

Дэвид КРАКАУЭР
(Devid KRAKAUER)

Гальванически развязанный USB В МЕДИЦИНСКИХ СИСТЕМАХ

Введение

Повсеместное внедрение персональных компьютеров привело к изменениям представлений об архитектуре медицинских систем. Теперь в основе типичной системы — компьютер, на котором находится специализированное программное обеспечение и к которому подключены специализированные устройства. Такой подход способствует сокращению времени на разработку системы, так как многие ее компоненты поставляются как компьютерные и доступны по низким ценам. Кроме того, к такой системе легко подключаются другие системы (например, портативный компьютер для сервисного обслуживания) и периферия (принтер, клавиатура, мышь). Однако такое подключение часто осложняется из-за отсутствия простоя, недорогой гальванической развязки стандартных компьютерных интерфейсов.

Интерфейс RS-232 изолировать довольно легко, но он встречается все реже и реже, уступая место USB как более гибкому и высокоскоростному интерфейсу, для которого сейчас существует огромный выбор периферии. Однако в отличие от RS-232, гальванически развязать интерфейс USB гораздо труднее, потому что он дифференциальный и двунаправленный. До недавнего времени схемы изоляции USB предполагали использование контроллеров USB, изоляторов-оптопар и других компонентов; это повышало себестоимость системы и увеличивало время разработки. Новый прибор, ADuM4160 от фирмы Analog Devices, включает в себя все необходимые функциональные узлы для гальванической развязки интерфейса USB в медицинских приборах, не требует дополнительных компонентов; он может быть внедрен непосредственно в сигнальную цепь интерфейса USB без модификации программного обеспечения компьютера или периферийного устройства.

Интерфейсы с гальванической развязкой: обзор вопроса и терминология

В медицинских системах гальваническая развязка используется для защиты оператора, пациента, самой медицинской системы или для отделения «шумящей» части системы от другой, чувствительной к шумам. Устройства гальванической развязки, применяемые для безопасности, регулируются

стандартами, такими как UL и IEC. Например, стандарт IEC 60601 описывает требования безопасности для медицинских систем, а IEC 60950 — оборудование, применяемое в информационных технологиях.

В описаниях стандартов безопасности применяются некоторые термины, относящиеся к качеству изоляции медицинских систем:

- **Напряжение изоляции** — это переменное напряжение, которое устройство гальванической развязки может выдерживать в течение 1 минуты. Типичная величина — 2,5 кВ (среднеквадратичное значение) в течение 1 минуты, но к медицинским устройствам обычно требования выше, они должны выдерживать 5 кВ в течение 1 минуты.
- **Рабочее напряжение изоляции** — это напряжение, которое постоянно может быть приложено к изоляционному барьеру. В отличие от предыдущего параметра — напряжения изоляции — здесь время воздействия не ограничено. Типичная величина рабочего напряжения изоляции — около 400 В (с.к.).
- **Двойная изоляция** — этот термин применяется, когда в устройстве есть две независимые системы изоляции. Сегодня большинство стандартов рассматривают одинарную изоляцию, но по надежности эквивалентную двойной изоляции, как двойную изоляцию. Этот термин широко используется в стандартах UL.
- **Усиленная изоляция** — то же самое, что двойная изоляция; этот термин широко применяется в стандартах IEC, например в IEC 60601-1. Для медицинских систем часто необходима усиленная изоляция. В системах с более низкими требованиями может применяться одинарная или функциональная изоляция.

- Еще два важных параметра — это расстояние по поверхности корпуса между двумя ближайшими проводниками по разные стороны изолирующего барьера и кратчайшее расстояние по воздуху между двумя ближайшими проводниками. Требуемое расстояние по поверхности и по воздуху для конкретной конструкции зависит от разных факторов — требований стандарта, типа изоляции, рабочего напряжения изоляции и т. д.

В медицинских системах для безопасности пациента обычно нужна усиленная изоляция, при рабочем напряжении 125 или 250 В и расстоянии по поверхности и по воздуху — не менее 8 мм.

Уровень изоляции определяется тем, как скомпонована система. На рис. 1 показана блок-схема некоей гипотетической медицинской системы с различными интерфейсами. На схеме можно видеть, где и как применяется гальваническая развязка. Пациент должен быть изолирован от основной системы, так что изоляция применена в точках В, С и D. Во многих случаях точка D отсутствует, потому что датчик или другое устройство подключено непосредственно к пациенту. В других случаях, например в ультразвуковых сканнерах, изоляцией в точке D является пластиковый кожух головки датчика. В точке С информация находится все еще в аналоговом виде, и обеспечивать здесь гальваническую изоляцию с одновременным обеспечением высокой точности — очень дорого. Таким образом, изоляцию лучше всего обеспечивать в точке В. При этом оператор и периферия остаются незащищенными, так что изоляция может быть применена и со стороны оператора/периферии.

