

Оптимизация характеристик АЦП с регистром последовательного приближения за счет правильной компоновки печатной платы

Обеспечение расчетных показателей производительности высокоэффективных аналого-цифровых преобразователей (АЦП) зачастую представляет собой трудную задачу из-за целого ряда факторов. Выбор внешних компонентов, их размещение и соединения способны сильно повлиять на линейность, усиление, смещение; дополнительные шумы могут быть индуцированы в АЦП и даже привести к искажению входного сигнала. Для предотвращения ухудшения результатов преобразования АЦП можно принять ряд мер. В статье приводится полезная информация по правильному проектированию платы с использованием устройства ADS8556 производства компании Texas Instruments в качестве примера.

Матиас ТЕНЦЕР (Matthias TAENZER)

Общие аспекты

В основе АЦП с разрешением 16 и более разрядов лежит тщательный дизайн печатной платы, позволяющий добиться ожидаемых показателей производительности при измерении качества электропитания, управлении многоосными двигателями или сборе точных производственных данных. Помимо качества входного сигнала, на результате преобразования могут сказываться опорный сигнал и питающее напряжение. Правильная развязка, заземление и предварительное формирование сигнала могут способствовать повышению производительности системы. Хорошим примером служит сложное устройство ADS8556 с его 6 каналами, внутренним источником опорного напряжения и высоко-

вольтными входами. Описанные далее этапы процесса проектирования иллюстрируют различные меры, которые необходимо принять во избежание неоправданных ошибок линеаризации, а также определяют некоторые возможности возникновения искажений из-за неправильной компоновки.

1-й этап: оптимизация тракта опорного напряжения

Вход опорного напряжения — это наиболее важный тракт прохождения сигнала в применениях высокопроизводительных АЦП. Стабилизация его состояния до 16-разрядной точности должна происходить за половину периода тактовых импульсов преобразования. На качество результата

преобразования также непосредственно влияют шум, искажение и смещение на этом выводе. Устройство ADS8556 имеет внутренний источник опорного напряжения, обеспечивающий буферизованное опорное напряжение для каждой из трех пар каналов (рис. 1).

В качестве варианта при отключенном внутреннем источнике опорного напряжения опорное напряжение может быть приложено извне. В обоих случаях для обеспечения заряда для перезарядки внутреннего емкостного массива во время следующих этапов преобразования необходим внешний развязывающий конденсатор C_{refext} . Таким образом, емкость конденсатора C_{refext} определяется величиной емкости внутренней нагрузки. Предполагая, что падение напряжения во время одного цикла преобразования t_{conv} должно быть меньше половины значения младшего значащего разряда ($0,5MЗР$), емкость внешнего развязывающего конденсатора можно вычислить по формуле:

$$C_{refext} \geq 2^{(n+1)} C_{tot}$$

где n — число разрядов.

Величина C_{tot} представляет собой полную емкость внутреннего емкостного массива CDAC.

Для компенсации падения напряжения внутренний или внешний буфер опорного сигнала обеспечивает ток перезарядки развязывающего конденсатора снова до напряжения V_{ref} с требуемой точностью (например, $MЗР/4$ или $MЗР/8$). На основании этих соображений буфер опорного сигнала должен удовлетворять следующие требования к ши-

