

2. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. – MIT Press, 2016.
3. Jordan M., Mitchell T. Machine Learning: Trends, Perspectives, and Prospects. – Science, 2015.
4. Котляр А.Н. Интеграция машинного обучения в корпоративные информационные системы // Программная инженерия и цифровизация. – М., 2024. – С. 112–124.
5. Chollet F. Deep Learning with Python. – Manning, 2018.

УДК 004.032.6

Н.М. Топорков

Кубанский государственный университет
Краснодар, Россия

МЕТОДОЛОГИЯ КОНФИГУРАЦИИ АУДИОТРАКТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦАП TAS2563 В ЗАДАЧАХ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ

***Аннотация.** Предложена методика настройки ЦАП TAS2563 для встраиваемых систем. Разработан алгоритм инициализации по I²C, обеспечивающий энергоэффективное воспроизведение звука. Аппаратная реализация на ESP32-S3 подтвердила преимущества: малые габариты, низкое энергопотребление и программную гибкость. Решение перспективно для IoT и портативной электроники.*

N.M. Toporkov

Kuban State University
Krasnodar, Russia

METHODOLOGY FOR CONFIGURING THE AUDIO PATH USING THE TAS2563 DAC IN EMBEDDED SYSTEMS

***Abstract.** A method for configuring the TAS2563 DAC for embedded systems is proposed. An initialization algorithm via I²C has been developed, ensuring energy-efficient sound playback. A hardware implementation on the ESP32-S3 confirmed the advantages: compact size, low power consumption, and software flexibility. The solution is promising for IoT and portable electronics.*

Современный этап развития электроники характеризуется повсеместным распространением интеллектуальных устройств,

значительная часть которых обладает функционалом генерации и воспроизведения звука [1, 2]. Данная функциональность является критически важной для таких областей применения, как системы голосового управления «умного» дома, портативная электроника, промышленные устройства сигнализации и медицинские приборы с акустической обратной связью [3]. Традиционно для решения этих задач используются либо встроенные цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП) микроконтроллеров, обладающие ограниченными характеристиками, либо дискретные схемы на базе внешних преобразователей, что зачастую приводит к усложнению конструкции и увеличению энергопотребления.

Актуальность настоящего исследования заключается в поиске оптимального подхода, сочетающего высокое качество звуковоспроизведения, минимальное энергопотребление и программную гибкость. Таким решением является использование специализированных интегральных схем, таких как ЦАП TAS2563, которые интегрируют на одном кристалле высококачественный преобразователь, усилитель мощности класса D и блок цифровой обработки сигнала (DSP). Однако сложность инициализации и управления подобными устройствами через низкоуровневые регистры требует разработки специализированного программного обеспечения, что и составляет предмет данного исследования.

Целью работы является разработка и апробация программно-аппаратного комплекса на базе связки ESP32-S3 и TAS2563, обеспечивающего генерацию эталонного аудиосигнала (синусоиды частотой 1 кГц) с возможностью последующего расширения функционала для решения прикладных задач. В задачи входило: изучение документации на микросхему, разработка последовательности инициализации, реализация протоколов обмена данными по интерфейсам I²S и I²C, а также оценка преимуществ предлагаемого решения.

Разработанная методология конфигурации TAS2563 представляет собой строгую последовательность записи в специализированные регистры устройства, обеспечивающую его переход из состояния сброса в рабочий режим. Практическая реализация управления осуществляется через интерфейс I²C с использованием функции записи в регистр, условно обозначаемой как `tas2563_write_reg (register, value)`.

Детальная последовательность инициализации ЦАП включает ряд ключевых этапов. Для того чтобы записать в какой-либо регистр значение, необходимо выбрать страницу, на которой он находится. Это

делается при помощи записи в register значение от 0 до 255, которое соответствует номеру страницы.

Этап 1. Программный сброс. Для гарантии детерминированного состояния аппаратуры выполняется программный сброс (Software Shutdown) путем записи значения 0x01 в регистр 0x01.

Этап 2. Перевод в режим программного выключения (Shutdown). Ключевым элементом безопасной реконфигурации устройства является его перевод в режим программного отключения питания записью значения 0x0E в регистр 0x02. Это позволяет изменять регистры устройства без воспроизведения аудиосигнала.

Этап 3. Конфигурация входов и интерфейса. В данном состоянии производится базовая конфигурация интерфейса ввода:

- 0x04 = 0x08 – активация внутренней подтяжки линии прерывания (IRQ);

- 0x06 = 0x09 – установка стандартной частоты дискретизации 44.1 / 48 кГц для непредвиденных ситуаций. Одновременно включено автоматическое определение частоты. Также в этом значении выбирается активный низкий уровень сигнала синхронизации кадров (FSYNC active low);

- 0x07 = 0x00 – выбор стандартного формата I²S с приоритетом левого канала.

