

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СПЕКТРАЛЬНОГО СКЛАДУ ПОТОКУ ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ЕНЕРГЕТИЧНУ ХАРАКТЕРИСТИКУ ФОТОПРИЙМАЧІВ

Наведено результати досліджень впливу спектрального складу потоку випромінювання на енергетичну характеристику кремнієвого фотодіоду.

Results of researches of influence of spectral structure of a stream of radiation on the power characteristic silicon to the photodiode are given.

Для вимірювання фотоелектричних параметрів фотоприймачів (ФП), через складність виготовлення деяких типів джерел випромінювання, часто використовуються джерела, які мають еквівалентну дію на ФП (еквівалентну за фотовідповіддю), але відрізняються від джерел, заданих у технічному завданні спектральним складом випромінювання. Так, при визначенні стійкості ФП до прямого сонячного випромінювання та працездатності його при цій засвітці поза атмосферою використовується лампа розжарювання, кольорова температура якої $T_K=2850$ К. Спектральні характеристики розподілу випромінювання Сонця і ламп розжарювання зображені на рис.1. Відмінність спектрів випромінювання цих джерел враховують методично, а саме: знаючи спектральну характеристику ФП, визначають коефіцієнт використання падаючого випромінювання, а потім проводять перерахунок чутливості при переході з одних умов роботи на інші.

Коефіцієнтом використання падаючого випромінювання приймача α називають відношення:

$$\alpha = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_{\lambda} \cdot r_{\lambda,T} \cdot \tau_{\lambda} \cdot d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} r_{\lambda,T} \cdot d\lambda}, \quad (1)$$

де S_{λ} – спектральна характеристика чутливості фотоприймача, τ_{λ} – спектральна характеристика коефіцієнта пропускання середовища, в якому працює ФП, $r_{\lambda,T}$ – спектральний розподіл випромінювання джерела, λ_1, λ_2 – короткохвильова і довгохвильова межі чутливості ФП.

Зміна спектрального складу випромінювання ламп розжарювання відбувається і при зміні їх режиму живлення. Такий прийом використовують тоді, коли необхідно плавно змінити рівень освітленості (у невеликих межах), не витримуючи постійним спектральний склад випромінювання.

Для дослідження впливу спектрального випромінювання на результат вимірювання енергетичної характеристики в умовах, коли ФП знаходиться у насиченні або на верхній межі його енергетичної характеристики (освітленість $E_c=10^5$ лк) і в умовах малих рівнів потоків ($E=10^{-3}$ лк) були вибрані:

- джерело випромінювання – лампа розжарювання з кольоровою температурою $T_K=2850$ К, спектральна характеристика розподілу випромінювання якого наведена на рис.1;
- кремнієвий фотодіод типу ФД-288 (10 шт.), типова спектральна характеристика чутливості якого зображена на рис.2;
- світлофільтри СЗС-21 та КС-19, які виділяють короткохвильову і довгохвильову області чутливості ФП відповідно. Спектральні залежності коефіцієнтів пропускання світлофільтрів наведені на рис.3.

Дослідження проводилися на установці, структурна схема якої наведена на рис.4. Режим роботи освітлювача під час досліджень не змінювався.

За відомими спектральними характеристиками ФП S_{λ} і джерела випромінювання $r_{\lambda,T}$ визначали інтегральне значення фотоструму I_{Φ}

$$I_{\Phi} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_{\lambda} \cdot r_{\lambda,T} \cdot d\lambda. \quad (2)$$

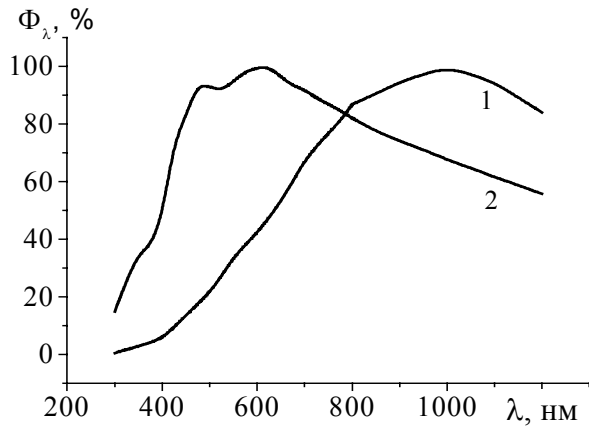


Рис.1. Спектральний розподіл потоку випромінювання джерела типу А ($T_k=2850\text{ K}$) (1) і сонячного випромінювання (2).

