

**Circuits
from the Lab®**
Reference Designs

Схемы из лаборатории Референсные проекты разработаны и протестированы для быстрой и легкой системной интеграции, чтобы помочь решить современные аналоговые, смешанные и радиочастотные проблемы проектирования. Для получения дополнительной информации и/или поддержки, визит www.analog.com/CN0359.

Подключенные/упоминаемые устройства		Подключенные/упоминаемые устройства	
AD8253	10 МГц, 20 В/мкс, G = 1, 10, 100, 1000, iCMOS Программируемый усилитель усиления Инструментальный усилитель	ADuCM360	Маломощный, прецизионный аналоговый микроконтроллер с двумя сигма-дельта ($\Sigma\Delta$) АЦП, ARM Cortex-M3
ADA4627-1	30 В, высокоскоростной, малошумящий, с малым током смещения, операционный усилитель JFET	AD8542	Универсальные усилители Rail-to-Rail CMOS
ADA4622-1	30 В, 8 МГц, низкий ток смещения, однополярное питание, выход Rail-to-Rail прецизионный операционный усилитель	ADP2300	1,2 А, 20 В, 700 кГц/1,4 МГц, несинхронный понижающий регулятор
ADA4638-1	Прецизионный усилитель с нулевым дрейфом и выходным напряжением Rail-to-Rail, 30 В	ADP5072	Импульсный стабилизатор постоянного тока 1 А/0,6 А с независимыми положительными и отрицательными выходами
ADA4528-2	Прецизионный, сверхмалошумящий, RRIO, двойной, операционный усилитель с нулевым дрейфом	ADG1211	Низкая емкость, низкий уровень инъекции заряда, ± 15 В/ ± 12 В, iCMOS Quad SPST переключатели
ADA4077-2	4 МГц, 7 нВ/√Гц, низкое смещение и дрейф, высокоточные усилители	ADG1419	2,1 Ом на сопротивление, ± 15 В/ ± 12 В/ ± 5 В, переключатель iCMOS SPDT
AD8592	КМОП, однополярное питание, Rail-to-Rail вход/выход операционные усилители с отключением		

Полностью автоматическая высокопроизводительная система измерения проводимости

ОЦЕНКА И ПОДДЕРЖКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

- Платы оценки схем
 - Плата оценки схемы CN0359 (EVAL-CN0359-EBZ)
- Файлы дизайна и интеграции
 - Схемы, файлы макетов, спецификации материалов

ФУНКЦИИ И ПРЕИМУЩЕСТВА ЦЕПИ

Схема, показанная на рисунке [Рисунок 1](#) представляет собой полностью автономную, управляемую микропроцессором, высокоточную систему измерения проводимости, идеально подходящую для измерения ионного состава жидкостей, анализа качества воды, промышленного контроля качества и химического анализа.

Высокопроизводительное сочетание прецизионных компонентов формирования сигнала обеспечивает точность выше 0,3% в диапазоне проводимости от 0,1 мксм до 10 См (от 10 МОм до 0,1 Ом) без необходимости калибровки с использованием 2- или 4-проводных ячеек проводимости.

Схема автоматически обнаруживает платиновые (Pt) термометры сопротивления сопротивлением 100 Ом или 1000 Ом в 2-, 3- или 4-проводной конфигурации, что обеспечивает дополнительную гибкость при измерении температуры жидкости.

Схема генерирует точное напряжение возбуждения переменного тока с минимальным смещением постоянного тока, чтобы избежать разрушительного напряжения поляризации на электродах проводимости. Амплитуда и частота возбуждения переменного тока программируются пользователем.

Метод синхронной выборки преобразует полную амплитуду напряжения и тока возбуждения в постоянное значение для точности и простоты обработки с помощью двойного 24-битного $\Sigma\Delta$ АЦП, интегрированного в прецизионный аналоговый микроконтроллер.

Пользовательский интерфейс состоит из ЖК-дисплея и кнопки энкодера. Схема также может взаимодействовать с ПК с помощью моста USB-UART, если это необходимо, и работает от одного источника питания 4 В - 7 В.

