

Принципы электросовместимости приборов

Александр ГАРМАНОВ, ведущий инженер ЗАО «Л-Кард»

Часть 2.

Типы входов устройств и электросовместимость входов-выходов

Классификация типов входов устройств по входному сопротивлению

Вход с большим входным сопротивлением, выделяющий информацию из величины приложенного входного напряжения, называют *входом напряжения*. Основные параметры электросовместимости *входа напряжения* – это диапазон входного напряжения, входное сопротивление и собственный входной ток (y некоторых приборов входной ток не равен нулю).

Токовый вход, выделяющий информацию из величины тока, имеет малое входное сопротивление и предназначен для подключения «в разрыв» электрической цепи. *Токовый вход* – самый помехозащищённый вход по сравнению с входом напряжения или заряда. Объясняется это низким входным сопротивлением и помехозащищённостью к ёмкостным и индуктивным наводкам. Входную цепь от источника тока достаточно проложить витой парой. Любой вход напряжения принципиально возможно преобразовать во вход тока путём подключения параллельно входу низкоомного резистора.

Вход заряда имеет малое входное сопротивление. Как и у токового входа, входное сопротивление входа заряда достаточно низкое, в этом сходство входов тока и заряда. В отличие от входа тока вход заряда крайне чувствителен к ёмкостным наводкам, поскольку выделяет информационную составляющую из заряда, поэтому его называют также зарядочувствительным входом. Вход заряда обеспечивает частотную независимость (в заданной полосе частот) выделенной физической величины заряда. Известны два способа выделения сигнала заряда и преобразования его в напряжении:

- посредством усилителя напряжения с большим входным сопротивлением и малой ёмкостью (например 100 МОм, 20 пФ); точность измерения, равно-

мерность и ширина полосы частот при таком методе невелики;

- посредством усилителя заряда, преобразующего переменный заряд в напряжение со стабильным коэффициентом преобразования (В/Кл) в широкой полосе частот сигнала заряда.

У *нелинейных входов* входное сопротивление зависит от входного напряжения. Если в цепи имеются ограничительные элементы, то нелинейный вход ниже порога ограничения сигнала ведёт себя как вход напряжения, а в режиме ограничения – как токовый вход.

Классификация типов входов устройств по полярности входного сигнала

Входные сигналы делятся на однополярные и двухполярные. Следует учитывать, что встречаются приборы с несимметричным относительно нулевого значения входным диапазоном сигнала, например, $-25\dots+75$ мВ.

Классификация типов входов устройств по количеству фаз и степени симметрии входа

Этот признак классификации зависит от схемотехнической способности входного каскада устройства подавлять пришедшую из внешней среды помеху, приложенную к входным проводам устройства.

Дифференциальный вход (рис. 1) позволяет принять пару входных сигналов X и Y симметрично относительно общего провода (AGND), выделив полезный разностный сигнал ($Y-X$) на фоне общего аддитивного помехового сигнала δ , выполнив над входными аналоговыми сигналами $(X + \delta)$ и $(Y + \delta)$ операцию вычитания: $(Y + \delta) - (X + \delta) = Y - X$, где: X – это неинвертирующий, а Y – инвертирующий вход.

По смыслу дифференциальный вход можно назвать разностным входом, однако традиционное название прочно укоренилось в радиотехнической терминологии.

Аддитивный помеховый сигнал (δ) называется *синфазным*, полезный разностный сигнал ($Y-X$) – *противофазным*. Коэффициент подавления синфазного

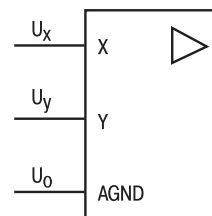


Рис. 1. Вход дифференциальный

сигнала определяет, насколько синфазная составляющая δ подавляется по отношению к разностной $Y-X$, т.е. характеризует качество дифференциального входа.

Дифференциальный вход, в отличие от однофазного, позволяет подключить источник сигнала так, чтобы ток сигнальной цепи не протекал через общий провод. *Важно помнить, что дифференциальный вход – это всегда трёхполюсное подключение.*

Часто дифференциальный вход является входом напряжения, реже встречаются дифференциальные (разностные) токовые входы и дифференциальные входы заряда. К основным электрическим параметрам электросовместимости дифференциального входа относятся:

- диапазон входного сигнала;
- диапазон синфазного сигнала (может быть значительно больше диапазона дифференциального сигнала);
- коэффициент подавления синфазного сигнала и его зависимость от частоты.

