

Кафедра оптико-электронных приборов и систем

Факультет оптико-информационных систем и технологий

Курс лекций –
Источники и приемники
оптического излучения

Параметры и характеристики ПОИ

Определение

Параметр характеризует определенное свойство ПОИ и служит критерием оценки его качества при работе в определенных условиях (параметр можно измерить или вычислить по данным измерений других величин)

Характеристика — это зависимость, описывающая изменение какого-либо параметра ПОИ при изменении внешних факторов (характеристику можно выразить формулой, графикам или таблицей)

1. Основные параметры:

1.1. Параметры чувствительности

1.2. Пороговые и шумовые параметры

1.3. Временные параметры

1.4. Спектральные параметры

1.5. Эксплуатационные параметры

2. Основные характеристики:

2.1. Спектральные характеристики

2.2. Вольтовые характеристики

*2.3. Характеристики зависимости параметров
ПОИ от величин потока излучения*

2.4. Фоновые характеристики

2.5. Частотные характеристики ПОИ

1.1. Чувствительностью ПОИ

называют:

отношение изменения измеряемой электрической величины, вызванного падающим на фотоприемник излучением, к количественной характеристике этого излучения в заданных эксплуатационных условиях

Различают:

- $S_{\phi\alpha}$ чувствительность к потоку излучения
- $S_{\phi\vartheta}$ - чувствительность к световому потоку
- S_{Ee} - чувствительность к облученности
- $S_{E\vartheta}$ - чувствительность к освещенности
- S_{λ} интегральная чувствительность
- - монохроматическая чувствительность

Интегральная чувствительность

(чувствительность ПОИ к немонахроматическому потоку излучения заданного спектрального состава)

Для приемников с внешним фотоэффектом:

$$S_{\text{ext}} = \Delta I / \Delta \Phi$$

Для фоторезисторов:

$$S_{\text{res}} = \Delta R / (R_0 \Delta \Phi)$$

На практике чаще применяют интегральную токовую $S_{\dot{I}_0}$ или интегральную вольтовую $S_{\dot{V}_0}$ чувствительности, характеризующие чувствительность приемника не вообще, а применительно к реальной схеме его включения.

$$S_{\dot{I}_0} = I_{\delta} / \hat{O}$$

$$S_{\dot{V}_0} = V_{\delta} / \hat{O}$$

где $I_{\delta} = I_0 - I_T$; $V_{\delta} = V_0 - V_T$; I_0 и V_0 – общие ток и напряжение; V_T и I_T – темновые ток и напряжение

Монохроматическая чувствительность

Под монохроматической чувствительностью (токовой и вольтовой) понимают чувствительность фотоприемника к монохроматическому излучению:

$$S_{\lambda I} = \Delta I / \Delta \hat{O}_{\lambda}$$
$$S_{\lambda V} = \Delta V / \Delta \hat{O}_{\lambda}$$

Импульсной чувствительностью

называют отношение амплитудного значения фототока (напряжения) фотосигнала, вызванного падающим на фотоприемник импульсным излучением, к амплитудному значению потока излучения при заданной его форме.

1.2. Пороговые и шумовые параметры ПОИ

Шум приемника - хаотический сигнал со случайными амплитудой и частотой, который наблюдается помимо полезного регулярного сигнала в выходной цепи приемника.

Шум описывают такими характеристиками, как математическое ожидание (средний уровень шума), среднеквадратичное значение или дисперсия.

Если спектральная плотность шума (дисперсия) одинакова и не зависит от частоты, то такой шум

Ток и напряжение шума

Током шума ПОО $I_{ш}$ называют средне-квадратичное значение флуктуации тока, протекающего через фотоприемник в указанной полосе частот.

Напряжением шума $V_{ш}$ называют средне-квадратичное значение флуктуации напряжения на заданной нагрузке в цепи фотоприемника в указанной полосе частот.