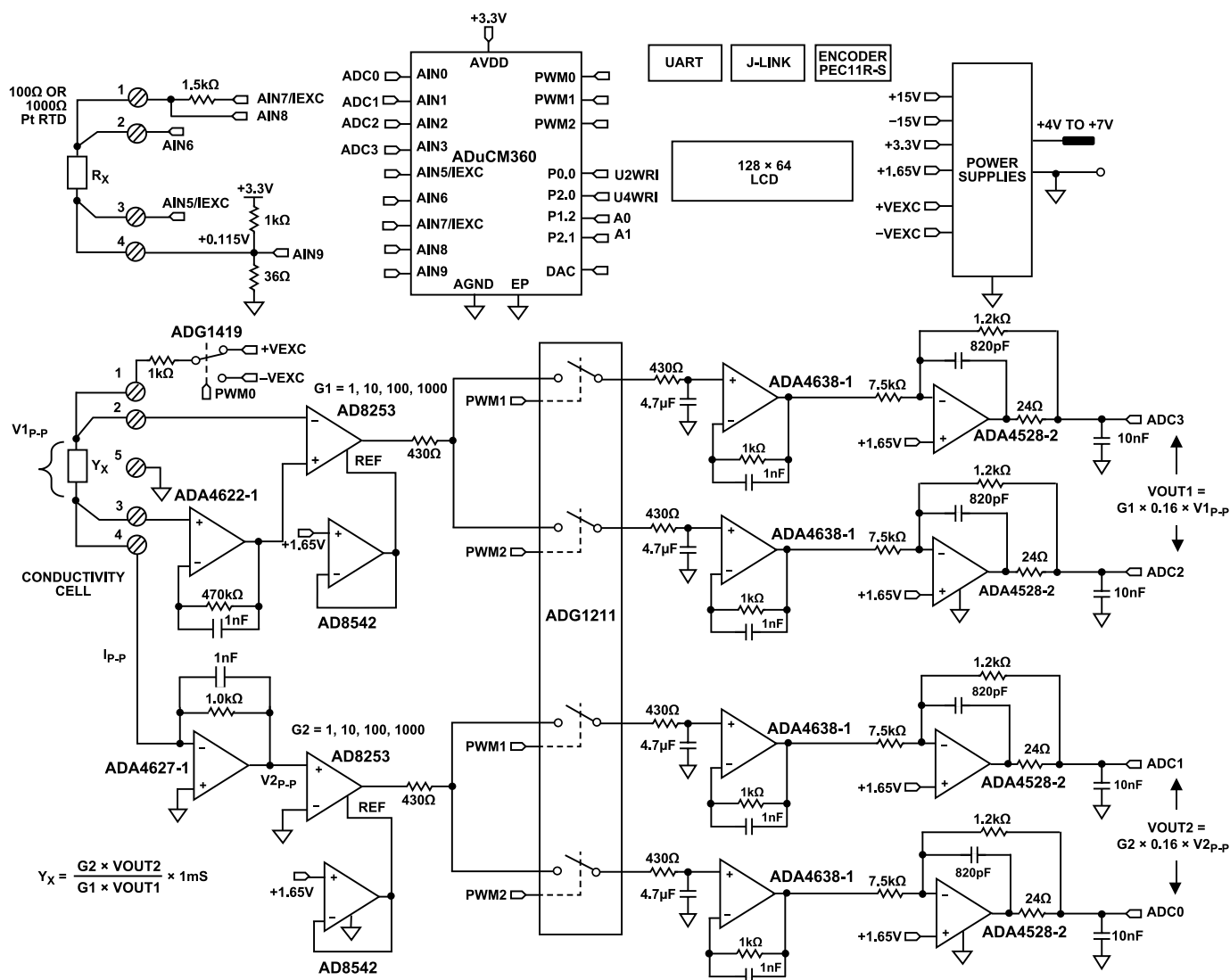


Рисунок 1. Высокопроизводительная система измерения проводимости (упрощенная схема: все соединения и развязки не показаны)

ОПИСАНИЕ СХЕМЫ

ТЕОРИЯ ПРОВОДИМОСТИ

Удельное сопротивление материала или жидкости определяется как сопротивление куба материала с идеально проводящими контактами на противоположных гранях.

Сопротивление можно рассчитать с помощью [Уравнение 1](#):

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (1)$$

где:

R — сопротивление.

ρ — удельное сопротивление материала.

L — расстояние между контактами. A —

площадь контактов.

Удельное сопротивление измеряется в единицах Ом см. Материал сопротивлением 1 Ом см имеет сопротивление 1 Ом при соприкосновении с противоположными гранями куба размером 1 см × 1 см × 1 см.

Проводимость — это величина, обратная сопротивлению, а проводимость — это величина, обратная удельному сопротивлению. Единицей измерения проводимости является сименс (См), а единицей измерения проводимости — См/см, мСм/см или мкСм/см.

Все водные растворы в той или иной степени проводят электричество. Добавление электролитов, таких как соли, кислоты или основания, в чистую воду увеличивает проводимость (и уменьшает удельное сопротивление).

Для целей этой заметки о схеме Υ является общим символом для проводимости, измеряемой в См/см, мСм/см или мкСм/см. Однако во многих случаях термин «расстояние» опускается для удобства, и проводимость просто выражается как См, мСм или мкСм.

Система измерения проводимости измеряет проводимость с помощью электроники, подключенной к датчику, называемому ячейкой проводимости, погруженному в раствор, как показано на рисунке. [Рисунок 2](#).

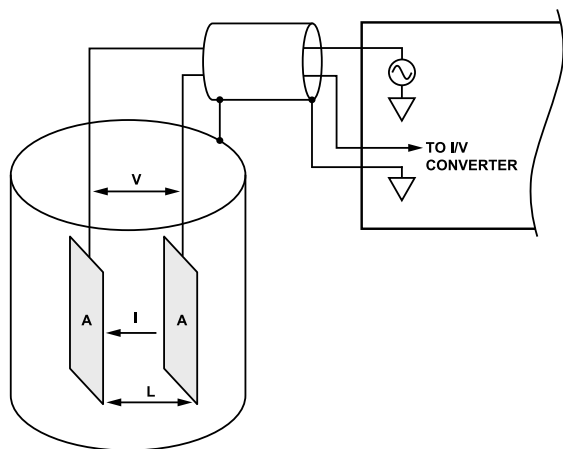


Рисунок 2. Геометрия ячейки проводимости и электрические соединения

Электронная схема подает переменное напряжение на датчик и измеряет результирующий ток, который связан с проводимостью. Поскольку проводимость имеет большой температурный коэффициент (до 4%/°C), в схему встроены датчик температуры, чтобы отрегулировать показания до стандартной температуры, обычно 25°C

(77°F). При измерении растворов необходимо учитывать температурный коэффициент проводимости самой воды.

Базовый датчик проводимости обычно состоит из двух электродов, которые изолированы друг от друга. Электроды, обычно из нержавеющей стали типа 316, титаново-палладиевого сплава или графита, имеют определенный размер и расположены на определенном расстоянии друг от друга, чтобы обеспечить известную константу ячейки. Теоретически константа ячейки 1,0/см описывает два электрода, каждый размером 1 см² по площади и на расстоянии 1 см друг от друга. Константы ячеек должны соответствовать системе измерения для заданного диапазона работы.

Например, если датчик с константой ячейки 1,0/см используется в чистой воде с проводимостью 1 мкСм/см, то ячейка имеет сопротивление 1 МОм. И наоборот, та же ячейка в морской воде имеет сопротивление 30 Ом. Поскольку отношение сопротивлений настолько велико, обычным приборам сложно точно измерить такие экстремальные значения с помощью только одной константы ячейки.

При измерении раствора 1 мкСм/см ячейка конфигурируется с электродами большой площади, расположенными на небольшом расстоянии друг от друга. Например, ячейка с константой ячейки 0,01/см дает измеренное сопротивление ячейки приблизительно 10 000 Ом, а не 1 МОм. Легче точно измерить 10 000 Ом, чем 1 МОм; поэтому измерительный прибор может работать в том же диапазоне сопротивления ячейки как для сверхчистой воды, так и для морской воды с высокой проводимостью, используя ячейки с различными константами ячейки.

Константа ячейки определяется как отношение расстояния между электродами к площади электродов, которое можно рассчитать с помощью [Уравнение 2](#):

$$K = \frac{L}{A} \quad (2)$$

где:

K — постоянная ячейки в см⁻¹.

L — расстояние между электродами в см. A

площадь поверхности электрода в см².

Затем прибор измеряет проводимость ячейки с помощью [Уравнение 3](#):

$$\Upsilon = IV \quad (3)$$

I — измеренная проводимость клетки в S .
 V — напряжение возбуждения.

Затем проводимость жидкости рассчитывается с использованием

$$\Upsilon_x = K \times \Upsilon \quad (4)$$

Υ_x — проводимость жидкости в См/см. K — постоянная ячейки в см⁻¹. Измеряется проводимость в S .

Существует два типа ячеек проводимости: с двумя электродами и с четырьмя электродами, как показано на рисунке. [Рисунок 3](#). Электроды часто называют полюсами.

