

# Применение микросхем АЦП 5101НВ015 в дифференциальном включении

Вячеслав ДЕМЯНЕНКО  
demyanenko.v@ic-design.ru  
Руслан ХАМИЗОВ  
hamizov.r@milandr.ru

**В современном мире развитие цифровых систем позволило упростить жизнь и повысить ее качество. Системы радиосвязи, телекоммуникации стали неотъемлемой частью быта большинства людей. Сотовые и спутниковые телефоны, телевидение, Интернет — все это работает благодаря в том числе и аналого-цифровым преобразователям. По совокупности параметров, таких как высокое быстродействие, небольшое количество элементов, малое энергопотребление АЦП конвейерного типа являются хорошим решением для применения в системах обработки информации.**

**А**ЦП конвейерного типа 5101НВ015 производства компании АО «ПКК Миландр» состоит из входного флэш-каскада, центрального конвейера и последнего флэш-каскада. Все каскады АЦП выполнены по дифференциальной схеме с двойной выборкой. Сигнал на выходе входного флэш-каскада и в конвейере имеет уменьшенную в 4 раза амплитуду и, соответственно, уменьшенное опорное напряжение конвейера, формируемое в АЦП.

АЦП оптимизирован для работы в системах с пониженным энергопотреблением в широком диапазоне частоты выборки. Для сокращения энергопотребления на низкой частоте выборки и увеличения точности на высокой частоте выборки предусмотрен режим работы с током смещения, пропорциональным частоте выборки.

В нормальном режиме АЦП преобразует дифференциальный входной сигнал  $U_i$  с амплитудой 2 В при опорном напряжении  $U_{REF} = U_i/2 = 1$  В. На частотах выборки не более 80 МГц АЦП может преобразовывать входной сигнал с увеличенной до 3 В амплитудой при использовании внешнего опорного напряжения  $U_i/2$ . Увеличение амплитуды входного сигнала до 3 В позволяет повысить SNR и SNDR на 1,5–2,5 дБ.

В качестве синфазного уровня входного сигнала может быть использовано напряжение с выхода CMIN.

Существует множество схем подачи входного сигнала в АЦП. Рассмотрим несколько основных: с внешнего источника, с внешнего источника через трансформатор и подключение через дифференциальный усилитель.

Трансформаторы — пассивный элемент. В нашем случае, могут быть использованы основные свойства трансформатора для сопряжения с АЦП. Во-первых, трансформатор гальванически изолирует внешний ис-

точник, во-вторых, с его помощью можно преобразовать несимметричный входной сигнал в дифференциальный.

Неидеальность трансформатора определяется несколькими параметрами:

- вносимые потери, или, иначе, вносимое затухание, возникающее при несогласованном включении;
- потери на отражение, которые зависят от волнового импеданса;
- разбаланс амплитуды;
- разбаланс фаз, который возникает с ростом частоты. Чем больше частота, тем больше амплитуды паразитных четных гармоник. Разбаланс фаз в единицы градусов приводит к резкому ухудшению точности АЦП до 10 дБ при разных условиях.

Таким образом, существуют определенные требования к трансформаторам, и к их выбору нужно подходить вдумчиво, оценивая ключевые параметры.

Трансформатор — хороший выбор, если:

- необходимо работать в области частот свыше 10 МГц;
- требуется гальванически отвязать входной сигнал от приемника.

Однако у него есть и некоторые ограничения:

- уменьшение полосы пропускания, обусловленное изменяющимся выходным сопротивлением;
- выбросы, обусловленные паразитными связями в трансформаторе.

Отношение выходного сопротивления к входному пропорционально квадрату коэффициента трансформации. Любой реальный трансформатор имеет ненулевые емкости и индуктивности, которые в совокупности с входными емкостями и индуктивностями АЦП образуют паразитные контуры, приводящие к деградации характеристик АЦП. Нельзя не упомянуть о до-

полнительных фильтрах — их включение между трансформатором и АЦП, например для подавления паразитных составляющих, также приводит к ухудшению параметров.

Усилитель — активный элемент. И это его главное отличие от трансформатора.

