

# ИНТЕРФЕЙСНАЯ МИКРОСХЕМА ADAS1000

## ОПТИМАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ПРИБОРОВ ЭКГ

Й.-Х. Бредерс Jan.Broeders@analog.com

При разработке медицинского оборудования и, в частности, систем ЭКГ необходимо соблюдать ряд жестких требований по безопасности и функциональности. Кроме этого, важны такие характеристики, как автономность, производительность и др. Удовлетворить всем этим требованиям можно, используя при проектировании аппаратной части стандартные элементы. Фирма Analog Devices разработала интерфейсную микросхему ADAS1000, предназначенную специально для аппаратуры ЭКГ.

Устройства ЭКГ и контроля состояния пациента обычно используются в больницах, клиниках, а также в службах спасения и скорой помощи. Их можно разделить на две группы.

Первая – это диагностические системы для детального исследования ЭКГ. Они должны обеспечивать наибольшую точность измерений и иметь минимальный уровень собственных шумов. Эти приборы в основном работают в частотном диапазоне от 0,05 до 150 Гц. Их назначение – измерять амплитуды, временные параметры и фронты импульсов ЭКГ (рис.1). С помощью анализа этих данных выявляются нарушения в работе сердца и ставится диагноз.

Вторая группа – это кардиомониторы, которые применяются в стационарах, врачами скорой помощи, во время хирургических операций и прочих ситуаций, когда необходимо контролировать работу сердца пациента и другие параметры в течение некоторого времени. Для этого не требуются высокая точность и низкий уровень шумов, а частотный диапазон таких приборов в большинстве случаев находится в пределах от 0,5 до 40 Гц. Мониторы, предназначенные для контроля состояния лежачих больных, часто

дополняют датчиками температуры, уровня кислорода и углекислого газа в крови, артериального давления и частоты дыхания.

Фирма Analog Devices разработала специальную интерфейсную микросхему ADAS1000 для устройств ЭКГ. Она предназначена для получения сигналов с электродов и их первичной обработки.

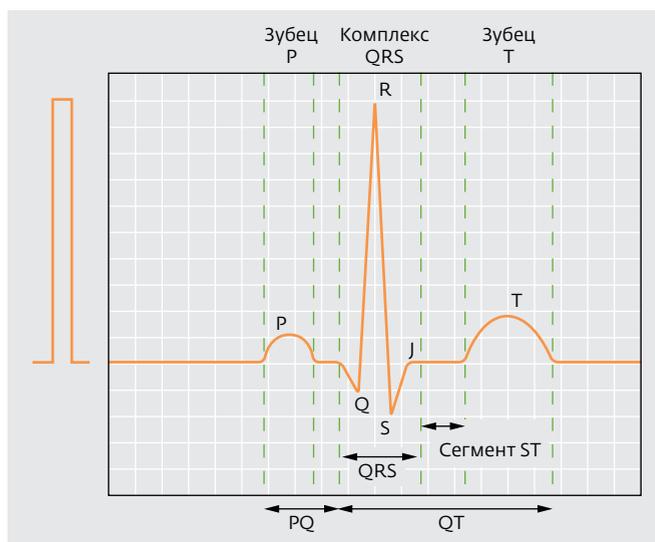


Рис.1. Типичная форма ЭКГ

Пользователь может конфигурировать интерфейс в зависимости от требований к конечному устройству, подбирая оптимальное соотношение количества каналов, уровня шумов, энергопотребления и т.д. Благодаря этому ADAS1000 можно использовать в медицинских приборах самого различного назначения – диагностических системах, кардиомониторах, в аппаратуре для проведения стресс-тестов, дефибрилляторах и т.д.

