



УДК 535.8

В. В. Каменский

Ростовский государственный университет путей сообщения

Оптический счетчик на основе телескопических нанотрубок

Рассмотрены структура и принцип действия оптического счетчика, построенного на основе нановолокнистой технологии и телескопических нанотрубок.

Оптические устройства обработки информации, оптические нановолокна, телескопические нанотрубки, оптический нановолоконный Y-разветвитель, оптический нановолоконный объединитель

При построении современных систем контроля и управления производственными процессами одной из задач является подсчет произошедших событий или временных интервалов. Для решения указанной задачи используются счетчики – устройства, обеспечивающие подсчет входных импульсов.

Существующие счетчики, изготовленные на основе электронных элементов [1], не обладают достаточным быстродействием, а применение разработанных оптических счетчиков [2], [3] не позволяет их реализовать в наноисполнении, что существенно ограничивает возможности миниатюризации конечных устройств.

Для решения указанной проблемы в настоящей статье предложен способ построения счетчика на оптических элементах, реализация которых возможна в наноисполнении. Такими элементами являются хорошо изученные и апробированные на сегодняшний день телескопические нанотрубки (ТНТ) и оптические нановолокна [4], [5].

В основе работы оптического счетчика лежат телескопические нанотрубки, представляющие собой пару вложенных одна в другую нанотрубок.

Варианты технического исполнения оптических нановолоконных каналов связи описаны в [6]. При этом различные соединения оптических нановолокон, как оптических нановолоконных объединителей, так и оптических нановолоконных Y-разветвителей, в настоящее время могут быть осуществлены как на основе наноструктурированных пористых стекол [7], [8], так и на основе фотонно-кристаллических световодов [9].

В качестве базовых элементов оптического счетчика используется коммутатор и счетный элемент. Оптическая схема коммутатора представлена на рис. 1, где В1, В2 – оптические нановолокна; V_{x11}, \dots, V_{x1N} ; V_{y11}, \dots, V_{y1N} – первая группа входных и выходных оптических нановолокон соответственно; V_{x21}, \dots, V_{x2N} ; V_{y21}, \dots, V_{y2N} – вторая группа входных и выходных оптических нановолокон соответственно.

Рассмотрим принцип действия коммутатора. Телескопические нанотрубки располагаются между оптическими нановолокнами В1 и В2 по оси распространения их выходных оптических сигналов (ОС). Под воздействием разности сил световых потоков (разность оптических мощностей 1...5 Вт создает

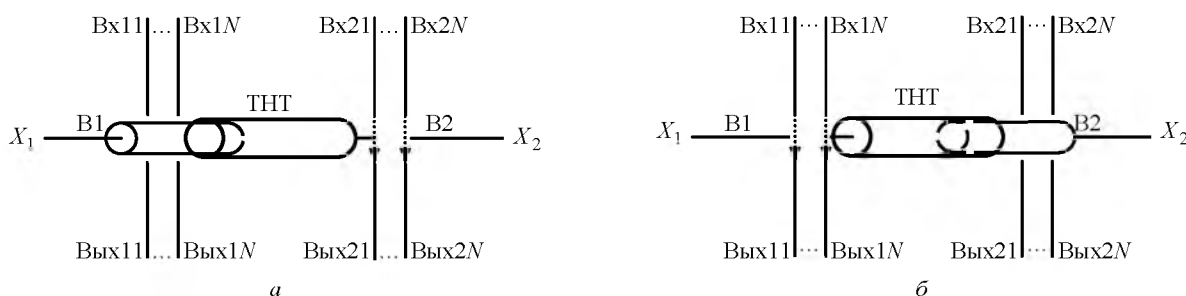


Рис. 1

разность сил 5...15 нН) внутренняя нанотрубка перемещается в сторону оптического потока с меньшей интенсивностью (минимально необходимая сила для перемещения нанотрубки составляет единицы аттоньютон (1 аН = 10⁻¹⁸ Н)).

Если интенсивность информационного ОС X_1 , подаваемого в оптическое нановолокно В1, меньше, чем интенсивность постоянного ОС X_2 , поступающего в оптическое нановолокно В2 от калиброванного источника излучения (например, $X_1 = 0$, $X_2 = 0.5$ условной единицы (у. е.)), то внутренняя нанотрубка будет находиться в крайнем левом положении и разорвет оптические связи между первой группой входных V_{x11}, \dots, V_{x1N} и выходных V_{y11}, \dots, V_{y1N} оптических нановолокон (см. рис. 1, а). Одновременно сформируется оптическая связь между второй группой входных V_{x21}, \dots, V_{x2N} и выходных V_{y21}, \dots, V_{y2N} оптических нановолокон.

