

Роман Поташов, Сергей Кузнецов

НОВЫЕ УСИЛИТЕЛИ КЛАССА D НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ UCSD

Принцип работы самоосциллирующих усилителей звуковой частоты класса D, разработанный компанией NXP Semiconductor (бывшая Philips Semiconductor) в 2005 году и названный UCSD-технологией, позволяет инженерам-разработчикам аудиотехники достичь новых стандартов качественного воспроизведения.

В последние годы все большую и большую популярность приобретают усилители класса D или, как их еще называют, импульсные усилители. Некоторые производители дают им название «цифровые усилители», но оно несколько некорректно, поскольку никакого преобразования звука в двоичный код там нет. В усилителе класса D звуковой сигнал преобразуется в последовательность импульсов различной ширины в результате широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Частота следования импульсов обычно выбирается в пределах 300-500 кГц, это оптимально для всего аудиодиапазона. Если усилитель сабвуферный и перед ним стоит задача усиливать только диапазон до 100-200 Гц, частоту переключения можно уменьшить до 50-100 кГц.

Раньше импульсные усилители были интересны только за счет своего высокого КПД (обычно более 90%) и применялись только для управления мощными электродвигателями. Этот факт был напрямую связан с отсутствием высокоскоростных мощных переключаемых элементов, способных работать на высоких частотах, вследствие чего высокие нелинейные искажения были просто неизбежны. Однако сейчас многими компаниями-производителями электронных компонентов выпускаются специализированные элементы для построения усилителей класса D, способные работать на частотах вплоть до 1 МГц и выше.

Для оценки КПД усилителей различных классов рассмотрим принципы работы выходных каскадов, построенных на биполярных транзисторах.

Выходной каскад усилителя класса АВ, выполненный на биполярных транзисторах, обладает низким КПД, потому что выходные транзисторы, подобно переменным резисторам, изменяют свое активное сопротивление, тем самым управляя выходным током. В усилителе класса АВ невозможно получить размах амплитуды выходного напряжения, равный напряжению питания, поскольку даже в полностью открытом состоянии напряжение между коллектором и эмиттером $U_{к-э}$ биполярного транзистора, равняется приблизительно 1-2 В.



Новые микроконтроллеры с ядром ARM7

Компания NXP анонсировала новый микроконтроллер **LPC2478**, являющийся единственным выпускаемым микроконтроллером с ядром ARM7™ со встроенной флэш-памятью и интегрированной поддержкой ЖКИ. Вариант без флэш-памяти имеет обозначение **LPC2470**. Особенностью новых микроконтроллеров является наличие двух высокоскоростных шин ядра ARM (AHB), обеспечивающих параллельное функционирование большого набора периферийных устройств с высокой пропускной способностью. В их числе интерфейс ЖКИ, шина 10/100 Ethernet, устройство OTG/хост-шины USB и два CAN-интерфейса.

Значительно сокращая стоимость, площадь и потребляемую мощность, новые микроконтроллеры компании NXP прекрасно подходят для применения в промышленных, бытовых, торговых и медицинских устройствах, использующих ЖК-панели и требующих подключения к локальной сети или сети Интернет.

В импульсных усилителях силовыми элементами являются мощные полевые транзисторы, у



Рис. 1. Осциллограмма преобразования сигнала

которых существует только 2 состояния – открытое и закрытое. Так как сопротивление открытого канала современных полевых транзисторов очень мало (обычно десятки мОм), следовательно, и падение напряжения на этих элементах незначительное. Меандр, проходя через выходной фильтр, преобразуется в переменный ток звуковой частоты, осциллограмма которого показана на рис. 1.

Это объясняется тем, что выходной дроссель, который является неотъемлемой частью импульсного усилителя, изменяет свое реактивное сопротивление для сигнала с переменной скважностью. Вместе со скважностью, которой управляет звуковой сигнал, изменяется и ток, протекающий через нагрузку.

Значительная часть потерь происходит на фронтах в момент переключения полевых транзисторов, поэтому, снизив частоту преобразования, можно уменьшить количество фронтов за единицу времени и, как следствие, немного увеличить КПД. Именно по этой причине в сабвуферных усилителях класса D частоту переключения понижают вплоть до 50 кГц.

Как упоминалось выше, современные полевые транзисторы способны переключаться с высокой скоростью, тем самым позволяя разработчику значительно увеличить частоту преобразования и, следовательно, уменьшить габаритные размеры выходного дросселя. В результате сопротивление обмотки постоянному току (R_{dc}) будет тоже гораздо меньше, следовательно, немного уменьшится нагрев провода обмотки.

