

Применение микросхем ONS и NSC для импульсных усилителей звуковых частот

Юрий ПЕТРОПАВЛОВСКИЙ
petropavlovski@inbox.ru

Микросхемы для ИУЗЧ выпускает целый ряд фирм, например AD, Eutech, NSC, NXP, ONS, STM, Sanyo, Sony, TI, Yamaha и другие. Для прояснения ситуации с применением микросхем для ИУЗЧ ведущими производителями бытовой аудио/видеотехники автор проанализировал техническую документацию и электрические принципиальные схемы десятков моделей AV/CD/DVD/SACD-ресиверов, мини- и микросистем, систем домашнего кинотеатра, а также некоторых мобильных устройств, разработанных в 2002–2007 гг. В результате анализа выяснилось, что микросхемы для ИУЗЧ средней и большой мощности в звуковых трактах аппаратуры перечисленных категорий в сделанной выборке применяют фирмы JVC, LG, Philips, Samsung, Sony и некоторые другие. В предлагаемой статье рассмотрены микросхемы для ИУЗЧ малой мощности, для мобильных применений, и средней мощности, для плоскопанельных телевизоров, мониторов и компьютерных звуковых карт.

Перспективные сверхминиатюрные микросхемы для ИУЗЧ мобильных телефонов, карманных персональных компьютеров, смартфонов, ноутбуков и других портативных устройств выпускает фирма ONS (ON Semiconductor, Феникс, Аризона, США, вышла из состава Motorola в 1999 г.). Для ИУЗЧ предназначены микросхемы серий NCP2820, NLMD5820 (из каталога 2009 г., обе разработки 2007 г.). Микросхема NCP2820 представляет собой монофонический усилитель класса D с выходной мощностью 2,65 Вт на нагрузке 4 Ом в режиме BTL. Для работы микросхемы не требуется внешний ФНЧ на индуктивно-емкостных элементах. Перечислим некоторые классификационные параметры и свойства (Features) микросхем серии NCP2820:

Сфера применения специализированных микросхем для импульсных усилителей звуковых частот (ИУЗЧ) постоянно расширяется. Они применяются в CD/DVD-ресиверах, плоскопанельных телевизорах и мониторах, системах домашнего кинотеатра, мобильных устройствах, автомобильной аппаратуре и профессиональном звуковом оборудовании. ИУЗЧ существенно превосходят линейные УЗЧ по эффективности (КПД), в ряде случаев не требуют громоздких радиаторов и не дороги.

- эффективность (КПД) — до 90%;
 - низкий ток потребления (Quiescent Current), типовое значение 2,5 мА;
 - КНИ+шум (THD+N) при выходной мощности 1,4 Вт (нагрузка 8 Ом) — не более 1%;
 - время готовности (Start-up Time) — 1 мс для NCP2820A, КНИ+шум при выходной мощности 100 мВт — 0,03%.
- Корпуса: 9-pin Flip-Chip CSP с размерами 1,45×1,45×0,6 мм (9 шарообразных выводов

снизу) или UDFN8 с размерами 2×2,2×0,5 мм (8 плоских выводов).

Внутренний генератор работает на частоте 250 кГц, в микросхеме отсутствует свинец.

Структура, нумерация и расположение выводов микросхемы приведены на рис. 1. В состав NCP2820 входят:

- ОУ с дифференциальными входами (Negative/Positive differential input);

