

Д. ф.-м. н. Б. М. НИЦОВИЧ, И. В. ДОКТОРОВИЧ,
д. т. н. В. Н. ГОДОВАНЮК, В. К. БУТЕНКО, В. Г. ЮРЬЕВ

Украина, г. Черновцы, ЦКБ «Ритм»
E-mail: rhythm@chv.ukrpack.net

Дата поступления в редакцию
08.01 2004 г.

Оппонент к. т. н. В. В. РЮХТИН
(ЦКБ "Ритм", г. Черновцы)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОТОПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ В КАЧЕСТВЕ КОНТРОЛЬНЫХ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Приведены результаты исследований метрологических характеристик методик измерений вольтовой чувствительности и обнаружительной способности фотоприемных устройств

При разработке и производстве фотоприемников и фотоприемных устройств для уменьшения риска изготовителя вводится технологический запас на параметры. В формулу определения запаса входит основная относительная погрешность измерений. При высоком уровне планируемой погрешности в брак попадает часть годных изделий. Задачей настоящей работы было снижение фактической погрешности измерений фотоэлектрических параметров путем использования откалиброванного фотоприемника в качестве контрольного.

При изготовлении фотоприемных устройств (ФПУ) наблюдается большое расхождение результатов измерений вольтовой чувствительности (S_V) и обнаружительной способности (D_{λ}^*) ФПУ на разных этапах производства. Так как характер и величины погрешностей для вольтовой чувствительности и обнаружительной способности одинаковы (не учитывая добавки к общей погрешности измерений D_{λ}^* погрешности измерения шума), то в дальнейшем будем рассматривать составные погрешностей только одного из этих параметров, например S_V [1, 2].

Исследования проводились на установке, схема которой приведена на рис. 1.

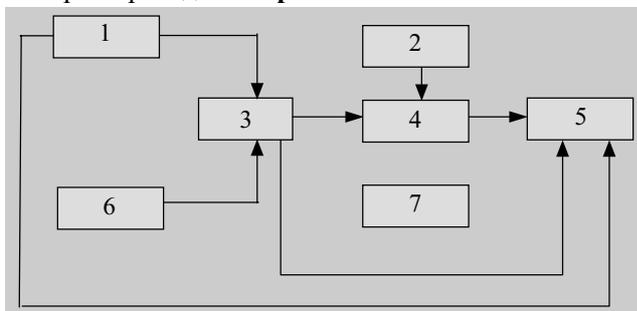


Рис. 1. Структурная схема установки для измерения параметров ФПУ:

1 — генератор импульсов Г5-72; 2 — блоки питания ФПУ и контрольного фотоприемника (Б5-44—2 шт., Б5-50—1 шт.); 3 — источник импульсного монохроматического излучения АДБ161.10; 4 — исследуемый ФПУ; 5 — осциллограф С8-13 (С1-75); 6 — блок питания источника излучения Б5-30; 7 — контрольный фотоприемник ФД255 (ЛФД-2, ФД-255М)

Вольтовая чувствительность определяется по формуле

$$S_V = \frac{U_{c\lambda}}{P_{\lambda}}, \quad (1)$$

где $U_{c\lambda}$ — величина фотосигнала;

P_{λ} — падающий на фоточувствительный элемент световой поток.

Основная относительная погрешность измерения чувствительности (δ_S) состоит из погрешностей измерения фотосигнала (δ_U) и потока излучения (δ_P).

Так как ФПУ является преобразователем световой энергии в электрический сигнал, то величина фотосигнала такого приемника зависит от многих факторов, а именно: от амплитуды и формы импульса излучения, от спектрального состава светового потока, от спектральных характеристик и температурных условий измерения параметров контрольного фотоприемника (ФП) и исследуемого ФПУ, и т. д. Поэтому для оценки погрешности измерения S_V составим список возможных погрешностей, которые влияют на величину основной относительной погрешности:

- погрешность калибровки чувствительности контрольного фотоприемника (δ_K);
- температурная зависимость чувствительности контрольного ФП (δ_T);
- нелинейность энергетической характеристики чувствительности контрольного ФП (δ_E);
- погрешность измерения формы импульса излучения (δ_r);
- зависимость чувствительности ФПУ от положения максимума (δ_{Pmax}) и формы ($\delta_{\Delta P}$) спектральной характеристики источника излучения;
- зависимость уровня светового потока от режима питания источника излучения (δ_i);
- погрешность определения коэффициента ослабления светофильтра ($\delta_{св}$);
- погрешность измерительного тракта (δ_V);
- погрешность измерения фотосигнала (δ_U).

