

С. В. СОКОЛОВ, В. В. КАМЕНСКИЙ

ОПТИЧЕСКИЙ ПРОСТРАНСТВЕННО-ЧАСТОТНЫЙ АНАЛОГО-ЦИФРОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Предложен оптический пространственно-частотный аналого-цифровой преобразователь, принцип действия которого основан на последовательном преобразовании частоты входного оптического сигнала. Преобразователь предназначен для перевода в позиционный двоичный код как электрических, так и оптических аналоговых сигналов.

Ключевые слова: устройства обработки информации, оптический аналого-цифровой преобразователь, оптический объединитель, оптический Y-разветвитель.

В настоящее время разработано большое количество различных по быстродействию и точности электронных аналого-цифровых преобразователей (АЦП) [1—3]. Общими их недостатками являются низкое быстродействие, уменьшающееся с ростом разрядности АЦП, и большая сложность.

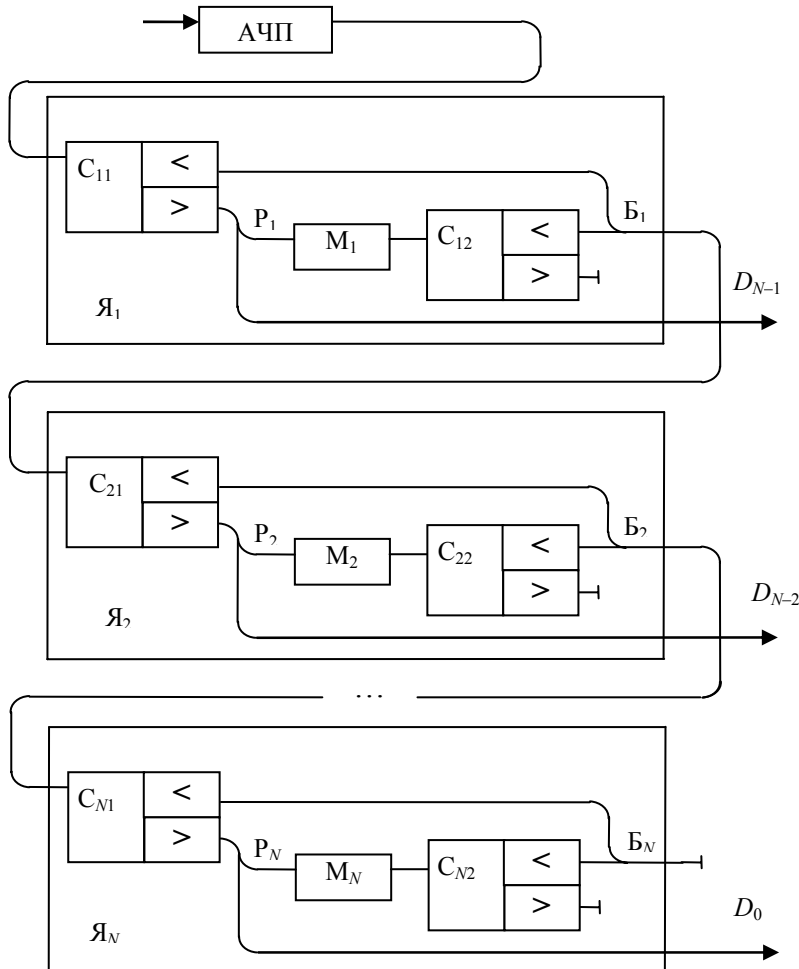
Использование оптических технологий при разработке различного вида АЦП позволяет существенно повысить их быстродействие. Тем не менее известные электрооптические АЦП [2, 3] по-прежнему характеризуются недостаточным быстродействием для использования в конечном каскаде электронных элементов (фотодетектора, усилителя, компаратора) с суммарным временем срабатывания более 10^{-6} с.

В настоящей статье представлен АЦП, имеющий достаточно простую и технологичную структуру и позволяющий осуществлять преобразование в позиционный двоичный код как электрических, так и оптических аналоговых сигналов с быстродействием, потенциально возможным для оптических устройств обработки информации.

Работа устройства основана на преобразовании интенсивности (или амплитуды) аналогового оптического или электрического входного сигнала в оптический сигнал с пространственной частотой, пропорциональной интенсивности входного сигнала, с последующим ее нелинейным преобразованием и многократной пространственно-частотной фильтрацией, что обеспечивает формирование на выходе АЦП оптического двоичного кода, соответствующего аналоговому входному сигналу.

