

## МИНИАТЮРНЫЙ, ЭКОНОМИЧНЫЙ ЦИФРОВОЙ УСИЛИТЕЛЬ КЛАССА D С ФУНКЦИЕЙ PLUG-AND-PLAY

В статье приведена краткая информация о новой ИМС цифрового усилителя класса D, выпускаемого компанией Analog Devices. Усилитель обеспечивает линейную АЧХ в диапазоне частот от 20 Гц до 20 кГц при коэффициенте нелинейных искажений не более 0.1%. Усилитель поддерживает работу с частотой дискретизации от 8 до 192 кГц и позволяет подключать громкоговоритель без использования выходного фильтра. Усилители имеют встроенную систему защиты от перегрева кристалла, что позволяет обеспечить высокую надежность устройств в которых они используются. и короткого замыкания в нагрузке.

В. Макаренко

### TINY, COST-EFFECTIVE, 14V PLUG-AND-PLAY DIGITAL CLASS-D AMPLIFIER

*Abstract - The article provides brief information about the new class D digital amplifier IC manufactured by Analog Devices. The amplifier provides a linear frequency response in the frequency range from 20 Hz to 20 kHz with a non-linear distortion factor of no more than 0.1%. The amplifier supports sampling rates from 8 to 192 kHz and allows you to connect a loudspeaker without using an output filter. The amplifiers have a built-in protection system against overheating of the crystal, which ensures high reliability of the devices in which they are used. and short circuit in the load.*

V. Makarenko

Новый недорогой усилитель класса D MAX98365 компании Analog Devices обеспечивает лучшее в отрасли качество звука класса AB с эффективностью класса D [1]. Цифровой аудиоинтерфейс автоматически распознает различные схемы синхронизации PCM и TDM, что устраняет необходимость в программировании I2C. Достаточно просто подать питание, сигналы LRCLK, BCLK и усилитель сформирует на выходе звуковой сигнал. Кроме того, новый корпус позволяет упростить конструкцию печатной платы без необходимости использования переходных отверстий в контактных площадках. Широкий диапазон напряжения питания от 3 до 14 В позволяет устройству формировать звуковой сигнал мощностью 13.8 Вт на нагрузке 8 Ом.

Цифровой аудиоинтерфейс поддерживает несколько функций:

- форматы данных I2S
- 8-канальное мультиплексирование с временным разделением каналов (TDM)
- частоты дискретизации 8/16/32/44.1/48/88.2/96/176.4 и 192 кГц.

Слова данных могут быть 16-битными, 24-битными или 32-битными в режимах I2S и 16-битными или 32-битными в режиме TDM.

Входные пороги цифрового аудиоинтерфейса согласованы для взаимодействия с логикой 1.2 В и 1.8 В. Устройства могут выдерживать логические входные напряжения до 5.5 В.

Усилитель не требует внешнего сигнала MCLK, что позволяет снизить уровень электромагнитных

помех и возможные проблемы при соединении плат. Устройства также обладают очень высокой устойчивостью к широкополосному джиттеру (12 нс типовое значение) для BCLK и LRCLK, что обеспечивает надежную работу.

Активное ограничение выбросов, ограничение скорости переключения и схема контроля перерегулирования значительно снижают электромагнитные помехи. Безфильтровый метод модуляции с расширенным спектром устраняет необходимость в фильтрации выходного низкочастотного сигнала, характерной для традиционных устройств класса D, и уменьшает количество требуемых компонентов.

Устройства предназначены для использования в "умных" громкоговорителях, ноутбуках, смартфонах, планшетах, игровых устройствах и устройствах IoT.

