

Александр Гарманов

Принципы обеспечения электросовместимости измерительных приборов

Часть 2

ОБЗОР СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОЗАЩИЩЁННОСТИ

В этом разделе кратко перечислены способы и принципы обеспечения помехозащищенности — тот арсенал, которым, по мнению автора, должен владеть профессиональный системный интегратор при решении своей конкретной задачи. Причём чем жёстче требования к качеству системы и к реальной точности приборов, которые необходимо получить в измерительной системе, тем глубже со стороны системного интегратора должно быть понимание существующих технических принципов достижения указанных целей.

Гальваническая развязка

Под этим термином подразумевают семейство технических способов обеспечения изоляции между частями системы, которая обеспечивает непроницаемость гальванического барьера для земельных и питающих сквозных токов и проводимость для информационного сигнала — фактически это устройство отделения информационного сигнала от среды, по которой он пришел, что само по себе очень полезно.

В большинстве измерительных приборов гальванически развязывают именно вход прибора, хотя бы потому, что измерительных приборов, работающих на вход, гораздо больше, чем приборов, работающих на выход. Принципы и особенности гальваноразвязок входов объяснены в первой части статьи, опубликованной в «СТА» 4/2003. Следует учитывать, что практически возможна и гальваноразвязка выхода прибора, например генератора или ЦАП, — этот вариант в статье не рассмотрен, но суть гальваноразвязки от этого не меняется, и

практически нет разницы при соединении двух приборов, вне зависимости от того, с какой стороны он гальваноразвязан.

Согласование кабеля

В электрически длинной линии отсутствуют отражения от её концов, если эквивалентное сопротивление нагрузок на её концах равно волновому сопротивлению длинной линии — теоретически доказанный факт. Практически, если используется радиочастотный кабель для подсоединения источника сигнала с волновым сопротивлением 50 или 75 Ом, то в любом случае полезно его согласовывать, если это технически возможно. Даже если сигнал от источника сигнала низкочастотный (для него кабель не является электрически длинной линией), все равно согласование имеет смысл, поскольку согласованная линия гораздо более помехоустойчива при воздействии внешних помех, в отличие от несогласованной. Достаточно эффективно обеспечить равенство волнового сопротивления и нагрузки хотя бы на одном конце линии. В частности, добавление на передающем конце источника напряжения последовательного резистора, увеличивающего выходное сопротивление источника напряжения точно до величины, равной волновому сопротивлению длинной линии, согласовывает линию на передающем конце. Этот принцип называют последовательным согласованием. Нагружать же линию на приёмном конце дополнительной низкоомной нагрузкой иногда бывает неприемлемо из-за возникновения большого тока нагрузки источника сигнала; в то же время, если такая нагрузка допустима, то согласование кабеля ещё и на приёмном конце даст очень большую помехоустойчивость, практически опре-

деляемую качеством кабеля и качеством согласования.

Заземление

Перед тем как менять схему заземления системы, помните, что Ваша карьера может неожиданно прерваться при несоблюдении правил техники безопасности.

Внимание! Опасно для жизни!

Выключите из питающей сети электроприбор, схему заземления которого Вы хотите менять. Это значит, что перед тем как голыми руками подключить или отключить земельный провод Вашего прибора, нужно физически выдернуть сетевую ~ 220 В вилку прибора из розетки!

Главная цель заземления состоит в привязке потенциала точки заземления устройства (как правило, это определенная точка корпуса прибора) к потенциалу земли. Этой мерой, с одной стороны, достигается выполнение требования безопасности эксплуатации данного прибора, а с другой стороны, выравнивание потенциалов точек заземления приборов в системе, что обеспечивает помехоустойчивость работы оборудования. То есть ответ на вопрос: «Заземлять или нет?» — будет почти всегда: «Да». Почти всегда нужно заземлять — это значит, что если правильно заземлять, то это может улучшить помеховую ситуацию, а если неправильно, то лучше и не браться за это неблагоприятное занятие.

Итак, если коротко, «на пальцах»: главная цель заземления состоит в привязке потенциала точки заземления устройства, а не в том, чтобы ответвлять ток какой-нибудь цепи. Тем более если ток вашей сигнальной цепи ответвляется в землю! Если Вы обнаружили, что это так, то могу поздравить — Вы «сваляли» не что иное, как систему регистрации собственных помех, которая сбивается, когда включается или выключается сторонний электроприбор.

