

Анатомия цифрового изолятора

Дэвид КРАКАУЭР (David KRAKAUER)
Перевод: Александр СОТНИКОВ

С точки зрения габаритов, быстродействия, потребляемой мощности, простоты применения и надежности цифровые изоляторы обладают существенными преимуществами перед оптопарами.

На протяжении многих лет разработчики промышленных, медицинских и иных систем, в которых требуется гальваническая развязка, были ограничены в выборе компонентов для реализации защитной изоляции: единственным разумным выбором были оптопары. Но сегодня у них появился альтернативный вариант — цифровые изоляторы, имеющие преимущества в технических характеристиках, габаритах, стоимости, энергоэффективности и степени интеграции. Для выбора подходящего цифрового изолятора важно понимание внутреннего устройства и взаимосвязи между тремя ключевыми элементами: изоляционным материалом, структурой изолятора и методом передачи данных.

Разработчики закладывают в проекты гальваническую развязку для удовлетворения требований регламентирующих документов в области безопасности, для уменьшения шума, вызванного петлями в цепи заземления, или в иных целях. Гальваническая развязка обеспечивает передачу данных без электрического соединения или возникновения путей утечки, которые способны вызвать поражение электротокком. В то же время добавление развязки накладывает свои ограничения, связанные с задержкой передачи данных, дополнительной потребляемой мощностью, увеличением стоимости и габаритов. Таким образом, цифровой изолятор должен обеспечивать удовлетворение требований к безопасности с минимальными ограничениями.

Оптопары, которые являются традиционными изоляторами, имеют самые жесткие определенные рамки, потребляя значительную мощность и ограничивая скорость передачи данных значениями менее 1 Мбит/с. Оптопары, обладающие меньшим энергопотреблением и большим быстродействием, доступны, однако они существенно дороже.

Цифровые изоляторы были предложены более 10 лет назад как средство преодоления недостатков оптопар. В них применяются схемы на базе КМОП-транзисторов и достигается значительное уменьшение стоимости и потребляемой мощности при существенном увеличении скорости пере-

дачи. Характеристики цифровых изоляторов определяются уже упомянутыми тремя ключевыми элементами. Изолирующий материал определяет внутренние возможности гальванической развязки и должен учитывать требования стандартов безопасности. Выбор структуры и метода передачи данных осуществляется исходя из задачи минимизации ограничений. Все три элемента взаимосвязаны, и их комбинация определяет баланс характеристик проекта. При этом единственная характеристика, которой нельзя жертвовать, — соответствие регламентам безопасности.

Изоляционный материал

При изготовлении цифровых изоляторов используются стандартные технологии производства полупроводниковых КМОП-схем и типичные для таких технологий материалы. Применение нестандартных материалов усложняет производство, приводя к снижению его технологичности и увеличению стоимости. Типичными изолирующими материалами являются полимеры, например полиимид (PI), который можно наносить в виде тонкопленочного покрытия, и диоксид кремния (SiO_2). Оба материала обладают хорошими изоляционными свойствами и применяются в стандартных производствах полупроводниковых компонентов на протяжении многих лет. Полимеры стали

базовым материалом многих оптопар и давно используются для изоляции высоких напряжений.

В стандартах безопасности обычно указаны требования к номинальному выдерживаемому в течение 1 мин напряжению (типичные значения от 2,5 до 5 кВ с.к.з.) и рабочему напряжению (типичные значения от 125 до 400 В с.к.з.). В некоторых стандартах также предъявляются требования для сертификации «усиленной» развязки, которые характеризуются более высокими выдерживаемыми напряжениями при меньшей длительности (например, пиковое напряжение 10 кВ в течение 50 мкс) в рамках. Как следует из таблицы, наилучшими свойствами развязки обладают изоляторы на базе полимеров/полиимида.

