

Принципы электросовместимости приборов

Александр ГАРМАНОВ, ведущий инженер ЗАО «Л-Кард»

Часть 3. Обзор способов повышения помехозащищенности

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. Причем, чем жестче 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 непроводимость 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 работающих на выход. Принципы и особенности гальваноразвязок входов объяснены во второй части статьи (АиП, 2008, №1). Следует учитывать, что 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, с какой стороны он гальваноразвязан.

Согласование кабеля

В электрически длинной линии отсутствуют отражения от ее концов, если эквивалентное сопротивление нагрузок на ее концах равно волновому сопротивлению длинной линии – теорети-

чески доказанный факт. Практически, если используется радиочастотный кабель для соединения 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 и 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 последовательного резистора на передающем конце источника напряжения, 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 приемном конце дополнительной низкоомной нагрузкой не всегда бывает приемлемо из-за возникновения большого тока нагрузки источника сигнала. В то же время, если такая нагрузка допустима, то согласование кабеля еще и на приемном конце даст очень большую помехоустойчивость, практически определяемую качеством кабеля и качеством согласования.

Заземление

Перед тем, как менять схему заземления системы, помните, что ваша карьера может неожиданно прерваться из-за несоблюдения 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 подключать или отключать земельный провод вашего прибора, нужно выдернуть сетевую вилку (~220 В) прибора из розетки!

Главная цель заземления состоит в привязке потенциала точки заземления устройства (как правило, это оп-

ределенная точка корпуса прибора) к потенциалу земли. Этой мерой, с одной стороны, достигается выполнение требования безопасности эксплуатации данного прибора, а с другой – обеспечивается выравнивание потенциалов точек заземления приборов в системе, что обеспечивает помехоустойчивость работы оборудования. То есть ответ на вопрос: «Заземлять или нет?» – будет почти всегда положительным. Почти всегда нужно заземлять – это означает, что если правильно заземлять, то это может улучшить помеховую ситуацию, а если неправильно, то лучше и не брать-ся за это неблагодарное занятие.

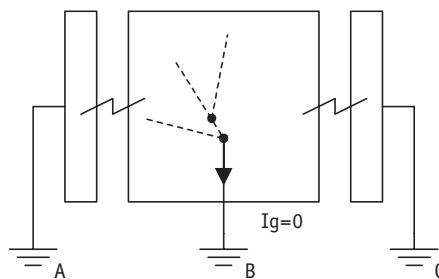


Рис. 1. Иллюстрация к правилу 1 заземления (гальваносвязанная часть системы)

Итак, резюмируем: главная цель заземления состоит в привязке потенциала точки заземления устройства, а не в том, чтобы отвлекать ток какой-нибудь цепи. Тем более, если ток вашей сигнальной цепи отвлекается в землю! Если вы обнаружили, что это так, значит, вы создали ни что иное, как систему регистрации собственных помех, которая сбивает, когда включается или выключается сторонний электроприбор.

Сформулируем и поясним на примерах основные правила заземления, которые достаточно сильно связаны между собой, поскольку непосредственно 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».

На рис. 1 показана гальваносвязанная часть системы, заземленная 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 разнесенных точек заземления А, В и С, а, следовательно, помехозащищены от земельных токов сторонних электроприборов.

Если I_g не равен нулю, то это означает, что либо вы не полностью отдаете себе отчет в том, где находятся границы вашей гальваносвязанной части системы (это более вероятно), либо хотя бы одна гальваноразвязка вашей системы подтекает, т.е. вышла из строя (это менее вероятно). Слова о низкочастотном токе говорят о том, что на высокой частоте импульсные гальваноразвязки из-за проходных емкостей подтекают, а следовательно, высокочастотный ток I_g вряд ли будет равен нулю.

Все сказанное вовсе не означает, что ток I_g необходимо обязательно измерять, – точное понимание расположения границ гальваносвязанной системы уже дает понимание, от каких земельных токов она защищена, а от каких нет.