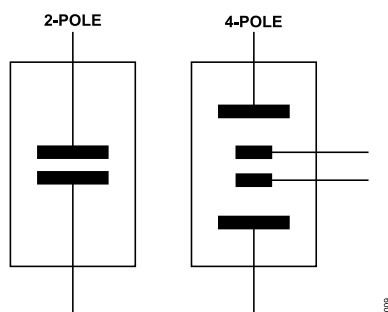


Рисунок 3. 2-полюсные и 4-полюсные ячейки проводимости

2-полюсный датчик больше подходит для измерений с низкой проводимостью, таких как очищенная вода и различные биологические и фармацевтические жидкости. 4-полюсный датчик больше подходит для измерений с высокой проводимостью, таких как анализ сточных вод и морской воды.

Константы ячеек для 2-полюсных ячеек обычно находятся в диапазоне приблизительно от 0,1/см до 1/см, а константы ячеек для 4-полюсных ячеек обычно находятся в диапазоне приблизительно от 1/см до 10/см.

Четырехполюсная ячейка устраняет ошибки, вызванные поляризацией электродов и полевыми эффектами, которые могут помешать измерению.

Фактическая конфигурация электродов может представлять собой параллельные кольца, коаксиальные проводники или другие, а не простые параллельные пластины, показанные на рис. [Рисунок 2](#).

Независимо от типа ячейки важно не подавать постоянное напряжение ни на один электрод, поскольку ионы в жидкости накапливаются на поверхности электрода, вызывая тем самым поляризацию, ошибки измерения и повреждение электрода.

Будьте особенно осторожны с датчиками, имеющими экраны, как в случае коаксиальных датчиков. Подключите экран к тому же потенциалу, что и металлический контейнер с жидкостью. Если контейнер заземлен, подключите экран к заземлению печатной платы.

Последняя мера предосторожности — не превышать номинальное напряжение возбуждения или ток ячейки. Схема CN0359 позволяет программировать напряжение возбуждения от 100 мВ до 10 В, а последовательный резистор 1 кОм ограничивает максимальный ток ячейки до 10 мА.

ГЕНЕРАЦИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ

Прямоугольная волна возбуждения для ячейки проводимости генерируется путем переключения [ADG1419](#) между напряжениями +VEXC и -VEXC с использованием широтно-импульсной модуляции (ШИМ) на выходе [ADuCM360](#) микроконтроллер. Важно, чтобы квадратная волна имела точный 50% рабочий цикл и очень низкое смещение постоянного тока. Даже небольшие смещения постоянного тока могут повредить ячейку со временем.

Напряжения +VEXC и -VEXC генерируются [ADA4077-2](#) операционные усилители, а их амплитуды контролируются выходом ЦАП [ADuCM360](#), как показано на [Рисунок 4](#).

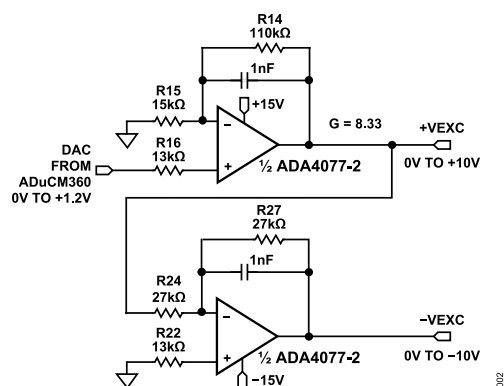


Рисунок 4. Источники напряжения возбуждения

ADA4077-2 имеет типичное напряжение смещения 15 мкВ (класс A), ток смещения 0,4 нА и ток смещения 0,1 нА, что минимизирует остаточное постоянное содержание сигнала возбуждения. Выходной ток составляет до ± 10 мА, что позволяет использовать его с жидкостями с очень высокой проводимостью; а низкое падение напряжения 1,2 В максимизирует доступный выходной размах.

Операционный усилитель ADA4077-2 имеет коэффициент усиления замкнутого контура 8,33 и преобразует внутренний выход ЦАП [ADuCM360](#) (от 0 В до 1,2 В) в напряжение +VEXC от 0 В до 10 В. Второй операционный усилитель ADA4077-2 инвертирует +VEXC и генерирует напряжение -VEXC. R22 выбран таким образом, что $R22 = R24 \parallel R27$, чтобы достичь компенсации тока смещения первого порядка. Ошибка из-за напряжения смещения 15 мкВ первого операционного усилителя ADA4077-2 составляет приблизительно $(2 \times 15 \text{ мкВ}) \div 10 \text{ В} = 3 \text{ ppm}$. Таким образом, основная ошибка, вносимая инвертирующим каскадом, — это ошибка в согласовании резисторов между R24 и R27.

ADG1419 — это аналоговый переключатель SPDT с сопротивлением 2,1 Ом и неравномерностью сопротивления 50 мОм в диапазоне ± 10 В, что делает его идеальным для генерации симметричной прямоугольной волны из напряжений $\pm VEXC$. ADG1419 вносит симметричную ошибку $50 \text{ мОм} \div 1 \text{ кОм} = 50 \text{ ppm}$ (типичное значение).

АНАЛОГОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛА

Напряжение, приложенное к ячейке проводимости, измеряется с помощью [AD8253](#) инструментальный усилитель. Положительный вход [AD8253](#) буферизуется [ADA4622-1](#). ADA4622-1 выбран в первую очередь на основе его тока смещения 5 пА для минимизации ошибки при измерении малых токов, связанных с низкой проводимостью. Отрицательный вход [AD8253](#) не требует буферизации.

Напряжения смещения [AD8253](#) и [ADA4638-1](#) удаляются на этапе синхронной выборки и не влияют на точность измерений.

Инструментальные усилители [AD8253](#) имеют широкую полосу пропускания 10 МГц, программируемые коэффициенты усиления 1, 10, 100, 1000 и погрешность усиления менее 0,04%. [AD8253](#) также имеет скорость нарастания 20 В/мкс и время установления от 1,8 мкс до 0,001% для $G = 1000$. Фиксированные, выбираемые коэффициенты усиления обеспечивают широкий диапазон измерений, а высокая скорость нарастания гарантирует, что выход полностью установится перед выборкой.

The [ADA4627-1](#) каскад представляет собой прецизионный преобразователь тока в напряжение, который преобразует ток через датчик в напряжение. Низкий ток смещения и напряжение смещения [ADA4627-1](#) имеют типичные значения

1 пА и 120 мкВ соответственно (класс А); что делает его идеальным выбором компонента для этого этапа проектирования. Симметричная ошибка, вызванная ошибкой смещения 120 мкВ, составляет всего $120 \text{ мкВ} / 10 \text{ В} = 12 \text{ ppm}$.

ЗАХВАТ И ИЗМЕРЕНИЕ АЦП

ADuCM360 генерирует сигнал переключения прямоугольной волны PWM0 для переключателя ADG1419, а также сигналы синхронизации PWM1 и PWM2 для синхронных этапов выборки. Напряжение ячейки и три временные формы сигнала показаны на [Рисунок 5](#).

