



УМЗЧ с Глубокой ООС



Член редакционной
коллегии
журнала «Радио»
**Иван Тимофеевич
АКУЛИНИЧЕВ —**
главный
научный сотрудник
Научно-
исследовательского
института
интроскопии,
профессор,
доктор
медицинских наук,
заслуженный
деятель науки
и техники РСФСР

Известно, что отрицательная обратная связь (ООС) не только линейризует процесс усиления звукового сигнала, но и обеспечивает его функциональную стабильность и демпфирование реактивной составляющей нагрузки. Эффективность ООС зависит от ее глубины, т. е. внутриспетлевого усиления, минимизации пока еще неизбежного покаскадного запаздывания усиливаемого сигнала, устранения паразитных связей. Для выполнения этих условий недостаточно одного лишь применения высокочастотных транзисторов и быстродействующих ОУ, важно под контролем основной линейризирующей функции ООС рационализировать само построение УМЗЧ.

Как показали публикации в журнале «Радио», многие конструкторы связывают с применением глубокой ООС склонность УМЗЧ к самовозбуждению, появление динамических интермодуляционных искажений и пропагандируют необходимость ограничения глубины ООС в пределах воспроизводимого диапазона частот [1, 2, 3]. В тоже время мало внимания уделяется контролю очевидных отличий выходного и входного сигналов УМЗЧ, а также оценке частотной зависимости коэффициента внутриспетлевого усиления. А именно эти, легко контролируемые показатели, позволяют установить истинные причины искажений усиления и выбрать технические решения, позволяющие их устранить.

Увлечение ограничением глубины ООС без принятия мер по повышению устойчивости

УМЗЧ приводят к запаздыванию действия ООС на высших звуковых частотах, а стало быть к появлению динамических интермодуляционных искажений.

Недооценка же способности глубокой ООС устранять искажения типа «ступенька» заставляет некоторых конструкторов встать на путь рассуждений по поводу так называемых коммутационных искажений и рекомендаций использования режима усиления с большим током покоя [4]. С моей точки зрения, несмотря на весьма разноречивые оценки ООС, построить высококачественный усилитель без глубокой ООС во всем диапазоне воспроизводимых звуковых частот весьма затруднительно. Сделать такой вывод позволил мне не только собственный опыт конструирования, но и многолетний анализ результатов объективного контроля параметров многих УМЗЧ, экспонировавшихся на трех Всесоюзных радиолюбительских выставках, а также присылаемых в журнал «Радио». Во всех случаях контроль вносимых усилителями искажений производился с применением метода селекции сигнала искажений и по-мех путем прямого вычитания входного напряжения проверяемого УМЗЧ из выходного [5]. Обеспечиваемая этим методом возможность объективного и, главное оперативного контроля качества усиления УМЗЧ реальных звуковых сигналов позволяет построить высококачественный усилитель, преодолев боязнь глубокой ООС и так называемого транзисторного звучания.

При выборе принципиальной схемы, предлагаемого вниманию читателей УМЗЧ с глубокой ООС, были испытаны несколько вариантов усилителей с использованием так называемого «токового зеркала». Однако широко разрекламированные преимущества их не оправдали потребовавшихся для их реализации материальных затрат. Много надежд возлагалось на более простые усилители с двумя дифференциальными каскадами. Однако они обнаружили трудно устранимую склонность к самовозбуждению вследствие асимметрии цепей согласования предоконечного и оконечного усилителей. Испытывались и гибридные УМЗЧ с различными способами согласования и питания ОУ.

В результате проведенных экспериментов выбор был остановлен на УМЗЧ, схема которого приведена на рис. 1. Усилитель прост по схеме и обеспечивает довольно хорошие параметры, прежде всего, за счет введения глубокой ООС. Особо следует отметить его высокую линейность на высших звуковых частотах, низкий уровень тока покоя, возможность работы без специального устройства защиты громкоговорителя от постоянной составляющей тока, сохранение работоспособности при снижении напряжения питания. Номинальная выходная мощность УМЗЧ на нагрузке 8 Ом — 16 Вт, на нагрузке 4 Ом — 24 Вт; диапазон воспроизводимых частот — 20...20 000 Гц; коэффициент гармоник, измеренный селектором дефект-сигнала, на ча-