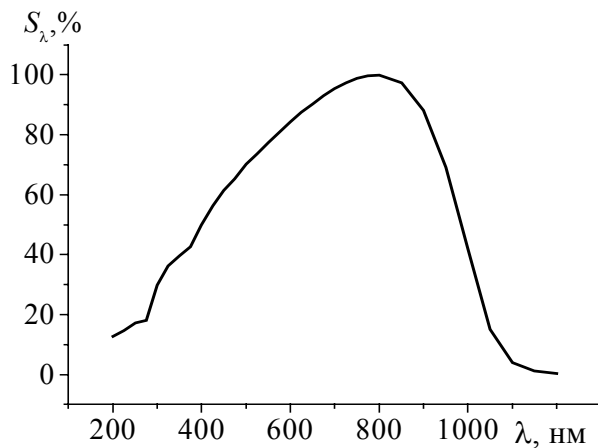


Рис.2. Типова спектральна характеристика чутливості фотоприймача типу ФД288.

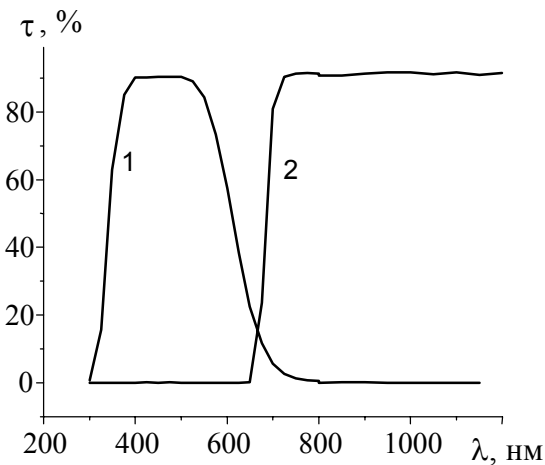


Рис.3. Спектральна залежність коефіцієнта пропускання світлофільтра: СЗС-21 (1); КС-19 (2).

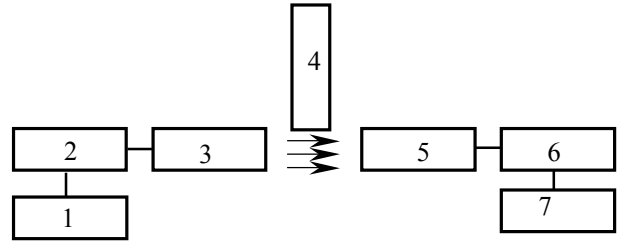


Рис.4. Структурна схема вимірювальної установки: 1 – блок живлення Б5–21; 2 – ампервольтметр М2015; 3 – освітлювач – лампа розжарювання з $T_k=2850\text{ K}$; 4 – світлофільтр; 5 – фотодіод ФД–288; 6 – перетворювач струм-напруга ППТН-1; 7 – вольтметр В7–34А.

Таблиця 1. Значення фотоелектричних параметрів для ФД-288 у відносних одиницях.

Параметри	Без світлофільтра	Світлофільтр СЗС21	Світлофільтр КС19
Розрахункові значення фотострумів	1	0,12	0,71
Експериментальні значення фотострумів	1	0,11	0,74
Значення коефіцієнтів $K_{\Phi C}$	1	0,107	0,746
Величина відхилень δ , %	–	0,3	0,8

При введенні одного із світлофільтрів фотострум $I_{\Phi(2)}$ зміниться і буде виражатися так:

$$I_{\Phi(2)} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_{\lambda} \cdot r_{\lambda,T} \cdot \tau_{\lambda(2)} \cdot d\lambda \quad (3)$$

Якщо вважати що величина фотоструму без світлофільтрів I_{Φ} дорівнює 1,0, то його значення із світлофільтрами $I_{\Phi C}$ зміниться в K_i разів:

$$K_i = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_{\lambda} \cdot r_{\lambda,T} \cdot \tau_{\lambda(2)} \cdot d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_{\lambda} \cdot r_{\lambda,T} \cdot d\lambda} \quad (4)$$

Розрахункові значення фотострумів без світлофільтра і при зміні спектра випромінювання за допомогою вищезгаданих світлофільтрів наведені у таблиці 1. Вимірювання спектральних характеристик і розрахунки проводились з використанням спектрального комплексу типу КСВУ-6.

У відповідності до методики розрахунків були проведені вимірювання фотострумів при засвічці ФП інтегральним потоком. Вимірювання проводились на установці, зображеній на рис.4. При цьому рівень освітленості вибирався таким, щоб ФП був на лінійній ділянці енергетичної характеристики ($E=100-1000\text{ лк}$).

