

УДК 671.327.1

С. В. Соколов

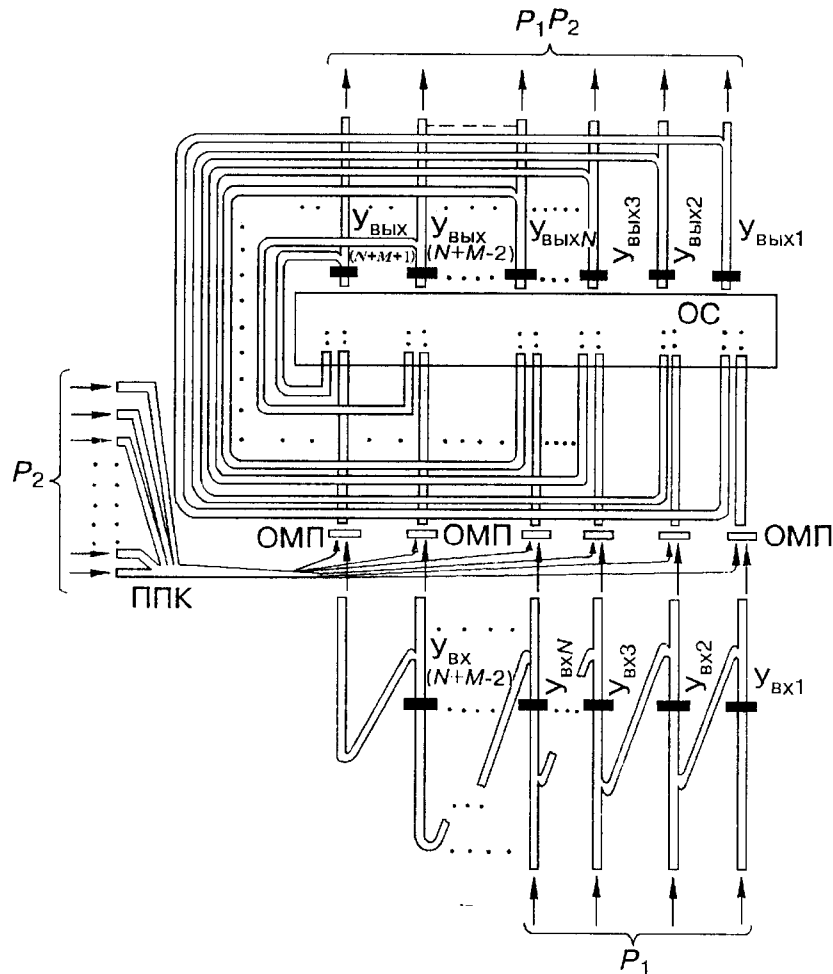
*(Ростов-на-Дону)***О ПОСТРОЕНИИ ВОЛНОВОДНО-ОПТИЧЕСКОГО
ДВОИЧНОГО УМНОЖИТЕЛЯ ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ ЦВМ**

Рассмотрены функциональная схема и принцип действия цифрового двоичного умножителя, построенного на основе совместного использования волноводной оптики и оптических бистабильных элементов. Показана возможность его применения в качестве базового элемента арифметических устройств чисто оптических ЦВМ.

Синтез оптических компьютеров (ОК), использующих в качестве управляющих и информационных сигналов только оптические, определяет в настоящее время одно из центральных направлений развития нетрадиционных информационных технологий. Среди наиболее перспективных концепций следует особо выделить концепцию синтеза цифровых ОК, применяющих стандартное двоичное представление информации. В отличие от функциональных схем ЦВМ, построенных на основе кодирования в остаточных классах и реализованных в оптоэлектронном исполнении [1], конструкция основных функциональных узлов таких ОК допускает, во-первых, гораздо более простую, а во-вторых, чисто оптическую реализацию [2], обладающую потенциально возможным для оптической технологии быстродействием. Но главное, отпадает необходимость в решении серьезных проблем создания сложных кодовых модульных преобразователей [1] и новых модулярно-ориентированных трансляторов языка.

Кроме того, максимальное использование свойств волноводной оптики и оптических бистабильных элементов позволяет осуществлять нетрадиционное решение задач синтеза базовых функциональных элементов ОК, обеспечивающее, наряду с высоким быстродействием, их минимальный приборный состав [2]. Подобные возможности синтеза цифровой оптики позволяют также обеспечить оптимальную с точки зрения быстродействия и приборного исполнения реализацию более сложных функциональных элементов, выполняющих уже неэлементарные операции над двоичными кодами. В качестве примера такого синтеза рассмотрим схему и принцип действия оптического умножителя, обеспечивающего выполнение операции двоичного умножения M - и N -разрядного кодов практически в реальном масштабе времени.

