

Датчики Analog Devices

для систем контроля жизнедеятельности человека

Когда был предложен термин «контроль самочувствия в домашних условиях», он изначально относился не к пространству, ограниченному четырьмя стенами, в которых мы живем, а скорее к контролю основных показателей жизнедеятельности отдельного человека, когда он или она находится вне лечебного учреждения. Но поскольку «дом» — это место, где мы теоретически проводим большую часть времени, этот термин получил широкое применение. В то же время контролируется именно состояние человека вне зависимости от окружающей среды. (Хотя окружающая среда играет существенную роль в процессе измерения и передачи информации об основных показателях жизнедеятельности.) Заменяв термин «контроль самочувствия в домашних условиях» на «персональный контроль самочувствия», мы «убираем стены», а место и способ измерения параметров жизнедеятельности теряют границы. В этой статье мы рассмотрим переопределенную концепцию контроля самочувствия в домашних условиях, где дом — это буквально то место, где «живет» сердце человека.

Тони ЗАРОЛА (Tony ZAROLA)

Система здравоохранения меняется, и наши ожидания о способе и уровне оказания помощи подстраиваются под эти изменения. В развитых странах инвестиции в область здравоохранения привели к значительному развитию средств диагностики и контроля самочувствия. До недавнего времени многие полагали, что индустрия здравоохранения продолжит эволюционировать в развитых странах и в конечном итоге будет доступна периферийным регионам, исторически получающим минимальную финансовую поддержку. Но в связи с растущими расходами на здравоохранение пришло понимание того, что наши ожидания могут потребовать корректировки. Степень доступности здравоохранения варьируется от региона к региону, и концепция здравоохранения для всех, несмотря на свои благородные цели, по-прежнему далека от реализации.

Инновационные технологии сокращают затраты на здравоохранение

Один из способов сокращения стоимости здравоохранения заключается в применении новейших технологий и инновационных решений, которые позволяют пациентам покинуть больницу быстрее, но при этом без вреда для здоровья. За счет продолжения лечения и контроля самочувствия там, где это дешевле, например дома, общие затраты на систему здравоохранения уменьшаются.

При этом пациенты получают возможность восстанавливаться в комфортной обстановке. Для обеспечения безопасности здоровья пациента и снижения риска повторной госпитализации важно создание высококачественных приборов контроля основных показателей жизнедеятельности.

Контроль состояния вне больничных условий (за исключением наблюдения в поликлиниках и кабинетах докторов), как правило, ассоциируется с традиционными методами контроля самочувствия (рис. 1) и общего жизненного тонуса на дому. Исторически они включают в себя измерения с помощью простого термометра, весов и, в некоторых случаях, тонометра. Ввиду резкого роста заболеваемости сахарным диабетом наиболее распространенным прибором для контроля развития заболеваний являются датчики

глюкозы. Также, в некоторой степени, к категории средств дистанционного наблюдения вне больничных условий могут быть отнесены приборы, измеряющие пульс и предназначенные для занятий спортом и фитнесом. Они обычно представляют собой прикрепляемые к груди или удерживаемые в руке электроды, используемые при занятиях на беговых дорожках в спортзале.

Преимуществам удаленного контроля самочувствия посвящено множество отчетов, статей и исследований. В то же время, если вы посмотрите на количество компаний и учреждений, которые тратят время и силы на внедрение методов контроля основных параметров жизнедеятельности в производимые ими системы, то вскоре вам станет ясно, что сфера удаленного контроля самочувствия включает в себя гораздо больше, чем традиционные дом или спортзал. Этот рынок растет по экспоненциальному закону и потенциально способен превзойти по объемам многие другие секторы рынка здравоохранения.

Внедрение средств контроля основных показателей жизнедеятельности в различных сегментах рынка становится возможным благодаря комбинации перечисленных ниже предпосылок.

Отрицательные предпосылки:

- Необходимость сдерживания и сокращения постоянно растущей стоимости здравоохранения в глобальных масштабах. (В США на здравоохранение тратится около 18% национального ВВП.)



