

ПЕРЕВАГИ ЗАСТОСУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ ДЛЯ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ ОЗБРОЄННЯ

У статті проаналізована перевага використання фотоелектричних сонячних батарей для забезпечення надійності функціонування елементної бази сучасних і перспективних радіоелектронних засобів озброєння.

Перевага фотоелектричних перетворювачів обумовлена відсутністю рухомих частин, їхньою високою надійністю й стабільністю. При цьому термін їхньої служби практично не обмежений. Вони мають малу масу, вирізняються простотою обслуговування, ефективним використанням як прямої, так і розсіяної сонячної радіації. Модульний тип конструкцій дозволяє створювати установки практично будь-якої потужності й робить їх досить перспективними

Ключові слова: фотоелектрична сонячна батарея, радіоелектронні засоби озброєння, енергозабезпечення.

Вступ. Загально визнано, що основним фактором розвитку цивілізації є використання джерел енергії. В основному використовується традиційні енергоресурси, такі як - нафта, вугілля, природний газ. При цьому завдаються великі збитки екології нашої планети. Сотні тисяч барелів нафти зливаються в океан, мільйони тонн окислу вуглецю викидаються в атмосферу, чотири сотні атомних електростанцій виробляють десятки тонн радіоактивних відходів.

Постановка проблеми. Очевидно, що назріла необхідність змінити підходи людства щодо забезпечення своєї безпечної життєдіяльності в плані видобутку та використання джерел енергії. Економічно вигідне в цьому плані виробництво електроенергії за допомогою сонячної енергії, що практикується сьогодні практично у всьому світі. Використовуючи для цього ефективні системи, можна виробляти електричний струм і підживлювати загальну електричну мережу. Саме тому, що особливо важливо, такі джерела можна й необхідно використовувати для забезпечення надійності функціонування елементної бази сучасних і перспективних радіоелектронних засобів озброєння (РЕЗО).

Виклад основного матеріалу. Сонячні батареї призначені для перетворення енергії сонця в електроенергію. Кожна батарея складається з величезної кількості осередків, які за рахунок фотоелектричного ефекту здатні виробляти електричну енергію при влученні на них світла (рис. 1).



Рис. 1. Принцип роботи сонячної батареї

Сонячна батарея (модуль, панель) являє собою фотоелектричний генератор, принцип дії якого заснований на фізичній властивості напівпровідників: фотони світла вибивають електрони із зовнішньої оболонки атомів. При замиканні ланцюга виникає електричний струм. Сонячні батареї з'єднують у ланцюзі послідовно й/або паралельно для одержання необхідних параметрів за струмом й напругою.

Найбільше поширення одержали сонячні батареї із кремнієвих елементів. Пластинки кремнію (фотоелектричні перетворювачі - ФЕПи) з'єднуються послідовно плоскими провідниками, звичайно ланцюжками по 36 або 72 шт. (рис. 2).

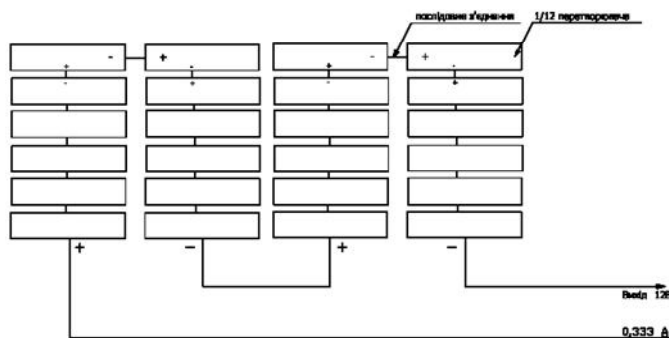


Рис. 2. Принципова схема ФЕСБ

Як захист від зовнішніх умов застосовується спеціальне просвітліле з антивідбиваючою поверхнею загартоване скло. Елементи герметизуються для захисту від вологи. Скло обрамляється в рамку з анодованого алюмінієвого профілю. Кількість енергії, вироблена сонячною батареєю залежить від потужності сонячної батареї, її ККД, інтенсивності сонячного випромінювання (інсоляції), кута падіння сонячних променів на площину батареї, температури, висоти сонця над горизонтом, чистоти повітря, хмарності й т.д. Залежно від моделі сонячні батареї дають на виході напругу 12 або 24 В.

