



Бюджетные усилители «Super – А» класса с выходным каскадом на биполярных транзисторах

Алексей Ковальский, г. Киев

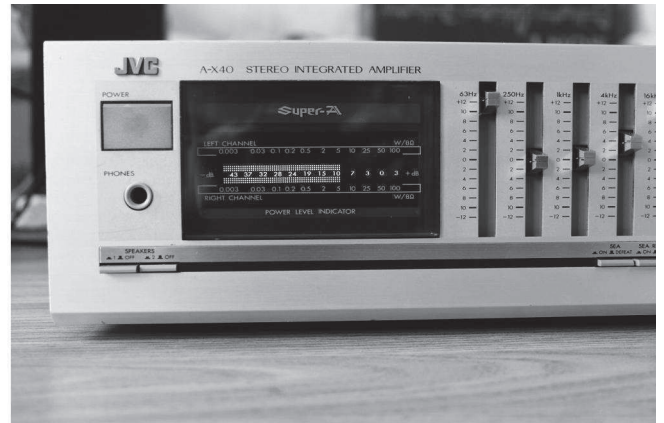
В статье приводится обзор усилителей мощности звуковой частоты (УМЗЧ) радиолюбительской разработки, позиционируемых как усилители класса «Super – А». Статья адресована в основном тем читателям журнала, которые привыкли думать самостоятельно, и обладают достаточной квалификацией. Надеюсь, что приведенная ниже информация окажется для них полезной.

К написанию данной статьи подтолкнула попытка реанимации (проведения профилактического ремонта) заслуженного, с более чем двадцатилетним стажем работы, усилителя Брагина образца 1990 г. [1]. В процессе проведения работ возникло желание заменить примененный в усилителе ОУ современным и собрать еще один экземпляр этого УМЗЧ. В процессе выполнения задачи поиска подходящего ОУ, в Интернете был обнаружен значительный объем полезной информации, относящийся к современным разработкам усилительных устройств, и сделаны соответствующие выводы. Некоторые из них будут кратко изложены ниже.

Начнем с краткого описания самой идеи режима «Super – А», а затем обнаруженных в сети проектов (всего лишь 2), являющихся прямым ее продолжением. Еще два УМЗЧ радиолюбительской разработки, вклинившиеся в этот обзор, актуальны и по сей день. Их исходные схемы взяты со страниц журнала «Радио».

Усилия разработчиков транзисторных усилителей давно уже направлены на поиск технических решений, исправляющих присущие им недостатки. В рассматриваемом случае на уменьшение искажений в области нуля-перехода сигнала, характерных для класса АВ, стараясь удерживать транзисторы неработающего плеча усилителя от полного запираания путем динамического управления его смещением (так называемый, режим «Super – А» и аналогичные) или создать схемотехническую структуру, сглаживающую начальный, наиболее нелинейный участок ВАХ и биполярных транзисторов. Характерные для режимов «Super – А» и АВ осциллограммы продуктов нелинейности, полученные с выхода измерителя нелинейных искажений, на которые для наглядности наложен исходный синусоидальный сигнал, показаны на **рис. 1**.

Применение на выходе УМЗЧ полевых транзисторов, вопреки распространенному мнению, проблему не устраняет: «В момент перехода плеча в неактивное состояние происходит «звон» на ин-



дуктивностях конструктива. Поэтому важно обеспечить минимальные длины проводников от полигонов платы до самих транзисторов (в идеале – транзисторы впаяны в плату), безындуктивные эмиттерные резисторы и т.п. Об этом уже многократно говорилось. Поскольку причина возникновения искажений не в транзисторах, то и методы борьбы идентичны. Либо «вылизывание» конструктива, либо недопущение перехода плеча в режим отсечки, а лучше всё вместе [4]».



Рис. 1

Изложенное выше, к сожалению, относится не ко всем разработчикам. К примеру, Н. Сухов в своей статье «К вопросу об оценке линейных искажений УМЗЧ» [5] практически прямо заявляет, что он ничего не понял, разницы не услышал, или не заметил и не собирается работать в этом направлении. Его слова «Проведенные автором испытания ряда усилительных устройств с динамическим смещением транзисторов выходного каскада (Super A фирмы JVC, Non Switching фирмы Pioneer, New Class A фирмы Technics) показали, что действие динамического смещения ощутимо только при малых токах покоя выходных каскадов (менее 20...30 мА), а при больших токах оно практически не влияет на линейность усилителя. Другими словами, каскады с динамическим смещением позволяют практически устранить «ступеньку» при токе покоя выходных транзисторов порядка 15...20 мА вместо 50...100 мА, но в то же время требуют значительного усложнения схемы (наиболее совер-

шенное усилительное устройство с динамическим смещением – «Super – A» реализуется на 11 транзисторах) и заметно ухудшают термостабильность тока покоя, не изменяя линейность усилителя в режиме номинальной мощности и не улучшая КПД усилителя» однозначно на это указывают.

Причем автор не удосужился даже информировать читателя, какие именно усилительные устройства им были испытаны. Это, естественно, наталкивает на мысль, основанную на ряде приводимых автором якобы обнаруженных им недостатков решения, что под веским определением «ряд усилительных устройств» скрывается всего лишь одно [2]. Статья предшествует ряду публикаций этого же автора под названием «УМЗЧ высокой верности», и поэтому позиция автора в этом вопросе становится абсолютно понятной. Уровень этой его разработки кратко и грамотно рассмотрен в [6]. Фактически Н. Сухов своей публикацией надолго перекрывает направление развития схемотехники УМЗЧ, заданное Ю. Митрофановым [2]. По этой же причине появление в 1990 г. УМЗЧ Брагина [1] прошло незамеченным. Тем не менее, это направление радиолюбительских

разработок до сих пор живет. Рассмотрим некоторые из разработок в этой области.

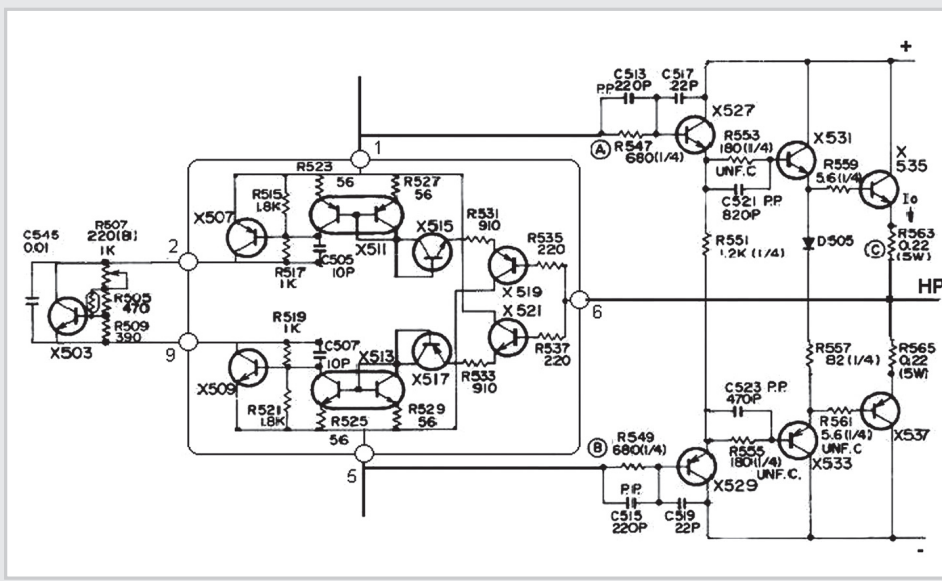
УМЗЧ проекта «Натали»

Все его построение [7] зиждется на базе усилителя Брагина. Режим «Super – A» как таковой отсутствует. Вместо него используется жесткая стабилизация остаточного тока покоя не активного плеча выходного каскада усилителя [11]. Полностью отследить историю создания данного аппарата не представляется возможным ввиду того, что разработчик проекта на текущий момент удалил практически все промежуточные схемотехнические решения. Сам проект «Натали» является явно коммерческим.

