

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ИЗОЛЯТОРОВ *iCOUPLER* ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКИ РАЗВЯЗАННЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ

В статье приведены примеры использования цифровых изоляторов *iCoupler*, выпускаемых компанией Analog Devices, для построения гальванически развязанных высокоскоростных интерфейсов.



В. Макаренко

Потребность в гальванически развязанных интерфейсах возникает, если необходимо связать между собой два или более цифровых устройства, находящихся под разными потенциалами, а также в случае необходимости уменьшения уровня помех, которые возникают при соединении проводов защитного заземления различных устройств друг с другом. Вся медицинская аппаратура для обеспечения безопасности пациента должна быть оснащена гальванически развязанными интерфейсами. Существуют два основных способа гальванической развязки цепей: с помощью трансформаторов или оптронов. Каждый из этих способов имеет свои достоинства и недостатки.

Оптоэлектронная развязка обеспечивает высокую степень защиты от пробоя, но быстродействие оптронов, применяемых для развязки цепей, ограничено. При трансформаторной развязке труднее обеспечить высокое напряжение пробоя. И, если высокую скорость передачи информации ВЧ-трансформатор обеспечивает сравнительно легко, то при передаче низкочастотных сигналов возникают проблемы из-за дифференцирующего действия трансформатора (как известно, трансформатор не передает постоянную составляющую сигнала).

Для решения вопросов гальванической развязки цифровых цепей компания Analog Devices разработала изоляторы семейства *iCoupler*. Использование этих изоляторов вместо оптопар позволяет одновременно уменьшить размеры изоляторов и обеспечить изоляцию

USE OF DIGITAL INSULATORS *iCOUPLER* FOR CONSTRUCTION OF GALVANIC UNTIED INTERFACES

Abstract – In article instances of use of digital insulators *iCoupler*, released by company Analog Devices, for construction of galvanic untied high-speed interfaces are described.

V. Makarenko

сигнальных цепей без потери скорости передачи данных. В новых ИМС использованы плечные трансформаторы, максимальная прочность изоляции которых составляет 5 кВ [1, 2...6]. Высокое быстродействие достигается благодаря тому, что трансформаторы не имеют сердечников и работают на частотах до 500 МГц [1].

Изоляторы *iCoupler* обеспечивают максимальную скорость передачи данных до 100 Мбит/с. Выпускаются модификации изоляторов с максимальной скоростью передачи 1, 10, 25, 90 и 100 Мбит/с. Естественно, наибольшую стоимость имеют изоляторы со скоростью передачи информации 100 Мбит/с. Поэтому, если требуется более низкая скорость передачи данных, следует выбирать изолятор *iCoupler* низкой производительности. Следует отметить, что величина задержки распространения сигнала в изоляторах *iCoupler* гораздо меньше, чем в оптопарах, поэтому их применение позволяет поддерживать высокую скорость передачи сигналов в цепях с гальванической развязкой.

С увеличением числа изолированных каналов стоимость изделия увеличивается, однако применение многоканальных изоляторов *iCoupler* позволяет минимизировать стоимость проектируемого устройства в пересчете на канал и уменьшить его габариты в целом. Компания Analog Devices выпускает множество типов изоляторов *iCoupler* с трансформаторной гальванической развязкой. Для построения

