

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Институт *высокоточных систем им. В.П. Грязева*
Кафедра «Приборы управления»

Утверждено на заседании кафедры
«Приборы управления»
« 22 » января 20 24 г., протокол № 1

Заведующий кафедрой

_____ В.В. Матвеев

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по проведению практических (семинарских) занятий
по дисциплине (модулю)
«Интеллектуальные фотонные системы»

основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы бакалавриата

по направлению подготовки
12.03.03 Фотоника и оптоинформатика

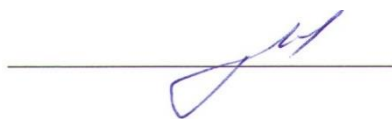
с направленностью (профилем)
Интеллектуальные фотонные системы
Форма обучения: очная

Идентификационный номер образовательной программы: 120301-01-24

Тула 2024 год

Разработчик методических указаний:

Матвеев В.В., зав. каф., д.т.н., доц. _____



Оглавление

Практическое занятие № 1. Расчет коэффициента пропускания атмосферы	4
Практическое занятие № 2. Расчет основных габаритных параметров.....	9
приемной оптической системы	9
Практическое занятие № 3. Расчет погрешностей анализатора	12
светоделительного типа с двумя фотоприемниками	12
Практическое занятие № 4. Расчет погрешностей анализатора светоделительного типа с одним фотоприемником.....	16
Практическое занятие № 5. Расчет допусков на параметры светоделительных анализаторов.....	20
Практическое занятие № 6. Расчет погрешностей фазовых растровых анализаторов	22

Практическое занятие № 1. Расчет коэффициента пропускания атмосферы

1. Цель и задачи работы

Цель работы: получение практических навыков расчета параметров, характеризующих ослабление оптического излучения в атмосфере.

Задачи работы: получение практических навыков расчета коэффициентов пропускания атмосферы.

2. Общие положения (теоретические сведения)

Влияние среды распространения оптического излучения на работу ОЭП

Оптико-электронные приборы (ОЭП) работают в условиях ослабления и искажения оптического излучения за счет влияния среды, в которой оно распространяется. Наиболее распространенной средой распространения излучения является атмосфера. Ослабление и искажение излучения в атмосфере обусловлено двумя факторами:

1. Поглощение излучения газовыми компонентами, в результате которого происходит преобразование энергии излучения в другие виды энергии (например, в тепло);
2. *Молекулярное* или *аэрозольное* ослабление или *рассеяние* излучения, которое заключается в изменении направления его распространения.

Поглощение излучения вызвано наличием в атмосфере ряда веществ (воды, углекислого газа, озона), имеющих спектральные полосы поглощения в оптической области. *Рассеяние излучения* представляет собой отклонение потока излучения от первоначального направления при его взаимодействии с частицами, из которых состоит среда.

В ряде случаев необходимо учитывать случайные изменения оптических свойств атмосферы, к которым относятся:

- *флуктуации фазы световой волны*, вследствие изменения показателя преломления атмосферы, их влияние проявляется в *мерцании* (случайном изменении яркости источника) и *дрожании* (случайном изменении пространственного положения изображения);
- изменение плотности потока излучения по сечению пучка.

Для излучения с заданной длиной волны λ ослабление излучения в оптически однородной среде описывается экспоненциальным законом Бугера:

$$I_{\lambda} = I_{0\lambda} e^{(-\alpha_{\lambda} l)},$$

где I_{λ} – сила излучения, прошедшего путь l ; $I_{0\lambda}$ – сила излучения в начале траектории; α_{λ} – показатель ослабления среды.

Условия применимости закона:

- отсутствие собственного свечения среды в рассматриваемом спектральном диапазоне;
- отсутствие *индуцированного* (наведенного внешними источниками свечения среды);
- монохроматичность излучения;
- небольшая мощность излучения;
- достаточно большая протяженность трассы.

Поглощение излучения в земной атмосфере

В случае неоднородной среды закон Бугера принимает следующий вид:

$$I_{\lambda}(\lambda) = I_0(\lambda) \exp \left[- \int_0^l k_{\Pi}(\lambda, l) dl \right],$$

где $k_{\Pi}(\lambda, l)$ – монохроматический коэффициент поглощения.

Коэффициент поглощения можно рассчитывать на основе учета поглощения излучения на каждой линии спектра или на основе модели полос поглощения. Эти коэффициенты определяются экспериментально. Основные спектральные полосы атмосферы соответствуют следующим компонентам атмосферы:

$$\begin{aligned} H_2O : & (0,94; 1,1; 1,38; 1,87; 2,7; 3,2; 6,3) \text{ мкм.} \\ CO_2 : & (1,4; 1,6; 2,0; 4,3; 4,8; 5,2; 9,4; 10,4; 13,9) \text{ мкм.} \end{aligned}$$

Для расчетов ОЭП важно иметь параметры *окон прозрачности* атмосферы, в которых наблюдается наименьшее ослабление излучения. Их частотный диапазон следующий:

$$0,95...1,05 \text{ мкм}; 1,2...1,3 \text{ мкм}; 1,5...1,8 \text{ мкм}; 2,1...2,4 \text{ мкм}; 3,3...4,2 \text{ мкм.}$$

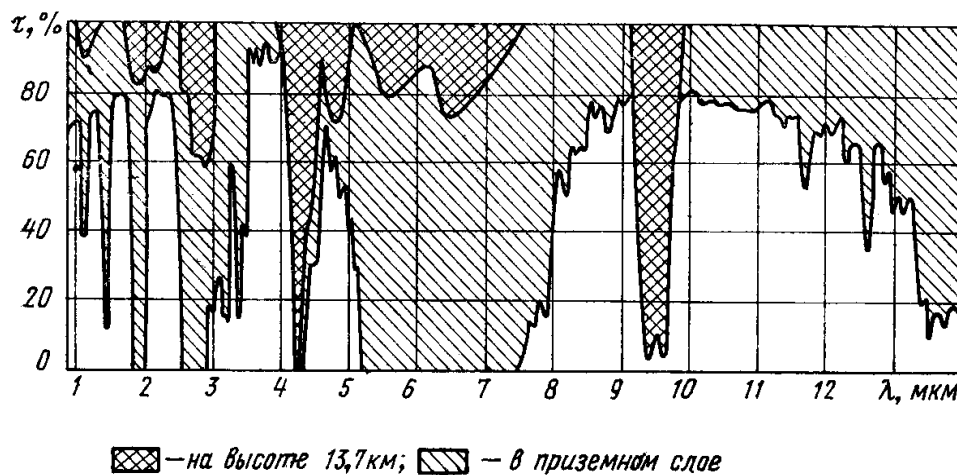


Рис.1. Поглощение и пропускание в атмосфере

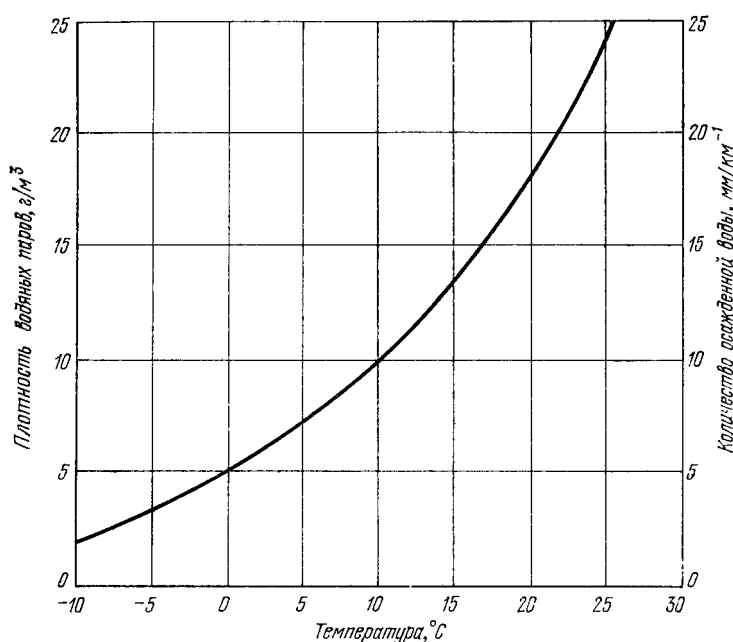
На практике часто применяется формула поглощения излучения в атмосфере **Эльдера – Стронга**, которая справедлива для трасс, расположенных на высотах 2 -3 км, которая выглядит следующим образом:

$$\tau_{\Pi} = t_0 - k_1 \lg \omega [\%],$$

где t_0 и k_1 – постоянные коэффициенты, определенные экспериментально.

