

## РОЗДІЛ СЬОМИЙ

### МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗРОБЛЕНИХ ПЕРВИННИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЕННЯ

#### 7.1 Освітлювач для калібрування УФ радіометрів та дозиметрів.

Існуючи спеціалізовані УФ опромінювачі, наприклад [281, 282] за своїми можливостями не можуть бути використані для вимірювання енергетичних характеристик первинних перетворювачів та калібрування УФ вимірювачів, оскільки вони потребують певного доопрацювання під вимоги, які висуваються до існуючих УФ вимірювачів [27].

Для створення надійного джерела УФ вимірювання найкраще використовувати ртутні лампи – джерела з лінійчатим спектром випромінення [26], лінії яких легко виділити за допомогою відповідних світлофільтрів [283]. Після створення монохроматичного потоку УФ випромінення, за допомогою робочих еталонів, вимірюється величина цього потоку, після чого він передається на УФ вимірювач [160].

З метою стандартизації метрологічних операцій під час виробництва та випуску продукції з серійного виробництва, саме – для вимірювання характеристики фотодіодів, чутливих в УФ діапазоні спектру та калібрування УФ радіометрів і дозиметрів, створено установку для формування стабільних потоків випромінювання в УФ діапазоні (освітлювач УФ діапазону спектру оптичного випромінення) ИДНМ4.020.00.00 [284, 285].

Освітлювач УФ діапазону (рисунок 7.1) представляє собою моноблок, в якому вмонтовані: джерело випромінення; блок живлення та система охолодження джерела випромінення; змінні інтерференційні фільтри для виділення заданої спектральної лінії ртуті; контрольний (опорний) канал, до складу якого входять високостабільний фотодіод типу ФД288 [148, 163], світлофільтр типу УФС-6 [6 285], вимірювальний блок та блок живлення.



Рисунок 7.1. Джерело УФ випромінення (освітлювач).

Структурна схема джерела УФ випромінення приведена на рисунку 7.2

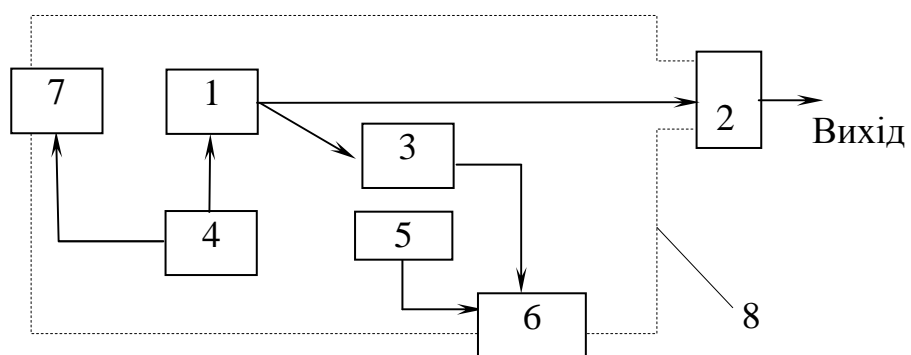


Рисунок 7.2. Структурна схема джерела УФ випромінення.

1 – джерело УФ випромінення – лампа ДРТ125;

2 – інтерференційні світлофільтри;

3 – фотоприймач опорного каналу;

4 – блок живлення джерела УФ випромінення;

Оптичний потік від джерела УФ випромінювання (1) водночас попадає на вихід освітлювача, пройшовши через інтерференційні фільтри (2), і на фотоприймач (3) опорного каналу. При нестабільному потоці випромінювання, за допомогою опорного каналу (3) визначається фотосигнал під час вимірювання потоку УФ випромінювання та фотосигнал для калібрування УФ радіометрів. Визначивши коефіцієнт зміни потоку, враховується нестабільність потоку при калібруванні УФ радіометрів та дозиметрів.

Вибір спектральної лінії потоку випромінювання здійснюється за допомогою інтерференційних світлофільтрів: для калібрування УФ радіометрів, чутливих в спектральних діапазонах *C* (200 - 280 нм), *B* (280 - 315 нм) та *A* (315 - 400 нм) виділяються ртутні лінії  $\lambda_{1\max} = 254$ ,  $\lambda_{2\max} = 313$  та  $\lambda_{3\max} = 365$  нм відповідно; лінії  $\lambda_{1\max} = 254$  та  $\lambda_{4\max} = 297$  нм - виділяються для калібрування дозиметрів бактерицидної та еритемної складових УФ випромінювання; лінія  $\lambda_{5\max} = 546$  нм для калібрування радіометрів ВД.

Спектральні характеристики інтерференційних світлофільтрів приведені на рисунку 7.3.

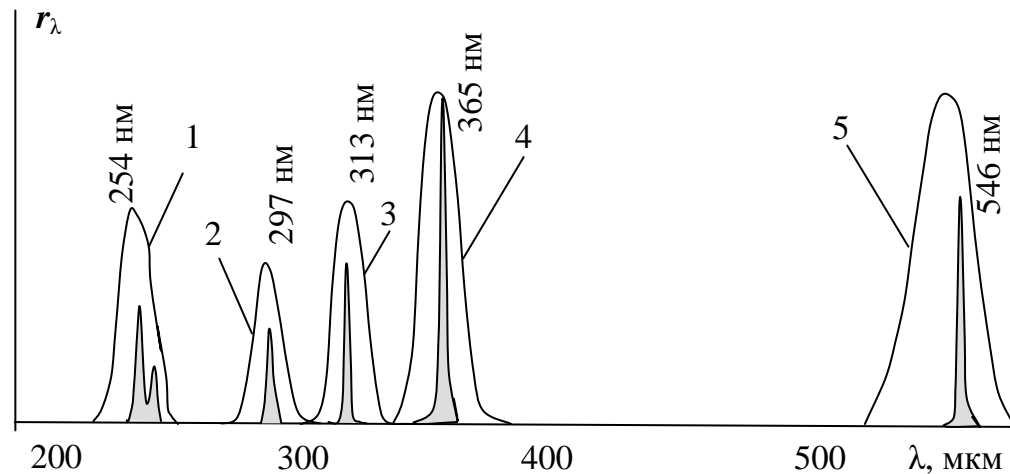


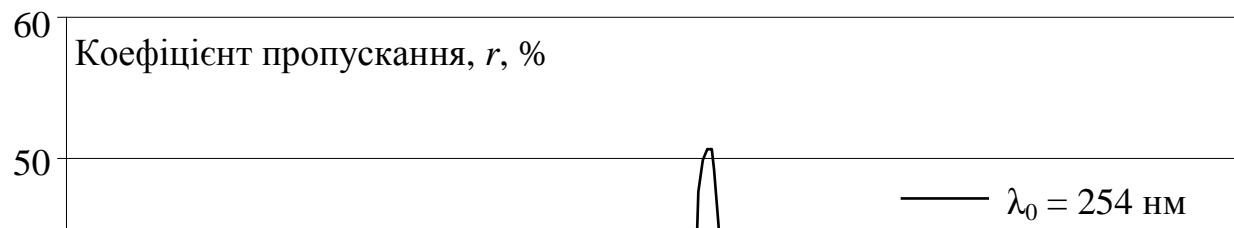
Рисунок 7.3. Спектральні характеристики інтерференційних світлофільтрів, які виділяють лінії ртутної лампи:

- 1 - лінію 254 нм;
- 2 - лінію 297 нм;
- 3 - лінію 313 нм;
- 4 - лінію 365 нм;
- 5 - лінію 546 нм.

Для наочності на рисунку 7.3 темнішим кольором приведені ртутні лінії, які виділяються за допомогою інтерференційних світлофільтрів. Як бачимо з рисунку - найскладніше виділити спектральну лінію з максимумом  $\lambda_{\max} = 254$  нм, оскільки виготовлення більш вузькосмугового світлофільтра для виробників є серйозною проблемою.

Також зазначимо, що на рисунку 7.3 приведено тільки форму спектральних характеристик світлофільтрів без абсолютних значень коефіцієнтів пропускання.

