

И. В. ДОКТОРОВИЧ, д. т. н. В. Н. ГОДОВАНЮК, В. Г. ЮРЬЕВ, к. ф.-м. н. В. Г. ЖИТАРЮК*

Украина, г. Черновцы, ЦКБ «Ритм»;

*Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича

E-mail: rhythm@chv.ukrpack.net

ПРОБЛЕМЫ ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ФОТОПРИЕМНИКОВ И НЕКОТОРЫЕ ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Рассмотрены трудности, возникающие при измерении интегральной чувствительности фотоприемников в различных спектральных диапазонах (в инфракрасной, видимой и ультрафиолетовой областях). Предложены пути решения проблем использования источников с разными спектральными характеристиками и приведены результаты исследований метрологических характеристик разработанных методик проведения таких измерений.

Ключевые слова: фотоприемники, интегральная чувствительность, фотоэлектрические параметры, проведение измерений, ИК, УФ, видимый диапазон, погрешность измерений.

Разработчики фотоприемников (ФП), предназначенных для различных спектральных диапазонов, при измерении их интегральной чувствительности зачастую сталкиваются с проблемой значительного разброса получаемых значений. Несмотря на то, что термин «интегральная чувствительность ФП» стандартизирован, собственно процедура выполнения измерений чувствительности полна неявных факторов, влияющих на результат.

Для видимой и ИК-областей существует набор стандартизованных источников излучения, и здесь возникает потребность повышения точности выполнения измерений. Эти вопросы авторы решают методически, исследуя процедуры выполнения измерений с точки зрения метрологических характеристик и вырабатывая рекомендации по измерительным установкам и применению конкретных методик. При измерениях параметров ФП проблемным в метрологическом смысле является УФ-диапазон, и возникающие при этом проблемы авторы решают, применяя нестандартные измерительные установки и методики.

В настоящей статье приведены некоторые результаты исследований, проводимых авторами в этой области, а также метрологические характеристики разработанных методик выполнения указанных измерений в различных спектральных диапазонах.

Вначале остановимся на вопросах, связанных с измерениями интегральной чувствительности ФП.

Под чувствительностью фотоприемника S понимают его реакцию на действие падающего оптического излучения — фототок или фотонапряжение на выходе ФП. При этом пада-

ющее оптическое излучение может быть задано в энергетических или световых единицах потока излучения.

В зависимости от спектрального состава излучения различают монохроматическую ($S_{\square}$) или интегральную ($S_{\text{инт}}$) чувствительность. Интегральная чувствительность ФП — это чувствительность ФП к немонахроматическому излучению заданного спектрального состава [1], которая определяется соотношением

$$S_{\text{инт}} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{I_{\lambda}}{\Phi_{\lambda}} d\lambda, \quad (1)$$

где I_{λ} — фототок;

Φ_{λ} — падающий на ФП оптический поток излучения;

λ_1, λ_2 — начало и конец спектрального диапазона.

Поскольку интегральная чувствительность зависит от спектрального состава потока излучения, при ее определении оговаривается природа источника излучения. Стандарт, который определяет методы измерения фотоэлектрических параметров ФП, устанавливает, что тип источника излучения должен выбираться с учетом требований технических условий для конкретного типа ФП [2]. Однако разнообразие источников излучения создает серьезные проблемы при определении интегральной величины потока излучения и, соответственно, при определении интегральной чувствительности ФП. В вышеуказанном стандарте для ФП, чувствительных в инфракрасной (ИК) области спектра, в качестве источника излучения рекомендуется использовать абсолютно черное тело (АЧТ) с температурой полости 500 ± 2 или 1273 ± 15 К; для ФП, чувствительных в видимой области и в ближней инфракрасной, — лам-

пы накаливания типа СИС или РН при цветовой температуре $T_c = 2856 \pm 100$ К [2]. Что же касается ультрафиолетовой (УФ) области, то тут нет даже рекомендаций по типам излучателей, которые следует применять при измерениях.

Относительно имеющихся источников излучения можно сказать, что они либо маломощны, либо очень нестабильны [3, 4], и это представляет серьезную проблему, которая может быть решена только центральными метрологическими службами. Аналогичная ситуация и с эталонными фотоприемниками.

Теперь перейдем к рассмотрению проблем, возникающих при измерении интегральной чувствительности ФП, а также путей их решения, предназначенных для разных областей спектра.

Фотоприемники, чувствительные в средней и дальней ИК-области

К фотоприемникам, чувствительным в средней и дальней ИК-области, относятся болометры, пироэлектрические и термоэлектрические приемники, приемники Голея, приемники на основе PbS, PbSe, InSb, InAs, $Hg_{1-x}Cd_xTe$ и др. Для измерения интегральной чувствительности таких ФП применение ламп накаливания в качестве источников излучения малоэффективно, поскольку длинноволновой край пропускания их стеклянных колб ограничивается длиной волны 2,5 мкм, в этом случае необходимо использовать АЧТ. При этом следует иметь в виду, что абсолютно черное тело существует только теоретически, а на практике пользуются его моделью с коэффициентом излучения, близким к единице (как правило, не меньше 0,98). Поэтому под АЧТ будем подразумевать «серое тело» или «серый излучатель».

