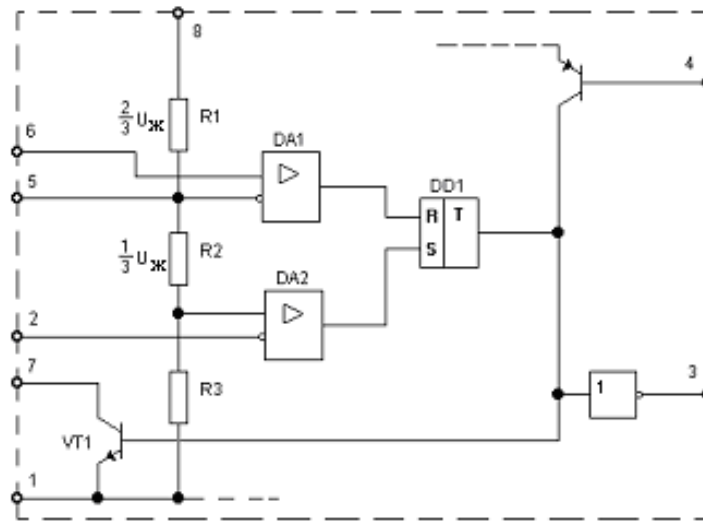
Тривалість стадії зарядки T_1 і розрядки конденсатора С можна оцінити за допомогою рівнянь

$$T_1 \approx 0.693(R_1 + R_2)C ;$$

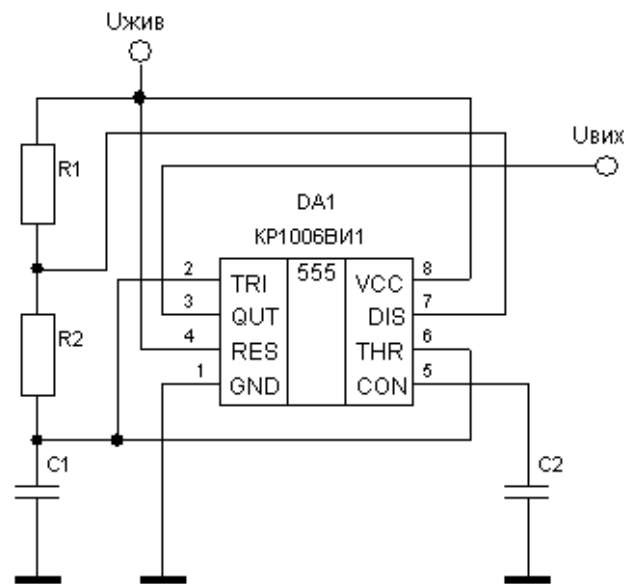
$$T_2 \approx 0.693 R_2 C .$$

Частота імпульсів, що генеруються

$$f = \frac{1}{T_1 + T_2} \approx \frac{1.443}{(2R_2 + R_1)C} .$$



а



б

Рисунок 2.20 - Структурна схема таймера КР1006ВІ1 (а), генератор виконаний на інтегральному таймері КР1006ВІ1 (б)

У зв'язку із складністю підключення до мікросхеми двохполярного джерела живлення схема живиться від суми двох однополярних джерел живлення. Розраховані значення елементів схеми для частоти генерації 500Гц:
 $R1 = 9,1\text{к}$, $R2 = 1\text{к}$, $C1 = 0,01\text{мк}$, $C2 = 1\text{мк}$.

Для правильного функціонування споживачів необхідна частота вихідного синусоїдального сигналу 50Гц. Таку частоту можна отримати шляхом ділення частоти генератора двотактним перетворювачем.

2.3.2 Розробка стабілізованого джерела живлення

Для живлення схеми генератора необхідно мати дві двохполярні напруги +12 і -12 В від одного джерела – акумулятора. При цьому основний вжиток струму схемою здійснюється, як правило, по колу з позитивною напругою, а коло "—" є допоміжним.

Промисловість випускає спеціалізовану мікросхему перетворювача для здобуття негативної напруги: КР1168ЕП1 (вхідна напруга 3...10 В, а вихідна негативна такої ж величини, що і на вході). Але вона не є доки широкодоступною, а також перебиває вузький діапазон напруги.

На рисунку 2.21 приведена схема простого перетворювача, який дозволяє отримувати від джерела +12 В додаткову стабілізовану напругу -12 В при використанні стабілізатора КР142ЕН8А. Струм навантаження по колу -12В може бути до 15 мА. Перетворювач працює на частоті 50 кГц і зберігає свою працездатність при зниженні напруги живлення до 7 В.

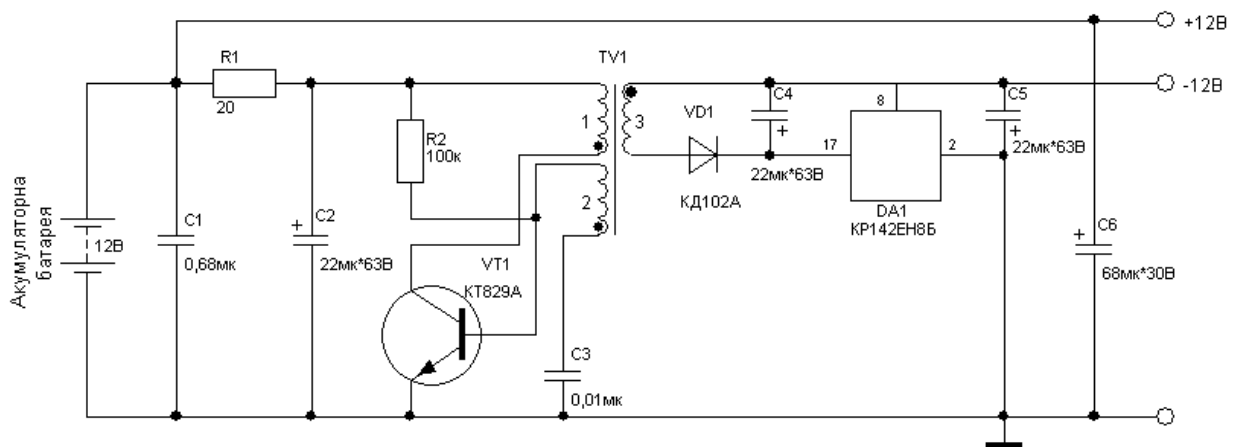


Рисунок 2.21 – Стабілізоване джерело живлення інвертора напруги

Схема складається з автогенератора на транзисторі VT1, трансформатора TV1 що підвищує напругу і інтегрального стабілізатора DA1.