Плюсы:

- усиление малоомощного сигнала;
- возможно сохранить постоянную составляющую, то есть работать при постоянном токе;
- усилитель имеет более ровную, «плоскую» передаточную характеристику;
- выходное сопротивление усилителей практически не зависит от усиления.

Минусы — шумы и нелинейные искажения, вносимые во всем диапазоне частот усилителя.

Объективно вносимые шумы от усилителя влияют на выходные параметры схемы. В первую очередь это соотношение сигнал/шум (signal-to-noise ratio), которое показывает отношение мощности полезного сигнала к мощности шума. Соответственно, чем больше такое отношение, тем меньше будет влияние шума.

Для улучшения данного параметра можно внедрить фильтр после усилителя. Фильтр второго порядка позволяет улучшить сигнал/шум на несколько децибел. Он состоит из резистора и катушки индуктивности, последовательно соединенных с каждым выходом усилителя, а также параллельно подключенного конденсатора (рис. 1). Номиналы пассивных компонентов следует подбирать в зависимости от ширины полосы пропускания, которую необходимо получить. Также важным моментом является их погрешность: резисторы, катушки индуктивности и конденсаторы должны быть подобраны с максимальной точностью (не хуже 1%). При высоких частотах нужно рассмотреть

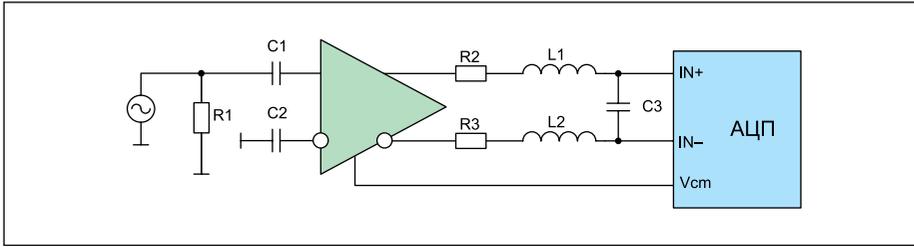


Рис. 1. Дифференциальный усилитель с фильтром второго порядка

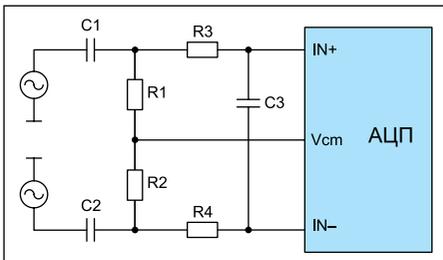


Рис. 2. Сопряжение с внешним источником

возможность использования пассивных компонентов, спроектированных для высокочастотных схем.

При удовлетворяющем соотношении сигнал/шум для конкретного применения и использования усилителя с низким выходным сопротивлением, для снижения влияния переходных процессов, связанных с переключением емкости схемы УВХ АЦП, будет достаточно последовательно с выходом включить в цепь сопротивление — это даст максимальную равномерную полосу пропускания.

Нагрузочная способность усилителя также является его неоспоримым преимуществом. Печатные платы могут содержать большое количество компонентов, схемные решения на которых выполняют множество функций. Нередко АЦП реализован на плате-мезо-

нине, или вся система построена по типу материнской платы, а нужные функции добавляются подключением «дочерних» плат. Так или иначе, бывает невозможно установить трансформатор непосредственно перед АЦП, тогда лучшим вариантом будет усилитель.

Рассмотрим несколько способов подключения АЦП к внешнему источнику.

Первая схема подключения: от согласованного внешнего источника (рис. 2).

В данном случае жесткие требования предъявляются к источнику сигнала. Линии передачи должны быть по возможности короткими, симметричными, согласованными по волновому сопротивлению. Пассивные компоненты должны быть подобраны с максимальной точностью.

Вторая схема подключения: с двумя симметрирующими трансформаторами (рис. 3).

