

Виктор Чистяков (г. Малоярославец)

ПУЛЬСОКСИМЕТРИЯ ОТ MAXIM: НОВЫЙ ДАТЧИК MAX30102



Представленный в начале 2016 года компанией **Maxim Integrated** интегрированный **сенсорный модуль MAX30102** позволяет с минимальными затратами реализовать портативный и при этом отличающийся высокой точностью **измеритель пульса и содержания кислорода в крови**.

Датчики для измерения частоты сердечной деятельности и насыщения артериальной крови кислородом уже давно находят широкое применение в медицинских приборах разного назначения. Прежде они использовались исключительно в сложном стационарном оборудовании, а с появлением новых специализированных интегральных схем появилась возможность создавать удобные портативные приборы — пульсоксиметры. Они позволяют отслеживать степень насыщения артериальной крови кислородом (SpO_2) и частоту сердечных сокращений (пульс).

Более насыщенная кислородом кровь имеет более яркий оттенок красного цвета. С изменением насыщенности крови кислородом (сатурации) меняется степень поглощения и отражения лучей красного и инфракрасного света, направленных на капилляры. При этом, проходя через кровь и ткани, световой сигнал приобретает пульсирующий характер под воздействием изменяющегося объема кровеносных сосудов.

В основу метода пульсоксиметрии положено измерение степени поглощения гемоглобином крови лучей красного и ИК-света. Гемоглобин служит своего рода фильтром, причем «цвет» фильтра зависит от количества кислорода, связанного с гемоглобином или, иными словами, от процентного содержания кислорода в крови. А «толщину» фильтра определяет пульсация артерий, возникающая при изменении в них количества крови.

Используя датчики красного и инфракрасного света совместно с фотодетекторами, АЦП и системами обработки данных, можно контролировать содержание кислорода в крови.

Методика пульсоксиметрии, получившая повсеместное распространение в анестезиологической практике, ха-

рактеризуется сочетанием высокой точности определения сатурации кислорода (единицы процентов) и высокого быстродействия (оценка производится в процессе нескольких сердечных сокращений) с доступностью и простотой использования.

Пульсоксиметр имеет датчик, в котором находятся два источника света — 660 нм (красный) и 940 нм (инфракрасный). Фотодетектор регистрирует уровень света после поглощения части потока тканями и компонентами крови, а микропроцессор анализирует полученные результаты и определяет насыщенность крови кислородом и частоту сердечных сокращений.

Интегральные датчики MAX30102

MAX30102 является интегральным сенсорным модулем, предназначенным для упрощения разработки портативных медицинских приборов контроля сердечного ритма и насыщенности крови кислородом. В состав этой микросхемы интегрированы светодиоды (красный и ИК) и фотоприемник, а также встроены оптические элементы. Имеющаяся в составе MAX30102 электронная схема обработки сигналов характе-

ризуется низким уровнем собственного шума и обеспечивает подавление внешней засветки.

В процессе измерений используется канал красного и инфракрасного света с регулируемой программным образом интенсивностью свечения и длительностью сеансов измерения.

MAX30102 (рисунок 1) работает от источника питания напряжением 1,8 В. Отдельный источник питания 5,0 В требуется для излучения встроенных светодиодов. Взаимодействие с внешними устройствами происходит через стандартный интерфейс I²C. Модуль MAX30102 может быть программно переведен в режим ожидания с практически нулевым током потребления, что позволяет отказаться от выключателя питания.

На рисунке 2 представлено внутреннее устройство MAX30102 и возможность его взаимодействия с внешней средой.

Особенности MAX30102:

- Монитор сердечных сокращений и оксиметрический биосенсор с работающими на отражение встроенными светодиодами
- Миниатюрный (5,6x3,3x1,55 мм) модуль с 14 выводами:

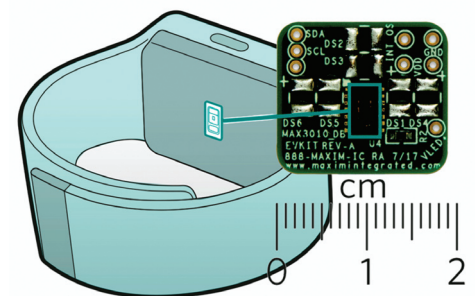
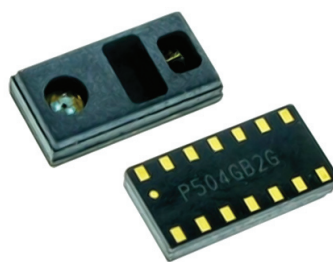