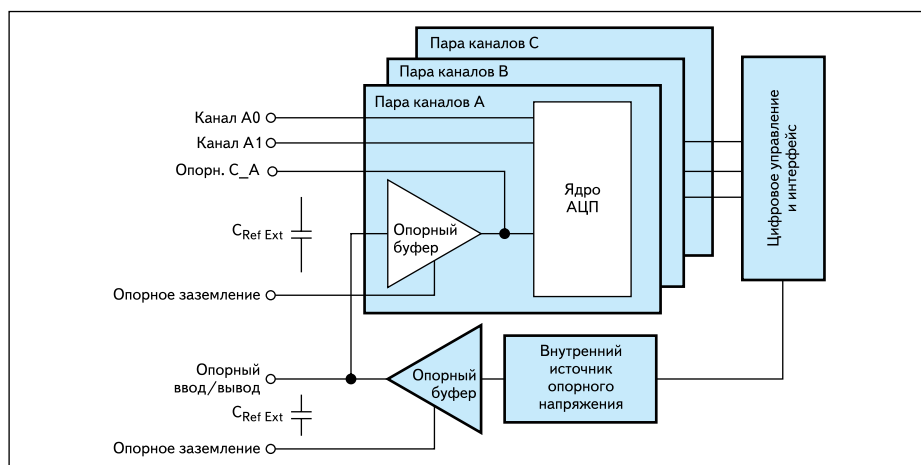


Рис. 1. Упрощенная блок-схема ADS8556

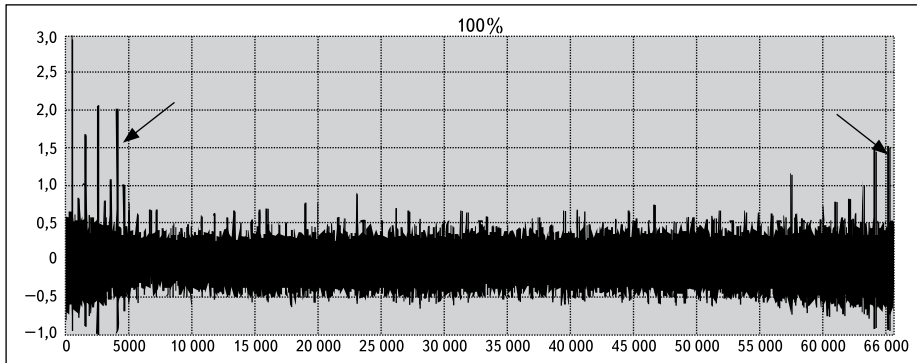


Рис. 2. Выбросы на графике погрешности в связи с дифференциальной нелинейностью из-за неправильного заземления (в МЗР)

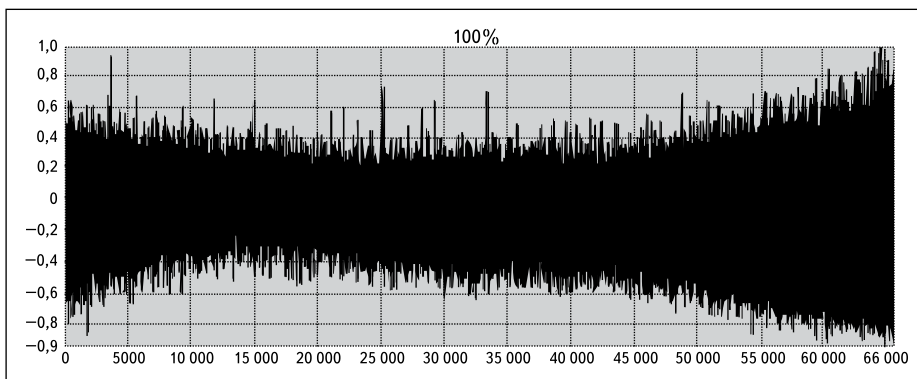


Рис. 3. Типичная погрешность в связи с дифференциальной нелинейностью, вызванной проблемами со стабилизацией состояния тракта опорного сигнала (в МЗР)

рине полосы пропускания, если время стабилизации состояния составляет 1τ:

$$f_{-3\text{дБ}} = (\ln 2) / (2\pi t_{\text{conv}}).$$

Если для задания опорного напряжения реализован внешний буфер, то следует принимать во внимание не только развязывающую емкость, но и сопротивление от выхода буфера до конденсатора и далее, до входа опорного напряжения АЦП.

Ток, проходящий через резистор между буфером и конденсатором, создает зависящее от выходного тока падение напряжения, что может привести к существенной погрешности в связи с интегральной нелинейностью. Таким образом, максимальное падение напряжения на этом сопротивлении должно быть меньше, чем 0,5МЗР. Максимальный ток, отбираемый с буфера, можно оценить с помощью следующего уравнения, также дающего допустимое значение сопротивления:

$$I_{\text{max}} = (C_{\text{tot}} \times V_{\text{ref}}) / t_{\text{conv}} \Rightarrow R_{\text{max}} \leq 0,5\text{МЗР} / I_{\text{max}}$$

Для устройства ADS8556 это последовательное сопротивление должно быть менее 1,2 Ом при $t_{\text{conv}} = 2$ мкс, $C_{\text{tot}} = 40$ пФ и опорном напряжении 2,5 В. Сопротивление между конденсатором и входом опорного напряжения менее критично, если уровень опорного напряжения устанавливается в пределах по-

ловины периода тактовых импульсов преобразования. Как уже объяснялось выше, чувствительность системы к любым возмущениям опорного напряжения требует тщательной компоновки печатной платы (ПП).

