

А. А. ЖМУДЬ  
(Новосибирск)

### МНОГОУРОВНЕВЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ НА ОСНОВЕ МНОГОЛУЧЕВОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА ФИЗО

В настоящее время известны различные оптические бистабильные и мультистабильные элементы на основе резонаторов Фабри — Перо [1], которые могут быть использованы в устройствах оптической обработки информации, при построении многоуровневой оптической логики и т. д. [2]. Существенным недостатком известных устройств является сложность идентификации состояний, так как каждый уровень мультистабильных оптических элементов на основе резонаторов Фабри — Перо характеризуется определенным уровнем мощности света на выходе данного элемента. В связи с этим усложняется сопряжение известных оптических элементов с выходными и исполнительными устройствами, увеличивается общее время обработки информации. В данной работе предлагается новый многоуровневый оптический элемент на основе многолучевого интерферометра Физо [3], в котором каждому уровню элемента соответствует определенный номер выхода устройства или комбинация выходов, что значительно упрощает идентификацию состояний элемента и его сопряжение с выходными устройствами и с цифровыми электронными системами. Работа описываемого элемента основана на эффекте пространственного сканирования интерференционных полос на выходе интерферометра Физо при изменении длины волны лазера, освещающего данный интерферометр. Схема предлагаемого устройства показана на рис. 1. Оно состоит из одночастотного перестраиваемого по длине волны лазера 1 с модулятором длины волны 2 и коллиматором 3, многолучевого интерферометра Физо 4 и фотоприемной линейки 5 из  $N$  фотоприемников.

Устройство работает следующим образом. Обрабатываемый сигнал поступает на вход многоуровневого оптического элемента и через модулятор 2 изменяет длину волны лазера 1 пропорционально входному сигналу. Излучение лазера проходит коллиматор 3 и поступает на многолучевой интерферометр Физо 4, на выходе интерферометра 4 образуется система эквидистантных интерференционных полос, положение которых по оси  $x$  зависит от длины волны лазера (ось  $x$  — ось, перпендикулярная ребру клина многолучевого интерферометра Физо и лежащая в плоскости локализации интерференционной картины) (рис. 2, а, б). Интерференционная картина на выходе интерферометра регистрируется линейкой фотоприемников 5 (см. рис. 1), ориентированной параллельно оси  $x$ . В соответствии с положением интерференционной полосы по оси  $x$  будет засвечен определенный  $i$ -й фотоприемник, а на  $i$ -м выходе оптического элемента появится сигнал в виде напряжения или тока в зависимости от типа используемых фотоприемников. При изменении длины волны лазера произойдет изменение положения интерференционных полос на выходе интерферометра 4 и соответственно изменится номер выхода элемента, на котором «появится» электрический сигнал. В результате определенному диапазону величин входного сигнала будет соответствовать вполне определенный номер выхода многоуровневого оптического элемента.

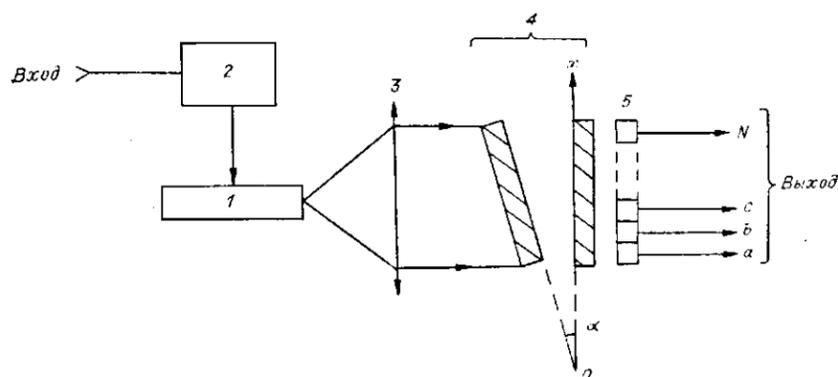
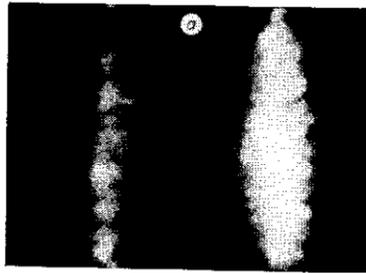