Рис. 1. MAX30102 (а) в составе пульсоксиметра (б)

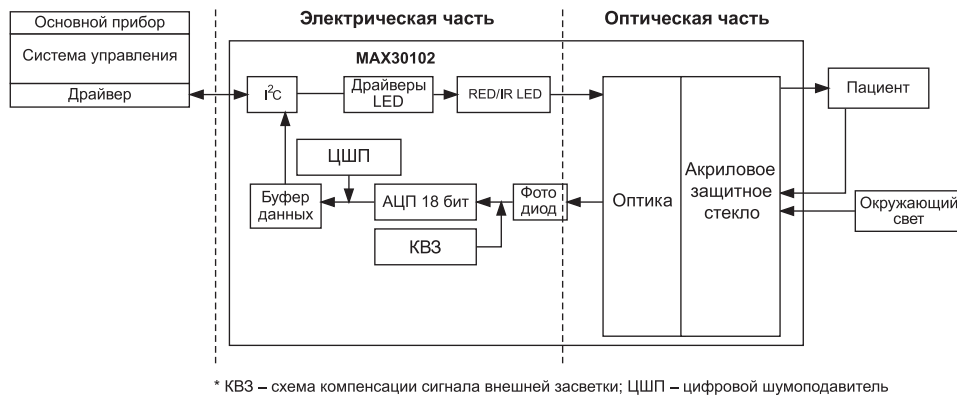


Рис. 2. Принцип действия MAX30102

– интегрированная оптическая система, обеспечивающая надежный процесс измерения.

- Сверхнизкое энергопотребление, оптимально подходящее для мобильных устройств:

- программируемая периодичность снятия измерений и режим энергосбережения светодиодов;

- низкое энергопотребление электронной схемы (<1 мВт);

- сверхмалый ток потребления в выключенном состоянии (около 0,7 мкА).

- Возможность быстрого вывода данных:

- высокая частота дискретизации.

- Устойчивость к вибрациям при снятии показаний:

- высокий показатель соотношения сигнал/шум;

- Диапазон рабочих температур: -40...85°C.

MAX30102 может применяться в портативных медицинских приборах для использования в поликлиниках и

дома, а также для контроля состояния организма в процессе занятий спортом.

Описание работы MAX30102

В корпусе MAX30102 реализована полнофункциональная схема сенсорного модуля для создания портативных систем пульсоксиметрии с высокими требованиями к точности измерений. Устройство имеет миниатюрные размеры, добиться которых удалось без ущерба для оптических или электрических характеристик. Для интеграции в полнофункциональную носимую измерительную систему потребуются минимум дополнительных внешних компонентов.

Управление работой MAX30102 осуществляется через внутренние программные регистры. Цифровые выходные данные могут быть сохранены в 32-битном буфере FIFO, который позволяет через общую шину последовательно передавать цифровой поток на внешний контроллер.

На рисунке 3 изображена структурная схема MAX30102 с внешним подключением через трехпроводной интерфейс. Система питания включает отдельные источники для основной схемы и для светодиодов. Назначение всех выводов описано в таблице 1.

Подсистема измерения SpO₂

Процентное содержание кислорода в крови в данном случае определяется неинвазивным методом через кожу (о чем свидетельствует обозначение «Sp»), как процентное отношение насыщенного кислородом гемоглобина (HbO₂) к общему содержанию гемоглобина (HbO₂ + RНb), определяемых с помощью фотодетектора, ИК и красного светодиода MAX30102.

Подсистема измерения SpO₂ включает схему компенсации внешней засветки (КВЗ), сигма-дельта-АЦП и патентованный цифровой фильтр. КВЗ имеет внутреннюю схему блокировки сигнала для устранения внешней засветки и расширения эффективного динамического диапазона. АЦП программируется во всем диапазоне измерений 2...16 мкА. КВЗ позволяет блокировать сигнал внешней засветки величиной до 200 мкА.

