

Датчики Epic от Plessey Semiconductors — прорыв в сенсорных технологиях

В 1917 г. в Плимуте (Великобритания) была создана компания Plessey. В 1929 г. здесь был начат серийный выпуск электромеханических телевизоров системы Джона Бэрда, и компания продолжала их производство вплоть до начала Второй мировой войны. В конце 1950-х Plessey вышла на мировой рынок с полупроводниковыми микросхемами собственного производства. С тех пор Plessey Semiconductors является ведущей компанией в области разработки и производства полупроводниковых компонентов, используемых в качестве датчиков, средств измерения и управления. Продукты Plessey находят широкое применение в системах связи, технологическом оборудовании, медицинской, оборонной и аэрокосмической промышленности. Фирма обладает полным циклом производства высокоточных компонентов для работы в области высоких температур и радиационного излучения и разрабатывает изделия для ответственных и высокопроизводительных приложений, а ассортимент готовой продукции включает в себя КМОП-датчики изображения, сверхъяркие светодиоды линейки HBLED, устройства на основе эффекта Холла и датчики электрического поля EPIC. Технологии EPIC и ее применению посвящена эта статья.

Александр БЕКМАЧЕВ,
к. т. н.
beck@ranet.ru

Датчик EPIC представляет собой совершенно новую область сенсорных технологий, он измеряет изменения в электрическом поле подобно тому, как магнитометр обнаруживает изменения в магнитном поле. Датчик EPIC не требует ни механического, ни резистивного контакта для проведения замеров. На его основе производят такие инновационные продукты, как медицинские сканеры. Их достаточно просто расположить вблизи груди пациента, чтобы получить качественную электрокардиограмму (ЭКГ). Датчик может быть интегрирован в специализированной микросхеме с другими функциями, к которым относятся преобразование данных, цифровая обработка сигналов и беспроводная связь.

Рассмотрим подробнее принцип работы и особенности датчиков линейки EPIC.

Что такое EPIC?

EPIC — это сокращение английского термина Electric Potential Integrated Circuit: интегральная микросхема для измерения электрического потенциала. Но эта аббревиатура стала уже синонимом и технологии ИМС, и самого датчика, а в более широком понимании — физических принципов работы устройства в составе системы.

EPIC — это бесконтактный электрометр, что подразумевает отсутствие прямого прохождения сигналов постоянного тока извне через входные каскады датчика, подобно электроду затвора МОП-транзистора. Электрод защищен слоем диэлектрического материала, который нанесен на него, чтобы изолировать электрод от измеряемого объекта. Устройство имеет полосу пропускания по переменному току (по срезу -3 дБ) от нескольких десятков до 200 МГц, эта характеристика регулируемая и может быть адаптирована к конкретным

условиям применения. Такой электрометр не может иметь связи по постоянному току, поскольку сила электрического поля Земли вблизи поверхности достигает значений 100–150 В/м.

В униполярном режиме устройство можно использовать для регистрации электрического потенциала; в дифференциальном режиме оно может измерять локальное электрическое поле или же может быть развернуто в решетки, что обеспечит отображение пространственного распределения потенциала — обнаружение проводящих