Оптический пространственно-частотный АЦП, функциональная схема которого показана на рисунке, состоит из оптического амплитудно-частотного преобразователя АЧП, оптических пространственно-частотных селекторов $C_{11}, C_{12}, \dots, C_{M1}, C_{N2}$; оптических Y-разветвителей P_1, \dots, P_N ; оптических пространственных амплитудных модуляторов M_1, \dots, M_N ; оптических объединителей B_1, \dots, B_N .

Входом АЦП является вход оптического амплитудно-частотного преобразователя. Селекторы C_{k1} , C_{k2} , Y-разветвитель P_k , модулятор M_k и объединитель B_k образуют k -ю разрядную ячейку ($Я_k$) АЦП, $k = 1, \dots, N$. Разрядная ячейка $Я_N$ соответствует младшему разряду АЦП D_0 , а ячейка $Я_1$ — старшему разряду D_{N-1} . Информационные выходы всех разрядных ячеек образуют соответствующие выходы D_{N-1}, \dots, D_0 устройства.



На выходе оптического АЧП формируется фронт стоячей оптической монохроматической волны, пространственная частота которой пропорциональна интенсивности I сигнала на его входе. АЦП может быть выполнен в виде или параметрического генератора частоты, или оптического резонатора с оптически прозрачным периметром и управляемой оптической длиной, или оптического мультиплексора, на вход которого подается набор фронтов стоячих монохроматических волн с заданными частотами [4].

Селекторы C_{11} , C_{12} , ..., C_{N1} , C_{N2} могут быть выполнены в виде или дихроичного элемента (призмы, фильтра, зеркала и т.д.), или дифракционной решетки, или призматического элемента и т.п. Функцией селекторов является пространственное разделение оптических сигналов по частоте: если пространственная частота сигнала меньше заданной (для селектора данной разрядной ячейки), то входной сигнал селектора пройдет на его первый выход „<“, если больше или равна — то на второй выход „>“.

Модуляторы M_1, \dots, M_N могут быть выполнены в виде транспаранта с постоянной функцией пропускания (гармонической с соответствующей заданной частотой).

Оптические Y-разветвители P_1, \dots, P_N и второе оптическое ответвление каждого объединителя B_1, \dots, B_N являются активными оптическими волноводами с коэффициентом усиления 2 (во избежание затухания информационных сигналов в тракте АЦП).

Рассмотрим принцип работы аналогово-цифрового преобразователя на примере трех-разрядного АЦП (поясняя отдельные значения параметров для общего случая N разрядов).

Пусть на вход АЦП подан сигнал интенсивностью I , формирующий на выходе оптического АЧП фронт стоячей оптической монохроматической волны с пространственной частотой ω_0 , относительное значение которой ω_1 — относительно нижней границы возможного оптического диапазона частот $[\omega_{\min}, \omega_{\max}]$: $\omega_0 = \omega_1 + \omega_{\min}$ — соответствует 5 (при этом диапазон изменения $\omega_1 = KI$, где K — коэффициент пропорциональности, равный $7(2^N - 1)$).

Иными словами, на выходе оптического АЧП формируется плоский оптический монохроматический поток с распределением амплитуды в направлении оси Ox , перпендикулярной его распространению:

$$A(x) = A \cos(\omega_0 x),$$

где A — постоянная известная величина.

Данный поток поступает на вход первой разрядной ячейки $Я_1$ (на вход селектора C_{11}), частота пространственного разделения оптических сигналов которого равна

$$\Omega_{p1} = \Omega_1 + \omega_{\min},$$

где $\Omega_1 = 2^{N-1} = 4$.

Так как относительная частота входного сигнала $\omega_1 = 5$ превышает частоту селектора C_{11} , то сигнал формируется на его втором выходе „ \rangle “. Этот сигнал поступает как на информационный выход разрядной ячейки $Я_1$, т.е. на выход старшего D_{N-1} -го разряда АЦП, где формирует информационную „1“ (оптический сигнал амплитудой A), так и на вход модулятора M_1 с функцией пропускания по оси Ox : $f_1(x) = \cos(\Omega_1 x)$.

Таким образом, на выходе модулятора M_1 будет сформирован оптический сигнал с распределением амплитуды по оси Ox , равным

$$A_1(x) = A \cos(\omega_0 x) \cos(\Omega_1 x) = A / 2 (\cos(\omega_0 x + \Omega_1 x) + \cos(\omega_0 x - \Omega_1 x)).$$

Данный двухчастотный оптический сигнал — с относительными частотами $\omega_2 = \omega_1 - \Omega_1 = 1$ и $\omega_3 = \omega_1 + \Omega_1 = 9$ — поступает на вход селектора C_{12} , где происходит его разделение: оптический сигнал с частотой ω_3 проходит на его второй „поглощающий“ выход „ \rangle “, а сигнал с частотой ω_2 — на его первый выход „ \langle “, и далее через объединитель B_1 на выход разрядной ячейки $Я_1$ и на вход селектора C_{21} разрядной ячейки $Я_2$.

