

ПРОГРАММИРУЕМЫЙ ТРАНСИМПЕДАНСНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ С ЦИФРОВЫМ ВЫХОДОМ

PROGRAMMABLE TRANSIMPEDANCE AMPLIFIER WITH DIGITAL OUTPUT

В статье приведена краткая информация о микромодуле ADA4355, содержащем трансимпедансный усилитель с изменяемым коэффициентом усиления и 14-разрядный АЦП. Передача данных осуществляется через высокоскоростной последовательный интерфейс LVDS. Управление модулем осуществляется через интерфейс SPI. Высокая частота дискретизации и широкий динамический диапазон позволяют использовать микромодуль в системах Time of Flight с высоким пространственным разрешением.

Abstract - This article provides a summary of the ADA4355 micromodule, which contains a variable gain transimpedance amplifier and a 14-bit ADC. Data transfer is via a high-speed serial LVDS interface. The module is controlled via the SPI interface. The high sampling rate and wide dynamic range allow the micromodule to be used in Time of Flight systems with high spatial resolution.

В. Макаренко

V. Makarenko

Высокопроизводительный μ Module® с токовым входом ADA4355 содержит все необходимые активные и пассивные компоненты для реализации полного решения для сбора данных от датчиков с токовым выходом [1].

Высокоскоростной трансимпедансный усилитель (ТИУ) устройства поддерживает работу с длительность входных импульсов 10 нс, что обеспечивает высокое пространственное разрешение для измерений в системах Time of Flight (ToF).

Кроме того, в ADA4355 предусмотрена установка трех различных коэффициентов усиления для реализации максимального динамического диапазона. Внутренний аналоговый фильтр нижних частот (ФНЧ) ограничивает полосу пропускания устройства частотой 100 МГц для минимизации уровня шума.

Для сигналов с большей длительностью импульсов частота среза встроенного фильтра может быть

установлена равной 1 МГц. ADA4355 обеспечивает малое время восстановления при перегрузке по входному току.

Частота дискретизации встроенного 14-разрядного АЦП равна 125 МГц. Вывод цифровых данных осуществляется через двухканальный последовательный интерфейс (LVDS) со скоростью передачи данных до 1 Гбит/с.

Усилитель предназначен для преобразования тока в напряжение и применения в химических анализаторах, масс-спектрометрах, в системах волоконно-оптического зондирования, оптических динамических рефлектометрах, оптических усилителях, реконфигурируемых оптических мультиплексах ввода и вывода.

Функциональная схема ADA4355 приведена на рис. 1.

Трансимпедансный усилитель (ТИУ) позволяет установить три различных коэффициента усиления,

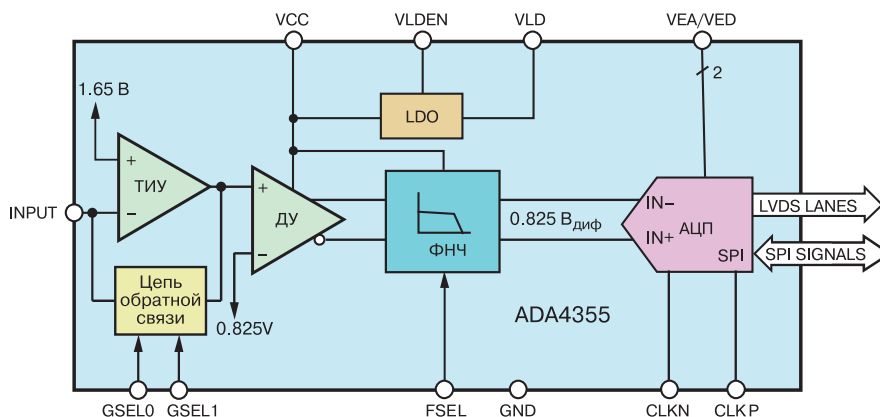


Рис. 1. Функциональная схема трансимпедансного усилителя ADA4355

что достигается путем изменения сопротивления резистора, включенного в цепь обратной связи. Коммутация резисторов сопротивлением 2, 20 и 200 кОм осуществляется путем подачи кода управления на входы GSEL0 и GSEL1. В табл. 1 приведено значение кода на входах управления и соответствующее ему значение сопротивления обратной связи.