Для виділення вищезгаданих ліній ртуті розроблено та виготовлено вузькосмугові інтерференційні світлофільтри для виділення ліній ртуті в УФ та ВД спектральному діапазоні оптичного випромінювання, спектральні характеристики та коефіцієнти пропускання яких наведені на рисунку 7.4. Технічні характеристики згаданих світлофільтрів наведені у таблиці 7.1.



Таблиця 7.1.

Технічні характеристики вузькосмугових інтерференційні світлофільтри для виділення ліній ртуті в УФ та ВД  
спектральному діапазонах оптичного випромінення

Найменування параметра	Норма параметра
Положення центру смуги пропускання $\lambda_0$ , нм	
світлофільтр №1	$254 \pm 2$
світлофільтр №2	$297 \pm 2$
світлофільтр №3	$313 \pm 2$
світлофільтр № 4	$365 \pm 2$
світлофільтр № 5	$546 \pm 2$
Напівширина $\Delta\lambda_{0,5}$ , нм	
фільтра №1	$20 \pm 5$
фільтрів №№ 2-5	10 - 12
Ширина спектру на рівні 0,1 $T_{\text{макс}}$ . ( $\Delta\lambda_{0,1}$ )	
фільтра №1	50 - 70
фільтрів №№ 2-5	20 - 30
Загальні вимоги до світлофільтрів 1-5	
Коефіцієнт пропускання в максимумі, не менше, %	25 - 30
Нерівномірність коефіцієнту пропускання в межах світлового діаметру, не більше, %	10
Коефіцієнт пропускання фільтрів поза робочими діапазонами (в діапазоні до 500 нм), не більше, %	0,2
Світловий діаметр, мм	$26 \pm 1$
Товщина світлофільтра не більше, мм	7

Розроблені інтерференційні вузькосмугові світлофільтри для освітлювача УФ діапазону спектру ИДНМ4.020.00.00, як видно з рисунку 7.4 та таблиці 7.1, мають мінімальні коефіцієнти пропускання за межами робочого діапазону довжин хвиль, які не перевищують 0,2 %. Ця обставина дозволяє здійснювати впевнене калібрування УФ радіометрів та дозиметрів на вибраних довжинах хвиль при потоках УФ випромінювання не більше  $2 \cdot 10^2$  Вт/м<sup>2</sup>, що відповідає вимогам санітарних норм [27].

### 7.1.1 Дослідження параметрів джерела УФ випромінювання.

Дослідження параметрів проводилися згідно з «Програмою та методиками атестації установки для створення стабільних потоків випромінювання в УФ діапазоні (освітлювач УФ-діапазону) ИДНМ4.020.00.00 ПМА [286].

Вимірювання спектрального діапазону випромінювання проводилися на установці, структурна схема якої наведена на рисунку 7.5. Особливістю вимірювання спектрального розподілу випромінювання є те, що на його характеристику в процесі вимірювання накладаються: апаратна функція спектрального приладу, спектральні характеристики оптичних елементів (конденсора, дзеркал, світлофільтрів) та спектральна характеристика чутливості фотоприймача. Проте, півширина ліній ртуті не перевищує 2 нм, тому вплив вищезгаданих факторів на визначення положення максимумів виділених ліній ртуті є незначним і ним можна нехтували.

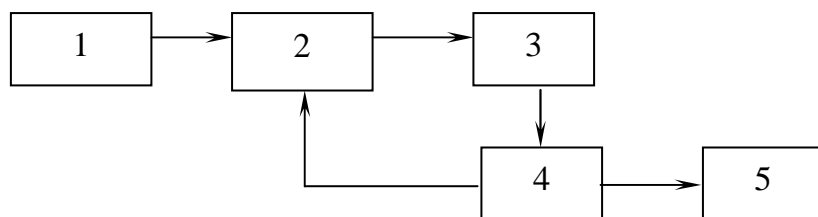


Рисунок 7.5. Структурна схема установки для вимірювання спектрального діапазону випромінювання.

- 1 – джерело УФ випромінювання;
- 2 – спектральний комплекс КСВУ-23;
- 3 – еталонна радіометрична головка;

В якості фотоприймача еталонної ГФ, яка була атестована по відносній спектральній характеристиці чутливості  $S_{\text{відн}}(\lambda)$  в діапазоні довжин хвиль 200 – 800 нм з похибкою не більше  $\pm 5\%$ , використовувався фотодіод ФД288. Вимірювання проводилися з інтервалом 0,5 нм в усьому спектральному діапазоні. Після встановлення на виході освітлювача довжини хвилі випромінення  $\lambda_{1\text{max}} = 254$  нм і по визначенню максимального значення фотосигнала з еталонної ГФ, було визначено фактичне положення максимуму випромінення. Аналогічно визначалися положення максимумів випромінення при установці на виході освітлювача  $\lambda_{2\text{max}} = 313$  нм;  $\lambda_{3\text{max}} = 365$  нм;  $\lambda_{4\text{max}} = 297$  нм та  $\lambda_{5\text{max}} = 546$  нм.

Таблиця 7.2.

Фактичні значення положення максимумів довжини хвилі випромінення

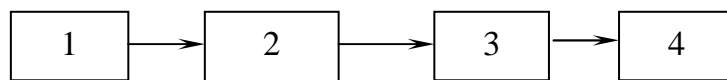
Найменування вимірюваного параметра	Вимога	Фактичне значення параметра
Довжина хвилі максимуму випромінення, нм		
$\lambda_{1\text{max}}$	$254 \pm 2$	256
$\lambda_{2\text{max}}$	$297 \pm 2$	298
$\lambda_{3\text{max}}$	$313 \pm 2$	313
$\lambda_{4\text{max}}$	$365 \pm 2$	365
$\lambda_{5\text{max}}$	$546 \pm 2$	546



Енергетична освітленість, мВт/м <sup>2</sup>		
$\lambda_{1\max}$		930.0
$\lambda_{2\max}$	не менше	212.0
$\lambda_{3\max}$	100	416.0
$\lambda_{4\max}$		296.0
$\lambda_{5\max}$		430.0
Нерівномірність енергетичної освітленості, %	не більше 10	7.5
Нестабільність потоку випромінення (на протязі десяти хвилин), %	не більше $\pm 5.0$	$\pm 1.2$
Час встановлення робочого режиму	30 хв	
Живлення освітлювача	220 В змінного струму	
Споживана потужність, В·А	400	390
Час неперервної роботи, год.	2	

Фактичні значення положення максимумів довжини хвилі оптичного випромінення приведені в таблиці 7.2.

Вимірювання енергетичної освітленості ( $E_e$ ) на довжинах хвиль:  $\lambda_{254}$ ,  $\lambda_{297}$ ,  $\lambda_{313}$ ,  $\lambda_{365}$  та  $\lambda_{546}$  проводилися на



установці, структурна схема якої наведена на рисунку 7.6.

Рисунок 7.6. Структурна схема установки для вимірювання енергетичної освітленості.

1 – освітлювач УФ випромінення;

2 – еталонна радіометрична головка;

3 – прецизійний перетворювач струм-напруга ППТН-03 ИДНМ 4.001.00;

4 – вольтметр цифровий В7-34А.

Еталонна ГР (2) атестована по монохроматичній чутливості в спектральному діапазоні довжин хвиль 200

- 1000 нм з похибкою не більше  $\pm 5\%$ . В робочій еталонній головці використовувався фотодіод ФД288.

Після виходу освітлювача на робочий режим та встановлення на його виході довжини хвилі випромінювання (наприклад,  $\lambda_{1\max} = 254$  нм), визначалася енергетична освітленість ( $E_{e1}$ ), яка розраховувалась по формулі:

$$E_{e1} = \frac{4 \times U_{\phi 1}}{K_{np} \times S_{\lambda 1} \times \pi \times d^2}, \quad (7.1)$$

де  $E_{e1}$  – енергетична освітленість, Вт/м<sup>2</sup>;

$U_{\phi}$  – напруга фотосигналу, виміряна вольтметром В7-34А, В;

$K_{np}$  – коефіцієнт перетворення ППТН-03, В/А;

$S_{\lambda 1}$  – монохроматична чутливість еталонної ГР на довжині хвилі  $\lambda_{1\max}$ , А/Вт;

$d$  – діаметр діафрагми, встановленої перед фотоприймачем, розмір якої визначений з похибкою не більше  $\pm 1\%$ , м.

