

Пусть задана функция n переменных $F(X_1, \dots, X_i, \dots, X_n)$. Поиск максимального значения по координате X_1 начинаем с некоторой начальной точки P с координатами $(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$, где $x_1, \dots, x_i, \dots, x_n$ — произвольно выбранные значения $X_1, \dots, X_i, \dots, X_n$. Зададимся начальным значением шага $S_i = d$. Вычислим значение функции в точке $(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$ и в точках $(x_1, \dots, x_i \pm d, \dots, x_n)$. Если из этих трех значений функция максимальна в крайней точке, то принимаем ее за начальную и продолжаем аналогичные операции. Если максимуму соответствует средняя точка $(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$, то она принимается за начальную, а дальнейшее определение максимума производится по следующей координате X_2 (шаг вычислений по различным координатам может быть разным). Вычисления продолжаются по всем координатам до тех пор, пока не будет найдено максимальное значение функции по всем направлениям. После этого размер шага уменьшается пропорционально некоторому коэффициенту r_n и становится по i -му аргументу равным $S_i = S_i r_i$. Описанная процедура повторяется, и определяется наибольшее значение $F(X_1, \dots, X_i, \dots, X_n)$ с новым шагом. Вычисления прекращаются, если размеры шагов по всем аргументам $X_1, \dots, X_i, \dots, X_n$ становятся меньше заданных $d_1^0, \dots, d_i^0, \dots, d_n^0$ соответственно, которые удовлетворяют требованиям необходимой точности оценки параметров $X_1, \dots, X_i, \dots, X_n$, соответствующих максимальному значению функции $F(X_1, \dots, X_i, \dots, X_n)$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Finkelstein Blair I., Williams W. C. Noise sources in magneto-optic recording // Appl. Opt.—1988.—27, N 4.
2. Tomita Y., Yoshino T. Optimum design of multilayer—medium structures in a magneto-optical readout systems // JOSA A.—1984.—1, N 8.
3. Jiu-Yao Tang, Jin-Fa Tang. Optimum design and preparation of multilayered magneto-optic recording media // Appl. Opt.—1990.—29, N 17.
4. Соболев В. С., Филимонов И. В. Оптимизация фотоприемного тракта магнитооптической памяти // Автометрия.—1989.—№ 2.
5. Шерклиф У. Поляризованный свет.—М.: Мир, 1965.
6. Дьяконов В. П. Справочник по алгоритмам и программам на языке Бейсик для персональных ЭВМ.—М.: Наука, 1987.

Поступила в редакцию 25 декабря 1990 г.

УДК 681.3.01 : 681.7

А. А. Вербовецкий

(Москва)

ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ И СХЕМОТЕХНИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНО-ОПТИЧЕСКИХ МНОГОКАНАЛЬНЫХ АССОЦИАТИВНЫХ КОРРЕЛЯТОРОВ ДЛЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Предложены принципы и схемотехнические варианты построения многоканальных ассоциативных корреляторов на основе интегральной и волоконной оптики. Произведены оценки основных параметров таких устройств, которые, в частности, показывают, что корреляторы на перестраиваемых лазерных диодах могут одновременно обрабатывать до 10^{12} признаков при времени определения совпадения порядка 100 нс. Предложен способ и рассмотрен вариант создания волоконно-оптической системы межпроцессорной связи и коммутации с ассоциативным поиском информации для суперЭВМ.

Введение. Одним из перспективных направлений создания ассоциативных оптических ЗУ (АОЗУ) для вычислительных систем является создание АОЗУ с двухуровневой организацией [1]. В таких ЗУ первый уровень состоит из адресного ЗУ, а второй — это устройство, осуществляющее ассоциативный поиск в запоминающем устройстве первого уровня.