Правило 2

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

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

Вы должны понимать, что такой вариант заземления 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 необходимо (см. примечание 1), то сделать это можно оптимально, соблюдая правило 2.

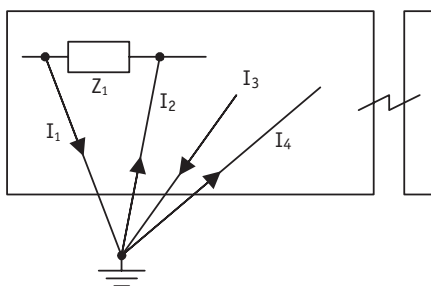


Рис. 2. Иллюстрация к правилу 2 заземления (одна точка заземления)

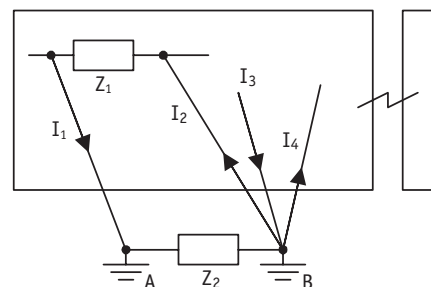


Рис. 3. Иллюстрация к правилу 2 заземления (несколько точек заземления)

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

На рисунках 2 и 3 показан участок общего провода сигнальной цепи, имеющий комплексное сопротивление Z_1 (импеданс общего провода локальной сигнальной цепи). 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 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 соотношение токов I_1 и I_2 , что изменит падение напряжения на Z_1 , а значит, привнесет помеху в рассматриваемую сигнальную цепь.

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

Примечание 1

Типичный случай: два прибора (осциллограф и генератор) имеют коаксиальные выход и вход с экраном (общим проводом), соединенным 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 отвечают 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

Производить гальваническую связь сигнальных цепей следует 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 независимые 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).

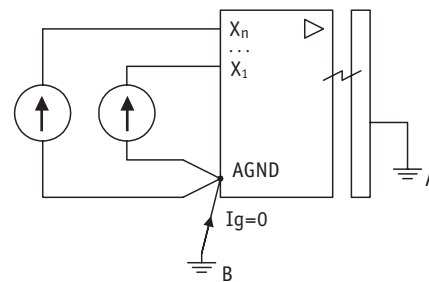


Рис. 4. Иллюстрация к правилу 3 заземления (правильное соединение гальваносвязанных цепей с заземлением)

Правило 4

Если две локальные системы имеют разные (удаленные) 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.

Заземлять или не заземлять гальваноразвязанные части системы?

Заземление гальваноразвязанных частей системы полезно и необходимо, пусть даже в далеких точках заземления. Дело в том, что если оставить гальваноразвязанную 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 сломаться, если заряд все-таки потихоньку стекает, например, из-за большой влажности воздуха. Следовательно, заземление гальваноразвязанных частей системы, даже в далеких точках заземления, необходимо тогда, 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 далекого заземления устройств, при котором обязательно необходимо наличие гальваноразвязки входа прибора.

В противном случае паразитный ток, втекающий в нулевой провод с «неведомого пути», вызовет неопределенное падение напряжения на общем проводе.

Заземлять нужно на стороне источника или на стороне приемника сигнала?

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

Ответ на вопрос этого подзаголовка в общем случае будет таким: главное, заземляйте так, чтобы максимально удовлетворить хотя бы каким-то правилам. Подразумевается, что в сложных случаях гальванической связи вы экспериментально должны добиваться улучшенной ситуации.

Экранирование

Если экран не является корпусом и общим проводом, то это 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 для полного счастья необходимо 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 емкостной связью. Итак, электростатический экран дает взаимную ёмкостную независимость разделяемых областей (для сравнения - электромагнитный экран даёт взаимную индуктивную независимость).

