

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.

Оппонент к. ф.-м. н. В. П. САВЧУК  
(ОНПУ, г. Одесса)

## АКУСТООПТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОТОКОМ ДАННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ С ПОБИТОВЫМ ПРЕДСТАВЛЕНИЕМ ИНФОРМАЦИИ

*Предложена структура узла акустооптического затвора, основы его проектирования, метод проектирования и результаты экспериментального исследования.*

Согласно [1, с. 4—6], возможны четыре типа организации систем оптической памяти (СОП), соответствующие различным возможностям сочетания организации записи (поэлементная и постраничная) и считывания (поэлементное и постраничное). Соответственно, системы с поэлементной организацией записи-считывания получили название систем оптической памяти с побитовым представлением информации. Блок-схемы таких СОП приведены в работах [2; 3, с. 9—11, 28, 33; 4]. Функциональный анализ элементов системы, сдерживающих ее производительность, проведен в [4]: производительность определяется, в основном, быстродействием элемента управления потоком вводимых в СОП данных. Основными физическими эффектами, на основе которых создаются аналогичные устройства, являются электроомеханический и электрооптический [2]. В настоящий момент максимальное быстродействие первых достигло своих предельных значений — порядка  $10^{-3}$  с [5, с. 38]. Как известно [6], быстродействие электрооптических устройств (ЭОУ) составляет  $\sim 10^{-13}$  с, акустооптических  $\sim 10^{-9}$ . Вместе с тем известно, что ЭОУ присущи определенные недостатки: погрешности пространственной адресации лазерного пучка с ростом быстродействия (примерно  $0,3'/\text{МГц}$ ), малая контрастность ( $\sim 10$ ), большие уровни электрической мощности управления ( $\sim 0,1 \text{ Вт/МГц}$ ), большие габаритные размеры [4,6].

### Акустооптический затвор как элемент управления потоком данных

Процесс побитовой записи информации состоит в стимуляции лазерным пучком фотохимической реакции в среде — носителе информации, результатом которой является так называемый пит, область носителя, коэффициент отражения которой, как правило, выше коэффициента отражения самого носителя [7]. Как показано в работах [1, 8], перспективными средами — носителями информации являются те, у которых время фотохимической реакции составляет по-

рядка 10 нс, а устройствами ввода (управления) данных — пропускная способность которых не менее 6 Мбит/с. Ориентируясь на работу [9], устройства, реализующие амплитудно-импульсную модуляцию лазерного пучка (ЛП), назовем затвором, а на основе акустооптического эффекта — акустооптическим затвором (АОЗ). Функциональное назначение элементов и структура акустооптического устройства были определены в работе [9], в соответствии с которой узел акустооптического затвора как элемента управления потоком данных в СОП можно представить в виде, изображенном на **рис. 1**.

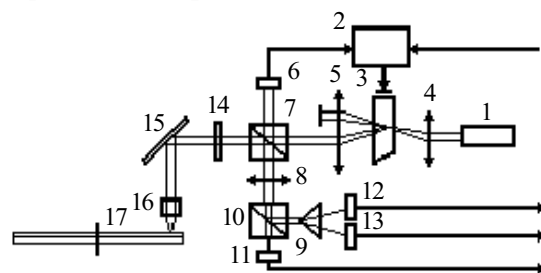


Рис. 1. Структура узла акустооптического затвора оптического ЗУ

Запись информации производится в следующей последовательности. Луч аргонового лазера 1 направлен на линзу 4, в фокусе которой находится акустооптический затвор 3. Информационный сигнал, поступающий на блок управления АОЗ 2, формируется в виде амплитудно-импульсной последовательности радиосигналов, которые посредством затвора преобразуют выходной лазерный пучок в последовательность световых импульсов. Линейно поляризованный лазерный пучок (ЛП) проходит через поляризационный светоделительный куб 7, четвертьволновую пластинку 14, которая преобразует линейную его поляризацию в круговую, отражается от зеркала 15 и фокусируется микрообъективом 16 на поверхности информационной среды (например, пленка  $\text{Ge}_{10}\text{Sb}_{10}\text{Se}_{60}\text{Tl}_{20}$ ) оптического диска 17. Импульсы ЛП удаляют определенные области светочувствительного регистрирующего слоя, в результате чего образуются питы (углубления), расположенные вдоль спиральной или концентрической дорожки (зависит от конструктивной организации процесса записи).

Воспроизведение информации производится ЛП меньшей мощности. Отраженный от поверхности диска 17 луч (при этом модулированный в соответствии с ко-

эффицентом отражения от поверхности диска и пита, с круговой поляризацией), проходя через микрообъектив 16, зеркало 15 и четвертьволновую пластинку 14, преобразуется в линейно поляризованный и отражается кубом 10 на фотоприемник чтения 11. С этого же элемента снимается сигнал подсистемы слежения за дорожкой, которая управляет положением зеркала 15. Луч, отраженный от светоделительной поверхности куба 10, проходит через призму 9 и попадает на двухэлементную фотоматрицу 12, 13, сигналы с которой несут информацию о положении фокуса микрообъектива 16 относительно регистрирующего слоя на диске 17. Фотоприемник 6 является датчиком уровня мощности лазерного излучения, линза 8 предназначена для формирования определенного диаметра отраженного от поверхности диска лазерного излучения при поступлении его на элементы 11, 12 и 13.

