

К. т. н. В. В. ДАНИЛОВ

Украина, г. Донецк, НИИ комплексной автоматизации
E-mail: danilov@dongu.donetsk.ua

Дата поступления в редакцию
31.07 2001 г.

Оппоненты
к. ф.-м. н. С. П. СЕРГИЕНКО (ДонНУ, г. Донецк),
к. ф.-м. н. В. П. САВЧУК (ОНПУ, г. Одесса)

АКУСТООПТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО СПЕКТРАЛЬНОГО РАЗУПЛОТНЕНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ

Представлено устройство спектрального разуплотнения данных каналов межблочной связи оптических вычислительных средств на основе коллинеарной акустооптической ячейки.

Спектральное уплотнение (частотное уплотнение в оптическом диапазоне) позволяет использовать всю оптическую полосу пропускания световода. Основываясь на опыте таких работ, можно утверждать, что существуют ситуации, когда спектральное уплотнение оказывается предпочтительнее по сравнению с другими видами (например, в сетях межблочной связи оптических вычислительных средств при реализации тракта на световодах с допустимой скоростью передачи 10 Гбит/с на одной оптической несущей).

Хорошо известно, что современная электронная коммутационная техника еще как-то "справляется" с импульсами не короче 1 нс, а имеющиеся электронные терминалы работают на скорости передачи не более 1 Гбит/с. При скорости 10 Гбит/с требуется дорогостоящая разработка электронных средств уплотнения и разуплотнения, причем проблемы возникнут на стадии подбора соответствующей полупроводниковой элементной базы. Несмотря на широкое распространение волоконных световодов (ВСв) со ступенчатым профилем показателя преломления, параметр широкополосности у них мал. Поэтому при использовании одной оптической несущей никакой из известных радиоэлектронных принципов уплотнения не поможет передать по такому световоду большой поток информации.

Критерий спектрального разрешения

В оптической спектроскопии линии считаются разрешенными, если удовлетворяется критерий Рэлея [1, с. 102]. В элементах оптической связи оптических вычислительных средств (ОВС) этого недостаточно. Во-первых, при разделении линий (см. рис. 1) необходимо как можно полнее собрать энергию от каждой из них (заштриховано), поскольку для высокопрозрачных современных ВСв каждый децибел потерянной мощности эквивалентен уменьшению длины линии связи. Во-вторых, доля энергии от соседней линии (область двойной штриховки) должна быть очень малой, что определяет низкий уровень перекрестных помех между каналами. В-третьих, желате-

лен минимальный частотный интервал между оптическими несущими для более полного использования полосы пропускания ВСв. В-четвертых, оптические элементы межблочной связи ОВС должны иметь малые массу, габариты и энергозатраты.

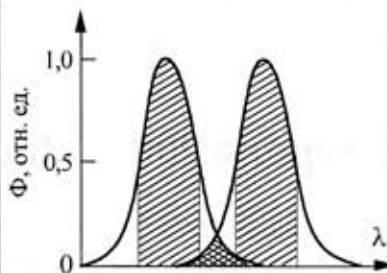


Рис. 1. Спектральное распределение мощности двух оптических несущих

В оптической спектроскопии для разделения линий предназначены монохроматоры, как правило, имеющие большие габариты, что обусловлено стремлением к высокому спектральному разрешению. Поскольку в оптической связи частотные интервалы между несущими составляют не менее 10 нм [2], малогабаритные делители каналов могут быть выполнены по аналогии с применяемыми в спектроскопии. Ближе всего делители каналов стоят к полихроматорам — спектральным приборам для одновременной селекции и регистрации многих линий. Уровень выходного сигнала фотоприемников пропорционален принимаемой мощности оптического сигнала. Поэтому при заданном максимальном уровне перекрестных помех по мощности порядка 40 дБ достаточно снизить перекрестные помехи оптического сигнала в делителе каналов до 20 дБ. И хотя нормативно-технической документации, регламентирующей эти соображения, нет, они хорошо согласуются с мнением отечественных и зарубежных специалистов [3, с. 161; 4, с. 104].

