

# УСТРОЙСТВО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ И ДЕКОДИРОВАНИЯ ДTMF-СИГНАЛОВ

Осипов А. С., Вашкевич М. И.

Кафедра электронных вычислительных средств,

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: cyklop3345@gmail.com

*В работе представляется устройство детектирования и декодирования DTMF-сигналов на базе платы Zynq 7000. Данное устройство принимает на вход акустический сигнал и, в случае регистрации тонального набора, создает управляющее четырехразрядное слово.*

## ВВЕДЕНИЕ

DTMF (dual-tone multi-frequency) сигналы можно использовать для кодирования и передачи ограниченного набора из 16-ти символов. Часто передаваемый символ несет информацию об управляющем воздействии. Передача сигнала осуществляется по одному каналу связи, что обеспечивает связь между двумя устройствами с минимальными затратами средств.

Изначально тональный набор использовался в средствах телефонии для соединения аналогового оборудования, такого как телефонные аппараты и автоматические телефонные станции. Тональные сигналы применяются для систем голосового автоответа при ручном вводе команд абонентом.

На данный момент DTMF-сигналы обрели популярность и в других сферах помимо телефонии. Так в статье [8] предлагается использовать тональный набор для управления бытовой техникой в системе умного дома. А в работе [9] представлено удаленное управление роботом с использованием DTMF и GPS.

В данной статье предлагается использовать для связи аудиоканал, что позволит передать команду от управляющего устройства к одному или нескольким управляемым посредством звуковых сигналов. Помехи в аудиоканале, такие как человеческая речь или посторонние звуки, не будут накладываю ограничения на использование DTMF. Данная система может быть особенно востребована в местах с загруженными каналами Wi-Fi или Bluetooth в условиях невозможности проложить сигнальный кабель.

## I. ФОРМИРОВАНИЕ DTMF-СИГНАЛА

DTMF-сигнала представляет собой сумму двух синусоид определенных частот. Частоты подобраны особым образом, чтобы обеспечить надежную передачу сигнала через телефонные линии и минимизировать возможные искажения и ошибки в распознавании сигнала.

Для формирования DTMF-сигналов используется восемь различных частот, которые разделены на группу нижних и группу верхних частот. Кодирование символов происходит путем сложения

двух синусоид (по одной из каждой группы) как показана в таблице 1.

Таблица 1 – Кодирование символов DTMF-сигналов

Нижняя группа, Гц	Верхняя группа, Гц			
	1209	1336	1477	1633
697	1	2	3	A
770	4	5	6	B
852	7	8	9	C
941	*	0	#	D

Рекомендуемая минимальная продолжительность DTMF-сигнала составляет 40 мс, а длительность пауз между сигналами не должна превышать 24 мс.

Подробная информация о выборе частот и параметров сигналов указана в общей рекомендации по телефонной коммутации и сигнализации [1-2].

## II. АЛГОРИТМ ДЕКОДИРОВАНИЯ

Расшифровка тонального сигнала основана на алгоритме Герцеля [3], который представляет собой рекурсивный фильтр второго порядка. Фильтр может быть описан следующими выражениями:

$$y(-2) = y(-1) = 0;$$

$$y(n) = x(n) + \alpha \cdot y(n-1) - y(n-2);$$

$$A^2(n) = y^2(n) - \alpha \cdot y(n) \cdot y(n-1) + y^2(n-1).$$

$$\alpha = 2 \cdot \cos\left(\frac{2\pi f}{f_s}\right)$$

Значение  $A^2$  – выходное значение фильтра, обозначающее наличие нужного тона, а также квадрат его амплитуды.

Изначальный алгоритм Герцеля имеет следующие недостатки:

- на выходе фильтра сигнал колеблется от 0 до максимальной амплитуды, что не позволяет правильно считать амплитуду в произвольный такт работы фильтра;
- после исчезновения тонального набора на входе фильтра, сигнал на выходе остается вплоть до отключения фильтра;
- сигнал на выходе ненормирован.

Для решения некоторых недостатком можно разделить работу фильтра на периоды детектирования и принудительной очистки буфера. Но

данная мера потребуют дополнительной синхронизации работы передатчика и приемника.

В данном устройстве для исправления представленных недостатков была применена следующая модернизация алгоритма:

- в рекурсивной части фильтра вводится принудительное затухание сигналов;
- на выходе фильтра сигнал нормируется;
- после нормирования сигнал обрабатывается по методу угасающего максимума и по пороговой схеме для получения значения 0 (тон отсутствует) либо 1 (тон присутствует) на выходе.