Из приведенного алгоритма функционирования видно, что производительность системы в целом определяется многими факторами, в т. ч. и быстродействием узла АОЗ, содержащего акустооптический затвор, элементы оптического (линзы 4, 5) и электрического согласования, радиоэлектронное устройство управления акустооптическим затвором.

Оптические элементы структуры узла АОЗ для систем оптической памяти представлены на рис. 2, где 1 — светозвукопровод акустооптического затвора; 2, 3 — входная и выходная оптические системы, формирующие лазерный пучок; 4 — заглушка недифрагировавшего лазерного пучка. Одним из основных достоинств устройства является его высокая контрастность.

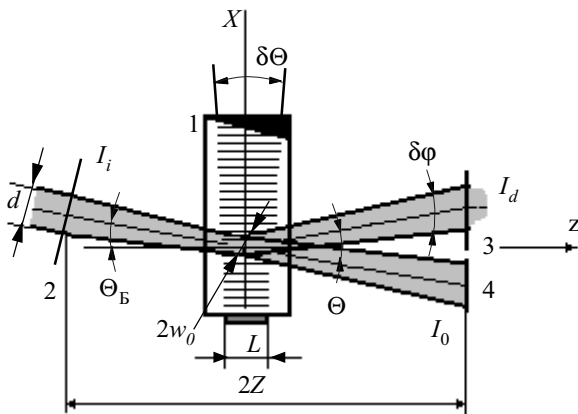


Рис. 2. Элементы структуры узла АОЗ

Согласно обозначениям, введенным на рис. 2, определим контрастность АОЗ в соответствии с выражением

$$K_0 = I_d / I_0 \quad (1)$$

Обеспечение контрастности АОЗ порядка 1000 и выше возможно при условии [6]

$$\Theta = k_s \delta\phi = 2k_s \lambda / (\pi w_0), \quad (2)$$

$$\Theta = 2\Theta_B = 2\lambda / (2\Lambda_B) = \lambda \Omega_B / (2V) = \lambda \Omega_B / V,$$

где  $\Theta$  — угол отклонения дифрагировавшего лазерного пучка на выходе АОЗ;

$k_s$  — коэффициент пропорциональности;

$\delta\phi$  — расходимость лазерного пучка —

$$\delta\phi = 2\lambda / (\pi w_0) = d / Z;$$

$\lambda$  — длина волны лазерного излучения;

$\Lambda_B$  — длина волны Брэгга;

$\Omega_B$  — частота Брэгга —

$$\Omega_B = 2nV \sin \Theta_B / \lambda_0;$$

$n$  — показатель преломления светозвукопровода АОЗ;

$V$  — скорость акустической волны в светозвукопроводе АОЗ;

$\lambda_0$  — длина волны лазерного излучения в свободном пространстве (воздухе);

$w_0$  — радиус лазерного пучка в области АОЗ (перетяжке);

$d$  — диаметр лазерного пучка;

$Z$  — фокусное расстояние оптической системы 2 (см. рис. 2).

Фокусное расстояние оптической системы (ОС) найдем из условия формирования перетяжки лазерного пучка в области акустооптического взаимодействия (АОВ) АОЗ радиусом [10, с. 62]

$$w_0 = 2\lambda Z / (\pi d). \quad (3)$$

Тогда условие (1), с учетом (3), можно переписать в виде

$$Z \geq k_s V d / (\lambda \Omega_B). \quad (4)$$

Из выражения (4) следует, что фокусное расстояние ОС при обеспечении высокой контрастности АОЗ определяется параметрами среды светозвукопровода АОЗ, в частности, скоростью акустической волны. Результаты экспериментального исследования данного утверждения представлены на рис. 3, где кривые

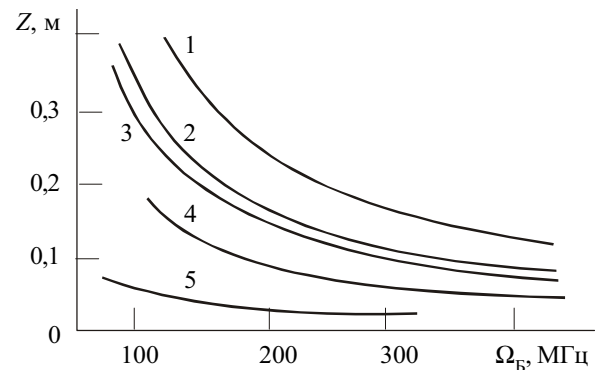


Рис. 3. Зависимость фокусного расстояния оптической системы АОЗ от скорости акустических волн и частоты Брэгга

получены для светозвукопроводов на основе соединений  $\text{Cs}_2\text{HgCl}_4$  (5),  $\text{PbMoO}_4$  (4),  $\text{SiO}_2$  (1),  $\text{TeO}_2$  [001] (2), ТФ-7 (3) [11; 12, с. 242, 254, 439] при  $d=2,5 \times 10^{-3}$  м,  $\lambda=0,63 \cdot 10^{-9}$  м,  $k_s=2$ .

Расходимость лазерного пучка функционально связана с расходимостью акустического т. н. параметром расходимости [13]

$$a = \delta\phi / \delta\Theta = L d \Omega_B / (n V Z), \quad (5)$$

где  $\delta\Theta$  — расходимость акустического пучка,  $\delta\Theta = \Lambda / L = V / (\Omega_B L)$ ;

$\Lambda$  — длина волны акустического пучка;

$L$  — длина акустооптического взаимодействия.