Математическая модель коллинеарной акустооптической ячейки

Основываясь на физике акустооптического взаимодействия (АОВ) в анизотропных средах [5; 6, с. 43], можно утверждать, что световые волны разной поляризации имеют разные фазовые скорости. Поэтому когда при дифракции происходит поворот плоскости поляризации световой волны, характер дифракции существенно меняется. При анизотропной дифракции

Брэгга угол падения света (Θ_i) определяется из выражения [5]

$$\sin \Theta_i = \frac{\lambda_0}{2n_i \Lambda} \left[1 + \left(\frac{\Lambda}{\lambda_0} \right)^2 (n_i^2 - n_d^2) \right] = \frac{\lambda_0 \Omega}{2n_i V} \left[1 + \frac{V^2}{\Omega^2 \lambda_0^2} (n_i^2 - n_d^2) \right]. \quad (1)$$

где λ_0 и Λ — длина волны света в вакууме, акустической волны;

n_i и n_d — показатели преломления входного и дифрагировавшего световых пучков;

V и Ω — скорость и частота акустической волны.

Угол отклоненного светового пучка (Θ_d) в этом случае не равен углу Брэгга и определяется из соотношения [5]

$$\sin \Theta_d = \frac{\lambda_0}{2n_d \Lambda} \left[1 - \left(\frac{\Lambda}{\lambda_0} \right)^2 (n_i^2 - n_d^2) \right] = \frac{\lambda_0 \Omega}{2n_d V} \left[1 - \frac{V^2}{\Omega^2 \lambda_0^2} (n_i^2 - n_d^2) \right]. \quad (2)$$

Зависимость углов Θ_d и Θ_i от частоты акустической волны Ω для случая $n_i > n_d$ представлена на рис. 2, из которого видно, что при анизотропной дифракции существует минимальная частота акустической волны — Ω_x , ниже которой дифракция с поворотом плоскости поляризации становится невозможной.

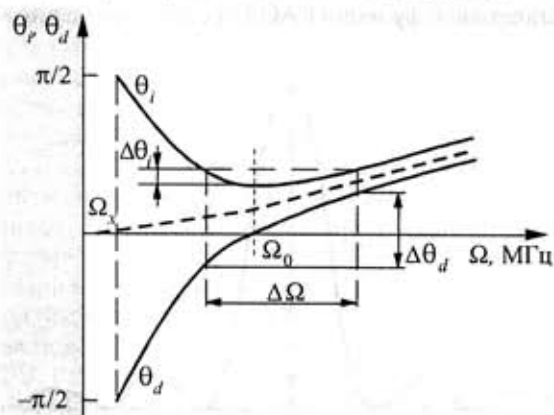


Рис. 2. Углочастотные характеристики дифракции при анизотропном акустооптическом взаимодействии

Формально Ω_x определяется как

$$\Omega_x = \frac{V}{\lambda_0} (|n_i - n_d|) \approx \frac{V}{\lambda_0} |\Delta n|. \quad (3)$$

Согласно графическому виду зависимости рис. 2, при изменении акустической частоты вблизи Ω_0 угол Брэгга меняется незначительно, в то время как угол дифракции Θ_d изменяется в широких пределах. Важной особенностью анизотропной дифракции является возможность коллинеарного акустооптического взаимодействия (КАОВ), при котором волновые векторы падающего и дифрагировавшего световых пучков параллельны и направлены в одну сторону. Такое АОВ возможно в анизотропных средах, если частота акустической волны определяется выражением (3). Формальное описание процесса КАОВ рассмотрим на примере акустооптической ячейки с коллинеарным акустооптическим взаимодействием (КАОЯ), структурные элементы которой показаны на рис. 3, где 1 — поляризатор (призма Глана); 2 — световзв-

копровод; 3 — пьезопреобразователь продольной акустической волны.

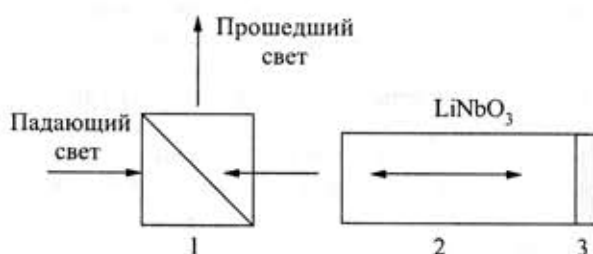


Рис. 3. Структура КАОЯ на стоячей акустической волне

Уравнение движения для компонент электрического поля \vec{E} оптических волн в среде взаимодействия запишем в форме [1, с. 8]

$$\nabla^2 \vec{E} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} (n^2 \vec{E}), \quad (4)$$

где c — скорость света в вакууме;

n — показатель преломления среды взаимодействия.

