

ET TSN С НИЗКИМ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ И МАЛЫМ ВРЕМЕНЕМ ЗАДЕРЖКИ ДЛЯ СИСТЕМ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

В статье приведена краткая информация о приемопередатчике ADIN1300, выпускаемом компанией Analog Devices. Приемопередатчик поддерживает работу в сетях Ethernet, чувствительных к задержке, и обеспечивает скорость обмена информацией 10, 100 и 1000 Мбит/с в дуплексном режиме. Наличие встроенной системы диагностики целостности линии связи и определения места повреждения значительно расширяют его функциональные возможности. Малая потребляемая мощность и автоматический переход в энергосберегающий режим позволяют использовать его в системах Интернета вещей.

В. Макаренко

Эффективность работы промышленных систем управления зависит от стабильности коммуникации в режиме реального времени, а ИТ-системам в большинстве случаев требуется открытый доступ к данным. В этой связи компании обычно используют эти сети по отдельности. Но внедрение цифровых технологий набирает обороты, и на смену такому разделению должны прийти открытые комплексные инфраструктуры, позволяющие наладить гибкое производство. TSN (Time-Sensitive Networking – синхронизируемые по времени или чувствительные к времени сети) представляет собой стандартный протокол в рамках IEEE 802.1, используя который можно развернуть средства обеспечения качества обслуживания (QoS – Quality of Service). Кроме того, он гарантирует соответствие характеристик сети растущим требованиям Ethernet. TSN включает в себя ряд отдельных стандартов, которые относятся исключительно к уровню коммуникации 2 в модели OSI. Это означает, что даже при внедрении TSN пользовательский интерфейс остается неизменным [1].

Промышленные Ethernet-системы требуют высокой надежности и повторяемости результатов. Во многих приложениях автоматизации производства Ethernet заменяет устаревшие последовательные магистральные шины благодаря более высокой

LOW POWER, LOW LATENCY INDUSTRIAL TSN ETHERNET TRANSCEIVER FOR IOT

Abstract – This article summarizes the ADIN1300 transceiver manufactured by Analog Devices. The transceiver supports operation in delay-sensitive Ethernet networks and provides a data exchange rate of 10, 100 and 1000 Mbps in duplex mode. The presence of an integrated system for diagnosing the integrity of the communication line and determining the location of damage significantly extends its functionality. Low power consumption and automatic transition to energy-saving mode allow you to use it in the IoT.

V. Makarenko

пропускной способности и возможности связи с локальными сетями предприятий.

Но Ethernet изначально не имел эквивалентного магистральным шинам протокола передачи данных. Чтобы преодолеть это ограничение, каждый из крупных производителей электронных компонентов и систем разрабатывал свои собственные протоколы Ethernet, которые впоследствии получили широкое распространение в открытых стандартах, таких как PROFINET, EtherNet/IP, EtherCAT, ModbusTCP и ряде других. В некоторых из этих стандартов протоколы полностью совместимы со стандартными сетями TCP/IP Ethernet. В другом канале передачи данных изменен для достижения необходимой производительности. Хотя эти протоколы могут сосуществовать со стандартным Ethernet, они не могут взаимодействовать друг с другом непосредственно.

Одна из важнейших задач при разработке продуктов, которые должны поддерживать промышленный Ethernet, заключается в выборе эталонного стандарта, который совместим с другими стандартами. Еще один важный фактор, который следует учитывать, это возможность поддержки Ethernet реального времени TSN, стандарт IEEE802.1 TSN.

TSN – это незавершенный протокол (базис для других протоколов, аналогично TCP-протоколу), ко-

торый определяет резервы и ограничения полосы пропускания для обеспечения передачи данных в реальном времени, позволяет использовать средства обеспечения качества обслуживания, снижать задержку времени передачи данных и обеспечивать несколько каналов связи в реальном времени по одному кабелю.

ИМС ADI Industrial Ethernet ADIN1300, совместно с семейством процессоров и коммутаторов Fido®, поддерживают все основные промышленные Ethernet протоколы и обеспечивают гибкость, простоту использования и поддержку протоколов, что делает их перспективными для использования в современных промышленных сетях.