$\Delta\lambda$ [мкм]	k_1	t_0
0,7...0,92	15,1	106,3
0,92...1,1	16,5	106,3
1,1...1,4	17,1	96,3
1,4...1,9	13,1	81,0
1,9...2,7	13,1	72,5
2,7...4,30	12,5	72,3
4,3...5,9	21,2	51,2

$\omega = \omega_0 l$ - толщина слоя осаждаемая вода; l - длина трассы; ω_0 - количество осаждаемой воды на трассе в 1 км, причем $\omega_0 \approx a_n$; a_n - концентрация водяного пара (абсолютная влажность) [г/м³] зависит от температуры окружающей среды.



Для определения ω_0 необходимо умножить значение относительной влажности на количество осаждаемой воды.

Для высот больше 3 км следует вводить поправку при вычислении слоя осаждаемой воды, которую можно вычислить по следующей формуле:

$$\omega = \omega_0 l \cdot 10^{-(3+0,2H)}, \quad H = [\text{км}].$$

Расчет коэффициента пропускания по метеорологической дальности видимости

На практике пользуются понятием *метеорологическая дальность видимости* S_M - расстояние, на котором контраст между источником определенного типа (мирой) и окружающим фоном снижается до порога контрастной чувствительности глаза. Эта величина характеризует также метеорологическое состояние среды (ее мутность) и определяется по формуле:

$$S_M = \frac{\ln\left(\frac{1}{\varepsilon_k}\right)}{\alpha_a},$$

где α_a – показатель рассеяния; ε_k – порог контрастной чувствительности приемника.

Для человеческого глаза $\varepsilon_k = 0,02$. Тогда, для $\lambda = 0,55$ мкм $S_M = \frac{3,91}{\alpha_{a(0,55)}}$.

ТАБЛИЦА 2. Международный код видимости, метеорологическая дальность видимости S_M , показатель рассеяния $\alpha_{a(0,55)}$

Кодовый номер	Погодные условия	S_M [м]	$\alpha_{a(0,05)}$ [1/км]
0	Плотный туман	<50	>78,2
1	Густой туман	50...200	78,2...19,6
2	Обычный туман	200...500	19,6...7,82
3	Легкий туман	500...1000	7,82...3,91
4	Слабый туман	1000...2000	3,91...1,26
5	Дымка	2000...4000	1,96...0,954
6	Легкая дымка	10000	0,391
7	Ясно	20000	0,196
8	Очень ясно	50000	0,078
9	Совершенно ясно	>50000	<0,078

Используя показатель рассеяния, можно получить формулы для коэффициента прозрачности:

$$\tau_{a(0,55)} = \exp\left[-\alpha_{a(0,55)}l\right] = \exp(-3.91l/S_M).$$

Для расчета показателя рассеяния в зависимости от длины волны излучения, когда $S_M > 2$ км, можно пользоваться следующей формулой:

$$\alpha_{a\lambda} = \frac{3,91}{S_M} \left(\frac{\lambda}{0,55}\right)^{-n_s},$$

где $n_s = 0,585\sqrt{S_M}$ – для плохих погодных условий ($S_M < 6$ км); $n_s = 1,3$ – для средних погодных условий и $n_s = 1,6$ для хороших погодных условий.

Последние формулы позволяют вычислить коэффициенты прозрачности для любой длины волны λ в пределах любого атмосферного окна. При этом не учитывается поглощение и его необходимо вычислять отдельно, независимо от рассеяния.

3. Задание на работу (рабочее задание)

Рассчитать параметры, характеризующие ослабление оптического излучения в атмосфере.

4. Ход работы (порядок выполнения работы)

Пример 1: Для $t = 10$ °С и относительной влажности 60% определить коэффициент пропускания среды при длине трассы $l = 5$ км для излучения на длине волны $\lambda = 1,1$ мкм.

1) По графику определяем концентрацию водяного пара для $t = 10$ °С. $a_H = 10$ г/м³.

2) Определяем количество осажженной воды на трассе в 1 км $\omega_0 = a_H \cdot 0,6 = 10 \cdot 0,6 = 6$ мм/км.

3) Определяем толщину слоя осажженной воды; $\omega = \omega_0 l = 6 \cdot 5 = 30$ мм.

4) Определяем по таблице коэффициенты для длины волны $\lambda = 1,1$ мкм.
 $k_1 = 16,5$; $t_0 = 106,3$.

5) Определяем коэффициент пропускания атмосферы $\tau_{II} = t_0 - k_1 \lg \omega$ [%] = $106,3 - 16,5 \cdot \lg 30 = 81,9$ %.

Пример 2. Для исходных данных примера 1 вычислить толщину слоя осажженной воды на высоте $H = 5$ км.

1) По графику определяем концентрацию водяного пара для $t = 10$ °С. $a_H = 10$ г/м³.

2) Определяем количество осажженной воды на трассе в 1 км $\omega_0 = a_H \cdot 0,6 = 10 \cdot 0,6 = 6$ мм/км.

3) Определяем толщину слоя осажженной воды; $\omega = \omega_0 l \cdot 10^{-(3+0,2H)}$, $H = [км]$.
 $\omega = 6 \cdot 5 \cdot 10^{-(3+0,2 \cdot 5)} = 0,003$ мм.

Пример 3. Рассчитать коэффициент прозрачности $\tau_{a(0,55)}$ на длине волны $\lambda = 0,55$ мкм для длинны трассы $l = 0,5$ км, и метеорологической дальности видимости $s_M = 1000$ м.

$$\tau_{a(0,55)} = \exp(-3,91 \cdot 0,5/1,0) = 0,14.$$

Пример 4. Построить график зависимости коэффициента прозрачности $\tau_{a(0,55)}$ от длины трассы l при метеорологической дальности видимости $s_M = 4000$ м.

Пример. 5. Рассчитать показатель рассеяния для длины волны излучения $\lambda = 1,05$ мкм при хороших погодных условиях (код видимости 7).

$$\alpha_{a\lambda} = \frac{3,91}{20} \left(\frac{1,05}{0,55} \right)^{-1,6} = 0,069.$$

Пример 6. Рассчитать коэффициент прозрачности $\tau_{a(\lambda)}$ на длине волны $\lambda = 1,05$ мкм для длинны трассы $l = 0,5$ км при плохих погодных условиях (код видимости 3).

1) $n_s = 0,585 \sqrt[3]{s_M} = 0,585 \sqrt[3]{1} = 0,585$

2) $\alpha_{a\lambda} = \frac{3,91}{1} \left(\frac{1,05}{0,55} \right)^{-0,585} = 2,678.$

3) $\tau_{a(1,05)} = \exp[-\alpha_{a(1,05)} l] = \exp(-2,678 \cdot 0,5) = 0,26.$

Пример 7. Рассчитать коэффициент прозрачности $\tau_{a(\lambda)}$ для длинны трассы $l = 5$ км, и метеорологической дальности видимости $s_M = 10000$ м на длине волны $\lambda = 0,55$ мкм и $\lambda = 1,05$.

1) $\tau_{a(0,55)} = \exp(-3,91 \cdot 5/10) = 0,14.$

2) $\alpha_{a(1,05)} = \frac{3,91}{10} \left(\frac{1,05}{0,55} \right)^{-1,6} = 0,139.$

3) $\tau_{a(1,05)} = \exp[-\alpha_{a(1,05)} l] = \exp(-0,139 \cdot 5) = 0,499.$

5. Контрольные вопросы

1. Записать формулу закон Бугера для ослабления луча в неоднородной среде?
2. Условие применимости закона Бугера для оптически однородных сред?
3. Чем обусловлено ослабление и искажение лучей в атмосфере?
4. В каких условиях применим Закон Эльдера-Стронга на практике?