Таблица 1. Основные характеристики двунаправленных цифровых изоляторов iCoupler

Тип ИМС	Число каналов	Число прямых/обратных каналов	Прочность изоляции, кВ	Скорость передачи данных, макс., Мбит/с	Время задержки (U _{пит} =5 В), макс., нс	Выходное напряжение, макс., В	Макс. температура среды, °С	Тип корпуса
ADuM3100	1	1/0	2.5	25...100	18	3.0...5.5	105	8-SOIC
ADuM3200	2	2/0	2.5	1...25	150...45	2.7...5.5	105	8-SOIC
ADuM3201	2	1/1	2.5	1...25	150...45	2.7...5.5	105	8-SOIC
ADuM3300	3	3/0	2.5	1...90	100...32	2.7...5.5	105	16-SOIC
ADuM3301	3	2/1	2.5	1...90	100...32	2.7...5.5	105	16-SOIC
ADuM3400	4	4/0	2.5	1...90	100...32	2.7...5.5	105	16-SOIC
ADuM3401	4	3/1	2.5	1...90	100...32	2.7...5.5	105	16-SOIC
ADuM3402	4	2/2	2.5	1...90	100...32	2.7...5.5	105	16-SOIC
AD260 *	5	3/2	3.5	40	14...25	3.7...4.5	85	22-DIP
AD261 *	5	3/2	3.5	20	14...25	3.7...4.5	85	22-DIP

* Выпускается 6 модификаций ИМС, в которых предусмотрено следующее число прямых/обратных каналов: 0/5, 1/4, 2/3, 3/2, 4/1, 5/0.

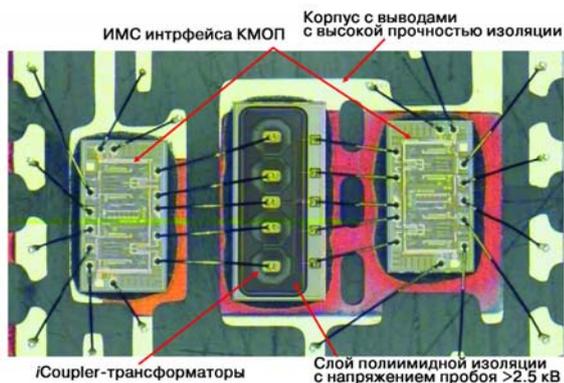


Рис. 1. Конструкция изолятора iCoupler

двунаправленных интерфейсов необходимы двунаправленные цифровые изоляторы, характеристики некоторых из них даны в табл. 1. Приведенные в табл. 1 значения максимальной скорости передачи данных, максимального времени задержки сигнала и максимального выходного напряжения зависят от модификации ИМС. Подробную информацию обо всех цифровых изоляторах, выпускаемых

компанией Analog Devices, можно найти в [1]. Конструкция изолятора iCoupler показана на рис. 1, а функциональная схема одного канала – на рис. 2.

Как следует из функциональной схемы (рис. 2), входные импульсы сначала проходят через фильтр ВЧ-помех (Glitch Filter), сглаживающий выбросы напряжения входного сигнала длительностью меньше 2 нс, и подаются на вход первого формирователя импульсов (ФИ1) и далее через инвертор – на вход второго формирователя ФИ2. На выходах ФИ формируются импульсы длительностью 1 нс в моменты времени, соответствующие фронту сигнала на входах формирователей. Через элемент ИЛИ-НЕ выходные сигналы ФИ1 и ФИ2 подаются на входы запуска и установки в "0" одновибратора ОВ. Пока на входе установки в "0" низкий уровень сигнала, соответствующий наличию импульсов на выходах ФИ1 и ФИ2, на выходе ОВ формируется уровень логического нуля, а в момент окончания импульса на выходе любого