Основные параметры ADIN1300:

- поддержка стандартов 10BASE-T_e/100BASE-TX/1000BASE-T (IEEE® 802.3™ совместимый)
- интерфейсы MAC MII, RMII и RGMII
 - ◆ 1000BASE-T RGMII задержка передачи <68 нс, прием <226 нс
 - ◆ 100BASE-TX MII задержка передачи <52 нс, прием <248 нс
- Стандарты испытаний на ЭМС
 - ◆ МЭК 61000-4-5 импульсный (± 4 кВ)
 - ◆ IEC 61000-4-4 быстрый электрический переходный процесс (EFT) (± 4 кВ)
 - ◆ IEC 61000-4-2 ESD (контактный разряд ± 6 кВ)
 - ◆ МЭК 61000-4-6 устойчивость к кондуктивным помехам, наведенным радиочастотными электромагнитными полями (10 В)
 - ◆ EN55032 эмиссия излучения (класс А)
 - ◆ EN55032 кондуктивные выбросы (класс А)
- неуправляемая конфигурация с использованием многоуровневого связывания контактов
- поддержка EEE (Energy Efficient Ethernet) в соответствии с IEEE 802.3az
- обнаружения начала пакетов для поддержки меток времени IEEE 1588
- частота кварцевого генератора 25 МГц (50 МГц для RMII)
- частота выходного сигнала синхронизации 25/125 МГц
- поддержка устойчивой передачи данных при длине кабеля до 150 метров на скорости 1 Гбит/с и до 180 метров при скорости 100 Мбит/с или 10 Мбит/с
- низкое энергопотребление
 - ◆ 330 мВт для 1000BASE-T
 - ◆ 140 мВт для 100BASE-TX
- напряжение питания 3.3/2.5/1.8 В (MAC интерфейс питания VDDIO)

- интегрированная система мониторинга питания с POR (Power-On Reset – начальный сброс при включении питания)

- диапазон рабочих температур -40...105 °С
- корпус LFCSP-40, габаритные размеры 6×6 мм

ИМС предназначена для систем промышленной автоматизации, контроля технологических процессов, робототехники, автоматизации зданий, промышленного Интернета вещей с использованием сетей, чувствительных ко времени (TSN).

Структура ADIN1300 приведена на рис. 1. ИМС объединяет ядро физического уровня Ethernet с эффективным управлением энергопотреблением (PHY) всех аналоговых схем, буферов тактовых импульсов входа и выхода, интерфейсов управления и регистров, а также интерфейса MAC и логики управления для осуществления сброса, и конфигурации выводов.

Устройство работает с двумя источниками питания – 0.9 и 3.3 В при условии использования интерфейса MAC 3.3 В. Для максимальной гибкости при проектировании системного уровня отдельный источник питания, подключаемый к выводу VDDIO, позволяет настраивать уровни сигналов ввода/вывода управляющих данных (MDIO) и интерфейса MAC независимо от других узлов ADIN1300, что позволяет работать при напряжении питания 1.8, 2.5 или 3.3 В. При включении питания ADIN1300 удерживается в режиме аппаратного сброса до тех пор, пока напряжение каждого из источников не достигнет своего порогового (номинального) значения. Защита от отключения обеспечивается мониторингом источников питания. При падении напряжения одного или нескольких источников ниже минимального порога (узлы POWER MONITORING и DIAGNOSTICS) переходит в режим аппаратного сброса и удерживается в нем до тех пор, пока напряжение питания не вернется в допустимые пределы и не будет выполнен сброс, как при включении питания (POR).

Интерфейс управления MII (также называемый интерфейсом MDIO) обеспечивает двухпроводной последовательный интерфейс между хост-процессором и ADIN1300, предоставляя доступ к информации и состоянию регистров управления. Интерфейс совместим со структурами кадра управления классов 22 и 45 стандарта IEEE 802.3.

Узел обработки аналоговых сигналов (AFE) содержит усилитель с программируемым коэффициентом усиления (PGA) и аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Программируемый усилитель