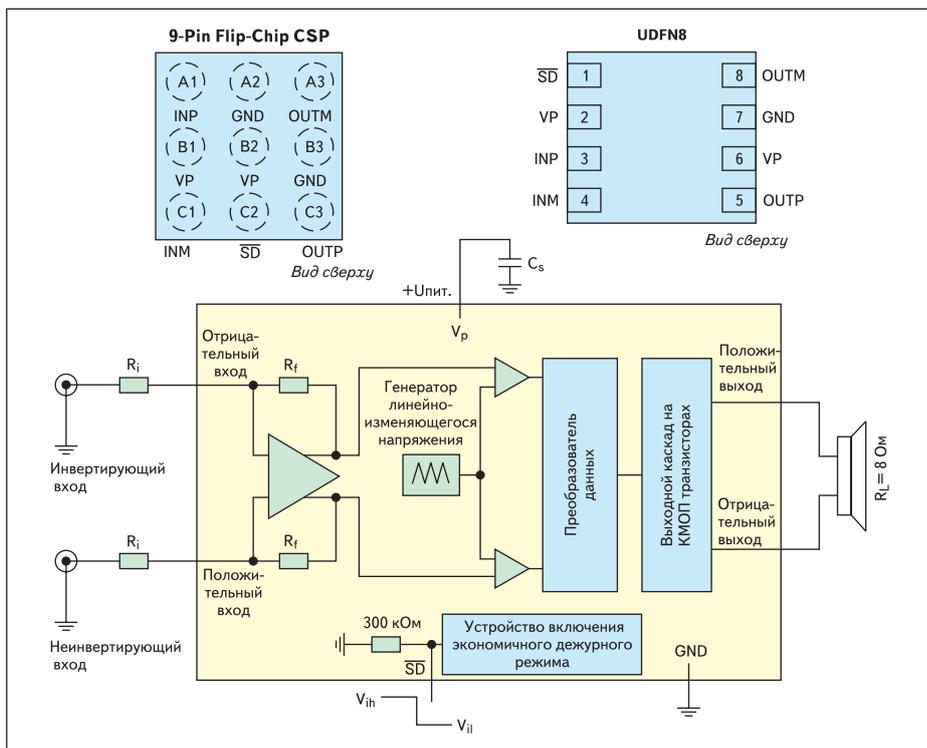


Рис. 1. Структура и расположение выводов микросхемы NCP2820: R_i — входное сопротивление; R_f — сопротивление обратной связи; V_{ih}/V_{il} — высокий/низкий логические уровни; C_s — конденсатор фильтра в цепи питания

- генератор линейно-изменяющегося напряжения (RAMP Generator);
- преобразователь данных (Data Processor, используется сигма-дельта модуляция);
- выходной каскад на полевых КМОП-транзисторах (CMOS Output Stage);
- устройство включения экономичного дежурного режима (Shutdown Control).

Экономный режим включается низким уровнем напряжения V_{ii} (не более 0,4 В) на выводе SD. Первый аналоговый усилительный каскад сконфигурирован таким образом, что коэффициент усиления можно регулировать подбором сопротивления резисторов R_i , включенных последовательно с входными сигналами. K_y (close-loop gain) при сопротивлении нагрузки 8 Ом определяется формулой $300 \text{ кОм}/R_i$ (погрешность $\pm 15\%$). Так как выходная мощность микросхем невелика, оказалось возможным отказаться от выходных ФНЧ, поскольку слух человека выделяет только звуковые сигналы в диапазоне от 20 Гц до 20 кГц, а индуктивность катушек громкоговорителей дополнительно подавляет ВЧ-составляющие ШИМ-сигналов. Комплементарная пара выходных транзисторов микросхемы работает без ограничения сигналов, сопротивление сток-исток открытых транзисторов R_{on} не превышает 0,4 Ом. В микросхемах предусмотрено подавление выпадений и щелчков ("Pop and Click" noise). При установке на входы микросхемы конденсаторов C_i нижняя граничная частота определяется формулой $F_c = 1/2R_iC_i$. Например, при $R_i = 150 \text{ кОм}$ $K_y = 2$, а нижняя граничная частота в диапазоне емкостей 0,01–1,0 мкФ будет находиться в пределах 1–100 Гц. В микросхеме имеется и входной ФНЧ с граничной частотой 20 кГц.

Перечислим назначения выводов микросхем (в скобках даны номера для исполнения Flip-Chip):

1. (C2) SD — вход, предназначен для перевода микросхемы в экономичный дежурный режим.
2. (B1) V_p — положительное напряжение питания 2,5–5,5 В для слаботочных узлов.
3. (A1) INP — не инвертирующий дифференциальный вход.
4. (C1) INM — инвертирующий дифференциальный вход.
5. (C3) OUTP — положительный мостовой выход (Positive BTL Output).
6. (B2) V_p — положительное напряжение питания 2,5–5,5 В выходных каскадов.
7. (A2, B3) GND — корпус.
8. (A3) OUTM — отрицательный мостовой выход (Negative BTL Output).