Встроенная схема защиты от перегрузки по току

Таблица 1. Таблица истинности для GSEL1 и GSEL0

GSEL1	GSEL0	Сопротивление Rz, кОм
0	1	2
1	0	20
0	0	200
1	1	резерв

позволяет усилителю работать при превышение входным током полной шкалы, обеспечивая при этом быстрое восстановление после перегрузки. Кроме того, защита по току перегрузки позволяет поддерживать уровни аналогового входного тока до 40 мА без повреждения ТИУ. На неинвертирующий вход ТИУ подается напряжение смещения 1.65 В (рис. 1).

На рис. 2 показана передаточная функция входных усилителей ADA4355.

Поскольку фотодетектор обеспечивает ток только

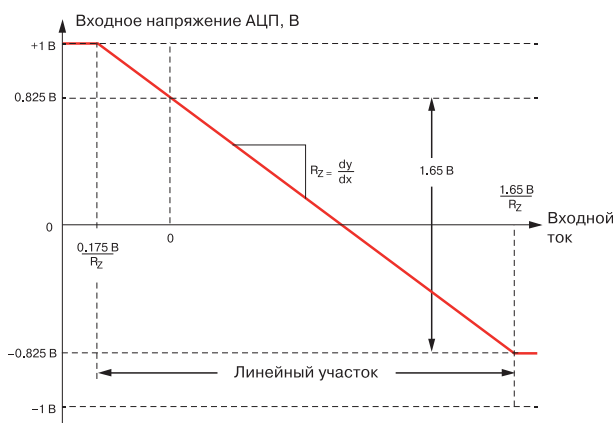


Рис. 2. Передаточная функция входных усилителей ADA4355

ко в одном направлении, передаточная функция смещена на 0.825 В, чтобы максимально расширить ее линейный участок. Когда входной ток равен 0 мА, на дифференциальный вход АЦП подается

напряжение 0.825 В. По мере увеличения входного тока напряжение на выходе ТИУ уменьшается. Когда входной ток достигает величины $(1.65 \text{ В})/R_Z$, где R_Z – сопротивление резистора в цепи обратной связи, выходное напряжение ТИУ равно нулю, а на выходе дифференциального усилителя (ДУ) напряжение равно -0.825 В. Положительный входной ток полной шкалы составляет $(1.65 \text{ В})/R_Z$, и возможно измерение отрицательного входного тока. до величины $(-0.175 \text{ В})/R_Z$.

Частота среза ФНЧ переключается подачей сигнала управления на вход FSEL. При уровне "0" на этом входе частота среза ФНЧ равна 100 МГц, а при уровне "1" – 1 МГц.

Для синхронизации с внешним источником тактового сигнала в ADA4355 предусмотрены вход внешнего сигнала тактовой частоты, который может принимать сигналы КМОП, LVDS, низковольтной логики с положительной эмиттерной связью (LVPECL) или синусоидальный сигнал. Важным фактором, независимо от типа используемого сигнала, является дрожание фронта источника синхросигнала. Поэтому в качестве источника тактовых сигналов необходимо использовать задающие генераторы с малым джиттером.

На рис. 3 показаны два варианта схем согласования сигналов внешнего тактового генератора со входными уровнями ADA4355 для сигналов с частотой до 1 ГГц. Сигнал внешнего тактового генератора с низким уровнем джиттера преобразуется из несимметричного сигнала в дифференциальный с помощью ВЧ-трансформатора или балансирующего трансформатора (схемы согласования приведены в [1]) для работы в диапазоне частот до 200 МГц.

