

ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВ ВЫБОРКИ-ХРАНЕНИЯ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ АПЕРТУРНОГО ЭФФЕКТА АЦП

В.В. Запезалов

В работе приведен метод снижения апертурного эффекта АЦП с помощью быстродействующих устройств выборки-хранения.

Ключевые слова: АЦП, дискретизация, цифровая обработка сигналов.

При дискретизации широкополосных сигналов, в особенности при работе во второй и далее зонах Найквиста заметное влияние оказывает апертурный эффект – снижение передаточной характеристики тракта преобразования сигналов в высокочастотной области за счет ненулевого апертурного времени АЦП. Апертурным временем (aperture delay) называется время, в течение которого сохраняется неопределенность между значением выборки и временем, к которому она относится. На рисунке 1 показано возникновение апертурной ошибки ΔU_a вследствие ненулевого апертурного времени t_a .

Влияние апертурного времени на частотную характеристику тракта преобразования учитывается следующим выражением:

$$H_a(f) = \frac{\sin(\pi f \cdot t_a)}{\pi f \cdot t_a}. \quad (1)$$

К примеру, АЦП ADC12D1800RF фирмы Texas Instruments может работать с частотой выборки до 3,6 ГГц. Ширина входной частотной полосы по уровню -3 дБ составляет 2,7 ГГц, а на частоте 4 ГГц вносимые потери составляют более 10 дБ, т.е. без искажений в частотной области можно работать лишь в первой зоне Найквиста [4].

При работе во второй и далее зонах Найквиста применяют быстродействующие устройства выборки-хранения с малым апертурным временем и широкой полосой частот.

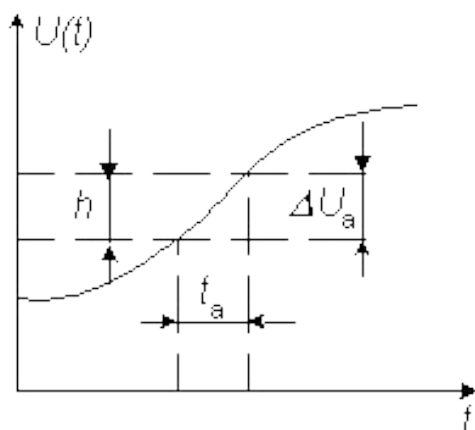


Рис. 1. Возникновение апертурной ошибки

Интегральная микросхема НМС661LC4В представляет собой устройство выборки-хранения (Track and hold) со следующими основными характеристиками:

– полоса обрабатываемого сигнала, МГц	0...18000
– частота выборки, МГц	250...4000
– апертурное время, пс	6
– соотношение сигнал/шум на выходе, дБ	не менее 30
– напряжение включения режима «Пропускание», мВ	40
– напряжение включения режима «Удержание», мВ	-40

Устройство выборки-хранения (далее – УВХ) работает следующим образом: когда состояние дифференциального тактового входа «высокое», происходит «пропускание» сигнала (Track mode), т.е. выходной сигнал является копией входного. Когда состояние тактового входа «низкое», включается режим «хранения» (Hold mode), т.е. удерживается состояние, соответствующее времени переключения в режим хранения. Принцип работы проиллюстрирован на рисунке 2 [1].

УВХ может применяться для уменьшения апертурного эффекта АЦП. За счет этого выравнивается АЧХ тракта преобразования сигнала как в первой, так и в прочих зонах Найквиста. Структурная схема тракта преобразования сигнала приведена на рисунке 3 [2].

На данной схеме входной сигнал, проходя через буферный усилитель, поступает на УВХ. Выходной сигнал с УВХ подается на АЦП. УВХ и АЦП тактируются от одного источника тактового сигнала, однако на АЦП тактовый сигнал подается через управляемый фазовращатель.