Предложенные и рассмотренные в [2—4] способы построения двухуровневых устройств, когда в качестве первого уровня могут быть использованы различные типы оперативных адресных ЗУ (например, электронные), т. е. уже хорошо освоенные промышленностью, а в качестве второго уровня — многоканальные ассоциативные оптические корреляторы (МАОК), характерной особенностью которых является способность вести ассоциативный поиск оптическими методами одновременно и независимо по разным каналам по многим признакам опроса, показали перспективность их использования в вычислительных системах. Однако в настоящее время развиваются оптоэлектронные системы второго поколения, включая оптические вычислительные устройства, устройства обработки сигналов, а также системы связи, основанные на оптических и оптоэлектронных интегральных схемах. Следует отметить, что монолитная интеграция базовых оптоэлектронных компонент, таких, как лазеры, модуляторы и фотодетекторы, совместно с оптическими и вспомогательными электронными схемами, в последние годы достигла значительных успехов [5]. Поэтому особый интерес представляет создание многоканальных ассоциативных корреляторов (МАК) на основе интегральной оптики.

В данной работе предложены принципы и оригинальные схемотехнические решения построения интегрально-оптических многоканальных ассоциативных корреляторов (ИОМАК) со спектрально-селективным способом обработки информации, а также рассмотрена возможность применения таких МАК в составе предложенной световодной системы межпроцессорной связи и коммутации со спектральным уплотнением.

1. Оптические системы интегрально-оптических многоканальных ассоциативных корреляторов с параллельным вводом признаков. Оптическая схема интегрально-оптического многоканального ассоциативного коррелятора представлена на рис. 1. Ассоциативные признаки в данном корреляторе отображаются на матрице лазерных диодов (МЛД) 1, признаки опроса — на многоканальном волноводном модуляторе (МВМ) 4. При этом в отличие от [2—4] разряды каждого ассоциативного признака представляются световыми пучками с одинаковой длиной волны, отличной от длин волн световых пучков, используемых для отображения остальных признаков.

Из внешнего устройства n (где $n = 1, 2, 3, \dots, m$, m — максимальное число строк лазеров в МЛД 1) ассоциативных признаков информации поступают на МЛД 1 в виде электрических сигналов, МЛД 1 преобразует

электрические сигналы таким образом, чтобы все p (где $p = 1, 2, 3, \dots, s$, s — максимальное число разрядов в признаке) разрядов n -го признака были представлены n -й строкой оптических сигналов с одной и той же длиной волны λ_n , отличной от длин волн, на которых отображаются остальные $(m - 1)$ признаков. В то же время от внешнего устройства K (где $K = 1, 2, 3, \dots, r$, r — число строк в МВМ 4) признаков опроса поступают на МВМ 4 также в виде электрических сигналов.

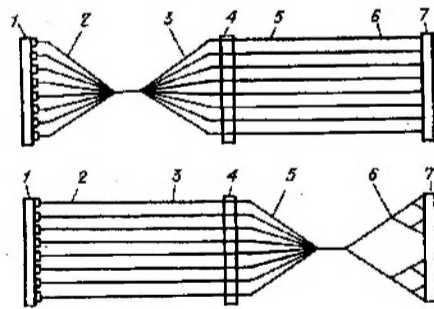


Рис. 1

Для обеспечения высокой помехозащищенности индикации совпадения признаков [2] они представляются в коде Рида — Маллера + опорные двоичные знаки, причем разряды ассоциативных признаков отображаются в прямом, а признаки опроса — в обратном коде Манчестера. Опорные двоичные знаки ассоциативных признаков создаются МЛД 1, когда все ее лазерные диоды излучают свет, т. е. выдают «1» в простом коде, а признаков опроса, когда в каждый K -й строке МВМ 4 остается открытой только одна ячейка, отображающая двоичную «1», остальные отображают «0», — все в простом коде.

Оптические сигналы одноименных p -х разрядов всех n ассоциативных признаков объединяются световодным мультиплексором 2 в единый n -цветный сигнал, который демультиплексором 3 размножается на K сигналов. Эти сигналы направляются на все ячейки МВМ 4, отображающие p -е разряды всех K признаков опроса.

