

Александр Гарманов

Принципы обеспечения электросовместимости измерительных приборов

Часть 1

ВВЕДЕНИЕ

Эта статья написана в помощь пользователю, столкнувшемуся с нелёгкой проблемой подключения измерительного прибора на основе АЦП, ЦАП и прочих устройств к источникам сигналов и нагрузкам. «Как подключить? Что и где заземлять? Как подключать экран? Как побороть помеху?» — вот типичные вопросы, с которыми сталкивается системный интегратор, пытающийся электрически соединить «ежа с ужом», при этом добиться, чтобы параметры полученной измерительной системы соответствовали расчётным, или, иначе говоря, чтобы помехи и наводки не мешали...

В статье сделана попытка классификации понятий, в частности, «тип источника сигнала», «тип аналогового входа», с точки зрения обычного потребителя, купившего, скажем, плату АЦП и пытающегося приспособить или создать заново кабельное хозяйство для грамотной стыковки своих источников сигналов с АЦП.

Сразу же следует оговориться, что любая классификация всегда огрубляет детали, которые существуют в реальности. Приведем пример: дифференциальный (симметричный) вход (или выход) устройства на высокой частоте может оказаться совсем не симметричным, вследствие неодинаковых по каким-либо техническим причинам ёмкостей проводов относительно внешней среды, в то же время на низкой частоте он сохраняет свойства симметрии. «Не слишком-то дифференциальный», «дифференциальный, но не очень», «плохой дифференциальный, а поэтому однофазный» — эти многочисленные оттенки не может осветить приводимая классификация. Поэтому автор надеется на разумное, с точки зрения электротехники,

применение настоящей классификации.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СОВМЕСТИМОСТИ УСТРОЙСТВ

При выборе устройств системному интегратору первоначально необходимо учитывать общие сведения о принципиальной совместимости стыкуемых устройств, то есть перед тем как думать о том, как соединить устройства между собой, нужно ответить на вопрос, совместимы ли они в принципе. В свете этого важного вопроса и была сделана попытка классификации типов источников сигналов, а также разновидностей входов устройств, после чего приведена карта совместимости первых со вторыми.

Договоримся о терминах

Сразу поясним термины, которые будем активно употреблять.

Источник сигнала

Это часто употребляемое понятие означает тот объект, от которого приходит сигнал на вход подключаемого прибора. Физически под источником сигнала будем понимать выход датчика или выход прибора, рассматриваемый совместно с соединительным кабелем, если такой кабель используется.

Сигнальная цепь

Это замкнутая электрическая цепь полезного, то есть информационного сигнала между источником и приёмником. По сигнальной цепи протекает ток сигнальной цепи.

Общий провод

Это провод условно нулевого опорного потенциала, соединяющий источник и приёмник сигнала, позволяющий выровнять потенциалы аналоговых земель (AGND) выходных узлов источника с входными узлами приём-

ника сигнала. Термин «условно нулевой потенциал» употреблён в том смысле, что общий провод в ряде случаев может быть не заземлен и иметь потенциал относительно земли.

Заземление

С одной стороны, требования безопасности эксплуатации оборудования подразумевают заземление корпусов (панелей) приборов, что означает подсоединение соответствующих цепей (штатных клемм) заземления приборов к шине заземления, имеющей непосредственный контакт с землёй. Такое заземление называют иногда защитным. С другой стороны, в больших системах, состоящих из разнородных приборов, существует проблема взаимовлияния устройств по цепи заземления, приводящего к сбоям и помехам. Собственно, с учётом опыта борьбы с этим явлением возник термин «сигнальное заземление».

Сигнальное заземление

В настоящей статье под заземлением всегда подразумевается именно сигнальное заземление, обозначаемое символом, показанным на рис. 1. Попросту говоря, это «чистая» ветка основной цепи заземления системы, по которой не текут в землю токи заземления сильнопотребляющих устройств (силовое оборудование, станки, мощные импульсные устройства и пр.), а протекают токи заземления относительно чувствительных сигнальных устройств. Сам термин «сигнальное заземление» возник по причине осознания того факта, что в сложных системах последовательное, без разбора, соединение всех точек заземления разнородных приборов приводит к проблеме их совместимости, и необходимо выделить отдельную «чистую» ветку сигнального заземления. В особо сложных системах возможны даже несколько веток сигнального заземле-

ния со своеобразной иерархией в зависимости от «чистоты» веток заземления. Такое заземление подробно описано во второй части статьи. Если символ заземления на рисунках присоединяется пунктирной линией, то подразумевается, что заземление в показанной точке не обязательно.