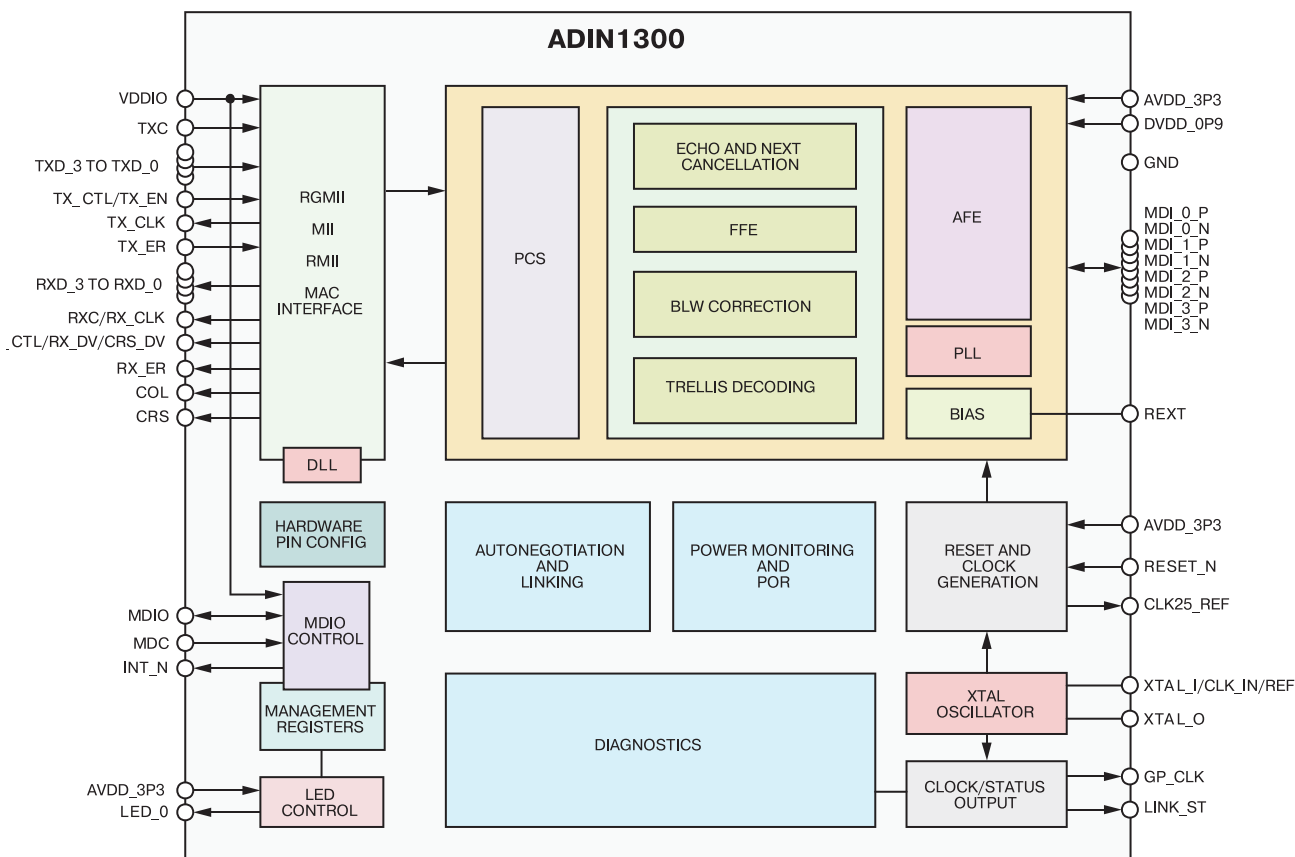


Рис. 1. Структура однопортового трансивера Ethernet ADIN1300

формирует необходимый уровень сигнала на входе АЦП, который преобразует принимаемый сигнал в цифровой код.

Узел подключения к физической среде (PMA – Physical Medium Attachment) содержит эквалайзер с прямой связью (FFE – Feedforward Equalizer), который снижает межсимвольную интерференцию (ISI – Intersymbol Interference). Из-за того, что пары скрученных проводов в кабеле Ethernet не экранированы друг от друга, сигналы, передаваемые по одной паре, вызывают искажение формы сигналов, пере-

даваемых по другой паре. Если нарушилось согласование линии передачи с входным и выходным сопротивлением устройств, подключенных к противоположным концам линии, возникают отражения, которые также приводят к искажению формы принимаемых сигналов (смещению базовой линии). Для уменьшения таких искажений используется узел ECHO AND NEXT CANCELLER.

Более полное представление о структуре этих узлов дает рис. 2.