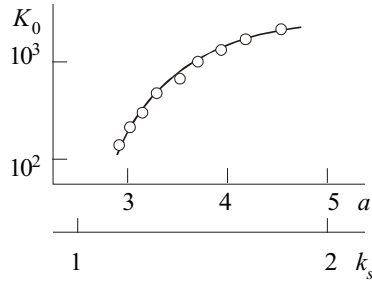


Рис. 4. Зависимость контрастности АОЗ от параметра расходимости  $a$  и коэффициента пропорциональности  $k_s$

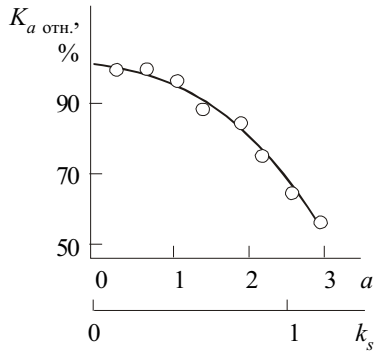


Рис. 5. Изменение относительной акустооптической эффективности АОЗ в зависимости от параметра расходимости  $a$  и коэффициента пропорциональности  $k_s$

Экспериментально исследовано влияние параметра расходимости на контрастность АОЗ ( $K_0$ ), результаты представлены на рис. 4. На рис. 5 показано экспериментально полученное изменение относительной акустооптической эффективности в зависимости от параметра расходимости и коэффициента пропорциональности:

$$K_{a \text{ отн.}} = (I_d/I_i)' / (I_d/I_i),$$

где  $(I_d/I_i)'$  — акустооптическая эффективность АОЗ с входной формирующей ОС;

$(I_d/I_i)$  — акустооптическая эффективность АОЗ без ОС, при неизменном уровне мощности акустической волны и лазерного пучка;

$I_d$  и  $I_i$  — соответственно интенсивность дифрагировавшего и входного лазерных пучков.

**Факторы, влияющие на профиль выходного лазерного пучка АОЗ**

При внедрении АОЗ в СОП с побитовым представлением информации экспериментально установлено, что в плоскости дифракции акустооптического затвора, в дальней зоне, при сильном АОВ и некоторых условиях слабого акустооптического взаимодействия, связанных со значением параметра расходимости (см. рис. 6), происходит изменение профиля лазерного пучка (т. е. возникают искажения вида  $d_y/d_x$ , где  $d_y, d_x$  — размер профиля дифрагировавшего ЛП на уровне  $1/e^2$  по ин-

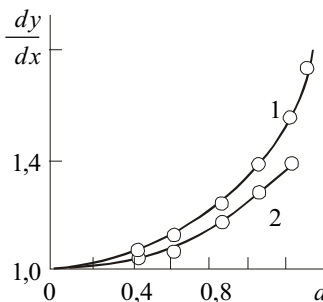


Рис. 6. Искажения профиля дифрагировавшего лазерного пучка на выходе АОЗ в зависимости от параметра  $a$  и уровня мощности управляющего радиосигнала  $P_0^{(1)} > P_0^{(2)}$

тенсивности соответственно по координатным осям  $x$  и  $y$ ), а также уровня управляющего радиосигнала. Это влечет за собой изменение профиля пучка и влияет на плотность записи системы в целом.

В процессе исследования факторов, влияющих на профиль дифрагировавшего лазерного пучка, было установлено, что он также зависит от положения АОЗ по отношению к перетяжке ЛП в области акустооптического взаимодействия (АОВ) (см. рис. 7). Уменьшение иска-

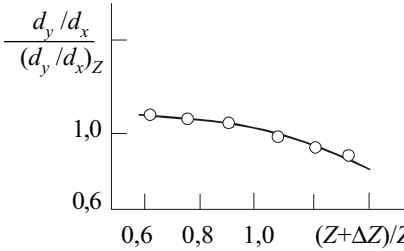


Рис. 7. Зависимость изменения профиля дифрагировавшего лазерного пучка АОЗ по отношению к перетяжке ЛП в области АОВ

жения профиля ЛП путем смещения АОЗ относительно перетяжки оказалось нецелесообразным, т. к. при этом значительно ухудшаются параметры  $d_y/d_x, I_d/I_i, t_u$  (время нарастания импульса лазерного излучения от 10 до 90% интенсивности дифрагировавшего лазерного пучка на выходе АОЗ). На рис. 8 показано влияние произвольного месторасположения АОЗ на эффективность дифракции, т. е.  $(I_d/I_i)_Z$  и  $(t_u)_Z$ , от положения затвора относительно перетяжки.

Следующим установленным фактором [6], влияющим на искажение формы дифрагировавшего лазерного пучка АОЗ, является затухание акустической волны в СЗП. При работе АОЗ с отмеченным недостатком наблюдается разогрев его СЗП, в результате чего он приобретает свойства цилиндрической линзы, действие которой проявляется в плоскости, перпендикулярной плоскости дифракции (по оси  $y$ ). Фокусное расстояние такой линзы определяется выражением вида

$$F = \frac{\chi H}{2K_\lambda(n\alpha_T + dn/dT)P_a}, \tag{6}$$

где  $\chi, K_\lambda, \alpha_T$  — соответственно коэффициенты теплопроводности, поглощения света и температурный коэффициент расширения СЗП;

$H$  — теплоемкость материала светозвукопровода;

$P_a$  — мощность акустической волны в светозвукопроводе.