### ВХОДНАЯ ЦЕПЬ

Микросхема ADAS1000 имеет пять одинаковых входных каналов, к которым подключаются электроды (рис.2). Матрица переключений на входе каналов позволяет подключать к входу различные цепи в зависимости от конфигурации системы (рис.3). Поступивший на вход сигнал с электрода мультиплексируется и перенаправляется на дифференциальный усилитель с диапазоном  $\pm 1$  В относительно синфазной составляющей 1,5 В. Усилитель обеспечивает подавление синфазного сигнала на 110 дБ и усиление до 2 В/В с задаваемым шагом. Введение ограничения усиления позволяет связать всю систему по постоянному току и не использовать развязывающие конденсаторы, необходимые для

снятия сотен милливольт напряжения смещения, поступающих от электродов. В этом случае выводы электродов напрямую подсоединяются к входу чипа. Отсутствие емкостей обеспечивает быстрое время восстановления системы после мощных импульсов или перегрузок. Это особенно важно при использовании дефибриллятора, так как в этом случае необходимо контролировать сердцебиение сразу же после разряда. Система без развязки по постоянному току готова к работе уже через миллисекунды после импульса, тогда как конденсаторы в цепях с развязкой могут хранить заряд в течение нескольких секунд, все это время удерживая усилитель в состоянии насыщения. Кроме того, отсутствие конденсаторов экономит площадь печатной платы.

Усиленный сигнал поступает на активный помехоподавляющий фильтр (anti-aliasing filter). Этот фильтр имеет фиксированную частоту среза 65 кГц и обеспечивает дополнительное усиление, в общем достигающее 2,8 В/В. Далее сигнал поступает на АЦП, который построен по схеме последовательного приближения. Такая архитектура обеспечивает высокое соотношение сигнал-шум, хорошую линейность и низкую рассеиваемую мощность. Частота выборки АЦП устанавливается в зависимости