Конденсатори C2, C4, C5 застосовані типа К50-29-63В, C1 і C3 – будь-які малогабаритні, C6 – К53-1А-20В.

Всі елементи схеми розміщені на печатній платі з розмірами 65×50 мм (рис. 2.22). Для зменшення висоти плати монтаж виконаний в двох рівнях — конденсатори C4 і C5 розташовані над елементами VT1 і DA1.

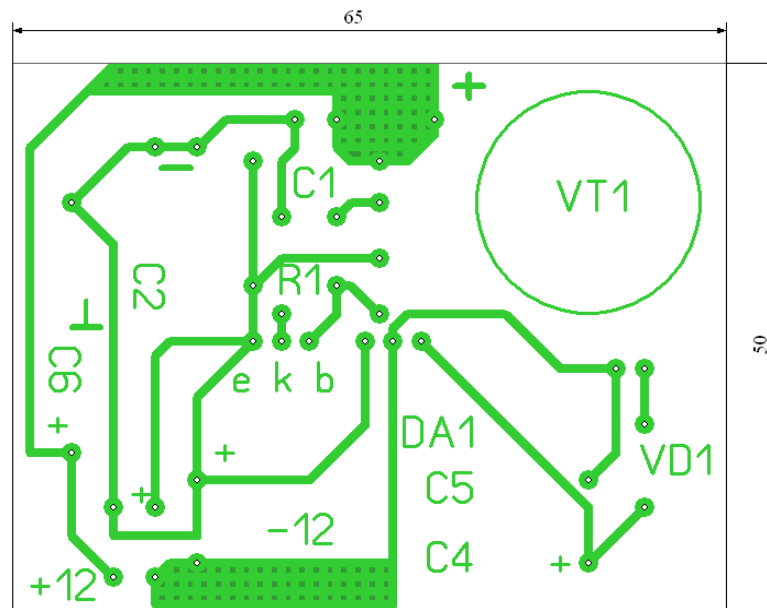


Рисунок 2.22 – Печатна плата стабілізованого джерела живлення

Схема дозволяє отримувати і вищу вихідну напругу, ніж на вході, якщо використовувати негативний викид напруги.

2.3.3 Розробка двохтактного перетворювача частоти

Двохтактний перетворювач частоти можливо отримати із застосуванням лічильника Джонсона.

На базі регістрів зрушення можна побудувати кільцеві лічильники - лічильники Джонсона. Лічильник Джонсона має коефіцієнт перерахунку, удвічі більший числа складаючих його тригерів. Зокрема, якщо лічильник складається з п'яти тригерів ($m=5$), то він матиме десять стійких станів. Лічильник Джонсона використовується в системах автоматики як розподільники імпульсів і так далі. Діаграма функціонування представлена на рисунку 2.23.

Таблиця станів лічильника Джонсона (табл. 2.3) містить $2m$ (m - кількість тригерів у складі регістра) рядків і m -стовбців. Кількість розрядів лічильника визначається кількістю тригерів. Розглянемо схему п'ятирозрядного лічильника Джонсона (рис. 2.24), виконаного на базі D-тригерів (регістр зрушення реалізований на D-тригерах).

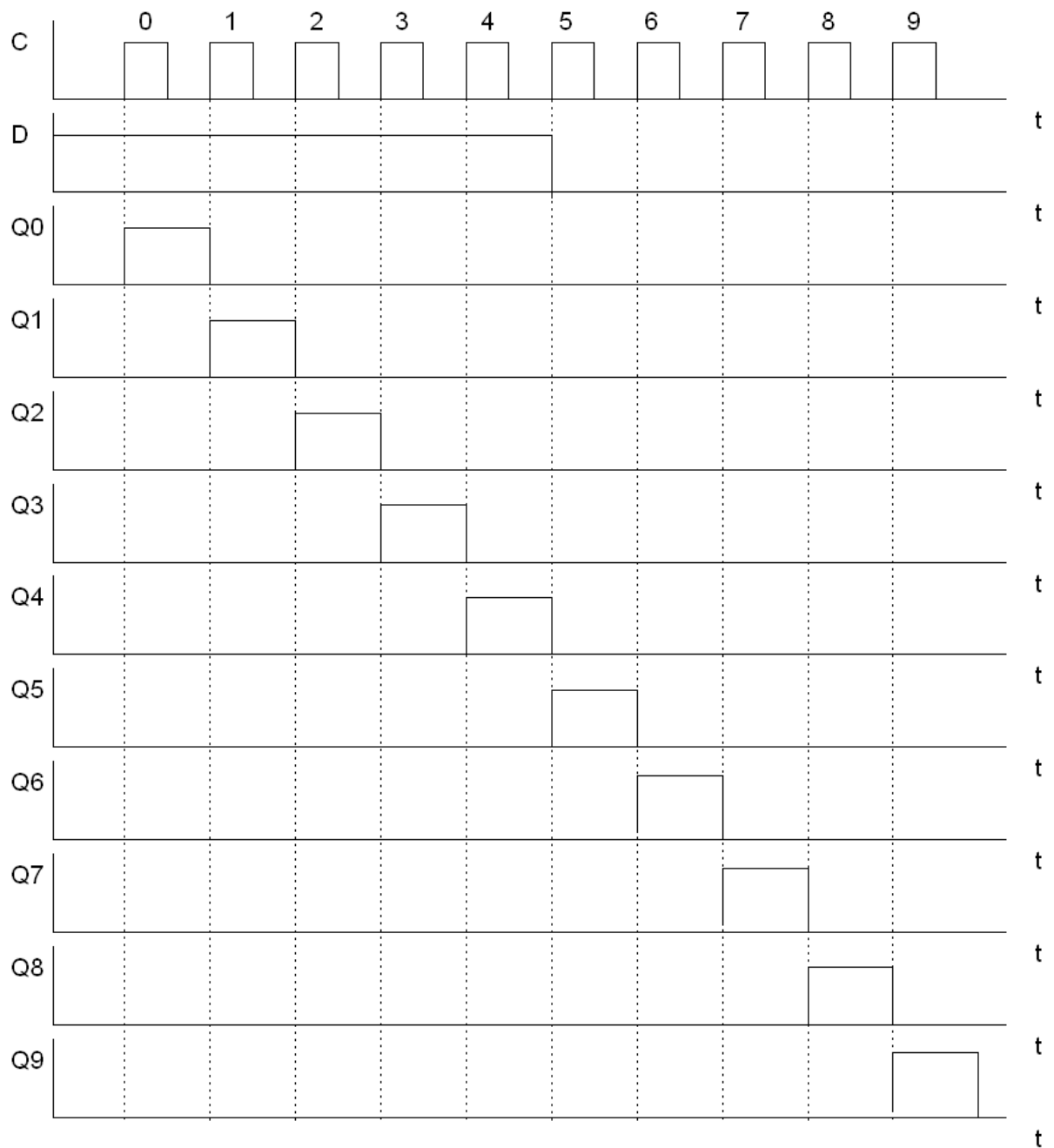


Рисунок 2.23 – Діаграма функціонування лічильника Джонсона

Для побудови кільцевого лічильника досить з'єднати інверсний вихід останнього тригера регістра (останнього розряду) з входом "D" (з входом, призначеним для введення послідовної інформації) першого тригера.