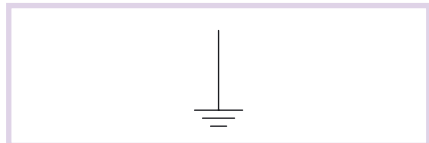


Рис. 1. Символ сигнального заземления

Ток заземления

Это ток, текущий по цепи заземления данного прибора. Иногда этот ток называют уравнивающим током заземления, поскольку он приводит к выравниванию разности потенциалов заземляемых точек. Направление тока заземления I_g на рис. 2 показано условно. Как правило, ток I_g имеет сложный переменный характер, что обусловлено утечками тока от внутренних источников помехового сигнала (например, импульсный источник питания, силовые коммутационные цепи). Как правило, внутренние утечки устройств носят активно-ёмкостный характер, а спектр земельного тока I_g крайне широкополосный — энергия гармоник достаточно высока даже на сотнях мегагерц. Это прежде всего относится к устройствам, имеющим импульсный источник питания, и в меньшей степени — к устройствам с линейным источником питания.

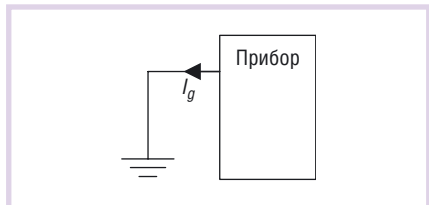


Рис. 2. Ток заземления

Местное заземление

Находясь на Луне, заземляться не стоит. Сразу уж залуняйтесь.

От автора

Это тот случай, когда цепь заземления системы по каким-либо причинам не соединена или явно не соединена с землей. Если не касаться вопросов электробезопасности, такая цепь может являться цепью сигнального заземления для системы, если она имеет значительную ёмкость от-

носительно земли и окружающих цепей.

Цепи цифровой и аналоговой земель

Для обозначения земель на схемах или в таблицах обычно применяют следующие мнемонические сокращения:

- GND (DGND, GNDD) — для обозначения цифровой земли;
- AGND (GNDA) — для обозначения аналоговой земли.

Наличие у устройства контактов разъёма с обозначением¹ GND (DGND, GNDD) и AGND (GNDA) говорит только о том, что провод цепи GND, подключенный к соответствующему контакту разъёма, исходит непосредственно из точки подключения внутреннего общего провода цифровых и импульсных узлов устройства, а провод цепи AGND исходит из общего провода аналоговых узлов. При этом (внимание!) сами по себе обозначения GND, AGND не говорят о том, куда их нужно подключать. Для выяснения этого важнейшего вопроса нужно знать тип входа устройства, к которому относится данная цепь GND или AGND, либо тип выхода устройства (типы входов и выходов описаны далее) и следовать принципам подключения, изложенным в настоящей статье и относящимся к Вашему случаю подключения устройств.

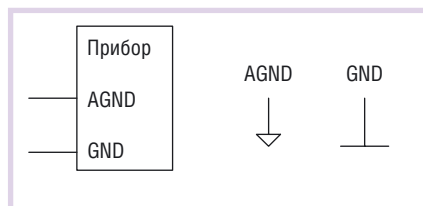


Рис. 3. Символы аналоговой и цифровой земель

На рис. 3 показаны типичные обозначения цепей аналоговой и цифровой земли. Вообще большинство проблем помехозащищённости возникает именно в аналоговых цепях подключения к приборам, в то же время цифровые интерфейсные сигналы (TTL, CMOS) являются специализированным случаем аналоговых однофазных входов-выходов напряжения, поэтому большинство примеров в настоящей статье приведено для случая аналогового интерфейса с применением понятия аналоговой земли AGND. При этом те же самые принципы можно применить и для цифро-

вого интерфейса. Еще один пример: известный цифровой интерфейс ток-овая петля подпадает под случай соединения однофазных однополярных токовых входов-выходов. Любой цифровой интерфейс — это частный случай аналогового, ведь цифровая техника исторически произошла из аналоговой. Особым случаем является прибор, на разъёмы которого одновременно выведены цепи аналоговой и цифровой земли. Такой подарок имеют, как правило, многофункциональные приборы с цифровым интерфейсом управления и аналоговым измерительным интерфейсом.

Экран

Экран в изначальном понимании — это защитная токопроводящая оболочка системы, по которой не текут корпусные токи прибора и токи общих проводов сигнальных цепей. Подробности приведены в разделе «Экранированный источник сигнала».

Типы источников сигналов

Под источником сигнала будем понимать то устройство, которое пользователь намерен подключить к электрическому входу купленного им прибора, например, соединить кабелем выход какого-либо датчика со входом пользовательского объекта. Классификация таких источников сигнала и приводится в настоящем разделе.