Приведем некоторые (не упомянутые ранее) параметры микросхем NCP2820, необходимые разработчикам для их успешного применения:

- Ток потребления в экономичном режиме (Shutdown Mode) — 0,42 мкА при $U_{пит} = 4,2 \text{ В}$; частота переключения (Switching Frequency) — 190–310 кГц.

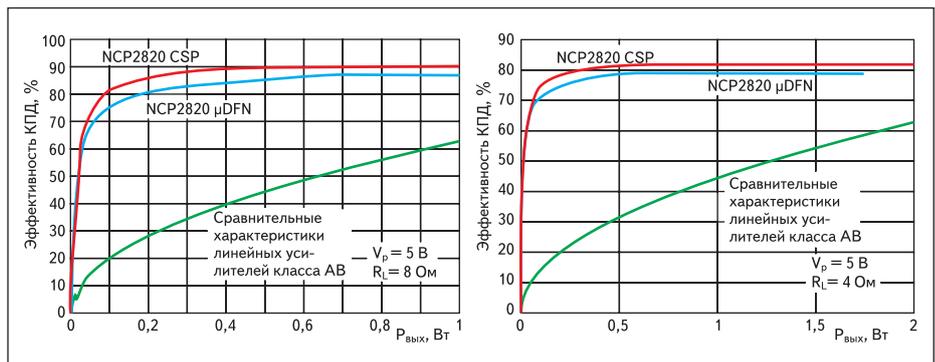


Рис. 2. Зависимость эффективности (КПД) микросхем NCP2820CSP, NCP2820μDFN от выходной мощности при напряжении питания 5 В и сопротивлении нагрузки 4 и 8 Ом

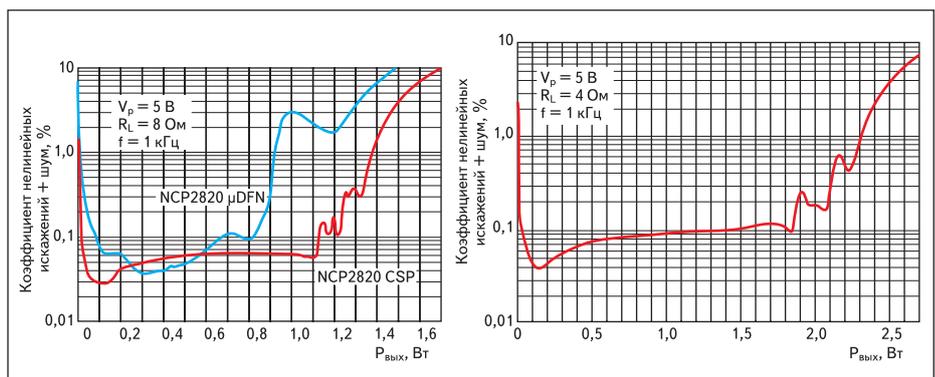


Рис. 3. Зависимость суммарного уровня нелинейных искажений и шумов микросхем NCP2820CSP, NCP2820μDFN от выходной мощности при напряжении питания 5 В и сопротивлении нагрузки 4 и 8 Ом (NCP2820CSP) на частоте 1 кГц

- Напряжение выходных шумов — 42 мкВ (с взвешивающим фильтром типа А).
- Выходная RMS-мощность на нагрузке 8 Ом — 0,32 Вт ($U_{пит} = 2,5 \text{ В}$), 1,38 Вт (5 В) при КНИ менее 1%.
- Выходная мощность на нагрузке 4 Ом — 0,49 Вт (2,5 В); 2,12 Вт (5 В) при КНИ менее 1%.
- Эффективность (КПД) — 91% (8 Ом), 82% (4 Ом) при $U_{пит} = 5 \text{ В}$, $P_{вых} = 1,2 \dots 2 \text{ Вт}$ соответственно (типичные значения).
- КНИ+шум — 0,05% (8 Ом), 0,09% (4 Ом) при выходной мощности 0,25 Вт на частоте 1 кГц.

