

УСТАНОВКА ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ДИНАМІЧНОГО ДІАПАЗОНУ ФОТОПРИЙМАЧІВ

Установка для вимірювання динамічного діапазону фотоприймачів є універсальною, з широким діапазоном зміни освітленості, високоточною і стабільною в часі установкою і призначена для вимірювання фотоелектричних параметрів фотоприймачів.

Installation for measuring a dynamic range of photodetectors is the universal, with a wide range of change of illumination intensity, precision and time stable installation and intended for measuring photoelectric parameters of photodetectors.

Діапазон значень вимірюваної величини, в межах якого може працювати фотоприймач, називають динамічним діапазоном. У такому діапазоні можна говорити про нелінійність енергетичної характеристики приймача випромінювання, тобто про пропорційну залежність між величиною падаючого на приймач світлового потоку і рівнем реакції – фотовідповіддю.

Всі методи перевірки нелінійності різняться між собою способом створення та вимірювання освітленості у площині фоточутливого елемента приймача випромінювання. Сьогодні на практиці використовують такі методи:

- динамічний;
- використання послаблювачів;
- використання закону обернених квадратів відстаней;
- зміни фонових характеристик чутливості фотоприймача;
- додавання світла за допомогою діафрагм з різними отворами;
- додаткового світла.

Кожен з цих методів має переваги і недоліки, проте найбільш точним і універсальним методом вимірювання нелінійності фотоприймача (ФП) є метод додаткового світла. Перевага його в тому, що він може бути реалізований за допомогою досить простих пристроїв, які використовуються в одно- або двопробних схемах вимірювань.

Оптична схема

Конструкція освітлювача методу додаткового світла являє собою два канали, в кожному з яких розміщені:

- джерело випромінювання – лампа розжарювання;
- оптична система – світлосильний фотооб'єктив;
- ослаблювач оптичного потоку касета або турель з світлофільтрами;
- непрозорий екран.

Оптична схема освітлювача зображена на рис.1.

З урахуванням розмірів фоточутливих елементів фотоприймачів та розмірів тіла розжарювання ламп, оптичну схему було побудовано так, що збільшення системи дорівнює 1. Виходячи із законів геометричної оптики, для отримання зображення предмета зі збільшенням, що дорівнює 1, площини предметів (джерел випромінювання) та їх зображень (площина фоточутливого елемента) повинні розміщуватися в подвійному фокусі оптичної системи. Саме це геометричне розміщення елементів оптичної схеми використовується для фотометричного розрахунку та розрахунку конструктивних елементів і деталей установки.

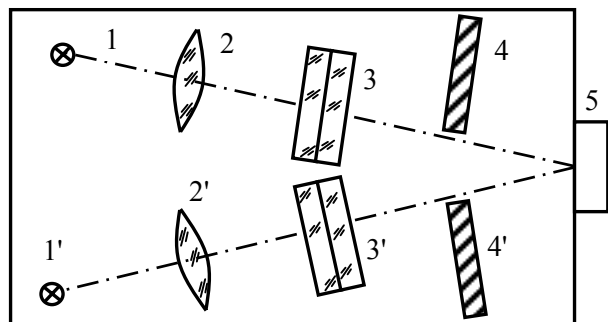


Рис.1. Оптична схема освітлювача: джерело випромінювання (1,1'), фотооб'єктив (2,2'), касета (турель) з світлофільтрами (3,3'), екран (4,4'), фотоприймач (5).

Вибір джерела випромінювання

Як джерела випромінювання, які б забезпечували високі світлопередачу і стабільність потоку випромінювання, зміну в широкому діапазоні освітленості fotocутливого елемента ФП і мали певний спектральний склад, розглядалися моделі абсолютно чорного тіла (АЧТ), лампи розжарювання і галогенні лампи.

