

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ АЦП

По мере развития технологии производства микросхем увеличивается частота дискретизации и разрядность АЦП. Производители АЦП, используя современные технологии, постоянно работают над улучшением статических и динамических характеристик своих изделий. Соответственно повышаются требования и к разработкам высокочастотных устройств. Каким характеристикам необходимо уделять особое внимание для получения наиболее приемлемых параметров разрабатываемого на основе АЦП устройства? К сожалению, в рамках одной статьи невозможно осветить все факторы, влияющие на результат преобразования, поэтому подробнее рассмотрим влияние источника тактовой частоты.

В последнее время многие производители АЦП представили новые семейства микросхем с очень высокими характеристиками (табл.1). Особо хочется отметить тот факт, что с ростом частоты дискретизации динамические характеристики многих АЦП остаются высокими на частотах входного сигнала, близких к максимальной частоте дискретизации. Раньше производители не приводили характеристики АЦП на частотах выше половины частоты дискретизации, поскольку число эффективных разрядов (ЧЭР) довольно быстро снижалось с ростом входной частоты. Сейчас ситуация меняется. Как показывает сравнение типовых характеристик 8- и 10-бит АЦП фирм Maxim Integrated Products и e2v, соответственно, разница между ними на высокой частоте входного сигнала не превышает половины разряда (табл.2). Поэтому при выборе АЦП необходим тщательный анализ характеристик в заданной частотной области.

В технических описаниях микросхем АЦП производители указывают характеристики, полученные с помощью

С.Шиляев, О.Фомин
adc@rudshel.ru

тестовой платы (Evolution board, Evolution kit), на которой установлены только те элементы, которые необходимы для тестирования АЦП. В качестве источников входного и тактового сигнала в этих платах обычно используются стационарные генераторы таких компаний, как Hewlett-Packard, Rohde & Schwarz и Agilent Technologies. Из многочисленной номенклатуры приборов выбираются те, которые заведомо выше классом, чем тестируемые АЦП. При решении реальных задач ситуация другая. Разработчику, как правило, самому приходится проектировать тактовый генератор. Зачастую на входе АЦП не обойтись без усилителей, аттенуаторов, мультиплексоров и фильтров. Кроме того, в непосредственной близости с АЦП могут оказаться многочисленные ПЛИС, процессоры, память и т.п., что приводит к ухудшению результата измерений. Поэтому для достижения в разрабатываемой системе характеристик, заявленных производителем АЦП, необходима долгая и кропотливая работа по выбору элементной базы и проектированию печатной платы. Конечный результат зависит не только от выбранной схемотехники, но и от размещения элементов на печатной плате, и во многом от самой печатной платы. Материал печатной платы, число слоев, расстояние между ними – все это непосредственно влияет на конечные характеристики разрабатываемого устройства. Огромное значение имеют качество источников

Таблица 1. Характеристики новых семейств АЦП

Тип АЦП	Производитель	Разрядность, бит	Частота дискретизации, МГц
ADC08D1000	National Semiconductor	8	1000
ADC08D1500	National Semiconductor	8	1500
AT84AD001	e2v*	8	1000
AT84AS004	e2v*	10	2000
AD6645	Analog Devices	14	105
ADS5500	Texas Instruments	14	125
LTC2255	Linear Technology	14	125
LTC2207	Linear Technology	16	105

*Компания e2v приобрела у фирмы Atmel 8-, 10- и 12-бит АЦП с частотой дискретизации от 500 МГц до 5 ГГц.

