

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА МІКРОЕЛЕКТРОННИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

З ДИСЦИПЛІНИ: «ОСНОВИ КОНСТРУЮВАННЯ ОПТО – ТА
МІКРОЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ»

Для студентів освітнього рівня «Магістр» за спеціальністю 153 «Мікро- та
наносистемна техніка»

ЗАПОРІЖЖЯ
2020

ЗМІСТ

Вступ.....	3
1 Теоретичні основи фотоелектричного перетворення сонячної енергії.....	4
1.1 Фізичні основи вентильного фотоелемента.....	5
1.2 Залежність фотоерс вентильного фотоелемента від зовнішнього навантаження.....	9
1.3 Технічні характеристики і параметри сонячних елементів.....	11
2 Конструкції і матеріали сонячних елементів	14
2.1 Технологія отримання дифузійних р-п переходів для сонячних елементів.....	14
2.1.1 Математичне моделювання профілю розподілу домішок при дифузії	18
2.2 Виробництво структур на основі аморфного кремнію	21
3 Сонячні електростанції.....	27
3.1 Конструкції сонячних батарей	27
3.2 Типи сонячних електростанцій	34
3.2.1 СЭС башневого типу.....	35
3.2.2 СЕС тарільчатого типу	36
3.2.3 СЭС, що використовують фотобатареї.....	36
3.2.4 СЭС, що використовують параболічні концентратори.....	36
3.2.5 Комбіновані СЕС.....	37
4 Методи і прилади виміру та дослідження сонячної інсоляції.....	37
4.1 Методи виміру інсоляції	38
4.2 Аналіз принципу побудови дозиметрів сонячної інсоляції	41
5 Системи слідкування за точкою максимальної потужності фотоелектричних перетворювачів.....	47
5.1 Системи стеження за сонцем.....	48
5.2 Способи орієнтації приладів сонячної енергетики	49
5.3 Принцип функціонування пристрою слідкування за сонцем	50
5.4 Схеми пристроїв слідкування за сонцем.....	55
5.4.1 Керування пристроєм стеження за сонцем за допомогою двох фоторезисторів.....	55
5.4.2 Система стеження за сонцем (трекер) модель HS-1500.....	57
5.4.3 Система стеження за сонцем на сонячних елементах	58
6 Дослідження параметрів фотоелектричних перетворювачів	62
6.1 Тестування сонячних елементів.....	63
6.2 Вимір електричних характеристик сонячних елементів	64
7 Автономні сонячні фотоелектричні системи	71
7.1 Елементи автономної сонячної фотоелектричної системи	71
7.2 Схеми сонячних фотоелектричних систем	72
7.3 Блок керування потужністю	75
7.4 Пристрій контролю заряду акумуляторної батареї.....	76
7.5 Інвертуючий стабілізатор напруги... Ошибка! Закладка не определена.	

Вступ

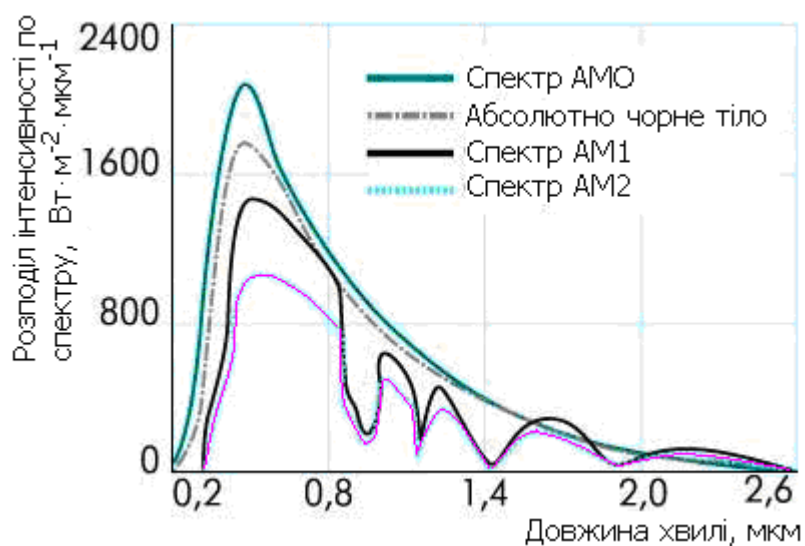
Альтернативні та відновлювальні джерела енергії, такі як енергія вітру і сонячного світла, гідро та геотермальна енергія, в усьому світі привертають все більше уваги. Зростаючий інтерес до них викликаний екологічними міркуваннями, з одного боку, і обмеженістю традиційних земних ресурсів - з іншого. Особливе місце серед альтернативних і поновлюваних джерел енергії займають фотоелектричні перетворювачі сонячної енергії, вивчення яких перетворилося в окремий науковий напрям - фотовольтаїку.

Висока вартість сонячних елементів до недавнього часу закривала їм шлях в області, де без них можна обійтися. Але часи змінюються, і економічно передові держави в своїх національних програмах вже стимулюють масове застосування сонячних батарей.

Джерелом енергії сонячного випромінювання служить термоядерна реакція - кожен секунду на Сонці $\sim 6 \times 10^{11}$ кг водню перетворюється в гелій. Дефект маси при цьому становить 4000 кг, що відповідно до співвідношення Ейнштейна $E = mc^2$ призводить до виділення 4×10^{20} Дж енергії. Основна частина цієї енергії випускається у вигляді електромагнітного випромінювання в діапазоні 0,2 - 3 мкм. Оскільки повна маса Сонця $\sim 2 \times 10^{30}$ кг, воно повинно перебувати в досить стабільному стані понад 10 млрд. років з постійним виділенням енергії. Інтенсивність сонячного випромінювання у вільному просторі на відстані, рівній середній відстані між Землею і Сонцем, називається сонячною постійною. Її величина 1353 Вт / м².

При проходженні через атмосферу сонячне світло послаблюється в основному через поглинання інфрачервоного випромінювання парами води, ультрафіолетового випромінювання - озоном і розсіювання випромінювання частинками атмосферного пилу і аерозолями. Показник атмосферного впливу на інтенсивність сонячного випромінювання, що доходить до земної поверхні, називається "повітряною масою" (ПМ). ПМ визначається як секанс кута між Сонцем і зенітом.

На рисунку показано спектральний розподіл інтенсивності сонячного випромінювання у різних умовах.



Верхня крива (ПМ0) відповідає сонячному спектру за межами земної атмосфери (наприклад, на борту космічного корабля), тобто при нульовій повітряній масі. Вона апроксимується розподілом інтенсивності випромінювання абсолютного чорного тіла при температурі 5800 К.

Криві ПМ1 і ПМ2 ілюструють спектральний розподіл сонячного випромінювання на поверхні Землі, коли Сонце в zenіті і при куті між Сонцем і zenітом 60° , відповідно. При цьому повна потужність випромінювання – відповідно порядку 925 и 691 Вт/м². Середня інтенсивність випромінювання на Землі приблизно співпадає з інтенсивністю випромінювання при ПМ=1,5 (Сонце – під кутом 45° до горизонту).

Таким чином, при використанні високоефективних методів перетворення енергії Сонце може забезпечувати бурхливо зростаючі потреби в ній практично вічно.

1 Теоретичні основи фотоелектричного перетворення сонячної енергії

Сонячна батарея (СБ) – це пристрій для безпосереднього перетворення енергії сонячного випромінювання в електричну енергію. В основі роботи сонячної батареї лежить вентильний фотоефект.

Вентильний фотоефект - це явище виникнення електрорушійної сили (або фотоЕРС) при освітленні структури, що складається з різнорідних елементів. Складовими такої структури можуть бути:

- метал і напівпровідник (контакт Шотткі);
- два напівпровідника з різним типом провідності (р-n-перехід);
- два напівпровідника, різних по хімічному складу (гетероструктура).

Вперше це явище було виявлено в контактах Шотткі на основі металеві міді і закису міді (Cu-Cu₂O). Однак коефіцієнт корисної дії (к.к.д.) таких пристроїв складав всього декілька процентів, тому широкого застосування вони не знайшли. Практичне застосування сонячні батареї отримали, коли на зміну контактам Шотткі прийшли спочатку германієві, а потім кремнієві фотоеlementи з р-n переходом, які мають істотно вищий к.к.д..

В першу чергу СБ були використані у якості електричних генераторів на космічних апаратах. Вже третій штучний супутник Землі (1958 г.) постачався енергією від сонячної батареї [1]. В даний час СБ випускаються промисловістю, мають потужність в десятки кіловат, а коефіцієнт корисної дії батарей на основі гетероструктур з нових напівпровідникових матеріалів досягає 30%.

1.1 Фізичні основи вентильного фотоефекта

В основі вентильного фотоефекту лежать два фундаментальних явища - внутрішній фотоефект і просторове розділення різнойменних нерівноважних носіїв заряду.

Внутрішній фотоефект - це явище генерації нерівноважних носіїв заряду при опроміненні напівпровідника електромагнітним випромінюванням з енергією квантів, достатньою для такої генерації. Іншими словами – повинно

виконуватися порогова умова червоної межі фотоелемента, тобто енергія кванта світла повинна бути більше деякої характеристичної енергії $\epsilon_{\text{крас}}$.

$$h\nu \geq \epsilon_{\text{крас}},$$

де $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постійна Планка; ν – частота електромагнітного випромінювання.

У випадку власної фотоелектричності ця енергія дорівнює ширині забороненої зони ϵ_g

$$\epsilon_{\text{крас}} = \epsilon_g,$$

а у випадку домішкової – енергії іонізації домішкового центра ϵ_I

$$\epsilon_{\text{крас}} = \epsilon_I.$$

Максимальний ККД сонячних батарей можливий тільки в разі «власної фотоелектричності», тобто ситуації, коли при поглинанні кванта світла відбувається перехід електрона з валентної зони в зону провідності і з'являється пара нерівноважних носіїв заряду - електрон і дірка. Ці нерівноважні носії заряду просторово не розділені і фотоелектричність не виникає, поки електрон і дірка не будуть рознесені в просторі. Цю функцію можуть виконувати контакти між напівпровідником і металом (контакт Шотткі) або між напівпровідниками (p-n перехід, гетероструктура).

Розглянемо процес поділу нерівноважних носіїв заряду на p-n переході. На рисунку 1.1 показана типова конструкція вентильного фотоелемента з p-n переходом (фотодіода) та включення фотоелемента в зовнішній ланцюг.

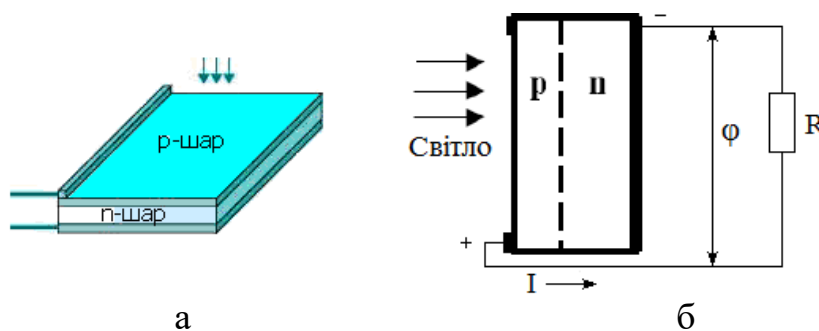


Рисунок 1.1 - Фотодіод (вентильний елемент з p-n-переходом) (а) і його ввімкнення у режимі сонячної батареї (б)

При контакті матеріалів з різною величиною роботи виходу інжекція електронів завжди відбувається з матеріалу з меншою роботою виходу в матеріал з більшою роботою виходу. Зокрема, для напівпровідників, що відрізняються тільки типом провідності, робота виходу з напівпровідника р-типу завжди більше, ніж робота виходу з напівпровідника n-типу, і при утворенні рп-переходу електрони інжектуються з приконтактного шару електронного напівпровідника в приконтактний шар діркового напівпровідника. При цьому в n-області створюється некомпенсований позитивний об'ємний заряд, утворений іонізованими донорними домішками, а в р-області - негативний об'ємний заряд, утворений акцепторами, які захопили інжектвані електрони.

При висвітленні р-області поглинені фотони генерують нерівноважні електронно-діркові пари. Оскільки концентрація тих і інших носіїв максимальна біля поверхні, вони дифундують углиб р-області, до р-n-переходу. Електрони (неосновні носії в р-області) перекидаються контактним полем в n-область, заряджаючи її негативно. Для основних носіїв заряду (в даному випадку це дірки) на межі існує потенційний бар'єр, який вони не здатні подолати і тому дірки залишаються в р-області, заряджаючи її позитивно. Таким чином, електричне поле контакту просторово розділяє нерівноважні електрони і дірки, що утворюються під дією світла. Потрапляючи в n-область, електрони зменшують позитивний об'ємний заряд в ній, а дірки, що залишилися в р-області, зменшують об'ємний негативний заряд. Це рівносильно подачі на р-n-перехід прямого зміщення ϕ , понижуючого потенційний бар'єр на величину $e\phi$, де e - заряд електрона (рис. 1.2).

Переміщення електронів через р-n-перехід створює фотострум - I_{ϕ} . Оскільки він створюється неосновними носіями, йому приписують негативний знак. Зниження бар'єру веде до зростання струму основних носіїв, який в фотоелементах називається струмом витоку.

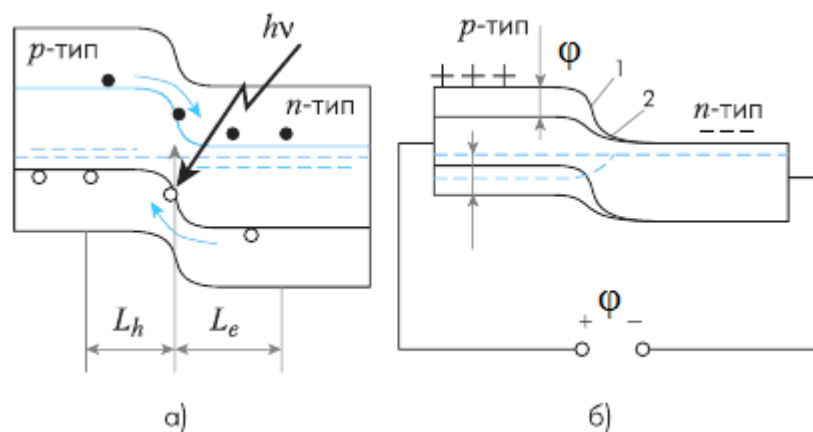


Рисунок 1.2 - Освітлений р-п-перехід: а - в початковий момент освітлення; б - потенційний бар'єр і для електронів, і для дірок зменшується на величину фотоерс

$$I_y = I_s \exp \frac{q\Phi}{kT},$$

де $k = 1,380662 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постійна Больцмана, T – абсолютна температура (К), q – заряд електрона $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Таким чином, через перехід протікають наступні струми:

- неосновних носіїв: $-I_s$;
- основних носіїв: I_y ;
- фотострум: $-I_\phi$.

Повний струм через р-п-перехід дорівнює

$$I = I_s \left(\exp \frac{q\Phi}{kT} - 1 \right) - I_\phi \quad (1.1)$$

Струм неосновних носіїв

$$I_s = \left(\frac{qD_n n_p}{L_n} + \frac{qD_p p_n}{L_p} \right),$$

де n_p , p_n – концентрація неосновних носіїв заряду – відповідно концентрація електронів у зоні провідності р-області і дірок у валентній зоні п-області; L_n , L_p – дифузійна довжина носіїв заряду (електронів і дірок відповідно), яка може бути інтерпретована як середня відстань, яку проходять не-

рівноважні носії заряду до їх рекомбінації з носіям протилежного знаку; D_n , D_p – коефіцієнти дифузії електронів і дірок відповідно.

У першому приближенні можна вважати фотострум пропорціональним освітленості фотоелементу Φ .

1.2 Залежність фотоерс вентильного фотоелемента від зовнішнього навантаження

Рівняння (1.1) описує вольт-амперну характеристику ідеального фотодіода. За законом Ома струм у зовнішнього кола (рис. 1.1, б) дорівнює

$$I = \frac{\Phi}{R} \quad (1.2)$$

При роз'єднаному зовнішньому колі, тобто при $R \rightarrow \infty$, з (1.1) і (1.2) отримаємо для фотоерс «холостого ходу»

$$\Phi_{xx} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_{\phi}}{I_s} + 1 \right),$$

Якщо ж опір навантаження малий, тобто. $R \rightarrow 0$, то струм короткого замикання буде дорівнювати фотоструму $I_{кз} = I_{\phi}$. Зовнішній вигляд вольт-амперної характеристики ідеального вентильного фотоелемента приведений на рисунку 1.3.

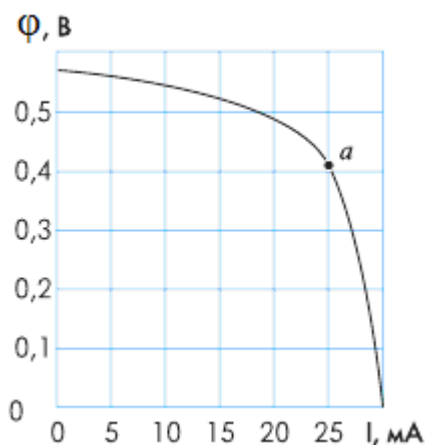


Рисунок 1.3 – Вольт-амперна характеристика кремнієвого фотоелементу

Точка **a** на рисунку відповідає роботі з оптимальним зовнішнім навантаженням (з найбільшою потужністю фотоелектричного генератора).

Згідно формулам (1.1), (1.2) і рисунку 1.3, при збільшенні опору навантаження фотоерс збільшується, досягаючи у межі значення ϕ_{xx} , а фотострум зменшується. Потужність, яка віддається фотоелектричним генератором у зовнішнє коло, дорівнює $I_{\phi}\phi$. При оптимальному виборі опору зовнішнього кола ця потужність буде максимальною.

Як впливає з рисунка 1.2 максимальна величина фотоерс не може перевищувати величину $\phi_{\max} \approx \epsilon_g / q$. Фактично, в силу ряду причин максимальна величина фотоерс буде складати приблизно:

$$\frac{2\epsilon_g}{3q}$$

ВАХ пояснює еквівалентна схема фотоелементу (рис. 1.4), яка включає джерело струму

$$I_{\phi} = S q N_0 Q,$$

де S – площа фотоелемента, а коефіцієнт збирання Q – безрозмірний множник (<1), що показує, яка доля усіх створених світлом електронно-дірочних пар (SN_0) збирається р-п переходом. Паралельно джерелу струму увімкнений р-п перехід, струм через який дорівнює $I_s [e^{qU/kT} - 1]$. р-п-Перехід шунтує навантаження, і при збільшенні напруги струм через нього швидко збільшується. У навантаження (опір R) відбирається струм I .