Рис. 1. Схема многоуровневого оптического элемента на основе многолучевого интерферометра Физо:

1 — лазер; 2 — модулятор длины волны; 3 — коллиматор; 4 — многолучевой интерферометр Физо; 5 — фотоприемная линейка из  $N$  фотоприемников

Рис. 2. Интерференционные полосы (а) и распределение интенсивности света (б) на выходе многолучевого интерферометра Физо с базой  $h = 110$  мм при освещении его полупроводниковым инжекционным лазером с длиной волны  $\lambda \sim 0,8$  мкм:

$\Delta L$  — полуширина интерференционной полосы;  $I$  — интенсивность света;  $x$  — ось, перпендикулярная ребру клина интерферометра Физо и направлению распространения лазерного луча



Быстродействие предлагаемого устройства будет характеризоваться постоянной времени

$$\tau_0 = \max(\tau_\lambda, \tau_\phi, \tau_n), \quad (1)$$

где  $\tau_\lambda$  — постоянная, характеризующая скорость модуляции длины волны лазера (при использовании инжекционных лазеров определяется скоростью изменения тока накачки);  $\tau_\phi$  — постоянная времени срабатывания фотоприемника фотоприемной линейки;  $\tau_n$  — время установления интерференционной картины, которое, в свою очередь, равно

$$\tau_n = 2nhF/c, \quad (2)$$

где  $h$  и  $F$  — база и острота интерферометра соответственно;  $c$  — скорость света;  $n$  — показатель преломления среды внутри интерферометра. Из уравнений (1) и (2) видно, что при  $F \sim 30$  и  $h \sim 0,01$  м в принципе может быть  $\tau_0 \sim 10^{-9}$  с.

Для нормальной работы элемента необходимо обеспечить сканирование длины волны используемого лазера на величину, равную области дисперсии интерферометра [4]:

$$\Delta\lambda_d = \lambda^2/2nh, \quad (3)$$

где  $\lambda$  — длина волны лазера. При использовании полупроводникового инжекционного лазера с длиной волны  $\lambda \sim 0,8$  мкм и интерферометра с  $h \sim 0,01$  м из уравнения (3) получим  $\Delta\lambda_d \sim 0,03$  нм. Перестроить длину волны инжекционного лазера на такой диапазон можно, изменив ток накачки на величину  $\Delta I \leq 4$  мА [5]. Если многоуровневый элемент имеет, например, сорок уровней, то для перевода его с уровня на уровень пучно соответственно изменить ток на  $\Delta I \leq 0,1$  мА. Поскольку падение напряжения на лазере равно  $\sim 1,5$  В, то для передачи одного бита информации требуется энергия  $\leq 10^{-13}$  Дж (при  $\tau_0 \sim 10^{-9}$  с).

Для исключения одновременной засветки нескольких фотоприемников размеры фотоприемной линейки по оси  $x$  должны быть меньше расстояния  $L$  между интерференционными полосами соседних порядков интерференции на выходе многолучевого интерферометра Физо (см. рис. 2), которое определяется углом клина  $\alpha$  данного интерферометра [4]:

$$L = \lambda/2n\alpha. \quad (4)$$

Обычно  $\alpha \sim 5 \div 20''$ , что дает при  $\lambda \sim 0,8$  мкм и количестве состояний оптического элемента  $N \sim 100$  размеры единичного фотоэлемента по оси  $x \sim 40 \div 160$  мкм.

Количество возможных состояний  $N$  предлагаемого элемента определяется остротой интерферометра. В общем случае  $N \sim F$ , поскольку полуширина интерференционных полос  $\Delta L$  равна [4]

$$\Delta L = L/F. \quad (5)$$

Увеличить количество состояний элемента можно либо посредством введения порога срабатывания для фотоприемников, либо используя несколько установленных параллельно друг другу и освещаемых одним лазером многолучевых интерферометров Физо с разными базами и с отдельными фотоприемными линейками для каждого интерферометра (рис. 3). Если использовать  $p$  интерферометров с базами

