

## ПОВЫШЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ АКУСТООПТИЧЕСКИХ ЦИФРОВЫХ ПРОЦЕССОРОВ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ БРЭГГОВСКИХ РЕЗОНАНСОВ ПЕРВОГО И ВТОРОГО ПОРЯДКА

А.В. Шевченко

(представил д.т.н., проф. Л.Ф. Купченко)

*Предложен способ и разработан алгоритм перемножения чисел с использованием первого и второго брэгговских резонансов, что позволяет повысить быстродействие схемы акустооптического цифрового процессора в два раза.*

Обычно при определении параметров антенных систем требуется произвести значительный объем вычислительных операций за короткое время с высокой точностью. Зачастую большинство вычислений в этом случае можно свести к операциям линейной алгебры, например, к умножению вектора на матрицу, матрицы на матрицу и др., что реализуются цифровыми вычислителями. Анализ показал, что с усложнением класса решаемых задач возникает необходимость совершенствования специализированных процессоров.

Оптические процессоры, к которым относятся и акустооптические цифровые процессоры (АОЦП), позволяют осуществить параллельную обработку при высоком быстродействии, обладая при этом малыми габаритами и незначительной потребляемой мощностью, обеспечивая при этом высокую точность вычислений. Современные АОЦП позволяют

обеспечить перемножение матрицы на матрицу со скоростями  $10^8$ - $10^9$  операций умножения / сложения в секунду [1-3].

Принцип цифрового перемножения с помощью АОЦП показан на рис. 1 [4].

На вход системы, состоящей из двух акустооптических ячеек (АОЯ) Брэгга (1) и (2), поданы двоичные последовательности, представленные в виде прямоугольно модулированных высокочастотных сигналов, причем ячейки спроектированы так, что два

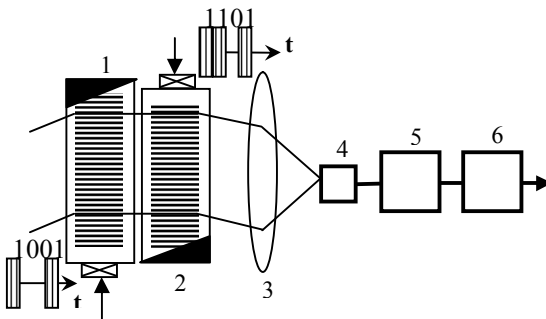


Рис. 1. Упрощенная АОЦП для перемножения числа на число

следовательно, представлены в виде прямоугольно модулированных высокочастотных сигналов, причем ячейки спроектированы так, что два

сигнала, распространяются в них в противоположных направлениях. Свет, протифрагировавший на обеих ячейках, собирается линзой (3) и фокусируется на фотодетекторе (4). Аналоговый сигнал на выходе фотодетектора отображает смешанную двоичную последовательность в виде импульсов различной амплитуды. Для представления результата в двоичном коде импульсы аналогового выходного сигнала дискретизируются по модулю 2 аналого-цифровым преобразователем (АЦП) (5), а полученные двоичные числа затем соответствующим образом суммируются по модулю 2 со сдвигом на сумматоре (6). Полное время перемножения данной схемы АОЦП при N-й разрядности чисел составит  $T_{\Sigma} = 4NT_{\Pi}$ , где  $T_{\Pi}$  – длительность единичного импульса. Время  $T_{\Sigma}$  пропорционально полосе частот акустооптического модулятора (АОМ). Производительность такого процессора при полосе частот 1 ГГц и восьмиразрядных числах составит  $3.1 \cdot 10^7$  оп/с.

Все известные акустооптические устройства используют брэгговский режим дифракции, когда взаимодействие света и звука происходит под углом Брэгга  $\theta_6$  ( $\sin \theta_6 = -K / 2k$ , где  $K$  и  $k$  – волновые числа ультразвуковой и световой волн соответственно) и используются первые порядки дифракции. В работе [5] показано, что величина дифракционной составляющей второго порядка может быть соизмерима с величиной падающего на ультразвуковую волну (УЗВ) светового излучения, если взаимодействие происходит под двойным углом Брэгга  $\theta = 2\theta_6$  – второй брэгговский резонанс. При реализации второго брэгговского резонанса дифракционные составляющие второго порядка обладают в два раза большими угловой дисперсией и спектральной селективностью [6].

Целью статьи является обоснование принципа построения АОЦП, в котором в интересах повышения быстродействия используются свойства брэгговских резонансов, как первого, так и второго порядков. Для этого на вход АОМ должны подаваться две УЗВ на частотах  $f$  и  $2f$ . Причем, для УЗВ с частотой  $f$  выполняются условия второго брэгговского резонанса, а для волны с частотой  $2f$  – первого брэгговского резонанса. Дифракция света для этого случая поясняется на рис.2. Здесь  $E_1^{(2f)}$  – дифракционная компонента первого порядка, вызванная дифракцией света на УЗВ с частотой  $2f$ , а  $E_2^{(f)}$  – дифракционная составляющая второго порядка, которая является результатом дифракции на УЗВ с частотой  $f$ .

