

ТОНКОМПЕНСИРОВАННЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ ГРОМКОСТИ

А. ШИХАТОВ, г. Москва

Известно, что при снижении уровня громкости человек хуже воспринимает низкочастотные и высокочастотные составляющие звукового сигнала. По этой причине в современные звуковоспроизводящие устройства устанавливаются частотно-зависимые (тонкомпенсированные) регуляторы громкости, обеспечивающие подъем высоких и низких частот при малом уровне громкости в соответствии с кривыми равной громкости. Таким образом они улучшают субъективное восприятие звуковой картины. В публикуемой статье рассматриваются о наиболее распространенных тонкомпенсированных регуляторах громкости.

Совпадение кривых тонкомпенсации с кривыми равной громкости даже у идеально спроектированного тонкомпенсированного регулятора громкости (ТРГ) возможно только при строго определенном коэффициенте передачи всего звукового тракта, начиная от источника сигнала и кончая громкоговорителем. Иными словами, уровень громкости, при котором производилась тембровая балансировка в процессе записи, должен достигаться при одном и том же положении регулятора громкости для любого источника сигнала. Отклонение коэффициента передачи от расчетного приводит к нарушению тонального баланса.

В комбинированной звуковоспроизводящей аппаратуре со встроенными АС все звенья звукового тракта согласованы по уровню сигнала, и данное условие, хотя и с некоторыми оговорками, выполняется. Усилителям же блочных устройств приходится работать с источниками сигнала с достаточно большим диапазоном выходных напряжений (0,25...1,5 В) и с АС неизвестной заранее чувствительности (84...94 дБ/Вт/м), поэтому во многих высококачественных усилителях совместно с ТРГ используются регулятор максимальной громкости или регуляторы чувствительности входов, а в последнее время — регуляторы глубины тонкомпенсации.

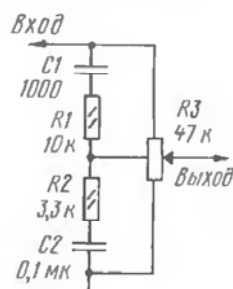


Рис. 1

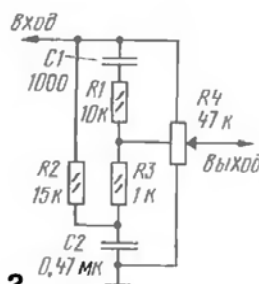
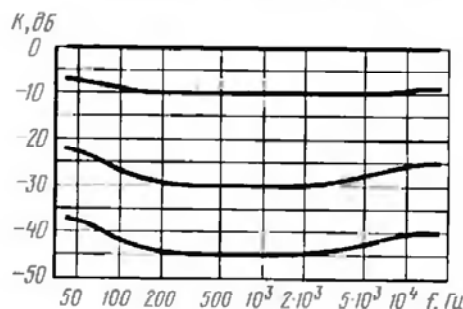


Рис. 2

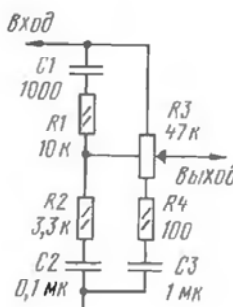
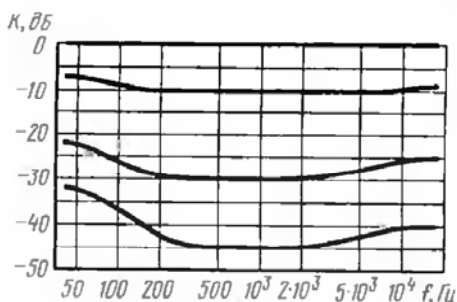
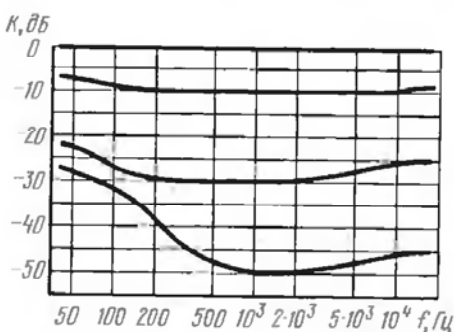


Рис. 3



Тонкомпенсация обычно реализуется частотно-зависимыми делителями (реже фильтрами), связанными с регулятором громкости. Принципиальный недостаток большинства известных регуляторов на переменных резисторах с отводами — недостаточная степень коррекции АЧХ в области низших частот при малой громкости. Для приближения АЧХ к кривым равной громкости необходимо использовать переменные резисторы с несколькими отводами [1] или регуляторы с распределенной частотной коррекцией [2]. Однако такие регулирующие устройства весьма сложны в реализации и поэтому применяются довольно редко.

