

АКУСТООПТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ВРЕМЕННОГО РАЗУПЛОТНЕНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ

Введение

Одним из путей повышения производительности электронных вычислительных средств является переход к созданию оптических (оптоэлектронных) вычислительных средств (ОВС), где повышение таковой реализуется за счет естественного быстрого действия элементов и устройств. Основными элементами ОВС, сдерживающими их производительность, являются устройства ввода информации, межблочной связи и вывода информации. В качестве элементов межблочной связи ОВС (локальной сети в ОВС) находят применение волоконно – оптические линии передачи (ВОЛП). Важнейшим достоинством ВОЛП является высокая пропускная способность. Спектральная полоса пропускания кварцевого одномодового километрового отрезка волоконного световода (ВСв) лежит в области 0,8...1,8 мкм, что соответствует полосе частот $\Delta f \approx 2 \cdot 10^5$ ГГц. Тем не менее, высокая пропускная способность ВСв ограничена его дисперсионными характеристиками. Уровень развития быстродействующих полупроводниковых фотоприемников (элементов вывода) позволяет вести обработку со скоростью ≤ 1 Гбит/с. Оптические схемы уплотнения-разуплотнения в локальных сетях ОВС позволяют повысить ее до 5-10 Гбит/с [1].

Акустооптический метод разуплотнения оптических каналов связи

Как один из вариантов решения проблемы уплотнения-разуплотнения оптических каналов связи ОВС, рассмотрим применение акустооптической ячейки [2] в режиме дифракции Брэгга, у которой отсутствует акустическая нагрузка. В этом случае в среде акустооптического взаимодействия (САОВ) акустооптической ячейки (АОЯ) создается стоячая акустическая волна и лазерный пучок (ЛП) модулируется акустической волной со скоростью, по крайней мере, вдвое превышающей частоту акустической волны. Формальное доказательство отмеченного свойства АОЯ проведем в предположении, что в качестве его САОВ используется изотропная среда, в которой отсутствуют потери энергии лазерного и акустических пучков. В такой среде в условиях стоячей волны происходит модуляция показателя преломления: $n^2 = n_0^2 + 2n_0n_1 \cos(\Omega t) \cos(Ky)$, обусловленная фотоупругим эффектом, где n_0 - невозмущенный показатель преломления, n_1 - пиковое значение возмущенного показателя преломления, Ω и K - частота и волновое число акустической волны. Уравнение движения для компонент электрического поля оптических волн в среде взаимодействия имеет вид

$$\nabla^2 \vec{E} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} (n^2 \vec{E}), \quad \nabla^2 \vec{E} = k^2 [1 + 2(n_1/n_0) \cos(\Omega t) \cos(Ky)] \vec{E},$$

где $k = \omega_0/(c/n_0)$, c - скорость света в свободном пространстве. Решая второе уравнение методом разделения переменных, амплитуды поля недифрагированного и дифрагированного ЛП выразим в виде

$$E_{0t} = E_i \cos\left[\frac{\pi n_1 L \cos(\Omega t)}{\lambda \cos \Theta_B}\right], \quad (1)$$

$$E_{1s} = E_i j \sin\left[\frac{\pi n_1 L \cos(\Omega t)}{\lambda \cos \Theta_B}\right], \quad (2)$$

где L - ширина акустического столба, λ и E_i - длина волны и амплитуда поля падающей (входной) световой волны, Θ_B - угол Брэгга. Временная зависимость интенсивности ЛП оп-

ределяется $I_{0t}(t) = I_i \cos^2 \left[\frac{\pi n_1 L \cos(\Omega t)}{\lambda \cos \Theta_B} \right]$ - в нулевом и $I_{1s}(t) = I_i \sin^2 \left[\frac{\pi n_1 L \cos(\Omega t)}{\lambda \cos \Theta_B} \right]$ - первом