Случайно обнаруженные не окончательные варианты схем этого усилителя выглядят, тем не менее, на первый взгляд более привлекательными, чем некоторые последующие их версии, и вполне работоспособными. В них было использовано весьма оригинальное и интересное решение – оптронное управление коллекторными токами транзисторов выходного каскада, в последствии заме-

Многим, наверное, небезынтересным будет выяснить, а что же это такое, этот пресловутый режим «Super – A», давно запатентованный (патент US4274059) и используемый в усилителях производства JVC, и что он в итоге дает. В этом случае лучше всего будет обратиться к первоисточникам [2, 3], но в двух словах все выглядит следующим образом: введение в усилитель, работающий в режиме АВ или даже В, дополнительных цепей «слежения и управления» током покоя усилителя (см. **рисунок**), не дающим закрываться транзисторам неактивного плеча (естественно, имеется в виду двухтактный УМЗЧ), т.е. принудительно поддерживается незначительный остаточный сквозной ток выходного каскада. Форма изменения этого тока тоже должна иметь определенный вид и быть согласована с током покоя усилителя, что необходимо для последующего максимально правильного совмещения обеих полу- волн сигнала. Что это дает? В первую очередь, резко ограничивается спектр гармоник на выходе УМЗЧ. Вместо привычных двадцати пяти и более гармоник, останутся, к примеру, только от четырех до пяти, и величина их будут ниже, чем в прототипе класса АВ [2]. Но даже при одинаковом КНИ, усилитель с ограниченным спектром гармоник, естественно, будет звучать лучше. В качестве дополнительного бонуса

будет пресечена попытка «проглотить» часть полезного сигнала малого уровня процессами переключения плеч усилителя. Также отсутствует разрыв слежения петли общей ООС УМЗЧ, вызывающий динамические искажения. В результате получим четкость и детальность звуковой картины на уровне добротных усилителей, работающих в чистом классе А, при сохранении КПД, характерного для усилителей класса АВ. Такой режим еще называют «экономичным классом А», хотя у данного русскоязычного названия могут присутствовать еще и другие интерпретации. Первоначально название «Super – A» не более чем маркетинговый ход, который просто означает, что в данном усилителе применены определенные схемотехнические решения, реализующие описанные выше преимущества в сравнении с обычным стандартным исполнением двухтактного УМЗЧ.





щенное относительно тривиальным, но более бы-
стродействующим вариантом.

В настоящее время присутствует несколько
версий этого усилителя, в основном отличающих-
ся максимальной выходной мощностью. Позици-
онируются данные версии как Home и Pro. Повто-

строительстве и доводке данного усилителя. В ре-
зультате коллективных стараний появилась на свет
относительно интересная версия этого усилителя
под номером 6 («Лайков v.6», см. **рис.2**), назна-
ченная автором в последствии «базовой». До этого ба-
зовой значилась исходная версия усилителя.

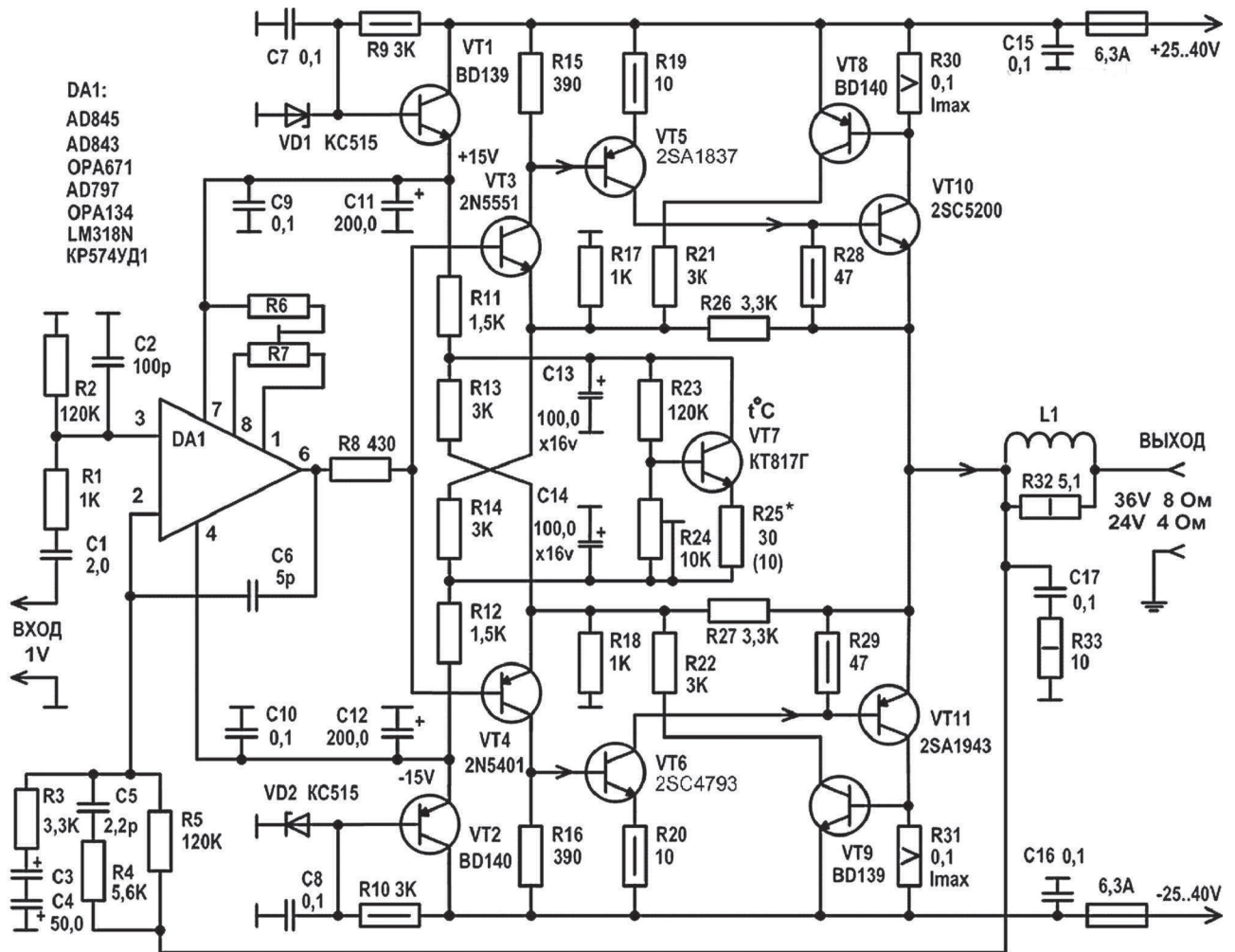


Рис.2

рять или не повторять этот УМЗЧ – это личное дело
каждого, но надо учитывать, что в настоящее время
ведется разработка очередной версии этого
УМЗЧ с существенно сниженным коэффициентом
нелинейных искажений (КНИ).