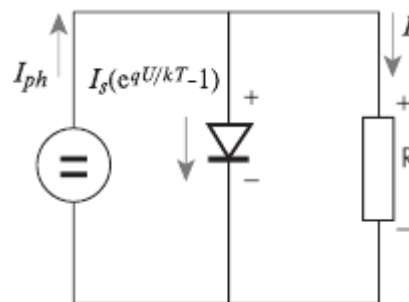


Рисунок 1.4 - Еквівалентна схема сонячного елемента

Рівняння ВАХ справедливо і при висвітленні фотоелемента світлом довільного спектрального складу, змінюється лише значення фотоструму I_{ϕ} . Максимальна потужність відбирається в тому випадку, коли фотоелемент знаходиться в режимі, зазначеному точкою а (рис. 1.4). Максимальна потужність, що знімається з 1 см^2 , дорівнює

$$P = I_{\phi} \cdot U = x \cdot I_{\text{кз}} \cdot U_{\text{хх}},$$

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

У фотоелементів з кремнію Si з шириною забороненої зони $\varepsilon_g \approx 1 \text{ eV}$ вона буде дорівнювати $\varphi_{\text{макс}} \approx 600 \text{ мВ}$, фотоелементів з германію Ge $\varphi_{\text{макс}} \approx 400 \text{ мВ}$, фотоелементів з арсеніду галію GaAs $\varphi_{\text{макс}} \approx 1 \text{ В}$.

Для отримання великих напруг фотоелементи підключають послідовно один одному, для отримання великих струмів - паралельно, формуючи, таким чином, сонячну батарею.

1.3 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) (рис. 1.5).

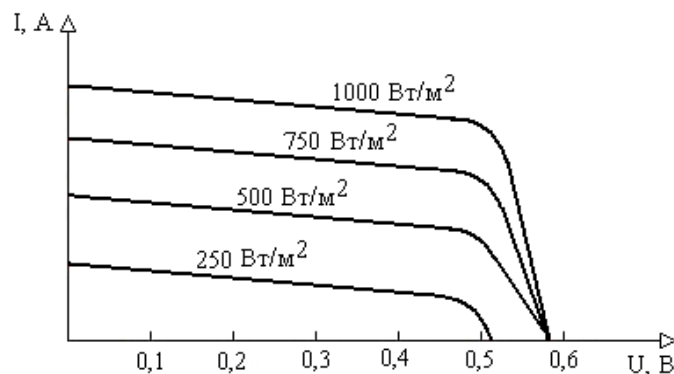
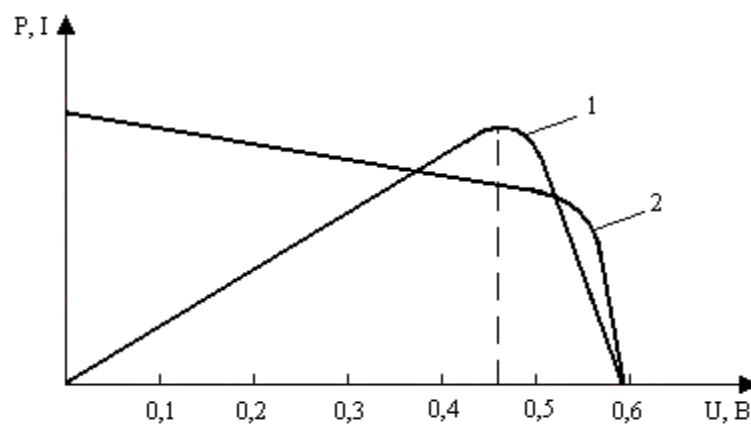


Рисунок 1.5 - Сімейство ВАХ сонячного елемента

Напруга холостого ходу, що генерується одним елементом, трохи змінюється при переході від одного елементу до іншого в одній партії і від однієї фірми виробника до іншої і становить близько 0,6 В. Ця величина не залежить від розмірів елементу. Зі струмом же все навпаки. Він залежить від інтенсивності світла і розміру елементу, 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 1.6.



1 - крива потужності;

2 - крива струму.

Рисунок 1.6 - 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.

Важливим моментом роботи сонячних елементів являється їх температурний режим. При нагріванні елементу на один градус більше за 25°C він втрачає напругу в $0,002\text{ В}$, тобто $0,4\text{ \%/градус}$. На рисунку 1.7 приведено сімейство кривих ВАХ для температур 25°C і 60°C .

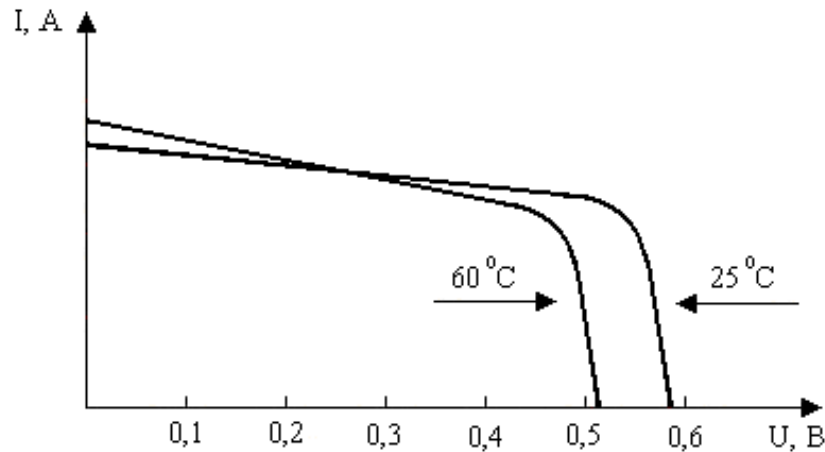


Рисунок 1.7 - Сімейство кривих ВАХ для температур 25°C і 60°C

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.

ККД звичайного сонячного елементу коливається у межах $10\text{-}16\%$. Це означає, що елемент розміром $100\times 100\text{ мм}$ при стандартних умовах може генерувати $1\text{-}1,6\text{ Вт}$.

Стандартними умовами для паспортизації елементів у всьому світі признаються наступні:

- освітленість 1000 Вт/м^2 ;
- температура 25°C ;
- спектр АМ 1,5 (сонячний спектр на широті 45°)

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

Максимальна потужність модуля визначається як найбільша потужність при STC (Standart Test Conditions) (рис. 1.8).

Напруга, яка відповідає максимальній потужності, називається 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 1.8 - 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.

2 Конструкції і матеріали сонячних елементів

2.1 Технологія отримання дифузійних р-п переходів для сонячних елементів

Одним з найбільш використовуваних методів вибіркового введення домішок в монокристал напівпровідника є дифузійний метод (або метод дифузії в твердій фазі), розроблений у 1956 році, який дозволяє досягати високої точності розподілу домішки.

Метод дифузії полягає в тому, що домішка контактує з поверхнею монокристала напівпровідника. Потім монокристал розігрівається, унаслідок чого атоми домішки проникають всередину монокристала і заміщають атоми напівпровідника, "вибиті" зі своїх місць унаслідок теплової взаємодії.

При вивченні процесу дифузії у виробництві напівпровідникових приладів і інтегральних мікросхем слід розрізняти методи дифузії:

- дифузія по вакансіях (дифузія заміщення);
- дифузія впровадження (дифузія по міжвузлю).

Процес дифузії домішки в напівпровідникових кристалах описується двома законами Фіка.

Перший закон Фіка показує, що процес дифузії домішок в монокристалах напівпровідника, який має кубічну кристалічну решітку, носить ізотропний характер і записується у вигляді рівняння:

$$I = -D\nabla N \quad (2.1)$$

де I – щільність струму атомів домішки, вимірювана числом атомів, що проходять через одиничний майданчик за одиницю часу; D – коефіцієнт дифузії; ∇ – градієнтний оператор; N – концентрація атомів, що дифундують в одиниці об'єму.

Таким чином, перший закон Фіка свідчить, що щільність струму атомів домішки, які дифундують углиб монокристала напівпровідника, пропорційна градієнту концентрації. При цьому коефіцієнтом пропорційності є коефіцієнт дифузії, В практичних розрахунках параметрів дифузійних шарів зазвичай користуються одновимірними моделями. У цьому випадку перший закон Фіка набирає вигляду:

$$I = -D \frac{\partial N}{\partial x} \quad (2.2)$$

Другий закон Фіка характеризується швидкістю зміни концентрації домішки в часі. Закон свідчить, що швидкість зміни концентрації пропорційна другій похідній від цієї концентрації домішки по відстані і для одновимірного випадку записується таким чином:

$$\frac{\partial N(x, t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 N}{\partial x^2} \quad (2.3)$$

Рівняння закону Фіка (3.3) є вельми зручним для розрахунку параметрів дифузійних шарів. Розв'язання цього рівняння за певних граничних умов дає вираження концентрації домішки як функції двох змінних – часу дифузії і відстані від поверхні пластин монокристала напівпровідника.

Особливу увагу слід приділити коефіцієнту дифузії D , що входить як коефіцієнт пропорційності в перше і друге рівняння Фіка.

Коефіцієнт дифузії пов'язаний з температурою процесу залежністю:

$$D(T) = D_0 \exp\left(-\frac{\Delta E}{RT}\right), \quad (2.4)$$

де T – температура в Кельвінах; D_0 і R постійні; ΔE – енергія активації для дифузії домішки в кристалі, що являється величиною постійною для даного типу кристала і даної домішки.

Логарифмуючи (3.4), отримаємо:

$$\ln D(T) = \left(\frac{1}{T}\right)\left(-\frac{\Delta E}{R}\right) + \ln D_0 \quad (2.5)$$

Звідси видно, що залежність

$$\ln D(T) = f\left(\frac{1}{T}\right)$$

має лінійний характер з коефіцієнтом пропорційності:

$$-\frac{\Delta E}{R}.$$

Дана залежність представляє великий практичний інтерес, оскільки дозволяє легко визначити коефіцієнти дифузії для домішок, що дифундують по

вакансіях, залежно від температури. Графіки вказаної залежності для найважливіших домішок в кремнії представлені на рисунку 2.1.

У напівпровідниковому виробництві зазвичай застосовують різні методи дифузії, проте всі вони можуть бути розділені на два класи.

У першому випадку поверхнева концентрація атомів домішки зменшується в ході процесу дифузії (обмежене джерело), а в другому - поверхнева концентрація залишається постійною протягом всього часу проведення операції (необмежене джерело). При цьому розв'язання другого закону Фіка будуть різними.

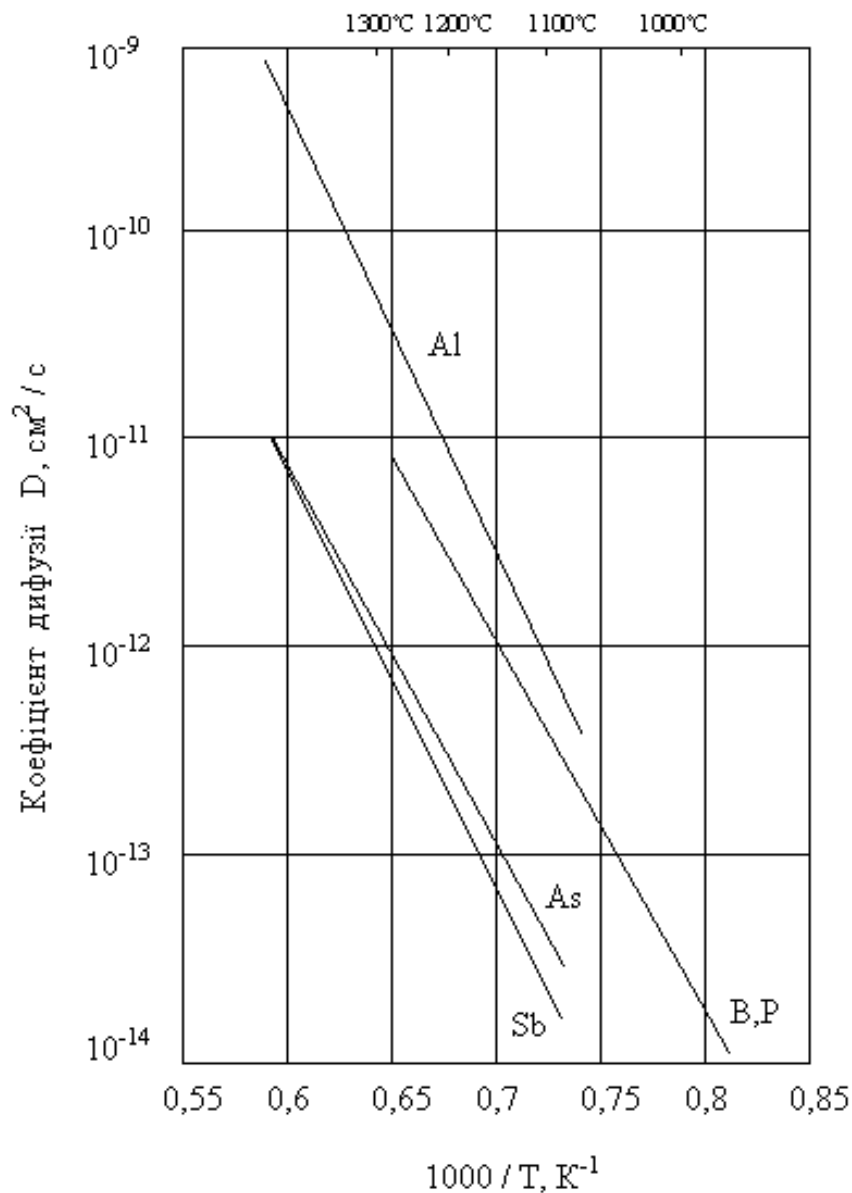


Рисунок 2.1 – Залежність коефіцієнта дифузії для домішок, що дифундують по вакансіях, від температури

2.1.1 Математичне моделювання профілю розподілу домішок при дифузії

У випадку слабого легування поверхнева концентрація атомів домішки зменшується в ході процесу дифузії (обмежене джерело). При таких умовах розподіл домішки відбувається згідно з нормальним законом.

Вирішенням рівняння (2.3) буде функція Гауса:

$$N(x,t) = \frac{Q}{\sqrt{\pi Dt}} \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right) \quad (2.6)$$

де Q – кількість атомів домішки, нанесених на поверхню пластин перед початком дифузії (атом/см²).

У випадку сильного легування поверхнева концентрація залишається постійною протягом всього часу проведення операції (необмежене джерело). При таких умовах розподіл домішки відбувається згідно з додатковим інтегралом вірогідності.

Вирішенням рівняння (2.3) є erfc-функція:

$$N(x,t) = N_0 \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) \quad (2.7)$$

де N_0 – поверхнева концентрація атомів домішок, що дифундують. erfc-функція добре вивчена в математичній статистиці (табл 2.1).

Таблиця 2.1 – Значення функції додаткового інтеграла вірогідності

Z	erfc Z	Z	erfc Z	Z	erfc Z
0		1,00	0,15730	2,00	0,00468
0,10	1,00000	1,10	0,11980	2,10	0,00298
0,20	0,88754	1,20	0,08969	2,20	0,00186
0,30	0,77730	1,30	0,06599	2,30	0,00114
0,40	0,67137	1,40	0,04772	2,40	0,000689
0,50	0,57161	1,50	0,03390	2,50	0,000407
0,60	0,47950	1,60	0,02365	2,60	0,000236
0,70	0,39614	1,70	0,01621	2,70	0,000134

0,80	0,32220	1,80	0,01091	2,80	0,000075
0,90	0,25790	1,90	0,00721	2,90	0,000041
				3,00	0,000022

При розрахунках зручно користуватися графіками, приведеними на рисунку 2.2, проте при цьому декілька зменшується точність обчислень.

Поверхнева концентрація атомів домішки не може бути необмежено великою: вона має поверхневу межу і характеризується твердою розчинністю. Тверда розчинність – це найвища концентрація елементу, яка може бути досягнута в твердому розчині за даною температурою. На рисунку 2.3 приведені залежності твердої розчинності деяких дифузантив в кремнії від температури.

Процеси ізольуючої і емітерної дифузії при виготовленні інтегральних мікросхем приблизно підкоряються розподілу по додатковому інтегралу вірогідності. Для базової дифузії прийнято вважати, що вона підкоряється нормальному закону.

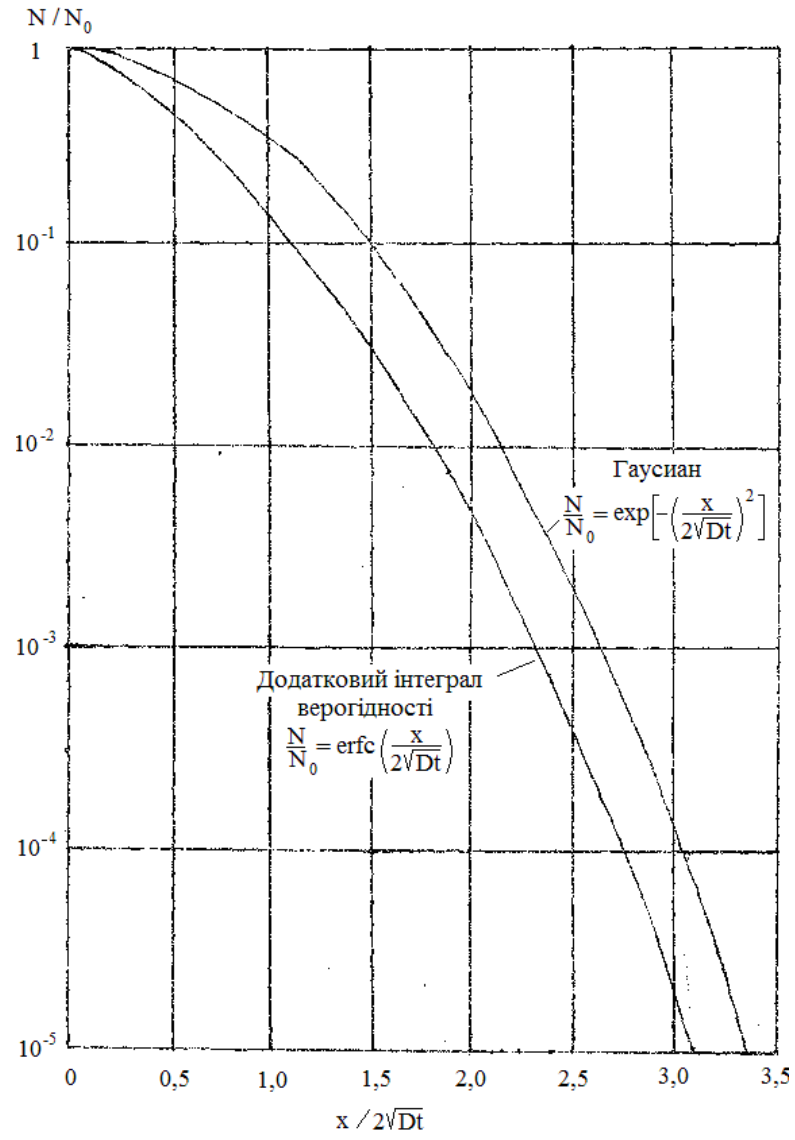


Рисунок 2.2 - Додатковий інтеграл вірогідності і функція нормального розподілу (гаусіан)

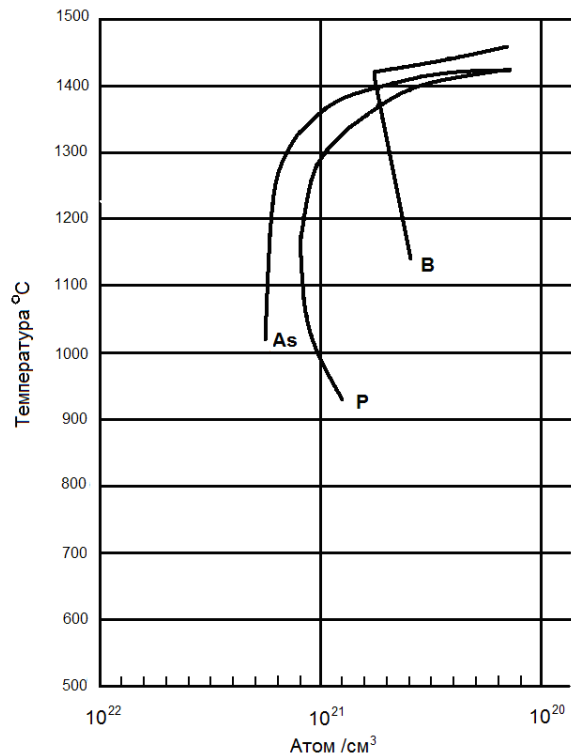


Рисунок 2.3 – Тверда розчинність деяких домішок в кремнії

2.2 Виробництво структур на основі аморфного кремнію

Виробництво структур на основі монокристалічного кремнію, що задовольняють цим вимогам процес технологічно складний і дорогий. Тому увагу інженерів було звернуто на такі матеріали, як сплави на основі аморфного кремнію, арсенід галію і полікристалічні напівпровідники.