По сравнению с обычным трансформатором, и тем более с усилителем, конфигурация с двумя симметрирующими трансформаторами имеет меньший разбаланс фаз за счет медленной деградации разбаланса амплитуды. Для пользователя это означает уменьшение искажений. В данном случае особые требования предъявляются к симметрирующим трансформаторам. Следует помнить, что при схожих технических параметрах не все изделия работают одинаково

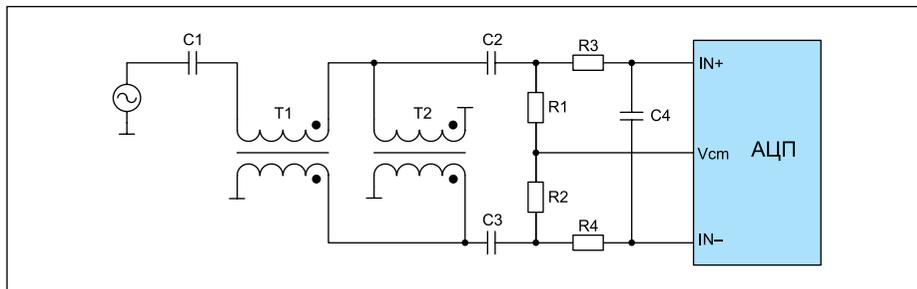


Рис. 3. Сопряжение с внешним источником через схему с двумя симметрирующими трансформаторами

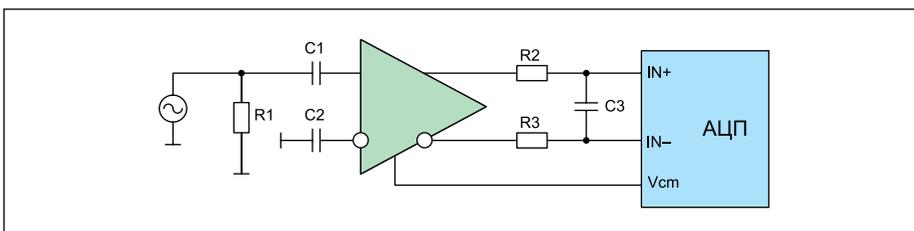


Рис. 4. Сопряжение с внешним источником через дифференциальный усилитель

в одной и той же схеме. Перед применением желательно запросить любые важные данные для вашего проекта, которые могут отсутствовать в спецификации.

Третья схема подключения: через усилитель (рис. 4).

Данная схема включения позволяет усиливать внешний сигнал и применима для узкополосных приложений, поскольку для уменьшения широкополосных искажений в ней используется простой фильтр нижних частот. Если необходимо работать в более широкой полосе, то нужно последовательно с резисторами на выходе усилителя включить катушки индуктивности. Кроме того, усилители обеспечивают обратную изоляцию при подавлении выбросов тока со стороны АЦП.

Для того чтобы выбрать правильную схему подключения входного сигнала к АЦП, необходимо оценивать все факторы, которые присутствуют в системе и могут оказать влияние на выходные характеристики. Помимо уже описанного соотношения сигнал/шум, это:

- Волновое сопротивление — сопротивление входной линии передачи. В высокочастотных схемах обычно равно 50 Ом, соответственно, и проект требуется выполнять таким образом, чтобы добиться максимального согласования с волновым сопротивлением: рассчитывать дорожки и зазоры на печатной плате, правильно выбирать материал печатной платы, в том числе в зависимости от полосы пропускания, используемой в проекте. Возможны и другие значения входного сопротивления.
- Полоса пропускания — диапазон частот, в котором работает пользователь. В зависимости от нее выбирают основные компоненты системы, как пассивные — резисторы, конденсаторы, трансформаторы, так и активные — усилители, транзисторы и т. д. Может сильно отличаться, ограничивается применением изделия.
- Неравномерность изменения передаточной функции в заданном диапазоне частот.
- Динамический диапазон, свободный от паразитных составляющих (Spurious-Free dynamic Range) — отношение мощности полезного сигнала, к примеру, несущей к наиболее мощной паразитной гармонике в рабочем диапазоне частот. Самые большие искажения вносит нелинейность усилителя, а также несбалансированность трансформатора и несогласованный входной сигнал.
- Коэффициент стоячей волны по напряжению — является мерой того, насколько эффективно радиочастотная энергия через линию передачи передается от источника в нагрузку.
- Необходимо уделить пристальное внимание проектированию схемотехники и печатных плат — это и расположение компонентов на плате, и правильно рассчитанные проводники, хорошие контакты,