$$h_{j+1}/h_j = N_j, \quad (6)$$

где  $j = 1, 2, \dots, p$ ;  $N_j$  — количество состояний интерферометра с базой  $h_j$ , то полное количество состояний такого составного многоуровневого элемента

$$N_\Sigma = \prod_{j=1}^p N_j = N_p \frac{h_p}{h_1} \quad (7)$$

при количестве выходов  $u$  элемента

$$M = \sum_{j=1}^p N_j, \quad (8)$$

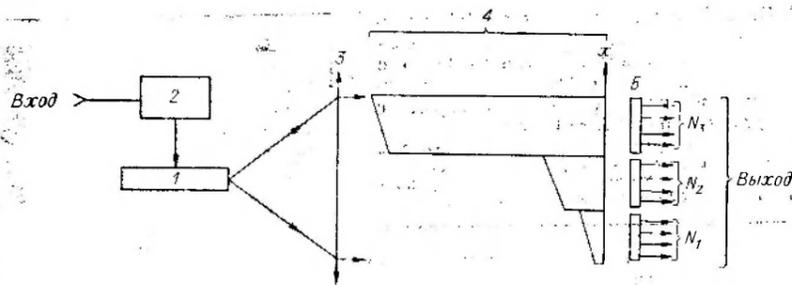


Рис. 3. Схема составного многоуровневого оптического элемента на основе трех интерферометров Физо с разными базами и отдельной фотоприемной линией для каждого интерферометра. Обозначения те же, что и на рис. 1

так как каждому состоянию интерферометра с базой  $h_j$  будет соответствовать  $N_{j+1}$  состояний интерферометра с базой  $h_{j+1}$ . Из уравнения (7) видно, что полученный составной многоуровневый оптический элемент представляет собой  $p$ -разрядный элемент с переменным основанием  $N_j$ .

Соединив определенным образом выходы элемента с выходными или исполнительными устройствами, например с ячейкой памяти, можно осуществлять кодировку или цифровую обработку сигналов практически в реальном масштабе времени.

В частности, если наличие сигнала на  $i$ -м выходе многоуровневого оптического элемента принять за логическую «1», а отсутствие сигнала — за логический «0», то получим быстродействующий аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Если для этой цели использовать составной оптический элемент из трех интерферометров (см. рис. 3), то при  $h_3 = 140$  мм,  $h_2 = 4$  мм,  $h_1 = 0,1$  мм и  $N_1 = 40$ ,  $N_2 = 35$ ,  $N_3 = 100$  общее количество уровней дискретизации будет равно (см. таблицу).

$$N_x = 140\,000 > 2^{17} \text{ при } M = 175, \quad (9)$$

т. е. в принципе можно построить 17-разрядный АЦП по основанию 2 с быстродействием  $\tau \sim 10^{-8}$  с. Для работы такого АЦП необходимо иметь лазер, перестраиваемый по длине волны на величину  $\sim 3,0$  нм.

Если подключить выходы многоуровневого оптического элемента с одним интерферометром Физо к формирователю импульсов, получим регулируемый умножитель частоты с регулировкой коэффициента умножения  $K_x$  по амплитуде входного сигнала  $U_{вх}$  (рис. 4):

$$K_x = \left[ \frac{U_{вх}}{U_{max}} \right] \left[ \dot{N} \frac{U_{max}}{U_{\Delta\lambda}} \right], \quad (10)$$

где  $U_{max}$  — максимальное значение входного сигнала, обеспечивающее непрерывное линейное изменение длины волны используемого лазера;  $U_{\Delta\lambda}$  — значение напряжения, необходимого для изменения длины волны лазера на величину, равную области дисперсии интерферометра;  $[a]$  — целая часть числа  $a$ .

**Принцип кодирования состояний составного многоуровневого оптического элемента из трех интерферометров Физо при использовании его в качестве АЦП по основанию 2**

Номера выходов, на которых появился электрический сигнал			Номер состояния	Число в двоичной ячейке памяти	Номера выходов, на которых появился электрический сигнал			Номер состояния	Число в двоичной ячейке памяти
$j=1^*$	$j=2$	$j=3$			$j=1^*$	$j=2$	$j=3$		
1	1	1	1	1	1	1	$N_1 + 1$	1 ... 011	
1	1	2	2	10	1	2	$N_2 + 2$	1 ... 100	
1	1	3	3	11	1	3	$N_3 + 3$	1 ... 101	
1	1	4	4	100	...	...	...	...	
...	...	...	...	...	$N_1$	$N_2$	$N_3 - 1$	$\left( \prod_{j=1}^3 N_j \right) - 1$	1101 ... 100
1	1	$N_3$	$N_3$	1 ... 010	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$\prod_{j=1}^3 N_j$	1101 ... 101

\*  $j$  — номер интерферометра.