Для селектора C_{21} частота пространственного разделения оптических сигналов

$$\Omega_{p2} = \Omega_2 + \omega_{\min},$$

где $\Omega_2 = 2^{N-2} = 2$.

Так как относительная частота входного сигнала $\omega_2 = 1$ меньше частоты селектора C_{21} , то сигнал формируется на его первом выходе „ \langle “. Этот оптический сигнал через объединитель B_2 пройдет на выход разрядной ячейки $Я_2$ и на вход селектора C_{31} разрядной ячейки $Я_3$. На его втором выходе „ \rangle “ при этом сигнал отсутствует, и, следовательно, на выходе второго разряда D_{N-2} АЦП формируется информационный „0“.

Для селектора C_{31} разрядной ячейки $Я_3$ частота пространственного разделения оптических сигналов равна

$$\Omega_{p3} = \Omega_3 + \omega_{\min},$$

где $\Omega_3 = 2^{N-3} = 1$.

Следовательно, оптический сигнал на его входе с относительной частотой $\omega_2 = 1$ пройдет на его второй выход „ \rangle “ и далее непосредственно на выход младшего разряда АЦП, где

будет сформирована информационная „1“ (оптический сигнал амплитудой A). При этом можно дополнительно отметить, что аналогичным образом на выходе модулятора M_3 разрядной ячейки Y_3 (с функцией пропускания по оси Ox $f_3(x) = \cos(\Omega_3 x)$) будет сформирован двухчастотный оптический сигнал с распределением амплитуды по оси Ox , равным

$$A_3(x) = A \cos((\omega_2 + \omega_{\min})x) \cos(\Omega_3 x) = A / 2 (\cos((\omega_2 + \omega_{\min})x + \Omega_3 x) + \cos((\omega_2 + \omega_{\min})x - \Omega_3 x)),$$

и с относительными частотами $\omega_3 = \omega_2 + \omega_{\min} - \Omega_3 = 0$ и $\omega_4 = \omega_2 + \omega_{\min} + \Omega_3 = 2$. Разделение этого сигнала происходит в селекторе C_{32} : сигнал с частотой ω_4 пройдет на его второй „поглощающий“ выход „ \rangle “, а сигнал с частотой ω_3 (на границе используемого диапазона) — на его первый выход „ \langle “, который в данной разрядной ячейке Y_3 также является „поглощающим“. Очевидно, что данные сигналы не влияют на формирование кода АЦП: наличие модулятора M_3 и селектора C_{32} в данной (N -й) разрядной ячейке Y_3 (Y_N) обусловлено как требованиями к унификации конструкции ячейки, так и потенциальной возможностью дальнейшего расширения разрядности АЦП.

Таким образом, на выходе АЦП формируется, практически в реальном масштабе времени, двоичный код $\{D_0, \dots, D_{N-1}\} = 101$, соответствующий входному аналоговому сигналу интенсивностью $I = 5$.

По существу, быстродействие рассмотренного АЦП определяется лишь временем амплитудно-частотного преобразования в оптическом АЧП (не более 10^{-10} с) и практически не зависит от разрядности АЦП, что позволяет применять предложенную схему в устройствах, требующих обработки информации в реальном масштабе времени. Возможность технической реализации всех функциональных элементов преобразователя в интегральном исполнении обуславливает актуальность его использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. М.: Мир, 1982. 512 с.
2. Семенов А. С., Смирнов В. Л., Шмалько А. В. Интегральная оптика для систем передачи и обработки информации. М.: Радио и связь, 1990. 224 с.
3. Акаев А. А., Майоров С. А. Оптические методы обработки информации. М.: Высшая школа, 1988. 181 с.
4. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. СПб: Питер, 2003. 270 с.

Сведения об авторах

- Сергей Викторович Соколов** — д-р техн. наук, профессор; Ростовский государственный университет путей сообщения, кафедра автоматики и телемеханики на железнодорожном транспорте, Ростов-на-Дону; E-mail: s.v.s.888@yandex.ru
- Владислав Валерьевич Каменский** — канд. техн. наук, доцент; Ростовский государственный университет путей сообщения, кафедра автоматики и телемеханики на железнодорожном транспорте, Ростов-на-Дону; E-mail: kam-vladislav@yandex.ru

Рекомендована кафедрой
автоматики и телемеханики
на железнодорожном транспорте

Поступила в редакцию
14.09.11 г.