

5. Акаев А. А., Майоров С. А. Когерентные оптические вычислительные машины.— Л.: Машиностроение, 1977, с. 74—83.
6. Якимович А. П. Селективные свойства трехмерных голографических решеток сферических волновых фронтов.— *Опт. и спектр.*, 1979, т. 47, вып. 5, с. 960—967.
7. Ярмош Н. А., Ероховец В. К., Кулик В. Я. Избирательные свойства объемно ориентированных голограмм.— В кн.: *Фундаментальные основы оптической памяти и среда*. Киев: Вища школа, 1984, вып. 15, с. 123—127.
8. Борискевич А. А., Дайлюденко В. Ф., Ероховец В. К., Ярмош Н. А. ГЗУ типа ЗД с функциями записи и считывания изображений.— В кн.: *V Всесоюз. школа по оптической обработке информации (Тезисы докладов)*. Киев, 1984, с. 235—236.

Поступила в редакцию 8 февраля 1985 г.

УДК 681.327 : 621.373

Б. В. ВАНЮШЕВ, В. А. ТАРКОВ, П. М. ШИПОВ

(Новосибирск)

АКУСТООПТИЧЕСКИЙ ДЕФЛЕКТОР

При построении архивных голографических ЗУ с модульной организацией памяти, наряду с применением механических систем выборки модулей (медленная ступень), используются также быстрые ступени адресации светового пучка на основе дефлекторов. Они предназначены для восстановления изображений страниц двоичных данных, записанных в голограммах. В голографическом ЗУ [1, 2] для этой цели используется однокоординатный акустооптический дефлектор (АОД), осуществляющий адресацию считывающего пучка в пределах зоны, состоящей из 32 голограмм.

Цель настоящего сообщения — рассмотреть особенности построения и основные характеристики управляемой от ЭВМ акустооптической системы адресации светового пучка, работающей в составе цифрового голографического ЗУ [1].

Дефлектор. Акустооптический дефлектор выполнен на основе монокристаллов парателлуриата (TeO_2) с использованием анизотропной дифракции света на медленной сдвиговой волне, распространяющейся под небольшим углом к оси [110] в плоскости (110) кристалла. Геометрия акустооптического взаимодействия такого типа хорошо изучена [3, 4].

В связи с тем, что монокристаллы парателлуриата обладают акустической анизотропией, остановимся на особенностях распространения медленной сдвиговой волны в парателлуриате. Уравнения Кристоффеля для плоской акустической волны позволяют определить величины отклонения потока энергии от направления волнового вектора φ и ψ в плоскостях (110) и (001) соответственно:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi = \sin(2\alpha) [c_{66} - c_{44} + \mu \cos^2(2\beta)] / 2 [c_{66} \cos^2 \alpha + \\ + c_{44} \sin^2 \alpha + \mu \cos^2 \alpha \cos^2(2\beta)]; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\operatorname{tg} \psi = \mu \cos \alpha \sin(2\beta) \cos(2\beta) [c_{66} \cos^2 \alpha + c_{44} \sin^2 \alpha + \mu \cos^2 \alpha \cos^2(2\beta)], \quad (2)$$

где c_{ij} — компоненты тензора упругости; $\mu = (c_{11} - c_{12})/2 - c_{66}$; α , β — отклонение волновой нормали от оси [110] в плоскостях (110) и (001) соответственно. На рис. 1, а, б приведены расчетные зависимости отклонения потока энергии волны $\varphi(\alpha)$ при $\beta = 0$ и $\psi(\beta)$ при $\alpha = 0$, полученные на основании выражений (1), (2) с использованием значений упругих констант из [5]. В частности, для используемого в дефлекторах среза кристалла $\alpha = 6^\circ$, $\beta = 0^\circ$ значение $\varphi(\alpha) \approx 46^\circ$. Наличие отклонения потока энергии волны приводит к необходимости точной ориентировки светозвукопровода, поскольку ошибка в ориентации грани, на которой крепит-