Этап 4. Настройка микширования каналов. Для задач монофонического воспроизведения критически важной является настройка канального микширования. В представленной реализации применена конфигурация преобразования из стерео в моно, при которой сигналы левого и правого каналов объединяются (0x08 = 0x30). Это позволяет адаптировать стереофонический входной поток для работы с одним акустическим излучателем без потери информационной составляющей сигнала. Для воспроизведения только одного канала альтернативно можно выбрать только левый (0x10) или правый (0x20) каналы.

Этап 5. Активация питания (Power ON). После установки параметров интерфейса осуществляется выход из режима shutdown записью 0x00 в регистр 0x02, что активирует усилитель мощности и внутренний DSP.

Этап 6. Настройка усиления DSP. Отдельное внимание уделено системе управления усилением. Цифровое регулирование громкости реализовано через запись 32-битного коэффициента в регистры 0x0C – 0x0F страницы 2. В качестве примера может быть использовано значение 0x164EFBD6, соответствующее -30dB. Данное значение считается по формуле:

$$x = \text{round}(10^{\frac{dB}{20}} * 2^{30}),$$

где x – это десятичное значение. Подобный подход предоставляет разработчику высокую точность контроля амплитуды выходного сигнала программными средствами.

Особенности передачи данных основаны на применении TDM (Time Division Multiplexing). В контексте систем, ориентированных на будущее расширение (например, использование микрофонных массивов для задач пространственного позиционирования), стандартного интерфейса I²S может быть недостаточно.

В качестве перспективного решения рассматривается TDM – метод мультиплексирования с разделением по времени (рис.1), при котором несколько каналов передаются по одной физической линии связи, каждому в своем временном слоте (Time Slot).

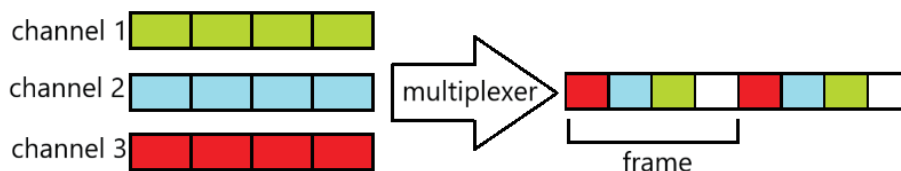


Рис.1- Схема мультиплексирования

TDM-рамка (Frame), синхронизируемая сигналом Word Clock (FSYNC), содержит последовательность таких слотов. ЦАП TAS2563 поддерживает TDM, что минимизирует количество соединений и открывает путь к созданию высокопроизводительных многоканальных аудиорешений. Настройка TDM-интерфейса, в частности, конфигурация слотов (например, использование 0-го и 1-го слотов шириной 16 бит), осуществляется на этапе инициализации контроллера (например, с помощью функции `i2s_init()` в рамках подготовки интерфейса I²S).

Важным аспектом является универсальность разработанной методики. Установлено, что структура регистров управления является в значительной степени унифицированной для всего семейства аудиочипов TASxxxx. Следовательно, предложенный код инициализации может быть успешно адаптирован для работы с другими микросхемами данного семейства, что снижает порог вхождения для разработчиков и ускоряет процесс создания новых устройств.

В рамках проведенного исследования был успешно разработан и апробирован программно-аппаратный комплекс на базе микроконтроллера ESP32-S3 и ЦАП TAS2563. Разработана и документирована детальная методология низкоуровневой инициализации преобразователя, обеспечивающая его стабильную работу в заданных режимах (<https://github.com/Nik125Y/TAS2563>).

Практическая значимость работы определяется преимуществами предложенного решения: повышенным качеством звуковоспроизведения, высокой энергоэффективностью, уменьшением габаритов системы и ее программной адаптивностью. Данные характеристики делают разработанный комплекс высококонкурентным для применения в современных и перспективных устройствах интернета вещей, портативной электроники и промышленной автоматизации.

Перспективы дальнейших исследований видятся в реализации на базе данного аппаратного комплекса адаптивных алгоритмов обработки звука, включая коррекцию акустических характеристик системы в реальном времени, компенсацию нелинейных искажений и многополосную эквализацию. Кроме того, планируется разработка библиотеки верхнего уровня для упрощения интеграции управления TAS2563 в проекты на различных платформах.

Список использованных источников

1. Litayem N. Scalable Smart Home Management with ESP32-S3: A Low-Cost Solution for Accessible Home Automation, 2024 International Conference on Computer and Applications (ICCA), Cairo, Egypt, 2024, pp. 1-7, doi: 10.1109/ICCA62237.2024.10927887.
2. Zeng C. et al. Digital Audio Tampering Detection Based on ENF Spatio-temporal Features Representation Learning // arXiv preprint arXiv:2208.11920. – 2022.
3. Строгонов А.В., Жигульский С.В., Пожидаев В.С. Автоматическая калибровка ЦАП на источниках тока // Вестник ВГТУ. 2017. №4. С. 87-89.