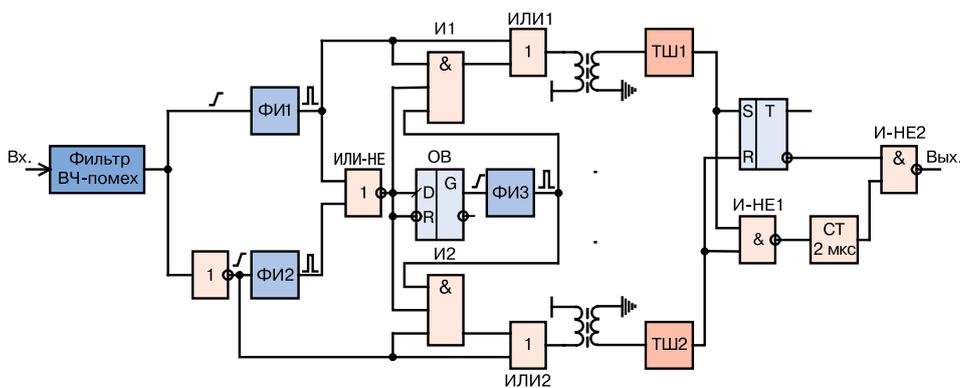


Рис. 2. Функциональная схема одного канала изолятора iCoupler

Таблица 2. Основные характеристики цифровых изоляторов со встроенными DC/DC-преобразователями

Тип ИМС	Число каналов	Скорость передачи данных, макс., Мбит/с	Прочность изоляции, кВ	Время задержки, макс., нс	Выходное напряжение, макс., В	Макс. температура среды, °С	Тип изолятора iCoupler	Тип корпуса
ADUM5000	0	–	2.5	–	3.0...5.5	105	ISOPwr	16-SOIC
ADUM5200	2	25	2.5	70	3.0...5.5	105	ISOPwr	16-SOIC
ADUM5201	2	25	2.5	70	3.0...5.5	105	ISOPwr	16-SOIC
ADUM5202	2	25	2.5	70	3.0...5.5	105	ISOPwr	16-SOIC
ADUM5240	2	1	2.5	70	2.7...5.5	105	ISOPwr	8-SOIC
ADUM5241	2	1	2.5	70	2.7...5.5	105	ISOPwr	8-SOIC
ADUM5242	2	1	2.5	70	2.7...5.5	105	ISOPwr	8-SOIC
ADUM5400	4	25	2.5	60	3.0...5.5	105	ISOPwr	16-SOIC
ADUM5401	4	25	2.5	60	3.0...5.5	105	ISOPwr	16-SOIC
ADUM5402	4	25	2.5	60	3.0...5.5	105	ISOPwr	16-SOIC
ADUM5403	4	25	2.5	60	3.0...5.5	105	ISOPwr	16-SOIC
ADUM5404	4	25	2.5	60	3.0...5.5	105	ISOPwr	16-SOIC

из формирователей осуществляется запуск одновибратора, формирующего импульс положительной полярности. Элементы И1 и И2, выходы которых подключены ко входам ИЛИ1 и ИЛИ2 предназначены для блокирования схемы от ложных срабатываний (например, из-за влияния импульсных помех).

На выходах логических элементов ИЛИ1 и ИЛИ2 формируются импульсы длительностью 1 нс, которые через импульсные трансформаторы Т1 и Т2 передаются во вторичную цепь. Амплитуда тока через обмотку трансформатора в момент импульса достигает 100 мА. Однако среднее значение тока при передаче сигналов значительно меньше и при скорости передачи сигналов 1 Мбит/с не превышает 50 мкА [4].

Таким образом, через трансформатор Т1 передается импульс, соответствующий моменту появления фронта входного сигнала, а через Т2 – моменту появления спада. При восстановлении передаваемого сигнала во вторичной цепи выходные сигналы трансформаторов для устранения ложных срабатываний пропускают через триггеры Шмитта (ТШ1 и ТШ2) и подают на входы RS-триггера. Сигнал с выхода ТШ1 устанавливает триггер в состояние "1", а с выхода ТШ2 – в состояние "0". На выходе триггера восстанавливаются форма и длительность импульсов входного сигнала.

Для автоматического перевода выхода изолятора в состояние логической "1" при отсутствии входного сигнала более 2 мкс предназначены элементы И-НЕ1, И-НЕ2 и сторожевой таймер СТ. Пока на выходах ТШ1 и ТШ2 формируются импульсы сторожевой таймер запускается каждым импульсом и на его выходе формируется уровень логической "1". Импульсы с инверсного выхода триггера через И-НЕ2 поступают на выход. Так как ко входу И-НЕ2 подключен инверсный выход триггера, то после инвертирования сигнала логическим элементом фаза выходного сигнала совпадает с фазой входного. Если входной сигнал не подается (или не изменяется) в течение времени, превышающем 2 мкс, на выходе СТ формируется уровень логического "0", а на выходе изолятора устанавливается уровень логической "1".