Из уравнения (4) для коллинеарной АОЯ следует система уравнений связанных волн:

$$\begin{cases} \frac{dE_x}{dy} = j \frac{n_i n_d^2 p_{\text{эф}}^2 \omega}{4c} S E_z \exp(j\Delta k y); \\ \frac{dE_z}{dy} = j \frac{n_i n_d^2 p_{\text{эф}}^2 \omega}{4c} S^* E_x \exp(-j\Delta k y), \end{cases}$$

где $p_{\text{эф}}$ — эффективная фотоупругая константа;

ω — частота света;

S — упругая деформация;

$\Delta k = k_i - k_d - K$;

Δk — рассогласование волновых чисел;

k_i, k_d, K — волновое число падающей, дифрагировавшей и акустической волны, соответственно;

S^* — величина, комплексно сопряженная деформации S .

Решение системы с учетом граничных условий ($E_x=0, E_z(0)=E_z^0$) позволяет найти акустооптическую эффективность дифракции в виде

$$\frac{I_d}{I_i} = \Gamma^2 L^2 \frac{\sin^2(L^2 \Gamma^2 + \Delta k^2 L^2 / 4)^{1/2}}{L^2 \Gamma^2 + \Delta k^2 L^2 / 4}, \quad (5)$$

$$\Gamma^2 = \frac{(n_i n_d p_{\text{эф}})^2 \pi^2}{4 \lambda_0^2} |S|^2 = \frac{n_i^3 n_d^3 p_{\text{эф}}^2 \pi^2}{2 \rho V^3 \lambda_0^2} \left(\frac{P_a}{A} \right), \quad (6)$$

где ρ — плотность;

P_a/A — плотность мощности акустической волны в среде АОВ.

Из выражения (5) следует, что при фазовом синхронизме волновых векторов, т. е. при $\Delta k=0, I_d/I_i = \sin^2 \Gamma L$, т. е. для получения 100%-ной эффективности дифракции необходимо выполнение условия

$$\Gamma L = \pi/2, \quad (7)$$

откуда плотность мощности акустической волны равна

$$P_a/A = \lambda_0^2 / (2L^2 M_{\text{эф}}), \quad (8)$$

где $M_{\text{эф}} = n_i^3 n_d^3 p_{\text{эф}}^2 / (\rho V^3)$ — акустооптическая добротность среды АОВ коллинеарной акустооптической ячейки.

Полученное выражение не учитывает изменения плотности мощности при распространении акустической волны по светозвукопроводу, связанного с ее расходимостью, вязким поглощением и другими причинами.

Важной характеристикой процесса КАОВ является полоса пропускания, которая по уровню 0,5 (без учета дисперсии показателя преломления среды акустооптического взаимодействия) определяется как [6, с. 53]

$$\Delta\lambda = 5\lambda_0^2 / (2\pi\Delta nL), \quad (9)$$

где $\Delta n = n_i - n_d$.

Несложный расчет показывает, что с учетом дисперсии уравнение (9) можно переписать в виде

$$\Delta\lambda = \frac{5\lambda_0^2}{2\pi L \left(\Delta n + \lambda_0 \frac{\partial \Delta n}{\partial \lambda_0} \right)}. \quad (10)$$

Дисперсия показателя преломления в зависимости от типа среды АОВ может характеризовать как увеличение, так и уменьшение полосы пропускания. Затухание и расходимость акустической волны увеличивает полосу пропускания КАОВ.

Одной из основных характеристик КАОВ является диапазон перестройки оптических волн, соответствующих диапазону частот акустических волн. Как показали экспериментальные исследования КАОЯ, граница диапазона определяется двумя факторами [7]: областью оптической прозрачности среды АОВ; широкополосностью цепи возбуждения акустической волны.

Частота акустической волны может быть найдена из условия синхронизма при коллинеарном АОВ в виде

$$\Omega_k = (V/\lambda_k)(n_i - n_d). \quad (11)$$

Таким образом, задавшись крайними значениями длины волны света видимого диапазона для конкретной среды АОВ, находим граничные частоты диапазона акустических частот.

Другой важной характеристикой КАОЯ является величина ослабления оптического излучения вдали от центра полосы пропускания. Из (5) следует зависимость акустооптической эффективности от расстройки Δk , которая подчиняется функции вида $(\sin x/x)^2$, характеризующейся наличием боковых максимумов убывающей амплитуды. Очевидно, что при значительных расстройках акустооптическая эффективность в боковом максимуме имеет вид

$$(I/I_d)_N = 2/[\pi^2(2N+1)^2], \quad (12)$$

где N — относительная расстройка, нормированная к полосе пропускания КАОЯ по уровню 0,5.