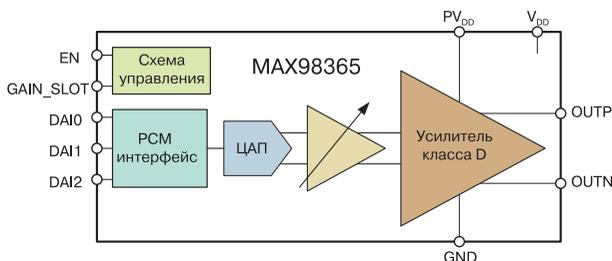
Основные параметры усилителей:

- простое подключение Plug-and-Play
- широкий диапазон напряжения питания усилителя (от 3 до 14 В)
- выходная мощность 13.8 Вт при напряжении питания 14 В и сопротивлении нагрузки 8 Ом
- выходная мощность 17.6 Вт при напряжении питания 14 В и сопротивлении нагрузки 6 Ом
- мощность потребления в режиме покоя не более 30 мВт
- полоса воспроизводимых звуковых частот 20 Гц...20 кГц
- время включения 1 мс
- КПД 92.7% (7.0 Вт при сопротивлении нагрузки

8 Ом и напряжении питания 12 В)

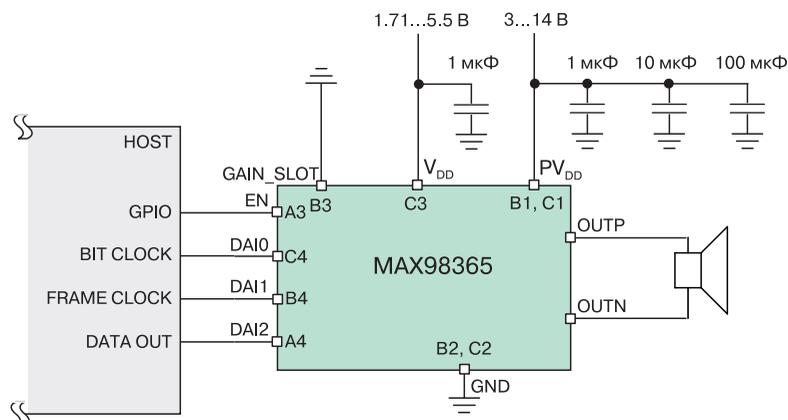
- выходной шум 22 мкВ (с.к.з.)
- динамический диапазон 111.5 дБ
- нелинейные искажения плюс шум (THD+N) на частоте сигнала 1 кГц не более -85 дБ
- частота дискретизации от 8 до 192 кГц
- поддержка левого и правого каналов
- управление скоростью изменения выходного сигнала обеспечивает использование усилителя без выходного фильтра
- низкая чувствительность к радиопомехам
- подавление шума при мультиплексировании (шум TDMA от радиомодулей GSM)
- встроенная система подавления щелчков и хлопков
- защита от короткого замыкания в нагрузке и перегрева
- диапазон рабочих температур от -40 до +85 °С
- компактный корпус WLP-12 (1.21×1.78 мм, шаг между выводами 0.4 мм).

Структурная схема усилителя MAX98365 приведена на рис. 1.

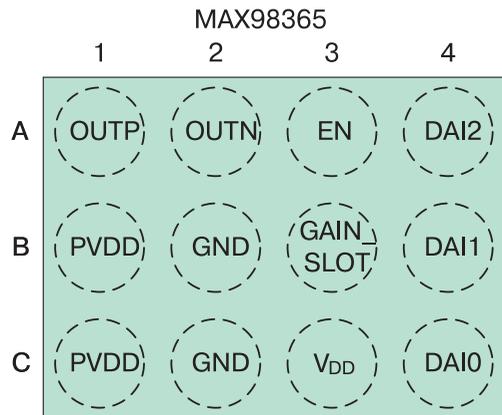


**Рис. 1. Структурная схема усилителя MAX98365**

На рис. 2 приведена типовая схема включения усилителя, а на рис. 3 – расположение выводов на корпусе (вид снизу).