Экспериментально замечено, что расходимость дифрагировавшего лазерного пучка по оси  $y$  увеличивается до 30%, если ЛП, падающий на область АОВ АОЗ, не совпадает с центром столба акустической волны. Профиль дифрагировавшего ЛП при этом превращается из эллиптического в грушевидный. На основании отмеченного рекомендуется придерживаться значений  $d_y/d_x \leq 1,1$ , что, как показывают экспериментальные данные, возможно при параметре расходимости  $a < 0,7$ . Численные расчеты показывают, что эксцентриситет профиля лазерного пучка уменьшается с ростом  $1/a$ . На рис. 9 показана зависимость акустооптической эффективности АОЗ от параметров  $1/a$  и  $Q_{КК} = 2\pi L\lambda / \Lambda^2$  (параметр Кляйна—Кука). Данная зависимость позволяет сделать заключе-

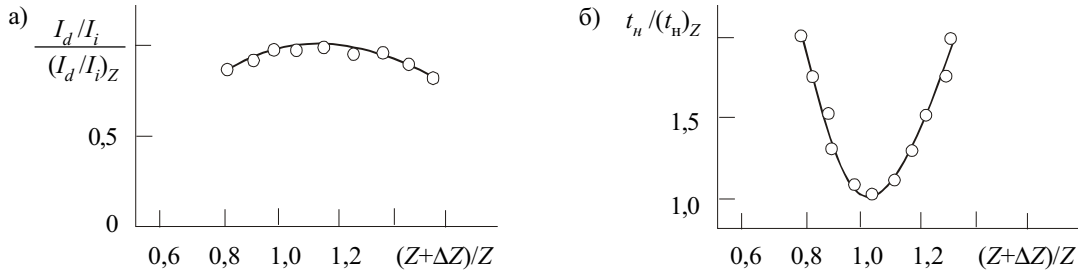


Рис. 8. Зависимость акустооптической эффективности АОЗ (а) и времени нарастания импульса дифрагировавшего лазерного пучка АОЗ (б) от его местоположения относительно перетяжки лазерного пучка

ние, что для обеспечения минимального искажения профиля дифрагировавшего луча при максимальной интенсивности параметр расходимости акустооптического вза-

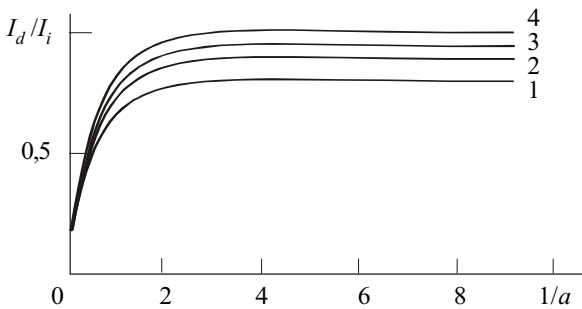


Рис. 9. Зависимость акустооптической эффективности АОЗ от параметров  $1/a$  и  $Q_{KK}$ :  
1 —  $Q_{KK}=5$ ; 2 — 10; 3 — 15; 4 —  $Q_{KK}=100$

имодействия в АОЗ систем оптической памяти для записи (считывания) информации должен иметь значения в диапазоне  $0,5 < a < 0,7$ , при этом параметр Кляйна—Кука не должен превышать 10, т. к. дальнейший рост его не приводит к существенному изменению акустооптической эффективности.

**Физические основы проектирования акустооптического затвора**

В работах [6, 9] было показано, что акустооптическое устройство (АОУ) представляет собой известный в радиоэлектронике параметрический 4-полусник, параметрами которого являются  $I_i$  — интенсивность входного лазерного пучка,  $I_d$  — выходной параметр,  $P_0$  — управляющий параметр (мощность управляющего радиосигнала). Комплексный коэффициент передачи такого 4-полусника определяется в виде [9]

$$K(j\Omega, j\omega) = K_d(j\Omega)K(j\omega) = K_d(\Omega)e^{j\phi(\Omega)}K(\omega)e^{j\psi(\omega)}, \quad (7)$$

где  $\Omega$  — частота акустической волны;  
 $\omega$  — частота лазерного излучения;  
 $K_d(\Omega)e^{j\phi(\Omega)}$  — коэффициент передачи энергии управляющего радиосигнала дифрагировавшему лазерному пучку АОУ;

$$K(\omega)e^{j\psi(\omega)} = (1 - R_i^2)e^{k_{\lambda_i} d_i} \text{ — коэффициент передачи элементов оптического тракта АОУ (линзы, просветляющие покрытия, среда АОВ и т. д.);}$$

$R_i$  и  $k_{\lambda_i}$  — коэффициенты отражения и светопоглощения элементов оптического тракта.

Математическая модель модуля  $K_d(\Omega)e^{j\phi(\Omega)}$  — электрооптическая частотная характеристика АОУ — определяется в виде [9]

$$K_d(F) = \left( \frac{I_d}{I_i} \right) \prod_{i=1}^4 k_i(F) = A Q_{KK} \prod_{i=1}^4 k_i(F) = \frac{\pi n \Lambda_B^2 M_2}{4 H \lambda^3 \cos^2 \Theta_B} \cdot \frac{2 \pi \lambda L}{\Lambda_B^2} \cdot \prod_{i=1}^4 k_i(F), \quad (8)$$

где  $k_1$  — коэффициент, описывающий эффективность преобразования электрической цепи, согласующей источник управляющего радиосигнала с электроакустическим преобразователем —

$$k_1(k, Q, F) = \frac{P_a}{P_0}(F) = 1 - |\Gamma|^2;$$

$P_a, P_0$  — мощность акустической волны и радиосигнала;  
 $\Gamma$  — коэффициент отражения радиосигнала от электроакустического преобразователя (ЭАП);

