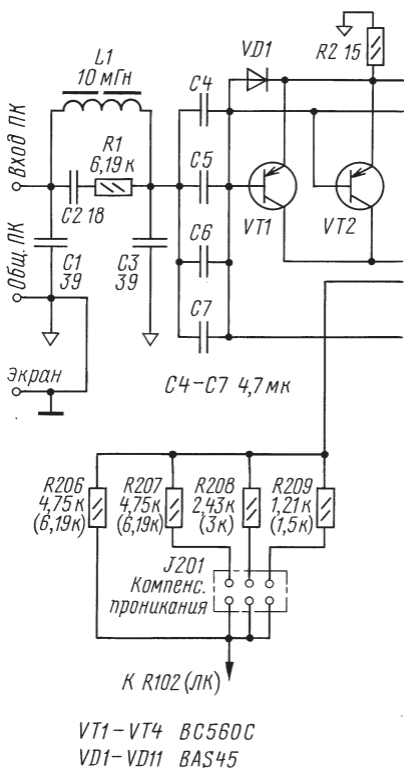


В случае разработки УВ для кассетного магнитофона, где максимальный сигнал с ГВ невелик и перепад АЧХ меньше, требования к линейности УВ ниже, но требования к шумовым свойствам более жесткие. Тем не менее автором была поставлена цель создания УВ, шумовые свойства которого допускают его применение в кассетном магнитофоне, а линейность достаточна для применения в катушечном. Такой УВ был разработан, причем в двух вариантах — "бескомпромиссном", с использованием на входе отобранных полевых транзисторов в специальном режиме, и "практичном", со входом на биполярных транзисторах. Коэффициент взвешенного шума у "бескомпромиссного" УВ при работе от эквивалента упомянутой выше ГВ ЗД24.750 приближается к 1 (составляя 1,25...1,3), однако такой УВ нелегко повторить в любительских условиях. У менее сложного "практичного" УВ коэффициент взвешенного шума при том же источнике сигнала примерно равен 2, т. е. вчетверо лучше,



**Рис. 12**

чем у рассмотренного ранее УВ на одном из лучших ОУ. Для сравнения, при работе "практичного" УВ не от ГВ, а от источника сигнала с чисто активным внутренним сопротивлением 7,5 кОм, коэффициент шума составит всего 1,07 (т. е. около 0,3 дБ, это соответствует шумовой температуре 20 К).