Сформулируем и поясним на примерах основные правила заземления, которые достаточно тесно связаны между собой, поскольку вытекают из базовых законов электротехники.

Правило 1

Низкочастотный ток заземления гальваносвязанной части системы должен быть равен нулю. Ток сигнальных цепей не должен иметь контура распространения через землю.

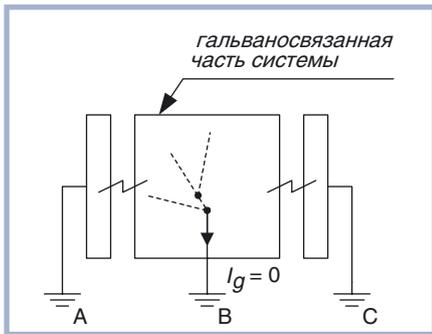


Рис. 1. Иллюстрация к правилу 1 заземления (гальваносвязанная часть системы)

На рис. 1 показана гальваносвязанная часть системы, заземлённая в точке В контура сигнального заземления. Пусть гальванически отвязанные части системы заземлены в точках А и С, при этом потенциалы точек А, В и С отличаются.

Суть этого правила заключается в том, что если гальваноразвязка действительно имеется, то у земельного тока I_g нет контура для распространения и поэтому он равен нулю, следовательно, токи сигнальных цепей, например токи общих проводов, не имеют контура распространения через землю. В этом случае сигналы гальваносвязанной части системы не зависят от разности потенциалов разнесённых точек заземления А, В и С, а следовательно, помехозащищены от земельных токов сторонних электроприборов.

Если I_g не равен нулю, то это значит, что либо Вы не полностью отдаёте себе отчет, где простираются гальваносвязанной части системы (это более вероятно), либо хотя бы одна гальваноразвязка Вашей системы подтекает, то есть вышла из строя (это менее вероятно).

Слова о низкочастотном токе говорят о том, что на высокой частоте импульсные гальваноразвязки из-за проходных ёмкостей подтекают, а следовательно, высокочастотный ток I_g вряд ли будет равен нулю.

Все сказанное вовсе не означает, что ток I_g нужно явно мерить, просто точное понимание расположения границ Вашей гальваносвязанной системы уже даёт понимание, от каких земельных токов она защищена, а от каких нет.

Правило 2

Если должны заземляться две точки общего провода сигнальной цепи, то провода к цепи заземления необходимо подсоединить в одной точке.

Это правило относится к проблеме обеспечения взаимной независимости сигнальных цепей внутри гальваносвязанной части системы в случае, когда необходимо заземлять нулевой провод сигнальной цепи в двух или более точках.

Вы должны понимать, что такой вариант заземления потенциально проблематичен, поскольку мы в любом случае образуем ответвление тока сигнальной цепи, протекающего по каждой паре заземляющих проводов, что само по себе плохо, но если это просто необходимо (см. примечание 1), то сделать это можно оптимально, соблюдая правило 2.

Очевидно, что две сигнальных цепи независимы, если ток одной сигнальной цепи не создаёт дополнительного падения напряжения на участке другой сигнальной цепи.

На рис. 3 показан участок общего провода сигнальной цепи, имеющий комплексное сопротивление (импе-

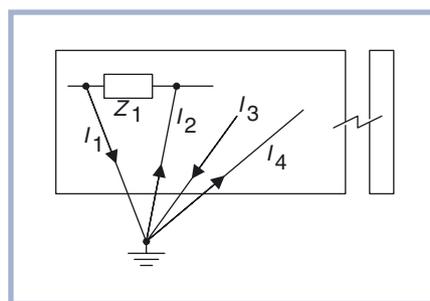


Рис. 2. Иллюстрация к правилу 2 заземления (одна точка заземления)

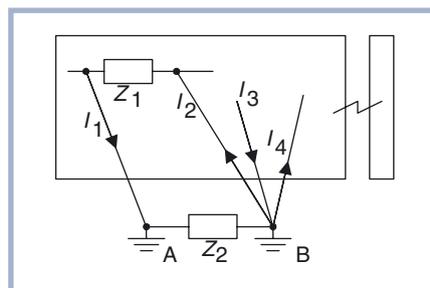


Рис. 3. Иллюстрация к правилу 2 заземления (не одна точка заземления)

данс общего провода локальной сигнальной цепи) Z_1 . В случае когда все провода заземления гальваносвязанной системы сходятся в одну точку, токи I_3, I_4 не могут вызвать прямое воздействие на падение напряжения на импедансе Z_1 , потому что они там явно не текут (см. примечание 2). В то же время на рис. 3, где заземление произведено не в одной точке, падение напряжения на дополнительном импедансе Z_2 земельного проводника изменит соотношения токов I_1 и I_2 , что явно изменит падение напряжения на Z_1 , а значит, явно привнесет помеху в рассматриваемую сигнальную цепь.