$k$  — коэффициент электрической связи,  $k = k_{эм}^2 / (1 - k_{эм}^2)$ ;

$k_{эм}$  — коэффициент электромеханической связи пьезоэлемента ЭАП;

$Q$  — добротность ЭАП;

$k_2$  — коэффициент, описывающий частотную зависимость акустооптической эффективности, обусловленной механизмом акустооптического взаимодействия, —

$$k_2(Q_{KK}, r_B, F) = \left\{ \frac{\sin \left[ 0,25 Q_{KK} (r_B^2 F^2 - r_B F) \right]}{0,25 Q_{KK} (r_B^2 F^2 - r_B F)} \right\}^2;$$

$Q_{KK} = 2 \pi \lambda L / \Lambda_B^2$  — параметр Кляйна—Кука;

$L$  — длина акустооптического взаимодействия;

$\Lambda_B$  — длина волны Брэгга;

$r_B = f_0 / \Omega_B$ ;

$f_0$  — частота последовательного резонанса пьезоэлемента ЭАП, равная среднегеометрической частоте частотной характеристики согласующей цепи;

$\Omega_B = 2 n V \sin \Theta_B / \lambda_0$  — частота Брэгга;

$n, V$  — показатель преломления и скорость акустической волны в СЗП;

$\lambda_0$  — длина лазерного излучения в вакууме;

$F = f / f_0$ ;

$f$  — текущая частота радиосигнала;

$k_3(x_0, F) = 1 - \exp(-x_0 F^2) / (x_0 F^2)$  — частотная зависимость мощности акустической волны, участвующей в акустооптическом взаимодействии, обусловленная затуханием волн;

$x_0 = 2\alpha V T f_0^2$ ;  
 $T$  — длительность радиосигнала;  
 $k_4(F)$  — коэффициент передачи энергии элементами акустической связи АОУ, акустические импедансы которых подбираются при изготовлении таким образом, чтобы обеспечивалось условие  $k_4(F) \approx 1$ .

Основываясь на радиоэлектронных аналогиях в оптике [14, с. 56], рассмотрим процесс АОВ при возбуждении электроакустического преобразователя АОЗ радиоимпульсами. В этом случае в среде акустооптического взаимодействия распространяется акустические импульсы:

$$s(t) = \begin{cases} e^{j2\pi\Omega_0 t} & t \leq T/2; \\ 0 & t > T/2, \end{cases} \quad (9)$$

где  $T$  — длительность импульса,  $T \gg \tau$ ;  
 $\tau = 2w_0/V$  — время прохождения фронта импульса акустической волны, световой апертуры АОЗ, равной  $2w_0$  (см. рис. 10, а);  
 $\Omega_0$  — частота заполнения акустического импульса, равная частоте заполнения радиоимпульса.

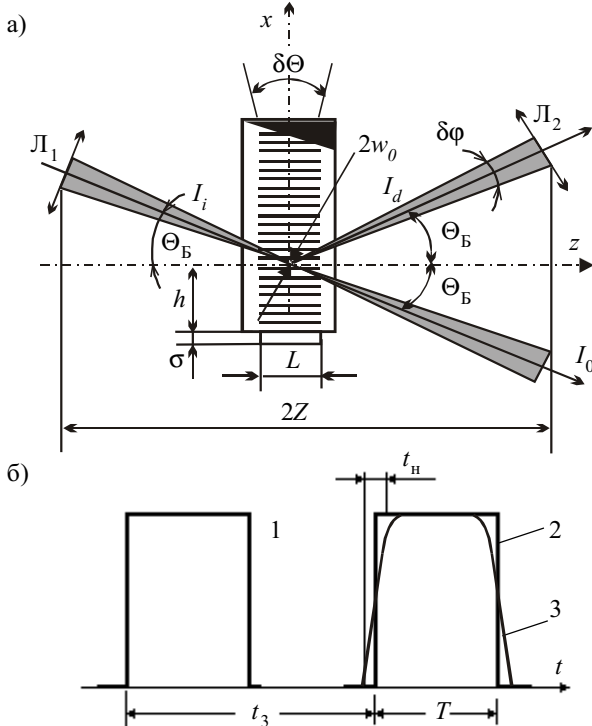


Рис. 10. Геометрия акустооптического взаимодействия в акустооптическом затворе

Распределение поля когерентного излучения в лазерном пучке, которое подчиняется закону Гаусса, представим в виде

$$E_i = E' e^{-\left(\frac{x^2}{w_0}\right)} e^{j(\omega t - k_0 z)}. \quad (10)$$

Уравнение (10) записано с учетом координатных осей рисунка 10, а.

Прямое преобразование Фурье функции вида (9) позволяет получить ее спектр в виде

$$S(\Omega) = \frac{\sin \pi(\Omega_0 - \Omega)T}{\pi(\Omega_0 - \Omega)}.$$

Временная зависимость эффективности взаимодействия светового сигнала (10) со спектром частот акустического сигнала определяется выражением [13]

$$\frac{I_d}{I_i}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\sin \pi \Omega_M T}{\pi \Omega_M} \cdot e^{-\left(\frac{\pi^2}{2}\right) \left(\frac{w_0}{V}\right) \Omega_M^2} \cdot e^{j2\pi \Omega_M t} d\Omega_M, \quad (11)$$

где  $\Omega_M = \Omega_0 - \Omega$  — частота модуляции;

$\Omega$  — частота следования акустических импульсов.