Отсюда следует, что требуемое ослабление принципиально возможно за пределами полосы, определяемой (12). Экспериментальные исследования показали, что реальное ослабление зависит от качества используемого поляризатора.

Следующей важной характеристикой КАОЯ является ее угловая апертура. Как показано в работе [8], полная входная апертура коллинеарной акустоопти-

ческой ячейки с погрешностью, приемлемой в оценочных расчетах, и с учетом преломления света на входной грани среды акустооптического взаимодействия имеет вид

$$\Psi = 2n_i(\lambda_0/L\Delta n)^{1/2}. \quad (13)$$

Далее определимся в терминах.

Основываясь на работе [9], по-видимому, целесообразно признать, что акустооптическая ячейка, использующая эффект акустооптического взаимодействия селекции оптических сигналов, является основным структурным элементом акустооптического устройства, реализующего селекции оптических сигналов. Оптическое модуляционное устройство на основе фотоупругого эффекта, предназначенное для селекции входных оптических сигналов по частоте, реализующее преобразование энергии и частоты управляющего радиосигнала, поступающего на его радиовход, в энергию и частоту оптического сигнала на выходе, предлагается назвать *акустооптическим фильтром* (АОФ).

Акустооптический разуплотнитель данных

Число информационных каналов и быстродействие оптической линии связи. Идеализированный вид аппаратной функции КАОЯ представлен на рис. 4.

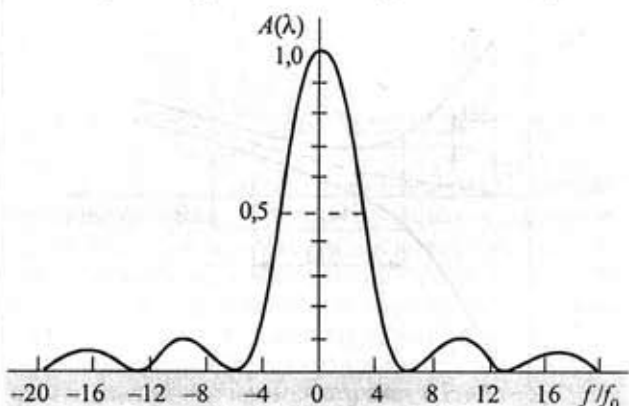


Рис. 4. Идеализированная аппаратная функция КАОЯ [10]

Быстродействие волоконно-оптической линии связи ограничено дисперсионными свойствами передающей среды (волокна), приводящих к "размытию" формы передаваемого импульса излучения. В одномодовых ВСв это обусловлено зависимостью групповой скорости от длины волны. В многомодовых ВСв это приводит к межмодовой дисперсии, которая возрастает пропорционально спектральной ширине оптического сигнала источника [4, с. 28]. В первом приближении уширение импульса обусловлено материальной дисперсией ВСв, пропорциональной $\frac{\lambda}{c} \frac{\partial^2 n}{\partial \lambda^2}$.

Увеличению быстродействия препятствует и волноводная дисперсия. В одномодовом ВСв материальная дисперсия является определяющим фактором, превосходящим дисперсию, определяемую размерными эффектами световода. Коэффициент широкополосности (произведение длины линии на ширину полосы) определяет предельное быстродействие данной линии передачи. Этот параметр введен для слу-

чая передачи на одной оптической несущей и характеризует предельную широкополосность сигнала, модулирующего оптическую несущую, который может быть передан этой линией на расстояние 1 км без искажений. Очевидно, что этот же параметр, связанный с частотой модуляции, устанавливает связь и предельную скорость передачи информации. Так как частота модуляции не может превышать частоты несущей, то этот параметр и определяет наибольшее быстродействие.

Таким образом, скорость передачи данных $1/T$, где T — временная полуширина передаваемого импульса, для оптических систем связи ограничена рядом факторов: быстродействием источника оптического сигнала или частотой модуляции, дисперсией среды распространения, быстродействием переключателя каналов, быстродействием фотоприемников.