**Продолжение. Начало см. в "Радио", 2004, № 12; 2005, № 1**

# Минимизация шумов предварительных усилителей

**О некоторых особенностях проектирования маломощных усилителей при существенно реактивном импедансе источника сигнала**

**С. АГЕЕВ, г. Москва**

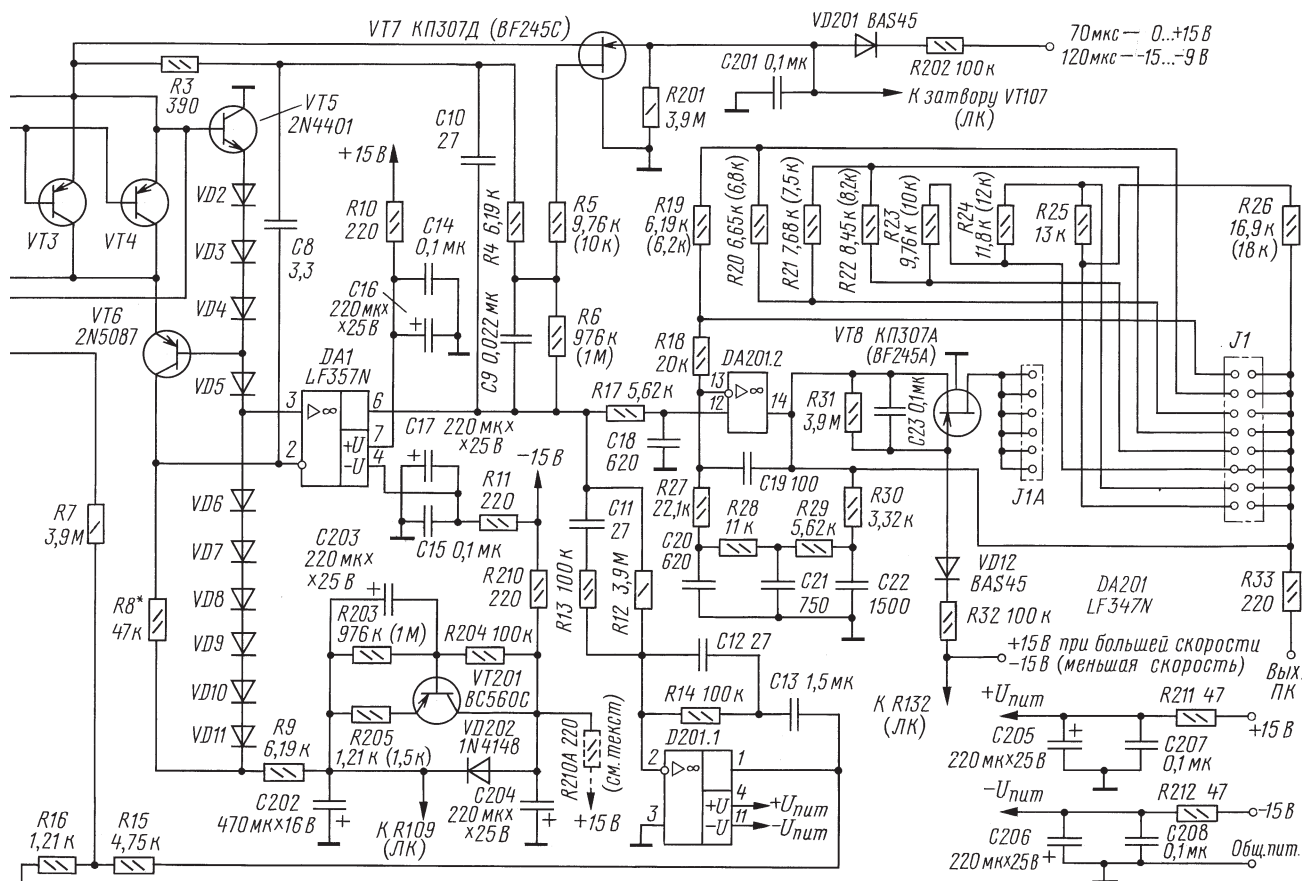
Схема "практичного" варианта УВ приведена на рис. 12.

Эта конструкция обладает рядом особенностей, самые важные из них — использование "следающего питания" входного каскада, "холодное" демпфирование резонанса входных цепей и формирование подъема АЧХ на ВЧ цепью, моделирующей частотный ход контактных и щелевых потерь более точно, чем применяемый обычно колебательный контур. Обеспечено также

такая конструкция входного каскада позволяет применить входные транзисторы с большой емкостью переходов или несколько параллельно включенных транзисторов для минимизации объемного сопротивления базы и фликкер-шума. В итоге снижаются шумы в области НЧ и СЧ. Напомним, что при объемном сопротивлении базы 200...280 Ом, характерном для одиночного транзистора BC560C или KT3107K (KT3107Л), коэффициент шума УВ при

меньший шум на низких частотах по сравнению с другими элементами (стабилитронами, светодиодами и т. п.). Для предельного снижения фликкер-шума применены диоды с большим временем жизни неосновных носителей (малым током утечки) [12].

Далее, суммарная емкость конденсаторов С4—С7 (С104—С107) выбрана необычно большой — около 20 мкФ. Это исключает проявление фликкер-шума УВ вплоть до 20...30 Гц несмотря на то, что частота среза фликкер-шума тока базы входных транзисторов может составлять 0,6...1,5 кГц. Непосредственное подключение ГВ к базе входного транзистора (см. рис. 6 во второй части статьи и [13]) также решает эту проблему, однако приводит к необходимости использования не только оксидных конденсаторов большой емкости в цепи ООС, но и разделительных конденсаторов в сигнальных цепях. В итоге более предпочтительным оказывается



отсутствие оксидных конденсаторов в сигнальных цепях.

