

ПРАВИЛА ЗАЗЕМЛЕНИЯ ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ СХЕМ

В статье освещены некоторые правила по компоновке и разводке электрических схем, в которых применяются преобразователи сигнала (АЦП и ЦАП) с высокой разрядностью (10 и более разрядов) и относительно высокой скоростью преобразования (1 МГц и выше).

Работа электронной схемы может поставить в тупик проектировщика, пытающегося перейти от разработки низкочастотных схем с преобразователями сигнала с малым разрешением к разработке и использованию высокоскоростных либо высокочастотных схем с преобразователями с высокой разрядностью или от разработки схем с цифровым согласованием сигналов к разработке схем с аналоговым согласованием. В таком случае часто может показаться, что правила разводки

шины земли (шины общего провода, шины возвратного сигнального тока) изменились и требуют пересмотра.

Опытные проектировщики знают трудности создания хорошей схемы (под схемой здесь и далее понимается не только то, что изображено на листе бумаги или на экране монитора компьютера, но и реальная плата, в некоторых случаях даже включенная в состав некоего устройства), содержащей аналоговую и цифровую части в смысле объединения земли этих частей. Они могут рассказывать истории о земле, которая была не там, где они предполагали или ее не было там вообще, несмотря на убеждение, что она там должна быть. На платах шины и/или провода, которые казались совершенно хорошими землями, преобразались в индуктивности, что является неприемлемым в высокоскоростных или высокочастотных схемах.

1. Основные правила разводки

Искушенные и умудренные опытом дизайнеры высокоскоростных схем давно уже поняли, что каждый квадратный дюйм платы, на котором не располагаются компоненты схемы или проводники, должен быть залит земляным полигоном. Нарушение этого простого правила приводит к катастрофическим последствиям. Но иногда строгое соблюдение этого правила невозможно при очень плотном монтаже; в этом случае необходимо уменьшать плотность и отводить больше места для полигона. Даже макетные платы должны быть с двухслойной металлизацией, один слой которой должен быть отведен под общую шину, что повысит шансы разработчика на создание достойной схемы в будущем.

Другое основное правило при работе с высокоскоростными и/или высокочастотными схемами - объединение аналоговой и цифровой земли вместе на печатной плате. Такое соединение повышает

качественные показатели как собственные, так и показатели подсистем, в которые они входят.

Следующее правило для схем, содержащих аналоговую и цифровую части, - использование каждого свободного вывода для создания соединения с общим проводом и отделения аналоговых и цифровых сигналов.

Избегайте применения соединений тонкими многожильными монтажными проводами, включая соединения выводов питания и общего вывода.

Обобщая выше сказанное, можно сказать, что необходимо использовать печатные платы с, как минимум, двухслойной металлизацией с максимальной площадью общего вывода (наилучший вариант - полигон) и толстыми, хорошо расположенными подводящими проводами питания и земли.

2. Общие методы построения схем

Во всех высокоскоростных схемах, имеющих цифровые и аналоговые сигналы, требуется разносить их друг от друга как можно дальше для предотвращения возможного взаимовлияния между ними. Шины входящих или уходящих цифровых сигналов должны иметь минимальную длину. Чем короче шина цифрового сигнала, тем меньше вероятность возникновения связи с аналоговой частью схемы и аналоговыми сигналами, которые в большинстве случаев являются более подверженными внешнему влиянию, чем цифровые.

Аналоговые сигналы должны разводиться как можно дальше от цифровых сигналов, так далеко, как только могут позволить размеры платы. Аналоговые и цифровые сигналы в идеальном случае никогда не должны проходить параллельно друг другу на небольшом расстоянии. Если они должны пересекаться, то пересечение должно быть выполнено под прямым углом (естественно, на разных слоях платы) для минимизации взаимовлияния.

Для ввода и вывода аналоговых сигналов могут потребоваться коаксиальные кабели, с их механическим закреплением, всегда хорошо решающие задачу электромагнитной экранировки. В случае, когда на одной плате совместно используются схема выборки-хранения и АЦП, необходимо размещать их возможно более близко друг от друга. Все общие выводы должны быть подключены к единому низкоимпедансному полигону земли, и эти подключения должны быть выполнены корректно (еще один аргумент для использования большого цельного полигона общего вывода, доступного на всей области печатной платы).

Пример практического решения для выполнения этих правил проиллюстрирован на рис. 1, где показана блок-схема печатной платы с предпочтительным методом объединения высокоскоростных аналоговой и цифровой частей схемы.