порядке дифракции. Анализируя уравнения (1), (2) и $I_{0t}(t)$, $I_{1s}(t)$, отметим, что аргументы их модулируются с частотой акустической волны Ω , при этом интенсивности световых лучей $I_{0t}(t)$ и $I_{0s}(t)$ модулируются с удвоенной частотой акустической волны, что видно из результата разложения $I_{0t}(t)$, $I_{1s}(t)$ по частотным компонентам:

$$I_{0t} = \frac{I_i}{2} \left[1 + J_0 \left(\frac{2\pi n_1 L}{\lambda \cos \Theta_B} \right) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n J_{2n} \left(\frac{2\pi n_1 L}{\lambda \cos \Theta_B} \right) \cos 2n\Omega t \right], \quad (3)$$

$$I_{1s} = \frac{I_i}{2} \left[1 + J_0 \left(\frac{2\pi n_1 L}{\lambda \cos \Theta_B} \right) - 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n J_{2n} \left(\frac{2\pi n_1 L}{\lambda \cos \Theta_B} \right) \cos 2n\Omega t \right]. \quad (4)$$

Практическая значимость модуляции на удвоенной частоте заключается в том, что скорость модуляции оказывается не зависящей от времени пересечения оптической апертуры акустической волной, в отличие от АОЯ, где используется бегущая акустическая волна. Исходя из приведенных соображений физики акустооптического взаимодействия, следует практический вывод о возможности реализации высокоскоростной последовательной модуляции света, пользуясь коллимированным световым лучом и акустической волной большой апертуры. Предлагается величины I_{0t}/I_i и I_{1s}/I_i в двух последних уравнениях назвать модуляционными функциями $S_0(t)$ и $S_1(t)$ соответственно.

Таким образом, с помощью АОЯ на стоячей акустической волне в САОВ, можно решить задачу оптического переключения для последовательности световых импульсов, которая со скоростью, вдвое превышающей частоту акустической волны, направляет входной луч света попеременно в различных, пространственно разнесенных направлениях, разделенных на двойной угол Брэгга. Для определенности, устройство, принцип действия которого основан на фотоупругом эффекте, основным структурным элементом которого является АОЯ на стоячей акустической волне, обладающее отмеченными функциональными признаками, назовем акустооптическим временным разуплотнителем (АОВР).

Учитывая временную зависимость модуляционной функции S (рис. 1), можно выделить два типа рабочих мод АОВР. Рабочая мода, показанная на рис. 1б, характеризуется частотой акустической волны, равной четверти частоты следования оптической последовательности импульсов или любой нечетной гармонике. Следовательно, последовательность оптических импульсов на этой моде может быть расщеплена в две серии импульсов, каждая из которых характеризуется частотой следования, равной половине исходной частоты следования.

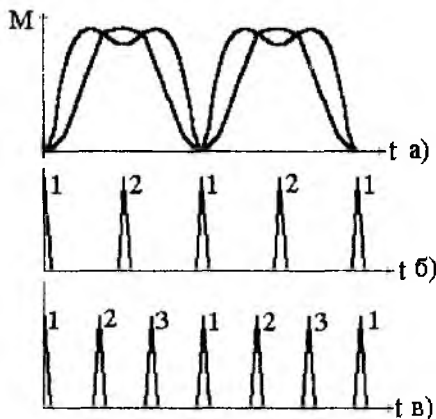


Рис. 1

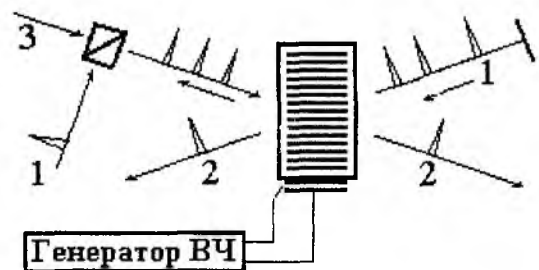


Рис. 2

Второй тип рабочей моды АОВР показан на рис. 1в. В этом случае частота акустической волны равна $1/6$ частоты следования оптических импульсов или частоте, кратной произведению $(3n+1)$ или $(3n+2)$ на частоту следования, где n - целое число. Тогда АОВР, работаю-

щий на данном типе рабочей моды, может реализовать разуплотнение в 3 каналах. На рис. 2 приведен возможный вариант блок-схемы такой обработки.