УМЗЧ Лайкова

Происхождение его [8] легко узнаваемо и
представляет собой не совсем удачный симбиоз
из входных цепей усилителя Брагина и оконечно-
го каскада, заимствованного у усилителя В. Жба-
нова образца 1983 г. [9]. Исходная версия усилителя
Лайкова абсолютно неинтересна и провоцирует
эффект неприятия специалистами, с чем автор
сразу же и столкнулся, только попытавшись опу-
бликовать свою разработку в одном из журналов ра-
диотехнического направления.

Тем не менее, находятся люди, весьма далекие
от знания удачных схемотехнических решений
1980-х годов, которые готовы поучаствовать в

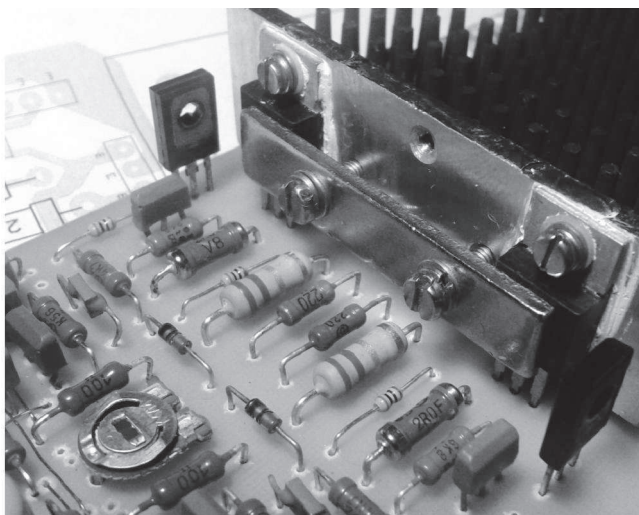
Режим «Super – А» отсутствует. Используется
простое решение, известное в прошлом веке как
«усилитель с компенсацией нелинейности ампли-
тудной характеристики» [10].

Показательно, что номиналы элементов кор-
ректирующих цепей разных версий усилителей по-
вторяются один в один и исходно использованы в
УМЗЧ Брагина. Эти УМЗЧ уже давно разные по
схемотехнике, а цепи коррекции у них одинаковы.
Возникает закономерный вопрос, адресованный к
разработчику: «а умеет ли он самостоятельно
корректировать усилители?». Усилитель Лайкова
подкупает своей простотой и неплохими заявлен-
ными характеристиками.

УМЗЧ Брагина

В нём [1] использует режим, очень близкий по
характеру и форме коллекторных токов к исходно-
му «Super – А», однако схемотехническое решение
узла управления базируется не на разработке ин-

женеров JVC, а на базе промелькнувшего в журнале «Wireless World» в 1987 году [11] схемотехнического решения стабилизации тока покоя транзисторов оконечного каскада усилителя. Дополнительно было введено слежение за выходным напряжением усилителя, что позволило превратить эти цепи стабилизации в цепи управления, практически полностью повторяющие результат работы цепей, формирующих режим «Super – A» в усилителях марки JVC.



Такое интересное и лаконичное решение, в совокупности с грамотно выполненной стыковкой транзисторной части усилителя с ОУ, использованном во входных цепях (прототипом данного решения для Брагина является усилитель 1970-х годов производства компании Tesla [12]), обеспечивает очень высокие характеристики УМЗЧ в целом.

УМЗЧ Митрофанова

Одна [2] из первых реализаций попыток повторить принцип, заложенный в усилителях, использующих, так называемый, режим «Super – A», простыми и доступными средствами. Усилитель можно характеризовать как «условно работоспособный», хотя для своего времени (1986 г.) он был не так уж и плох. Основной проблемой была невысокая стабильность параметров и недостаточная устойчивость усилителя, вынуждающая применять в нем исключительно низкоскоростные ОУ (хотя автор в этом и не признается, оправдывая свое неудачное решение другими причинами), что не способствовало достижению достаточно хороших характеристик УМЗЧ в целом. Следующей проблемой была сильная зависимость работы цепей управления коллекторными токами выходных транзисторов от сопротивления нагрузки, т.е. их поведение на активной нагрузке нормально и предсказуемо, а на реальной нагрузке (акустических системах) уже отлаженные цепи управления зачастую полностью теряли свою работоспособность, произвольно переводя усилитель в режим, близкий к стандартному АВ. К повторению не рекомендуется, хотя с теоретическим его обоснова-

нием и схемотехническими решениями ознакомиться все же следует.

УМЗЧ JVC A-X 50

Три из четырех перечисленных УМЗЧ были построены в железе, отлажены и испытаны. Во всех случаях, для определения действительного уровня качества УМЗЧ дополнительно производилось контрольное сравнительное прослушивание.

В качестве эталонного усилителя был выбран JVC A-X 50, входивший в линейку усилителей, разработанных в 1982 г., которые используют режим работы УМЗЧ «Super – A».



Усилитель обладает весьма высокими заявленными параметрами и радует неожиданно хорошим звучанием. Это усилитель на самом деле очень высокого класса. К сожалению, в более поздних линейках УМЗЧ JVC разработчики стали применять электронные коммутаторы входов (например, в популярном УМЗЧ АХ-400), что привело к заметной деградации звука.

(Продолжение следует)

Литература и полезные ссылки:

1. Брагин Г. Усилитель мощности ЗЧ // Радио. – 1990. – №12. – С.63.
2. Митрофанов Ю. Экономичный режим А в усилителе мощности // Радио. – 1986. – №5. – С.40–43.
3. Kondo Hikaru. Nuevo concepto en amplificadores de potencia para audio si sterna «super A» de JVC // Mundo electronico. – 1980. – №102. – P.75–81.
4. <http://forum.vegalab.ru/showthread.php?t=61611&p=1704685&viewfull=1#post1704685>
5. Сухов Н. К вопросу об оценке линейных искажений УМЗЧ // Радио. – 1989. – №5. – С.54.
6. <http://premium-a-class.ru/content/view/12/15/>
7. Усилитель мощности «Натали»: <http://forum.cxem.net/index.php?showforum=95>
8. Усилитель А. Лайкова: <http://cxem.net/sound/amps/amp147.php>
9. Жбанов В. Высоколинейный термостабильный усилитель НЧ // Радио. – 1983. – №10. – С.44–46.
10. Король В. УМЗЧ с компенсацией нелинейности амплитудной характеристики // Радио. – 1989. – №12. – С.52.
11. «Add-on current dumpig», Electronics & Wireless World, October, 1985, p.40.
12. Левинзон Г.Л., Логинов А.В. Высококачественный усилитель низкой частоты. – М.: Энергия, 1977. – С.61.





Бюджетные усилители «Super – А» класса с выходным каскадом на биполярных транзисторах

Алексей Ковальский, г. Киев

(Продолжение. Начало см. в РА 1/2016)

Схема УМЗЧ JVC A-X 50 показана на **рис.3**. Она характерна для зарубежных усилителей конца 1970-х, начала 1980-х. Исключением является применение специализированной ИМС типа VC5022, обеспечивающей работу УМЗЧ в режиме «Super – А» (**рис.4**). В предыдущей линейке этих усилителей вместо ИМС использовался целый набор дискретных элементов, что заметно усложняло весь усилитель в целом. Обращает на себя внимание интегратор (IC361), выполненный на ОУ, в то время встречающийся сравнительно редко.