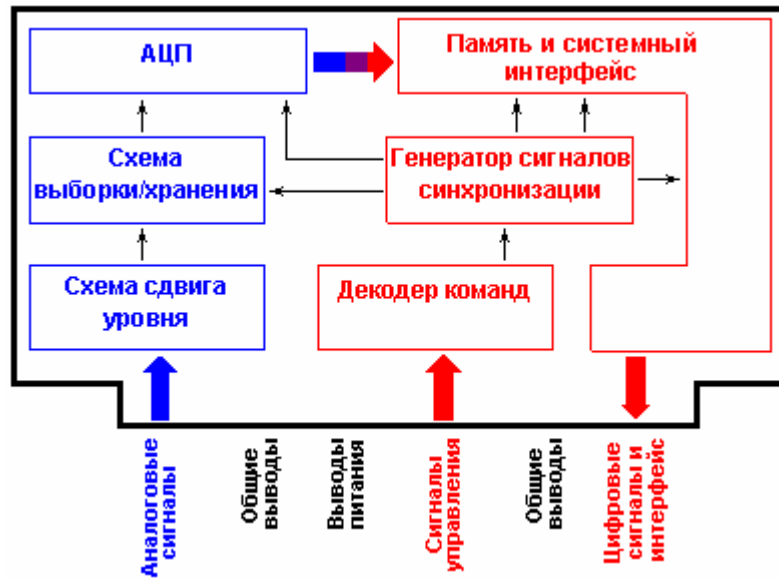


Рис.1. Блок-схема печатной платы с функциональным разделением частей

3. Наука о контактах

Давайте представим себе схему с аналоговыми и цифровыми компонентами. Питание такая схема получает через соответствующий разъем, а вывод этого разъема, используемый для подключения к общему шине, обладает контактным сопротивлением 0,05 Ом (не совсем плохой контакт). Предположим, что общий потребляемый ток нашей схемы равен 1,5 А. В аналоговой части располагается 12-разрядный АЦП с диапазоном входного напряжения, равным 10 В; при этом младший значащий разряд (МЗР) АЦП будет иметь значение 2,5 мВ (10 В / 4096).

В этих условиях падение напряжения на этом выводе составит 75 милливольт. Если будет использоваться только цифровая часть схемы, такое падение напряжения вряд ли стоит принимать во внимание. В реальной ситуации необходимо учитывать взаимовлияние аналоговой и цифровой частей, и 75 мВ могут иметь существенное воздействие на качественные показатели как схемы, в отдельности так и устройства в целом.

Для нашего примера предположим, что цифровая часть схемы имеет уровни ТТЛ. Поскольку ТТЛ - логика, работающая в насыщении, ток, протекающий по общему выводу, меняется в широких пределах, и это изменение часто приводит к появлению шума в сигнале, являющегося следствием модуляции тока общего вывода. Этот шум, возникающий при переключении элементов цифровых схем, воздействуя на аналоговую часть схемы, может оказывать влияние на качественные показатели, даже при низкоуровневом цифровом сигнале (LVDS). Например, если только 10% от 75 мВ падения напряжения будут воздействовать на аналоговый сигнал, то это приведет к изменению трех младших значащих разрядов АЦП.

Каков же результат? Схема, спроектированная как 12-разрядная, реально уменьшит свою разрядность до 10-11, поскольку шум будет маскировать сигнал младших разрядов.

Каково же рекомендуемое решение? Отводите возможно большее количество выводов для соединения с общим проводом для уменьшения контактного сопротивления. Эти выводы, как показано на рис. 1, также используются для разделения аналоговых и цифровых сигналов.

Такой дизайнерский подход может представиться излишне строгим и занимающим много времени, но докажет свою правильность после окончательного монтажа платы в устройство и тестирования.

Размещайте схему синхронизации около центра платы (рис. 1), поскольку это устройство является сердцем всей схемы и подключается к всем основным компонентам схемы. Центральное расположение позволяет минимизировать длину шин цифровых сигналов.

В других случаях могут не использоваться компоненты или функциональные узлы, представленные на рис. 1, но такой способ размещения и разводки должен применяться во всех разработках, содержащих аналоговые и цифровые части. Для плат со всеми подключениями у одной стороны платы, старайтесь избегать размещений, при которых аналоговые части схемы располагаются вблизи разъема, а цифровые части - на противоположной стороне платы, и наоборот. Также старайтесь избегать ситуации, при которой аналоговые и цифровые шины проходят близко друг от друга.

4. Схемное заземление

Несмотря на то, что локальные соединения аналоговой и цифровой земли улучшают качественные характеристики схемы, они могут вызвать проблемы при использовании АЦП и ЦАП. В схемах преобразователи

данных (АЦП и ЦАП) должны рассматриваться как аналоговые (а не цифровые) компоненты; схемотехнический дизайн должен быть определен опытными и квалифицированными инженерами

аналоговых схем, которые могут защитить шины с милливольтовыми сигналами от наводок на них.