Расчеты показывают, что если спектральная полоса пропускания километрового отрезка ВСв составляет 0,5...1,8 мкм, что соответствует предельному быстродействию $2,5 \cdot 10^5$ Гбит/с, то дисперсия среды ограничивает эту величину до 250 Гбит/с. Предельная частота следования импульсов лазерных источников составляет 10^3 ГГц. Достигнутая скорость переключения каналов механическими устройствами составляет 2,5 кГц, акустооптических ячеек в режиме временного разуплотнения — до 1,5 ГГц, электрооптических переключателей — до 300 МГц. Быстродействие серийных фотоэлектронных умножителей составляет ~200 ГГц. Приведенные оценки быстродействия элементов систем оптической связи показывают, что самыми инерционными являются переключатели.

При использовании КАОЯ в качестве переключателя быстродействие его будет определяться временем пробега фронта акустической волны по среде АОВ. Если длина среды акустооптического взаимодействия составляет ~20 см при скорости акустической волны 5750 м/с, время заполнения среды АОВ акустической волной составит $\tau=L/V=35$ мс. Таким образом, предельная скорость посылки импульса акустической волны с другой частотой заполнения не превышает $\tau^{-1}=28,6$ кГц. Отсюда следует, что предельная скорость произвольного переключения информации из канала в канал с помощью КАОЯ при использовании светозвукопровода со скоростью акустической волны 5750 м/с не превышает 29 Кбит/с.

Метод расчета числа коммутируемых КАОЯ каналов связи [7]. Спектральное уплотнение каналов в элементах связи ОВС ставит задачу их последующего разуплотнения на стороне потребителя информации. Для оценки числа каналов, разуплотняемых акустооптическим фильтром, рассмотрим следующую модель.

Пусть в интервале рабочих длин волн от λ_{\min} до λ_{\max} равномерно размещены K каналов и спектральная ширина каждого составляет $\Delta\lambda$. Для упрощения предположим, что спектральная плотность интенсивности каналов постоянна и равна P . Для характеристики используемого АОФ примем следующие обозначения: $A(\lambda)$ — аппаратная функция фильтра;

$\delta\lambda$ — ширина полосы пропускания по уровню 0,5; m — оптический контраст фильтра в предположении 100%-ной акустооптической эффективности пропускания. Кроме того, зададим допустимое значение перекрестных искажений, т. е. введем максимальное отношение энергии, поступающей потребителю от всех боковых лепестков, к энергии, регистрируемой при приеме данного канала, — β_{\max} .

Рассмотрим случай, когда $\Delta\lambda \geq \delta\lambda$. Это условие обычно реализуется на практике, когда в качестве источника когерентного излучения используется полупроводниковый инжекционный лазер, ширина полосы излучения которого составляет несколько нанометров, тогда как ширина полосы пропускания АОФ составляет несколько ангстрем [6, с. 46].

При настройке КАОЯ на один из каналов интенсивность излучения, пропущенного фильтром, составляет

$$I = P\delta\lambda(I_d/I_i), \quad (14)$$

Интенсивность излучения одного из боковых каналов, отстоящего от измеряемого канала, при прохождении через КАОЯ определяется контрастом последней и равна [11]

$$I' = P\Delta\lambda m. \quad (15)$$

Вблизи измеряемого канала интенсивность излучения боковых каналов, прошедших через фильтр, определяется аппаратной функцией $A(\lambda)$. Наибольший вклад боковые каналы вносят при совмещении их с боковыми максимумами аппаратной функции. Для оценки этого вклада необходимо учесть спад максимумов функции $A(\lambda)$, вплоть до значения m , после которого расчет ведется согласно (15). Из вида $A(\lambda)$ следует, что по мере удаления от центра полосы пропускания КАОЯ боковые максимумы аппаратной функции спадают как $1/(1,7N^2)$, где N — расстояние от центра полосы, нормированное к величине $\delta\lambda$. Отсюда следует, что вклад боковых каналов, определяемых функцией $A(\lambda)$, необходимо учитывать в пределах спектрального интервала, отстоящего от центра пропускания на $\pm N_{\max} \delta\lambda$, где N_{\max} определяется из соотношения $(I_d/I_i)/(7,5N_{\max}^2) = m$, так что вышеупомянутый

интервал составляет $\frac{2\delta\lambda\sqrt{I_d/I_i}}{\sqrt{7,5m}}$. Поскольку расстояние между каналами составляет $(\lambda_{\max} - \lambda_{\min})/K$, то число каналов внутри рассматриваемого интервала равно

$$\frac{2\delta\lambda\sqrt{I_d/I_i}K}{\sqrt{7,5m}(\lambda_{\max} - \lambda_{\min})} = 2M. \quad \text{Очевидно, что вклад каж-$$

дого из этих каналов в величину перекрестных искажений не превышает величины

$$I'' = P\Delta\lambda \frac{K^2(\delta\lambda)^2(I_d/I_i)}{7,5i^2(\lambda_{\max} - \lambda_{\min})^2}, \quad (16)$$

где i — порядковый номер бокового канала при начале отсчета после измеряемого канала.