Усилители класса D делятся на 3 основных типа:

- 1) Усилители с внешним генератором пилообразного напряжения (рис. 2);
- 2) Самоосциллирующие усилители (рис. 3);
- 3) Усилители на основе микроконтроллеров со встроенным АЦП.

Усилители с внешним генератором пилообразного напряжения наиболее просты в изготовлении и наладке, обладают меньшими тре-

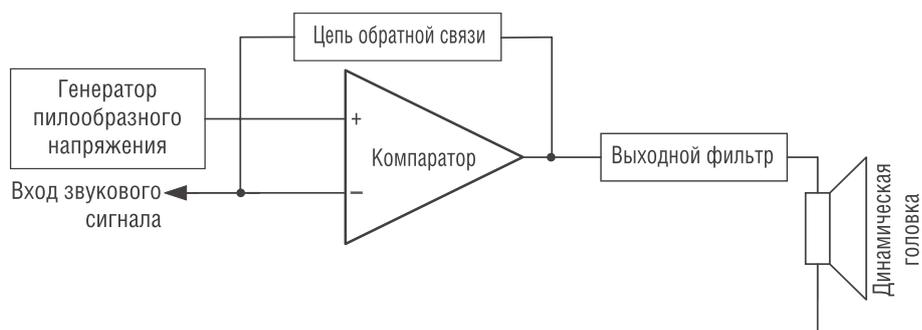


Рис. 2. Структурная схема усилителя класса D с внешним генератором пилообразного напряжения

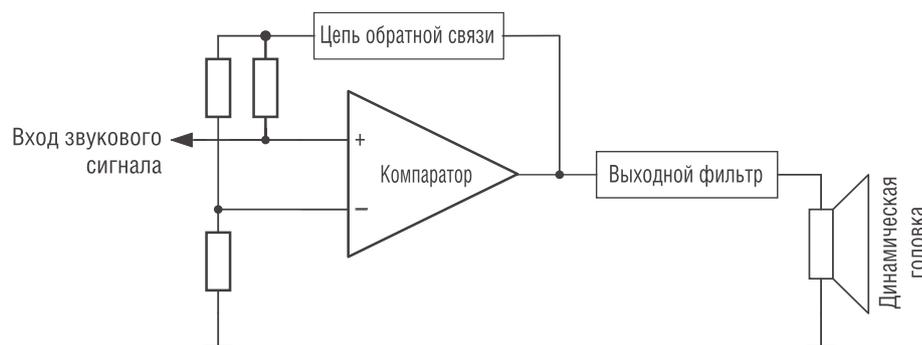


Рис. 3. Структурная схема самоосциллирующего усилителя класса D

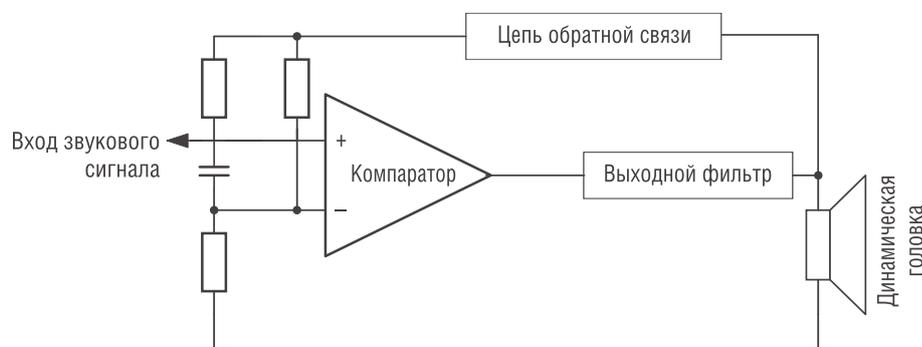


Рис. 4. Структурная схема усилителя класса D, работающего по принципу UcD

бованиями к топологии печатной платы и компонентам по сравнению с усилителями самоосциллирующего типа. Именно эти усилители в настоящее время являются самыми распространенными среди серийных моделей как сабвуферных усилителей, входящих в состав автомобильных акустических систем, так и широкополосных профессиональных, эстрадных усилителей. Самоосциллирующие усилители работают как автогенераторы, в них колебательный процесс проходит и поддерживается за счет использования положи-

тельной обратной связи. Этот тип усилителей отличается более высокими требованиями к топологии печатной платы, но при тонком подходе к этому вопросу качество звуковоспроизведения данного типа усилителей значительно превосходит остальные.