Передбачимо, що спочатку всі тригери знаходяться в стані 0, тобто $Q_0=Q_1=Q_2=Q_4=Q_5=0$. При цьому на вході D першого тригера присутній рівень 1, оскільки інверсний вихід останнього тригера дорівнює 1.

Таблиця 2.3 – Таблиця станів п'ятирозрядного лічильника Джонсона

N	D	Q4	Q3	Q2	Q1	Q0
1	1	0	0	0	0	1
2	1	0	0	0	1	1
3	1	0	0	1	1	1
4	1	0	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1
6	0	1	1	1	1	0
7	0	1	1	1	0	0
8	0	1	1	0	0	0
9	0	1	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0

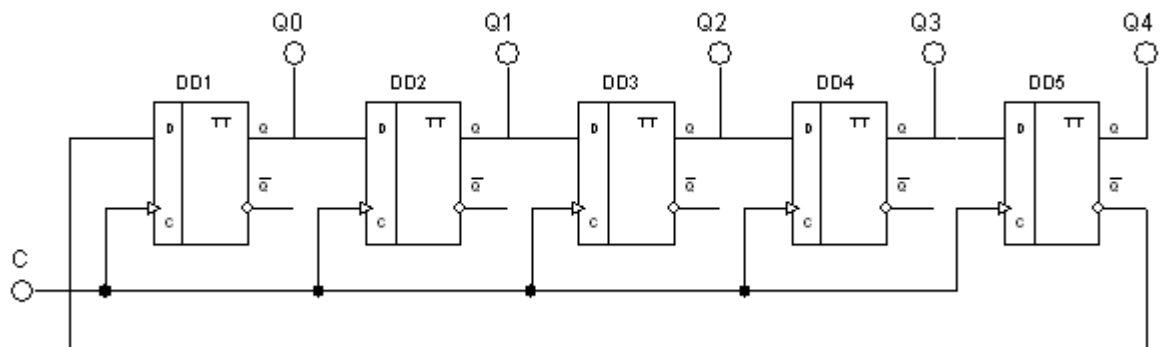


Рисунок 2.25 - Схема п'ятирозрядного лічильника Джонсона

Першим синхроімпульсом в тригер VT1 запишеться 1, другим, - одиниця запишеться в перший тригер, з першого – в другій і так далі до тих пір, поки на всіх виходах регістра не буде 1.

Після заповнення регістра одиницями, на інверсному виході тригера VD4 з'явиться 0 і четвертим синхроімпульсом в VT1 запишеться логічний 0. Після вступу подальших п'яти синхроімпульсів регістр обнуляється і на його вхід D знову подається рівень 1. Таким чином, цикл повторення стану кільцевого лічильника складається з десяти тактів синхросигналу. При роботі на початку від першого тригера до останнього тригера поширюється "хвиля

одиниць”, а потім “хвиля нулів”. Код, в якому працює лічильник Джонсона, називають кодом Лібау-Крейга.

Для побудови десяткового лічильника дільника частоти необхідно дешифрувати виходи Q0 – Q4 згідно рівнянням:

$$\begin{aligned} F1 &= Q0 \cdot \overline{Q1} \cdot \overline{Q2} \cdot \overline{Q3} \cdot \overline{Q4}; \\ F2 &= Q0 \cdot Q1 \cdot \overline{Q2} \cdot \overline{Q3} \cdot \overline{Q4}; \\ F3 &= Q0 \cdot Q1 \cdot Q2 \cdot \overline{Q3} \cdot \overline{Q4}; \\ F4 &= Q0 \cdot Q1 \cdot Q2 \cdot Q3 \cdot \overline{Q4}; \\ F5 &= Q0 \cdot Q1 \cdot Q2 \cdot Q3 \cdot Q4; \\ F6 &= \overline{Q0} \cdot Q1 \cdot Q2 \cdot Q3 \cdot Q4; \\ F7 &= \overline{Q0} \cdot \overline{Q1} \cdot Q2 \cdot Q3 \cdot Q4; \\ F8 &= \overline{Q0} \cdot \overline{Q1} \cdot \overline{Q2} \cdot Q3 \cdot Q4; \\ F9 &= \overline{Q0} \cdot \overline{Q1} \cdot \overline{Q2} \cdot \overline{Q3} \cdot \overline{Q4}; \\ F10 &= \overline{Q0} \cdot \overline{Q1} \cdot \overline{Q2} \cdot \overline{Q3} \cdot \overline{Q4}; \end{aligned}$$

Аналіз функціонування схеми десяткового лічильника дільника частоти виконано в програмному забезпеченні Electronics Workbench (рис. 2.26).