Фотоелектрична батарея (ФЕСБ) складається з двох (або більше) окремих фотоелектричних ламінатів, з'єднаних послідовно або паралельно для отримання потрібної потужності (рис. 3). Також в склад ФЕСБ входить корпус і контакти (контактні роз'єми) для підключення корисного навантаження [1 - 4].

Джерелом енергії сонячного випромінювання є термоядерна реакція – кожену секунду на Сонці $\sim 6 \times 10^{11}$ кг водню перетворюється у гелій. Дефект маси при цьому складає 4 тони, що згідно з співвідношенням Ейнштейна $E=mc^2$ призводить до виділення 4×10^{20} Дж енергії. Основна частина цієї енергії випромінюється у вигляді електромагнітного випромінювання у діапазоні 0,2...3,0 мкм.

Інтенсивність сонячного випромінювання у відкритому просторі на віддаленні, рівному середній відстані між Землею та Сонцем, називається сонячною сталою. Її величина дорівнює 1353 Вт/м^2 . При проходженні крізь атмосферу сонячне світло ослаблюється здебільшого завдяки поглинанню інфрачервоного випромінювання парами води, а ультрафіолетового випромінювання – озоном та розсіювання випромінювання часточками атмосферного пилу та аерозолями. Показник атмосферного впливу на інтенсивність сонячного випромінювання, що досягло поверхні Землі, називається „повітряною масою” (АМ). Повітряна маса визначається як секанс кута між Сонцем та зенітом.

У реальних умовах температурний вплив на параметри приладу зменшується при розробці конструкції та виборі використовуваних матеріалів. Для визначення можливості роботи фотоелектричної батареї в різних умовах та точках Землі необхідно оцінити потужність сонячного випромінювання, що припадає на одиницю поверхні планети в заданій точці. Для спрощення розрахунків звичайно використовуються відомі атласи інсоляції, які наглядно визначають потужність сонячного випромінювання в $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2/\text{день}$. Деякі з фрагментів атласу інсоляції наведені на рис. 3-7.