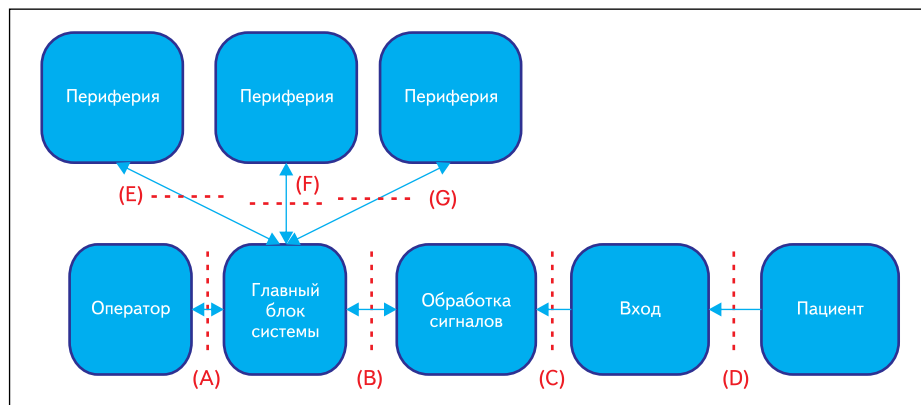


Рис. 1. Блок-схема типичной медицинской системы с возможными точками гальванической развязки

Медицинские стандарты безопасности решают применение двух типов изоляции: средства защиты пациента (СЗП) и средства защиты оператора (СЗО). СЗП регулируются стандартом IEC 60601, тогда как СЗО регулируется менее строгими стандартами, такими как IEC 60950. В приведенном примере система может быть сконструирована так, что для интерфейса в точке В потребуется сертификация IEC 60601, тогда как для точек А, Е, F и G может оказаться достаточно стандарта IEC 60950.

Некоторые медицинские системы обеспечивают высочайший уровень безопасности за счет высококачественной (в соответствии с IEC 60601) изоляции во всех интерфейсах, так как пациент может оказаться в контакте с периферийными устройствами. К тому же часть системы, подключенная к пациенту, может быть рассмотрена как периферия и подключена к любому порту: Е, F или G. Стандарт IEC 60601 также предусматривает защиту от высоковольтных дефибрилляторов. Если интерфейс не соответствует стандарту IEC 60601, то все устройства, подключенные к пациенту через этот интерфейс, должны отключаться на время дефибрилляции. Здесь время крайне дорого.

Области применения USB

Внутрисистемные интерфейсы, такие как А, В и С на рис. 1, это обычно UART, SPI или I²C. Их выбор обусловлен преимуществами низкой цены, производительности и размеров. Для внешних же интерфейсов разработчики предпочитают такие качества, как универсальность и совместимость. Раньше для подобных случаев применялся RS-232, но сейчас этот интерфейс встречается все реже и реже, особенно на переносных компьютерах, и количество внешних устройств под этот интерфейс тоже сильно уменьшилось.

USB же, напротив, становится все более популярным, и для него имеется огромное количество разнообразной периферии. Кроме того, возможность подключения «на ходу» (Plug-and-Play) — существенное преимущество интерфейса USB.

В медицинском оборудовании USB может использоваться не только оператором, но и самим пациентом. Например, пациент может использовать медицинский прибор дома, а затем загрузить данные на карту памяти USB, чтобы принести врачу для определения диагно-

за. Через USB к основной системе также могут подключаться датчики или другие измерительные приборы. Одно из преимуществ USB — в том, что к одной шине может быть подключено до 127 устройств, так что даже если доступен только один USB-порт, к нему может быть подключено много периферийных приборов. Порт RS-232, например, позволяет подключить к нему только одно устройство.

Изоляция USB

Итак, USB имеет несколько существенных преимуществ по сравнению с RS-232:

- Подключение до 127 устройств к одной шине.
- Автоматическое определение и активация оборудования (Plug-and-Play).
- Подключение «на ходу».
- Высокая скорость передачи данных (1,5; 12; 480 Мбит/с).
- Совместимость с промышленными стандартами.
- Широкое распространение на персональных и портативных компьютерах.

Несмотря на эти преимущества, внедрение USB в медицинских системах было не таким быстрым, как в других областях применения компьютеров, потому что особенность этого сегмента — в обязательном наличии изоляции. Хотя USB имеет много преимуществ по сравнению с RS-232, но изолировать его оказывается гораздо сложнее.