На сегодняшний день в мире создано большое количество разных видов конструкций АЧТ, которые отличаются своими техническими и метрологическими характеристиками. В Украине широко используют излучатели К19.532 с блоком регулирования температуры К15.742 и излучатели К21.532 с блоком К22.742. Конструктивно данные источники излучения представляют собой отдельные блоки, которые могут быть использованы при исследовании параметров ИК-фотоприемников любого типа. При измерениях параметров ФП, которые охлаждаются с помощью сжиженных газов, АЧТ крепится вертикально, при направлении потока излучения сверху вниз или снизу вверх, для других ФП — горизонтально.

Указанные источники излучения удобны для разработчиков ИК-фотоприемников. С их помощью могут быть исследованы, например, следующие характеристики:

- интегральная чувствительность в диапазоне температуры полости АЧТ от 323 до 1273 К;
- энергетическая характеристика чувствительности при изменении потока излучения от его порогового значения $\Phi_{п}$ до $10^4 \Phi_{п}$;

- нестабильность чувствительности ФП на протяжении всего времени непрерывной работы;
- частотная характеристика чувствительности при изменении частоты модуляции потока излучения от 20 Гц до 100 кГц;
- зависимость чувствительности от температуры в диапазоне от -60 до 80°C .

При исследованиях параметров ФП при модулированном потоке излучения рекомендуется использовать модулятор АДБ7.0089 с блоком питания типа Б5-45; вольтметр типа ВЗ-38, ВЗ-39 или селективный усилитель У2-8, В6-9. Для серийных ФП лучше использовать установку К54.410 с одним из вышеприведенных источников излучения (К19.532 или К21.532).

Структурная схема и основные параметры установки для измерения интегральной чувствительности ФП приведены на рис. 1 и в табл. 1 соответственно.

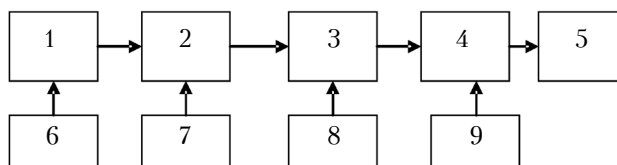


Рис. 1. Структурная схема установки для измерения фотоэлектрических параметров ФП:

1 — АЧТ; 2 — механический модулятор; 3 — исследуемый ФП в контактном устройстве; 4 — предусилитель; 5 — вольтметр; 6 — блок регулирования температуры АЧТ; 7 — блок регулирования и стабилизации частоты модуляции потока излучения; 8 — блок питания ФП; 9 — блок питания предусилителя (поз. 1, 2, 4–9 входят в состав установки К54.410)

При определении интегральной чувствительности фотоприемников широко используют метод сравнения их параметров с параметрами однотипного эталонного ФП. Например, измерив при одинаковых условиях и режимах фотосигнал с эталонного ($U_э$) и исследуемого ($U_и$) ФП, чувствительность измеряемого ($S_и$) ФП можно определить соотношением

$$S_и = S_э \frac{U_и}{U_э}, \quad (2)$$

где $S_э$ — чувствительность эталонного ФП.

Однако, поскольку чувствительность ИК ФП существенно зависит от температуры окружающей среды, напряжения питания ФП, изменений спектрального состава потока излучения и, кроме этого, изменяется со временем (так называемое старение приемника), на практике для измерения чувствительности используется аналитический метод — при известной температуре и размерах выходной диафрагмы АЧТ рассчитывается поток излучения (Φ) или энергетическая освещенность ($E_э$), которую он создает.

Энергетическая освещенность ФП рассчитывается по известным в фотометрии соотношениям, например для определения освещенности,

Основные параметры установок для измерения интегральной чувствительности ИК ФП

Параметр	Установка К54.410	Измерительная схема на базе К19.532 или К21.532
Температура полости АЧТ, °С	50 – 1000	
Размер сменных диафрагм, мм	0,6; 1,2; 2,4; 4,8; 8	0,3; 0,6; 1,2; 2,4; 4,8; 8
Энергетическая освещенность ФЧЭ* (при обеспечении точности излучения), Вт/м ²	от 1·10 ⁻⁴ до 2,5	от 1·10 ⁻⁶ до 1·10 ²
Частота модуляции потока излучения ($f_{\text{мод}}$), Гц	400; 800; 1200	от 20 Гц до 100 кГц
Резонансная частота предусилителя ($f_{\text{рез}}$), Гц		
Эквивалентная полоса пропускания предусилителя, % от $f_{\text{рез}}$	8 – 10	4 – 6
Напряжение шума при $R_{\text{н}} = 50$ кОм, мкВ, не более	0,7	0,1
Нестабильность предусилителя через 8 ч, %, не более	2,0	2,0
Сопrotивление резисторов нагрузки в цепи ФП	от 50 до 1750 кОм	
Погрешность измерений напряжения сигнала, %, не более	±3	
Напряжение питания ФЧЭ, В	до 100	
Расстояние между АЧТ и ФЧЭ, мм	300	от 50 до 3000

* ФЧЭ – фоточувствительный элемент.