**Рис. 2. Типовая схема включения усилителя MAX98365**



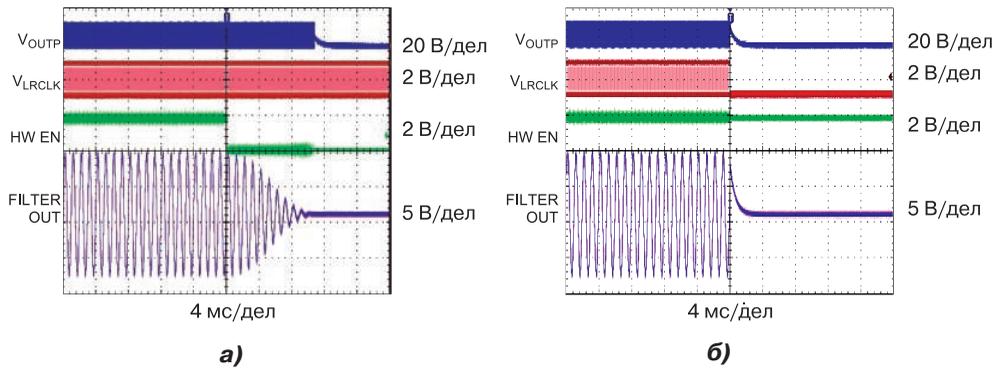
**Рис. 3. Расположение выводов на корпусе усилителя (вид снизу)**

В [1] приведены примеры печатных плат для усилителя MAX98365.

Отключить выход усилителя можно двумя способами. Первый способ заключается в подаче низкого уровня на вывод EN (Enable), в второй – отключение сигнала синхронизации на выводе DAI1 (VLRCLK). На рис. 4 приведены осциллограммы сигналов на выходе (VOUTP), включения активного режима работы (HW EN), синхронизации (VLRCLK) и напряжения на нагрузке (FILTER OUT).

Хотя в описании [1] нигде прямо не сказано, что на выходе усилителя используется мостовая схема формирования сигнала в нагрузке, сравнение осциллограмм сигналов VOUTP и FILTER OUT позволяет сделать такой вывод.

Для усиления многоканальных сигналов требуется число усилителей равное количеству каналов. Максимальное число каналов, реализуемых с помощью цифровых усилителей MAX98365 составляет 8, что позволяет реализовать подключение



**Рис. 4. Осциллограммы управляющих и выходных сигналов MAX98365 при выключении усилителя сигналом HW EN (а) или отключением сигнала синхронизации VLRCLK (б)**

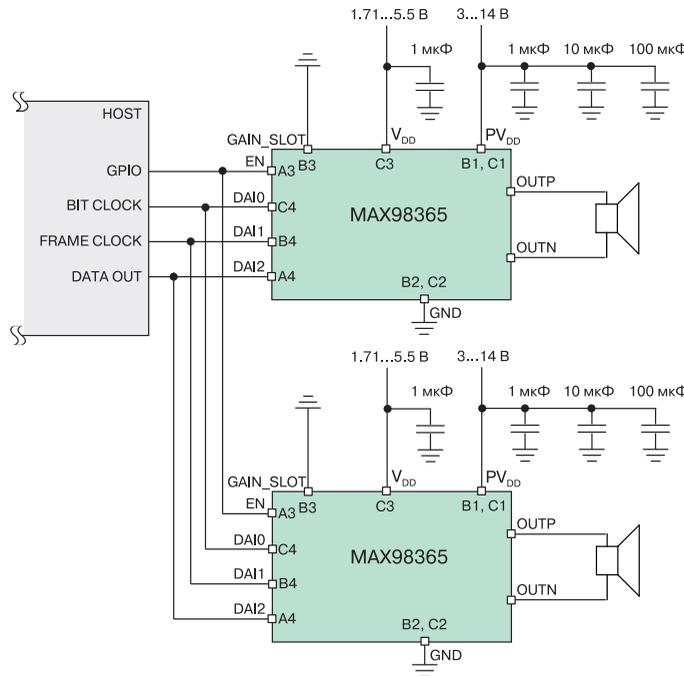
громкоговорителей по схеме 7+1. На рис. 5 приведен пример усилителя для воспроизведения стереофонического сигнала. Для воспроизведения многоканального сигнала усилители следует включать аналогично примеру, приведенному на рис. 5 [1].

Компанией Analog Devices выпускается четыре модификации усилителей MAX98365, отличия между которыми можно увидеть в табл. 1.

