

(Окончание, начало №1/2001)

Еще раз об усилителях мощности

Усилитель на микросхеме TDA7250

Основные технические характеристики:

- напряжение питания ± 45 В;
- максимальная выходная мощность (с внешними транзисторами) – 2×100 Вт;

- напряжение питания ± 50 В;
- выходная мощность – не менее 200 Вт (4 Ом), 100 Вт (8 Ом);
- скорость нарастания выходного сигнала – не менее 20 В/мкс;
- частота среза (при усилении 50) – не менее 100 кГц;
- уровень шума, приведенный к вхо-

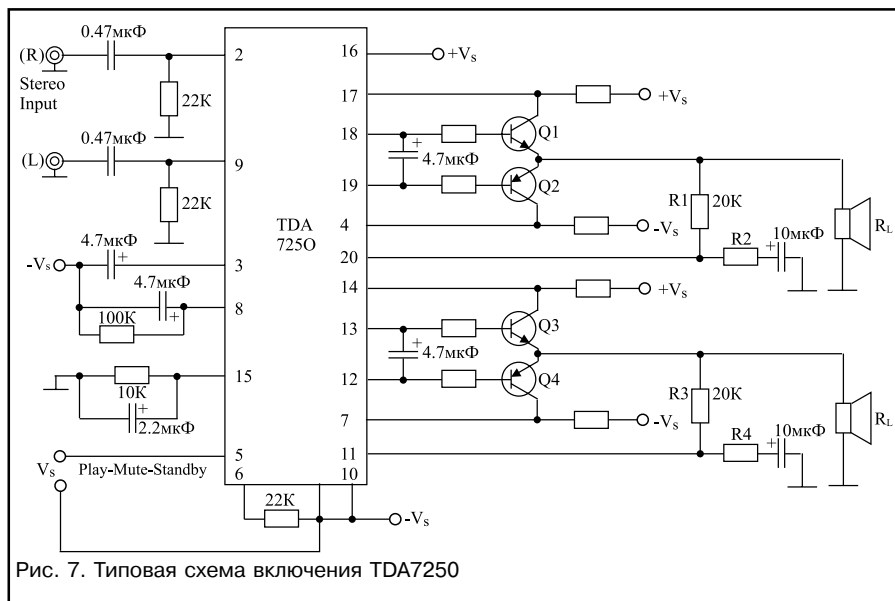


Рис. 7. Типовая схема включения TDA7250

- скорость нарастания выходного сигнала – 10 В/мкс;
- диапазон частот – от 20 Гц до 20 кГц;
- автоматическая регулировка тока покоя оконечного каскада;
- наличие функций Mute/Standby;
- уровень шума, приведенный к входу, – не менее 2 мкВ;
- коэффициент гармоник – 0,004% (1 кГц, 40 Вт);
- защита от перегрузки по току.

Микросхема TDA7250 рассчитана на работу с внешними биполярными силовыми транзисторами, но при этом она имеет два канала усиления в одном корпусе (DIP20) и обеспечивает характеристики не хуже, чем TDA7294.

Типовая схема включения микросхемы TDA7250 приведена на рис. 7. В таблице 1 даны характеристики выводов усилителя и подключенных к ним элементов. На рис. 8 показана зависимость суммарного коэффициента гармоник от выходной мощности при сопротивлении нагрузки 8 Ом.

3. Усилитель на дискретных элементах

Основные технические характеристики:

- коэффициент гармоник – не более 0,01% (1 кГц, 5 Вт, 100 Вт);
- коэффициент интермодуляционных (частотно-разностных) искажений – не более 0,05%;
- уровень фазовых искажений (в полосе от 600 Гц до 4 кГц) – не более 0,2°;
- ток покоя оконечного каскада – не более 10 мА.

Описанные выше интегральные микросхемы создают отличную возможность построения хорошего УМЗЧ при минимальных затратах и в минимальных габаритах. Дешевизна и небольшое количество внешних элементов позволяют даже не очень опытному радиолюбителю собрать усилитель, имеющий высокое качество воспроизведения.