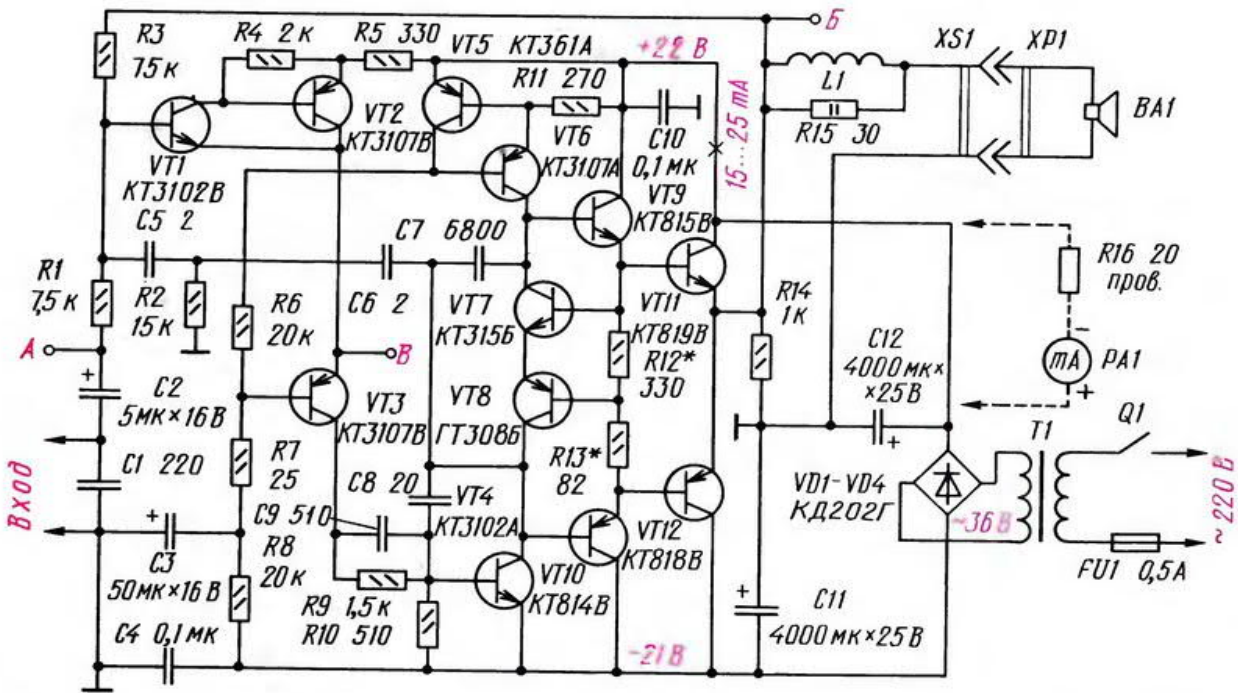


Рис. 1

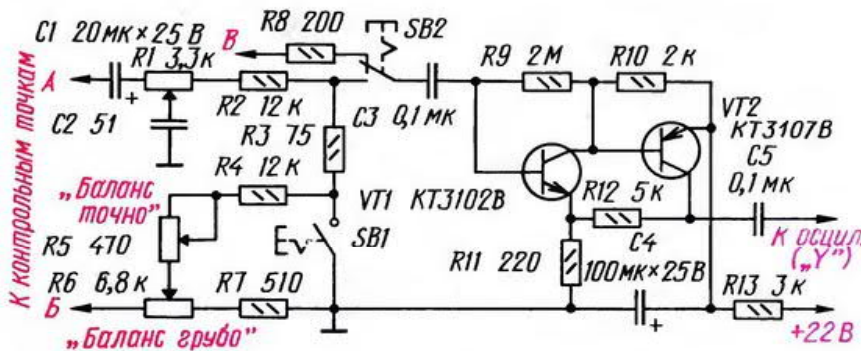


Рис. 2

стоте 1 кГц — 0,005 %, на частоте 20 кГц — 0,008 % при максимальном уровне выходного сигнала.

