

а

Поиск иголки в стоге сена: Измерение малого дифференциального сигнала при наличии большого синфазного напряжения

Скотт Вэйн

Введение

В таких областях, как управление двигателями, мониторинг тока источника питания, мониторинг напряжения батареи питания и др. небольшое дифференциальное напряжение приходится измерять при наличии большого синфазного сигнала. В некоторых случаях требуется гальваническая развязка, в некоторых – нет. Иногда сигнал передается в аналоговом виде, иногда – в цифровом. Таким образом, имеется четыре варианта, каждый из которых требует отдельного рассмотрения. Это:

- 1) гальваническая изоляция, аналоговый сигнал
- 2) гальваническая изоляция, цифровой сигнал
- 3) нет гальванической изоляции, аналоговый сигнал
- 4) нет гальванической изоляции, цифровой сигнал

Дифференциальный сигнал и синфазный сигнал

На рис. 1 показана схема входного каскада измерительной системы. Интересующий нас дифференциальный сигнал обозначен как V_{DIFF} . V_{CM} представляет собой *синфазное напряжение*, которое не содержит полезной для нас информации и на практике только снижает точность измерений. Синфазное напряжение может присутствовать на входе измерительной системы постоянно, например, в случае измерения напряжения батареи питания, или оно может появляться в особых случаях, когда датчик приходит в контакт с источником высокого напряжения. В любом случае это напряжение является помехой и задача измерительной системы – подавить этот сигнал и отреагировать на дифференциальный сигнал.

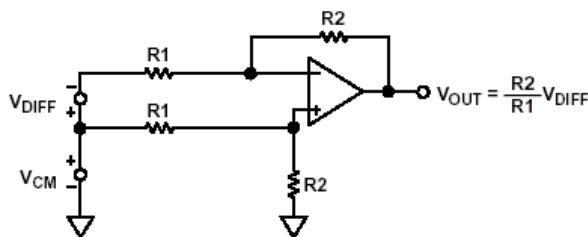


Рис. 1. Измерительная система, на входе которой присутствуют дифференциальный и синфазный сигналы.

Ослабление синфазного сигнала

Измерительная система имеет некоторый коэффициент передачи как для дифференциального сигнала, так и для синфазного сигнала. Коэффициент передачи дифференциального сигнала обычно больше либо равен единице, тогда как коэффициент передачи синфазного сигнала в идеале равен нулю. Разброс величин сопротивлений резисторов приводит к тому, что усиление сигнала постоянного тока слегка различается по инвертирующему и неинвертирующему входам. Это, в свою очередь, приводит к тому, что коэффициент усиления синфазного сигнала становится отличным от нуля. Если коэффициент усиления дифференциального сигнала равен $G = R_2/R_1$, то усиление синфазного сигнала будет составлять $\%разброса/100 \times G/(G+1)$. Коэффициент ослабления синфазного сигнала (КОСС) представляет собой коэффициент усиления дифференциального сигнала деленный на коэффициент усиления синфазного сигнала, или $\%разброса/100 \times (G+1)$. Логарифмический эквивалент данной величины (КОСС в dB): $20 \cdot \log_{10}[\%разброса/100 \times (G+1)]$.

В реальных устройствах в изобилии имеются источники внешних помех. Влияние могут оказывать сеть переменного тока (помехи с частотой 50/60 Гц, или гармоники этой частоты), включение/выключение оборудования, устройства, излучающие в радиочастотном диапазоне. Все эти помехи воздействуют в одинаковой степени на оба входа усилителя, и поэтому представляют собой синфазный сигнал. Таким образом, помимо высокого значения КОСС на постоянном токе, от операционного усилителя требуется обладать высоким КОСС на переменном токе, особенно на частоте сети и ее гармониках. КОСС на постоянном токе определяется в основном точностью резисторов. Напротив, на переменном токе КОСС определяется различиями в сдвиге фаз или временной задержке между инвертирующим и неинвертирующим входами. Этот параметр можно улучшить при использовании быстродействующих компонентов с хорошо совпадающими характеристиками, и эти характеристики можно подстроить с помощью конденсатора. При работе с низкочастотным сигналом можно применить фильтрацию выходного сигнала, если необходимо. Так как на постоянном токе КОСС может быть отрегулирован путем калибровки и подстройки, основное значение имеет КОСС на переменном токе, из-за которого точность измерений может значительно уменьшиться. У всех инструментальных усилителей фирмы Analog Devices КОСС нормируется и на постоянном, и на переменном токе.