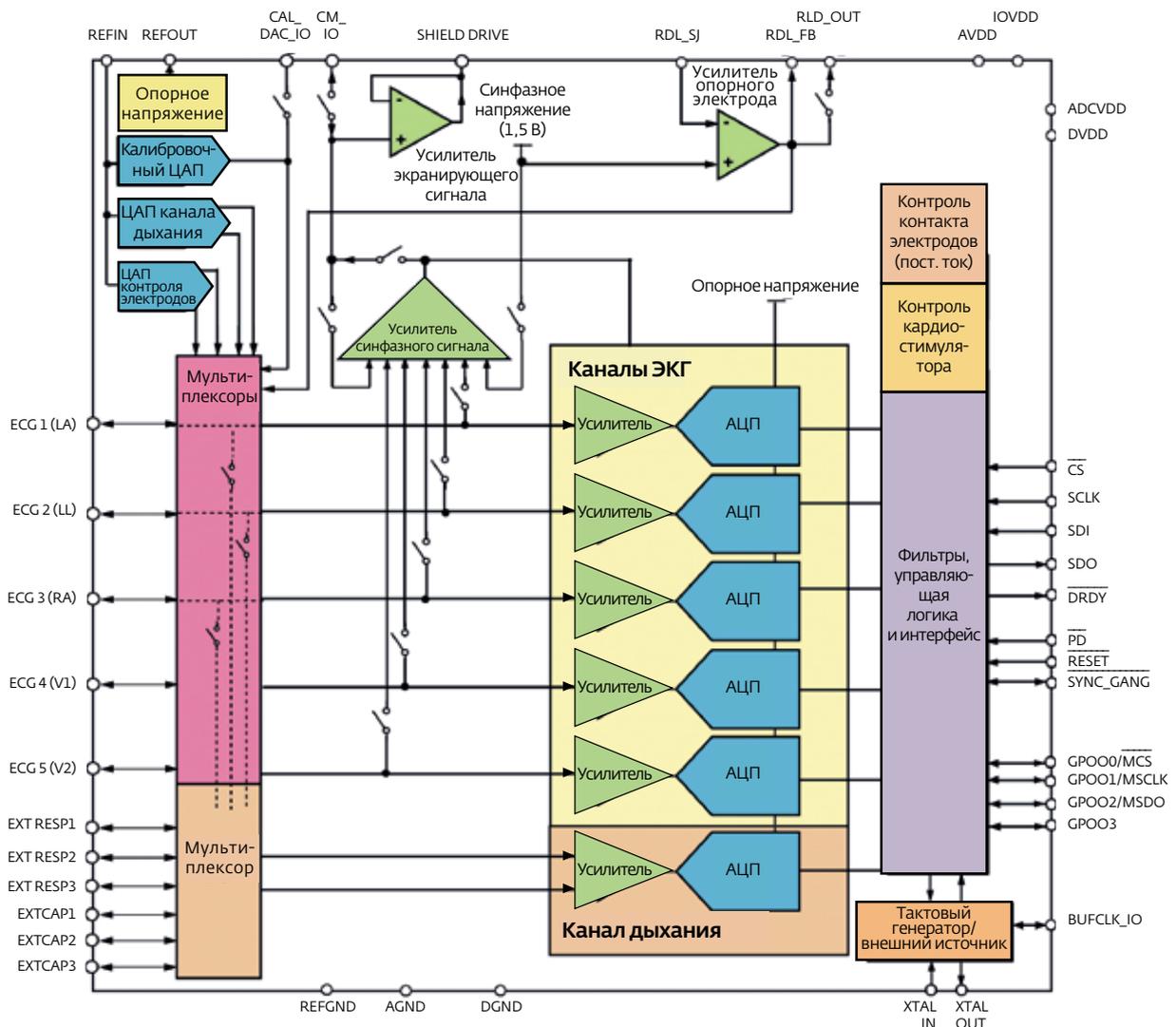


Рис.2. Блок-схема интерфейса ADAS1000

от целей разработчика. В случаях, когда важна производительность, а не потребляемая мощность, АЦП может работать на максимальной частоте 2 МГц, обеспечивая разрешающую способность 4 мкВ (20 бит с усреднением и фильтрацией). Если такая производительность не требуется, частота выборки может быть уменьшена. Это снижает потребляемую мощность и позволяет более экономно расходовать батарею в автономных устройствах для круглосуточной записи ЭКГ (холтер-мониторинга).

ADAS1000 обеспечивает также первичную обработку данных – усреднение выборок и фильтрацию и передачу данных по интерфейсу SPI. При 16-битных данных частота передачи составляет 128 кГц, она снижается до 16 кГц при 18 битах и до 2 кГц – при 20 битах данных. В зависимости от скорости передачи и количества разрядов слов

данных изменяется и энергопотребление микросхемы. В режиме высокой производительности при всех работающих каналах ADAS1000 потребляет 22 мВт. Это значение может быть снижено до 11 мВт за счет снижения скорости передачи данных или отключения некоторых функций.

Отдельный калибровочный АЦП предназначен для генерации синусоидальных или прямоугольных сигналов, с помощью которых осуществляется калибровка или проводятся тесты системы.

### ЗАЩИТА ОТ ПОМЕХ

В теле пациента, подключенного к системе ЭКГ, наводится множество помех, в основном с частотой 50/60 Гц от осветительных сетей, люминесцентных ламп и т.д. Помехи сильно осложняют снятие слабых (средняя амплитуда импульса QRS – порядка

## ЭКГ отведения

Число отведений	Обозначение	Вычисление	Эквивалент
8 отведений, используется одна микросхема	I	$LA - RA$	
	II	$LL - RA$	
	III	$LL - LA$	
	aVR	$RA - 0,5 \times (LA + LL)$	$-0,5 \times (I + II)$
	aVL	$LA - 0,5 \times (LL + RA)$	$0,5 \times (I - III)$
	aVF	$LL - 0,5 \times (LA + RA)$	$0,5 \times (II + III)$
	V1'	$V1 - 0,333 \times (LA + RA + LL)$	
12 отведений, используются две микросхемы	V2'	$V2 - 0,333 \times (LA + RA + LL)$	
	V3'	$V3 - 0,333 \times (LA + RA + LL)$	
	V4'	$V4 - 0,333 \times (LA + RA + LL)$	
	V5'	$V5 - 0,333 \times (LA + RA + LL)$	
	V6'	$V6 - 0,333 \times (LA + RA + LL)$	