"Следающее" питание входного каскада совместно с использованием каскадной схемы практически исключает динамическую входную емкость УВ [11]. Кроме того, эта особенность позволяет обойтись без резистора, шунтирующего ГВ, что минимизирует высокочастотный шум. Одновременно

сопротивлению обмотки ГВ 220 Ом даже без учета влияния ее индуктивности и всех остальных источников шума не может быть меньше 2. "Столбик" диодов VD2—VD11 (VD102—VD111)\* выглядит громоздко, но обеспечивает наглядность. \*На схеме элементы с нумерацией второй сотни (101 и далее) относятся ко второму каналу УВ, а с нумерацией третьей сотни (201 и далее) — общие для обоих каналов.

применение пленочных конденсаторов на входе УВ, исключив оксидные конденсаторы из цепей ООС. Это позволяет также обойтись без конденсатора в цепи компенсации проникания между каналами (R206, R207, R208, R209, J201). Конденсатор в этой цепи вносит фазовый сдвиг, нарушая компенсацию, причем именно в области низких частот, где эта компенсация

нужнее всего. Неидеальность диэлектрика конденсаторов С4—С7 (С104—С107) почти не оказывает влияния на качество сигнала благодаря тому, что сигнальное напряжение на этих конденсаторах даже при частоте 20 Гц не превышает нескольких процентов от входного напряжения, а постоянное напряжение не превышает 0,65 В. Поэтому в качестве С4—С7 (С104—С107) без ущерба для звуковых сигналов могут быть применены лавсановые конденсаторы К73-17 или аналогичные импортные (mylar, polyester). Статья [14] подтверждает эту возможность.

Указанное на схеме сопротивление резистора R8 (R108) оптимизировано для головок с индуктивностью около 100 мГн и входных транзисторов с  $h_{213}$  в пределах 450...500. При использовании входных транзисторов с другими  $h_{213}$  и головок с другой индуктивностью  $L_{BS}$  номиналы резисторов R8 и R108 должны быть изменены примерно пропорционально отношению индуктивности ГВ к квадратному кор-

выбран линейным, чтобы показать, что зависимость логарифма подъема АЧХ от частоты весьма близка к линейной, как это и требуется для компенсации контактных и отчасти щелевых потерь [15]. При этом меньшему подъему соответствует более "протянутая" вверх область подъема (при подъеме в 12 дБ на 18 кГц точка -3 дБ при воспроизведении с ленты приходится примерно на 21...23 кГц, при подъеме в 4 дБ — примерно на 26...28 кГц). Неравномерность группового времени прохождения сигнала у этой цепи не превышает 20...30 мкс, что в несколько раз меньше, чем при использовании LC-контура или его аналога. Слабая зависимость хода ФЧХ от величины установленного подъема ВЧ позволяет сохранить фазировку стереоканалов и стереопанораму при выставлении разного (отличающегося вплоть до 6 дБ) подъема в каналах. Это важно при использовании УВ с изношенными и/или нестандартными ГВ.

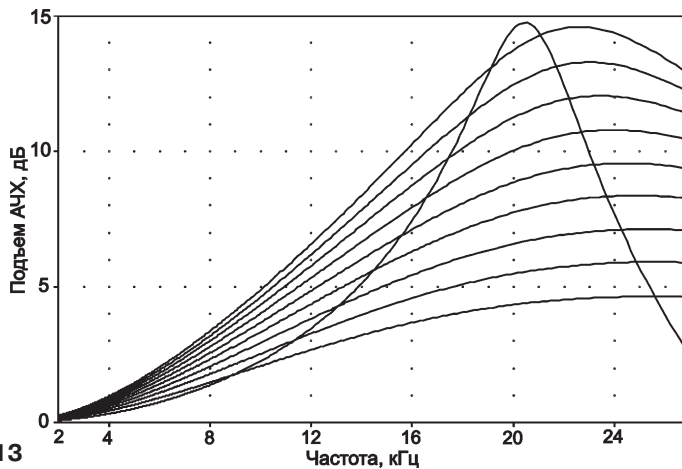


Рис. 13

ню из  $h_{213}$  входных транзисторов (т. е.  $R8 \sim L_{BS}/h_{213}^{1/2}$ ). Например, применяя транзисторы с  $h_{213} = 2000$  (2SC3295B) с ГВ ЗД24.750, сопротивление резисторов R8 и R108 целесообразно уменьшить до 22...24 кОм. Для ГВ с индуктивностью 300 мГн, используя транзисторы с  $h_{213} = 500$ , следует увеличить сопротивление этих резисторов примерно до 150 кОм.