Моделі АЧТ використовуються в апаратурі контролю ФП середнього і дальнього інфрачервоного діапазонів. Для ФП чутливих у ближній ІЧ-області (1...3 мкм), потрібні АЧТ з температурою порожнини до 3000 К, а для приймачів видимого і ультрафіолетового діапазонів температура повинна бути ще вищою. Такі чорні тіла існують, проте це досить складні унікальні випромінювачі, які використовуються як еталони.

Завдяки простоті виготовлення і експлуатації, більш широке використання набули лампи розжарювання і використовуються вони досить давно. Промисловість випускає велику номенклатуру ламп розжарювання, проте для використання в установці для вимірювання нелінійності енергетичної характеристики їх кількість менша. Найбільш розповсюджені у вимірювальній техніці лампи з суцільним тілом розжарювання – тілом у вигляді стрічки, з тілом розжарювання у вигляді спіралей різної конфігурації, а також спеціальні світловимірювальні лампи. Проте конструктивні особливості цих ламп ускладнюють їх застосування.

На сьогодні налагоджено широкий випуск галогенних ламп, які мають певні переваги перед звичайними лампами розжарювання. Вони більш економічні, мають більшу світловіддачу завдяки більш високій температурі тіла розжарювання, а також кварцову колбу, що дозволяє використовувати випромінювання лампи у більш широкому спектральному діапазоні.

Проте використання галогенних ламп як засобів вимірювання обмежене, оскільки не має повірочної схеми, за якою можна проводити атестацію на відповідність якому-небудь стандартному режимові роботи. Справа в тому, що градувати ці лампи на кольорову температуру стандартного джерела типу А ($T=2850$ К) нераціонально, бо вони ефективно працюють при температурах вище 3000 К. Крім цього, вони споживають великі струми і питання їх стабілізації у відповідності до вимог стандартів досить складне.

На випадок, коли спектральний склад потоку випромінювання не позначається на точності вимірювання параметрів чи характеристик ФП

(вимірювання динамічного діапазону саме таке), то галогенні лампи підходять найкраще. Для нашої установки ми вибрали галогенну лампу типу КГМ24-150 з такими параметрами: $P=150$ Вт, $U=24$ В, $\Phi=5000$ лм, тіло розжарювання – спіраль прямокутної форми $2,9 \times 5,8$ мм.

Вибір об'єктива

В залежності від призначення, вимоги до оптики, що входить до складу засобів вимірювання, можуть варіюватися або частково змінюватись, але будь-яка оптична схема повинна забезпечувати мінімальні втрати у робочому спектральному діапазоні і мінімальні спотворення у полі зору, стабільність оптичних параметрів в усьому діапазоні змін навколишніх умов, при яких вона експлуатується. Оптика, що використовується в установці для вимірювання динамічного діапазону, крім цього, повинна забезпечувати високу світлосилу, тобто створювати високу освітленість зображення.

В результаті пошуку [1-4] було вибрано фотооб'єктив "Юпітер-3". Його основні параметри: фокусна відстань $f=52$ мм, відносний отвір – 1:1,5, світловий діаметр – 34,3 мм, кутове поле зору – 45° , коефіцієнт світлопропускання – більше 0,8, світлосила – надсвітлосильний.

Вибір світлофільтрів

Фільтри в складі освітлювальних пристроїв виконують одне з двох завдань: змінюють рівень потоку випромінювання, направлено на фотоприймач, без зміни його спектрального складу або виділяють спектральний інтервал із загального спектра випромінювання.

Скло, що випускається промисловістю, забезпечує регулювання потоку випромінювання в широкому діапазоні. Спектральні характеристики нейтрального скла наведені у каталозі [8] у вигляді значень приведенного коефіцієнта поглинання для різних довжин хвиль.