Рис. 3. Фрагмент атласу інсоляції №1 – Європа

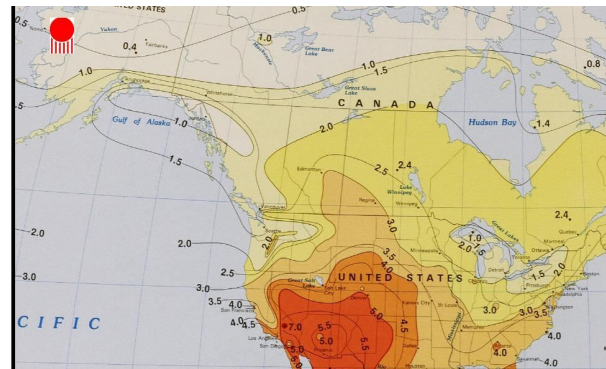


Рис. 4. Фрагмент атласу інсоляції №1 – Північна Америка

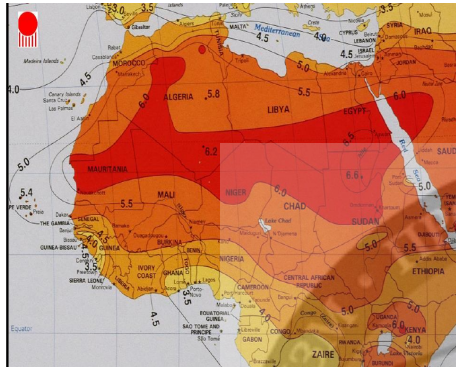


Рис. 5. Фрагмент атласу інсоляції №1 – Північна Африка



Рис. 6. Фрагмент атласу інсоляції №1 – Середня Азія

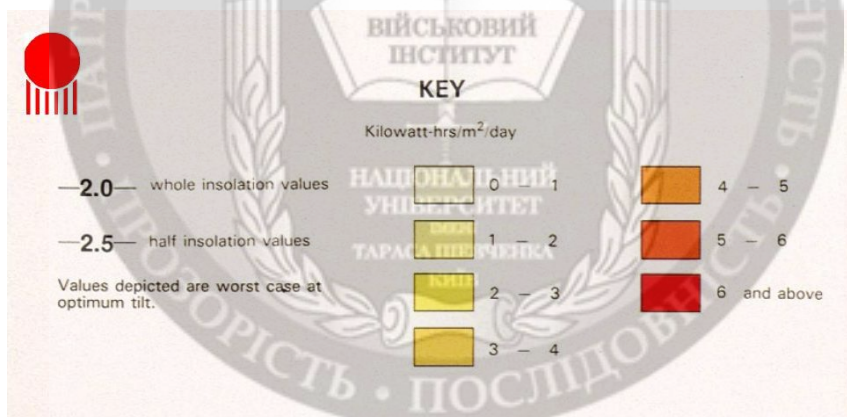


Рис. 7. Ключі до атласу інсоляції

В умовах України інсоляція в середньому складає 1,5 кВт-год/м²/день, що є достатнім для використання фотоелектричних джерел резервного живлення радіоелектронної апаратури та підзарядки акумуляторів.

Перевага фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) обумовлена відсутністю рухомих частин, їхньою високою надійністю й стабільністю. При цьому термін їхньої служби практично не обмежений. Вони мають малу масу, вирізняються простотою обслуговування, ефективним використанням як прямої, так і розсіяної сонячної радіації. Модульний тип конструкцій дозволяє створювати установки практично будь-якої потужності й робить їх досить перспективними. Недоліком ФЕП є висока вартість і низький ККД (у цей час практично 10-12 %). Фотоелектричний ефект виникає в сонячному елементі при його освітленні світлом у видимій і ближній інфрачервоній областях спектра. У сонячному елементі з напівпровідникового кремнію товщиною 50мкм поглинаються фотони, і їхня енергія перетворюється в електричну за допомогою р-п сполуки. Перехід на гетероз'єднання

типу арсеніду галію й алюмінію, застосування концентраторів сонячної радіації із кратністю концентрації 50-100 дозволяє підвищити ККД із 20 до 35 %. В 1989 р. фірмою “Боінг” створений двошаровий елемент, що складається із двох напівпровідників - арсеніду й антимоніду галія - з коефіцієнтом перетворення сонячної енергії в електричну, що дорівнює 37 %. У звичайних кремнієвих елементах інфрачервоне випромінювання не використовується, у той час як у новому елементі в першому прозорому шарі (арсенід галія) поглинається й перетворюється в електрику видиме світло, а інфрачервона частина спектра, що проходить через цей шар, поглинається й перетворюється в електрику в другому шарі (антимонід галія), у підсумку ККД становить $28\%+9\%=37\%$, що цілком порівняно із ККД сучасних теплових і атомних електростанцій.

Розвиток джерел електричної енергії, які перетворюють безпосередньо енергію сонячного випромінювання в електричний струм, відповідає найвищим вимогам [3,4].

Екологічність, відновлюваність ресурсів, відсутність витрат на ремонт фотомодулів як мінімум протягом перших 30 років експлуатації, у перспективі - зниження вартості відносно традиційних методів одержання електроенергії - все це важливі та перспективні напрями розвитку сонячної енергетики. Саме це визначає необхідність та актуальність задачі, щодо вирішення ефективної експлуатації РЕЗО в Збройних Силах України, за рахунок покращення якості й надійності фотоелектричних перетворювачів.