Предоконечный усилитель УМЗЧ — двухкаскадный с высокоомным инвертирующим входом. Неинвертирующий вход служит для балансировки напряжения питания, источник которого не имеет гальванической связи с общим проводом. Транзисторы VT1, VT2 первого каскада предоконечного усилителя включены по схеме составного эмиттерного повторителя. База транзистора VT3, заблокированная емкостью конденсатора C3, подключена к резистивной цепи R6R7R8. Работающий во втором каскаде транзистор VT4 включен по схеме с ОЭ. Совместно с источником тока на транзисторах VT5, VT6 он обеспечивает более линейное усиление максимальных уровней звукового сигнала. Источник тока выполняет также функции стабилизатора токового режима

предоконечного усилителя. Дифференцирующая цепочка C5R2C6, включенная между входной и выходной цепями усилителя, предотвращает его самовозбуждение и с помощью конденсатора C8 позволяет сдвинуть частотный срез АЧХ за пределы воспроизводимого диапазона звуковых частот.

Оконечный каскад усилителя построен на комплементарных парах транзисторов, включенных по схеме с общим коллектором. Для стабилизации токового режима и демпфирования коммутационных процессов на входе окончного усилителя УМЗЧ включен транзисторный шунт VT7, VT8, управляемый напряжением на базах транзисторов выходного каскада VT11, VT12. Такой способ стабилизации [6] обеспечивает работоспособность УМЗЧ при трехкратном снижении напряжения его питания. Питается УМЗЧ от автономного выпрямителя, подключенного к отдельной обмотке сетевого трансформатора.

Все детали усилителя и выпрямителя смонтированы на двух пластинах из стеклотекстолита, между которыми зажаты теплоотводы выходных транзисторов VT11, VT12 и оксидные конденсаторы C11, C12. На одной из пластин размещены диоды выпрямителя и транзисторы окончного усилителя, а на другой — все элементы предоконечного усилителя. Монтаж навесной. Катушка L1 намотана на резисторе R15 и содержит 30 витков провода ПЭЛ 0,8.

Предложенный вариант конструкции УМЗЧ позволяет ослабить взаимное влияние его цепей друг на друга и делает удобным его размещение в стереокомплексе или активной АС.

Налаживание УМЗЧ сводилось к установке (с помощью резистора R12 или R13) тока покоя в пределах 15...25 мА. Первая проверка работоспособности УМЗЧ производилась, как обычно, при подключении в разрыв цепи питания ограничительного резистора R16 и миллиамперметра PA1.

Для контроля искажений УМЗЧ использовался компенсационный селектор с предусилителем дефект-сигнала, схема которого приведена на рис. 2. Причем контролировался не только синусоидальный сигнал, но и реальный звуковой сигнал во время работы УМЗЧ с АС. Сам селектор представляет собой резистивную цепь R1 — R4, на которую через кон-

денсатор С1 подается входной сигнал УМЗЧ (с контрольной точки А), а через делитель R5 — R7 — противофазный выходной сигнал (с контрольной точки Б). Далее сигналы балансируют регулировочными резисторами R6 и R5 и добиваются компенсации запаздывания выходного сигнала конденсатором С2. С выхода селектора (точка соединения выводов резисторов R2, R3) обработанный разностный сигнал (так называемый дефект-сигнал) через конденсатор С3 поступает на предусилитель на транзисторах VT1, VT2 и далее на осциллограф или милливольтметр. Для оценки величины дефект-сигнала использовалась масштабная калибровка экрана осциллографа или шкалы миллиамперметра. Для этого нажатием на кнопку SB1 величина подаваемого на предусилитель напряжения снижалась до 0,005 входного сигнала УМЗЧ и в дальнейшем с ним сравнивалась величина дефект-сигнала. Более подробно методика работы с селектором описана в [5]. Для оценки глубины ООС на 1000 и 20 000 Гц с помощью переключателя SB2 предусилитель следует подключить к контрольной точке В УМЗЧ и подать на вход последнего синусоидальные сигналы соответствующих частот.

Селектор смонтирован на стеклотекстолитовой пластине, закрепляемой на время испытаний УМЗЧ вблизи его контрольных точек.