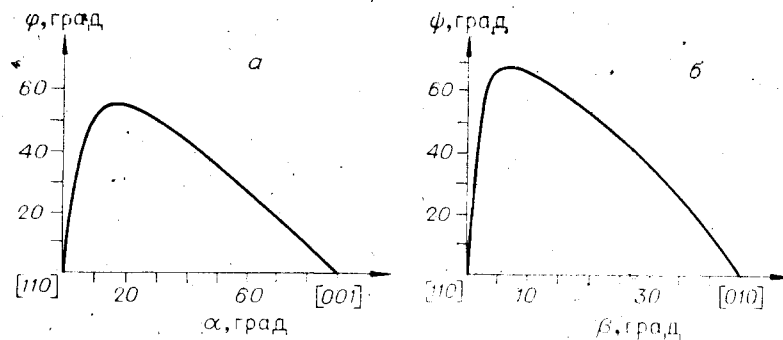


Рис. 1. Зависимости отклонения потока энергии медленной сдвиговой волны в TeO_2 от направления волнового вектора:
а — в плоскости (110); б — в плоскости (001).

ся пьезопреобразователь, всего на $5'$ приводит к отклонению пучка от волновой нормали примерно на 5° в плоскости (110). Такая точность ($\sim 5'$) приемлема при относительно небольших оптических апертурах дефлекторов ($< 5 \div 10$ мм), при больших же апертурах ($30 \div 40$ мм) необходима точность ориентации порядка $1-2'$ и выше.

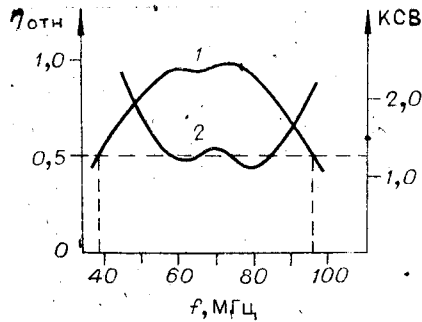
Однако акустическая анизотропия парателлурита проявляется не только в отклонении потока энергии акустической волны, что необходимо учитывать при выборе размеров светозвукопровода и точности ориентации его граней, но и в увеличении его пространственной расходимости по сравнению с дифракционным пределом (из-за ограниченных размеров акустического пучка).

Оценим влияние анизотропии на величину расходимости акустического пучка, распространяющегося вдоль оси [110]. Ввиду того что акустическая волна не является плоской, очевидно, что наличие отклонения потока энергии приводит к увеличению пространственной расходимости пучка в плоскостях (110) и (001) в $\psi'(\alpha)/\alpha=0^\circ + 1$ и $\psi'(\beta)/\beta=0^\circ + 1$ раз и определяется в основном значениями производных. Особенно сильно анизотропия парателлурита для медленной сдвиговой волны проявляется в плоскости (001), где $\psi'(\beta)/\beta=0^\circ + 1 \simeq 56$, т. е. расходимость акустического пучка почти в 60 раз превышает дифракционный предел; в плоскости (110) расходимость превышает дифракционный предел в 10 раз. Для дефлекторов, в которых акустическая волна распространяется под углом к оси [110], нетрудно оценить расходимость пучка и необходимую точность ориентации граней светозвукопровода, пользуясь выражениями (1), (2).

Отметим также, что в дефлекторах на основе парателлурита амплитудно-фазовые неоднородности излучаемого пьезопреобразователем акустического поля приводят к значительному перераспределению энергии акустического пучка по его сечению, что ухудшает разрешающую способность дефлекторов и снижает значение максимальной дифракционной эффективности. В значительной степени неоднородности акустического поля обусловлены несовершенством технологии присоединения пьезопреобразователя к светозвукопроводу, поэтому значение максимальной дифракционной эффективности характеризует качество изготовления дефлекторов.