Аналогічно визначалися енергетичні освітленості  $E_{e2}$ ,  $E_{e3}$ ,  $E_{e4}$  та  $E_{e5}$  при установці на виході освітлювача світлофільтрів з максимумами довжин хвиль  $\lambda_{2\max}$ ;  $\lambda_{3\max}$ ;  $\lambda_{4\max}$  та  $\lambda_{5\max}$  і, відповідно підставляючи в формулу (7.1) значення чутливості еталонної ГР на установленій довжині хвилі. Результати вимірювань наведені в таблиці 7.2. Величини енергетичної освітленості для інших джерел УФ випромінювання, в яких використовуються ртутні лампи, можуть мати інший від приведенного в таблиці 7.2 розподіл освітленостей по довжинах хвиль.

Вимірювання нестабільності потоку випромінювання ( $\delta_i$ ) проводилися на установці, структурна схема якої приведена на рисунку 7.7. Нестабільність робочої еталонної ГР була визначена попередньо і не перевищувала  $\pm 0,5\%$ . Після виходу джерела УФ випромінювання на робочий режим, було проведено вимірювання п'яти фотосигналів ( $U_{\phi i}$ ) на протязі десяти хвилин – часу, достатнього для проведення калібрування УФ вимірювача.

Нестабільність потоку випромінювання ( $\delta_i$ ) визначалася по формулі:

$$\delta_t = \frac{U_{\max} - U_{cp}}{U_{cp}} \times 100\% , \quad (7.2)$$

де  $U_{\max}$  - максимальне відхилення фотосигналу від його середнього значення  $U_{cp}$ .

Результати вимірювань наведені в таблиці 7.2.

Вимірювання нерівномірності енергетичної освітленості ( $\delta_{Ee}$ ) в площині розміщення ГР (в діаметрі  $\varnothing = 25$  мм) проводилися на установці, структурна схема якої наведена на рисунку 7.7.

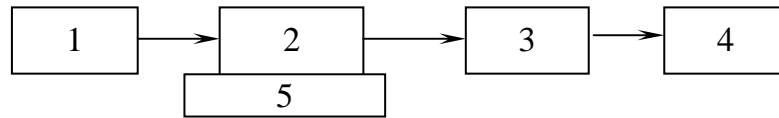
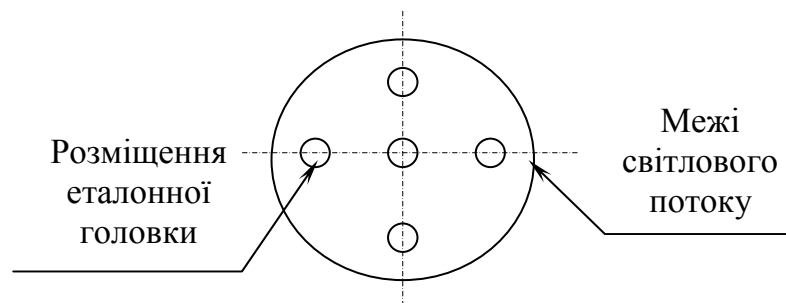


Рисунок 7.7. Структурна схема установки для вимірювання нерівномірності енергетичної освітленості.

- 1 – освітлювач УФ випромінювання;
- 2 – робоча еталонна головка;
- 3 – прецизійний перетворювач струм-напруга ППТН-03;
- 4 – вольтметр цифровий В7-34А;

5 – координатний столик.

Після встановлення перед еталонною ГР діафрагми діаметром 5 мм визначали фотосигнали (на робочій довжині хвилі  $\lambda_{\max}$ ) в центрі потоку випромінювання ( $U_1$ ) та в чотирьох точках ( $U_2, U_3, U_4, U_5$ ), які розміщені на взаємно перпендикулярних діаметрах на відстані 7 – 8 мм від центра, згідно рисунку 7.8.



Нерівномірність енергетичної освітленості ( $\delta_{E_e}$ ) в площині розміщення ГР визначалася за формулою:

$$\delta_{E_e} = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{cp}} \times 100\% , \quad (7.3)$$

де  $U_{\max}$  та  $U_{\min}$  – відповідно максимальне та мінімальне значення із п'яти вимірювань;

$U_{cp}$  – середнє значення фотосигнала.

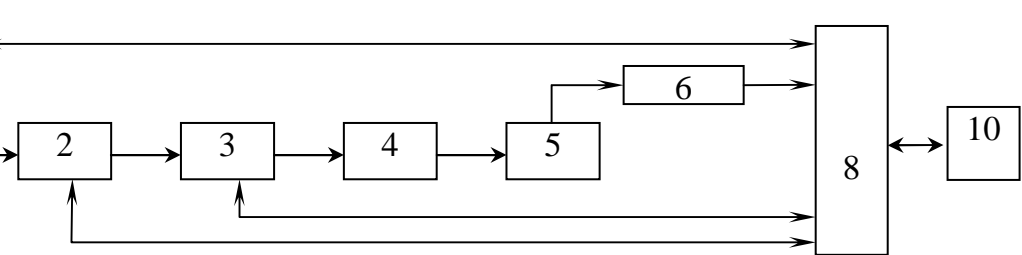
Нерівномірність енергетичної освітленості не перевищувала 5 %. Фактичні значення параметра наведені у таблиці 7.2. Додаткова інформація про інші параметри джерела УФ випромінення (споживана потужність, час неперервної роботи) приведені в таблиці 7.2.

Необхідно зауважити, що величини енергетичної освітленості джерел УФ випромінення, в яких використовуються інші типи ртутних ламп, можуть мати відмінний, від приведених в таблиці, розподіл освітленостей по довжинах хвиль. Для зменшення впливу нестабільності випромінювання на результат калібрування введено канал контролю нестабільності енергетичної освітленості для врахування цієї нестабільності під час калібрування.

Основні параметри та метрологічні характеристики джерела УФ випромінення є достатніми для калібрування вимірювачів параметрів УФ випромінення. Точність встановлення максимумів довжини хвилі випромінення не перевищує  $\pm 2\%$ , нестабільність потоку випромінення не перевищує  $\pm 1,2\%$ , нерівномірність енергетичної освітленості не перевищує 5 %.

### 7.3 Установка для вимірювання спектральних характеристик чутливості електронно-оптичних приладів

З метою аналізу спектральних характеристик чутливості первинних перетворювачів та приладів на їх основі, призначених для вимірювання параметрів енергетичних характеристики оптичного випромінювання, розроблена установка для вимірювання спектральних характеристик чутливості електронно-оптичних приладів ИДНМ4.011.00.00 на базі автоматизованого спектрального комплексу КСВУ-23 для вимірювань фото- та радіометричних параметрів оптоелектронних приладів, зображення якої наведено на рисунку 7.9, а структурна схема на рисунку 7.10 [287].



7.10. Структурна схема установка для вимірювання спектральних характеристик чутливості електронно-оптичних приладів ИДНМ4.011.00.00.

Рисунок 7.9. Зовнішній вигляд установка для вимірювання спектральних характеристик чутливості електронно-оптичних приладів ИДНМ4.011.00.00

- Установка складається з джерела випромінювання;
- освітлювача;
- монохроматора;
- конденсор;
- УИДНМ4.011.00.00 на головка;
- 6 – прецизійний підсилювач ППТН-03;
- 7 – діалого-обчислювальний комплекс;
- 8 – програмний пристрій керування;
- 9 – стабілізатор;
- 10 – друкуючий пристрій.

фотоприймального блока та електро-реєструючого пристрою. Перед вхідною щілиною монохроматора встановлюється блок освітлювача з дейтерієвою лампою ДДС30 та лампою розжарювання ОП-33-0.3. Дейтерієва лампа призначена для забезпечення вимірювань у діапазоні 200 – 500 нм.