Приведений коефіцієнт поглинання K_λ – це оптична густина скла одиничної (1 мм) товщини, тобто

$$K_\lambda = \frac{1}{l} \lg \left(\frac{1}{\tau_\lambda} \right), \quad (1)$$

де l – товщина скла (мм); τ_λ – коефіцієнт пропускання скла товщиною l на довжині хвилі λ . Для розрахунку товщин нейтрального скла вибирають певний його тип, проводять вимірювання коефіцієнта пропускання і за формулою (1) визначають K_λ . Після визначення K_λ і при заданому τ розраховується товщина скла. Крім цього,

необхідно враховувати втрати світлового потоку при відбиванні на гранях фільтра.

Для дискретної зміни потоку випромінювання в установці використовуються світлофільтри (в обох каналах) з такими параметрами:

НС-9 з коефіцієнтом ослаблення $K_{осл}=10$ разів і товщиною скла 1,8 мм;

НС-9 з коефіцієнтом ослаблення $K_{осл}=100$ разів і товщиною скла 3,6 мм;

НС-10 з коефіцієнтом ослаблення $K_{осл}=1000$ разів і товщиною скла 3,4 мм.

Світлофільтри кріпляться на турелях.

Потрібно зауважити, що турелі з нейтральними світлофільтрами встановлені під кутом до оптичної осі (в межах 20-30°) з тим, щоб зменшити вплив перевідбитого потоку на результат вимірювання. Так, при співвідношенні потоків у каналах 1:10, перевідбитий потік від потужнішого каналу додає до загальної похибки похибку приблизно 1%. Враховуючи те, що основна відносна похибка вимірювання нелінійності енергетичної характеристики фотоприймача не повинна перевищувати 1%, то похибка в 1% є досить суттєвим додатком до її загальної величини.

Плавна зміна потоку випромінювання забезпечується зміною режиму живлення джерел випромінювання.

Фотометричний розрахунок

Оскільки величина освітленості в площині фоточутливого елемента фотоприймача має бути не меншою від величини 10^5 лк, допустимо провести приблизний фотометричний розрахунок з метою визначення величини E_{max} .

У кожному із каналів освітлювача джерело випромінювання згідно з його паспортними даними і ТУ (п. 2) в тілесному куті 4π стерadian випромінює номінальний світловий потік $\Phi_0=5000$ лм. Знаючи відстань від джерела випромінювання до першої поверхні об'єктива ($l=88,6$ мм) і її світловий діаметр (34,3 мм), можна визначити тілесний кут випромінювання ω , в якому потік попадає в об'єктив (рис.2).

Зв'язок між тілесним кутом ω та лінійним кутом α відомий:

$$\omega = 2\pi(1 - \cos \alpha) = 4\pi \sin^2(\alpha/2).$$

Значення $\sin(\alpha/2)$ легко визначається з прямокутного трикутника $ABC - \sin(\alpha/2) = BC/AB = 0,1930$, тоді $\omega = 4\pi(0,193)^2 = 0,04 \cdot 4\pi$ стерadian. Величина світлового потоку в куті ω буде $\Phi_{вх} = 0,04 \cdot \Phi_0 = 0,04 \cdot 5 \cdot 10^3 = 2 \cdot 10^2$ лм

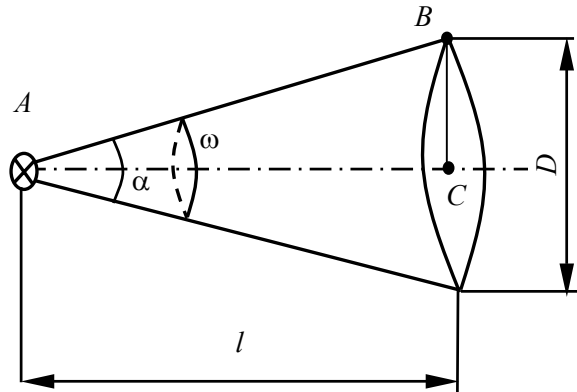


Рис.2. Оптична схема для фотометричного розрахунку.

З урахуванням ослаблення потоку у фотооб'єктиві $\Phi_{вих} = K_{осл} \cdot \Phi_{вх} = 0,8 \cdot 2 \cdot 10^2 = 1,6 \cdot 10^2$ лм.