Внутренний АЦП выполняет непрерывную дискретизацию, используя сигма-дельта-конвертор с 18-битным разрешением. Частота дискретизации АЦП 10,24 МГц. Скорость вывода данных АЦП программируется в диапазоне 50...3200 выборок в секунду.

Датчик температуры. В MAX30102 имеется встроенный датчик температуры для калибровки температурной зависимости подсистемы измерения SpO₂.

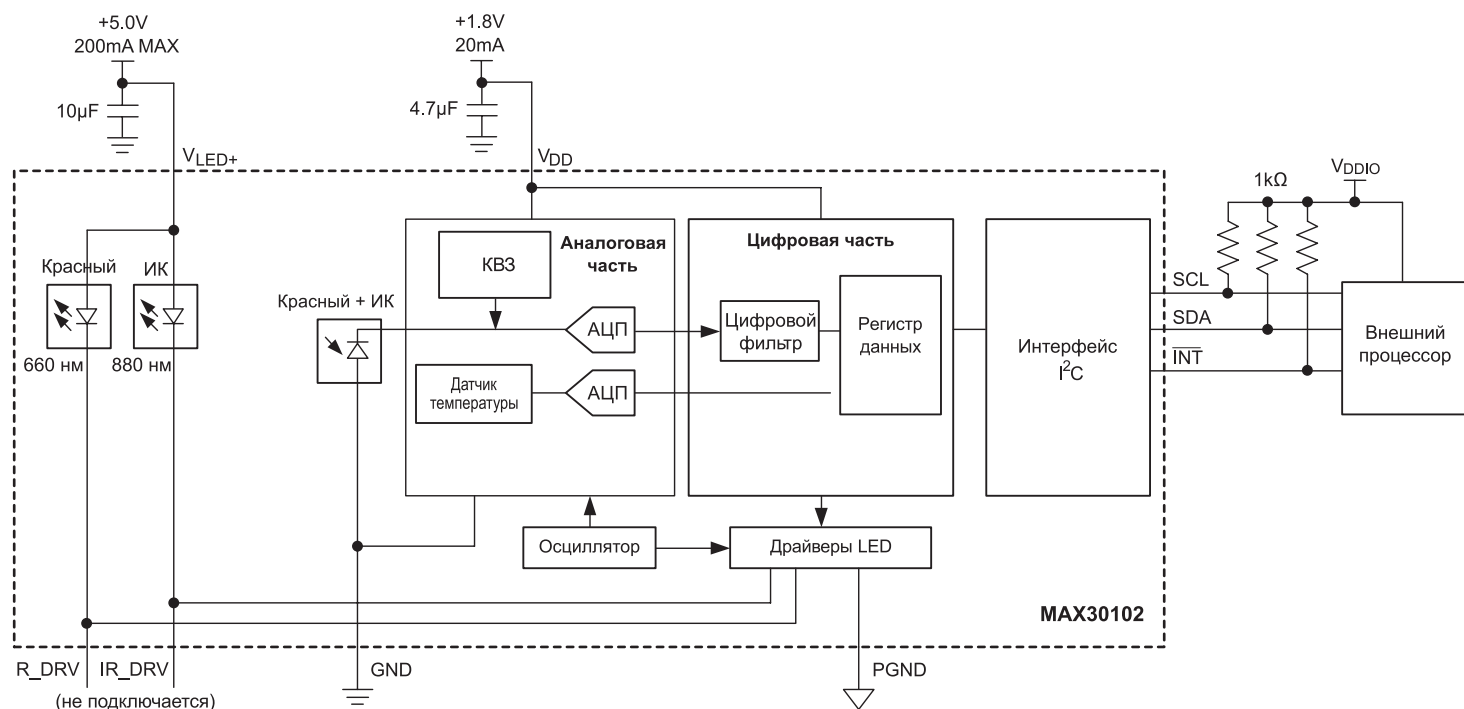


Рис. 3. Структурная схема MAX30102

Таблица 1. Назначение выводов MAX30102/MAX30102

Вывод	Название	Функция
1, 7, 8, 14	—	Не используется. Подключить к изолированным площадкам платы
2	SCL	Вход тактовой частоты I ² C
3	SDA	Двунаправленная передача данных I ² C (открытый коллектор)
4	PGND	Общий вывод питания драйвера LED
5	R_DRV	Драйвер красного LED
6	IR_DRV	Драйвер ИК-LED
9, 10	VLED+	Питание LED (подключение к аноду). Рекомендуется соединить через развязывающий конденсатор с PGND
11	VDD	Питание аналоговой и цифровой схемы. Рекомендуется соединить через развязывающий конденсатор с GND
12	GND	Общий вывод аналоговых и цифровых цепей
13	INT	Прерывание (активный низкий уровень, открытый коллектор). Подключение к внешнему источнику напряжения через подтягивающий резистор

Таблица 2. Процессы измерений SpO₂ и передачи данных

Событие	Описание	Комментарий
1	Активизация режима SpO ₂ , инициализация измерения температуры	Команда записи через I ² C устанавливает MODE [2 : 0] = 0x03. Также устанавливается бит TEMP_EN, чтобы инициализировать однократное измерение температуры. Устанавливается маска прерывания PPG_RDY
2	Завершение измерения температуры, генерация прерывания	Запуск прерывания TEMP_RDY, информирующего внешний процессор о готовности данных к чтению
3	Чтение данных температуры, очистка флага прерывания	—
4	Генерация прерывания при критическом наполнении буфера FIFO	Прерывание генерируется после достижения порога заполнения FIFO
5	Считывание данных FIFO, очистка флага прерывания	—
6	Сохранение данных следующего измерения	Новые измерения сохраняются по указателю расположения в FIFO

Датчик температуры имеет разрешение 0,0625°C.

Выходные данные MAX30102 сравнительно нечувствительны к длине волны ИК-светодиода, тогда как длина волны красного светодиода имеет решающее значение для правильной интерпретации результатов измерений. Используемый MAX30102 алгоритм для измерения SpO₂ позволяет компенсировать ошибки, возникающие с изменением температуры окружающей среды.

Драйвер для управления встроенными светодиодами. MAX30102/MAX30102 включает красный и ИК-светодиоды, управляемые с помощью внутренних драйверов LED, которые модулируют длительность импульсов и величину тока при измерении пульса и SpO₂. Ток может меняться программным способом в диапазоне 0...50 мА, а длительность импульса может быть запрограммирована в диапазоне 69...411 мкс. При этом точность измерения и энергопотребление можно оптимизировать для конкретной ситуации.

Функция контроля дистанции до измеряемого объекта (Proximity). MAX30102/MAX30102 использует функцию контроля присутствия (близости) пациента с целью сокращения излучения света и энергосбережения, когда возле датчика нет пальца пациента. После инициализации функций измерения пульса и SpO₂ (через запись в регистр