Гальваническая изоляция

Иногда требуется полная электрическая изоляция между датчиком и остальной частью

а

измерительного устройства. В некоторых случаях эта гальваническая развязка нужна для того, чтобы защитить датчик, иногда – для защиты измерительной системы, иногда – одновременно для того и другого. Электроника измерительной системы может нуждаться в защите от высокого напряжения на датчике. Или в случаях, когда требуется повышенная безопасность, необходимо обеспечить гальваническую развязку для предотвращения возникновения электрической искры в аварийном режиме и воспламенения горючих газов. В медицине, например, при снятии сигнала электрокардиограммы (ЭКГ), защита требуется в обоих направлениях. Пациент должен быть защищен от удара электрическим током в случае какой-либо неисправности. Если же у пациента происходит остановка сердцебиения, аппарат ЭКГ должен быть защищен от высоковольтных разрядов дефибриллятора, которым подвергает пациента реанимационная бригада с целью восстановить сердечный ритм.

Гальваническая изоляция также используется для того, чтобы разорвать петлю заземления, когда даже минимальное сопротивление между двумя системами заземления может привести к появлению неприемлемого по величине сигнала помехи. Такое может быть в прецизионной измерительной системе, где ток величиной в несколько миллиампер, протекающий через цепь заземления с сопротивлением в несколько тысячных долей ома может вызвать разность потенциалов в цепи заземления в несколько сотен микровольт, что приведет к снижению точности измерений. Также такое может произойти в промышленных установках, где ток в тысячи ампер может вызвать напряжение на заземлении в сотни вольт и вывести из строя аппаратуру.

Гальваническая изоляция может быть реализована за счет магнитного поля (на трансформаторе), электрического поля (с помощью конденсатора) или света (с помощью оптической развязки). Каждый метод имеет свои преимущества и недостатки. Но для всех типов развязки обычно требуется изолированный источник или батарея для питания изолированной части прибора. Это питание нетрудно обеспечить совместно с передачей сигнала в тех изолирующих усилителях, где используется трансформаторная изоляция. Если используются другие методы развязки, то может потребоваться отдельный преобразователь с гальванической развязкой на трансформаторе (DC-DC), что приведет к увеличению стоимости прибора.

Высокоимпедансная схема и гальваническая изоляция

В многих случаях необходимо иметь возможность измерять небольшой дифференциальный сигнал в присутствии высокого синфазного напряжения, но не требуется специально обеспечивать безопасность или разрывать петлю заземления как

это делается при гальванической развязке. В таких случаях необходим усилитель с высоким КОСС, который может выдержать большое синфазное напряжение. Этот тип усилителя, иногда называемый "изолирующим усилителем для бедных", изолирует датчик от системы посредством высокого входного импеданса в отличие от реального гальванического изолирующего барьера. Хотя изоляция в настоящем виде отсутствует, такой усилитель может применяться в некоторых из тех случаев, где требуется изолирующий усилитель, но при этом его цена гораздо ниже.

На рис. 2 показана ИС AD629, дифференциальный усилитель с высоким допустимым входным синфазным напряжением, который был разработан для подобных применений. Схема выглядит довольно несложно. Это "всего лишь" операционный усилитель и пять резисторов. Сможет ли инженер "смастерить" такую схему самостоятельно? Да, но резисторы нужно будет подобрать с точностью не хуже 0.01% и их температурный коэффициент должен не превышать $3 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. Самонагрев резисторов может ухудшить показатель КОСС на постоянном токе, а паразитные емкости сказываются на КОСС на переменном токе. Производительность, размеры и цена – все это будет хуже, так что разумнее получить все это в виде 8-выводной микросхемы в корпусе DIP или SOIC.

