

## ОПТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ЛАЗЕРНЫХ ИНТЕРФЕРОМЕТРОВ

Базыкин С.Н.<sup>1</sup>, Базыкина Н.А.<sup>1</sup>, Васильев В.А.<sup>1</sup>, Шошкина М.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ГОУ ВПО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия (440026, г. Пенза, ул. Красная, 40), e-mail: cbazykin@yandex.ru

В статье сравниваются по помехоустойчивости оптические схемы информационно-измерительных систем с акустооптическим преобразованием частоты на выходе и на входе интерференционной схемы. Через элементы оптоэлектронной информационно-измерительной системы вместе с полезным сигналом практически всегда проходят помехи. Приведены оптические схемы информационно-измерительной системы с акустооптическим преобразованием частоты на входе и выходе интерференционной схемы. Выведена формула для расчета отношения сигнал/шум оптического измерительного сигнала для рассмотренных схем. Показано, что оптическая схема с акустооптическим преобразованием частоты на входе интерференционной схемы наиболее предпочтительна по критерию помехоустойчивости. Исследование данных оптических схем информационно-измерительных систем ведет к необходимости уменьшения количества отражающих и преломляющих поверхностей их оптической части.

Ключевые слова: акустооптическое преобразование, информационно-измерительная система, оптические и акустические волны, оптическая схема, помехоустойчивость, сигнал-шум.

## OPTICAL SCHEME INFORMATION-MEASURING SYSTEMS ON BASE LAZER INTERFEROMETER

Bazykin S.N.<sup>1</sup>, Bazykina N.A.<sup>1</sup>, Vasilev V.A.<sup>1</sup>, Shoshkina M.N.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Penza State University, Penza, Russia (440026, Penza, Krasnaya street, 40), e-mail: cbazykin@yandex.ru).

In article are compared on noise-immunity optical schemes information-measuring systems with acoustics-optical transformation of the frequency on output interference schemes and at the input interference schemes. Through elements optometrist-electronic information-measuring system together with useful signal practically always pass the hindrances. They are brought optical schemes information-measuring system with acoustics-optical transformation of the frequency at the input and output interference schemes. It is incorporated formula for calculation relations signal/noise of the optical measuring signal for considered schemes. It is shown that optical scheme with acoustics-optical transformation of the frequency at the input interference schemes the most preferred on criterion of noise-immunity. The study of the given optical schemes information-measuring systems leads to need of the reduction amount reflecting and refracting surfaces their optical part.

Keywords: acoustics-optical transformation, information-measuring system, optical and acoustic waves, optical scheme, noise-immunity, signal-noise.

Проблема помехоустойчивости информационно-измерительных систем является одной из важнейших проблем современной теории передачи информации. Эта проблема возникает при проектировании и эксплуатации информационно-измерительных систем, имеющих ограниченный энергетический потенциал. Это, прежде всего, относится к информационно-измерительной технике, в которой в качестве носителя информации используется оптическое излучение.

Оптоэлектронные информационно-измерительные системы передачи информации эффективно работают при условии, что соотношение «сигнал/шум» на входе приемника излучения превышает некоторое пороговое значение. Уменьшение соотношения «сигнал/шум» на входе приемника излучения при работе в области порога приводит к

быстрому росту погрешности измерения и, соответственно, к резкому ухудшению качества измерения [2; 3; 6].

Работа информационно-измерительных систем при пороговых режимах мало изучена. Известно лишь, что вместе с полезным сигналом через элементы оптоэлектронной информационно-измерительной системы практически всегда проходят помехи, называемые шумами, которые могут генерироваться и в самих элементах системы. Накладываясь на полезный сигнал, эти помехи искажают его параметры, что неизбежно ведет к возникновению погрешностей измерения. В большинстве случаев эти помехи являются случайными, статистические характеристики которых зависят от характера задачи, структуры и состава элементов оптоэлектронной информационно-измерительной системы. Для уменьшения инерционности оптоэлектронной информационно-измерительной системы и снижения значения ее динамических погрешностей полоса пропускаемых частот частотной характеристики системы расширяется, что ведет к повышению уровня помех и росту искажений параметров полезного сигнала от них. Таким образом, тенденции изменения динамических погрешностей и погрешностей от шумов при уменьшении инерционности информационно-измерительных систем противоположны, и существуют такие параметры системы, определяющие ее частотную передаточную функцию, при которых сумма динамической погрешности и погрешности от шумов будет минимальной для заданных условий работы [5].