В приемниках излучения различают:

✓радиационный (фотонный) шум

(возникает из-за флуктуаций потока квантов, падающих на фотоприемную площадку)

✓флуктуации потока квантов

(излучаются самим фотоприемником в пространство, так как его температура отлична от абсолютного нуля)

Дисперсия флуктуации потока излучения фона с температурой T_{ϕ} и коэффициентом теплового излучения $\alpha_{T\phi}$, поступающего на фотоприемную площадку с площадью A в полосе частот Δf :

$$\Delta f$$

$$\overline{\Delta \Phi_{\phi}^2} = 8 \alpha_{T\phi} E_{T\phi} k T_{\phi}^5 \sigma A \Delta f$$

где $\alpha_{T\phi}$ - коэффициент поглощения излучения фотоприемной площадкой;

k - постоянная Больцмана;

$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$ - постоянная Стефана-Больцмана.

Тепловой шум

вызывается хаотическим тепловым движением свободных электронов в самом приемнике. Спектр теплового шума равномерный. Дисперсию напряжения теплового шума в полосе определяют по формуле Найквиста:

$$\overline{V_{m.u}^2} = 4kTR\Delta f$$

$$\overline{I_{m.u}^2} = 4kTR^{-1}\Delta f$$

где R - сопротивление приемника.

Дробовой шум

Объясняется тем, что электрический ток - это поток частиц, флуктуирующих во времени. Дисперсию тока дробового шума в полосе Δf определяют по формуле Шоттки:

$$I_{др.ш} = 2eI_0\Delta f$$

$$e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ А} \cdot \text{с}$$

$$I_0$$

где e - заряд электрона, I_0 - среднее значение тока в приемнике.

Спектр дробового шума равномерный.

Генерационно-рекомбинационный шум

Наблюдается у полупроводниковых прием-ников и вызывается случайным характером генерации носителей тока, а также случайным характером рекомбинации этих носителей, т. е. флуктуацией их числа и времени жизни носителей.

Зависит от концентрации и времени жизни носителей и повышается при увеличении напряжения питания.

Дисперсия напряжения генерационно-рекомбинационного шума для фоторезисторов на основе собственной проводимости в 1 полосе

$$V_{гр.ш}^2 = 4V_n^2 \frac{V_H^2 V_T^2 \Delta f}{(R_T + R_H)^4 n q} \frac{1}{1 + (2\pi f \tau_n)^2}$$

Шум мерцания (фликкер-эффект)

Возникает у фотоэлементов из-за непостоянства чувствительности фотокатода во времени, он проявляется на низких частотах ($f < 100 \text{ Гц}$) и может превышать дробовый шум на порядок:

$$\bar{I}_{\text{м.ш}}^2 = 2eI_0 \left[1 + BI_0 / (Af) \right]$$

B

где A - постоянная, зависящая от фотокатода;
 B - площадь фотокатода. Шум мерцания чаще всего снимают экспериментально.

Токовый шум

Объединяет несколько видов шума, которые отдельно трудно рассчитать. Зависит от состояния поверхности и технологии изготовления фоточувствительного слоя, от качества контактов и токов утечки. Дисперсия напряжения токового шума на R_n :

$$\overline{V}_{m.u}^2 = B' B^2 I_0^2 \Delta f / f_M$$

где B' - коэффициент, зависящий от типа фотоприемника (для сернисто-свинцовых фоторезисторов $B' = 10^{-11} \div 10^{-12}$);
- R сопротивление приемника, Ом; I_0 среднее значение тока в цепи приемника.

При расчете общего шума ПОИ считают, что шум некоррелирован, поэтому дисперсия суммарного напряжения шумов находится:

$$\overline{V}_{ш}^2 = \overline{V}_{р.ш}^2 + \overline{V}_{т.ш}^2 + \overline{V}_{др.ш}^2 + \overline{V}_{гр.ш}^2 + \dots$$

Пороговым потоком ПОИ в заданной полосе называют среднеквадратическое значение действующего на фотоприемник синусоидально-модулированного потока излучения источника сигнала с заданным спектральным распределением, при котором среднеквадратичное значение напряжения (тока) фотосигнала равно среднеквадратичному значению напряжению (току) шума в заданной полосе частот:

$$\Phi_n = \sqrt{\overline{V}_{ш}^2} / S_V \quad \text{или} \quad \Phi_n = \sqrt{\overline{I}_{ш}^2} / S_I$$