создаваемой точечным источником излучения. Напомним, что точечным считается источник, когда расстояние (L) между его диафрагмой и фоточувствительным элементом ФП значительно больше размеров (d) диафрагмы или ФЧЭ: $L \geq (5 \dots 10)d$, а распределение излучения АЧТ соответствует закону Ламберта: косинусное распределение энергетической силы света. Для АЧТ разной конструкции распределение излучения АЧТ соответствует закону Ламберта в пределах углов 5 – 10°.

В установке К54.410 конструктивно созданы условия для обеспечения точности излучения: расстояние между диафрагмой АЧТ и ФЧЭ составляет 300 мм, максимальный размер диафрагмы $d_{\text{max}} = 8$ мм, распределение излучения АЧТ соответствует закону Ламберта при диаметре светового пятна, который не превышает 50 мм.

В качестве рекомендации разработчику ИК ФП можем посоветовать: при сборке измерительной схемы (макета установки) с использованием АЧТ К19.532 или К21.532 необходимо учитывать размеры ФЧЭ ФП и диафрагмы АЧТ, чтобы обеспечить указанные условия точности излучения. Следует отметить, что такие измерительные схемы обеспечивают измерение фотоэлектрических параметров ФП в более широких, чем К54.410, диапазонах изменения условий и режимов измерений, однако их конструктивная незавершенность приводит к дополнительным затратам и неудобствам. В то же время, несмотря на то, что параметры установки К54.410 ограни-

чивают возможности ее использования при исследованиях параметров ФП, она широко используется при серийном производстве ИК ФП, поскольку является завершенным средством измерительной техники.

При выполнении требований к точности источника излучения энергетическая освещенность определяется как

$$E_e = \frac{\sigma(T^4 - T_0^4)F}{\pi L^2} \text{ [Вт/см}^2\text{]}, \quad (3)$$

где σ – постоянная Стефана-Больцмана, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-12}$ Вт·см⁻²·К⁻⁴;

T, T_0 – значения температуры полости АЧТ и модулятора соответственно, К;

F – площадь отверстия диафрагмы АЧТ, см².

После измерения напряжения фотосигнала U (в В) можно определить интегральную чувствительность ИК ФП к излучению АЧТ по формуле

$$S_{\text{инт}} = \frac{U}{E_e K_{\text{пу}} A} \text{ [В/Вт]}, \quad (4)$$

где $K_{\text{пу}}$ – коэффициент усиления предусилителя;
 A – площадь ФЧЭ, см².

В зависимости от выбранных средств измерительной техники, режимов и условий проведения измерений основная относительная погрешность определения интегральной чувствительности при использовании рассмотренного метода находится в пределах от ±10 до ±15%.

Фотоприемники, чувствительные в видимой и ближней ИК-области

Для ФП, чувствительных в видимой и ближней ИК-областях (0,4 – 3,0 мкм), необходимы АЧТ с температурой полости не менее 3000 К. Следует отметить, что такие АЧТ являются довольно сложными, уникальными и громоздкими устройствами и никак не могут быть использованы в промышленных условиях. Поэтому в качестве АЧТ широко используют лампы накаливания с телом накаливания в виде спирали специальной формы (**рис. 2**), что позволяет создать высокий уровень потока излучения и равномерное световое поле в плоскости фоточувствительного элемента ФП.

В **табл. 2** приведены основные параметры источников излучения, которые аттестуются метрологами в качестве рабочих средств измерительной техники и используются при измерениях интегральной чувствительности ФП.

