

СОВРЕМЕННЫЕ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ АЦП С БОЛЬШИМ ДИНАМИЧЕСКИМ ДИАПАЗОНОМ

Сегодня цифровая обработка сигналов все шире проникает и практически всецело захватывает такие области применения, как средства связи и телекоммуникаций, различные радиотехнические системы и измерительная техника. Основное преимущество цифровых средств сбора и обработки данных, в сравнении с аналоговыми, – возможность создавать в рамках одной аппаратной платформы набор устройств, способных изменять выполняемые функции посредством обновления программного обеспечения. Но поскольку физические явления имеют аналоговый характер, одна из важных и неотъемлемых задач современной цифровой технологии – преобразование аналоговых сигналов в цифровую форму. И поэтому развитие и расширение областей применения цифровых систем обработки сигнала невозможно без развития средств аналого-цифрового преобразования. Совершенствование таких средств, в свою очередь, идет как по пути увеличения быстродействия преобразователей и полосы частот преобразуемых сигналов, так и по пути увеличения динамического диапазона, чувствительности и точности АЦП. Особый интерес к быстродействующим АЦП с большим динамическим диапазоном обусловлен тем, что во многих телекоммуникационных и радиотехнических системах все чаще используются схемы прямого преобразования сигнала без промежуточного преобразования частоты, активно развиваются и широкополосные приложения. В большинстве этих приложений важно, чтобы преобразователь имел высокую чувствительность и широкий динамический диапазон для одновременной регистрации сильных и слабых сигналов.

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ АЦП С БОЛЬШИМ ДИНАМИЧЕСКИМ ДИАПАЗОНОМ

Сразу отметим, что "быстродействующие АЦП" и "АЦП с большим динамическим диапазоном" достаточно широкие понятия. Так, быстродействующими принято называть АЦП с частотой дискретизации более 1 МГц. А максимальный динамический диапазон АЦП в сильной степени зависит от частотного диапазона. Так, 12-бит АЦП достаточно популярны для низкочастотных приложений, широко распространены и в высокочастотных, а для сверхвысокочастотных приложений такой диапазон еще не достижим. Поэтому интерес представляют АЦП, которые при заданной разрядности обеспечивают максимальную частоту отсчетов. В настоящее время для микросхем АЦП, обеспечивающих на выходе 16-бит код, максимальная частота преобразования составляет 130 МГц, для 14-бит – 190 МГц и для 12-бит – 250 МГц (табл. 1) (составные АЦП рассматриваться не будут).

Как видно из табл. 1, наилучшие заявленные производителями показатели по соотношению сигнал/шум (С/Ш) и значению реального динамического диапазона (РДД) среди 12-бит АЦП имеют микросхемы MAX1215N компании Maxim Integrated Products, среди 16-бит – микросхемы LTC2208 компании Linear Technology, а среди 14-бит самые быстрые – это АЦП серии ADS5545/46 производства Texas Instruments. У каждого из этих АЦП свое уникальное сочетание производительности и динамических характеристик, которое и позволяет им занять свою нишу в соответствующих приложениях.

Тем не менее, эти АЦП можно сравнивать. Критериями для сравнения могут служить частота дискретизации F_s и соответствующая ей ширина полосы Найквиста, равная $F_s/2$, а также динамические характеристики АЦП – С/Ш, РДД и коэффициент гармонических искажений (КГИ), которые в реальных приложениях, например при регистрации слабых сигналов, играют более важную роль, чем номинальная разрядность преобразователя. Так, при использовании АЦП LTC2208 компании Linear Technology максимальная полоса анализируемого

Таблица 1. Характеристики АЦП, выпущенных за последний год ведущими мировыми производителями

Параметр	Texas Instruments		Analog Devices		Linear Technology		Maxim Integrated Products	
	ADS5545	ADS5546	AD9461	AD9230-250	LTC2208	LTC2242-12	MAX1215N	
Максимальная частота дискретизации F_s , МГц	170	190	130	250	130	250	250	
Разрешение АЦП, бит	14	14	16	12	16	12	12	
Полоса входного сигнала, МГц	400	500	615	900	700	1200	700	
С/Ш (S/N), дБс	10 МГц	74	73,8	76	65	77,7	65,4	64,5–67
	70 МГц	73,5	73,2	–	65	77,5	65,3	64,3–66,7*
РДД (SFDR), дБс	10 МГц	90	85	82–90	80	100	78	70–86
	70 МГц	85	84	–	80	90	75	70–84,7*
КГИ (ТНД), дБс	10 МГц	-84	-81,5	–	–	–	–	-82,5
	70 МГц	-81	-81,8	–	–	–	–	-83,6

* Для частоты входного сигнала 100 МГц.