Применяя двухполяризационную систему уплотнения и пользуясь режимами 2 и 3-канальной обработки, можно реализовать одновременно обработку информации в 4 и 6 каналах соответственно, например, как показано на рис. 3.

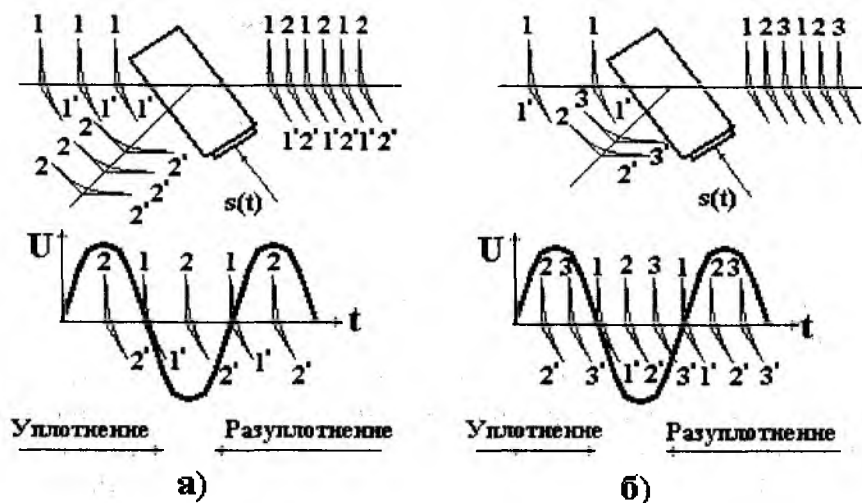


Рис. 3

Экспериментальное исследование макета АОВР

Блок-схема макета акустооптического временного разуплотнителя оптических каналов показана на рис. 4. Структура аппаратных средств содержит: 1 – лазер; 2 – смеситель; 3 – компенсатор Бобине; 4 – макет АОВР, 5,6,7 – система элементов, обеспечивающих термостабилизацию АОВР; 8 – р-і-п фотодиод; 9 – усилитель ВЧ; 10 – элемент развязки и подстройки; 11 – светоделительная призма; 12 и 13 – соответственно, лавинный и р-і-п фотодиоды; 14 – триггер; 15 – стробоскопический осциллограф. В качестве САОВ акустооптической ячейки АОВР использовался молибдат свинца ($PbMoO_4$). Пьезопреобразователь на основе пластины ниобата лития ($LiNbO_3$) прикреплен к САОВ методом термокомпрессионной сварки [3]. Центральная частота АОВР – 115 МГц при полосе ± 35 МГц.

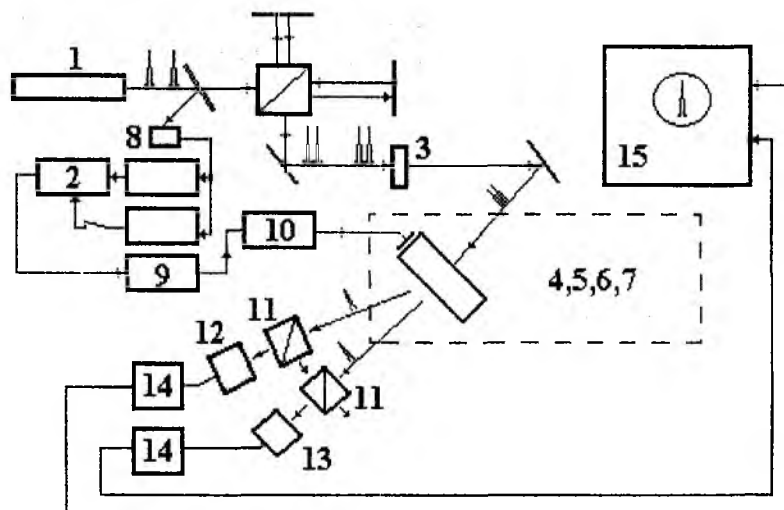


Рис. 4

Согласно представленной структуре устройства экспериментально установлено, что при возбуждении акустической волны в среде акустооптического взаимодействия АОЯ на частоте 5-й гармоники (150 МГц), в АОВР был реализован режим переключения оптических последовательностей со скоростью порядка 3816 Гбит/с при двухполяризационном уплотнении.