Список использованных источников

1. Погорельский С.Л. Прикладная оптика. Курс лекций: Учебное пособие для вузов /С.Л. Погорельский; ТулГУ – Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. – 253 с. – 20 экз.
2. Погорельский С.Л. Прикладная оптика: учебное пособие для вузов. Ч I /С.Л. Погорельский; ТулГУ; Фак. Механики и систем управления; каф. «Приборы управления». – Тула: Гриф и К, 2005. – 186 с. –50 экз.
3. Ю.Г. Якушенков. Теория и расчет оптико-электронных приборов. Учебник для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Логос, 2004. – 472 с.
4. Парвулюсов Ю.Б. Проектирование оптико-электронных приборов: Учеб. пособие для втузов / Ю.Б. Парвулюсов, В.П. Солдатов, Ю.Г. Якушенков; Под ред. Ю.Г Якушенкова. – М.: Машиностроение, 1990. – 431 с.
5. Мосягин Г.М. Теория оптико-электронных систем: Учебник для втузов – М.: Машиностроение, 1990. – 431 с.

Практическое занятие № 2. Расчет основных габаритных параметров приемной оптической системы

1. Цель и задачи работы

Цель работы: получение практических навыков расчета параметров, приемной оптической системы.

Задачи работы: получение практических навыков расчета основных габаритных параметров приемной оптической системы.

2. Общие положения (теоретические сведения)

Важнейшими габаритными параметрами приемной оптической системы ОЭП являются диаметр входного зрачка объектива D , его фокусное расстояние f' или диафрагменное число $K = f'/D$, а также угловое поле $2\omega_y$. Их значения во многом определяют уровни полезного сигнала, приходящего на вход ОЭП, а также помех и шумов, т.е. от выбора данных параметров зависит значение отношения сигнал/шум μ . Поскольку это отношение определяет и другие критерии качества ОЭП [38], наиболее часто расчет D , f , K и ω_y целесообразно вести из условия обеспечения требуемого значения μ .

Как показано в [18, 38], отношение сигнал/шум на выходе приемника излучения в общем виде описывается уравнением

$$\mu_n = k_m \int_0^{\infty} \Phi_c(\lambda) \tau_o(\lambda) s_{V_{f_T}}(\lambda) d\lambda / \sigma_{ш.вых}, \quad (6.1)$$

где k_m — коэффициент, учитывающий потери мощности сигнала за счет модуляции и других преобразований сигнала в электронном тракте; $\Phi_c(\lambda)$ — поток, приходящий на входной зрачок приемной оптической системы, как функция длины волны излучения λ $\tau_o(\lambda)$ — спектральный коэффициент пропускания приемной оптической системы; $s_{V_{f_T}}(\lambda)$ — спектральная характеристика вольтовой чувствительности приемника излучения на частоте модуляции f_T принятой при паспортизации приемника; $\sigma_{ш.вых}$ — среднее квадратическое значение шумов и помех, приведенное к выходу приемника излучения. Значения $\Phi_c(\lambda)$ часто рассчитывают по следующим формулам:

для удаленного точечного излучателя

$$\Phi_c(\lambda) = \tau_c(\lambda) I(\lambda) A_{\text{вх}} / l^2; \quad (6.2)$$

для удаленного «площадного» излучателя, т.е. излучателя, перекрывающего лишь часть углового поля ОЭП,

$$\Phi_c(\lambda) = \tau_c(\lambda) L(\lambda) \Delta A A_{\text{вх}} / l^2; \quad (6.3)$$

для протяженного излучателя, т.е. излучателя, перекрывающего все угловое поле ОЭП,

$$\Phi_c(\lambda) = \tau_c(\lambda) L(\lambda) q A_{\text{вх}} / f'^2 \approx \tau_c(\lambda) L(\lambda) A_{\text{вх}} \Delta \Omega. \quad (6.4)$$

В этих формулах $\tau_c(\lambda)$ — спектральный коэффициент пропускания среды распространения оптического сигнала; $I(\lambda)$ и $L(\lambda)$ — спектральные плотности силы излучения и яркости источника полезного сигнала; $A_{\text{вх}}$ — площадь входного зрачка; l — расстояние от ОЭП до излучателя; ΔA — видимая площадь излучателя; q — площадь полевой диафрагмы оптической системы; $\Delta \Omega$ — телесное угловое поле объектива приемной системы.

Уравнение (6.1) определяет номинальное значение отношения сигнал/шум без учета действия дестабилизирующих факторов, приводящих, например, к изменению вольтовой чувствительности в условиях хранения и эксплуатации. Обычно разработчики фотоприемников в технических описаниях приводят данные о предельных уходах вольтовой чувствительности. Используя эти данные, можно с помощью уравнения (6.1) определить предельные значения μ_n .

При преобладании внутренних шумов — шумов приемника излучения — выражение (6.1) можно привести к виду (см. [18, 38]):

$$\mu_u = k_m k_f \int_0^\infty \Phi_c(\lambda) \tau_o(\lambda) D_{f_r}^*(\lambda) d\lambda / \sqrt{A \Delta f_s}. \quad (6.5)$$

Здесь k_f — коэффициент, учитывающий различие в спектральных плотностях мощности шума приемника на рабочей частоте модуляции и на частоте f_r ; $D_{f_r}^*(\lambda)$ — спектральная характеристика обнаружительной способности приемника на частоте f_r ; A — площадь чувствительного слоя приемника излучения; Δf_s — эквивалентная полоса шумов электронного тракта.

При преобладании помех, создаваемых излучением протяженного неоднородного («пестрого») фона со средним квадратическим значением яркости $\sigma_{L\Phi}$, отношение амплитуды полезного сигнала к среднему квадратическому значению сигнала помехи [38]

$$\mu_u = \frac{k_m \int_0^\infty \Phi_c(\lambda) \tau_o(\lambda) s_{V_{f_r}}(\lambda) d\lambda}{A_{\text{вх}} \Delta \Omega \int_0^\infty \sigma_{L\Phi}(\lambda) \tau_c(\lambda) \tau_o(\lambda) s_{V_{f_r}}(\lambda) d\lambda}. \quad (6.6)$$

Здесь принято, что среднее квадратическое значение промодулированного потока, приходящего от фона на вход ОЭП и создающего в полосе пропускания Δf_s ОЭП сигнал помехи, равно

$$\sigma_\Phi(\lambda) = \sigma_{L\Phi}(\lambda) \tau_c(\lambda) A_{\text{вх}} \Delta \Omega.$$

При малых угловых полях $2\omega_y$ и квадратной форме чувствительной площадки приемника, в которую вписывается пучок лучей с сечением в виде круга диаметром l_n , площадь этого участка можно определить как

$$A = l_n^2 = (2DK \operatorname{tg} \omega_y)^2 = (4/\pi) D^2 K^2 \Delta\Omega, \quad (6.7)$$

где телесный угол мгновенного углового поля $\Delta\Omega = (\pi/4) \times (2\operatorname{tg} \omega_y)^2$, $K = f/D$. При круглой форме входного зрачка объектива $A_{\text{вх}} = \pi D^2/4$.

Приведенные уравнения позволяют найти предварительно значения D , f и $2\omega_y$. Например, для случая работы ОЭП по протяженному излучателю и преобладания внутренних шумов после подстановки в (6.5) формулы (6.4) и учета (6.7) получим уравнение, решая которое относительно D , находим:

$$D = \frac{8\mu_u K \sqrt{\Delta f_s}}{k_m k_f \pi^2 \operatorname{tg} \omega_y \int_0^\infty \tau_c(\lambda) \tau_o(\lambda) L_c(\lambda) D_r^*(\lambda) d\lambda}. \quad (6.8)$$

Аналогичным образом можно получить выражение для расчета значений $2\omega_y$ и K (или $f = DK$).

В качестве исходных данных для расчета на практике часто приходится использовать известные заранее массивы параметров и значений функций, входящих в выражения (6.1)-(6.8), а также задавать значения некоторых из этих массивов. Целесообразно результаты расчетов получить в виде графиков или номограмм. При этом иногда удобно нормировать значение искомого или искомых параметров относительно значения μ_u . Это позволяет поместить интересующую разработчика информацию на одном графике или номограмме, например в виде зависимости

$$D/\mu_u = f(K, 2\omega_y).$$

Нормирование позволяет расширить диапазон варьирования параметрами D и μ_u практически неограниченно при одном и том же числе комбинаций параметров $2\omega_y$ и K . С помощью полученных графиков можно быстро и с достаточной точностью определить рациональные сочетания основных конструктивных параметров ОЭП.