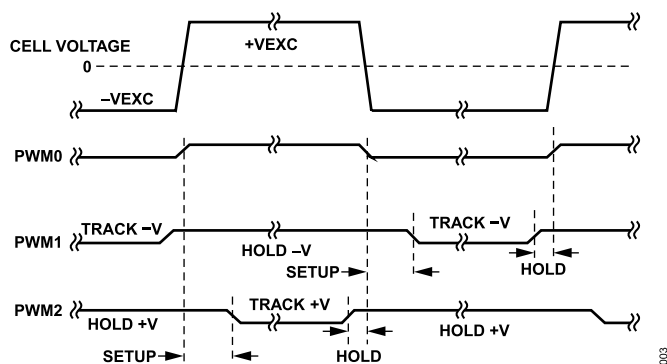


Рисунок 5. Напряжение ячейки и сигналы синхронизации Track-and-Hold

Выход усилителя AD8253 управляет двумя параллельными схемами отслеживания и хранения, состоящими из [ADG1211](#) переключатели, последовательные резисторы, удерживающие конденсаторы и буферы с единичным усилением.

ADG1211 — это счетверенный аналоговый переключатель SPST с низкой инжекцией заряда, работающий от источника питания $\pm 15 \text{ В}$ с входными сигналами до $\pm 10 \text{ В}$. Максимальная инжекция заряда при переключении составляет 4 пКл, что приводит к ошибке напряжения всего 4 пКл $\div 4,7 \text{ мкФ} = 0,9 \text{ мкВ}$.

Сигнал PWM1 заставляет буфер отслеживания и хранения ADA4638-1 отслеживать отрицательный цикл напряжения датчика и затем удерживать его до следующего цикла отслеживания. Таким образом, выход буфера отслеживания и хранения ADA4638-1 представляет собой уровень постоянного тока, соответствующий отрицательной амплитуде прямоугольной волны напряжения датчика.

Аналогично, сигнал PWM2 заставляет другой буфер отслеживания и хранения ADA4638-1 отслеживать положительный цикл напряжения датчика и затем удерживать его до следующего цикла отслеживания. Выход другого буфера отслеживания и хранения ADA4638-1, таким образом, представляет собой уровень постоянного тока, соответствующий положительной амплитуде прямоугольной волны напряжения датчика.

Ток смещения буферов отслеживания и хранения ADA4638-1 составляет 45 пА, а ток утечки переключателя ADG1211 составляет 20 пА. Таким образом, наихудший ток утечки на конденсаторах хранения 4,7 мкФ составляет 65 пА. Для частоты возбуждения 100 Гц период составляет 10 мс. Падение напряжения за половину периода (5 мс) из-за тока утечки 65 пА составляет $(65 \text{ пА} \times 5 \text{ мс}) \div 4,7 \text{ мкФ} = 0,07 \text{ мкВ}$.

Напряжение смещения усилителя с нулевым дрейфом ADA4638-1 составляет всего 0,5 мкВ (типичное значение) и вносит незначительную погрешность.

Заключительными этапами в цепочке сигналов перед АЦП являются [ADA4528-2](#) инвертирующие аттенуаторы, которые имеют коэффициент усиления $-0,16$ и

синфазное выходное напряжение $+1,65 \text{ В}$. ADA4528-2 имеет типичное напряжение смещения 0,3 мкВ и поэтому вносит незначительную погрешность.

Аттенуаторный каскад уменьшает максимальный сигнал $\pm 10 \text{ В}$ до $\pm 1,6 \text{ В}$ при синфазном напряжении $+1,65 \text{ В}$. Этот диапазон совместим с входным диапазоном АЦП ADuCM360, который составляет от 0 В до 3,3 В ($1,65 \text{ В} \pm 1,65 \text{ В}$) для питания AVDD 3,3 В.

РАСЧЕТ ПРОВОДИМОСТИ

Четыре выходных напряжения аналоговой цепи входного сигнала представляют собой выборочные значения тока и напряжения ячейки проводимости во время положительной и отрицательной половин цикла возбуждения. Два выхода схемы измерения напряжения ячейки подаются на контакты AIN2 и AIN3 ADuCM360. Аналогично, два выхода схемы измерения тока ячейки подаются на контакты AIN0 и AIN1.

Для получения пиковых значений с этих выходов внутренний АЦП ADuCM360 настроен на дифференциальный режим. Таким образом, четыре отдельных выхода аналогового интерфейса сводятся к двум дифференциальным напряжениям, которые будут считываться ADuCM360. Два дифференциальных выходных напряжения задаются как [Уравнение 5](#) и [Уравнение 6](#):

$$V_{OUT1} = \text{АЦП2} - \text{АЦП3} \quad (5)$$

$$V_{OUT2} = \text{АЦП0} - \text{АЦП1} \quad (6)$$

где:

V_{OUT1} — дифференциальное напряжение АЦП, представляющее собой размах напряжения ячейки в вольтах.

V_{OUT2} — дифференциальное напряжение АЦП, представляющее собой полный размах тока ячейки в вольтах.

ADC0 — входное напряжение AIN0 в В.

ADC1 — входное напряжение AIN1 в В.

ADC2 — входное напряжение AIN2 в В.

ADC3 — входное напряжение AIN3 в В.

Эти дифференциальные напряжения используются ADuCM360 для определения проводимости ячейки и проводимости тестируемой жидкости. Как показано на [Уравнение 7](#), проводимость ячейки равна размаху тока ячейки, деленному на размах напряжения ячейки:

$$Y = \frac{I_{\text{пп}}}{V_{\text{пп}}} \quad (7)$$

где:

Y — проводимость клетки в S.

$I_{\text{пп}}$ — это полный размах тока в ячейке в А. V_1

$V_{\text{пп}}$ — это полное напряжение ячейки в В.

Поскольку ток ячейки преобразуется в сигнал напряжения резистором обратной связи ADA4627-1, его размах можно рассчитать с помощью [Уравнение 8](#):

$$I_{\text{пп}} = \frac{V_{\text{пп}}}{R_f} \quad (8)$$

где:

$V_{\text{пп}}$ — это пик-пик выходного сигнала ADA4627-1 в В. R_f — сопротивление обратной связи ADA4627-1 в Ом.

Напряжение ячейки от пика до пика можно получить из дифференциальных выходов аналогового входного каскада, как показано на рисунке. [Уравнение 9](#) и [Уравнение 10](#):

$$B1_{п-п} = \frac{V_{OUT1}}{G1 \times \alpha} \quad (9)$$

$$B2_{п-п} = \frac{V_{OUT2}}{G2 \times \alpha} \quad (10)$$

где:

G1 — это настройка усиления AD8253 в схеме измерения напряжения ячейки.

G2 — это настройка усиления AD8253 в схеме измерения тока ячейки.

α — затухание на каскаде ADA4528-2.