Как уже отмечалось, значение интегральной чувствительности зависит от типа источника, поскольку это параметр, который зависит не только от свойств ФП, но и от спектральной характеристики излучения источника. На практике используют лампы накаливания, аттестованные как стандартные источники с цветовой температурой $T_{\text{ц}} = 2856 \text{ К}$ (источник типа А), а интегральная чувствительность ФП определяется к световому потоку. Необходимо отметить, что поскольку большинство ФП чувствительны не только к излучению видимого диапазона, но и за его пределами, использование в этом случае световых единиц приобретает условный характер, т. к. по определению они характеризуют именно видимый спектр. Однако при достаточно стабильной спектральной характеристике чувствительности ФП такая система параметров приемлема. На сегодня определение интегральной чувствительности по отношению к световому пото-

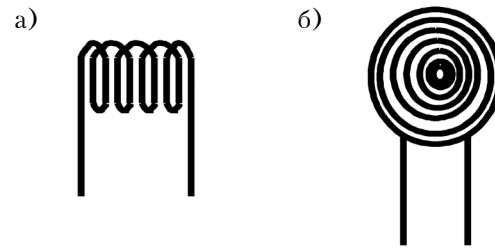


Рис. 2. Формы тел накаливания ламп типа КГМ и РН6-7.5 (а) и РН12-100 (б)

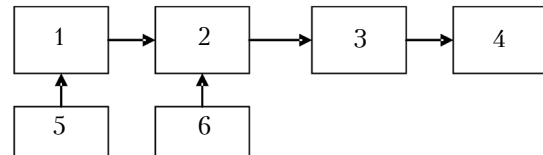


Рис. 3. Структурная схема установки для измерения интегральной чувствительности ФП:

1 – источник излучения (лампа накаливания РН12-100 с $T_{\text{ц}} = 2856 \text{ К}$); 2 – измерительный ФП в контактном приспособлении; 3 – преобразователь «ток – напряжение» (ППТН-2); 4 – вольтметр (В7-34А, В7-28); 5 – блок питания лампы (Б5-21 с модулятором АДБ109.00); 6 – блок питания ФП (Б5-43)

ку стало общепринятым для фотоэлектронных умножителей, вакуумных фотоэлементов, CdS- и CdSe-фоторезисторов, Si- и Ge-фотодиодов.

Измерение интегральной чувствительности проводится с использованием источника стабильного немодулированного потока излучения и прецизионного прибора для измерения фотосигнала. Структурная схема установки изображена на **рис. 3**.

При неизменном размещении источника относительно ФП величина интегральной чувствительности определяется соотношением

$$S_{\text{инт}} = \frac{U}{K_{\text{пр}} \Phi} [\text{А/лм}], \quad (5)$$

Таблица 2

Основные параметры источников излучения [5, 6]

Параметр источника излучения	Тип источника излучения (лампы накаливания)				
	КГМ12-100	КГМ24-150	КГМ24-250	РН6-7.5*	РН12-100*
Цветовая температура $T_{\text{ц}}$, К	3200			2850	
Ток лампы (при $T_{\text{ц}}$), А	8,2 – 8,5	6,0 – 6,7	9,5 – 10,5	1,2 – 1,3	7,3 – 7,7
Напряжение питания, В	12	24	24	6	12
Потребляемая мощность, Вт	100	150	250	7.5	100
Сила света, кд	130 – 140	180 – 210	280 – 340	8,2 – 8,7	125 – 135
Световой поток, лм	3000	5000	8500	90	1750
Освещенность ФЧЭ (при обеспечении точности излучения), лк	$1 - 10^4$	$1 - 10^4$	$1 - 10^4$	$0,1 - 10^3$	$1 - 10^4$
Размеры тела накаливания, мм	2,3×4,0	2,9×5,8	3,5×6,5	1,0×1,5	Ø5

* Источники излучения, которые чаще других используются при измерении параметров ФП.

где $K_{пр}$ — коэффициент преобразования преобразователя [7] (в частности, ППТН-2) согласно его паспорту, В/А;

Φ — световой поток, лм.

Световой поток Φ определяется как величина, которая равна силе света лампы накаливания $I_{л}$ в телесном угле ω [8, с. 12–14]:

$$\Phi = I_{л} \omega. \quad (6)$$

При сохранении условий точечности источника излучения телесный угол ω определяется отношением площади ФЧЭ ФП к квадрату расстояния между ФП и источником. Тогда можем записать

$$\Phi = I_{л} A / L^2. \quad (7)$$

Таким образом, зная площадь ФЧЭ, расстояние между ФП и источником излучения, паспортные данные, такие как сила света лампы и коэффициент преобразования преобразователя, можно определить интегральную чувствительность ФП к излучению источника типа А.

Лампы накаливания в основном аттестуют только по цветовой температуре $T_{ц}$ или же по цветовой температуре и силе света при указанных в их паспорте режимах питания, при которых воспроизводится $T_{ц}$ лампы. Зачастую при измерениях достаточно иметь лампу, аттестованную по цветовой температуре. Для определения светового потока в таком случае используют фотометры, например ТЕС0963, или люксметры-фотометры «Кварц-01», «Тензор-26», Ю116, или аттестованные по чувствительности фотометрические головки и др. С помощью этих устройств измеряется освещенность E в плоскости ФЧЭ и при известной величине его площади A , определяют световой поток

$$\Phi = EA. \quad (8)$$

В производственных условиях измерение параметров ФП упрощается, если использовать метод сравнения. Например, в качестве контрольного используют фотоприемник такого же типа и с такими же спектральными характеристиками, что и измеряемый. Интегральная чувствительность ФП в этом случае определяется соотношением (2).