Рис. 3 соответствует недопустимому случаю удалённого заземления в разных точках гальваносвязанной сигнальной цепи, при котором по общему проводу Z_1 течёт разностный земельный ток.

Примечание 1. Типичный случай: два прибора, осциллограф и генератор, имеющие коаксиальные выход и вход, с экраном (общим проводом), соединённым с корпусами приборов. Правило техники безопасности требует индивидуального заземления корпуса каждого прибора, а правило 2 объясняет, как это нужно сделать правильно.

Примечание 2. Данные рассуждения относятся к простому случаю, когда токи I_3 и I_4 не ответвляются в рассматриваемый общий провод Z_1 по дополнительным цепям, не показанным на рис. 2. Но даже если это так, то соблюдая принцип заземления в одной точке, Вы значительно уменьшите взаимные влияния сигналов.

Правило 3

Гальваническую связь сигнальных цепей следует стремиться осуществлять только в одной точке. При этом именно эта точка будет оптимальна для заземления всей гальваносвязанной системы с помощью единственного заземляющего проводника.

Можно сказать то же самое, но другими словами: если связать две независимых цепи более чем в одной точке, то появятся сегменты цепи (в виде петель), одновременно принадлежащие двум или более цепям, — значит, напряжение, упавшее на сопротивлении этих общих участков цепи, создаст перекрестную помеху в соответствующих сигнальных цепях (рис. 4).

Правило 4

Если две локальные системы имеют разные (удалённые) точки заземления, то они должны иметь между собой гальваническую развязку сигнальных цепей.

Это прямое следствие из правила 2, но оно настолько важно, что вынесено отдельно на всеобщее обозрение.

Заземлять или не заземлять гальваноразвязанные части системы?

Заземление гальваноразвязанных частей системы полезно и необходимо, пусть даже в далёких точках заземления. Дело в том, что если оставить гальваноотвязанную часть цепи явно не привязанной ни к какому потенциалу, то этот потенциал может быть любым, например 10000 В от электростатического накопленного заряда, а это означает, что такая система может потенциально выйти из строя или сбойнуть от разряда гигантского напряжения через собственную гальваноразвязку; в то же время система может и не выйти из строя, если заряд все-таки потихоньку стекает, например из-за большой влажности воздуха. Следовательно, заземление гальваноразвязанных частей системы, даже в далёких точках заземления, необходимо в случае, когда потенциал гальваноразвязанной части системы ничем не ограничен.

Слабосвязанный с заземляющей цепью источник

Это «дурной» случай, когда источник сигнала, с одной стороны, специально не изолирован от цепи заземления, а с другой стороны, имеет с ней связь «неведомыми путями». При соединении такого источника со входом прибора данный случай эквивалентен случаю далёкого заземления устройств, при котором необходимо наличие гальваноразвязки входа прибора. В противном случае паразитный ток, втекающий в нулевой провод с «неведомого пути», вызовет неопределённое падение напряжения на общем проводе.

Заземлять нужно на стороне источника или на стороне приёмника сигнала?

Здесь речь идет о гальваносвязанной части системы.

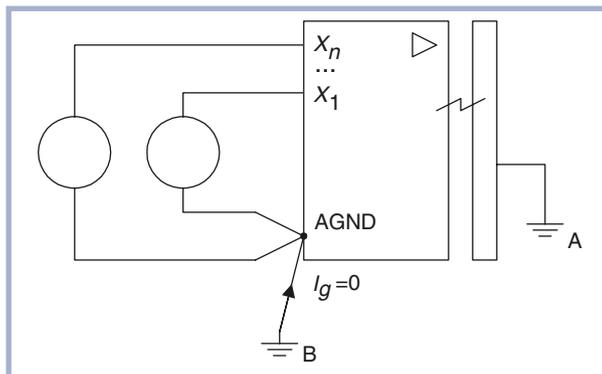


Рис. 4. Иллюстрация к правилу 3 заземления (правильное соединение гальваносвязанных цепей, к тому же с заземлением)

