

Теоретические основы

Bluetooth Classic для слуховых аппаратов? Хорошо, что наши инженеры не знали, что это невозможно!

Давина Омисоре (Davina Omisore), март 2019

Введение

Недавно компания Phonak преодолела очередной технологический рубеж. Она стала первым производителем слуховых аппаратов, успешно применившим широко распространенную технологию Bluetooth® Classic (2,4 ГГц) для прямого подключения слуховых аппаратов к бытовым электронным устройствам (например, смартфонам с операционными системами iOS® и Android™, телевизорам, компьютерам, стереосистемам, планшетам и т.д.) для потоковой передачи аудиосигнала (музыки и телефонных разговоров). Остальные производители используют в своих слуховых аппаратах прямого подключения технологию Apple® Bluetooth Low Energy (LEA), в связи с чем они получили название Made for iPhone® (MFi) и могут подключаться только к iPhone® и iPad®. Это не позволяет пользователям других операционных систем непосредственно принимать потоковый аудиосигнал своими слуховыми аппаратами. Согласно отчету eMarketer за 2016 год¹, устройства с операционной системой Apple iOS занимают лишь 13% мирового рынка. Наибольшая доля рынка (86%) принадлежит устройствам, использующим операционную систему Android.

Phonak Marvel – новейшее поколение слуховых аппаратов прямого подключения. Они не только способны бинаурально передавать аудиосигнал и телефонные разговоры, но и обеспечивают целый день непрерывной работы благодаря встроенному литий-ионному аккумулятору. Последним они обязаны низкому энергопотреблению микрочипа SWORD™ (Sonova Wireless One Radio Digital) третьего поколения. Этот сверхминиатюрный беспроводной чип обладает повышенной радиочувствительностью, совместимой с требованиями Bluetooth Classic. В результате снижается энергопотребление при сохранении большого радиуса действия и стабильности соединения. Чтобы преодолеть ограничение, связанное с потоковой передачей сигнала Bluetooth только в одно ухо, был разработан специальный алгоритм, расширяющий возможности Bluetooth для обеспечения потоковой передачи в оба уха.

Что такое Bluetooth?

В индустрии слуховых аппаратов используются два основных протокола Bluetooth – Bluetooth Classic и Bluetooth Low Energy (Bluetooth LE).

Bluetooth Classic

Bluetooth Classic – протокол коротковолновой радиосвязи, использующий международный стандартный диапазон частот, зарезервированный для промышленного, научного и медицинского оборудования (ISM).

Работая в частотном диапазоне 2,4 ГГц, Bluetooth Classic обеспечивает дистанционный обмен аудиопотоками (голос, музыка) между двумя сопряженными устройствами, например, мобильными телефонами, наушниками и стереосистемами. В отличие от Bluetooth LE (см. ниже), Bluetooth Classic использует стандарт Advanced Audio Distribution Profile (A2DP, или "расширенный профиль раздачи аудио") и поддерживает стандарт телефонных разговоров Hands Free Profile (HFP). Даже такие популярные устройства, как Apple AirPods®, используют протокол Bluetooth Classic вместо собственного протокола Apple.

Bluetooth LE

Как и Bluetooth Classic, протокол Bluetooth LE действует в радиочастотном диапазоне 2,4 ГГц. Он был разработан для уменьшения энергопотребления при передаче управляющих сигналов и обладает таким же, как и другие протоколы, радиусом действия (до 100 м в свободном поле). Впервые Bluetooth LE был представлен в 2006 г. компанией Nokia под именем Wibree. Слияние с основным стандартом Bluetooth произошло в 2010 г., одновременно с принятием версии Bluetooth 4.0. Протокол идеально подходит для периодической передачи небольшого объема данных и не предназначен для непрерывного стриминга. Компания Apple разработала модифицированную версию Bluetooth LE, применяемую в слуховых аппаратах MFi. Этот протокол обеспечивает полноценную потоковую передачу аудиосигнала из телефона в слуховые аппараты, но не поддерживает телефонные звонки в режиме "handsfree".