По характеру внутреннего сопротивления

Сразу следует оговориться, что внутреннее сопротивление источника сигнала почти всегда не носит активно-го характера из-за влияния ёмкостей и индуктивностей соединительных проводов, а также частотной зависимости выходного сопротивления прибора. Поэтому речь идет о классификации по активному внутреннему сопротивлению на низкой частоте, где указанными факторами можно пренебречь.

К *источнику напряжения* (рис. 4) можно отнести:

- низкоомный (до 100-500 Ом) выход любого прибора, подключенного посредством короткого кабеля. Чем длиннее кабель, тем более реактивным становится эквивалентный выходной импеданс источника напряжения, тем большее влияние на сигнальную цепь оказывают импуль-

¹ В скобках указаны альтернативные названия

сные сквозные токи и ёмкостные наводки;

- согласованную, как минимум, на приёмной стороне (а лучше на обоих концах) длинную линию, например, радиочастотный кабель типа РК. Согласование производится концевыми низкоомными резисторами 50 или 75 Ом. Выход такого источника можно отнести к качественному источнику напряжения, поскольку для сигнальной цепи, вследствие согласованности длинной линии, соблюдается энергетическая оптимальность при передаче, а для помех не соблюдается.

К основным параметрам источника напряжения относятся:

- внутреннее сопротивление,
- полярность,
- максимальный выходной ток.

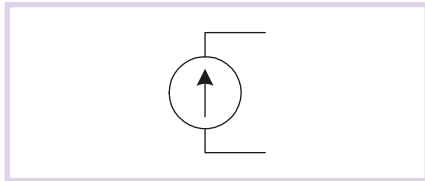


Рис. 4. Символ источника напряжения

К классическому *источнику тока* (рис. 5) можно отнести высокоомный выход генератора тока. К основным параметрам источника тока относятся:

- полярность,
- запас по напряжению,
- внутреннее сопротивление.

Последняя характеристика относится именно к генератору тока, выходное напряжение которого может находиться лишь в заданных пределах для обеспечения рабочего режима самого генератора тока.

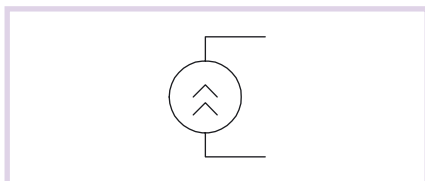


Рис. 5. Символ источника тока

К типичному *источнику заряда* (рис. 6) относится пьезодатчик, имеющий ярко выраженный ёмкостный характер внутреннего импеданса. В подавляющем большинстве приложений постоянная составляющая заряда не представляет интереса (например, в виброметрии), поэтому будем рассматривать этот источник как источник переменного заряда.

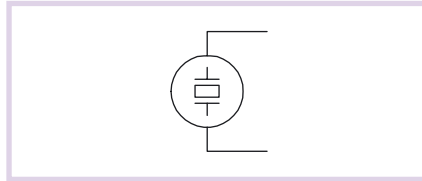


Рис. 6. Символ источника заряда

По наличию заземления

Здесь рассматривается классификация источников сигналов по факту наличия заземления, но не обсуждается вопрос, нужно ли его заземлять. Вопросы заземления описаны в соответствующем разделе.

Источник, гальванически связанный с землей, является *заземлённым*. Если для однофазного источника (рис. 7) оказывается заземлённой точка сигнальной цепи, то для дифференциального (рис. 8) — электрически симметричная относительно фазовых проводов общая точка, связанная общим проводом источника. Как правило, заземлённым бывает источник заряда; источники напряжения и тока бывают заземлёнными или изолированными.

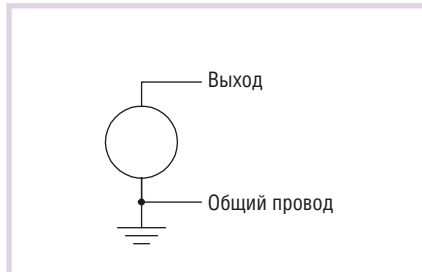


Рис. 7. Однофазный заземлённый источник сигнала

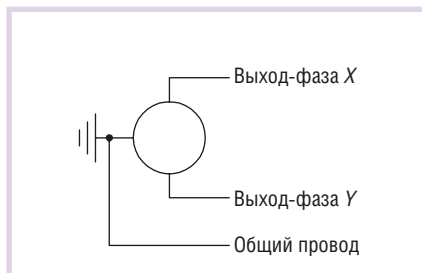


Рис. 8. Дифференциальный заземлённый источник сигнала

Достаточно интересным является типичный случай выхода массивного прибора — например, генератора — общий провод которого соединён с большим незаземлённым корпусом прибора. Можно отнести такой «крамольный» источник сигнала к заземлённому (в смысле сигнального заземления, а не защитного), поскольку имеются признаки местного заземления.