мируются импульсы сторожевой таймер запускается каждым импульсом и на его выходе формируется уровень логической "1". Импульсы с инверсного выхода триггера через И-НЕ2 поступают на выход. Так как ко входу И-НЕ2 подключен инверсный выход триггера, то после инвертирования сигнала логическим элементом фаза выходного сигнала совпадает с фазой входного. Если входной сигнал не подается (или не изменяется) в течение времени, превышающем 2 мкс, на выходе СТ формируется уровень логического "0", а на выходе изолятора устанавливается уровень логической "1".

Для развязки по цепям питания компания Analog Devices разработала изоляторы семейства iCoupler со встроенными DC/DC-преобразователями (табл. 2) с использованием оригинальной технологии *isoPower*. Максимальная выходная мощность такого преобразователя не превышает 50 мВт. Прочность изоляции не менее 2.5 кВ. Кроме того, в этих ИМС имеется два канала для передачи цифровых данных со скоростью до 10 Мбит/с [3, 4].

В двунаправленных цифровых изоляторах AD260 для развязки по цепям питания встроен трансформатор (рис. 3), который может работать в диапазоне частот 150...300 кГц и обеспечивает питание нагрузки во вторичной цепи мощностью до 1 Вт. Кроме того, в каждом из каналов этих изоляторов предусмотрен перевод выхода в третье состояние (TRISTATE), что расширяет функциональные возможности ИМС.

Пример использования трансформатора, встроенного в ИМС AD260, дан на рис. 4. Для построения двухтактного возбуждающего кас-

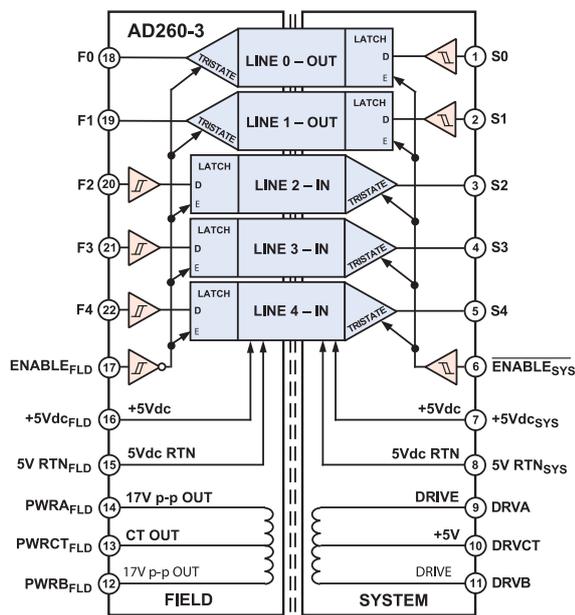


Рис. 3. Функциональная схема изолятора AD260-3

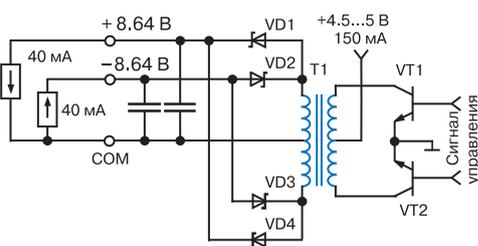


Рис. 4. Пример использования трансформатора, встроенного в ИМС AD260, для формирования напряжения питания

када (VT1 и VT2) можно использовать как дискретные элементы, так и драйверы усилителей мощности LM2524 или MAX253 [5].

Подключив к выходам выпрямителей линейные или импульсные стабилизаторы напряжения, можно сформировать стабилизированные напряжения ± 5 , 15 и 24 В или при использовании схем умножения напряжения (при напряжении питания возбуждающего каскада 5 В) больше 30 В. Различные варианты построения источников питания вторичных цепей приведены в [5].