USB трудно гальванически развязать, потому что он дифференциальный, двунаправленный и требует конфигурирования (с помощью «подтягивающих» резисторов) для определения скорости шины. Двунаправленность сама по себе представляет собой большую проблему, так как необходимы какие-то средства определения направления передачи данных; в изолированном интерфейсе USB эта информация должна передаваться через изолирующий барьер. Направление потока данных здесь определяется структурой данных, а не управляющими сигналами.

Интерфейс USB включает в себя 4 линии: VDD; D+; D-; VSS.

VDD — это питание +5 В, VSS — это «земля», D+ и D- представляют собой дифференциальные линии. Еще более усложняет проблему то, что D+ и D- могут использоваться и в однополярном режиме и применяются для определения состояния шины. «Подтягивающие»

к питанию или к «земле» резисторы на периферийной стороне интерфейса устанавливают его скорость или состояние ожидания. Согласно стандарту данные могут передаваться на одной из трех скоростей:

- 1,5 Мбит/с (Low Speed — низкая скорость);
- 12 Мбит/с (Full Speed — полная скорость);
- 480 Мбит/с (High Speed — высокая скорость).

Стандарт USB 2.0 поддерживает все три скорости, тогда как USB 1.1 — только скорости 1,5 и 12 Мбит/с. Важно отметить, что устройство может быть совместимо с USB 2.0, но не поддерживать скорость 480 Мбит/с.

Так как обычные оптопары являются по своей природе однонаправленными, то при использовании их в интерфейсе USB сигналы USB должны быть преобразованы в однонаправленные, как показано на рис. 2а. Здесь линии D+/D- преобразуются в однополярный, однонаправленный сигнал интерфейса SPI. Эти сигналы гальванически развязываются, а затем преобразуются обратно в сигнал USB с помощью контроллера USB (USB SIE). Как видите, такой подход подразумевает наличие многих компонентов и увеличивает количество сигнальных линий. Это решение дорогое, занимает много места на плате, требует дополнительного времени для разработки программного обеспечения. Сложность этого устройства и является причиной того, что в промышленности, медицине и измерениях интерфейсы USB внедрялись не так быстро.

ADuM4160 — устройство для гальванической развязки USB

Простой, недорогой и эффективный способ обеспечить гальваническую развязку USB — это применить специализированный изолятор USB, который может быть внедрен непосредственно в линии D+/D- интерфейса USB. ADuM4160 — это первый такой прибор, обеспечивающий усиленную изоляцию на напряжение до 5 кВ с поддержкой низкой (Low) и полной (Full) скоростей.

ADuM4160 обеспечивает показанную на рис. 2б функциональность и представляет собой одночиповую микросхему, созданную с помощью технологии iCoupler фирмы Analog Devices. Это наиболее простое устройство, где в шину USB вставлен специализированный прибор — изолятор USB ADuM4160, и при этом не требуются дополнительные компоненты (не считая пассивных). ADuM4160 может сэкономить до 75% площади занимаемой блоком гальванической развязки на печатной плате, по сравнению с альтернативными решениями. В отличие от оптопар, традиционных устройств, в которых для передачи сигнала через изолирующий барьер используются светодиоды и фототранзисторы, технология iCoupler позволяет передать сигнал с помощью микроскопиче-

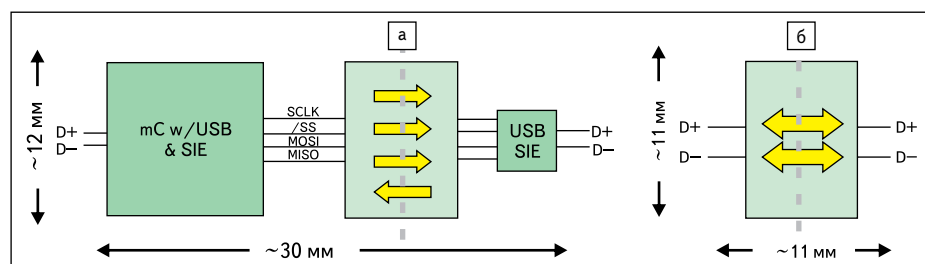


Рис. 2. Варианты изоляции интерфейса USB: а) ADuM1401; б) ADuM4160

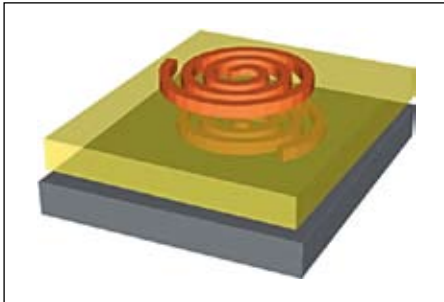


Рис. 3. Устройство трансформатора iCoupler

ских плоских трансформаторов, в которых катушки разделены пленкой полиимиды толщиной 20 мкм. Эта пленка может выдерживать напряжение до 6 кВ. Данные передаются с помощью электрических импульсов. На рис. 3 показана структура трансформатора, а на рис. 4 — как фронты сигнала кодируются с помощью одинарных или сдвоенных импульсов длительностью 1 нс. Эти импульсы обрабатываются на приемной стороне для восстановления сигналов.