Проблемы, связанные с использованием Bluetooth Classic в слуховых аппаратах

Использование Bluetooth Classic в слуховых аппаратах сопряжено с двумя основными проблемами. Они считались непреодолимыми, в связи с чем другие производители слуховых аппаратов решили остановиться на технологии Apple Bluetooth LE.

1. Энергопотребление

Высокая энергоемкость протокола Bluetooth Classic хорошо известна. Другие производители слуховых аппаратов сбросили его со счетов, потому что он потребляет гораздо больше энергии, чем технология Made for iPhone. Электронные компоненты, необходимые для передачи по Bluetooth, могут быть успешно встроены в слуховой аппарат, но требования к питанию будут ограничивать срок службы воздушно-цинковой батареи ниже допустимого уровня².

2. Поточковая передача сигнала в оба уха

Bluetooth Classic обеспечивает стабильную потоковую передачу высококачественного аудиосигнала, но поддерживает только один канал стриминга. Для бинауральной потоковой передачи аудиосигнала нужны два канала, а это требует разработки специальных решений. В противном случае может возникнуть значительное рассогласование энергопотребления, заметное при использовании протокола A2DP.

Микрочип SWORD: решение проблем Bluetooth

Решая связанные с Bluetooth Classic проблемы расхода батареи и бинаурального стриминга музыки и телефонных разговоров, компания Phonak создала SWORD – беспроводной чип, использующий протокол Bluetooth Classic, но при этом преодолевающий проблемы срока службы батареи и аудиостриминга.

1. Миниатюризация беспроводного чипа

В 1965 г. Гордон Мур (Gordon Moore) предположил, что "скорость процессоров, или общая вычислительная мощность компьютеров будет удваиваться раз в два года"³. Это эмпирическое положение, широко известное как "закон Мура", применимо и к беспроводным цифровым слуховым аппаратам. Миниатюризация технологий является одним из ключевых факторов использования универсальной беспроводной связи и сложных алгоритмов без увеличения энергопотребления. Вместе с уменьшением размеров структурных элементов чипа можно снизить энергопотребление. Если транзисторы уменьшаются в размерах и расположены плотнее, путь перемещающихся между ними электронов сокращается, а это экономит время и энергию⁴. Чем меньше размер транзисторов, тем большее их количество может использоваться для реализации сложных функций без повышения расхода батареи.

Компания Phonak разработала SWORD, сверхминиатюрный и сверхэкономичный чип. Он состоит из 42 млн. транзисторов, размещающихся на площади 6,8 мм². Благодаря технологии CMOS с размером компонента 40 нм, SWORD является единственным беспроводным чипом, способным использовать один радиочип и одну антенну для всех приложений. В настоящее время это одно из самых энергоэффективных решений для слуховых аппаратов. Оно обеспечивает большую вычислительную мощность для реализации сложных беспроводных возможностей, таких как потоковое бинауральное аудио с использованием Bluetooth Classic и уникальная технология межухной потоковой передачи аудиосигнала Binaural VoiceStream™. Обе упомянутые технологии используют одну антенну, что способствует дальнейшей миниатюризации слухового аппарата. Бинауральная потоковая передача аудиосигнала оптимизирована для внешних устройств благодаря собственным дополнениям к стандартному протоколу Bluetooth Classic. SWORD обеспечивает большую

надежность и стабильность Bluetooth-связи за счет новой конструкции антенны, позволяющей передавать аудиосигнал из уха в ухо, вокруг головы.

На рис. 1 представлено сравнение SWORD с другими беспроводными технологиями, например, Apple W1 (собственный чип компании Apple, используемый в беспроводных наушниках AirPods® на базе операционной системы iOS 10) или NXP Semiconductors (беспроводной чип, используемый в слуховых аппаратах MFi).