Наибольшее применение как в промышленных, так и в любительских конструкциях получили ТРГ на резисторе с одним отводом, схема которого приведена на рис. 1 (на этом и всех последующих рисунках рядом со схемой ТРГ показаны его регулировочные характеристики). Отвод обычно делается от 1/10 части общего сопротивления переменного резистора (считая от нижнего по схеме вывода), что соответствует приблизительно 1/4...1/3 угла поворота движка регулятора. Подключение к отводу RC-цепи превращает регулятор в частотно-зависимый делитель. Цепь R1C1 обеспечивает подъем АЧХ на высших частотах звукового диапазона, а R2C2 — на низших. Однако подобным регуляторам свойственны существенные недостатки. Так обеспечиваемая ими степень коррекции АЧХ в области низших частот явно недостаточна (не более 8...10 дБ на частоте 50 Гц), а в процессе регулировки заметен ступенчатый характер коррекции. По мере снижения громкости после прохождения отвода степень коррекции уже не меняется, тогда как именно при малой громкости она должна быть максимальной. Попытки увеличить степень коррекции уменьшением сопротивления резистора R2 приводят к появлению характерного провала АЧХ на средних частотах в момент прохождения отвода. И все-таки, несмотря на указанные недостатки, многие конструкторы усилителей ЗЧ выбирают именно такой ТРГ из-за его простоты. Указанные на рис. 1 номиналы элементов типичны для большинства конструкций. Иногда резистор R1 может отсутствовать. В этом случае емкость конденсатора C1 должна быть примерно в два раза меньше.

Несколько большую степень коррекции АЧХ в области низших частот обеспечивает регулятор, схема которого приведена на рис. 2. Его прототип применялся в 50-е годы в радиоприемниках фирмы Philips [3]. Примеры использования таких регуляторов в современных промышленных конструкциях автору неизвестны. Цепь R2C2R3 образует ФНЧ, сигнал с выхода которого подается на отвод регулятора. Этому ТРГ свойственны те же недостатки, что и предыдущему, хотя и в меньшей мере.

Недостаточная степень подъема АЧХ на низших частотах у регуляторов, о которых шла речь, объясняется применением корректирующих цепей

первого порядка. В ТРГ (рис. 3) глубина коррекции при малой громкости увеличена за счет введения цепи R4C3, образующей совместно с участком переменного резистора от движка до отвода второй частотно-зависимый делитель. Применение двухступенчатой коррекции позволяет довести подъем АЧХ при минимальной громкости до 20...26 дБ на частоте 50 Гц. Обратная сторона этого достоинства — сужение диапазона регулирования громкости до 45...50 дБ, что, впрочем, чаще всего оказывается вполне достаточным.

В некоторых случаях использование переменных резисторов с отводами нежелательно. На рис. 4 показана схема ТРГ на переменном резисторе без отводов, использующего фильтровый способ коррекции АЧХ. Фильтр R2R3R4C1C2, подавляющий средние частоты сигнала, начинает работать при малых уровнях громкости, благодаря чему происходит подъем низших и высших частот звукового диапазона. Варианты подобного регулятора широко используются в любительских разработках. Степень подъема его АЧХ на низших частотах при минимальной громкости можно увеличить добавлением корректирующей цепи, аналогичной, показанной на рис. 3.

Однако все рассмотренные ТРГ обеспечивают только фиксированную и отнюдь не идеальную коррекцию АЧХ и в ряде случаев требуют применения регуляторов тембра для подстройки тонального баланса. Попытки создания ТРГ с регулируемой коррекцией или совмещения ТРГ с регуляторами тембра предпринимались еще в 50-х годах. Вероятно, одной из первых реализаций этой идеи был регулятор громкости приемника немецкой фирмы Kontinental [3]. В нем наряду с пассивным ТРГ на резисторе с двумя отводами использовалась регулируемая частотно-зависимая ООС, напряжение которой подавалось на регулятор с выходного трансформатора усилителя.

Оригинальная схема комбинированного пассивного узла регулировок громкости и тембра в транзисторном усилителе приведена на рис. 5 [4]. Здесь переменный резистор R3 совместно с цепями R1C1, R2C2, R4C4 образуют цепь регулировки коррекции на высших частотах. Цепь C5R5, подключенная к отводу регулятора громкости R7, обеспечивает низкочастотную коррекцию. Незначительный подъем АЧХ на низших частотах в положении минимальной громкости создается резистором R2. Регулируется глубина НЧ-коррекции резистором R6.

Широкие пределы регулировки АЧХ в настоящее время представляются излишними, поэтому имеет смысл исключить конденсатор C2, заменить переменный конденсатор C1 и резистор R1, а сопротивление переменного резистора R6 уменьшить до 100 кОм. После такой доработки устраняется спад АЧХ в области высших частот, а диапазон регулировки АЧХ на низших частотах сужается до 10 дБ.