В работе [7] было получено выражение для дифракционной эффективности света для данного случая брэгговской дифракции:

$$|\Psi|^2 = \left| \frac{E}{E_0} \right|^2 = \frac{q_1^4 + q_2^2 - q_1^2 q_2 \cos \delta}{q_2^2 + q_1^4} \sin^2 \frac{K^2 R_0 L}{2k}, \quad (1)$$

где  $E_0$  – напряженность поля на входе АОЯ;  $E$  – напряженность поля на выходе АОЯ, представляющая собой суперпозицию компонент  $E_1^{(2f)}$  и  $E_2^{(f)}$ ;

$q = \Delta n / n \left( \frac{k}{K} \right)^2$  – параметр Рытова;  $\Delta n/n$  – относительное изменение показателя преломления;  $\delta$  – начальная фаза ультразвукового колебания;  $R_0 = \sqrt{q_2^2 + q_1^4}$ ;  $q_1, q_2$  – параметр Рытова для частот  $f$  и  $2f$  соответственно.

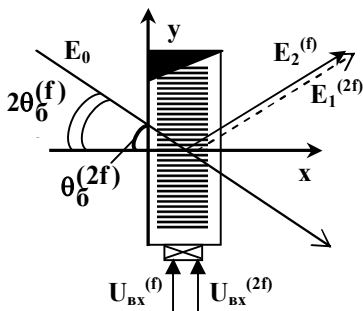


Рис. 2. К пояснению дифракции света на двух ультразвуковых волнах

На основании формулы (1) были произведены расчеты и построены зависимости дифракционной эффективности от относительного изменения показателя преломления  $\Delta n/n$ , который, как известно, связан линейной зависимостью с величиной электрического напряжения на пьезопреобразователе [6]. На рис. 3 построены графики, иллюстрирующие различные режимы работы АОМ на парателлурите при частоте ультразвука  $f=30$  МГц, длине волны светового излучения  $\lambda=0,633$  мкм, длине акустооптического взаимодействия  $L=0,5$  см, начальной фазе ультразвукового колебания  $\delta=\pi/2$ .

График для  $\psi_1$  (сплошная линия) соответствует режиму, когда в модуляторе существует только УЗВ на частоте  $2f$ . График для  $\psi_2$  (штриховая линия) соответствует случаю, когда в модуляторе распространяется только волна на частоте  $f$ . Из представленных зависимостей видно, что путем выбора соответствующего значения относительного изменения показателя преломления  $\Delta n/n$  для каждой из частот  $f$  и  $2f$  можно получить требуемые значения величины дифракционной эффективности в случае, когда на вход АОМ подается сигнал на частоте  $f$  либо  $2f$ . Если же в АОМ одновременно существуют обе УЗВ, то дифракционная эффективность зависит от взаимного отношения относительных изменений показателя преломления  $\Delta n/n$  для каждой из частот.

Предположим, что величина относительного изменения показателя преломления  $\Delta n/n$  при подаче сигнала на частоте  $2f$  составляет  $(\Delta n/n)_1=0,9 \cdot 10^{-5}$ , а на частоте  $f$  –  $(\Delta n/n)_2=3,6 \cdot 10^{-5}$ . Тогда величина ди-

фракционной эффективности акустооптического взаимодействия для первого случая составит  $\psi_1=0,25$ , а во втором случае –  $\psi_2=0,15$ . Если присвоить оптическому сигналу на частоте  $f$  значение  $a^1$ , а сигналу с частотой  $2f$  –  $a^2$ , то по величине интенсивности света на выходе АОМ можно определить какое из чисел  $a^1$  или  $a^2$  подано на его вход.

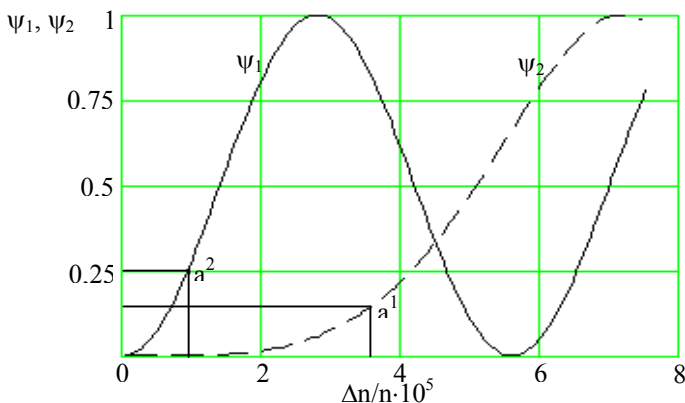


Рис. 3. Зависимость дифракционной эффективности от относительного изменения показателя преломления