В исследованиях использовался импульсный аргоновый лазер с частотой следования импульсов 75 Мбит/с в режиме синхронизации мод. Длительность импульсов составляла 0,5 нс (по уровню интенсивности $1/e^2$) и 0,3 нс (по уровню половинной интенсивности). С целью повышения частоты следования импульсов выходной пучок лазера делился светоделительной пластиной, а затем вновь собирался в один пучок, чтобы задержка (обусловлена оптической разностью хода) равнялась обратной величине требуемой скорости следования. Таким образом, для луча одной поляризации удавалось получить скорость следования оптических импульсов до 2 Гбит/с. По формуле $n = 10 \lg P_0 / P_1$, где P_0 - импульсная мощность в возмущающем канале, P_1 - импульсная мощность в возмущенном канале, оценивался уровень перекрестных искажений. Величина n составила для первого и нулевого дифракционных каналов, соответственно, -9 и -12 дБ. При этом, для реализации 100%-й эффективности в АОВР, потребовалась мощность управляющего радиосигнала в 3,9 Вт.

Экспериментальные исследования позволили несколько прояснить картину механизма акустооптического взаимодействия на стоячей акустической волне и потенциальные возможности быстрого действия акустооптических временных уплотнителей - разуплотнителей оптических кодированных последовательностей. Установлено, что факторами, определяющими перекрестные искажения, являются: недостаточный по длительности временной интервал между смежными оптическими импульсами; неоптимальная мощность акустической волны, обусловленная отсутствием методов её метрологического контроля; ошибками во временной синхронизации серии оптических импульсов состоящей акустической волной.

Варианты структур АОВР

Анализируя работу АОЯ на стоячей акустической волне в режиме уплотнения оптических импульсных последовательностей, предложены варианты структур с меньшим количеством АОВР, в каскадном включении для полного разуплотнения информации по индивидуальным каналам. Вариант структуры, обеспечивающий обработку четырех каналов на одном АОВР показан на рис. 5.