Пороговым потоком ПОИ

в единичной полосе частот Φ_{n1} ($\text{Вт}/\Gamma\text{ц}^{1/2}$) называют среднеквадратичное значение действующего на ПОИ синусоидально-модулированного потока излучения источника сигнала с заданным спектральным распределением, при котором среднеквадратичное значение напряжения (тока) фотосигнала равно среднеквадратичному значению напряжения (тока) шума в единичной полосе частот,

$$\Phi_{n1} = \Phi_n / \sqrt{\Delta f}$$

1.3. Временные параметры ПОИ

τ_{cn} - интервал времени после прекращения воздействия излучения, по истечении которого спадающее по экспоненте напряжение фотосигнала уменьшается в e раз.

τ_n - время после начала воздействия излучения, по истечении которого нарастающее по экспоненте напряжение фотосигнала достигает доли $1-1/e=0.63$ от своего максимального значения.

Граничная частота фотоприемника f_{gp} показывает частоту синусоидально-модулированного потока излучения, при которой чувствительность фотоприемника падает до значения $0,707$ от чувствительности при немодулированном излучении за счет его инерционности.

Электрические параметры ПОИ

R_T - темновое сопротивление ПОИ ($R_{Ti} = V / I_{Ti}$)

$R_D = dV / dI$ - динамическое сопротивление приемника при заданной облученности на ПОИ

C - емкость ПОИ

Сопротивление и емкость ПОИ- важные параметры, так как они определяют постоянную времени схемной релаксации электрической цепи ПОИ: $\tau_{\text{рел}} = CR$

От сопротивления приемника зависят уровень шумов ПОИ и схема согласования приемника с усилителем. Сопротивления ПОИ зависит от формы приемной фоточувствительной площадки, от наличия фона и охлаждения.

1.4. Спектральные параметры ПОИ

Параметр λ_{\max} определяет местоположение максимума спектральной чувствительности ПОИ, а λ и λ' — наименьшую и наибольшую длины волн монохроматического излучения, при которых монохроматическая чувствительность ПОИ падает до 0,1 ее максимального значения.

1.5. Эксплуатационные параметры

V_p - рабочее напряжение ПОИ

P_{\max} - максимально допустимая рассеивающая мощность ПОИ

2. Основные характеристики:

2.1. Спектральные характеристики

Спектральные характеристики определяют спектральный диапазон чувствительности ПОИ.

Абсолютная спектральная характеристика чувствительности фотоприемника $S_{abc}(\lambda)$ характеризует зависимость монохроматической чувствительности ПОИ, измеренной в абсолютных единицах, от длины волны падающего, на ПОИ потока излучения.

В большинстве случаев спектральные характеристики ПОИ имеют вид плавных кривых с одним максимумом при λ_{max}

Относительная спектральная характеристика чувствительности

Зависимость монохроматической его чувствительности, отнесенной к значению максимальной чувствительности, от длины волны регистрируемого излучения — практически не меняется от приемника к приемнику одного и того же типа, а зависит от материала чувствительного слоя (ее значения даны в справочниках):

$$S(\lambda) = S_{abc}(\lambda) / S_{\lambda \max}$$

Экспериментально относительную спектральную характеристику чувствительности определяют при модулированном и немодулированном (без модулятора) потоках излучения.

Эффективный поток излучения

$\Phi_{\text{эфф}}$ - это поток, который при чувствительности приемника, постоянной по спектру и равной максимальному значению ($S_{V\lambda_{\text{max}}}$), вызвал бы такой же сигнал, какой вызывает весь падающий реальный поток при реальной спектральной чувствительности (относится к параметрам).