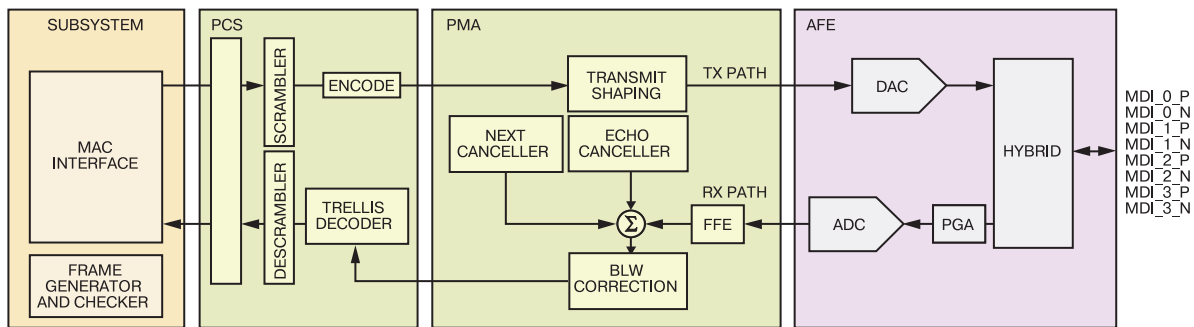


Рис. 2. Упрощенная функциональная схема канала приема/передачи

Работа ИМС в режиме передачи информации

В режиме 1000BASE-T ядро PHY кодирует 8-битные данные для передачи в PMA в виде 4-мерного пятиуровневого сигнала амплитудной импульсной модуляции (АИМ) по четырем парам проводов.

В режиме 100BASE-TX 4-битные данные сначала кодируются в 5-битный последовательный код, передаваемый со скоростью 125 Мбит/с. Затем сформированный код поступает в скремблер, где он кодируется в трехуровневый сигнал (MLT3), который и подается на вход узла PMA.

В режиме 10BASE-Te PHY передает и принимает данные в манчестерском коде.

Работа ИМС в режиме приема информации

В режиме 1000BASE-T PMA декодирует входящие сигналы АИМ в 8-битные последовательности. После выполнения компенсации смещения базовой линии и межсимвольной интерференции PMA выводит данные на входы интерфейса MAC.

В режиме 100BASE-TX PMA декодирует входящую 3-уровневую последовательность MLT3 в 4-битные данные после дескремблирования и преобразования 5-битного кода в 4-битный.

В режиме 10BASE-Te ядро декодирует принятый манчестерский сигнал.

Интерфейс RGMII поддерживает скорости передачи данных 1 Гбит/с, 100 и 10 Мбит/с. В режиме приема ADIN1300 генерирует сигнал RXC 125, 25 или 2.5 МГц, сигнал для синхронизации сигналов на выводах RXD_x и принимает данные в режимах 1000BASE-T, 100BASE-TX или 10BASE-Te.

Интерфейс MII поддерживает скорости передачи данных 100 и 10 Мбит/с. В режиме приема ADIN1300 генерирует сигнал RX_CLK 25 или 2.5 МГц для синхронизации.

Вывод RXD_x принимает данные в режимах 100BASE-TX или 10BASE-Te, соответственно. Сигнал на выводе RX_DV указывает MAC, что на приемном выводе RXD_x имеются действительные данные. На вход RIN_ER подается высокий уровень, если в кадре была обнаружена ошибка. Сигнал на выводе CRS указывает на наличие несущей для MAC, а на выводе COL – о наличии коллизий.

Интерфейс RMII поддерживает скорости передачи данных 10 и 100 Мбит/с. Один эталонный тактовый сигнал 50 МГц (REF_CLK) поступает из узла MAC в PHY (или от внешнего источника) на вывод XTAL_I / CLK_IN / REF_CLK в режимах передачи и приема.

Автосогласование

ADIN1300 поддерживает функцию автосогласования в соответствии с разделом 28 стандарта IEEE 802.3, предоставляя механизм обмена информацией между PHY, чтобы позволить устройствам, которые соединяются по сети, согласовать общий режим работы на самой высокой поддерживаемой скорости. В процессе автосогласования PHY обмениваются информацией о своих параметрах. В результате согласования обеспечивается одинаковая настройка обоих устройств и максимально возможная скорость обмена информацией между ними. При необходимости режим автосогласования может быть отключен.

Главный/Подчиненный (Master/Slave)

Для каналов 1000BASE-T автосогласование также используется для установки статуса главного или подчиненного устройства. PHY может быть сконфигурирован так, чтобы отдавать предпочтение главному или подчиненному. Это реализуется изменением состояния регистра MSTR_SLV_CONTROL. Если пользователь решает вручную изменить эту конфигурацию, он должен настроить каждое из устройств по-разному.