При изготовлении АО-дефлекторов на основе TeO_2 ($\lambda = 0,6328$ мкм), предназначенных для работы в составе голографического ЗУ, применялась технология индиевой сварки в вакууме, обеспечивающая высокое качество присоединения пьезопреобразователя к светозвукопроводу. В качестве пьезопреобразователя сдвиговых волн использовались пластинки из ниобата лития среза Y_{+163° , акустическая волна в TeO_2 распространялась под углом 6° к оси [110] [4]. Согласование импеданса пьезопреобразователей со стандартным 50-омным электрическим трактом осуществлялось с помощью широкополосных трансформаторов типа «длинная линия»

Рис. 2. Относительная дифракционная эффективность (кривая 1) и величина КСВ АО-дефлекторов в рабочем диапазоне частот (кривая 2).



[6] и последовательного LC-звена. На рис. 2 приведена типичная АЧХ дефлектора, полученная в режиме слабого взаимодействия света и звука (кривая 1), когда дифракционная эффективность линейно зависит от величины управляющей мощности. Кривая 2 характеризует изменение КСВ в рабочем диапазоне частот АО-дефлектора. В режиме слабого взаимодействия дефлекторы имели полосу рабочих частот (по уровню 0,5) более 50 МГц, а количество разрешимых положений по Рэлею (при использовании световой апертуры $\sim 5,5$ мм) превышало 400. Потребляемая мощность АО-дефлекторов, соответствующая максимальной дифракционной эффективности ($\sim 90\%$), не превышала 0,8 Вт.

Блок управления АО-дефлектором. Структурная схема устройства управления АОД приведена на рис. 3 и состоит из блока генераторов (БГ), блока управления генераторами (БУГ), удвоителей частоты (УЧ1, УЧ2) и двухканального усилителя мощности (УМ). Блок генераторов формирует по двум каналам 32 стабилизированных кварцем гармонических колебания; с их помощью осуществляется адресация к нужной голограмме. Дополнительное 33-е гармоническое колебание, также формируемое блоком генераторов, используется для отклонения считывающего пучка в нерабочую позицию. Управление блоком генераторов осуществляется от магистрали КАМАК через блок управления генераторами. С выхода блока генераторов колебания с заданной частотой поступают на усилители-ограничители, содержащиеся в блоке управления генераторами. С выхода усилителей-ограничителей колебания поступают на удвоители частоты, с выхода которых подаются на двухканальный усилитель мощности.

В устройстве управления АОД используется генератор дискретных частот БГ, в значительной степени свободный от недостатков известных устройств [7—9]. Генератор выполнен в стандарте КАМАК на цифровых интегральных схемах 500-й серии.

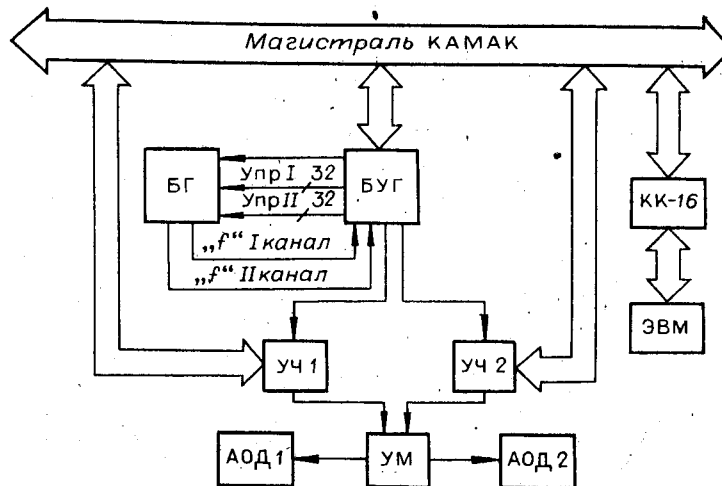


Рис. 3. Структурная схема устройства управления акустооптическим дефлектором.