Так как оптические сигналы одноименных p -х двоичных разрядов всех n ассоциативных признаков на различных длинах волн λ_n проходят через все ячейки МВМ 4, представляющие соответствующие p -е разряды всех K признаков опроса, то осуществляется оптическое умножение всех n ассоциативных признаков на все K признаков опроса, при этом оптические сигналы результирующих произведений спектрально разделены.

Оптические сигналы всех p разрядов каждого K -го признака опроса световодным мультиплексором 5 объединяются в единый n -цветный сигнал, каждая n -я спектральная компонента которого спектральным демультиплексором 6 направляется на строго соответствующий nK -й фотоприемник фотоприемной матрицы (ФМ) 7. Координаты n и K элемента ФМ 7, на котором оптический опорный сигнал превышает оптический сигнал основных разрядов, определяют соответственно n -й ассоциативный признак и K -й признак опроса, по которым произошло совпадение.

Учитывая, что МЛД 1 и МВМ 4 могут содержать соответственно порядка 10^4 — 10^6 элементов, общее число одновременно обрабатываемых признаков при $s = 100$ может достигать 10^8 слов. При этом время определения совпадения τ в данной схеме можно оценить временем формирования слов ассоциативных признаков на МЛД 1. Если, например, МЛД 1 работает на частоте ~ 1 ГГц, то, учитывая затраты на временное кодирование (код Манчестера + опорный сигнал) признаков, получим $\tau \sim 3$ нс.

На рис. 2 и 3 показаны две возможные разновидности описанной схемы ИОМАК (1 — МЛД; 2, 6 — световодные мультиплексоры; 3 — световодные демультиплексоры; 4 — МВМ; 5 — многоцветная фотоприемная матрица). Эти схемы отличаются использованием для индикации совпадения многоцветной фотоприемной матрицы (МЦФМ), которая отдельно регистрирует каждую спектральную компоненту n -цветного сигнала. Отметим, что в схеме коррелятора на рис. 3 можно

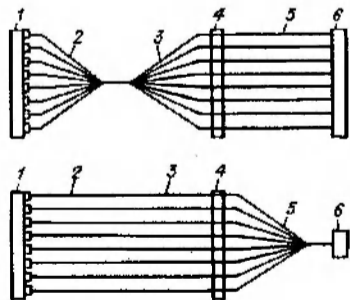


Рис. 2

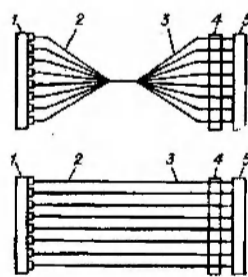


Рис. 3

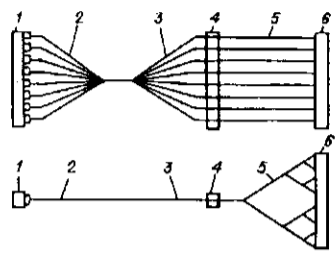


Рис. 4

отказаться от опорных сигналов, так как суммирования оптических признаков сигналов не производится.

2. Оптические системы модуля ИОМАК с последовательным вводом признаков. Оптическая система такого модуля ИОМАК представлена на рис. 4 (1 — ЛЛД; 2 — световодный мультиплексор; 3 — световодный демultipлексор; 4 — линейка волноводных модуляторов; 5 — спектральные демultipлексоры; 6 — матрица фотоприсмников). В данной

схеме модуля интегрально-оптического многоканального ассоциативного коррелятора (МИОМАК) n ассоциативных признаков поступают в виде электрических сигналов на линейку лазерных диодов (ЛЛД) 1 так, что разряды p каждого признака подаются последовательно на один и тот же n -й лазерный диод ЛЛД 1, соответствующий этому n -му признаку. Лазерный диод преобразует электрические сигналы таким образом, чтобы всем p разрядам n -го ассоциативного признака соответствовала своя одна λ_n -я длина волны света, отличная от длин волн оптических сигналов остальных $(m-1)$ -х признаков, т. е. $\lambda_1 \neq \lambda_2 \neq \lambda_3 \neq \dots \neq \lambda_n \neq \dots \neq \lambda_m$. В то же время (синхронно) электрические сигналы, отображающие признаки опроса, поступают на линейку волноводных модуляторов (ЛВМ) 4 так, что разряды p каждого K -го признака подаются последовательно на одну и ту же ячейку ЛВМ 4, соответствующую этому признаку.