Интерфейс управления

Интерфейс управления MII это двухпроводной последовательный интерфейс между хост-процессором или MAC и ADIN1300, который предоставляет доступ к информации и состоянию регистров управления ядром PHY.

Интерфейс MII состоит из следующих узлов:

- MDC, шина тактовых сигналов
- MDIO, двунаправленная шина передачи данных
- PHYAD_0 ... PHYAD_3, выводы настройки адресов устройств для каждого PHY
- INT_N прерывание.

Подробная информация о структуре кадров управления и порядке программирования интерфейса приведена в [2].

MDI-интерфейс

MDI соединяет ADIN1300 с сетью Ethernet через трансформатор, как показано на рис. 3. В режиме 1000BASE-T передача и прием происходят одновременно по каждой паре MDI_x_x. В режимах 10BASE-Te и 100BASE-TX MDI_0_x используется для передачи при работе в конфигурации MDI и для приема при работе в конфигурации MDIX.

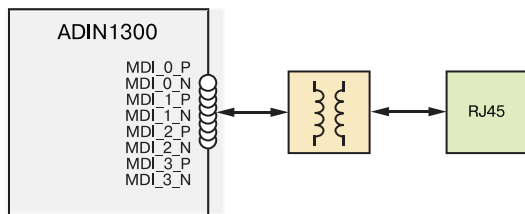


Рис. 3. Схема соединения ADIN1300 с сетью Ethernet

Режим выключения (POWER-DOWN MODES)

ADIN1300 поддерживает несколько режимов выключения: аппаратный, программный и EEE LPI.

ADIN1300 переходит в режим аппаратного отключения, когда на выводе RESET_N установлен и удерживается низкий потенциал. В этом режиме отключены все аналоговые и цифровые цепи, модуль управления и часы реального времени. Регистры интерфейса управления недоступны в этом режиме. Выходы интерфейса MAC находятся в третьем состоянии. Мощность, потребляемая от источника питания в таком режиме, минимальна.

В режиме программного выключения ADIN1300 можно настроить доступ к интерфейсу управления. В этом режиме аналоговые и цифровые схемы находятся в состоянии низкого энергопотребления. Как правило, модуль управления (CMU) отключен, большинство тактовых сигналов отключено, а частота тактовых сигналов остальных цифровых схем равна 25 МГц. Любой сигнал на выводах MDI (MDI_x_x) игнорируется. Регистры интерфейса управления доступны, и устройство можно настроить с помощью программного обеспечения. Если ADIN1300 настроен на вывод тактовой частоты 125 МГц на вывод GP_CLK, то CMU включен, и мощность, потребляемая в этом режиме выше, чем при аппаратном выключении.

В режиме отключения питания ADIN1300 контролирует наличие в линии связи сигнала. Как правило, ADIN1300 находится в режиме отключения питания, когда кабель не подключен. При включенном режиме обнаружения сигнала, ИМС выключается через несколько секунд молчания (отсутствия сигнала) в линии. ADIN1300 контролирует линию на предмет наличия сигнала и посылает в нее импульс связи один раз в секунду. При появлении сигнала в линии связи ИМС выходит из режима отключения. Использование такого режима позволяет значительно снизить среднее потребление энергии.

Светодиод состояния, подключаемый к выводу LED_0, может использоваться для индикации скорости обмена информацией, состояния канала и ра-

боты в дуплексном режиме. Вывод LED_0a может быть настроен на активный высокий или низкий уровень. Рекомендуется использовать низкий уровень, так как к выводу LED_0 подключен сток транзистора и для включения светодиода достаточно подключить последовательно с ним токоограничивающий резистор. Максимальный ток через вывод LED_0 не должен превышать 8 мА.

По умолчанию светодиод начинает светиться при установлении связи и мигает при наличии активности. Алгоритм работы светодиода по умолчанию можно изменить, внося изменения в регистр управления светодиодом [2].

Режим генерации и самоконтроля

ADIN1300 можно настроить для формирования, передачи и проверки принятых кадров. Генератор кадров и средство проверки могут использоваться либо совместно, либо независимо. Если на удаленном конце линии связи включить другую ИМС ADIN1300, то образуется петля для проверки работы ADIN1300 (рис. 4). Генератор кадров (FRAME GENERATOR) верхней ИМС на рис. 4 формирует тестовые кадры и передает их в линию, а нижняя ИМС принимает кадры из линии и вновь переправляет их в линию, замыкая петлю обратной связи. PHY 1 принимает отправленные ему кадры и проверяет их целостность в узле проверки кадров (FRAME CHECKER).

