

Обзор высокоскоростных цифровых магнитоизоляторов

Дмитрий ИОФФЕ
dsioffe@yandex.ru

Цифровые изоляторы с передачей данных через магнитное поле являются удачной альтернативой оптическим изоляторам. В настоящее время они выпускаются тремя фирмами — NVE, Avago Technologies и Analog Devices. В статье, предназначенной для разработчиков аппаратуры, проводится сравнение параметров этих микросхем от разных производителей.

Введение

Для гальванической развязки узлов радиоэлектронной аппаратуры традиционно использовались трансформаторы и оптические изоляторы. С совершенствованием технологий появилась возможность упаковывать в обычные корпуса микросхем индуктивные элементы и передавать данные через магнитное поле внутри корпуса. Но для таких микросхем ни за рубежом, ни в России еще нет устоявшегося названия, которое отражало бы физические процессы, лежащие в основе их работы, и позволяло бы тем самым отличать их от обычных оптических изоляторов (optocouplers). Будем называть их в этой статье *магнитоизоляторами*, по аналогии с оптоизоляторами.

Главным достоинством магнитоизоляторов по сравнению с оптическими является более высокая скорость передачи данных. Кроме того, у них при одинаковых скоростях заметно меньше потребляемая мощность. А при создании многоканальных, и особенно двунаправленных, гальванически развязанных линий передачи данных применение магнитоизоляторов вместо оптических изоляторов позволяет в несколько раз сократить габариты, потребляемую мощность и стоимость узлов гальванической развязки.

Фирма NVE Corporation (<http://www.nve.com>) является одним из основных производителей магнитоизоляторов. Она изготавливает их по фирменной технологии IsoLoop и называет High-Speed Digital Signal Isolators. Работа этих микросхем основана на гигантском магнито-

резистивном эффекте (Giant Magneto Resistive, GMR) и проиллюстрирована на рис. 1 [1].

Магниторезистивный материал, используемый в IsoLoop-приборах, относится к материалам, известным как «спиновый вентиль». Помещенный в магнитное поле, он может изменить свое сопротивление. Если поле ослабевает, не меняя направления, величина сопротивления остается без изменения. И лишь при изменении направления магнитного поля сопротивление возвращается к своему первоначальному значению.

Продифференцированный входной сигнал в виде узких (2,5 нс) выбросов тока протекает по виткам индуктивности L. Это приводит к тому, что соответственно направленные магнитные поля изменяют сопротивления GMR-резисторов, образующих мостовую схему. Сопротивления переключаются менее чем за 1 нс. Принцип действия напоминает работу 1-битовой ячейки памяти [1].

Заметим: из этого описания следует, что при включении питания состояние на выходе прибора IsoLoop является неопределенным. Очевидно, что существуют применения, где это может оказаться недостатком.

Кроме NVE магнитоизоляторы выпускает фирма Agilent. Их номенклатура представляет собой подмножество номенклатуры магнитоизоляторов фирмы NVE, параметры очень похожи. В [2] упоминается, что магнитоизоляторы Agilent — это изделия, которые NVE изготавливает под брендом Agilent, но на сайтах обеих фирм такой информации мне обнаружить не удалось. На сайте NVE сказано, что Agilent лицензировала их технологию. Однако далее при сравнении параметров магнитоизоляторов о фирме Agilent отдельно говорить не будем, подразумевая, что ее изделия аналогичны изделиям NVE. В сводной таблице в конце статьи приводятся параметры магнитоизоляторов всех трех фирм.

И наконец, выпуском магнитоизоляторов занимается фирма Analog Devices. Свою технологию она называет iCoupler, а изделия — iCoupler isolators. Блок-схема устройства из описания одноканального прибора ADuM1100 [3] показана на рис. 2.