Рис. 1. Традиционные средства контроля самочувствия



Рис. 2. Расширенное определение рынка домашних средств для контроля основных показателей жизнедеятельности

- Старение населения накладывает беспрецедентную нагрузку на систему здравоохранения. (В первый раз за всю историю наблюдений к 2030 году количество людей старше 65 лет в США превысит количество пятилетних детей.)
 - Нездоровый образ жизни. (Ожирение является основной причиной роста хронических заболеваний, включая диабет, гипертонию и легочные заболевания.) Положительные предпосылки:
 - Инфраструктура систем связи, обеспечивающая глобальный доступ к ресурсам здравоохранения.
 - Развитие технологий, которые делают удаленный контроль самочувствия возможным без нарушения нашего жизненного цикла.
 - Развитие вспомогательной инфраструктуры, обеспечивающей мотивацию для ведения здорового образа жизни.
 - Осознание того, что упреждающий контроль самочувствия способен сократить вероятность и продолжительность случаев госпитализации.
- Сегменты рынка, в которых в настоящее время изучаются возможности внедрения этой концепции, включают в себя:
- Больницы (возможность перехода к контролю самочувствия на дому).
 - Жилые комплексы для пенсионеров с предоставлением частичного ухода.
 - Спортивные площадки, включая стадионы.
 - Школы и другие образовательные учреждения.



Рис. 3. Способы измерения основных показателей жизнедеятельности

- Оздоровительные программы, осуществляемые по страховке или спонсируемые работодателем.
 - Военный сектор.
 - Автомобильная промышленность.
 - Сектор бытовой электроники (смартфоны, интеллектуальные часы, игровые устройства).
 - Контроль здоровья животных* (уход за скотом и домашними животными).
- Основные параметры жизнедеятельности, представляющие интерес для каждого из этих секторов, во многом совпадают, од-

нако ограничения окружающих условий, а также способы интерпретации и использования полученной информации оказывают большое влияние на эффективность любого устройства контроля. Компания Analog Devices является лидером в этой области и предлагает инновационные решения, отвечающие текущим потребностям рынка.

Далее мы рассмотрим ряд сегментов рынка с анализом соответствующих целей и ограничений, а также предлагаемых технологий, которые позволят реализовать желаемые возможности измерения и контроля основных показателей жизнедеятельности.

Домашние условия

Ранее мы уже затронули тему традиционных устройств контроля, используемых на дому (весы, термометр, измеритель кровяного давления, датчик глюкозы). Эти устройства, как правило, используются периодически, по мере необходимости. Для непрерывного контроля требуется изменение как самого прибора, так, зачастую, и мотивации отдельно взятого человека.

Подобные устройства должны не нарушать наш стиль жизни, а органично вписываться в него. Это требование является одним из наиболее важных для всех целевых

* Несмотря на то, что технически контроль здоровья животных не относится к проблеме здравоохранения, этот рынок бурно развивается и использует некоторые из технологических достижений, которые применяются в средствах контроля самочувствия человека.