Однофазный вход (рис. 2) – это простой вход для двухточечного подключе-

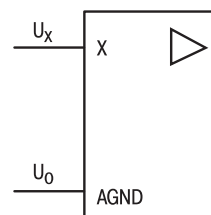


Рис. 2. Вход однофазный

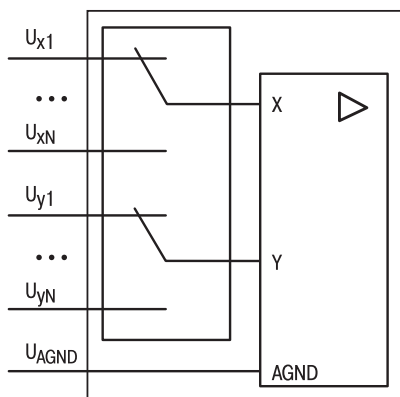


Рис. 3. Вход дифференциальный с ДКК

ния. Можно считать, что однофазный – это «испорченный» дифференциальный, у которого соединили входную фазу сигнала Y с общим проводом AGND. Однофазный вход – это наиболее часто встречающийся вход. Это может быть вход напряжения, токовый вход или вход заряда.

Дифференциальный вход с динамическим коммутатором каналов (ДКК) (рис. 3) схематически получен из дифференциального путём добавления аналогового мультиплексора входных цепей для реализации многоканальных режимов. Подобное решение традиционно применяется в многоканальных АЦП.

Этот вход является дифференциальным, поскольку симметрия входов практически не нарушена. Однако в динамическом режиме работы аналогового мультиплексора (режим динамического опроса каналов АЦП) он становится ухудшенным дифференциальным входом. Рассмотрим, почему это происходит.

Аналоговый мультиплексор (коммутатор, ключ) не идеален. Это объясняется, в частности, наличием проходных ёмкостей полевых транзисторов, из которых этот ключ состоит. Попросту говоря, существуют паразитные ёмкости порядка десятков пикофард между управляющим сигналом, каналом и общим проводом ключа, а также другие перекрёстные ёмкости. При динамической коммутации каналов получается, что на сигнальную цепь относительно общего провода AGND динамически разряжается эквивалентная паразитная ёмкость C порядка 100 пФ. Поскольку поданные на входы каналов

напряжения в общем случае разные, то и начальные условия перезаряда паразитных ёмкостей тоже разные.

Если внутреннее сопротивление источника сигнала равно R, то в течение времени $t \approx 3RC$ 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 чем меньше частота коммутации каналов мультиплексора и чем меньше внутреннее сопротивление источника сигналов на высокой частоте, тем меньше влияние динамической ошибки измерения сигнала.

В многоканальном режиме динамические процессы отсутствуют, и один дифференциальный канал с ДКК эквивалентен обычному дифференциальному входу.

Псевдодифференциальный вход с ДКК (рис. 4) схематически получен из дифференциального путём подключения динамического коммутатора к одной из фаз дифференциального входа. Полученная коммутация позволяет собирать данные с N каналов. Такое решение традиционно применяется в 16-канальных АЦП с мультиплексированием кана-

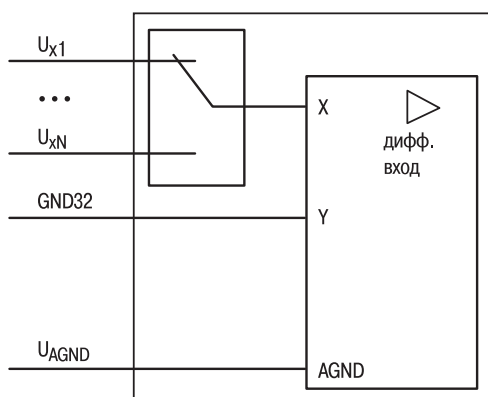


Рис. 4. Вход псевдодифференциальный

лов, где существует так называемый 32-канальный псевдодифференциальный режим, когда динамически коммутируются каналы только одной из фаз внутреннего дифференциального входа, а вторая фаза GND32 не коммутируется и является объединённой второй фазой для сигнальных цепей 32 каналов. С одной стороны этот вход не назывешь симметричным, с другой – он частично сохранил свойства дифференциального входа, поскольку имеет общий провод AGND и две фазы. Как и для любого входа с ДКК, здесь также следует учитывать эффект перезаряда коммутационной ёмкости.