Диагностика кабелей линии связи

ADIN1300 имеет встроенные средства диагностики кабелей, которые позволяют определять повреждение кабеля или ухудшение его характеристик, что особенно существенно при скорости передачи данных 1 Гбит/с. Каждый раз, когда устанавливается соединение в режиме 100BASE-TX или 1000BASE-T, ADIN1300 оценивает длину кабеля на основе обработки сигнала и записывает эти данные в регистр оценки длины кабеля. При работе на скорости 10 Мбит/с этот режим недоступен.

Когда соединение установлено, качество сигнала в каждой паре записывается в регистр ошибок. Если нарушена целостность линии связи, ADIN1300 может работать в режиме рефлектометрии (TDR – Timeout Detection and Recovery). Для этого в сеть передается импульс и ADIN1300 анализирует отраженный сигнал. Это дает возможность определить обрыв кабеля, короткое замыкание, замыкание с соседней парой в кабеле, расстояние до ближайшей точки с дефектом или определить, что линия связи в порядке. Для выполнения этой операции необходимо отключить кабель на другом конце линии связи или перевести удаленный терминал в режим отключения.

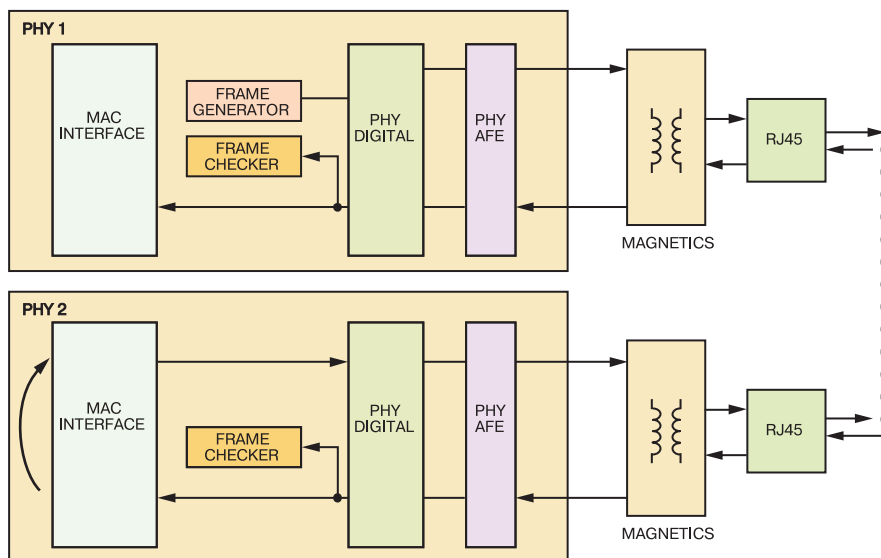


Рис. 4. Соединение двух ИМС ADIN1300 для самотестирования

Обнаружение неисправности кабеля автоматически запускается на всех четырех парах и анализируются все возможные комбинации для каждой пары.

ADIN1300 поддерживает режим работы “расширенное обнаружение неисправности канала связи”. Принятый сигнал контролируется, и, если значительное число принятых символов не соответствуют ожидаемым, формируется сигнал отсутствия связи. Если включен этот режим, ADIN1300 реагирует на обрыв кабеля в течение 10 мкс и формирует сигнал отсутствия соединения на выводе LINK_ST. Если режим “расширенное обнаружение неисправности” отключен, то в соответствии с требованиями стандарта это может занять более 350 мс или 750 мс для 100BASE-TX и 1000BASE-T (для 1000BASE-T это время меняется в зависимости от того, является ли PHY ведущим или

ведомым устройством).

Для настройки и проверки работоспособности компания Analog Devices выпускает отладочную плату EVAL-ADIN1300FMCZ (рис. 5).

Основные особенности платы [3]:

- разъем FMC для интерфейса MII, сигналов MDIO и сигналов состояния
- наличие подстроечных конфигурационных резисторов
- один внешний источник питания 5 В.

Плата подключается к ПК через USB. Программное обеспечение Ethernet PHY и GUI [4] работает под управлением Windows 7, 8 и 10. На рис. 6 показан вид главного окна программы Ethernet PHY.