Если источник сигнала тактовой синхронизации ИМС с несимметричным КМОП-сигналом 1.8 В на выходе рекомендуется схема согласования, приведенная на рис. 4.

ADA4355 содержит входной делитель тактовой частоты, коэффициент деления которого может устанавливаться равным от 1 до 8. При включении питания коэффициент деления по умолчанию устанавливается равным единице. Для изменения коэффициента деления нужно внести соответствующую запись в регистр SPI 0x0B.

В АЦП используется оба фронта сигнала тактовой частоты для формирования различных внутренних сигналов синхронизации и, как следствие, это может приводить к чувствительности к длительности импульсов тактового сигнала.

Встроенный делитель частоты на два формирует

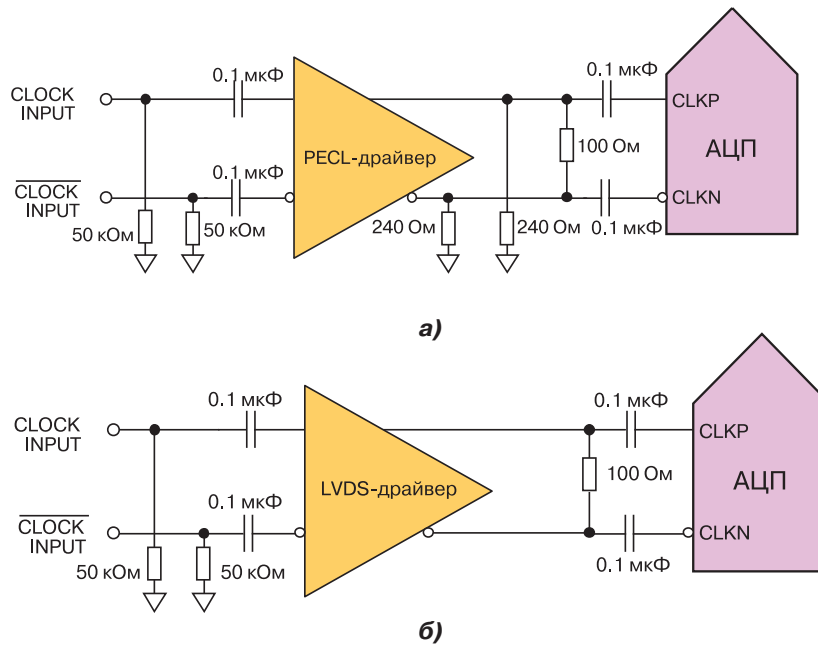


Рис. 3. Схемы согласования логических сигналов LVPECL (а) и LVDS (б) со входами синхронизации АЦП

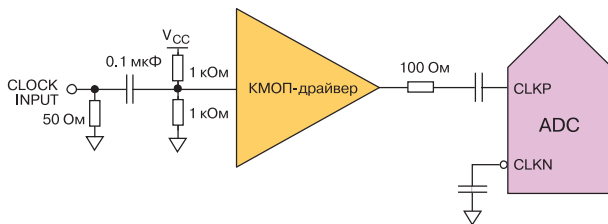


Рис. 4. Схема согласования КМОП-сигнала 1.8 В со входами синхронизации АЦП

на выходе сигнал со скажностью 2, что позволяет подавать на входы синхронизации импульсы с произвольной скажностью. Этот делитель можно отключить, внося соответствующую запись в регистр SPI 0x09.

Высокоскоростные АЦП с высоким разрешением чувствительны к качеству входного тактового сигнала, а именно к его джиттеру. Следующее уравнение показывает, как отношение сигнал/шум (SNR) ухудшается при заданной входной частоте (f_A) только из-за дрожания апертуры (t_j):

В этом уравнении среднеквадратичный джиттер

$$SNR_{degradation} = 20 \lg_{10} \left(\frac{1}{2\pi f_A t_j} \right).$$

апертуры представляет собой среднеквадратичное значение всех источников джиттера, включая тактовый вход, аналоговый входной сигнал и характеристики джиттера апертуры АЦП. Влияние джиттера на отношение сигнал/шум без влияния источников

других шумов показано на рис. 5.

