УДК 681.068:681.335.2

С. С. Сергеев, канд. техн. наук, доц., И. А. Потапов, А. П. Марков, В. Вл. Коннов

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО АНАЛИЗА И СИНТЕЗА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Анализируются вопросы моделирования световодных преобразований в информационных процессах технологического контроля.

Волоконно-оптические системы, как средство формирования, согласования, преобразования и отображения при выполнении определенных операций над оптической информацией, позволяют более эффективно решать задачи технологического контроля, что способствует дальнейшему повышению производительности труда и качества продукции при более рациональном использовании энергетических и материальных ресурсов.

В информационно-измерительных средствах, реализующих алгоритмы классификации, выделяется два уровня обработки технологической информации. На уровне первичной обработки выделяются существенные признаки, характеризующие образ. На втором уровне на основе этих признаков принимается решение о принадлежности этого образа к определенному классу (вид дефекта, неоднородности и т. д.).

С точки зрения системного подхода в волоконной оптике заложены две важнейшие функциональные возможности: светотехническая и информационная. Световод как устройство каналирования света и светопровод позволяют строить высокоэффективные средства переноса оптического излучения в заданные области и зоны и оказывать стимулирующее воздействие на объект для возбуждения первичной информации. С информационной стороны световод выступает как структурное звено оптического канала, которое выполняет определенные операции по восприятию, преобразованию, защите, обработке, передаче и отображению информации по заданному алгоритму [3].

Измерительная цепь, в разрыв которой встраивается некоторый объект, представляет собой световодный канал, как систему функционально объединенных оптических и оптико-электронных элементов с оптическим или электрическим выходом (или с двумя выходами одновременно). Энергия оптического излучения, промодулированного объектом, позволяет соответствующим элементам сформировать информационный процесс, определяющий физико-технические свойства и характеристики контролируемого объекта. При малых длинах волн оптического диапазона и возможности локализации (и каналирования) излучений в требуемой точке пространства и в заданный момент времени по информационной эффективности и коммуникабельности световодные каналы превосходят радио- и телевизионные, а также акустические, электромагнитные и другие системы.

Моделирование световодного тракта, моделирование отдельных элементов, их анализ и синтез всей информационной системы основываются на общепринятых методах формализации. В простейшем случае световод представляет систему моноволокон, сформированных в соответствии с выполняемой функцией (транслятор, преобразователь, коллектор, кодер и т.д.).

При анализе информационной системы важным параметром интегральных

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

характеристик излучательной и отражательной способностей объектов контроля является значение длины волны излучения λ_m, при котором источник информации выдает максимальную энергию в расчете на единичный диапазон длины волны.

При синтезе световодной системы преобразования и передачи оптической информации исходят из предпосылки, что каждой точке объекта с характерными пространственно-временными координатами соответствует отображаемая точка изображения также с определенными пространственными и временными координатами.

Для оптических систем отличительное значение имеют физические величины более удобные для моделирования и описания. В преобразовательных процессах информативные сигналы отображаются чаще всего в виде энергии или плотности энергии излучения. Более существенными являются следующие первичные характеристики информационного процесса:

– увеличение, определяемое по изменению масштаба координат при передаче или преобразовании вида объекта в изображение;

– передаточная характеристика, определяемая по изменению выбранной характерной величины в процессе передачи или преобразования вида объекта в изображение;

– функция размытия, определяемая по степени вклада влияния сигнала от некоторой точки объекта на сигнал в других точках изображения, соответствующих другим точкам объекта;

– шум, определяемый по величине случайных флуктуаций, налагаемых на сигнал.

С точки зрения теории информации любую световодную систему передачи и преобразования сигнала от реального объекта в формализованное изображение можно представить как оптический канал связи. В случае идеальной световодной системы ее информационная способность бесконечно велика как за счет бесконечного числа независимых элементов, которые можно выделить в любом ограниченном по пространству изображении, так и за счет того, что каждый элемент сигнала может принимать бесконечное число различных значений физической величины, выбранной для характеристики сигнала. В реальной световодной системе функция размытия ограничивает число независимых элементов, которые можно выделить в пространственно ограниченном отображении, а шум ограничивает число уровней значений, которые можно надежно различить в оптическом сигнале. В таком случае в информационном процессе, характеристики которого определяются длиной волны, длина волны выступает в качестве дополнительной переменной [4, 5].