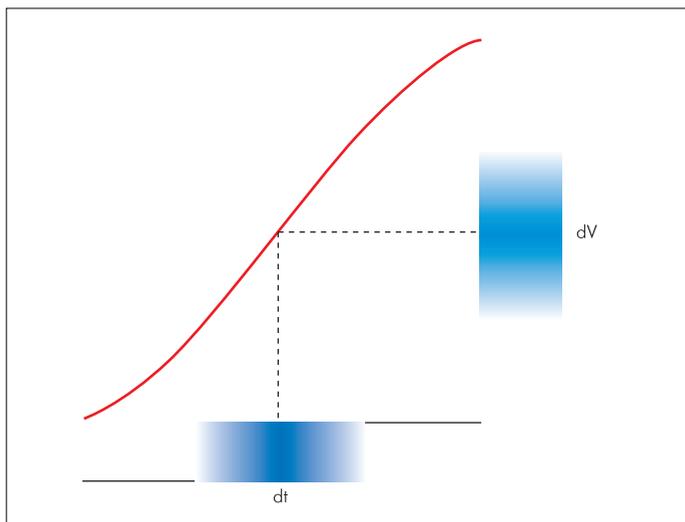


Рис. 1. Влияние нестабильности частоты тактового сигнала на точность измерения амплитуды

питания и способ подсоединения земляных и питающих шин. Чтобы минимизировать влияние цифровой схемы на аналоговый канал, во многих случаях приходится экранировать высокочастотные и высокоимпедансные узлы.

Рассмотрим некоторые ключевые моменты, по которым можно оценить требования, предъявляемые к тактовому генератору. Один из основных факторов, влияющих на точность измерения амплитуды, – нестабильность частоты тактового сигнала (рис.1). Очевидно, что с ростом скорости нарастания входного сигнала эта зависимость будет заметней. Нестабильность моментов формирования цифровых отсчетов АЦП – джиттер (jitter – дрожание) t_j вносит большой вклад в ухудшение отношения сигнал/шум (С/Ш) и тем самым уменьшает эффективную разрядность самого АЦП. Как известно, для идеального АЦП с учетом только шума квантования $C/Ш = (6,02 \cdot N + 1,76)$, где N – число разрядов АЦП. В случае идеального 16-разрядного преобразователя $C/Ш = 6,02 \cdot 16 + 1,76 = 98$ дБ. Отно-

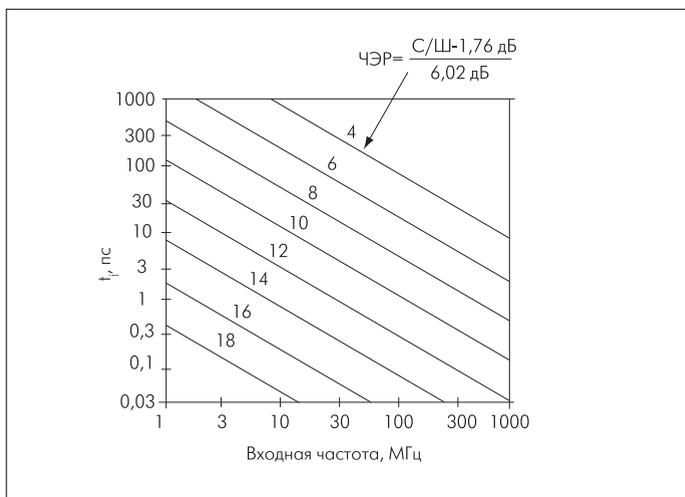


Рис.2. Влияние джиттера на число эффективных разрядов в зависимости от частоты входного сигнала

Таблица 2. Типовые характеристики АЦП фирм Maxim и Atmel

Характеристики	MAX108СНС (фирма Maxim)			AT84AS004 (фирма Atmel)			
	20	750	1500	100	750	1000	2000
$F_{вх}$, МГц	20	750	1500	100	750	1000	2000
$F_{дискр}$, МГц	1500	1500	1500	1000	1500	2000	2000
ЧЭР	7,71	7,51	7,07	8	8	7,8	7,5
Отношение сигнал/шум, дБ	47,4	46,8	44,8	52	52	51	50
Коэффициент гармонических искажений, дБ	60,2	52,1	44,5	52	52	49	49
Динамический диапазон, дБ	61,6	54,0	44,6	58	58	55	54

шение С/Ш реального АЦП, неминуемо вносящего дополнительные погрешности в процесс измерения, ухудшается. На практике С/Ш может учитывать гармоники основной частоты, если это указано специально. Такой параметр называют отношение сигнала к шуму плюс искажения (С/[Ш+И]). Экспериментально С/[Ш+И] можно измерить, используя высококачественный измеряемый сигнал и вычисляя БПФ. При этом в понятие шума включаются и гармоники сигнала (искажения). Подставляя полученное отношение в приведенную формулу расчета С/Ш, можно найти число эффективных разрядов (ЧЭР) АЦП. Чтобы более наглядно отобразить влияние нестабильности частоты тактового сигнала, примем $C/[Ш+И] = C/Ш$, тогда $C/Ш = 20 \lg(1/2\pi F_{вх} t_j)$, где $F_{вх}$ – частота входного сигнала. На рис.2 приведены графики, соответствующие определенному числу эффективных разрядов, по которым можно оценить допустимый джиттер t_j тактового сигнала.

