

Блок управления сверхъяркими светодиодами устройства для определения сатурации артериальной крови коры головного мозга

В. А. Фираго, С. Г. Славинский, Е. В. Сафонов

*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,
e-mail: firago@bsu.by*

Рассматриваются устройства неинвазивного определения оксигенации кислорода артериальной крови коры головного мозга. Для миниатюризации и упрощения оптико-электронного блока предлагается использовать модуль пульсоксиметра на основе микросхемы MAX30102. Показано, что для его использования в измерителе сатурации артериальной крови SaO_2 коры головного мозга необходим блок излучателей на основе сверхъярких светодиодов. Разработана и протестирована схема двухволнового блока светодиодных излучателей, управляемых сигналами RD и IRD модуля пульсоксиметра на MAX30102.

Ключевые слова: рефракционная пульсоксиметрия, сатурация артериальной крови, сосуды коры головного мозга, модуль пульсоксиметра, сверхъяркие светодиоды.

Control unit for ultra-bright LEDs of a device for determining arterial blood saturation in the cerebral cortex

V. A. Firago, S. G. Slavinski, E. V. Safonov

Belarusian State University, Minsk, Belarus, e-mail: firago@bsu.by

Devices for non-invasive determination of arterial blood oxygenation in the cerebral cortex are considered. To miniaturize and simplify the optoelectronic unit, it is proposed to use a pulse oximeter module based on the MAX30102 microchip. It has been shown that a block of emitters based on super-bright LEDs is required for its use in the SaO_2 arterial blood saturation meter of the cerebral cortex. A dual-wave LED emitter block circuit controlled by RD and IRD signals from the MAX30102 pulse oximeter module has been developed and tested.

Keywords: refractive pulse oximetry, arterial blood saturation, cerebral cortex vessels, pulse oximeter module, super-bright LEDs.

Введение

Мозг человека является органом с наибольшим потреблением кислорода, который доставляется гемоглобином эритроцитов по артериальным сосудам. Их состояние определяет самочувствие человека, поскольку спазмы сосудов коры головного мозга приводят к нарушению его кровоснабжения и, соответственно, кислородному голоданию. При этом могут возникать головные боли, головокружение, тошнота, нарушения речи и координации и т. д. Создание и налаживание производства сверхъярких светодиодов позволяет говорить о создании портативного пульсоксиметрического устройства для измерения SaO_2 в сосудах коры головного мозга. Черепная коробка не имеет сосудов, а в коже головы их мало и их вклад в общее ослабление гемоглобином крови зондирующего светового излучения небольшое, поэтому его можно учесть.

Насыщение гемоглобина артериальной крови коры головного мозга кислородом может измеряться неинвазивными методами [1–3]. При создании портативного измерителя целесообразно использовать модуль пульсоксиметра на основе гибридной микросхемы MAX30102. Это микросхема имеет встроенный миниатюрный опто-электронный блок, содержащий фотоприемник и два светодиода с длинами волн максимумов излучения примерно 680 нм и 880 нм. Мощность излучения этих светодиодов небольшая, поэтому этот пульсоксиметрический блок необходимо дополнять внешними сверхъяркими светодиодами [4]. При организации управления излучением сверхъярких светодиодов сигналами RD и IRD пульсоксиметрического модуля на MAX30102, появляется возможность регистрировать их диффузно рассеиваемое тканями головы излучение даже при расстояниях между ними и фотодиодом, составляющим 1–1.5 см. При вводе излучения сверхъярких светодиодов через кожные покровы в ткани головы возникает ореол диффузно отражаемого излучения, края которого формируются излучением, диффузно рассеиваемым в основном корой головного мозга [5]. Причем, модуляция его интенсивности определяется пульсовыми колебаниями диаметра внутреннего просвета артериальных сосудов коры головного мозга, что делает возможным определение сатурации SaO_2 .

В докладе рассматриваются проблемы, возникающие при разработке и апробации блока управления сверхъяркими светодиодами.