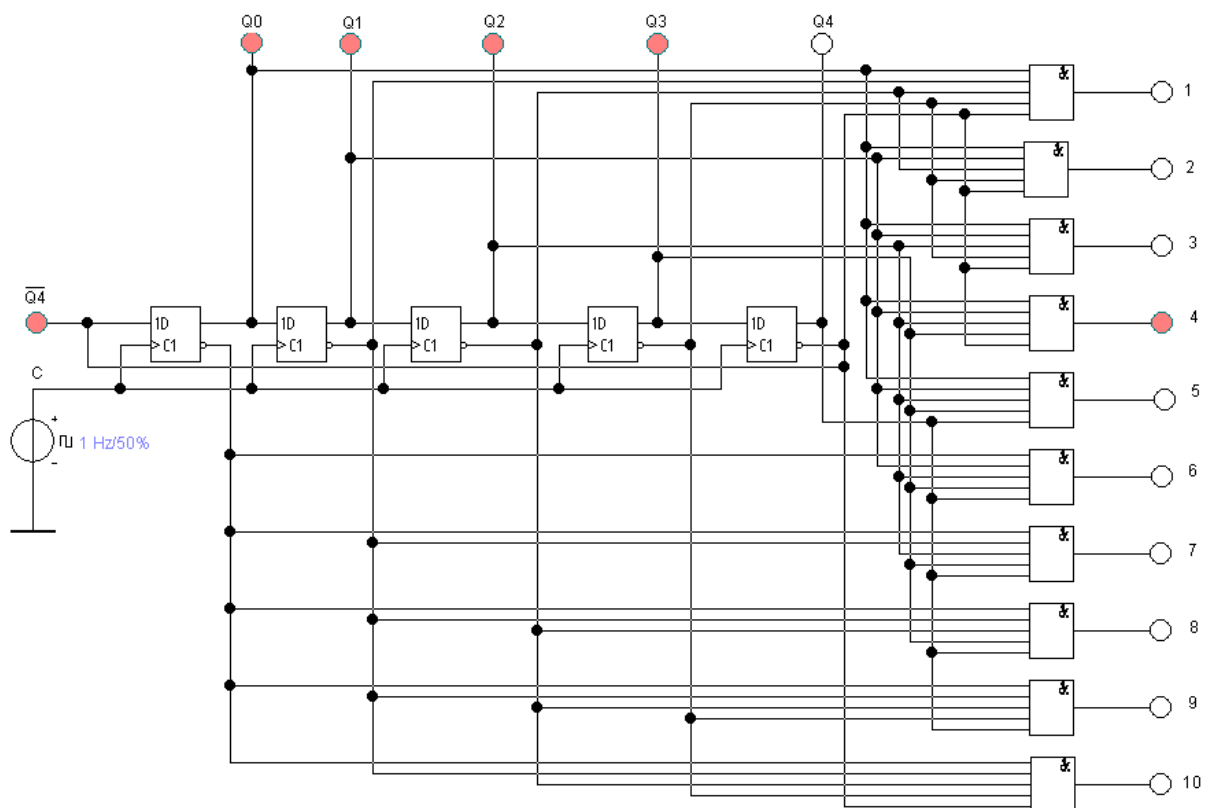


Рисунок 2.26 – Моделювання схеми десяткового лічильника дільника частоти

Схема функціонує згідно з таблицею функціонування та рівняннями (рис. 2.27).

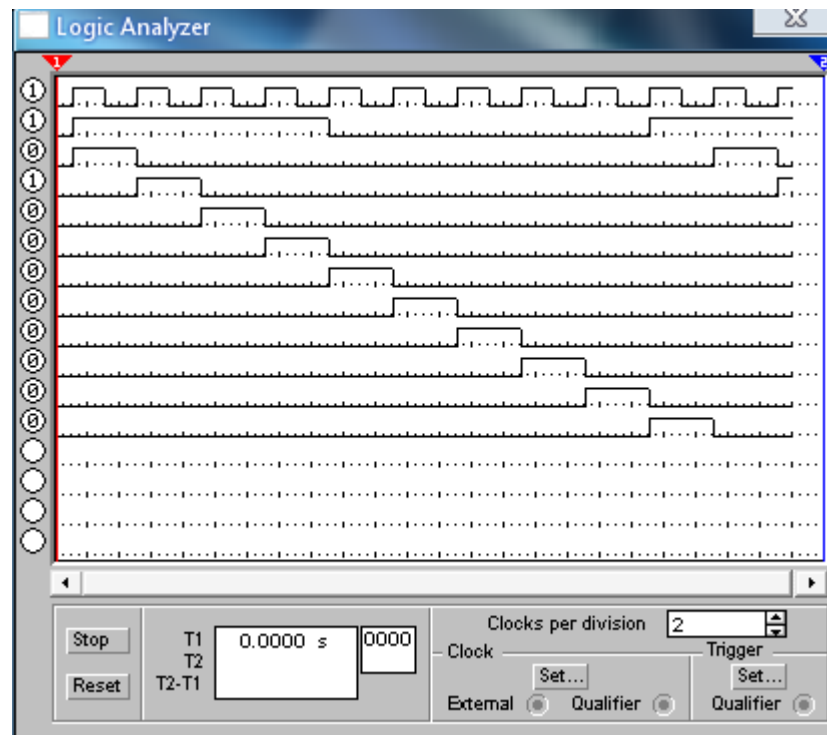


Рисунок 2.27 – Діаграма функціонування розробленої моделі

Аналогом розробленої схеми являється мікросхема К561ИЕ8 (рис. 2.28).

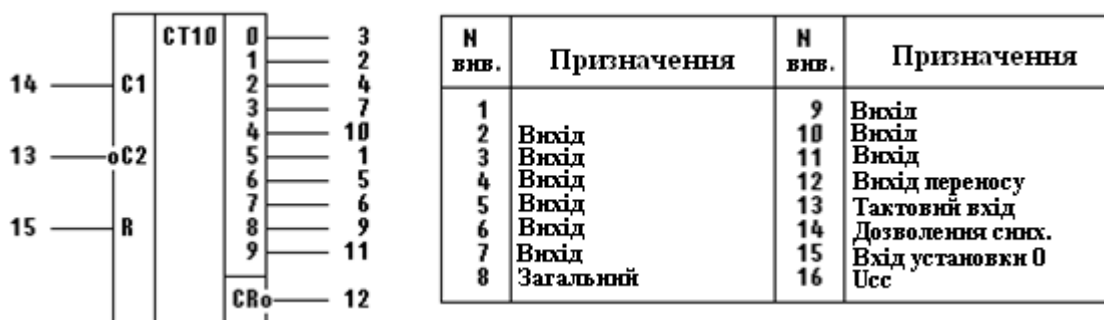


Рисунок 2.28 – Умовне графічне позначення та призначення виводів мікросхеми К561ИЕ8

Десятковий лічильник містить п'ятикаскадний високошвидкісний лічильник Джонсона і дешифратор, що перетворює двійковий код в сигнал на одному з десяти виходів. Загальна схема інвертуючого стабілізатора напруги для автономної системи представлена на рисунку 2.29.

На елементі DA1 зібраний задаючий генератор з частотою 500 Гц. Дільник на DD1 формує дві імпульсні послідовності частотою 50 Гц із зрушеними на 180° фазами для управління силовими ключами VT2 і VT3 двотактного перетворювача (рис. 2.30).