В отличие от заземлённого источника, *изолированный (незаземлённый, отвязанный от земли) источник* не связан с землей. Примеры: термопара, изолированная обмотка трансформатора. Примечательно, что однофазный изолированный источник, например термопара, не является дифференциальным, но при этом является симметричным, поскольку обладает свойством симметрии выходов по отношению к внешней среде, например, к паразитной ёмкостной связи относительно внешней гальваноразвязанной цепи, в частности, к земле.

По числу фаз

Дифференциальный (двухфазный) источник (рис. 9) всегда содержит в себе два противофазных источника сигнала, работающих относительно общего провода источника. Всего у этого источника три выходных провода.

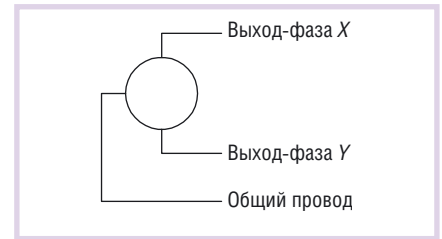


Рис. 9. Дифференциальный источник сигнала

К *однофазным* (рис. 10) относится большинство простых источников сигнала, имеющих два полюса, а попросту говоря, всего два выходных провода.

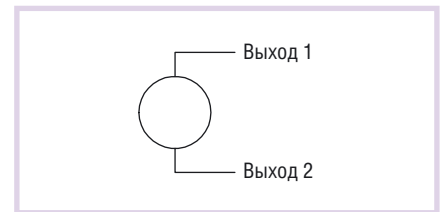


Рис. 10. Однофазный источник сигнала

Дифференциальный с ложной второй фазой (ДЛВФ) источник напряжения (рис. 11) — это однофазный источник с внутренним сопротивлением R_{src} , который был дополнен эквивалентом второй фазы с нулевым выходным напряжением. При этом выходное сопротивление ложной фазы $R_{src} + R_1$ стремится сделать равным выходному сопротивлению истинной фазы для того, чтобы достичь приблизительной симметрии выходного импеданса фаз по отношению к общей аддитивной (синфазной) помехе.

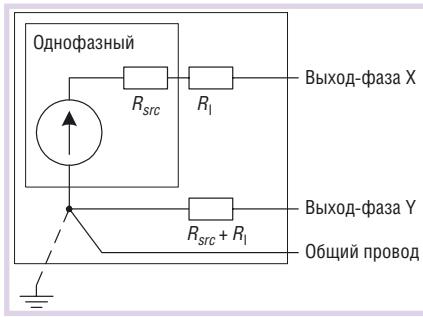


Рис. 11. ДЛВФ — источник напряжения

Образование ложной второй фазы имеет смысл, когда однофазный источник напряжения стремятся соединить с дифференциальным входом, используя трёхпроводное подключение. Некоторые приборы, например ЦАП, имеют встроенный дифференциальный выход с ложной второй фазой.

Принципиально ДЛВФ-источник напряжения может быть заземлённым, но только в точке, как показано на рис. 11.

По наличию экранирующей поверхности

Здесь подразумевается электростатический, а не электромагнитный экран.

Экранированный источник сигнала (рис. 12) — это источник, имеющий сплошной внешний токопроводящий контур, который называется экранирующей цепью. Экран — это токопроводящая оболочка системы.

Пытливый ум системного интегратора может напрячься в поисках ответов на вопросы:

- Корпус — это то же самое, что экран?
- Общий провод — это то же самое, что экран?

Поясним, что само понятие «экран» возникло из-за того, что человечеству не хватило понятий «корпус» и «общий провод» для того, чтобы бороться с внешней помехой, наводившейся на высокочувствительные входы: нужно было изобрести некую поверхность, которая бы, с одной стороны, являлась продолжением корпуса, с другой стороны, чтобы по ней не текли корпусные токи, которые и создавали помехи на высокочувствительных входах.

В то же время общим проводом эту «некую поверхность» назвать тоже не хотелось, поскольку входов может быть много и каждый вход для обеспечения взаимной независимости дол-

жен иметь индивидуальную подводку общего провода, а защитная «некая поверхность» требовалась одна. И решило человечество назвать эту поверхность экраном.

Итак, экран в изначальном понимании — это защитная токопроводящая оболочка системы, по которой не текут корпусные токи и токи общих проводов сигнальных цепей.