На рис. 2 приведены зависимости эффективности микросхем в 9- и 8-выводных корпусах от выходной мощности при напряжении питания 5 В и сопротивлениях нагрузки 4 и 8 Ом на частоте 1 кГц. Для сравнения на диаграммах показана эффективность сравнимых по мощности усилителей класса АВ. Судя по графикам, КПД микросхемы в 9-выводном корпусе (CSP) при $P_{вых}$ более 0,5 Вт, работающей на нагрузку 8 Ом, почти на 10% больше, чем при работе на 4 Ом. На рис. 3 приведены зависимости суммарного уровня гармоник и шума (THD+N) микросхем в 9- и 8-выводных корпусах от выходной мощности при напряжении питания 5 В и сопротивлениях нагрузки 4 и 8 Ом на частоте 1 кГц. Судя по графикам, наименьшие искажения дает исполнение CSP при работе на нагрузку

8 Ом, что и следует учитывать при разработке наиболее высококачественных ИУЗЧ.

В некоторых случаях может все же потребоваться применение внешних выходных ФНЧ. Например, в мобильных телефонах высокочастотные наводки на громкоговоритель могут оказать негативное воздействие на работу аппарата. В этом случае рекомендуется на выходные проводники установить ферритовые чип-элементы (Ferrite Chip Beads), подавляющие ВЧ-излучения передатчика мобильного телефона. А также советуем использовать ферритовый поглотитель MPZ1608S221A1 фирмы TDK, обеспечивающий эффективное подавление частот выше 100 МГц. Возможно использование и LC-фильтров, например, при жестких требованиях по обеспечению электромагнитной совместимости (спектр импульсных сигналов может достигать средневолнового диапазона). На рис. 4 представлены рекомендуемые изготовителем схемы включения выходных фильтров (индуктивности в мкГн, емкости в мкФ).

Микросхемы для ИУЗЧ, предназначенные для мобильных устройств, выпускает также фирма EUTECH Microelectronics (Таоуан, Тайвань). В каталоге фирмы 2009 г. имеются 5 типов микросхем усилителей класса D: EUA2011/A, EUA2012, EUA2014, EUA2510. Для примера коротко перечислим основные параметры и возможности микросхемы EUA2011A:

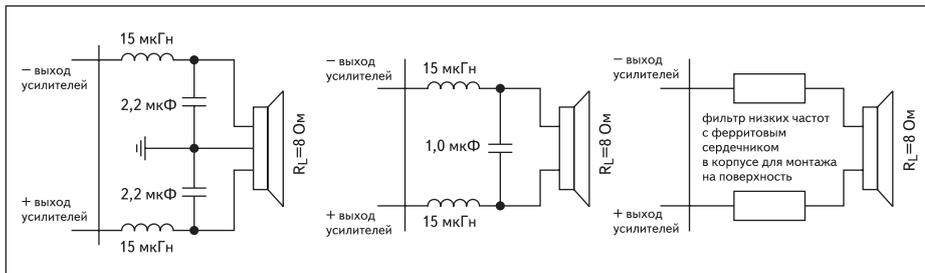


Рис. 4. Схемы включения выходных фильтров в усилителях на микросхемах NCP2820

- Эффективность (КПД) — не менее 84% при напряжении питания 3,6 В на нагрузке 8 Ом.
- Ток потребления — не более 2,4 мА в режиме Shutdown — 0,5 мА.
- Напряжение питания — 2,5–5,5 В.
- Выходная мощность — 2,5 Вт моно.
- THD+N — не более 0,07% при выходной мощности 1 Вт на нагрузке 8 Ом.
- Частота внутреннего генератора — 250 кГц.
- Корпус WCSP с размерами 1,5×1,5 мм, отсутствует свинец, внешние фильтры не обязательны.

Судя по перечисленным данным, эта микросхема имеет примерно те же параметры и возможности, что и рассмотренная NCP2820.