Если мощность, потребляемая вторичной цепью, не превышает 50 мВт, целесообразно использовать цифровые изоляторы со встроенными DC/DC-преобразователями.

Чаще всего для обеспечения связи ПК с периферийными устройствами используется ин-

терфейс USB, который поддерживается всеми выпускаемыми коммерческими операционными системами. Шина USB (Universal Serial Bus – универсальная последовательная шина) появилась довольно давно. Версия первого утвержденного варианта стандарта появилась 15 января 1996 года. Разработка стандарта была инициирована фирмами Intel, DEC, IBM, NEC, Northern Telecom и Compaq.

Основная цель разработчиков стандарта – создание пользователям реальной возможности работы в режиме Plug&Play с периферийными устройствами. Это означало, что должна быть предусмотрена возможность подключения устройства к работающему компьютеру, его автоматическое распознавание сразу после подключения и установки соответствующих драйверов. Кроме этого, питание маломощных устройств желательно подавать с самой шины. Скорость передачи данных по шине должна быть достаточной для подавляющего большинства периферийных устройств. Попутно решается проблема нехватки ресурсов на внутренних шинах IBM PC совместимого компьютера – контроллер USB использует только одно прерывание независимо от числа подключенных к шине устройств.

Интерфейс позволяет подключить до 127 устройств к одному ПК или другому хосту и обеспечивает три скорости передачи данных: низкую (1.5 Мбит/с), полную (12 Мбит/с), и высокую (480 Мбит/с).

Для физической реализации интерфейса USB необходимо подключить четыре провода: два для общего провода и напряжения питания +5 В, а другие два, D+ и D-, – для создания витой пары, по которой будут передаваться данные (рис. 5) [7].

Напряжение +5 В используется для питания периферийных устройств. При этом мак-

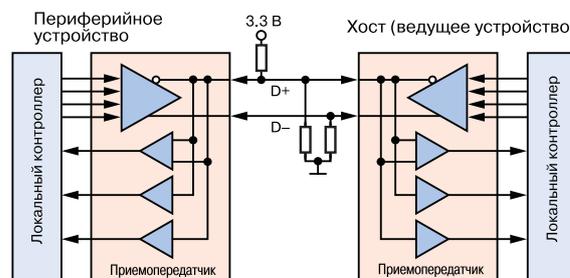


Рис. 5. Подключение шины данных интерфейса USB

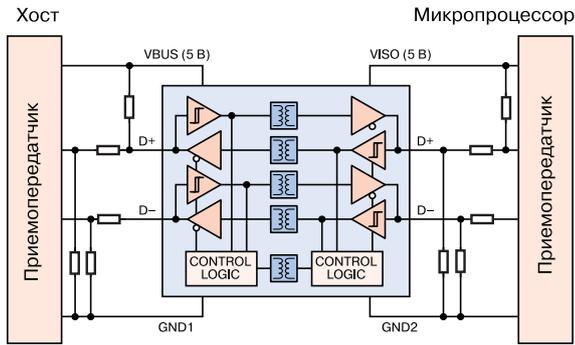


Рис. 6. Гальваническая развязка шины данных D+ и D- с помощью цифровых изоляторов

симальный ток потребления одним устройством не должен превышать 500 мА.

Для реализации гальванической развязки шины данных D+ и D- можно использовать цифровой изолятор, имеющий два канала передачи в прямом направлении и два канала – в обратном, как показано на рис. 6. В качестве изоляторов можно использовать ИМС ADuM3402, имеющую по два канала передачи в каждом направлении, или изоляторы AD260

и AD261. Кроме того, при использовании ИМС AD260 можно обеспечить питание периферийного устройства, используя встроенный в микросхему трансформатор.