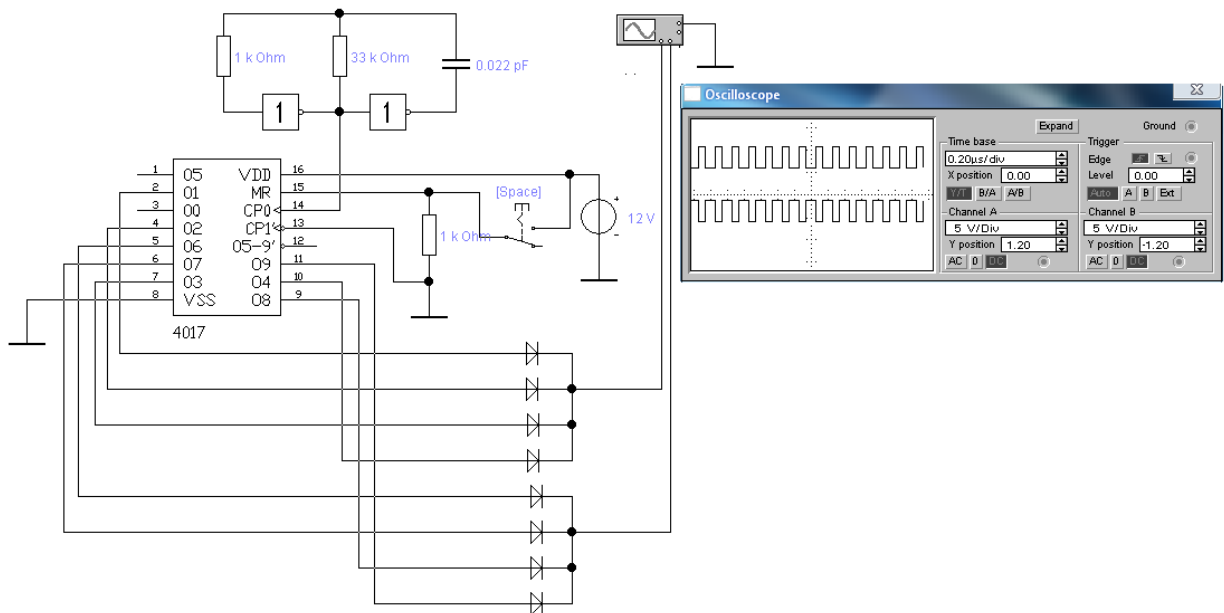


Рисунок 2.30 – Аналіз роботи схеми керування двохтактним перетворювачем

Але перетворювач напруги споживає енергію постійно, навіть коли до нього не підключено жодного навантаження. При цьому марно витрачається енергія. Отже, в блоці управління потужністю необхідно передбачити можливість відключення інвертора.

Аби уникнути крізних струмів перемикання, між виключенням одного ключа і включенням іншого існує "мертва зона" – 10% тривалості періоду. При подачі високого рівня на вхід "Блокування" обидва вихідних ключа закриваються. На рисунку 2.30 блокування імітується перемикачем, за допомогою якого логічна одиниця подається на вхід 15 мікросхеми 4017 (аналог К561ИЕ8).

Вихідна потужність перетворювача обмежена потужністю силового трансформатора TV2 і максимальним допустимим струмом вихідних транзисторів. Коефіцієнт трансформації силового трансформатора $K_T = 20$. Для на-

дійності потрібно мати подвійний запас по струму і потрійний – по напрузі. Силкові кола мають бути по можливості коротше і виконані дротами відповідного перетину. Схема перетворювача споживає в черговому режимі струм порядку 7 мА.

Лічильник-розподільник K561ИЕ8 (рис. 2.28) має вхід скидання (вивід 13), високий рівень на якому наводить мікросхему у вихідний стан. При цьому припиняється рахунок, і всі виходи, окрім нульового (вивід 3), скидаються в нуль. Обидва вихідних транзистора VT2 і VT3 при цьому закриті, тобто перетворювач заблокований.

2.4 Розробка конструкції блоку керування потужністю фотоелектричних систем

Перемикачі каналів підключення споживачів розміщені на передній панелі пристрою. Над ними розташовані світлодіоди індикації роботи каналу. Пристрій оснащений запобіжниками, що обмежують струм при перевантаженні. Послідовно з чотирма світлодіодами включені резистори. Вони розташовані між катодами світлодіодів і виводами перемикачів.

Для приєднання зовнішніх пристроїв на задній стінці корпусу розміщується перехідна колодка. До зовнішніх пристроїв відносяться сонячна батарея з акумулятором і комутовані прилади. блоку керування потужністю фотоелектричних систем призначений для живлення пристроїв що працюють від постійної напруги по двох каналах і від змінної напруги, так само по двом каналам (рис. 2.31).

Пристрій контролю напруги батареї розміщується під перемикачами каналів. Печатні плати кріпляться на пластмасових стійках паралельно дну корпусу. Виводи світлодіодів згинаються так, щоб світлодіоди виступали за край плати, знаходячись в одній площині. Потім світлодіоди висувуються з щілини, що прорізана під перемикачами.