В свою очередь, самоосциллирующие усилители делятся на 2 подкласса, в которых обратная связь организована до выходного фильтра и после него. В схемах, где обратная связь организована до выходного фильтра, она исправляет только нелинейности



Рис. 5. Оригинальный модуль усилителя UcD компании Нурех

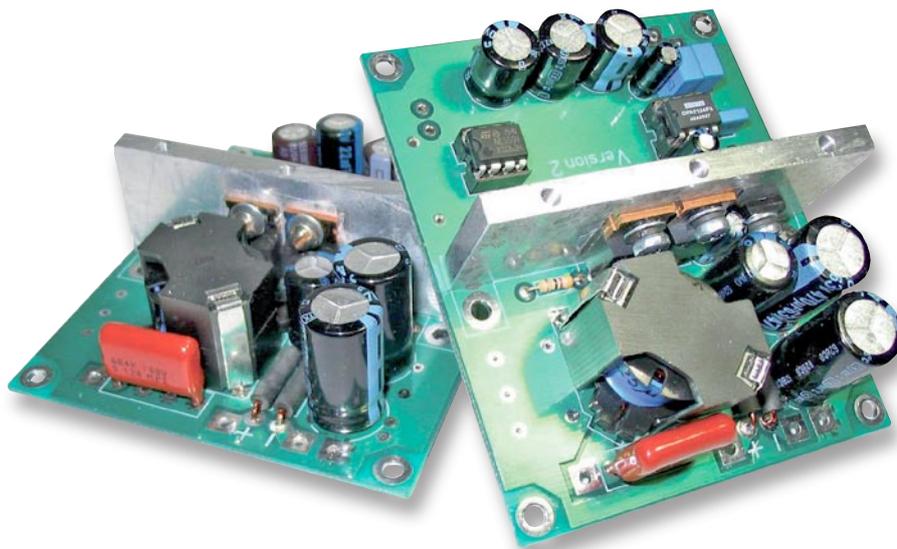


Рис. 6. Усилитель UcD, разработанный Сергеем Кузнецовым

мощного компаратора, а выходной фильтр находится вне контура.

Такие усилители имеют не очень ровную АЧХ, и выходной импеданс у них сильно растет вместе с частотой.

Усилители, у которых обратная связь берется только после выходного фильтра, лишены всех этих недостатков. Отрицательная обратная связь организована после фильтра и максимально возможно исправляет все нелинейности, а колебательный процесс

начинается за счет того, что на определенной частоте сдвиг фазы составляет 180 градусов, то есть на этой частоте ОС становится положительной, и усилитель работает как генератор.

Фаза сдвигается благодаря задержкам сигнала, которые происходят в самом компараторе, выходном фильтре и специальной фазосдвигающей RC-цепочке.

Такой принцип работы самоосциллирующих усилителей класса D имеет название UcD, он был разработан и запатентован ком-

панией NXP Semiconductor (ранее – Philips Semiconductor) в 2005 году. Структурная схема такого усилителя представлена на рис. 4.

Он сочетает в себе гениальную простоту и высочайшее качество звука. Оригинальные модули UcD, которые производит компания Нурех (рис. 5), имеют совсем неглубокую обратную связь (около 30 дБ) по сравнению с усилителями класса АВ (у которых глубина ОС – в районе 60 дБ), и умеренно низкий уровень искажений, порядка 0,03%.

Отечественная промышленность также начинает разработки аудиотехники на основе усилителей класса D, и на данный момент достигнуты весьма ощутимые результаты. Одним из разработчиков усилителей мощности с использованием технологии UcD является Сергей Кузнецов.

Он любезно поделился с нами своими наработками в этой области:

«Любой разработчик аудиотехники скажет, что усилители с неглубокой обратной связью, или же вообще без ОС, звучат более реалистично и приятно, чем усилители, охваченные глубокой ОС, несмотря на лучшие значения параметров последних. Это – субъективная оценка, понятно, что качество усилителя оценивается не только цифрами, указанными в технической документации. Прежде всего, усилитель нужно слушать. Оригинальные модули UcD, которые производит Нурех, имеют совсем неглубокую обратную связь (около 30 дБ) по сравнению с усилителями класса АВ (у которых глубина ОС в районе 60 дБ), и умеренно низкий уровень искажений, порядка 0,03%. Я не стал экспериментировать с номиналами ОС, потому что у меня нет оснований не доверять разработчикам Нурех. Разработанный мной усилитель с использованием технологии UcD (рис. 6) способен работать на динамическую головку сопротивлением 4 и 8 Ом, отдавая при этом в нагрузку максимальную музыкальную мощность до 400 Вт.