И. АКУЛИНИЧЕВ

с. Архангельское
Московской обл.

ЛИТЕРАТУРА

1. Солнцев Ю. Высококачественный усилитель мощности. — Радио, 1984, № 5, с. 29—34.
2. Солнцев Ю. Какой же K_r допустим? — Радио, 1985, № 2, с. 26—28.
3. Костин В. Психоакустические критерии качества звучания и выбор параметров УМЗЧ. — Радио, 1987, № 12, с. 40—43.
4. Ломакин А., Паршин Б. Коммутационные искажения в усилителях мощности ЗЧ. — Радио, 1987, № 9, с. 34—37.
5. Акулиничев И. Селекция сигнала искажений. — Радио, 1983, № 10, с. 42—44.
6. Акулиничев И. Качество звучания при малых уровнях громкости. — Радио, 1979, № 4, с. 26, 27.

Замечено, что громкоговорители с почти аналогичными техническими характеристиками звучат далеко не одинаково. Связано это с тем, что общепринятые параметры АС (частотная характеристика, коэффициенты нелинейных и интермодуляционных искажений, мощность, направленность излучения) не дают полного представления о фактическом ее звучании.

Важнейшим показателем, определяющим качество звучания громкоговорителя, является его поведение при переходе подвижной системы из состояния покоя к состоянию воспроизведения сигнала и наоборот, что зависит от переходных характеристик, входящих в громкоговоритель головок, и его сквозной фазочастотной характеристики (ФЧХ). И хотя влияние последней на качество звуковоспроизведения в настоящее время оценивается неоднозначно, замечено, что при испытаниях АС с близкими техническими характеристиками эксперты-музыканты отдают предпочтение АС с хорошими фазовыми характеристиками и с малым временем перехода из спокойного состояния в рабочее и наоборот.

Причем особенно важно сохранить имеющиеся фазовые и временные сдвиги между сигналами стереофонических каналов. Рядом исследований [1, 2] установлено, что существенно влияют на качество стереовоспроизведения фазовые сдвиги в диапазоне 100...1600 Гц. Неравномерность временных частотных характеристик (ВЧХ) стереоканалов в этом диапазоне не должна превышать 200 мкс. При неравномерности менее 30 мкс фазовые искажения незаметны. Последняя цифра характеризует разрешающую способность органов слуха в определении положения кажущегося источника звука в пространстве.

Идеальная ВЧХ излучения АС представляет собой прямую горизонтальную линию, а соответствующая ей ФЧХ — прямую наклонную линию. Угол

наклона ФЧХ, характеризующий величину задержки сигнала в системе, может быть любым, и при этом в воспроизведенном звуковом сигнале сохранятся такие же фазовые соотношения, какими они были в исходном электрическом сигнале.

Фазовая характеристика однополосного громкоговорителя в диапазоне частот выше 150 Гц определяется параметрами установленной в нем головки, а многополосного зависит еще и от взаимного пространственного положения отдельных полосных головок, их фазировки, суммарной ФЧХ разделительных фильтров, т. е. в значительной степени от конструкции АС. Достаточно подробно о влиянии перечисленных факторов на качество многополосной АС рассказано в [3]. Там же сформулированы рекомендации для конструкторов многополосных громкоговорителей. В частности, чтобы сконструировать хорошую АС, следует соблюсти одинаковую фазировку полосных головок (особенно НЧ и СЧ), применить разделительные фильтры с гладкими суммарными АЧХ и ФЧХ, добиться пространственного согласования полосных головок по глубине, которое в первом приближении достигается расположением звуковых катушек полосных головок в одной плоскости, перпендикулярной акустической оси громкоговорителя.

Последняя рекомендация часто оказывается недостаточной по причинам, указанным в [4]. С целью уточнения величины относительного пространственного смещения полосных головок по глубине были проведены экспериментальные измерения этого параметра у ряда отечественных головок. Результаты этих измерений сведены в таблицу, в которой указана величина смещения (приближение к слушателю) звуковых катушек головок по глубине относительно звуковой катушки головки 10ГД-35 (наименования головок указаны в соответствии со