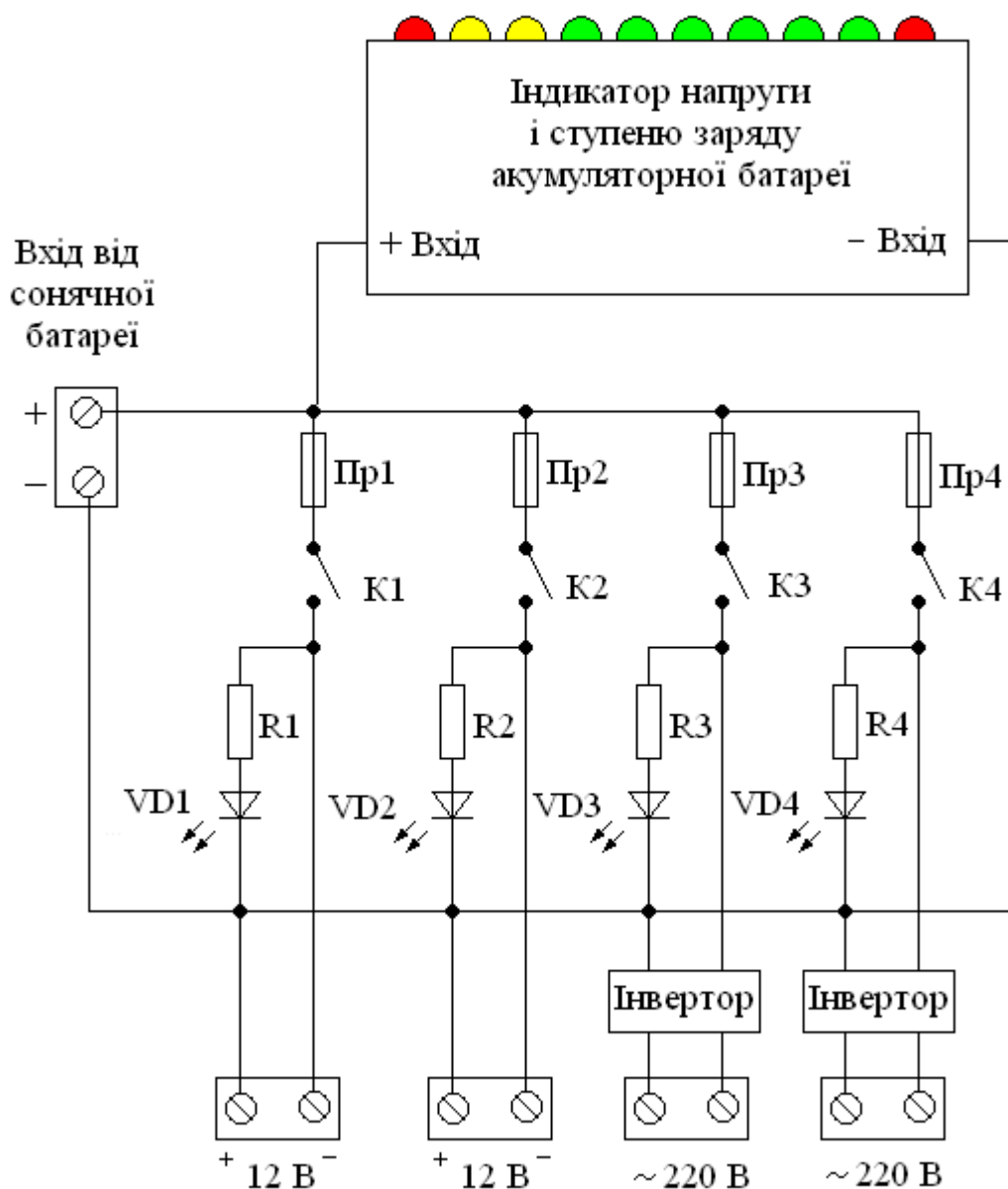


Рисунок 2.31 – Схема підключення зовнішніх пристроїв до блоку керування потужністю

Розроблена схема пристрою контролю напруги і ступеню заряду акумуляторних батарей дозволяє отримати інформацію про споживану напругу від сонячної батареї та звукову сигналізацію про її критичні стани.

Розроблений інвертуючий стабілізатор напруги має оригінальне схемне вирішення з використанням цифрового двотактного перетворювача.

Розроблений блок керування потужністю дозволяє жити споживачі які працюють на постійній напрузі та, за рахунок інверторів, на змінній напрузі.

3. Техніко - економічне обґрунтування розробки електронної схеми інвертуючого стабілізатора напруги

3.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення схеми інвертуючого стабілізатора напруги

Топологічний аналіз показує, що пристрій може бути реалізований у вигляді малогабаритного мікромодуля і виконаний за сучасною маловитратною технологією тонко плівкових гібридних мікроборок, або за технологією печатних плат на фольгованому текстоліті. Обидві технології передбачають, що всі елементи будуть навісними, а напиленням на підкладці, або травленням поверхні виконується лише струмопровідний шар.

Для вибору технології виготовлення схеми інвертуючого стабілізатора напруги проаналізуємо ієрархії чотирьох варіантів (табл. 3.1), враховуючи шкалу відносної важливості (табл. 3.2) [13].

Таблиця 3.1 - Можливі варіанти технологій виробництва пристрою

Технологія		Короткий опис
A	Технологія печатних плат на фольгованому текстоліті	Активні та пасивні елементи схеми навісні, а струмопровідний шар виконано травленням фольгованого текстоліту.
B	Толстоплівкових гібридних інтегральних схем	Всі елементи та між елементні з'єднання виконані у вигляді товстих композитних плівок.
C	Тонкоплівкових гібридних інтегральних схем	Всі елементи та між елементні з'єднання виконані у вигляді тонких плівок провідних та резистивних матеріалів.
D	Тонкоплівкових гібридних мікроборок	Активні та пасивні елементи схеми навісні, а струмопровідний шар виконано у вигляді тонких плівок.

Таблиця 3.2 - Шкала відносної важливості

Інтенсивність відносної важливості	Визначення
1	рівна важливість
3	помірна перевага
5	сильна перевага
7	значна перевага
9	дуже сильна перевага
2,4,6,8	проміжні судження

Вибір робимо за критеріями, наведеними в таблиці 3.3.

Встановлюємо відносну вагу кожного критерію на основі матриці попарних порівнянь для обраних критеріїв (табл. 3.3) [13].

У матриці прийняті наступні позначення: i – номер критерію; при порівнянні 6-ох критеріїв (табл. 3.3) $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$; X_i - локальний пріоритет, тобто відносна вага i -го критерію в глобальному критерії:

Таблиця 3.3 – Попарне порівняння критеріїв

Критерій	1	2	3	4	5	6	$\sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}$	X_i
1. Швидкодія	1	1/3	3	1/7	1/5	3	0,664	0,073
2. Завадостійкість	3	1	3	1/3	1/7	3	1,042	0,116
3. Споживання	1/3	1/3	1	1/5	1/7	3	0,460	0,051
4. Площа	7	3	5	1	1/5	7	2,297	0,254
5. Сумісність	5	7	7	5	1	5	4,277	0,473
6. Вартість	1/3	1/5	1/3	1/7	1/5	1	0,293	0,033
	Σ						9,033	1,00

Далі аналогічно складаємо 6 матриць попарних порівнянь альтернатив стосовно кожного критерію (табл. 3.4 - 3.9). Оскільки тепер порівнюються 4 технології по одному критерію, то $i = 1, 2, 3, 4$.

$$X_i = \frac{\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}}{\sum_{i=1}^4 \sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}},$$

де \sum - сума по стовпці $\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$.