Если интенсивность ОС, поступающего в оптическое нановолокно В1, больше, чем интенсивность ОС, подаваемого в оптическое нановолокно В2 (например, $X_1 = 1$ у. е., $X_2 = 0.5$ у. е.), внутренняя нанотрубка из крайнего левого положения переместится в крайнее правое и разорвет оптические связи между второй группой входных V_{x21}, \dots, V_{x2N} и выходных V_{y21}, \dots, V_{y2N} оптических нановолокон, создав при этом оптическую связь между первой группой входных V_{x11}, \dots, V_{x1N} и выходных V_{y11}, \dots, V_{y1N} оптических нановолокон (см. рис. 1, б).

Таким образом, при наличии на входе X_1 коммутатора ОС с интенсивностью 1 у. е. присутствуют оптические связи между первой группой входных V_{x11}, \dots, V_{x1N} и выходных V_{y11}, \dots, V_{y1N} оптических нановолокон, а при наличии ОС с интенсивностью 0 у. е. присутствуют оптические связи между второй группой входных V_{x21}, \dots, V_{x2N} и выходных V_{y21}, \dots, V_{y2N} оптических нановолокон.

На базе рассмотренной схемы коммутатора разработан счетный элемент, также используемый в оптическом счетчике (рис. 2). К выходам второй группы выходных оптических нановолокон V_{y21}, \dots, V_{y2N} подключен объединитель О, а его выход подключен ко входу оптического нановолокна В1. Установка счетного элемента в исходное (нулевое) состояние происходит подачей ОС с интенсивностью 2 у. е. на вход оптического нановолокна В2. В результате внутренняя нанотрубка переместится в крайнее левое (исходное) положение (рис. 2, а). После перемещения нанотрубки ОС со входа В2 снимается.

Подача на вход нановолокна V_{x21} ОС с интенсивностью 1 у. е. приведет к появлению на выходе оптического объединителя О сигнала такой же интенсивности. Под действием этого сигнала, поданного на вход нановолокна В1, внутренняя нанотрубка из крайнего левого положения переместится вправо до разрыва оптической связи между входным V_{x21} и выходным V_{y21} нановолокнами. При этом ОС на входе и выходе О и, следовательно, на входе В1 станет равен нулю, и внутренняя нанотрубка остановится в положении "1". При этом имеется оптическая связь между входным V_{x11} и выходным V_{y11} нановолокнами, а связи между остальными входными и выходными нановолокнами этой группы разорваны (рис. 2, б).

При подаче на вход нановолокна V_{x22} ОС с интенсивностью 1 у. е. внутренняя нанотрубка из положения "1" переместится на один шаг вправо до разрыва оптической связи между второй парой входных и выходных нановолокон (V_{x22}, V_{y22}). ОС на выходе О вновь станет равен нулю, а внутренняя нанотрубка остановится в положении "2", обеспечивая оптическую связь между входными V_{x11}, V_{x12} и выходными V_{y11}, V_{y12} волокнами соответственно и препятствуя связям между остальными входными и выходными нановолокнами этой группы (рис. 2, в).

Таким образом, при подаче на вход N входного нановолокна второй группы V_{x2N} ОС интен-