Однако описанные усилители (как и подобные им) вряд ли можно отнести к аппаратуре высшего класса. Частотный диапазон от 20 Гц до 20 кГц является явно недостаточным для высококачественного оконечного каскада УМЗЧ. Ограничение частотного диапазона неизбежно приводит к фазовым запаздываниям и, как следствие, к интермодуляционным искажениям. Известно, что расширение диапазо-

на воспроизводимых частот за пределы звуковых частот необходимо, т. к. при этом уменьшается время переходных процессов, снижается уровень интермодуляционных искажений в слышимой области, что улучшает чистоту и прозрачность звучания. В результате специальных психоакустических исследований выявлено, что для правильного восприятия музыкального образа полоса пропускания усилителя мощности должна быть не менее 100 кГц, а время установления сигнала – не более 2 мкс. При этом полоса пропускания в тракте предварительного усилителя может быть ограничена на уровне звуковых частот.

В технических данных на интегральные УМЗЧ ничего не говорится также о фазовых и переходных искажениях. Напомним далее значение некоторых специальных терминов, касающихся усилителей мощности.

Фазовыми искажениями называют отклонение фазовой характеристики устройства от линейной функции. Вопрос о слышимости фазовых искажений долгое время дискутировался в специальной литературе. Многочисленные экспериментальные исследования позволили установить, что наибольшая чувствительность к фазовому сдвигу обнаруживается в полосе 0,6–4 кГц. Значения порогов слышимости зависят от разности частот и амплитуд составляющих сигнала и равны $1 \dots 10^\circ$ на разных частотах.

Процесс нарастания (атака) и спада сигнала играет существенную роль в звучании музыкальных инструментов и голоса. Величина искажений этих процессов, называемых переходными, при воспроизведении реальных звуковых сигналов является важной характеристикой их качества. Для измерения переходных искажений используется широкий класс сигналов:

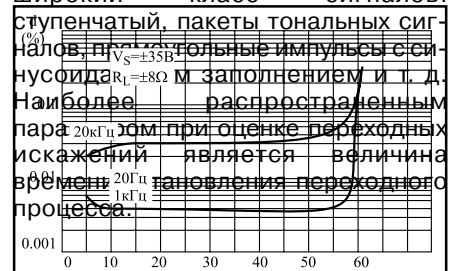


Рис. 8. Зависимость коэффициента гармоник от выходной мощности TDA7250 (сопротивление нагрузки 8 Ом)

Интермодуляционные искажения являются разновидностью нелинейных искажений. В соответствии с МЭК 268-5, это проявление амплитудной нелинейности в виде модуляционных продуктов, появляющихся при подаче сигнала, состоящего из тонов с частотами f_1 и

f_2 (где $f_1 < f_2/8$). Количественно интермодуляционные искажения определяются по спектральным компонентам с частотами $f_2 \pm (n - 1) \cdot f_1$, где $n - 2, 3$, и т. д.

Разновидностью интермодуляционных искажений являются частотно-разностные искажения. Для их оценки на вход усилителя подаются две близкие частоты (обычно 1 и 3 кГц) и измеряются разностные составляющие (2 кГц). Оценка этих нелинейностей наиболее важна для УМЗЧ, т. к. данный вид искажений является самым неприятным для слушателей. Частотно-разностные искажения воспринимаются на слух как посторонние дребезжащие призвуки при одновременном звучании нескольких инструментов. Частотная область максимальной чувствительности слуха (и к искажениям в том числе) находится в пределах 1–2 кГц.

Хотя интермодуляционные искажения отражают то же свойство усилителя, что и гармонические искажения, они являются более информативными, чем гармонические. Двухтональный сигнал лучше аппроксимирует реальный многокомпонентный сигнал, чем однотональный. Комбинационные тоны субъективно заметнее, т. к. продукты гармонических искажений могут маскироваться гармониками музыкальных инструментов; интермодуляционные и разностные искажения можно измерять в более широком диапазоне частот, чем гармонические.

Порог слышимости нелинейных искажений составляет около 0,1%. Заметность гармонических составляющих существенно зависит от их порядка: для гармонических искажений третьего порядка она примерно вдвое выше, чем второго; для пятого и других нечетных порядков – в 6–10 раз выше, чем для второго и т. д. Ламповые усилители при коэффициенте нелинейных искажений около 10% часто звучат лучше транзисторных именно потому, что в них отсутствуют гармоники выше третьей.