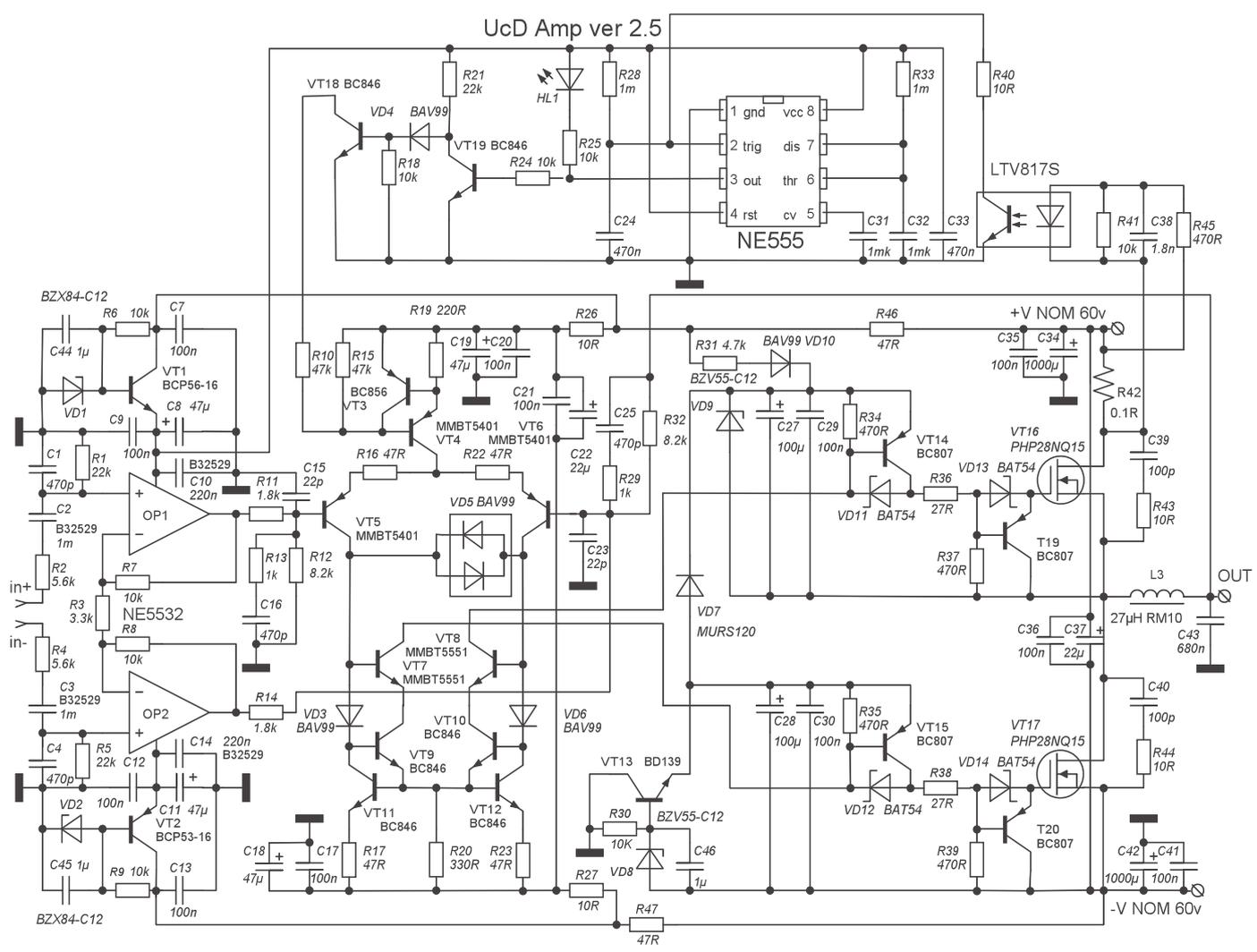


Рис. 7. Принципиальная схема усилителя UcD конструкции Сергея Кузнецова

На входе стоит фильтр ВЧ на уровне 20 кГц, чтобы высокочастотный шум не проникал на вход.