Компания Analog Devices разработала и готовит к выпуску ИМС цифрового изолятора ADuM4160, предназначенную для реализации гальванической развязки интерфейсов USB, ее функциональная схема приведена на рис. 7. ИМС обеспечивает работу интерфейса при низкой и полной скоростях передачи информации.

Монитор ИМС ADuM4160 контролирует восходящий и нисходящий по шине потоки данных и передает их через изолятор по прямому или обратному каналу. Как только на шине обнаружены данные, монитор принимает решение об их передаче через изолятор в нужном направлении и включает на приемном конце соответствующие драйверы. Передача в одном направлении продолжается до тех пор, пока монитор не обнаружит маркер конца пакета EOP. В это время передача в другом направлении заблокирована. После обнаружения маркера EOP изолятор возвращается в исходное состояние и ожидает получения новых пакетов данных.

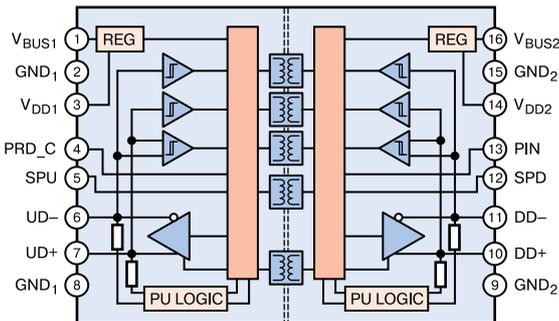


Рис. 7. Функциональная схема специализированного цифрового изолятора ADuM4160

Среди других особенностей ADuM4160 следует отметить возможность работы с источниками питания 5 или 3.3 В и горячего подключения/отключения периферийных устройств без применения внешних цепей защиты.

Изолятор ADuM4160 можно использовать в одной из трех конфигураций [7]:

1. Периферийный изолированный порт для передачи информации. Это базовая конфигурация. Пример организации такого порта приведен на рис. 8.

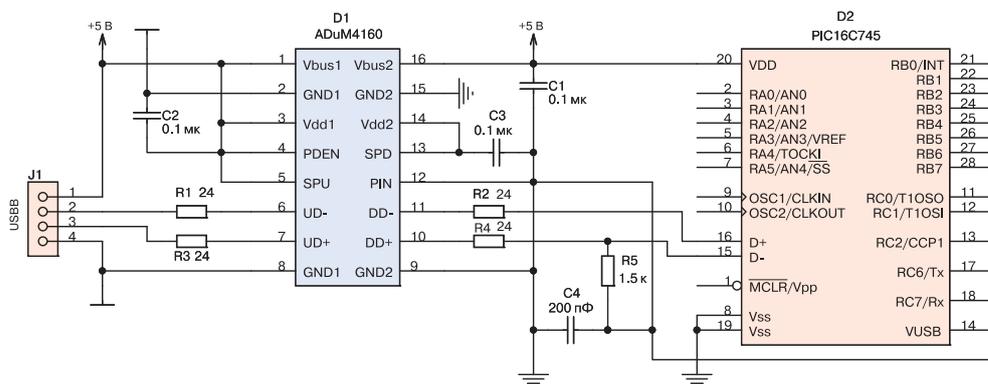


Рис. 8. Схема включения ИМС ADuM4160 в качестве периферийного изолированного порта