На рисунке представлена функциональная схема оптического умножителя, основным элементом которой является оптический двоичный сумматор (ОС). Так как входной и выходной сигналы данного сумматора оптические, то с учетом упомянутого требования к быстродействию суммирования в качестве ОС можно, например, использовать сумматор, предложенный в [2]. Время срабатывания одного разряда такого сумматора, содержащего лишь оптические волноводы и пару оптических бистабильных элементов (ОБЭ), будет определяться, по существу, временем срабатывания последних. Существующие варианты исполнения ОБЭ (на основе использования трансфазоров [1], оптически связанных волноводов [1, 3], гибридных (оптоэлектронных) интегральных схем [3]) позволяют оценить нижнюю границу времени срабатывания



τ_{inf} двух последовательно включенных ОБЭ как $\tau_{inf} \approx 10^{-10}$ с. Действительно, в наименее быстродействующем варианте интегрально-оптического исполнения ОБЭ как гибридного бистабильного устройства резонаторного типа время его переключения составляет $\leq 10^{-9}$ с [3, с. 189, 190], в остальных случаях время срабатывания не превышает 10^{-10} с [1, 3]. В любом случае время срабатывания разряда используемого ОС оказывается на три-четыре порядка выше времени срабатывания ($10^{-5} \div 10^{-7}$ с) электронного аналога [4], что при наличии, как показано далее, оптических связей между разрядами, исключающих электронные синхронизирующие цепи и обеспечивающих практически мгновенную передачу информации, позволяет качественно (на 3–4 порядка) повысить быстродействие умножителя (например, для 16-разрядного умножителя, обладающего в электронном варианте исполнения быстродействием $\sim 5 \cdot 10^{-6}$ с [4, с. 55], в 10^3 раз).

Следует при этом отметить, что с целью минимизации и унификации функционального состава умножителя оптические бистабильные элементы используемого в сумматоре типа можно также взять в качестве входных ($y_{вх}$) и выходных ($y_{вых}$) усилителей оптического кода и, более того, в качестве оптических модуляторов-переключателей (ОМП). Подобное многофункциональное применение ОБЭ в данном случае оказывается возможным в силу двухуровневого («1» и «0») представления информационных сигналов и пороговой (двухуровневой) характеристики самих ОБЭ. Так, например, усиление интенсивности оптического сигнала в 2 раза, реализуемое входными и выход-

ными усилителями, обеспечивается подачей постоянного вспомогательного оптического сигнала интенсивностью 1 усл. ед. на вход ОБЭ с уровнем порога срабатывания 2 усл. ед. В этом случае при появлении единичного кодового оптического сигнала на входе ОБЭ на выходе последнего формируется сигнал интенсивностью 2 усл. ед. (При появлении нулевого кодового сигнала выходной сигнал будет отсутствовать.) При использовании ОБЭ в данной схеме в качестве ОМП порог его срабатывания выбирается равным $(1 + \epsilon)$ усл. ед. (ϵ — интенсивность сигнала управления), сигнал на выходе ОМП появляется лишь при одновременном формировании на его входе кодовой «1» и сигнала переключения «ε». Очевидно, что упрощения приборной реализации схемы умножителя можно добиваться и другими путями, например, использованием в качестве ОМП попарно связанных или туннельно-связанных кубических нелинейных оптических волноводов [3], применением в качестве усилителей активных волноводов и т. д. Таким образом, рассматриваемый оптический умножитель может быть в принципе полностью реализован в виде единой пространственно-распределенной системы оптических волноводов, что делает его схему весьма привлекательной с точки зрения простоты исполнения и миниатюризации. Однако для ясности последующего описания работы умножителя все его усилители и ОМП будем рассматривать как отдельные функциональные элементы.