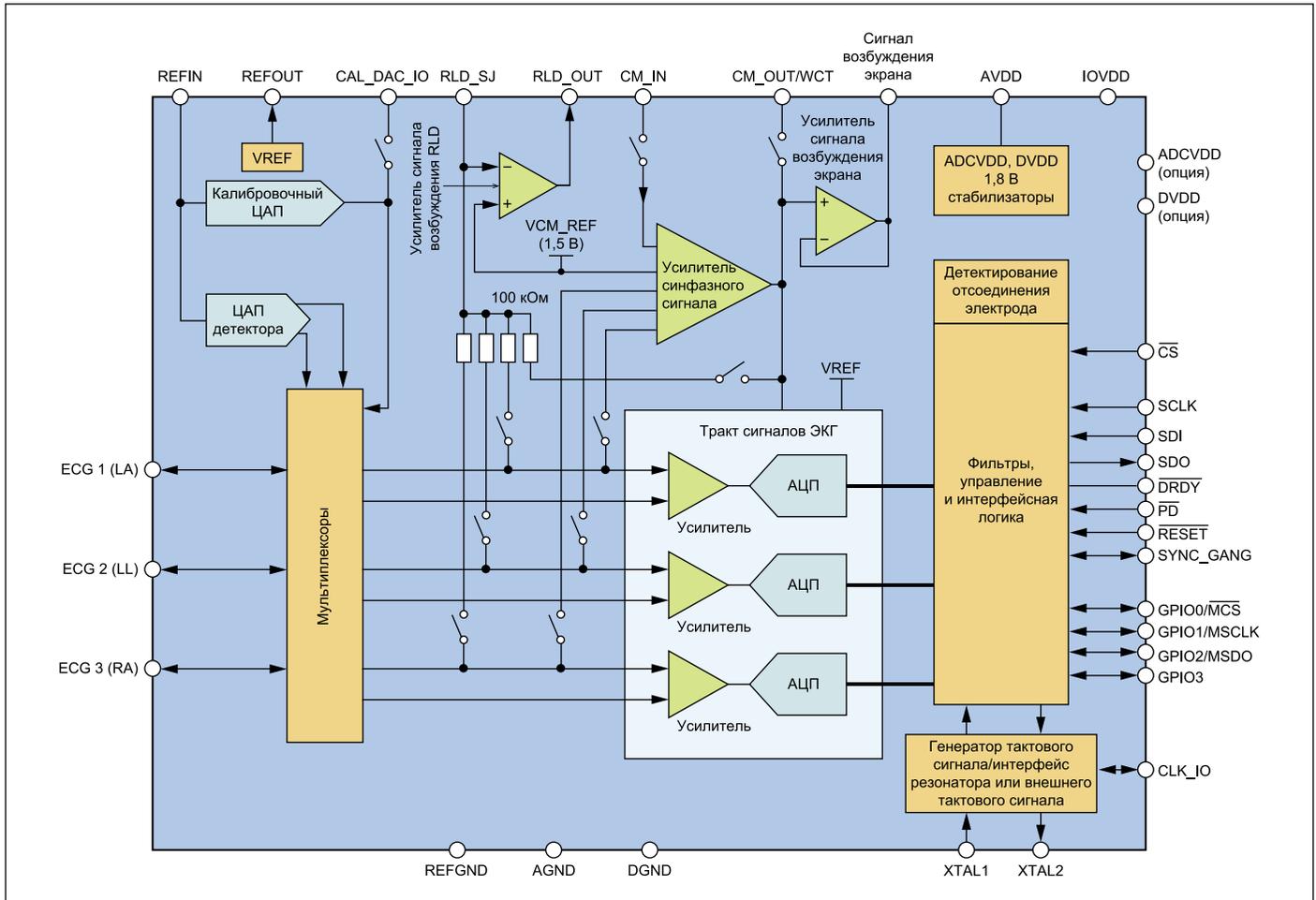


Рис. 4. Упрощенная блок-схема аналогового интерфейса трехэлектродного аппарата ЭКГ ADAS1000

сегментов рынка. Приборы должны иметь небольшие габариты и, поскольку с высокой вероятностью большинство из них будут прикрепляться к телу, питаться от батарей (одноразового использования либо перезаряжаемых). Пользователь не захочет часто менять или перезаряжать батареи, поэтому устройства должны обладать низкой потребляемой мощностью для длительного непрерывного функционирования.

Интерфейс связи играет существенную роль в удаленном контроле здоровья.

Метод, применяемый для передачи информации, определяется контролируемым параметром жизнедеятельности и целевым приемником информации. Так, например, средства обнаружения падения требуют передачи данных в режиме реального времени с малой задержкой, в то время как от средств контроля частоты сердечбиений необходимо получение лишь периодически обновленных данных. В настоящее время наблюдается тенденция к широкому внедрению беспроводных интерфейсов передачи данных. Для новых проектов обязательным требованием является применение Bluetooth Smart, Wi-Fi, GPRS или нестандартных протоколов радиосвязи. И естественно, что для контроля здоровья человека дома (как периодического,

так и непрерывного круглосуточного) необходимы надежные, малопотребляющие беспроводные средства связи.

Существенную роль в развитии интерфейсов между неомогенными устройствами и средствами сторонних компаний играет организация Continua Alliance.

Задачи контроля самочувствия в домашних условиях можно разделить на три категории:

- контроль развития заболеваний;
- оздоровительные процедуры;
- безопасность.

К задачам контроля развития заболеваний относятся измерение глюкозы и сердечной активности, пульсоксиметрия (измерение степени насыщения крови кислородом), непрерывный контроль кровяного давления и дыхательной деятельности. Очевидно, что применение устройств, выполняющих подобные измерения, будет регламентировано в результате консультаций с лечащим врачом. Такие приборы должны быть одобрены определенным сертифицирующим органом (например, FDA), и к ним будут предъявляться жесткие требования на соответствие стандартам, аналогично устройствам, применяемым в больничных условиях. Кроме того, подобные устройства должны быть компакт-

ными, портативными, малопотребляющими и иметь интерфейс связи.

Такие продукты, как ADAS1000-3 — аналоговый интерфейс для систем ЭКГ с тремя отведениями, способны обеспечить качество сигналов (рис. 4), достаточное для диагностических исследований в соответствии с требованиями сертификационных органов и, в то же время, отвечают требованиям к малым габаритам, портативности и низкой потребляемой мощности, предъявляемым к домашним приборам контроля здоровья.