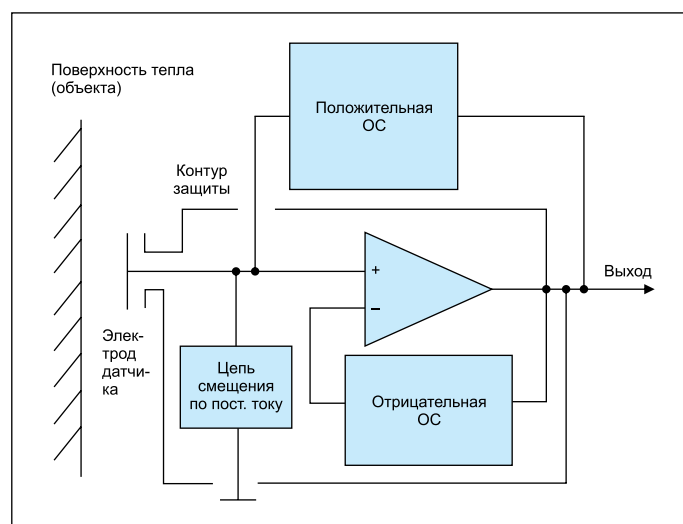


Рис. 1. Блок-схема датчика EPIC

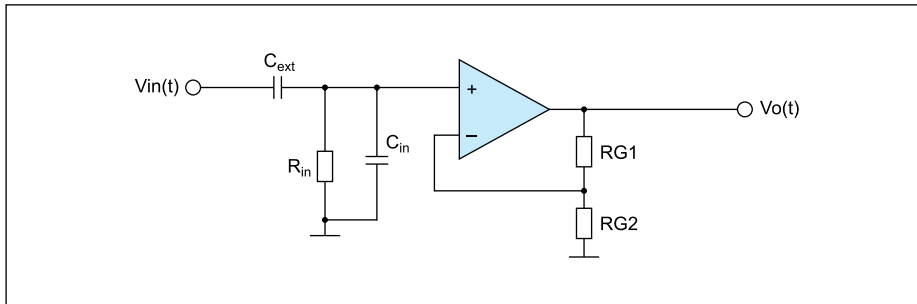


Рис. 2. Входной каскад датчика EPIC

или диэлектрических материалов в трехмерном пространстве.

На рис. 1 представлена принципиальная схема блока EPIC-датчика [1]. Размер электродов показан условно и зависит от входной емкости, необходимой для конкретного применения. Для тел, расположенных близко к электроду, размер электрода имеет значение, и работу устройства можно рассматривать с точки зрения емкостной связи. Для устройств, которые находятся на расстоянии нескольких метров, емкостная связь определяется только собственной емкостью электрода, и отклик устройства в значительной степени является функцией входного импеданса, тем, как он взаимодействует с полем. Как это ни удивительно, для функционирования в активном режиме датчику EPIC достаточно очень небольшого количества энергии, получаемого от внешнего поля.

Входное сопротивление устройства может быть повышено путем использования компенсационной обратной связи, в то время как входная емкость может быть уменьшена блокировочными цепями. Таким образом, удается достичь уровня входной емкости в 10^{-17} Ф с входным сопротивлением, имеющим значение примерно 10^{15} Ом, при этом обеспечивается минимальное влияние на поле исследуемого объекта и гарантируется наличие только малых токов смещения между датчиком и объектом.

Для более глубокого понимания механизмов обратной связи обратимся к рис. 2 и рассмотрим входной буфер усилителя и связанные с ним сопротивления. Резисторы RG1 и RG2 используются для установки коэффициента усиления в первом каскаде, который номинально является единым. C_{in} и R_{in} представляют собой соответственно собственные входную емкость и сопротивление усилителя и включают в себя также паразитные составляющие, возникающие из-за несовершенства схемы или подложки. Конденсатор C_{ext} имитирует емкостную связь с измеряемым объектом.

Для сильной связи ($C_{ext} \gg C_{in}$), справедливо выражение:

$$C_{ext} = \epsilon_0 \epsilon_r a/d, \quad (1)$$

где a — эквивалентный общий электрод/площадь объекта; d — расстояние между объектом и датчиком; ϵ_0 — диэлектрическая проницаемость промежутка между объектом и датчиком; ϵ_r — относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика, которым покрыт датчик.

Для слабой связи ($C_{ext} \ll C_{in}$) мы в предельном случае (собственная емкость) имеем:

$$C_{ext} = 8 \epsilon_0 \epsilon_r r, \quad (2)$$

где r — диаметр рабочей поверхности датчика.