MAX98365A/B/C/D – это усилители мощности класса D с цифровым ИКМ-входом. Когда рабочий цикл сигнала LRCLK составляет 50% (скважность 2), MAX98365A и MAX98365C принимают стандартные данные I2S, а MAX98365B и MAX98365D принимают

данные с выравниванием по левому краю. Когда LRCLK является импульсом кадровой синхронизации (сигнал LRCLK имеет высокий уровень в течение 3 периодов сигнала BCLK или меньше), устройство принимает 16-битные или 32-битные данные TDM восьми каналов. Цифровой аудиоинтерфейс устраняет необходимость во внешнем сигнале MCLK, который обычно требуется для передачи данных I2S.

MAX98365A и MAX98365B имеют малое время включения 1 мс. MAX98365C и MAX98365D плавно изменяют громкость звука в течение примерно 13 мс при изменении уровня сигнала на выводе EN. Высокий уровень включает выходной сигнал, а низкий – выключает. При выключении сигнала выходы



**Рис. 5. Пример усилителя для воспроизведения стереофонического сигнала с использованием MAX98365**

**Таблица 1. Параметры различных модификаций усилителей MAX98365**

Тип	Вкл. и выкл. нагрузкисигналом на выводе EN	Время выкл., мс	Формат данных, при скважности сигнала LRCLK равным 2	Формат данных, если сигнал LRCLK используется для синхронизации
MAX98365A	–	1	Данные I2S действительны в момент фронта сигнала BCLK	Данные TDM действительны в момент фронта сигнала BCLK
MAX98365B	–	1	Выворнутые по левому краю данные действительны в момент фронта сигнала BCLK	
MAX98365C	+	13	Данные I2S действительны в момент фронта сигнала BCLK	
MAX98365D	+	13	Выворнутые по левому краю данные действительны в момент фронта сигнала BCLK	

MAX98365 переходят в третье состояние.

Когда напряжение источников питания  $V_{DD}$  и  $V_{DD}$  выше минимально допустимых пороговых значений  $UVLO$ , сигнал на выводе EN имеет высокий уровень, а сигнал на выводе DAI<sub>n</sub> не изменяется (на выводе DAI присутствует постоянный уровень), устройство автоматически переходит в режим ожидания. В режиме ожидания усилитель класса D выключен, а выходы находятся в третьем состоянии (Hi-Z). В режиме ожидания потребление тока (IST-NDBY) значительно ниже чем в рабочем режиме, но больше чем ток (ISHDN) при полном отключении, когда на выводе EN низкий уровень. Режим ожидания можно использовать для снижения энергопотребления, когда нет доступного GPIO хоста для управления выводом EN.

Следует обратить внимание на то, что при переходе в режим ожидания громкость не снижается. Для максимального снижения слышимости щелчков и хлопков в MAX98365A и MAX98365B перед отключением тактовых импульсов необходимо уменьшить уровень цифрового звукового сигнала для, подаваемого на вход DIN. Для MAX98365C и MAX98365D необходимо либо уменьшить уровень цифрового звукового сигнала на входе DIN, перед отключением тактовых импульсов, либо необходимо сохранять тактовые импульсы в течение не менее 13 мс после установки низкого уровня на входе

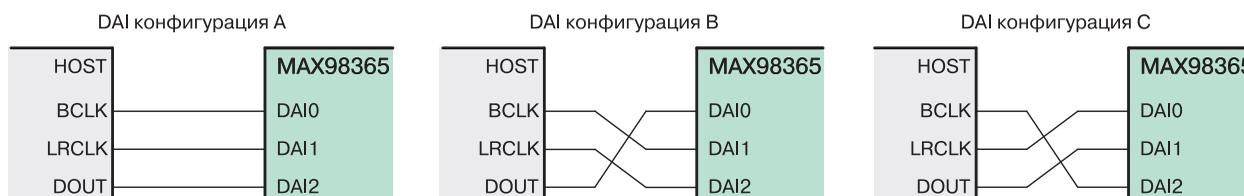
EN, чтобы дать время для плавного снижения громкости при выключении.