Схема разработанного автором простого ТРГ с регулируемой коррекцией

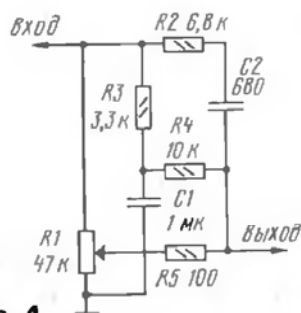


Рис. 4

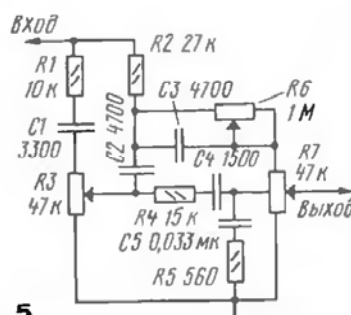
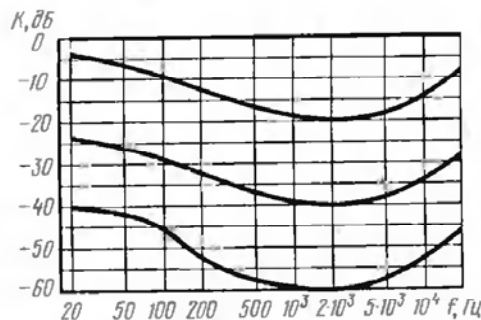


Рис. 5

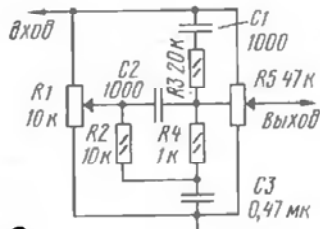
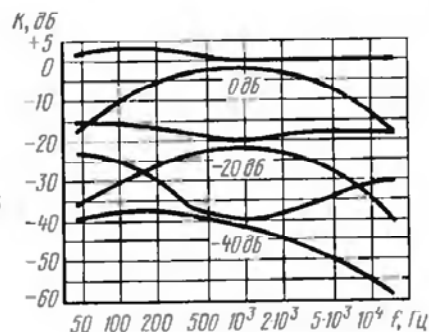


Рис. 6

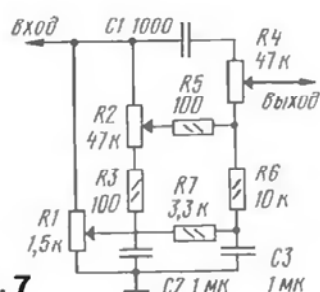
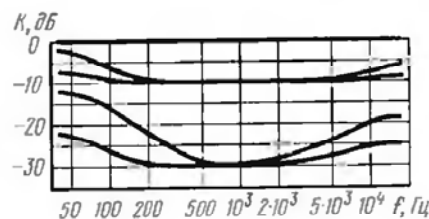
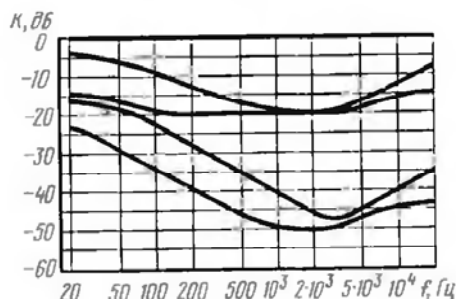


Рис. 7



на основе резистора с отводом приведена на рис. 6. Регулировка глубины коррекции одновременно по низшим и высшим звуковым частотам производится переменным резистором R1. Если регулировка в области высших частот не требуется, можно исключить конденсатор C2, а сопротивление резистора R3 уменьшить до 10 кОм. Недостаток такого ТРГ (как, впрочем, и всех других с цепями первого порядка) — недостаточная коррекция низших частот при самой малой громкости. Как уже отмечалось, добавлением корректирующей цепи аналогичной, показанной на рис. 4, степень подъема АЧХ на низших частотах можно увеличить. Используя предложенный принцип, несложно ввести регулятор тонкомпенсации в звуковоспроизводящую аппаратуру промышленного изготовления.

В следующей схеме ТРГ (рис. 7), также разработанной автором, исполь-

зуется одновременно и корректирующий фильтр C3R6R7, и частотно-зависимый делитель R2R3C2, благодаря чему достигается широкий диапазон коррекции. Переменный резистор R2 — регулятор громкости, R1 — регулятор низкочастотной коррекции, R4 — высокочастотной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов А. Тонкомпенсированный регулятор громкости. — Радио, 1993, № 12, с. 21.
2. Зуев П. Регулятор громкости с распределенной частотной коррекцией. — Радио, 1986, № 8, с. 49—51.
3. Давыдов М. Акустические системы радиовещательных приемников. — Радио, 1956, № 4, с. 52—54.
4. Боздех И. Конструирование дополнительных устройств к магнитофонам. — М.: Энергоиздат, 1981, с. 174, 188.