Отметим, что признаки в этой схеме также представляются в код Рида — Маллера + код Манчестера + опорные двоичные знаки, однако последние могут чередоваться с признаковыми или следовать за ними. В остальном МИОМАК работает так же, как и ИОМАК, описанный в разд. 1. Кроме того, МИОМАК может иметь разновидность, аналогичную ИОМАК, изображенному на рис. 3.

Учитывая, что ЛЛД 1 и ЛВМ могут содержать порядка 10^3 — 10^4 элементов, общее число одновременно обрабатываемых признаков одним МИОМАК может достигать 10^8 слов. При этом время определения совпадения τ в данной схеме можно оценить временем формирования слов ассоциативных признаков на ЛЛД 1. Например, если $s = 100$ и ЛЛД работает на частоте ~ 1 ГГц, то, учитывая затраты на временное кодирование признаков, получим $\tau \sim 300$ нс. Отметим, что ИОМАК по данной схеме может содержать ~ 100 — 1000 таких модулей, поэтому общее число одновременно обрабатываемых признаков в этом случае достигает 10^{11} слов.

3. Оптическая схема ИОМАК на перестраиваемых лазерных диодах. Интегрально-оптический многоканальный ассоциативный коррелятор, изображенный на рис. 5, работает следующим образом.

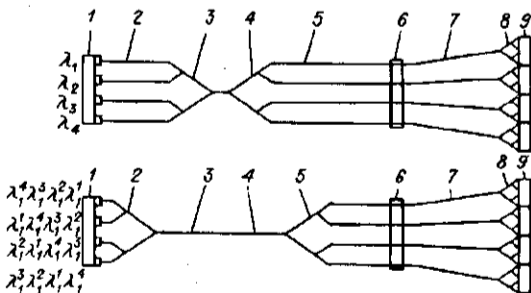


Рис. 5

Разряды p каждого n -го ассоциативного признака поступают последовательно на один и тот же n -й лазерный диод матрицы перестраиваемых лазерных диодов (МПЛД) 1, соответствующий этому признаку, который преобразует электрические сигналы таким образом, что каждому p -му разряду n -го признака соответствует своя λ_n длина волны света. При этом одноименные разряды разных n -х признаков в одном такте представляются оптическими сигналами с разными длинами волн.

Предположим, что каждая i -я (где $i = 1, 2, 3, \dots, n$) строка МПЛД 1 состоит из s лазерных диодов, перестраиваемых в определенном, присущем только этой строке диапазоне длин волн $\Delta\lambda_i$. Причем в каждом такте каждый лазерный диод i -й строки излучает на новой длине волны, отличной от длин волн других лазерных диодов данной строки, что может быть достигнуто круговой перестановкой длин волн этого диапазона рассматриваемой строки. Отметим, что кодирование признаков осуществляется в коде Рида — Маллера + код Манчестера.

Световодные мультиплексоры 2 и 3 объединяют оптические сигналы от МПЛД 1 в единый n -цветный сигнал, который световодными демультиплексорами 4 и 5 размножается на K n -цветных сигналов, направляемых на соответствующие K -е ячейки МВМ 6, отображающие K признаков опроса. K -й спектральный демультиплексор матрицы 8 в каждом p -м такте направляет каждую p -ю спектральную составляющую n -цветного сигнала на Kp -й фотоприемный элемент i -й строки ФМ 9. Таким образом, при передаче s разрядов каждого n -го ассоциативного признака соответствующие оптические сигналы пробегают в ФМ 9 s элементов, причем эти s фотоприемников используются для приема всей соответствующей i -й строки ассоциативных признаков.