Помехоустойчивость оптоэлектронных информационно-измерительных систем зависит от многих причин: характеристик источника излучения, параметров передающей оптической системы, свойств среды распространения излучения, параметров приемной оптической системы и приемника излучения.

Соотношение сигнал/шум  $\left(\frac{C}{Ш}\right)$  на входе приемника должно быть не меньше заданного порогового значения. В противном случае это приводит к непропорционально быстрому росту погрешности и увеличению вероятности аномальных явлений при дальнейшей обработке измерительной информации [2; 4].

Неэффективное использование мощности лазерного излучения в оптических схемах ведет к уменьшению соотношения сигнал/шум. С достаточной степенью точности отношение сигнал/шум  $\left(\frac{C}{Ш}\right)$  в гетеродинных лазерных информационно-измерительных системах определяется по формуле [2]:

$$\frac{C}{Ш} = \sqrt{\frac{\eta\lambda}{hc\Delta f} \times \frac{P_u \times P_p}{(P_u + P_p)}}, \quad (1)$$

где  $h$  – постоянная Планка;  $\lambda$  – длина волны оптического излучения;  $\eta$  – квантовая эффективность фотоприемника;  $\Delta f$  – полоса пропускания избирательного усилителя;  $c$  – скорость распространения света;  $P_u, P_p$  – мощности измерительной и референтной световых волн соответственно.

Анализ формулы показывает, что соотношение сигнал/шум зависит от соотношения мощностей  $P_u, P_p$ . Существуют две основные схемы фазовых интерференционных информационно-измерительных систем перемещений: с акустооптическим преобразованием частоты на входе интерференционной схемы и с преобразованием частоты на выходе интерференционной схемы (рис. 1).

Оптическая схема информационно-измерительной системы перемещений с акустооптическим преобразованием частоты на выходе интерференционной схемы показана на рисунке 1а. Исходное лазерное излучение  $P_{ин}$ , проходя светоделительный куб СК и интерферометр Майкельсона, попадает на акустооптический модулятор (АОМ), теряя часть своей мощности. На АОМ поступают два световых пучка под углом дифракции друг к другу, причем мощности этих пучков равны  $P_1 = P_2 = 0,125P_{ин}$  [2].

При расчете соотношения интенсивностей интерферирующих световых волн в акустооптических схемах принято допущение о том, что световая волна, проходя акустооптический модулятор, распадается на дифракционные порядки без поглощения их интенсивностей в модуляторе, и мощность дифракционных порядков выше первого пренебрежительно мала [1; 4].