В режиме ожидания любое переключение уровня на входе DAI приводит к переходу усилителя из режима ожидания в рабочий режим.

Различные режимы работы могут быть выбраны путем подключения сигналов тактовой частоты звуковых битов (BCLK), тактовой частоты цифровых звуковых кадров (LRCLK) и цифровых аудиоданных (DIN) к разным контактам DAI.

Усилитель обнаруживает сигнал BCLK на одном из выводов DAI. Обнаружение начинается, когда уровень напряжения на выводе EN переключается с низкого на высокий, когда  $V_{DD}$  превысит значение  $UVLO$  в то время как на выводе EN удерживается высокий уровень, и при выходе из режима ожидания. Вывод DAI<sub>n</sub> с самой высокой частотой изменения сигнала выбирается в качестве входа BCLK. Как только вывод BCLK идентифицирован, расположение выводов LRCLK и DIN соответствует показанному на рис. 6.

Если сигнал BCLK присутствует в течение четырех последовательных периодов сигнала LRCLK, конфигурация DAI фиксируется, и разрешается выполнение последовательности включения усилителя. В противном случае, если сигналы на выводах DAI<sub>n</sub> по-прежнему переключаются, процедура обнаружения перезапускается. Если сигналы на выво-


**Рис. 6. Расположение выводов LRCLK и DIN при подключении сигнала BCLK к одному из выводов DAI**

дах DAI<sub>n</sub> не переключаются, устройство переходит в режим ожидания.

После того, как конфигурация DAI была зафиксирована, она не изменяется, если только сигнал на выводе EN не изменится или напряжение VDD не упадет ниже значения UVLO. Конфигурация DAI перезапустится из-за сбоев синхронизации или если сигналы на выводах DAI<sub>n</sub> перестанут переключаться, что приведет к переходу усилителя в режим ожидания. Отключения из-за срабатывания тепловой защиты или защиты от короткого замыкания не приводит к запуску нового цикла обнаружения BCLK.

Пока усилитель включен, наличие синхроимпульсов постоянно проверяется. Если синхроимпульсы пропадают, усилитель класса D немедленно выключается (без увеличения громкости), а выходы переходят в состояние Hi-Z. Если на выводах DAI<sub>n</sub> по-прежнему сигналы изменяются, процедура обнаружения перезапускается. В противном случае устройство переходит в режим ожидания. Конфигурации DAI, отличные от показанных на рис. 6, недействительны.

В [1] приведены временные диаграммы сигналов в различных режимах работы усилителя и параметры сигналов BCLK и LRCLK при различных частотах дискретизации.

Традиционным усилителям класса D требуется выходной фильтр для восстановления аудиосигнала на выходе усилителя. Фильтр увеличивает стоимость и габариты устройства, а также снижает его КПД. При использовании MAX98365У для фильтрации звукового сигнала используется индуктивность

катушки громкоговорителя и естественная низкочастотная фильтрация как громкоговорителя, так и человеческого уха для восстановления звуковой составляющей из выходного импульсного сигнала.