Координаты фотоприемников, соответствующих одному n -му ассоциативному признаку, на которых световые сигналы отсутствуют во всех s тактах, определяют соответственно n -й ассоциативный признак и K -й признак опроса, по которым произошло совпадение.

Так как МПЛД 1 и МВМ 6 могут содержать порядка 10^4 — 10^6 элементов, то общее число одновременно обрабатываемых признаков этим ИОМАК может достигать 10^{12} слов. При этом время определения совпадения τ при $s = 100$ в случае работы МПЛД на частоте ~ 1 ГГц составляет ~ 100 нс.

Заканчивая рассмотрение схемотехнических вариантов построения ИОМАК, отметим, что в зависимости от технических требований к коррелятору и существующей элементной базе может быть выбрана та или иная схема ИОМАК.

4. Световодная система межпроцессорной ассоциативной связи и коммутации со спектральным уплотнением. Связь и коммутация являются одними из наиболее перспективных и близких приложений оптоэлектроники в ЭВМ, так как по сравнению с другими приложениями в наименьшей степени требуют новых технологий и почти полностью могут быть обеспечены современным уровнем технологии оптических волокон, излучателей, приемников, а также существующей микроэлектронной технологией.

Отметим, что в современных ЭВМ протяженные внешние связи выполняются в основном волоконно-оптическими. Однако длина связи для ЭВМ является величиной относительной, и для суперЭВМ ее мерой может служить такт синхронизации. Так, при такте ~ 1 нс связи длиной ~ 2 м (задержка ~ 10 нс) уже можно считать большими и рассматривать возможность применения оптики.

Еще одной предпосылкой использования оптики при построении систем связи и коммутации (ССК) внутри ЭВМ является возможность создания высокоплотного многоконтактного оптического разъема. Действительно, в настоящее время существуют определенные трудности в реализации электрического многоконтактного (~ 1000) СВЧ разъема с высокой

плотностью контактов $\sim 1 \text{ мм}^{-2}$ (современный уровень $\sim 0,1 \text{ мм}^{-2}$) для ячеек (модулей) ЭВМ. В оптике же все разъемы — это разъемы с нулевым усилием сочленения, так как свет проходит по пустому пространству, и не требуют никаких сложных экранировок вплоть до плотностей контактов $\sim 100 \text{ мм}^{-2}$ и более.

Таким образом, целесообразность создания оптоэлектронной системы связи и коммутации для суперЭВМ обусловлена их потребностями в большом количестве высокоскоростных высокоплотных с высокой помехозащищенностью связях, а возможность близкой практической реализации таких систем подкреплена уже развитыми уровнями технологии и применения волоконно-оптических систем передачи (ВОСП) во внешних каналах ЭВМ.

Учитывая вышесказанное, в этом разделе рассмотрена возможность создания волоконно-оптической системы межпроцессорной ассоциативной связи и коммутации (СМАСК) для суперЭВМ, обладающей функциями как системы межпроцессорной связи и коммутации (СМСК), так и МАК.

СМАСК, изображенная на рис. 6, может работать в двух режимах: в режиме коммутации, т. е. передачи информации от любого центрального процессора (ЦП) I к любому запоминающему устройству (ЗУ) II , и в режиме ассоциативного поиска ЗУ, которому должна быть передана информация (3, 6, 8, 14 — световоды, 7 — разветвители).

4.1. Предположим, что группу ЦП I , состоящую из i (где $i = 1, 2, 3, \dots, n$, n — максимальное число ЦП I) процессоров, необходимо коммутировать с группой ЗУ II , состоящей из j (где $j = 1, 2, 3, \dots, K$, K — максимальное число ЗУ II) устройств.