Восходящий и падающий фронты кодируются соответственно сдвоенными и одинарными импульсами (рис. 4). На приемной стороне импульсы декодируются с целью восстановления данных. Схема «обновления» повторно передает данные каждую микросекунду, даже если сигнал не меняется, для корректной передачи постоянных сигналов.

Приборы iCoupler имеют массу преимуществ по сравнению с оптопарами. Использование трансформаторов позволяет передавать данные в любом направлении через изоляционный барьер. Хотя в ADuM4160 для передачи и приема сигналов используются отдельные трансформаторы, все трансформаторы одинаковы и находятся в одном корпусе. Это невозможно сделать в случае применения оптопар; аналогичное решение потребовало бы отдельных корпусов для каждого направления передачи.

Кроме того, трансформаторы более быстро действуют, чем пара светодиод/фототранзистор. Это позволяет приборам iCoupler поддерживать более высокие скорости передачи и обеспечивать меньшую задержку, что важно для интерфейса USB. Изоляторы iCoupler

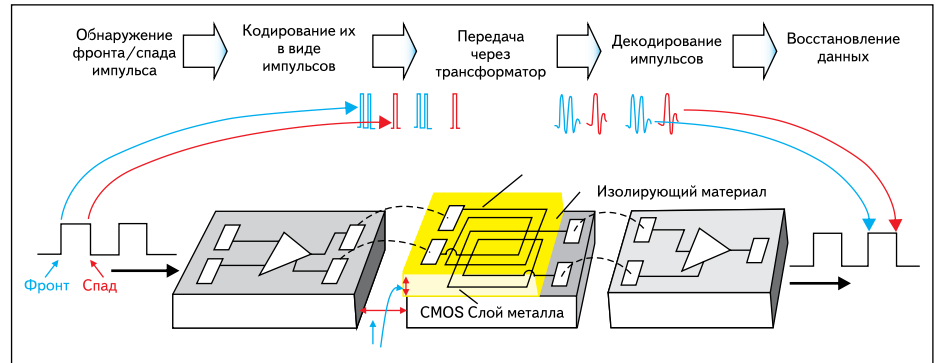


Рис. 4. Технология передачи данных через изолирующий барьер в приборах iCoupler

потребляют меньше энергии, и это дает возможность приборам соответствовать требованиям по энергопотреблению USB в состоянии ожидания.

Но, пожалуй, самое существенное преимущество технологии iCoupler состоит в том, что они позволяют интегрировать дополнительные функциональные узлы в микросхему, как это сделано в приборах ADuM4160. Выше уже говорилось о том, что ADuM4160 позволяет на 75% уменьшить место, занимаемое на плате, по сравнению с альтернативным решением на контроллерах USB, микроконтроллере и оптопарах.

Преимущества гальванически развязанного интерфейса USB

С наличием недорогой, компактной и простой в реализации схемы гальванической развязки при разработке медицинских приборов можно воспользоваться всеми преимуществами, которые дает интерфейс USB. В промышленных системах отсутствие гальванической развязки интерфейса USB приводило к тому, что USB использовался для временных подключений; оператор подключал USB-интерфейс, только когда подключаемое оборудование отключено от остальной системы. Гальванически развязанный USB позволяет обеспечить постоянное подключение даже во время работы системы, что, например, дает возможность техническому персоналу проводить диагностику без приводящего к убыткам отключения системы.

В медицинских приборах изолированные порты USB в домашних системах наблюдения пациента (мониторах) позволяют обеспечить дистанционное наблюдение больного врачом в реальное время и таким образом повысить качество лечения. С помощью изолированного интерфейса USB пациент может быть подключен к персональному компьютеру, который передает данные в больницу через Интернет.

Имея сертификацию в соответствии со стандартом IEC 60601, медицинские устройства с изолированным интерфейсом USB могут оставаться подключенными даже во время дефибрилляции.

Заключение

Расширяющаяся популярность интерфейса USB привела к повышению спроса на этот интерфейс со стороны инженеров, которые хотят использовать преимущества интерфейса USB в медицинских системах. Гальванически изолировать интерфейс USB было сложно и дорого. Было невозможно также сделать это достаточно компактно, хотя производительность и простота использования USB привлекала разработчиков. К счастью, для решения этой проблемы разработан новый класс специализированных приборов. Изолятор ADuM4160, созданный на основе технологии iCoupler, позволяет легко и просто изолировать интерфейс USB с его дифференциальными, двунаправленными сигнальными линиями. ■