Однофазный гальваноразвязанный вход (рис. 5) – это часто встречающийся вариант улучшенного однофазного входа, который применяется в точных измерителях. Улучшение заключается в том, что отвязанный от земли однофазный вход приобретает свойство симметрии.

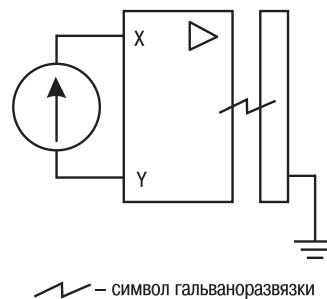


Рис. 5. Вход гальваноразвязанный однофазный

Таблица 1. Пример применения предложенной классификации типов входов устройств

Устройство	По входному сопротивлению	По числу фаз и степени симметрии входа	По полярности входного сигнала	По способу гальваноразвязки
Усилитель заряда	Вход заряда	Однофазный или дифференциальный	Двухполярный	Обычно без гальваноразвязки
Усилитель сигнала полного тензомоста	Вход напряжения	Дифференциальный	Двухполярный	Обычно без гальваноразвязки
Вход измерителя тока	Токовый вход	Однофазный	Одно- или двухполярный	Обычно с гальваноразвязкой
TTL-вход устройства	Вход напряжения	Однофазный	Однополярный	Без гальваноразвязки

На рис. 5 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 землёй (с них нет утечек тока в землю), а входной сигнал снимается непосредственно между точками X и Y и не зависит от потенциала земли.

Читатель может задать вопрос: «Действительно ли однофазный гальваноразвязанный вход хуже дифференциального?» Ответ: в случае идеальной гальваноразвязки – не хуже. Реальная гальваноразвязка однофазного входа в устройствах не всегда обеспечивает баланс ёмкостей проводов однофазного входа относительно внешней среды (корпуса), на высокой частоте дисбаланс ёмкостей неизбежно приведёт к ухудшению подавления синфазного сигнала. Качественный (широкополосный) дифференциальный вход имеет лучшее подавление синфазного сигнала на высокой частоте, поскольку балансировка этого входа обеспечена дифференциальной схемотехникой.

Классификация типов входов устройств 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 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, порождается разностью потенциалов между аналоговыми землями источника и приёмника сигнала.

Для гальваноотвязанного входа важной характеристикой электросовместимости также является максимальная скорость нарастания синфазного напряжения (В/мкс), при которой сохраняется нормальная (несбойная) работа устройства.

Существуют несколько принципов гальваноразвязки, перечислим наиболее распространённые.

- *Трансформаторная гальваноразвязка сигнальной цепи* относится к индивидуальному способу гальваноразвязки входа напряжения. Эта развязка может быть как однофазной, так и дифференциальной. Существенный недостаток трансформаторной развязки – наличие проходной ёмкости между обмотками, которая не обеспечивает полную независимость развязываемых цепей по высокой частоте.
- *Оптоэлектронная гальваноразвязка сигнальной цепи* обычно обеспечивает качественную гальваноразвязку сигнальной цепи. На практике используется для развязки цифровых или аналоговых сигнальных цепей.
- *Импульсная поканальная гальваноразвязка* – это развязка входной сигнальной цепи, которая создаётся не на уровне входных проводов устройства, а на уровне развязки всех остальных цепей, которыми устройство связано с цепью питания, управления и др. Недостаток этого способа объясняется наличием высокочастотных помех, проникающих через межобмоточные ёмкости трансформаторной развязки источника питания входного устройства.
- *Импульсная групповая гальваноразвязка* аналогична предыдущей, но используется для развязки группы каналов, при этом внутри группы гальваноразвязка отсутствует.

Электросовместимость входов устройств и источников сигнала

Результатом обобщения сведений о совместимости типов выходов источников сигналов, приведённых в первой части статьи (АиП, № 3, 2007, стр. 30–34) с типами входов устройств, рассмотренных во второй части, стала карта совместимости типов входов с типами источников сигнала (таблица 2). Знаком «+» в таблице отмечены принципиально совместимые пары «тип входа – тип источника сигнала», знаком «+/-» – плохосовместимые пары, а «-» – принципиально несовместимые пары.