Основные характеристики полного усилителя
 Номинальная выходная мощность..... 65x2 Вт на нагрузке 8 Ом
 Полоса пропускания по уровню –3 дБ от 3 Гц до 200 кГц
 Суммарный коэффициент гармоник при номинальной выходной мощности:
 в полосе частот 20 Гц–20 кГц, не более...0,007%
 на частоте 1 кГц, не более.....0,001%
 Демпфирующий фактор75
 Входная чувствительность 0,2 мВ (МС), 2,5 мВ (ММ), 150 мВ (line)
 Отношение сигнал/шум 68 дБ (МС), 87 дБ (ММ), 108 дБ (line)
 Выход на устройство магнитной записи...150 мВ (line)
 Габариты.....435x117x365 мм
 Масса8,6 кг
 Год выпуска1982

Методика проведения сравнительного прослушивания УМЗЧ

Она мало чем отличается от обычного прослушивания УМЗЧ. Один источник сигнала, один и тот же комплект акустики и даже один и тот же стабилизированный источник питания, используемый для всех, естественно, кроме JVC, по очереди прослушиваемых УМЗЧ. Мгновенное переключение испытуемых устройств, соответственно, отсутствовало, но в данном случае оно и не требовалось, так как разница в звучании усилителей легко и уверенно фиксировалась всеми присутствующими. В качестве источника сигнала был использован аудиоинтерфейс профессионального уровня, обеспечивающий КНИ в режиме «external loop-back» (line-out – line-in) на уровне 0,0005% (0,0006% при 16-битном разрешении сигнала, т.е. при воспроизведении стандартного CD формата).



В качестве испытательного материала использовались CD диски, файлы формата .flac, в том числе и студийные оцифровки (так называемые, «мастер-копии»), выполненные с высоким разрешением (24 бит / 96 кГц), разных жанров музыки. Надо отметить особо, что не все, что записано с высоким разрешением, звучит хорошо. И нельзя путать результат оцифровки сигнала, получаемого с помощью студийного аппарата магнитной записи звука, на котором воспроизводится оригинал студийной же фонограммы, с присутствующими в большом количестве (на разных сайтах, посвященных музыке) результатами творчества энтузиастов оцифровки дисков формата LP.

Результаты такого творчества звучат весьма скверно и в лучшем случае содержат очень достоверный образ конкретного проигрывателя LP дисков совместно с образом конкретного диска, использованных при оцифровке. Идеально фиксируются все вносимые такой связкой искажения, начиная от рокота самого проигрывателя, тресков, щелчков, вплоть до характерного поведения иглы при следовании по звуковой дорожке диска, что особенно заметно на участках, содержащих высокий уровень ВЧ составляющих. Любые попытки «улучшения» полученного таким путем «неудовлетворительного результата», производимые путем программной обработки фонограммы, приводят исключительно к значительной деградации исходного звукового образа, и итоговый результат такого действия сравним разве что с фонограммами, побывавшими на компакт-кассете и затем конвертированными в формат mp3. Тем не менее, весь этот хлам хранится и распространяется в форматах вплоть до 24 бит / 192 кГц. И пока не ясно, до каких пор все это безобразие будет продолжаться.



Испытания усилителя Лайкова версия 5.1

После прочтения целой серии восторженных отзывов о «непревзойденном звучании» возникло

■ VC5022 [X, Y] (IC751, IC752): Super-A

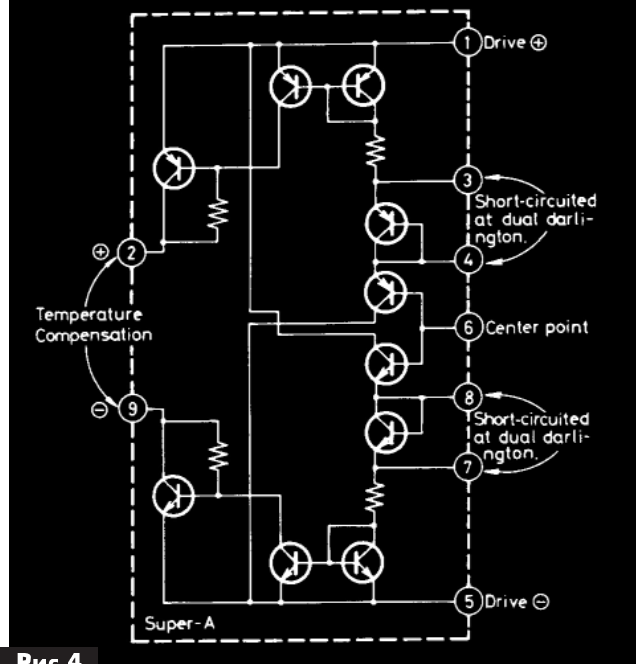


Рис.4

желание проверить концепцию и провести сравнительные испытания с уже присутствующими «в хозяйстве» прототипами данной конструкции. Для испытаний был выбран усилитель версии 5.1 (рис.5) как самый малогабаритный. К тому же в процессе выбора уже наметился вариант его последующего практического применения.

Усилитель очень простой. Вся его сборка, с учетом времени необходимого для изготовления печатной платы, занимает часов десять. Фактически вроде бы имеем «конструкцию выходного дня». Затраты на приобретение деталей, требующихся для сборки собственно УМЗЧ, находятся в пределах 10 USD.

Стартует усилитель, собранный из исправных деталей и без ошибок монтажа, практически сразу. Но вот тут начинают всплывать «ржавые подводные мины», «предусмотрительно» заложенные в конструкцию самим разработчиком. Одна из самых первых намечается еще до начала сборки УМЗЧ: на авторской схеме присутствует список рекомендованных для использования в усилителе ОУ. Бросается в глаза уже то, что цоколевка одного из них не соответствует разводке печатной платы и даже самой схеме. Причем упоминание об этом факте у автора вообще отсутствует.

Вторая имеет следующий вид: автор даже не удосужился сам собрать и проверить то, что «изобразил на бумаге». Судя по номиналам резисторов R9 и R10 можно смело утверждать, что автором в лучшем случае был проверен и испытан только один канал, о чем, кстати, становится достоверно известно страниц эдак через двадцать-