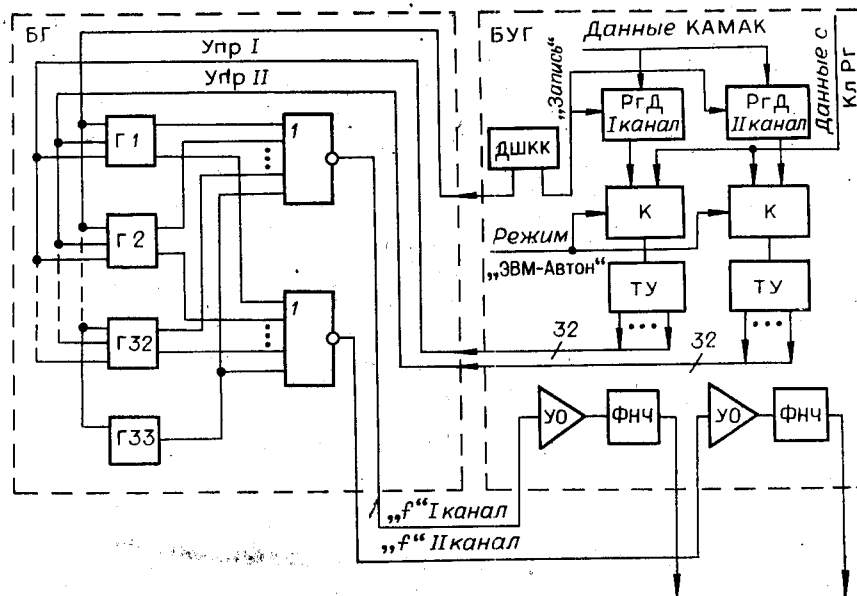


Рис. 4. Структурные схемы блока генераторов и блока управления генераторами.

На рис. 4 приведены структурные схемы блока генераторов и блока управления генераторами. В состав первого из них входят 33 кварцевых генератора Г1 ÷ Г33 и многоходовые сборки ИЛИ, посредством которых осуществляется подача колебаний на соответствующий выход; в состав второго — дешифратор команд КАМАК (ДШКК), два коммутатора (К), регистры данных первого и второго каналов, трансляторы уровней (ТУ), усилители-ограничители (УО) и фильтры низкой частоты (ФНЧ).

Блок управления генераторами обеспечивает два режима работы — «ЭВМ» и «Автоном». Код адреса с регистра данных РгД (режим «ЭВМ») или с клавишного регистра КлРг (режим «Автоном»), находящегося на передней панели блока, через коммутаторы поступает на трансляторы уровней (микросхемы К500ПУ124). Трансляторы уровней обеспечивают совместную работу блока управления генераторами на микросхемах 155-й серии с блоком генераторов на микросхемах 500-й серии. С трансляторов уровней управляющие сигналы (УПР I и УПР II) подаются в БГ на ключи коммутации кварцевых генераторов, входящие в генераторы Г1 ÷ Г33.

Кварцевые генераторы Г1 ÷ Г32 используются непосредственно для адресации к выбранной голограмме, при этом включение/выключение считывающего пучка производится путем подачи с генератора Г33 дополнительного управляющего колебания, при котором АОД отклоняет считывающий пучок в нерабочую позицию. При таком способе управления пучком не нарушается тепловой режим работы дефлектора.

С выходов кварцевых генераторов колебания через соответствующие многоходовые сборки ИЛИ поступают на выходы первого и второго каналов и на соответствующие широкополосные усилители-ограничители и фильтры низких частот Кауэра шестого порядка с полосой пропускания 50 МГц. Фильтр Кауэра служит для подавления высших гармоник. Усилители-ограничители стабилизируют амплитуду выходных колебаний на всех частотах. С выходов фильтров низких частот колебания подаются на выходы блока управления генераторами и далее на соответствующие удвоители частоты устройства управления АОД.