Спектральні характеристики розподілення потоку випромінювання лампами ДДС30 і ОП-33 на виході монохроматора наведені на рисунку 7.11.

Як видно з рисунка, величини потоків у спектральних діапазонах 200 - 220 нм та 450 - 500 нм не перевищують 20 % від потоку в максимальному розподіленні, тому похибки вимірювань спектральних характеристик чутливості фотоприймачів або коефіцієнтів пропускання світлофільтрів, що досліджуються, зростає у 2 - 5 рази у порівнянні з похибкою в спектральному діапазоні 250 - 450 нм.

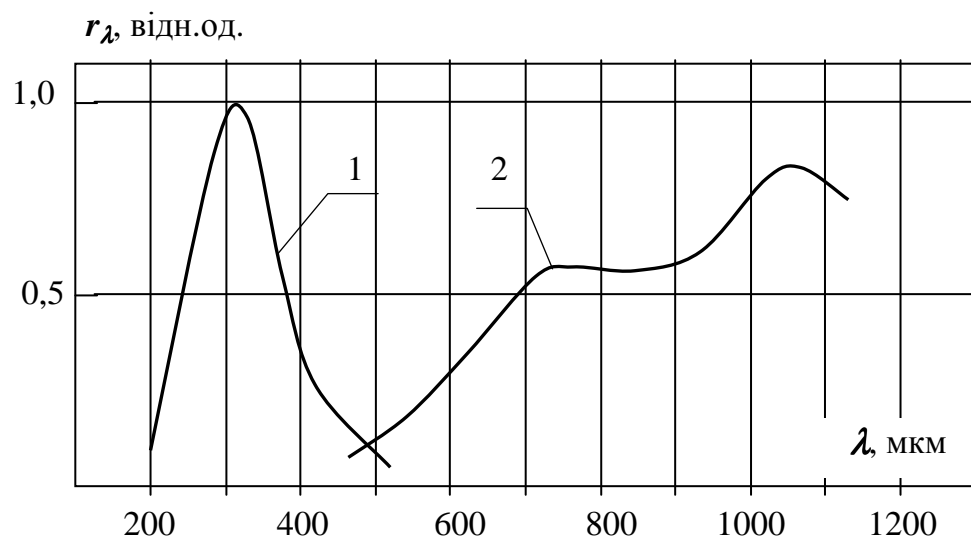


Рисунок. 7.11. Спектральні характеристики розподілення потоку випромінювання лампами ДДС30 і ОП-33 на виході монохроматора.

1 – лампа ДДС30;

2 – лампа ОП-33.

Необхідно відмітити, що рівень фонового (розсіяного всередині монохроматора) потоку випромінення досить великий, для зменшення його впливу на якість вимірювання, комплекс КСВУ-23 доукомплектовано ще одним монохроматором МДР-23. Таким чином, одержано подвійний монохроматор.

Фотоприймачі, які входять до складу промислового комплексу спектрального КСВУ-23, не задовольняли вимогам до еталонних засобів вимірювання в діапазоні вимірювань 200 – 2000 нм. Тому була розроблена, виготовлена та атестована по відносній та абсолютній чутливості в спектральному діапазоні від 200 до 1100 нм спектральна ГФ на основі прецизійного фотодіоду типу ФД-228В [163]. Фотометричні параметри розробленої ГФ наступні: величина чутливості спектральної характеристики в максимумі  $S_{I_{max}} = 0,34$  А/Вт; темновий струм головки спектральної при робочій напрузі  $U_p = 1$ В не перевищує  $I_T = 1 \cdot 10^{-9}$  А (при напрузі  $U_p = 0,10$  В струм  $I_m \leq 1 \cdot 10^{-11}$  А); нестабільність чутливості протягом 8 годин неперервної роботи менш 0,5 %; нелінійність енергетичної характеристики головки при зміні потоку випромінювання від  $5\Phi_n$  до  $10^6\Phi_n$  не перевищує  $\pm 1$  % ( $\Phi_n$  – порогова чутливість головки).

Для обробки фотосигналу установкою ИДНМ4.011.00.00 на базі комплексу КСВУ-23, його напруга повинна бути на рівні 0,1 – 1,0 В. Тому для підсилення фотосигналу нами розроблено прецизійний перетворювач струм-напруга, який має сполучення з комп'ютером ППТН-03 [288] з коефіцієнтами підсилення від  $10^2$  до  $10^8$  В/А. Основна відносна похибка перетворення ППТН-03 не перевищує  $\pm 1,0$  %.

Технічні характеристики установки ИДНМ4.011.00.00 наведено в таблиці 7.3.

Таблиця 7.3.

Технічні характеристики установки для вимірювання спектральних характеристик чутливості електронно-оптичних приладів ИДНМ4.011.00.00

Характеристика	Норма
Діапазон роботи, нм	200 - 2000
Фокусна відстань дзеркального об'єктиву, мм	600
Відносний отвір	1:6
Дифракційні ґратки - змінні: число штрихів на мм робоча область, нм	1200-I, 1200-II, 600-III 200 – 350 – 700 – 500; 1000; 2000
Область максимальної концентрації енергії, нм	250; 500; 1000
Зворотна лінійна дисперсія, нм/мм	1,3 2,6
Робочий порядок	Перший
Швидкість сканування для ґратки 1200 штр/мм, нм/с	0,2 – 80

#### **7.4 Установка для дослідження фотоприймачів та калібрування фотометрів.**

**7.4.1 Стенд для формування стабільних потоків оптичного випромінювання при вимірюванні енергетичних характеристик і нелінійності чутливості електронних приладів.**

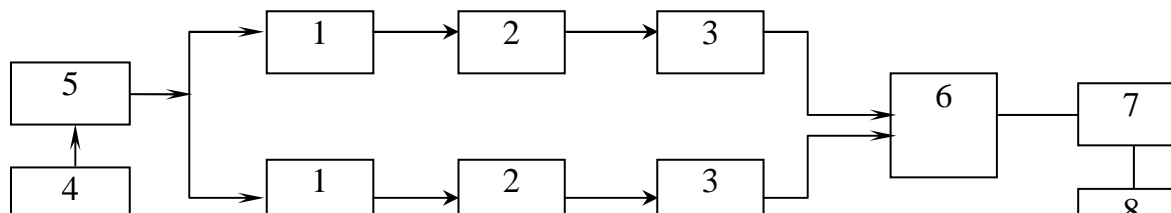


Важливою характеристикою первинних перетворювачів, які застосовуються для вимірювання енергетичних характеристики оптичного випромінювання є лінійність вихідного сигналу в широкому діапазоні зміни потоків випромінювання вхідного оптичного сигналу (тобто потоку випромінювання).

Для вимірювання нелінійності енергетичної характеристики чутливості відповідних фотоприймачів розроблено та виготовлено стенд для формування стабільних потоків випромінювання при вимірюванні енергетичних характеристик і нелінійності чутливості електронних приладів ИДНМ4.004.00.00 [287, 289 (Добровольский Ю.Г., Кузенко В.Ю., Шабашкевич Б.Г. Программное обеспечение для расчета нелинейности энергетической характеристики УФ фотодиода с бартером Шоттки), 290 (Шабашкевич Б.Г., Добровольский Ю.Г. Юрев В.Г. Метрологический комплекс – рабочий эталон силы света, освещенности та яскравості)], структурна схема якої представлена на рисунку 7.12, зовнішній вигляд на рисунку 7.13.

Завдяки спектральному складу випромінювання лампи типу КГМ24-150 забезпечується вимірювання енергетичних характеристик фотоприймачів, чутливих в УФ, ВД та ІЧ областях спектра. Концентрація потоку випромінювання забезпечується об'єктивами, а його ослаблення – світлофільтрами.

Метод вимірювання складається з послідовного нарощування потоків випромінювання від рівня темного сигналу з почерговим засвітленням ФЧЕ фотодіоду, потоком з одного каналу випромінювання, далі другого, а далі і обох каналів випромінювання доти, доки відхилення сигналу не досягне заданого рівня. Відношення максимального сигналу до темного визначає динамічні діапазони чутливості фотодіоду. Межі основної відносної припустимої похибки вимірювання нелінійності енергетичної характеристики не перевищує  $\pm 1\%$ .