	 SWORD™	 W1 (Apple AirPods)	 NXP NxH2003
Размер (мм)	1,9 x 3,58	3,23 x 4,42	2,85 x 2,45
Площадь (мм ²)	6,8	14,3	7,0
Размер структурного компонента (нм)	40	65	65
Расход тока			
Протоколы	Bluetooth Classic Bluetooth Low Energy Roger™ (собственный) AirStream™ (собственный) Binaural VoiceStream Technology (собственный)	Bluetooth Classic Bluetooth Low Energy	Bluetooth Low Energy LEA (MFi)

Рис. 1: Сравнение микрочипа SWORD с другими решениями Bluetooth. SWORD, безусловно, является лучшим в своем классе с точки зрения размера чипа, площади, размера структурного компонента, энергопотребления и количества протоколов.

SWORD намного превосходит Apple AirPods и слуховые аппараты MFi по экономному энергопотреблению и количеству доступных протоколов. Этот сверхминиатюрный чип способен одновременно использовать несколько протоколов, например, Bluetooth Classic, Bluetooth LE и несколько собственных протоколов. При этом сохраняется низкое, по сравнению с беспроводными чипами W1 и NXP, энергопотребление.

2. Радиочувствительность и конструкция антенны

Для дальнейшей оптимизации энергопотребления очень важна чувствительность радиочипа и его антенны. Хорошая радиоантенна позволяет сократить энергопотребление, особенно при передаче сигнала, без уменьшения радиуса действия и снижения стабильности связи. Человеческое тело поглощает радиоволны частотой 2,4 ГГц, поэтому очень сложно заставить сигнал обогнуть тело. Слуховые аппараты традиционно использовали индукционную связь, требующую отдельного радиомодуля с собственной антенной. Конструкция SWORD обеспечивает чувствительность, достаточную для бинауральной передачи аудиосигнала. Оптимизированная радиоантенна SWORD позволяет осуществлять двустороннюю потоковую передачу внешних аудиосигналов, а также бинауральный обмен сигналами вокруг головы. Она не теряет чувствительности из-за близости к телу, сохраняя высокую производительность при ношении на ухе. Кроме того, при конструировании антенны учли необходимость интеграции технологии Roger™, используемой с 2013 г.

SWORD is the only wireless chip available which requires only one radio antenna that can support short link distances for on-body ear-to-ear streaming with Binaural VoiceStream Technology, off-body long link distances like Bluetooth Classic and Bluetooth LE, and multiple protocols that are used for every day listening (fig. 2).

Управление питанием и расход батареи

Без вышеупомянутых инноваций использование Bluetooth Classic привело бы к значительному повышению энергопотребления. Именно по этой причине производители слуховых аппаратов MFi предпочли воспользоваться собственным протоколом компании Apple Bluetooth LE (LEA), поддерживающим два канала

бинауральной потоковой передачи аудиосигнала. К недостаткам такого решения относятся ограниченность моделей подключаемых смартфонов и планшетов (только Apple iPhone и iPad), невозможность телефонных звонков handsfree и невозможность подключения к таким устройствам, как компьютеры Apple.

- MFA (любой бренд, любое устройство)
- Бинауральное аудио
- Телефон handsfree

- Лучшее в своем классе решение
- Качество аудио
- Подключи и слушай



Рис. 2: Различные протоколы, интегрированные в микрочип SWORD.

Микрочип SWORD был создан для низкого энергопотребления. Его система управления питанием включает в себя преобразователи напряжения, сводящие к минимуму расход тока слуховыми аппаратами Phonak в процессе использования Bluetooth Classic при потоковой передаче музыки и разговоре по телефону. Эта новая система управления питанием обеспечивает время работы батареи, сопоставимое со слуховыми аппаратами MFi.