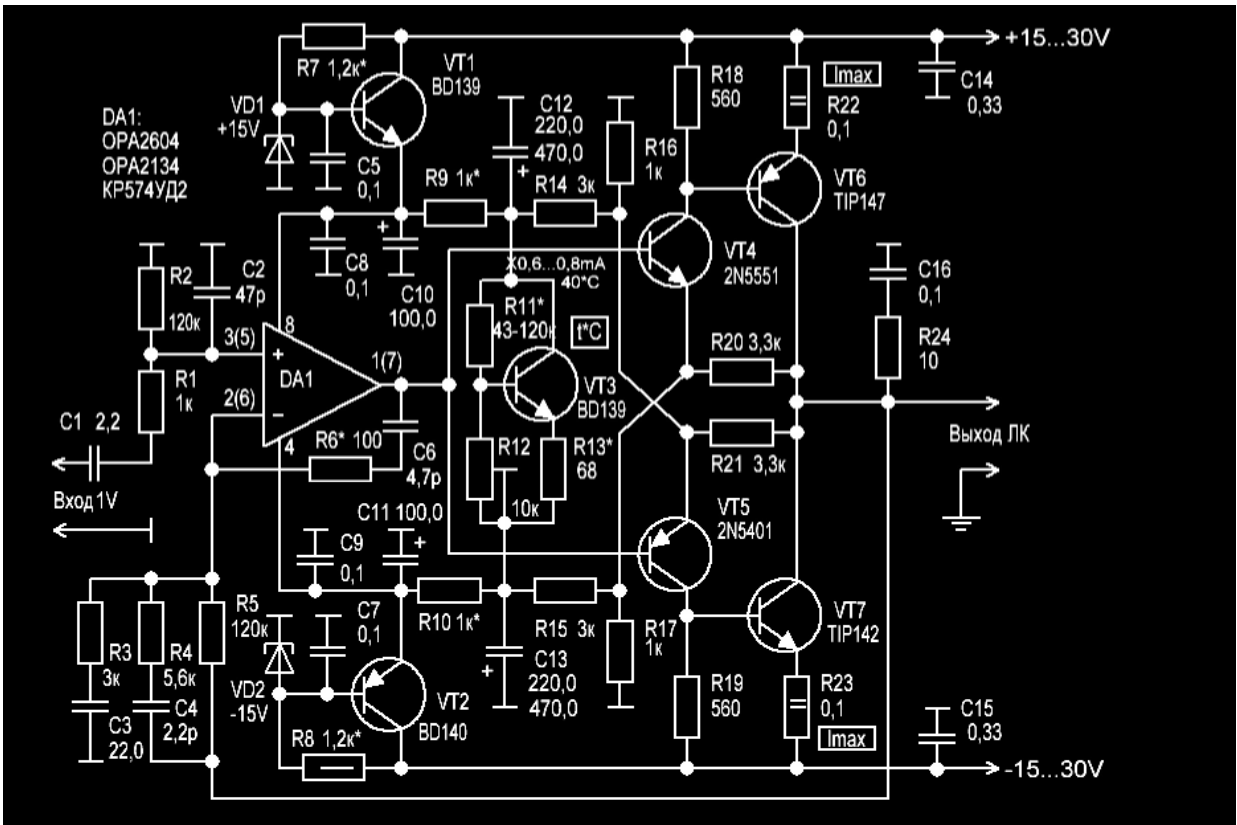
тридцать разнообразных форумных сообщений [13]. Ладно, проехали. Меняем пару резисторов и... вместо «ключика в кармане» имеем в наличии абсолютно неработоспособный узел температурной компенсации. Красивые картинки, описывающие работу данного узла, приводимые автором в описании своей конструкции [7], взяты в лучшем случае с потолка, так как абсолютно не соответствуют его реально наблюдаемому поведению. Сам УМЗЧ в итоге уходит в саморазогрев и все... дальше в том же духе можно исписать страниц двадцать.

Следует особо отметить следующее: после установки тока покоя (ТП) уже относительно отлаженного усилителя по рекомендованной автором методике все вроде бы и выглядит неплохо. Однако при повторном включении, на полностью остывших радиаторах, УМЗЧ стартует с ТП равным 7 мА и на рабочий режим самостоятельно выйти вообще не в состоянии. ТП УМЗЧ через час работы достигает аж целых 25...40 мА. Принудительная работа с большим уровнем выходного сигнала, правда, может прогреть усилитель до требуемого состояния (температура радиатора более 33°C), но это же «не серьезно». Вывод: автор по характерным допускаемым им ошибкам очень похож на Митрофанова, исходный лимит доверия к которому был полностью подорван благодаря его «феномену транзисторного звучания» [14].

Тем не менее, звучит усилитель Лайкова очень неплохо (измеренный КНИ на 1 кГц составляет 0,004%), что и заставляет искать решение для устранения обнаруженных его недостатков. Довести усилитель до относительно работоспособного состояния в итоге удалось, заменив резисторы R9 и R10 источниками тока, выполненными на подобранной паре полевых транзисторов типа КП303Е, начальный ток стока которых должен находиться в пределах 6,4...6,6 мА. Эти транзисторы оснащены небольшими трубчатыми радиаторами (рис.6) для устранения произвольного изменения ТП усилителя, вызванного их разогревом.

Применение источников тока кроме того, что позволило усилителю выходить на нормальный рабочий режим самостоятельно (примерно в течение минуты), заодно и заметно улучшило его звучание. Сцена стала четче, а ВЧ легче. КНИ усилителя упал почти в два раза. Судя по всему, в версии 7 усилителя [13] наблюдается схожий результат.

Оптимальный ТП для построенного варианта усилителя составил около 180 мА. Отличия в конечной схеме относительно авторской, помимо примененных источников тока, следующие: цепь R4C4 и резистор R6 отсутствуют, C3 – неполярный, имеет емкость 47 мкФ, R13 – 10 Ом, в качестве VT3 вместо BD139 был применен «случайно обнаруженный в столе» KT817B с $h_{21\beta}$ около 300. На самом деле, в случае использования источников тока, в УМЗЧ уверенно работает любой транзистор указанного типа. R7 и R8 выбираются в зависимо-



Правый канал: R14.1 и R15.1 подключается к C12/C13. Базы - к выводу 7 DA1.

R12 регулирует ток покоя в обоих каналах одновременно.

При сильном разбалансе токов покоя ЛК и ПК можно увеличить ток покоя одного из каналов, подключив резистор 80...100 кОм между коллекторами VT4/VT5.

R9/R10 подбирается диапазон регулировки тока покоя.

Рис.5

сти от напряжения источника питания, и при ± 25 В их номинал равен 1 кОм. Выходная мощность усилителя при таком напряжении источника питания составляет 30 Вт на нагрузке 8 Ом.

Остальная настройка УМЗЧ, кроме особо выделенных моментов, ничем не отличается как от общепринятой, так и авторской, описывать которые в пределах данной статьи не имеет смысла. Для справки: данный УМЗЧ был повторен еще одним меломаном, который, следуя приведенным выше рекомендациям, справился с запуском и настройкой УМЗЧ в течение нескольких часов. В принципе, при возникновении затруднений, можно использовать методику, описанную в [8], а в особо сложных ситуациях и задать вопрос в [13].

Разводку плату УМЗЧ Лайкова версии 5.1 можно запросить в редакции журнала по e-mail: electric@sea.com.ua.

Сравнительное прослушивание показало, что усилителю Лайкова с его «непревзойденным звучанием» до реально демонстрируемого звучания стандартного усилителя JVC A-X 50 очень далеко. Автор конструкции, тем не менее, пытается убеждать своих последователей в том, что его усилитель очень близок по звучанию именно к этому УМЗЧ. Возможно, применение топовых ОУ от Analog Devices и способно заметно улучшить характеристики его усилителя но, во-первых, не до

такой же степени, а во-вторых, вместо нескольких пар таких ОУ в настоящее время дешевле будет



Рис.6

приобрести уже готовый промышленный усилитель типа JVC A-X 50.

(Продолжение следует)

Литература и полезные ссылки:

13. Тема с обсуждением усилителя Лайкова: <http://forum.cxem.net/index.php?showtopic=36237&st=0>

14. Пикерсгиль А., Беспалов И. Феномен «транзисторного» звучания // Радио. – 1981. – №12. – С.36–38.



Бюджетные усилители «Super – А» класса с выходным каскадом на биполярных транзисторах

Алексей Ковальский, г. Киев

(Окончание. Начало см. в РА 1, РА 2/2016)

Испытания усилителя Брагина

Двухканальный экземпляр этого УМЗЧ был полностью собран с использованием комплектующих производства СССР, за исключением конденсаторов фильтра питания большой емкости и ОУ. К видимым недостаткам можно отнести относительно высокие требования к подбору активных компонент УМЗЧ. Стандартного подбора транзисторов в пары недостаточно, следует их подбирать еще и по падению напряжения на открытом базовом переходе. Бездумная замена типов транзисторов также не приветствуется. В усилителе не предусмотрена оперативная регулировка даже ТП. Единственный подстроечный резистор служит исключительно для компенсации разброса номиналов резисторов, определяющих коэффициент усиления плеч транзисторной части усилителя. Его эффективность в самом лучшем случае составит менее 10%.