Для ефективної роботи сонячних елементів необхідно дотримання ряду умов:

- оптичний коефіцієнт поглинання (α) активного шару напівпровідника повинен бути достатньо великим, щоб забезпечити поглинання значної частини енергії сонячного світла в межах товщини шару;
- генеруються при висвітленні електрони і дірки повинні ефективно збиратися на контактних електродах з обох сторін активного шару;
- сонячний елемент повинен володіти значною висотою бар'єру в напівпровідниковому переході;

- повний опір, включене послідовно з сонячним елементом (виключаючи опір навантаження), має бути малим для того, щоб зменшити втрати потужності (джоулево тепло) в процесі роботи;

- структура тонкої плівки повинна бути однорідною по всій активній області сонячного елемента, щоб виключити закорочування і вплив шунтуючих опорів на характеристики елемента.

Аморфний кремній (a-Si: H) виступив в якості більш дешевої альтернативи монокристалічному. Перші сонячні елементи на його основі було створено в 1975 р. Оптичне поглинання аморфного кремнію в 20 разів вище, ніж кристалічного, тому для істотного поглинання видимого світла досить плівки аморфного кремнію товщиною 0,5-1,0 мкм замість дорогих кремнієвих підкладок товщиною 300 мкм . Крім того, завдяки існуючим технологіям отримання тонких плівок аморфного кремнію великої площі не потрібно операції різання, шліфування й полірування, необхідних для СЕ на основі монокристалічного кремнію. У порівнянні з кристалічними кремнієвими елементами виробли на основі аморфного кремнію виробляють при більш низьких температурах (300 ° С), тому можна використовувати дешеві скляні підкладки, що скорочує витрату кремнію в 20 разів.

Поки максимальний коефіцієнт корисної дії експериментальних елементів на основі a-Si: H становить 12%, що трохи нижче, ніж для кристалічних кремнієвих ($\approx 15\%$). Однак не виключено, що з розвитком технології ККД елементів на основі a-Si: H досягне теоретичної стелі в 16%. Найбільш прості конструкції сонячних елементів з a-Si: H були створені на основі структури метал-напівпровідник (діод Шотткі) (рис. 2.4).

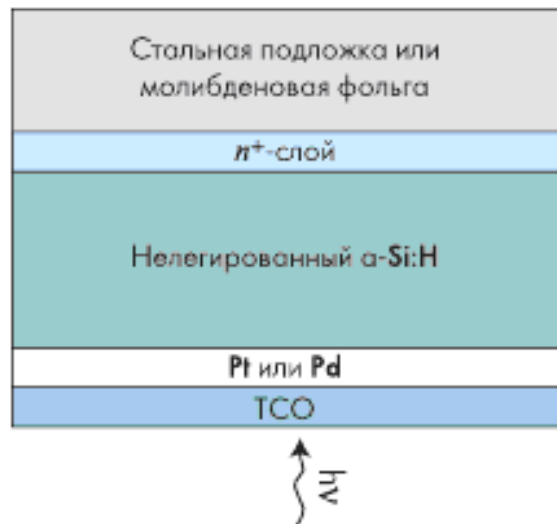


Рисунок 2.4 - Конструкція фотоелементу с бар'єром Шотткі

Незважаючи на видиму простоту, їх реалізація досить проблематична - металевий електрод повинен бути прозорим і рівномірним по товщині, а їхні капітали на кордоні метал / a-Si: H - стабільними е fcs. Найчастіше СЕ на основі a-Si: H формують на стрічці з нержавіючої сталі або на скляних підкладках, покритих провідним шаром.

При використанні скляних підкладок на них наносять прозору для світла провідну оксидну плівку з SnO₂, In₂O₃ або SnO₂ + In₂O₃ (Indium tin oxide - ITO), що дозволяє висвітлювати елемент через скло.

Оскільки у нелегованого шару електронна провідність виражена слабо, бар'єр Шотткі створюється за рахунок осадження металевих плівок з високою роботою виходу (Pt, Rh, Pd), яка зумовлює утворення області позитивного об'ємного заряду (збідненого шару) в a-Si: H.

Більш високою ефективністю володіють СЕ на основі аморфного кремнію з р-і-п-структурою. У цьому "заслуга" широкої нелегованої і-області a-Si: H, що поглинає істотну частку світла. Але виникає проблема - дифузійна довжина дірок в a-Si: H дуже мала (~ 100 нм), тому в сонячних елементах на основі a-Si: H носії заряду досягають електродів в основному тільки завдяки внутрішньому електричному полю, тобто за рахунок дрейфу носіїв заряду. У СЕ на основі кристалічних напівпровідників носії заряду, маючи велику ди-

фузійну довжину (100 - 200 мкм), досягають електродів і під час відсутності електричного поля.

Для отримання ефективних СЕ на основі р-і-n-Сруктура аморфного гідрогенізованого кремнію необхідно домогтися у всій і-області однорідного потужного внутрішнього електричного поля. Задача вирішується, якщо при виготовленні р-і-n-структури першим формувати р-шар (рис. 2.5). Для його створення необхідно невелика кількість бору ($<10^{18} \text{ см}^{-3}$), а значить, істотно-го забруднення нелегованого шару не відбувається. У той же час, якщо першим осаджувати n-шар, то наявність залишкового фосфору змінює властивості і-шару.

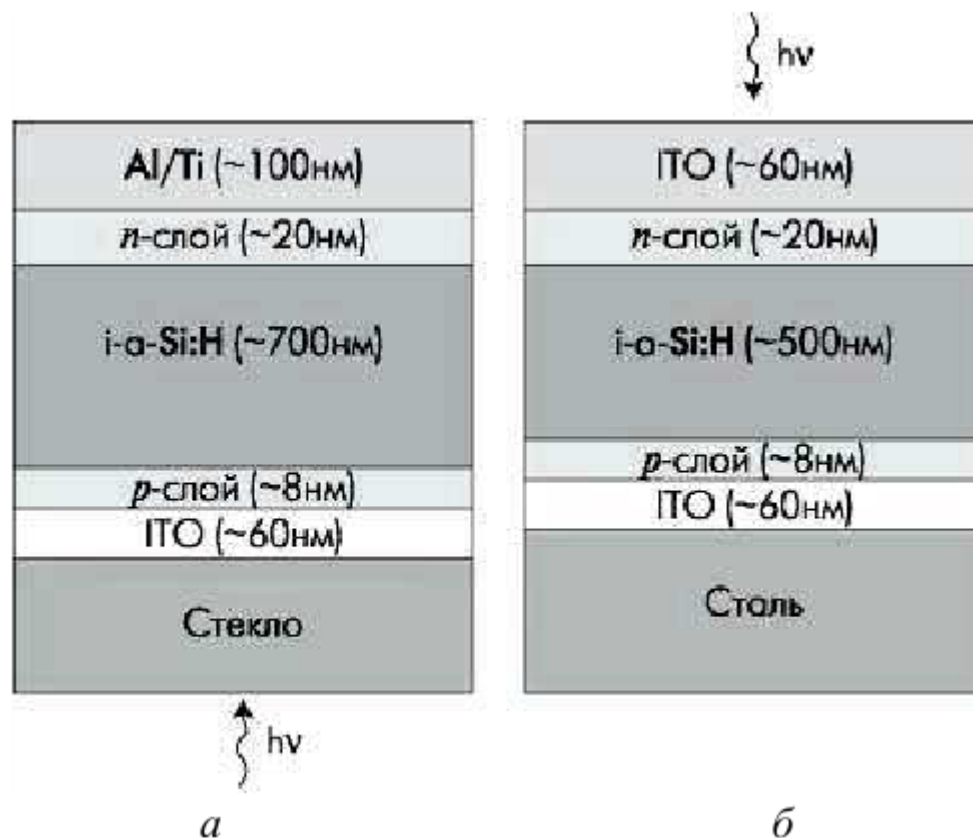


Рисунок 2.5 - Сонячні елементи на основі аморфного кремнію на скляній (а) та сталійній (б) підкладках

Дешевизна і простота виготовлення сонячних батарей з аморфного кремнію зробили цей різновид СБ найбільш масовим і популярним на ринку. Однак є області, де основну роль відіграють інші фактори – високий коефіціє-

ент корисної дії, малі масо-габаритні параметри, стійкість до жорстких зовнішніх впливів і т. п. Зокрема, подібні вимоги пред'являються до сонячних батарей космічних апаратів. Такі СБ виробляються на основі бінарних, трійних і більш важких напівпровідникових з'єднань, таких, як арсенід галію GaAs, телурид кадмію CdTe, диселенід міді-індію CuInSe₂ и др. (рис. 2.6).

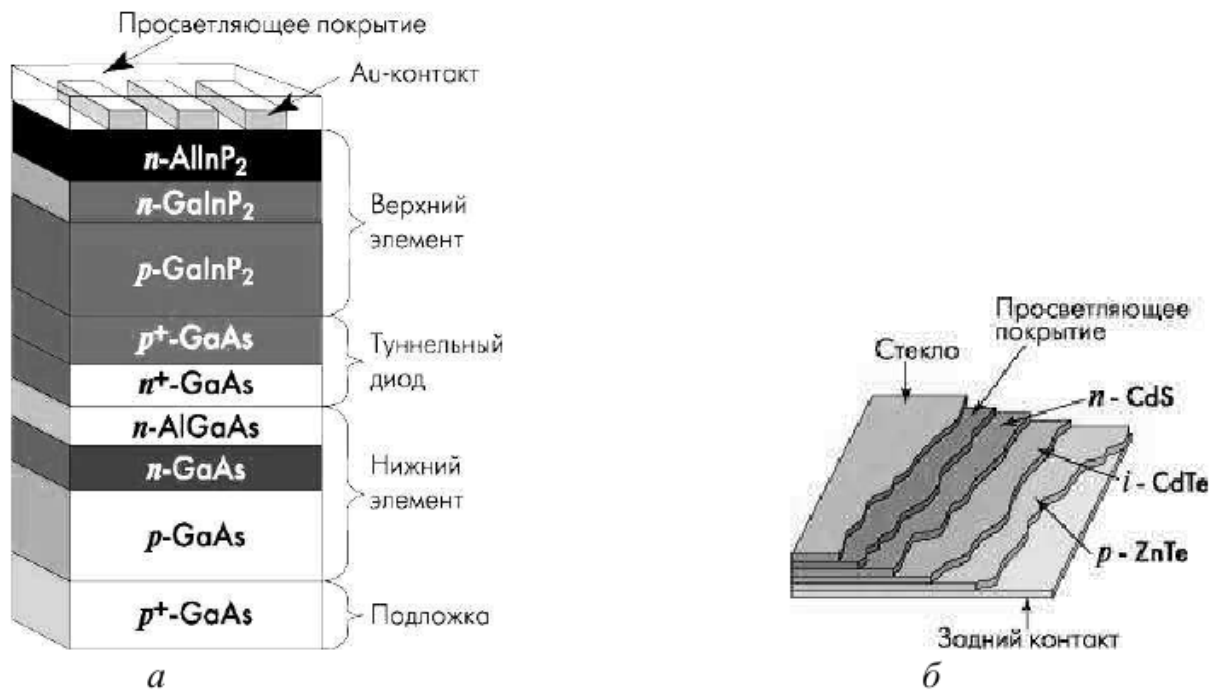


Рисунок 2.6 - Сонячні батареї на основі гетероструктур з напівпровідників A_{III}B_V (а) и A_{II}B_{VI} (б)

При аналізі різних варіантів сонячних батарей для космічних апаратів видно, що при однаковій потужності більший к.к.д. і, відповідно, менші розміри мають СБ на основі складних напівпровідникових з'єднань.

Серед СЕ особливе місце займають батареї, що використовують органічні матеріали. Зокрема, к.к.д. сонячних елементів на основі діоксиду титану, покритого органічним барвником, дуже високий і становить $\approx 11\%$. Важливо, що підкладками в таких елементах можуть виступати полімерні плівки.

Для сонячної батареї на контакті Шотткі використовують фталоціанін - органічний напівпровідник р-типу. У ньому найбільш приваблюють висока фотопровідність у видимій області спектра і термічна стабільність.

Фулерени (C₆₀) також дуже перспективні для органічних сонячних батарей на основі гетероструктур C₆₀ / p-Si в зв'язку з їх здатністю до сильного поглинання в короткохвильовій області сонячного спектра.

На думку вчених, головна специфічна особливість нового економічного механізму - зробити охорону навколишнього середовища складовою частиною виробничо-комерційної діяльності, щоб господарник, підприємець був зацікавлений в охороні навколишнього середовища не менше, ніж він зацікавлений у випуску конкурентоспроможної продукції [5].

Контрольні питання

1. Дайте визначення сонячної батареї.
2. На яких структурах можливе спостереження вентильного фотоефекту?
3. Поясніть, у чому складається явище внутрішнього фотоефекту.
4. Що таке власна фотопровідність?
5. Чим визначається напрям інжекції електронів при контакті двох матеріалів?
6. З яких складових складається повний струм, що протікає через p-n-перехід?
7. Використовуючи формулу для повного струму через p-n-перехід і закон Ома для зовнішньої ланцюга, отримаєте формулу фотоерс вентильного фотоелемента.
8. Що таке фотоерс «холостого ходу»?
9. Покажіть на графіку вольт-амперної характеристики фотоелемента точку, відповідну максимальній потужності, що віддається фотоелектричним генератором в зовнішній ланцюг.
10. Назвіть основні фактори, що визначають ефективність робіт сонячних батарей.

3 Сонячні електростанції

3.1 Конструкції сонячних батарей

Сонячна батарея складається з окремих сонячних елементів, які з'єднуються послідовно й паралельно для того, щоб побільшати вихідні значення струму й напруги. При послідовному з'єднанні елементів збільшується вихідна напруга, при паралельному з'єднанні збільшується вихідний струм. Для того, щоб збільшити і струм, і напругу комбінують два ці способи з'єднання. Крім того, при такому способі з'єднання вихід з ладу одного із сонячних елементів не приводить до виходу з ладу всього ланцюжка, тобто підвищує надійність роботи всієї батареї. Таким чином, сонячна батарея складається з послідовно з'єднаних сонячних елементів. Величина максимально можливого струму, що віддається батареєю прямо пропорційна числу паралельно включених елементів, а величина вихідної напруги пропорційна числу послідовно включених елементів. Так комбінуючи типи з'єднання, збирають батарею з необхідними параметрами.

Потужність сонячної батареї завжди нижче, ніж сума потужностей модулів - через втрати, обумовлених різницею в характеристиках однотипних модулів (втрат на неузгодженість). Чим ретельніше підібрані модулі в батареї (тобто, чим менше різниця в характеристиках модулів), тим нижче втрати на неузгодженість. Наприклад, при послідовному з'єднанні десяти модулів з розкидом характеристик 10% втрати становлять приблизно 6%, а при розкиді 5% - знижуються до 2%.

У разі затінення одного модуля, або частини елементів в модулі, в сонячній батареї при послідовному з'єднанні з'являється "ефект гарячої плями" - затінений модуль (або елемент) починає розсіювати всю вироблену освітленими модулями (або елементами) потужність, стрімко нагрівається і виходить з ладу. Для усунення цього ефекту паралельно з кожним модулем (або його частиною) встановлюють шунтуючий діод. Діод потрібен при послідовному з'єднанні більше двох модулів. До кожної ланцюжка (послідовно з'єднаних

модулів) також підключається блокуючий діод для вирівнювання напружень лінійок. Всі ці діоди як правило розміщуються в сполучній коробці самого модуля. Схема батареї приведена на малюнку 3.1.

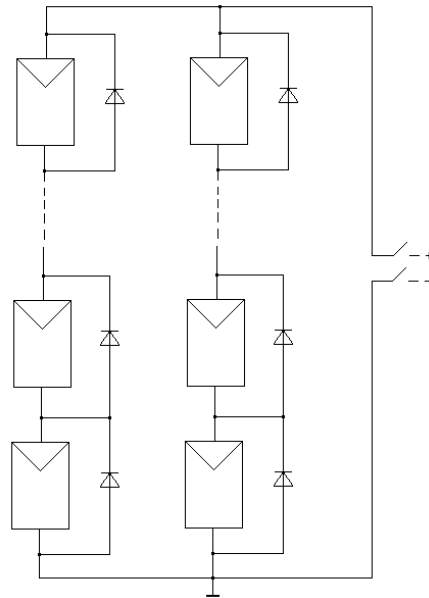


Рисунок 3.1 – Схема сонячної батареї

Вольт-амперна крива сонячної батареї має той же вигляд, що і одиничного модуля. Робоча точка батареї, підключеної до навантаження, не завжди збігається з точкою максимальної потужності (тим більше, що положення останньої залежить від умов освітленості і температури навколишнього середовища). Підключення таких навантажень, як, наприклад, електродвигун, може зрушити робочу точку системи в область мінімальної або навіть нульовою потужності (і двигун просто не запуститься). Внаслідок цього наступний важливий компонент сонячної батареї - перетворювачі напруги, здатні узгоджувати сонячну батарею з навантаженням. Загальна схема сонячної електростанції має показана на малюнках 3.2 і 3.3. Сонячна електростанція - інженерна споруда, що служить перетворення сонячної радіації в електричну енергію. Способи перетворення сонячної радіації різні й залежать від конструкції електростанції.