На этот вопрос нельзя дать однозначный ответ. Начнем с того, что гальваносвязанных источников и/или приемников в системе может быть несколько. В случае когда нет технической возможности индивидуально отвязать вход от выхода, образуются те самые «завязки», которые приводят к ситуации, в которой всё влияет на всё из-за наличия участков сигнальных цепей, принадлежащих нескольким сигнальным цепям сразу (правило 3), и, может быть, в этой ситуации нужно заземлять одновременно и на стороне источника, и на стороне приёмника, соблюдая правило 2. Да, для сложных случаев эти правила начинают противоречить друг другу — тогда соблюдайте хотя бы одно из них, наверняка получится!

Ответ на вопрос, вынесенный в заголовке, в общем случае будет таким: главное, заземляйте так, чтобы максимально удовлетворить хотя бы каким-то правилам из раздела «Заземление». Подразумевается, что в сложных случаях гальванической связи Вы экспериментально должны добиваться улучшения ситуации.

Экранирование

Сведения, приведенные в данной главе и касающиеся рекомендаций по экранированию, следует воспринимать в контексте продолжения увлекательного описания самого термина «экранированный источник сигнала» (см. первую часть статьи). Рассмотрим вопрос, с чем соединять экран.

Экран — это хорошо, но с чем же его соединять?

Если экран не является корпусом и общим проводом, это именно электростатический экран в его изначальном понимании, который является своеобразной обкладкой конденсатора —

второй после корпуса «оболочкой» системы, но, в отличие от корпуса, изначально ни с чем не соединенной.

В этом случае «честного» экрана для полного счастья остаётся привязать потенциал экрана где-нибудь в одной точке, заземлив экран в точке заземления системы. Тогда поверхность экрана «разрежет» пространство вокруг него на две области, не связанные между собой ёмкостной связью.

Итак, электростатический экран даёт взаимную ёмкостную независимость разделяемых областей (для сравнения электромагнитный экран — взаимную индуктивную независимость).

Теперь рассмотрим различные отступления от изначального понимания термина «экран», которые возникают очень часто из-за простой экономии проводящих поверхностей в системе — они увеличивают стоимость, вес и габарит прибора.

Если экран уже является токопроводящим корпусом системы, значит, единственная точка заземления этого корпуса должна одновременно являться и точкой привязки потенциала этого экрана. Если нет соединений на этот корпус в других точках, значит этот корпус действительно является экраном. Если же другие соединения на корпус существуют, значит, это уже совсем не экран, потому что в нём имеются корпусные токи.

Если экран является общим проводом, то это типичный случай подключения посредством одножильного коаксиального кабеля (если подключение однофазное), либо экранированной витой парой (если подключение дифференциальное). В этом случае правила его подключения, в т.ч. и заземления, должны соответствовать правилам, относящимся к общему проводу в контексте типа источника сигнала и типа входа, и правил их подключения, описанных в настоящей статье. Особенно следует учитывать правила 2, 3, 4 заземления, соблюдая которые, Вы подключите этот экран — общий провод правильно.

Если экран является общим проводом согласованной линии (этот вариант часто применяется в высокочастотной технике), то здесь фактор согласования кабеля (см. раздел «Согласование кабеля») даёт настолько высокий уро-

вень помехозащищённости по сравнению с другими факторами, что даже подсоединив экран между корпусами приборов, Вы скорее всего не заметите помех из-за сквозных экранных токов между корпусами приборов, в то же время принцип заземления корпусов приборов в одной точке дополнительно минимизирует корпусную разность потенциалов.

Уменьшение входного импеданса прибора

Токовый вход гораздо более помехоустойчив, чем вход напряжения. Это объясняется, в частности, значительно более низким входным сопротивлением токового входа по сравнению со входом напряжения.

С другой стороны, вход напряжения гораздо более помехоустойчив, если он подключен к источнику напряжения с низким выходным сопротивлением.

Эти факторы необходимо учитывать при проектировании соединений устройств по току или по напряжению (к сигнальной цепи заряда эти рассуждения не относятся).

Кроме того, для входов тока и напряжения оказывается полезной входная ёмкость прибора, уменьшающая

сопротивление входа на высокой частоте. В частности, дополнительную входную ёмкость прибора создаёт экранированное подключение. Это дополнительное плюс экранированного подключения.