2 мВ, см.рис.1) сигналов ЭКГ. Уменьшить влияние этих помех можно, используя систему компенсации синфазного сигнала. Обычно при проведении ЭКГ-исследований за нулевую точку принимают потенциал электрода на самой удаленной от сердца точке тела пациента - правой ноге (RLD). Для подключения этого электрода ADAS1000 имеет специальный канал. Подавая на электрод RLD компенсирующий инвертированный сигнал с измерительных электродов, можно уменьшить уровень помех и снизить шумы. ADAS1000 позволяет управлять потенциалом на RLD, выводя на него либо синфазное напряжение 1,5 В с внутреннего источника, либо компенсирующий сигнал с одного или нескольких электродов. Если контакт электрода RLD с телом пациента нарушится, ADAS1000 перенаправляет компенсирующий синфазный сигнал на один из измерительных электродов, поддерживая таким образом работоспособность системы. Компенсирующий сигнал можно также подавать через встроенный буфер на экраны кабелей, обеспечивая тем самым дополнительное подавление помех.

## ЭКГ ОТВЕДЕНИЯ И СИГНАЛЫ С ЭЛЕКТРОДОВ

При использовании стандартной пятиэлектродной системы для снятия ЭКГ используются четыре электрода и RLD. Электроды подключаются к левой руке, правой руке, левой ноге и в области сердца пациента (LA, RA, LL, V1). При этом один канал остается незадействованным и его можно использовать для измерения артериального давления, температуры и т.д. Есть возможность отключения неиспользуемых каналов для снижения потребляемой мощности.

Информация с каналов может быть представлена как в виде сигналов с каждого электрода, так и в виде отведений - разностей между двумя или несколькими сигналами (см. таблицу). Одна микросхема ADAS1000 может поддерживать до восьми отведений. Для систем с большим их числом используется комплекс из двух ADAS1000, в котором одна микросхема работает в управляющем режиме, а другая - в подчиненном. Отведения V1'-V6' рассчитываются как разности потенциалов между электродами V1-V6 (в области сердца) и объединенной точкой Вильсона (Wilson

Common Terminal, WCT) – средним значением потенциалов на электродах LA, LL и RA.

Пользователь может выбирать различные скорости передачи данных от 2 до 16 кГц. В том случае, если необходима максимальная скорость передачи данных в 128 кГц на канал, то нужно передавать только данные с электродов. Это связано с ограничениями последовательного интерфейса.

**ПРОВЕРКА КАЧЕСТВА КОНТАКТА ЭЛЕКТРОДОВ**

При проведении исследований ЭКГ очень важно вовремя обнаружить нарушение контакта электродов с телом пациента. Это необходимо не только для своевременного оповещения об ухудшении состояния больного, но и позволяет сберечь время при проведении холтер-мониторинга, когда нарушение контакта может сделать напрасным двух- или трехсуточное исследование. ADAS1000 поддерживает два метода определения нарушения контакта – по переменному или постоянному току, а также позволяет использовать одновременно оба метода. При нарушении контакта устанавливается соответствующий флаг, а информация об этом событии передается по интерфейсу SPI.