Внутрисхемно заземление опорного сигнала спроектировано как «бестоковое». Эта мера обеспечивает стабильный и чистый потенциал заземления, без каких-либо помех из-за выбросов тока или смещения, вы-

званного постоянными токами смещения и приводящего к погрешности усиления. Каждый вывод опорного сигнала устройства ADS8556 имеет относящийся к нему вывод заземления опорного сигнала. Для обеспечения наилучших показателей производительности внешний конденсатор следует поместить между этими взаимосвязанными выводами. Неправильное заземление конденсатора в тракте опорного сигнала приведет к неожиданно большой погрешности в связи с дифференциальной нелинейностью, проявляющейся в виде выбросов, показанных на рис. 2.

Помимо этих проблем с заземлением, любая ошибка стабилизации состояния тракта опорного напряжения проявится в виде погрешности вследствие нелинейности, как показано на рис. 3. На положительной и отрицательной границах полного диапазона, где имеет место наибольшая нагрузка на тракт опорного напряжения, погрешность в связи с дифференциальной нелинейностью демонстрирует характерную воронкообразную форму. В этом контексте также необходимо принять во внимание паразитные индуктивности проводящих дорожек. Высококачественные керамические конденсаторы имеют низкую индуктивность и низкое эквивалентное последовательное сопротивление. Размещение такого конденсатора как можно ближе к выводам помогает уменьшить паразитные компоненты.

Проектирование печатной платы всегда должно начинаться с компоновки тракта опорного сигнала и размещения соответствующих внешних компонентов. Самым важным является размещение развязывающего конденсатора как можно ближе к соответствующей паре выводов (вывод опорного сигнала и относящегося к нему вывода заземления опорного сигнала). Опорное напряжение следует рассматривать как дифференциальное напряжение между этими двумя выводами,

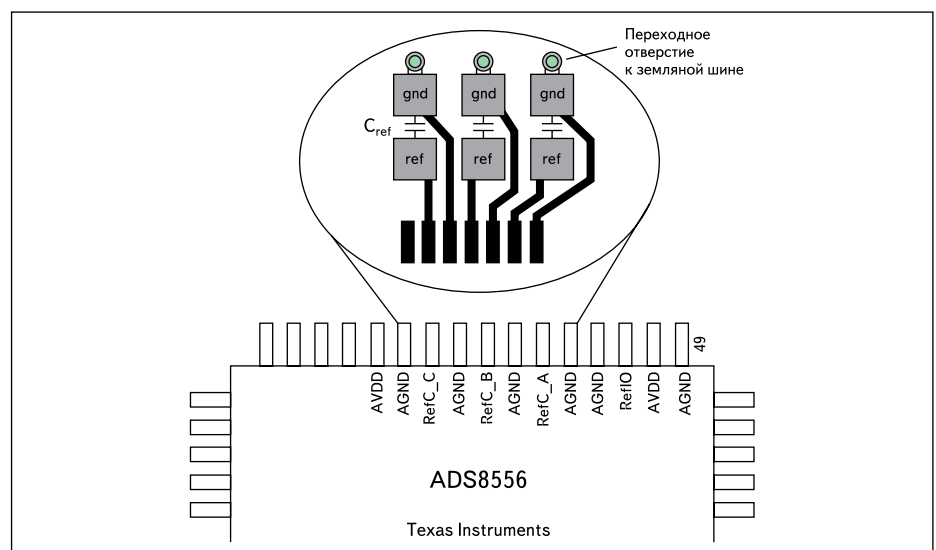


Рис. 4. Образец компоновки для размещения развязывающих конденсаторов опорного сигнала

потому что именно таким образом обрабатывается опорный сигнал внутри АЦП.

При стабилизации только опорного напряжения, если не уделено внимания соответствующему сигнальному заземлению, производительность АЦП будет подвержена риску ухудшения. В топологии печатной платы сигнальное заземление следует подключить к конденсатору, прежде чем подключать его к выделенной шине печатной платы (рис. 4).

При этом любые кратковременные импульсные помехи на заземлении будут одинаковым образом воздействовать на вход опорного напряжения и на заземление, не оказывая какого-либо влияния на опорное напряжение, приложенное к устройству. Следовательно, линии заземления источника питания и линии заземления опорного сигнала должны иметь отдельные переходные отверстия, соединяющие их с земляной шиной, а не соединяться напрямую между собой, даже если они находятся рядом. Кроме того, во избежание различий между парами каналов, разводка соединений тракта опорного сигнала должна быть одинаковой.