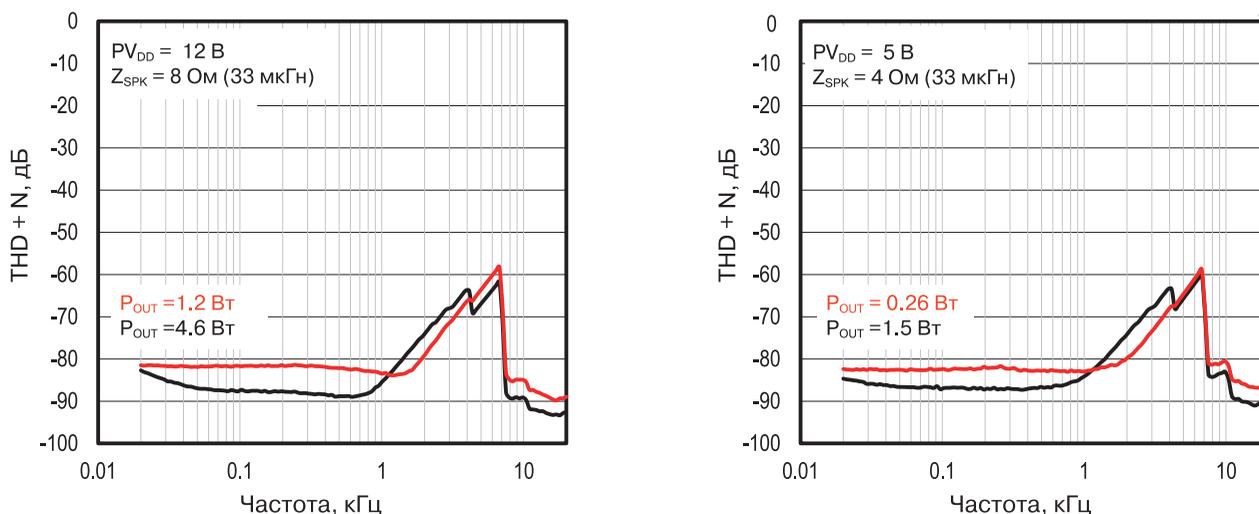
Поскольку частота переключения выходных ключевых каскадов усилителя намного выше верхней частоты полосы пропускания большинства громкоговорителей, перемещение звуковой катушки с частотой переключения очень мало. Эффективной фильтрации рекомендуется использовать громкоговорители с индуктивностью катушки >10 мкГн. Типовое значение индуктивности катушек громкоговорителей с сопротивлением 8 Ом лежит в диапазоне от 20 до 100 мкГн.

Зависимость нелинейных искажений плюс шум (THD + N) от частоты сигнала при различных напряжениях питания и выходной мощности звукового сигнала иллюстрирует рис. 7.

Как следует из рис. 7, коэффициент нелинейных искажений при указанных на рисунке параметрах не превышает 0.1% (-60 дБ) на частоте сигнала 7 кГц. В диапазоне частот до 3 кГц искажения лежат в пределах от 0.001 до 0.03%, что является весьма неплохим результатом. На рис. 7 Z<sub>СПК</sub> обозначено сопротивление катушки громкоговорителя.

Графики зависимости КПД усилителя от выходной мощности при различных напряжениях питания и сопротивлении громкоговорителя приведены на рис. 8.

Типовые амплитудно-частотные характеристики при частотах дискретизации от 8 до 192 кГц приведены на рис. 9.