Для измерения фототока или фотонапряжения используется стандартное оборудование: вольтметры, амперметры, осциллографы и др. Однако серийно изготовленные источники излучения отсутствуют. Такое оборудование создается производителем ФП, т. е. является нестандартизованным средством измерительных установок, что вносит дополнительную погрешность при измерениях интегральной чувствительности.

Распространенным элементом установок является фотометрическая скамья типа ФСМ-4У, которая оснащена разного назначения каретками, патронами для крепления ламп накалива-

ния, экранами и др. и обеспечивает измерения интегральной чувствительности ФП при освещенности от 0,1 до $5 \cdot 10^4$ лк. Необходимо отметить, что установка, собранная на базе скамьи ФСМ-4У, громоздкая, неудобная для работы при серийном производстве ФП, к тому же требует специального (затемненного) помещения.

Лучшим вариантом осветителя является осветитель типа К22.410 с лампой накаливания РН12-100. Это блок простой конструкции, в котором источник излучения и измерительный ФП изолированы от влияния фоновых засветок. Освещенность в плоскости ФЧЭ ФП составляет 1000 лк без ослабляющих светофильтров и 100, 10, 1 лк при ослаблении потока светофильтрами. Данный осветитель наиболее удобен при серийном производстве ФП.

При производстве ФП применяют и сложные по конструкции осветители, например осветитель АДБ136.00, который используется в установках для измерения интегральной чувствительности в широком диапазоне изменения освещенностей — от $1 \cdot 10^{-2}$ до $1 \cdot 10^4$ лк. Этот осветитель является универсальным устройством измерительной техники с высокими метрологическими характеристиками. Основные его недостатки — низкая продуктивность и искажение спектрального состава потока излучения.

При использовании установок, в состав которых входят описанные осветители, относительная погрешность измерения интегральной чувствительности находится в пределах от ± 5 до $\pm 10\%$.

Фотоприемники, чувствительные в УФ-диапазоне

Особый интерес у разработчиков ФП вызывают измерительные приборы, которые имеют спектральные характеристики чувствительности, скорректированные под определенную форму. Так, спектр ультрафиолетового диапазона делится на три области: УФ-С — от 200 до 280 нм; УФ-В — от 280 до 315 нм; УФ-А — от 315 до 400 нм [9, 10]. Для проведения фотометрических расчетов и определения пригодности ФП для той или иной области спектра необходимо иметь значения интегральной чувствительности, однако при ее определении возникают проблемы метрологического обеспечения фотоприемниками, чувствительность которых не зависит от спектрального распределения оптического излучения.

В нормативной документации [2] не приводятся типы источников, которые могут быть аттестованы и использованы для измерения интегральной чувствительности ФП в УФ-диапазоне. Из-за низкой интенсивности ламп накаливания в качестве источников УФ-излучения используют газоразрядные лампы, несмотря на то, что они характеризуются достаточно высокой нестабильностью, неравномерным пространственным распределением потока излучения и из-

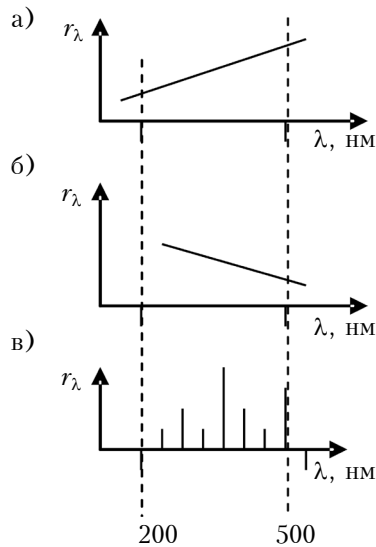


Рис. 4. Спектральное распределение потока излучения r_λ сварочной дуги и ксеноновой лампы (а), водородно-дейтериевых ламп (б) и ртутных ламп (в)

менением спектрального состава излучения во времени. (Это делает понятным отсутствие рекомендаций по использованию источников, которые излучают в УФ-диапазоне.) Используют газоразрядные лампы с водородным или дейтериевым наполнением: лампы со сплошным (непрерывным) спектром излучения типа ДВС-30, ДДС-30, ДДС-400 и ЛД(Д); ртутные лампы типа ДРТ-220, ДРТ-400, ДРШ-100 и ДРТ-250 с линейчатым спектром и ксеноновые лампы ДКсШ-120, ДКсШ-150.