С другой стороны, слишком большая дополнительная входная ёмкость может «заваливать» АЧХ канала в области высоких частот, а в случае входа с ДВДКК (см. первую часть статьи) накапливать заряд коммутационной ёмкости, создавая дополнительную ошибку — напряжение смещения.

От однофазного подключения к дифференциальному

Дифференциальное подключение — это одна из эффективных мер улучшения соотношения сигнал/помеха на входе прибора — см. соответствующие примеры в следующей главе.

Примеры подключения типовых приборов

Невозможно охватить все практически возможные ситуации подключения устройств, которые встречаются в реальной жизни. Но доработав реальную схему, приблизив её к приведённым примерам и соблюдая рекомен-

дации, Вы имеете реальный шанс улучшить соотношение сигнал/помеха на входах приборов, межканальное прохождение, а также устранить возможные сбои устройств, вызванные электрическими помехами.

Во всех приведённых примерах использовано обозначение AGND — аналоговая земля, при этом подразумевается, что устройство аналоговое и имеет аналоговую землю. Но аналогичные принципы можно применить и для борьбы с помехами в цифровых приборах, имеющих цифровую землю, — GND или DGND.

Все рассуждения, относящиеся к подключению дифференциального источника напряжения, справедливы также и для ДЛВФ-источника напряжения (см. первую часть статьи).

Устройства и с аналоговыми, и с цифровыми землями

Если в устройстве аналоговые и цифровые земли гальваноразвязаны, то проблем быть не должно. Но если из устройства выходят уже связанные там обе цепи (типичный пример: в устройстве ввода-вывода аналоговая земля АЦП может быть гальваносвязана с цифровой землей ци-

фровых сигналов ввода-вывода), то в силу вступает правило 3, из которого следует, что внешние аналоговые и цифровые цепи должны быть с гальваноразвязкой, иначе будет образована вторая точка связи общих проводов разнородных цепей, а это недопустимо.

Тогда возникает вопрос: «Для единственной точки заземления системы использовать вывод аналоговой или цифровой земли?». Если специальная точка заземления не предусмотрена, то, скорее всего, нужно заземлять аналоговую землю, хотя дать жёсткую рекомендацию для этого случая невозможно, поскольку это зависит от величины и рода помех, которые существуют в конкретной системе.

Нарисуйте контуры протекания ёмкостной помехи между гальваноразвязанными участками Вашей системы, тогда Вы имеете реальный шанс понять, какая единственная точка гальваносвязанной части системы будет наиболее эффективно замыкать на землю высокочастотные токи утечек (правило 1). А может, точка заземления должна быть не одна (правило 2)?

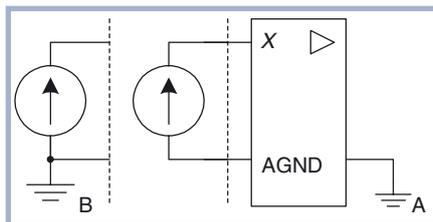


Рис. 5. Однофазное подключение источника напряжения

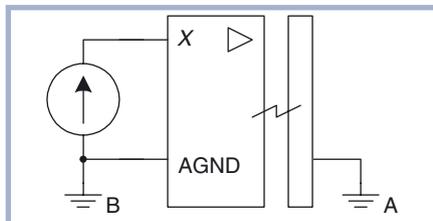


Рис. 6. Однофазное подключение источника напряжения с заземлением

Подключение сигнальной цепи напряжения

Однофазный вход

К одиночному входу напряжения без гальваноразвязки может быть достаточно корректно подключен одиночный изолированный источник напряжения, как показано на рис. 5.

Любая взаимосвязь источника сигнала с цепью заземления может породить помехи. Если источник заземлён

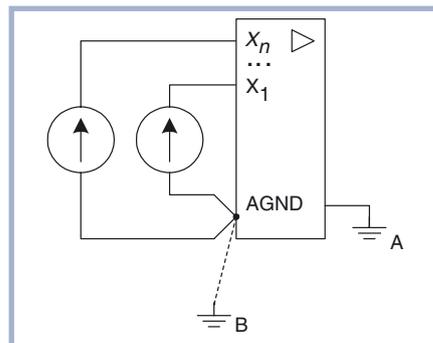


Рис. 7. Однофазные входы напряжения без гальваноразвязки

и по-другому соединить нельзя, то в качестве крайней меры нужно хотя бы обеспечить малую разность потенциалов, в том числе высокочастотную, между точками А и В, заземлив все в одной точке (правило 2).