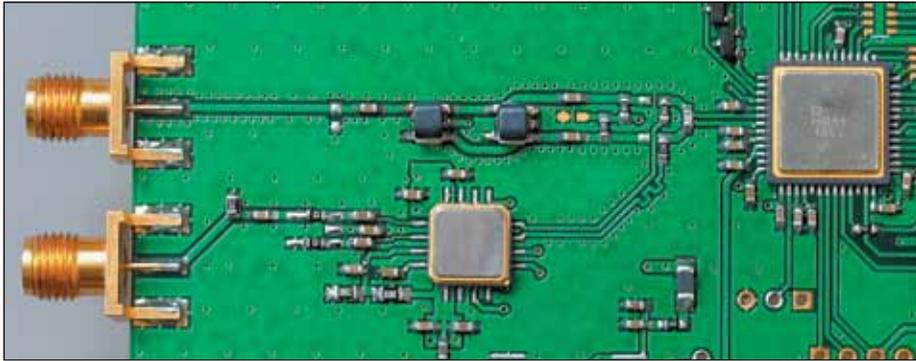


Рис. 5. Размещение АЦП 5101HB015 и дифференциального усилителя 5407UC015 на отладочной плате

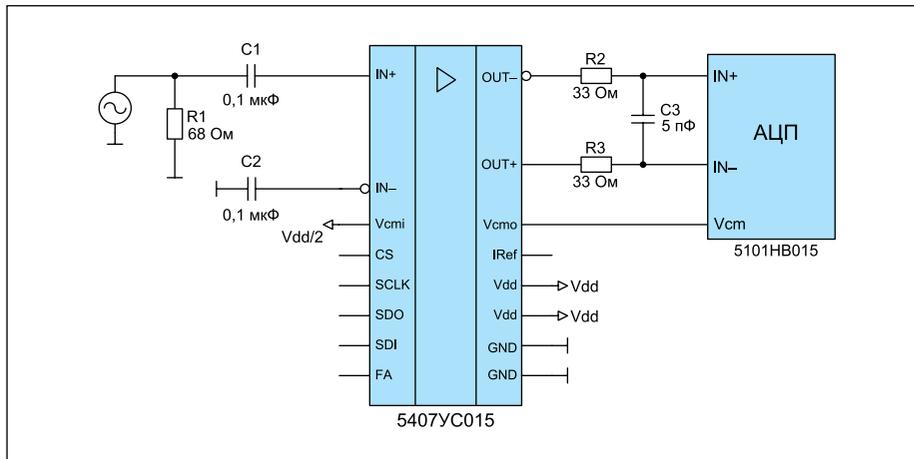


Рис. 6. Схема сопряжения АЦП 5101HB015 через дифференциальный усилитель 5407UC015 с внешним источником сигнала

и симметричные сигнальные цепи на входе и выходе, и точность компонентов, особенно дросселей, которые, как правило, имеют большой разброс, и хорошо продуманное отфильтрованное «питание».

В настоящее время компания АО ПСК «Миландр» создает дифференциальный усилитель с программируемым коэффициентом усиления 5407UC015. Совместное функционирование усилителя 5407UC015 и АЦП 5101HB015 будет реализовано на отладочной плате (рис. 5).

Печатная плата разрабатывается с учетом специфики применения АЦП с включением через дифференциальный усилитель. Данная схема (рис. 6) позволяет работать в полном диапазоне частот АЦП с минимальным уровнем шума, а также даст возможность использовать маломощные источники сигналов.

### Литература

1. Reeder R. Transformer-Coupled Front End for Wideband A/D Converters // Analog Dialogue. 2005. Vol. 39. No. 2.
2. Analog Devices. Data Sheet AD8370.
3. Analog Devices. Data Sheet AD4961.
4. Reeder R., Ramachandran R. Wideband A/D Converter Front-End Design Considerations // Analog Dialogue. 2006. Vol. 40. No. 3.
5. Wideband A/D Converter Considerations II // Analog Dialogue, 2007. Vol. 41. No. 2. [www.analog.com/library/analogDialogue/archives/41-02/transformer\\_vs\\_amp.html](http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/41-02/transformer_vs_amp.html)