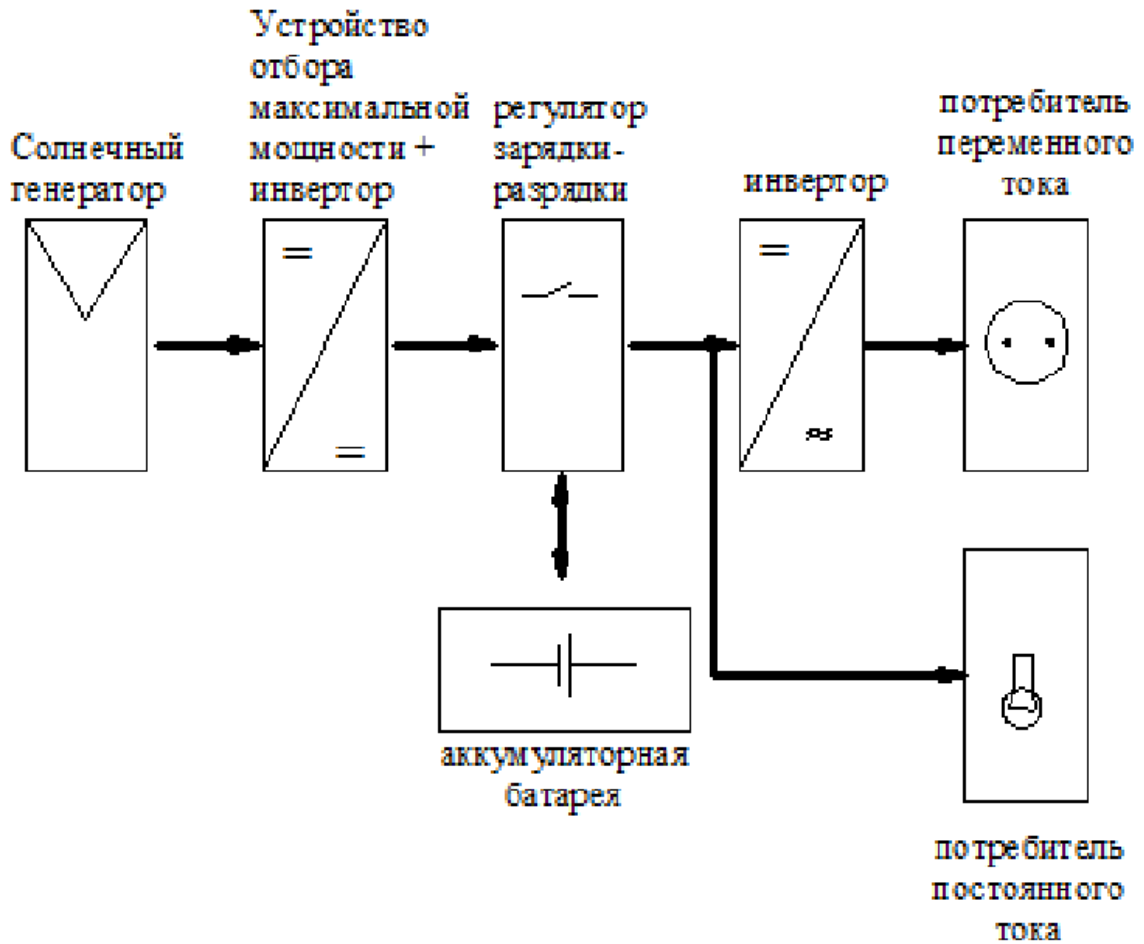


Рисунок 3.2 Схема автономной солнечной электростанции

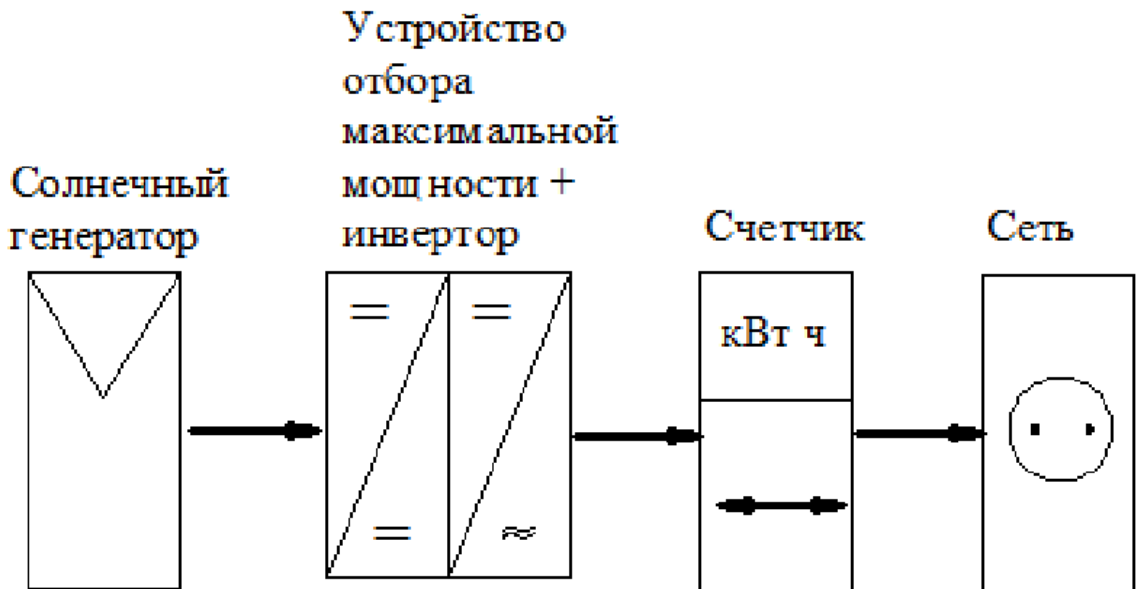


Рисунок 3.3 Схема солнечной электростанции, объединенной с промышленной электросетью

Конструктивно сонячна батарея являє собою плоску панель, що складається з розміщених на ній фотоелементів і електричних з'єднань, захищену з лицьової сторони прозорим твердим покриттям. Число фотоелементів у батареї може бути різним, від декількох десятків до декількох тисяч. Площа панелі в більших промислових сонячних батареях може досягати тисячі квадратних метрів, а максимальна генерує потужність - десятків кіловат. Як приклад на рис. 3.47 показаний приклад використання сонячної батареї на основі кристалічного кремнію. На цьому Рис.: 1 - панель сонячної батареї; 2 - комутатор; 3 – акумулятор; 4- споживач. Сонячна батарея, при нормальному сонячному висвітленні, генерує потужність 20...25 Вт, при напрузі 13 В, що цілком достатньо для живлення, наприклад, переносного комп'ютера. У могутніших сонячних батареях, наприклад у батареях фірми RZMP, використані фотоелектричні елементи виготовлені на основі мультикристалічного напівпровідникового кремнію, що мають покриття, що просвітлює, нітрид кремнію й срібні контактні смужки - контакт для зняття струму.

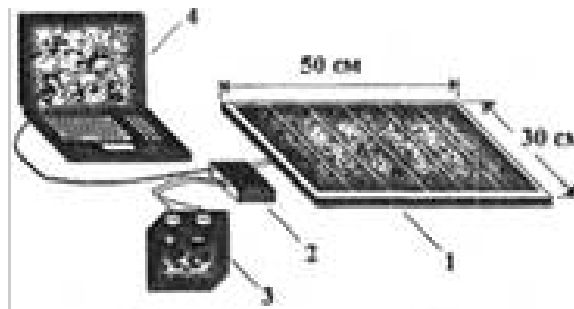


Рис. 3.4 - Приклад використання сонячної батареї малої потужності

Сонячні фотоелектричний модуль являє собою цілу плиту з алюмінієвого профілю, у якій між двома шарами герметизуючої плівки укладені фотоперетворювачі послідовно з'єднані між собою мідною шиною. Прозорою ізоляцією служить високоміцне загартоване скло. На внутрішній стороні сонячного модуля встановлена розподільна коробка з діодним блоком усередині.

ні (для мінімізації втрат потужності при затемненні) з виведеними в неї контактами.

Зовнішній вигляд сонячної батареї типу RZMP-220 показано на рис. 3.5. Така сонячна батарея має наступні характеристики: геометричні розміри - $1642 \times 948 \times 34$ мм; максимальна потужність - 200 Вт; струм короткого замикання - 7,5 А; напруга холостого ходу – 35,7 В.

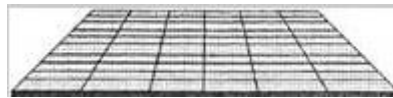


Рис. 3.5 - Зовнішній вигляд сонячної батареї типу RZMP-220

Сонячні батареї забезпечують більшу автономність і незалежність від ліній електропередач. Сонячна електрика має багато переваг: - це чисте, тихе й надійне джерело енергії, особливо у вилучених районах, де немає централізованого електропостачання. Фотоелектричні системи протягом усього строку експлуатації генерують значно більше енергії, чим було витрачено при їхнім виробництві. У сонячних країнах, подібних Іспанії, сонячні батареї за 2 року повертають енергію, витрачену на їхнє виробництво, а служать приблизно 25 років. Як приклад можна привести дані, про сонячну батарею, виготовлену з фотоелектричних елементів в основі кристалічного кремнію, встановленої на одному з ранчо в штаті Техас. Ця сонячна батарея, встановлена на нерухливій підставі, при нормальному освітленні генерує потужність близько 6 кВт (рис. 3.6).

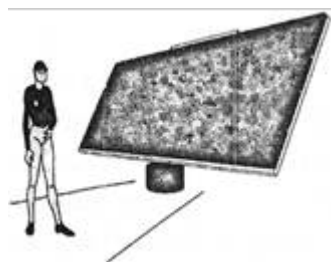


Рис. 3.6 - Сонячна батарея потужністю 6 кВт.

Однак, у цей час, головне застосування сонячні батареї знайшли в космонавтиці, де вони займають основне місце серед інших джерел автономного енергоживлення. Сонячні батареї постачають електроенергію апаратурі супутників і системи життєзабезпечення космічних кораблів і станцій, а також заряджають електрохімічні акумулятори, використовувані на тіньових ділянках орбіти.

На міжнародній космічній станції (МКС) сонячні батареї мають наступний пристрій: дві гнучкі складні панелі сонячних батарей утворюють так зване крило сонячної батареї, усього на фермових конструкціях станції розміщено чотири пари таких крил. Кожне таке крило має довжину 35 м і ширину 11,6 м, а його корисна площа становить 298 м². Вироблена кожних таким крилом, сумарна потужність досягає 32,8 кВт. Сонячні батареї генерують постійну напругу від 115 до 173 Вольт, яке потім, за допомогою спеціальних перетворювачів, трансформується в стабілізовану, постійну напругу, величиною 124 Вольта. Це стабілізована напруга безпосередні використовується для живлення електроустаткування станції. Станція робить один оберт навколо Землі за 90 хвилин і приблизно половину цього часу вона проводить у тіні Землі, де сонячні батареї не працюють. Тоді її електропостачання походить від буферних нікель-водневих акумуляторних батарей, які підзаряджаються, коли МКС знову виходить на сонячне світло.

Як приклад використання сонячних батарей на космічних апаратах на рис. 3.7. показаний зовнішній вигляд супутнику й панелі сонячних батарей на супутнику "Космос-242". Тут використовувалися фото чутливі елементи виготовлені на основі кристалічного кремнію. Загальна площа сонячних батарей на цьому супутнику становила приблизно 52 м², що дозволило генерувати потужність близько 5 кВт.



Рис. 3.7 - Сонячна батарея, установлена на супутнику "Космос-242"

На рис. 3.8. а, б. наведений загальний вид і панелі сонячних батарей установлених на космічних станціях "Союз" і "Мир". На станції "Мир" площа сонячних батарей становила 114 квадратних метрів, і вони давали 10.1 кіловат потужності. З метою найбільш оптимального використання сонячного випромінювання, для одержання максимальної віддачі потужності, сонячні батареї постійно розверталися, за допомогою електричних моторів, перпендикулярно напрямку падаючого на них світла. Практично у всіх сучасних системах космічних станцій сонячні батареї закріплені рухливо, щоб дозволити їм розвертатися, не розвертаючи всього космічного корабля.



Рис. 3.8 - а. Зовнішній вигляд космічної станції "Союз". 1-сонячні батареї; 2- корпус станції

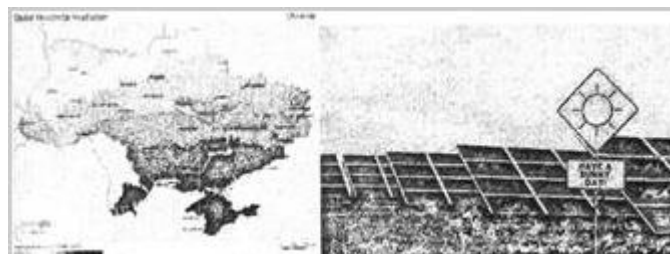


Рис. 3.8 - б. Зовнішній вигляд космічної станції "Мир". 1- сонячні батареї

У перспективі, альтернативою кремнієвим сонячним батареям можуть стати полімерні сонячні батареї. Це нова технологія, над розвитком якої пра-

цюють десятки науково - дослідницьких інститутів і фірм по усьому світу. Полімерний фотоелемент – це плівка, яка складається з активного шару (полімеру), електродів з алюмінію, гнучкої органічної підкладки й захисного шару.

Для створення рулонних полімерних сонячних батарей окремі плівкові фотоелементи поєднують між собою. Гідності полімерних сонячних батарей у порівнянні зі звичайними - кристалічними: компактність, легкість, гнучкість. Такі батареї недорогі у виробництві (для їхнього виготовлення не використовується дорогий кремній) і екологічні, тому що вони виявляють на навколишнє середовище менш значний вплив. Недолік поки один - ефективність перетворення сонячної енергії полімерних сонячних батарей поки дуже низька. Цей недолік і обмежував створення таких батарей на рівні зразків - прототипів. Перші полімерні батареї в промислових масштабах почали випускати в Данії. Ці сонячні батареї має ККД в 6,5% при освітленості в 0,2 вата на квадратний сантиметр. Це найвищий рівень, досягнутий для сонячних батарей з органічних матеріалів. І хоча кращі кремнієві сонячні батареї мають ККД 40%, проте, до полімерних батарей в усьому світі проявляють дуже сильний інтерес. Виробництво полягає в багатошаровій пресі сонячного фотоелемента на гнучку плівку, яку потім можна скручувати, розрізати й робити із плівки сонячні батареї абсолютно будь-яких розмірів. В Україні провідним виробником сонячних батарей є ВАТ "Квазар".

3.2 Типи сонячних електростанцій

Всі сонячні електростанції (СЕС) підрозділяють на декілька типів:

- СЕС башневого типу;
- СЕС тарільчатого типу;
- СЕС, що використовують фотобатареї;
- СЕС, що використовують параболічні концентратори;
- Комбіновані СЕС;
- Аеростатні сонячні електростанції.

3.2.1 СЕС башневого типу

Дані електростанції засновані на принципі отримання водяної пари з використанням сонячної радіації. У центрі станції стоїть вежа висотою від 18 до 24 метрів (в залежності від потужності і деяких інших параметрів висота може бути більше або менше), на вершині якої знаходиться резервуар з водою. Цей резервуар покритий чорним кольором для поглинання теплового випромінювання. Також в цій вежі знаходиться насосна група, що доставляє пар на турбогенератор, який знаходиться поза вежі. По колу від вежі на деякій відстані розташовуються геліостати. Геліостат - дзеркало площею в кілька квадратних метрів, закріплене на опорі і підключений до загальної системи позиціонування. Тобто, в залежності від положення сонця, дзеркало буде міняти свою орієнтацію в просторі. Основна і найбільш трудомістка задача - це позиціонування всіх дзеркал станції так, щоб в будь-який момент часу всі відбиті промені від них потрапили на резервуар. У ясну сонячну погоду температура в резервуарі може досягати 700 градусів. Такі температурні параметри використовуються на більшості традиційних теплових електростанцій, тому для отримання енергії використовуються стандартні турбіни. Фактично на станціях такого типу можна отримати порівняно великий ККД (близько 20%) і високі потужності.

Приклад: Сонячна вежа, Севілья, Іспанія. Побудована в 2007 СЕС в Криму. У Криму була побудована СЕС такого ж типу в Щолкіно як резервне джерело електрики для планованої там АЕС. Але за великим рахунком, ця станція була експериментальною: її потужність 5 МВт. При експлуатації цієї станції було виявлено безліч труднощів. Одна з них - система позиціонування відбивачів практично повністю (95%) витрачала енергію, що виробляється станцією. Також виникали труднощі з очищенням дзеркал. Незабаром ця станція припинила своє існування і була розкрадена.

3.2.2 СЕС тарільчатого типу

Даний тип СЕС використовує принцип отримання електроенергії, схожий з таким у Баштових СЕС, але є відмінності в конструкції самої станції. Станція складається з окремих модулів. Модуль складається з опори, на яку кріпиться фермова конструкція приймача і відбивача. Приймач знаходиться на деякому віддаленні від відбивача, і в ньому концентруються відбиті промені сонця. Відбивач складається з дзеркал у формі тарілок (звідси назва), радіально розташованих на фермі. Діаметри цих дзеркал досягають 2 метрів, а кількість дзеркал - декількох десятків (в залежності від потужності модуля). Такі станції можуть складатися як з одного модуля (автономні), так і з декількох десятків (робота паралельно з мережею).

3.2.3 СЭС, що використовують фотобатареї

СЕС цього типу в даний час дуже поширені, так як в загальному випадку СЕС складається з великого числа окремих модулів (фотобатарей) різної потужності і вихідних параметрів. Дані СЕС широко застосовуються для енергозабезпечення як малих, так і великих об'єктів (приватні котеджі, пансіонати, санаторії, промислові будівлі і т. Д.). Встановлюватися фотобатареї можуть практично скрізь, починаючи від покрівлі і фасаду будівлі і закінчуючи спеціально виділеними територіями. Встановлені потужності теж коливаються в широкому діапазоні, починаючи від постачання окремих насосів, закінчуючи електропостачанням невеликого селища.

3.2.4 СЭС, що використовують параболічні концентратори

Принцип роботи даних СЕС полягає в нагріванні теплоносія до параметрів, придатних до використання в турбогенераторі. Конструкція СЕС: на ферменній конструкції встановлюється параболічне дзеркало великої довжини, а в фокусі параболи встановлюється трубка, по якій тече теплоносій (най-

частіше масло). Пройшовши весь шлях, теплоносії нагрівається і в теплообмінних апаратах віддає теплоту воді, яка перетворюється в пар і надходить на турбогенератор.

2.3.5 Комбіновані СЕС

Часто на СЕС різних типів додатково встановлюють теплообмінні апарати для отримання гарячої води, яка використовується як для технічних потреб, так і для гарячого водопостачання та опалення. В цьому і полягає суть комбінованих СЕС. Також на одній території можлива паралельна установка концентраторів і фотобатарей, що теж вважається комбінованою СЕС.

Сонячна енергетика - безпосереднє використання сонячного випромінювання для отримання енергії в будь-якому вигляді. Сонячна енергетика використовує поновлюване джерело енергії є екологічно чистою, тобто не виробляє шкідливих відходів.

Виробництво енергії за допомогою сонячних електростанцій добре узгоджується з концепцією розподіленого виробництва енергії.

4 Методи і прилади виміру та дослідження сонячної інсоляції

Сонячною радіацією називається потік променистої енергії сонця, що йде до поверхні землі. На землі ця енергія перетворюється головним чином на теплову енергію. Сонячна радіація має величезне значення для найрізноманітніших процесів і явищ, що здійснюються на землі і в її атмосфері.

Інсоляцію, яка надходить до земної поверхні безпосередньо від сонячного диска, називають прямою сонячною радіацією. Відстань від Землі до Сонця дуже велика, тому пряму інсоляцію розглядають у вигляді паралельних променів, які надходять з нескінченності. Інтенсивність прямої сонячної інсоляції - це кількість променистої енергії, що падає на одиницю площі. Вона вимірюється в джоулях (Дж) за системою одиниць СІ або кіловатах (кВт). Зовні системною одиницею інтенсивності інсоляції, або теплоти, є калорія, яка дорівнює 4,19 Дж.

Безпосередньо від Сонця приходить пряма сонячна інсоляція, її інтенсивність до вступу в атмосферу, тобто на верхній межі атмосфери. називають сонячною константою. Вона залежить тільки від відстані від Сонця і за рекомендацією Міжнародної комісії з інсоляції має стандартне значення 1,37 кВт на квадратний метр.

У чистій атмосфері при високому положенні Сонця інтенсивність прямої інсоляції дорівнює 1,6 кал на квадратний см за хвилину, а на висоті 4...5 км у горах до 1,7 кал на квадратний см за хвилину.