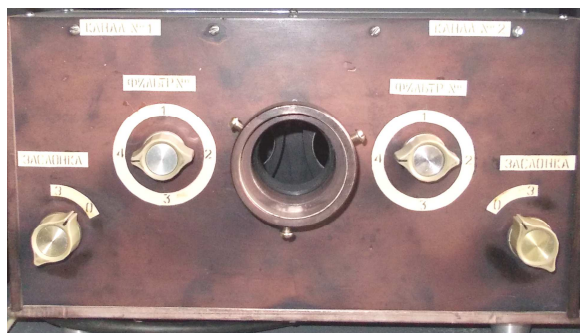


Рис. 7.13. Зовнішній вигляд стану для формування стабільних потоків випромінення при вимірюванні енергетичних характеристик і нелінійності чутливості електронних приладів ИДНМ4.004.00.00.

#### 7.4.2 Модуль сполучення вимірювального приладу з персональним комп'ютером

Актуальним завданням сучасної вимірювальної техніки є обробка і виведення результатів вимірювань на комп'ютер для подальшої обробки та зберігання. У наших дослідженнях, при вимірюванні енергетичних характеристик первинних перетворювачів та приладів на їх основі часто застосовувався прецензійний перетворювач струм-напруга ППТН-03 [291]. Для передачі результатів вимірів, зроблених за допомогою цього приладу на персональний комп'ютер (ПК) з середовищем Windows XP розроблено спеціалізований модуль сполучення (МС) приладу з ПК. Важливим елементом розробки є забезпечення передачі даних від вимірювального приладу в комп'ютер з похибкою не більше 1 %, що сприяє мінімізації похибки вимірювання певного параметру у цілому.

Основними проблемами при вирішенні поставленого були:

- отримання достовірних (з певною точністю) величин із зовнішніх вимірювальних пристроїв;
- узгодження МС з відповідним портом ПК;
- уніфікований програмний інтерфейс для використання в спеціалізованому програмному забезпеченні (ПЗ).

Рішення першої проблеми забезпечується конструкцією вимірювального приладу, точністю його вимірів, зокрема - величиною основної відносної похибки вимірювань. Межа допустимої основної відносної похибки коефіцієнта перетворення ППТН-03 в діапазоні вхідних струмів від  $1 \cdot 10^{-10}$  до  $2 \cdot 10^{10-4}$  А складає не більше  $\pm 2$  %. [291].

Було враховано той факт, що реальні вимірювальні комплекси, які використовуються сьогодні - це пристрої, розроблені в кінці 90-х на початку 2000-х років. А їх особливість, як відомо, полягає в тому, що вони були, забезпечені LPT і COM портами. Повторна інсталяція програмного забезпечення, розробленого під застарілі апаратні засоби, на сучасні комп'ютери, пов'язана з рядом складнощів. Тому задача передачі даних вимірювань на COM-порт все ще залишається актуальною.

З урахуванням вищевикладеного розроблений МС вбудований у прецизійний перетворювач струм-напряга ППТН-03 для забезпечення його зв'язку з ПК через СОМ порт. Зовнішній вигляд приладу наведено на рисунку 7.14.

МС побудований на базі аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) ADS7822, що представляє собою 12-ти розрядний АЦП із послідовним інтер-

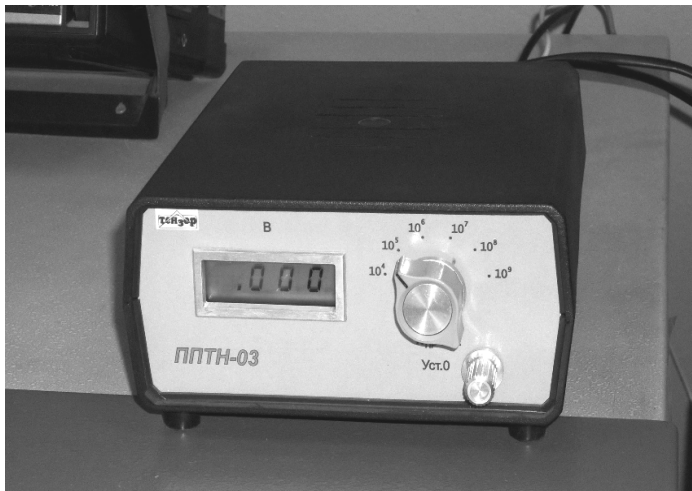


Рис. 7.14. Зовнішній вигляд ППТН-03.

фейсом. В якості джерела опорної напруги використовується мікросхема MAX873. Напруга стабілізації 2,5 В. Перед подачею вихідної напруги з ППТН на АЦП-2, вона масштабується і зміщується на нульовий рівень для забезпечення вимірювань як позитивних так і негативних напруг до 2,5 В. Таким чином, вихідний двійковий 12-ти розрядний код АЦП-2 відповідає вхідній напрузі від -2,5 до +2,5 В. Розрахунок значення вимірюваної напруги в десятковому коді проводиться в ПК при зчитуванні вимірюваного значення. Інтерфейс АЦП ADS7822 трехпровідний. Шина  $\overline{CS}$  - вибір мікросхеми, DCLOCK - вхід тактової частоти і шина  $D_0$  - побітне виведення даних попереднього вимірювання.

Протокол зв'язку МС з ПК наведено на рисунку 7.15.

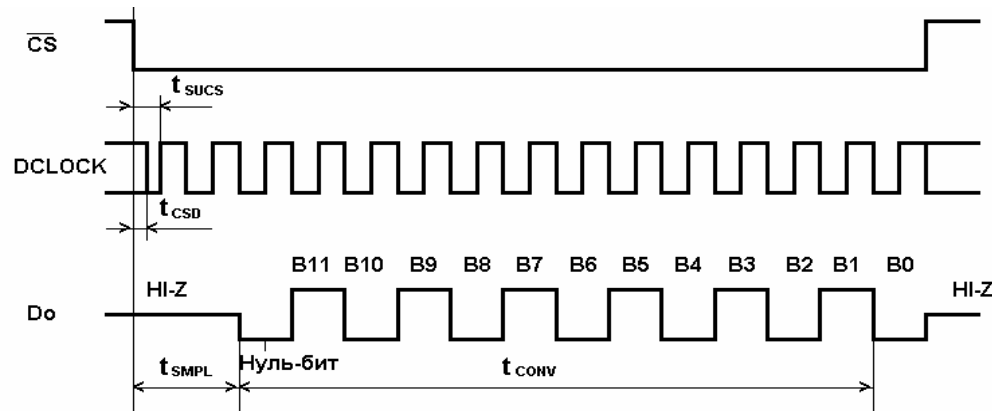


Рис. 7.15. Протокол зв'язку АЦП ADS7822.

Основні часові характеристики АЦП

ADS7822 наступні:

$t_{SMPL}$  - момент початку перетворення - 2-а циклу тактової частоти, після подачі сигналу  $\overline{CS}$ ;

$t_{CONV}$  - час перетворення - 12 циклів тактової частоти;

$t_{CSD}$  - час затримки від  $\overline{CS} \downarrow$  до  $DCLOCK \downarrow$  - 0 нс;

$t_{SUCS}$  - час затримки від  $\overline{CS} \downarrow$  до  $DCLOCK \uparrow \geq 30$  нс;

$t_{CYC}$  - максимальна частота вимірів  $\leq 75$  кГц.