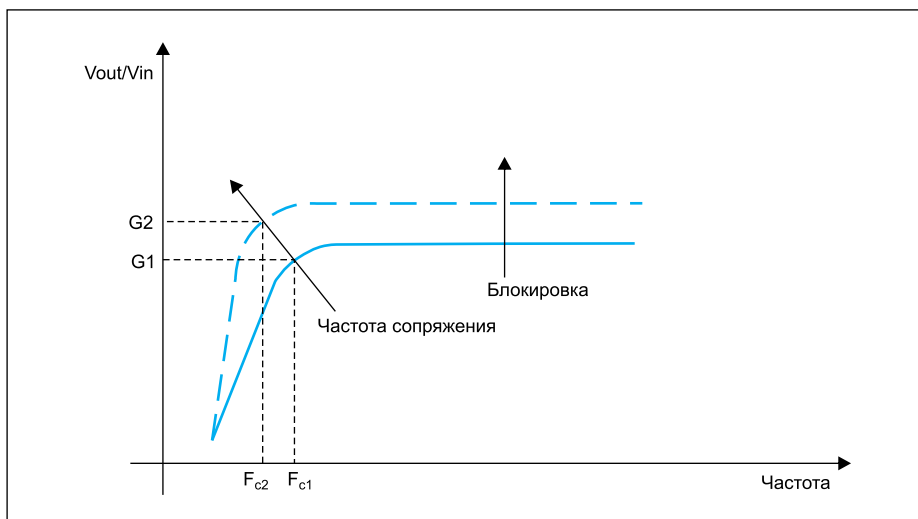


Рис. 3. ЛАХ, соответствующая функции (2)

Анализ схемы показывает, что мы имеем классическую униполярную передаточную функцию, как показано на рис. 3.

Частота F_{c1} может быть описана как:

$$F_{c1} = 1/(2\pi(C_{ext} + C_{in})R_{in}). \quad (3)$$

Используя механизмы компенсационной обратной связи, упомянутые ранее, мы можем управлять номиналами C_{in} и R_{in} для получения эффективных значений, дающих желаемые коэффициент усиления и частоту сопряжения, чтобы сдвигать характеристику от F_{c1} к F_{c2} . Откликом датчика можно полностью управлять посредством схемных решений последующих каскадов и петли положительной обратной связи. Таким образом, мы получаем датчик, который может быть полностью настроен под конкретные условия применения.

Области применения датчиков EPIC

Медицина

Медицинское сообщество проявило огромный интерес к датчикам EPIC в связи с широкими возможностями измерения физиологических показателей на поверхности человеческого тела. Эти датчики могут найти применение в таких областях, как электрокардиография (ЭКГ), электромиография (ЭМГ), электроэнцефалография (ЭЭГ) и электроокулография (ЭОГ).

EPIC-датчик может быть использован, например, в качестве замены традиционной технологии «мокрого» (гелевого) электрода в кабеле пациента при снятии ЭКГ, потому что этот датчик не требует ни геля, ни других веществ, улучшающих качество контакта. Для получения качественного ЭКГ-сигнала достаточно расположить EPIC-датчик на теле пациента или в непосредственной близости от него.

Датчик позволяет решать широкий круг задач — от простого кардиомониторинга до более сложных клинико-диагностических исследований. В последнем случае он может быть использован в качестве замены регистрации в традиционных 12 отведениях, когда электроды расположены на конечностях и туловище пациента для получения более четкой картины того, как работает его сердце. Набор датчиков EPIC, установленный на груди человека, может заменить традиционные системы, при этом датчики демонстрируют аналогичную или даже лучшую разрешающую способность.

На рис. 4 показано сравнение результатов, полученных с помощью EPIC и традиционных «мокрых» электродов для отведений II и AVL [2]. Эти два отведения имеют особое значение в диагностике, например, такого заболевания, как окклюзия коронарной артерии.

Датчик также может быть использован для фиксации других физиологических сигналов, например вызванных электрической

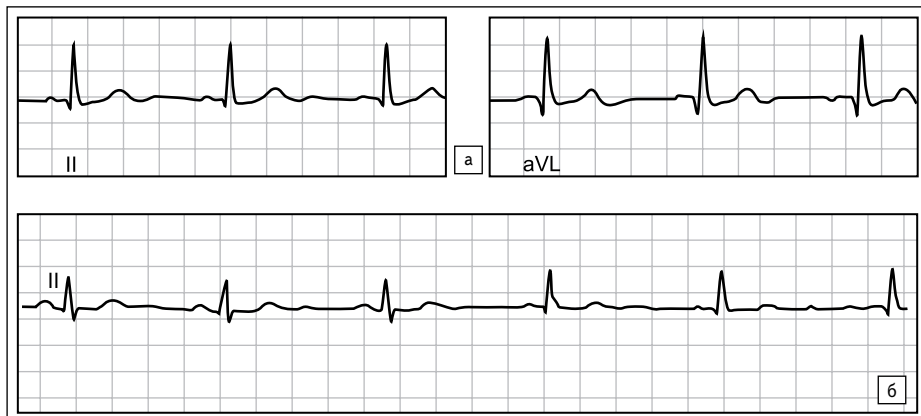


Рис. 4. Записи ЭКГ, показывающие результаты, полученные с помощью: а) датчиков EPIC; б) традиционных «мокрых» электродов