**Рис. 7. Зависимость нелинейных искажений плюс шум (THD + N) от частоты сигнала при различных напряжениях питания**

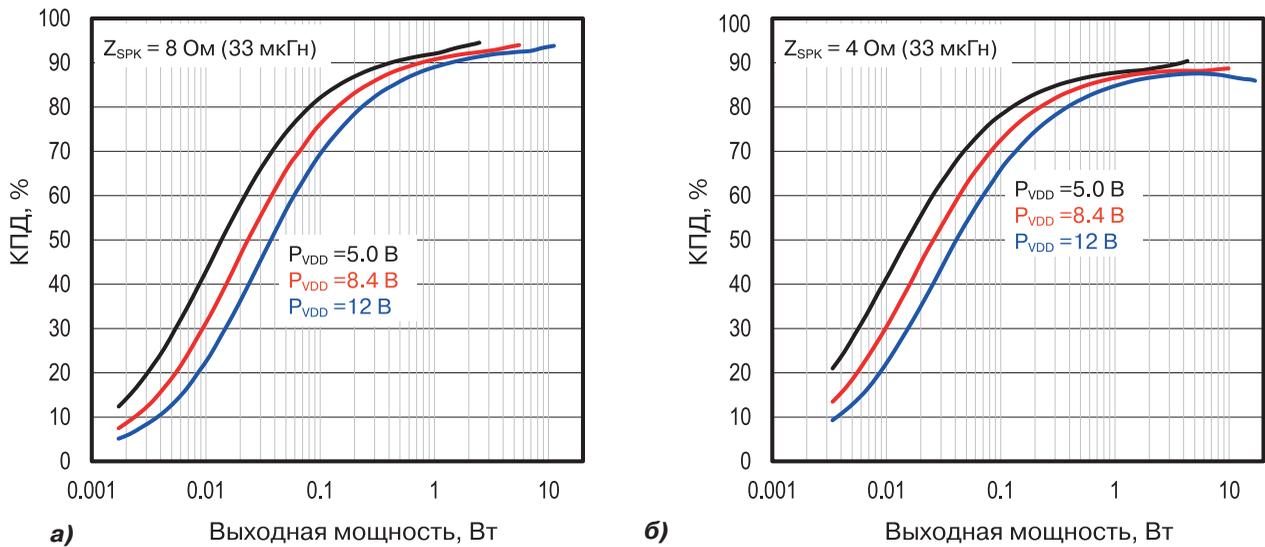


Рис. 8. Графики зависимости КПД усилителя от выходной мощности при различных напряжениях питания и сопротивлении громкоговорителя 8 Ом (а) и 4 Ом (б)

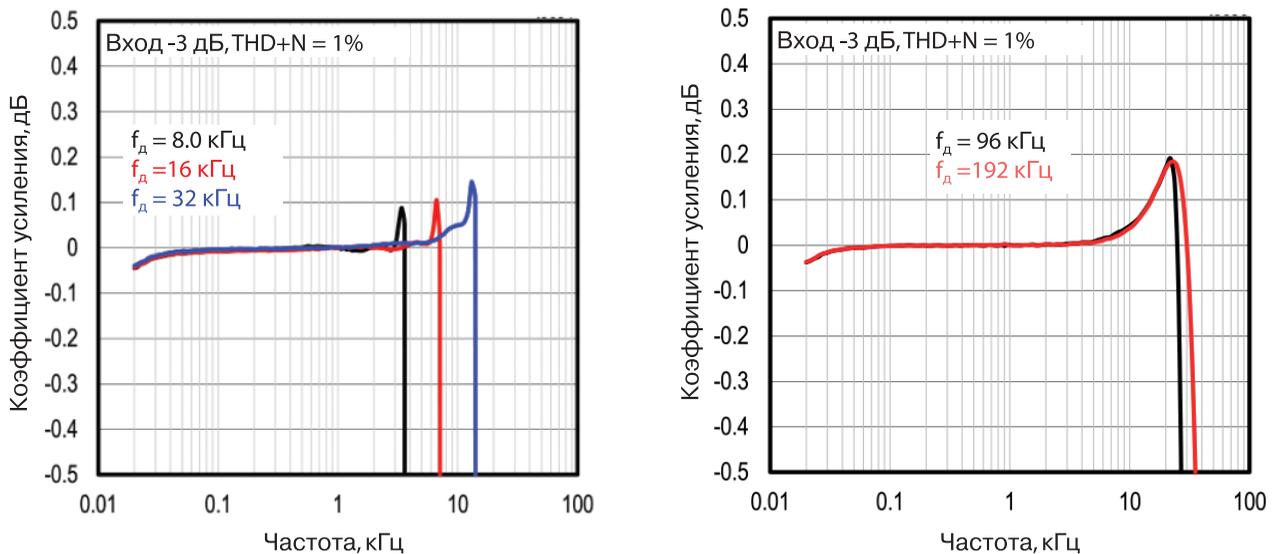


Рис. 9. Типовые амплитудно-частотные характеристики при различных частотах дискретизации

Для получения линейной АЧХ в диапазоне частот до 20 кГц необходимо выбирать частоту дискретизации не менее 44.1 кГц. При такой частоте дискретизации неравномерность АЧХ в диапазоне частот 20...20000 Гц не превышает 0.2 дБ.

Другие характеристики и графики зависимостей различных параметров можно найти в [1].