На рис. 4 схематично приведено спектральное распределение потока излучения различных ламп. Как уже отмечалось, кроме пространственной и временной нестабильности, газоразрядные лампы и дуговые источники излучения имеют разный характер спектрального распределения потока излучения. В таком случае интегральная чувствительность ФП будет меняться и, конечно, о чувствительности можно говорить только в связи с излучением конкретного источника.

Методики определения интегральной чувствительности довольно сложны и предусматривают несколько этапов — сначала проводятся измерения монохроматической чувствительности ФП, а затем по известному относительному спектральному распределению излучения источника и измеренной спектральной характеристике ФП определяют интегральную чувствительность.

Измерение монохроматической чувствительности удобно проводить на установке с ртутным источником излучения, выделив с помощью монохроматора или интерференционных светофильтров линии ртути в различных поддиапазонах: УФ-С — длину волны $\lambda_{\max}=254$ нм; УФ-В — $\lambda_{\max}=313$ нм; УФ-А — $\lambda_{\max}=365$ нм [11].

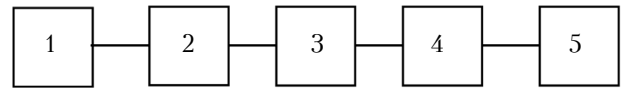


Рис. 5. Структурная схема установки для измерения интегральной чувствительности ФП УФ-диапазона: 1 — источник УФ-излучения (лампа ДРТ220); 2 — интерференционный фильтр на поддиапазон спектра (А, В, С); 3 — эталонный или исследуемый ФП; 4 — преобразователь «ток — напряжение» (ППТН-2); 5 — вольтметр (В7-23, В7-34)

Структурная схема установки для измерения интегральной чувствительности ФП, чувствительных в УФ-диапазоне, приведена на рис. 5.

Для уменьшения общей погрешности измерения чувствительности необходимо следующее:

- конструкция установки должна обеспечивать энергетическую освещенность в плоскости крепления радиометрической головки не менее $0,1 \text{ Вт/м}^2$;
- интерференционный фильтр должен иметь максимум пропускания в поддиапазоне А на длине волны $\lambda_{\max}^A=365$ нм; В — $\lambda_{\max}^B=313$ нм; С — $\lambda_{\max}^C=254$ нм;
- эталонный ФП должен быть аттестован по чувствительности в спектральном диапазоне от 200 до 500 нм с погрешностью не более $\pm 5\%$.

После подготовки установки к работе, настройки интерференционного фильтра, например, на поддиапазон С и установки на эталонный ФП диафрагмы диаметром $d=0,005-0,07$ м проводится измерение фотосигнала U_k (в В), после чего рассчитывается энергетическая освещенность E_{e1} , создаваемая потоком излучения на длине волны $\lambda_{\max}^C=254$ нм:

$$E_{e1} = \frac{4U_k}{K_{\text{пр}} S_{k1} \pi d^2} \text{ [Вт/м}^2\text{]}, \quad (9)$$

где S_{k1} — токовая монохроматическая чувствительность эталонного ФП на длине волны $\lambda_1=\lambda_{\max}^C$, А/Вт.

Вместо эталонного ФП устанавливается исследуемый ФП со спектральной характеристикой чувствительности в УФ-С диапазоне, измеряется фотосигнал U_d (в В) и определяется интегральная чувствительность к энергетической освещенности по формуле

$$S_{\text{инт}}^C = \frac{U_d}{E_{e1} S_\lambda^C K_{\text{ДРТ}}^C K_{\text{по}}}, \quad (10)$$

где $K_{\text{ДРТ}}^C$ — коэффициент, который определяет отличие формы относительной спектральной характеристики чувствительности реального ФП (S_λ^C) в поддиапазоне С от формы идеального ФП ($S_{\lambda_i}^C$) для ртутных источников УФ-излучения ($S_{\lambda_i}^C=1$ в рабочем диапазоне и $S_{\lambda_i}^C=0$ вне рабочего диапазона).

Коэффициент $K_{\text{ДРТ}}^C$ определяется по формуле

$$K_{\text{ДРТ}}^C = \frac{\int_{\lambda=200}^{500} S_{\lambda i}^C r_{\lambda}^{\text{ДРТ}} d\lambda}{\int_{\lambda=200}^{500} S_{\lambda}^C r_{\lambda}^{\text{ДРТ}} d\lambda}, \quad (11)$$

где $r_{\lambda}^{\text{ДРТ}}$ — спектральное распределение потока излучения ртутной лампы.

Аналогично определяется интегральная чувствительность ФП в диапазонах В и А.

Отметим, что методики измерения интегральной чувствительности ФП в УФ-диапазоне мало исследованы, метрологически не обеспечены и достаточно сложны. Упростить процесс ее измерения с помощью метода сравнения не удастся — из-за переменных, которые влияют на результаты измерения (неодинаковая величина относительного значения интегральной чувствительности ФП на рабочей длине волны для партии измерительных ФП и неодинаковая разность спектральной характеристики реального и идеального ФП) погрешность измерения увеличивается до 70–80%.