На рис. 3 и 4 представлено сравнение пиковой и средней силы тока при потоковой передаче аудиосигнала и телефонном разговоре для слуховых аппаратов Marvel и двух аппаратов RIC, использующих технологию MFi. Пиковая сила тока соответствует потреблению тока в момент включения радио и отражает эффективность микрочипа. Этот параметр очень важен для воздушно-цинковых батарей, т.к. они могут одновременно использовать ограниченное количество воздуха для выработки электричества и, следовательно, максимальная сила тока у них ограничена. При превышении этого максимума (зависящего от размеров батареи – 10, 312, 13, 675) напряжение падает и слуховой аппарат выключается, по крайней мере, временно. Этот эффект называют "кислородным голоданием", потому что батарея не может нормально "дышать". Кислородное голодание становится более выраженным к концу срока службы воздушно-цинковой батареи и может привести к ее преждевременному выходу из строя, несмотря на то, что остаточной емкости батареи хватает на выработку более слабого тока. В этой связи необходимо снизить пиковое потребление тока устройством. Сказанное не относится к литий-ионным аккумуляторам, способным генерировать гораздо более высокие пиковые значения тока и не нуждающимся в поступлении воздуха.

Помимо эффекта кислородного голодания, необходимо учитывать емкость самой батареи. Она прослужит дольше, если среднее энергопотребление слухового аппарата будет ниже. Во время потоковой передачи музыки и телефонных разговоров Bluetooth Classic и Bluetooth LE включаются и выключаются через равные промежутки времени. Это приводит к меньшему среднему потреблению тока. Естественно, этот эффект распространяется на любые источники питания – как на воздушно-цинковые батареи, так и на литий-ионные аккумуляторы.

На графиках (рис. 3 и 4) показано, что SWORD использует Bluetooth Classic для потоковой передачи аудиосигнала в слуховые аппараты без высокого пикового (и среднего) потребления тока. Пиковые и средние значения энергопотребления микрочипа SWORD, использующего Bluetooth Classic, очень близки к величинам, характерным для слуховых аппаратов MFi, использующих энергоэффективный протокол Bluetooth LE. Это

опровергает аргументы против использования Bluetooth Classic для потоковой передачи аудио или телефонных разговоров в слуховые аппараты.

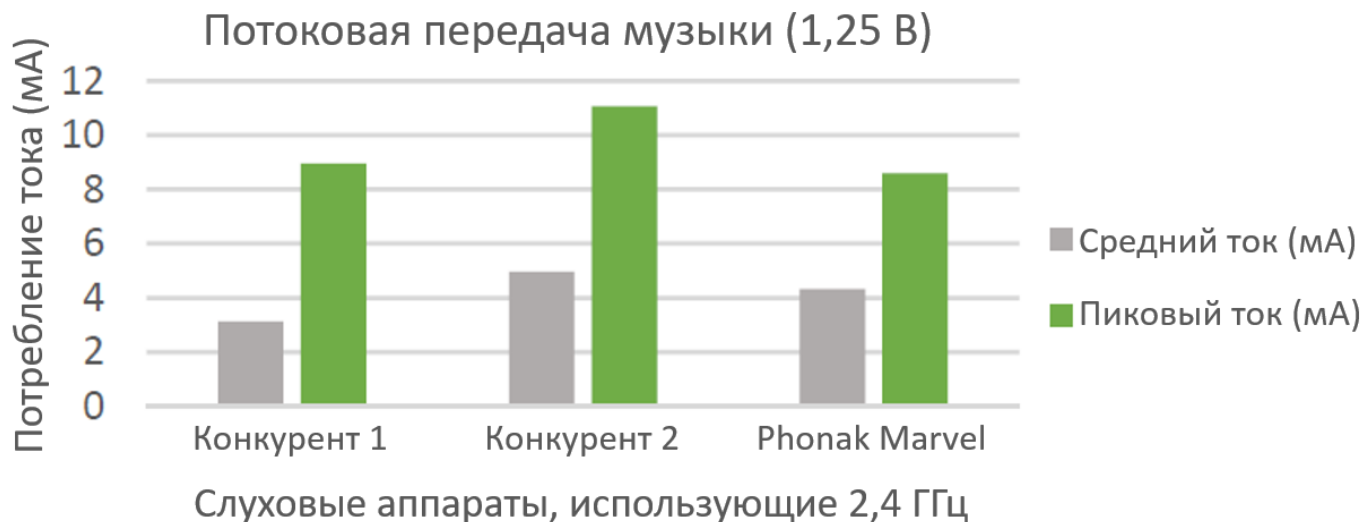


Рис. 3: Сравнение пикового и среднего потребления тока при потоковой передаче музыки слуховыми аппаратами RIC, использующими технологию 2,4 ГГц. Для получения сравнимых результатов измерения выполнены без ресиверов.