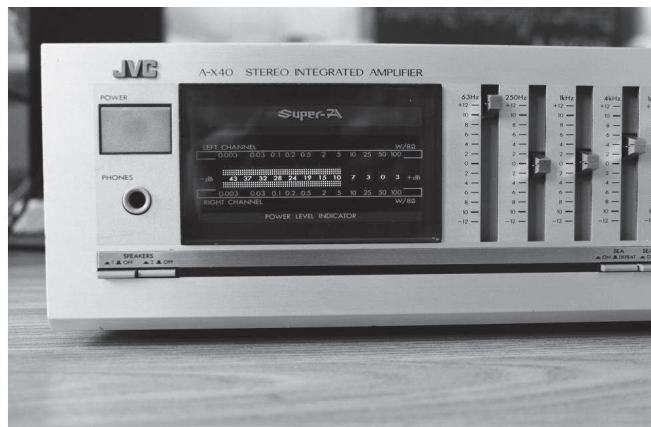
После замены штатного ОУ на распространенный, и главное проверенный, ОРА134, схема подверглась еще и незначительным изменениям:

Во-первых, были сняты все цепи коррекции УМЗЧ, предусмотренные автором. При правильном конструктивном исполнении, для обеспечения устойчивой работы усилителя достаточно емкости в 2,2 пФ, подключенной между выходом ОУ и его инверсным входом. Это, естественно, ее минимальное значение. Оптимальное значение этой емкости подбирается в процессе испытаний УМЗЧ сигналом прямоугольной формы и находится в пределах 4,7...10 пФ.

Во-вторых, в целях улучшения звучания и повышения надежности были изменены номиналы отдельных резисторов.

В-третьих, вместо диодов КД105, провоцировавших самовозбуждение усилителя при больших амплитудах выходного сигнала, были использованы базовые переходы транзисторов малой мощности, закрепленных непосредственно на радиаторах выходных транзисторов (рис.7). В идеале должны получиться токовые зеркала, но в самом простейшем случае их можно подключить даже параллельно диодам. Эта мера заодно позволяет жестко стабилизировать ТП усилителя.

В данном случае ТП при холодном старте составляет 165 мА, а в диапазоне рабочих температур УМЗЧ, будет стабильно держаться на уровне 170 мА.



Доработанная схема усилителя показана на рис.8. Типичная форма коллекторного тока одного из плеч усилителя показана на рис.9.

Усилитель, при напряжении источника питания равному ± 25 В, обеспечивает выходную мощность 26 Вт на нагрузке 8 Ом.

Звучание данного экземпляра усилителя превосходит звучание этого же УМЗЧ в стандартном исполнении и, как ни странно, даже слегка превосходит «эталонное звучание», демонстрируемое JVC A-X 50 (и это при использовании транзисторов производства СССР), что хорошо заметно благодаря очень четкой прорисовке пространственной

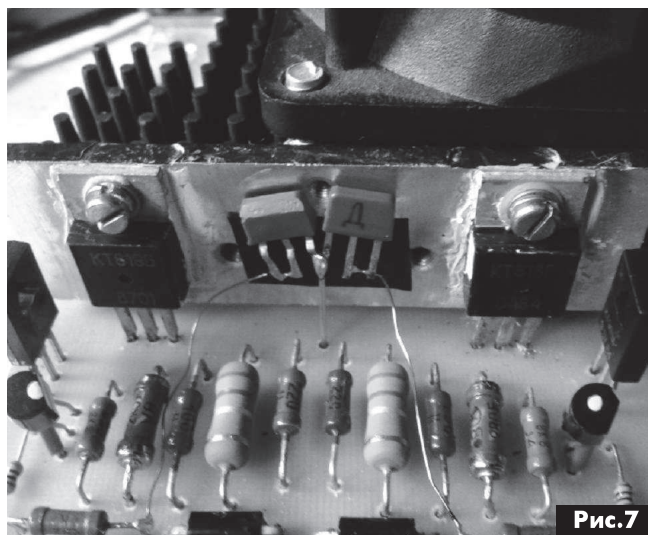


Рис.7

локализации кажущихся источников звука (так называемой, сцене) и детальности. Примечательно, что все преимущества данного усилителя можно легко «устранить» всего лишь неправильным подбором межблочных соединительных кабелей. Т.е. можно найти такой «межблочник», при использовании которого звучание этого УМЗЧ будет

абсолютно неотличимо от эталона. Естественно, надо использовать самый лучший из имеющихся в распоряжении кабель.

Настройку УМЗЧ удобнее производить следующим образом. В самом начале не устанавливаются цепи, формирующие режим «Super – А». Далее

Испытания усилителя Митрофанова

Полностью выполнен на деталях производства СССР. Год изготовления приблизительно 1987. В корпус оформлен не был (рис.11), так как в свое время был забракован как недостаточно стабильный. В усилителе применен низкоскоростной