При наличии гальваноразвязки у входа напряжения заземлять источник сигнала можно (рис. 6) и в большинстве случаев необходимо.

Группа однофазных входов

При подключении нескольких источников напряжения к группе однофазных входов напряжения без гальваноразвязки важно, чтобы их общие провода соединялись только в одной

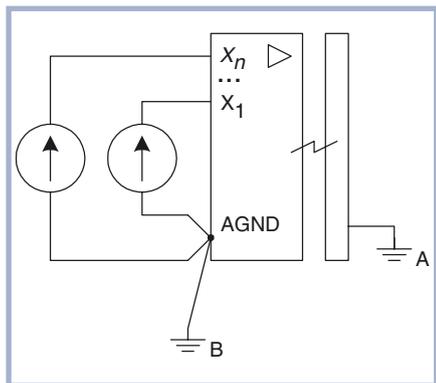


Рис. 8. Однофазные входы напряжения с гальваноразвязкой

точке — непосредственно на AGND входа прибора (рис. 7). Заземление здесь крайне нежелательно по той же причине, что и в случае одиночного входа (правило 2), но если без него не обойтись, то его нужно сделать в точке AGND (правило 3).

Это же справедливо для случая групповой гальваноразвязки. Заземлять источники сигналов полезно, но только в точке В (правило 3) как показано на рис. 8.

Экранирование однофазных входов

Экранирование однофазных входов напряжения без гальваноразвязки с совмещённым экраном и общим проводом показано на рис. 9.

На рис. 10 представлено экранирование однофазных входов напряжения без гальваноразвязки с отдельным экраном и общим проводом.

Подключение дифференциального источника

Дифференциальный источник напряжения можно подключить к однофазному входу с гальваноразвязкой (рис. 11). Этот случай является практически корректным, но только для выхода и входа напряжения и только когда однофазный вход имеет индивидуальную гальваноразвязку.

В этой схеме используется свойство симметрии однофазного отвязанного входа (см. первую часть статьи).

Дифференциальный вход

При дифференциальном подключении источника напряжения не следует забывать, что подключение ведется тремя проводами (рис. 12, 13).

Заземлять источник сигнала не рекомендуется: при наличии высокочастотной разности потенциалов между точками заземления А и В коэффициент подавления возникшей синфаз-

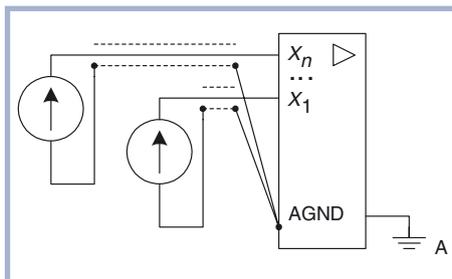


Рис. 9. Экранирование однофазных входов напряжения без гальваноразвязки. Совмещенный экран и общий провод

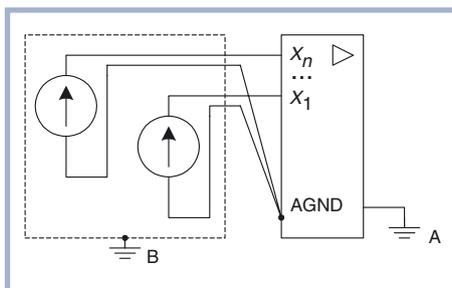


Рис. 10. Экранирование однофазных входов напряжения без гальваноразвязки. Раздельный экран и общий провод

ной помехи на высокой частоте может оказаться недостаточным для подавления помехи. Если дифференциальный вход широкополосный, то значимость указанной проблемы менее существенна.

Группа дифференциальных входов

При подключении нескольких источников напряжения к группе дифференциальных входов напряжения без гальваноразвязки важно, чтобы их общие провода соединялись только в одной точке: непосредственно на AGND входа прибора (правило 3). Заземление источников здесь нежелательно по той же причине, что и в случае одиночного входа.

При наличии групповой гальваноразвязки входов заземление полезно, но только в одной точке В, как показано на рис. 14.

Подключение однофазного источника

При подключении однофазного источника напряжения к дифференциальному входу (рис. 15) принципиально, чтобы оно было трёхпроводным, а также чтобы внутреннее сопротивление источника напряжения, в т.ч. и на высокой частоте,

было минимальным — в этом случае реализуются преимущества дифференциального входа по сравнению с однофазным. Например, если Вы хотите подключить термопару к дифференциальному входу оптимально, то придется тянуть от неё третий провод.