После включения ADA4355 переходит в фазу

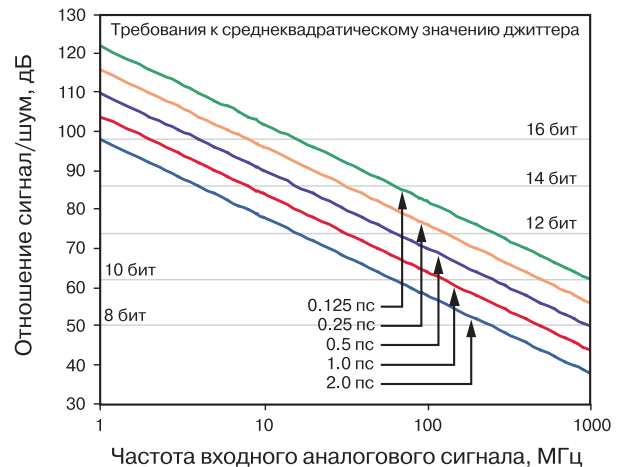


Рис. 5. Зависимость отношения сигнал/шум от частоты входного аналогового сигнала и джиттера тактового сигнала

инициализации, во время которой устанавливаются смещения и осуществляется запись начальной информации в регистры. Если источник тактовой частоты для АЦП отсутствует или нестабилен во время включения АЦП, это нарушает работу схемы начальной инициализации. Поэтому необходимо обеспечить наличие источника стабильной тактовой частоты во время включения. Если это условие не обеспечено, АЦП может неверно функционировать и придется сделать сброс через регистр 0x08 после

того, как источник синхронизации станет стабильным. В [1] приведена последовательность операций для осуществления программного сброса.

ADA4355 обеспечивает высокоскоростную передачу данных и сигналов синхронизации через LVDS-совместимый интерфейс. По умолчанию при включении питания дифференциальные выходы ADA4355 настроены в соответствии стандарту LVDS ANSI-644. В этом режиме номинальное значение выходного тока на линии LVDS равно 3.5 мА. При установке на входах приемника LVDS согласующих резисторов 100 Ом, дифференциальное напряжение имеет размах 700 мВ.

Дифференциальные выходы ADA4355 также поддерживают режим малой мощности с уменьшенным диапазоном изменения тока и напряжения (аналогично стандарту IEEE 1596.3) путем программирования. При работе в режиме уменьшенного диапазона выходной ток драйвера LVDS снижается до 2 мА, а дифференциальное напряжение – до 400 мВ.

Регулируемый коэффициент усиления и переключаемая полоса пропускания ФНЧ ADA4355 позволяют ИМС обеспечивать высокую производительность в широком диапазоне приложений OTDR (Optical Time Domain Reflectometry).

При максимальном коэффициенте усиления (сопротивление резистора в цепи обратной связи равно 200 кОм) и полосе пропускания ФНЧ, равной 1 МГц, достигается отношение сигнал/шум ADA4355, необходимого для приложений OTDR с импульсами большой длительности.

И наоборот, комбинация сопротивления резистора обратной 2 кОм и частоты среза ФНЧ 100 МГц обеспечивает более широкую полосу пропускания, необходимую для малых длительностей импульса, которые требуются для обнаружения близко распо-

ложенных объектов в системах OTDR.

Расширение динамического диапазона может быть реализовано путем усреднения нескольких выборок.

На рис. 6 приведена функциональная схема испытательной установки OTDR, использованной для измерения параметров оптоволоконного кабеля длиной 160 км. Резистор ОС установлен равным 200 кОм, частота среза ФНЧ – 1 МГц. Длительность лазерного импульса составляла 20 мкс при пиковой импульсной мощности 15 дБмВт и усилении тока лавинного фотодиода (APD), равным 3. Время измерения было ограничено 3 минутами, что позволило получить 65000 средних значений, что снизило уровень шума примерно до 14 пА (среднеквадратичное значение). В результате усреднения получен динамический диапазон измерительной системы, равный 28 дБ.