активностью мышц глаза, при движении глазного яблока влево-вправо и вверх-вниз. Эти сигналы обладают уникальными сигналами, поэтому в данном случае ЭОГ необходима для отслеживания положения глаз, и, следовательно, на основании ЭОГ можно формировать информацию для контроля прицеливания в военных и игровых приложениях.

Но, пожалуй, самым захватывающим применением в медицинской сфере является электроэнцефалография (ЭЭГ), которая фиксирует электрическую активность головного мозга. Применение датчика EPIC в этой области все еще незначительно, но потенциальная возможность записать и идентифицировать сигналы от известных моделей мышления открывает возможности, которые сейчас описаны только в научно-фантастической литературе.

Системы безопасности

Сам физический принцип работы позволяет применять датчик EPIC для обнаружения любых нарушений в локальном электрическом поле на расстояниях до нескольких десятков метров. Организм человека, который является для датчика большим контейнером проводящего и поляризуемого материала, вызывает большое возмущение в электрическом поле и, таким образом, представляет собой легко обнаружимую цель. Человеку, сидящему в нескольких метрах от датчика, стоит только оторвать ноги от поверхности, чтобы создать сильный сигнал.

Массивы датчиков могут быть использованы для обеспечения желаемого уровня пространственного разрешения и, следовательно, для определения места и дальности расположения цели. Такие массивы могут также различать человека и животных, потому что время получения ответной сигнатуры находится в прямой зависимости от ритма и размера шага. Такую систему датчиков можно было бы использовать для охраны периметров объектов и границы в отдаленных районах страны.

Человеко-машинный интерфейс

Способность EPIC различать сигналы, уникальные для различных мышц или групп мышц, открывает новые возможности для улучшения человеко-машинного взаимодействия. Например, парализованный человек, который сейчас зависит от сиделки или сопровождающего, может с помощью систем на датчиках EPIC, реагирующих на минимальную мышечную активность, повысить свою мобильность или частично обслуживать себя. Кроме того, поскольку EPIC можно обучить распознавать уникальную сигнатуру определенных групп мышц, открывается много возможностей для взаимодействия протезов конечностей и управления ими.

Микроскопия

Технология EPIC будет также полезна в микроскопии. Миниатюрные датчики для сканирования полупроводниковых кристаллов (микрочипов) могут показать области с высоким или низким потенциалом, что позволит пользователю получить карту распределения токов в металлических дорожках и других элементах схемы. Дефекты в диэлектрических материалах могут быть обнаружены пассивными средствами (при выявлении пьезоэлектрического эффекта) или при определении путей утечки в активной цепи.



Рис. 6. Датчики PS25101 и PS25102 в металлическом корпусе для контактных измерений — электрод пациента (сухой контакт)

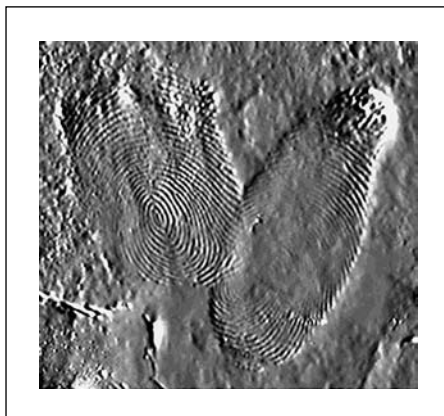


Рис. 5. Микрофотография, полученная с использованием технологии EPIC

Недавно с помощью 6-мкм датчика была продемонстрирована возможность идентифицировать отпечатки человеческих пальцев, оставленных на изоляционном материале из группы фторопластов (рис. 5), и охарактеризовать степень их распада [3]. Таким образом, подтверждена возможность применять этот метод в криминалистике и судебно-медицинской экспертизе для датировки отпечатков пальцев. Кроме того, поскольку этот метод является неразрушающим и после его применения не остается никаких химических остатков, можно использовать эти же образцы и для последующего анализа ДНК.