Немалое число микросхем для ИУЗЧ выпускает компания NSC. В связи с предстоящим 50-летним юбилеем фирмы — несколько слов о ее истории. Фирма National Semiconductor основана 27 мая 1959 года в городе Дэнбери (Danbury), штат Коннектикут, США, восьмью бывшими инженерами компании Sperry Rand Corporation. В 1967 году штаб-квартира фирмы была перенесена в город Санта Клара (Santa Clara) в Калифорнии, расположенный в центре «Кремниевой долины» (Silicon Valley), где и находится по сей день. Первым реальным достижением фирма считает выпуск *n-p-n* диффузионного кремниевого «*mesa*» транзистора. Не меньшей гордостью фирмы был промышленный выпуск первого планарного транзис-

тора на кремниевой подложке, который стал базовым для первой интегральной схемы.

В каталоге NSC 2009 года — 20 микросхем для ИУЗЧ с выходной мощностью от 1 до 170 Вт. Мы рассмотрим особенности применения и параметры микросхемы LM4680 (разработка 2005 г.), выполненные по запатентованной технологии *Boomer*, концепция которой заключается в использовании минимального числа внешних дискретных элементов. Микросхема является высокоэффективным мостовым усилителем класса D с выходной мощностью 10 Вт и предназначена для использования в плоскочастотных мониторах и телевизорах, компьютерных звуковых картах. Структурная схема, нумерация выводов и типовое включение микросхемы приведены на рис. 5. В состав LM4680 входят:

- входные усилители (AMP1/2);
- ШИМ-модулятор и схемы защиты (PWM Modulation and Protection Logic);
- выходные усилители мощности ШИМ-импульсов (AMP3/4);
- фиксаторы уровня (Active Clamp);
- схемы коррекции напряжения (Correction Voltage);
- источник образцового напряжения ($V_{dd}/2$).