Размещайте АЦП и ЦАП (также как и другие аналоговые компоненты) вблизи от других элементов аналоговой части схемы, потому что:

- 1) отражения создают трудности при передаче аналоговых сигналов на длинные расстояния без потери полосы и амплитуды,
- 2) шум, генерируемый в цифровой части схемы, может проникать в аналоговую часть через полигон земли или шины питания, а также посредством излучения.

5. Питание

Кроме соблюдения правил заземления, разработчики высокоскоростных схем должны также соблюдать правила питания для получения хороших результатов.

Каждая шина питания, поступающая в плату с высокоскоростной или высокочувствительной схемой, должна быть тщательно шунтирована на шину возвратного тока питания (шину общего провода питания) для предотвращения проникновения помех по этим шинам. Керамические конденсаторы (диапазон емкости от 0,01 до 0,1 мкФ) должны щедро использоваться и размещаться так близко от шунтируемой схемы, как только возможно; и, наконец, один танталовый конденсатор хорошего качества (диапазон емкости от 3 до 20 мкФ) должен использоваться для каждой шины питания и размещаться вблизи от вывода питания для уменьшения низкочастотных пульсаций питания.

В такой же степени, шумовые проблемы могут создаваться из-за плохого контакта в разъемах питания. Если сопротивление их контактов довольно значительно и протекает изменяющийся по величине ток, то изменяющееся падение напряжения на таком контакте вызовет шум и может оказать влияние на остальные

6. О проектировании

Часто имеются различия в реализации схем с использованием прецизионных ИС по отношению к схемам с использованием интегральных или гибридных модулей. Некоторые ИС специально разработаны с разделенными аналоговой и цифровой землями из-за того, что они не могут выполнять свои функции должным образом без такого разделения.

Отмечая это, производители ИС, как правило, подробно описывают, как достигнуть оптимальных качественных показателей для их схем. Эти подробности использования часто дают понять пользователю, как соединить вместе аналоговую и цифровую земли схемы,

Шина возвратного тока питания (общий провод) каждой платы в комплексной схеме должна быть соединена с общим источником питания толстым проводом. В случаях, когда аналоговая и цифровая земля должны быть обязательно разделены, каждая из них должна быть отдельно соединена с источником питания; не соединяйте две земли одним проводом с источником питания.

Это предостережение особенно касается напряжения, используемого для питания микросхем ТТЛ; вред от этой проблемы может быть снижен введением дополнительных выводов питания.

Малозумящие, с низкими пульсациями, температурно-стабильные линейные источники напряжения предпочтительны для питания высокоскоростных схем. Ключевые стабилизированные источники часто также отвечают этим критериям, включая требования к пульсациям. Но пульсации для таких источников обычно описываются единицами среднеквадратического отклонения, а выбросы, создаваемые в ключевых стабилизаторах, часто могут создавать трудно фильтруемые, неконтролируемые броски напряжения амплитудой несколько сотен милливольт. Высокочастотные компоненты этих выбросов бывает чрезвычайно трудно не допустить в общий провод питания.

Если от применения в высокоскоростных схемах ключевых источников нельзя отказаться, то они должны быть тщательно экранированы и удалены настолько это возможно от остальной части схемы, а их выходные напряжения должны быть очень хорошо отфильтрованы.

а когда это делается, то соединение должно быть расположено на возможно более близком расстоянии от ИС.

В других, более редких случаях, для отдельных устройств или систем может потребоваться удаленное соединение земли.

В заключение - старый, добрый совет: лучшее решение для получения оптимальных характеристик любых устройств - старательно придерживаться рекомендациям производителя.

Комментарии автора перевода к статье

Журнал Analog Dialogue является периодическим изданием фирмы Analog Devices - лидера в разработке и производстве аналоговых микросхем.

Статья, заслуживающая внимания начинающих проектировщиков электронных схем. Но этим она и хороша - с чего то начинать все же нужно, а азы теории никогда не помешают.

В статье есть некоторые противоречия с рекомендациями Analog Devices. В частности, в вопросе объединения аналоговой и цифровой земель в статье указано, что они должны быть объединены на печатной плате, а в рекомендациях фирмы по применению аналогово-цифровых преобразователей приводятся примеры разводки внутреннего слоя, в котором аналоговая и цифровая земли разделены. На рисунке толстая линия в середине платы представляет собой не что иное, как границу разделения полигонов.