Применение фазовращателя обусловлено тем, чтобы выборка сигнала на входе АЦП производилась в те моменты, пока УВХ находится в режиме «хранения». Заметим, что при известной тактовой частоте внести фазовую задержку в тактовый сигнал можно, пропустив его через длинную линию, однако данный метод лишен гибкости. Также существуют микросхемы – фазовращатели с цифровым управлением – например, для диапазона 3–6 ГГц

существует микросхема НМС649 [5] в которой фазовый сдвиг задается с помощью цифрового интерфейса. Фазовая ошибка для данного устройства составляет до ± 5 градусов. Отметим, что в данном случае фазовая ошибка в 5 градусов не критична.

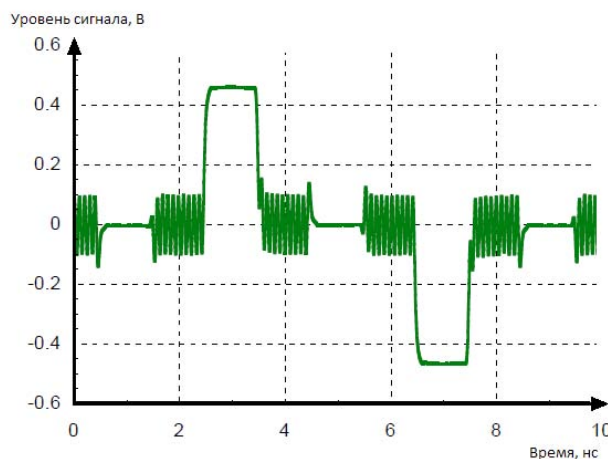


Рис. 2. Принцип работы УВХ НМС661LC4В

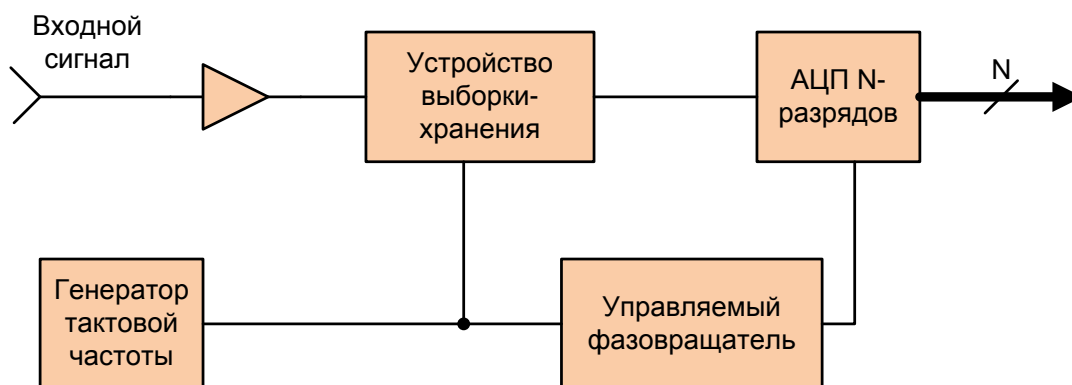


Рис. 3. Схема уменьшения апертурного эффекта АЦП

Более точный поворот фазы будет обеспечиваться, если применить дополнительную микросхему – разветвитель тактового сигнала с ФАПЧ (например, НМС988LP3Е фирмы Hittite [6]) с установкой фазы выходного сигнала.

Во многих АЦП (в частности, в семействе АЦП ADC12Dxxxx фирмы Texas Instruments [4]) существует возможность вносить задержку во входной тактовый сигнал, что эквивалентно фазовому сдвигу.

В результате расширяется частотный диапазон входного сигнала АЦП. В [3] подробно описаны эффекты такой схемы включения. На рисунке 4 изображены частотные характеристики тракта преобразования без УВХ (зеленым цветом) и тракта с применением УВХ при использовании АЦП ADC12D1600 фирмы Texas Instruments.

Таким образом, применение УВХ позволяет вести оцифровку сигнала в произвольной зоне Найквиста вплоть до частоты 18 ГГц.

Все сигналы, находящиеся в частотной полосе до 18 ГГц «свернутся» в выходной цифровой сигнал. схематично спектр исходного и дискретного сигнала показан на рисунке 5. Частота выборки в данном случае равна 4 ГГц (гармоники частоты выборки обозначены прерывистой линией). При меньшей частоте выборки будет больше зон Найквиста, а выходная полоса будет меньше. На данном рисунке не показан эффект снижения амплитуды вследствие апертурного эффекта ввиду того, что апертурное время УВХ чрезвычайно мало, и на частоте 18 ГГц расчетное затухание составляет 0,2 дБ.