Для отладки усилителей с использованием ИМС MAX98365 компания Analog Devices предлагает систему оценки (рис. 10), содержащую:

- отладочную плату MAX98365 Development Board
- плату аудио интерфейса Audio Interface Board III
- кабель micro-USB.

Система оценки MAX98365 (система EV) представляет собой полностью собранную и протестированную систему для оценки характеристик монофонического усилителя класса D.

MAX98365A поддерживает стандартный интерфейс I2S и цифровой аудиоинтерфейс TDM. Плата AUDINT3 обеспечивает интерфейс USB-PCM.

Подробное описание отладочной системы и правил работы с ней можно найти в [2].

### ЛИТЕРАТУРА

1. <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX98365.pdf>

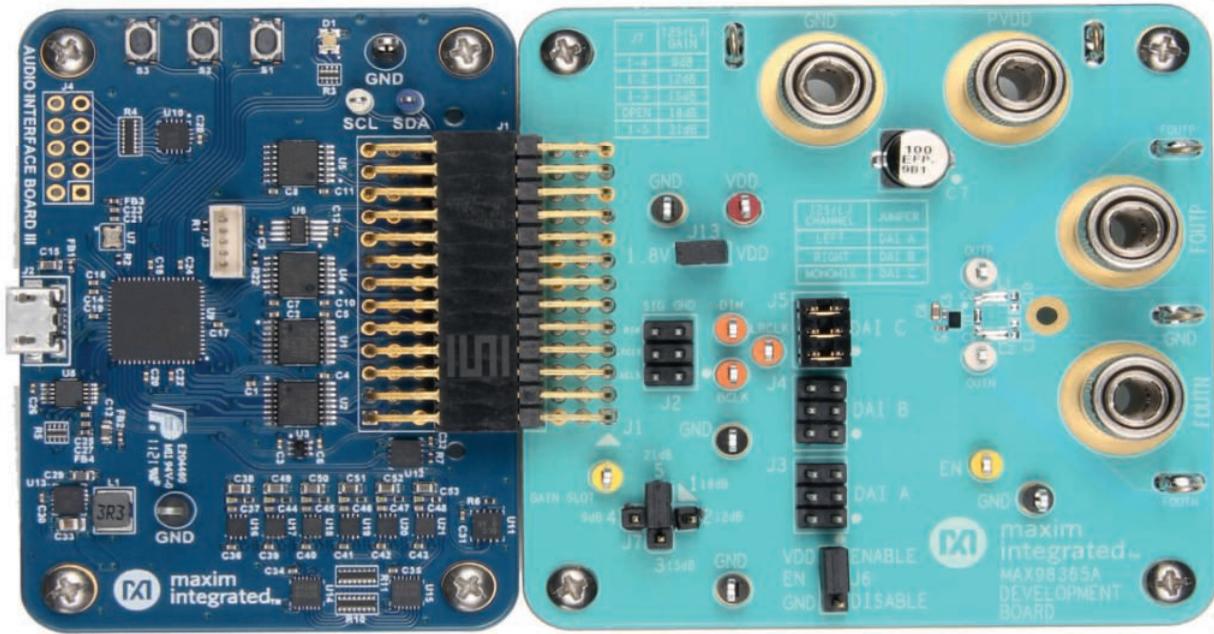


Рис. 10. Отладочная система MAX98365

2. <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX98365AEVSYN-MAX98365DEVSYN.pdf>

**nvent**  
SCHROFF

## Решения для ЦОД и IT-инфраструктуры

- Телекоммуникационные шкафы и стойки
- Изолированные коридоры
- Кондиционеры и теплообменники
- Блоки распределения питания
- Системы контроля доступа
- Системы мониторинга
- Решения для колокации

**VD MAIS**  
ДИСТРИБЬЮЦИЯ  
КОНТРАКТНОЕ  
ПРОИЗВОДСТВО

**VD MAIS – официальный дистрибьютор компании nVent Schroff в Украине**  
тел.: (044) 201-0202, (057) 719-6718, (0562) 319-128, (032) 245-5478,  
(095) 274-6897, (048) 734-1954, info@vdm ais.ua, www.vdm ais.ua