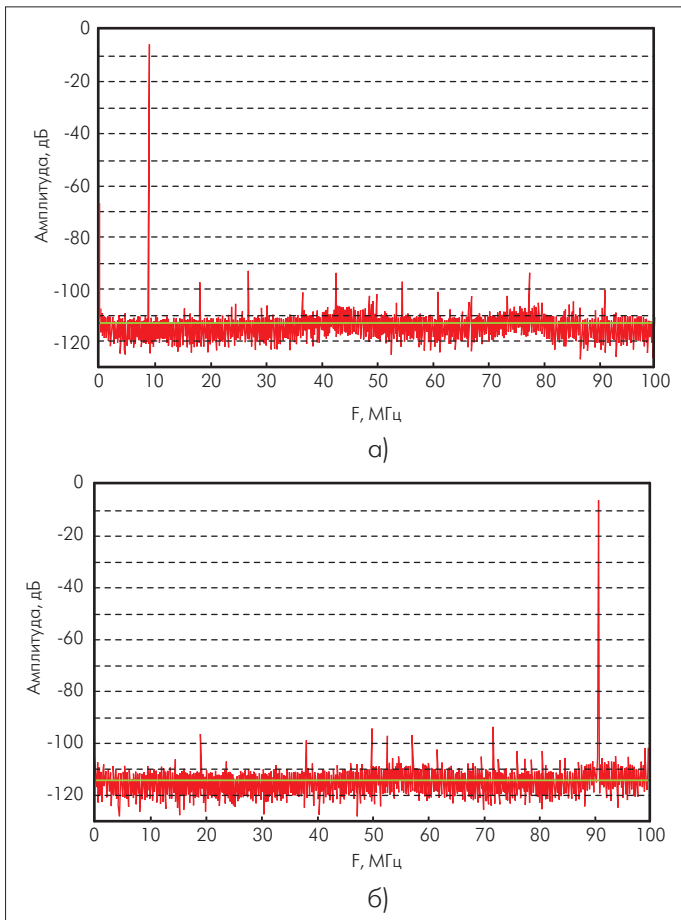


Рис. 1. Результаты тестирования ADC-14-200 при частоте входного сигнала: а) 9 МГц (С/Ш = 70 дБ, РДД = 87 дБ, КГИ = -86 дБ); б) 90 МГц (С/Ш = 69 дБ, РДД = 87 дБ, КГИ = -82 дБ)

сигнала составит 65 МГц, АЦП ADS5546 – 95 МГц и MAX1215N – 125 МГц. Несущая частота сигналов (в зависимости от их полосы) в случае применения микросхемы MAX1215N или LTC2208 может находиться в пределах 700 МГц, а ADS5546 – в пределах 500 МГц.

Если несущая частота и полоса сигналов попадают в диапазон частот АЦП, то стоит обратить внимание на соотношение С/Ш и соответственно на эффективную разрядность преобразователя. Для оценки этого показателя преобразователя воспользуемся известным выражением $C/S = 6,02N + 1,76$ [дБ], где N – разрядность преобразователя. При подстановке данных из табл.1 (для частоты входного сигнала 70 МГц) получим, что эффективное число разрядов LTC2208

Таблица 2. Параметры быстродействующих устройств сбора данных, разработанных "Центром АЦП"

Параметр	ADC-14-100	ADC-14-200
АНАЛОГОВЫЙ ВХОД		
Число каналов	Один однополюсный	До двух синхронных
Входное сопротивление, Ом	50	50
Разрядность АЦП, бит	14	14
Максимальная частота выборок, МГц	100	200
Диапазон входного напряжения, В	±1	±0,1 или ±1
Полоса входного сигнала, МГц	1,5–100	0–400
ДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ, частота входного сигнала 90 МГц		
С/Ш, дБ	68	69
РДД, дБ	78	87
КГИ, дБ	-77	-82
ДРУГИЕ ПАРАМЕТРЫ		
Объем памяти типа FIFO, Кслов	–	256
Внешний старт	–	TTL уровень
Цифровой интерфейс	14 бит, LVDS	USB 2.0