4.1 Методи виміру інсоляції

Розрізняють геометричні (просторово-часові) і енергетичні методи розрахунку інсоляції.

Геометричні методи відповідають на питання: куди, з якого напрямку і якої площі перетину, в який час дня і року і впродовж якого часу поступає (або не поступає) потік сонячних променів.

Енергетичні методи визначають щільність потоку, створювану ним опроміненість і експозицію в променистих або ефективних (світлових, бактерицидних і ін.) одиницях виміру.

Важливим чинником є кут падіння сонячного світла на поверхню Землі. При обертанні Землі навколо Сонця її вісь не перпендикулярна напрямку на Сонце, а нахилена до нього під кутом біля $23,5^\circ$. Фактично злегка нахилені осі обертання 5 з 9 планет Сонячної системи.

Отже, сонячні промені падають на Землю не точно перпендикулярно до екватора. Замість цього точка перпендикулярного падіння переміщається протягом року то північніше, то на південь від екватора. Цей ефект відбивається в зміні пір року.

Коли Північний полюс відхилений від Сонця, як показано на рисунку 4.1, Сонце освітлює області земної кулі, що обертається значно, більше на південь від екватора; для тих, хто живе в Північній півкулі, Сонце проходить

по піднебінню низько над горизонтом. В результаті цього дні стають короткими.

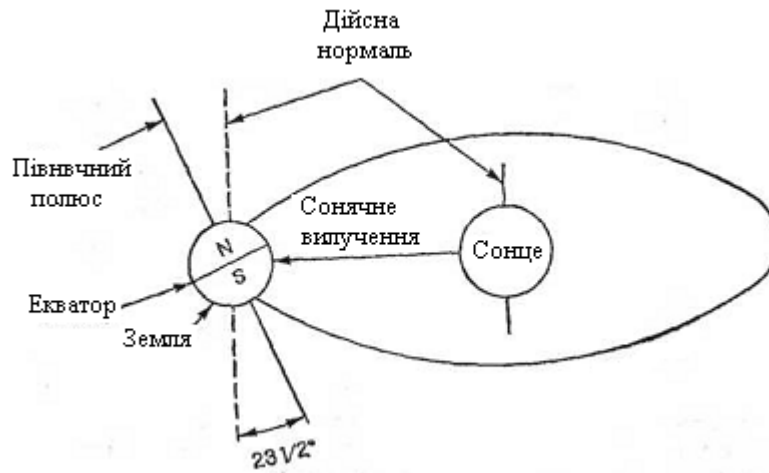


Рисунок 4.1 - Відхилення Північного полюсу від Сонця

Чим коротше дні, тим менше енергії поступає від Сонця, і настає зима.

З обертанням Землі довкола Сонця Північний полюс поступово обертається до Сонця. Весною взаємне розташування Землі і Сонця таке, що сонячна енергія падає безпосередньо на екватор.

Тим часом Земля продовжує свій рух довкола Сонця. Коли вона проходить половину орбіти, Північний полюс повертається у бік Сонця (рис. 4.2). Це дозволяє сонячній інсоляції концентрувати свою енергію на північ від екватора.

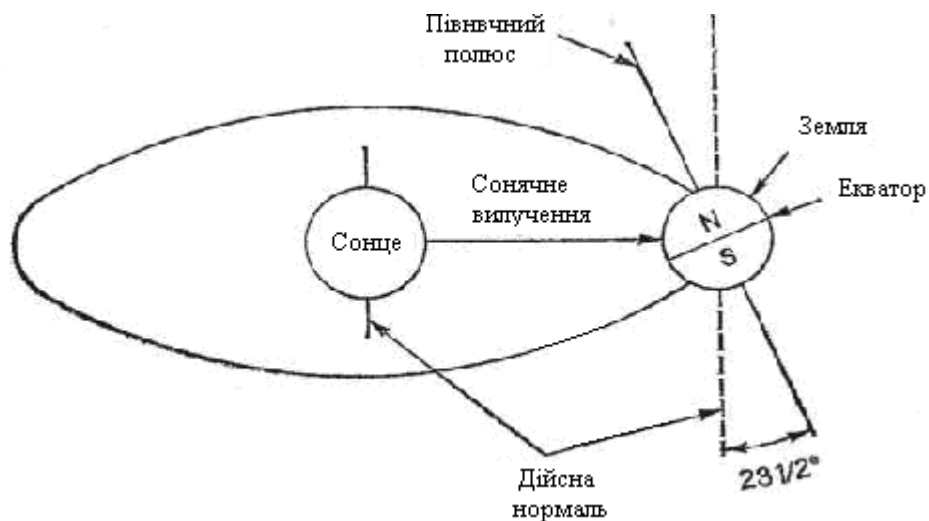


Рисунок 4.2 – Відхилення Північного полюсу у бік Сонця

Дні стають довшими, і Земля дістає можливість поглинати і запасати більшу кількість поступаючої сонячної енергії. Для нас збільшення інсоляції відчувається як настання літа. Різниця між тривалістю літнього і зимового дня для більшої частини континентальної території України складає 6 ч. Земля продовжує свою подорож, проходить повний цикл і знову приходить в початкову точку. Потім сезонний і сонячний цикли починаються знову.

Зміна висоти підйому сонця над горизонтом протягом року можна точно передбачити і легко врахувати. З іншого боку, місцеві погодні умови також помітно впливають на сонячну інсоляцію, але їх важче передбачити.

Більш всього на погоду впливають хмари. Нехай навіть не повністю закриваючи сонце, вони можуть значно ослабити проходження сонячного світла. Залежно від типу хмарності інтенсивність сонячного випромінювання може зменшуватися на 20...50 %. Особливу проблему представляє різноманітність форми і розмірів хмар. Легкі, перисті хмари лише трохи знижують кількість сонячного світла, що досягає земної поверхні. Отже, ними можна якоюсь мірою нехтувати. З іншого боку, щільні, купчасті хмари пропускають дуже мало світла. Якщо в хмарному покриві є розриви, сонце буде то появлятися, то знов пропадати. Отже, необхідно оцінити кількість сонячного світла, проникаючого через хмарний покрив.

Необхідно визначити нижній крайній рівень світла, ще доцільний для фотоелектричного перетворення. Розрахунок ведеться, якщо інтенсивність світла перевищує цей рівень. Інакше розрахунок припиняється.

Туман, дощ також вносять свої поправки. Фактично погода – єдина у своєму роді змінна умов навколишнього середовища. Ділянки місцевості, що знаходяться на відстані всього лише 50 км. один від одного, можуть мати абсолютно різні умови інсоляції. Характер місцевості, що освітлюється сонцем також є визначальним чинником в освітленості площі, на яку потрапляє сонячне випромінювання. Сонце, що заходить, ставить ще одну проблему, оскільки цілком імовірно, що вершини дерев загородять його промені.

Сукупність декількох чинників зужує кордони найбільшої продуктивності сонячного випромінювання в інтервалі приблизно від 10 ч ранку до 4 ч дня. При цьому необхідно враховувати зміну кута падіння сонячних променів при русі сонця по небосхилу протягом дня, якщо у вашому розпорядженні немає пристрою стеження за рухом Сонця. Сонячні промені, падаючі на освітлювану поверхню під дуже малим кутом, стають малопродатними для використання. Всіма вищевикладеними чинниками і визначається загальний час корисного використання сонячної енергії.

4.2 Аналіз принципу побудови дозиметрів сонячної інсоляції

При створенні будь-яких конструкцій, що використовують сонячну енергію, необхідно знати загальну кількість сонячного світла, придатного для фотоелектричного перетворення. Хоча енергія сонячного випромінювання в певні моменти часу може бути велика, рідко вдається встановити за цими миттєвими значеннями характер сонячного випромінювання протягом доби. Для цього необхідно усереднити значення сонячної енергії за тривалий період часу.

Для обліку всіх факторів, що впливають на зміну використовуваної сонячної енергії, необхідно ввести одиницю вимірювання. Найбільш ефективною є тривалість сонячного опромінення, тобто час корисного використання сонячної енергії (в годинах).

Для вимірювання тривалості сонячного опромінення необхідно підрахувати кількість годин за день, протягом яких світить сонце, тобто, кількість корисних для використання годин. На вимір впливатимуть кілька чинників:

- вплив пори року;
- місцеві погодні умови;
- характер місцевості, освітлюється сонцем.

Для того щоб встановити реальну тривалість часового інтервалу, протягом якого сонячне освітлення корисно стосовно до фотоелектричних пере-

творювачів, доцільно вибрати в якості датчика випромінювання кремнієвий сонячний елемент.

Для даної конструкції буде потрібно малопотужне джерело живлення, який генерує напругу 1,5 В при струмі 3 мА. Його можна виготовити з декількох невеликих елементів, з'єднаних послідовно. Потім сонячну батарею слід приєднати до кварцового механічного годинника, споживаючого дуже мало енергії. Коли сонячне світло попаде на фотоелектричний перетворювач, електрична енергія, що виділяється, приведе годинник в рух. Реєструючи проміжок часу за день, протягом якого працював годинник, отримуємо тривалість сонячного вилучення за день (у годинах).

Аби виявити різницю в інтенсивності сонячного вилучення, до сонячної батареї підключається резистор, який грає роль навантаження сонячних елементів, декілька знижуючи їх напругу. Поки інтенсивність світла не перевищує певний рівень, відповідний рівню корисної роботи сонячної батареї, напруги, що розвивається нею, недостатньо для живлення годинника і цей час не реєструється. Кут нахилу вісі (полярний кут) визначається географічним положенням і відповідає широті місця, в якому змонтовано пристрій. Географічна координата Запоріжжя відповідає 47° південної широти. Тоді вісь слідкуючого пристрою буде повернута на кут 47° до горизонту. На Північному полюсі вона перпендикулярна поверхні Землі (рис. 4.3).

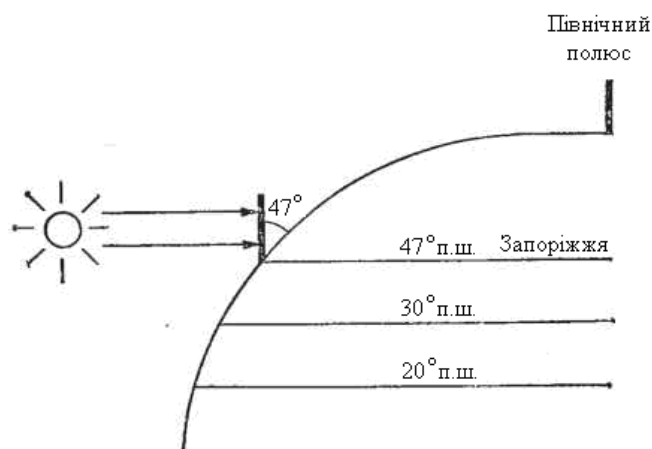
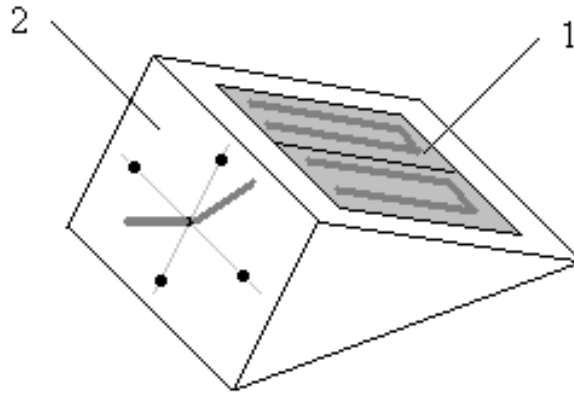


Рисунок 4.3 – Повертання вісі слідкуючого пристрою в залежності від географічної координати

Слід направити датчик на південь. Азимутальний кут сонячної батареї складає 47° (рис. 4.4).



1 – сонячний датчик інсоляції;

2 – сонячний годинник

Рисунок 4.4 – Конструкція вимірювача сонячної інсоляції

Виміри починаються рано вранці, зі світанку. Тепер до самого заходу сонця прилад фіксуватиме число годинника, протягом якого сонце дає достатню для використання кількість енергії. При цьому автоматично враховуються вплив пропливаючих хмар і періоди падіння променів під гострим кутом до поверхні (при яких на батарею падає дуже мала кількість енергії). В кінці дня можна безпосередньо зняти свідчення числа корисного сонячного годинника за день. Якщо стрілка показує на 5, значить, було 5 корисних годин.

За допомогою іншого методу можна набути сукупного значення інсоляції. Просто наголошуються свідчення щодня без переведення годинників і підраховується повна кількість зворотів стрілки впродовж виміру. В результаті виходять умови інсоляції за тривалий період часу.

Можна визначити середнє значення тривалості сонячного опромінення (у годинах) декількома різними способами: за тиждень, за сезон, за рік. Все залежить від того, які необхідні данні.

Для розробки пристрою для моніторингу сонячної інсоляції необхідно, в першу чергу, представляти якими параметрами повинен володіти фоточутливий елемент. Для цього потрібно визначити в яких межах необхідно проводити виміри. Досягти необхідних меж можна різними способами. По-перше має значення чутливість фотоелемента. Різні фотоелементи мають різні рівні чутливості, що визначається як типом елемента, так і матеріалом напівпровідників. Також різні фотоелементи мають різні рівні максимального засвічення, що теж необхідно враховувати при виборі фотоелемента. Регулювання меж вимірів може здійснюється за допомогою зміни опорів у вимірвальній схемі. При використанні резисторів з різним номіналом, можливе забезпечення декількох діапазонів вимірів. Ще один спосіб зміни меж виміру — спеціальні світлопроникні насадки для створення загального номінального коефіцієнта ослабіння.

Існує декілька різновидів фотоелементів.

Фоторезистор — напівпровідниковий прилад, що змінює величину свого опору при опроміненні світлом.

Фотодіод — приймач оптичного випромінювання, який перетворить світло, що попало на його фоточутливу область, в електричний заряд за рахунок процесів в р-п-переході.

Фототранзистор — транзистор (зазвичай біполярний), в якому інжекція нерівноважних носіїв здійснюється на основі внутрішнього фотоефекту; служить для перетворення світлових сигналів в електричні з одночасним посиленням останніх.

Фотодіод може працювати у фотодіодному і фотогальванічному режимах. У фотодіодному режимі р-п-перехід зміщується зворотною напругою, величина якої залежить від конкретного фотодіода. Чим більше напруга, тим швидше він працюватиме і тим більші струми протікатимуть через нього. Недоліком фотодіодного режиму є посилення шумів при збільшенні освітленості і постійний при цьому рівень корисного сигналу.

У фотогальванічному режимі до діода не прикладається жодна напруга, фотоелемент сам стає джерелом ЕРС з великим внутрішнім опором. Недоліком цього режиму протилежний до попереднього — при збільшенні освітленості шум залишається постійним, тоді як корисний сигнал зменшується.

У фотогальванічному режимі струм короткого замикання у фотодіоді буде прямо пропорційний освітленості. Значить слід враховувати спектральну чутливість фотодіода.

Як відомо, потужність світлового потоку в поверхні Землі на екваторі досягає $1,1 \text{ кВт/м}^2$ (на широті Запоріжжя близько $0,9 \text{ кВт/м}^2$). Приблизно 40 % цієї енергії може бути перетворено в електричну сонячними батареями. У ряді випадків доцільне використання і звичайних сонячних батарей з ККД 20%.

Головним компонентом для пристрою виміру сонячної інсоляції є мікроконтролер, який для виконання поставлених завдань повинен мати вбудований аналого-цифровий перетворювач, мати малі габарити і володіти низьким енергоспоживанням, володіти сумісністю з модулем пам'яті або володіти вбудованим.

Одним з основних елементів схеми є фоточутливий елемент, наприклад фотодіод ФД-24К. Велика площа робочої поверхні робить фотодіод дуже чутливим порівняно із стандартними фотодіодами. Власна постійна часу даного фотодіода складає 10^{-5} с, що дає можливість виробляти цикли вимірів інсоляції з необхідною частотою (рис. 4.5).

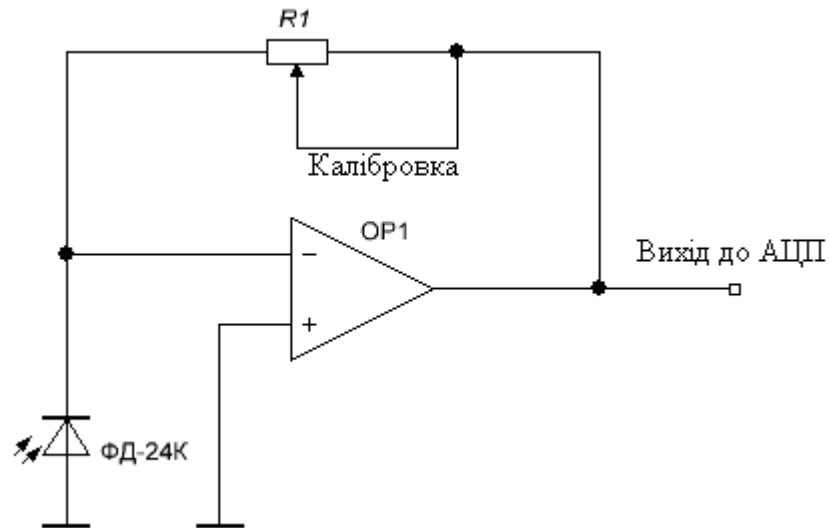


Рисунок 4.5 - Вимірювальна схема на основі операційного підсилювача

Різниця напруги на входах диференціального підсилювача завжди близька до нуля, отже, фотодіод працює в режимі короткого замикання. При цьому вхідний струм підсилювача також має дуже малу величину, що визначається високим вхідним опором, а струм через резистор зворотного зв'язку дорівнює по величині струму фотодіода, але протилежний по напрямку.

Вихідна напруга в такому разі визначатиметься як

$$U = R1 \cdot I,$$

де $R1$ - опір резистора в колі зворотного зв'язку, а I - фотострум, що формується фотодіодом.

Функціональна схема вимірювача сонячної інсоляції (рис. 4.6).

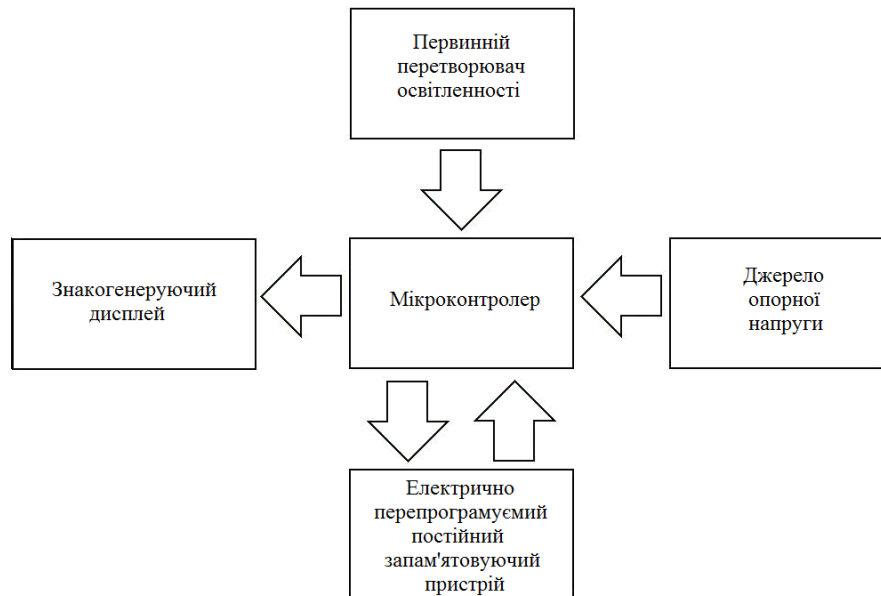


Рисунок 4.6 - Схема взаємодії основних вузлів

Пристрій вимірює щоденну інсоляцію. Мікроконтролер управляє картою пам'яті. Інтервал між записами встановлений в п'ять хвилин. Мікроконтролер автоматично визначає наявність карти пам'яті, відкриває файл і починає запис.