Дополнительная цифровая фильтрация может использоваться для дальнейшего снижения шума. Для увеличения динамического диапазона можно использовать дополнительную цифровую фильтрацию. Применение простого фильтра скользящего среднего с окном в 1000 отсчетов расширяет динамический диапазон до 31 дБ. На рис. 7 показано сравнение результатов OTDR до цифровой фильтрации и после цифровой фильтрации.

Эффективность усреднения отсчетов иллюстрирует рис. 8.

Следует учитывать, что уровень шума зависит от емкости источника сигнала. На рис. 9 приведены зависимости спектральной плотности шума от частоты при различной емкости источника входного сигнала.

ADA4355 поддерживает максимальную частоту дискретизации 125 МГц, что соответствует периоду

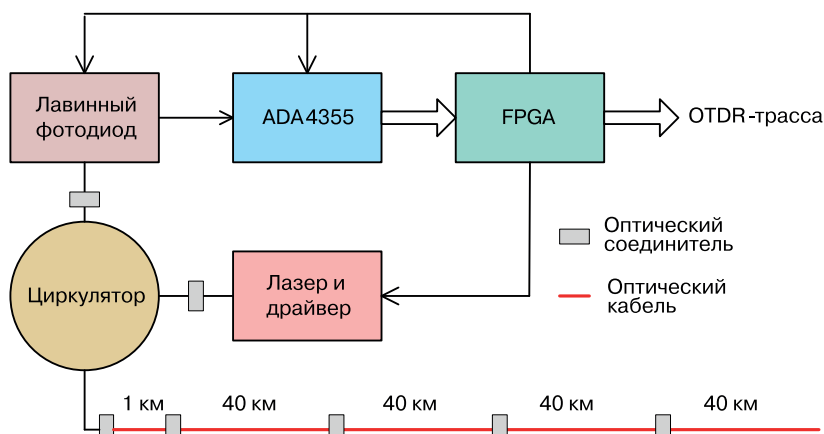


Рис. 6. Функциональная схема испытательной установки OTDR

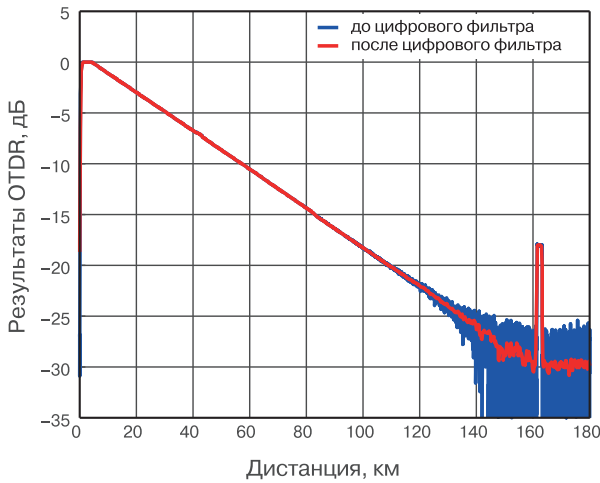


Рис. 7. Результаты измерения OTDR оптоволоконного кабеля длиной 160 км при отсутствии (синяя кривая) и наличии дополнительной цифровой фильтрации