В отличие от задачи контроля развития заболеваний, где мотивация для внешнего контроля очевидна (так как последствия могут быть фатальными), для мотивации к применению профилактических и оздоровительных средств иногда требуются дополнительные сторонние факторы. Так, например, когда мы встаем на весы, наши последующие действия могут зависеть от нашей эмоциональной реакции. Мы можем ощутить удовлетворение от того, что избавились от нескольких килограммов, и приобрести дополнительную мотивацию для продолжения занятий на беговой дорожке, или же расстроиться от того, что наш тяжелый труд возымел небольшой эффект, и найти утешение на комфортабельном диване в гостиной.

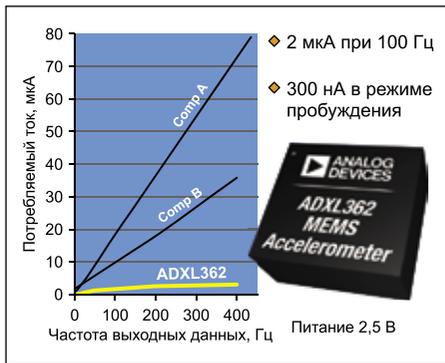


Рис. 5. Микропотребляющий трехосевой акселерометр МЭМС ADXL362

(Обратное также может иметь место — вечер на диване может быть наградой за несколько сброшенных килограммов.)

Сложность контроля собственного здоровья, особенно в отсутствие очевидных результатов или вознаграждения за наши старания, понятна любому из нас. Зачастую сторонние средства мотивации являются необходимостью. Существует тысячи приложений для смартфонов, предназначенных помочь нам в поддержании здорового режима, включая программы подсчета потребляемых и сжигаемых калорий, счетчики количества шагов, приложения для помощи при соблюдении диеты и выполнении упражнений. Все они имеют цель — создание дополнительной мотивации, позволяющей придерживаться здорового образа жизни.

Игровые консоли представляют собой вариант платформы для занятий физическими упражнениями в домашних условиях с интегрированной мотивационной составляющей. Для спортивно-оздоровительных занятий на дому технология, которая реализована в устройстве контроля, должна обеспечивать связь с мотивирующим тренером, способным предоставить обратную связь и дать поощрение.

Одним из наиболее распространенных приборов, которыми сейчас начинают снабжать пожилых людей, являются детекторы падения. Они не способны предотвратить падение, но формируют дистанционный сигнал тревоги, который оповещает надлежащие органы о неблагоприятном событии. Ключевыми требованиями, предъявляемыми к подобным устройствам, являются низкая потребляемая мощность, малый конструктив и наличие интерфейса связи. Они также должны быть способны отличить быстрое приседание от настоящего падения. Расширенный срок службы батарей для них является критическим, так как для замены батареи может потребоваться визит опекуна или третьих лиц, за который придется заплатить дополнительно. В свою очередь, при полном разряде батареи средство контроля становится неактивным, что подвергает его владельца дополнительному риску. Для об-

наружения и определения типа движения в детекторах падения применяются акселерометры с малым диапазоном измеряемых ускорений.

ADXL362 (рис. 5) — это обладающий наименьшей в отрасли потребляемой мощностью трехосевой акселерометр, основанный на технологии МЭМС. Благодаря рабочему току 1,8 мкА при частоте обновления данных 100 Гц, 3 мкА при частоте обновления данных 400 Гц и всего 270 нА в режиме пробуждения при наличии движения, а также току в состоянии ожидания 10 нА акселерометр ADXL362 способен продлить срок службы батарей в детекторе падения на многие месяцы.

Занятия спортом/фитнесом

Одним из наиболее быстро развивающихся секторов рынка средств контроля здоровья является сфера спорта и фитнеса. Задачи контроля, характерные для этой сферы, можно разделить на две категории:

- фитнес;
- безопасность.

Традиционно контроль самочувствия при занятиях фитнесом проводится при помощи устройств измерения частоты сердечбиений, прикрепляемых к груди человека или встраиваемых в ручки, за которые он держится, занимаясь на беговой дорожке. Измерение

пульса с использованием электродов по-прежнему остается популярным подходом для регистрации показателей сердечной активности. Однако при этом изменяется форма самих электродов. Так, например, новые технологии текстильной промышленности — применение проводящего материала в полотно ткани — позволяют использовать для сбора биопотенциальных сигналов поверхность большей площади.