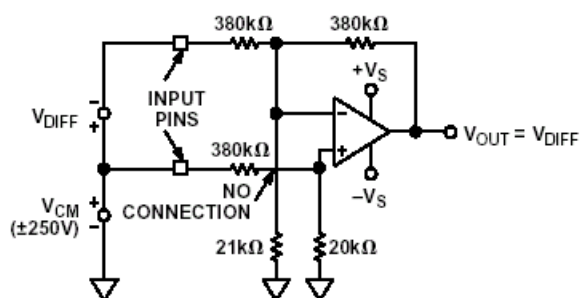


Рис. 2. AD629 – дифференциальный усилитель с высоким допустимым входным синфазным напряжением

В тех случаях, когда в промышленных условиях нужно обеспечить простую управляющую петлю с аналоговыми входами и выходами и требуется гальваническая развязка, можно использовать усилители AD202/204. Они представляют собой полноценные изолирующие усилители с гальванической развязкой между входной и выходной частями схемы. Трансформаторная развязка означает, что обеспечивается также изолированное питание входного каскада, что избавляет от необходимости использовать внешний DC-DC конвертер. В составе ИС AD202/204 имеется вспомогательный операционный усилитель для усиления входного сигнала; AD202/204 обладает КОСС 130 dB при коэффициенте усиления 100 и обеспечивает изоляцию при напряжении до 2000 В (пиковое

а

значение). На рис. 3 показана схема* включения ИС AD202 при измерении сигнала величиной до ± 5 В при наличии синфазного напряжения величиной до 2000 В. Для тех устройств, где кроме изоляции требуется также возбуждение мостовой схемы, компенсация холодного спая, линеаризация и другие функции обработки сигнала, существуют устройства преобразования сигналов с гальванической развязкой типа 3В, 5В, 6В и 7В.

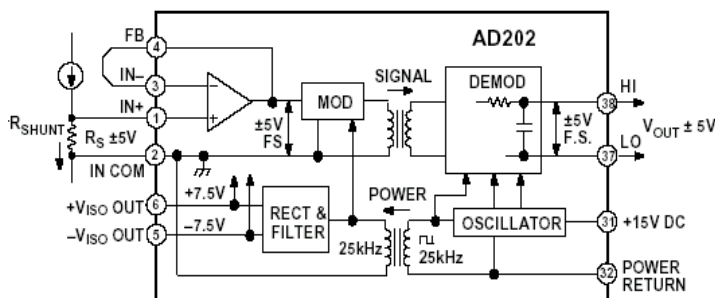


Рис. 3. ИС AD202/204 в устройстве, где требуется гальваническая развязка и аналоговый выход.

Для некоторых промышленных измерительных устройств требуется гальваническая развязка в сочетании с интеллектуальным цифровым интерфейсом. Цифровая изоляция, в отличие от аналоговой, может оказаться более эффективной по цене, но для нее требуется внешний DC-DC конвертер. Пример такого рода схемы – система управления электродвигателем, где аварийная работа двигателя может привести к выходу из строя электроники. В данном случае можно использовать синхронный преобразователь напряжение-частота типа AD7742 в сочетании с оптопарой и с преобразователем DC-DC, как показано на рис. 4. Удаленно расположенный преобразователь AD7742 может быть подключен к микропроцессору или микроконтроллеру для последующего преобразования сигнала в цифровой код.