3. Задание на работу (рабочее задание)

Рассчитать основные габаритные параметры приемной оптической системы.

4. Ход работы (порядок выполнения работы)

1. Рассчитать отношение сигнал/шум на выходе приемника излучения для следующих случаев:

- для удаленного точечного излучателя;
- для удаленного «площадного» излучателя;
- для протяженного излучателя.

2. Рассчитать отношение сигнал/шум на выходе приемника излучения при преобладании внутренних шумов — шумов приемника излучения.

3. Рассчитать диаметр входного зрачка объектива D , его фокусное расстояние f или диафрагменное число $K = f/D$, а также угловое поле $2\omega_y$.

5. Контрольные вопросы

1. По какой формуле рассчитывается диаметр входного зрачка оптической системы?
2. Какие основные параметры определяют габариты приемной оптической системы?

Список использованных источников

1. Погорельский С.Л. Прикладная оптика. Курс лекций: Учебное пособие для вузов /С.Л. Погорельский; ТулГУ – Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. – 253 с. – 20 экз.
2. Погорельский С.Л. Прикладная оптика: учебное пособие для вузов. Ч I /С.Л. Погорельский; ТулГУ; Фак. Механики и систем управления; каф. «Приборы управления». – Тула: Гриф и К, 2005. – 186 с. –50 экз.
3. Ю.Г. Якушенков. Теория и расчет оптико-электронных приборов. Учебник для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Логос, 2004. – 472 с.
4. Парвулюсов Ю.Б. Проектирование оптико-электронных приборов: Учеб. пособие для втузов / Ю.Б. Парвулюсов, В.П. Солдатов, Ю.Г. Якушенков; Под ред. Ю.Г Якушенкова. – М.: Машиностроение, 1990. – 431 с.
5. Мосягин Г.М. Теория оптико-электронных систем: Учебник для втузов – М.: Машиностроение, 1990. – 431 с.

Практическое занятие № 3. Расчет погрешностей анализатора светоделительного типа с двумя фотоприемниками

1. Цель и задачи работы

Цель работы: получение практических навыков расчета погрешностей анализатора светоделительного типа с двумя фотоприемниками.

Задачи работы: получение практических навыков расчета частных погрешностей анализатора изображения светоделительного типа.

2. Общие положения (теоретические сведения)

Светоделительные амплитудные анализаторы предназначены для определения направления на энергетический центр излучателя. Примером распространенного амплитудного анализатора, т.е. анализатора, позволяющего выделить полезную информацию, содержащуюся в амплитуде сигнала, может служить светоделительный блок (рис.17).

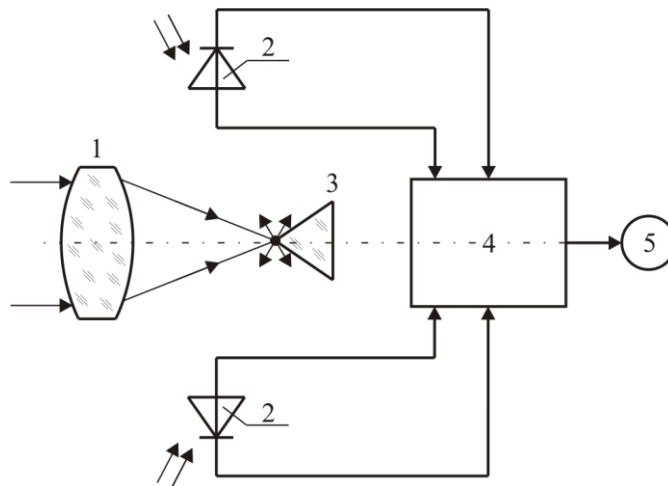
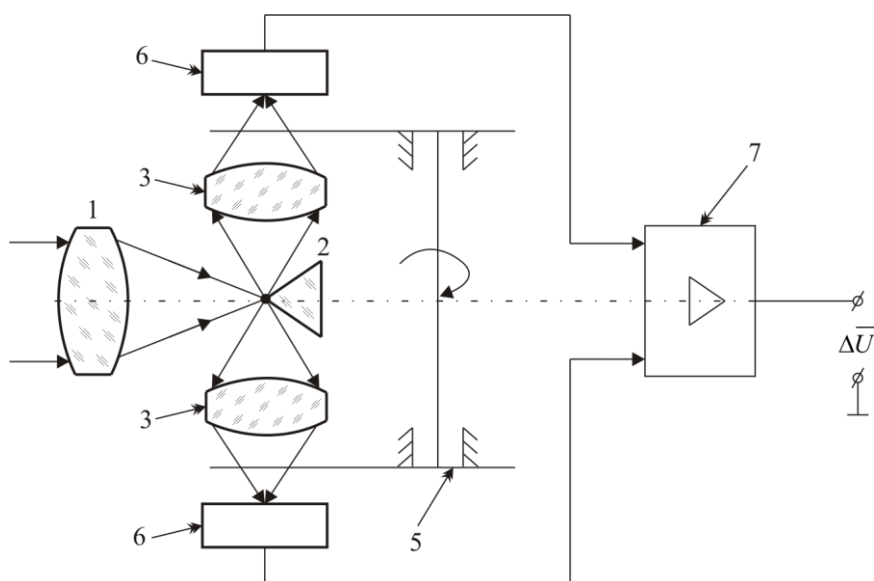


Рис.17. Структурная схема анализатора – светоделительного блока

Изображение видимой марки строится объективом **1** в его фокальной плоскости, где размещено ребро светоделительной призмы **3**. Поток Φ делится на 2 части Φ_A и Φ_B , падающие на одинаковые фотоприемники **2**. Сигналы с фотоприемников поступают на блок сравнения **4**, где вычисляется их разность $\Phi_A - \Phi_B$. Разностный поток поступает на индикатор **5**. Разность потоков $\Phi_A - \Phi_B$ меняется пропорционально смещению Δx источника излучения. Ширина линейной зоны статической характеристики определяется размером изображения l и законом распределения освещенности в нем. Принцип действия такого анализатора аналогичен работе 2-площадочного разрезного фотодиода.



На приведенном рисунке введены следующие обозначения:

- 1 – объектив;
- 2 – светоделительная призма;
- 3 – конденсоры дополнительной оптической системы;
- 5 – модулятор;
- 6 – фотоприемник;
- 7 – усилитель.

Статическая характеристика анализатора

$$\frac{\Delta\Phi}{\Phi_0} = \frac{\Delta x}{R} = \frac{\alpha}{\alpha_0},$$

где Φ_0 – половина эффективного потока в плоскости анализатора; R – полуширина изображения источника излучения в плоскости анализатора; α – текущий угол; α_0 – максимальный угол смещения в плоскости анализа, который выражается формулой:

$$\alpha_0 = \arctg \frac{R}{f}.$$

Таким образом, статическая характеристика анализатора линейна в диапазоне углов $\pm\alpha_0$. Основными погрешностями данного анализатора являются:

- частная погрешность $\Delta\alpha_{\Delta\varphi}$ из-за неточности нанесения раstra модулятора и эксцентриситета его оси вращения относительно центра раstra (погрешность расфокусировки $\Delta\varphi$ раздвоенных модулированных потоков в обоих каналах);
- частная погрешность $\Delta\alpha_S$ из-за неидентичности вольтовых чувствительностей фотоприемников и их изменений в зависимости от падающего потока, температуры и т.д.;
- частная погрешность $\Delta\alpha_f$ из-за нестабильности частоты модуляции потока;
- погрешность, обусловленная шумами фотоприемников $\Delta\alpha_u$;
- частная погрешность $\Delta\alpha_{ист}$, обусловленная нестабильностью полезного потока излучения.

1. Частная погрешность $\Delta\alpha_{\Delta\varphi}$ из-за неточности нанесения раstra модулятора

$$\Delta\alpha_{\Delta\varphi} = \frac{\sqrt{2}\pi\Delta\beta\alpha_0}{K_{отн} \cdot \beta_0}, \quad (1)$$

где $\Delta\beta$ – отклонение угловых размеров секторов раstra модулятора от номинала; β_0 – угловой период раstra; $K_{отн}$ – относительная чувствительность.