Как и в предыдущем случае, носимые на теле средства контроля должны потреблять низкую мощность и иметь малые габариты без ухудшения показателей качества. Схема аналогового интерфейса измерителя частоты сердечбиений AD8232 компании Analog Devices обеспечивает эффективный сбор биопотенциальных сигналов при низком энергопотреблении и малой стоимости. К ключевым особенностям этого компонента относятся обнаружение отсоединения электрода, быстрое восстановление, формирование сигнала возбуждения для схемы компенсации с помощью электрода, подключаемого к правой ноге (right leg drive), а также гибкая архитектура, поддерживающая конфигурацию с внешними фильтрами, которые помогают уменьшить влияние побочных продуктов движения. Благодаря однополярному питанию и потребляемому току 175 мкА (тип.) применение AD8232 существенно упрощает процесс проектирования (рис. 6).

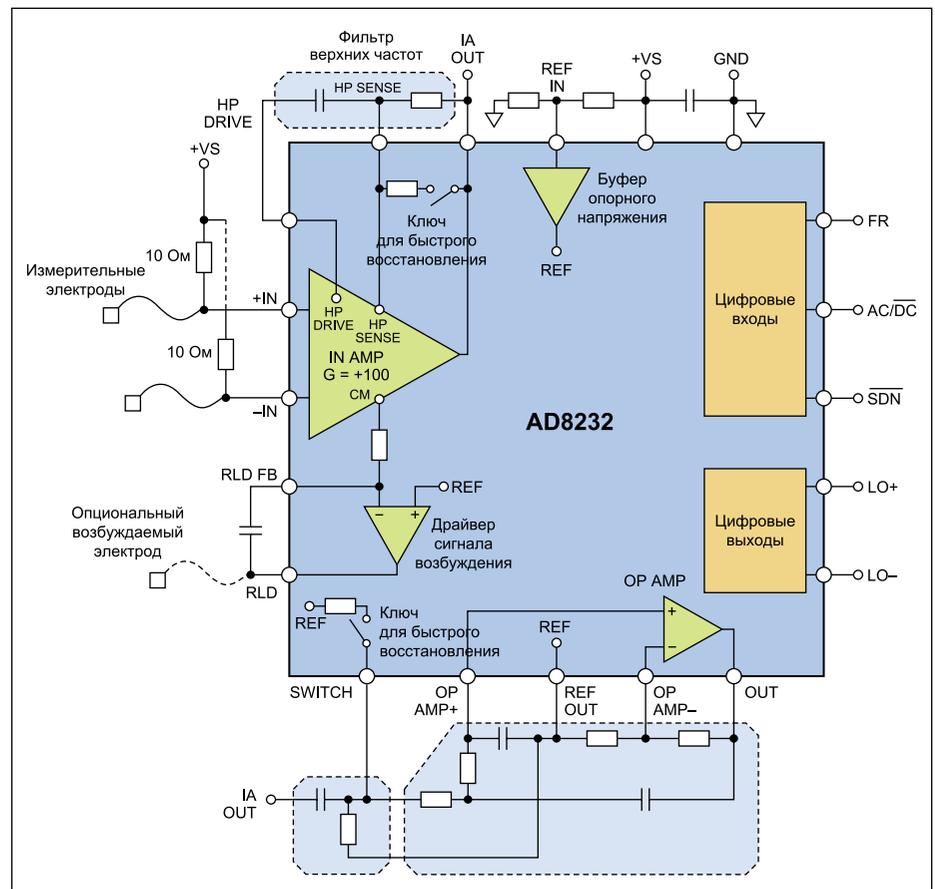


Рис. 6. Функциональная блок-схема AD8232 — аналогового интерфейса измерителя частоты сердечбиений



Рис. 7. Акселерометр МЭМС ADXL377

Еще один способ измерения частоты сердцебиений заключается в применении оптических устройств, детектирующих фотоплетизмографические сигналы. Устройство фотоплетизмографии, которое обычно носят на запястье, определяет частоту сердцебиений на основании интенсивности потока крови в локтевой артерии. Этот метод применяется в ряде устройств контроля, предназначенных специально для спортсменов.

К другим основным показателям жизнедеятельности, применяемым для определения расхода энергии, сжигания калорий и общего уровня физической подготовки, относятся:

- активность (малопотребляющие акселерометры МЭМС);
- респираторная деятельность (устройства на основе технологии МЭМС или измерения торакального импеданса);
- потоотделение (измерение импеданса кожного покрова);
- температура (внутренняя и наружная).