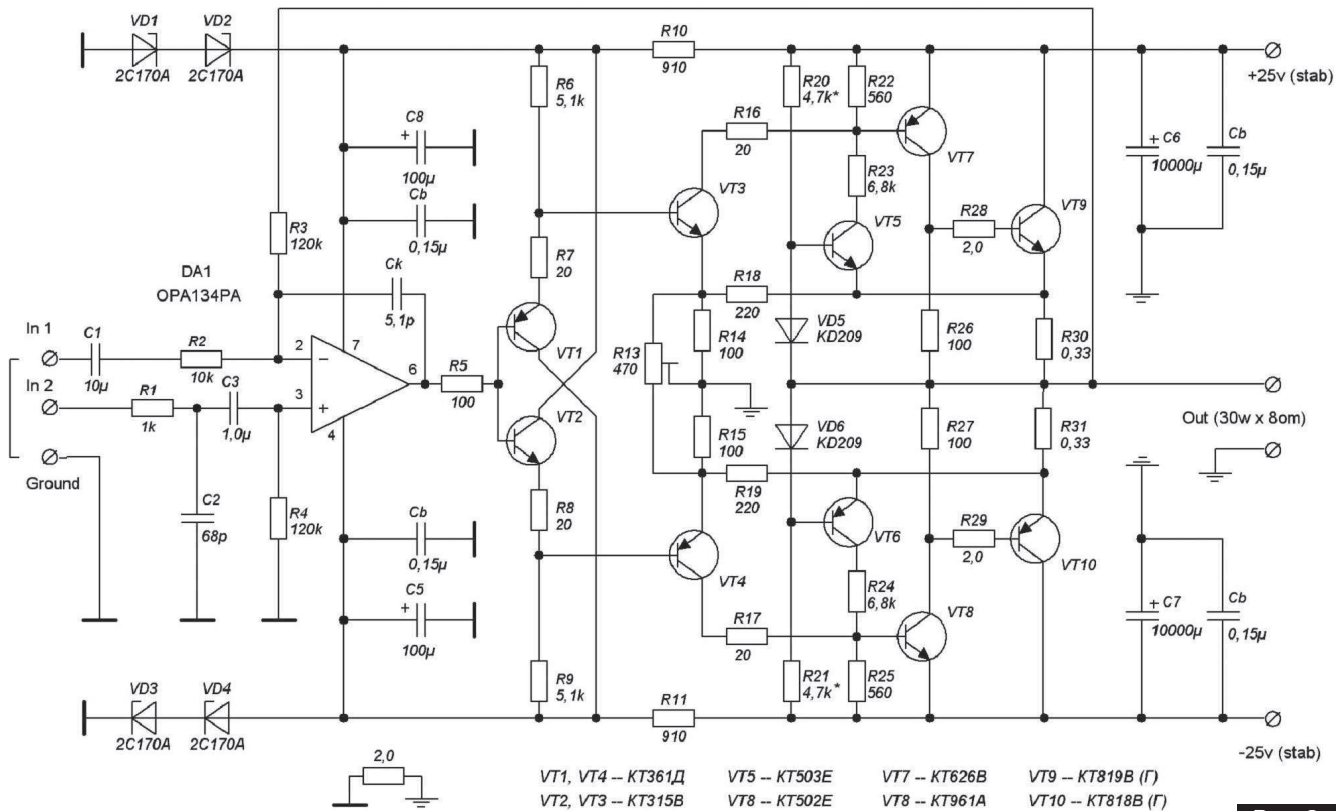


Рис.8

подбором резисторов R8 и R7 устанавливается ТП в диапазоне 10...30 мА. После подключения цепей формирования режима «Super – А», ТП должен вырасти до 170 мА. Конечное его значение корректируется подбором резисторов R20 и R21, причем сильно изменять их номинал не следует (допустимо не более 30% в сторону уменьшения). В случае недостаточного диапазона регулировки следует заменить соответствующие активные элементы, задействованные в цепях формирования режима (в первую очередь элементы источников опорного напряжения) и производить подбор номинала этих резисторов заново. Этими же резисторами производится окончательное выравнивание ТП обоих плеч усилителя. Подробнее с процессом настройки и нюансами работы этого усилителя можно ознакомиться в [1].

Попытки измерить КНИ усилителя доступными средствами (программы типа RMAA, SpectraLab и упоминаемый ранее аудиоинтерфейс) с треском провалились. Т.е. шумовая полка при подключении усилителя исправно подскакивала, а амплитуды и спектр гармоник УМЗЧ ничем не отличались от демонстрируемых самим аудиоинтерфейсом. В то же время замеры КНИ УМЗЧ Лайкова производились легко и непринужденно (рис.10).

стой ОУ 544УД1 (скорость нарастания выходного напряжения 5 В/мкс). По этой причине КНИ великоват и достигает 0,012% на частоте 20 кГц, правда, при выходной мощности, близкой к своему максимальному значению 30 Вт, на нагрузке 8 Ом.

Звучание этого УМЗЧ равноценно звучанию,

демонстрируемому экземпляром усилителя Лайкова, описанному выше, что даже с учетом указанных ранее недостатков самого УМЗЧ Митрофанова демонстрирует практически полную бессмысленность перехода на свежеразработанные «хваленные конструкции» типа Лайков v.6. Гораздо целесообразнее было бы заниматься доводкой этого УМЗЧ, а не изготовлением и последующей доводкой усилителя Лайкова. Но интерес к последнему все-таки поборол и УМЗЧ Лайкова был собран и настроен.

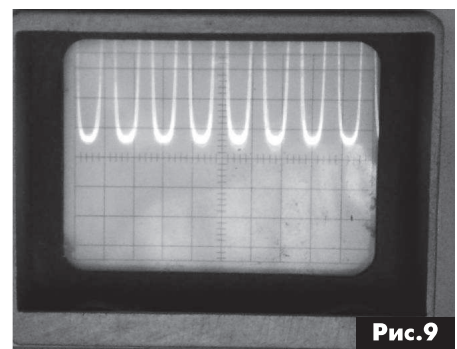


Рис.9



Тут можно и нужно отметить еще одну особенность усилителя Лайкова. Сам автор неоднократно упоминает о явлении, так называемых,

тально потому, что при сравнительных испытаниях использовались АС с полным характеристическим сопротивлением 8 Ом, обычно эксплуатируемые совместно с усилителем JVC и фактически только к нему и привязанные.

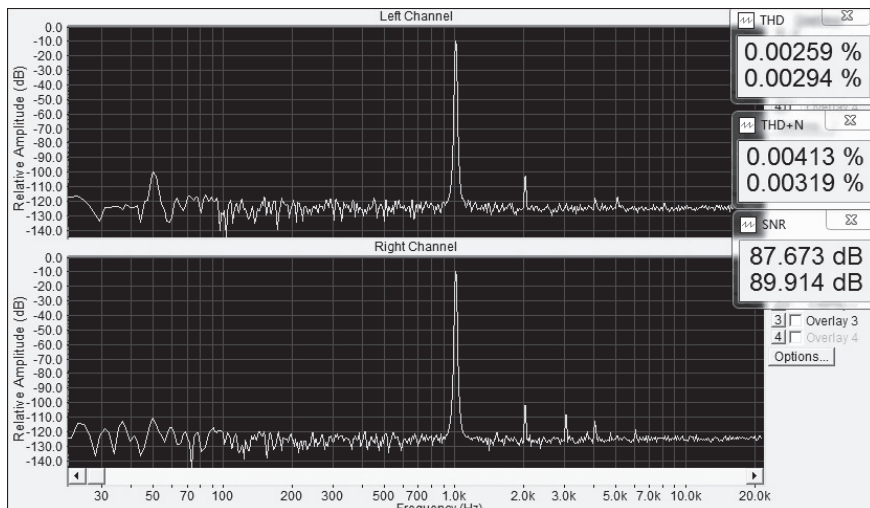


Рис. 10

«жареных переходов» (перегретых) выходных транзисторов УМЗЧ, сильно «ухудшающих звук». Ссылается он при этом на впервые им отмеченный и услышанный такой эффект при работе с усилителем Брагина. Справедливости ради надо сказать, что в правильно спроектированном и построенном усилителе такое явление в принципе не должно присутствовать. Автором этих строк при работе с усилителем Брагина, да и с другими усилителями, такого эффекта замечено не было, но зато он в полной мере характерен именно для усилителя разработки Лайкова. Обнаружить его легко при следующих условиях: когда транзистор узла термостабилизации УМЗЧ находится на грани открытия (штатный режим работы УМЗЧ, при ТП=180 мА), звук нормален. При сильном открытии указанного транзистора, вызванного значительным нагревом радиатора (или даже при холодном радиаторе, достаточно принудительно увеличить протекающий через транзистор ток в два-три раза), наблюдается весь букет описываемых А. Лайковым явлений деградации звука. Трудно сразу сказать, что происходит в данном случае на самом деле, но вывод однозначен – виноват именно узел термокомпенсации. Возможно, заодно с ним виноват еще и примененный автором способ регулирования, одновременно с ТП меняющий режим работы всех усилительных каскадов транзисторной части УМЗЧ.

Некоторые уточнения

Может возникнуть вопрос, почему у всех собранных автором статьи УМЗЧ напряжение питания составляет ± 25 В, а выходная мощность ограничена 30 Вт?

Во-первых, представленные усилители способны отдавать в нагрузку сопротивлением 4 Ом мощность 50...60 Вт. Значение 30 Вт указано исключи-

Во-вторых, выходные транзисторы представленных УМЗЧ выполнены в корпусах TO220, а для данного вида конструктивного исполнения отдаваемая в нагрузку усилителем мощность 60 Вт является предельной.

В-третьих, данные усилители планируется использовать в процессе прослушивания музыки, конечной целью которого является получение некоего эстетического удовлетворения, а отнюдь не достижение состояния полной потери слуха.

Выводы

1. УМЗЧ Митрофанова собирать не стоит, и автор статьи его не рекомендует.