На рис. 5 приведена принципиальная схема кварцевого генератора (Г), выполненного на двух микросхемах К500ЛЕ106Т. Кварцевый генератор содержит логические вентили D1.1 ÷ D1.3. Вентили D2.1 и D2.2 используются в качестве ключей, с их помощью колебания кварцевых

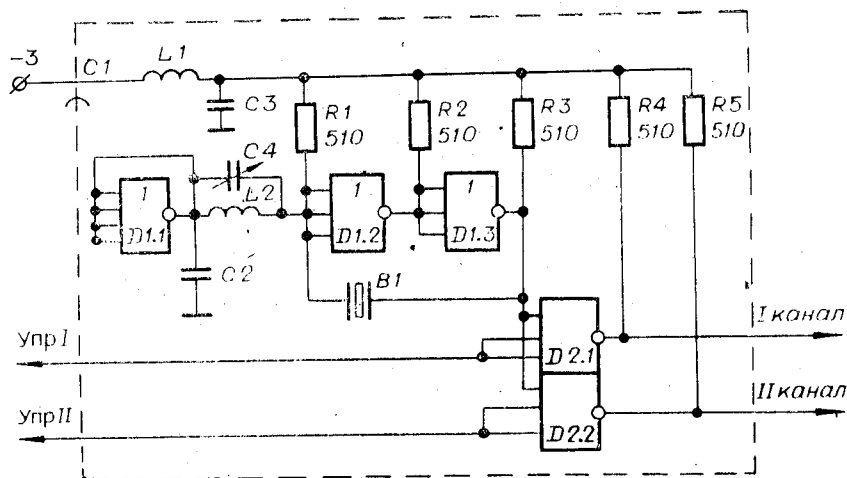


Рис. 5. Принципиальная схема кварцевого генератора.

генераторов подаются на выход блока генераторов. Частота автогенератора стабилизируется кварцевым резонатором В1.

Для обеспечения «мягкого» режима возбуждения используется логический вентиль D1.1, охваченный 100%-ной обратной связью.

В рабочем диапазоне частот 25—50 МГц блока генераторов набор необходимой сетки частот с дискретностью 0,25 МГц осуществляется сменой кварцев, размещаемых в гнездах на плате. При смене кварцев устойчивая работа генератора на рабочей частоте кварца обеспечивается путем подстройки контура L2C4.

Конструктивно блок генераторов выполнен на двух платах КАМАК. С целью лучшего подавления паразитных колебаний кварцевые генераторы размещены в экранированных ячейках. Характеристики блока: число каналов 2; частотный диапазон колебаний 25 ÷ 50 МГц; время переключе-

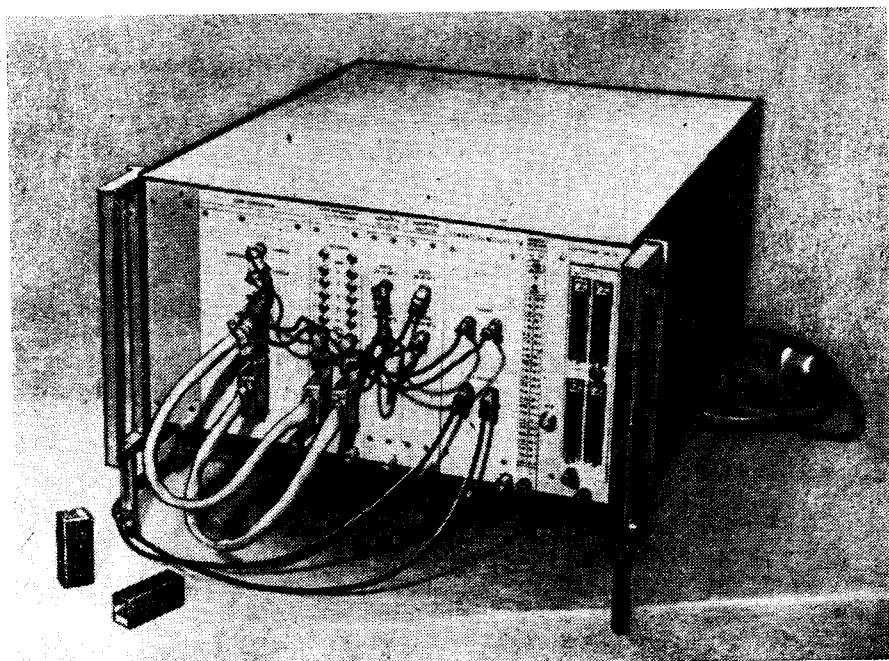


Рис. 6. Внешний вид блока управления совместно с акустооптическим дефлектором на основе парателлуриата.