Электросовместимость входов и выходов по параметрам

По вносимой погрешности в цепь измерения

Подразумевается совместимость прибора с цепью измерения, позволяющая получить требуемую точность измерения. На практике не имеет значения суммарная величина вносимой прибором погрешности, а важна её стабильность, поскольку систематическую составляющую погрешности практически можно исключить, применив, например, процедуру тарировки.

По принципу перегрузки входа

Входной диапазон сигнала прибора должен быть не меньше выходного диапазона источника сигнала – это требование перегрузки входного диапазона прибора. При перегрузке входа прибора могут наступить следующие последствия:

- инерционное поведение входного аналогового тракта прибора. При этом показания прибора остаются «в зашкале» в течение характерного для прибора времени восстановления после перегрузки. Если сигнал содержит сильные импульсные помехи, а инер-

ционный к перегрузкам вход прибора достаточно широкополосен, то входной диапазон прибора следует выбирать с большим запасом, в противном случае во время прихода импульса помехи прибор на некоторое время будет терять полезный сигнал. Такая ситуация встречается, например, при применении усилителей заряда в виброметрии.

- инерционное поведение выхода прибора при перегрузке его по току, например, в ситуации резкого возрастания выходного тока. Такая перегрузка может вызвать инерцию сигнала после ограничения тока выхода, в зависимости от принципов работы выходной токовой защиты прибора.

По принципу неперегрузки выхода

Возможные последствия применения нагрузки выхода вне рабочего диапазона:

- падение точности воспроизведения постоянной составляющей сигнала;
- возрастание нелинейных искажений;
- искажение АЧХ выходного сигнала.

Кроме того для активных источников сигнала, помимо вышеперечисленных, возможны следующие последствия нерабочей нагрузки:

- эффект самовозбуждения – превращение в генератор;

- возрастание межканального прохождения сигнала между выходами данного прибора;

- ухудшение соотношения сигнал/шум.

По согласованности динамических диапазонов сигнала и входа

Динамический диапазон входа снизу ограничен уровнем шумов прибора, приведённых к его входу, а сверху – диапазоном входного сигнала прибора. Выходной сигнал также имеет динамический диапазон, снизу ограниченный шумовой, помеховой составляющими, а иногда и расчётным уровнем нечувствительности. Несогласованность динамических диапазонов может привести к искажению и потере полезной информации сигнала. Вопрос оптимизации динамического диапазона тесно связан с вопросом выбора оптимальной полосы пропускания аналогового тракта прибора.

Электросовместимость двунаправленных входов-выходов и выходов с третьим состоянием

Различные проводные интерфейсы передачи данных широко используют двунаправленные линии передачи. В этих интерфейсах входы напряжения приёмников сигнала всегда подключены к линии, а передатчики сигналов являются

выходами с переменным выходным сопротивлением. В каждый момент времени на линию может выйти (т.е. включить режим малого выходного сопротивления) не более одного передатчика. И в этом случае работает схема «один выход – много входов» и электросовместимость в такой системе определяется свойствами входов, выхода и линии передачи.

Состояние, когда нет ни одного активного передатчика на линии, в каждом случае зависит от того, имеются ли пассивные или активные нагрузки на линиях. В зависимости от типа интерфейса это могут быть: резисторные нагрузки, активные источники тока, активные нагрузки, а также активные элементы удержания шины (функция *bus hold*, поддерживающая относительно малым током последнее активное состояние шины).

Важно помнить: некорректно соединять двунаправленную линию (или линию с третьим состоянием, или просто неподключенную длинную линию) без какой-либо нагрузки с обычным TTL-выходом (без функции *bus hold* и без гистерезиса), поскольку максимальная скорость нарастания напряжения на таком входе может быть сколь угодно мала, что может привести к непредсказуемому поведению цифрового устройства. ■

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		+	–	–	+	+	+	+	+	+	+	+
	I		–	+	+/-	+	+	+	+	+	+	+	+
	Q		–	–	+	+	+	+	+	+	–	–	+
По полярности входного сигнала	Однополярный		+	+	–	+	+	+	+	+	+	+	–
	Двухполярный		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
По количеству фаз и степени симметрии входа	Однофазный		+	+	+	+	+	+	+/- **	+	+	+	+
	Псевдодифференциальный		+	–	–	+	+	+	–	+	+	+	+
	Дифференциальный		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

* случай встречается редко

** можно считать совместимыми, если однофазный вход индивидуально гальванотвязан и это вход-выход напряжения, а не тока или заряда