Вторая особенность — введение для компенсации ВЧ потерь специально разработанной цепи, обеспечивающей монотонный ход результирующей АЧХ воспроизведения без обычного "провала" в области 5...12 кГц, сильно снижающего естественность звучания. Одновременно, благодаря практическому отсутствию колебательного переходного процесса, звучание высших частот при работе этого УВ не создает ощущения "жесткости" даже при избыточном (на 4...6 дБ) их подъеме, что очень ценно при реставрации фонограмм. Величина подъема регулируется с помощью переключателей дискретно через 1 дБ от 4 до 12 дБ на частоте 18 кГц (рис. 13). Для сравнения там же приведен вид подъема АЧХ при традиционной коррекции колебательным контуром. Масштаб по частоте на этом рисунке специально

выбран линейным, чтобы показать, что зависимость логарифма подъема АЧХ от частоты весьма близка к линейной, как это и требуется для компенсации контактных и отчасти щелевых потерь [15]. При этом меньшему подъему соответствует более "протянутая" вверх область подъема (при подъеме в 12 дБ на 18 кГц точка -3 дБ при воспроизведении с ленты приходится примерно на 21...23 кГц, при подъеме в 4 дБ — примерно на 26...28 кГц). Неравномерность группового времени прохождения сигнала у этой цепи не превышает 20...30 мкс, что в несколько раз меньше, чем при использовании LC-контура или его аналога. Слабая зависимость хода ФЧХ от величины установленного подъема ВЧ позволяет сохранить фазировку стереоканалов и стереопанораму при выставлении разного (отличающегося вплоть до 6 дБ) подъема в каналах. Это важно при использовании УВ с изношенными и/или нестандартными ГВ.

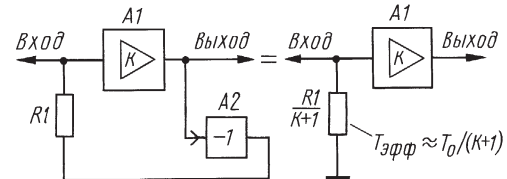


Рис. 14

в ряде случаев на порядок поднять чувствительность прибора.

Коротко расскажем об остальных особенностях описываемого УВ.

Применение ключей на полевых транзисторах с управляющим р-п переходом вызвано двумя обстоятельствами. Во-первых, у них заметно лучше отношение емкостей в закрытом состоянии к сопротивлению в открытом, чем у МОП ключей. Во-вторых, в использованных схемах включения у них практически отсутствует эффект модуляции сопротивления канала напряжением сигнала. И наконец, включение и выключение таких ключей за счет введения емкости сглаживающих конденсаторов происходит плавно, без щелчков. Транзисторы VT7, VT107 переключают цепи, соответствующие различным постоянным времени, а VT8, VT108 позволяют уменьшать подъем ВЧ при использовании УВ в двухскоростном магнитофоне.

Элементы С1, L1, R1, C2, С3 (С101, L101, R101, С102, С103) образуют ФНЧ для защиты входа УВ от высокочастотных помех. Самый ответственным элементом этого ФНЧ является катушка, которую желательно выполнять на магнитопроводе с воздушным зазором из специального высоколинейного феррита (Ерсос N48, Ерсос M33 или отечественного M1500HM3-33). Впрочем, в любительской практике, если от УВ не требуется предельно высокое качество работы в режиме сквозного канала, то вполне можно обойтись вообще без входного ФНЧ, а следовательно, и без L1, L101, R1, C2, R101, C102 — останется только конденсатор С1 (С101), номинал которого увеличивают до 68...75 пФ.

Частотная коррекция петлевого усиления УВ выполнена по структуре с "обходом" входного каскада, так что корректирующая емкость конденсатора С8 (С108) практически не уменьшает модуль усиления входного каскада в рабочей полосе частот, а в основном блокурует вносимый им фазовый сдвиг.

Для снижения низкочастотного шума, вносимого нагрузкой первого каскада, в качестве R8, R108 специально применен резистор повышенной мощности (0,5—1 Вт). Разумеется, что цепи ООС также оптимизированы с целью снижения вносимого ими шума — в цепи последовательной ООС предельно низкоомные (15 Ом), в параллельной — высокоомные (3,9 МОм). Кроме этого, с целью снижения фликер-шума приняты меры к отсутствию существенного падения постоянного напряжения на резисторах цепей ООС, особенно высокоомных R7, R107.