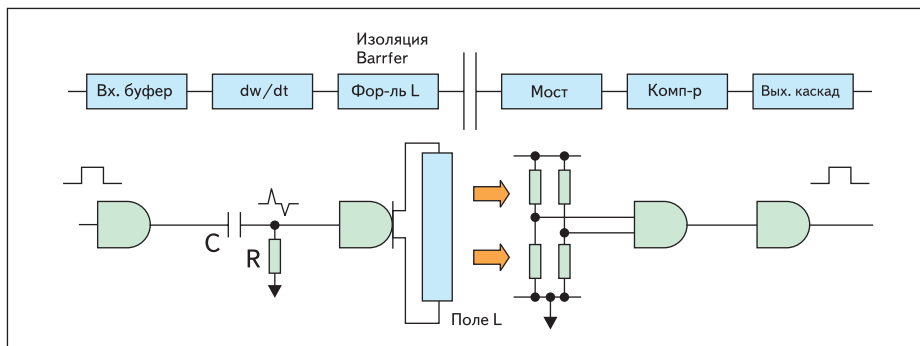


Рис. 1. Принцип действия изоляторов фирмы NVE

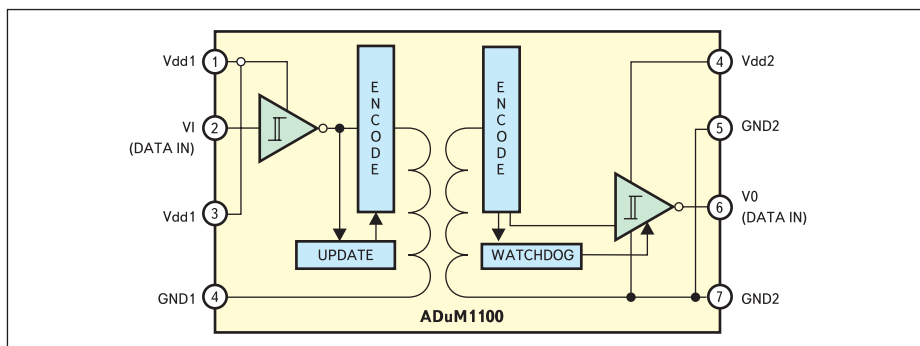


Рис. 2. Блок-схема одноканального магнитоизолятора iCoupler фирмы Analog Devices

Примечание. С 2005 года на сайте фирмы Agilent [ht tp:// /w ww.home.agilent.c om/](http://www.home.agilent.com/) нет раздела полупроводниковой продукции. Полупроводниковое подразделение фирмы выделено в самостоятельную фирму Avago Technologies [ht tp:// /w ww.avagotech.c om/](http://www.avagotech.com/).

У изделий фирмы Analog Devices нет основного недостатка приборов IsoLoop — неопределенности состояния выхода при включении питания. Работа устройства iCoupler описана в [3] следующим образом. Две катушки, изображенные на блок-схеме, работают как импульсный трансформатор. Положительные и отрицательные логические перепады на входе изолятора вызывают короткие (2 нс) импульсы, передающиеся через трансформатор в декодер. Декодер — бистабильное устройство, поэтому его установка или сброс данными импульсами соответствуют входным логическим перепадам. При отсутствии на входе импульсов в течение более 2 мкс периодически формируется обновляющий импульс нужной полярности для того, чтобы выходное состояние соответствовало входному. Если декодер не получает обновляющих импульсов дольше 5 мкс, то входная сторона считается обесточенной или неисправной. В таком случае сторожевой таймер (watchdog) устанавливает на выходе устройства высокий уровень.

Из этого описания можно сделать вывод, что алгоритм работы магнитоизоляторов фирмы Analog Devices в основном похож на алгоритм работы устройств от NVE. Различие заключается в периодическом контроле состояния входа. Этот контроль и обеспечивает, в частности, соответствие выходного сигнала входному при включении питания.

Обе фирмы выпускают широкий ассортимент магнитоизоляторов. Наиболее разнообразно представлены изоляторы с цифровым входом и цифровым выходом. Они содержат от одного до пяти каналов передачи данных, в одной микросхеме каналы могут быть как однонаправленными, так и разнонаправленными. На рисунках, взятых из описаний фирмы NVE [5–8], показаны разновидности этих микросхем.

На рис. 3 изображен одноканальный магнитоизолятор IL710 фирмы NVE. Полностью аналогичное изделие HCPL-9000/0900 выпускает фирма Avago Technologies. Одноканальный магнитоизолятор ADuM1100 фирмы Analog Devices не имеет возможности перевода выхода в третье состояние и не совместим по цоколевке с IL710.

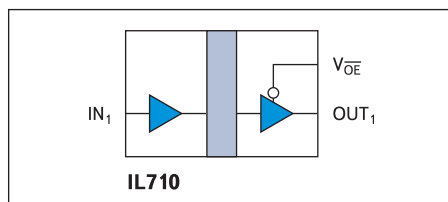


Рис. 3. Одноканальный магнитоизолятор

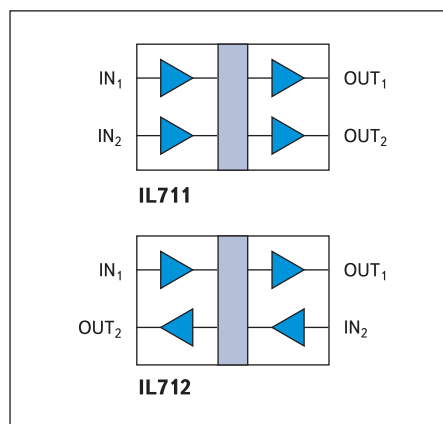


Рис. 4. Двухканальные магнитоизоляторы

На рис. 4 показаны два варианта двухканальных магнитоизоляторов: однонаправленный и разнонаправленный. У фирмы Avago Technologies есть функциональный аналог изделий NVE: приборы HCPL-9030/0930 и HCPL-9031/0931. Однонаправленный ADuM1200 от Analog Devices совместим по цоколевке с IL711, а двунаправленный ADuM1201 не совместим с IL712.

На рис. 5 и 6 изображены четырех- и пятиканальные магнитоизоляторы. Применение таких микросхем дает особенно заметный выигрыш по цене и габаритам по сравнению с оптическими изоляторами. Сравним для примера реализацию 4-проводного интерфейса SPI на оптопарах и на 4-канальном двунаправленном магнитоизоляторе [4].

На рис. 7 показан пример реализации интерфейса SPI на распространенных одноканальных и двухканальных оптоизоляторах с цифровым выходом. Здесь потребовалось четыре микросхемы, восемь резисторов, четыре диода и три развязывающих конденсатора — по одному на каждую микросхему.

На рис. 8 приводится тот же узел, выполненный на двунаправленном четырехканальном магнитоизоляторе ADuM1401 фирмы Analog Devices. Понадобилось всего три детали: одна микросхема и два развязывающих конденсатора.

Здесь особенно наглядно видно преимущество магнитных изоляторов перед оптическими в плотности упаковки и минимуме необходимых дополнительных компонентов. Многоканальная двунаправленная гальванически развязанная линия для передачи цифровых сигналов на магнитоизоляторах компактнее, дешевле и надежнее (за счет меньшего числа компонентов), чем на оптических изоляторах.

Четырехканальные изоляторы по схемам, изображенным на рис. 5, выпускают все три упомянутые в обзоре фирмы. Приборы от Avago Technologies совместимы по цоколевке с приборами NVE. А четырехканальные магнитоизоляторы от Analog Devices имеют аналогичную цоколевку, но при этом выводы, которые не используются в устройствах

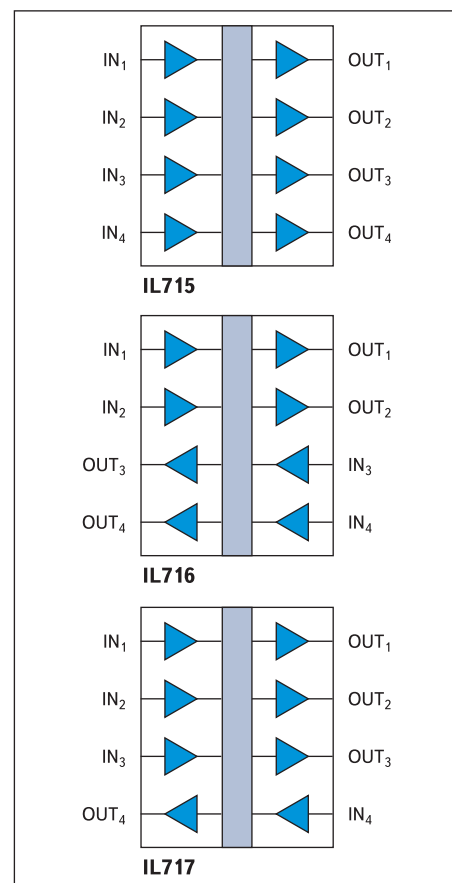


Рис. 5. Четырехканальные магнитоизоляторы

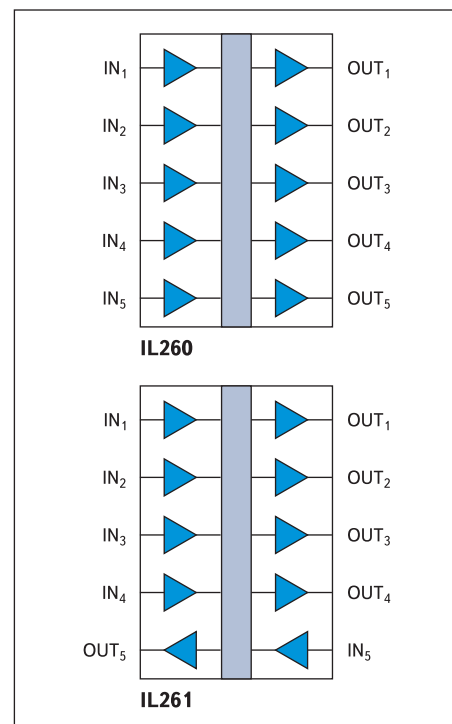


Рис. 6. Пятиканальные магнитоизоляторы

NVE, здесь задействованы для перевода выходов в третье состояние.

Пятиканальные магнитоизоляторы выпускает только фирма NVE. Зато Analog Devices

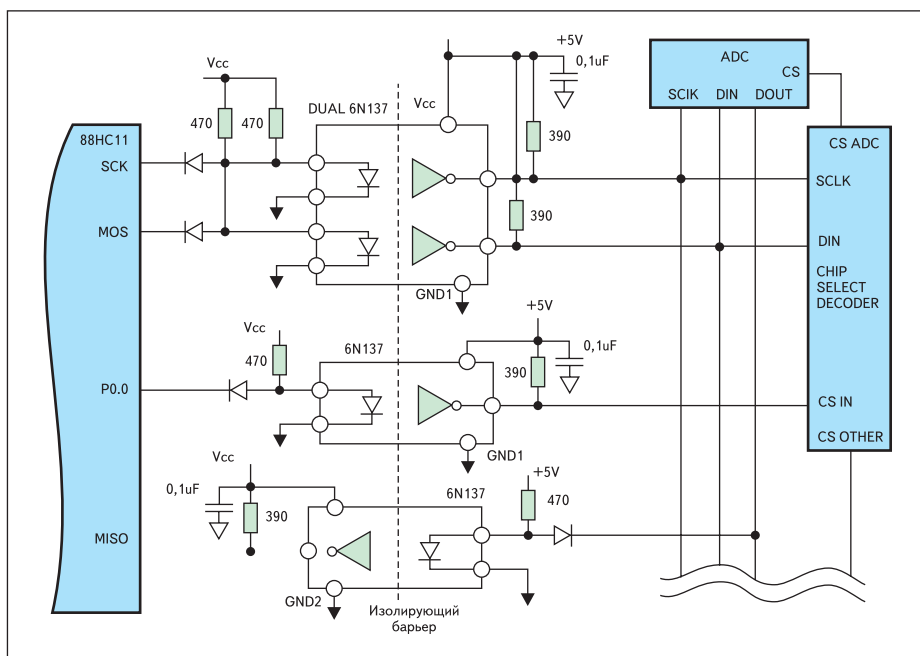


Рис. 7. Реализация интерфейса SPI на оптоизоляторе

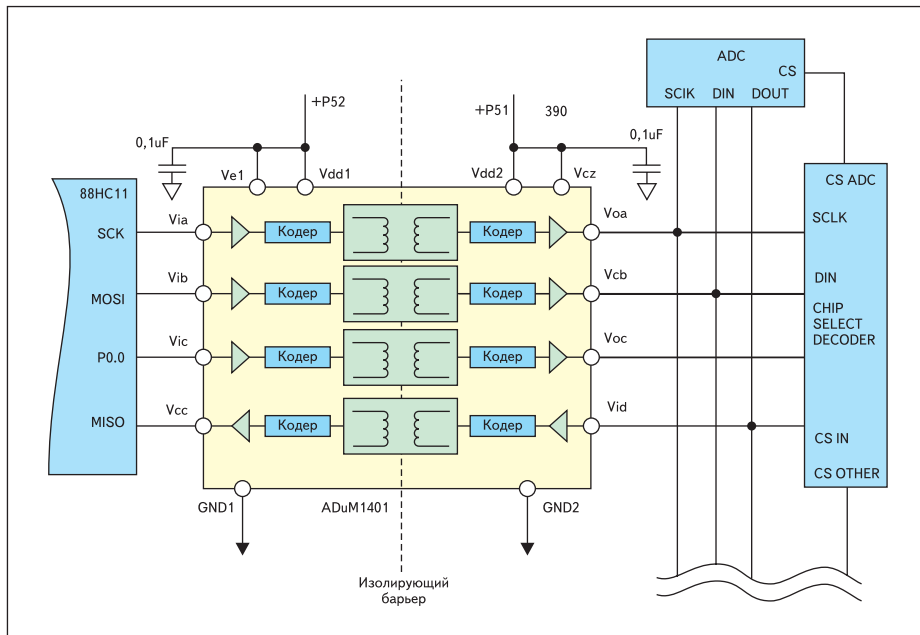


Рис. 8. Реализация интерфейса SPI на четырехканальном магнитоизоляторе

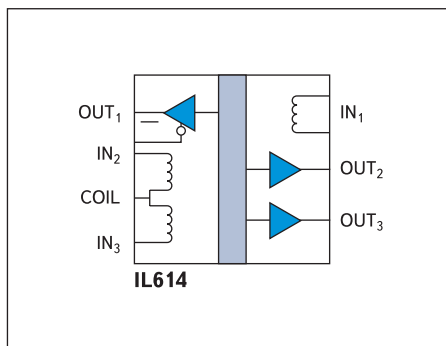


Рис. 9. Пример магнитоизолятора с индуктивностью на входе

производит трехканальные ADuM1300 и ADuM1301 — однонаправленный и двунаправленный соответственно, у обоих выходы можно переводить в третье состояние.

Кроме изоляторов с цифровым входом и выходом NVE и Analog Devices выпускают магнитоизоляторы для интерфейсов RS422 и RS485. Фирма NVE производит также изоляторы, у которых на входе вместо цифровой схемы катушка индуктивности (серии IL600/IL600A, пример на рис. 9 [9]). А у Analog Devices есть сигма-дельта-модуляторы AD7400/AD7401 с гальванической развязкой выходов на магнитоизоляторах. Рассматривать здесь эти устройства мы не будем,

поскольку темой статьи являются изоляторы с цифровым входом и выходом.

Магнитоизоляторы, изготавливаемые разными фирмами, отличаются друг от друга. Поэтому при разработке аппаратуры неизбежно возникает вопрос выбора конкретного изделия. Преимущества изоляторов Analog Devices убедительно описаны в специальной статье [2] на сайте фирмы. (Идеи этой статьи на русском языке изложены в [4].) Естественно, преимущества изделий NVE не отражены в указанной статье, и упрекать за это Analog Devices нельзя. Обнаружить на сайте NVE статью с контраргументами я не смог. Попробуем самостоятельно сравнить изделия двух фирм и выявить их преимущества и недостатки.

В рамках нашей статьи будем сравнивать микросхемы с цифровыми входами и цифровыми выходами, так как именно они обеспечивают наибольшую скорость передачи данных.

Возьмем для сравнения одноканальные версии микросхем: IL710 от фирмы NVE и ADuM1100 от Analog Devices. Если для многоканальных версий какие-либо параметры будут значительно отличаться от параметров многоканальных, отметим это особо. Кроме того, интересно сравнить эти микросхемы с их функциональными аналогами: наиболее быстрыми оптоизоляторами с цифровым входом и выходом. Чтобы не углубляться в обзор оптоизоляторов, выберем для сравнения самый быстрый оптоизолятор от фирмы Avago Technologies — HCPL-0723/HCPL-7723.

Для сравнения будем брать не типовые, а наилучшие показатели, указанные в спецификациях, ведь именно последние используются для расчета схем. Обратим внимание на то, что в шапке спецификаций, как правило, указываются именно типовые значения параметров.

К сожалению, однозначно сопоставить параметры изделий NVE и Analog Devices не всегда удастся, так как фирмы по-разному подходят к их нормированию. Далее в тексте случаи вынужденного не вполне корректного сравнения будут особо отмечаться.

Быстродействие

Фирма Analog Devices предлагает каждую из своих микросхем в двух или трех версиях с разными максимальными скоростями передачи данных. С уменьшением скорости цена заметно снижается, и это может оказаться очень кстати. Правда, скорость медленных версий становится сопоставимой со скоростью быстрых и даже не очень быстрых оптоизоляторов. У фирм NVE и Avago Technologies медленных версий нет.

Максимальная скорость передачи данных (Maximum Data Rate), которую и NVE, и Analog Devices приводят в своих спецификациях для одноканальных версий, составля-

ет 100 мегабайт в секунду (Mbps). Вспомним, что один бод — это одно изменение сигнала в секунду. Для передачи импульса требуется два изменения сигнала. Таким образом, для цифры максимальной частоты передачи данных 100 Mbps, которые заявляют обе фирмы, получаются импульсы частотой 50 МГц. Это в два раза больше, чем обеспечивает оптоизолятор HCPL-0723.

Для многоканальных версий картина несколько меняется. Если у фирм NVE и Avago Technologies микросхемы с любым числом каналов могут работать на скорости 100 Mbps, то у Analog Devices многоканальные микросхемы заметно медленнее:

- двухканальные ADuM120xCR до 25 (!) Mbps;
- трехканальные ADuM130xCRW и четырехканальные ADuM140xCRW — до 90 Mbps.

Задержка распространения сигнала от входа к выходу. По этому параметру IL710 незначительно опережает ADuM1100: 15 нс против 18 нс. Но у двухканальных ADuM120xCR задержка уже составляет 55 нс, у трехканальных ADuM130xCRW — 45 нс, у четырехканальных ADuM140xCRW — 32 нс. Для изделий NVE количество каналов, опять же, не влияет на задержку распространения сигналов, даже для пятиканальных IL26х.

Время нарастания и спада выходного импульса. Для всех изоляторов NVE указано наилучшее время 3 нс, для всех изоляторов Analog Devices — тоже 3 нс, но типовое. Очевидно, что наихудшее время больше типового. Здесь можно отметить, что большее время нарастания у изоляторов Analog Devices сопряжено с гораздо лучшими параметрами переходного процесса на выходе. Это отдельно рассматривается ниже.

Минимальная ширина импульса. Фирма NVE указывает одно значение данного параметра для всех своих изоляторов — 10 нс, измеряя его по уровню 50% от амплитуды импульса. Analog Devices приводит цифры 20 нс для одноканального изолятора, 40 нс для двухканальных и 11,1 для четырехканальных. Фирма определяет эту величину для заданного искажения ширины импульса, равного 2–3 нс. Несмотря на разницу в определении, очевидно, что у одно- и двухканальных изоляторов этот параметр заметно хуже.

Асимметрия задержки распространения (Propagation Delay Skew). Это разность между задержками распространения положительного и отрицательного фронтов импульсов. Для всех изоляторов NVE указана одна величина — 6 нс, при емкости нагрузки 15 пФ и температуре 25 °С. Для ADuM1100 приводятся различные цифры для разных сочетаний питающих напряжений, все они лежат в пределах от 9 до 15 нс. Для двухканальных и четырехканальных изоляторов указана одна цифра — 15 нс.

Таким образом, одноканальные изоляторы Analog Devices незначительно уступают в скорости изделиям NVE, а многоканальные — значительно.

Потребление

Сравнить потребление магнитоизоляторов от NVE и от Analog Devices напрямую не получается, так как оба производителя описывают потребление разными способами. Сравним ток потребления при напряжении источника питания 5 В.

Потребление входной части микросхемы

Для IL700 приводится динамическое потребление входной части (Dynamic Power Consumption) 170 мкА/МГц. Для частоты 50 МГц получим потребление 8,5 мА. Статическое потребление входной части здесь пренебрежимо мало — около 15 мкА.

Для ADuM1100 указано потребление входной части на частоте 50 МГц, равно 14 мА.

Некоторое преимущество здесь у NVE: 8,5 мА против 14 мА. Но заметим, что для версии IL710T, рассчитанной на применение в расширенном диапазоне температур, динамическое потребление почти в 4 раза больше: 640 мкА/МГц.

HCPL-0723: разное потребление для разных логических уровней, в наихудшем случае 10 мА.

Потребление выходной части микросхемы

Для ADuM1100 приводится потребление 2,8 мА на частоте логического сигнала 50 МГц. У IL710 безо всяких комментариев указано 3 мА. Таким образом, по этому параметру микросхемы практически одинаковы.

HCPL-0723: разное потребление для разных логических уровней, в наихудшем случае 17,5 мА. То есть, несмотря на то, что потребление входной части оказалось примерно таким же, как у магнитоизоляторов, общее потребление оптоизолятора получается намного больше.

К сказанному можно добавить, что фирма NVE готовит к выпуску версию одноканального изолятора с уменьшенным потреблением: IL7710. При той же скорости ее суммарное потребление не будет превышать 2 мА.

Диапазон рабочих температур

«Обычные» изоляторы от NVE могут работать в диапазоне температур от –40 до +100 °С. Но для всех цифровых изоляторов выпускаются модификации с расширенным диапазоном: от –40 до +125 °С. Эти модели имеют в обозначении букву Т. Их недостатком является увеличенное более чем в четыре раза динамическое потребление: 640 мкА/МГц вместо 200 при питании 5 В.

Большинство изделий Analog Devices может работать в диапазоне от –40 до +105 °С. Только одноканальная модель ADuM1100UR имеет диапазон от –40 до +125 °С.

Если сравнивать с оптическими изоляторами, то диапазон температур для HCPL-0723 составляет от –40 до +85 °С, что значительно меньше, чем у любых магнитоизоляторов.

Изолирующие свойства

Максимальное рабочее напряжение для изоляции. К сожалению, точно сравнить устройства по этому параметру не удастся, поскольку фирма NVE приводит среднеквадратическое значение (rms), то есть статистическую величину, а Analog Devices — строго определенное пиковое значение. Отказываться от рассмотрения такого важного параметра нежелательно, поэтому попытаемся дать вероятностную оценку.

Для IL710-3 (корпус SOIC-8, как у ADuM1100) максимальное рабочее напряжение для изоляции составляет 150 В (rms), для корпуса DIP — 300 В. Для ADuM1100 приводится пиковое значение 560 В. Если предположить, что напряжение, приложенное к изолирующему барьеру, имеет гауссовское распределение, как подавляющее большинство случайных процессов, то с вероятностью 0,997 пиковое значение не будет превышать среднеквадратического, умноженного на три. Таким образом, можно считать, что 150 В rms из спецификации на IL710-3 с указанной вероятностью соответствуют пиковому напряжению 450 В.

Устойчивость к воздействию синфазных помех (Common-Mode Transient Immunity) между входом и выходом у IL710 20 кВ/мкс, у ADuM1100 25 кВ/мкс. При этом Analog Devices нормирует данный параметр для синфазного напряжения $V_{cm} = 1000$ В, а NVE — для $V_{cm} = 300$ В.

Из сравнения этих двух параметров видим, что изолирующие свойства у изделий Analog Devices лучше, чем у NVE. Обе фирмы описывают изолирующие свойства своих микросхем по-разному, но следует отметить, что Analog Devices специфицирует их гораздо подробнее. Кроме того, фирма выпускает четырехканальные изоляторы ADuM240х, у которых максимальное пиковое рабочее напряжение для изоляции составляет 848 В, что соответствует среднеквадратическому значению примерно 280 В. Недавно появилась новая версия одноканального изолятора ADuM3100 с улучшенной защитой от воздействия статического электричества. Изменения в схемотехнике и топологии этого изделия улучшили его устойчивость к испытательным воздействиям в соответствии со стандартами IEC 61000-4-х: невосприимчивость к электростатическому разряду, быстрым электрическим переходным процессам или всплескам и др.

Заметим, что для цифрового оптоизолятора HCPL-0723 (корпус SOIC-8) пиковое максимальное рабочее напряжение для изоляции составляет 560 В, это совпадает со значением того же параметра для магнитоизолятора Analog Devices, а устойчивость к воздействию синфазных помех — только 10 кВ/мкс, то есть намного меньше, чем у любых магнитоизоляторов.

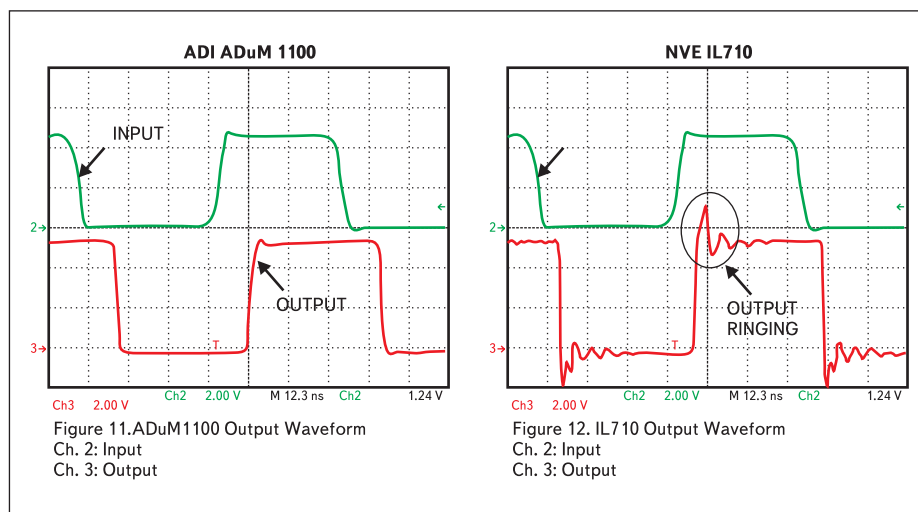


Рис. 10. Сравнение формы выходного сигнала магнитоизолятора от Analog Devices (слева) и от NVE

Форма выходного сигнала

Как-то нормировать этот параметр трудно, поскольку он зависит не только от характеристик микросхем, но и от разводки печатной платы, свойств щупа измерительного прибора (осциллографа) и других факторов. Но форма выходного сигнала магнитоизоляторов от Analog Devices качественно лучше, чем у конкурентов, за счет практически полного отсутствия переходных процессов на фронтах импульсов. Сигнал на выходе изолятора NVE похож на выходные сигналы обычных логических микросхем TTL или CMOS, что хорошо видно на рисунке, который приводится в [2] (см. рис. 10) и совпадает с наблюдениями автора. Для многих аналоговых схем это может оказаться очень важно.

Корпуса

Фирма NVE выпускает свои одно- и двухканальные изоляторы в корпусах DIP (у них несколько лучше изолирующие свойства) и SOIC-8, а у Analog Devices такие изделия выпускаются лишь в корпусах SOIC-8. Корпус оптоизолятора HCPL-0723 занимает такую же площадь, но в два раза выше.

Многоканальные изоляторы NVE производят в корпусах SOIC как обычной ширины (до 6,2 мм по концам выводов), так и wSOIC (10,64 мм). Analog Devices делает их только в корпусах wSOIC. В случаях, когда требования по габаритам значительно важнее, чем по изолирующим свойствам, это может оказаться неудобно.

Цены и возможность приобретения в России

И цены, и возможность приобретения, конечно же, постоянно изменяются. Приведенные здесь выкладки основаны на данных сайта www.efin.d.r.u и некотором опыте автора. Информация относится к концу 2005 года.

Сайт www.efin.d.r.u имеет доступ через Интернет к складам множества поставщиков электронных компонентов, работающих в России и представляющих не только отечественные, но и иностранные фирмы. Сайт принимает от посетителя название компонента (или несколько первых символов названия) и ищет на складах изделия, соответствующие запросу. В ответ выдается список продавцов, предлагающих запрошенное изделие, и цены.

Магнитоизоляторы фирмы NVE в России оказались самыми редкими и дорогими. Цена на одноканальные изоляторы колебалась примерно в пределах \$5–6, на двухканальные — \$7–9, на четырехканальные — \$9–10 и пятиканальные — \$12–13. При этом розничных предложений практически не было, только мелкий (несколько десятков) и крупный опт. Это, разумеется, не значит, что их совсем нельзя купить. Совсем недавно я держал в руках упаковку в 50 штук, а в течение несколь-

ких последних лет были и более мелкие закупки. Возможно, при непосредственных переговорах с продавцом удастся добиться лучших условий.

Предложения изделий фирмы Avago Technologies (бывших Agilent) встречаются гораздо чаще, и среди них много розничных. Цены на одноканальные изделия колеблются в пределах \$4–5, на двухканальные — \$5–6 и на четырехканальные — \$6–7.

И наконец, больше всего предложений, в том числе розничных, встречается по изделиям Analog Devices. Цены: на одноканальные изоляторы \$3,5–4, на двухканальные — \$4,5–5, на четырехканальные — \$6–11.

Одноканальный цифровой оптоизолятор HCPL-0723 стоит \$5,5–10, то есть дороже любого одноканального магнитоизолятора.

Все указанные цены и сведения о доступности относятся к «обычным» изоляторам, без расширенного температурного диапазона или других улучшенных свойств.

Таким образом, по сочетанию параметров цена/доступность на российском рынке безоговорочно лидируют магнитоизоляторы Analog Devices. Довольно часто подобное сочетание становится одним из самых веских доводов.

Заключение

Однозначного вывода о том, что магнитоизоляторы какой-то одной фирмы во всем превосходят конкурирующую продукцию, сделать нельзя. Для одних применений может оказаться решающим, например, быстродействие изделий от NVE, для других — доступность изоляторов Analog Devices. Выбор остается за разработчиком. И я буду очень рад, если эта статья поможет сделать такой выбор.

В таблице сведены рассмотренные в обзоре параметры магнитоизоляторов. Как и в тексте, в таблице приводятся наихудшие параметры, если не указано иначе.

Таблица. Параметры магнитоизоляторов производства разных фирм

Наименование параметра	Изоляторы NVE	Изоляторы Avago Technologies	Изоляторы Analog Devices одноканальные	Изоляторы Analog Devices двухканальные	Изоляторы Analog Devices четырехканальные
Максимальная скорость передачи данных, Мб/с	100	100	100	25	90
Задержка распространения сигнала от входа к выходу, нс	15	15	18	55	32
Время нарастания и спада выходного импульса	3	4	3*	3*	3*
Минимальная ширина импульса, нс	10	10	20	40	11,1
Асимметрия задержки распространения, нс	6	6	9–15	15	15
Потребление входной части микросхемы на частоте 50 МГц, мА	8,5**	10**	14	—	—
Потребление выходной части микросхемы, мА	3	6	2,8	—	—
Диапазон рабочих температур, °C	–40...100	–40...100	–40...105	–40...105	–40...105
Максимальное рабочее напряжение для изоляции, В rms	150	Не указано	186***	186***	186***
Устойчивость к воздействию синфазных помех, кВ/мкс	20	15	25	25	25
Форма выходного сигнала, экспертная оценка	Обычная	Обычная	Очень хорошая	Очень хорошая	Очень хорошая
Доступность в России, экспертная оценка	Низкая	Обычная	Очень хорошая	Очень хорошая	Очень хорошая
Цена одноканального изолятора в России, \$	5–6	4–5	3,5–4		
Цена двухканального изолятора в России, \$	7–9	5–6		4,5–5	
Цена четырехканального изолятора в России, \$	9–10	6–7			6–11

* — типовое значение

** — рассчитано на основании данных спецификаций

*** — оценено приблизительно, см. текст статьи

Литература

1. Шинкарь А. Высокоскоростные изолирующие ИС фирмы NVE (ответы на вопросы). Chip News Украина. 2002, № 5. Цитируется по http://chipnews.com.ua/html.cgi/archiv/02_05/st-04.htm
2. Agilent/NVE GMR Isolators — Performance Comparison to Analog Devices iCoupler® Products. Analog Devices, 2003. Материал с сайта фирмы Analog Devices <http://www.analog.com>
3. iCoupler® Digital Isolator ADuM1100. Datasheet REV. E. Материал с сайта фирмы Analog Devices <http://www.analog.com>
4. Романов О. Высокоскоростные цифровые изоляторы фирмы Analog Devices — достойная альтернатива оптопарам. Компоненты и технологии. 2003, № 7. Статья доступна в Интернете по адресу <http://www.eltech.spb.ru/pdf/AD/vciad.pdf>
5. IL710 High Speed Digital Isolator. Datasheet REV. H. Материал с сайта фирмы NVE Corporation <http://www.nve.com>
6. IL711 IL712 High Speed Dual Digital Isolator. Datasheet REV. H. Материал с сайта фирмы NVE Corporation <http://www.nve.com>
7. IL715 IL716 IL717 High Speed Four-Channel Digital Isolators. Datasheet REV. J. Материал с сайта фирмы NVE Corporation <http://www.nve.com>
8. IL260 IL261 High Speed Five-Channel Digital Isolators. Datasheet REV. C. Материал с сайта фирмы NVE Corporation <http://www.nve.com>
9. IL600 Series Passive Input Digital Isolators — CMOS Outputs. Datasheet REV. D. Материал с сайта фирмы NVE Corporation <http://www.nve.com>