составляет 12,5, ADS5545/46 – 11,9, а MAX1215N – от 10,4 до 10,7. Таким образом, самая большая потеря эффективных разрядов у LTC2208 – 3,5 бит, у ADS5545/46 практически только 2 бит, а у MAX1215N – 1,5 бит. Полученные результаты полностью соответствуют утверждению, что чем выше разрядность АЦП, тем выше требования к проектированию входных цепей, выбору аналоговых компонентов и качеству изготовления печатной платы. Потеря эффективных разрядов наиболее существенна у 16-бит АЦП LTC2208. А поскольку проектирование измерительной платы для такого преобразователя достаточно сложная задача, то в конечном изделии вряд ли удастся достичь существенного преимущества перед 14-бит АЦП ADS5545/46, особенно на частотах в диапазоне 70–100 МГц, тем более что и на специально спроектированных тестовых платах это преимущество не так уж и велико – всего 0,6 разряда. При использовании рассматриваемых АЦП в схемах регистрации узкополосных сигналов, например с полосой 10 кГц, соотношение С/Ш может быть существенно улучшено за счет избыточной дискретизации и применения цифровой фильтрации.

Если принять, что шум в полосе $F_s/2$ распределен равномерно, то можно считать, что "положительная добавка" к С/Ш равна $10 \cdot \lg(F_s/2/BW)$, где BW – ширина полосы сигнала. На основе данных табл. 1 получим, что для АЦП с $F_s = 250$ МГц добавка к С/Ш составит ~41 дБ, для $F_s = 190$ МГц – около 40 дБ и для АЦП с $F_s = 130$ МГц – ~38 дБ. С учетом реального соотношения С/Ш для АЦП MAX1215N в полосе 10 кГц можем получить значение этого соотношения до 105 дБ, для ADS5546 – до 114 дБ и для LTC2208 – до 115,5 дБ. Из проведенного сравнения видно, что в реальных условиях преимущества 16-бит АЦП перед 14-бит преобразователями практически сведены к нулю из-за влияния собственных шумов системы.

Разработчики быстродействующих АЦП вынуждены постоянно идти на компромисс между увеличением частоты дискретизации, а соответственно полосы частот регистрируемых сигналов, и увеличением динамического диапазона, чувствительности и точности регистрации сигналов. Применительно к рассматриваемой ситуации можно заключить, что при полосе частот анализируемых сигналов не более 100 МГц и при верхнем уровне частоты в спектре не более 400 МГц наилучшее сочетание частотных и динамических характеристик будут иметь 14-бит преобразователи ADS5545/46 компании Texas Instruments.

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА СБОРА ДАННЫХ

Благодаря оптимальному, на сегодняшний день, сочетанию частотных и динамических характеристик для дальнейшего развития линейки быстродействующих устройств сбора данных, разрабатываемых в "Центре АЦП", были выбраны микросхемы серии ADS5545/46 компании Texas Instruments. Подбором и исследованием компонентов аналогового тракта, а также тщательным проектированием печатной платы удалось добиться стабильной работы этих микросхем при частоте дискретизации до 200 МГц без существенного ухудшения их основных динамических характеристик. Параметры разработанного модуля ADC-14-200, в сравнении с его предшественником ADC-14-100, представлены в табл.2.

Результаты тестирования ADC-14-200 показаны на рис. 1а,б. В разработанном устройстве путем уменьшения паразитных спектральных составляющих удалось увеличить РДД до 87 дБ. Увеличение РДД очень важно для коммуникационных приложений, например устройств анализа сигналов сотовой связи стандарта GSM, где суммарный диапазон частот составляет 100 МГц. Поэтому в "Центре АЦП" продолжаются работы, направленные на увеличение РДД.

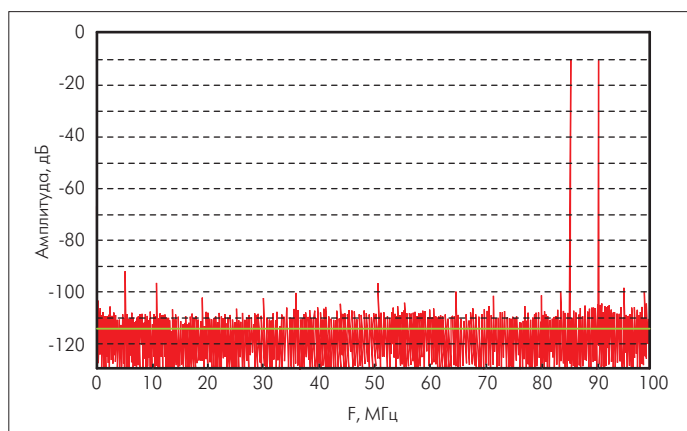


Рис.2. Результаты измерения ИМИ ADC-14-200 (ИМИ = 86 дБ, РДД = 81 дБ при частотах входных сигналов 85 и 90 МГц)