Среди вопросов, связанных с безопасностью при занятиях спортом, есть особый — сотрясения мозга, которые являются одной из наиболее частых спортивных травм. Согласно исследованию Центра по контролю заболеваний (Centers for Disease Control, CDC) каждый год в США происходит до 3,8 млн сотрясений мозга при занятиях спортом, что свидетельствует об «эпидемиологическом уровне» этого вида травматизма. Чем больше мы узнаем о долговременных эффектах многократных сотрясений мозга, получаемых сначала в старшей школе, а затем в любительском и профессиональном спорте, тем актуальнее становится потребность в технологии, позволяющей выявить степень тяжести удара головы.

Важным вопросом является место размещения датчика удара. В таких видах спорта, как американский футбол, эта проблема легко решается: инерциальные датчики на основе технологии МЭМС можно установить в шлем для обнаружения удара с разных направлений. В автомобильных гонках инерциальные драйверы МЭМС помещают в гарнитуру, которая вставляется в ухо водителя. Однако не во всех контактных видах спорта

требуется шлем. Например, в боксе или силовых единоборствах силу удара можно определять при помощи датчиков, встраиваемых в капу.

Примером датчика удара, который соответствует требованиям носимых средств контроля, является ADXL377 — трехосевой акселерометр с диапазоном измерения $\pm 200g$ и потребляемым током 15 мкА (рис. 7).

Обнаружение удара головы является большим шагом к выявлению потенциальных сотрясений, однако необходимо предотвращать такие удары в принципе. В настоящее время проводятся исследования по созданию встраиваемых в шлем воздушных подушек, которые, будем надеяться, когда-нибудь станут обычным явлением.

Рабочее место

Рабочее место, вероятно, — не самое первое, что приходит на ум в связи с задачей контроля самочувствия, однако существенные корпоративные затраты на медицинское обслуживание сотрудников приводят к появлению специальных программ поддержания здоровья, призванных снизить издержки на медицинское обеспечение. В Северной Америке страховые компании предпринимают определенные действия в этом направлении, предлагая программы, зарегистрировавшись в которых, сотрудники компаний могут отслеживать свой недельный или месячный уровень физической активности (например, количество пройденных шагов в неделю). Достижение определенных целей вознаграждается, например, уменьшением страховых премий или иными формами финансового поощрения. Компания, спонсирующая такую программу, может снизить стоимость своих затрат на медицинское обслуживание сотрудников. (А кроме того, есть все основания полагать, что здоровые сотрудники — это продуктивные сотрудники.)

Наиболее распространенной формой средства контроля самочувствия на рабочем месте являются шагомеры (педометры). Эти небольшие устройства можно носить в кармане или прикреплять к обуви или бедру, а встраиваемые технологии добавляют в них интеллект, позволяющий определить, что делает его обладатель — идет, бежит или просто делает хаотические движения. Малопотребляющий акселерометр МЭМС ADXL362 компании Analog Devices обеспечивает все функции, необходимые для реализации шагомера.

Еще одной областью поддержания здоровья на рабочем месте является выявление стрессов. В соответствии с отчетом Национального института профессиональной безопасности здравоохранения (National Institute of Occupational Safety and Health Association, OSHA) три четверти занятых на рынке труда полагают, что в современных условиях трудящиеся в большей

степени подвержены стрессам по сравнению с предыдущим поколением. Стрессовое состояние может быть выявлено путем измерения гальванического импеданса кожи и частоты сердцебиений. Технология, позволяющая проводить измерения необходимых показателей жизнедеятельности, может быть встроена в применяемые в повседневной работе устройства, например компьютерную мышь или клавиатуру. Оптимальным решением системного уровня для точного измерения гальванического импеданса кожи является малопотребляющий, прецизионный аналоговый микроконтроллер ADuCM360 компании Analog Devices. ADuCM360 — это полностью интегрированная 24-разрядная система сбора данных, включающая в себя два высококачественных многоканальных $\Sigma\Delta$ -АЦП, 32-разрядный процессор ARM Cortex-M3 и флэш/электрически стираемую память на одном кристалле.

Вооруженные силы

Военнослужащие подвергаются самым жестким условиям, и возможность удаленного измерения основных показателей жизнедеятельности при помощи нательных датчиков критически важна для их защиты и благополучия.

Для безопасности медицинской команды и пациентов на поле боя жизненно необходимо иметь отдельный удаленный сортировочный пост. Приоритетное оказание медицинской помощи и определение лиц, нуждающихся во внимании медицинского персонала в первую очередь, помогут спасти многие жизни.

Средства контроля частоты сердцебиений (AD8232) и активности (ADXL362), датчики температуры (ADT7320), индикаторы стресса (ADuCM360, рис. 8) и датчики удара (ADXL377) можно использовать индивидуально или в комбинации друг с другом для контроля самочувствия солдат.