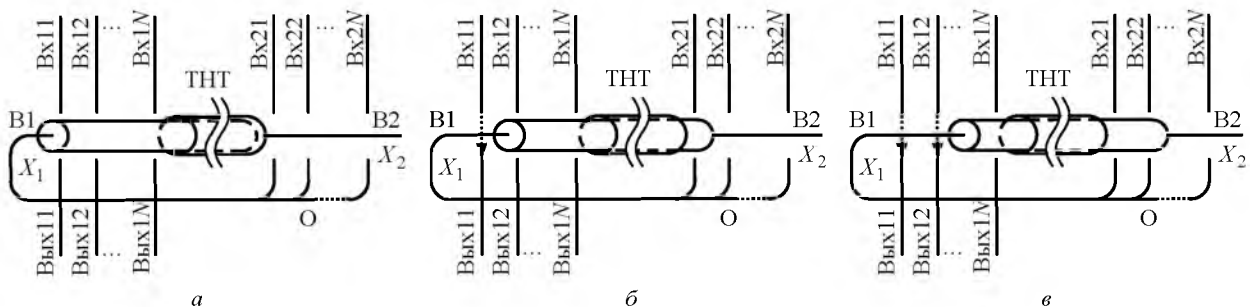


Рис. 2

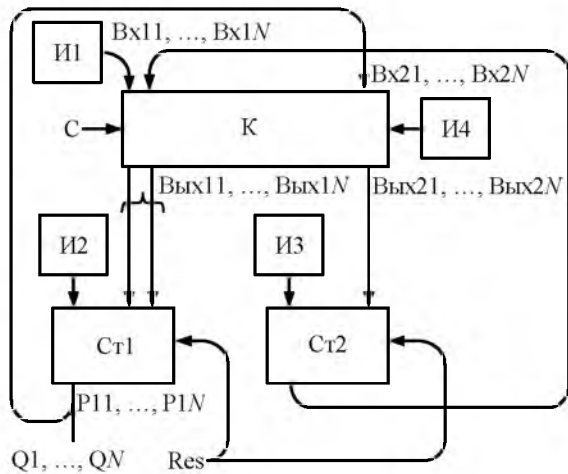


Рис. 3

сивностью 1 у. е. внутренняя нанотрубка из положения " $N - 1$ " переместится в положение " N ".

На рис. 3 показана структурная схема оптического счетчика: К – оптический коммутатор; Ст1, Ст2 – оптические счетные элементы; И1–И4 – источники постоянного ОС; P11, ..., P1N – группа оптических Y-разветвителей; Vx11, ..., Vx1N; Vых11, ..., Vых1N – первые группы входных и выходных оптических нановолокон коммутатора соответственно; Vx21, ..., Vx2N; Vых21, ..., Vых2N – вторые группы входных и выходных оптических нановолокон коммутатора соответственно.

Выходы оптических разветвителей P11, ..., P1N подключены ко входам Vx21, ..., Vx2N коммутатора. Выходы Ст2 с номерами 1, ..., $N - 1$ подключены ко входам Vx12, ..., Vx1N коммутатора. На Vx11 коммутатора К подан постоянный ОС от источника И1, N -й выход ячейки Ст2 не используется.

Принцип работы оптического счетчика основан на том, что при подаче на счетный вход С ОС с уровнем 1 у. е. переключается первая счетная ячейка Ст1 и подготавливаются ОС для переключения второй счетной ячейки Ст2. Вторая счетная ячейка Ст2 переключается при подаче на указанный вход уровня 0 у. е., при этом подготавливаются ОС для переключения счетной ячейки Ст1.

Перед началом работы оптический счетчик устанавливается в нулевое состояние подачей импульсного ОС на вход сброса Res. Этот сигнал через разветвитель поступает на входы сброса счетных ячеек Ст1 и Ст2. В результате внутренние нанотрубки в счетных ячейках Ст1 и Ст2 переместятся в крайние левые положения. ОС на выходах счетного элемента Ст1 и на выходах оптических Y-разветвителей P11, ..., P1N будут равны 0 у. е. Интенсивность сигналов на выходах Q1,

..., QN также будет равна 0 у. е. Постоянные ОС с выходов источников И2 и И3 поступают на все входные нановолокна первых групп Ст1 и Ст2, однако на выходы не проходят.

Счетный импульс с интенсивностью 1 у. е. подается на вход С. При этом внутренняя нанотрубка в коммутаторе К переместится в крайнее правое положение. Постоянный ОС с выхода источника И1, пройдя через коммутатор К и нановолокно Vых11, переключит счетный элемент Ст1 из состояния "0" в состояние "1".

Через открывшуюся связь между первыми входным и выходным волокнами первой группы Ст1 и Y-разветвитель P11 ОС поступит на выход Q1 устройства и на нановолокно Vx21 коммутатора К. ОС на выходе Q1 будет равен 1, сигналы на остальных выходах устройства будут равны 0.

При подаче на вход С сигнала интенсивностью 0 у. е. внутренняя нанотрубка в коммутаторе К переместится в крайнее левое положение. Через открывшуюся связь ОС с выхода Ст1 поступит через V21 на вход счетного элемента Ст2, который переключится из состояния "0" в состояние "1". ОС с выхода счетного элемента Ст2 поступит на нановолокно Vx12 коммутатора К.