Рассмотрим каждую погрешность отдельно.

1. Погрешность калибровки контрольного фотоприемника (δ_K) зависит от условий калибровки и, если эти условия сохраняются во время измерений исследуемых ФПУ, переносится на общую погрешность измерения параметров ФПУ. Погрешность δ_K находится в пределах $\pm(5 \dots 10)\%$, которая обусловлена уровнем погрешности эталонных средств измерения и режима калибровки. Верхний уровень погрешно-

сти существенно зависит от длительности импульсов потока излучения — чем короче импульс, тем больше погрешность. В нашем случае величина погрешности будет максимальной.

2. Температурная характеристика чувствительности контрольного ФП и температурный коэффициент чувствительности (δ_T) являются переменными величинами и зависят, в первую очередь, от рабочего спектрального диапазона ФП. Так как измерения параметров ФПУ проводятся на длинноволновом фронте спектральной характеристики чувствительности, где температурная зависимость чувствительности наибольшая, то коэффициент δ_T составляет 0,7% /°C.

3. Нелинейность энергетической характеристики чувствительности контрольного ФП (δ_E) в рабочем диапазоне изменения потоков излучения, как правило, не превышает 1%. Для расчета общей погрешности примем типовое значение нелинейности δ_E — величину, равную 0,5%.

4. Необходимо отметить, что при измерениях фотоэлектрических параметров (ФЭП) и характеристик при импульсной засветке ФП задается только длина импульсов и не контролируется их форма, что для большинства ФП является достаточным. Однако при измерениях ФЭП и характеристик ФПУ необходимо также контролировать (или учитывать) и форму импульса светового потока.

Погрешность, которая вносится при измерении формы импульса излучения (δ_τ), зависит от измерительного оборудования, избранного источника излучения, оснастки и контрольного фотоприемника. Для определения изменений во времени сигнала, который имеет короткие фронт и длину импульса, используются широкополосные осциллографы типа С8-13 (С1-75) (см. рис. 1). Сравнительные измерения формы светового импульса проводились на трех осциллографах С8-13 и двух — С1-75, которые прошли метрологическую поверку. В качестве контрольного фотоприемника использовали малоинерционный фотоприемник ЛФД-2. При этом условия измерений и режимы питания излучателя и фотоприемника оставались неизменными.

Пределы изменений формы импульсов фотоответа (осциллограммы фотосигналов) приведены на рис. 2.

Так как форма светового импульса задается в технических условиях (ТУ) на изделие и описывается функцией $P=f(\cos^2\alpha)$, то погрешность ($\delta_{обл}$), кото-

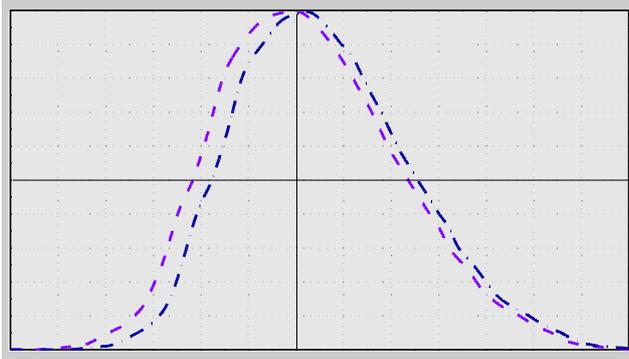


Рис. 2. Пределы изменений формы импульсов излучателя

рая вносится измерительным оборудованием, определялась графо-аналитическим способом как максимальное отклонение реальной формы импульса (измеряемого с помощью вышеуказанных осциллографов) от формы импульса, заданной в ТУ (идеальной). Величина погрешности $\delta_{обл}$ не превышала $\pm 3,2\%$.

К погрешности, которая возникает при отличии реальной формы импульса от заданной, добавляется погрешность источника импульсного излучателя ($\delta_{дж}$). Излучатели, входящие в состав измерительной установки, отличаются между собой по основным параметрам, в том числе и формой светового импульса. Для определения величины этой погрешности были произвольно выбраны десять излучателей и проведены измерения формы светового импульса. Измерения проводились на одном и том же оборудовании при неизменном режиме и условиях работы излучателей. Критерием одинаковых условий были одинаковые амплитуды и длина световых импульсов по уровню 0,5 ($\tau_{0,5}$), которые устанавливались с помощью фотоприемника типа ЛФД-2.

Осциллограммы импульсов источников излучения АДБ161.10 приведены на рис. 3.