В тоже время в реальных устройствах само человечество сплошь и рядом в той или иной степени нарушает эти принципы, называя экраном то, что фактически получилось. Например,

- в обычном одножильном коаксиальном кабеле оплётка выполняет роль экрана и нулевого провода;
- корпуса разъёмов коаксиальных кабелей часто соединяются непосредственно с корпусом прибора и с оплёткой кабеля. Получается, что в этом примере корпус, экран и общий провод сигнальной цепи — это плохо различимые понятия.

Автор ни в коем случае не утверждает, что так соединять коаксиальный кабель в приведённых примерах нельзя, — просто, выбирая тот или иной способ подключения экрана, нужно

всегда отдавать себе отчёт в том, какой ток течет через экран и будет ли он вредить сигнальной цепи, потому что идеальный экран тот, по которому ток вообще не течет!

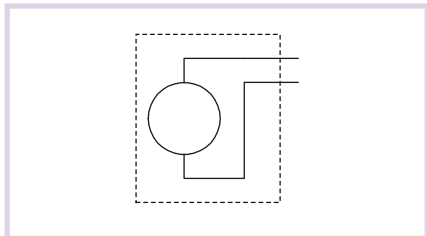


Рис. 12. Экранированный источник сигнала

Говоря об экранированном источнике, мы подразумеваем, что физически экранирован и сам источник, и кабель, идущий от него. В реальной жизни часто экранируется только кабель (например, в случае применения датчиков, которые принципиально не могут быть экранированы) — такой источник тоже можно назвать экранированным.

Неэкранированным можно назвать источник сигнала, не имеющий окружающего токопроводящего контура. Если имеющийся токопроводящий контур не являет-

ся экраном, то источник также не экранирован.

По полярности источника сигнала

Очевидно, что физическая величина на выходе источника может принимать однополярное или двухполярное значение. В зависимости от этого источник называется однополярным или двухполярным. Следует учитывать, что встречаются источники сигналов и с несимметричным выходом.

Пример применения предложенной классификации к различным типам источников сигнала показан в табл. 1.

Типы входов устройств

По полярности входного сигнала

По диапазону входного сигнала входы разделяются на однополярные и двухполярные. Следует также учитывать, что встречаются приборы с несимметричным относительно нуля входным диапазоном сигнала (например, $-25\dots+75$ мВ).

По количеству фаз и степени симметрии входа

Этот признак классификации отно-

сится напрямую к вопросу схемотехнической способности входного узла в устройстве подавить пришедшую из внешней среды помеху, приложенную к входным проводам устройства. Эта схемотехническая способность входного узла связана с вопросом о степени симметричности входной сигнальной цепи по отношению к общей помехе, приложенной к сигнальной цепи относительно внешней среды (земли).

Когда дотошный читатель поймёт, что симметричный вход бывает не только дифференциальным, тогда и станет окончательно понятен смысл классификации типов входов по степени их симметрии.

Дифференциальный вход (рис. 13) — это вход, позволяющий принять пару входных сигналов X и Y симметрично относительно общего провода (AGND) и выделить полезный разностный сигнал $(Y - X)$ на фоне общего аддитивного помехового сигнала d , выполнив над входными аналоговыми сигналами $(X + \delta)$ и $(Y + \delta)$ операцию вычитания:

$$(Y + \delta) - (X + \delta) = Y - X$$

Таблица 1. Типичные примеры источников сигнала

Источник сигнала	По характеру внутреннего сопротивления	По наличию заземления	По числу фаз	По наличию экранирующей поверхности	По полярности сигнала
2 провода от термопары	Источник напряжения	Изолированный	Однофазный	Неэкранированный	Двухполярный (общий случай)
3 провода от от изолированной обмотки трансформатора со средней точкой	Источник напряжения	Изолированный	Дифференциальный	Неэкранированный	Двухполярный
Коаксиальный выход низкочастотного измерительного прибора (генератора)	Источник напряжения (в большинстве случаев)	Заземлённый	Однофазный	Экранированный	Одно- или двухполярный
Экранированная витая пара с заземлённым экраном от удаленного выхода прибора (общий случай)	Определяется в зависимости от выходного сопротивления удаленного прибора	Заземлённый	Дифференциальный	Экранированный	Одно- или двухполярный
Экранированный провод от источника заряда	Источник заряда	Как правило, заземлённый	Однофазный	Экранированный	Двухполярный

Обычно X — это неинвертирующий, а Y — инвертирующий вход.

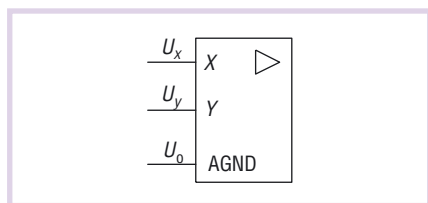


Рис. 13. Вход дифференциальный

По смыслу (более точно) дифференциальный вход можно назвать разностным входом, но первое название прочно укоренилось в радиотехнической терминологии.