С тех пор как на рынке появились операционные усилители (ОУ), схемотехника большинства усилителей большой мощности была основана на мощном транзисторном каскаде, стоящем после ОУ и обеспечивающем усиление по напряже-

нию и мощности. Однако, несмотря на глубокую ОС, которую создает ОУ, такая схема не обладает, как правило, ни хорошей линейностью, ни высокими динамическими характеристиками. Причина в том, что запаздывания вносимые низкочастотным силовым каскадом, затрудняют частотную коррекцию и приводят к неустойчивой работе схемы.

Выходом является параллельный канал, когда мощный выходной каскад строится как быстродействующий дифференциальный усилитель, и оба усилителя охватываются общей параллельной обратной связью по напряжению. При этом входной сигнал и сигнал ООС суммируются на инвертирующих входах обоих усилителей. Первый (в нашей схеме это ОУ D1 –

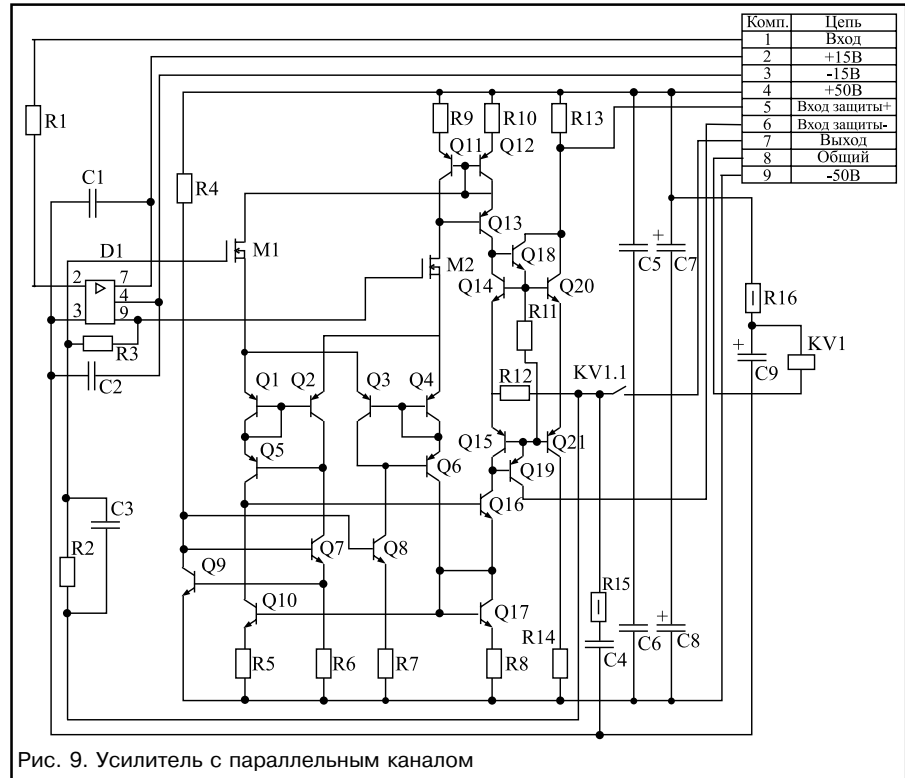


Рис. 9. Усилитель с параллельным каналом

Таблица 2

Поз. обозначение	Номинал, рекомендуемый тип	Производитель	Количество во	Примечание
C1, C2	0,1 мкФ		2	
C3	3 пФ		1	
C4	0,1 мкФ x 63 В		1	
C5, C6	1 мкФ x 63 В		2	
C7...C9	100 мкФ x 63 В		3	
C7	300 пФ		1	
D1	ОРА604	Burr-Brown	1	
KV1	BS115C-24V	Bestar	1	Реле с рабочим током не менее 10 А, напряжение обмотки – 24 В
R1	0,125 Вт – 10 кОм		1	
R2	0,125 Вт – 510 кОм		1	
R3	0,125 Вт – 1 МОм		1	
R4	0,125 Вт – 100 кОм		1	
R5, R9, R12	0,125 Вт – 1 кОм		3	
R6, R7	0,125 Вт – 2 кОм		2	
R8, R10	0,125 Вт – 20 Ом		2	
R11	0,125 Вт – 100 Ом		1	
R13, R14	10 Вт – 0,1 Ом		2	
R15	0,5 Вт – 10 Ом		1	
R16	0,5 Вт – 1,5 кОм		1	
M1, M2	Транзистор BS108	Philips	2	
Q1...Q4	Транзистор BC638	Philips	4	Возможна установка транзисторной сборки
Q5, Q6	Транзистор BC161	Philips	2	Vce > 60 В
Q7...Q9	Транзистор BC637	Philips	3	Возможна установка транзисторной сборки
Q10, Q17	Транзистор MPSA13	Motorola	2	nnp Darlington
Q11, Q12	Транзистор MPSA63	Motorola	2	pnp Darlington