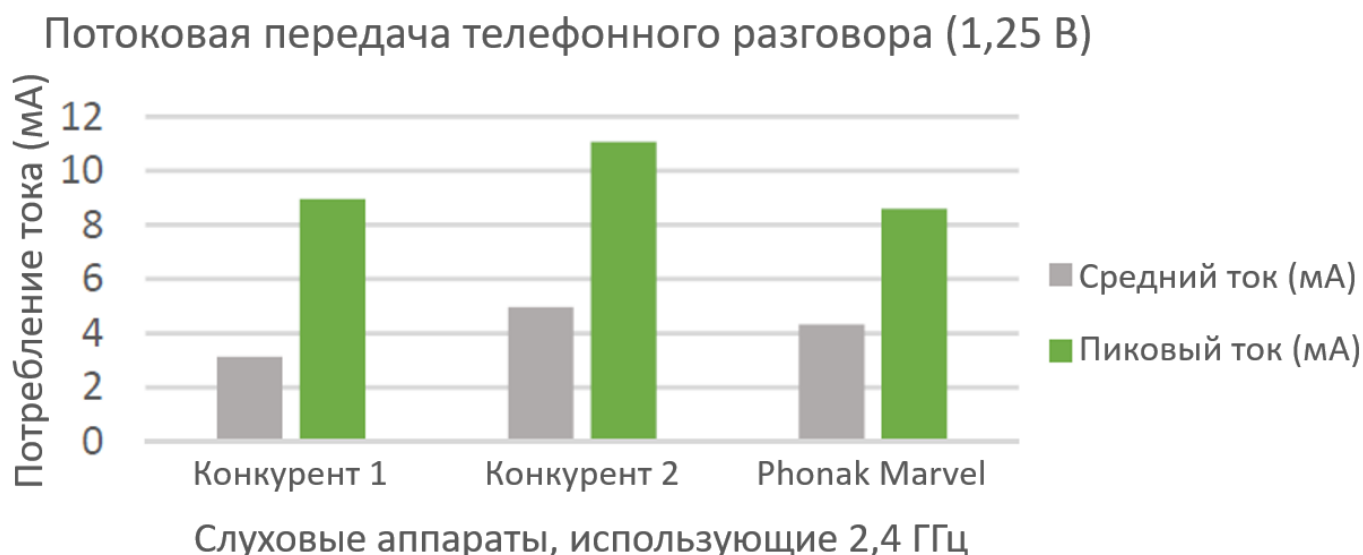


Рис. 4: Сравнение пикового и среднего потребления тока при потоковой передаче телефонного разговора слуховыми аппаратами RIC, использующими технологию 2,4 ГГц. Для получения сравнимых результатов измерения выполнены без ресиверов.

Наш опыт применения литий-ионных аккумуляторов и анализ данных о длительном использовании слуховых аппаратов позволил оптимизировать второе поколение перезаряжаемых устройств. Согласно нашим собственным данным, 98% пользователей Phonak Audéo™ B-R (n = 12'239) носят свои слуховые аппараты менее 17 часов в день. Данные DataLogging более чем 192'000 клиентов (пользующихся Phonak Belong) свидетельствуют о среднем времени ношения 10,4 часа в день. В результате компания Phonak определила время автономной работы перезаряжаемых слуховых аппаратов как 16 часов использования в день, в том числе:

- 8 часов AutoSense OS™ 3.0 и Binaural VoiceStream Technology™ (50%)
- 4 часа Bluetooth-стриминга – телефонных разговоров (HFP) и медиа (A2DP) (25%)
- 4 часа просмотра ТВ с использованием TV Connector (технология AirStream™) (25%).