Цифровые изоляторы на основе полиимида обладают близкими к оптопарам изоля-

Таблица. Свойства изоляторов различного типа

	Оптопары на основе полимеров	Цифровой изолятор на основе полиимида	Цифровой изолятор на основе SiO_2
Выдерживаемое напряжение (1 мин)	7,5 кВ с.к.з.	5 кВ с.к.з.	5 кВ с.к.з.
Срок службы при рабочем напряжении 400 В с.к.з.	25 лет	50 лет	25 лет
Допустимый уровень бросков (усиленная развязка)	20 кВ	12 кВ	7 кВ
Расстояние между приемной и передающей стороной (толщина изоляции)	400 мкм	от 14 до 26 мкм	от 7 до 15 мкм

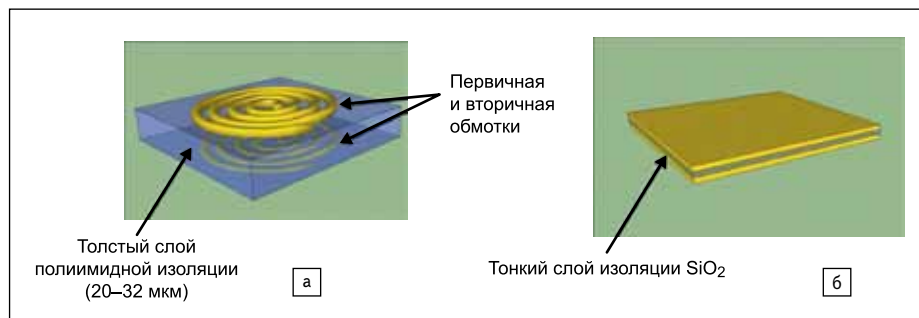


Рис. 1. а) Трансформатор с толстым слоем полиимидной изоляции, в котором импульсы тока в первичной обмотке порождают магнитные поля для наведения тока во вторичной обмотке; б) конденсатор с тонкопленочной изоляцией SiO_2 , в котором для передачи сигнала через изоляционный барьер используется электрическое поле, порождаемое слабыми токами

ционными свойствами, но имеют больший срок службы при типичных рабочих напряжениях. Изоляторы на основе SiO_2 обеспечивают сравнительно слабую защиту от бросков напряжения, что не позволяет применять их в медицинских приборах и ряде других задач.

Разные типы пленочного покрытия также обладают разным собственным механическим напряжением. Полиимид имеет меньшее собственное механическое напряжение по сравнению с SiO_2 , что выражается в большей допустимой толщине слоя изоляции. Допустимая толщина слоя SiO_2 , а следовательно, и обеспечиваемые им возможности изоляции ограничены; механические напряжения при толщине более 15 мкм могут привести к трещинам в пластине при ее обработке или расслоению в процессе использования. Толщина слоя цифровых изоляторов на основе полиимида может достигать 26 мкм.

Структура изолятора

В отличие от оптопар, в которых для передачи данных через изоляционный барьер используется свет, генерируемый светодиодами, в цифровых изоляторах применяются трансформаторы или конденсаторы, обеспечивающие магнитную или емкостную связь.

При использовании трансформаторов, как показано на рис. 1, через одну обмотку пропускают импульсы тока для создания небольшого локализованного магнитного поля, которое наводит ток в другой обмотке. Импульсы тока имеют короткую длительность, 1 нс, поэтому средний ток мал.

У трансформаторов дифференциальная структура, поэтому они обеспечивают превосходную устойчивость к синфазным импульсным помехам: до 100 кВ/мкс (аналогичный параметр у оптопар обычно составляет примерно 15 кВ/мкс). Кроме того, магнитная связь в меньшей степени зависит от расстояния между обмотками трансформатора по сравнению с зависимостью емкостной связи от расстояния между обкладками конденсатора. Это позволяет увеличить толщину слоя изоляции между обмотками трансформатора и тем самым повысить степень развязки. Учитывая малое собственное механическое напряжение полиимидных пленок, комбинация трансформаторов и полиимида способна обеспечить лучшую развязку по сравнению с комбинацией конденсаторов и SiO_2 .

Конденсаторы имеют несимметричную структуру, а значит, более восприимчивы к синфазным импульсным помехам. Данный недостаток можно компенсировать применением дифференциальных пар конденсаторов, однако в таком случае возрастают габариты и стоимость. Одним из преимуществ конденсаторов является то, что для создания связи путем электрического поля в них используются слабые токи. Это становится осо-

