

07;08
©1995

ЦИФРОВОЙ МОДУЛЯТОР СВЕТА НА ОСНОВЕ СВЯЗАННЫХ АКУСТООПТИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ

А.С.Щербаков, И.Б.Позднов

В работах [1,2] теоретически и экспериментально изучен эффект локализации огибающей рассеянной световой волны при коллинеарном рассеянии света одиночными ультразвуковыми импульсами в случае слабой связи, когда при выполнении определенных условий, накладываемых на характеристики распространяющегося в среде ультразвукового импульса, в области взаимодействия формируются связанные с ультразвуковым импульсом и локализованные внутри него импульсы огибающих падающей и рассеянной световых волн. При этом интенсивность рассеянной световой волны отлична от нуля только в области взаимодействия. По достижении связанным состоянием границы среды происходит его разрыв и на выходе наблюдается импульс рассеянной световой волны. Этот эффект можно рассматривать как процесс модуляции света на выходе среды ультразвуковым (или, что то же, электрическим) импульсом. Целью представленной работы является теоретическое и экспериментальное исследование возможности построения цифрового акустооптического модулятора света с использованием эффекта локализации оптической компоненты связанного состояния при коллинеарном акустооптическом взаимодействии.

Рассмотрим процесс рассеяния непрерывного светового потока последовательностью ультразвуковых импульсов с огибающей прямоугольной формой, возбуждаемых электрическим сигналом в виде цифрового кода:

$$U_{in} = U_0 \sum_{k=0}^{n-1} b_k u(t - kT); \quad u(t) = \theta(t)\theta(\tau_0 - t), \quad (1)$$

где $b_k \in \{0,1\}$ — значение k -го двоичного разряда в n -разрядном слове, U_0 — амплитуда огибающей радиоимпульсов, T и τ_0 — период следования и длительность символьных импульсов в двоичном слове, $\tau_0 \leq T$, $\theta(t)$ — ступенчатая функция. Соответственно электрическому сигналу (1) в среде возбуждается последовательность ультразвуковых импульсов волны смещения: $S = S_0 \sum_{k=0}^{n-1} b_k u(t - kT - \frac{x}{V})$,

где V — скорость звука в среде, S_0 — амплитуда огибающей ультразвуковой волны. Будем предполагать, что длительность ультразвуковых импульсов τ_0 кратна длительности парциального импульса локализации τ [2]: $\tau_0 = N\tau$. Тогда интенсивность рассеянной световой волны в области пространства $V(t - nT) \leq x \leq V \cdot t$, занимаемым двоичным n -разрядным словом описывается выражением

$$I_S = I I_0 \sum_{k=0}^{n-1} b_k u \left(t - kT - \frac{x}{V} \right) \cdot \sin^2 \left[\frac{\pi}{\tau} \left(t - kT - \frac{x}{V} \right) \right], \quad (2)$$

где I — эффективность локализации, I_0 — интенсивность падающего модулируемого света. Распределение интенсивности рассеянной волны (2) представляет собой последовательность оптических импульсов, содержащую до n независимых друг от друга N -импульсных локализованных состояний и соответствующую входному электрическому информационному сигналу в коде 1В1В, трансформированному в код 1ВNВ в реальном масштабе времени. Эффективность процесса модуляции по аналогии с [2] определяется эффективностью локализации связанного состояния. Таким образом, использование последовательностей локализованных состояний делает возможным построение акустооптического модулятора света, обеспечивающего формирование многоразрядных двоичных слоев в коде 1ВNВ. Численные оценки показывают, что при коллинеарном рассеянии света с длиной волны 0.63 мкм, например, на продольной упругой волне с частотой около 1 ГГц, распространяющейся вдоль оси [100] в кристалле LiNbO₃ ($M_2 = 7 \cdot 10^{-15}$ с³/кг; $V = 6.57 \cdot 10$ м/с) при управляющей акустической мощности 1 Вт можно формировать многоразрядные цифровые оптические последовательности с длительностью символического импульса до 10 нс при эффективности 0.55%.

Оптическая схема рассматриваемого модулятора, в значительной степени аналогичная схеме коллинеарного акустооптического фильтра, изображена на рис. 1, где 1 — поляризатор, 2 — акустооптическая ячейка, 3 — анализатор. Интенсивность рассеянной волны на выходе акустооптической ячейки I_S содержит импульсы, соответствующие формированию состояний как на входной грани ячейки, так и на выходной, то есть происходит удвоение входной последовательности импульсов [2]. Во избежание влияния этого эффекта модулятор должен содержать оптический ключ 4, отсекающий одну из выходных последовательностей оптических импульсов. Период срабатывания оптического ключа определяется временем задержки ячейки t_d , что существенно облегчает режим работы оптического ключа. На рис. 1

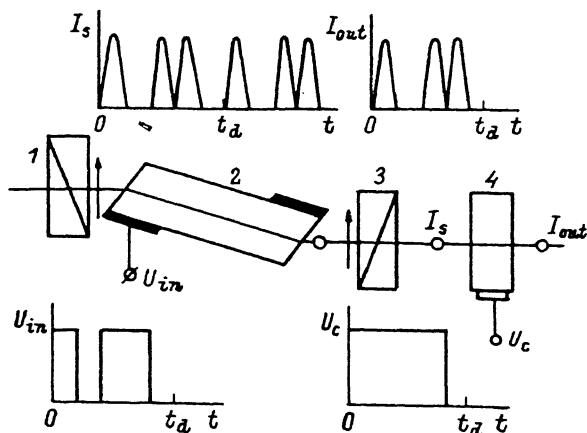


Рис. 1. Оптическая схема и временные диаграммы работы модулятора.