У усилителей класса D, даже у тех, у которых ОС организована до фильтра, очень низкий выходной импеданс, особенно в области низких частот, у UcD же он практически одинаково низкий во всей аудиополосе, кроме того, обратная связь компенсирует Rdc дросселя, то есть коэффициент демпфирования получается очень высоким. Это особенно важно при использовании усилителя с мощными сабвуферами: какой бы ни был динамик, UcD сможет отлично его контролировать, обеспечивая тем самым четкий бас без гудения. (Причиной гудения является как раз плохой коэффициент демпфирования большинства серийных сабвуферных усилителей). Правильно спроектированный UcD будет обладать качеством, соиз-

меримым с качеством усилителей, использующихся в студийных мониторах. Такое качество и точность передачи звукового сигнала достигается за счет применения неглубокой ОС, а для того, чтобы сохранить низкий уровень искажений, нет необходимости подбирать все транзисторы в пары по параметрам, так как все они работают в ключевом режиме.

Как известно, на качество звука влияет количество активных компонентов, которые стоят на пути прохождения сигнала. В усилителях АВ приходится применять разнообразные цепи коррекции с маломощными дорогостоящими транзисторами и операционными усилителями, в UcD же необходимость в этом также отпадает по уже названной причине — ключевой режим работы всех активных компонентов. Уровень шума и характер звучания практически

полностью определяются входным операционным усилителем, который легко можно менять и выбирать наиболее понравившийся. Еще один серьезный плюс усилителей класса D — это отсутствие тепловых искажений.

Рассмотрим, как работают выходные транзисторы в линейном усилителе. При подаче на вход усилителя сигнала звуковой частоты выходные транзисторы начинают периодически плавно открываться и закрываться, то есть проходящий через каждый транзистор ток пульсирует практически от максимального значения выходного тока до тока покоя. При этом также меняется значение напряжения коллектор-эмиттер. Вместе с напряжением и током меняется и рассеиваемая мощность выходных транзисторов, причем изменяться она может в очень широких диапазонах.

Таблица 1. Биполярные транзисторы к принципиальной схеме рис. 7

Наименование	U, CE	U, BE	I, C	P, tot	Корпус
BCP56-16	80 В	5 В	1 А	1,33 Вт	SOT-223
BCP53-16	-80 В	-5 В	-1 А	1,33 Вт	SOT-223
BC807	-45 В	-5В	-0,5 А	0,25 Вт	SOT-23
BC846	65 В	6 В	0,1 А	0,25 Вт	SOT-23

Таблица 2. Выходной полевой MOSFET к принципиальной схеме рис. 7

Наименование	U, DS	R, DS on	I, D	Q, QD	Корпус
PHP28NQ15	150 В	65 мОм	28,5 А	7,5 нС	TO-220AB

Это вызывает пульсацию температуры кристаллов. Несмотря на то, что транзистор установлен на радиатор, пульсации температуры нельзя избежать, так как моментально отвести тепло от кристалла транзистора невозможно. Как известно, при изменении температуры транзистора, все его характеристики будут также варьироваться. Получается, что вместе со звуковой синусоидой параметры выходных транзисторов будут также варьировать, и, несомненно, это отразится на звуке не

лучшим образом. Конечно, влияние не так велико, однако разницу при воспроизведении низких частот между усилителем класса АВ и класса D слышат все, даже те, кто не обладает музыкальным слухом.»

В связи с появлением усилителей класса D, выполненных по технологии UcD, перспективы у данного класса усилителей существенно повысились. Теперь они могут применяться для построения не только бытовых аудиосистем, но и профессиональной техники,

например концертного и студийного оборудования, трансляционных усилителей, профессионального оборудования для кинозалов и развлекательных комплексов, автомобильных акустических систем. Главными факторами успешной конкуренции усилителей UcD даже с топовыми моделями классов А и АВ стали высочайшее качество звукопередачи и высокий КПД, достигающий 97%, а также низкая себестоимость.

Принципиальная схема UcD-усилителя разработки Сергея Кузнецова представлена на рис. 7, а перечень транзисторов NXP, использованных в разработке – в таблицах 1 и 2.

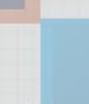
Использованные информационные ресурсы: <http://www.classd.fromru.com>, <http://hypex.nl/>, <http://tora.122mb.com/>.

По вопросам получения технической информации обращайтесь в компанию КОМПЭЛ.
E-mail: theory.vesti@compel.ru.



ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННАЯ СТАНДАРТНАЯ ПРОДУКЦИЯ

- Логика
- Тиристоры и симисторы
- Малосигнальные транзисторы
- Диоды
- Стабилитроны
- Таймеры
- Интерфейсы
- Супервизоры питания
- ШИМ-контроллеры
- DC/DC-преобразователи
- Стабилизаторы напряжения



Компэл
www.compel.ru