На ЖК-дисплеї в режимі реального часу відображається ім'я файлу, поточний номер запису і вимірне значення даних АЦП. Використання флеш-карти пам'яті дозволило реєструвати великий об'єм даних і швидко їх переглядати на персональному комп'ютері.

5 Системи слідкування за точкою максимальної потужності фотоелектричних перетворювачів

Сонячний трекер (Solar tracker) – пристрій, призначений для відстеження положення сонця і орієнтування несучої конструкції таким чином, щоб отримати максимальний ККД від сонячних батарей (або інших пристроїв, встановлених на трекері). Концепція трекера гранично проста — по декількох датчиках контролер визначає оптимальне положення для сонячної батареї і змушує серводвигун повертати платформу з пристроєм у необхідний

бік. У розрізі використання таких пристроїв у фотоелектричних системах, трекери використовуються для відстеження положення сонця і періодичного повороту сонячних панелей для максимізації вироблення електроенергії протягом дня.

5.1 Системи стеження за сонцем

Бувають двох видів:

1. З однією віссю (полярні засоби стеження, горизонтальні засоби стеження).
2. З двома вісями (активні засоби стеження або пасивні засоби стеження).

У слідкуючих системах з однією віссю, що зветься екваторіальними стежачими системами, кут нахилу осі до землі підтримується постійним. У зв'язку з цим при зміні пір року відбуватиметься постійне зниження ефективності фотоелектричного перетворення. Таким чином, сонце перпендикулярне модулю лише в одній площині. Кращі умови для систем стеження з однією віссю досягаються, якщо вісь паралельна вісі землі. Аби підтримувати точність, ці сонячні системи стеження регулюються уручну, аби компенсувати сезонні екліптичні зрушення, які відбуваються восени, зимою, весною і літом. Для здобуття максимальної ефективності необхідно вводити додаткове регулювання кута нахилу. Зручність введення регулювання залежить від конкретної установки. Змінювати величину полярного кута недоцільно, інакше пропадає сам сенс подібного стежачого пристрою. Тому необхідно підстроювати кут, під яким сонячна панель кріпиться до вісі

У слідкуючих системах з двома вісями, сонце завжди перпендикулярно батареї. Ці типи засобів стеження використовують двигуни, для управління переміщеннями, за допомогою програмованих контролерів, мікропроцесорів, або контролюючих пристроїв GPS. Вони забезпечують точне стеження сонячного переміщення. Програми в межах блоку управління використовують комбінацію сонячних алгоритмів переміщення, які регулюють обертальне

переміщення вісі в напрямках, які постійно підтримують мінімальний кут косинуса протягом всіх сезонів.

Обертальний механізм пасивного засобу стеження заснований на використанні низько киплячих стислих газів, які переміщуються або зміщуються з східної на західну сторону сонячного засобу стеження сонячним теплом, яке перетворить рідину в газ, заставляючи сонячний засіб стеження нахилитися з одного боку на інший.

У пасивного сонячного засобу стеження в порівнянні з системами стеження, з однією або двома вісями, як вважають, є ненадійна ефективність стеження. Проте, вони дійсно забезпечують кращу сонячну вихідну продуктивність, ніж сонячні платформи кріплення з фіксованим кутом.

Термін геліостат часто використовується для позначення конструкцій з сонячними батареями, проте це частково невірно. Насправді геліостат — це змонтований на верхньої поверхні опори відбивач (дзеркало) з приводом від мотора, який стежить за сонцем і відображає його світло постійно в одне і те ж місце. Геліостат із-за складності процесу руху, як правило, розміщується на вертикальній опорі і наводиться в рух азимутальною стежачою системою.

5.2 Способи орієнтації приладів сонячної енергетики

Існує три способи контролю орієнтації фотоелектричних модулів (ФМ):

1. Ручний спосіб, при якому наводка на Сонце проводиться оператором;
2. Пасивний спосіб, при якому поворот ФМ протягом дня проводиться за заданим алгоритмом управління;
3. Активний спосіб, що забезпечує постійну орієнтацію на максимальний потік сонячного випромінювання.

У системах з ручним способом наведення ФМ на Сонце проводиться оператором. Для орієнтації великої кількості ФМ використовується пульт управління загальним приводом. Точність і вироблена протягом дня потужність безпосередньо залежить від роботи оператора: його вибору кута нахилу

ФМ, кількості поворотів ФМ протягом дня і часу роботи поворотного пристрою.

Усі пасивні системи контролю мають один принцип роботи - управління швидкістю обертання ФМ, на основі розрахунково-постійних характеристиках для даного географічного положення ФМ. Вихідні величини для розробки алгоритму роботи системи контролю є постійними: географічна широта місцевості, тривалість дня для даної місцевості, зміна висоти сонця протягом дня і протягом року.

Для використання таких систем необхідні дані метеослужби для кожного конкретного місця розташування ФМ і вимагають перерахунку кута і швидкості повороту ФМ, а, отже, зміни програми. Для перерахунку і перепрограмування мікроконтролера необхідна робота фахівців, що позбавляє її універсальності і збільшує вартість установки.

Активні системи контролю набули найбільшого розвитку і поширення на сьогоднішній день. На відміну від пасивних систем активні орієнтують поверхню ФМ на максимальний потік сонячного випромінювання, іншими словами на найяскравіше пляма на небі. Використання таких систем найбільш економічно доцільно і вимагає найменшого обслуговування і втручання.

5.3 Принцип функціонування пристрою слідкування за сонцем

Пристрій стеження за сонцем складається з двох частин. Одна з них об'єднує механізм, що приводить до руху приймач сонячного вилучення, інша – електронну схему, що управляє цим механізмом.

Розроблено низку методів стеження за сонцем. Один з них заснований на кріпленні сонячних елементів на тримачі, паралельному полярній вісі [3]. Подібні пристрої зветься екваторіальними слідкуючими системами (рис. 5.1).

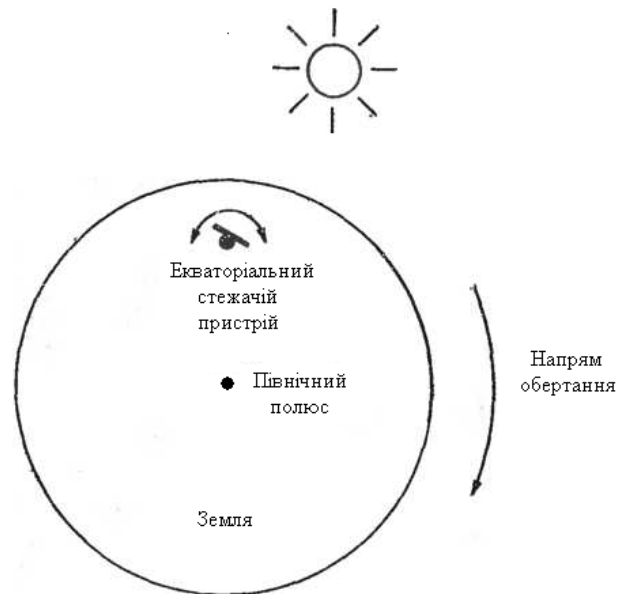


Рисунок 5.1 - Екваторіальна слідкуюча система

Завдяки обертанню Землі здається, що Сонце рухається по небосхилу. Якщо врахувати це обертання Землі, Сонце, образно виражаючись, «зупинилося» б. Так само діє екваторіальна слідкуюча система. Вона має вісь, що обертається, паралельно полярній вісі Землі. Якщо закріпити на ній сонячні елементи і обертати їх вперед і назад, вийде імітація обертання Землі.

Кут нахилу вісі (полярний кут) визначається географічним положенням і відповідає широті місця, в якому змонтовано пристрій.

Обертання сонячних елементів на схід або захід відносно цієї похилої вісі імітуватиме рух сонця по небосхилу. Якщо повертати сонячні елементи з кутовою швидкістю обертання Землі, можливо повністю «зупинити» Сонце.

Це обертання здійснюється механічною системою слідкуючого пристрою. Для обертання сонячних елементів докола вісі необхідний двигун. У будь-який момент добового руху сонця площа сонячних батарей буде тепер перпендикулярна напрямку сонячних променів.

Електронна частина слідкуючого пристрою видає ведучому механізму інформацію про положення Сонця. По електронній команді панель встановлюється в потрібному напрямі. Як тільки сонце зміститься до заходу, елект-

ронний регулятор запустить електродвигун до тих пір, поки знову не відновиться потрібний напрям панелі на Сонце.

Сонячний трекер в повній комплектації (рис. 5.2) складається з наступних вузлів.

1. Несучої конструкції, що складається з фіксованої і рухомої частин, рухома частина має одну або дві осі обертання.



Рисунок 5.2 – Повна комплектація стандартного сонячного трекера

2. Системи орієнтації (позиціонування) рухомої частини трекера, що складається з актуаторов, і пристрої управління ними.

3. Системи безпеки, що включає в себе:

- захист від блискавки;
- захист від перевантажень;
- метеостанцію, призначену для попередження системи про ураган, град, сніг, несприятливих погодних умовах. Аналізуючи дані метеостанції,

система переорієнтує трекер в положення, при якому несприятливі фактори будуть мінімізовані в період їх дії, а робочі поверхні захищені від руйнування або псування.

- стабілізатори.

4. Системи управління і інтерфейс, призначені для настройки, контролю та обслуговування енергосистеми.

5. Системи віддаленого доступу - для віддаленого моніторингу і управління трекером.

6. Системи навігації - для визначення географічного положення трекера, висоти над рівнем моря (для трекерів на мобільній базі). На стаціонарних трекерах навігація не обов'язкова. Установчі значення широти, довготи, висоти над рівнем моря місця, де ставиться трекер, вводяться постачальником при монтажі системи.

7. Інвертор - перетворює постійний струм, що надходить від корисного навантаження трекера (PV-модулів і ін.) в змінний 220В (110В) і передає його споживачеві або на приймаючу станцію, одночасно, живлячі трекер. Кількість інверторів на трекері може бути від одного до трьох. Інвертори виконуються в захищеному варіанті, або в корпусі, що встановлюється в приміщенні. Схеми підключення інверторів в системі можуть бути різними.

Необхідність повної комплектації трекера не завжди економічно доцільна, залежить від виду трекера, призначення, та інших чинників, тому в практиці часто багато зазначені вище складові елементи трекера відсутні.

Конструктив трекера повинен забезпечувати здатність витримувати сильні вітрові навантаження, при його роботі в складі енергосистеми.

Зі збільшенням розмірів робочої поверхні корисного навантаження збільшується парусність комплексу. Вага корисного навантаження теж має значення. Тому проектувальникам часто доводиться в своїх рішеннях перерозподіляти навантаження на трекер, збільшуючи габарити системи. Надійність при цьому є визначальним фактором.

Рухома частина трекера може змінювати своє положення за допомогою ручного приводу, або за допомогою одного - двох актуаторів – виконавчих пристроїв, виконаних на електродвигунах. Завдання трекера - встановити кути нахилу робочої поверхні навантаження, зорієнтувавши, її строго на сонце. Сонячні промені повинні падати перпендикулярно площині сонячної батареї.

У першому випадку пристрій управління актуаторами за допомогою декількох фотоприймачів аналізує освітленість при різних положеннях трекера і передає сигнали на актуатори до моменту, коли потік світла на всіх фотоелементах буде однаковий. Розбалансування системи через рух сонця дасть імпульс для активації нового переміщення, в напрямку до сонця. Принципові схеми таких пристроїв нескладні і недорогі. Але у них є один істотний недолік. У похмуру погоду, при опадах і забрудненні фотоприймачів система непрацездатна.

Переорієнтувати систему можна вручну, або, керуючи актуаторами, подаючи сигнали за допомогою перемикачів. Але такий спосіб прийнятний в основному для сезонної орієнтації трекерів, коли на якийсь період часу виставляється відповідний кут нахилу (на зображенні даний кут позначений як Zenith (зенітний кут нахилу сонця). Точність орієнтації при цьому невелика, постійно оператор не може перебувати у трекера, тому даний спосіб поширений мало, але для сезонної орієнтації малобюджетних систем він цілком підходить.

Управління рухом трекера по азимутальних і зенітних кутах можливо пристроєм управління, до складу якого входить таймер. При цьому актуатори починають свою роботу по добовій програмі таймера (при необхідності, і за річною програмою). Точність орієнтації при цьому не велика, так як сонце протягом року постійно змінює час місця сходу і заходу, зенітний кут. Наприклад, влітку в наших широтах зенітний кут малий, а взимку сонце йде по горизонту і зенітний кут великий. Даний спосіб прийнятний для недорогих систем.

Найбільш ефективним став спосіб управління актуаторами за програмою, яка в певні інтервали часу розраховує місце розташування сонця. За внутрішнім годинником пристрою програма на блок управління видаватиме інформацію про значення Азимутального (Azimuth) і Зенітного (Zenith) кутів, з урахуванням місця розташування трекера (широта, довгота, висота над рівнем моря), після чого виконавчим пристроєм проводиться відповідна переорієнтація трекера в розрахункове положення. Дана програма для розрахунку місця розташування сонця, називається - SPA (Алгоритм сонячної позиції).

Пристрої управління трекера можуть бути виконані на захищених комп'ютерах, PLC - програмованих логічних контролерах, або у вигляді окремих закінчених пристроїв, програмованих постачальником при поставці трекера, з прив'язкою до місцевості свого виробу. Група трекерів може управлятися одним комп'ютером, що знижує собівартість електростанції.

5.4 Схеми пристроїв слідкування за сонцем

5.4.1 Керування пристроєм стеження за сонцем за допомогою двох фоторезисторів

Для визначення позиції сонця, використовуються два фоторезистори (рис. 5.3). Мотор включений за схемою Н-моста (H-bridge), який дозволяє комутувати струм до 500 мА при напрузі живлення 6...15В. У темноті, пристрій також працездатний і повертатиме мотор на найбільш яскраве джерело світла. Схема містить мікросхему операційного підсилювача (ОП) LM1458 (К140УД20), транзистори BD139 (КТ815Г, КТ961А) і BD140 (КТ814Г, КТ626В), фоторезистори, діоди 1N4004 (КД243Г), резистори і підстроєчні резистори.

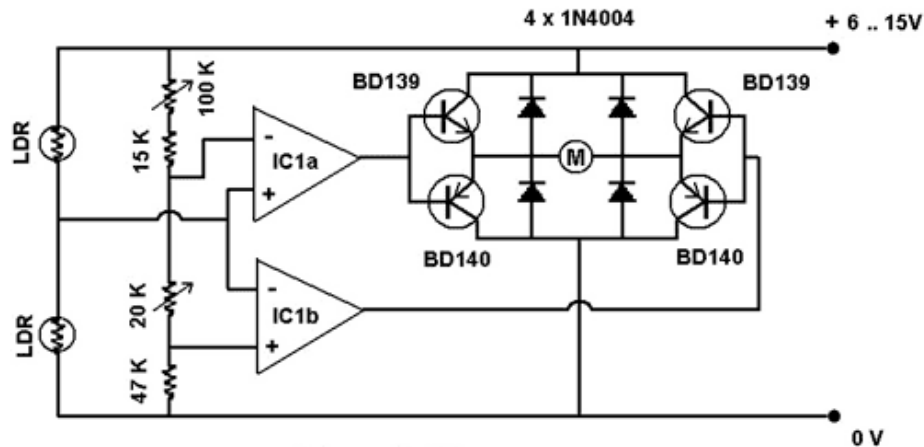


Рисунок 5.3 - Принципова схема пристрою стеження за сонцем

З схеми видно, що мотор М наводиться в рух при різних значеннях на виходах ОП IC1a і IC1b (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Алгоритм функціонування пристрою

Вихід IC1a	Вихід IC1a	Стан мотору
0	0	зупинено
0	1	вперед
1	1	зупинено
1	0	назад

Транзистори в схемі працюють в парі, по діагоналі, комутуючи $+E_{жив}$ або $-E_{жив}$ до мотора, і заставляючи його обертатися вперед або назад.

Під час зупинки мотора, він продовжує обертатися, оскільки присутній момент, що обертається. Внаслідок цього, мотор деякий час генерує потужність, яка може вивести транзистори з ладу. Для захисту транзисторів від проти-ЕРС в схемі моста використовується 4 діоди.

Вхідний каскад складається з двох операційних підсилювачів (IC1) і фоторезисторів LDR і LDR'. Якщо кількість світла, що потрапляє на них однакова, то опори фоторезисторів також рівні. Отже, якщо напруга живлення 12В, то в місці з'єднання фоторезисторів LDR LDR' буде напруга в 6В. Якщо кількість світла що потрапляє на один фоторезистор буде більше, ніж на іншому фоторезисторі, то напруга змінюватиметься.

5.4.2 Система стеження за сонцем (трекер) модель HS-1500

Однокоординатна система стеження за сонцем (трекер) модель HS-1500 (рис. 5.4) має додаткову вихідну потужність, яка досягає 40 % в порівнянні з фіксованою установкою. Загальна площа під модулі 15 м², до 2.5 кВт, споживана потужність до 1,25 кВт/год).



Рисунок 5.4 - Система стеження за сонцем (трекер) модель HS-1500

Схемне рішення на рисунку 5.5 включає три датчики. Положення датчиків - дозволяє цій системі відстежувати сонце.

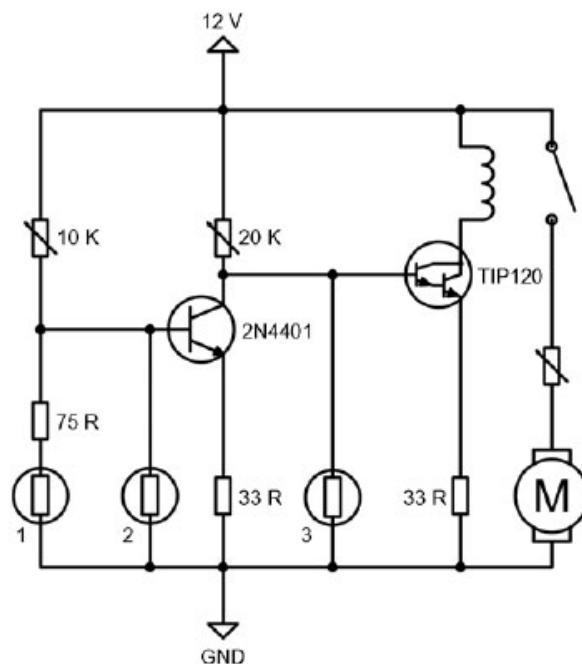


Рисунок 5.5 - Принципова схема трекера моделі HS-1500

Датчик 3 розташований на лицьовій стороні панелі і безпосередньо освітлений сонцем (рис. 5.6). Коли сонце перестає його освітлювати, збільшується напруга на базі транзистора Дарлінгтона і вмикається електродвигун.