Примененные методы позволяют непрерывно декодировать сигналы любой длины в любой момент времени.

Более полное описание алгоритма Герцеля можно найти в работах [4–7].

### III. РЕАЛИЗАЦИЯ НА ПЛИС

Для реализации устройства была выбрана отладочная плата Zybo на базе ПЛИС Zynq-7000. Данная плата обладает разъемом под микрофон и четырьмя светодиодами, которые могут быть использованы для проверки правильности работы устройства.

На рисунке 1 представлена структурная схема устройства детектирования DTMF-сигналов на базе Zynq 7000. Ввод осуществляется посредством подачи тональных сигналов на микрофон, который через разъем TRS (mini-jack 3.5mm) соединяется с кодеком SSM2603. Настройка кодека осуществляется с использованием процессорного ядра ARM посредством интерфейса I<sup>2</sup>S. Аудиоданные от кодека передаются в процессорное ядро ARM по интерфейсу I<sup>2</sup>S и затем перенаправляются через AXI интерфейс в детектор DTMF сигналов, из которого результат детектирования выводится на LED-индикаторы.

Описание детектора DTMF сигналов выполнено на языке VHDL. Устройство состоит из восьми фильтров, подключенных параллельно, и схемы принятия решений. Одновременно тон могут

регистрировать только по одному фильтру из верхней и нижней группы. Таким образом, на выходе образуется два кода «1 из 4». Схема принятия решений преобразует получившиеся коды в код 8421. Помимо этого в схеме присутствуют защитные меры по фильтрации «ошибочных» комбинаций и фильтрации коротких сигналов, вызванных дребезгом сигналов.

### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложен вариант реализации устройства детектирования/декодирования DTMF-сигналов на базе платформы Zybo. Вычислительное ядро детектора DTMF-сигнала предложено реализовать в виде IP-блока с использованием модифицированного алгоритма Герцеля.

1. ITU-T Recommendation Q.23: Technical features of push-button telephone / 1993
2. ITU-T Recommendation Q.24: Multi-frequency push-button signal reception / 1993
3. Kazus [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://kazus.ru/articles/149.html>.
4. Design of DTMF signal detection method based on improved Goertzel algorithm / X. Peiyao, L. Xiaofang, L. Weican, L. Mingyu, 2023 – Mode of access: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10075142>
5. Improving the Goertzel-Blahut Algorithm – S. V. Fedorenko, 2016 – Mode of access: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7457627>
6. Design of DTMF signal experiment system based on MATLAB – J. Long, 2020 – Mode of access: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9315651>
7. The FPGA Implementation of Modified Goertzel Algorithm for DTMF Signal Detection – Z. Xinyi, 2010 – Mode of access: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5630500>
8. Design of Remote Control System for Household Appliances based on Single Chip Microcomputer – H. Haibo, 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 750 012109 – Mode of access: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/750/1/012109>.
9. Development of Real Time Night Vision Camera Monitoring Robot Integrating DTMF and GPS System / M. S. Sulong, M. Z. Hasan, N. Shariffudin, M. A. Busari and M. N. Mansor – et al 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 917 012033 – Mode of access: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/917/1/012033>

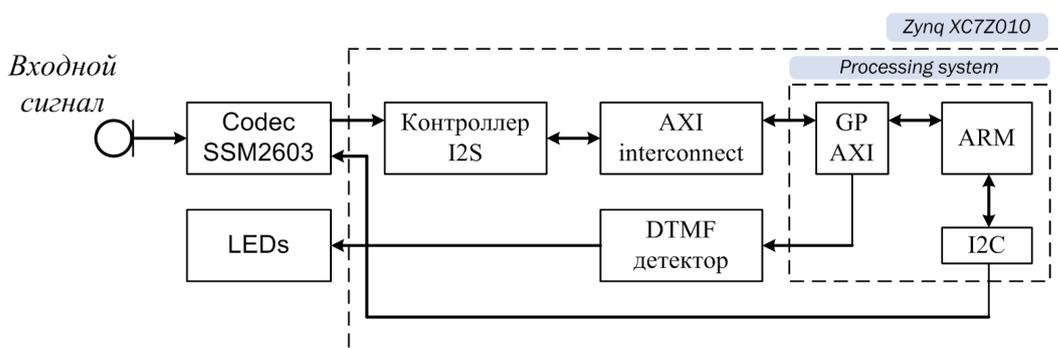


Рис. 1 – Структурная схема устройства детектирования DTMF-сигналов на базе платформы Zybo