Объединив [Уравнение 8](#) и [Уравнение 10](#), можно получить выражение для $I_{пп}$:

$$I_{п-п} = \frac{V_{OUT2}}{G2 \times \alpha \times 1 \text{ } \overline{P\phi}} \quad (11)$$

Наконец, заменив [Уравнение 9](#) и [Уравнение 11](#) обратно в [Уравнение 7](#), общая формула для проводимости как фактора дифференциальных измерений АЦП может быть записана как:

$$Y = \frac{G1 \times V_{OUT2}}{G2 \times V_{OUT1} \times 1 \text{ } \overline{P\phi}} \quad (12)$$

В данной базовой конструкции резистор обратной связи ADA4627-1 имеет значение 1 кОм, что приводит к [Уравнение 13](#):

$$Y = \frac{G1 \times V_{OUT2}}{G2 \times V_{OUT1} \times 1 \text{ мСм}} \quad (13)$$

Из проводимости ячейки ADuCM360 может затем рассчитать проводимость жидкости на основе постоянной ячейки датчика, как показано на рисунке.

[Уравнение 14](#):

$$I_X = Y \times K \quad (14)$$

где:

I_X — проводимость испытуемой жидкости в См/см. Y — измеренная проводимость ячейки.

K — постоянная ячейки в см⁻¹.

ИЗМЕРЕНИЯ ТОЧНОСТИ СИСТЕМЫ

[Уравнение 9](#) через [Уравнение 13](#) все основаны на предположении, что четыре отдельных операционных усилителя ADA4528-2 обеспечивают одинаковое значение затухания 0,16; любое отклонение приведет к ошибке в окончательных измерениях. Поскольку затухание операционного усилителя ADA4528-2 зависит от его сопротивления обратной связи и входного сопротивления, резисторы, используемые для них, должны быть максимально точно согласованы с их аналогами в каждом канале, чтобы поддерживать точность системы.

[Уравнение 13](#) также показывает, что измерение проводимости зависит от G1, G2 и R ϕ , и отношение VOUT2 к VOUT1. Таким образом, для АЦП в ADuCM360 не требуется прецизионный опорный сигнал.

Кроме того, расчет проводимости, выполняемый ADuCM360, предполагает точное значение 1 кОм для сопротивления обратной связи ADA4627-1, как показано на рисунке. [Уравнение 13](#). Чем дальше фактическое сопротивление от этого идеального значения, тем больше погрешность. введены в расчет; поэтому крайне важно использовать высокоточный резистор для обратной связи ADA4627-1.

Если предположить, что все девять резисторов имеют допуск 0,1%, и включить в расчет погрешность усиления AD8253 0,04% (макс.), то анализ наихудшего случая даст погрешность приблизительно 0,6%.

На практике резисторы, скорее всего, объединятся по принципу RSS, а ошибка RSS из-за допусков резисторов в положительной или отрицательной сигнальной цепи составляет $\sqrt{5} \times 0,1\% = 0,22\%$.

Измерения точности проводились с использованием прецизионных резисторов от 1 Ом до 1 МОм (от 1 См до 1 мСм) для моделирования ячейки проводимости. [Рисунок 6](#) показывает результаты, максимальная погрешность составляет менее 0,1%.

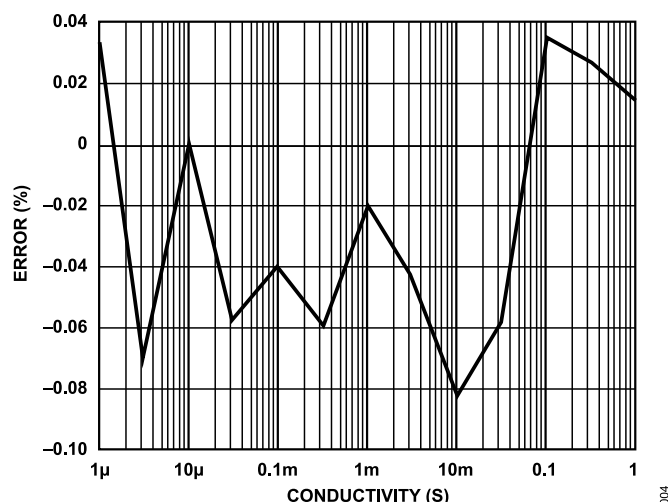


Рисунок 6. Системная ошибка (%) в зависимости от проводимости от 1 мСм до 1 См

Для поддержания точности в широком диапазоне входного сигнала с высоким отношением сигнал/шум данное измерение должно использовать большую часть входного диапазона АЦП, не выходя за пределы полной шкалы. Программное обеспечение CN0359 реализует простую схему автоматического выбора диапазона, регулируя усиление AD8253 для поддержания входного сигнала АЦП в диапазоне от 10% до 90% полной шкалы.

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ЭЛЕКТРОЛИЗА И ПОЛЯРИЗАЦИИ

Для правильного измерения проводимости крайне важно предотвратить электролиз раствора образца и поляризацию электродов ячейки. Электролиз — это химическая реакция, вызванная приложением чрезмерно высокого уровня напряжения к ячейке проводимости, и со временем изменяет проводимость раствора образца. Поляризация ячейки проводимости происходит, когда ток протекает через электроды в одном направлении в течение достаточно длительного времени. В этом сценарии ионы накапливаются на поверхности электродов, что приводит к образованию области пространственного заряда и, таким образом, ограничивает поток тока. Как электролиз, так и поляризация

вносят нелинейные погрешности в измерения и, следовательно, приводят к ошибочным показаниям.

Чтобы избежать этих ошибок, уровень и частота сигнала возбуждения должны быть установлены соответствующим образом на основе спецификаций ячейки проводимости. Кроме того, содержание постоянного тока этой формы волны должно быть сведено к минимуму, чтобы предотвратить появление постоянного тока на электродах ячейки.

CN0359 тщательно спроектирован для обеспечения низкого постоянного напряжения смещения на канале возбуждения, типичные значения которого составляют менее 200 мкВ.

Для большинства коммерческих зондов проводимости это небольшое остаточное содержание постоянного тока имеет незначительный эффект. Однако некоторые зонды, в зависимости от их конструкции, могут быть более чувствительными и могут демонстрировать дрейф в значениях измерений. В этих случаях для канала измерения напряжения следует использовать емкостную связь.

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕРМОСТАТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА

Точность системы измерения проводимости зависит только от ее температурной компенсации. Поскольку общие температурные коэффициенты раствора варьируются в пределах от 1%/°C до 3%/°C или более, CN0359 реализует схему температурной компенсации. Температурные коэффициенты раствора несколько нелинейны и обычно также изменяются в зависимости от фактической проводимости. Поэтому калибровка при фактической температуре измерения обеспечивает наилучшую точность.