При определении интегральной чувствительности ФП УФ-диапазона в соответствии с описанной методикой относительная погрешность измерений находится в пределах от ± 15 до $\pm 40\%$.

Приведенный в статье анализ проблем, возникающих при измерениях интегральной чувствительности фотоприемников ИК-, видимого и УФ-диапазона, а также некоторые рекомендации для их решения будут полезны, на наш взгляд, разработчикам ФП и их потребителям, а при исследованиях в ИК- и видимом диапазонах облегчат поиск необходимых составляю-

щих установок для проведения измерений, таких как источник излучения, блок питания, измерительные устройства.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. ГОСТ 21934-83 Приемники излучения. Полупроводниковые фотоэлектрические и фотоприемные устройства. Термины и определения.
2. ГОСТ 7772-88 Приемники излучения. Полупроводниковые фотоэлектрические и фотоприемные устройства. Методы измерения фотоэлектрических параметров и определения характеристик.
3. Докторович И. В., Бутенко В. К., Годованюк В. Н. и др. Влияние нестабильности потока излучения ртутных ламп на калибровку приборов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2006. — № 1. — С. 54–57.
4. Докторович И. В., Фодчук І. М., Бутенко В. К. та ін. Спектральний розподіл потужності випромінювання ртутних ламп // Науковий вісник Чернівецького університету. — 2007. — Вип. 344: Фізика. Електроніка. — С. 80–83.
5. www.victorialight.narod.ru
6. Васильченко Н. В., Борисов В. А. и др. Измерение параметров приемников оптического излучения. — Москва: Радио и связь, 1983.
7. Бутенко В.К., Годованюк В.М., Докторович І.В. Прецизійний перетворювач струм — напруга // Науковий вісник Чернівецького університету. — 2001. — Вип. 102: Фізика. Електроніка. — С. 84–85.
8. Гуревич М.М. Фотометрия (теория, методы и приборы). — Ленинград: Энергоатомиздат, 1983.
9. Гигиеническая оценка и методы контроля оптического излучения производственных источников (методические рекомендации). — Киев: Министерство здравоохранения УССР, 1986.
10. Санітарні норми та правила устрою, експлуатації та контролю обладнання, яке генерує електромагнітне випромінювання оптичного діапазону (інфрачервоне, видиме, ультрафіолетове). — Київ: АМН України, 1997.
11. Докторович И.В., Бутенко В.К., Годованюк В.Н. и др. Методика калибровки УФ-радиометров энергетической освещенности // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — № 1. — 2008. — С. 57–61.

Дата поступления рукописи
в редакцию 04.02 2015 г.

І. В. ДОКТОВИЧ, В. М. ГОДОВАНЮК, В. Г. ЮР'ЄВ, В. Г. ЖИТАРЮК*

Україна, м. Чернівці, ЦКБ «Ритм»,

*Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

E-mail: rhytm@chv.ukrpack.net

ПРОБЛЕМИ ПРИ ВИМІРЮВАННІ ІНТЕГРАЛЬНОЇ ЧУТЛИВОСТІ ФОТОПРИЙМАЧІВ ТА ДЕЯКІ ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ

Розглянуто проблеми, які виникають при вимірюванні інтегральної чутливості фотоприймачів (ФП) у різних спектральних діапазонах.

Проблемою вимірювань за стандартизованими методиками у видимій та ІЧ-області спектра є використання джерел з різним спектральним складом потоку (це, в першу чергу, лампи розжарювання і абсолютно чорні тіла). Для забезпечення однаковості виконання вимірювань виробниками та споживачами ФП в цьому діапазоні в роботі надано рекомендації з використання конкретних засобів вимірювальної техніки. Також проведено аналіз і дано оцінку перевагам та недолікам використовуваних засобів вимірювань, приведено метрологічні характеристики використовуваних методик, визначено причини зростання похибок вимірювань і можливі шляхи їх зменшення. Ці рекомендації дозволять спеціалістам визначати рівень виконуваних ними вимірювань та підібрати оптимальний варіант засобів вимірювань.

Що стосується вимірювань інтегральної чутливості ФП УФ-діапазону, тут проблеми значно складніші, оскільки виробництво УФ-приймачів метрологічно не забезпечено — відсутні як норматив-

на документація, так і контрольні фотоприймачі. Автори приводять результати досліджень методик вимірювань, розглядаючи різні типи джерел випромінювання, їх недоліки та переваги; розглядають методики і похибки вимірювань інтегральної чутливості ФП УФ-діапазону.

Ключові слова: фотоприймачі, інтегральна чутливість, фотоелектричні параметри, проведення вимірювань, ІЧ, УФ, видимий діапазон, похибка вимірювань.