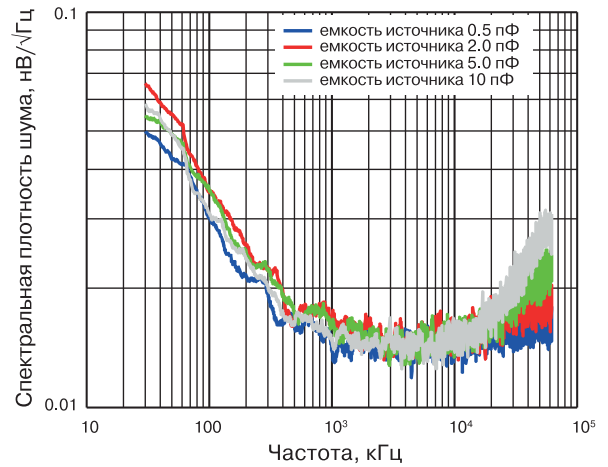
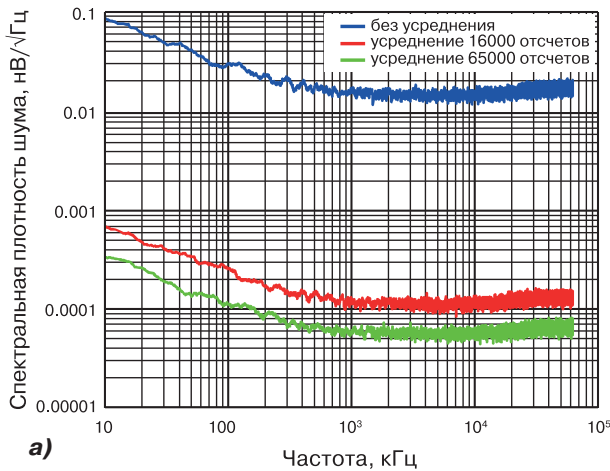
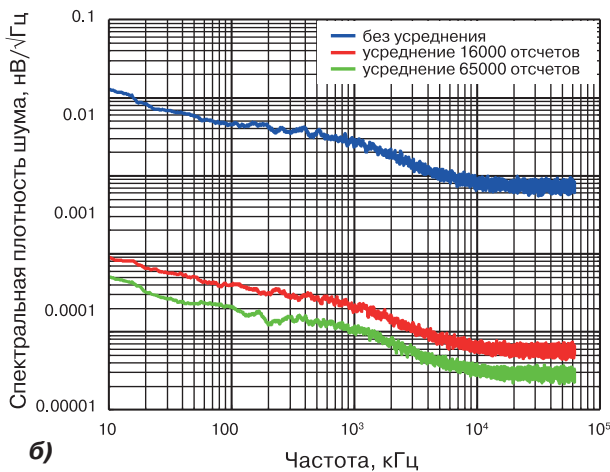


Рис. 9. Зависимости спектральной плотности шума от частоты при различной емкости источника входного сигнала, сопротивлении $R_z = 2 \text{ кОм}$ и частоте среза ФНЧ, равной 100 МГц



а)



б)

Рис. 8. Зависимость спектральной плотности шума от частоты при различном количестве усреднений, сопротивлении $R_z = 2 \text{ кОм}$ и частоте среза ФНЧ равной 100 МГц (а) и $R_z = 20 \text{ кОм}$ и частоте среза ФНЧ, равной 1 МГц (б)

дискретизации 8 нс и теоретическому пространственному разрешению в лучшем случае примерно 0.8 м. Это разрешение допустимо для длительности импульса $\tau = 10 \text{ нс}$. При использовании только одной выборки на импульс близко расположенные объекты трудно обнаружить. Однако при использовании фиксированной частоты дискретизации пространственное разрешение может быть увеличено за счет использования фазового сдвига для опережения или задержки лазерного импульса и/или фронта и спада сигнала дискретизации.

Сдвиг фазы эффективно улучшает пространственное разрешение примерно с 0.8 м до 0.2 м, тем самым позволяя использовать более короткие импульсы и обнаруживать более близко расположенные объекты. Рисунок 10 иллюстрирует преимущество сдвига фазы для обнаружения близко расположенных объектов. Импульс длительностью 4 нс использовался для регистрации двух объектов на расстоянии 1 м друг от друга. На рис. 10 показано, что два различных объекта обнаруживаются в случае с фазовым сдвигом, в то время как два объекта регистрируются как одно событие в случае без сдвига фазы.