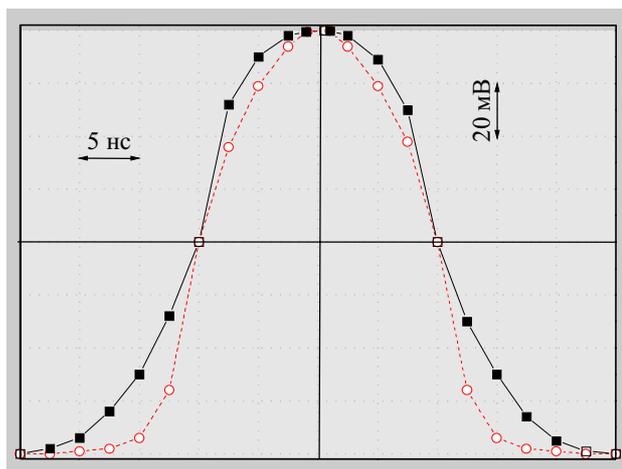


Рис. 3. Осциллограммы импульсов источников излучения АДБ161.10 (предельные значения)

Погрешность $\delta_{дж}$ определялась аналогично определению погрешности измерительного оборудования, и значение ее не выходит за пределы $\pm 4,4\%$.

Аналогично определялись погрешности, которые вносятся оснасткой ($\delta_{осн}$) и контрольным фотоприемником ($\delta_{фп}$). Эти погрешности не превышают значений 2,8 и 4,5%, соответственно.

Общая погрешность δ_τ определялась по формуле [3, 4]

$$\delta_\tau = \sqrt{(\delta_{обл})^2 + (\delta_{дж})^2 + (\delta_{осн})^2 + (\delta_{фп})^2} = \pm 7,5\% \quad (2)$$

5. Поскольку в технических характеристиках излучателей АДБ161.10 приведены допуски на положение максимума излучения и рабочего режима, то, естественно, необходимо определить вклад этих допусков в величины погрешностей, которые возникают при смене положения максимума ($\delta_{рmax}$) и формы ($\delta_{\Delta P}$) спектральной характеристики источника излучения.

Величина фотосигнала ФПУ при облучении его потоком с определенным спектральным составом определяется формулой

$$U_c = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_{\lambda} P_{\lambda} d\lambda, \quad (3)$$

где λ_1, λ_2 — пределы спектрального диапазона излучения;
 S_{λ} — чувствительность ФПУ в диапазоне излучения;
 P_{λ} — спектральное распределение потока излучения.

В качестве фотоприемников ФПУ используются кремниевые $p-i-n$ -фотодиоды, спектральный рабочий диапазон которых лежит в области резкого уменьшения чувствительности. Поэтому фотосигналы U_c одного и того же ФПУ, определенные на разных установках, будут отличаться между собой в зависимости от того, насколько положение максимума потока излучателя отличается от длины волны калибровки контрольного фотоприемника. На практике это отличие не учитывают.

Для исследования погрешностей $\delta_{P_{\max}}$ и $\delta_{\Delta P}$ использовались спектральный комплекс типа КСВУ-6 и оборудование, которое обеспечивает рабочий режим импульсного источника излучения. Схема установки приведена на рис. 4. В качестве контрольного фотоприемника использовался фотодиод типа Д-255М, более инерционный, чем ЛФД-2, зато с высокой и стабильной чувствительностью и меньшей зависимостью ее от условий измерений и режима питания. Эти преимущества являются значительными при измерении спектральных характеристик.

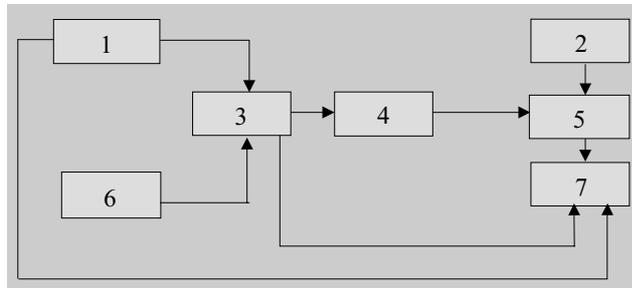


Рис. 4. Структурная схема установки для измерений спектральных характеристик излучателей:

1 — генератор импульсов Г5-72; 2 — блок питания контрольного фотоприемника (Б5-45); 3 — источник импульсного монохроматического излучения АДБ161.10; 4 — комплекс спектральный КСВУ-6; 5 — контрольный фотоприемник ФД-255М с предусилителем; 6 — блок питания источника излучения Б5-30; 7 — осциллограф С1-114

Для уменьшения влияния условий и режима питания излучателей на результаты исследования измерения длины волны максимума излучения ($P_{\lambda_{\max}}$) проводились при рабочем напряжении питания ($U_{\text{раб}}=45$ В и токе накачки $I_{\text{н}}=5$ А, одинаковых для всех излучателей. Аналогично определялась погрешность ($\delta_{\Delta P}$) излучателей с одинаковым положением максимума, но разной формой спектральной характеристики. Результаты измерений спектральных характеристик $P_{\lambda_{\max}}$ и P_{λ} приведены на рис. 5 и 6, соответственно.

