

Мощность правила (12) равна единице, так как вероятность ошибки второго рода  $\beta_2 = P(U_m \geq U_1 | H_1) = 0$ . Вероятность ошибки первого рода согласно методики, приведенной в [2], определяется как  $\alpha_2 = \lambda^n$ . В случае, когда  $\lambda = 3^{-0,5}$ ,  $n = 4$ , правило (12) позволяет различать рассматриваемые сигналы с  $\alpha_2 \approx 0,13$ ,  $\beta_2 = 0$ . При использовании (1) и возведении в степень  $r = 20$  для рассматриваемого случая в [1] получено  $\alpha_1 = 0,23$ ;  $\beta_1 = 0,01$ . Учитывая (2), можно сделать вывод о том, что в рамках ИАРП реализуется правило различения рассматриваемых сигналов более эффективное и простое в реализации, чем (1).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мик Дж. Обнаружение случайных сигналов.— М. : Мир, 1986.— 494 с.
2. Крамер Г. Математические методы статистики.— М. : Мир, 1975.— 648 с.

Сумской госуниверситет.

Поступила в редакцию 11.02.99.

УДК 621.372

СЛЮСАР В. И.

### **БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ АЦП: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

На основе поиска в Интернет приведен обзор основных параметров лучших быстродействующих АЦП ведущих мировых производителей, дан прогноз ближайших перспектив их развития.

Одним из факторов, определяющих прогресс в области цифровой обработки сигналов, является, как известно, развитие элементной базы, в частности, совершенствование аналого-цифровых преобразователей (АЦП). Цель статьи состоит в обобщении информации о достижениях ведущих мировых производителей АЦП и ближайших перспектив в освоении выпуска этого типа электронной продукции.

Стремительный прогресс в развитии микропроцессорной техники и теории цифровой обработки сигналов до предела обострил проблему несоответствия быстродействия и разрядности электроники аналого-цифрового преобразования данных возросшим возможностям вычислительных средств. Сегодня уже никого не удивит 64-битным процессором с тактовой частотой 500 МГц, тогда как даже 32-разрядные ИС АЦП для частоты дискретизации 100 МГц являются запредельной фантастикой.

Можно указать достаточно много причин такого положения дел, в числе которых не последнюю роль сыграли ограничительные мероприятия в интересах оборонных ведомств, а также просчеты экспертного персонала ведущих мировых производителей в выборе приоритетных направлений научно-технической политики. Характерным примером таких просчетов является затянувшаяся приверженность ряда известных компаний-производителей АЦП, в частности Maxim Integrated Products ([www.maxim-ic.com](http://www.maxim-ic.com)) и Signal Processing Technologies, Inc. ([www.spt.com](http://www.spt.com)) технологии ЭСЛ. Создав самые скоростные в мире серийные АЦП, лучшие образцы которых представлены в табл. 1, эти компании не смогли вложить достаточных средств в развитие технологий с ТТЛ-совместимыми уровнями сигналов. Сейчас их 10- и 12-разрядные АЦП с ТТЛ-выходом (MAX1161, MAX1172 и SPT7871, SPT7922 соответственно) проигрывают в производительности аналогичным микросхемам конкурентов. В то же время, Harris Semiconductor ([www.semi.harris.com](http://www.semi.harris.com)), вовремя сориентировавшись в набирающей силу тенденции укоренения микропроцессорных стандартов в цифровых технологиях, удачно перешла от посредственной модели ЭСЛ-ряда HI1276 (8-бит, 500 МГц такт, табл. 1) к производству конкурентоспособных АЦП ТТЛ-линии HI5762 и HI5865.