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

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

Если экран является общим проводом, то это соответствует типичному случаю подключения посредством одножильного коаксиального кабеля (если подключение однофазное), либо экранированной витой парой (если подключение дифференциальное). В этом случае правила его подключения,

в том числе и заземления, должны соответствовать правилам, относящимся к общему проводу в контексте типа источника сигнала и типа входа, и правилам их подключения, описанным 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 (это

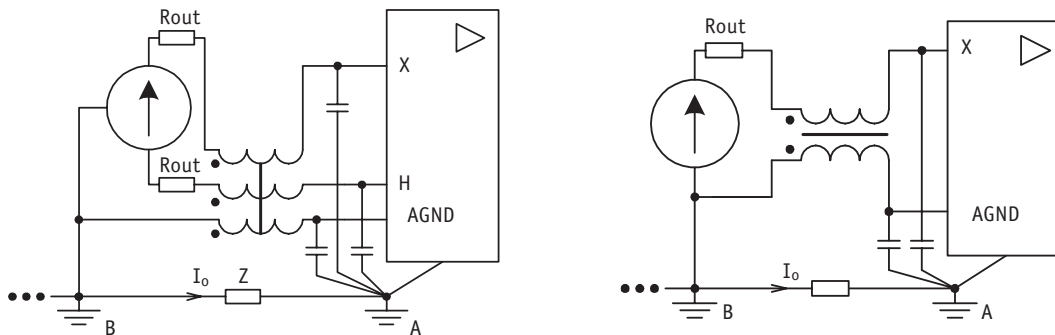


Рис. 5. Подключение синфазных фильтров

вариант часто применяется в высоко-частотной технике), то здесь фактор согласования кабеля (см. раздел «Согласование кабеля») дает настолько высокий уровень помехозащищенности 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, если не учитывать низкочастотную разность потенциалов, вызванную этими токами. Вместе с этим всегда актуален универсальный принцип заземления корпусов приборов в одной точке, который минимизирует корпусную разность потенциалов.

Уменьшение входного импеданса прибора

Токовый вход гораздо более помехоустойчив, чем вход напряжения. Это объясняется 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. Это 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 емкость прибора, уменьшающая сопротивление входа на высокой частоте. В частности, дополнительную входную емкость прибора создает экранированное подключение. Это дополнительное плюс экранированного подключения.

Следует учитывать, что слишком большая дополнительная входная емкость может заваливать АЧХ канала в области высоких частот, а в случае дифференциального входа с ДКК (см. АиП, 2008г., №1, 2 часть статьи), накапливать заряд коммутационной емкости, создавая дополнительную ошибку напряжения смещения.

От однофазного подключения к дифференциальному

Дифференциальное подключение – это одна из эффективных мер улучшения соотношения сигнал/помеха на входе прибора.

Фильтрация

Сужение частотной полосы пропускания в тракте передачи сигнала – это универсальный радиотехнический принцип повышения помехозащищенности. Различные известные типы фильтров могут быть применены не только в сигнальной (противофазной) цепи, но и в синфазной цепи.

В частности, синфазные ФНЧ наиболее эффективны для борьбы с высокочастотной (наносекундной) синфазной помехой с высокой скоростью нарастания (вызванной, например, процессами искрения и электростатических разрядов), способной вызвать сбой в аппаратуре. Примеры подключения синфазных фильтров приведены на рис. 5. ■

Новый офис компании ОВЕН: схема проезда



Адрес: г. Москва, 2-я ул. Энтузиастов, д. 5, корп. 5 (на территории завода «Компрессор»).

На метро: до станции м. Авиамоторная, 1-й выход налево из перехода, далее по схеме.

На электричке: с Казанского вокзала до платформы Новая, выход из первого вагона, перейти по мосту через ж/д налево в сторону магазина «Энтузиаст», далее по схеме.

На машине: по шоссе Энтузиастов, далее по схеме