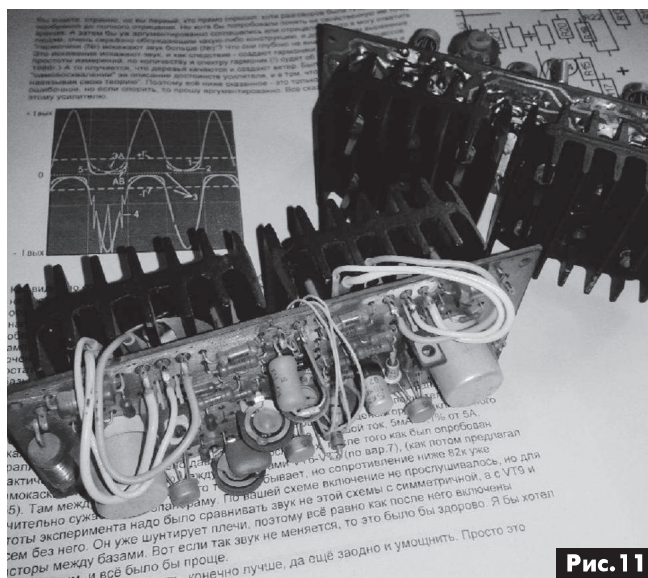


Рис. 11

2. УМЗЧ Брагина собирать можно. Но необходимо помнить, что хоть он сравнительно прост и звучит однозначно лучше всех рассмотренных, но требует кропотливой настройки. Точно настроить его, даже с учетом предварительного подбора комплектующих, весьма сложно. Плохо же отлаженный усилитель в процессе эксплуатации может оказаться недостаточно надежным. В перспективе присутствует мысль о дальнейшей его модернизации, целью которой будет являться снижение влияния на параметры УМЗЧ технологического разброса применяемых элементов и, возможно, также дополнительное снижение КНИ.

3. УМЗЧ Лайкова, при условии устранения грубых ошибок в авторской схеме и серии других просчетов, был бы очень интересным с точки зрения критерия «цена – качество – трудоемкость изготов-

ления». Весь бюджет проекта «получения весьма достойного звука» составит всего 40–50 USD, если в качестве конструктива усилителя использовать готовый, взятый от морально устаревшего аппарата. К примеру, если в качестве донора использовать усилитель «Radiotekhnika – 101» (рис. 12), цена которого на сегодняшний день составляет около 20 USD, то за эту цену получаем коробку, шасси, на котором присутствуют ручки, ножки, люминесцентный индикатор, радиатор достаточной площади, и уже установлены разъемы. Можно использовать даже штатный трансформатор источника питания и устройство защиты АС. Дополнительно приобретается только батарея конденсаторов (суммарная емкость составляет 20000 мкФ на плечо) и взамен штатного УМЗЧ монтируется плата с УМЗЧ Лайкова. В этом бюджете, правда, не рассмотрена стоимость замены предварительного усилителя «Radiotekhnika», эксплуатировать который совместно с УМЗЧ Лайкова крайне нежелательно. Дело в том, что УМЗЧ, начиная с некоего уровня, уже демонстрируемого УМЗЧ Лайкова, весьма требовательны к качеству источника сигнала. Усилитель Лайкова достаточно хорошо воспроизводит все огрехи как воспроизводимых им фонограмм, так и источника сигнала, с которым он эксплуатируется.

Именно благодаря этому УМЗЧ многие люди впервые начинают замечать дефекты фонограмм, получают возможность сравнивать качество записи компакт-дисков и т.д.

Вот что говорят об этом УМЗЧ участники его обсуждения [13]: «...сравнительные проверки мы с друзьями проводили для (распространенных самодельных УМЗЧ) Холтона, Ланзара, Оплеухи, LM3886 и Стоуна. Стоун после 2 мин сошёл с дистанции (причём я его «вылизывал»: форму сигнала и т.д.) у Оплеухи проблемы с ограничением полутона, звук неплохой, но чего-то вроде не хватает. Холтон звучит масштабно – он для дискотек, Ланзар (особенно с предварительным усилителем в А классе (нашёл где-то) звучит лучше всех, кроме ЛАЙКОВА. Лайков (РЕСПЕКТ автору) звучит пока лучше всех, слушали на разных композициях».

Уточним:

- УМЗЧ Холтона – это относительно простой мощный УМЗЧ (300-400 Вт) зарубежной разработки. Есть два варианта его исполнения: с выходным каскадом на полевых, и на биполярных транзисторах.

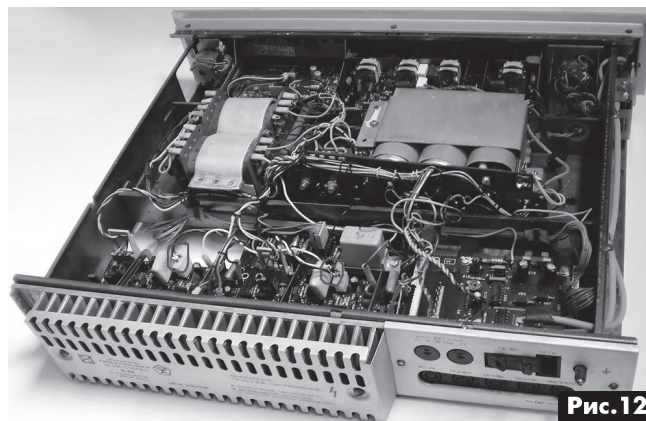
- УМЗЧ Ланзара – это полностью симметричный УМЗЧ, который напоминает известный УМЗЧ разработки Бать-Середа (см. «Радио» №6 1972 г. С.52), или скорее несколько упрощенный УМЗЧ Маршалла Лича (оригинал был в журнале «Аудио» за 1976 год).

- УМЗЧ Оплеухи – это полностью транзисторный УМЗЧ (без ИМС) который задумывался как альтернатива УМЗЧ выполненным на монолитных ИМС.

- УМЗЧ LM3886 – это одна из лучших ИМС монолитного УМЗЧ.

- УМЗЧ Стоуна – это УМЗЧ Стоункольд, являющийся прототипом для УМЗЧ разработки Гумели (см. «Радио» №9 1985 г.).

Хороших результатов можно достичь, используя обычный стационарный проигрыватель компакт-дисков, но для успешного раскрытия потенциала УМЗЧ Лайкова, необходим источник сигналов с качеством заметно более высоким, чем сам усилитель. Грубо говоря, КНИ источника сигналов должен быть хотя бы в 2 раза ниже искажений УМЗЧ, и в данном случае его значение составит величину порядка 0,001%.



В качестве источника сигнала удобно использовать компьютер, помня о том, что предъявляемым к источнику сигнала требованиям, абсолютно не соответствуют всевозможные встраиваемые в материнские платы звуковые карты, типичный КНИ которых составляет 0,0035% и более (до 0,012% на 1 кГц). Допустимой по параметрам звуковой картой можно считать Audigi SE, эксплуатируемой в наиболее благоприятном для нее режиме [15]. КНИ звуковой карты при этом составит 0,0012%. Это, скажем так, минимальный требуемый уровень.

От редакции. Складывается впечатление, что за последние 30 лет разработка транзисторных УМЗЧ с выходным каскадом на биполярных транзисторах шла как бы по кругу. Их разработчики боролись с какими-то им неизвестными искажениями. На самом деле они упускали из виду то, что надо бороться с уже известными искажениями в двухтактном выходном каскаде. При этом часть УМЗЧ их разработчики называют относящимися к классу «Super – А» совершенно не заслужено, за исключением УМЗЧ Брагина. В тоже время достаточно несложный УМЗЧ JVC A-X 50 демонстрирует качество звучания, превосходящие практически все популярные разработки любительских УМЗЧ.

В статье изложена личная точка зрения автора. Свои пожелания и отзывы направляйте на bellamore@i.ua.

Литература и полезные ссылки:

15. Организация качественного вывода звука на компьютере http://audiophilessoft.ru/publ/my/hq_pc_sound/11-1-0-24