Робота АЦП ADS7822 відбувається наступним чином. Після подачі низького логічного рівня на вхід  $\overline{CS}$ , на вхід DCLOCK подаються імпульси тактової частоти. Перші два імпульсу тактової частоти є підготовчими. На виході  $D_0$  в цей час високоімпедансний стан. На третьому імпульсі, на виході  $D_0$  з'являється нульовий рівень (нуль-біт) і починається новий вимір вхідного сигналу і виведення інформації попереднього вимірювання. Далі, 12 імпульсів тактової частоти видають по  $D_0$  12 біт інформації попереднього вимірювання. Причому, першим виводиться старший біт ( $B_{11}$ ). Лічене двійкове число перетвориться в десяткове за формулою:

$$D = B_{11} \cdot 2^{11} + B_{10} \cdot 2^{10} + \dots + B_0 \cdot 2^0, \quad (7.4)$$

При величині опорного напруги 2,5 В, максимальному десятковому числу 4095 (12 біт двійкових чисел) відповідає величина вхідного напруги 2,5 В. Тоді вимірювана величина:

$$U = \frac{D}{4095} \cdot 2,5V, \quad (7.5)$$

Для забезпечення вимірювань напруг від -2,5 В до +2,5 В напруга, що подається на вхід АЦП ділиться на 2 і проводиться зсув нуля на рівень +1,25 В. Таким чином, вхідній (вимірюваній) напрузі від -2,5 В до +2,5 В відповідає напруга від 0 до +2,5 В, що подається на АЦП. Враховуючи, що кома фіксована і знаходиться після першого знака, остаточна формула для розрахунку вимірюваної величини прийме вигляд:

$$U = \left( 5 \times \frac{D}{4095} - 2.5 \right) V, \quad (7.6)$$

У ППТН-03 для забезпечення вимірювань в широкому діапазоні, перемікається коефіцієнт перетворення ПТН. Є шість піддіапазонів вимірювань. Для правильного визначення вимірюваної величини в ПК повинен вводитися піддіапазон вимірювань. Для цього використовується три додаткових шини.

Управління АЦП-2 і зчитування даних здійснюється через СОМ-порт ПК. При цьому для управління АЦП використовуються шини DTR (сигнал  $\overline{CS}$ ) і RTS (сигнал DC LOCK). Інформація з виходу  $D_0$  АЦП перетвориться в двополярний рівень і подається на СОМ-порт по шині CTS. Інформація про піддіапазоні вимірювань передається в комп'ютер по шинах DSR, RI і CD відповідно до таблиці 7.4.

Таблиця 7.4

Коефіцієнт	DSR	RI	CD
$10^4$	0	0	0

$10^5$	1	0	0
$10^6$	0	1	0
$10^7$	1	1	0
$10^8$	0	0	1
$10^9$	1	0	1

В комп'ютері шини DTR і RTS COM-портів доступні за адресою COM-порту + 4 (адреса COM1 - 3F8, а COM2 - 2F8). Стан шини DTR відповідає стану нульового біта записуваного байта, а шина RTS - станом першого біта байта. Стан шин при запису за адресою 3F8 (2F8) + 4 десяткового числа наведено в таблиці 7.5.

Таблиця 7 . 5.

Число, що записується	Стан шини DTR	Стан шини RTS
0	0	0
1	1	0
2	0	1
3	1	1

Шини прийому DSR, CTS, CD та RI доступні за адресою регістра статусу модему COM-порту 3F8 (2F8) + 6. При цьому стан шин відповідає стану бітів байта регістра статусу згідно з таблицею 7.6.

Таблиця 7.6.

Шина	Номер біта байта	Десятковий еквівалент одиночного стану біта
CD	7	128
RI	6	64
DSR	5	32
CTS	4	16

Таким чином, для введення вимірної величини в ПК керуюче ПЗ повинно забезпечити формування керуючих сигналів згідно з протоколом зв'язку, визначити піддіапазон вимірювань і перетворити вимірне значення в зручний вид для відображення або використання в подальших розрахунках.

Розглянемо на прикладі тест-програми ППТН03.bas для перевірки ППТН03 практичну реалізацію описаного протоколу.

При циклічному зчитуванні інформації рекомендується використовувати частоту зчитування 2 ... 5 Гц. При одноразовому зчитуванні вимірюваної величини необхідно провести вимірювання двічі і за істинний результат прийняти другий вимір. На платі сполучення з ПК встановлені два підстроювальних резистора для установки величини опорного напруги ( $U_{оп} = 2,500 \text{ В}$ ) і установки нуля (установка зсуву напруги на 1,25 В).

Програмне забезпечення складається з тест-програми, написаної на мові BASIC: ППТН03.bas і цієї ж програми, компільованої в exe-файл: ППТН03.exe. Програма ППТН03.bas запускається, практично, з будь-якої оболонки. Для спрощення роботи з ППТН-03 передбачений варіант цієї програми, компільовати в exe-файл. Ця програма запускається в середовищах MS DOS, а також в Windows, в тому числі WindowsXP. Після запуску програми вводиться значення тактової частоти ПК і програма починає свою роботу в періодичному режимі. На екран монітора виводяться значення



вихідної напруги ППТН03, встановлений коефіцієнт перетворення і значення вхідного (вимірюваного) струму (рисунок 7.16).

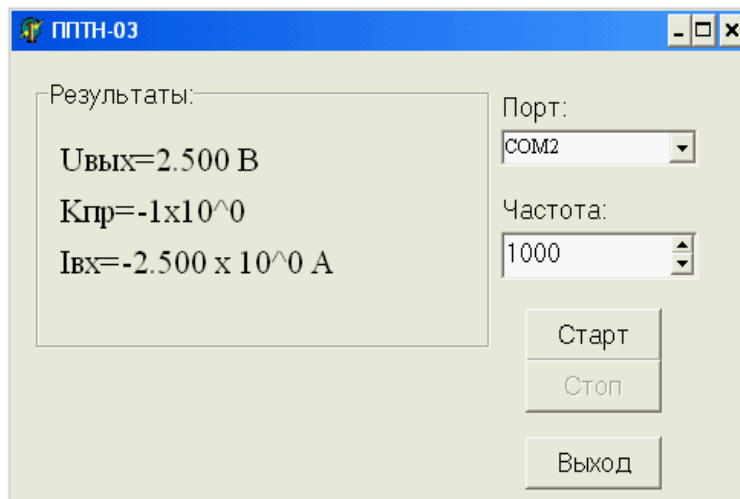


Рисунок 7.16. Інтерфейс ПЗ ППТН-03.

Визначення похибки передачі інформації з МС на ПК ( $\delta_{\text{ПК}}$ ) проводиться за допомогою установки, блок-схема якої наведена на рисунку 7.17.

Пристосування для вимірів (2) являє собою струмозадаючий резистор (резистор послідовно з'єднаний з блоком живлення і входом ППТН-03) номіналом 10 кОм і 10 МОм (далі  $R_r$ ). При вимірах контролюється різниця показань зовнішнього вольтметра і значення вихідної напруги на екрані ПК. Показання не повинні відрізнятися більш ніж на 1 % при вихідній напрузі більше 0,5 В. При відключеному вхідному струмі ППТН-03 показання не повинні перевищувати  $\pm 5$  одиниць молодшого розряду. При невиконанні цих вимог здійснюється підстроювання АЦП-2. На платі сполучення з ПК встановлені два підстроювальних резистора для установки величини опорної напруги ( $U_{\text{оп}} = 2.500 \text{ В}$ ) і установки нуля (установка зсуву напруги на 1,25 В). Таким чином, похибка передачі інформації на ПК за допомогою розробленого модуля не перевищує 1%.

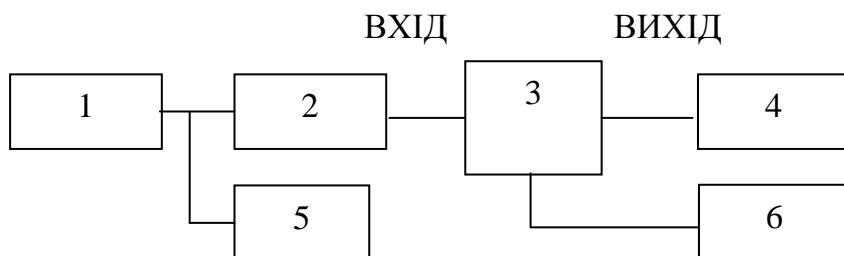


Рисунок 7.17. Блок-схема установки для визначення похибки передачі інформації з ППТН-03 через МК на ПК.