ADuCM360 содержит два согласованных, программно настраиваемых источника тока возбуждения. Они индивидуально настраиваются для обеспечения выходного тока от 10 мкА до 1 мА, а согласование лучше 0,5%. Источники тока позволяют ADuCM360 легко выполнять 2-проводные, 3-проводные или 4-проводные измерения для термометров сопротивления Pt100 или Pt1000. Программное обеспечение также автоматически определяет, является ли термометр сопротивления Pt100 или Pt1000 во время процедуры настройки.

Ниже приведены упрощенные схемы работы различных конфигураций RTD. Все переключения режимов выполняются в программном обеспечении, и нет необходимости менять внешние настройки переключек.

Рисунок 7 показана конфигурация для 4-проводных термометров сопротивления.

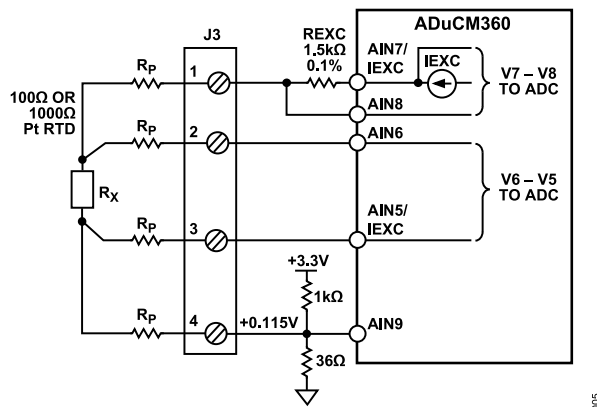


Рисунок 7. Конфигурация для 4-проводного подключения RTD

Паразитное сопротивление в каждом из выводов к удаленному RTD показано как R_p. Ток возбуждения проходит через точность 1,5

Резистор кОм и RTD. Встроенный АЦП измеряет напряжение на резисторе.

Важно, чтобы резистор 1,5 кОм (R_{EXC}) и значение тока возбуждения (I_{EXC}) были выбраны таким образом, чтобы максимальное входное напряжение ADuCM360 на AIN7 не превышало AVDD – 1,1 В; в противном случае источник тока I_{EXC} не будет работать должным образом.

Напряжение RTD точно измеряется с помощью двух измерительных выводов, которые подключаются к AIN6 и AIN5. Входное сопротивление составляет приблизительно 2 МОм (небуферизованный режим, усиление PGA = 1), а ток, протекающий через сопротивление измерительного вывода, создает минимальную ошибку. Затем АЦП измеряет напряжение RTD.

Затем сопротивление RTD рассчитывается с использованием Уравнение 15:

$$R_x = \frac{A_{ЦП6} - A_{ЦП5}}{A_{ЦП7} - A_{ЦП8}} \times 1,5 \text{ кОм} \quad (15)$$

где:

R_x — значение сопротивления RTD. ADC5

— входное напряжение AIN5 в В. ADC6 —

входное напряжение AIN6 в В. ADC7 —

входное напряжение AIN7 в В. ADC8 —

входное напряжение AIN8 в В.

Измерение является ратиометрическим и не зависит от точного внешнего опорного напряжения, а только от допуска резистора 1,5 кОм. Кроме того, 4-проводная конфигурация устраняет ошибку, связанную с сопротивлениями выводов.

ADuCM360 имеет буферизованный или небуферизованный входной вариант. Если внутренний буфер активирован, входное напряжение должно быть больше 100 мВ. Резисторный делитель 1 кОм/36 Ом обеспечивает напряжение смещения 115 мВ для RTD, что позволяет работать в буферизованном режиме. В небуферизованном режиме клемма 4 J3 может быть заземлена и подключена к заземленному экрану для снижения шума.

Трехпроводное соединение — еще одна популярная конфигурация RTD, которая устраняет ошибки сопротивления выводов, как показано на рисунке. Рисунок 8.

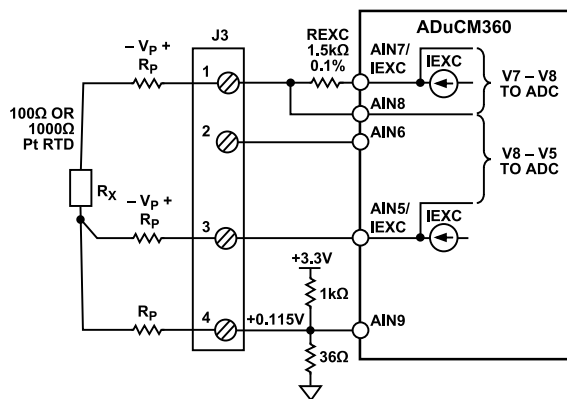


Рисунок 8. Конфигурация для 3-проводного подключения RTD

Второй согласованный источник тока I_{EXC} (AIN5/IEXC) вырабатывает напряжение на сопротивлении вывода последовательно с клеммой 3, которое компенсирует падение напряжения на сопротивлении вывода последовательно с клеммой 1. Таким образом, измеренное напряжение свободно от

Ошибка сопротивления вывода. Сопротивление RTD можно рассчитать с помощью

Уравнение 16:

$$R_x = \frac{A_{CP8} - A_{CP5}}{A_{CP7} - A_{CP8}} \times 1,5 \text{ кОм} \quad (16)$$

где:

R_x — значение сопротивления RTD. ADC5

— входное напряжение AIN5 в В. ADC7 —

входное напряжение AIN7 в В. ADC8 —

входное напряжение AIN8 в В.

Рисунок 9 показывает конфигурацию 2-проводного RTD, где нет компенсации сопротивления выводов. Сопротивление RTD для конфигурации 2-проводного можно рассчитать как Уравнение 17:

$$R_x = \frac{A_{CP8} - A_{CP9}}{A_{CP7} - A_{CP8}} \times 1,5 \text{ кОм} - 2 R_p \quad (17)$$

где:

R_x — значение сопротивления RTD. ADC7 —

входное напряжение AIN7 в В. ADC8 —

входное напряжение AIN8 в В. ADC9 —

входное напряжение AIN9 в В. R_p —

величина паразитного сопротивления.

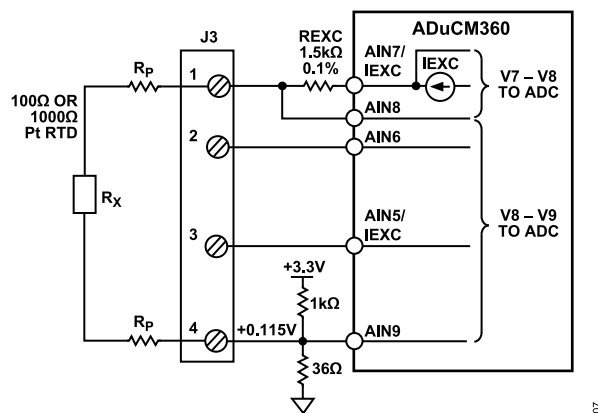


Рисунок 9. Конфигурация для 2-проводного подключения RTD

Двухпроводная конфигурация является самой дешевой схемой и подходит для менее ответственных применений, коротких соединений термометров сопротивления и термометров сопротивления с более высоким сопротивлением, таких как Pt1000.