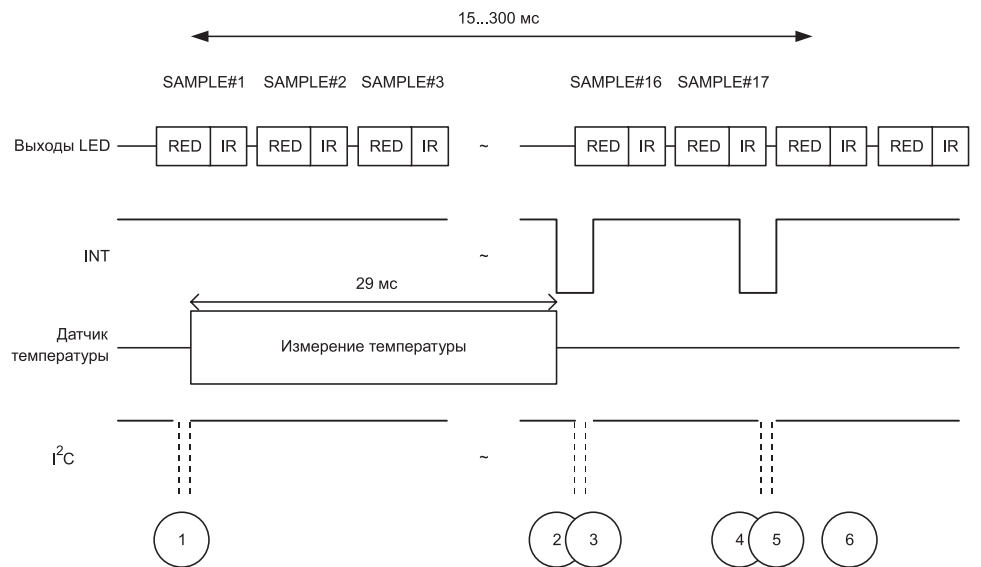


Рис. 4. Диаграмма измерения SpO₂

MODE) активизируется ИК-светодиод, ток через который определяется содержимым регистра PILOT_PA. Когда обнаруживается превышение порога IR ADC (устанавливается в регистре PROX_INT_THRESH), автоматически происходит переход в обычный режим измерения.

Чтобы вернуться в режим контроля присутствия, регистр MODE должен быть обновлен (даже если записываются те же самые значения). Функция контроля присутствия может быть отключе-

на путем сброса бита PROXINTEN в 0. В данном случае сразу включается режим измерения пульса или SpO₂.

Работа в режиме измерения SpO₂

Внутренний буфер сохраняет данные до 32 измерений, так что внешнему процессору нет необходимости считывать показания после каждого измерения. Используемые для коррекции показаний данные о температуре снимаются один раз в секунду или даже реже. На рисунке 4 отображена после-