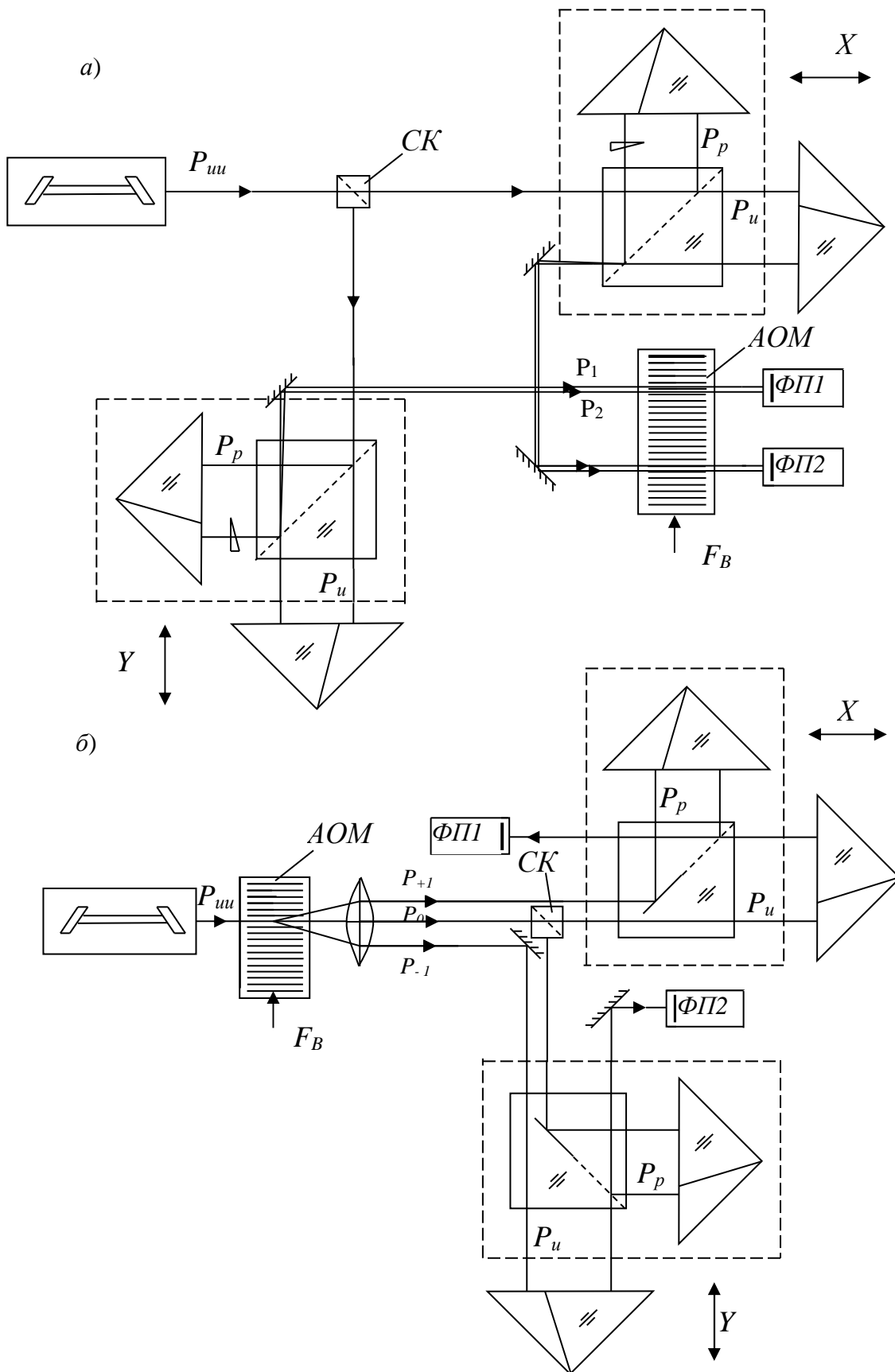


Рис. 1. Оптическая схема информационно-измерительной системы с акустооптическим преобразованием частоты: а) на выходе интерференционной схемы; б) на входе интерференционной схемы

Оптимальное значение параметра фазовой модуляции света  $a = 0,7$ , что соответствует соотношению мощностей  $P_{+1} < 0,15P_0$  в нулевом  $P_0$  и первом  $P_{+1}$  дифракционных порядках. При большем значении параметра  $a$  в акустооптическом модуляторе возникают нелинейные искажения. При дифракции Рамана-Ната возникают «+1» и «-1» дифракционные порядки, причем мощности их равны [2]:

$$P_1 = P_{+1} + P_{-1} + P_0,$$

$$P_{+1} = P_{-1} = 0,15P_0.$$

Произведя несложные математические вычисления с мощностями референтного и измерительного световых пучков, получаем

$$P_p = 0,015P_{ин},$$

$$P_u = 0,095P_{ин}.$$

Подставляя значения  $P_p$  и  $P_u$  в формулу (1), получаем

$$\left( \frac{C}{Ш} \right)_1 = \sqrt{\frac{\eta\lambda}{hc_0\Delta f} \times \frac{0,015 \times 0,095 P_{ин}}{0,015 + 0,095}}.$$