1. Компонентная база разработанного блока

При проведении измерений SaO_2 в артериальных сосудах коры головного мозга сверхяркие светодиоды должны находиться на расстоянии 1–1.5 см от фотоприемника. Оптимальным вариантом является применение миниатюрного пульсоксиметрического модуля на основе MAX30102, в котором уже содержатся все необходимые компоненты для измерения сатурации. Тогда сверхяркие R и IR светодиоды можно размещать непосредственно возле модуля, что позволяет объединить их с модулем пульсоксиметра в одном компактном корпусе, который через шлейф с длиной 70–90 см можно подсоединить к управляющей микропроцессорной плате. При использовании платы Blue Pill на основе микропроцессора STM32F103C8T6 появляется возможность относительно простого подключения пульсоксиметрического модуля со сверхъяркими светодиодами к ноутбуку через интерфейс USB. При этом питание всего микропроцессорного устройства ведется от шины питания USB +5 В.

Пульсоксиметрический модуль на MAX30102 имеет низкий уровень шума и содержит узел снижения влияния внешней засветки на измеряемые значения SaO_2 . Параметры импульсного излучения встроенных в MAX30102 светодиодов (яркость излучения и длительность импульсов в пределах от 69 до 411 мкс) настраиваются программно. В качестве внешних светодиодов используются SMD светодиоды серии Cree 3535 с потребляемой мощностью до 1 Вт.

2. Особенности схемы устройства

Пульсоксиметрический модуль MAX30102 обеспечивает базовый функционал для создания измерителя SaO_2 . Без доработки его можно использовать для из-

мерения SaO_2 в артериальных сосудах кожи головы. Для регистрации световых потоков, диффузно отражаемых корой головного мозга, слева и справа от модуля размещаются по два светодиода с максимумами спектральной плотности яркости излучения на длинах волн 680 и 880 нм, соответственно. Это позволяет в два раза расширить область диффузного отражения и, соответственно, мощность отраженных потоков, принимаемых светодиодом MAX30102.

Поскольку сверхяркие светодиоды расположены на расстоянии более 1 см от фотодиода, излучение, рассеиваемое кожей головы в точках ее соприкосновения с прозрачными линзами светодиодов, практически не попадает на фотодиод. Поэтому при их выключении фотодиодом MAX30102 регистрируются импульсное рассеянное излучения встроенных в MAX30102 светодиодов, что позволяет определить их параметры и далее учитывать их вклад в общие потоки при совместной работе со сверхъяркими светодиодами.

Из-за малой амплитуды импульсов RD и IRD, вырабатываемых MAX30102 синхронно с включением излучения встроенных светодиодов, они не могут напрямую использоваться в качестве управляющих. Поэтому для преобразования их в логические управляющие сигналы в схеме используются два компаратора с интегрирующей RC цепочкой на их инвертирующих входах, состоящей из резистора R2 и конденсатора C1, как показано на рис. 1. Поскольку импульсы RD и IRD инвертированы, электронные ключи для включения сверхъярких светодиодов выполнены на P-канальных полевых транзисторах с подтяжкой потенциала затвора к уровню питающего напряжения +5 В.

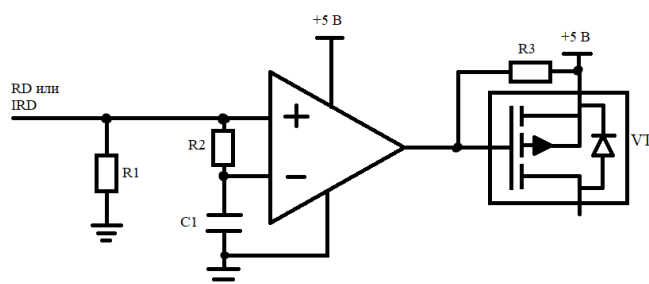


Рис.1. Принципиальная схема преобразования компаратором импульсов RD или IRD в TTL импульсы для управления включением/отключением внешних светодиодов

Форма импульсов RD и IRD, формируемых MAX30102, и импульсов включения сверхъярких светодиодов, которые формируются компараторами, показаны на рис. 2. Для разрешения работы внешних светодиодов достаточно одного вывода микроконтроллера, который подает положительный потенциал в затвор полевого транзистора с N-каналом.