На транзисторе VT201 и элементах C203, R203—R205 собран аналог индуктивности с номиналом около 50000 Гн. Совместно с C202 и C204 он образует малошумящий источник питания для входных каскадов УВ, обеспечивающий подавление помех частотой 100 Гц не менее чем на 110 дБ.

Подъем АЧХ УВ в сторону низших частот продлен до 12...15 Гц, как это принято в профессиональной технике. Вопреки общепринятому мнению, такое отступление от стандарта не ухудшает совместимости с бытовыми кассетными магнитофонами и тем более с предварительно записанными кассетами. Дело в том, что при подготовке фонограмм область низких частот (ниже 60...80 Гц) всегда специально "придавливают" во избежание перегрузки лент и громкоговорителей портативной аппаратуры, а описываемый УВ это частично компенсирует. Поэтому при субъективной экспертизе предпочтение почти всегда отдавалось УВ с "продленным" в сторону низких частот подъемом АЧХ.

Постоянные времени частотной коррекции в данной конструкции составляют примерно 137 и 85 мкс вместо паспортных 120 и 70 мкс. Это связано с тем, что закон частотной зависимости слойных потерь (они описываются соотношением  $\exp(-2\pi f d/V)$ , где  $f$  — частота сигнала в Гц,  $d$  — толщина рабочего слоя в мм,  $a$   $V$  — скорость движения ленты, мм/с, см. [16]) дает более "пологий" перегиб, чем имитирующая его RC-цепь. В сочетании со специально разработанной цепью коррекции ВЧ потеря (R18—R30, C19—C22 и R118—R130, C119—C122 вместе с ОУ DA201.2) это позволяет обеспечить неравномерность АЧХ воспроизведения не более 1,5 дБ при использовании практически любых исправных ГУ или ГВ. Типовая неравномерность АЧХ при использовании в качестве ГВ хороших экземпляров ЗД24.750 в диапазоне частот 30...18000 Гц не превышает 0,6...0,7 дБ, что очень важно для корректной работы компандерной системы шумоподавления.

Регулировка подъема АЧХ УВ и компенсации проникания между каналами сделана дискретной (с помощью переключателей в джамперах J1, J1A, J101, J101A), чтобы облегчить настройку и избавиться от использования ненадежных подстроечных резисторов. Как показывает опыт, золоченые "компьютерные" переключатели хорошего качества не только надежнее, но и дешевле керметных или полимерных подстроечных резисторов. Наибольшему подъему (+12 дБ на 18 кГц) соответствует отсутствие переключателей, на-

именьшему (+4 дБ) — переключатель, обеспечивающий минимальное сопротивление цепи резисторов, когда незашунтированным остается только резистор R18 (R118). Ключ на транзисторе VT8 (VT108) подключает гребенку штырей J1A (J101A), расположенную на плате рядом с правым (по схеме) рядом контактов J1 (J101). Между гребенкой J1A (J101A) и соответствующим контактом J1 (J101) может быть установлена дополнительная переключательная цепь, позволяющая уменьшить подъем на ВЧ при включении VT8, VT108 на большей скорости — 9,53 см/с (или на соответствующей скорости в катушечном магнитофоне). Группа номиналов резисторов, указанных в скобках, соответствует номиналам используемых в конструкции резисторов; их соотношение также сохраняет шаг регулирования в коммутируемых цепях регулирования. Номиналы резисторов R203, R205 также заменяемы на указанные в скобках.

Цепь R17C18 (R117C118) представляет собой простейший ФНЧ первого порядка с частотой среза около 46 кГц (на 20 кГц — -0,75 дБ). Назначение этой цепи — ограничить шумовую полосу УВ и защитить ОУ DA201.2 и последующий тракт от ВЧ помех с выхода быстродействующего ОУ DA1 (DA101).

Если УВ должен работать непосредственно на выходные разъемы магнитофона (т. е. на кабель), то LF347 лучше заменить на ОРА4132 или ОРА4134. При установке УВ в готовый магнитофон (при его модернизации) и отсутствии документации часто желательно сохранить прохождение сигнала и по старому тракту. С этой целью цепи, шедшие ранее к ГВ, можно подключить в точки соединения эмиттеров VT1—VT4 (VT101—VT104) с цепью последовательной ООС через резисторы сопротивлением 0,3...1 кОм. Конденсаторы, шунтировавшие ранее ГВ, естественно, надо найти и удалить.