Оптическая схема информационно-измерительной системы с акустооптическим преобразованием частоты на входе интерференционной схемы показана на рисунке 1б. Исходное лазерное излучение  $P_{ин}$  подают на АОМ, где при  $a = 0,7$  получают на выходе АОМ следующие значения рассеянного излучения [2]

$$P'_0 = 0,76P_{ин},$$

$$P'_{+1} = P'_{-1} = 0,12P_{ин}.$$

Учитывая потери мощности лазерного излучения при прохождении через оптическую систему, получаем

$$P'_p = 0,06P_{ин},$$

$$P'_u = 0,19P_{ин}.$$

Соответственно, подставляя значения  $P_p$  и  $P_u$  в формулу (1), получаем для схемы на рисунке 1б

$$\left( \frac{C}{Ш} \right)_2 = \sqrt{\frac{\eta\lambda}{hc\Delta f} \cdot \frac{0,06 \times 0,19 P_{ин}}{(0,06 + 0,19)}}.$$

Из приведенных выше вычислений видно, что отношение соотношения сигнал/шум различных оптических схем интерферометров

$$\frac{(C/Ш)_2}{(C/Ш)_1} \approx 2.$$

Увеличение количества преломляющих и отражающих поверхностей в оптической системе также снижает соотношение сигнал/шум измерительного сигнала, так как на границе раздела двух сред (например, воздух – стекло) мощность измерительного сигнала уменьшается.

В вышеприведенных математических выражениях для упрощения сравнительного анализа не учитывались потери оптической мощности на границах раздела сред. Такое допущение справедливо только для сравнения возможных оптических схем построения информационно-измерительных систем. При проведении энергетического расчета оптических схем необходимо учитывать максимальные потери мощности оптического сигнала на отражение при преломлении. Их определяют по формуле:

$$\rho = \left( \frac{n-1}{n+1} \right)^2. \quad (2)$$

Коэффициент пропускания  $\tau_{np}$  из-за потерь на отражение при преломлении всей оптической системы равен

$$\tau_{np} = \prod (1 - \rho_h), \quad (3)$$

где  $h$  – число преломляющих поверхностей.

При этом если имеется  $N$  поверхностей с одинаковыми значениями  $\rho$ , то их общий коэффициент пропускания равен

$$\tau_{np} = (1 - \rho)^N. \quad (4)$$

Если при расчете использовать формулы (2–4), то относительное соотношение сигнал/шум при одинаковом источнике лазерного излучения оптических схем с акустооптическим преобразованием на входе и на выходе достигает 2,5÷3.

Из рассмотренных схем оптическая схема с акустооптическим преобразованием на входе является наиболее предпочтительной с точки зрения помехоустойчивости. Исследование данных схем ведет к необходимости уменьшения количества отражающих и преломляющих поверхностей их оптической части. Этого можно добиться введением в схему оптических волокон, выполняющих деление и объединение оптических измерительных сигналов.

### Список литературы

1. Ахманов С.А. Физическая оптика / С.А. Ахманов, С.Д. Никитин. – М. : Изд-во МГУ; Наука, 2004. – 656 с.
2. Базыкин С.Н. Информационно-измерительные системы на основе интерферометров : моногр. / под ред. д-ра техн. наук, проф. В.А. Васильева. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2014. – 132 с.

3. Базыкин С.Н. Принципы построения и состояние производства информационно-измерительных систем линейных перемещений / С.Н. Базыкин, Н.А. Базыкина, Н.П. Кривулин // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1. - URL: <http://www.science-education.ru/121-17219>.
4. Базыкин С.Н. Проблемы информационного обеспечения систем с использованием оптоэлектронных средств измерения линейных перемещений // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. - URL: <http://www.science-education.ru/120-16173>.
5. Базыкин С.Н. Лазерный интерферометр для измерения угловых перемещений / С.Н. Базыкин, Н.А. Базыкина // Датчики и системы. – 2005. - № 8. – С. 8-9.
6. Капезин С.В. Пространственные реперные точки в гетеродинных лазерных интерферометрах / С.В. Капезин, С.Н. Базыкин, Н.А. Базыкина // Датчики и системы. – 2005. - № 10. – С. 19-20.

**Рецензенты:**

Таранцева К.Р., д.т.н., профессор, проректор по научной работе Пензенского государственного технологического университета, г. Пенза;

Ломтев Е.А., д.т.н., профессор кафедры «Информационно-измерительная техника и метрология» Пензенского государственного университета, г. Пенза.