Основные параметры ADA4355:

- 3 выбираемых настройки коэффициента усиления
- встроенный стабилизатор LDO 1.8 В для питания АЦП
- в микромодуле содержатся все пассивные компоненты, включая конденсаторы развязки питания
- работа от одного источника питания 3.3 В

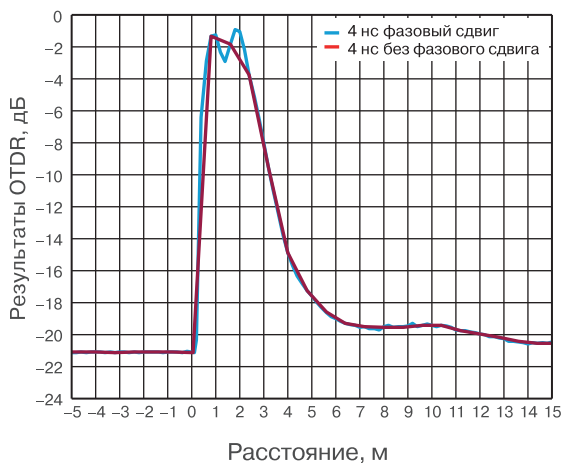


Рис. 10. Сравнение качества обнаружения объектов, расположенных на расстоянии 1 м друг от друга, с фазовым сдвигом и без него при длительности излучаемого импульса 4 нс

- полный входной ток до 800 мкА ($RZ = 2$ кОм)
- быстрое восстановление после перегрузки входа по току
- высокое значение максимального входного тока (до 40 мА)
- аналоговый фильтр для подавления шума
- переключаемая частота среза ФНЧ (1.0 и 100 МГц)
- низкое значение приведенного ко входу уровня шума – среднеквадратичное значение 16 пА
- поддерживает работу с длительностью входного импульса до 10 нс
- 14-разрядный АЦП с максимальной частотой

дискретизации 125 МГц

- последовательный вывод данных через интерфейс LVDS
- интерфейс управления SPI
- мощность, потребляемая в режиме покоя не более 546 мВт
- диапазон рабочих температур от -40 до $+85$ °С
- габаритные размеры 12×6 мм
- корпус CSP_BGA-84.

Компания Analog Devices предлагает отладочную плату (рис. 11), позволяющую строить сложные измерительные системы (рис. 12). Отладочная система ADA4355 используется для оценки производительности приемного микромодуля ADA4355. Система соединяет оценочную плату Analog Devices ADA4355 с оценочной платформой Xilinx KC705 FPGA. KC705 предоставляет достаточно памяти, GPIO и вычислительной мощности для выполнения всех функций управления и обработки данных. Все управление системой оценки и обработка данных