Смартфоны

Мы уже затронули тему применения смартфонов в качестве вспомогательного средства контроля самочувствия при помощи приложений сторонних разработчиков. Непосредственное применение смартфонов в качестве медицинского устройства контроля является интересной концепцией для многих и не в последнюю очередь — самих разработчиков смартфонов.

В смартфонах есть технология (встроенный акселерометр) для реализации шагомера, контроля активности или сна. КМОП датчик фотокамеры можно также использовать для построения простого измерителя частоты сердцебиений, обнаруживающего изменение потока крови при помощи разнообразных методов анализа изображений. В то же время подобные технологии расходуют энергию,

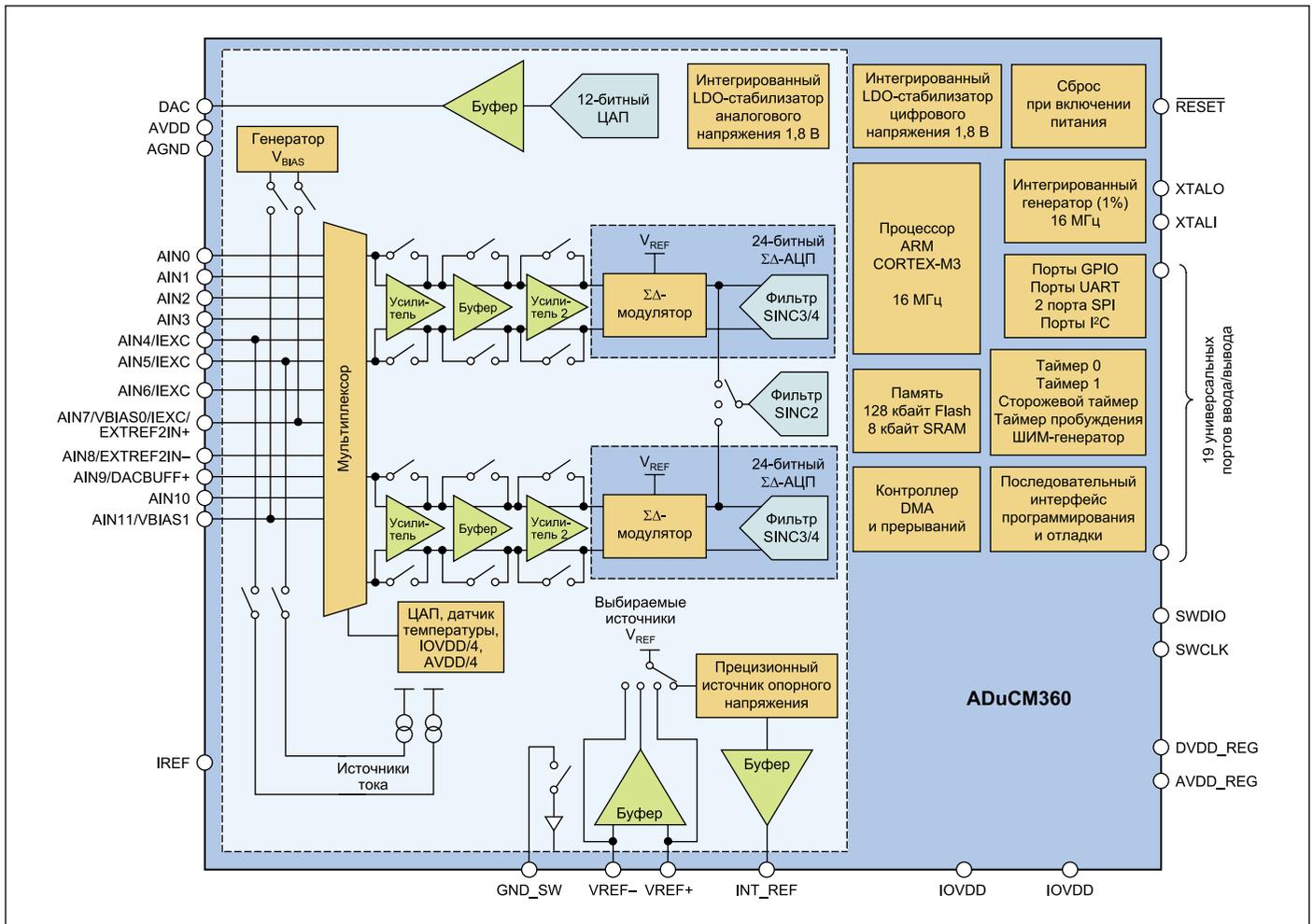


Рис. 8. Полностью интегрированная 24-разрядная система сбора данных ADuCM360

не обязательно через сам датчик, а из-за способа реализации технологии для поддержки этих приложений. Это является проблемой, поскольку энергия смартфона должна резервироваться для поддержки электронной почты и социальных сетевых сервисов. Выпускаемые компанией Analog Devices схема аналогового интерфейса измерителя частоты сердечбиений AD8232 и малопотребляющий трехосевой акселерометр МЭМС ADXL362 соответствуют требованиям к малым габаритам, производительности и энергопотреблению и при использовании их в смартфоне могут обеспечивать независимое измерение пульса и параметров движения соответственно.