Вычисление интеграла (11) позволяет предположить [15, с. 328], что форма светового импульса лазерного пучка, прошедшего АОВ, представляет собой колоколообразную кривую распределения Гаусса (кривая 3 на рис. 10, б). При этом световой импульс будет задержан светозвукопроводом АОЗ на время  $t_3 = h/V$ .

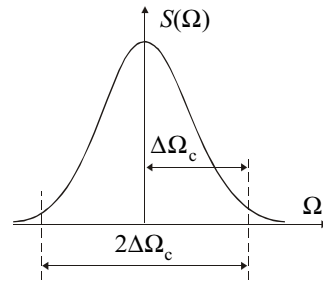


Рис. 11. Распределение энергии колоколообразного импульса по ширине его спектра

Известно, что активная ширина спектра импульса, в пределах которой сосредоточена основная доля его энергии (до 95%), —  $\Delta\Omega_c$  [15] — размещена по ширине его спектра, как показано на рис. 11. Зависимость, представленная на рис. 12, показывает функциональную связь активной ширины спектра с относительной длительностью фронта импульса. В тео-

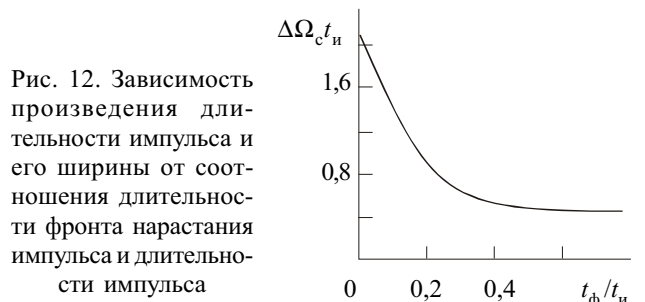


Рис. 12. Зависимость произведения длительности импульса и его ширины от соотношения длительности фронта нарастания импульса и длительности импульса

рии радиоэлектронных устройств известны энергетическая спектральная функция (плотность)  $S_W(\Omega) = S^2(\Omega)$  ( $-\infty < \Omega < \infty$ ) и односторонняя спектральная плотность  $G_W$ , определяемая равенством  $G_W = 2S_W(\Omega)$  для  $\Omega \geq 0$ . Согласно теореме Рэлея, полная энергия импульса равна

$$W = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_W(\Omega) d\Omega = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} G_W(\Omega) d\Omega.$$

Величины  $G_W(\Omega)$  или  $S_W(\Omega)$  характеризуют энергию импульса, приходящуюся на единицу полосы частот.

Для оценки распределения энергии по спектру воспользуемся относительной интегральной функцией распределения энергии [15, с. 327]



$$\gamma(\Delta\Omega_c) = \int_0^{\Omega} G_W(\Omega) d\Omega / \int_0^{t_{н0}} s^2(t) dt,$$

которая определяет долю энергии импульса, сосредоточенную в интервале частот от 0 до  $\Omega$ . На рис. 13 представлены зависимости  $\gamma(\Delta\Omega_c t_{н})$  для прямоугольного (1), треугольного (2) и колоколообразного (3)

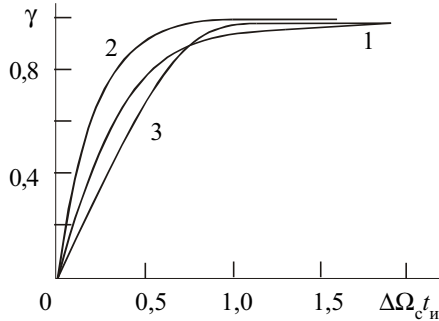


Рис. 13. Функциональная связь энергии, сосредоточенной в полосе частот, для импульсов различной формы

импульсов. Активная ширина спектра определяется из соотношения  $\gamma(\Delta\Omega_c) = 0,95$ . Расчетным путем, а также ориентируясь на рис. 13, можно прийти к выводу, что полоса частот и длительность колоколообразного импульса, в которой достигается 90% его энергии, связаны:  $\Delta\Omega_c t_{н} = 0,75$ . Ориентируясь на выражение (11), а также учитывая, что минимальная длительность акустического импульса в АОЗ, необходимая для "включения" дифрагировавшего пучка, равна  $\tau = 2w_0/V$  (см. рис. 10), приходим к выводу, что полоса частот акустооптического взаимодействия в АОЗ связана с минимально возможной длительностью акустического импульса выражением  $\Delta\Omega_c \tau = 0,75$ . Очевидно, что длительность времени нарастания светового импульса (его фронт)  $t_{н}$  не может быть меньше  $\tau$ . Используя график, показанный на рис. 12 [15, с. 328], значению  $\Delta\Omega_c \tau = 0,75$  соответствует отношение  $t_{н}/\tau \approx 0,65$ . В работе [13] это равенство определено путем решения (11) и равно  $t_{н}/\tau = 0,65$ .

**Метод проектирования акустооптического затвора**

В основе метода лежат следующие допущения: слабое акустооптическое взаимодействие (линейная зависимость между мощностью управляющего радиосигнала и интенсивностью дифрагировавшего лазерного пучка); расходимость акустического и лазерного пучков лежит в диапазоне  $0,5 < a < 0,7$ , параметр Кляйна—Кука  $Q_{КК} \leq 15$ ; существование электрооптической частотной характеристики устройства вида (8).