DOI: 10.15222/TKEA2015.2-3.53
UDC 551.510.534621.383.52

I. V. DOKTOROVICH, V. N. HODOVANIUK,
V. G. YURYEV, V. G. ZHYTARYUK*

Ukraine, Chernivtsi, Rhythm Optoelectronics, Inc.,
²Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University
E-mail: rhythm@chv.ukrpack.net

PROBLEMS IN MEASUREMENT OF INTEGRATED SENSITIVITY OF PHOTODETECTORS

The research work deals with the problems in measurement of integral sensitivity of photodetectors, which arise while using them in standard methods of visible and infrared radiation of the sources of radiation with different spectral composition of the flow. First of all, it is the usage of incidence lamps and of absolute black body.

To provide the unity of carrying out the measurements by producers and users of photodetectors, the specific methods with the appliance of specific means of measuring equipments are recommended in this research work. The analysis and the assessment of the advantages and disadvantages of the means of measurement which are used are done in this work. Also, metrological characteristics of the methods which are used, the reasons of increasing errors and possible ways of their decreasing are provided. The work's results give specialists the opportunity to determine the level of the measurements done by them or to choose the optimal variant of measuring means.

It is more difficult to solve the problems in measuring integral sensitivity of photodetectors which are sensitive in ultra-violet range. The production of ultra-violet detectors is not metrologically based — standard documents and control photodetectors are not provided. The authors of the article give the results of researching the methods of measuring, analyzing different types of radiation sources, their disadvantages and advantages; give the methods and errors of measuring of integral sensitivity of photodetectors of ultra-violet range.

Keywords: photodetectors, integral sensitivity, photoelectric parameters, measurement, IR, UV, visible range, measurement error

REFERENCES

1. GOST 21934-83 *Priemniki izlucheniya. Poluprovodnikovye fotoelektricheskie i fotopriemnye ustroystva. Terminy i opredeleniya* [State Standard 21934-83 Radiation detectors. Semiconductor photoelectrical and photoreceiving devices]. Teams and definitions. Moscow, 1985. (Rus)
2. GOST 17772-88. *Priemniki izlucheniya Poluprovodnikovye fotoelektricheskie i fotopriemnye ustroystva. Metody izmereniya fotoelektricheskikh parametrov i opredeleniya kharakteristik*. [State Standard 17772-88. Radiation detectors. Semiconductor photoelectrical and photoreceiving devices. Methods of measuring of photoelectrical parameters and defining characteristics]. Moscow, 1988. (Rus)
3. Doktorovich I.V., Butenko V.K., Hodovaniouk V.N., Riuhtin V.V., Fodchuk I.M., Yuryev V.G. [The influence of radiation instability flow of mercury lamps on the instrument calibration]. *Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoi apparature*, 2006, no 1, pp. 54-57. (Rus)
4. Doktorovich I.V., Fodchuk I.M., Butenko V.K., Hodovaniouk V.N., Yuryev V.G., Zhytaryuk V.G. [Spectral distribution of mercury lamp radiation power]. *Scientific bulletin of Chernivtsi University*, 2007, iss. 344, pp. 80-83. (Rus)
5. www.victorialight.narod.ru
6. Vasil'chenko N. V., Borisov V.A. et al. [Measuring parameters of optical radiation receivers]. *Izmerenie parametrov priemnikov opticheskogo izlucheniya*, Moscow, Radio i svyaz', 1983, 88 p. (Rus)
7. Butenko V.K., Hodovaniouk V.M., Doktorovich I.V. [Precise converter current — tension]. *Scientific bulletin of Chernivtsi University*, 2001, iss. 102, pp. 84-85. (Rus)
8. Gurevich M.M. *Fotometriya (teoriya, metody i pribory)* [Photometry (theory, methods and instruments)]. Leningrad, Energoatomizdat, 1983, 272 p.
9. *Recommendations of the Ukrainian SSR Ministry of Health: Gigienicheskaya otsenka i metody kontrolya opticheskogo izlucheniya proizvodstvennykh istochnikov* [Hygienic assessment and methods of control of optical radiation of production sources]. Kiev, 1986. (Rus)
10. *Sanitarni normi ta pravila ustroyu, ekspluatatsiyi ta kontrolyu obladnannya, yake generuye elektromagnitne viprominyuvannya optichnogo diapazonu (infrachervone, vidime, ul'trafioletove)* [Sanitary standards and rules of construction, exploitation and control of equipment which generates electromagnetic radiation of optical ranges (infrared, visible, ultraviolet)]. AMS of Ukraine, Kyiv, 1997. (Ukr)
11. Doktorovich I.V., Butenko V.K., Hodovaniouk V.N., Fodchuk I.M., Yuryev V.G. [UV irradiance radiometers calibration procedure]. *Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoi apparature*, 2008, no 1, pp. 57-61. (Rus)