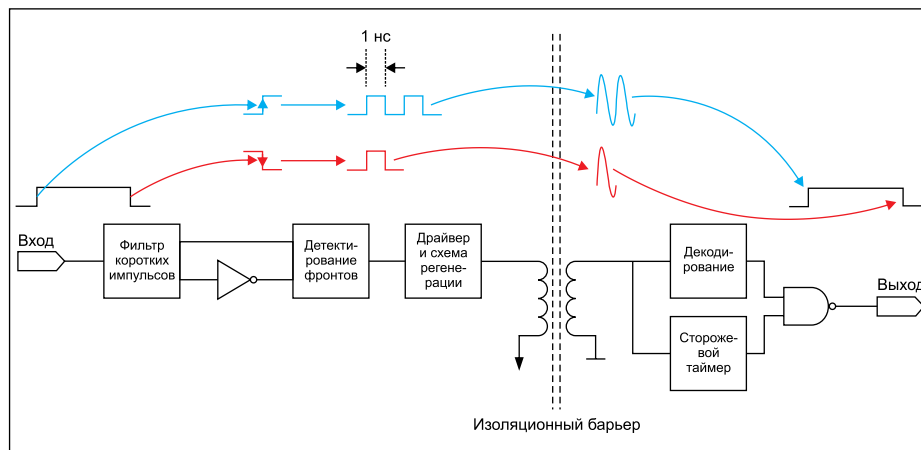


Рис. 2. Метод передачи данных при помощи кодирования фронтов одиночными или двоянными импульсами

бенно заметно при высоких скоростях передачи данных (от 25 Мбит/с).

Методы передачи данных

В оптопарах для передачи света через изоляционный барьер используется свет, излучаемый светодиодом: светодиод включается при передаче высокого логического уровня и выключается при передаче низкого логического уровня. Пока светодиод включен, оптопары рассеивают мощность, что делает их не лучшим выбором, если потребляемая мощность является важным критерием в системе. При работе с большинством оптопар разработчик должен самостоятельно обеспечить преобразование уровней сигналов на входе и выходе, что не всегда легко реализовать.

В цифровых изоляторах существует более продвинутая схема кодирования и декодирования данных, позволяющая ускорить передачу данных и предоставляющая возможность работать со сложными, двунаправленными интерфейсами, например USB и I²C.

Один из методов передачи заключается в кодировании переднего и заднего фронтов сигнала перед подачей на трансформатор одиночными или двоянными импульсами (рис. 2). На стороне вторичной обмотки эти импульсы преобразуются обратно в передние/задние фронты. В данном случае мощность расходуется не непрерывно, и энергопотребление уменьшается в 10–100 раз по сравнению с оптопарами. Для регулярного обновления уровня постоянной составляющей может потребоваться схема регенерации.

Другой метод основан на применении модулированных ВЧ-сигналов аналогично использованию света в оптопарах: сигналу высокого логического уровня соответствует непрерывная передача ВЧ-сигнала. Энергопотребление в данном случае будет выше, поскольку при передаче сигналов высокого логического уровня мощность рассеивается постоянно.

Для подавления синфазных напряжений передача данных может осуществляться с помощью дифференциальных сигналов; при этом наилучшие характеристики достигаются в сочетании с дифференциальными компонентами (например, трансформаторы).

Выбор подходящей комбинации

Цифровые изоляторы обладают существенными преимуществами перед оптопарами с точки зрения габаритов, потребляемой мощности, быстродействия, простоты применения и надежности. Различные продукты данной категории могут быть реализованы с использованием различных комбинаций изолирующего материала, структуры и метода передачи данных. В зависимости от конкретного сочетания цифровой изолятор в большей или меньшей мере подходит для той или иной задачи. Как отмечалось выше, материалы на основе полимеров обеспечивают наибольшую степень развязки. Они могут применяться практически в любых задачах, однако наибольший интерес они представляют в областях с максимально жесткими требованиями, таких как здравоохранение и промышленные системы. Для достижения максимально стойкой развязки может потребоваться увеличение толщины полиимидного слоя до значений, которые не годятся для устройств на базе конденсаторов. В связи с этим изоляторы на основе конденсаторов больше подходят для функциональной развязки, когда не предъявляются особых требований к безопасности. В таких случаях наиболее предпочтительными могут быть изоляторы на основе трансформаторов, особенно в комбинации с передачей данных дифференциальными сигналами, которая позволяет в полной мере воспользоваться преимуществами дифференциальной структуры трансформаторов.

Литература

1. http://www.analog.com/static/imported-files/tech_articles/MS-2234.pdf