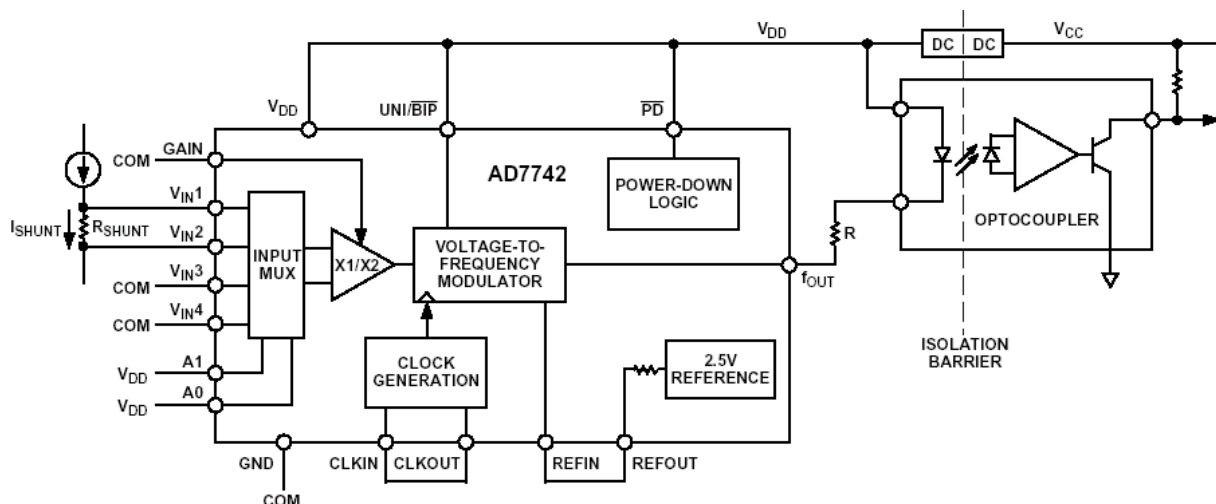


Рис. 4. ИС AD7742 в устройстве, где требуется гальваническая развязка и цифровой выход

* Данные схемы носят иллюстративный характер; они не разрабатывались детально и не тестировались. Для получения более подробной информации пожалуйста обращайтесь к техническому описанию микросхемы. Кроме того, для того, чтобы получить дополнительную полезную информацию, Вы можете обратиться к опубликованным материалам семинаров и руководствам по разработке, доступным на сайте ADI. Будьте крайне осмотрительны при работе с высоковольтными схемами.

Для самостоятельного применения может быть рекомендован прибор типа AD7715, включающий в себя 16-разрядный аналого-цифровой преобразователь и последовательный цифровой интерфейс, но для интерфейса с ним требуется пять изолирующих цифровых каналов, в отличие от вышеописанного преобразователя напряжение-частота, где нужен был только один цифровой изолирующий канал. Однако вместо пяти оптопар и одного DC-DC преобразователя можно использовать пятиканальное высокоскоростное устройство цифровой изоляции AD260, в котором имеется встроенный трансформатор для организации питания изолированной части схемы. На рис. 5 показано включение ИС AD7715 и цифровое изолирующее устройство AD260.