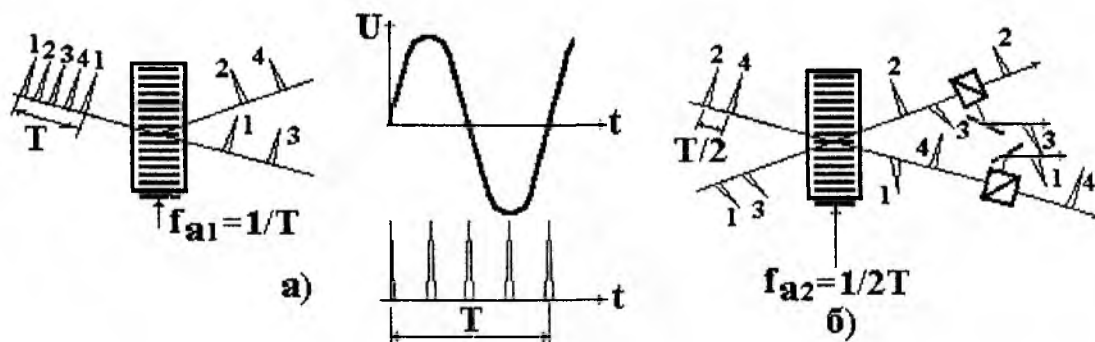


Рис. 5

Кажется целесообразным применение структуры для тех систем временного уплотнения-разуплотнения, где отдельные каналы поляризованы в одном направлении. Если используется 4-канальная серия оптических импульсов со скоростью прохождения информации $4/T$ (рис. 5а), то полагая, что частота акустической волны в АОВР f_{a1} равна $1/4$ полной скорости прохождения информации, т.е. $f_{a1} = 1/T$, на выходе его будет две серии сложных двухканальных импульсов, разделенных в пространстве. Таким образом, данная структура является 4-канальным устройством, позволяющим производить обработку 2-х серий двухканальных оптических импульсов с помощью одного АОВР. Поместив на пути одного из двухканальных оптических пучков полуволновую пластину и оптическую линию задержки, можно повернуть поляризацию этого составного сигнала на $\pi/2$ и при этом обеспечить надлежащую задержку между двумя сериями импульсов. Обе серии составных импульсов посылаются под двойным углом Брэгга на акустический пучок САОВ для повторного акустооптического взаимодейст-

вия в тот же момент времени. В результате возникают две новые серии сложных оптических импульсов (рис. 56). Теперь уже каждая составная серия содержит два различных оптических канала, отличающихся один от другого ортогональной поляризацией. Окончательное разделение 4-х каналов осуществляется с помощью призмы Глана-Томсона. Предложенная структура 4-канального устройства с каскадным включением элементов для обработки N – кратно уплотненных оптических каналов, где N – четное число, нуждается в $N/2$ акустооптических временных разуплотнителях.

Заключение

Явлениями, ограничивающими пропускную способность существующих волоконно-оптических линий межблочной связи оптических вычислительных средств, при их чрезвычайной широкополосности, являются дисперсия показателя преломления и материальная дисперсия. Высокая пропускная способность существующих волоконно-оптических линий передачи межблочной связи может быть реализована только при наличии соответствующей элементной базы уплотнения-разуплотнения данных.

Основываясь на известной в экспериментальной физике физической модели для изучения процессов акустооптического взаимодействия – акустооптической ячейке, предложено её использование в качестве структурного элемента устройства временного уплотнения-разуплотнения данных в оптических вычислительных средствах, отличающееся тем что процесс АОВ в АОЯ реализован на стоячей акустической волне.

Предложена математическая модель акустооптического взаимодействия на стоячей акустической волне в виде интенсивности выходного лазерного пучка (3,4), причем интенсивности как дифрагированного так и недифрагированного ЛП модулируются с удвоенной частотой акустической волны.

Предложено величины I_{0t}/I_i и I_{1s}/I_i , в уравнениях (3) и (4), назвать модуляционными функциями $S_0(t)$ и $S_1(t)$ соответственно. Учитывая временную зависимость модуляционной функции S (рис. 1), рекомендовано выделить два типа рабочих мод АОВР, устройства, основным структурным элементом которого является АОЯ на стоячей акустической волне. Первая, показанная на рис. 1б, характеризуется частотой акустической волны, равной четверти частоты следования оптической последовательности импульсов или любой нечетной гармонике. Вторая, показанная на рис. 1в, характеризуется частотой акустической волны, равной $1/6$ частоты следования оптических импульсов или частоте, кратной произведению $(3n+1)$ или $(3n+2)$ на частоту следования, где n – целое число.

Проведено экспериментальное исследование макета акустооптического временного разуплотнителя данных. Используемая структура аппаратных средств макета позволила показать, что режим разуплотнения порядка 4 Гбит/с вполне реален для данного типа устройств при двухполяризованном уплотнении. Установлено, что факторами, определяющими перекрестные искажения такого АОВР, являются: недостаточный по длительности временной интервал между смежными оптическими импульсами; неоптимальная мощность акустической волны, обусловленная отсутствием методов её метрологического контроля; ошибками во временной синхронизации серии оптических импульсов стоячей акустической волной.

Предложены варианты структуры АОВР для систем временного уплотнения - разуплотнения, где отдельные каналы поляризованы в одном направлении.

Список литературы: 1. Козанне А., Флере Ж., Мэтр Г., Руссо М. Оптика и связь: оптическая передача и обработка информации: Пер. с франц. М.: Мир. 1984. 2. Данилов В.В. Классификационный анализ устройств управления лазерным пучком // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2000. №2-3. С. 52 – 57. 3. Данилов В.В. Установка диффузионной термокомпрессионной сварки // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 1999. №5-61 С. 28-30.