Если печатная плата имеет компоненты с обеих сторон, а конденсаторы тракта опорного сигнала должны быть расположены на противоположной стороне платы, то их следует размещать под выводами, напрямую подключая их через переходные отверстия.

2-й этап: правильная развязка и заземление источников напряжения

Для уменьшения влияния зашумленной цифровой секции на чувствительную аналоговую секцию, эти секции следует как можно тщательнее разделить. Например, можно иметь две физические отдельные земляные шины на печатной плате. На многослойных печатных платах можно даже рассмотреть вариант с двумя отдельными земляными слоями.

Все компоненты, выделенные для АЦП (развязывающие конденсаторы, задающая схема входного сигнала, фильтры), должны быть соединены только с аналоговой земляной шиной, тогда как все логические элементы цифровой схемы (ЦСП, буферы, драйверы шины) должны быть соединены только с цифровой земляной шиной. Разводка выводов устройства ADS8556 позволяет строго разделить эти две земляные шины, как представлено на рис. 5.

Обе земляные шины должны быть соединены между собой во избежание разности напряжений, способной привести к возникновению нежелательных токов и, в результате этого, к существенному искажению сигнала. Шины должны быть соединены между собой лишь в одной точке. При этом токи могут течь только по predetermined пути, а не по кратчайшему пути через чувствительную аналоговую секцию.

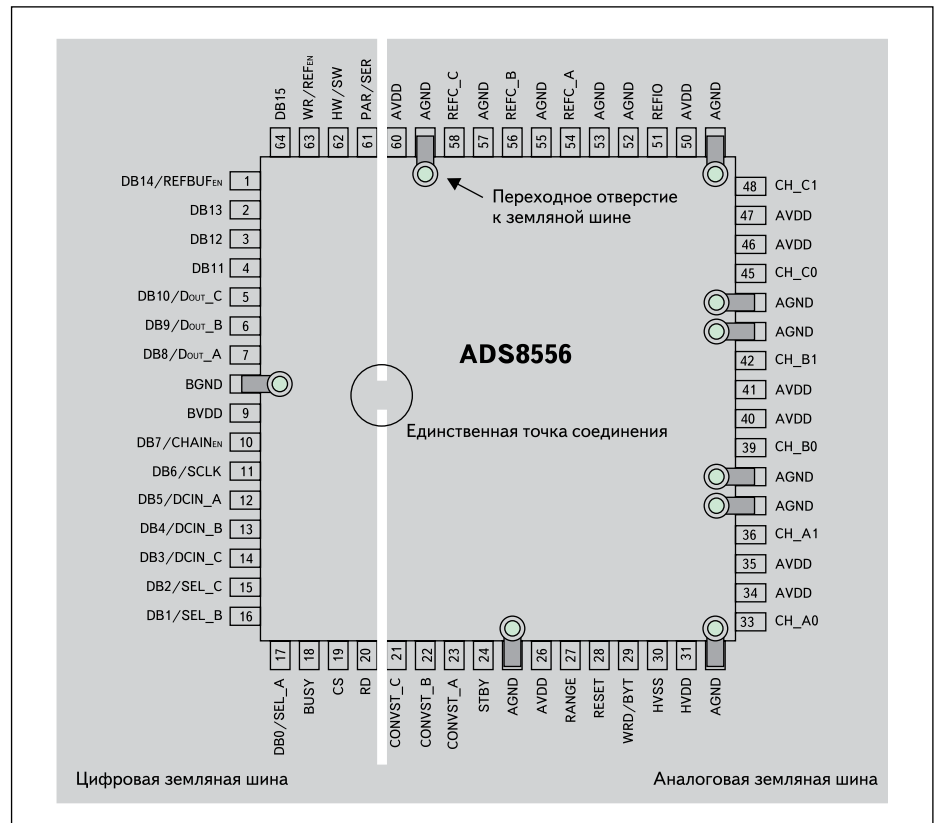


Рис. 5. Дизайн печатной платы с отдельными земляными шинами

Некоторое время необходимо уделить подбору подходящих развязывающих конденсаторов. Обычно применяется комбинация конденсаторов меньшей и большей емкости (например, 100 нФ и 10 мкФ), но подобная «стандартная конфигурация» может не удовлетворять существующие системные требования. Неудовлетворительная развязка питания приводит к внесению шумов и кратковременных импульсных помех во входной сигнал, при этом значительно ухудшаются характеристики по переменному току (отношение сигнал/шум и полный коэффициент нелинейных искажений).