Вклад во временную нестабильность тактового сигнала вносит не только внутренний джиттер АЦП, но и микросхемы, и элементы внешних цепей, расположенных на плате. Рассмотрим данные, полученные с помощью платы ЗАО "Руднев-Шилиев" ЛА-н1РС1. На плате используется восьмиразрядный АЦП – MAX104СНС фирмы Maxim. Плата имеет один канал с максимальной частотой дискре-

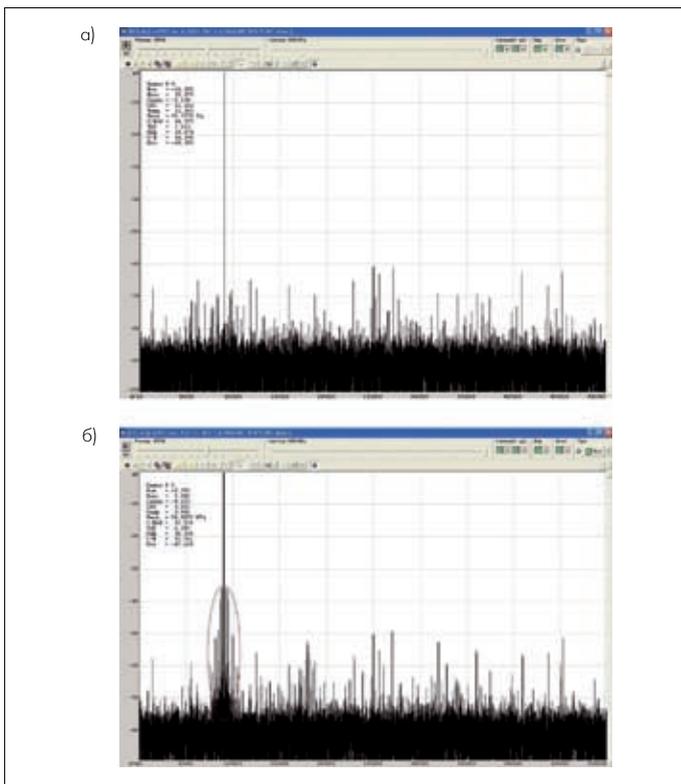


Рис.3. Результаты БПФ при использовании в качестве источника тактовой частоты платы ЛА-н1РС1 стабильного кварцевого генератора (а) и генератора с высоким фазовым шумом (б)

тизации 1 ГГц; при $R_{вх}=1$ МОм диапазоны напряжения – ± 5 В, $\pm 2,5$ В, ± 1 В, $\pm 0,5$ В, полоса – 100 МГц(-3 дБ); при $R_{вх} = 50$ Ом диапазоны – ± 2 В, ± 1 В, $\pm 0,5$ В, $\pm 0,25$ В, полоса – 300 МГц(-3дБ). Кроме того, на плате имеются 8-Мбайт ОЗУ и интерфейс РС1. На вход подается тестовый синусоидальный сигнал с частотой 90 МГц. Источник тактовой частоты – внутренний стабильный кварцевый генератор на 1 ГГц.

Анализ проводился с помощью БПФ размером 64 Кбайт. При этом использовалось окно Блэкмана-Хэрриса седьмого порядка. На рис.3 приведены сравнительные результаты БПФ при использовании в качестве источников тактового сигнала стабильного кварцевого генератора и внешнего генератора с высоким фазовым шумом. Как видно, во втором случае общий уровень шума заметно вырос. Кроме того, у основания основной гармоники видны паразитные спектральные составляющие. К таким результатам может привести не только собственный фазовый шум тактового генератора, но и неверное размещение генератора на печатной плате, недостаточная амплитуда сигнала или неправильное согласование волнового сопротивления. Очевидно, в этом случае применение АЦП большей разрядности результата заметно не улучшит.