Як видно з таблиці 1, розрахункові і експериментальні результати досить близькі за значеннями. Відмінність можна пояснити тим, що у розрахунках були використані теоретичні значення спектрального розподілу потоку випромінювання, які відрізняються від реальних.

У більшості випадків використання ФП повинні бути у певному динамічному діапазоні лінійними перетворювачами світлового потоку у фотосигнал з заданим відхиленням від лінійного закону $I_{\phi} = f(\Phi)$. Оскільки фотодіоди типу ФД-288 це – метрологічні ФП, і відхилення від лінійності не повинно перевищувати 1% при зміні потоку випромінювання від $\Phi_{п}$ до $1 \cdot 10^7 \cdot \Phi_{п}$ ($\Phi_{п}$ – пороговий потік), то величина 1,0% взята за критерій лінійності ФП.

У процесі вимірювань визначали величину $\Phi_{кр.}^1$ без світлофільтрів і $\Phi_{кр.с}$ із світлофільтрами. Їх відношення

$$K_{\phi C} = \frac{\Phi_{кр.с}}{\Phi_{кр.}} \quad (5)$$

наведені в таблиці 1.

Оскільки величина фотоструму I_{ϕ} на лінійній ділянці енергетичної характеристики пропорційні потоку, то справедливо записати

$$\frac{\Phi_{кр.с}}{\Phi_{кр.}} = \frac{\max(I_{\phi C})}{\max(I_{\phi})}, \quad (6)$$

де $\max(I_{\phi C})$ і $\max(I_{\phi})$ – фотоструми на виході ФП при дії потоків $\Phi_{кр.с}$ і $\Phi_{кр.}$ відповідно.

Оскільки експериментальні значення фотострумів (за якими визначався коефіцієнт K_i) визначалися на лінійній ділянці, а у співвідношення (6) входить максимальне значення I_{ϕ} визначене на верхній межі енергетичної ділянки, то розрахуємо відносно відхилення цих величин

$$\delta = \frac{K_i - K_{\phi C}}{K_i} \cdot 100\% \quad (7)$$

Результати розрахунків δ приведені в таблиці 1

На основі результатів, отриманих в процесі досліджень, можна зробити такий висновок: нелінійність енергетичної характеристики ФП і визначення його динамічного діапазону мало залежать від спектрального складу потоку випромінювання, і тому, для плавної зміни потоку

випромінювання допустимо змінювати режим роботи джерела випромінювання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гуревич М.М. Фотометрия. Теория, методы и приборы. - Ленинград: Энергоатомиздат, 1983.
2. Госсорг Ж. ИК Термография. Основы, техника, применение. - М.: Мир, 1988.
3. Бутенко В.К., Годованюк В.М., Докторович І.В., Юр'єв В.Г. Прецизійний перетворювач струм-напряга // Науковий вісник ЧНУ. Вип. 102: Фізика. Електроніка. - Чернівці: ЧНУ, 2001. - С.84-85.
4. Бутенко В.К., Годованюк В.М., Докторович І.В., Юр'єв В.Г. Установка для вимірювання динамічного діапазону фотоприймачів // Науковий вісник ЧНУ. Вип. 112: Фізика. Електроніка. - Чернівці: ЧНУ, 2001. - С.67-70.
5. ГОСТ 17772-88 Приемники излучения полупроводниковые фотоэлектрические и фотоприемные устройства // Методы измерения фотоэлектрических параметров и определение характеристик. - М.: Госстандарт, 1988.
6. ГОСТ 9411-78. Стекло цветное оптическое. - М.: Госстандарт, 1978.
7. Каталог цветного стекла. - М.: Машиностроение, 1967.
8. Дзюба А.В., Ломаш А.В. Определение относительной энергетической характеристики фотоприемников. - М.: Измерительная техника, 1988. - №1. - С.14-15.
9. Ешиметьева Е.В., Кувалдин Э.В. Проверка линейности световой характеристики ФД в импульсном режиме работы // Импульсная фотометрия. - Ленинград: Машиностроение, 1979. - Вып. 6. - С.190-193.
10. В.Е. Стысин и др. Увеличение динамического диапазона и быстродействия ФД при импульсном питании. // Импульсная фотометрия. - Ленинград: Машиностроение, 1981. - Вып.7. - С.192-194.
11. Криксунов Л.З. Справочник по основам ИК техники. - М.: Советское радио, 1978.

¹⁾ В нашому випадку $\Phi_{кр.}$ – це максимальне значення потоку, при якому нелінійність енергетичної характеристики не перевищує 1%.