EVAL-ADIN1300FMCZ позволяет упростить оценку основных характеристик ADIN1300. Плата работает от

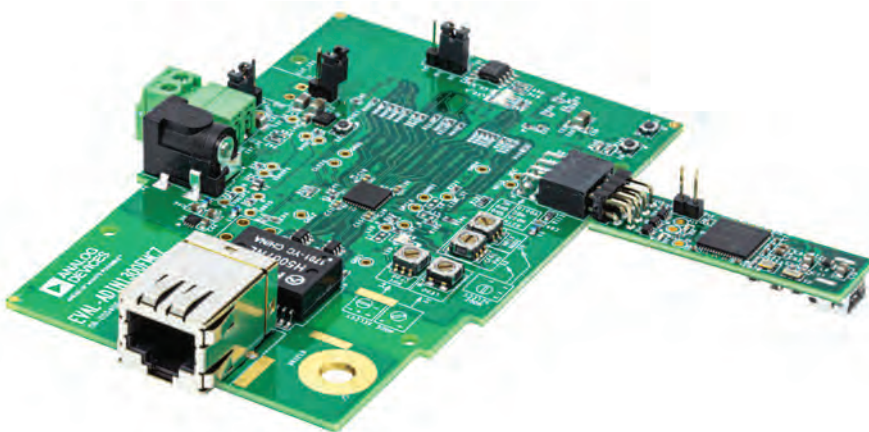


Рис. 5. Внешний вид отладочной платы EVAL-ADIN1300FMCZ

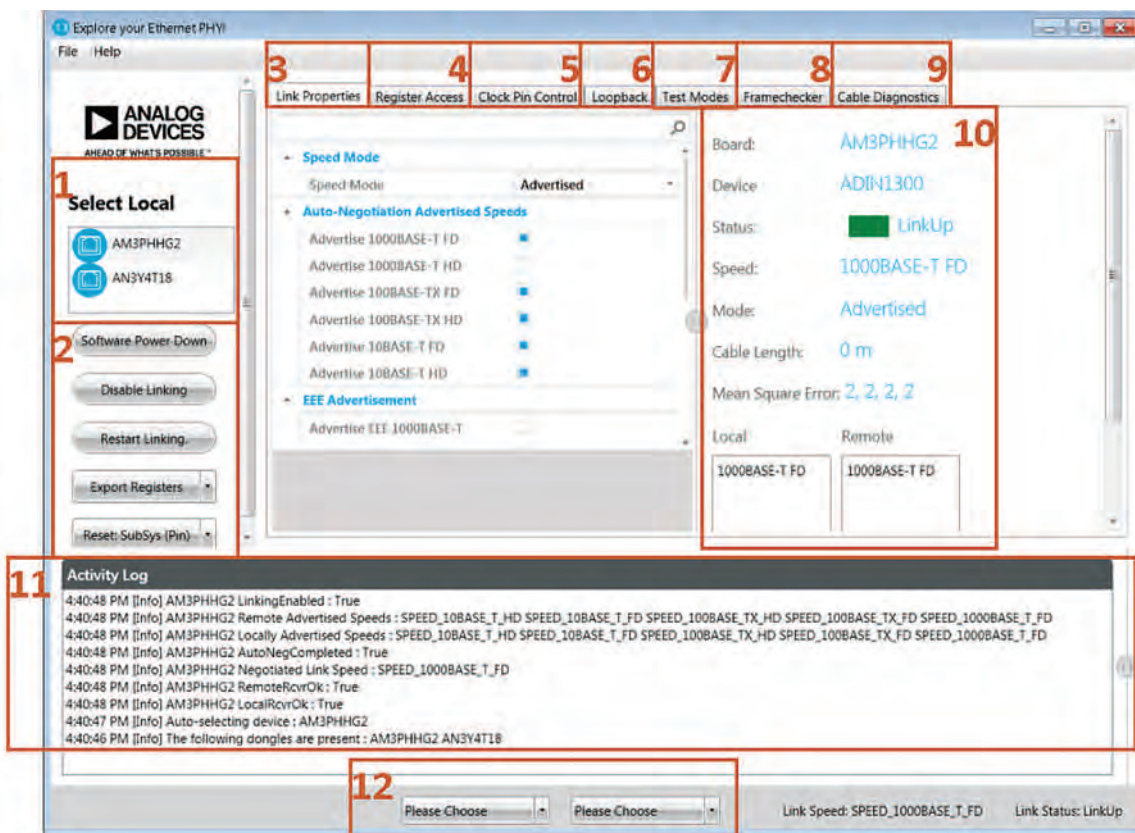


Рис. 6. Главное окно программы Ethernet PHY

Функции программы Ethernet PHY

№ окна	Функция, выполняемая программой
1.	Вкладка "Локальные подключения". Показывает подключенное оборудование, отображает название платы (соответствует ключу интерфейса MDIO, подключенному к EVAL-ADIN1300FMCZ).
2.	Кнопки меню.
3.	Вкладка "Свойства соединения". Эта вкладка позволяет изменять конфигурацию PHY.
4.	Вкладка доступа. Позволяет пользователю считывать из или записывать данные в регистры устройства.
5.	Вкладка управления частотой. Управляет тактовой частотой на выводе GP_CLK, и включает сигнал на контакте CLK25_REF.
6.	Управление различными режимами обратной связи.
7.	Вкладка "Режимы тестирования". Предоставляет доступ к различным режимам тестирования на устройстве.
8.	Вкладка "Framechecker". Настраивает и включает генератор кадров и проверку кадров.
9.	Вкладка "Диагностика кабелей". Обеспечивает доступ к функциям диагностики кабеля, подключенного к устройству.
10.	Информационное окно активности. Это окно предоставляет обзор деятельности PHY, считывает и записывает данные, сформированные устройством.
11.	Окно журнала активности. В окне отображаются данные чтения, записи и статуса активности для выбранного PHY.
12.	Выпадающие меню для загрузки файла сценария. Эти два выпадающих меню позволяют пользователю загружать файлы сценариев с последовательностью команд записи для загрузки на устройство.

одного внешнего источника питания 5 В, который подключается либо через разъем EXT_5V, либо через штекер P4, и формирует все напряжения, необходимые для питания ADIN1300 – AVDD3P3, VDD0P и VDDIO.

На рис. 6 прямоугольниками с номерами помечены окна, реализующие те или иные функции в соответствии с таблицей.