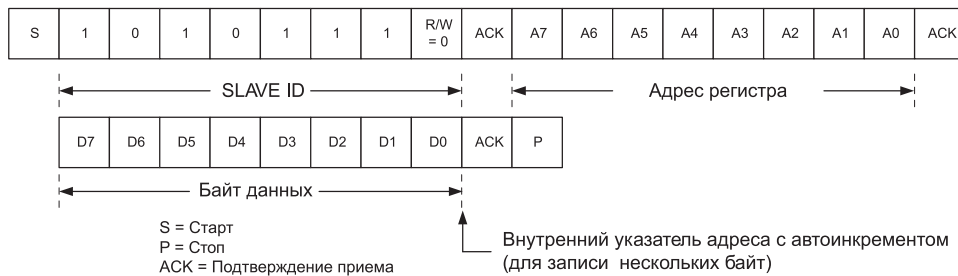


Рис. 5. Обмен данными между MAX30102 и внешним процессором

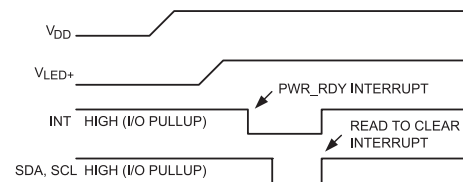


Рис. 6. Последовательность подачи напряжения питания на MAX30102

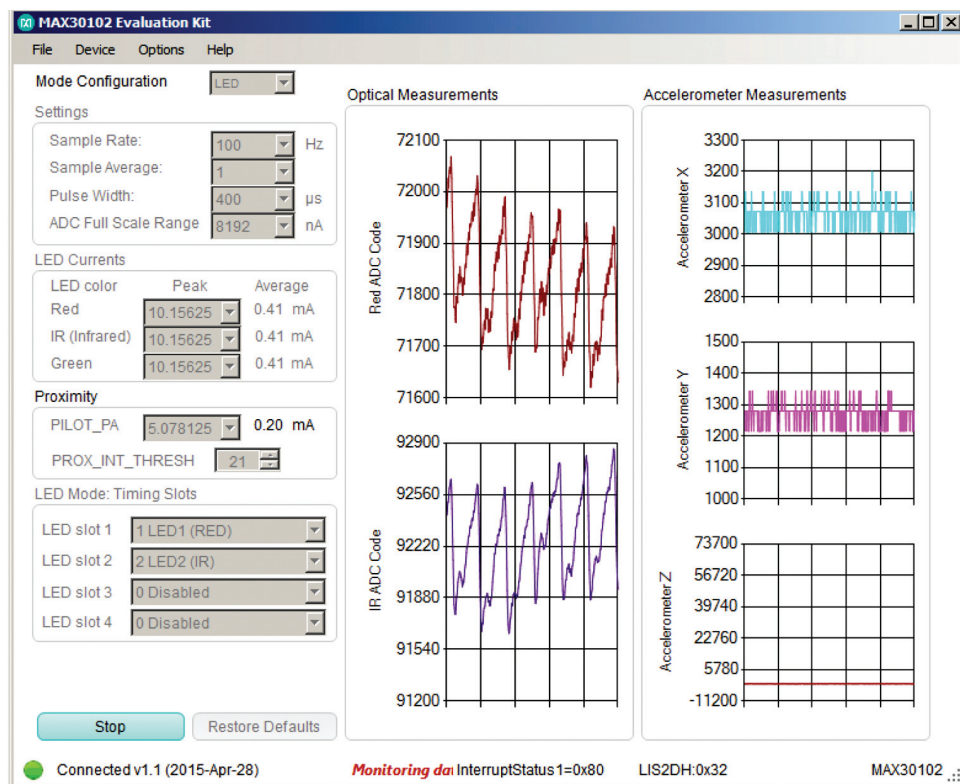


Рис. 7. Окно Windows-программы для оценочного комплекта

довательность событий в процессе измерения SpO₂ и обмена данными, а в таблице 2 приведено их описание.

Измерение частоты пульса

При измерении частоты пульса последовательность действий аналогична используемой при измерении SpO₂, однако не требуется измерение температуры, а также, по усмотрению пользователя, выбирается только один канал измерений – красный или ИК.

Обмен данными

MAX30102 оснащен совместимым с шинами I²C и SMBus двухпроводным последовательным интерфейсом, включающим линию данных/адреса (SDA) и линию тактовых импульсов (SCL). MAX30102 может обмениваться данными на тактовой частоте до 400 кГц.

Ведущее устройство записывает данные в регистры MAX30102, выставляя на шине адрес, а вслед за ним – данные (рисунок 5). Каждый передаваемый по

линии данных пакет обрамлен состояниями START (S) или REPEATED START (Sr) с одной стороны и состоянием STOP (P) с другой. 8-битные информационные послышки и сигналы подтверждения их приема (ACK – Acknowledge) синхронизируются импульсами, передаваемыми по шине SCL.

Линия SDA работает на прием и передачу, а SCL работает только как вход. Подтягивающие к шине питания резисторы обычно имеют номиналы более 500 Ом. Опционально в линии могут устанавливаться и последовательные резисторы, которые защитят цифровые входы MAX30102 от высоковольтных импульсов на шине и минимизируют перекрестные помехи.