2. Частная погрешность $\Delta\alpha_S$ из-за неидентичности вольтовых чувствительностей фотоприемников

$$\Delta\alpha_S = \frac{2\sqrt{2}\Delta S_v \alpha_0}{K_{отн} (S_{v1} + S_{v2})}, \quad (2)$$

где ΔS_v – разность чувствительностей фотоприемника, которая выражается формулой:

$$\Delta S_v = S_{v2} - S_{v1}. \quad (3)$$

3. Частная погрешность $\Delta\alpha_f$ из-за нестабильности частоты модуляции потока

$$\Delta\alpha_f = \frac{\sqrt{2}\Delta U_f \cdot \alpha_0}{K_{отн} U_0}, \quad (4)$$

где ΔU_f – отклонение скорости вращения модулятора от номинального значения U_0 .

4. Погрешность, обусловленная шумами фотоприемников $\Delta\alpha_u$

$$\Delta\alpha_{ш} = \frac{\alpha_0 \Phi_{\Pi}^* \sqrt{2A\Delta f}}{K_{отн} \cdot \Phi_0}, \quad (5)$$

где Φ_{Π}^* – удельный пороговый поток; A – площадь чувствительного слоя фотоприемника; Δf – частотный диапазон электронного тракта.

Наличие 2-х фотоприемников делает необходимым сложение дисперсий двух случайных частных погрешностей, поэтому во всех формулах присутствует $\sqrt{2}$.

Основным недостатком светоделительного анализатора с 2-мя фотоприемниками является наличие погрешностей $\Delta\alpha_s$ от неидентичности вольтовой чувствительности фотоприемников и увеличение других частных погрешностей в $\sqrt{2}$ раза. Этих недостатков не имеет анализатор изображения с одним фотоприемником.

3. Задание на работу (рабочее задание)

Рассчитать погрешности анализатора светоделительного типа с двумя фотоприемниками.

4. Ход работы (порядок выполнения работы)

1. Рассчитать максимальный угол смещения в плоскости анализа α_0 , если $R = 5$ мм, $f' = 100$ мм. Ответ: $\alpha_0 = 0.0499$ рад.

2. Рассчитать частную погрешность $\Delta\alpha_{\Delta\varphi}$ из-за неточности нанесения раstra модулятора, если отклонение угловых размеров секторов раstra модулятора от номинала $\Delta\beta = 0,0029$ рад, угловой период раstra $\beta_0 = \pi$, относительная чувствительность $K_{отн} = 1$, $\alpha_0 = 0.0499$ рад. Ответ: $\Delta\alpha_{\Delta\varphi} = 0,00020$ рад (42").

3. Рассчитать частную погрешность $\Delta\alpha_s$ из-за неидентичности вольтовых чувствительностей фотоприемников, если $S_{v1} = 3000$ В/Вт; неидентичность вольтовой чувствительности приемников 1,66%, $K_{отн} = 1$, $\alpha_0 = 0.0499$ рад. Ответ: 0,00116 рад (5,5').

4. Рассчитать частную погрешность $\Delta\alpha_f$ из-за нестабильности частоты модуляции потока, если относительная нестабильность скорости вращения привода модулятора составляет 1%, $K_{отн} = 1$, $\alpha_0 = 0.0499$ рад. Ответ: $\Delta\alpha_f = 0,0007$ (2,5').

5. Рассчитать частную погрешность $\Delta\alpha_{ш}$, обусловленную шумами фотоприемников на основе фотодиодов ФД-20-32К, если их удельный пороговый поток $4 \cdot 10^{-10}$ Вт/см \cdot Гц $^{1/2}$, размеры фоточувствительного элемента $2 \times 1,35$ мм, $K_{отн} = 1$, $\alpha_0 = 0.0499$ рад в полосе частот $\Delta f = 1000$ Гц при падающем потоке 0,1 Вт. Ответ: $\Delta\alpha_{ш} = 14,66 \cdot 10^{-10}$ рад (3,02 \cdot 10 $^{-4}$ ").

5. Контрольные вопросы

1. Из каких элементов состоит анализатор изображения светоделительного типа?
2. В каком диапазоне углов характеристика анализатора изображения светоделительного типа линейна?
3. Перечислите основные погрешности анализатора изображения?
4. Какой основной недостаток анализатора изображения светоделительного типа с двумя фотодиодами?

Список использованных источников

1. Погорельский С.Л. Прикладная оптика. Курс лекций: Учебное пособие для вузов /С.Л. Погорельский; ТулГУ – Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. – 253 с. – 20 экз.
2. Погорельский С.Л. Прикладная оптика: учебное пособие для вузов. Ч I /С.Л. Погорельский; ТулГУ; Фак. Механики и систем управления; каф. «Приборы управления». – Тула: Гриф и К, 2005. – 186 с. –50 экз.
3. Ю.Г. Якушенков. Теория и расчет оптико-электронных приборов. Учебник для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Логос, 2004. – 472 с.
4. Парвулюсов Ю.Б. Проектирование оптико-электронных приборов: Учеб. пособие для втузов / Ю.Б. Парвулюсов, В.П. Солдатов, Ю.Г. Якушенков; Под ред. Ю.Г Якушенкова. – М.: Машиностроение, 1990. – 431 с.
5. Мосягин Г.М. Теория оптико-электронных систем: Учебник для втузов – М.: Машиностроение, 1990. – 431 с.

Практическое занятие № 4. Расчет погрешностей анализатора светоделительного типа с одним фотоприемником

1. Цель и задачи работы

Цель работы: получение практических навыков расчета погрешностей анализатора светоделительного типа с одним фотоприемником.

Задачи работы: получение практических навыков расчета частных погрешностей анализатора изображения светоделительного типа.

2. Общие положения (теоретические сведения)

Структурная схема анализатора светоделительного типа с одним фотоприемником показана на рис. 18.

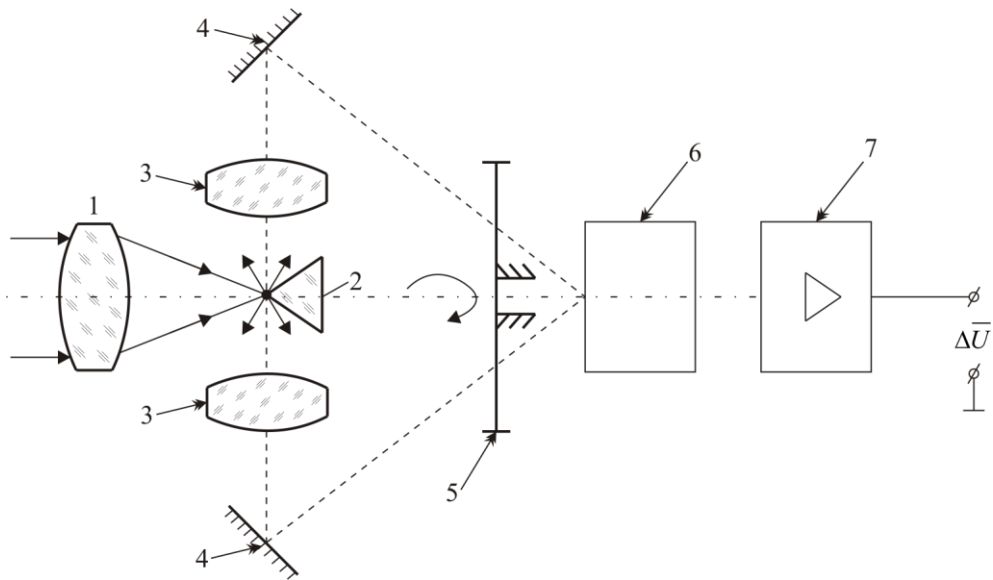
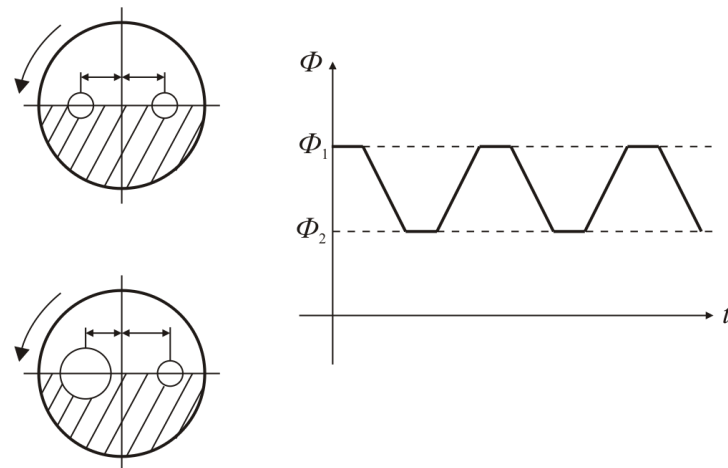


Рис.18. Структурная схема анализатора – светоделительного блока

На приведенном рисунке **1** – объектив; **2**– светоделительная призма; **3** – конденсоры дополнительной оптической системы; **4** – зеркала; **5** – модулятор; **6** – фотоприемник; **7** – усилитель (резонансный).