Сонячні батареї не містять частин, що рухаються, і тому дуже надійні й довговічні. Вони дуже прості в установленні й, що саме головне, вироблена ними електроенергія абсолютно безкоштовна! В умовах відсутності джерел електроенергії їх можна застосувати для зарядки акумуляторів різної портативної техніки: радіостанцій, цифрових фотоапаратів, ноутбуків, плеєрів, мобільних телефонів та іншої техніки, яку можуть використовувати військовослужбовці, співробітники МНС, МВС, автомобілісти, туристи, мандрівники та представники інших професій, які не завжди можуть скористатись централізованою електричною мережею.

Розрахунок надійності електронної частини виробу ФЕСБ складається у визначенні числових показників надійності $P(t)$ і T_{cp} за відомими інтенсивностями відмов комплектуючих елементів виробу. При цьому вважається, що, якщо вихід з ладу будь-якого елемента приводить до виходу з ладу всього виробу, то має місце послідовне включення елементів. Усереднені дані за інтенсивностями відмов мікросхем, електрорадіоелементів, вузлів і електричних з'єднань приведені в табл. 1.

При конструюванні використовувалися необхідні дані про очікувані зміни характеристик елементів виробу протягом усього терміну служби виробу ФЕСБ.

Інтенсивності відмов комплектуючих і електричних з'єднань

Таблиця 1

Елемент	Інтенсивність відмов, $\lambda \cdot 10^{-6}$ 1/год
Кристал кремнію	0,05
Пайка ручним	0,2
Роз'ємний контакт	0,05

Імовірність безвідмовної роботи виробу буде:

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n [1 - g_i(t)] = \prod_{i=1}^n P_i(t)$$

де $q_i(t)$ і $P_i(t)$ - відповідно імовірність відмов й імовірність безвідмовної роботи i -го модуля за час t ;

n - число модулів системи.

З формули отримаємо

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n \exp\left[-\int_0^t \lambda_i(t) dt\right] = \exp\left[-\sum_{i=1}^n \int_0^t \lambda_i(t) dt\right],$$

де $\lambda(t)$ - інтенсивність відмов i -го модуля виробу.

Позначивши

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i(t) = \Delta(t),$$

отримаємо

$$P_c(t) = \exp\left[-\int_0^t \Delta(t) dt\right]$$

Модулі одного ієрархічного рівня виробу ФЕСБ мають приблизно рівну надійність. Тоді для виробу з груп модулів одного рівня

$$\Delta(t) = \sum_{i=1}^K n_i \lambda_i(t)$$

$$P_c(t) = \exp\left[-\sum_{i=1}^K n_i \int_0^t \lambda_i(t) dt\right],$$

де n_i - число модулів i -го рівня ієрархії.

Для експонентного закону розподілу, коли інтенсивність відмов можна вважати величиною постійної,

$$\sum_{i=1}^K n_i \lambda_i(t) = \Delta(t) = \Delta = \text{const},$$

$$P_c(t) = \exp(-\Delta t)$$

У загальному випадку надійність конструкції залежить від співвідношення міцності і стійкості, що закладаються в конструкцію при розробці, до навантаження, яке приходить витримувати виробу в процесі експлуатації. Під міцністю тут розуміється здатність виробу витримувати без руйнувань зовнішні температурні, механічні та інші впливи, під стійкістю - здатність до роботи при тих же впливах.

Орієнтовно у виробі ФЕСБ буде до 10^2 елементів з імовірністю виникнення відмовлень 10^{-4} .

Виникнення відмов у виробі ФЕСБ носить випадковий характер. Отже, час безвідмовної роботи є випадкова величина, для опису якої використовують різні розподіли: Вейбулла, експонентний, Релея, Пуассона. Відмови у оптикоелектронному виробі досить добре підкоряються розподілові Вейбулла, а імовірність безвідмовної роботи $P(t)$, частота відмовлень $f(t)$, середня наробіток на відмовлення T_{cp} обчислюються за наступними формулах:

$$P(t) = \exp(-\lambda_0 t^b), \quad t \geq 0, \quad \lambda_0 > 0, \quad b > 0;$$

$$f(t) = -P'(t) = \lambda_0 b t^{b-1} \exp(-\lambda_0 t^b)$$

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P(t) dt = \int_0^{\infty} \exp(-\lambda_0 t^b) dt = \lambda_0^{-1/b} \Gamma(1 + 1/b)$$

$$\lambda(t) = f(t) / P(t) = \lambda_0 b t^{b-1}$$

де Γ - гамма-функція;

λ_0 і b - параметри розподілу.