Аддитивный помеховый сигнал δ называется синфазным, полезный разностный сигнал $(Y - X)$ — противофазным.

Коэффициент подавления синфазного сигнала $\delta/(Y - X)$ определяет качество дифференциального входа.

Дифференциальный вход, в отличие от однофазного, позволяет подключить источник сигнала таким образом, чтобы ток сигнальной цепи не протекал через общий провод.

Важно помнить, что дифференциальный вход — это всегда трёхточечное подключение.

Очень часто дифференциальный вход является входом напряжения, реже встречаются дифференциальные (разностные) токовые входы и дифференциальные входы заряда.

Однофазный вход (рис. 14) — это простой вход, использующий двухточечное подключение. По физическому смыслу можно считать, что однофазный значит «испорченный» дифференциальный, у которого соединили входную фазу сигнала Y с общим проводом AGND. Однофазный вход — это наиболее часто встречаю-

щийся вход. Это может быть вход напряжения, токовый или вход заряда.

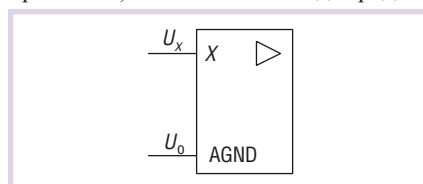


Рис. 14. Вход однофазный

Дифференциальный вход с динамическим коммутатором каналов (ДВДКК) (рис. 15) схематически получен из дифференциального путем добавле-

ния аналогового мультиплексора входных цепей для реализации многоканальных режимов. Это решение традиционно применяется в многоканальных АЦП с мультиплексированием каналов.

Этот вход является полноценным дифференциальным, поскольку симметрия входов практически не нарушена. Тем не менее, в динамическом режиме работы аналогового мультиплексора (режим динамического опроса каналов АЦП) этот вход является несколько ухудшенным дифференци-

альным входом. Остановимся на этом подробнее.

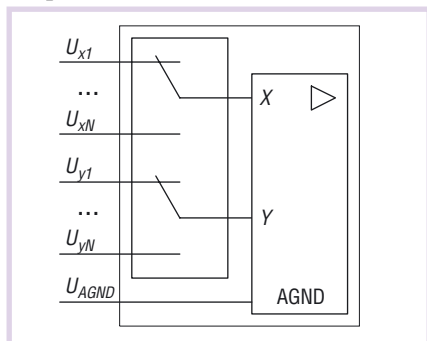


Рис. 15. Вход ДВДК

Аналоговый мультиплексор (коммутатор, ключ) не идеален. Его неидеальность в данном применении объясняется, в частности, наличием проходных ёмкостей полевых транзисторов, из которых этот ключ состоит. Попросту говоря, существуют паразитные ёмкости порядка 30...100 пФ между управляющим сигналом ключа и каналом ключа, а также другие перекрестные ёмкости. При динамической коммутации каналов получается, что на сигнальную цепь канала относительно общего провода AGND динамически разряжается эквивалентная паразитная

ёмкость C_{par} порядка 100 пФ. Поскольку поданные на входы каналов напряжения в общем случае разные, то начальные условия перезаряда паразитных ёмкостей в отдельно взятый момент коммутации с одного канала на другой тоже разные.

Если внутреннее сопротивление источника сигнала R_{src} , то в течение времени $t \approx 3R_{src}C_{par}$ перезаряда коммутационной ёмкости после момента коммутации на фазы X и Y дифференциального входа воздействует в общем случае неодинаковая помеха, искажающая информационный (разностный $Y - X$) сигнал дифференциального входа.

Эффект перезаряда коммутационной ёмкости накладывает определённые ограничения на выбор типа и способа подключения источника сигнала к дифференциальному входу с динамической коммутацией каналов, а также ограничения на выбор самого режима коммутации, которым в большинстве случаев можно управлять.

Следует отметить, что при фиксированной настройке коммутатора на один канал ДВДК эквивалентен обычному дифференциальному входу.

Псевдодифференциальный вход (рис. 16) схемотехнически получен из

дифференциального путем подключения динамического коммутатора (аналогового мультиплексора) к одной из фаз дифференциального входа. Полученная коммутация позволяет динамически собирать данные со входов N каналов. Такое решение традиционно применяется, например, в 16-канальных АЦП с мультиплексированием каналов, где существует так называемый 32-канальный псевдодифференциальный режим, когда динамически коммутируется только одна из фаз внутреннего дифференциального входа, а вторая фаза GND32 не коммутируется и является своеобразным общим проводом для сигнальной цепи 32 каналов.