В 2000 году борьба за рынок АЦП будет разворачиваться в плоскости пятивольтовой ТТЛ-логики и ее трехвольтовой модификации, путем перехода от 10-разрядных к 12- и 14-разрядным АЦП с тактовой частотой выше 65 МГц и полосой частот входного сигнала до 1 ГГц. Отсутствие анонсов новых продуктов такого уровня со стороны National Semiconductor Corp. ([www.national.com](http://www.national.com)), Philips Semiconductors ([www.semiconductors.philips.com](http://www.semiconductors.philips.com)), а также упомянутых уже Maxim Integrated Products и Signal Processing Technologies (табл. 1) дают основания ожидать, что гонка за лидерство развернется на этот раз среди таких ведущих производителей АЦП коммерческой линии, как Analog Devices ([www.analog.com](http://www.analog.com)), Lucent Technologies, Inc. ([www.lucent.com](http://www.lucent.com)) и Burr-Brown Corporation ([www.burr-brown.com](http://www.burr-brown.com)).

Относительно предельной тактовой частоты АЦП наиболее солидными являются позиции фирмы Analog Devices. Ее анонсированная 10-разрядная модель AD9410 будет иметь частоту дискретизации 200 МГц при максимальной полосе входного аналогового сигнала 400 МГц. При этом обеспечена возможность сепарации отсчетов по номеру следования на четную и нечетную выборки, что представляет интерес, например, для реализации цифровых фазовых детекторов. Использование 12-разрядного АЦП AD9432, начало продаж которого планировалось в мае 1999 г., позволит, в частности, обрабатывать радиосигналы метрового диапазона волн непосредственно на несущей, поскольку входная полоса частот этих моделей составляет 500 МГц, а предельная частота дискретизации 100 МГц.

Таблица 1

Фирма-производитель	Марка АЦП	Разрядность, бит (по умолчанию ТТЛ-выход)	Тактовая частота, МГц	Входная полоса частот, МГц	Цена за 1 шт. в оптовой серии (в скобках — размер серии)
Analog Devices	AD9410	2 × 10	200	400	60\$ (100—1000 шт.)
	AD9432	12	100	500	60\$ (100—1000 шт.)
Harris Semiconductor	HI5865	12	65	250	—
	HI1276	8 (ЭСЛ)	500	300	—
	HI5762	2 × 10	60	250	—
Burr-Brown Corporation	ADS852	14	65	1000	—
	ADS808	12	75	1000	—
	ADS851	14	40	1000	—
	ADS807	12	53	270	17,95\$ (1000 шт.)
	ADS800	12	40	65	29\$ (1000 шт.)
	ADS824	10	70	300	8,80\$ (1000 шт.)
National Semiconductor	CLC5956	12	65	300	32,8\$ (100 шт.)
	CLC952 ( $U_{пит} = \pm 5$ В)	12 (ЭСЛ)	41	185	23,8\$ (100 шт.)
Lucent Technologies	CSP1152A	14	65	1000	—
Maxim Integrated Products	MAX104	8 (ЭСЛ)	1000	1500	—
	MAX1151	8 (ЭСЛ)	750	1000	—
	MAX1172	12	30	—	—
	MAX1161	10	40	—	—

Фирма-производитель	Марка АЦП	Разрядность, бит (по умолчанию ТТЛ-выход)	Тактовая частота, МГц	Входная полоса частот, МГц	Цена за 1 шт. в оптовой серии (в скобках — размер серии)
Signal Processing Technologies, Inc.	SPT7760	8 (ЭСЛ)	1000	900	—
	SPT7750	8 (ЭСЛ)	750	900	—
	SPT7610	6 (ЭСЛ)	1000	1400	—
	SPT7871	10	100	180	—
	SPT7922	12	30	—	—
Philips Semiconductors	TDA8768 H/5	12	55	250	—

Что же касается лидерства в области разрядности и ширины полосы аналоговых сигналов, то с выпуском 14-разрядного АЦП ADS852 оно бесспорно перейдет к Вип-Вроун, имеющей в своем портфеле дополнительно 12-разрядный АЦП ADS808 со столь же высокой предельной полосой частот и тактом дискретизации 75 МГц. На этом фоне позиции Lucent Technologies, Inc. выглядят менее прочными, поскольку ее 14-разрядный АЦП CSP1152A не является представителем семейства продуктов и в последнее время его анонсирование вовсе приостановлено.