Суммируя интенсивность излучения, соответствующую всем боковым каналам, получим полную величину интенсивности перекрестных помех:

$$I_n = 2 \sum_{i=1}^{i=M} I'' + (K - 2M - 1) I' = 2 \sum_{i=1}^{i=M} P \Delta \lambda \frac{K^2 (\delta \lambda)^2 (I_d / I_i)}{7,5 i^2 (\lambda_{\max} - \lambda_{\min})^2} + (K - 2M - 1) P \Delta \lambda m. \quad (17)$$

Учитывая допустимое значение перекрестных искажений

$$(I_n / I) \leq \beta_{\max}, \quad (18)$$

выражение (18) перепишем в виде

$$2 \sum_{i=1}^{i=M} \frac{K^2 \delta \lambda \Delta \lambda}{7,5 i^2 (\lambda_{\max} - \lambda_{\min})^2} + (K - 2M - 1) \frac{\Delta \lambda m}{\delta \lambda (I_d / I_i)} \leq \beta_{\max}. \quad (19)$$

Сделав допущение вида $M \ll K$ и $\sum_{i=1}^{i=M} i^2 = 1,5$, из уравнения (19) получим:

$$\frac{\delta \lambda (I_d / I_i)}{2,5 (\lambda_{\max} - \lambda_{\min})^2} K^2 + \frac{m}{\lambda} K - \frac{(I_d / I_i) \beta_{\max}}{\Delta \lambda} = 0. \quad (20)$$

Решение (20) дает допустимое значение числа каналов, разуплотняемых АОФ, при условии принятых ограничений. Например, при $\beta_{\max} = 4 \cdot 10^{-2}$ (14 дБ); $\lambda_{\max} - \lambda_{\min} = 4000 \text{ \AA}$; $\Delta \lambda = 20 \text{ \AA}$; $\delta \lambda = 2 \text{ \AA}$; $m = 1,5 \cdot 10^{-5}$; $(I_d / I_i) = 0,6$ следует, что число каналов, разуплотняемых АОФ, равно $K = 110$.

Экспериментальное исследование КАОЯ

Структура установки, моделирующей линию связи ОВС, показана на рис. 5. Здесь 1 — лазер ЛГ-70; 2 — металлические зеркала; 3 — лазер ЛГ-44; 4 — механический модулятор-обтюратор; 5 — устройства управления АОФ; 6 — диэлектрическое полупрозрачное зеркало; 7 — поляризаторы пленочные; 8 — коллинеарные АОЯ; 9 — фотодиоды ФД-9Э111; 10 — собирающие линзы; 11 — поляриоид типа призмы Глана; 12 — осциллограф С1-68; 13 — осциллограф С1-72.

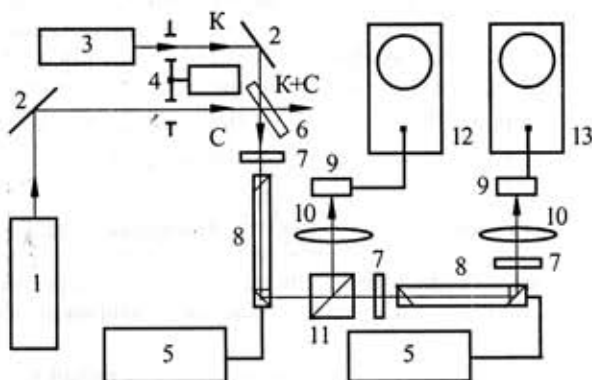


Рис. 5. Блок-схема макета оптической линии связи

Тракт источника оптических сигналов сформирован с помощью двух лазеров с длиной волны 0,63 и 0,44 мкм, пучки которых объединены с помощью зеркал. Механический обтюратор предназначен для прерывания красного луча с частотой 1 кГц, синего — с частотой 0,5 кГц. С помощью акустооптических фильтров произвольно выделялся любой из каналов. Для оценки уровня перекрестных помех измерялся контраст обоих АОФ, он составлял $4,5 \cdot 10^{-4}$ и $3 \cdot 10^{-4}$. При этом получены следующие значения макси-