Процесс проектирования АОЗ для оптических систем записи-считывания информации и коммуникации лазерного излучения включает следующие этапы: формирование исходных данных; выбор среды светозвукопровода акустооптического затвора; расчет геометрии акустооптического взаимодействия АОЗ; расчет параметров электрической эквивалентной схемы пьезопреобразователя; расчет электрической согласующей цепи; расчет электрооптической эффективности и углового режима дифракции.

Исходными данными для проектирования АОЗ являются: диаметр лазерного пучка в перетяжке (в области

АОВ АОЗ) —  $2w_0$ ; длительность светового импульса —  $t_c$ ; частота следования световых импульсов —  $f_c$ ; контрастность —  $K_0$ ; длина волны лазерного излучения —  $\lambda$ ; мощность лазера ( $P_{л}$ ) и мощность лазерного излучения в импульсе —  $P_{ин}$ ; время задержки светового импульса  $t_3$ .

При заданных длительности световых импульсов  $t_c$  и частоте их следования  $f_c$  первая будет пропорциональна длительности акустического импульса  $t_a$ , вторая — определяться частотой следования акустических импульсов  $\Omega$ .

Минимально возможная длительность акустического импульса определяется временем прохода фронта акустического импульса диаметра лазерного пучка  $2w_0$  в области АОВ —  $t_{a\min} = \tau = 2w_0/V$ . При распределении интенсивности в пучке лазера согласно закону Гаусса (10) и при соответствии акустического импульса виду экспоненциальной функции диапазон частот модуляции определяется из выражений  $\Delta\Omega_c \tau = 0,75$ ,  $t_{н}/\tau = 0,65$ ,  $\Delta\Omega_c t_{н} = 0,49$ , откуда рассчитывается частота заполнения акустических импульсов  $\Omega_0$  и частота следования акустических импульсов  $\Omega (\Omega_0 - \Omega = 0,49/t_{н} = 0,75/\tau)$ .

Выбор среды светозвукопровода акустооптического затвора. При известной частоте заполнения акустических импульсов  $\Omega_0$  в соответствии с методикой работ [16, 17] выбирается среда светозвукопровода АОЗ.

Расчет геометрии акустооптического взаимодействия АОЗ. Раскрывая значения сомножителей и делая соответствующие переобозначения в выражении (8), модуль комплексного коэффициента передачи акустооптического затвора — нормированную электрооптическую эффективность АОЗ — получим в виде

$$K_d(F) = \left( \frac{I_d}{I_i} \right)_{i=1}^4 \prod k_i(F) = B a \prod_{i=1}^4 k_i(\Omega) = \frac{\pi^3 n \Lambda_B^2 w_0 M_2}{4 H \lambda^3 \cos^2 \Theta_B} \cdot \frac{2 \lambda_0 L}{\pi n w_0 \Lambda_B} \cdot \prod_{i=1}^4 k_i(F), \quad (12)$$

где  $B = \frac{\pi^3 n \Lambda_B^2 w_0 M_2}{4 H \lambda^3 \cos^2 \Theta_B}$ ;

$a = \frac{2 \lambda_0 L}{\pi n w_0 \Lambda_B}$  — параметр расходимости;

$k_4(\Omega) = 1$  (в предположении отсутствия диссипативных потерь).

Частотно-зависимый коэффициент  $k_1$  остается без изменений (см. выше), в  $k_2(\Omega) = \frac{\sin[0,25 Q_{КК} (r_B^2 F^2 - r_B F)]}{0,25 Q_{КК} (r_B^2 F^2 - r_B F)}$  делаются подстановки вида  $r_B = \Omega_m / (\Omega_B - \Omega)$ ,  $F = f_m / f_0$ , а в  $k_3$  —  $F = f_m / f_0$ .

Далее вводится нормированная электрооптическая частотная характеристика (ЭОЧХ) АОЗ согласно  $K'_d(F) = K_d(F) / (BP_0)$  и рассчитываются на ЭВМ семейства нормированных ЭОЧХ в зависимости от параметров  $a$  и  $r_B$ , результатом которых являются ряд семейств характеристик, показанных на рис. 14, где  $a = 0,55$  (3),  $a = 0,6$  (2),  $a = 0,7$  (1).

Из графика выбранной ЭОЧХ АОЗ определяются безразмерные параметры: уровень неравномерности  $\Delta_{н}$ ,

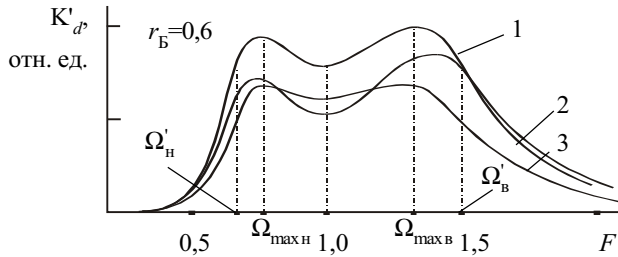


Рис. 14. Вид электрооптической частотной характеристики АОЗ:  
1 —  $a=0,7$ ; 2 —  $a=0,6$ ; 3 —  $a=0,55$

относительная верхняя и нижняя частоты  $\Omega'_в$  и  $\Omega'_н$ , среднегеометрическая относительная частота полосы пропускания по заданному уровню  $\Omega_{0,}$ , среднеарифметическая относительная частота полосы пропускания по заданному уровню  $f_{a,}$  перекося ЧХ  $\Delta_p,$  электрооптическое затухание  $a_p=101g(a/K_{d\min}).$  По виду ЭОЧХ выбирается  $a$  и определяются длина  $L$  и высота  $H$  акустооптического взаимодействия, как показано в [16, 17].