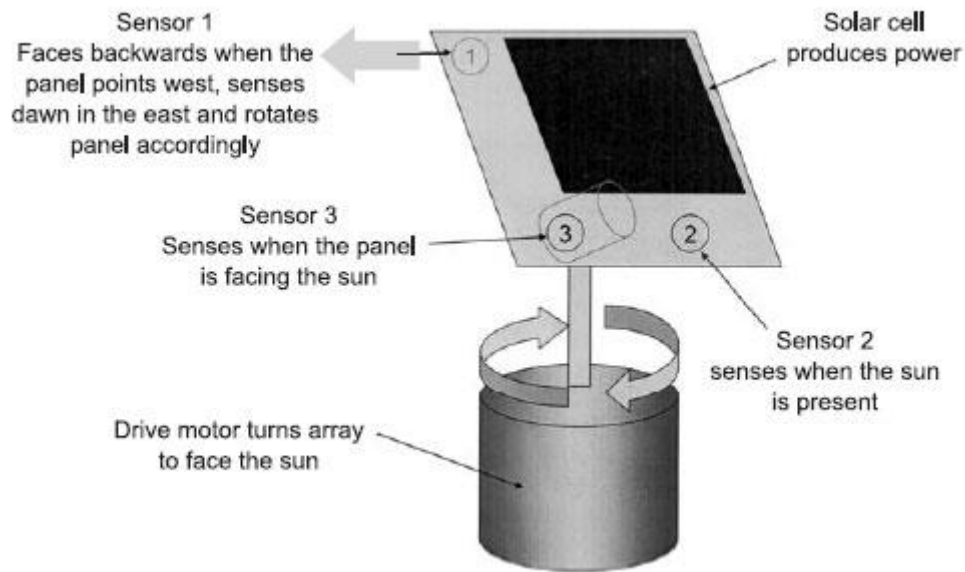


Рисунок 5.6 – Позиціонування трекера моделі HS-1500

При освітленні датчика 3 зменшується напруга на базі транзистора Дарлінгтона і електродвигун вимикається. Датчик 2 управляє n-p-n транзистором і фіксує момент заходу сонця, блокуючи обертання двигуна. Зі сходом сонця на сході спрацьовує датчик 1. Схема обертання двигуна розблоковується і трекер розвертається до сонця.

5.4.3 Система стеження за сонцем на сонячних елементах

Сонячна батарея складається з двох панелей, сполучених паралельно (рис. 5.7), що містять по три елементи, які підключені послідовно і розміщені на площинах прозорого пластмасового корпусу.

Панелі монтуються під прямим кутом одна до одної. У результаті принаймні один з модулів буде постійно освітлений сонцем.

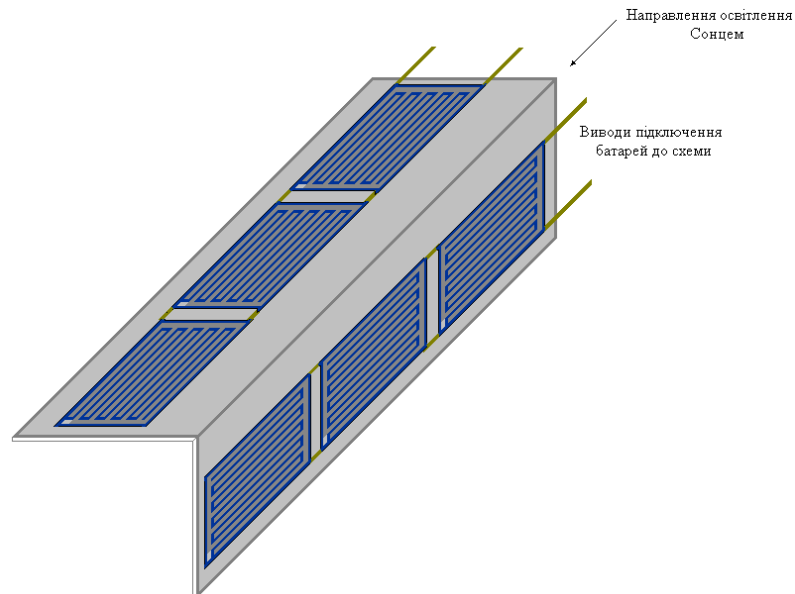


Рисунок 5.7 – Підключення сонячних панелей до схеми

Якщо пристрій розташований так, що бісектриса кута, утвореного панелями, направлена точно на сонце, кожна панель нахилена під кутом 45° до сонця (рис. 5.8) і виробляє електричну енергію.

Якщо обернути пристрій на 45° управо, права панель займе паралельне положення, а ліва – перпендикулярне сонячним променям. Тепер лише ліва панель генерує енергію, права — не діє.

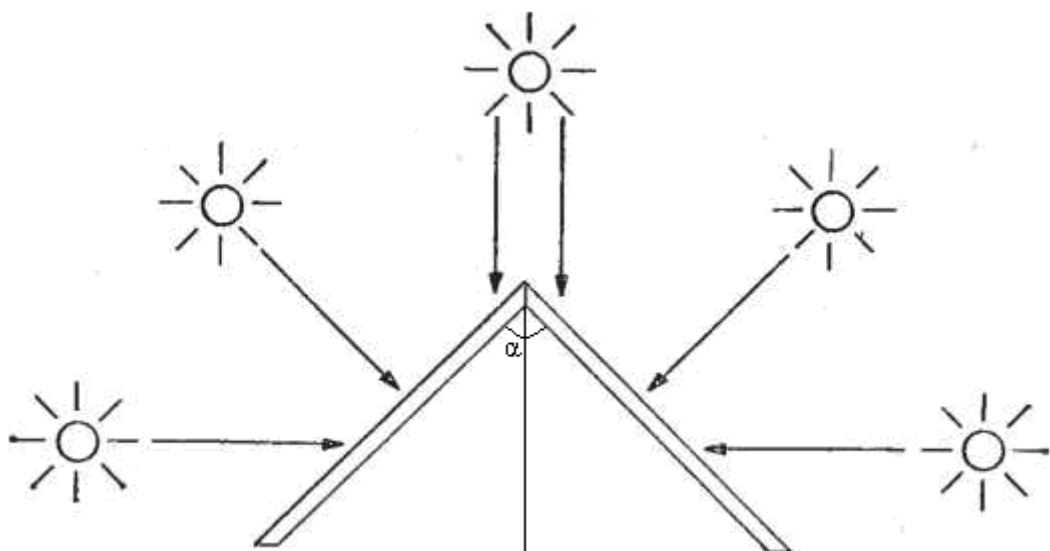


Рисунок 5.8 – Розташування панелей відносно сонця

При повороті пристрою ще на 45° , світло продовжує потрапляти на ліву панель, але під кутом 45° . Як і раніше, права сторона не освітлена і не генерує енергії.

При обертанні в ліву сторону права панель генеруватиме енергію, а ліва – бездіяти. В будь-якому разі хоч би одна батарея виробляє електроенергію.

Модуль обертається на 180° . Від світанку до заходу якась частина пристрою буде освітлена сонцем. Таким чином, якщо сонячні батареї закріпити так, щоб стик панелей був направлений на полуденне сонце, завжди вироблятиметься електрична напруга незалежно від положення сонця на небосхилі.

Електронна схема керування повинна забезпечувати функцію відключення електродвигуна за відсутності достатнього освітлення, з метою економії енергії накопиченою акумулятором.

Проаналізуємо принцип дії електронної схеми, наведеної на рисунку 5.9.

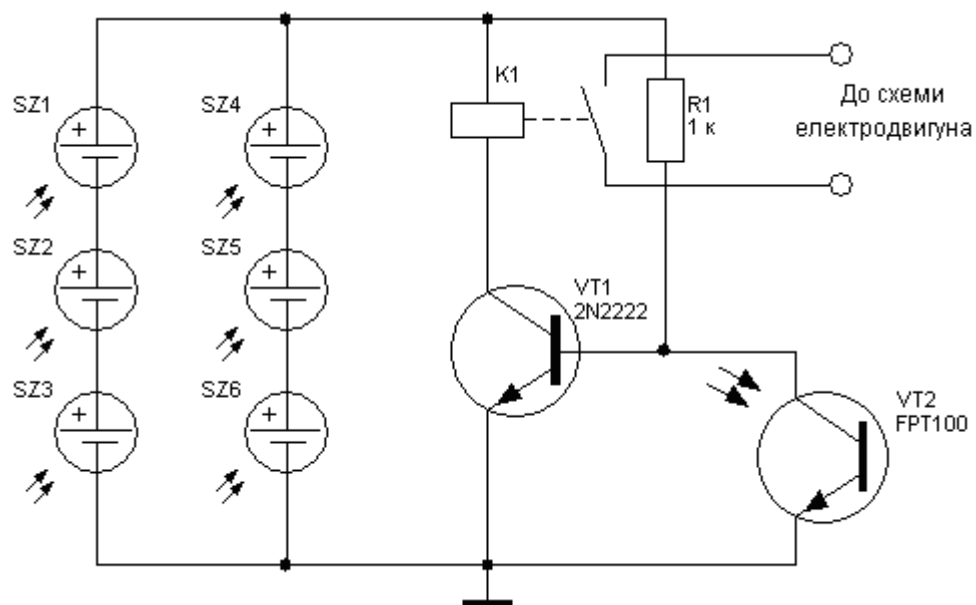


Рисунок 5.9 – Схема системи стеження за сонцем

Припустимо, що транзистор VT1 знаходиться в стані насичення, а фототранзистор VT2 замкнений. Реле K1 реагує на протікаючий через нього

струм. У реле є дротяна котушка, в якій енергія електричного струму перетворюється в енергію магнітного поля. Напруженість поля прямо пропорційна силі струму, протікаючого через котушку. При збільшенні струму настає момент, коли напруженість поля зростає настільки, що якір реле притягується до сердечника обмотки і контакти реле замикаються. Цьому моменту відповідає так званий поріг спрацьовування реле [4].

Реле використовується при вимірі порогової інтенсивності сонячної радіації за допомогою сонячних елементів. Струм сонячного елемента залежить від інтенсивності світла. У схемі, що розробляється, до реле підключено дві сонячні панелі, і доки вони не генерують струм, що перевищує поріг спрацьовування, реле не включається. Таким чином, саме кількість падаючого світла визначає поріг спрацьовування.

Якщо сила струму ледве менше мінімального значення, то схема не працює. Реле і сонячна батарея підібрані так, що реле спрацьовує при інтенсивності світла, що досягає 60 % від максимальної величини.

Таким чином вирішується перше завдання слідкуючої системи – визначення рівня інтенсивності сонячного випромінювання. Замкнені контакти реле включають електродвигун, і система починає шукати орієнтацію на Сонце.

У колекторному ланцюзі транзистора VT1 включене реле K1. Для спрацювання реле, необхідно відкрити транзистор VT1. Резистором R1 задається струм зсуву, яким відкривається транзистор VT1. Транзистор VT2 представляє фототранзистор, його базова область освітлює світлом. Струм колектора фототранзистора прямо пропорційний інтенсивності світла.

Резистор R1 крім того, що він задає струм зсуву транзистора VT1, використовується також як навантаження транзистора VT2. Коли база транзистора VT2 не освітлюється світлом, колекторний струм відсутній і весь струм, що проходить через резистор R1, тече через базу, насичуючи транзистор VT1.

У міру збільшення освітлення фототранзистора починає текти колекторний струм, який протікає лише через резистор R1. Згідно закону Ома, збі-

льшення струму через фіксований резистор наводить до зростання на ній падіння напруги. Таким чином, змінюється і напруга на колекторі VT2. Коли ця напруга стане менше U^* , пропадає зсув транзистора VT1 внаслідок того, що йому вимагається принаймні 0,7В, аби протікав базовий струм. Транзистор VT1 перестане проводити струм, реле K1 вимикається, і його контакти розімкнуться.

Цей режим роботи матиме місце лише тоді, коли транзистор VT2 направлений безпосередньо на сонце. При цьому пошук точної орієнтації на сонце припиняється завдяки розмиканню ланцюга живлення двигуна контактами реле. Тепер сонячна батарея точно направлена на сонце.

Коли сонце вирушає з поля зору транзистора VT2, транзистор VT1 включає реле і механізм знову приходить в рух. І знову знаходить сонце. Пошук повторюється багато разів при переміщенні сонця по небосхилу протягом дня.

До вечора інтенсивність освітлення падає. Сонячна батарея вже не може генерувати кількість енергії, достатню для живлення електронної системи, і контакти реле розмикаються в останній раз. Рано вранці наступного дня сонце освітлює батарею слідкуючої системи, орієнтовану на схід, і робота схеми починається знову.

Аналогічним чином відбувається розмикання контактів реле, якщо освітленість знижується із-за похмурої погоди.

6 Дослідження параметрів фотоелектричних перетворювачів

Розробка і поліпшення експлуатаційних характеристик систем електропостачання заснованих на сонячній енергетиці висуває на перший план необхідність створення ефективних методів проектування подібних систем, зокрема, передбачення і аналізу роботи сонячних батарей під дією всіляких чинників довколишнього простору в статичному і динамічному режимах навантаження.

6.1 Тестування сонячних елементів

Сонячне випромінювання характеризується таким параметром, як інтенсивність, тобто потужність, що падає на поверхню певної площі.

Іншим важливим параметром є розподіл сонячного випромінювання по довжинах хвиль, тобто спектральний склад світла. Для його характеристики введено поняття «Повітряної маси» (АМ – Air Mass): так спектральний склад випромінювання з повітряною масою АМ0 відповідає спектру сонячного світла за межами атмосфери Землі;

Останньою умовою проведення стандартних вимірів параметрів сонячних елементів є температура. Характеристики сонячних елементів декілька погіршуються при підвищенні температури, тому дуже поважно, аби вона не змінювалася при проведенні вимірів. Стандартно прийнято, що тестування проводиться при температурі 25°C.

Під час тестування сонячного елемента вимірюється безліч параметрів, серед яких струм короткого замикання, напруга холостого ходу, максимальна потужність і коефіцієнт корисної дії (ККД). ККД показує яка частина падаючої потужності приведе до появи електричної потужності на навантаженні.

Для проведення вимірів параметрів сонячних елементів використовуються тестери або тестери / сортувальники. Вони бувають як імпульсними, так і з опроміненням безперервної дії. Імпульсні тестери цікаві тим, що під час практично миттєвого виміру елемент не встигає нагрітися і погрішність нижча. Також тестери відрізняються за типом ламп, що впливає на спектральний склад випромінювання.

Зазвичай тестер містить еталонний сонячний елемент і вбудований процесор, який перераховує виміряні параметри і наводить їх до стандартних умов виміру. Необхідно враховувати ряд додаткових чинників, серед яких найбільш важливими є наступні:

- оскільки струм, що генерується елементом, прямо пропорційний освітленості, то вона має бути точно відома і постійна;
- необхідно добитися високої однорідності світла на поверхні тестованого елемента;
- спектральний розподіл освітленості має бути як можна ближчим до спектрального розподілу природного світла;
- необхідно точно знати температуру елемента, що вимірюється;
- необхідно виключити будь-яке падіння напруги на контактах і в колі, яке вносить додаткові помилки до вимірів.

Для забезпечення однорідності випромінювання існують два найбільш поширених способи: використовувати спеціальну оптику з відображаючими елементами і розсіюючими, або ж застосовувати точкове джерело випромінювання. У першому варіанті необхідно часто контролювати і набудовувати устаткування, а також компенсувати вплив рефлектора і інших оптичних елементів на спектральний розподіл за допомогою додаткової фільтрації, що наводить до великих труднощів у використанні. У другому варіанті необхідна однорідність досягається рознесенням джерела і тестованого образу на значну відстань. Найбільш поширеними в промисловості є імпульсні тестери з ксеноновою лампою.

6.2 Вимір електричних характеристик сонячних елементів

Параметри сонячних елементів вимірюють для визначення їх здібності виробляти необхідну кількість електроенергії при певній щільності потоку випромінювання і фіксованій робочій температурі.

Вимірювальна установка складається в основному з джерела світла, навантаження, підключеною до вихідних кінців сонячних елементів, і приладів для виміру електричного струму і напруги.

На рисунку 6.1 показані еквівалентна схема сонячного елемента і схема для вимірів електричних характеристик. Р - потік випромінювання; G - генератор постійного струму; VD1 - діод, працюючий у режимі прямого зсуву,

що характеризує діодні властивості p-n переходу; C1 - ємкість переходу; R2 - послідовний опір; R1 - шунтуючий опір; PA1 - міліамперметр з низьким входним опором; PV1 - вольтметр з високим входним опором; R_H - змінний опір навантаження.

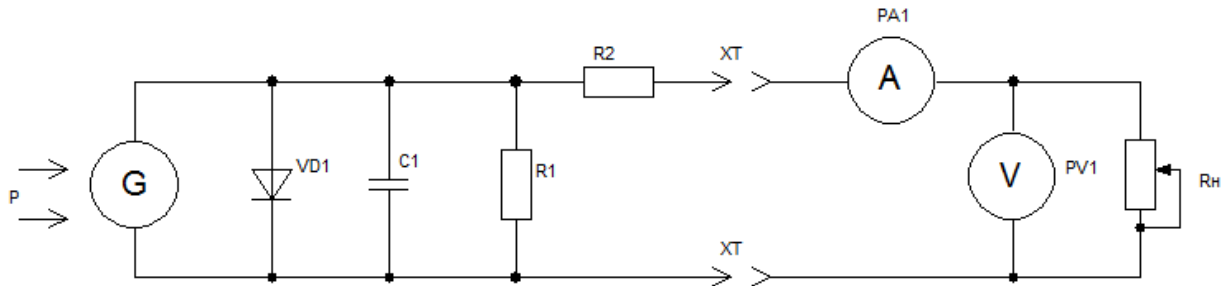


Рисунок 6.1 - Еквівалентна електрична і вимірювальна схеми сонячного елемента

Якщо опір навантаження R_H невеликий, то напруга на елементі теж невелика і струм через R_H можна вважати рівним струму короткого замикання – $I_{кз}$. З збільшенням R_H струм через резистор навантаження зменшується а напруга на елементі зростає до тих пір, поки не настане момент, коли $R_H = \infty$, а струм дорівнюватиме нулю. Цей режим називається режимом холостого ходу, а напруга відповідно - напругою холостого ходу $U_{хх}$. Знаючи струм і напругу, можна побудувати вольт-амперну характеристику. Цю характеристику можна викреслити безпосередньо в час виміру за допомогою двохкоординатного самописця. Проте для поточних вимірів використовується звичайний спосіб.

Форма і розмір вольт-амперної характеристики залежать від параметра, що характеризує якість переходу, значень шунтуючого і послідовного опорів і від сумарної енергії випромінювання, перетвореної в електричну енергію незалежно від спектрального розподілу інтенсивності випромінювання. Наприклад, якщо під дією деякого випромінювання з довжиною хвилі від 0,4 до 0,7 мкм в елементі виникає певний струм короткого замикання $I_{кз}$, то йому відповідатиме сповна відповідна вольт-амперна характеристика. Якщо при

тій же температурі інше випромінювання в спектральному діапазоні від 0,8 до 1,0 мкм викликає таке ж значення $I_{\text{кз}}$, як і в попередньому випадку, то йому відповідатиме та ж вольт-амперна крива. Невелика пульсація потоку випромінювання може, проте, робити вплив на точність запису показань реєструючої апаратури. Наприклад, на ксенонових лампах, що працюють від змінного струму або від незгладженого постійного, часто отримують менш прямокутну характеристику, чим на лампах з живленням від постійного струму.