С одной стороны, этот вход не назовёшь симметричным, с другой стороны, он частично сохранил свойства дифференциального, поскольку имеет дифференциальный общий провод AGND. При использовании псевдодифференциального входа следует учитывать эффект перезаряда коммутационной ёмкости.

Однофазный гальваноразвязанный вход (рис. 17) — это частный, но нередко встречающийся случай улучшенного однофазного входа. Такое ре-

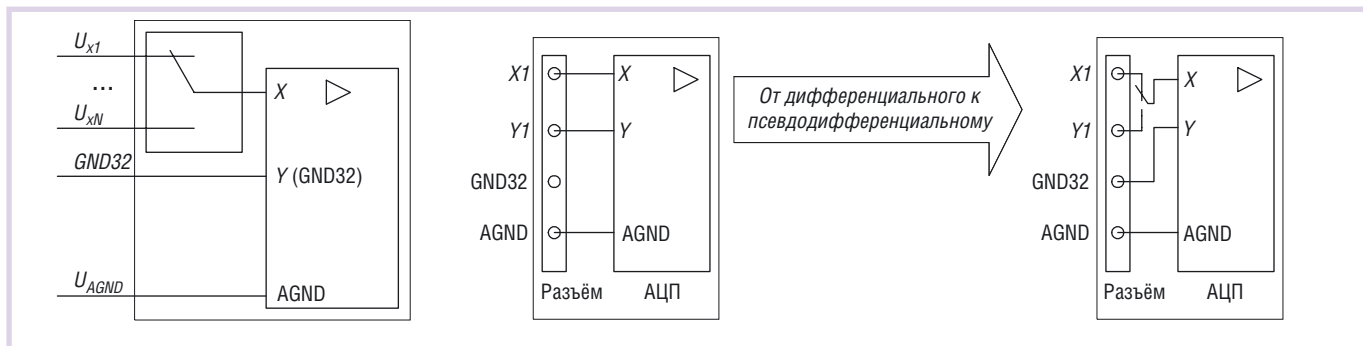


Рис. 16. Вход псевдодифференциальный

шение применяется в точных измерениях.

Улучшение заключается в том, что отвязанный от земли однофазный вход приобретает свойство симметрии: на рис. 17 общая наводка на входы X и Y относительно земли прикладывается ко входам X и Y одинаково, поскольку входы X и Y никак не связаны с землей (с них нет утечек тока на землю), а входной сигнал снимается непосредственно между точками X и Y и не зависит от потенциала земли.

Способы и особенности гальваноразвязки описаны далее.

Особо интересующийся читатель может задать вопрос: «Однофазный гальваноразвязанный вход хуже дифференциального?». Ответ будет следующий: в случае идеальной гальваноразвязки — не хуже. Но при реальной

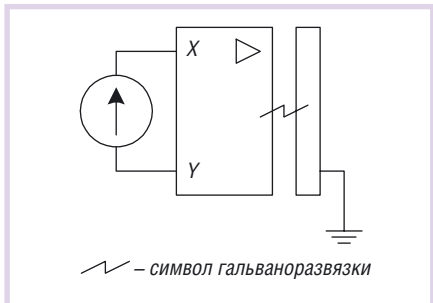


Рис. 17. Вход гальваноразвязанный однофазный

импульсной трансформаторной гальваноразвязке, как правило, применяемой в источнике питания внутренних узлов гальваноотвязанного входа, существует межобмоточная ёмкость порядка 10 пФ, а значит, существует утечка тока высокой частоты со входов X и Y на землю. Поскольку по отношению к гальваноотвязанной части внутренний вход однофазный и несимметричный, то и утечки высокочастотного тока с входов X и Y на землю будут неодинаковыми. Следовательно, на высокой частоте к однофазному гальваноразвязанному входу всё же

прикладывается небольшая помеха. В то же время качественный (широкополосный) дифференциальный вход достаточно хорошо симметричен даже на высокой частоте.

По способу гальваноразвязки

Лучший вход — это независимый вход. В этой короткой фразе и заключён смысл гальваноразвязки входа измерительного прибора. Главный смысл гальваноразвязки сигнальной цепи напряжения вообще заключается в исключении тем или иным способом паразитного сквозного тока по общему проводу от источника к приёмнику сигнала. Этот ток, вызывающий помеховое падение напряжения на сопротивлении общего провода, в том числе индуктивного характера, вызывается разностью потенциалов между аналоговыми землями источника и приёмника сигнала.

Существуют несколько принципов гальваноразвязки, перечислим в этом разделе наиболее распространённые.