Реалистичный способ добавления в смартфон функций контроля основных показателей жизненной активности состоит в применении аксессуаров. Устройства контроля самочувствия, которые вставляются в аудиоразъем или порт USB либо подключаются через Bluetooth, быстро становятся доступными.

Автомобильная промышленность

В настоящее время проводится много исследований, посвященных способам эффективного измерения показателей жизненной активности человека при нахождении в автомобиле (рис. 9). Датчики эмоций и стресса, средства контроля частоты сердечбиений, измерения температуры, измерения уровня CO₂, глюкозы, степени насыщения крови кислородом и концентрации пылицы — все эти решения потенциально способны повысить безопасность водителя и сделать процесс вождения более комфортным.

Однако есть и вопросы... Как проводить измерения? Через руль, сиденье, ремень безопасности? Используя видеокamеры, электроды,

оптические датчики, технологию МЭМС? Что делать с полученной информацией?

Сообщив водителю о том, что у него, вероятно, сердечный приступ, можно спровоцировать панику и дальнейшие негативные последствия. В то же время примером практического приложения для средств контроля частоты сердечбиений может служить оповещение водителя о необходимости проснуться.

Очевидным выбором для монтирования оборудования, предназначенного для контроля основных показателей жизнедеятель-

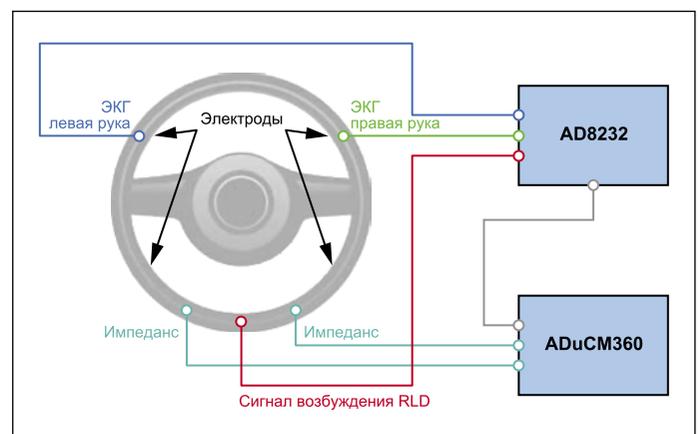


Рис. 9. Измерение гальванического импеданса кожи и частоты сердечбиений при помощи датчиков, встраиваемых в руль, сиденье или ремень безопасности

ности, является руль: микросхему контроля частоты сердцебиений AD8232 можно подключить к электродам, встроенным в материал обшивки руля. Дополнительные или даже те же самые электроды можно применять для измерения гальванического импеданса кожи в целях определения эмоционального уровня и стрессовых состояний. Малопотребляющая, полностью интегрированная 24-разрядная система сбора данных ADuCM360 компании Analog Devices обеспечивает платформу для измерения гальванического импеданса кожи и преобразования выходного сигнала AD8232 в цифровой формат.

Заключение

В целом концепция «контроля самочувствия в домашних условиях» приобретает множество новых измерений. Вследствие появления усовершенствованных технологий, развивающейся вспомогательной инфраструктуры и неоспоримой необходимости в сокращении затрат на здравоохранение контроль основных показателей жизнедеятельности станет естественной частью нашей повседневной жизни, потенциально доступной в любое время и в любом месте. Устройства контроля будут интегрированы в нашу персональную экосистему телемеди-

цины (для удаленного оказания медицинской помощи).

Независимо от конечной цели, будь то наблюдение за ходом развития болезни вне больницы или поликлиники, поддержка независимого существования пожилых людей, мотивация ведения здорового образа жизни, повышение личной безопасности или просто поддержание душевного комфорта, компания Analog Devices (www.analog.com) следует за развитием рынка, разрабатывая датчики и технологии обработки сигналов, позволяющие создавать средства контроля основных показателей жизнедеятельности следующего поколения. ■