Подключение однофазных источников

При подключении нескольких однофазных источников напряжения к группе дифференциальных входов напряжения без гальваноразвязки важно, чтобы подключение к каждому источнику было трёхпроводным, а также чтобы их общие провода соединялись только в одной точке — непосредственно на AGND входа прибора (правило 3).

Заземление источников в этой схеме нежелательно по той же причине, что и в случае одиночного входа (правило 2). При наличии групповой гальваноразвязки входов заземление полезно, но только в одной точке В, как показано на рис. 16.

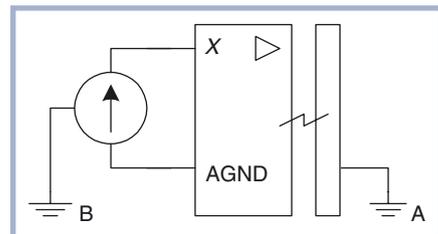


Рис. 11. Подключение дифференциального источника напряжения к однофазному входу с гальваноразвязкой

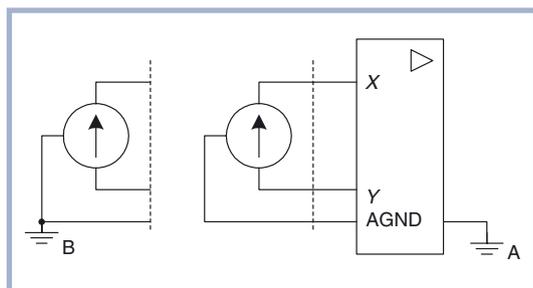


Рис. 12. Дифференциальное подключение источника напряжения

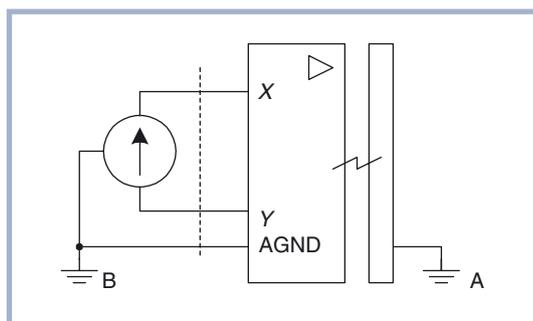


Рис. 13. Дифференциальное подключение источника напряжения с заземлением

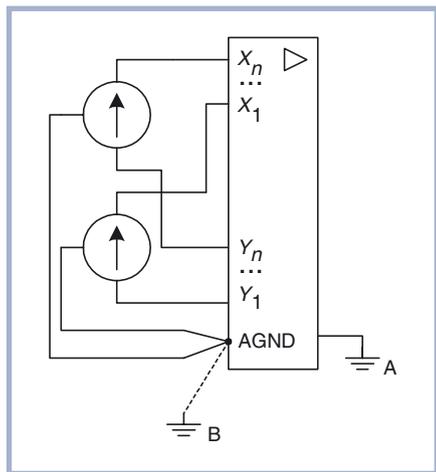


Рис. 14. Дифференциальные входы напряжения без гальваноразвязки

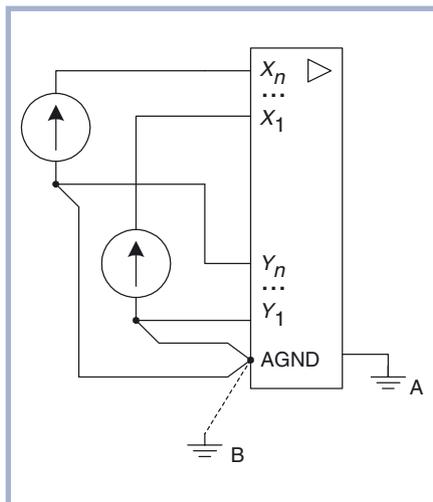


Рис. 16. Подключение однофазных источников напряжения к дифференциальным входам

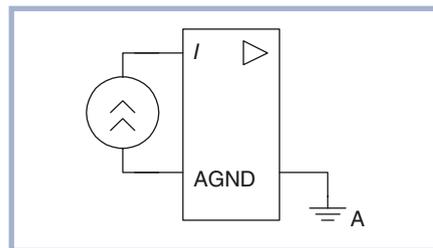


Рис. 18. Однофазное подключение по току

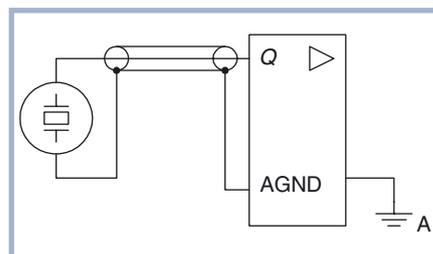


Рис. 19. Подключение источника заряда к входу заряда

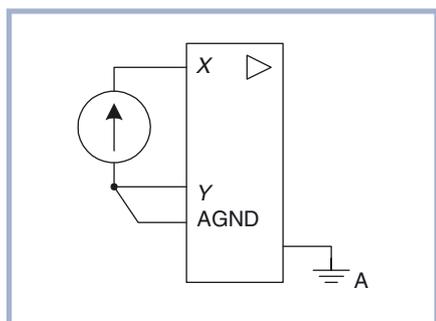


Рис. 15. Подключение однофазного источника напряжения к дифференциальному входу

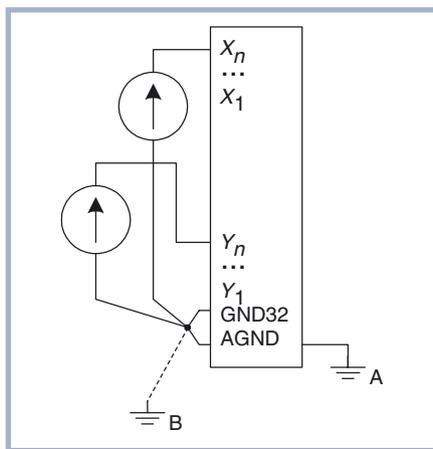


Рис. 17. Подключение однофазных источников напряжения к псевдодифференциальным входам

Псевдодифференциальные входы

При подключении нескольких однофазных источников напряжения к группе псевдодифференциальных входов напряжения без гальваноразвязки важно, чтобы их общие провода соединялись только в одной точке — непосредственно на AGND входа прибора (правило 3). В свою очередь, AGND должна объединяться с GND32 в той же самой точке.

Заземление источников в этой схеме нежелательно (правило 2). При наличии групповой гальваноразвязки входов заземление件 полезно, но только в одной точке В, как показано на рис. 17.

Подключение сигнальной цепи тока