В отличие от типичных усилителей класса D, использующих несимметричные ком-

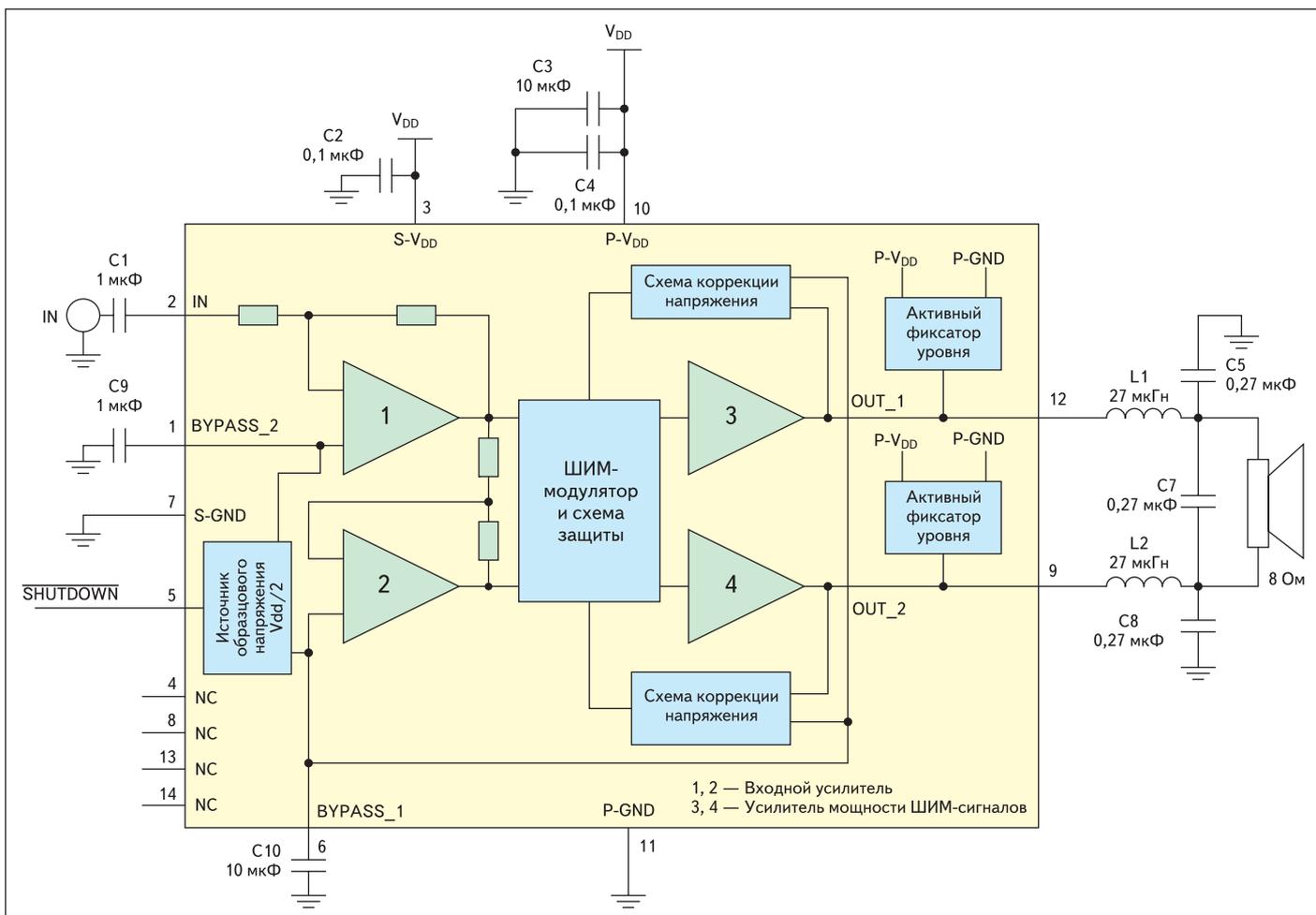


Рис. 5. Типовая схема усилителя на микросхеме LM4680: Vdd — напряжение питания; NC — вывод не используется; BYPASS_1/2 — вспомогательные выводы

параторы для осуществления ШИМ-модуляции и RC-цепи для задающих генераторов, в микросхеме LM4680 применен балансный дифференциальный «плавающий» модулятор (Balanced differential floating modulator). Генерация в такой схеме является результатом инжекции комплементарных токов, заряжающих и разряжающих «плавающий» конденсатор (подробнее см. патент США 7170266, опубликован 30.01.07). Емкость этого конденсатора выбрана из необходимости получения частоты переключения ШИМ-модулятора 450 кГц. Использование балансного «плавающего» модулятора в усилителях класса D позволяет значительно уменьшить шумы CMNR (Common mode noise) и так называемый субстратный шум (Substrate noise), что и подтверждается высоким заявленным отношением сигнал/шум микросхемы. В микросхему встроен целый ряд устройств защиты. Это Under Voltage Protection — устройство, оптимизирующее работу микросхем при снижении напряжения питания менее 8 В. Output Stage Current Limit — устройство, ограничивающее ток выходных полевых транзисторов до 2,5 А, например, при коротких замыканиях в цепи нагрузки. Fault Detection Protection — устройство, обеспечивающее отключение нагрузки на время 600 мс для предотвращения повреждений микросхемы. Thermal Protection — устройство температурной защиты, отключающее напряжение питания при достижении температуры кристалла 170 °С, при снижении температуры до 140 °С питание вновь включается. Over-Modulation Protection — устройство, ограничивающее пиковую ШИМ-модуляцию до уровня 95%.

Приведем некоторые параметры микросхемы, необходимые разработчикам аппаратуры:

- Напряжение питания — 9–14 В; ток потребления — 28–52 мА, в экономичном режиме не более 0,1 мА; коэффициент усиления — 30 дБ.
- Выходная RMS-мощность P_o — 10 Вт при $U_{пит} = 14$ В, КНИ = 10% на нагрузке 8 Ом, 6 Вт при КНИ = 1%.
- КНИ+шум — 0,2% при $P_o = 1$ Вт; диапазон частот — от 20 Гц до 20 кГц при ослаблении на 3 дБ относительно частоты 1 кГц и выходной мощности 6 Вт на выходе ФНЧ (Post Filter); эффективность — не менее 81% при $P_o = 6$ Вт на нагрузке 8 Ом; взвешенное отношение сигнал/шум (S/N Ratio) — не менее 116 дБ при выходной мощности 6 Вт на нагрузке 8 Ом (A-Weighted Filter).
- Напряжение V_{sdh} (вывод 5) — не менее 4 В, V_{sdl} — не более 1,5 В (при низком напряжении включается экономичный дежурный режим).