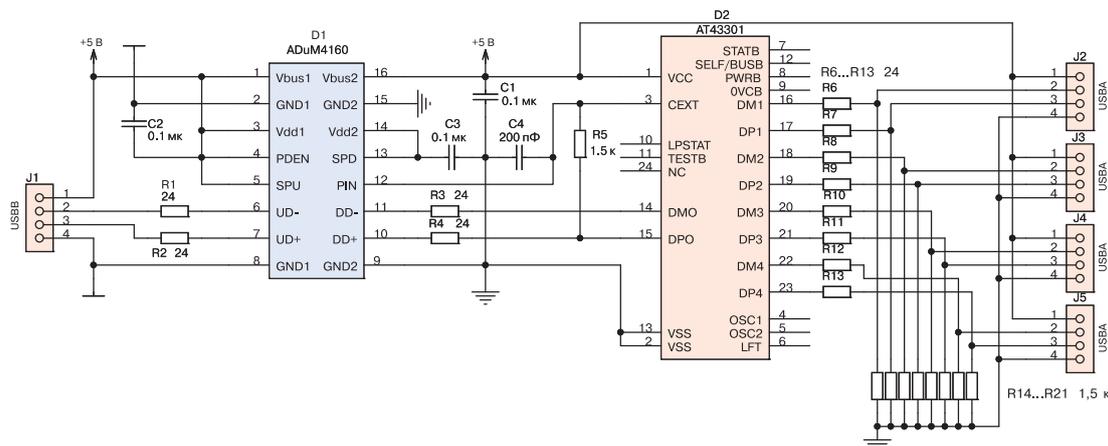


Рис. 9. Схема включения ИМС ADuM4160 в качестве хаба

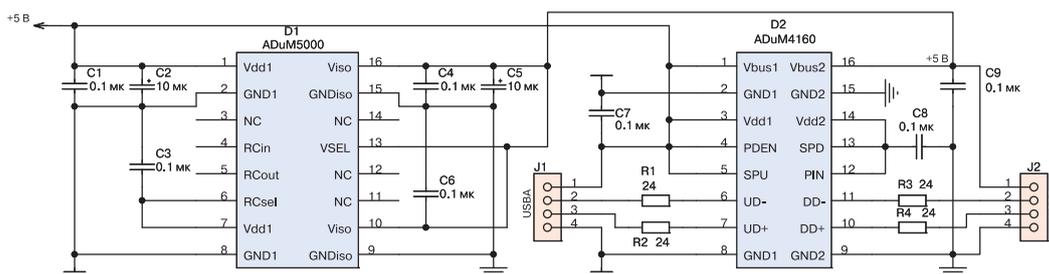


Рис. 10. Схема включения ИМС ADuM4160 в качестве приемопередатчика в изолированном кабеле USB

2. Концентратор или повторитель (хаб), через который соединяются отдельные периферийные устройства в топологии "звезда". Пример использования ADuM4160 в качестве хаба приведен на рис. 9.

3. Изолированный порт приема и передачи информации для изолированных USB-кабелей (рис. 10).

В схеме рис. 10 для питания ИМС ADuM4160 используется другой цифровой изолятор – ADuM5000 (табл. 2), который специально разработан для этих целей. Использование специализированного цифрового изолятора ADuM4160 позволяет чрезвычайно просто решить задачу создания изолированного USB-интерфейса.

Для построения других изолированных интерфейсов компания Analog Devices выпускает целый ряд микросхем. ИМС ADM2482E... ADM2487E, ADM2490E, ADM2491E, ADM2582E и ADM2587E предназначены для построения изолированных интерфейсов RS-485 как полу-, так и полнодуплексных [1]. Микросхемы ADUM2250 и ADUM2251 разработаны для реализации гальванически развязанного интерфейса I²C.

Более подробную информацию о цифровых изоляторах, предназначенных для построения гальванически развязанных интерфейсов, можно найти на web-сайте компании Analog Devices: www.analog.com.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.analog.com/en/subCat/0,2879,767%255F827%255F0%255F%255F0%255F,00.html>.
2. Макаренко В. Новые компоненты для ультразвуковых медицинских сканеров // ЭКИС – Киев: VD MAIS, 2007, № 12.
3. Analog Devices – iCoupler_Brochure.pdf.
4. Крейкаер Д. Изоляторы цифровых сигналов и цепей питания в одной ИМС // ЭКИС – Киев: VD MAIS, 2007, № 11.
5. http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD260.pdf.
6. http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD261.pdf.
7. Cantrell Mark. Digital Isolator Simplifies USB Isolation in Medical and Industrial Applications // Analog Dialogue 43-06, June (2009).