В коммуникационных приложениях большое значение имеет и величина интермодуляционных искажений (ИМИ). Причина возникновения этих искажений – нелинейность передаточной характеристики АЦП. Результаты измерения ИМИ представлены на рис.2. Значение искажений, возникающих из-за взаимодействия двух сигналов на входе АЦП, составляет 86 дБ, при этом РДД уменьшается до 81 дБ. Благодаря большому мгновенному динамическому диапазону и малым интермодуляционным искажениям АЦП способен фиксировать слабые сигналы в присутствии сильных и предотвращать маскировку слабых сигналов интермодуляционными помехами сильных. Высокая частота дискретизации, низкий уровень собственных шумов и гармонических искажений обеспечивают высокое разрешение частотных компонент при спектральном анализе.

Высокие динамические и частотные характеристики ADC-14-200 позволяют применять его в системах связи для оперативного и детального мониторинга сигналов. АЦП с такими параметрами будет востребован и в пассивных, и в активных системах радиолокации, а также в измерительных приложениях, например в спектроанализаторах. Можно отметить, что создание унифицированных модулей АЦП с предельными на сегодняшний день параметрами вряд ли целесообразно. Значительно больший эффект дает разработка и оптимизация устройства при тесном сотрудничестве с заказчиком с учетом требований его конечного применения. "Центр АЦП" уже ведет ряд совместных НИР и ОКР с ведущими российскими фирмами и исследовательскими институтами. Основные задачи, решаемые специалистами Центра в этих совместных работах:

- исследование возможности создания устройств аналого-цифрового преобразования с заданными параметрами;
- анализ, тестирование и подбор аналоговых компонентов системы;
- разработка схемотехнических решений, позволяющих достичь заданных параметров;
- проектирование и изготовление модулей АЦП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

К сожалению, очень частое среди разработчиков прикладных систем заблуждение, с которым приходится сталкиваться в повседневной работе, – это отношение к АЦП как к "черному ящику" и недооценка его роли в системе. Свою основную задачу разработчики видят в том, чтобы оптимально разместить АЦП на печатной плате, проявляя большую озабоченность быстродействием процессоров и ПЛИС. В этом, по их мнению, главная задача системы цифровой обработки сигнала. Но они упускают из вида то, что ошибки, допущенные на стадии аналого-цифрового преобразования, в дальнейшем становятся неотличимы от преобразованного сигнала и при последующей ци-

фровой обработке не могут быть полностью устранены. Причина этого в том, что реальный АЦП – система нелинейная, а вносимые такой системой погрешности не аддитивно складываются с реальным сигналом и зависят от параметров измеряемого сигнала, особенно при работе в предельных режимах. Поэтому при работе с АЦП с максимальными возможностями не достаточно правильно включить микросхему согласно ее описанию. Необходимо еще исследовать реальные характеристики преобразователей, проанализировать факторы, влияющие на эти характеристики, и вести целенаправленный поиск по достижению нужных параметров. Лучше доверить эту работу зарекомендовавшим себя специализированным коллективам разработчиков.

В последнее время ряд ведущих производителей АЦП заявили о выпуске 12-бит микросхем АЦП с частотой дискретизации 500 МГц. Это – следующий шаг в развитии быстродействующих АЦП с большим динамическим диапазоном. Сейчас в "Центре АЦП" активно ведутся работы по изучению новых преобразователей и поиск партнеров по совместной разработке как отдельных устройств, так и систем на их основе.

ЛИТЕРАТУРА

- Сайт фирмы Texas Instruments. <http://www.ti.com>
 Сайт фирмы Analog Devices. <http://www.analog.com>
 Сайт фирмы Linear Technology. <http://www.linear.com>
 Сайт фирмы Maxim Integrated Products. <http://www.maxim-ic.com>
 Сайт фирмы ООО "Центр АЦП". <http://www.centeradc.ru>