На рис. 6 приведена зависимость THD+N от частоты при выходной мощности 1 Вт на нагрузке 8 Ом и различных напряжениях питания. А на рис. 7 — зависимость THD+N

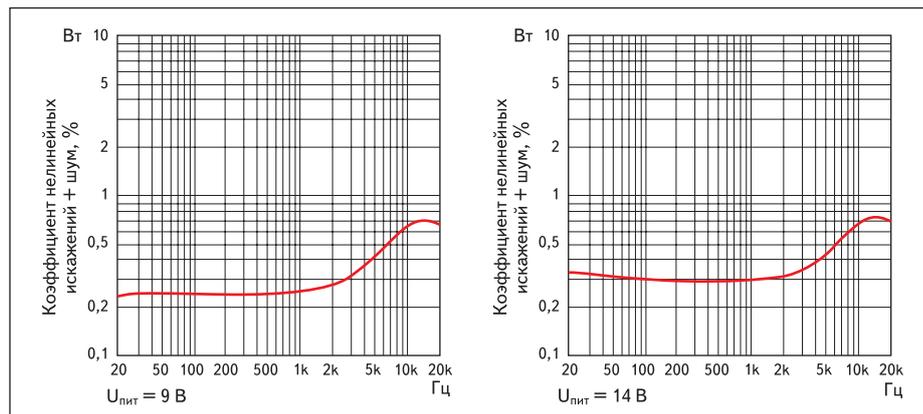


Рис. 6. Зависимость суммарного уровня нелинейных искажений и шумов микросхемы LM4680 от частоты при выходной мощности 8 Вт на нагрузке 8 Ом и различных напряжениях питания

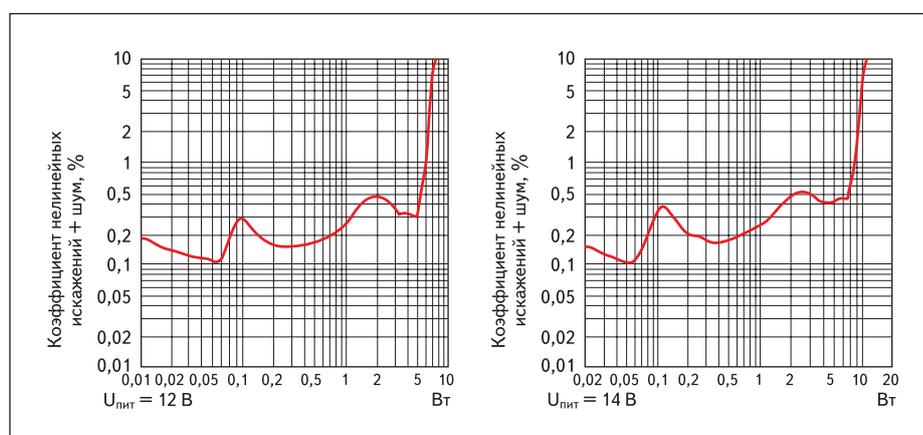


Рис. 7. Зависимость THD+N микросхемы LM4680 от выходной мощности на нагрузке 8 Ом при частоте 1 кГц

от выходной мощности на частоте 1 кГц, нагрузке 8 Ом и различных напряжениях питания. Судя по графикам, при превышении определенного уровня мощности искажения резко нарастают, что следует иметь в виду при разработке аппаратуры. Для обеспечения качественной работы ИУЗЧ на микросхеме LM4680 действуют общие правила, принятые при разработке звуковой аппаратуры. Немаловажное значение имеет правильная разводка цепей питания (Supply Bypassing). Микросхема имеет два вывода питания V_{dd} :

для мощных каскадов (PV_{dd}) и малосигнальных узлов (SV_{dd}). Изготовитель рекомендует шунтировать вывод PV_{dd} танталовым конденсатором емкостью 10 мкФ, вывод SV_{dd} — керамическим 0,1 мкФ.

Литература

1. <http://www.onsemi.com/PowerSolutions/parametrics.do?id=62>
2. http://www.eutechmicro.com/PL_1_3_EN.html
3. <http://www.national.com/cat/index.cgi?i=i/303>