Интегральный поток от источника

$$\Phi = \int_0^{\infty} \Phi_{e\lambda}(\lambda) d\lambda$$

Интегральная вольтовая чувствительность

$$S_V = \frac{V}{\Phi} = S_{V\lambda_{\max}} \frac{\int_0^{\infty} S(\lambda) \Phi_{e\lambda}(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} \Phi_{e\lambda}(\lambda) d\lambda} = S_{V\lambda_{\max}} \chi$$

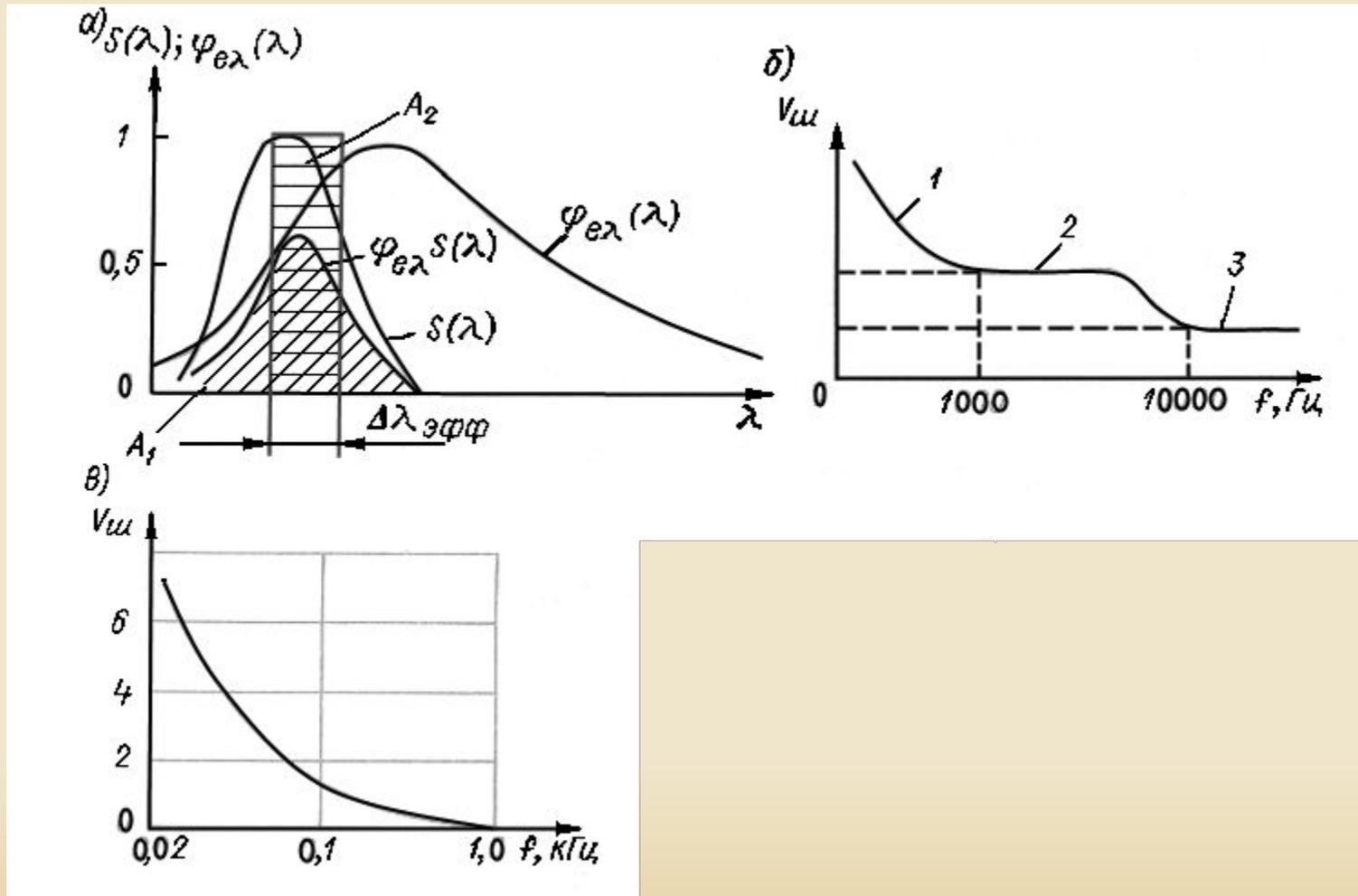
Отношение интегралов в полученном выражении показывает, какую долю в сложном потоке, падающем на ПОИ, составляет эффективный поток для данного приемника и источника.