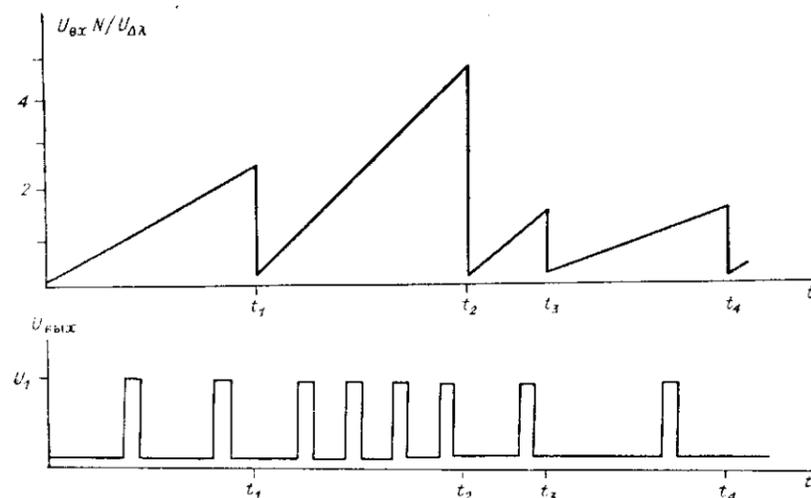


Рис. 4. Эпюры напряжений, иллюстрирующие работу многоуровневого оптического элемента в регулируемом умножителе частоты:  
 $U_{вх}$  — напряжение на входе элемента;  $U_{вых}$  — напряжение на выходе формирователя импульсов;  $t$  — время

Приведенные примеры показывают, что предлагаемый многоуровневый оптический элемент позволяет существенно упростить процесс преобразования информации и увеличить скорость ее обработки за счет существенного упрощения идентификации уровней состояний элемента и может быть использован при построении многоуровневой оптической логики, в быстродействующих АЦП, регулируемых умножителях частоты и т. д.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gibbs H. M. Optical bistability: controlling light with light.— N. Y.: Academic Press, 1985.
2. Smith P. W., Turner E. H., Maloney P. J. Electrooptic nonlinear Fabry-Perot devices // IEEE J. of Quant. Electron.— 1978.— QE-14, N 3.— P. 207.
3. А. с. 1509809 СССР. Оптический мультистабильный элемент/А. А. Жмудь.— Опубл. 23.09.89, Бюл. № 35.
4. Бори М., Вольф Э. Основы оптики.— М.: Наука, 1973.
5. Жмудь А. А. Перестраиваемые характеристики полупроводниковых инжекционных лазеров // Автометрия.— 1989.— № 2.

Поступило в редакцию 29 сентября 1988 г.

УДК 63.072 : 681.3

В. С. ЛОПАТИН, И. Е. МЕДВЕДКОВА, В. Е. МЕЖОВ  
 (Воронеж)

#### РЕАЛИЗАЦИЯ ИЕРАРХИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПАКЕТЕ ПРИАМ

Разработка пакета программ иерархического алгоритмического моделирования (ПРИАМ) [1], который осуществляет поведенческое моделирование проектов вычислительных систем, обеспечивает возможность организации сквозного цикла автоматизированного проектирования различных изделий, и в первую очередь полужаказных БИС на системах проектирования типа «Кулон-4». В данной заметке описан основной алгоритм моделирования, заложенный в основу пакета.

Проекты вычислительных систем, моделируемые с помощью пакета ПРИАМ, могут содержать широкий диапазон уровней абстракции (системный, архитектурный, регистровый, логический).

© 1990 Лопатин В. С., Медведкова И. Е., Межов В. Е.