Кроме упомянутых элементов, в схеме умножителя необходимо выделить еще три функционально законченных волноводно-оптических узла: последовательно соединенные разветвители сдвига N -разрядного кода множимого P_1 , объединенные разветвители преобразователя параллельного M -разрядного кода множителя P_2 в последовательный и кольцевые разветвители обратной связи ОС. Принципы действия данных волноводно-оптических схем просты и ясны из рисунка. Так, в разветвителях сдвига при поступлении на вход N -разрядного кода множимого P_1 (младший разряд поступает на вход первого оптического усилителя $У_{\text{вх}1}$) после усиления оптического сигнала каждого разряда, компенсирующего последующее разветвление светового потока, он поступает не только через ОМП в ОС, но и по боковому ответвлению в разветвление соседнего старшего разряда. Тем самым автоматически осуществляется сдвиг кода P_1 : временной шаг сдвига, определяемый суммарным временем срабатывания ОС и длительностью кодового импульса, регулируется выбором длины бокового ответвления. На соответствующем выборе длин оптических волноводов основан и принцип действия преобразователя параллельного кода в последовательный (ППК). Из схемы ППК, приведенной на рисунке, видно, что объединение оптических волноводных ответвлений с разностью длин соседних волноводов $\Delta L = C(\tau + T)$ (где C — скорость света, τ — длительность кодовых импульсов, T — интервал между импульсами на выходе ППК) за счет разного времени поступления в выходное ответвление ППК разрядных импульсов входного кода позволяет сформировать временную последовательность кодовых импульсов, соответствующую коду P_2 . При формировании в выходном ответвлении ППК единичного кодового импульса на входы всех ОМП по соответствующим оптическим волноводным разветвлениям поступают сигналы управления интенсивностью $\epsilon = (N + M - 1)^{-1}$ усл. ед., обеспечивающие срабатывание ОМП при поступлении единичных импульсов с выходов $У_{\text{вх}}$, т. е. прохождение кода множимого на вход ОС. При нулевом сигнале на выходе ППК код множимого на вход ОС не проходит (но при этом сдвигается на разряд в разветвителях сдвига). Таким образом, на входы ОС последовательно во времени поступают коды множимого P_1 , сдвинутые на соответствующее число разрядов. В каждом такте поступления таких кодов происходит их суммирование с выходным кодом-суммой ОС, подача которого с выхода на вход ОС обеспечивается кольцевыми ответвлениями обратной связи. Тем самым реализуется алгоритм двоичного умножения кодов P_1 и P_2 : время реализации переходного процесса, определяемое в основном временем срабатывания ОС t_2 , при M -разрядном коде P_2 будет равно $\sim Mt_2$, что значительно превосходит быстродействие остаточного умножителя [1] при несоизмеримо более простом функциональном исполнении схемы устройства. По окончании переходного

процесса на выходе ОС (и, следовательно, самого умножителя) формируется код произведения, который за счет кольцевой обратной связи устойчиво воспроизводится на выходе ОС сколь угодно длительное время (несмотря на то что последний является комбинационным). Для возврата данного умножителя в исходное состояние достаточно отключить вспомогательный сигнал управления выходными усилителями. Необходимо при этом отметить, что при использовании рассмотренной схемы в оптических ЦВМ не возникает дополнительных трудностей по применению ОС по прямому функциональному назначению; более того, в данном случае имеем сумматор с памятью. Кроме того, в связи с тем, что переход от операции суммирования к операции умножения состоит лишь в переключении кодовых сигналов со входов ОС на входы умножителя, отпадает необходимость, во-первых, в программном обеспечении операций, связанных с умножением, а во-вторых, в использовании различных регистров и синхронизирующих схем. По существу, рассмотренный оптический вычислительный узел может быть использован в качестве базового при синтезе арифметических устройств чисто оптических ЦВМ, повышение быстродействия которых в данном случае обеспечивается не только быстродействием, присущим оптическим технологиям, но и возможным сокращением программного обеспечения.

Описанный пример синтеза цифрового оптического умножителя позволяет по-новому взглянуть на возможности нетрадиционного использования волноводной оптики при разработке ОК, обладающих быстродействием, сравнимым с быстродействием аналоговых ОК, и обеспечивающих точность, характерную для цифровых вычислителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акаев А. А., Майоров С. А. Оптические методы обработки информации. М.: Высш. шк., 1988.
2. Соколов С. В. О применении волноводной оптики для построения функциональных элементов оптических ЦВМ // Автометрия. 1992. № 4. С. 62.
3. Семенов А. С., Смирнов В. Л., Шмалько А. В. Интегральная оптика для систем передачи и обработки информации. М.: Радио и связь, 1990.
4. Абрайтис В.-Б. Б. и др. Микропроцессоры и микропроцессорные комплекты интегральных микросхем: Справочник /Под ред. В. А. Шахнова. М.: Радио и связь, 1988. Т. 1.

Поступила в редакцию 21 июня 1994 г.