СХЕМА ПИТАНИЯ

Для упрощения требований к системе все необходимые напряжения (± 15 В и $\pm 3,3$ В) генерируются от одного источника питания напряжением от 4 В до 7 В, как показано на рисунке. Рисунок 10.

The ADP2300 Понижающий регулятор генерирует напряжение 3,3 В для платы.

Конструкция основана на загружаемом Инструмент для проектирования понижающего регулятора ADP230x.

The ADP5072 Импульсный регулятор генерирует независимо регулируемые шины питания ± 15 В и ± 15 В для различных усилителей. Эта конструкция соответствует типичной схеме применения, показанной в техническом описании ADP5072, и использует рекомендуемые значения компонентов для Применение от $\pm 3,3$ В до ± 15 В.

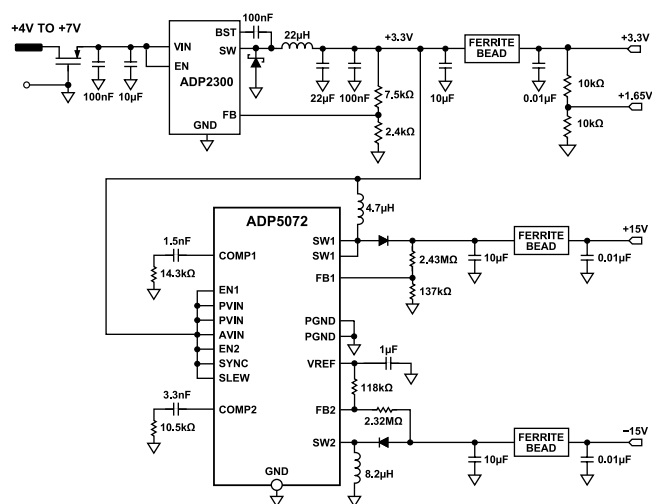


Рисунок 10. Схема источника питания

Рисунок 11 показана схема драйвера подсветки ЖК-дисплея. AD8592

Операционный усилитель действует как источник тока 30 мА для подачи тока подсветки ЖК-дисплея. AD8592 может выдавать и поглощать до 250 мА, а конденсатор емкостью 100 нФ обеспечивает мягкий запуск.

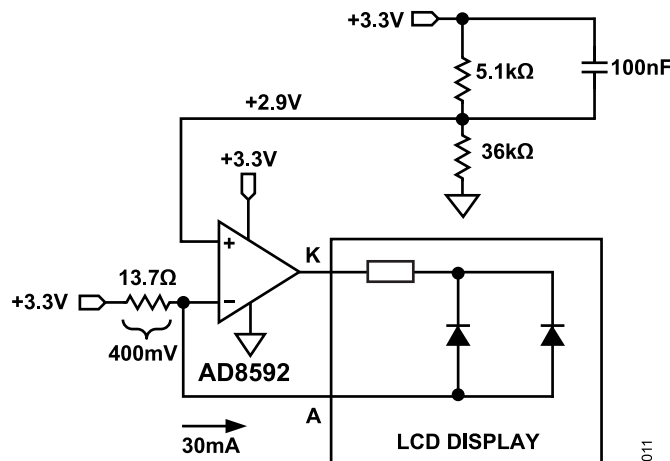


Рисунок 11. Драйверы подсветки ЖК-дисплея

ОБЩИЕ ВАРИАЦИИ

Система, показанная в CN0359, использует прецизионный аналоговый микроконтроллер ADuCM360 для высокоинтегрированного измерения проводимости. Если пользователь желает дискретный АЦП, AD7794 Хорошим выбором будет 24-битный $\Sigma\Delta$ АЦП.

Если место на плате ограничено, понижающий стабилизатор ADP2300 можно заменить на μ Module часть, такая как LTM8074. Хотя это более дорогое решение по сравнению с ADP2300, LTM8074 представляет собой высокоинтегрированное устройство с уже встроенным в корпус индуктором и не требует диода-ловушки. Он также разработан с малощумящим Silent Switcher® архитектура, которая обеспечивает минимальные электромагнитные помехи (ЭМП) во время работы.

Некоторые приложения для измерения проводимости могут иметь дополнительные требования, такие как изоляция или небольшие размеры оборудования.

например, Analog Devices, Inc. также предлагает другие референсные конструкции с различными форм-факторами и функциями. Одним из них является [CN0349](#), который оснащен высокоточной системой сбора данных измерения проводимости с 8-контактным разъемом I2C-интерфейс S Pmod, который идеально подходит для промышленных сред, требующих небольшого, недорогого, полностью изолированного решения. Другие примеры: [CN0411](#) и [CN0428](#), которые предназначены для измерения проводимости в целях мониторинга качества воды.

ОЦЕНКА И ИСПЫТАНИЕ ЦЕПИ

Эта схема использует плату EVAL-CN0359-EBZ, внешний источник питания, ячейку проводимости и RTD. EVAL-CN0359-EBZ поставляется с предварительно загруженным кодом, необходимым для проведения измерений проводимости. Для получения полной информации об аппаратном и программном обеспечении системы см. [CN0359 Руководство пользователя](#).

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Необходимо следующее оборудование:

- Печатная плата EVAL-CN0359-EBZ
- Блок питания 6 В или настенная розетка ([EVAL-CFTL-6V-PWRZ](#))
- Ячейка проводимости
- 2-проводной, 3-проводной или 4-проводной термометр сопротивления Pt100 или Pt1000 (если термометр сопротивления не подключен, измерение проводимости выполняется при температуре 25 °C)

НАСТРАИВАТЬ

Чтобы настроить CN0359 для оценки, выполните следующие действия:

1. Подключите источник питания 6 В (EVAL-CFTL-6V-PWRZ) к EVAL-CN0359-EBZ.
2. Введите параметры для **Напряжение ЕХС**, **Частота ЕХС**, **Коэффициент TEMP**, и **Константа ячейки**, которые подходят для зонда.
3. Отсоедините блок питания EVAL-CFTL-6V-PWRZ.
4. Подключите ячейку проводимости следующим образом:

- а. 4-проводная ячейка: подключите внешний токовый электрод к контакту 1 J5, а ближайший внутренний электрод напряжения — к контакту 2 J5. Подсоедините второй внешний токовый электрод к контакту 4 J5, а ближайший внутренний электрод напряжения — к контакту 3.
- б. 2-проводная ячейка: подключите один электрод к контактам 1 и 2 разъема J5, а второй электрод — к контактам 2 и 4 разъема J5.
- в. Если ячейка проводимости имеет экран, подключите его к контакту 5 разъема J5.