Если изображения излучателей находятся на оптической оси объектива ($\alpha = 0$) амплитуды потоков Φ_1 и Φ_2 равны, поэтому результирующий поток в плоскости фотоприемника равен половине потока, падающего в плоскости анализа. Вследствие этого, сигнал на выходе резонансного усилителя равен 0. При смещении изображения излучателя амплитуда одного из потоков возрастает за счет уменьшения другого потока ($\Phi_1 > \Phi_2$), поэтому на фотоприемник попадает поток, модулированный частотой вращения раstra, пропорциональный смещению изображения. Фаза этого потока зависит от направления смещения изображения.



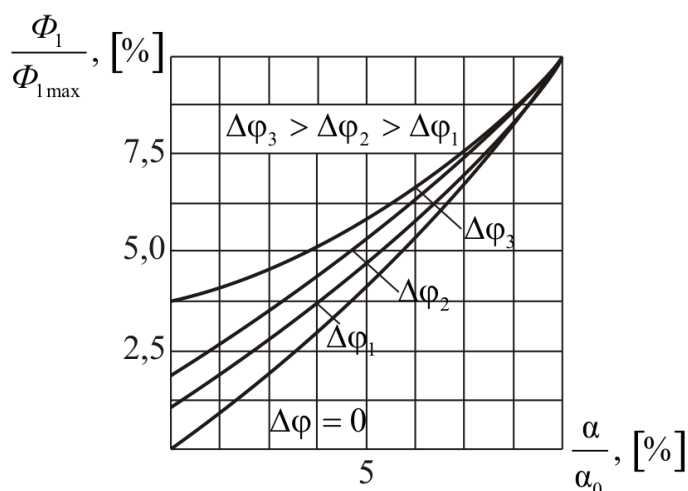
Преобладающей погрешностью такого анализатора является погрешность $\Delta\alpha_{\Delta\varphi}$ из-за расфазировки модулированных потоков в обоих каналах сравнения. Эта погрешность вызвана: **1)** отклонениями $\Delta\beta$ периодов раstra модулятора от его номинального значения $\beta = 360^\circ / m$;

2) эксцентриситетом ε оси вращения модулятора; 3) пирамидальностью светоделительной призмы; 4) неточность сборки и юстировки призмы, зеркал и модулятора.

Расфазировка $\Delta\varphi$ влияет на относительное изменение первой гармоники модулированного потока $(\Phi_1/\Phi_{1\max})$, падающего на фотоприемник. Статическая характеристика фотоприемника имеет следующий вид:

$$\frac{\hat{O}_1}{\hat{O}_{1\max}} = K_{\text{отн}} \sqrt{1 - \left(1 - \frac{\alpha^2}{\alpha_0^2}\right) \cos^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right)}, \quad (6)$$

где $K_{\text{отн}}$ - относительная чувствительность анализатора изображения; α - текущее значение угла отклонения источника излучения от оси оптической системы; α_0 - максимальное значение угла отклонения.



Из графика следует, что при увеличении расфазировки $\Delta\varphi$, уменьшается чувствительность анализатора при малых углах рассогласования α и появляется систематическое смещение статической характеристики (смещение нуля).

Для уменьшения частной погрешности $\Delta\alpha_{\Delta\varphi}$ необходимо обосновано выбирать допуски на отклонения от номинала следующих конструктивных параметров анализатора:

1. Допуск на отклонение угловых периодов растра модулятора
2. Допуск на эксцентриситет оси вращения модулятора по отношению к центру растра
3. Допуск на непараллельность разделенных призмой световых пучков, приводящую к смещению сечений этих пучков относительно их номинального положения в плоскости модулятора.

Примерами указанного явления могут также быть неравенства углов наклона зеркал к плоскости основания, перекоса установки призмы, ее пирамидальности, а также перекосы направляющих для перемещения призмы ($\Delta\gamma$). Расфазировка из-за неравенства углов наклона зеркал, пирамидальности призмы и ее перекосов при установке на плату для конкретного ОЭП является величиной постоянной и может быть учтена или уменьшена путем юстировки. Эта расфазировка определяется по формуле:

$$\Delta\varphi = \frac{2ml}{R_c} \Delta\gamma, \quad (7)$$

где m - число периодов растра; l - расстояние от зеркала до модулятора; R_c - радиус сканирования.

Суммарный допуск на расфазировку связан с заданной относительной погрешностью измерения угла α следующей зависимостью:

$$\Delta\varphi_D \leq \frac{2\left(\frac{\Delta\alpha}{\alpha_0}\right)_3}{S}, \quad (8)$$

где $\left(\frac{\Delta\alpha}{\alpha_0}\right)_3$ - заданная относительная погрешность измерения угла α ; S – коэффициент запаса ($S = 2 \div 5$).

Отсюда, допуски на отклонение угловых периодов раstra, эксцентриситет оси модулятора и перекосы направляющих можно вычислить по формуле:

$$m\sqrt{K_\beta^2\Delta\beta_D^2 + \frac{K_\varepsilon^2\varepsilon_D^2}{R_c^2} + \frac{4K_\gamma^2l^2\Delta\gamma_D^2}{R_c^2}} \leq \frac{2\left(\frac{\Delta\alpha}{\alpha_0}\right)_3}{S}, \quad (9)$$

где $K_\beta, K_\varepsilon, K_\gamma$ - коэффициенты влияния отдельных допусков.

Если принять, что влияние частных погрешностей на результат измерения угла α одинаково, т.е. $K_\beta = K_\varepsilon = K_\gamma = 1$, то выражение (9) примет следующий вид:

$$\Delta\beta_D = \frac{\varepsilon_D}{R_c} = \frac{2l\Delta\gamma_D}{R_c} \leq \frac{2\left(\frac{\alpha}{\alpha_0}\right)_3}{m\sqrt{3}S}. \quad (10)$$

После установки данных допусков можно рассчитать радиус сканирования R_c по принятому из технологических соображений допуску на эксцентриситет ε_D или наоборот: рассчитать ε_D по принятому из конструктивных соображений значению R_c . Можно также определить допуск $\Delta\gamma_D$ на наклоны направляющих при известном из габаритного расчета оптической системы значении l .

3. Задание на работу (рабочее задание)

Рассчитать частные погрешности анализатора изображения светоделительного типа.

4. Ход работы (порядок выполнения работы)

1. Определить суммарный допуск на расфазировку модулированных потоков в каналах сравнения светоделительного анализатора изображения с одним фотоприемником, если задана абсолютная погрешность измерения угла $\Delta\alpha = 0,0006$ рад, максимальный угол смещения в плоскости анализа $\alpha_0 = 0,0499$ рад, коэффициент запаса $S = 2$. (Ответ $\Delta\varphi_D = 0,012$).

2. Рассчитать допуск на неточность нанесения рисунка раstra модулятора светоделительного анализатора изображения с одним фотоприемником, если задана относительная погрешность измерения угла 1%, число периодов раstra $m = 2$. Коэффициент запаса принять $S=2$. Принять, что влияние частных погрешностей на результат измерения угла α одинаково.

$$\Delta\beta_D = \frac{2\left(\frac{\alpha}{\alpha_0}\right)_3}{m\sqrt{3}S}. \quad \Delta\beta_D = \frac{2 \cdot 0,01}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 2} = 0,002886 \text{ рад.}$$

3. Рассчитать допуск на эксцентриситет ε_d раstra модулятора светоделительного анализатора изображения с одним фотоприемником если заданы радиус сканирования $R_c = 50$ мм, относительная погрешность измерения угла 1%, число периодов раstra $m = 2$. Коэффициент запаса принять $S = 2$. Принять, что влияние частных погрешностей на результат измерения угла α одинаково.

$$\varepsilon_d = \frac{2R_c \left(\frac{\alpha}{\alpha_0} \right)_3}{m\sqrt{3}S} \cdot \varepsilon_d = \frac{2 \cdot 0,05 \cdot 0,01}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 2} = 1,44 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

5. Контрольные вопросы

1. Из каких элементов состоит анализатор изображения светоделительного типа с одним фотодиодом?
2. В каком диапазоне углов характеристика анализатора изображения светоделительного типа с одним фотодиодом линейна?
3. Перечислите основные погрешности анализатора изображения?
4. Какой основной недостаток анализатора изображения светоделительного типа с одним фотодиодом?