Расчет параметров электрической эквивалентной схемы пьезопреобразователя производится по аналогии с [16, 17].

Расчет параметров электрической согласующей цепи с учетом изменений, введенных в выражение  $r_B= \Omega'_н/(\Omega'_в-\Omega),$  производится по аналогии с [16,17].

Согласно выражению

$$K_{d\min}=K'_{d\min}(k, Q, x_0, a, r_B, F, Q_{KK}, B)BP_0$$

производится расчет электрооптической эффективности, а угловой режим дифракции находится из выражения  $\Omega'_в=2nV\sin\Theta'_в/\lambda_0.$

### Закключение

Процесс побитовой записи информации состоит в стимуляции лазерным пучком фотохимической реакции в среде — носителе информации, результатом которой является т. н. пит, область носителя, коэффициент отражения которой, как правило, выше коэффициента отражения самого носителя.

Среди устройств, используемых в качестве элементов управления потоком данных в оптических системах памяти с побитовым представлением информации, нашли применение электромеханические и электрооптические. Первые достигли максимума своего быстрогодействия, вторые имеют ряд существенных недостатков, основные из которых — малая контрастность и неудовлетворительные массогабаритные и энергозатратные характеристики.

Предложено применение акустооптического затвора в качестве элемента управления потоком данных. Приведен расчет габаритных размеров узла АОЗ и контрастности устройства более 1000.

Рассмотрены факторы, влияющие на профиль выходного лазерного пучка устройства, а также условия, при которых достигается минимальность искажений профиля дифрагировавшего лазерного пучка АОЗ. В частности, обоснована необходимость поддержания параметра расходимости в диапазоне  $0,5 < a < 0,7,$  параметра Кляйна—Кука — не более 15 и слабого акустооптического взаимодействия.

Предложены физические основы проектирования акустооптических затворов для систем оптической памяти с побитовым представлением информации, в частности, обоснована правомерность применения для

проектирования АОЗ введенной автором для акустооптических устройств электрооптической частотной характеристики.

Рассмотренный с позиций радиоэлектронных аналогий процесс амплитудно-импульсной модуляции лазерного пучка АОЗ позволил сформулировать связь между минимальной длительностью нарастания импульса дифрагировавшего лазерного пучка и полосой частот акустооптического взаимодействия АОЗ.

Предложен метод проектирования АОЗ, в основе которого лежат допущения: слабого акустооптического взаимодействия (линейная зависимость между мощностью управляющего радиосигнала и интенсивностью дифрагировавшего лазерного пучка); расходимости акустического и лазерного пучков в диапазоне  $0,5 < a < 0,7,$  параметра Кляйна—Кука  $Q_{KK} \leq 15;$  существования электрооптической частотной характеристики устройства вида (8).

### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Петров В. В., Крючин А. А., Токарь А. П. и др. Оптико-механические запоминающие устройства. — Киев: Наукова думка, 1992.
- Данилов В. В. Акустооптические дефлекторы систем оптической памяти с побитовым представлением информации // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб.— 2000.— № 116.— С. 125—132.
- Вуль В. А. Оптические запоминающие устройства.— Л.: Энергия, 1979.
- Колесніков М. Ю. Способи та засоби підвищення швидкодії оптичних запам'ятовуючих пристроїв / Автореф. дис. ... канд. техн. наук.— Київ: Ін-т проблем реєстрації інформації, 1996.
- Боухьюз Г., Браат Дж., Хейсер А. и др. Оптические дисковые системы.— М.: Радио и связь, 1991.
- Данилов В. В., Иванов С. В. Акустооптический затвор // Тр. междунар. науч.-практич. конф. "Современные информационные и электронные технологии". — Одесса, 2000.— С. 94—95.
- Петров В. В., Токар О. П. Про щільність запису інформації в оптичних ЗП // Доп. АН УРСР.— 1973.— № 9.— С. 12—18.
- Токарь А. П. Управление энергией импульсов записи в оптических запоминающих устройствах // Оптическая запись информации: Сб. науч. тр.— Киев: Наук. думка, 1987.— С. 32—35.
- Данилов В. В. Классификационный анализ устройств управления лазерным пучком // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 2000.— № 2—3.— С. 52—57.
- Русинов М. М., Грамматин А. П., Иванов П. Д. и др. Вычислительная оптика. Справочник.— Л.: Машиностроение, 1984.
- Данилов В. В. Акустооптические кристаллы  $Cs_2HgC_4$  // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 1999.— № 4.— С. 39—43.
- Блистанов А. А., Бондаренко В. С., Чкалова В. В. и др. Акустические кристаллы. Справочник.— М.: Наука, 1982.
- Maydan D. Acoustooptical pulse modulator // IEEE Journ. of Quantum Electronics.— 1970.— Vol. QE-6, N 6.— P. 15—24.
- Литвиненко О. Н. Основы радиооптики.— Киев.: Техніка, 1974.
- Справочник по радиоэлектронным устройствам. Т. 1 / Под ред. Д. П. Линде.— М.: Энергия, 1978.
- Данилов В. В. Акустооптический модулятор. Ч. 1 // Радиотехника: Всеукр. науч.-техн. сб.— 1999.— № 112.— С. 66—74.
- Данилов В. В. Акустооптический модулятор // Там же.— 2000.— № 113.— С. 121—124.