Стремясь повысить частоту дискретизации наиболее доступным и дешевым способом, многие производители цифровых запоминающих осциллографов и плат сбора данных удваивают частоту дискретизации, зашелкивая

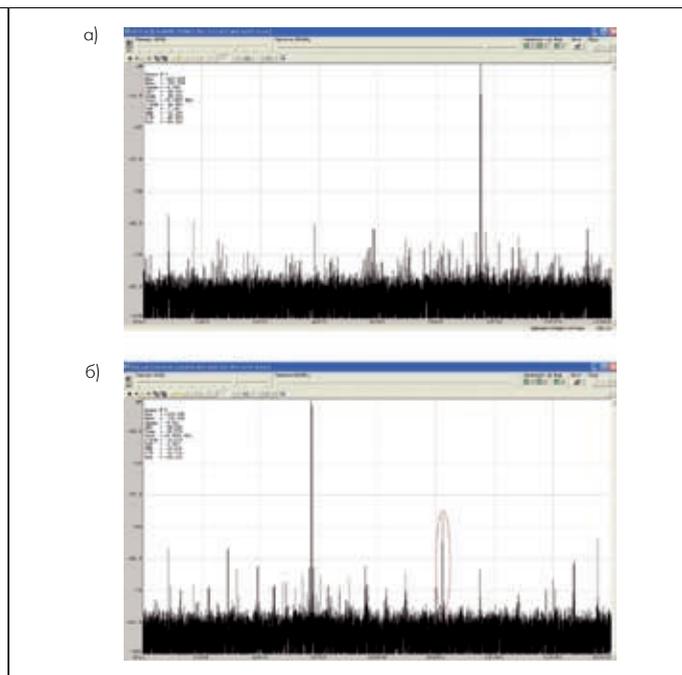


Рис.4. Спектры сигналов, оцифрованных платой ЛА-н4USB в режимах без удвоения (а) и удвоения частоты дискретизации (б). Красной огибающей отмечена спектральная составляющая, появляющаяся из-за различия каналов АЦП

входной сигнал попеременно двумя различными АЦП. Однако в этом случае следует учитывать некоторые особенности оцифровки сигнала. Прежде всего, статические характеристики АЦП должны быть идентичными. Для обеспечения долговременной стабильности следует предусмотреть режим калибровки статических характеристик каждого канала. Точность установки фазы тактового сигнала между каналами должна рассчитываться по методике, описанной выше. Но даже при соблюдении всех этих требований добиться такого же результата, как в случае с одним АЦП, на высокой частоте входного сигнала крайне сложно из-за неидентичности амплитудно-частотных характеристик разных каналов.

Рассмотрим влияние удвоения частоты дискретизации на примере высокочастотного устройства сбора данных ЗАО "Руднев-Шилиев" ЛА-н4USB с двумя синхронными каналами, выполненного на основе восьмиразрядного АЦП. Устройство также содержит 2-Мбайт ОЗУ и интерфейс USB 2.0. Максимальная частота дискретизации на канал составляет 250 МГц, в одноканальном режиме – 500 МГц (режим удвоения частоты). Защита по входу – ± 150 В, диапазоны – ± 25 В, $\pm 12,5$, ± 5 , $\pm 2,5$, $\pm 1,25$, $\pm 0,625$, $\pm 0,25$ и $\pm 0,125$ В; $R_{вх} = 1$ МОм; полоса – 100 МГц(-3 дБ). На вход подавался тестовый синусоидальный сигнал с частотой 90 МГц. Спектры тестовых сигналов, оцифрованных этой платой в режиме без удвоения и в режиме удвоения частоты дискретизации, приведены на рис.4. С ростом частоты входного сигнала амплитуда помехи, обусловленной различием каналов АЦП, будет увеличиваться.