Спектральным КПД приемника

Спектральный КПД приемника - ~~очень~~ важный параметр, его можно найти в таблицах или графоаналитически, построив $\varphi_{e\lambda}(\lambda) = \Phi_{e\lambda}(\lambda) / \Phi_{e\lambda \max}$ и $S(\lambda)$:

$$\chi = \frac{\int_0^{\infty} S(\lambda) \Phi_{e\lambda}(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} \Phi_{e\lambda}(\lambda) d\lambda} = \frac{\int_0^{\infty} S(\lambda) \varphi_{e\lambda}(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} \varphi_{e\lambda}(\lambda) d\lambda}$$

Спектральный КПД приемника



Эффективная ширина полосы чувствительности приемника $\Delta\lambda_{\text{эфф}}$ характеризует ширину диапазона спектра (в мкм), в которой был бы, сосредоточен весь эффективный для данного приемника поток излучения, при условии, что в этом интервале спектра функция спектральной плотности потока излучения постоянна и равна своему максимальному значению, т.е.

$$\Delta\lambda_{\text{эфф}} = \int_0^{\infty} \Phi_{e\lambda}(\lambda) S(\lambda) d\lambda / \Phi_{e\lambda \max}$$

или, переходя к относительным единицам путем деления числителя и знаменателя на $\Phi_{e\lambda \max}$, получим.

$$\Delta\lambda_{\text{эфф}} = \int_0^{\infty} \varphi_{e\lambda}(\lambda) S(\lambda) d\lambda$$

2.2. Вольтовые характеристики

Вольт-амперной характеристикой ПООИ $I(V)$ называют зависимость тока ПООИ от напряжения питания, приложенного к нему при фиксированном потоке излучения.

Вольтовые характеристики выражают зависимость от напряжения питания чувствительности $S(V)$ при постоянном потоке излучения, среднеквадратичного значения тока шума $I_{\sigma}(V)$, среднеквадратичного значения напряжения шума $V_{\sigma}(V)$, порогового потока $\Phi_n(V)$ удельного порогового потока $\Phi_n^*(V)$ и удельной обнаружительной способности $D^*(V)$. Эти зависимости влияют на параметры ОЭП, поэтому их надо учитывать при расчетах.

2.3. Характеристики зависимости параметров ПОИ от мощности излучения.

- Люкс-омическая характеристика фоторезисторов
- Энергетическая характеристика фототока ПОИ
- Энергетическая характеристика напряжения фотосигнала ПОИ
- Световые характеристики ФЭ и ФЭУ и т.д.

По этим характеристикам можно определять вольтовую и токовую чувствительности, так как они являются крутизной следующих зависимостей:

$$V_c = f(\Phi_e); I_\phi = f(\Phi_e)$$

2.4. Фоновые характеристики

- это зависимости, определяющие изменение сопротивления ПООИ $R(\Phi_\phi)$, изменение чувствительности $S(\Phi_\phi)$, тока шума $I_{ш}(\Phi_\phi)$, напряжения шума $V_{ш}(\Phi_\phi)$, удельного порогового потока $\Phi_n^*(\Phi_\phi)$ или удельной обнаружительной способности $D^*(\Phi_\phi)$ от недоомодулированного потока излучения фона. Эти зависимости также необходимо учитывать при расчете ОЭП с ПООИ и принимать меры к уменьшению фоновых засветок при помощи фильтров, пропускающих только рабочий спектральный интервал излучения.

2.5. Частотные характеристики

- зависимость какого-либо из его параметров от частоты модуляции потока излучения .

Частотная характеристика определяет, как и постоянная времени, динамические свойства ПОИ и связана с постоянной времени ПОИ , так как последняя определяет допустимую (τ граничную) частоту модуляции потока излучения, когда сигнал падает в заданное $f_{гр}$ раз за счет инерционности ПОИ.

Вид частотной характеристики зависит от формы модуляции.

Спасибо за внимание