чения колебаний 0,2 мкс; уровень помех 35 дБ; выходное напряжение 1 В при нагрузке 50 Ом; неравномерность АЧХ 1 дБ.

С помощью удвоителей УЧ1, УЧ2, входящих в состав устройства управления АОД, выходные колебания блока генераторов преобразуются в колебания диапазона 50 ÷ 100 МГц. Мощность сигнала на выходе усилителя мощности — до 1,5 Вт при нагрузке 50 Ом.

Устройство управления АОД состоит из пяти модулей КАМАК и имеет общую ширину 17 М. На рис. 6 приведен общий вид устройства управления совместно с акустооптическим дефлектором.

Разработанная система адресации светового пучка на основе АО-дефлектора имеет следующие характеристики: число позиций светового пучка 32; неравномерность раstra 10%; эффективность по свету для АОД с просветлением 80%, для АОД без просветления 55%; быстродействие 8 мкс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блок А. А. и др. Хранение и считывание цифровых данных в голографической системе архивной памяти.— *Автометрия*, 1984, № 3, с. 19—26.
2. Пен Е. Ф. и др. Акустооптический дефлектор голограммного запоминающего устройства.— *Опт. и спектр.*, 1983, т. 55, вып. 1, с. 148—155.
3. Yano T., Kawabuchi M., Fukumoto A., Watanabe A. TeO₂ anisotropic Bragg light deflector without midband degeneracy.— *Appl. Phys. Lett.*, 1975, v. 26, N 12, p. 689—691.
4. Тищенко Ю. Н., Трубецкой А. В. Некоторые вопросы создания и исследования акустооптического дефлектора на монокристаллах TeO₂.— *Автометрия*, 1979, № 1, с. 87—95.
5. Ohmachi Y., Uchida N. Acoustic and acousto-optical properties of TeO₂ single crystal.— *Review of the Electrical Com. Lab.*, 1972, v. 20, N 5—6, p. 529—541.
6. Севик Дж. Широкополосные согласующие трансформаторы большой мощности.— *Электроника*, 1976, № 24, с. 56—58.
7. Нурденас Д. Синтезаторы частот — обзор методов построения приборов.— *Зарубеж. радиоэлектрон.*, 1970, № 5, с. 115—120.
8. Зарецкий А. А., Климов И. И., Шидловский Р. Н. Коммутация ВЧ-напряжения в устройстве управления акустооптическим дефлектором.— *Вопросы радиоэлектроники. Сер. ЭВТ*, 1974, вып. 7, с. 87.
9. Вьюхин В. Н., Ванюшев Б. В., Чернышов А. И. Быстродействующий двухканальный генератор сетки кварцованных частот.— *ПТЭ*, 1978, № 4, с. 145—147.

Поступила в редакцию 16 января 1984 г.

УДК 535.241.13 : 534 : 621.373.826.032.265

С. В. БОГДАНОВ, Т. А. БОЛЬШЕВА

(Новосибирск)

РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ АКУСТООПТИЧЕСКОГО ДЕФЛЕКТОРА НА TeO₂

1. Широкое использование парателлурита (TeO₂) в качестве светозвукопровода акустооптических дефлекторов (АОД) обусловлено весьма высоким значением акустооптической добротности $M_2 = 1200 \cdot 10^{-15} \text{ с}^3/\text{кг}$ этого материала, широкой областью оптической прозрачности (0,35 ÷ 5 мкм), высоким оптическим качеством, возможностью осуществить аномальную широкополосную брэгговскую дифракцию. В то же время АОД на TeO₂ требуют тщательного расчета и весьма аккуратного изготовления, так как у этих кристаллов фазовая скорость v_s медленной звуковой волны сильно изменяется при отклонении направления распространения от оси [110]. При этом групповая скорость $v_{гр}$ значительно откло-