Существенно, что характеристики световодной системы при этом надо измерять для многих, в общем случае, бесконечно многих, длин волн излучения. Для упрощения учета такой зависимости введем коэффициент спектрального согласования и полихроматическую передаточную функцию $T(\nu)$, где ν – пространственная частота.

Рассмотрим световодный тракт передачи оптической информации со спектральной излучательной способностью $C(\lambda)$, спектральным коэффициентом пропускания $t(\lambda)$, коэффициентом усиления g и спектральной чувствительностью фотоприемника $S(\lambda)$. Величину $S(\lambda)$ можно представить в виде:

$$S(\lambda) = S_0 \cdot S(\lambda), \qquad (1)$$

где $S_0 = S(\lambda_0)$ выражает абсолютное значение спектральной чувствительности фотоприемника на некоторой выделенной опорной длине волны λ_0, а $S(\lambda)$ определяется как относительная спектральная чувствительность фотоприемника.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

Отношение величины выходного сигнала i световодного тракта к величине входного сигнала i_0 тогда можно выразить как

$$\frac{i}{i_0} = g\frac{\int_0^\infty C(\lambda)\cdot t(\lambda)\cdot S(\lambda)d\lambda}{\int_0^\infty C(\lambda)d\lambda} = gS\chi\ . \qquad (2)$$

С учетом спектральных характеристик, составляющих элементов канала, коэффициент спектрального согласования описывается выражением

$$\chi = \frac{\int_0^\infty C(\lambda)\cdot t(\lambda)\cdot S(\lambda)d\lambda}{\int_0^\infty C(\lambda)d\lambda}\ . \qquad (3)$$

При полихроматичности используемого излучения световодная система передает и преобразует оптическую информацию по каждой длине волны, независимо от других длин волн. Рассмотрим методику учета спектрального состава излучения при анализе разрешающей способности преобразовательной системы. В этом случае, как и для электрооптических систем типа электронно-оптических преобразователей изображения, телевизионных устройств, видеосистем и компьютерных дисплейных устройств, наиболее эффективно применение в качестве передаточной функции функции передачи модуляции (ФПМ). Она определяется откликом T изобразительной системы на пространственно модулированный сигнал синусоидальной формы.

При переходе от одной длины волны излучения к другой общая функция передачи модуляции $T_p(v)$ будет менять свой вид. Ее можно найти используя выделенные ранее спектральные характеристики световодной системы:

$$T_p(\nu) = \frac{\int_0^\infty C(\lambda)\cdot t(\lambda)\cdot T(\nu,\lambda)\cdot S(\lambda)d\lambda}{\int_0^\infty C(\lambda)\cdot t(\lambda)d\lambda}\ . \qquad (4)$$

По этой формуле общая полихроматическая ФПМ может быть рассчитана, если только имеется полный набор ранее рассчитанных или измеренных $T(v, \lambda)$ для каждой комбинации значений пространственных частот и используемых длин волн [5].

Анализ особенностей передачи информации в оптическом тракте и расчет параметров световодной системы проводятся с учетом наличия активных полихроматических элементов. Активные элементы могут преобразовывать световой полихроматический сигнал в электрический и наоборот. При этом они могут преобразовывать свет одного спектрального состава в свет с другим спектральным составом. Тогда энергия входного сигнала при одной длине волны влияет на энергию выходного сигнала уже при другой длине волны.

Если световодная система содержит несколько оптически-активных полихроматических элементов, то при расчете удобно выделить некоторые подсистемы, в которых сосредоточены источник световой энергии и фотоприемник. Тогда для каждой из подсистем рассчитываются коэффициент спектрального

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

согласования и полихроматическая передаточная функция.

По представленной выше методике рассчитана полихроматическая передаточная функция. Расчеты проведены для выбранной ранее комбинации «источник излучения – преобразователь – приемник излучения». При этом полихроматическая передаточная функция рассчитана в виде зависимости коэффициента передачи модуляции всего световодного тракта от пространственной частоты передаваемой оптической информации.

Из представленных графиков (рис. 1) видно, что спектральные характеристики отдельных элементов световодной системы существенно меняют полихроматическую передаточную функцию всего световодного канала. Влияние особенностей спектрального хода излучательной способности источника излучения и чувствительности фотоприемника не такое однозначное, как при расчете коэффициента спектрального согласования.