В этом случае линейка перестраиваемых лазерных диодов (ЛПЛД) 2, приданная i -му ЦП I , преобразует электрические сигналы передаваемого этим процессором слова таким образом, чтобы все p разрядов этого слова представлялись оптическими сигналами на одной и той же длине волны λ_{ij} , зависящей от номера (адреса) ЗУ II , к которому обращается данный ЦП согласно таблице. При необходимости установления связи i -го ЦП I с j -м ЗУ II p оптических сигналов от этого ЦП I на длине волны λ_{ij} проходят по строго определенным j -м ветвям группы i -х спектральных демультиплексоров 4 и через группу мультиплексоров 5 поступают на группу j -х спектральных демультиплексоров 9 (возможно, одновременно от нескольких i -х ЦП I). В соответствии с длиной волны λ_{ij} оптические сигналы направляются демультиплексором 9 на p фотоприемников i -й линейки ФМ 10, приданной j -му ЗУ II , содержащему всего $p \times i$ фотоприемников.

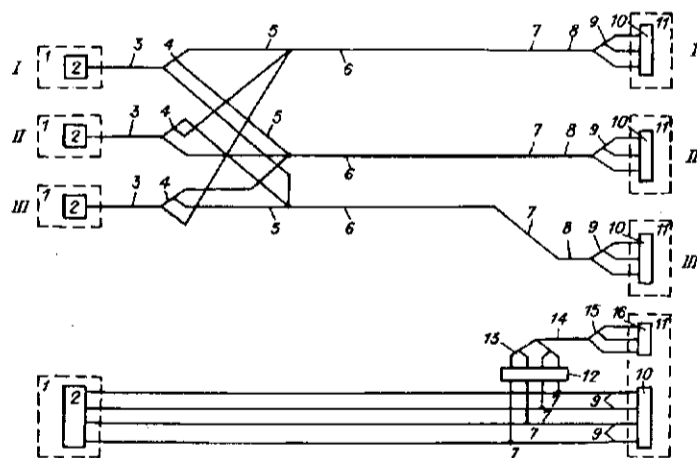


Рис. 6

Таким образом, каждый ЦП I может обратиться к любому одному, подгруппе или ко всем K ЗУ II одновременно. С другой стороны, все n процессоров I могут одновременно обратиться к разным ЗУ II , к любой их подгруппе или к одному ЗУ II .

4.2. В режиме ассоциативного поиска лазерные диоды 2 всех n ЦП I представляют ассоциативные признаки оптическими сигналами с широким спектральным диапазоном, содержащим все K спектральных компонент, на которых может передаваться информация в режиме коммутации (п. 4.1). Эти оптические сигналы отображают ассоциативные признаки в коде Рида — Маллера, двоичные знаки которого

	j				
	1	2	3	...	k
i	λ_{ij}				
1	1	2	3	...	k
2	2	3	1
3	3	...	k	...	2
...	...	k	1	...	3
n	k	1	2

Оптический сигнал каждого разряда ассоциативного признака информации i -го ЦП I поступает на i -й спектральный демультиплексор 4, расщепляющий его на K спектральных компонент, каждую j -ю из которых по строго соответствующей ветви направляет в j -й мультиплексор 5. Сигналы, поступившие от всех n ЦП I , объединяются j -м мультиплексором 5 в единый n -цветный оптический сигнал, который направляется на МВМ 12.

Оптические сигналы всех p разрядов каждого j -го признака опроса j -м мультиплексором 13 объединяются в единый n -цветный сигнал, который поступает на соответствующий j -й спектральный демультиплексор 15. Каждая i -я спектральная компонента сигнала этим демультиплексором направляется на соответствующий i -й фотоприемник группы фотоприемников 16, приданной j -му ЗУ II . При этом номер i -го фотоприемника в группе 16 соответствует i -му ассоциативному признаку, т. е. i -му ЦП I .

Номер i -го фотоприемника j -й группы 16, где опорный сигнал превышает оптический признаковый сигнал, определяет i -й ассоциативный признак, по которому произошло совпадение. Таким образом производится определение соответствия между i -ми ЦП I и j -ми ЗУ II , между которыми должна передаваться информация. СМАСК переводится в режим коммутации и работает, как описано в п. 4.1.