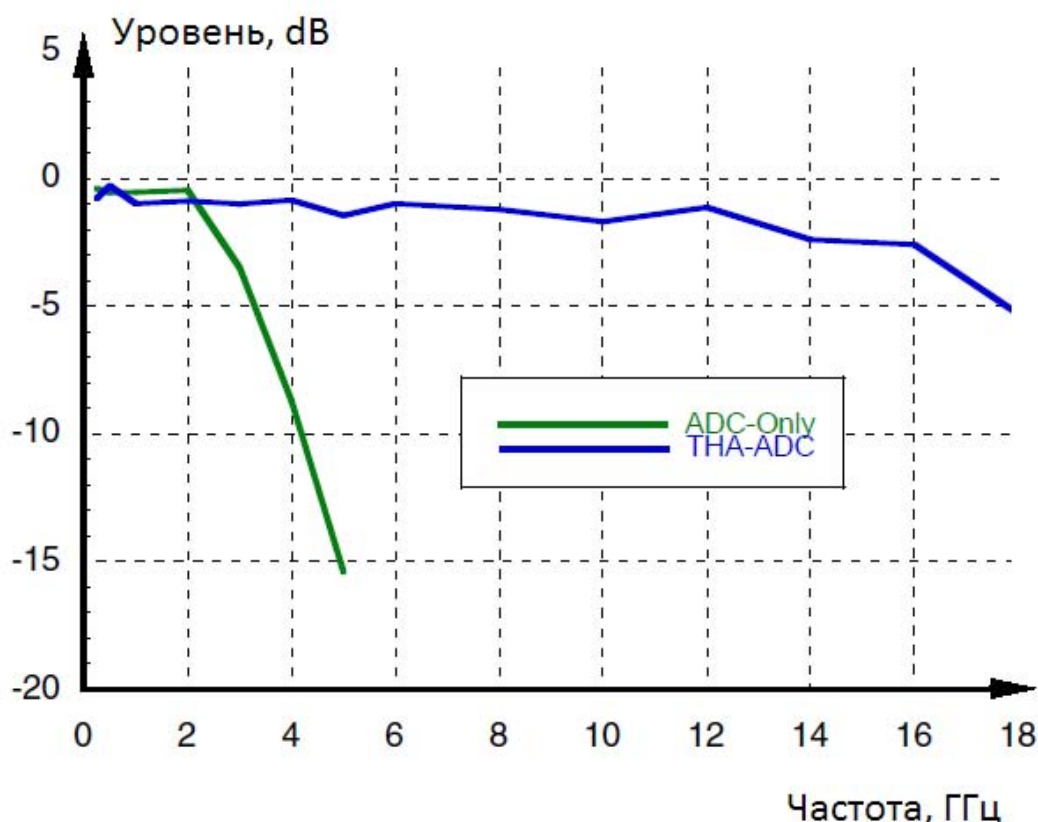


Рис. 4. Передаточная характеристика тракта АЦП

Негативный эффект применения УВХ состоит в ухудшении шумовых характеристик преобразования. Это обусловлено расширением входной полосы частот, т.е. шумы и паразитные сигналы из всех зон Найквиста в полосе до 18 ГГц «свернутся» в выходной цифровой сигнал. Согласно [3], отношение сигнал/шум при применении УВХ снижается примерно на 10 дБ. Точное соотношение определяется типом примененного АЦП.

Для увеличения частотной полосы преобразования сигнала с помощью УВХ предлагается использовать УВХ для формирования четных и нечетных выборок сигнала. Структурная схема предлагаемого устройства приведена на рисунке 6.