На рисунке 6 представлена рекомендованная последовательность подачи питающих напряжений и инициализации интерфейса MAX30102. Вначале подается питание на основную схему (VDD), а затем – на светодиоды (VLED+). Выводы шины I²C могут оставаться под-

ключенными к внешнему источнику питания даже при отключении питания от остальной части MAX30102.

После установления необходимых уровней напряжения питания генерируется прерывание, чтобы сообщить внешнему процессору о готовности MAX30102 к выполнению операций. Флаг прерывания очищается после чтения из регистра прерываний. Последовательность отключения источников питания может быть любой.

Для упрощения разработки и ускорения процесса отладки новых приборов на основе MAX30102 компания Maxim Integrated предлагает оценочный комплект (EV) MAX30102, состоящий из двух плат. К материнской плате **USBOSMB** подключается плата расширения **MAX30102DBEVKIT**, которая включает MAX30102 и акселерометр (рисунок 7).

Заключение

В современной медицинской практике особое значение имеют контроль частоты сердечной деятельности и насыщения артериальной крови кислородом у пациентов. Новый датчик MAX30102 упрощает создание подобных приборов в удобном портативном варианте. Пульсоксиметры на основе MAX30102 обеспечивают высокую точность определения сатурации крови и частоты сердечных сокращений. При этом они отличаются высоким быстродействием, доступностью и простотой использования.

Литература

- <https://www.maximintegrated.com/en/products/analog/sensors-and-sensor-interface/MAX30102.html>.
- <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX30102.pdf>.
- <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX30102ACCEVKIT.pdf>.

Получение технической информации, заказ образцов, поставка – e-mail: sensors.vesti@compel.ru