Таблиця 3.4 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «швидкості»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X_i
A	3	1/5	1	3	1,16	0,19
B	5	1	7	7	3,96	0,65
C	1/3	1/7	1	1/2	0,39	0,07
D	1/3	1/7	2	1	0,56	0,09
	Σ				6,07	1,00

Таблиця 3.5 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «завадостійкість»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X_i
A	1	5	1	1/3	1,14	0,21
B	1/5	1	1/5	1/7	0,48	0,09
C	1	5	1	1/3	1,56	0,29
D	3	7	3	1	2,20	0,41
	Σ				5,37	1,00

Таблиця 3.6 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «споживання»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X_i
A	1	5	1/5	1/7	0,61	0,09
B	1/5	1	1/7	1/9	0,24	0,04
C	5	7	1	1/3	1,85	0,29
D	7	9	3	1	3,71	0,58
	Σ				6,41	1,00

Таблиця 3.7 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «площа»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X _i
A	1	5	3	5	0,99	0,21
B	1/5	1	1/3	1/2	0,24	0,05
C	1/3	3	1	3	2,03	0,43
D	1/5	2	1/3	1	1,47	0,31
Σ					4,73	1,00

Таблиця 3.8 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «сумісність»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X _i
A	1	5	1/3	1/5	0,76	0,13
B	1/5	1	1/7	1/9	0,24	0,04
C	5	7	1	1/2	2,41	0,41
D	3	9	2	1	2,47	0,42
Σ					5,88	1,00

Таблиця 3.9 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «вартість»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X _i
A	1	3	5	6	3,08	0,56
B	1/3	1	3	4	1,41	0,26
C	1/5	1/3	1	2	0,60	0,11
D	1/6	1/4	1/2	1	0,38	0,07
Σ					5,47	1,00

Глобальний пріоритет для кожної альтернативи обчислюється як сума добутків кожного локального пріоритету на його ваговий коефіцієнт (табл. 3.10) [13].

З порівняння глобальних пріоритетів різних технологій видно, що найбільшим є пріоритет у варіанта реалізації схеми інвертуючого стабілізатора напруги з використанням технології печатних плат на фольгованому текстоліті.

Таблиця 3.10 - Глобальний пріоритет для кожної альтернативи

Пріоритети	№1	№2	№3	№4	№5	№6	Глобальний
Вага	0,073	0,116	0,051	0,254	0,473	0,033	
Печатних плат на фольгованому текстоліті	0,07	0,29	0,29	0,43	0,41	0,11	0,360
Толстоплівкових гібридних інтегральних схем	0,65	0,09	0,04	0,05	0,04	0,26	0,100
Тонкоплівкових гібридних інтегральних схем	0,19	0,21	0,09	0,21	0,13	0,56	0,176
Тонкоплівкових гібридних мікроборок	0,09	0,41	0,58	0,31	0,42	0,07	0,364

За допомогою методу аналізу ієрархій проведено порівняння чотирьох типів технологій реалізації схеми інвертуючого стабілізатора напруги за наступними критеріями: 1) швидкодія; 2) завадостійкість; 3) споживана потужність; 4) площа, займана на кристалі; 5) сумісність; 6) вартість. Найбільший локальний пріоритет у критерію «сумісність» (табл. 3.3). За даними таблиці 3.9 локальний пріоритет за критерієм «вартість» є найвищим для технології печатних плат на фольгованому текстоліті. Проте найбільший глобальний пріоритет мають технологія тонкоплівкових гібридних мікроборок та печатних плат на фольгованому текстоліті. Саме технологія печатних плат на фольгованому текстоліті й буде використовуватися для виготовлення схеми інвертуючого стабілізатора напруги.

3.2 Розрахунок витрат на виробництво схеми інвертуючого стабілізатора напруги

Витрати на матеріали і напівфабрикати вказані в таблицях 3.11, 3.12. Витрати на матеріали і напівфабрикати склали 219,35 грн.

Таблиця 3.11 - Розрахунок вартості покупних виробів

Матеріали	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Всього витрат, грн.
1	2	3	4	5
Мікросхема LM3914	шт.	1	5,90	5,90
Мікросхема K561ЛА7	шт.	1	7,5	7,5
Мікросхема K561ИЕ8	шт.	1	15,6	15,6
Мікросхема КР1006ВИ1	шт.	1	22,8	22,8
Транзистор КП 723А	шт.	2	20,05	40,10
Конденсатор К70-7	шт.	12	0,40	4,80
Резистор МЛТ 0,125	шт.	15	0,25	3,75
Діоди 2Д 220А	шт.	12	4,15	49,8
Динамик ПД- 377-1	шт.	2	13,00	26,00
Транзистор КТ829А	шт.	1	11,50	11,50
Корпус 100×50×20	шт.	1	6,70	6,70
Разом				194,45

Таблиця 3.12 - Розрахунок вартості напівфабрикатів

Матеріали	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Всього витрат, грн.
1	2	3	4	5
Фольгований склотекстоліт двосторонній 200×100	шт.	1	8,00	8,00
Травильник	уп.	1	4,90	4,90
Акумулятор	шт.	2	12	12,00
Разом				24,90

4 Охорона праці та техногенна безпека

4.1 Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

В даному розділі 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 [14].

В даному приміщенні 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).

4.2 Заходи з поліпшення умов праці

Одним із заходів є підвищення комфортності роботи шляхом раціоналізації параметрів робочого місця та робочого приміщення з ергономічної точки зору [14].

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 $V=188,06 \text{ м}^3$, а площу $S=50,15 \text{ м}^2$, 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 струмопровідних 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).

4.3 Виробнича санітарія

Мікроклімат характеризується наступними параметрами: температура, вологість, швидкість повітря, атмосферний тиск, шум [15].

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°C, для теплої складає 22-24°C.

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 приміщенні 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 даному приміщенні встановлена необхідна освітленість робочого місця $E_n = 200$ лк (середня точність роботи по розрізненню деталей розміром від 1 до 5 мм).

4.4 Електробезпека

Приміщення за ступенем небезпеки ураження людей електричним струмом являється приміщенням без підвищеної небезпеки [14].

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

4.5 Пожежна та техногенна безпека об'єкта

Приміщення відноситься за вибухопожежною небезпекою до категорії “В” [15].

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 приміщенні є два вуглекислих вогнегасники типу ОУ-2. Для мінімізації виникнення пожежі в даному приміщенні вчасно проводиться профілактичний огляд та ремонт електроустановки. В приміщенні є план евакуації згідно якого люди повинні залишити приміщення у разі виникнення пожежі.

Для евакуації людей на випадок пожежі 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.

4.6 Розрахунок освітлення робочого місця

Загальний світловий потік визначається за формулою [15]:

$$F_{\text{заг}} = \frac{E_n \cdot S \cdot z_1 \cdot z_2}{V}, \quad (4.1)$$

де E_n - нормована освітленість ($E_n=200\text{лк}$), S - площа приміщення; z_1 - коефіцієнт, що враховує старіння ламп і забруднення світильників ($z_1=1.5$); z_2 - коефіцієнт, що враховує нерівномірність освітлення приміщення ($z_2=1.1$); V - коефіцієнт використання світлового потоку; визначається в залежності від коефіцієнтів відбиття від стін, стелі, робочих поверхонь, типів світильників і геометрії приміщення.