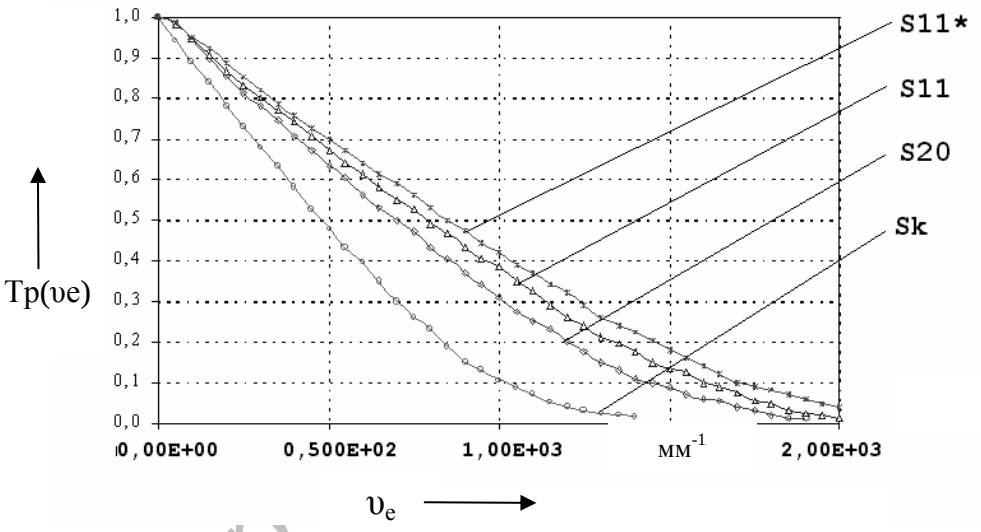

Рис. 1. Полихроматическая передаточная функция оптической системы для различных структур

Эта особенность является следствием того, что коэффициент передачи модуляции при некоторой длине волны для выбранных источника и фотоприемника уменьшается с возрастанием длины волны излучения при всех пространственных частотах передаваемой оптической информации. В отличие от представленных кривых Sk, S20 и S11, полученных при температуре накала 3000 К, кривая S11* получена при температуре 5000 К. Из-за влияния особенностей источника и приемника при увеличении длины волны коэффициент передачи модуляции той или иной пространственной частоты передаваемой информации может как уменьшаться, так и увеличиваться. Фотоприемники со спектральной чувствительностью S1 относятся к элементам с максимумом чувствительности при 800 нм, для цезий-висмутовых фотокатодов S11 максимальная чувствительность фотоприемников при 440 нм, для мультищелочных фотокатодов фотоприемники S20 – при 420 нм. Полихроматическая передаточная функция $T_p(\nu)$ с фотоприемниками типа кремниевого фотодиода (см. рис. 1, Sk) имеет максимальную чувствительность при 940 нм.

Полихроматическая передаточная функция всей системы, представленной рядом подсистем, рассчитывается так же, как и для однозвенного тракта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Вейнберг, В. Б.** Оптика световодов / В. Б. Вейнберг, Д. К. Сатаров. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л. : Машиностроение, 1977. – 320 с.

2. Волоконная оптика и приборостроение / М. М. Бутусов [и др.] ; под ред. М. М. Бутусова. – Л. : Машиностроение, 1987. – 328 с.

3. **Плетнев, С. В**. Волоконно-оптические методы и средства дефектоскопии : науч.-метод. справ. пособие / С. В. Плетнев, А. И. Потапов, А. И. Марков. – СПб. : ЛИТА, 2001. – 312 с.

4. **Иванов, А. П.** Оптика рассеивающих сред / А. П. Иванов. – Л. : Наука и техника, 1969. – 592 с.

5. **Предко, К. Г.** Нахождение пространственных частотных характеристик оптических систем, воспроизводящих изображение. Доклады АН БССР / К. Г. Предко. – 1969. – Т. 13, № 10. – С. 900.

Белорусско-Российский университет
НПЦ «Молния», г. Москва
Материал поступил 12.03.2006

S. Sergeev, A. Markov, I. Potapov, V. Konnov
Some peculiarities of information analysis and synthesis of fiber optical systems of technological testing
Belarusian-Russian University
SPC «Lightning», Moscow

Questions of modeling of fiber optical transformations in information processes of technological testing are analyzed.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета