

Преимущества применения сдвоенного емкостного барьера в новых цифровых изоляторах Texas Instruments

Задача цифрового изолятора — передавать цифровой сигнал между двумя гальванически развязанными электрическими цепями. Как правило, такая изоляция крайне необходима для устранения негативного влияния сильноточных и высоковольтных цепей на измерительные схемы, схемы связи с внешними устройствами и схемы управления в составе одного или нескольких устройств. В этой статье проведен сравнительный анализ основных характеристик электрической изоляции в высокоскоростных цифровых цепях, рассмотрены преимущества и недостатки оптических, индуктивных и емкостных изоляторов. Особое внимание уделено обзору реализации новой технологии передачи цифровых сигналов через сдвоенный емкостной изоляционный барьер, используемый в семействе цифровых изоляторов ISO72x от Texas Instruments.

Сергей ПИЧУГИН
s.pichugin@compel.ru

Устройство емкостного изолятора-барьера

Возможные области применения цифровых изоляторов — схемы, работающие в непосредственной близости от мощных двигателей или других источников сильного электромагнитного излучения. В такой среде очень велика вероятность потерь данных или возникновения ошибок при передаче информации. Учитывая этот факт, компания Texas Instruments применила в своих изоляторах новый принцип гальванической развязки — сдвоенный емкостной барьер.

В изоляторах серии ISO72x сигнал дифференцированно пересекает изоляционный



Рис. 1. Структура емкостного изолятора (один конденсатор)

двум сторонам диэлектрика — оксида кремния SiO_2 (рис. 1). На рис. 2 можно видеть соединения внутри ИС ISO721 между двумя гальванически изолированными подложками, на одной из которых расположены емкостные барьеры.

Для передачи постоянной составляющей сигнала ISO72x использует два канала (рис. 3). Первый, высокоскоростной канал (нижний на схеме) передает фронты (переходы) сигнала. Второй, низкочастотный (верхний на схеме) канал при помощи ШИМ-модуляции передает дифференциальный сигнал, скважность которого прямо пропорциональна уровню постоянной составляющей входного сигнала.

барьер через два конденсатора, состоящих из металлической пластины и проводящей кремниевой подложки и расположенных по

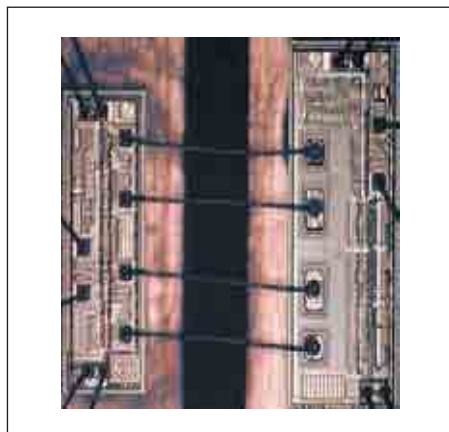


Рис. 2. Внешний вид внутренних соединений между двумя подложками ИС ISO721

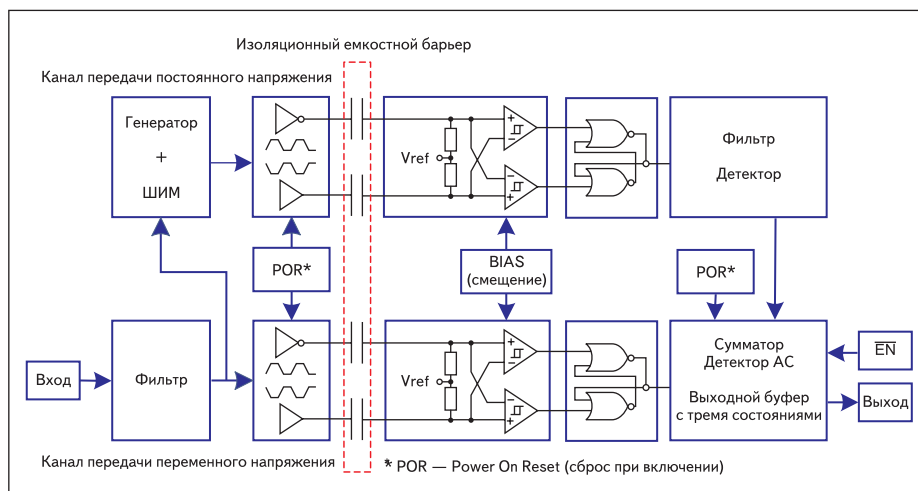


Рис. 3. Структурная схема цифровых изоляторов ISO72x

Устойчивость к переходным процессам при быстронарастающем сигнале

Переходные процессы при быстронарастающем (высокочастотном) сигнале могут нарушить передачу данных через изоляционный барьер. К примеру, паразитная емкость изоляционного барьера в оптоизоляторе, как показано на рис. 4, обеспечивает путь для прохождения быстронарастающего сигнала, в результате чего происходят искажения принимаемых данных в выходных цепях. Сетка Фарадея может отвести часть этого смещенного потока от важных выходных цепей оптических и индуктивных изоляторов.

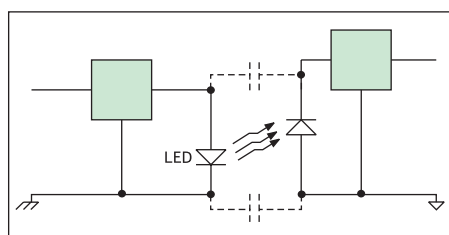


Рис. 4. Паразитная емкость в изоляционном барьере оптопары

В емкостных изоляторах сетка Фарадея — неподходящее решение проблемы, так как вместе с блокировкой быстрых переходных процессов происходит блокировка электрической области, используемой для передачи данных. Чтобы обеспечить устойчивость к переходным процессам при быстронарастающем сигнале, семейство цифровых емкостных изоляторов ISO72x передает во вторичный приемный канал только переходы сигнала данных. В таблице 1 указаны допустимые скорости нарастания входного сигнала для разных типов изоляторов. Как видно из таблицы, ISO721 имеет наилучшее значение параметра устойчивости к быстрым переходным процессам, что позволяет ему надежно передавать данные со скоростью до 150 Мбит/с.

Таблица 1. Допустимая скорость нарастания входного сигнала

Наименование	Технология изоляции	Допустимая скорость нарастания входного сигнала (кВ/мкс)
ISO721	Емкостная	25
ADuM1100	Индуктивная	25
HCPL-0900	Индуктивная	15
HCPL-0721	Оптическая	10
HCPL-0723		

Важно отметить, что, кроме всего прочего, цифровые изоляторы серии ISO722x имеют наименьший дрейф (джиттер — jitter) задержки передачи сигнала. Зависимость максимального смещения задержки от скорости передачи данных при различных напряжениях питания отображена на рис. 5. При скоро-

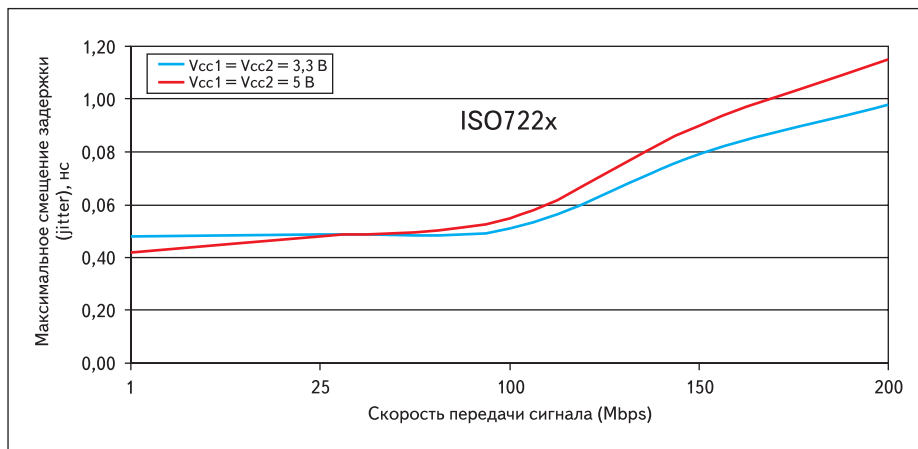


Рис. 5. Зависимость максимального смещения задержки от скорости передачи данных

сти передачи данных 100 Мбит/с, уровень джиттера менее 0,6 нс!

Потребляемая мощность

В таблице 2 указаны параметры потребляемой мощности различных типов цифровых изоляторов производства Texas Instruments (TI), Analog Devices (AD) и Avago Technologies. Как видно из таблицы, представленные оптические изоляторы потребляют больше энергии, чем индуктивные и емкостные изоляторы.

На рис. 6 представлен сравнительный график зависимости потребляемого тока одним

изоляционным каналом от скорости передачи сигнала для различных цифровых изоляторов.

Надежность

Среднее время до отказа (MTTF — Mean Time To Failure) — стандартный параметр надежности электронных приборов.

Таблица 3 отображает параметр MTTF для оптического, индуктивного и емкостного цифровых изоляторов. Из таблицы видно, что ISO721 значительно превосходит по надежности представленные индуктивные и оптические решения. К сожалению, в технических

Таблица 2. Потребляемая мощность цифровых изоляторов TI, AD и Avago Technologies

Наименование	Производитель	Технология изоляции	Напряжения питания Vcc1 и Vcc2 (В)	Icc1 (мА)	Icc2 (мА)	Потребляемая мощность (мВт)
ISO721	Texas Instruments	Емкостная	5	1	11	60
			3,3	0,5	6	21,5
ADuM1100	Analog Devices	Индуктивная	5	0,8	0,006	4,3
			3,3	0,3	0,04	1,2
HCPL-0900	Avago Technologies	Индуктивная	5	0,018	6	30
			3,3	0,01	4	13,2
HCPL-0721	Avago Technologies	Оптическая	Только 5 В	10*	9	95
HCPL-0723		Оптическая	Только 5 В	10*	17,5**	137,5

* 10 мА при логическом «0» на входе. При логической «1» на входе ток потребления уменьшается до 3 мА
 ** 17,5 мА при логическом «0» на входе. При логической «1» на входе ток потребления уменьшается до 16,5 мА

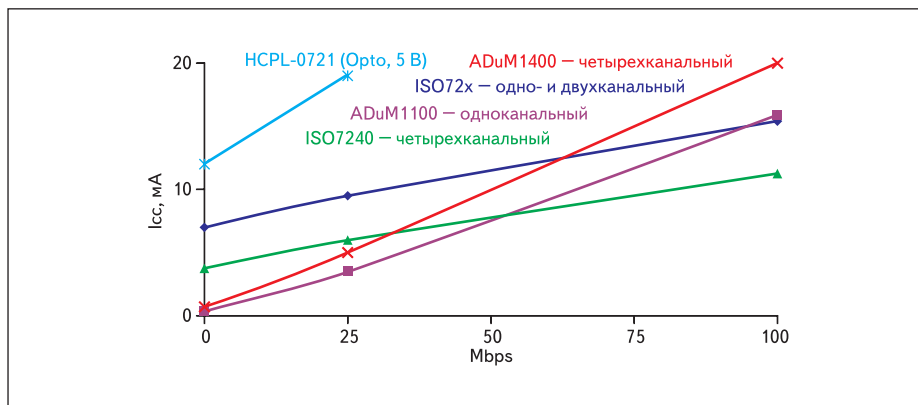


Рис. 6. Сравнительные зависимости потребляемого тока

Таблица 3. Параметры надежности различных типов цифровых изоляторов

Наименование	Производитель	Технология изоляции	Температура окружающей среды	Доверительный интервал 60%		Доверительный интервал 90%	
				MTTF* (часы/отказ)	Количество отказов за 109 часов	MTTF (часы/отказ)	Количество отказов за 109 часов
ISO721	Texas Instruments	Емкостная	125 °C	1 246 889	802	504 408	1983
HCPL-0900	Avago	Индуктивная		288 118	3471	114 654	8722
HCPL-0721		Оптическая		174 617	5727	69 487	14 391

описаниях на ADuM1100 параметр надежности MTTF не представлен.

Характеристики изоляции

Диэлектрики имеют изоляционные свойства в соответствии с их физическим и химическим составом, в котором содержатся различные примеси и неоднородности.

Понятно, что в течение времени эти примеси приводят к изменению изоляционных свойств материала и в конечном итоге могут вызвать выход из строя (пробой) диэлектрика. Эти изменения могут ускориться в среде сильного электромагнитного излучения, высокой температуры и под воздействием электрического поля, создаваемым высоким напряжением, приложенным к изолятору.

У большинства цифровых изоляторов в техническом описании указаны только главные параметры. Большинство общедоступных изоляторов (включая семейство ISO72x) нормировано на значение пикового напряжения между входом и выходом 4 кВ (V_{IORM}). Но важно понимать, что эта оценка не предусматривает, что изолятор будет противостоять этому высокому напряжению в течение неограниченного времени и, тем более,

при произвольно высокой температуре окружающей среды. Соответственно, учитывая только этот параметр, невозможно предсказать реальное поведение изолятора в течение длительного времени.

Другая характеристика изоляции, представляющая интерес, — это рабочее напряжение (V_{IORM}) или непрерывно действующее напряжение. Этот параметр подразумевает, что при данном напряжении между входом и выходом изолятор сохраняет свои свойства изоляции в течение всей жизни. Обычно для полупроводниковых приборов в качестве минимального срока службы принимается цифра 10 лет. В таблице 4 отображены допустимые напряжения изоляции для разных типов изоляторов в соответствии со стандартами UL 1577 и IEC 60747-5-2.

Еще один параметр, описывающий надежность изоляции — TDDB (Time-Depended Dielectric Breakdown) — определяет время до пробоя диэлектрического материала, такого как оксид кремния (SiO_2), под воздействием высокого напряжения. Один из методов прогнозирования этого параметра — расчет при помощи физико-математической модели (так называемой E-модели), основанной на физической деградации диэ-

Таблица 5. Расчетное значение времени до пробоя диэлектрика

Напряжение вход/выход, В	Время до пробоя диэлектрика (TDDP), лет
200	85
400	46
560	28
700	18
800	13

трика. Не останавливаясь на описании этого метода, приводим таблицу с результатами расчета параметра TDDP для емкостных изоляторов серии ISO72x для различных значений напряжений между входом и выходом (табл. 5).

Не желая использовать E-модель расчета параметра TDDB, различные производители применяют любые удобные для них данные и методы, не базирующиеся на физической деградации диэлектрика. Для примера, на рис. 7 отображен график с зависимостью параметра TDDB для ISO721 с данными, полученными при помощи упрощенного общепринятого метода расчета. Как можно видеть, таким способом были получены более значительные сроки службы изолятора. Опубликованные данные другого производителя для индуктивного изолятора также включены в график для сравнения (конкурент А).

Семейство изоляторов ISO72x может благополучно работать более 25 лет при рабочем напряжении вход/выход 560 В. Результаты также показывают, что такой изоляционный барьер является очень «крепким» и способен противостоять многократным всплескам высокого напряжения до 4000 В пикового или 2828 В среднеквадратичного (RMS) значения.

Таблица 4. Допустимые напряжения изоляции

Наименование	Производитель	Технология изоляции	Напряжение изоляции (V_{RMS}) по стандарту UL 1577	Напряжение изоляции V_{IORM} (Впиковое) по стандарту IEC60747-5-2
ISO721	Texas Instruments	Емкостная	2500	560
ADuM1100	Analog Devices	Индуктивная	2500	560
HCPL-0900	Avago Technologies	Индуктивная	2500	Нет данных
HCPL-0721 HCPL-0723		Оптическая	3750	560

Устойчивость к воздействию внешних электромагнитных полей

Незащищенный никакими внешними средствами, изолятор ISO721 успешно прошел испытания по устойчивости к внешним

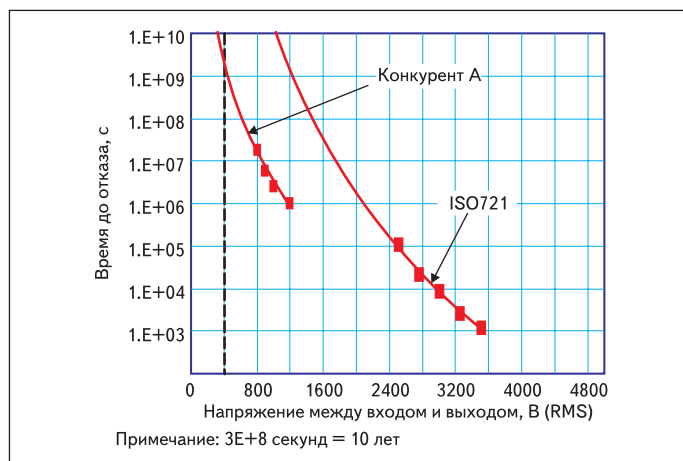


Рис. 7. Зависимость времени жизни изолятора от напряжения между входом и выходом

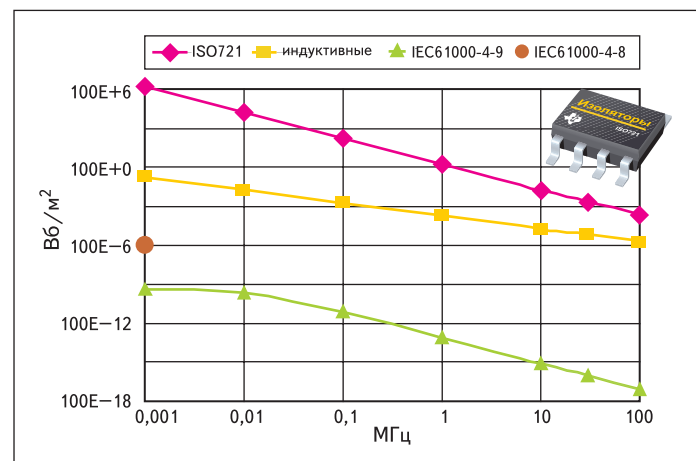


Рис. 8. Устойчивость к воздействию внешних электромагнитных полей емкостных и индуктивных изоляторов

Таблица 6. Семейство цифровых емкостных изоляторов производства Texas Instruments (по состоянию на октябрь 2007 года)

Наименование	Кол-во каналов	Напряжение изоляции (V _{RMS})	Конфигурация каналов (прямо/обратно)	Напряжение питания (В)	Макс. скорость передачи данных (Mbps)	Входной фильтр	Задержка (макс) (нс)	Входной гистерезис	pin-to-pin совместимость	Корпус
ISO150	2	1500	Программ.	5	80	нет	40	TTL		SOP-12
ISO721	1	2500	1/0	3,3/5	100	есть	24	TTL	ADuM1100	SOIC-8
ISO721M	1	2500	1/0	3,3/5	150	нет	16	CMOS	ADuM1100	SOIC-8
ISO722	1	2500	1/0	3,3/5	100	есть	24	TTL	ADuM1100	SOIC-8
ISO7220A	2	2500	2/0	3,3/5	1	есть	475	TTL	ADuM1200	SOIC-8
ISO7220C	2	2500	2/0	3,3/5	25	есть	42	TTL	ADuM1200	SOIC-8
ISO7220M	2	2500	2/0	3,3/5	150	нет	16	CMOS	ADuM1200	SOIC-8
ISO7221A	2	2500	1/1	3,3/5	1	есть	475	TTL	ADuM1201	SOIC-8
ISO7221C	2	2500	1/1	3,3/5	25	есть	42	TTL	ADuM1201	SOIC-8
ISO7221M	2	2500	1/1	3,3/5	150	нет	16	CMOS	ADuM1201	SOIC-8
ISO722M	1	2500	1/0	3,3/5	150	нет	16	CMOS	ADuM1100	SOIC-8
ISO7230A	3	2500	3/0	3,3/5	1	есть	70	TTL	ADuM1300	SOIC-16
ISO7230C	3	2500	3/0	3,3/5	25	есть	30	TTL	ADuM1300	SOIC-16
ISO7230M	3	2500	3/0	3,3/5	150	нет	16	CMOS	ADuM1300	SOIC-16
ISO7240A	4	2500	4/0	3,3/5	1	есть	70	TTL	ADuM1400	SOIC-16
ISO7240C	4	2500	4/0	3,3/5	25	есть	30	TTL	ADuM1400	SOIC-16
ISO7240CF	4	2500	4/0	3,3/5	25	есть	46	TTL	ADuM1400	SOIC-16
ISO7240M	4	2500	4/0	3,3/5	150	нет	16	CMOS	ADuM1400	SOIC-16

электромагнитным полям в соответствии с 5 классом* требований, предъявляемых стандартом IEC6100-4-8 (электромагнитные поля промышленных частот) и стандартом IEC61000-4-9 (импульсные электромагнитные поля).

На рис. 8 представлен график со сравнительным анализом устойчивости изоляторов к электромагнитным полям на примере емкостного (ISO721 производства Texas Instruments) и индуктивного (ADuM1100 производства Analog Devices) принципа действия и их соответствие 5 классу стандартов IEC6100-4-8 и IEC61000-4-9. Данные для ADuM1100 получены из его технического описания версии «Е» (рис. 8), взятого с официального сайта производителя (с переводом в удобные для сравнения единицы измерения).

Согласно расчетам, емкостная пара в дифференциальной цепи ISO72x с медленным сигналом и двукратным запасом

по шуму требует плотности внешнего электромагнитного поля более чем 12,3 Вб/м² на частоте 1 МГц. К примеру, это поле генерируется током более 10 МА, проходящим через 10-сантиметровый проводник, на расстоянии 10 см от прибора. Маловероятно, что подобное вообще когда-либо может произойти в природе или любом изготовленном оборудовании. Даже если это произойдет, то более вероятно, что компоненты, окружающие ISO72x, первыми выйдут из строя.

Для практического ознакомления с цифровыми емкостными изоляторами, компания Texas Instruments выпускает демонстрационную плату ISO721EVM, внешний вид которой можно видеть на рис. 9.

Заключение

Цифровые изоляторы со сдвоенным емкостным барьером выводят отрасль на самые высокие скорости передачи данных при высокой надежности передачи, обеспечивают на шесть порядков более высокую устойчивость к воздействию магнитных полей, чем суще-



Рис. 9. Демонстрационная плата ISO721EVM

ствующие индуктивные изоляторы, и потребляют на 60% меньше мощности, чем быстродействующие оптроны. Новые изоляторы повышают быстродействие системы и снижают стоимость в применениях с высокими напряжениями и высоким уровнем шумов, таких как автоматизация производства, управление технологическими процессами и системы сбора данных.

Литература

1. www.avagotech.com
2. www.analog.com
3. www.ti.com

* Стандарт, определяющий 5-й класс, относится к серьезным индустриальным средам, для которых характерны проводники, шины проводников, линии среднего напряжения или высоковольтные линии, по которым передаются десятки килоампер, а также линии грозозащит высотных сооружений, переносящих ток молнии.