Диапазон значений напряжения питания УВ при использовании указанных на схеме элементов составляет 2×(12...18) В. УВ может работать при снижении напряжения питания до 2×(9...10) В при условии повышения сопротивления резисторов R16, R116 до 1,5...1,6 кОм. Диоды VD1, VD101 защищают эмиттерные переходы входных транзисторов от случайных импульсов обратного тока, приводящих к деградации шумовых характеристик приборов. Желательно, чтобы эти диоды имели малую утечку (менее 1 нА).

Столь подробное описание "мелочей" приведено не случайно — каждая из них дает не очень большой вклад в повышение качества работы УВ, но в совокупности они дают больший эффект, чем просто арифметическая сумма улучшений. Здесь мы имеем дело со своего рода "переходом количества в качество", когда не очень сложная, но тщательно отработанная конструкция обеспечивает хорошее приближение к теоретическому пределу возможностей.

**Налаживание УВ** сводится к проверке монтажа, контролю режимов по постоянному току и настройке высокочастотной части АЧХ по тест-ленте (при проверке низкочастотной части АЧХ

нужно вводить поправку на отсутствие в этом УВ постоянной времени 3180 мкс). Контроль режимов удобнее проводить, замкнув вход УВ; при этом нужно иметь в виду, что время установления режима УВ после включения питания составляет около 20 с. Настройка АЧХ может быть выполнена всего за один-два прогона тестовой ленты благодаря дискретной регулировке подъема ВЧ (в первый прогон измеряем, затем переставляем переключатели и проверяем). Если имеется тест-лента с записью лишь в одном канале, то можно построить компенсацию проникания между каналами, подобрав установку переключателей блока J201 (в отличие от переключателей ВЧ корректора, тут используется двоичный код в формировании необходимой проводимости). Коррекцию уровня выходного сигнала УВ для улучшения помехозащищенности целесообразнее осуществить в других узлах. Коэффициент усиления при указанных на схеме номиналах и выборе постоянной времени, равной 120 мкс, составляет 1290 раз (62,2 дБ) на частоте 400 Гц и 1580 раз (64 дБ) на частоте 315 Гц, номинальное выходное напряжение с типовой ГВ примерно равно 280 мВ.

#### ЛИТЕРАТУРА

11. **Крылов Ю., Степанов Б.** Внимание — динамическая емкость! — Радио, 1979, № 12, с. 29, 30.
12. **Букингем М.** Шумы в электронных устройствах. — М.: Мир, 1986.
13. **Изаксон И.** и др. Современный кассетный магнитофон. Канал воспроизведения. — Радио, 1984, № 8, с. 41, 42.
14. **Bateman C.** Capacitor Sounds. Parts 1, 2, 3, 4, 5. — Electronics & Wireless World, 2002, July, September, October, November, December.
15. **Кронес Ф.** Теория магнитной записи информации. — В кн. "Техника магнитной записи", перевод с нем. под ред. М. А. Розенблата, с. 337—357 (О контактных и щелевых потерях).
16. **Muckenhirn O. W.** Recording Demagnetization in Magnetic Tape Recording, Proceedings of the I.R.E., August, 1951.

Редактор — А. Соколов,  
графика — автор, Ю. Андреев

(Окончание следует)

#### МОДУЛЬНАЯ РЕКЛАМА

Условия см. в "Радио", 2005, № 1, с. 38

#### ПОСЫЛТОРГ ПРЕДЛАГАЕТ!

Более 25000 радиокомпонентов, 2500 компакт-дисков и 4000 книг и альбомов по радиотематике вы можете заказать и получить по нашим каталогам. Впервые каталоги ПОСЫЛТОРГА на компакт-диске: до 700 Мб полезной и нужной информации всего за 25 рублей. Высылаются только по предоплате. По заявкам предпринятый и членам клуба "Мастер" — БЕСПЛАТНО.

Каталоги закажите здесь:  
107113, г. Москва, а/я 10 "Посылторг"

**WWW.DESSY.RU**