Погрешности $\delta_{P_{\max}}$ и $\delta_{\Delta P}$ определяются как максимальное отклонение фотосигнала U_c от номинального $U_{\text{сн}}$ по формуле

$$\delta_{P_{\max}(\Delta P)} = \frac{U_c - U_{\text{сн}}}{U_{\text{сн}}} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где U_c — фотосигнал при максимальном отклонении одного из параметров излучателя;

$U_{\text{сн}}$ — фотосигнал при номинальном значении заданного параметра.

Величина погрешностей $\delta_{P_{\max}}$ и $\delta_{\Delta P}$ не превышала $\pm 9,0$ и $\pm 4,5\%$, соответственно.

6. Погрешность, которая возникает при изменении режима питания источника излучения (δ_I) (при изменении тока накачки до 8 А и напряжения питания — от 40 до 50 В), определялась для одного из излучателей как максимальное отклонение фотосигнала U_c от номинального $U_{\text{сн}}$ по формуле (4). При этом учитывали изменения форм светового импульса и спектральной характеристики потока излучения. Определение погрешности проводилось по вышеуказанным методикам. Погрешность δ_I не превышала $\pm 9,4\%$.

7. Так как потоки излучения, определяемые при калибровке с помощью контрольного фотодиода, находятся за пределом динамического диапазона ФПУ,

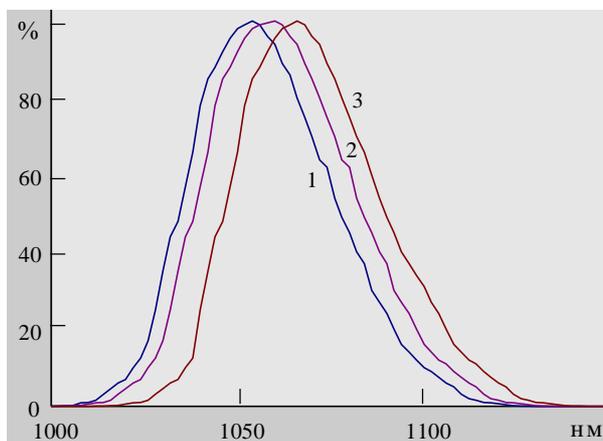


Рис. 5. Спектральные характеристики положения максимума излучателей:

1 — $\lambda_{\text{max}} - \Delta\lambda$ ($\Delta\lambda$ — допустимое отклонение положения максимума излучения); 2 — λ_{max} ; 3 — $\lambda_{\text{max}} + \Delta\lambda$

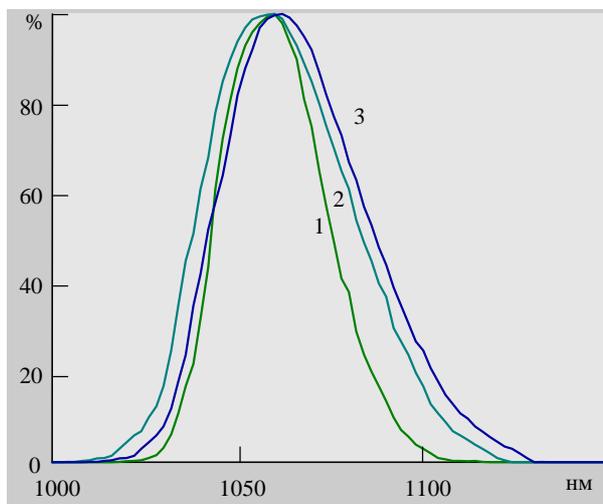


Рис. 6. Форма спектральных характеристик излучателей:

1 — $\lambda_{0,5} - \Delta\lambda$ ($\lambda_{0,5}$ — полуширина спектральной характеристики излучения); 2 — $\lambda_{0,5}$; 3 — $\lambda_{0,5} + \Delta\lambda$

то при измерениях фотоэлектрических параметров ФПУ используются ослабляющие светофильтры. Погрешность определения коэффициента ослабления светофильтра ($\delta_{св}$) зависит от его плотности и растет с увеличением коэффициента ослабления. В нашем случае коэффициент ослабления $K_{осл}=100$ раз, и погрешность определения коэффициента $\delta_{св}$ не выходит за пределы $\pm 2,0\%$.