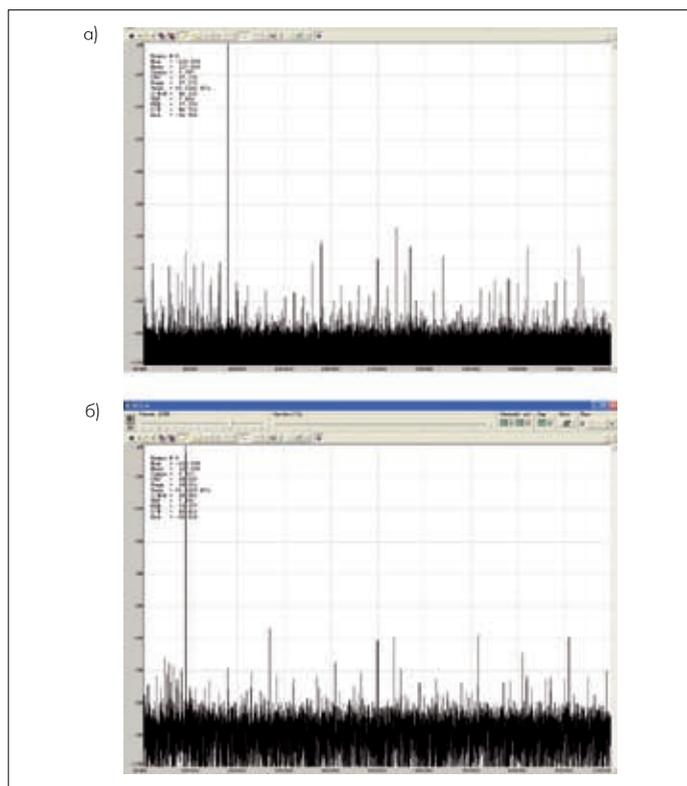


Рис.5. Спектральные характеристики платы ЛА-н1USB в режиме без удвоения частоты (а) и режиме удвоения частоты дискретизации (б)

Однако некоторые современные двухканальные АЦП, такие как ADC08D1000, ADC08D1500 компании National Semiconductor, AT84AD001 фирмы e2v и другие, предусматривают работу в одноканальном режиме с удвоенной частотой дискретизации. Они имеют встроенный мультиплексор входного сигнала, позволяют программно подстраивать фазу тактового сигнала, коэффициент усиления и смещение каждого канала. У таких АЦП деградация характеристик в режиме удвоения частоты дискретизации наступает при более высоких частотах, чем в

случае применения двух одноканальных АЦП. В качестве примера приведем характеристики платы ЗАО "Руднев-Шиляев" ЛА-н1USB, выполненной на основе 8-бит АЦП ADC08D1000. Плата имеет два синхронных канала, 8-Мбайт ОЗУ и интерфейс USB 2.0. Максимальная частота дискретизации составляет 1 ГГц на канал; в одноканальном режиме – 2 ГГц (режим удвоения частоты); при $R_{вх} = 1 \text{ МОм}$ полоса составляет 100 МГц(-3 дБ); при $R_{вх} = 50 \text{ Ом}$ – 300 МГц(-3 дБ). На вход подается тестовый синусоидальный сигнал с частотой 90 МГц. Отличие спектральных характеристик платы ЛА-н1USB в режиме без удвоения и в режиме удвоения частоты дискретизации весьма незначительно (рис.5).

Таким образом, при выборе высокочастотного АЦП описанного выше типа, необходимо знать, в какой полосе частот входного сигнала будет работать конечный прибор, созданный на базе этой микросхемы. Нужно определить минимальный динамический диапазон, который будет достаточен для решения поставленной задачи, подобрать элементную базу с учетом требуемого функционала, габаритов, энергопотребления и возможностей проектирования и изготовления печатной платы. Многолетний опыт, накопленный ЗАО "Руднев-Шиляев" в области применения высокочастотных АЦП, позволяет сделать вывод, что для получения приемлемых характеристик разрабатываемого устройства иногда требуется несколько итераций, в ходе выполнения которых его конструкция может значительно измениться. Надеемся, что данная статья поможет Вам при выборе или проектировании систем с высокочастотными АЦП.

ЛИТЕРАТУРА

- Kester W. Sampling clock generation.
- Data sheets MAX108CHC.
- Data sheets AT84AS004.