Теперь нас будет интересовать величина оптического сигнала, когда на вход модулятора поданы оба сигнала –  $a^1$  на частоте  $f$  и  $a^2$  на частоте  $2f$  с величиной относительного изменения показателя преломления  $(\Delta n/n)_2$  и  $(\Delta n/n)_1$  соответственно. Значение дифракционной эффективности было определено численным методом с использованием выражения (1). Для выбранных значений параметров взаимодействия  $\psi_\Sigma=0,374$ . Значение  $\psi_\Sigma$  больше значений  $\psi_1$  и  $\psi_2$ , то есть по величине интенсивности света можно сделать заключение о том, что на выходе АОМ присутствует сумма сигналов  $a^1$  и  $a^2$ . Таким образом, АОЯ, работающую в данном режиме, можно использовать как сумматор.

Предлагается подачу сигналов в описанной выше схеме (рис. 1) осуществлять по схеме, представленной на рис. 2. Следовательно, на каждую АОЯ подается по два сигнала на частотах  $f$  и  $2f$ .  $N$  - разрядное число  $a$  разбивается на  $N/2$  пар разрядов (двухразрядных двоичных чисел) согласно выражению

$$a = \sum_{i=1}^{N/2} [(a^2)_i 2^{2i-1} + (a^1)_i 2^{2i-2}], \quad (2)$$

где  $a^2$  и  $a^1$  принимают значения 0 и 1. Затем это число подается на АОМ1. Информация о значении младшего в паре порядка  $a^1_i$ , содержится

в УЗВ с частотой  $f$ , а старшего  $a^2_i$ , – в УЗВ с частотой  $2f$ . На выходе АОМ1 будем иметь сумму  $(a^2_i + a^1_i)$ . Число  $b$  разбивается на пары разрядов согласно выражению (2) и синхронно с числом  $a$  подается на АОМ2. На выходе АОМ2 интенсивность света пропорциональна произведению  $(a^2_i + a^1_i)(b^2_i + b^1_i)$ . Дальнейший алгоритм обработки идентичен описанному выше. Полное время перемножения двух  $N$ -разрядных чисел составит  $T_{\Sigma} = 2NT_{и}$ . Это позволяет говорить о повышении быстродействия АОЦП в два раза.

Данный способ умножения можно распространить и для выполнения более сложных операций, таких как умножение вектора на матрицу, матрицы на матрицу, тройное матричное перемножение. Эти алгоритмы реализуются с помощью применения многоканальных АОМ, линеек светоизлучающих (лазерных) диодов, многочастотного режима работы АОЯ и т.д.

Предложенный способ перемножения чисел с использованием брэгговских резонансов первого и второго порядков позволяет увеличить быстродействие АОЦП матричного умножения в два раза.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гуляев Ю.В., Проклов В.В., Соколовский С.В., Сотников В.Н. Акустооптические устройства обработки аналоговой и цифровой информации // Радиотехника и электроника. – 1987. – Т. 32, №1. – С. 169 - 181.
2. Кулаков С.В., Кулаков В.С., Пресленев Л.Н., Тигин Д.В. Акустооптические цифровые процессоры для операций матричной алгебры // Зарубежная радиоэлектроника. – 1988. – №12. – С. 30 - 40.
3. Родес У.Т., Гилфойл П.С. Архитектура акустооптических алгебраических процессоров // ТИИЭР. – 1984. – Т.72, №7. – С. 80 - 91.
4. Guilfoyle P.S. Systolic Acousto-optic Binary Convolver // Optical Engineering. – 1984. – Vol. 23, №1. – P. 20 - 25.
5. Зильберман Г.Е., Сидоров И.Н., Купченко Л.Ф. Ктеории дифракции света на ультразвуке // Радиотехника и электроника. – 1982. – Т. 27, №2. – С. 241 - 247.
6. Купченко Л.Ф., Плахов Ю.М., Ефимова О.В., Лобырев В.Б., Черкашина Е.Л., Шевченко А.В. Дифракционная эффективность второго порядка брэгговской дифракции при взаимодействии света с ультразвуком под двойным углом Брэгга // Радиофизика и радиоастрономия. – 1999. – Т. 4, №4. – С. 342 - 348.
7. Зильберман Г.Е., Голтвянская Г.Ф., Голтвянский И.Н. Акустооптический брэгговский резонанс на двух частотах // Радиотехника и электроника. – 1991. – Т. 36, №7. – С. 1408 - 1411.

Поступила 10.01.2002

**ШЕВЧЕНКО Алексей Валериевич**, адъюнкт Харьковского военного университета. В 1998 году окончил Харьковский военный университет. Область научных интересов – акустооптическая обработка цифровой информации.