Освітленість у площині фоточутливого елемента ФД при засвітці потоком одного із каналів визначається за формулою

$$E = \frac{\Phi_{вих}}{S_{фче}},$$

де $S_{фче} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ – площа фоточутливого елемента, на який попадає потік.

Враховуючи те, що освітлювач двоканальний, а промені падають на фоточутливий елемент під кутом не більше 60°, отримаємо

$$E = \frac{\Phi_{вих}}{S_{фче}} 2 \cos \varphi = 1,6 \cdot 10^6 \text{ лк}.$$

Отже, приблизний фотометричний розрахунок показав теоретичну можливість отримати, при використанні вказаних оптичних елементів, досить високу освітленість.

Технічні характеристики освітлювача

Структурна схема установки для вимірювання динамічного діапазону фотоприймачів наведена на рис.3.

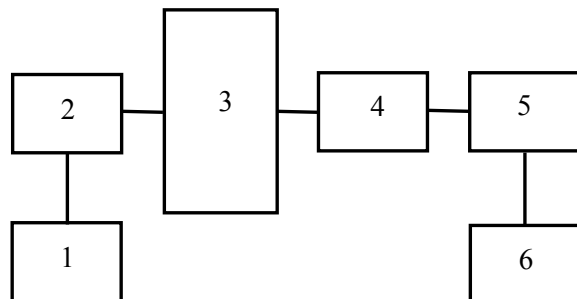


Рис. 3. Структурна схема установки для вимірювання динамічного діапазону фотоприймачів: блок живлення освітлювача Б5-21 (1), ампервольтметр М2015 (2), освітлювач (3), фотоприймач (4), перетворювач струм-напруга ППТН-1 (5), вольтметр універсальний В7-23 (6).

Для визначання технічних характеристик установки використали стабільний у часі (нестабільність чутливості не перевищує 0,1%) і лінійний у широкому діапазоні зміни освітленості (нелінійність чутливості не перевищує 0,1% при зміні освітленості від $\Phi_{\text{п}}$ до $10^8 \cdot \Phi_{\text{п}}$) фотоприймач типу ФД-288.

На сьогодні виготовлений дослідний зразок установки.

Таблиця 1. Результати досліджень технічних характеристик установки.

№	Найменування параметра	Норма параметра	Фактичне значення
1	Максимальна освітленість у площині фоточутливого елемента	$1 \cdot 10^5$ лк	$8 \cdot 10^5$ лк
2	Ослаблення світлового потоку	$1 \cdot 10^7$ разів	$1 \cdot 10^8$ разів
3	Основна відносна похибка вимірювання динамічного діапазону	1,0 %	0,3 %
4	Напруга живлення установки	220 В, 50 Гц	
5	Габарити освітлювача	450×450×250 мм	

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Яковлев А.Ф. Каталог. Объективы. Часть 1. - Ленинград: ОНТИ ГОИ, 1970.
2. Яковлев А.Ф. Каталог. Объективы. Часть 2. - Ленинград: ОНТИ ГОИ, 1971 г. .
3. Гуревич М.М. Фотометрия (теория, методы и приборы). - Ленинград: Энергоатомиздат, 1983.
4. Гуревич М.М. Введение в фотометрию. - Ленинград: Энергоатомиздат, 1968.
5. Бутенко Е.К., Годованюк В.М., Докторович І.В. Прецизійний перетворювач струм-напруга // Науковий вісник ЧНУ. Вип. 102: Фізика. Електроніка. - Чернівці: ЧНУ, 2001. - С.84-85.
6. ТУ 16.535.483-82. Лампы накаливания электрические кварцевые галогенные малогабаритные. Саранск.
7. ГОСТ 9411-78. Стекло цветное оптическое. М.: Издательство стандартов, 1978.
8. Каталог цветного стекла. - М.: Машиностроение, 1967.