Стыковку устройств по току желательно делать при наличии поканальной гальваноразвязки входов (рис. 18).

Заземление и экранирование токовой цепи, как правило, не требуются, но возможны в специальных случаях.

Подключение сигнальной цепи заряда

Для подключения сигнальной цепи заряда принципиально, чтобы это

подключение было экранированным, со сплошной экранирующей поверхностью, не имеющей просветов. Указанным свойством обладает, например, коаксиальный кабель с ленточным, а не плетёным экраном. Также важно большое сопротивление между центральной жилой и экраном кабеля, которое не должно быть меньше 1 ГОм — в противном случае появится «завал» АЧХ на низких частотах.

Заземление устройства с входом заряда обязательно (рис. 19). Заземление на стороне источника, как правило, не требуется, хотя возможно.

Резервированное подключение устройств

Здесь рассматривается наиболее частый случай резервированного подключения АЦП при объединении их по аналоговым входам. Следует учитывать следующие вопросы.

Поддерживает ли АЦП режим резервирования? Если не поддерживает, то при отказе системы питания одного из двух АЦП, соединенных по входам параллельно, общий вход может быть зашунтирован отказавшим АЦП и резервирование не обеспечится. Например, в АЦП, поддерживающих резервное подключение, цепи питания входных узлов разных АЦП могут быть соединены по схеме диодной развязки или применены другие принципы, обеспечивающие независимость входов устройств, соединенных параллельно.

- В какой степени входы АЦП не будут влиять друг на друга? Этот вопрос актуален для АЦП с входной динамической коммутацией каналов (см. первую часть статьи).
- Как оптимально сделать соединения? Для ответа на этот вопрос можно руководствоваться принципами правильных соединений, изложенными в разделе «Заземление».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Не следует воспринимать эту статью как полный справочник «болезней» вашей измерительной системы. До справочника она явно не дотягивает. Если Вы с пониманием всё же дочитали эту статью, то наверняка увидели ту проблему, которую раньше не замечали или понимали неправильно. Значит, Вы знаете, с чем бороться. В этом и заключалась главная цель статьи. ●

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