

**Анализ способов преобразования импульсно-плотностной в импульсно-кодую последовательность на базе микроконтроллера**

Ровдо М.С., Давидович Д.В., Курило А.И.

*Научный руководитель – Ролич О. Ч., кандидат технических наук, доцент, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники*

В данной статье анализируются способы преобразования импульсно-плотностной в импульсно-кодую последовательность. Рассматриваются преимущества способов преобразования.

*Ключевые слова:* импульсно-плотностной последовательность, импульсно-кодую последовательность, MEMS-микрофон, аудиосигнал, сигма-дельта АЦП.

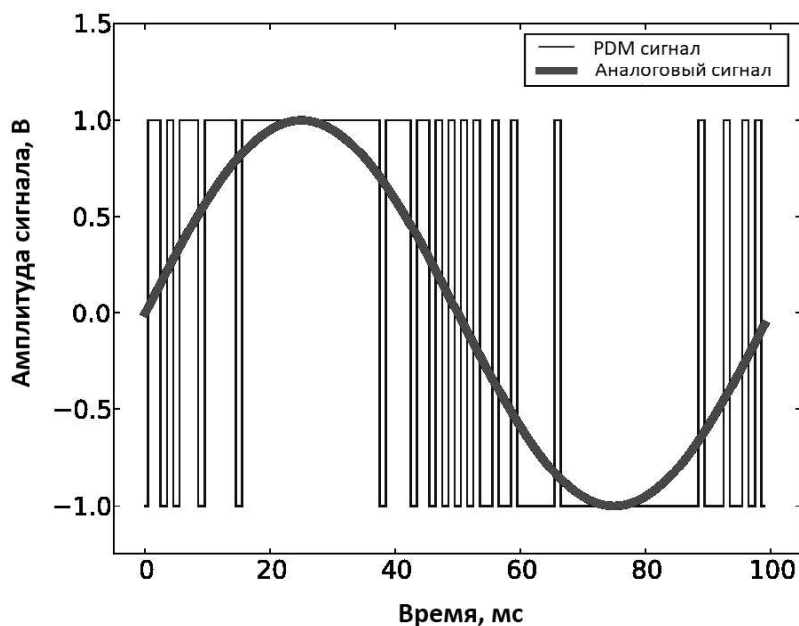
В мире все чаще и чаще встречаются системы с голосовым управлением, что в свою очередь ведет к углубленному анализу методов и способов обработки аудиосигналов. Анализ аудиосигналов занимает определяющую позицию в системах автоматизированного распознавания и измерения речи, голосовой идентификации, детектирования акустических команд управления. Малогабаритные системы имеют в своем составе микрофон и микроконтроллер. Далее рассмотрим наиболее перспективный вид микрофонов и способы обработки данных с микрофона.

Аудиосигнал представляет собой колебания в диапазоне частот от 20 до 20000 Гц. Данный диапазон представляет собой пределы слуха среднестатистического взрослого человека.[1] Для записи аудиосигнала требуется микрофон и в настоящее время широкое применение получили MEMS-микрофоны отодвинув назад ЕСМ-микрофоны. Достоинством MEMS-микрофонов является:

- 1) Хорошая шумовая устойчивость за счет отсутствия длинный проводов.
- 2) Высокая устойчивость к вибрациям, перепадам температур.
- 3) Малые габариты, что обеспечивает создание устройств малых размеров
- 4) Устойчив к высокочастотным и электромагнитным помехам.
- 5) Низка цена.

Таким образом MEMS-микрофоны очень хорошо зарекомендовали себя в системах малых размеров. Данный тип микрофонов используется в мобильных устройствах, ноутбуках, планшетах, видеокамерах.[2,3]