8. Использование контрольного фотодиода для определения импульсной мощности потока на рабочей длине волны излучения имеет еще один недостаток — уровень фотосигнала с ФД очень мал ($U_c=5...10$ мВ). Для уменьшения погрешности измерения используется широкополосный предусилитель. При этом общая погрешность измерения δ_v уменьшается, но уровень ее достаточно весомый и составляет $\pm 7,0\%$.

9. К основной относительной погрешности добавляется еще одна погрешность — погрешность измерения величины фотосигнала (δ_U) по осциллографу или с помощью импульсного вольтметра. Эта погрешность является переменной величиной и зависит от уровня измеряемого сигнала. При максимальном сигнале (сигнал занимает полный экран или шкалу вольтметра) погрешность δ_U не выходит за пределы $\pm 1,5\%$.

Основная относительная погрешность измерения вольтовой чувствительности δ_s определяется по формуле

$$\delta_s = \sqrt{\delta_k^2 + \delta_f^2 + \delta_E^2 + \delta_c^2 + \delta_{p_{max}}^2 + \delta_{\Delta p}^2 + \delta_j^2 + \delta_{св}^2 + \delta_v^2 + \delta_U^2} \cdot (5)$$

Подставляя значения каждой составляющей погрешности, получим величину $\delta_s = \pm 20,3\%$. Такой же уровень отличия результатов измерения вольтовой чувствительности получен при измерении ее на разных установках — на установке изготовителя ФПУ,

отдела технического контроля и на установке заказчика при входном контроле — и составляет 20...25%.

При заданной технологии изготовления ФПУ основные фотоэлектрические параметры и характеристики приемников оптического излучения повторяются. Поэтому в качестве контрольного фотоприемника было выбрано одно из испытуемых ФПУ, была проведена его аттестация по вольтовой чувствительности, а затем проведены измерения параметров десяти ФПУ при максимально допустимых изменениях вышеуказанных режимов и параметров измерительной установки. Расхождение результатов измерений вольтовой чувствительности исследуемых ФПУ не выходило за пределы $\pm 5,0\%$. С учетом погрешности калибровки контрольного ФПУ ($\delta_k = \pm 10\%$) основная относительная погрешность измерений вольтовой чувствительности испытуемых ФПУ не выходит за пределы $\delta_s = \pm 11,2\%$.

Таким образом, откалибровав в качестве контрольного фотоприемника однотипное с измеряемыми ФПУ фотоприемное устройство, мы уменьшаем погрешность измерений фотоэлектрических параметров в 2—2,5 раза.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. ГОСТ 21934—83. Приемники излучения полупроводниковые. Фотоэлектрические и фотоприемные устройства. Термины и определения.
2. ГОСТ 17772—88. Приемники излучения полупроводниковые. Фотоэлектрические и фотоприемные устройства. Методы измерения фотоэлектрических параметров и определения характеристик.
3. ГОСТ 8.207—76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдения. Основные положения.
4. Кассандрова О. Н., Лебедев В. В. Обработка результатов наблюдения.— М.: Наука, 1970.

НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ

Энциклопедия "Машиностроение". Т. III-8. ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОННОМ МАШИНОСТРОЕНИИ / Под. ред. Ю. В. Панфилова.— М.: Машиностроение.— 744 с.

В данном томе собраны и систематизированы все существующие передовые технологии: электронные, ионные, рентгеновские и др. Показаны уникальные возможности воздействия на конструкционные материалы высокоэнергетических электронных и ионных пучков, низкотемпературной газоразрядной плазмы и точно дозированных молекулярных потоков. Обобщен отечественный и мировой опыт создания оборудования для производства изделий электронной техники и изложены принципы построения систем автоматического управления. Описаны методы и средства получения и поддержания сверхчистых технологических сред, атмосферы чистых производственных помещений. Систематизированы уникальные технологические процессы изготовления интегральных микросхем и печатных плат, электровакуумных и других приборов. Приведены специфические методы расчета параметров и выбора режимов технологических процессов и оборудования, например, фотолитографии при производстве ИС, термовакуумной обработки ЭВП, описаны технологии и оборудование для изготовления изделий квантовой электроники, приборов отображения информации, для испытания ИЭТ и т. п. Отражены основные понятия, этапы и тенденции развития мехатронных систем.