При подаче на вход С второго счетного импульса внутренняя нанотрубка в коммутаторе К вновь переместится в крайнее правое положение. ОС с нановолокна Vx12 через открывшуюся связь с выходным нановолокном поступит на Ст1, что вызовет его переключение из состояния "1" в состояние "2". При этом откроются связи между нановолокнами Vых11, Vых12 и соответствующими им выходными нановолокнами Ст1. ОС через разветвители P11 и P12 поступят на выходы Q1 и Q2. На остальных выходах сохранится уровень 0 у. е. Через другие выходы указанных разветвителей ОС поступят на первые два входных нановолокна Vx21 и Vx22 коммутатора К, подготавливая переключение Ст2 в состояние "2".

При возврате сигнала на входе С к интенсивности 0 у. е. внутренняя нанотрубка в коммутаторе К вновь переместится в крайнее левое положение. ОС через открывшиеся связи между нановолокнами Vx21 и Vых21, Vx22 и Vых22 коммутатора К переключат счетный элемент Ст2 из состояния "1" в состояние "2". ОС с выходов Ст2 поступят на нановолокна Vx12 и Vx13 коммутатора К, подготавливая переключение Ст1 в состояние "3".

Таким образом, каждый раз при подаче на счетный вход С оптического сигнала интенсивностью 1 у. е. состояние счетного элемента Ст1 бу-

дет увеличиваться на единицу, а при подаче на этот вход оптического сигнала интенсивностью 0 у. е. будет увеличиваться на единицу состояние счетного элемента Ст2. Информация на выходах Q1, ..., QN изменяется по переднему фронту счетного импульса. В результате количество ОС с уровнем "1" на выходах Q1, ..., QN будет соответство-

вать количеству поданных на вход С оптических импульсов.

Простота описанного оптического счетчика и возможность наноразмерного исполнения делают его весьма перспективным при разработке и создании оптических вычислительных наномашин и приемопередающих наноустройств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. М.: Мир, 1998. 704 с.
2. Соколов С. В., Каменский В. В. Оптический реверсивный счетчик // Изв. вузов. Радиоэлектроника. 2007. Т. 50, № 8. С. 76–80.
3. Соколов С. В., Бугаян И. Р. Схемотехника оптических компьютеров / Изд.-полигр. комплекс Ростовского гос. эконом. ун-та "РИНХ". Ростов н/Д, 2007. 218 с.
4. Quanshui Zheng, Qing Jiang. Multiwalled carbon nanotubes as gigahertz oscillators // Phys. rev. lett. 2002. Vol. 88, iss. 4. P. 045503(3).
5. Arunkumar S., Nelson B. J., Lixin Dong. Carbon nanotubes for nanorobototechnology // Nanotoday. 2007. Vol. 2, iss. 6. P. 12–21.
6. Оптика наноструктур / под ред. А. В. Федорова. СПб.: Недра, 2005. 326 с.
7. Antropova T., Petrov D., Yakovlev E. Porous glasses as basic matrixes of the microoptical devices: effect of composition and leaching conditions of the initial phase-separated glass // Phys. chem. glasses. 2007. Vol. 48, № 5. P. 324–327.
8. Petrov D. V., Yakovlev E. B., Antropova T. V. Laser based processing of porous glass for micro optical devices // Fundamentals of laser assisted micro- and nanotechnologies (FLAMN-07): Int. conf., June 25–28, 2007, Saint-Petersburg. Workshop "Laser cleaning and artworks conversation" (LCAC). Abstract. SPb.: ITMO, 2007. P. 44.
9. Желтиков А. М. Развитие технологии фотонно-кристаллических световодов в России // Рос. нанотехнологии. 2007. Т. 2, № 1–2. С. 70–78.

V. V. Kamenskij
Rostov state transport university

Optical counter on the basis of telescopic nanotubes

The structure and the principle of operation of the optical counter constructed on the basis of the nanowaveguide technology and telescopic nanotubes are considered.

Information processing optical devices, optical nanofibres, multiwalled nanotubes, optical nanofibers Y-splitter, optical nanofibres combiner

Статья поступила в редакцию 15 сентября 2014 г.