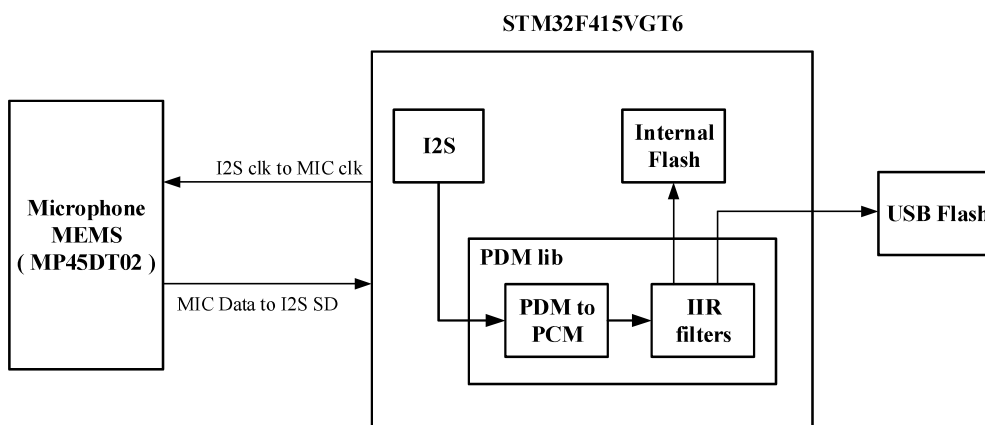
Следующим этапом является обработка данных с микрофона. Данный тип микрофонов на выходе имеет импульсно-плотностную последовательность (PDM – pulse density modulation), что вносит определенную сложность в обработку, хранение и дальнейшее воспроизведение. Для корректной обработки сигнал требуется преобразовать.



**Рис. 1.** Представление PDM сигнала

Первый способ преобразования, который является самым простым, но не самым рациональным это реализация фильтра низких частот на микроконтроллере. Фильтр низких частот сгладит PDM сигнал и на выходе получится искаженный входной сигнал, который возможно дискретизировать по времени и получить импульсно-кодovou последовательность (PCM – pulse code modulation). При данном способе обработки PDM сигнала некоторые аудиофрагменты будут утеряны и распознавание команд управления не осуществиться полностью.

Второй способ является использование библиотеки для микроконтроллера от ST.



**Рис. 2.**

Преобразование данных из PDM в PCM осуществим программно с использованием библиотеки от ST. Данная библиотек находится в открытом доступе и проста в использовании. Производим настройку библиотеки. Устанавливаем выходную частоту сигнала  $F_S$ , частоту среза нижних частот  $LP\_HZ$ , частоту среза фильтра верхних частот  $HP\_HZ$ , определяем количество микрофонов во входном потоке  $In\_MicChannels$ . На первом этапе данные поступают с микрофона по средствам интерфейса I2S на микроконтроллер и поступают блок преобразования PDM to PCM. На втором этапе аудиосигнал в формате PCM поступает в блок фильтрации, который в своем составе имеет два БИХ фильтра: низкочастотный и высокочастотный. После преобразования библиотека

выдает необработанные данные, которые можно обрабатывать в зависимости от реализации приложения.[4]

Анализируя способы преобразования импульсно-плотностной в импульсно-кодovou последовательность на базе микроконтроллера можно сказать о преимуществах использования PDM библиотеки от ST. Процесс преобразования происходит быстро, присутствует возможность одновременно записывать и прослушивать аудиосигнал. Присутствие фильтра нижних частот и фильтра высоких частот позволяет убрать собственные шумы микрофона, шумы, возникшие в ходе преобразования.

### Список литературы

1. Радзишевский А.Ю. Основы аналогового и цифрового звука. 2006г.
2. MEMS digital-to-acoustic transducer with error cancellation. US Patent 6,829,131. Loeb, et al. Carnegie Mellon University. Dec 7, 2004
3. Сысоева С. Ключевые сегменты рынка МЭМСкомпонентов. Инерциальные системы — от lowend до high-end // Компоненты и технологии. 2010. № 5.
4. PDM audio software decoding on STM32 microcontrollers [Электронный ресурс]: Application note / STMicroelectronics. – Режим доступ: [https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application\\_note/ca/18/be/bb/f8/53/47/a5/DM00040808.pdf/files/DM00040808.pdf/jcr:content/translations/en.DM00040808.pdf](https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/ca/18/be/bb/f8/53/47/a5/DM00040808.pdf/files/DM00040808.pdf/jcr:content/translations/en.DM00040808.pdf)  
© М.С. Ровдо, Д.В. Давидович, А.И. Курило, 2019