ОРА604) обеспечивает высокую линейность на звуковых частотах за счет глубокой обратной связи. Второй (он выполнен на дискретных транзисторах) имеет хорошие динамические характеристики, высокий коэффициент усиления по напряжению и большой выходной ток. Разработка и анализ режимов работы схемы производились с помощью программы PSPICE A/D. При моделировании использовалась макро модель операционного усилителя ОРА604 фирмы Burr-Brown и модели биполярных транзисторов фирмы Motorola. Принципиальная схема предлагаемого усилителя приведена на рис. 9, а перечень элементов – в таблице 2.

ОУ D1 должен обеспечивать высо-

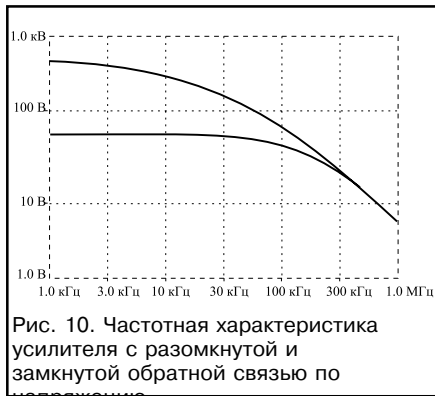


Рис. 10. Частотная характеристика усилителя с разомкнутой и замкнутой обратной связью по напряжению

кое качество воспроизведения звуковых частот. Выбранный для него ОРА604 производства фирмы Burr-

Brown имеет следующие основные характеристики:

- коэффициент гармоник – не более 0,0003% на 1 кГц;
- уровень шума – 10 нВ/ЦГц;
- скорость нарастания сигнала – 25 В/мкс;
- частота среза – 20 МГц;
- напряжение питания от $\pm 4,5$ до ± 24 В.

Следует подчеркнуть, что дискретный усилитель построен на токовых зеркалах: это делает характеристики устройства практически независимыми от параметров транзисторов и обеспечивает хорошую повторяемость. Опорный источник образован зеркалом Q7...Q9, ток которого задается резисторами R6 и R7 и равен примерно 0,5 мА.

Стабилизация тока покоя оконечного каскада достигается за счет тепловой связи между одинаковыми транзисторами токового зеркала Q14, Q20 и Q15, Q21. Естественно, что указанные транзисторы должны быть установлены на радиаторе рядом, с использованием изолирующих теплопроводящих подложек. Такие подложки производит фирма “НОМАКОН” практически для всех типов корпусов. Суммарная площадь теплоотвода должна быть не менее 2000 см². На радиаторе также необходимо разместить транзисторы Q13, Q16, Q18, Q19.

Частотная характеристика разом-

кнутого и замкнутого усилителя приведена на рис. 10, а фазовая характеристика – на рис. 11. Динамические свойства и колебательность схемы оцениваются при подаче на вход единичного импульса, имеющего практически нулевой фронт. Отклик усилителя на единичный скачок, позволяющий определить также скорость нарастания сигнала, показан на рис. 12.

В схеме имеется только одна стандартная корректирующая цепочка – С4R15. Акустическая система подключается к выходу усилителя через контакты реле KV1 с задержкой, формируемой цепочкой С9R16 для исключения щелчков при включении.

Схема имеет большой запас по усилению и по выходному току, поэтому



Рис. 11. Фазовая характеристика усилителя в полосе 100 Гц–10 кГц



Рис. 12. Отклик на единичный скачок

ее мощность можно значительно повысить, применив мостовое включение или увеличив напряжение питания и применив

транзисторы с большим допустимым напряжением $U_{се}$.