При использовании метода постоянного тока через тело пациента от электрода левой ноги течет слабый ток (устанавливается в диапазоне 10-70 мкА

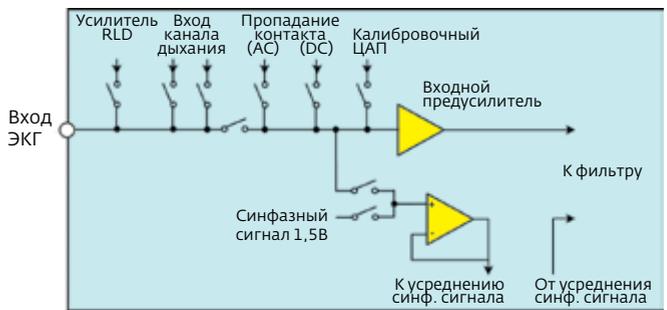


Рис.3. Входная цепь канала ЭКГ

с шагом в 10 мкА), который вызывает незначительное смещение потенциалов на электродах. Если контакт какого-либо электрода с телом нарушился, этот ток заряжает конденсатор, который вызывает изменение полярности напряжения на электроде, что определяется как отсутствие контакта. Пороги обнаружения положительного и отрицательного уровней напряжения могут быть установлены отдельно для каждого канала.

Метод переменного тока позволяет определить не только пропадание контакта, но и оценить его качество. При использовании этого метода через тело пациента пропускается синусоидальный сигнал частотой 2 кГц, которая лежит вне полосы пропускания прибора ЭКГ. Качество контакта