При старте измерения, сначала автоматически подбираются токи для встроенных светодиодов, чтобы сигналы с 18-разрядного АЦП находились в пределах 70–80 % от верхнего значения его диапазона преобразования. После этого модуль MAX30102 переходит в режим получения двух фотоплетизмограмм и расчёта сатурации SaO_2 в коже головы. Далее выполняется переход в режим измерения сатурации артериальной крови коры головного мозга. Для этого ток через встроенные светодиоды снижается до 1 мА, и включаются внешние светодиоды. Модуль

MAX30102 остаётся в режиме измерения двух фотоплетизмограмм и расчёта SaO_2 , в артериальных сосудах коры головного мозга.

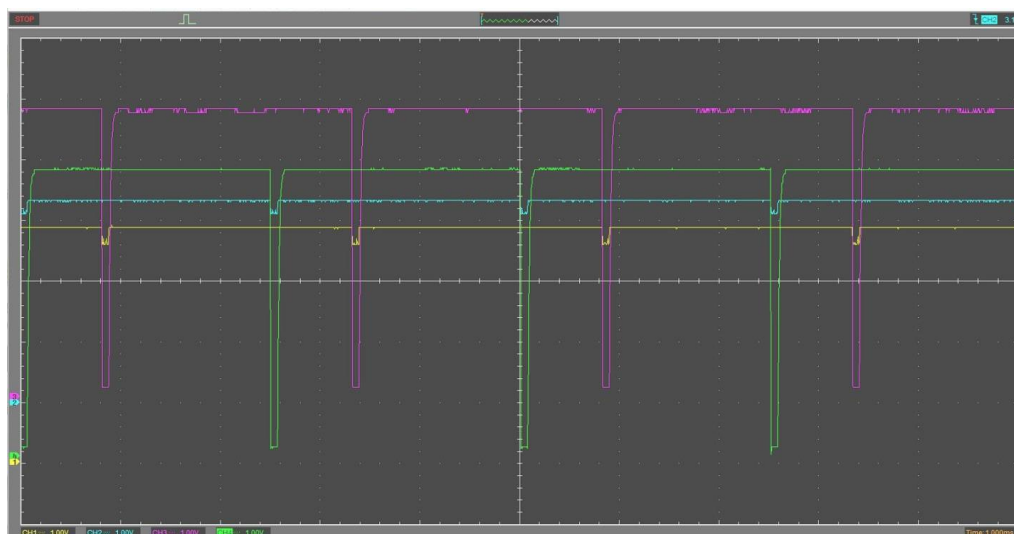


Рис. 2. Форма импульсов на выходах RD и IRD MAX30102 (осциллограммы голубого и жёлтого цвета) и на выходах компараторов (осциллограммы зеленого и фиолетового цвета)

Заключение

Разработка и тестирование миниатюрного пульсоксиметрического блока на основе модуля MAX30102, дополненного внешними сверхъяркими светодиодами, показали возможность его использования при оперативной оценке сатурации гемоглобина артериальной крови в сосудах кожи головы и коры головного мозга.

Библиографические ссылки

1. Определение оксигинации крови коры головного мозга / А. В. Лебедевский [и др.] // Компьютерные технологии и анализ данных (CTDA'2024) : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 25–26 апр. 2024 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: В. В. Скакун (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2024. С. 336–339.
2. Фираго В. А. Возможности диффузионной спектроскопии с пространственным разрешением при определении гидратации и параметров микроциркуляторного русла биотканей // Журнал прикладной спектроскопии. 2024. Т. 91, № 3. С. 378–393.
3. Фираго В. А. Оценка жесткости малых артериальных сосудов поверхностных биотканей по их спектрально-временным профилям диффузного отражения светового излучения / В. А. Фираго // Журнал прикладной спектроскопии. 2024. Т. 91, № 1. С. 107–123.
4. Неинвазивное определение сатурации артериальной и венозной крови в коре головного мозга / Кутейко М. М. [и др.] // Материалы седьмой Междунар. науч.-практ. конф. «Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики и физики конденсированного состояния» 18 – 19 мая 2023 г., Минск, НИУ «Ин-т приклад. физ. проблем им. А. Н. Севченко». – Минск: 2023. С. 39–42.
5. Hueber D., Fantini S., Cerussi A., Barbieri B. New optical probe designs for absolute (selfcalibrating) NIR tissue hemoglobin measurements / Hueber D. [et al.] // Optical Tomography and Spectroscopy of Tissue III; International Society for Optics and Photonics: San Jose, CA, USA, 1999; Volume 3597, P. 618–631.