- 1 - блок живлення Б5-43;
- 2 – пристосування для вимірювання;
- 3 - ППТН-03;
- 4, 5 - вольтметр цифровий В7-28 (В7-34А);
- 6 - ПК.

### 7.4.3 Аналогово-частотний перетворювач для введення даних до ПК

Для введення та обробки результатів вимірювань аналогових величин, еквівалентних енергетичним параметрам оптичного випромінення, виміряних за допомогою фотодіодів на ПК розроблений аналогово-частотний перетворювач [292].

Жоден з відомих та широко вживаних портів (лінійний (або мікрофон-ний – інколи – змішаний) вхід; RJ45 (Ethernet); USB 2.0; PCMCIA; RS232), в тому числі цифрових входів (USB 2.0, PCMCIA, RS232), не призначені для прямого вводу постійного аналогового сигналу до ПК. У зв'язку з цим було розглянуто питання щодо можливості та точності введення аналогових та дискретних величин за допомогою аналогово-частотного перетворення (перетворення напруга-частота) та лінійного (мікрофонного) входу до ПК. [292]. При розгляді цього завдання виявляються деякі обмеження, які

не дозволяють ввести вимірний сигнал без додаткових пристроїв. В таблиці 7.7, для прикладу, наведені основні характеристики лінійного входу звукового адаптеру ПК (АС'97).

Як видно з наведених характеристик, точність аналогового входу по амплітуді є досить низькою. Крім того, на лінійний вхід не можливо подавати постійний струм. Також існує проблема залежності характеристик підсилення та нелінійності даного входу від апаратної реалізації. Отже, вимірювання сигналу за його рівнем стає досить важким (а у випадку постійної напруги) і неможливим завданням.

Таблиця 7.7.

	Характеристика	Значення	
Дещо по-іншому базується на аналізі сигналу. Тут точність частоти дискретизації, вхідного тракту (АЦП) та від часу (АЦП) та від часу. Оскільки для достатньо вирахувати сигнал за заданий проміжок часу – то рівень сигналу та нелінійні спотворення на точність вимірів не впливають (у випадку гармонічного сигналу).	Вхідний опір, кОм	10	виглядає підхід, який
	Вхідна ємність, пФ	7.5	частоти вхідного
	Типова максимальна напруга, В	1.0	залежить від обраної
	Пропускна частота вхідного АЦП, Гц (гарантована)	20-19200	пропускної здатності
	Чутливість АЦП, дБ	75	лінійного входу
	Частота дискретизації, кГц	48000	вимірювання.
Фільтрація шумів джерела живлення, дБ	-40	вимірювання частоти	
			кількість фронтів

Оскільки для вимірювання частоти нам необхідно визначити період сигналу, то максимально можливою частотою для вимірювання є  $48000/2 = 24$  кГц (теорема Найквіста). Оцифровування сигналу здійснювалось згідно [293]. Для більш

точного визначення відстані між фронтами одного періоду варто використовувати нижчі частоти, але не менше нижньої межі АЦП звукової плати - 20 Гц.

Точність вимірювань при цьому складатиме:

$$\Delta = \frac{F_{вим}}{F_{дискр}} \cdot 100\% , \quad (7.7)$$

де  $F_{вим}$  – виміряне значення частоти;

$F_{диск}$  – частота оцифрування.

Наприклад, для частоти оцифрування  $F_{диск} = 48000$  Гц та  $F_{вим} = 200$  Гц точність буде  $\approx 0,4\%$ .

Отже, чим нижча частота вимірювань, тим вища точність отриманих результатів.

Враховуючи особливість побудови звукових адаптерів, а саме стабілізацію частоти за допомогою кварцового генератору для підвищення точності вимірювання, можна використати підхід з підрахунком кількості фронтів за певний період часу. У цьому випадку точність буде розраховуватись за формулою:

$$\Delta = \frac{F_{вим}}{N \times F_{дискр}} \cdot 100\% , \quad (7.8)$$

де  $N$  – кількість виміряних фронтів сигналу.

Із цього видно, що чим більший час вимірювання сигналу, тим вища досягнута точність, оскільки вона залежить від частоті дискретизації АЦП звукового адаптера та часу вимірювань. У таблиці 7.8 показано залежність точності від частоти та часу вимірювань. Час, необхідний для здійснення вимірювання, розраховується за формулою:

$$t = 1/(N \times F_{вим}), \quad (7.9)$$

Звідси – точність вимірювання:

$$\Delta = \frac{1}{t \times F_{\text{дискр}}} \cdot 100\% , \quad (7.10)$$

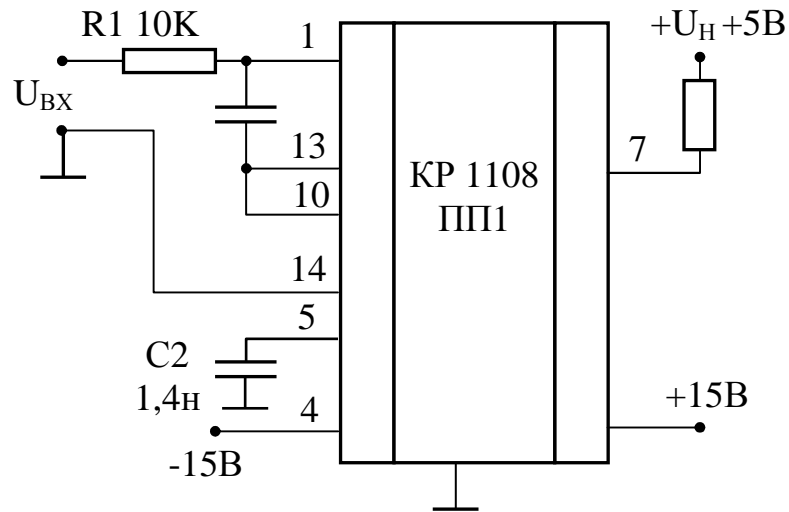
Таблиця 7.8.

Точність вимірювань при $F_{\text{дискр}} = 48000$ Гц			
$F_{\text{вим}}$ (Гц)	Точність вимірювання, %		
	N=1	N = 100	N = 1000
100	0.21	$2.1 \cdot 10^{-3}$ (1 сек)	$2.1 \cdot 10^{-4}$
200	0.42	$4.2 \cdot 10^{-3}$	$4.2 \cdot 10^{-4}$
500	1	$1.0 \cdot 10^{-2}$	$1.0 \cdot 10^{-3}$
1000	2.1	$2.1 \cdot 10^{-2}$	$2.1 \cdot 10^{-3}$ (1 сек)
2000	4.2	$4.2 \cdot 10^{-2}$	$4.2 \cdot 10^{-3}$
5000	10	$1.0 \cdot 10^{-1}$	$1.0 \cdot 10^{-2}$

Для визначення кінцевих значень, що будуть зареєстровані у системі, зручно використовувати інтерполяцію (у найпростішому випадку – лінійну). Калібрування (визначення точок відповідності напруга-частота) приладу, проводиться в лабораторії з допомогою еталонних вимірювальних пристроїв.

Оскільки графік перетворень напруга/частота не обов'язково є лінійним, то від кількості вимірювань, що були проведені під час калібрування приладу, буде залежати і кінцева точність вимірів. Отримані на етапі калібрування дані використовуються під час експлуатації приладу. Для визначення значення напруги в найпростішому випадку можна використати лінійну інтерполяцію, але для підвищення точності у промислових варіантах варто застосовувати поліномну інтерполяцію.

З урахуванням вище наведеного, нами розроблений комутуючий пристрій [294 (Прохоров Г.В., Прохоров В.Г., Добровольський Ю.Г. Аналогово-частотний перетворювач сигналів для введення даних із зовнішніх пристроїв в ПК та їх подальшої обробки)] на базі аналого-цифрового перетворювача КР 1108 ПП1, який дозволяє електричний сигнал напругою від 0 до 10 В перетворювати у гармонійний сигнал з амплітудою 0,1В і частотою від 20 Гц до 24 кГц. Електрична схема перетворювача наведена на рисунку 7.18.