Висновок. Аналіз показав, що для енергозабезпечення РЕЗО найперспективнішим є використання фотоелектричних сонячних батарей. Це дасть змогу в умовах відсутності джерел електроенергії застосувати їх для зарядки акумуляторів різної портативної техніки: радіостанцій, цифрових фотоапаратів, ноутбуків, плеєрів, мобільних телефонів та іншої техніки, яку можуть використовувати військовослужбовці, співробітники МНС, МВС та інших силових структур, які не завжди можуть скористатись централізованою електричною мережею. Перевага фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) обумовлена відсутністю рухомих частин, їхньою високою надійністю й стабільністю. При цьому термін їхньої служби практично не обмежений. Вони мають малу масу, вирізняються простотою обслуговування, ефективним використанням як прямої, так і розсіяної сонячної радіації. Модульний тип конструкцій дозволяє створювати установки практично будь-якої потужності й робить їх досить перспективними.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Фаренбрух А., Бьюб Р. Солнечные элементы: теория и эксперимент / Пер. с англ. под ред. М.М. Колтуна. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 280 с.
2. Методи і засоби управління параметрами твердотілих фотоелектричних перетворювачів: Монографія / С.В. Ленков, В.В. Вишнівський, Д.В. Лукомський, М.М. Охрамович, О.С. Селюков. – К.: - 2010. – 150с.
3. Охрамович М.М., Каменчук Ю.В., Ряба Л.О. Сучасні проблеми та перспективи застосування фотоелектричного перетворення сонячної енергії // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К., 2011. – № 30. – С.65 – 69.
4. Рывкин С.М. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. – М.: Физматгиз, 1963. – 496с.
5. Ленков С.В., Лукомський Д.В. Комплексний параметр якості та надійності кремнієвих фотоелектричних перетворювачів // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ "КПІ". – К. – 2005. – №1. – С. 81–89.

Рецензент: д.т.н., проф. Ленков С.В., начальник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка

к.т.н. Охрамович М.Н.

ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ ДЛЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ВООРУЖЕНИЯ

В статье проанализировано преимущество использования фотоэлектрических солнечных батарей для обеспечения надежности функционирования элементной базы современных и перспективных радиоэлектронных средств вооружения.

Преимущество фотоэлектрических преобразователей обусловлено отсутствием подвижных частей, их высокой надежностью и стабильностью. При этом срок их службы практически не ограничен. Они имеют малую массу, отличаются простотой обслуживания, эффективным использованием как прямой, так и рассеянной солнечной радиации. Модульный тип конструкций позволяет создавать установки практически любой мощности и делает их довольно перспективными

Ключевые слова: фотоэлектрическая солнечная батарея, радиоэлектронные средства вооружения, энергообеспечение.

Michael Ohrmovich, candidate of engineering sciences

ADVANTAGES OF PHOTOVOLTAIC SOLAR PANELS FOR POWER SUPPLY OF ELECTRONIC MEANS ARMAMENT

The article analyzes the advantage of using photovoltaic solar panels to ensure the reliability of hardware components of modern and advanced electronic weaponry.

The advantage of photovoltaic cells due to the absence of moving parts, their reliability and stability. In this case, the battery life is practically unlimited. They have a low weight, ease of operation, efficient use of both direct and diffuse solar radiation. The modular design allows you to create the type of installation virtually any capacity and makes them quite promising.

Keywords: photovoltaic solar panel, electronic warfare weapons, energy.