На рис. 5 представлено расчетное потребление батареи, основанное на испытаниях опытной серии Audéo Marvel. Тестирование включало в себя акустическую стимуляцию в течение 16 часов, а также различные

варианты автоматически активируемого беспроводного стриминга общей продолжительностью 8 часов. Слуховые аппараты были снабжены ресиверами Р и были настроены на типичную тяжелую/глубокую тугоухость (N5). Средний уровень акустических сигналов в тестовой камере составлял 65-75 дБ (комбинация тихой/умеренно громкой обстановки в офисе, громкого/очень громкого уличного движения и ресторана). Кроме того, записывали выходной сигнал ресиверов для регистрации предупреждающих сигналов и уведомлений. Реальные результаты могут отличаться от расчетных, т.к. они зависят от особенностей использования аппаратов, их конфигурации и прочих факторов.

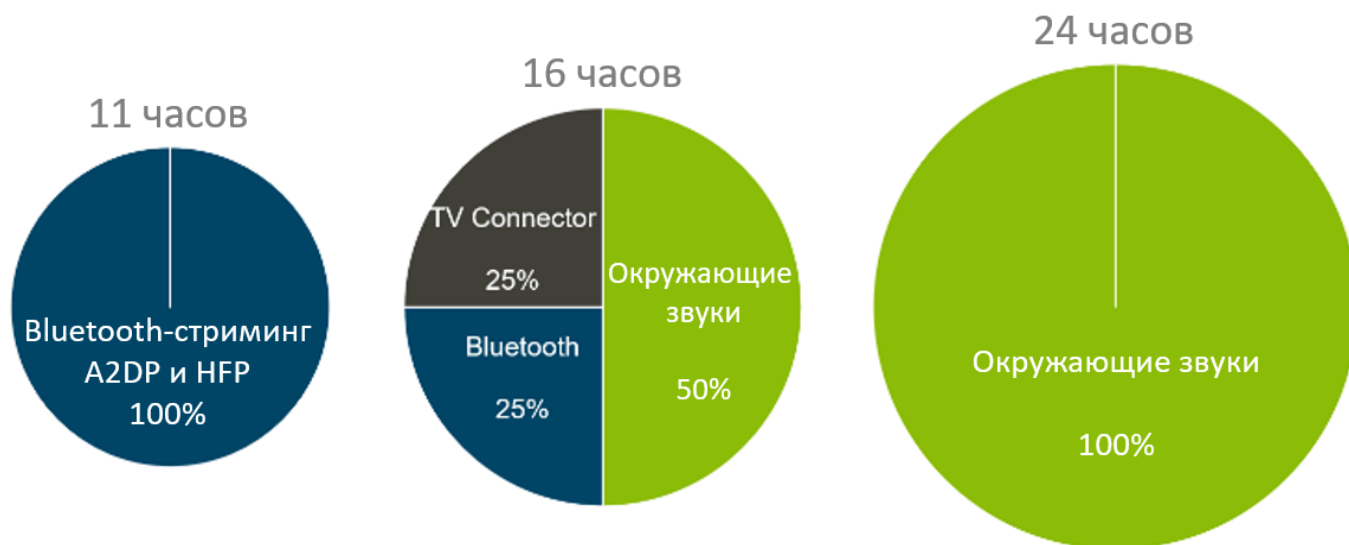


Рис. 5: Расчетное время работы аккумулятора слуховых аппаратов Audéo Marvel при потоковой передаче аудиосигнала (100% времени), сочетании акустического прослушивания с потоковой передачей аудиосигнала (50% + 50% времени) и акустическом прослушивании (100% времени). Реальные результаты могут отличаться от расчетных, т.к. они зависят от особенностей использования аппаратов, их конфигурации и прочих факторов.