Площа приміщення:

$$S = A \cdot B = 8,5 \cdot 5,9 = 50,12 \text{ м}^2, \quad (4.2)$$

Виберемо з таблиці [15] коефіцієнт використання світлового потоку за наступними даними:

- коефіцієнт відбиття білої стелі $R_p=70\%$;
- коефіцієнт відбиття від стін, забарвлених в світлу фарбу $R_{\text{ст}}=50\%$;
- коефіцієнт відбиття від підлоги, покритої лінолеумом темного кольору $R_p=10\%$;
- індекс приміщення

$$h = 4\text{м} - 0,725 = 3,275$$

$$I = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{8,5 \cdot 5,9}{3,275 \cdot (8,5 + 5,9)} = 1,06 \quad (4.3)$$

Знайдений коефіцієнт $V = 0.64$ [15].

За формулою (4.1) визначаємо загальний світловий потік:

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

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 разів). Поряд з цим є й недолі-

ки: 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 $F_{л} = 4600$ лм. Число N ламп, необхідних для організації загального освітлення визначається за формулою:

$$N = \frac{F_{заг}}{F_{л}} = \frac{25873}{4600} = 5,6 \quad (4.4)$$

В якості світильників вибираємо ПВЛ-1, 1×65 Вт. Електрична потужність однієї лампи ЛБ65 $W_{л} = 65$ Вт.

Потужність всієї освітлювальної системи:

$$W_{заг} = W_{л} \cdot N = 65 \cdot 6 = 390 \text{ Вт} \quad (4.5)$$

Розміщення світильників ПВЛ-1, 1×65 Вт представлено на рисунку 4.2.

Таким чином, щоб забезпечити світловий потік $F_{заг} = 25873$ лм в даному приміщенні використовується 6 світильників з 1 лампою ЛБ65 в кожному. Згідно розрахунків освітленість приміщення відповідає встановленим нормам.

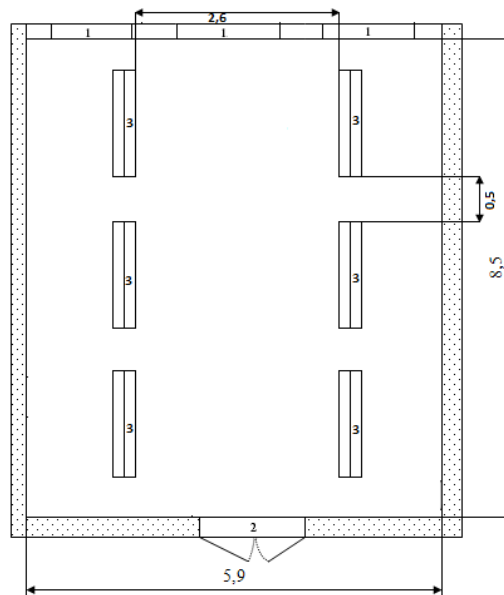


Рисунок 4.2 – План розташування світильників

Висновки та рекомендації

1. Розроблена схема блоку керування потужністю, забезпечує візуальний та звуковий контроль ресурсу сонячних батарей. За допомогою розробленого блока здійснюється керування електропостачанням споживачів електроенергії. Кожний споживач має схемний захист від дестабілізуючих факторів.

2. Розроблена схема інвертуючого стабілізатора напруги дозволяє від акумуляторів постійної напруги 12 В отримати синусоїдальний сигнал напругою 220 В, із спотвореннями менше 3%, який не міняє значення амплітуди напруги при підключенні навантаження більше 10%.

3. Аналіз функціонування розроблених схем автономної фотоелектричної системи показує відповідність отриманих результатів теоретичним розрахункам.

Рекомендується подальше удосконалення автономних фотоелектричних систем з метою підвищення надійності і збільшення навантаження.

Перелік посилань

1. Бойко В. І., Гуржій А. М., Жуйков В. Я. Основи схемотехніки електронних систем: підручник. Київ : Вища шк., 2004. 527 с
2. Верьовкін Л. Л., Світанько М. В., Кісельов Є. М., Хрипко С. Л. Цифрова схемотехніка: підручник. Запоріжжя : ЗДІА, 2016|. 214 с.
3. Кожем'яко В. П., Гаркушевський В. С., Петрук В. Г. Оптоелектронні системи і пристрої. Навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2005. 100 с.
4. Світанько М. В., Верьовкін Л. Л., Кісельов Є. М. Автоматизація схемотехнічного проектування: Навчально-методичний посібник. Для студ. ЗДІА напряму 6.050801 «Мікро- та наноелектроніка ЗДІА. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 120 с.
5. Лукащук Л. О. Схемотехніка логічних та послідовнісних схем: навчальний посібник. Львів : Видавництво Нац. університету «Львівська політехніка», 2004. 116 с.
6. Дудикевич В. Б., Кеньо Г. В., Петрович І. В. Електроніка та мікросхемотехніка. Частина І: Електроніка: навчальний посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2010. 204 с.
7. Бойко В. І., Багрій В. В. Цифрова схемотехніка. Київ : ІЗМН, 2001. 228 с
8. Бойко В. І., Жуйков В. Я., Зорі А. А., Багрій В. В., Богдан О. В., Співак В. М., Терещенко Т. О. Цифрова схемотехніка електронних систем [підручник] Київ : Освіта України, 2010. 352 с.
9. Рябенький В. М., Жуйков В. Я., Гулий В. Д. Цифрова схемотехніка: Навч. посібник. Львів : "Новий Світ-2000", 2009. 736 с.
10. Лавриненко В.Ю. Довідник по напівпровідниковим приладам. Київ: Техніка, 1984. 424 с.

11. Воробйова О.М., Панфілов І.П., Савицька М.П., Флейта Ю.В. Електроніка та мікросхемотехніка: підручник. Одеса : ОНАЗ, 2015. 298 с.
12. Кравченко О.П. Фізичні основи функціональної мікроелектроніки: Навч. посібник. Київ : Либідь, 1993. 216 .
13. Белуха М.Т. Основи наукових досліджень. Київ : Вища шк., 1997. 271с.
14. Ткачук К.Н. Охрана труда и окружающей среды в радиоэлектронной промышленности. Київ : Вища шк., 1988. 240 с.
15. Горобец А.И., Степаненко А.И. Охрана труда в радиоэлектронной промышленности. Київ : Техніка, 1987. 345 с.