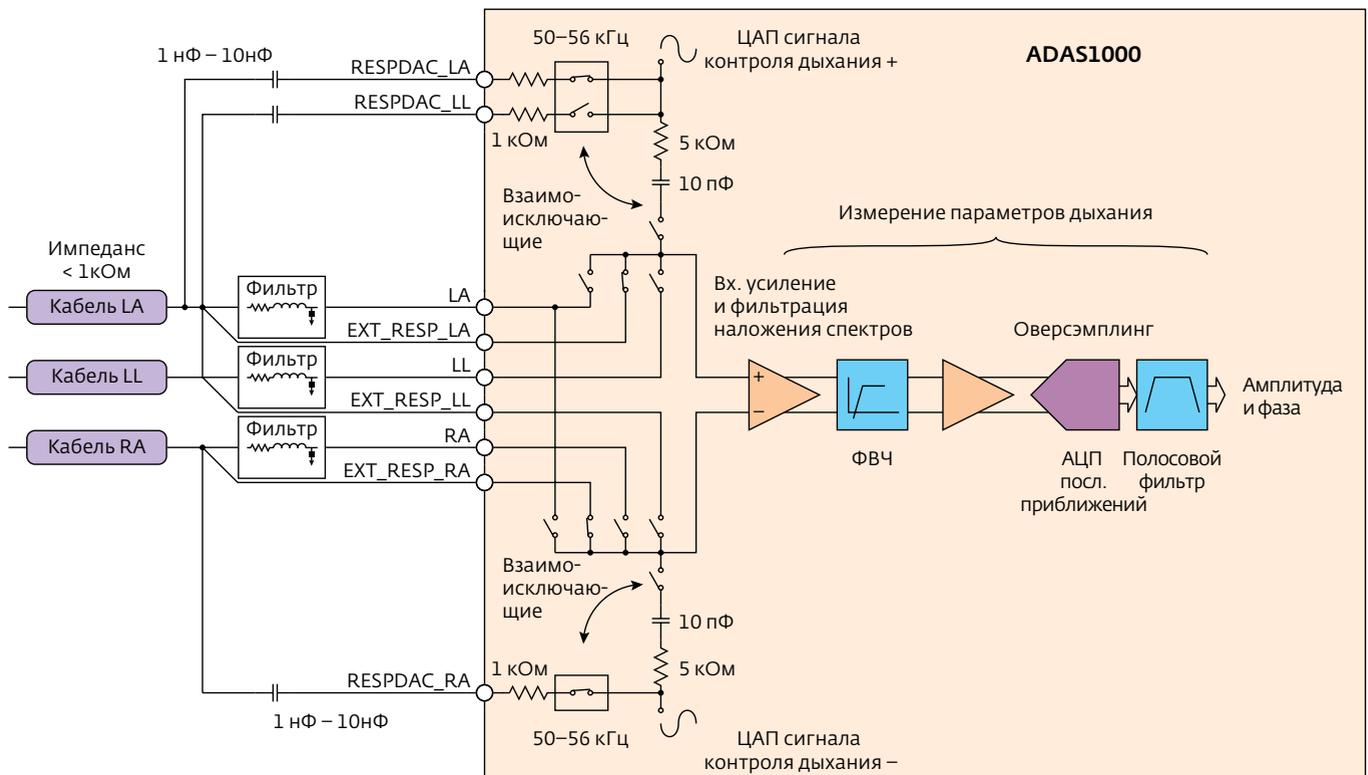


Рис.4. Цепь измерения частоты дыхания

оценивается измерением падение напряжения между электродами. Для минимизации общего тока сигналы переменного тока настраиваются отдельно для каждого электрода и могут быть заданы в противофазе. Задержка при определении отсутствия контакта – менее 10 мс.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ

Многие устройства мониторинга и приборы ЭКГ также снимают данные о частоте дыхания пациента. Один из методов получения этих данных – измерение изменения сопротивления грудной клетки, для чего через электроды пропускают высокочастотный ток и измеряют падение напряжения. Измерительный сигнал частотой 50–56 кГц генерируется встроенным АЦП и через развязку подается на отведения I, II или III. Таким образом, для измерения частоты дыхания не требуется дополнительных электродов, тем не менее, возможность их подключения к отдельным входам микросхемы предусмотрена. Следует иметь в виду, что на коэффициент модуляции измерительного сигнала могут влиять радиочастотные и защитные фильтры, устанавливаемые на некоторые ЭКГ-кабели.

Канал мониторинга дыхания (рис.4) позволяет проводить измерения с разрешением до 200 мОм при токе до 30 мкА. Если требуется более высокое разрешение (до 20 мОм), есть возможность использовать внешнюю RC-цепь, отключив с помощью встроенного переключателя внутреннюю.

При снятии электрокардиограммы полезно определить, использует ли пациент электронный кардиостимулятор. ADAS1000 имеет функцию детектирования стимулирующих импульсов. При обнаружении стимулятора выставляется соответствующий флаг, кроме этого, имеется возможность получить информацию об амплитуде и длине импульсов. Для их точного детектирования АЦП запускается на самой высокой частоте дискретизации. Импульсы стимулятора определяются с трех или четырех отведений (I, II, III и VF). Диапазон значений – от 100 мкс до 4 мс, амплитуды – от 400 мкВ до 250 мВ. Если разработчик захочет использовать собственный алгоритм обнаружения стимулирующих импульсов, данные с АЦП могут быть переданы на внешний процессор по интерфейсу SPI.

### ЧТО ЕЩЕ НЕОБХОДИМО ДЛЯ ПРИБОРА ЭКГ

Интерфейсная микросхема ADAS1000 имеет много функций, необходимых разработчику для постройки системы ЭКГ. Пятиканальная конфигурация подходит для подавляющего большинства систем, присутствующих на рынке, при

необходимости увеличения числа каналов до 12 используется еще одна микросхема.

Для системы ЭКГ также необходим процессор. ADAS1000 может быть подключена напрямую к комбинированному RISC-DSP процессору Blackfin. RISC-ядро может осуществлять и управление системой, и обработку данных, и формирование графического интерфейса пользователя. Типичный алгоритм обработки ЭКГ (фильтрация изолинии, подавление шумов и детектирование зубца R) реализуется на сигнальном процессоре.

Для обеспечения безопасности пациента, в соответствии со стандартом IEC 60601-1, фирма Analog Devices предлагает усиленные (до 5 кВ) гальванические развязки iCoupler. Используя эти блоки, можно создать полнофункциональный прибор ЭКГ в короткие сроки и с минимальными затратами. Стандартизация аппаратной части позволяет производителям медицинского оборудования не заниматься ее разработкой, а сосредоточить усилия на алгоритмах обработки данных, программном обеспечении и пользовательских интерфейсах. ●