представлены также и временные диаграммы, характеризующие динамику формирования 4-разрядной последовательности символьных импульсов в коде 1В1В: U_{in} — входной электрический сигнал, I_s — интенсивность рассеянной волны до оптического ключа, U_c — сигнал управления оптическим ключом, I_{out} — выходной оптический сигнал модулятора. Наличие оптического ключа приводит к появлению пауз в выходном оптическом сигнале модулятора I_{out} . Эта особенность работы модулятора может быть естественно использована, например, при временном уплотнении нескольких параллельных информационных каналов.

Для проведения эксперимента по модуляции света электрическими сигналами в виде многоразрядного цифрового кода была использована акустооптическая ячейка со звуководом из кристаллического кварца со следующими параметрами: время задержки ячейки 20 мкс, скорость ультразвуковой волны $4.5 \cdot 10$ м/с. Частота фазового синхронизма коллинеарного акустооптического взаимодействия на длине волны света 0.63 мкм была равна 54 Мгц. Для получения возможно большей разрядности двоичного слова скважность модулирующих импульсов была выбрана равной единице, так что $\tau_0 = T$, а для увеличения эффективности процесса модуляции был использован код 1В1В, то есть $N = 1$. На рис. 2, а представлена осциллограмма, характеризующая интенсивность рассеянной световой волны после анализатора при подаче входного сигнала соответствующего двоичному 8-разрядному слову. Длительность одного символьного импульса при этом составляла $\tau_0 = 2.5$ мкс.

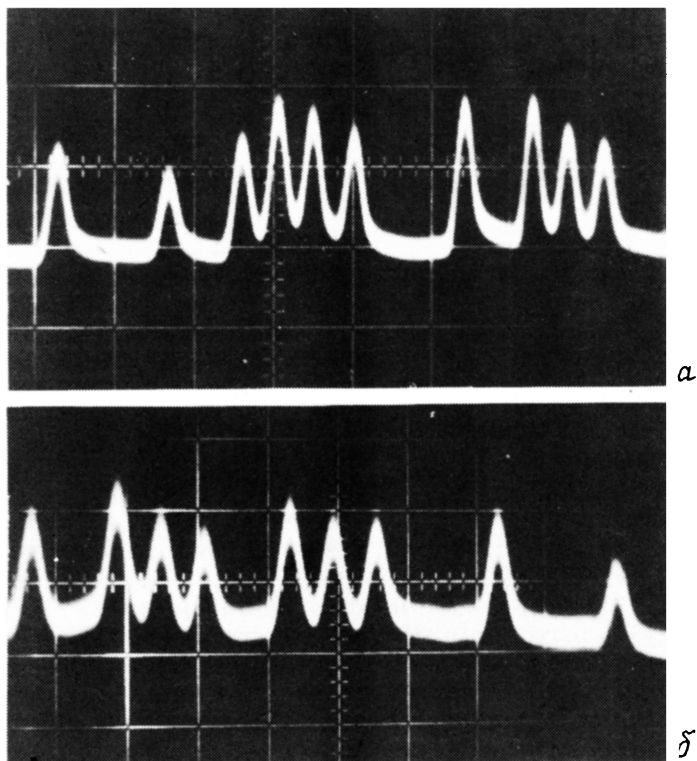


Рис. 2. Осциллограммы интенсивности.

a — после анализатора при входном сигнале, соответствующем 8-разрядному двоичному слову 10010111; *б* — 16-разрядное двоичное слово 1011101110010010 на выходе модулятора.

На осциллограмме присутствуют две последовательности символьных импульсов 10010111, следующих друг за другом без какого-либо интервала и соответствующих формированию связанных состояний на входной и выходной гранях акустооптической ячейки. На рис. 2, *б* представлена осциллограмма сигнала на выходе модулятора соответствующая 16-разрядному слову 1011101110010010 на входе модулятора при длительности символьного импульса 1.25 мкс после исключения одной из последовательностей в выходном оптическом сигнале.

Таким образом, теоретически показана возможность использования эффекта локализации оптической компоненты

связанного акустооптического состояния для построения цифрового модулятора света. Экспериментально исследован модулятор, формирующий 16-разрядные двоичные слова с длительностью символьного импульса порядка 1 мкс.

Список литературы

- [1] Белокурова О.И., Щербаков А.С. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 18. С. 1-5.
[2] Щербаков А.С., Позднов И.Б. // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 15.

Санкт-Петербургский государственный
технический университет

Поступило в Редакцию
7 июля 1994 г.