Список использованных источников

1. Погорельский С.Л. Прикладная оптика. Курс лекций: Учебное пособие для вузов /С.Л. Погорельский; ТулГУ – Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. – 253 с. – 20 экз.
2. Погорельский С.Л. Прикладная оптика: учебное пособие для вузов. Ч I /С.Л. Погорельский; ТулГУ; Фак. Механики и систем управления; каф. «Приборы управления». – Тула: Гриф и К, 2005. – 186 с. – 50 экз.
3. Ю.Г. Якушенков. Теория и расчет оптико-электронных приборов. Учебник для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Логос, 2004. – 472 с.
4. Парвулюсов Ю.Б. Проектирование оптико-электронных приборов: Учеб. пособие для втузов / Ю.Б. Парвулюсов, В.П. Солдатов, Ю.Г. Якушенков; Под ред. Ю.Г Якушенкова. – М.: Машиностроение, 1990. – 431 с.
5. Мосягин Г.М. Теория оптико-электронных систем: Учебник для втузов – М.: Машиностроение, 1990. – 431 с.

Практическое занятие № 5. Расчет допусков на параметры светоделительных анализаторов

1. Цель и задачи работы

Цель работы: получение практических навыков расчета допусков на параметры светоделительных анализаторов.

Задачи работы: получение практических навыков расчета допусков на параметры светоделительных анализаторов.

2. Общие положения (теоретические сведения)

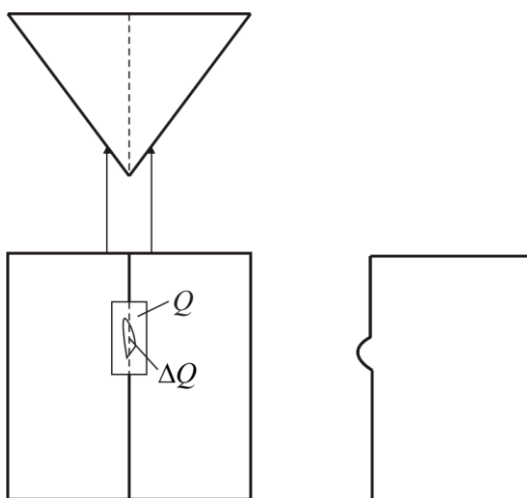
Допуск на перекося включает в себя допуск на пирамидальность светоделительной призмы $\Delta\gamma_{пр}$, допуск на неравенство углов установки зеркал относительно платы $\Delta\gamma_3$. Тогда,

$$\Delta\gamma_{p.\delta} = \sqrt{\Delta\gamma_{пер}^2 + \Delta\gamma_{пер}^2 + \Delta\gamma_3^2}.$$

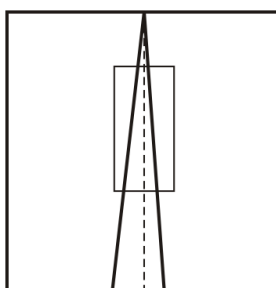
Погрешность, возникающая при некачественном изготовлении тонкого ребра светоделительной призмы, при равномерной освещенности изображения может быть определена по формуле:

$$\Delta\alpha_p = \frac{\Delta Q \alpha_0}{2KQ},$$

где ΔQ - разность площадей выколов на отражающих гранях призмы внутри контуров изображения излучателя; Q - площадь изображения излучателя в плоскости ребра призмы.



Это составляющая погрешности является *систематической* и может быть исключена из результатов измерений с помощью юстировки или введения поправки. Другая составляющая погрешности $\Delta\alpha_p$ вызвана расширением острого ребра светоделительной призмы. Эта погрешность приводит к изменению чувствительности анализатора по угловому полю, и также может быть скорректирована при настройке прибора.



С учетом того, что рассмотренные выше погрешности делятся на систематические и случайные, окончательная формула для результирующей погрешности анализатора имеет следующий вид:

$$\Delta\alpha_{ан} = \Delta\alpha_p \pm \sqrt{\Delta\alpha_{\Delta\varphi}^2 + \Delta\alpha_f^2 + \Delta\alpha_{несст}^2 + \Delta\alpha_{ш}^2}.$$

Для ослабления влияния случайных погрешностей, необходимо:

- стабилизировать частоту вращения двигателя модулятора;
- уменьшить нестабильность напряжения питания источника и приемника излучения;
- обеспечить стабильность условий измерения (уменьшить флуктуации потока излучения, поступающий на фотоприемник).
-

3. Задание на работу (рабочее задание)

Рассчитать допуски на погрешности анализатора изображения светоделительного типа.

4. Ход работы (порядок выполнения работы)

1. Рассчитать погрешность, из-за некачественного изготовления тонкого ребра светоделительной призмы.
2. Рассчитать результирующую погрешность анализатора изображения светоделительного типа.

5. Контрольные вопросы

1. Допуски на какие параметры включает в себя допуск на перекося?
2. По какой формуле определяется погрешность, возникающая при некачественном изготовлении тонкого ребра светоделительной призмы?
3. По какой формуле определяется результирующая погрешность?
4. Что необходимо сделать для ослабления влияния случайных погрешностей?

Список использованных источников

1. Погорельский С.Л. Прикладная оптика. Курс лекций: Учебное пособие для вузов /С.Л. Погорельский; ТулГУ – Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. – 253 с. – 20 экз.
2. Погорельский С.Л. Прикладная оптика: учебное пособие для вузов. Ч I /С.Л. Погорельский; ТулГУ; Фак. Механики и систем управления; каф. «Приборы управления». – Тула: Гриф и К, 2005. – 186 с. –50 экз.
3. Ю.Г. Якушенков. Теория и расчет оптико-электронных приборов. Учебник для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Логос, 2004. – 472 с.
4. Парвулюсов Ю.Б. Проектирование оптико-электронных приборов: Учеб. пособие для вузов / Ю.Б. Парвулюсов, В.П. Солдатов, Ю.Г. Якушенков; Под ред. Ю.Г Якушенкова. – М.: Машиностроение, 1990. – 431 с.

Практическое занятие № 6. Расчет погрешностей фазовых растровых анализаторов

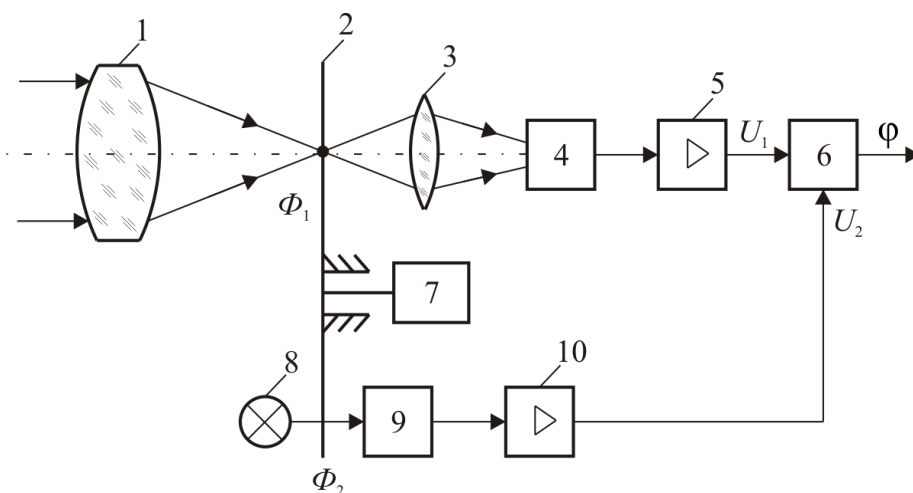
1. Цель и задачи работы

Цель работы: получение практических навыков расчета погрешностей фазовых растровых анализаторов.