5. Подключите RTD следующим образом (если используется):

- а. 4-проводной RTD (см. [Рисунок 7](#)): Соедините четыре провода по парам в соответствии с их цветом (или другой идентификационной характеристикой). Подключите одну пару проводов к контактам J3 1 и 2, а другую пару — к контактам J3 3 и 4. К каждому контакту должен быть подключен только один провод.
- б. 3-проводной RTD (см. [Рисунок 8](#)): Подключите нечетный провод к контакту 1 разъема J3, а два общих провода — к контактам 3 и 4 разъема J3. К каждому контакту следует подключать только один провод.
- в. 2-проводной RTD (см. [Рисунок 9](#)): подключите один провод RTD к контакту 1 разъема J3, а другой провод — к контакту 4 разъема J3.

г. Если провода RTD экранированы, подключите экран к контакту J5.

5.

6. Подключите блок питания EVAL-CFTL-6V-PWRZ к EVAL-CN0359-EBZ.

7. Подождите, пока ADuCM360 очистит буферы и отобразит проводимость и температуру. Если на экране отображается ошибка и зуммер издает звуковой сигнал более 20 раз, проверьте соединения датчиков.

[Рисунок 12](#) показана типичная установка для измерения проводимости.

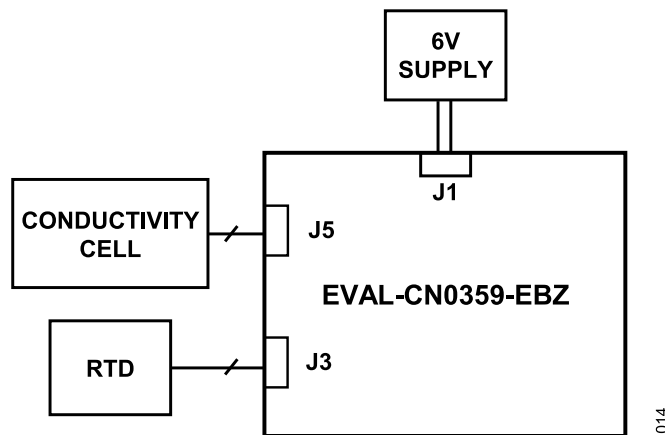


Рисунок 12. Функциональная схема тестовой установки

014

УЗНАТЬ БОЛЬШЕ

CN0359 Пакет поддержки проектирования

ADIsimPower Design Tool. Аналоговые устройства

Справочник по проектированию линейных цепей. Аналоговые устройства/Elsevier.

Справочник по применению операционных усилителей. Аналоговые устройства/

Elsevier. Справочник по преобразованию данных. Аналоговые устройства/Elsevier.

Руководство для разработчиков инструментальных усилителей, 3-е издание. Аналоговые устройства.

Учебное пособие по MT-031. Заземление преобразователей данных и разгадка тайны «AGND» и «DGND». Аналоговые устройства.

Учебное пособие по MT-101. Методы разъединения. Аналоговые устройства.

Практические методы проектирования для обработки сигналов датчиков, раздел 7. Аналоговые устройства.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАСПОРТА И ОЦЕНОЧНЫЕ ПЛАТЫ Технический

паспорт AD8253

Оценочная плата AD8253 ADA4627-1

Технические характеристики

Оценочная плата ADA4627-1 ADA4622-1

Технические характеристики

ADA4638-1 Технические характеристики

ADA4528-2 Технические характеристики

ADA4528-2 Оценочная плата ADA4077-2

Технические характеристики

Технический паспорт AD8592

Технический паспорт AD8542

Технический паспорт ADuCM360

Оценочная плата ADuCM360 ADP2300

Технические характеристики

Оценочная плата ADP2300 ADP5072

Технические характеристики

Оценочная плата ADP5072,

лист данных ADG1211

Оценочная плата ADG1211,

технический паспорт ADG1419

Оценочная плата ADG1419

ИСТОРИЯ ПЕРЕСМОТРОВ

02/2023 — Ред. В — Ред. С

Изменения в функциях и преимуществах схемы

Раздел и рисунок 1.....	1
Изменения в разделе описания схемы	3
Изменения в разделе «Теория проводимости».....	3
Добавлен раздел генерации возбуждения.....	4
Добавлен раздел обработки аналогового сигнала.....	4
Добавлен раздел «Захват и измерение АЦП»...5	
Добавлен раздел «Расчет проводимости»...5	
Изменения в измерениях точности системы	
Раздел.....	6
Добавлено предотвращение электролиза и	
Раздел поляризации.....	6
Изменения в разделе измерений RTD.....	7
Изменения в разделе «Цепи электропитания»	
и рисунки 10 и 11	8
Изменения в разделе «Распространенные вариации».....	8
Изменения в разделе «Настройка».....	9

09/2016 — Версия А — Версия В

Изменения в оценке и поддержке дизайна

Раздел.....	1
Изменения на рисунке 3.....	5
Изменения в работе программного обеспечения и пользователя	
Раздел интерфейса и рисунок 12.....	

11/2015 — Версия 0 — Версия А

Изменения в разделе «Настройка».....9

11/2015 — Редакция 0: Первоначальная версия



Осторожно, электростатический разряд

Устройство, чувствительное к электростатическому разряду (ЭСР). Заряженные устройства и платы могут разрядиться без обнаружения. Хотя этот продукт оснащен запатентованной или фирменной схемой защиты, повреждения могут возникнуть на устройствах, подверженных высокому уровню ESD. Поэтому следует принять надлежащие меры предосторожности ESD, чтобы избежать ухудшения производительности или потери функциональности.

(Продолжение с первой страницы) Схемы Circuits from the Lab предназначены только для использования с продукцией Analog Devices и являются интеллектуальной собственностью Analog Devices или ее лицензиаров. Хотя вы можете использовать схемы Circuits from the Lab в конструкции своего продукта, никакая другая лицензия не предоставляется подразумеваемым или иным образом по любым патентам или другой интеллектуальной собственности путем применения или использования схем Circuits from the Lab. Информация, предоставленная Analog Devices, считается точной и надежной. Тем не менее, схемы Circuits from the Lab поставляются «как есть» и без каких-либо гарантий, явных, подразумеваемых или установленных законом, включая, помимо прочего, любые подразумеваемые гарантии товарной пригодности, ненарушения прав или пригодности для определенной цели, и Analog Devices не несет ответственности за их использование, а также за любые нарушения патентов или других прав третьих лиц, которые могут возникнуть в результате их использования. Компания Analog Devices оставляет за собой право изменять любые схемы лабораторных схем в любое время без предварительного уведомления, но не обязана делать это.