Оскільки при високих інтенсивностях випромінювання сонячні елементи мають малий внутрішній опір, то щоб уникнути похибок прилади для виміру струму повинні також володіти невеликими внутрішнім опором. Наприклад, для виміру струму короткого замикання внутрішній опір приладу має бути 0,1 Ом і нижче. При малих рівнях світлового потоку внутрішній опір сонячного елемента стає високим, і це викликає труднощі при виміру напруги. Наприклад, аби правильно виміряти напругу холостого ходу при щільності потоку випромінювання рівному 0,01 сонячної постійної, вхідний опір вольтметра має бути не менше 10 МОм.

Перемноживши напругу і струм (рис. 6.1), можна отримати величину потужності. Проте всі елементи злегка розрізняються. Опори, відповідні піковій потужності окремих елементів, будуть також різними. Відповідно до цього необхідно кожного разу змінювати опір навантаження, аби відновити необхідну робочу напругу. Крім того, енергія, виробляюча сонячним елементом, повністю розсіюється на потенціометрі, обумовлюючи його нагрів і нестабільність. Рішенням цієї проблеми являється заміна потенціометра на транзистор. У конкретному вживанні транзистор можна розглядати як динамічний опір.

Невеликий струм бази транзистора, що задається як показано на рисунку 6.2, викликає значну зміну струму колектора. Струм бази фактично змінює опір транзистора, який у свою чергу використовується як навантаження для сонячного елемента.

Транзистор володіє тим же недоліком, що і потенціометр, тобто необхідністю підстроювання базового струму при зміні тестуючого елемента. Така операція не скрутна при невеликій кількості елементів, але при перевірці великої кількості елементів віднімає надто багато часу.

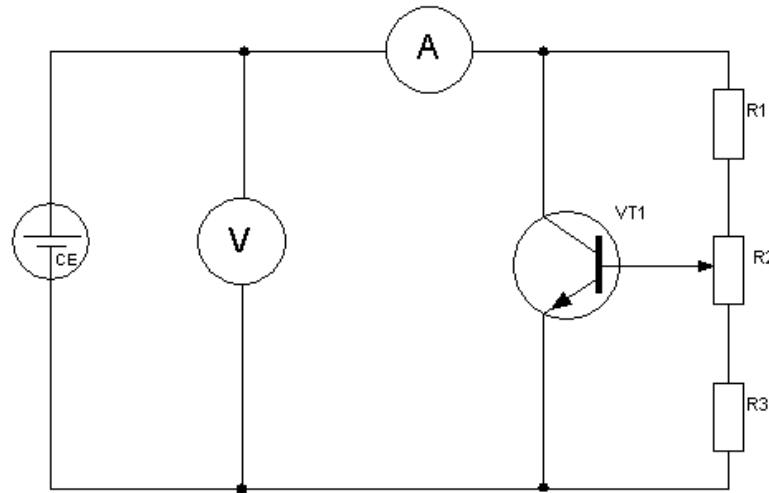


Рисунок 6.2 – Використання транзистора у якості динамічного опору

Необхідно знайти спосіб автоматичного підстроювання базового струму без необхідності установки його кожного разу уручну. Бажано мати паралельний стабілізатор напруги.

Паралельний стабілізатор напруги є регулятором, охопленим петлею зворотного зв'язку, що використовує вхідну напругу для управління струмом бази. Незалежно від початкової напруги на вході, паралельний стабілізатор змінює свій шунтуючий опір так, щоб вихідна напруга підтримувалося на необхідному рівні.

Компаратор зібраний на операційному підсилювачі порівнює вхідну напругу, що поступає від фотоелектричного перетворювача, з опорною напругою. Вихідний сигнал формується згідно теорії функціонування компараторів з негативним зворотнім зв'язком при подачі вхідного сигналу на інвертуючий вхід. Опорний сигнал формується джерелом напругою 1В.

Схема електрична компаратора (рис. 6.3) зібрана на операційному підсилювачі LM1458. Діод VD1, прямиий зсув на якому заданий резистором R2,

визначає діапазон напруги регулятора, обмежуючи напругу на регульовальному резисторі «калібрування». Опорна напруга з движка цього потенціометра подається на неінвертуючий вхід підсилювача. На інвертуючий вхід підсилювача через резистор R4 подається напруга фотоелектричного перетворювача. Резистором R5 задається величина коефіцієнта посилення операційного підсилювача (в даному випадку вона складає 100).

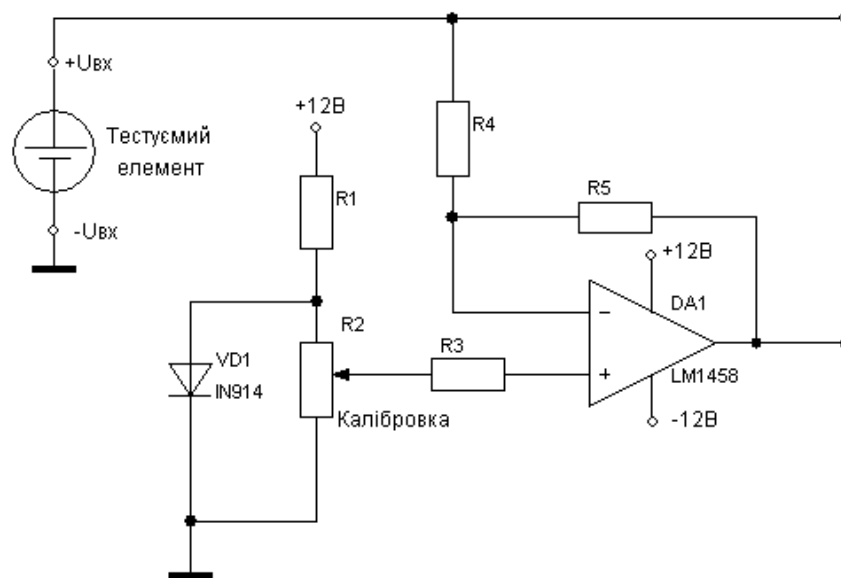


Рисунок 6.3 - Схема електрична компаратора на операційному підсилювачі LM1458

Для отримання динамічного опору навантаження сонячного елемента використовується транзистор (рис. 6.4). Для регулювання базового струму транзистора використовується операційний підсилювач DA1.1. Резистор опором R1 служить для обмеження струму бази.

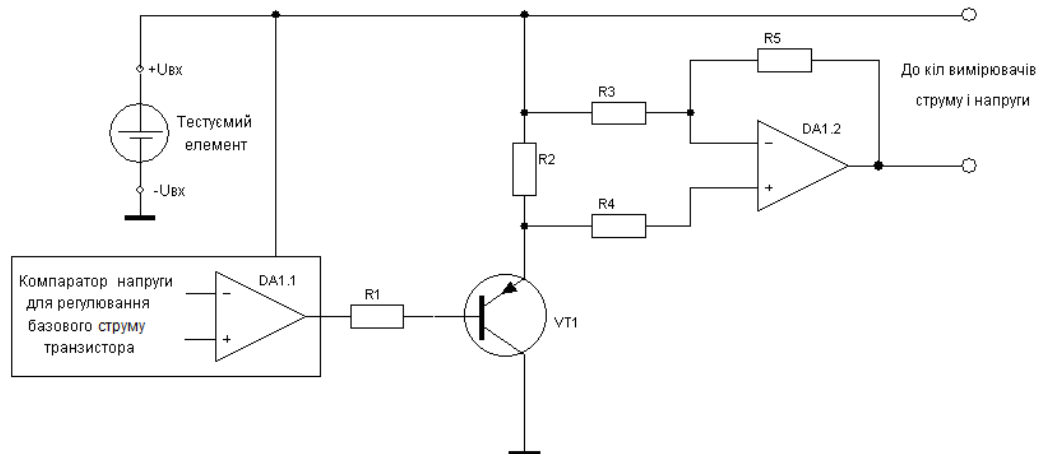


Рисунок 6.4 – Схема формування динамічного опору навантаження сонячного елемента

Завдяки своїй особливості операційний підсилювач намагається зрівняти напругу на своїх інвертуючому і неінвертуючому входах, управляючи струмом, який протікає через шунтуючий регулюючий транзистор VT1. Транзистор знижує вхідну напругу до такої величини, що вона стає рівною напрузі на відведенні резистора R2 (рис. 6.3). Ця напруга може регулюватися в діапазоні $0 \dots 0,7$ В.

Транзистор не може мати нульового опору, який потрібний, аби понизити напругу до нуля. На транзисторі збережеться невелика залишкова напруга величиною близько 150 мВ. Це обмежує діапазон регулювання в межах $0,15 \dots 0,7$ В.

Загальна схема тестера для перевірки фотоелектричних перетворювачів за допомогою стрілочних приладів представлена на рисунку 6.5.

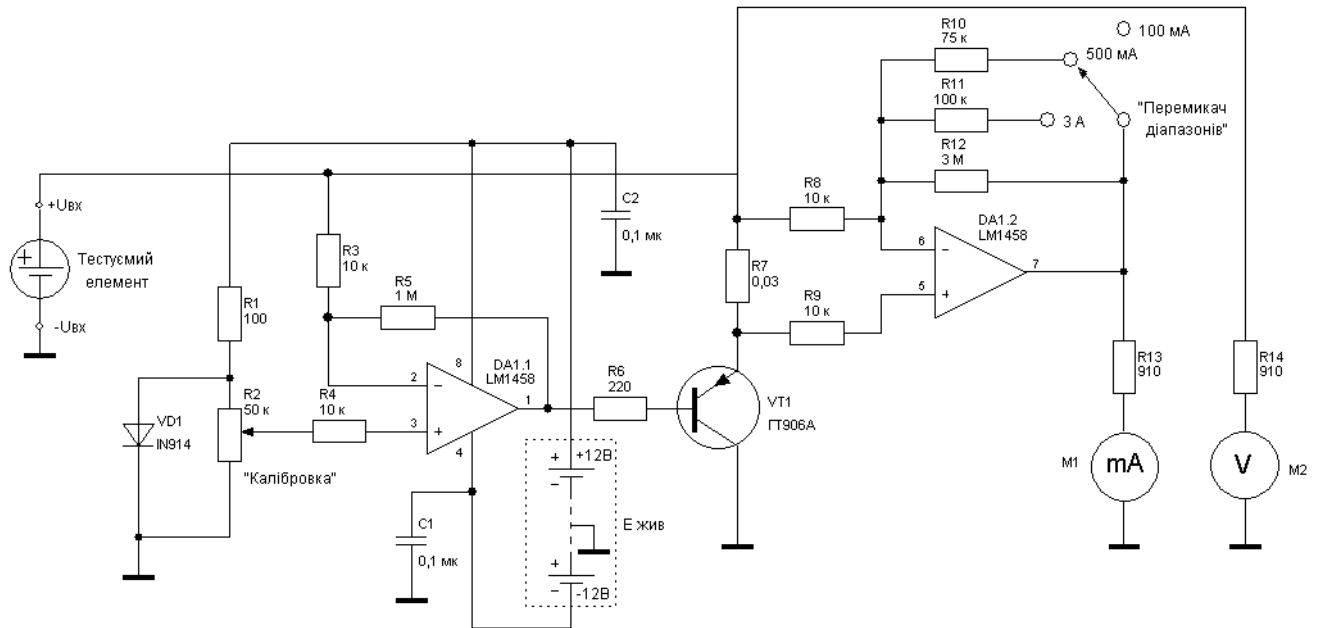


Рисунок 6.5 – Схема електрична принципова пристрою для параметричного тестування фотоелектричних перетворювачів

Вимір напруги на фотоелектричному перетворювачі здійснюється вольтметром M2, а струму, що протікає через шунтуючий транзистор, амперметром M1. Потужність (у ватах) визначається перемноженням свідчень обох приладів.

Вольтметр підключається безпосередньо до елемента. Він представляє собою щитовий прилад, розрахований на струм 1 мА, з послідовним обмежувачим резистором R14, який дозволяє відобразити 1 В при відхиленні на повну шкалу.

З іншого боку, для виміру струму разом з амперметром M1 використовується операційний підсилювач. Схема побудована так, що струм емітера транзистора VT1 повинен протікати через резистор R7. Цей струм відповідає струму, що генерується сонячним елементом.

При протіканні струму на резисторі R7 створюється невелике падіння напруги. Воно посилюється диференціальним підсилювачем, напруга на інвертуючий і неінвертуючий входи якого подається через резистори R8 і R9 відповідно.

Величина коефіцієнта посилення контролюється резисторами R10 – R12. Резистор R12 постійно підключений між виходом і інвертуючим входом. Його опір складає 3 МОм, а відповідне значення коефіцієнта посилення – 300. Коли через резистор R7 протікає струм, рівний 100 мА, вихідна напруга підсилювача складає 1 В.

Вихідна напруга диференціального підсилювача вимірюється вольтметром, ідентичним вольтметру M2. Цей прилад відградуваний в одиницях струму. У нашому випадку напрузі 1 В відповідає струм 100 мА.

При підключенні паралельно резистору R12 резистора R10 коефіцієнт посилення зменшується до 60. В цьому випадку напрузі 1 В на виході підсилювача відповідає струм 500 мА, що протікає через R7. Таким чином, розширений діапазон вимірюваних струмів, що охоплює значення 100 – 500 мА. Аналогічно при паралельному підключенні резистора R11 до резистора R12 можна вимірювати струми в діапазоні 0...3 А.

7 Автономні сонячні фотоелектричні системи

7.1 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 електроспоживачів 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.

7.2 Схеми сонячних фотоелектричних систем

Згідно з літературними дослідженнями найбільш популярна схема роботи сонячних електростанцій із споживачем наведені на рисунку 7.1. Можливі і інші схеми роботи. В кожному випадку складається індивідуальний проект, який здатний вирішити поставлене перед нами завдання. На рисунку 7.2 показане підключення вітрогенератора до системи сонячної електростанції через гібридний контролер або за допомогою окремого контролера для вітроустановок.

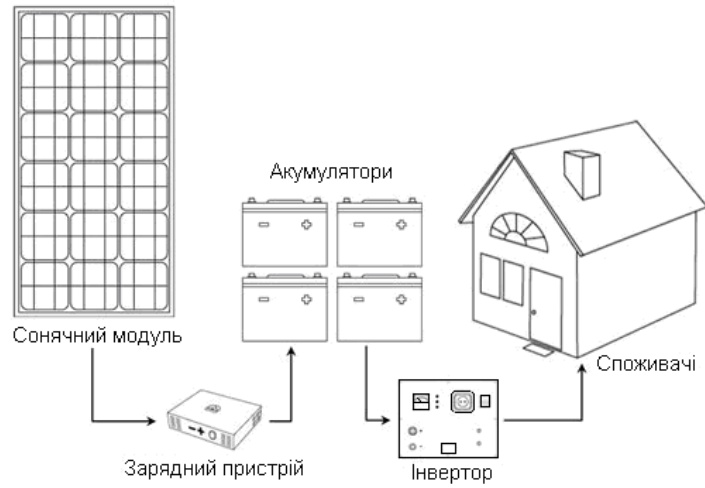


Рисунок 7.1 - Автономне забезпечення об'єкту (з акумуляторами), об'єкт живиться лише від сонячних батарей

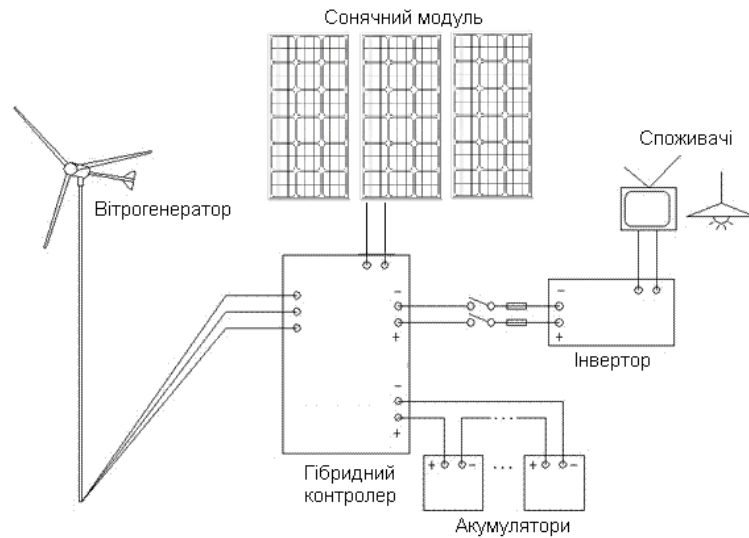


Рисунок 7.2 - Гібридна автономна система - сонце-вітер

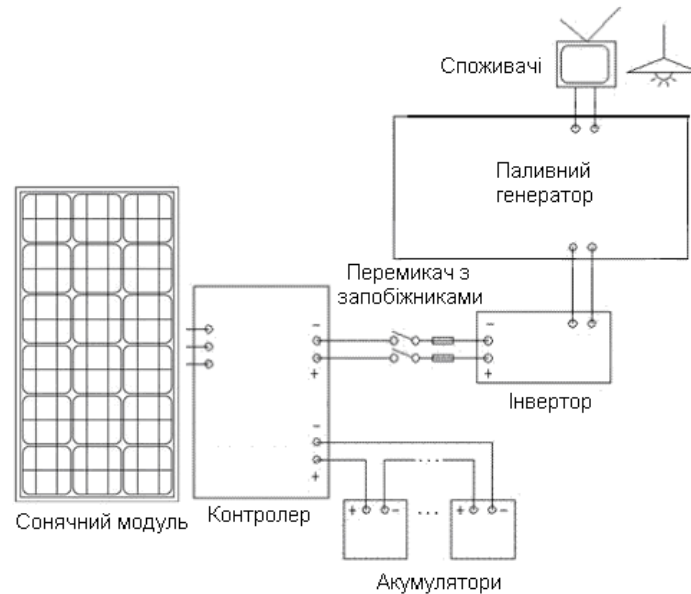


Рисунок 7.3 – Сонячна батарея (з акумуляторами) і резервний паливний генератор

На рисунку 7.3 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.

7.3 Блок керування потужністю

Блок керування потужністю (рис. 7.4) 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 7.4 – 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 7.5, це відношення майже завжди лінійно.

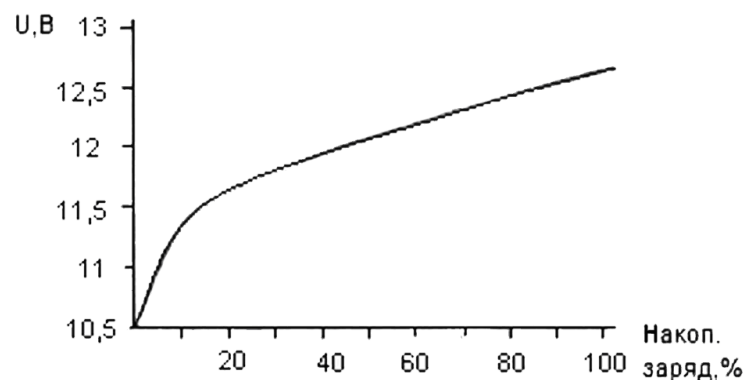


Рисунок 7.5 - Залежність між напругою і ступенем заряду батареї

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.

7.4 Пристрій контролю заряду акумуляторної батареї

Пристрій контролю напруги акумуляторної батареї дозволяє перевірити стан ланцюга 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.