Запропонований метод дозволяє не лише передавати певний сигнал, а і здійснювати вимірювання, наприклад, напруги від 0 до 10 В. Невеликою зміною конструкції можна забезпечити більш широкий діапазон вимірювань. Основні переваги вимірювання напруги та введення сигналу на ПК, виміряного іншим приладом,

Рисунок 7.18. Електрична схема аналогово-частотного перетворювача за допомогою метода амплітудно-частотного перетворення полягає в універсальності входу – вхід мікрофону, або лінійний вхід, які є в кожному ПК, низька собівартість та просте програмне забезпечення.

### 7.5 Метрологічний комплекс - робочий еталон сили світла, освітленості та яскравості

Для дослідження параметрів первинних перетворювачів видимого діапазону спектру (фотодіодів), а також для атестації, первинної та періодичної повірок фотометрів створено установку [284, 295 (Б.Шабашкевич, Ю.Добровольський, В.Юр'єв Метрологічний комплекс - робочий еталон сили світла, освітленості та яскравості)] для

вимірювання світлових та енергетичних параметрів оптоелектронних приладів [296], яка укомплектована еталонними вимірювальними ГФ та РГ виробництва НПФ «Тензор» [297 (Добровольский Ю.Г., Шабашкевич Б.Г. Датчики оптического излучения измерительной техники для санитарно-гигиенических исследований на рабочих местах)] з основною відсноною похибкою вимірювань  $\pm 1,5\%$ .

Структурна схема метрологічної установки наведено на рисунку 7.19.

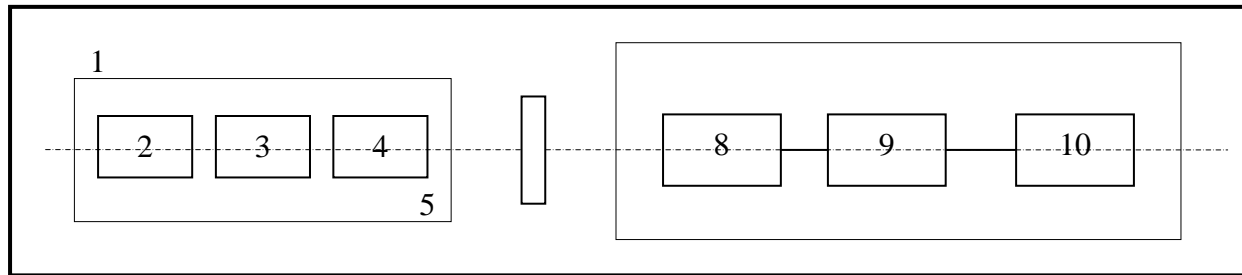


Рис. 7.19. Структурна схема метрологічної установки для атестації, первинної та періодичної повірок фотодіодів та фотометрів.

- 1 - стенд фотометричний;
- 2 - блок живлення Б5-21;
- 3 - ампервольтметр М2015;
- 4 - джерело випромінення – лампа розжарення з кольоровою температурою  $T_{\text{цв}} = (2856 \pm 100)\text{K}$ ;
- 5 – корпус джерела випромінення;
- 6 - молочний екран (діафрагма);
- 7 – фотометр (фотодіод);
- 8 - ГФ вимірювальна;
- 9 - прецизійний перетворювач струм-напруга ППТН-03;
- 10 - вольтметр цифровий універсальний В7-34А.

Конструктивно установку виконано у вигляді стенду, в середині якого встановлюється фотометрична лава з комплектом пристосувань для точного кріплення ГФ, молочного екрану та діафрагм. Захисна камера забезпечує відсутність конвективних потоків, фонових засвіток та випромінень електричних і магнітних полів.

В якості джерела випромінення типу А при дослідженні фотометра (фотодіода) за освітленістю використовується лампа розжарення типу РН-12-100, яка паспортизована за кольоровою температурою, що дорівнює 2856К. Джерело оптичного випромінення

забезпечує засвітку від 100 до 1000 лк.

Для перевірки яскравомірів в блоці формування випромінення на відстані 300 мм від дослідного приладу встановлюється екран з молочного скла. Для живлення лампи розжарювання та контролю струму розжарювання лампи використовують стандартні блоки. Для зменшення похибки вимірювань та впливу на них фонового та розсіяного випромінення в установці застосовуються світлозахисні екрани. При цьому рівень фонових засвіток не перевищує  $\pm 1\%$ .

Технічні характеристики розробленої установки наведені у таблиці 7.10.

Таблиця 7.10.

Технічні характеристики метрологічної установки  
для атестації фотометрів

Найменування характеристики, одиниці вимірювання	Норма
Діапазон вимірювання освітленості, лк	$1 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^3$
Основна відносна похибка вимірювань освітленості, %	$\pm 3,0$
Рівень фонові засвітки, не більше, %	$\pm 1,0$
Нестабільність потоку випромінювання, не більше, %	$\pm 1,0$
Габаритні розміри, мм	3000x1900x85

Атестація робочих еталонів (ГФ на основі ФД-288) виконується за ГОСТ8.0244, в якості зразкових засобів використовуються зразкові світловимірювальні лампи третього розряду СИС107-500, які атестовані за силою світла при кольоровій температурі  $(2856 \pm 100)\text{K}$ . Границя основної відносною похибкою ГФ складають  $\pm 2,78\%$  при вимірюванні освітленості від джерела типу А.



Результати метрологічної атестації ГФ наведені в таблиці 7.11.

Таблиця 7.11.

Результати метрологічної атестації розробленої ГФ

Найменування параметру	Рівень параметра
Струмова інтегральна чутливість, $A \cdot m^2 / Wt$ без косінусної насадки з косінусною насадкою	$8 \cdot 10^{-6}$ $8 \cdot 10^{-7}$
Струмова інтегральна чутливість до світлового потоку від джерела з кольоровою температурою $T_{цв} = 2850 K$ , $A / лк$ без косінусної насадки з косінусною насадкою	$5 \cdot 10^{-8}$ $5 \cdot 10^{-9}$
Границя основної відносної похибки вимірювань потоків випромінювання, %	$\pm 10$
Нелінійність енергетичної характеристики в динамічному діапазоні $10^6$ , %	$\pm 0,5$
Коефіцієнт послаблення косінусної насадки, раз	10
Час встановлення робочого режиму, хв	0,5
Час неперервної роботи, год	8
Габаритні розміри, мм	45x55

Впровадження в експлуатацію державного первинного еталона сили світла – кандели, а також впровадження «Державної повірочної схеми для засобів вимірювання світлових величин» [298, 299] лягли в основу метрологічного забезпечення стану вимірювань характеристик оптичного випромінення, які мають велике значення для життєдіяльності людини.

### **Висновки до сьомого розділу.**

1 Створено комплекс метрологічного обладнання для перевірки параметрів первинних перетворювачів, призначених для вимірювання енергетичних параметрів оптичного випромінення та приладів на їх основі:

- установку для формування стабільних потоків випромінення в УФ - діапазоні ИДНМ4.020.00.00 з комплектом інтерференційних вузькосмугових світлофільтрів на довжини хвиль  $(254 \pm 2)$  нм,  $(297 \pm 2)$  нм,  $(313 \pm 2)$  нм та  $(365 \pm 2)$  нм, з коефіцієнти пропускання за межами робочого діапазону довжин хвиль не більше 0,2 %. Точність встановлення максимумів довжини хвилі випромінювання не перевищує  $\pm 2$  %, нестабільність потоку випромінення не перевищує  $\pm 1,2$  %, нерівномірність енергетичної освітленості не перевищує 5 %;

- установка ИДНМ4.011.00.00 для вимірювання спектральних характеристик чутливості електронно-оптичних приладів, спектральний діапазон чутливості якої складає 200 – 2000 нм.

- стенд для формування стабільних потоків випромінення при вимірюванні енергетичних характеристик і нелінійності чутливості електронних приладів методом додавання світлових потоків ИДНМ4.004.00.00, межі основної відносної припустимої похибки вимірювання якої не перевищує  $\pm 1$  %.