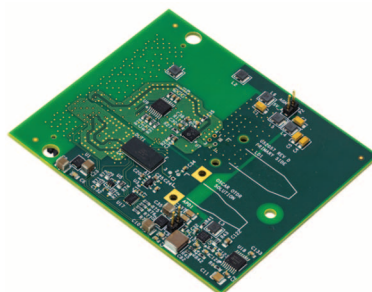


Рис. 11. Отладочная плата EVAL-ADA4355

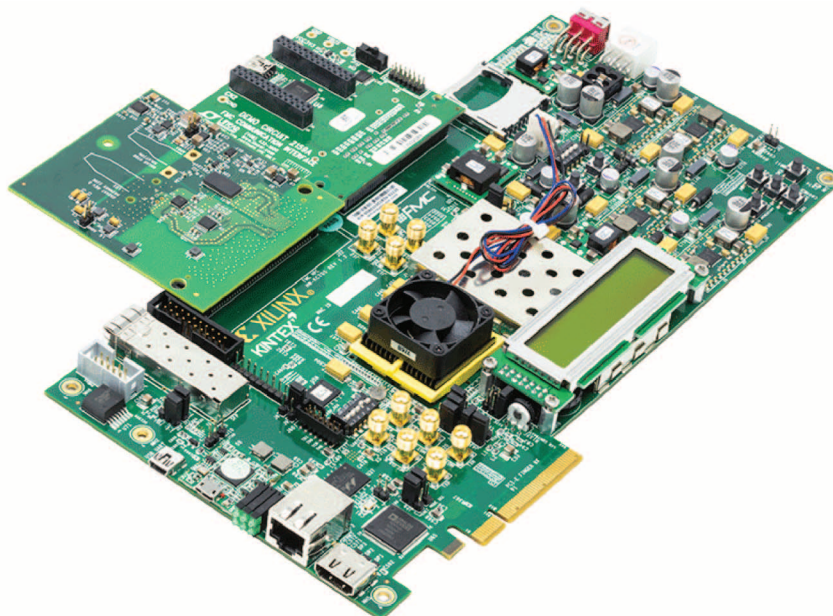


Рис. 12. Оценочная система для оценки производительности приемного микромодуля ADA4355

легко выполняются с помощью интуитивно понятного графического пользовательского интерфейса на основе MATLAB. Для работы с отладочной системой необходимо установить программное обеспечение, поставляемое компанией Analog Devices.

Для оценочной системы ADA4355 требуются два источника питания: 12 В для платы FPGA и регулируемый источник питания 5 В для платы ADA4355. Кроме того, для обратного смещения фотодетектора требуется источник высокого напряжения. Система оценки включает встроенный генератор высокого напряжения смещения, который полностью управляется через графический интерфейс. В качестве альтернативы пользователь может подавать

напряжение смещения фотодетектора через разъем P5 от внешнего источника.

Более подробную информацию можно найти на сайте компании Analog Devices.

Литература

1. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ada4355.pdf>
2. https://wiki.analog.com/resources/eval/ada4355_evaluation_board

VD MAIS

Электронные компоненты и системы

- Микросхемы • Датчики • Оптоэлектроника
- Источники питания • Драйверы светодиодов
- Резонаторы и генераторы
- Дискретные полупроводники
- Пассивные компоненты
- СВЧ-компоненты
- Системы беспроводной связи

Дистрибуция и прямые поставки:
Analog Devices, Bluetech, Cree, DDC, Dynex, Fordata, Foryard, Gaia, Geyer, IXYS, Kendell, Kingbright, Ledil, Littlefuse, Mean Well, Microsemi, Omron, Recom, Siti, Sonitron, Suntain, Telit, Vacuumschmelze, Xilinx, Yitran

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6
 тел.: (0-44) 201-0202, 492-8852, факс: (0-44) 202-1110
 e-mail: info@vdmmais.ua, www.vdmmais.ua



VD MAIS

Оборудование и материалы для монтажа/демонтажа электронных компонентов (ЭК)

- Паяльное и ремонтное оборудование
- Системы очистки воздуха • Устройства трафаретной печати • Системы установки компонентов • Паяльные печи: конвекционной и селективной пайки, пайки волной
- Испытательное оборудование
- Системы визуального контроля электронных
- Координатно-фрезерные станки
- Технологические материалы монтажа ЭК
- Средства антистатической защиты

Дистрибуция и прямые поставки:
AIM, Bernstein, Charleswater, Electrolube, Essemtec, KIC, Kolver, LPKF, Magic Ray, Miele, Nordson, Optilia, PACE, PDT, Hanwha, Seho, TWS, Vision, Weiss

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6
 тел.: (0-44) 201-0202, 492-8852, факс: (0-44) 202-1110
 e-mail: info@vdmmais.ua, www.vdmmais.ua



Высококачественная металлизация переходных отверстий

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

CUSTOMER P/N: NPD-0400-0155 FACTORY P/N: T8727-103A DATA CODE: 0017



Фото микрошлифа переходного отверстия

- протокол контроля паяемости
- протокол электрического тестирования

VD MAIS
ДИСТРИБУЦИЯ+КОНТРАКТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

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

VD MAIS
PCB Professionally