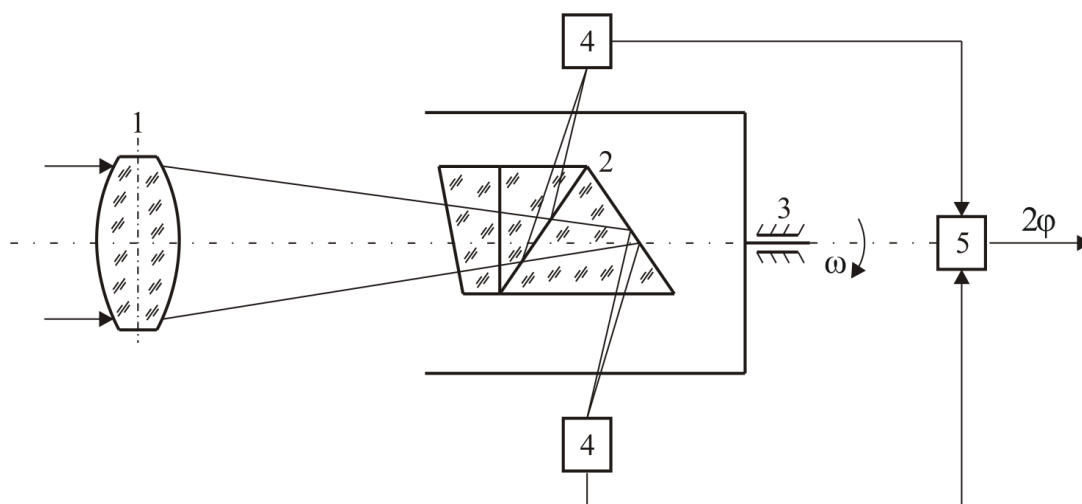
Задачи работы: получение практических навыков расчета погрешностей фазовых растровых анализаторов.

2. Общие положения (теоретические сведения)

Фазовые растровые анализаторы изображения



В качестве опорного потока Φ_2 можно выбрать часть разделенного потока Φ_1 .



Поток от излучателя фокусируется объективом **1** в плоскости раstra анализатора. При этом, он проходит через светоделительный блок **2**, где делится на две части, которые модулируются анализатором изображения **3** и облучают фотоприемники **4**.

Если источник сигнала находится на оптической оси системы, то фазы разделенных модулированных потоков одинаковы. Следовательно, фазовый детектор покажет нулевую фазу.

При изменении углового положения излучателя относительно оптической оси объектива одно из изображений излучателя смещается в направлении перемещения раstra, а другое – в противоположном направлении, т.е. фаза одного потока увеличивается на величину $\Delta\varphi$, а другого – уменьшается на ту же величину.

В результате разность фаз 2-ух модулированных потоков равняется $2\Delta\varphi$ и она пропорциональна углу α источника излучения.

1. Статическая характеристика (характеристика преобразования) дискового и барабанного фазового анализатора имеет следующий вид:

$$\varphi = \text{arctg} \frac{x}{R}$$

$$\varphi = m \arcsin \frac{x}{R},$$

где m – число полупериодов растра; x – координата смещения изображения в плоскости растра; R – радиус сканирования.

Путем разложения в ряд Тейлора с отбрасыванием членов второго порядка малости получаем формулы для относительных погрешностей анализаторов, обусловленных *нелинейностью статической характеристики*:

$$\left(\frac{\Delta\alpha}{\alpha}\right)_{\text{нел}} \approx -\frac{f'^2}{3R^2tg^2\alpha},$$

$$\left(\frac{\Delta\alpha}{\alpha}\right)_{\text{нел}} \approx -\frac{f'^2}{6R^2tg^2\alpha}.$$

Таким образом, анализатор барабанного типа при одинаковых значениях конструктивных параметров имеет в два раза меньшую относительную погрешность.

Частную погрешность дискового анализатора и барабанного анализаторов, обусловленную нелинейностью, можно не учитывать, если радиусы их сканирования выбирать из условия:

$$R \geq f' \alpha \sqrt{\frac{S\alpha}{3\Delta\alpha_3}},$$

$$R \geq \frac{f' \alpha}{2} \sqrt{\frac{S\alpha}{3\Delta\alpha_3}}.$$
(11)

Преобладающими инструментальными погрешностями для анализаторов данного типа являются:

1. $\Delta\alpha_p$ - погрешность, обусловленная неточностью нанесения рисунка растра.
2. $\Delta\alpha_\varepsilon$ - погрешность, обусловленная эксцентриситетом оси вращения анализатора относительно центра растра.
3. $\Delta\alpha_f$ - погрешность от нестабильности частоты вращения растра.
4. $\Delta\alpha_{ш}$ - погрешность, вследствие шумов приемника излучения.

$$\Delta\alpha_p = \frac{\sqrt{2a}\Delta\beta}{f' \cdot \beta_0};$$

$$\Delta\alpha_\varepsilon = \frac{\varepsilon}{f'};$$

$$\Delta\alpha_f = \frac{a\Delta f_H}{f' \cdot f};$$

$$\Delta\alpha_{ш} = \frac{3a\Phi_{\Pi}^*}{2\pi f' \Phi_0} \sqrt{A\Delta f},$$

где a – ширина прозрачного или непрозрачного штриха растра;

$\Delta\beta$ – угловая погрешность растра;

β_0 – угловой период растра;

f' – фокальное расстояние объектива;

Φ_{Π}^* – удельная пороговая чувствительность приемника излучения;

A – площадь чувствительного слоя приемника излучения;

Φ_0 – поток излучения, попадающего на приемник;

f – частота модуляции растра.

Результирующая погрешность дискового или барабанного анализатора $\Delta\alpha_{ан}$ можно вычислить по формуле:

$$\Delta\alpha_{ан} = \sqrt{\Delta\alpha_p^2 + \Delta\alpha_{ш}^2 + \Delta\alpha_f^2 + \Delta\alpha_{\varepsilon}^2}.$$

3. Задание на работу (рабочее задание)

Рассчитать погрешности фазовых растровых анализаторов.

4. Ход работы (порядок выполнения работы)

1. Рассчитать относительные погрешности анализаторов, обусловленных *нелинейностью статической характеристики*:
2. Рассчитать погрешность, обусловленная неточностью нанесения рисунка растра.
3. Рассчитать погрешность, обусловленная эксцентриситетом оси вращения анализатора относительно центра растра.
4. Рассчитать погрешность от нестабильности частоты вращения растра.
5. Рассчитать погрешность, вследствие шумов приемника излучения.
6. Рассчитать результирующую погрешность дискового или барабанного анализатора.

5. Контрольные вопросы

1. По какой формуле определяются погрешности анализаторов, обусловленные нелинейностью статической характеристики?
2. По какой формуле определяется погрешность, обусловленная неточностью нанесения рисунка растра?
3. По какой формуле определяется погрешность, обусловленная эксцентриситетом оси вращения анализатора относительно центра растра?
4. По какой формуле определяется погрешность от нестабильности частоты вращения растра?
5. По какой формуле определяется погрешность, вследствие шумов приемника излучения?
6. По какой формуле определяется результирующая погрешность дискового или барабанного анализатора?

Список использованных источников

1. Погорельский С.Л. Прикладная оптика. Курс лекций: Учебное пособие для вузов /С.Л. Погорельский; ТулГУ – Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. – 253 с. – 20 экз.
2. Погорельский С.Л. Прикладная оптика: учебное пособие для вузов. Ч I /С.Л. Погорельский; ТулГУ; Фак. Механики и систем управления; каф. «Приборы управления». – Тула: Гриф и К, 2005. – 186 с. –50 экз.
3. Ю.Г. Якушенков. Теория и расчет оптико-электронных приборов. Учебник для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Логос, 2004. – 472 с.
4. Парвлюсов Ю.Б. Проектирование оптико-электронных приборов: Учеб. пособие для вузов / Ю.Б. Парвлюсов, В.П. Солдатов, Ю.Г. Якушенков; Под ред. Ю.Г Якушенкова. – М.: Машиностроение, 1990. – 431 с.