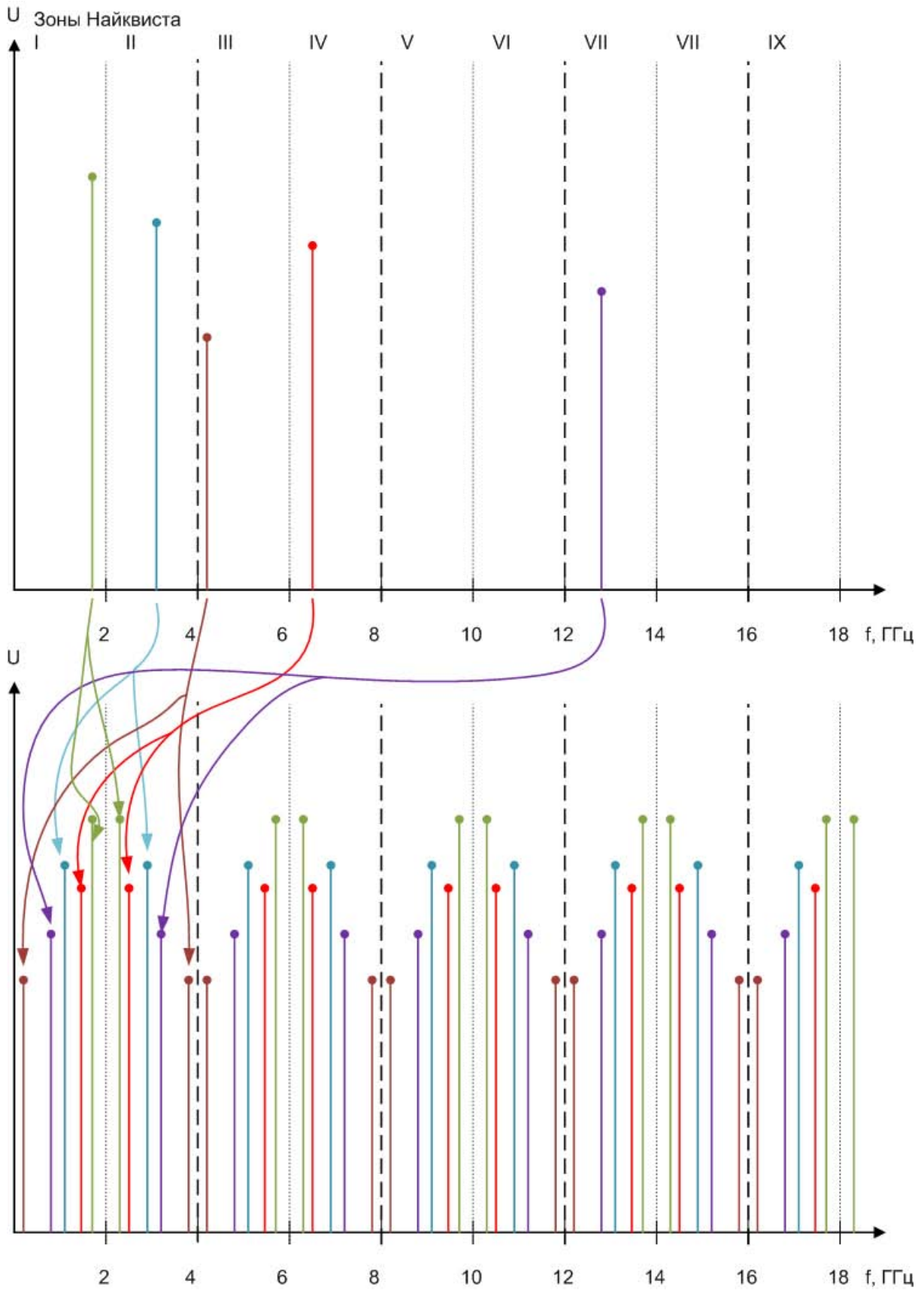


Рис. 5. Спектр аналогового и дискретного сигналов

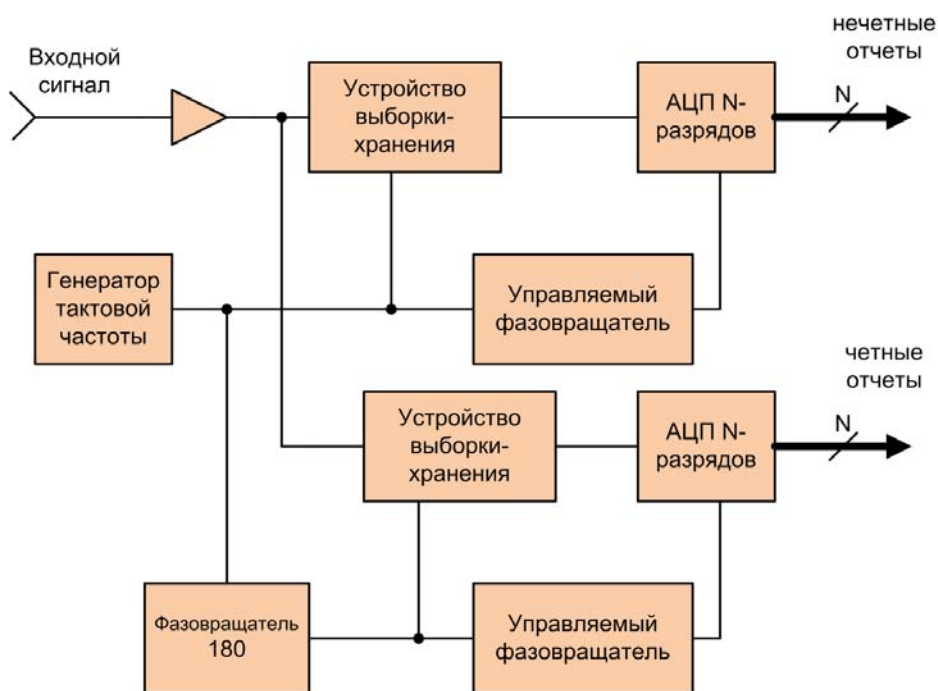


Рис. 6. Применения УВХ для формирования полифазного сигнала

В схеме присутствует два АЦП и два УВХ. На второй УВХ и АЦП тактовый сигнал поступает с обратной фазой. Благодаря этому на выходе АЦП формируются нечетные отчеты сигнала, а на выходе второго – четные. Заметим, что на УВХ подается дифференциальный тактовый сигнал, и, поменяв полярность сигналов, можно добиться переворота фазы. Так, совместно с производительным АЦП [4], можно добиться полосы обработки сигнала до 3,6 ГГц.

Аналогичным образом можно сформировать полифазный (k -фазный) сигнал на произвольное количество фаз, если обеспечить фазовый сдвиг синхросигнала. Дрожание фронта синхросигнала (jitter) снижает отношение сигнал/шум тракта преобразования. Максимальное значение дрожания фазы определяется из соотношения [4]:

$$t_j = \frac{V_{in(P-P)}}{V_{FSR}} \cdot \frac{1}{2^{N+1} \cdot \pi \cdot f_{in}}, \quad (2)$$

где $V_{in(P-P)}$ – уровень входного сигнала;

V_{FSR} – максимальный размах входного сигнала;

N – разрядность АЦП;

f_{in} – частота входного сигнала.

Поскольку при полифазной обработке сигнала входная частота увеличивается в k раз, требования к дрожанию фазы синхросигнала увеличиваются соответственно.

Несомненно, цифровая обработка столь широкополосного сигнала – нетривиальная задача, требующая специальных алгоритмов.

Библиографический список

1. HMC661LC4B. Ultra-wideband 4 GS/s track-and-hold amplifier. Hittite Microwave Corporation, 2012.
2. General Guidelines & Procedures for Using the HMC661LC4B with an Analog-to-Digital Converter. Hittite Microwave Corporation, 2012.
3. Bandwidth & Performance Improvements of High Speed Analog-to-Digital Converters Using the HMC661LC4B. Hittite Microwave Corporation, 2012.
4. ADC12D1800RF. 12-Bit, Single 3.6 GSPS RF Sampling ADC. Texas Instruments Incorporated, 2014.
5. HMC649. GaAs MMIC 6-bit digital phase shifter, 3 - 6 GHz. Hittite Microwave Corporation, 2009.
6. HMC988LP3E. Programmable clock divider and delay. Hittite Microwave Corporation, 2012.