Заключение

Конечно, это только малая доля возможных областей применения. Например, не вызывает сомнения, что датчики EPIC будут востребованы в системах контроля физиологического состояния операторов на опасных производствах, водителей всех видов транспортных средств, включая и общественный транспорт. Их будут использовать также для индивидуального мониторинга здоровья и контроля нагрузок в спорте высоких достижений, в телемедицине, при массовой диспансеризации, в системах визуализации, виртуальной реальности,



Рис. 7. Датчики PS25251, PS25253 и PS25255 в корпусе QFN для контактных измерений (сухой контакт)

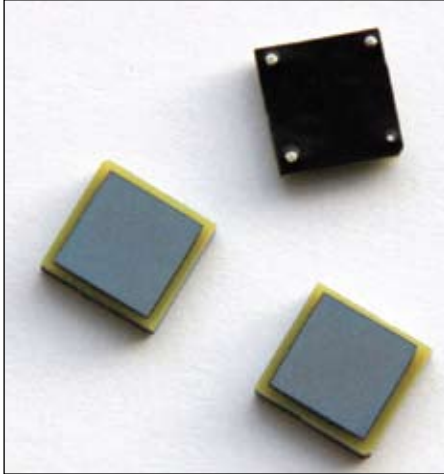


Рис. 8. PS25201, PS25203 и PS25205 — гибридная сборка с датчиком на печатной плате для контактных измерений (сухой контакт)

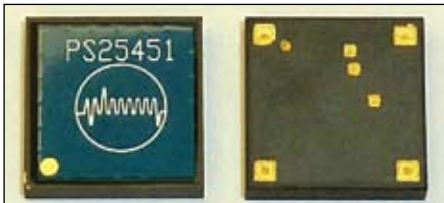


Рис. 9. PS25451 — датчик в корпусе QFN для бесконтактных измерений

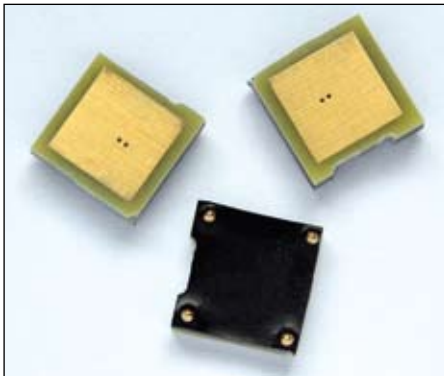


Рис. 10. PS25401 — гибридная сборка с датчиком на печатной плате для бесконтактных измерений



Рис. 11. PS25003 — отладочный набор со встроенными фильтрами 50/60 Гц

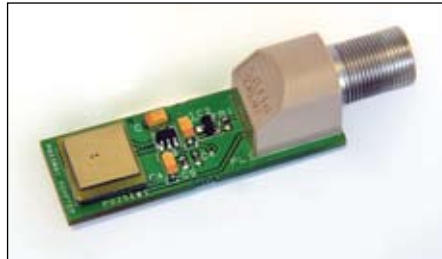


Рис. 12. PS25012A1, PS25012A3 и PS25014A1 — выносной зонд для контактных и бесконтактных измерений (к отладочному набору)



Рис. 13. PS25503 Impulse — демонстрационный набор с ПО для передачи ЭКГ по каналу Bluetooth на устройства с ОС Android

распознавания жестов и образов, в системах контроля целостности конструкций, зданий и сооружений.

На рис. 6–13 представлены примеры серийных изделий Plessey Semiconductors, использующих технологию EPIC. ■

Литература

1. Breakspear R., Connor S. A single-arm ambulatory EKG measurement system using capacitive sensors//

Electronics goes medical paper — <http://plesseysemiconductors.com/library-plessey-semiconductors.php>

2. Harland C. J., Peters N. S., et al. A compact electric potential sensor array for the acquisition and reconstruction of 7-lead ecg without electrical charge contact with the skin // *Physiol. Meas.* 2005. No. 26.
3. Watson P., Prance R. J., Beardsmore-Rust S. T. Latent electrostatic fingerprints and their decay: towards a forensic timeline // *Science International.* 2011.