a

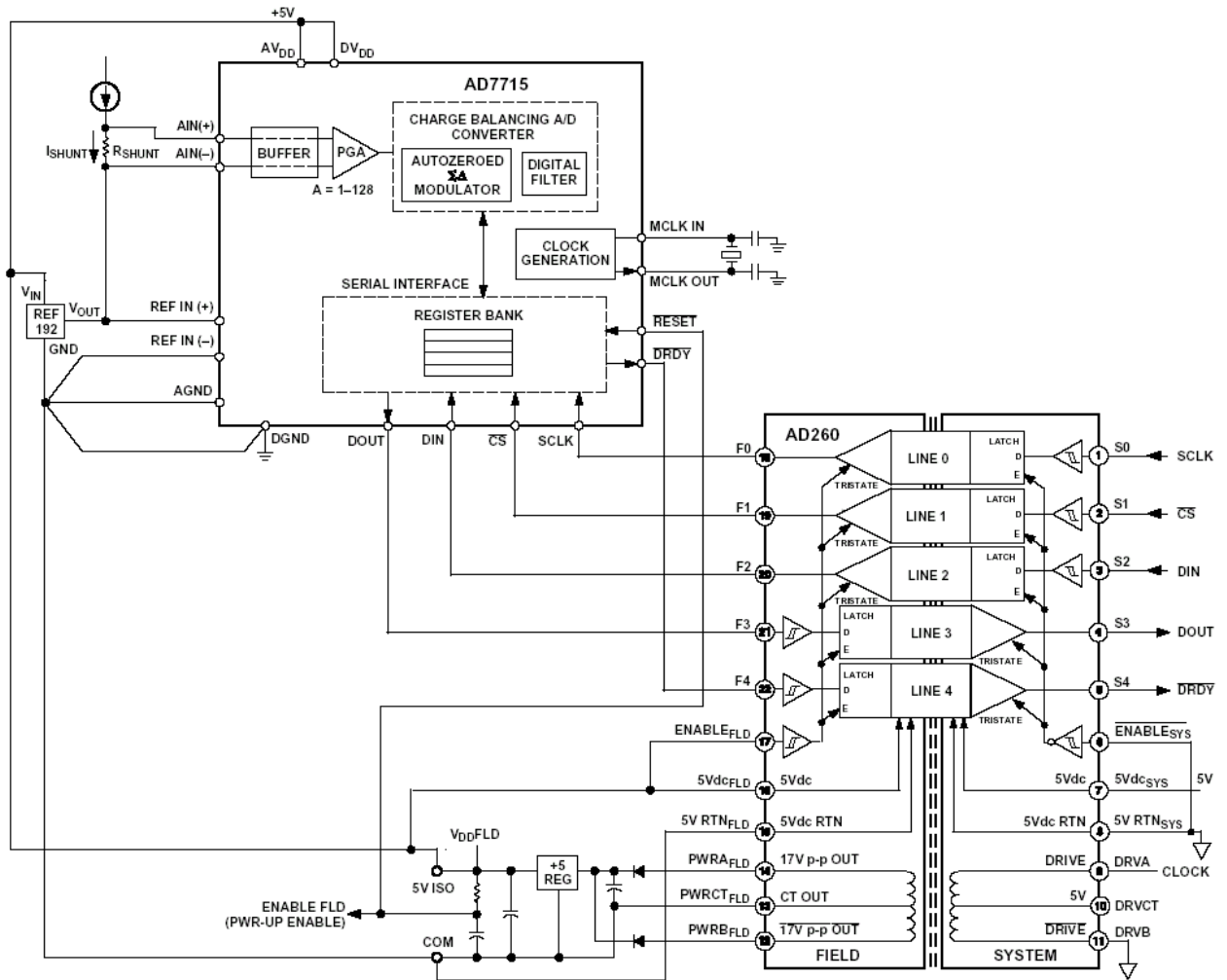


Рис. 5. ИС AD7715 и AD260 в устройстве, где требуется гальваническая развязка и цифровой выход

Там, где гальваническая изоляция не требуется, ситуация упрощается. Пример подобного устройства – мониторинг напряжения элемента батареи питания. Микросхема AD629 используется как для измерения напряжения на отдельном элементе, так и для подавления синфазного напряжения, которое дает цепь последовательно соединенных элементов. Преобразователь DC-DC не требуется, так как высокий импеданс резисторов защищает входы операционного усилителя, даже если напряжение питания ОУ ниже, чем синфазное напряжение на входе. На рис. 6 показано включение ИС AD629 для измерения напряжения 1.2-вольтового элемента 120-вольтовой батареи.

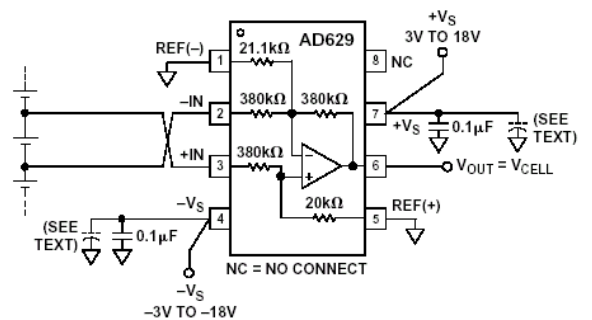


Рис. 6. ИС AD629 в аналоговом устройстве, где не требуется гальваническая развязка

а

Наконец, существуют схемы, где не требуется гальваническая развязка, но применен цифровой интерфейс. Пример такого устройства – монитор тока источника питания в блоке питания с микропроцессорным управлением. Здесь ИС AD629 используется совместно с 12-разрядным аналого-цифровым преобразователем AD7887.