мального и минимального сигналов, измеренные в первой КАОЯ для красного и синего лучей, соответственно, при установке поляризаторов параллельно и перпендикулярно друг другу: 37,8 мВ и 17 мкВ, 50 мВ и 15 мкВ. Выделение первым АОФ красного либо синего лучей осуществлялось подачей на него управляющего радиосигнала частотой 82 либо 122 МГц. Значения зарегистрированных сигналов на частотах модуляции 0,5 и 1 кГц составили соответственно 3 и 2 мВ, что соответствует акустооптической эффективности 8 и 4%. Уровни перекрестных помех составляли $5 \cdot 10^{-3}$ и $8,5 \cdot 10^{-3}$ для красного и синего лучей, или 23 и 21 дБ, соответственно. Очевидно, что увеличение акустооптической эффективности позволит еще в большей степени подавить перекрестные помехи.

Определение аппаратной функции КАОЯ

Предел спектрального уплотнения каналов определяется максимальным уровнем перекрестных помех. Применение КАОЯ в качестве разуплотнителя накладывает специфические требования на спектральное уплотнение, поскольку перекрестные помехи оказываются связанными, во-первых, контрастом КАОЯ (оптический контраст характеризует отношение сигналов на выходе АОФ с полезной и паразитной поляризацией), во-вторых, наличием боковых лепестков аппаратной функции КАОЯ.

Анализ работы спектрального разуплотнителя на основе КАОЯ показал, что количество разуплотняемых каналов определяется, с одной стороны, диапазоном рабочих длин волн ($\lambda_{\max} - \lambda_{\min}$), спектральной шириной разуплотняемых каналов $\Delta \lambda$ и допустимым уровнем перекрестных помех β_{\max} , а с другой стороны, такими параметрами как акустооптическая эффективность I_d / I_p , оптический контраст m , ширина полосы пропускания $\delta \lambda$.

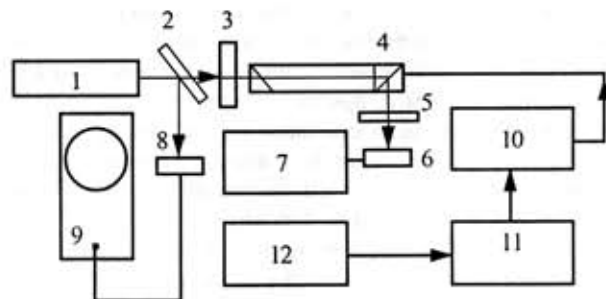


Рис. 6. Структура установки для метрологического контроля аппаратной функции АОФ

Оценка соответствия реальной аппаратной функции АОФ ее теоретическому представлению (рис. 4) производилась на установке, структура которой показана на рис. 6. (Здесь 1 — газовый лазер; 2 — полупрозрачное зеркало; 3, 5 — поляризатор и анализатор; 4 — коллинеарная акустооптическая ячейка; 6, 8 — фотоприемники; 7 — универсальный вольтметр; 9 — осциллограф С1-99; 10 — широкополосный усилитель мощности управляющего радиосигнала; 11 — генератор Г4-107; 12 — импульсный генератор Г5-54.)

На КАОЯ подавался сигнал от генератора 11 через усилитель мощности 10. Уровень пропускания кол-

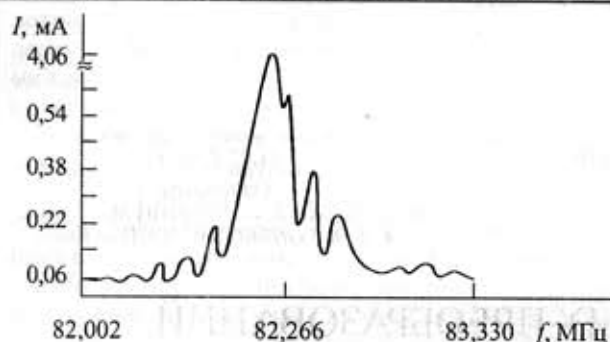


Рис. 7. Реальная аппаратная функция КАОЯ

линейной акустооптической ячейки, соответствующий разным частотам управляющего радиосигнала, регистрировался одновременно с регистрацией уровня входного излучения лазера (элементы 8, 9), что учитывалось при последующем построении $A(\lambda)$. Как видно из графика рис. 7, величина боковых максимумов уменьшается по мере удаления от центра полосы пропускания, однако степень спада величины боковых максимумов не соответствует зависимости $1/(7,5N^2)$, а существенно слабее. Отсюда следует, что при инженерных расчетах полного числа разуплотняемых каналов или уровня перекрестных помех необходимо исходить из учета реальной аппаратной функции КАОЯ.