Как следует из таблицы, ПО Ethernet PHY предоставляет пользователю доступ ко всем функциям ИМС ADIN1300.

Более полную информацию о параметрах и программировании ADIN1300 можно найти в [2...4] и на сайте компании Analog Devices.

ЛИТЕРАТУРА

1. О пути к будущему: PROFINET и OPC UA на основе TSN / <https://new.siemens.com/ru/ru/produkty/avtomatizacia/promyshlennaya-kommunikaciya/ethernet/tsn.html>.
2. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADIN1300.pdf>.
3. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/user-guides/EVAL-ADIN1300FMCZ-UG-1635.pdf>.
4. https://www.analog.com/media/en/evaluation-boards-kits/evaluation-software/ADI_EthernetPHY_Installer_v1p0.exe.

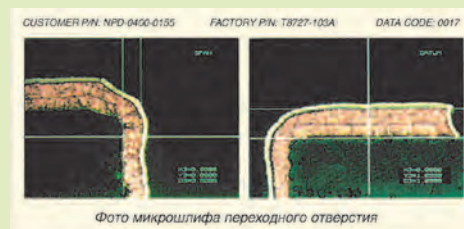


ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ

■ производство

На поставляемые фирмой VD MAIS печатные платы предоставляется документация по выходному контролю:

- сертификат фирмы VD MAIS
- сертификат качества печатной платы от изготовителя
- протокол контроля основных параметров печатной платы
- протокол контроля внутренней структуры печатной платы с микрошлифом



- протокол контроля паяемости
- протокол электрического тестирования



тел.: (044) 201-0202, (057) 719-6718, (0562) 319-128, (062) 385-4947, (095) 283-8246, (048) 734-1954, (095) 274-6897, info@vdmajs.ua, www.vdmajs.ua

VD MAIS
PCB Professionally

С Новым Годом уважаемые подписчики и читатели нашего журнала!

В 2020 году журнал “Электронные компоненты и системы” будет выпускаться в электронном виде.

Для оформления бесплатной подписки достаточно прислать по электронной почте на адрес ekis@vdmajs.ua заявку с указанием: Фамилии Имени Отчества, адреса электронной почты, названия организации, в которой Вы работаете, и города, в котором она располагается.

Подписчики журнала предыдущих лет остаются в списках и будут получать рассылку журнала автоматически.