Отметим, что такая СМАСК может позволить коммутировать ~ 1000 ЦП с ~ 1000 ЗУ на частоте ~ 1 ГГц и производить среди них ассоциативный поиск со временем ~ 2 нс, что значительно превышает возможности электронных коммутаторов и, кроме того, расширяет функциональные возможности такого рода устройств.

Заключение. В данной работе рассмотрены принципы и некоторые схемотехнические вопросы построения многоканальных ассоциативных корреляторов на основе интегральной и волоконной оптики. Произведены оценки основных параметров ИОМАК, которые, в частности, показывают, что корреляторы на перестраиваемых лазерных диодах могут одновременно обрабатывать до 10^{12} признаков при времени определения совпадения порядка 100 нс. Предложен также способ и схемотехнический вариант создания системы межпроцессорной связи и коммутации со спектральным уплотнением и с ассоциативным поиском информации, позволяющий не только на несколько порядков увеличить по сравнению с существующими системами электронной коммутации быстродействие и

число коммутируемых устройств, но и расширить возможности таких систем.

В заключение отметим, что в области вычислительной техники оптоэлектронные системы будут конкурировать в основном с кремниевыми и арсенид-галлиевыми интегральными схемами; перспективность применения оптических устройств будет обоснована лишь при значительно лучших их характеристиках. Однако даже если оптическое устройство позволит осуществить цифровую обработку сигналов гораздо производительнее других устройств, оно не найдет применения в вычислительной технике, пока не будет реализовано в виде встроеного функционального элемента цифровой системы. Поэтому рассмотренные способы и схемы создания устройств на основе интегральной и волоконной оптики весьма перспективны для повышения надежности, производительности и расширения функциональных возможностей вычислительных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Твердохлеб П. Е. Организация системы для многоканальной параллельной обработки массивов данных // Автометрия.—1981.—№ 1.
2. Вербовецкий А. А., Зимоглядова Е. А. Принципы построения многоканальных ассоциативных оптических корреляторов для вычислительных систем // Автометрия.—1989.—№ 5.
3. Вербовецкий А. А., Зимоглядова Е. А. Схемотехнические вопросы построения многоканальных ассоциативных оптических корреляторов для вычислительных систем // Автометрия.—1990.—№ 5.
4. А. с. 1417037 СССР. Оптический ассоциативный коррелятор для запоминающего устройства /А. А. Вербовецкий.—Заявл. 08.01.87; Оpubл. 15.08.88, Бюл. № 30.
5. ТИИЭР: Малый тематический выпуск: Интегральная оптика и интегральная оптоэлектроника.—1987.—75, № 11.

Поступила в редакцию 3 сентября 1990 г.

УДК 534.213

А. А. Аполонский, С. Д. Щebetов

(Новосибирск)

ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АКУСТООПТИЧЕСКИХ МОДУЛЯТОРОВ НА СТОЯЧЕЙ ВОЛНЕ

Представлен материал по исследованию широкоапертурных акустооптических модуляторов на стоячей волне. Такие устройства находят широкое применение в качестве синхронизаторов мод лазера. Исследованы частотные характеристики таких модуляторов: акустооптические (области эффективной дифракции, дифракционные ширины резонансов) и электрические (зависимости модуля импеданса и фазы, электрические ширины резонансов). Экспериментально показано, что, помимо области фундаментальной частоты пьезопреобразователя и областей ее гармоник, существует значительная частотная область эффективной дифракции ниже фундаментальной частоты. Отдельные частотные области эффективной дифракции не соответствуют четным или нечетным гармоникам.

Введение. Акустооптический модулятор на стоячей волне широко используется в качестве синхронизатора мод лазера. Помещенное в резонатор лазера такое устройство дважды за период синусоидального управляющего сигнала выключает потери для проходящего света. Таким образом, при согласовании периодов обхода светом резонатора и функции, модулирующей потери, излучение лазера представляет собой последовательность коротких световых импульсов; этот режим назван синхронизацией мод.