Заключение

Эффективное использование широкополосности волоконно-оптических линий межблочной связи оптических вычислительных средств возможно только с применением соответствующего уплотнения (разуплотнения). Как один из путей, позволяющих повысить скорость передачи данных до 10 Гбит/с на одной оптической несущей, рассматривается спектральное уплотнение.

Предложен критерий спектрального разрешения потоков данных в ВОЛС, основу которого составляет утверждение, что при заданном уровне перекрестных помех по мощности порядка 40 дБ достаточно снизить перекрестные помехи устройства деления (объединения) каналов на 20 дБ.

Как один из физических эффектов, потенциально пригодный для спектрального разуплотнения (уплотнения), рассмотрено акустооптическое взаимодействие в анизотропных средах, в частности, коллинеарное, в физически реализуемой модели — коллинеарной акустооптической ячейке. Предложена математическая модель КАОЯ. Рассмотрены характеристики ячейки, в частности, определены диапазон перестройки по свету КАОЯ, ее полоса пропускания (9), частоты акустических волн, соответствующих перекрытию диапазона перестройки (11).

Исследованы возможности модели акустооптического разуплотнителя на основе КАОЯ, в частности, при использовании среды акустооптического взаимодействия со скоростью акустической волны 5750 м/с, определена его производительность произвольного

выбора спектрального канала в 28 Кбит/с, предложен метод расчета числа коммутируемых каналов таким разуплотнителем.

На макете, моделирующем открытую линию связи в оптических вычислительных средствах, исследована модель спектрального разуплотнителя на основе КАОЯ. Показано, что применение ячейки в качестве разуплотнителя накладывает специфические требования на уплотнение, т. к. перекрестные помехи связаны с контрастом и наличием боковых лепестков аппаратной функции КАОЯ. Установлено, что количество разуплотняемых каналов определяется диапазоном рабочих длин волн ($\lambda_{\max} - \lambda_{\min}$), спектральной шириной разуплотняемых каналов $\Delta\lambda$ и допустимым уровнем перекрестных помех β_{\max} , а также такими параметрами как акустооптическая эффективность I_d/I_r , оптический контраст m , ширина полосы пропускания $\delta\lambda$ ячейки.

Предложен метод и структура аппаратных средств определения аппаратной функции КАОЯ.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Горбань И. С. Оптика. — Киев: Вища школа, 1972.
2. Данилов В. В., Роганов Л. М. Соотношение сигнал—помеха в каналах ВОЛС на основе акустооптической ячейки для оптоэлектронных вычислительных средств // Тез. докл. VI междунар. науч.-техн. конф. «ВОЛСПИ-95». — Запорожье. — 1995. — С. 36—37.
3. Гауэр Дж. Оптические системы связи. — М.: Радио и связь, 1989.
4. Шереметьев А. Г. Когерентная оптическая связь. — М.: Радио и связь, 1991.
5. Данилов В. В. Акустооптические дефлекторы систем оптической памяти с побитовым представлением информации // Радиотехника (Всеукр. науч.-техн. сб.). — 2000. — № 116. — С. 125—132.
6. Клуздин В. В. Физические основы построения акустооптических устройств. — Л.: Изд-во Ленингр. ин-та авиац. приборостроения, 1980.
7. Данилов В. В. Акустооптическое разуплотнение потоков данных // Тр. II междунар. науч.-практ. конф. «Современные информационные и электронные технологии». — Одесса. — 2001. — С. 155—156.
8. Данилов В. В., Роганов Л. М., Чуркин А. В. Акустооптические элементы межблочной волоконно-оптической связи для высокопроизводительных вычислительных средств // Тез. докл. VI междунар. науч.-техн. конф. «ВОЛСПИ-95». — Запорожье. — 1995. — С. 32—35.
9. Данилов В. В. Классификационный анализ устройств управления лазерным пучком // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2000. — № 2—3. — С. 52—57.
10. Harris S. E., Nieh S. T. K., Winslow D. R. Electronically tunable acousto-optical filter // Applied Physics Letters. — 1969. — Vol. 15, N 10. — P. 325—326.
11. Harris S. E., Nieh S. T. K., Feigelson R. S. CaMoO₄ electronically tunable optical filter // Ibid. — 1970. — Vol. 17, N 5. — P. 223—225.