Трансформаторная гальваноразвязка сигнальной цепи относится к индивидуальному способу гальваноразвязки входа напряжения. Трансформаторная развязка может быть как однофазной, так и дифференциальной.

Наиболее существенный недостаток трансформаторной развязки — это наличие проходной ёмкости между обмотками, которая не даёт возможности обеспечить полную независимость развязываемых цепей по высокой частоте — об этом надо всегда помнить.

Оптоэлектронная гальваноразвязка сигнальной цепи с применением оптопар даёт достаточно качественную гальваноразвязку сигнальной цепи. Как правило, применяется для развязки цифровых сигнальных цепей.

Импульсная поканальная гальваноразвязка — это своеобразная развязка входной сигнальной цепи, которая делается не на уровне входных проводов устройства, а на уровне развязки всех остальных цепей, которыми устрой-

ство связано с остальным миром, — это развязка цепей питания, управления и пр. Суть этого способа состоит в разрыве цепи прохождения паразитного сквозного тока по нулевому проводу за счёт гальваноразвязки источника питания входного устройства.

Недосток этого способа проявляется, главным образом, в наличии высокочастотных помех, проникающих через межобмоточные ёмкости трансформаторной развязки источника питания входного устройства.

Импульсная групповая гальваноразвязка аналогична предыдущей, но применена на уровне развязки группы каналов, при этом внутри группы гальваноразвязки нет.

По входному сопротивлению

Вход напряжения имеет большое входное сопротивление. Он предназначен для приёма информации в виде потенциального сигнала.

Токковый вход имеет малое входное сопротивление. Он предназначен для приёма информации в виде токового сигнала. Ток I, протекающий через его входное сопротивление $R_{i\text{пр}}$, вызывает падение напряжения, максимальная величина которого $U_{\text{max}} = I_{\text{max}} R_{i\text{пр}}$ определяет запас по напряжению токового входа.

Вход заряда имеет малое входное сопротивление. Он выделяет информационную составляющую из заряда Q, пропускаемого через его входное сопротивление $R_{i\text{пр}}$.

Сущность входа заряда поясним с использованием эквивалентной схемы источника заряда Q в виде последовательно соединённых ёмкости и источника переменного напряжения U, при этом эквивалентный заряд $Q = CU$. Как и у токового входа, входное сопротивление $R_{i\text{пр}}$ входа заряда должно быть достаточно низким, в этом сходство входов тока и заряда. Отличие же носит принципиальный характер: вход заряда схемотехнически обеспечивает частотную

Таблица 2. Карта совместимости типов входов с типами источников сигнала

Тип входа \ Тип источника сигнала		По характеру внутреннего сопротивления			По наличию заземления		По числу фаз		По наличию экранирующей поверхности		По полярности источника сигнала	
		U	I	Q	Нет	Есть	1	2	Есть	Нет	Однополярный	Двухполярный
По входному сопротивлению	U — вход по напряжению	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
	I — токовый вход	-	+	+/-	+	+	+	+	+	+	+	+
	Q — вход заряда	-	+/-	+	+	+	+	+	+	-	-	+
По полярности входного сигнала	Однополярный	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-
	Двухполярный	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
По количеству фаз и степени симметрии входа	Однофазный	+	+	+	+	+	+	+/-**	+	+	+	+
	Псевдодифференциальный	+	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+
	Дифференциальный	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

* Случай встречается редко

** Можно считать совместимым, но только в случае, если однофазный вход имеет индивидуальную гальваноразвязку и это вход-выход напряжения, а не тока или заряда

независимость в широкой полосе частот выделенной физической величины заряда, а при использовании токового входа в качестве входа заряда такая частотная независимость обеспечиваться не может, поскольку ток в сигнальной цепи при подсоединении описанной эквивалентной схемы источника заряда рассчитывается по формуле $I_{i\text{np}} = U / (Z_c + R_{i\text{np}})$ и, следовательно, частотно-зависим

от реактивного сопротивления ёмкости источника заряда Z_c .

Принципиальная совместимость входов устройств и источников сигнала

Данные о совместимости входов устройств и источников сигнала приведены в табл. 2.

Знаком «+» в таблице отмечены принципиально совместимые пары

«тип входа—тип источника», знаком «+/-» отмечены плохо совместимые пары, а знаком «-» — принципиально несовместимые пары.

Выражаю искреннюю благодарность Бакланову Н.И. за справедливые критические замечания, побудившие автора полнее раскрыть ряд важных вопросов по теме статьи. ●

Продолжение следует

**Автор — сотрудник ЗАО «Л-КАРД»
Телефон: (095) 785-9525**