Проведенный анализ содержимого табл. 1 отражает состояние коммерческого рынка АЦП, представленного отлаженными технологиями и ориентированного на серийные масштабы выпуска продукции. Что же касается более отдаленной перспективы, то для иллюстрации таковой можно воспользоваться информацией о технологических разработках военных ведомств. В частности, довольно красноречивые планы изложены в бюджетной программе ВМС США 0602234N «Материалы, электроника и компьютерные технологии» ([www.fas.org/irp/budget/RDDS-NAVY98](http://www.fas.org/irp/budget/RDDS-NAVY98), [www.dtic.mil/rdds/rdds99/RDDS-NAVY99](http://www.dtic.mil/rdds/rdds99/RDDS-NAVY99)).

Планами 1998 г. в ней предусматривалось:

— завершение разработки 16-разрядного АЦП с предельным темпом выборки 125 МГц для многоканальных акустических систем ВМС, а также 10-разрядного АЦП с частотой дискретизации 2,6 ГГц;

— демонстрация 4-разрядного 10 ГГц АЦП на базе 100 нм CMOS TFSOS (Thin Film Silicon-on-Sapphire) технологии;

— начало разработок низковольтных маломощных (до 1 мВт) 20-битного АЦП с тактом 20 МГц и 16-битного АЦП с частотой квантования 1 ГГц.

При этом в качестве ключевой технологии рассматривается упомянутая CMOS TFSOS, а также 250—100 нм кремний-германиевая с 50—30 нм *T*-структурами на основе TFSOS.

В 1999 г. той же программой 0602234N предусмотрено завершение разработки 16-разрядного АЦП с частотой дискретизации 1 ГГц и 10-разрядного АЦП для тактовой частоты 2,5 ГГц. Кроме того, ожидается апробация 4-битного АЦП с темпом выборки 20 ГГц на основе использования двух 4-разрядных АЦП с тактом 10 ГГц, работающих в режиме интерливинга, т. е. с парафазным чередованием тактовых импульсов.

Остается надеяться, что упомянутые выше коммерческие производители АЦП непременно воспользуются опытом военных разработок и смогут своевременно переключиться на новые технологические решения. Впрочем, не исключено, что к тому времени на мировой рынок выйдут новые лидеры, которые сегодня пока лишь инвестируют средства в фундаментальные научные изыскания.

В числе претендентов такого рода следует указать Lockheed Martin, а также фирму Raytheon TI System, которая совместно с Институтом технологии штата Джорджия (США), по сообщению [1] со ссылкой на [www.edtn.com/news/may7/050798tnews1.html](http://www.edtn.com/news/may7/050798tnews1.html), осуществляет разработку 4-разрядного АЦП с быстродействием 50 Гвыборок/с и полосой пропускания 30 ГГц. Демонстрация его планируется на 2002 г. При этом отмечается, что группа разработчиков Raytheon TI Systems прекратила исследования в области арсенидгаллиевых приборов в пользу нанoeлектронных структур на базе фосфида индия. Новый материал служит основой и для указанного АЦП рекордной производительности.

Принимая во внимание долгосрочные прогнозы развития микропроцессорной техники, в частности возможности достижения тактовой частотой процессоров рубежа 10 ГГц к 2011 г. [2], нетрудно предсказать неизбежность устранения нынешнего дисбаланса в развитии тандема АЦП-процессор. Однако коренной перелом в этом вопросе может наступить только в результате решения проблемы интеграции АЦП на общую для процессора подложку в качестве одной из компонент внутрипроцессорного ядра.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Электроника : Наука, Технология, Бизнес.— 1998.— № 5.— С. 60.
2. 25 лет микропроцессору. (Из докладов Ханса Гайера и Стива Чейза на праздновании 25-летия микропроцессора 11 ноября 1996 г.) // [www.intel.ru/25let.html](http://www.intel.ru/25let.html).

г. Киев.

Поступила в редакцию 08.02.99.