В тех же условиях тестирования время работы воздушно-цинковой батареи типоразмера "13" у аппаратов Audéo Marvel составило 100 часов, включая стриминг (рис. 6).

Слуховой аппарат	Время работы батареи
Audéo M-R	1 день / >16 часов
Audéo M-312T	60 часов
Audéo M-13T	100 часов

Рис. 6: Среднее время работы аккумулятора и воздушно-цинковых батарей типоразмеров "312" и "13" в слуховых аппаратах Phonak Audéo Marvel.

Примечательно, что наушники Apple AirPods, также использующие литий-ионные аккумуляторы, могут проработать до 5 часов в режиме прослушивания аудиосигнала и до 2 часов в режиме телефонного разговора (сравните с 11 часами стриминга или телефонного разговора у Audéo Marvel)⁵.

Заключение

Компания Phonak осуществила технологический прорыв, разработав микрочип SWORD, использующий протокол Bluetooth Classic. Миниатюризация беспроводного чипа в сочетании с повышением радиочувствительности и усовершенствованием конструкции антенны сделала Phonak единственным производителем, использующим преимущества Bluetooth Classic для потоковой передачи звука и телефонных разговоров в режиме handsfree без избыточного энергопотребления. Это стало возможным благодаря сверхминиатюрной технологии микрочипа SWORD с размером компонентов 40 нм.

Слуховые аппараты Phonak новейшего поколения используют несколько протоколов беспроводной связи, в том числе:

- Bluetooth Classic для бинауральной связи с телефонами и потоковой передачи музыки
- Bluetooth LE для дистанционного управления и беспроводной настройки слуховых аппаратов

- Собственные протоколы для связи с микрофонами Roger, потоковой передачи сигнала TV Connector и бинаурального обмена данными и аудиосигналами посредством Binaural VoiceStream Technology.

Это обеспечивается низким энергопотреблением, сравнимым или даже меньшим, чем у слуховых аппаратов MFi, использующих собственный протокол Bluetooth LE и способных напрямую связываться только с устройствами iPhone или iPad.

Микрочип SWORD позволяет напрямую подключать слуховые аппараты к большинству смартфонов, использующих операционные системы Android и iOS, предоставляя пользователям возможность слушать музыку и разговаривать по телефону в течение всего дня, не заботясь о расходе заряда батареи.

Литература

1. Global Mobile Landscape 2016: A Country-by-Country Look at Mobile Phone and Smartphone Usage. eMarketer Report. (2016). Retrieved from <https://www.emarketer.com/Report/Global-Mobile-Landscape-2016-Country-by-Country-Look-Mobile-Phone-Smartphone-Usage/2001859>.
2. Galster, J. (2014 November/December). Making sense of modern wireless hearing aid technologies. *Ent and audiology news*, 23, 5.
3. Moore, G.E. (1965) Cramming More Components onto Integrated Circuits. *Electronics*, 38, 8.
4. Weste, N. & Harris, D. (2011). CMOS VLSI Design: A circuits and systems perspective, (4th ed.). Boston, MA: Addison-Wesley.
5. Charge your AirPods with charging case and learn about battery life. (2018). Retrieved from <https://support.apple.com/en-us/HT207012>, accessed February 27th, 2019.

Apple, логотип Apple, iPhone, iPad и AirPod являются товарными знаками Apple Inc., зарегистрированными в США и других странах.

iOS является товарным знаком Cisco, Inc.

Android, Google Play и логотип Google Play являются товарными знаками Google Inc.

Bluetooth® является товарным знаком, принадлежащим Bluetooth SIG, Inc.

Автор



Давина Омисоре (Davina Omisore) работает менеджером по аудиологии отдела коррекции малых/умеренных нарушений слуха в головном офисе Phonak. Давина начала работать в компании Phonak в январе 2006 г. в качестве специалиста в области обучения аудиологии и продукции. Окончила Университет Далхаузи (Галифакс, Канада) со степенью магистра аудиологии. До прихода в Phonak работала в Великобритании.