Следует принимать во внимание, что величина емкости конденсатора зависит от частоты. Эта величина при низких частотах относительно постоянна, но из-за паразитной индуктивности может существенно изменяться при более высоких частотах. Каждый конденсатор будет иметь самый низкий импеданс при определенной частоте (собственная частота), обеспечивая наилучшее подавление нежелательной частоты [3]. Таким образом, надлежащую развязку для кратных частот можно обеспечить с помощью одного конденсатора. При использовании керамических конденсаторов только в низкочастотном диапазоне (<100 МГц) можно применять один эквивалентный конденсатор вместо комбинации конденсаторов. Изготовители конденсаторов смогут обеспечить технические характеристики своих изделий, позволяющие найти правильное решение.

Следует обеспечить низкую индуктивность и низкое эквивалентное последовательное сопротивление развязывающих конденсаторов. Все развязывающие конденсаторы питания должны быть размещены как можно ближе к соответствующим выводам, но без ухудшения характеристик конденсаторов тракта опорного сигнала. На рис. 6 представлено, как можно разместить конденсаторы развязки питания вокруг микросхемы ADS8556. В этом случае конденсаторы находятся непосредственно под соответствующими выводами. Конденсаторы сначала соединяются с выводом через переходное отверстие, а затем с земляной шиной через отдельное переходное отверстие.

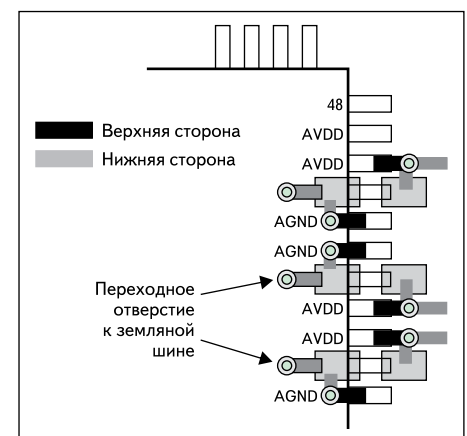


Рис. 6. Образец компоновки для размещения развязывающих конденсаторов питания

3-й этап: обеспечение чистого входного сигнала

Входной сигнал АЦП обычно задается операционным усилителем, призванным обеспечить надлежащую стабилизацию состояния во время сбора данных. Выбор подходящего задающего операционного усилителя представляет собой отдельную тему. Что касается способности поддерживать входной сигнал, уровень шумов и характеристики смещения, необходимым требованием для обеспечения высокого качества входного сигнала соответствует устройство ОРА211 компании Texas Instruments.

Шум — это одна из основных составляющих, влияющих на результаты преобразования АЦП. Помимо внутренних источников шума, присущих самому АЦП, пре-

образователь также улавливает все шумы, присутствующие на входе. Подача на вход сигнала исключительно требуемой полосы частот уменьшает и эффективную ширину шумовой полосы частот. Таким образом, для предварительного формирования сигнала рекомендуется реализовать дополнительный низкочастотный фильтр первого порядка.

Размещение компонентов, задающих входной сигнал на печатной плате, представляет собой третий этап проектирования. Топология проводящих дорожек для этих компонентов не должна ухудшать характеристики тракта опорного сигнала и сказываться на размещении компонентов развязки питания. В идеальном случае конденсатор резистивно-емкостного фильтра на входе АЦП должен быть развязан на соответствующее заземление опорного сигнала. Выбор

компонентов в тракте прохождения сигнала сильно влияет на качество входного сигнала, подаваемого на АЦП. В зависимости от качества выбранных емкостных компонентов суммарные нелинейные искажения могут варьироваться до 20 дБ. Рекомендуется использовать конденсаторы с диэлектриком качества NP0. ■

Литература

1. Технические данные изделия ADS8556 (SBAS404A, август 2009 г.).
2. Онхойзер Ф., Яннесари С., Хюмер М. Влияние опорной схемы на линейность характеристик АЦП с регистром последовательного приближения // Электронные компоненты. 2008. № 64.
3. Carter B. How (not) to Decouple High-Speed Operational Amplifiers. SLOA069. Sept. 2001.