Микросхема AD629 обеспечивает формирование сигнала и подавление синфазной помехи, а ИС AD7887 преобразует сигнал в цифровую форму и обеспечивает интерфейс. Опять таки DC-DC преобразователь не требуется, так как ИС AD629 обладает высоким входным сопротивлением и высоким КОСС. На рис. 7 показано включение микросхем AD629 и AD7887 в устройстве мониторинга тока источника питания.

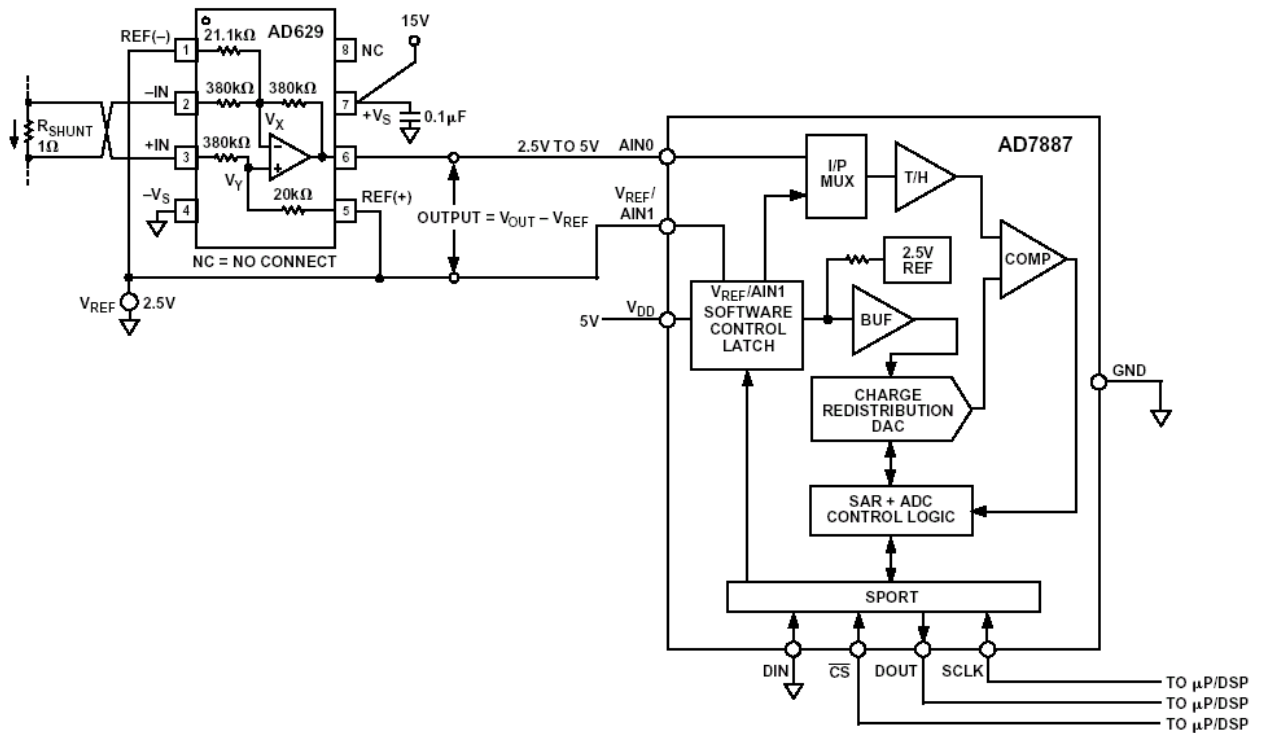


Рис. 7. ИС AD629 и AD7887 в устройстве с последовательным цифровым интерфейсом, где не требуется гальваническая развязка