

## **«Шаг влево, шаг вправо...» или Рысь девятнадцатая, ламповая...**

*1957г., кабинет секретаря Горкома КПСС Н-ска  
Собеседование с пожилым коммунистом.*

*- Колебались ли Вы относительно генеральной  
линии партии?*

*- Никогда! Только вместе с линией...*

Разработка этого усилителя началась, по сути, более десятка лет назад, во времена пика моего увлечения электронными лампами, и при этом преследовала цель создания усилительного устройства, с одной стороны, весьма высокого качества, а, с другой – вносящего некоторую окраску в звук. Причем вполне определенного характера, каковым обладал звук ламповых приемников разработки середины 50-х годов прошлого века. Он уже был достаточно чистым и естественным, но, в то же время, обладал утраченной впоследствии (как в ламповых, так и в полупроводниковых устройствах) «бархатностью».

Опыт разработки и изготовления большого количества различных ламповых усилителей (одно- и двухтактных) с выходным каскадом, как на триодах, так и на экранированных лампах позволил сделать вывод, что для получения желаемого характера звучания наиболее подходящими кандидатами для выходного каскада являются лучевые тетроды и пентоды. При этом различные версии ультралинейного включения уже на начальном этапе разработки были признаны наименее подходящими и уступающими по субъективному восприятию звучания как триодным, так и тетродно – пентодным каскадам без мер дополнительной линеаризации. Объясняется это скорее всего тем, что любые ультралинейные схемы выходных каскадов с экранированными лампами при существенном уменьшении (в 2...5 раз) интегрального уровня нелинейных искажений, примерно во столько же, а то и больше, расширяют спектр продуктов искажений, а также обогащают многочастотный сигнал суммарно-разностными составляющими более высокого порядка. К примеру, в определенных условиях для одноконтурного каскада на EL34, включенной пентодом, суммарный коэффициент искажений составляет около 8...10%, при этом гармоники представлены в основном набором со второй по девятую, а интермоды двухчастотного сигнала – составляющими с первого по пятый порядок. Перевод же этого каскада в ультралинейный режим с отводом от 0.35w1 уменьшает коэффициент искажений до 2.5...3.5% при той же выходной мощности, но при этом гармоники представлены набором со второй по двадцатую, а интермоды двухчастотного сигнала – составляющими с первого по одиннадцатый порядок.

Поскольку я многие годы являюсь убежденным сторонником компрессионных акустических систем с низкой чувствительностью и высокой линейностью АЧХ, то немаловажным моментом при разработке лампового усилителя для таких АС является получение достаточной выходной мощности. За довольно продолжительное время работы с акустическими системами производства Dynaudio и ProAc я определил для себя минимальную мощность усилителей для работы с таковыми; для ламповых аппаратов она должна быть не менее 20...25 Вт, для полупроводниковых – не менее 45...50Вт. Выходную мощность более 25...30 Вт (при условии, что усилитель не будет являться единственным предметом интерьера четырнадцати -... шестнадцатиметровой комнаты, а для его охлаждения не потребуется небольшой завод по производству жидкого азота) удобно и логично получать от двухтактных каскадов. Искажения сигналов малых уровней, которые могут иметь место за счет свойств ферромагнитных материалов сердечников выходных трансформаторов, работающих без начального подмагничивания, легко устраняются введением небольшого разбаланса выходного каскада по постоянному току (достаточно 1...2% от тока покоя плеча). Искажения за счет начальной отсечки

анодного тока также легко устраняются выбором соответствующего режима работы выходного каскада (А или АВ) и выбором типа ламп (с удлиненной характеристикой, без ярко выраженной отсечки).

На сегодняшний день существует и доступен достаточно широкий ассортимент приемно-усилительных и маломощных генераторных лучевых тетродов и пентодов, пригодных для построения выходных каскадов усилителей мощностью 20...50 Вт. В частности, это 6L6 и ее разновидности (5881, 6L6G, 6L6GB, 6L6GC, 807 и др., в т.ч. отечественные аналоги), КТ66...КТ99, 6550 и ее версии, 6F6, EL12, EL31, EL34, EL37, EL81...84, генераторные LS50, 829, 832, 837, ГУ19, ГУ42, строчные телевизионные EL50х с аналогами и клонами и многие другие. Столь обширный выбор вариантов выходных ламп заставляет ввести дополнительные критерии отбора кандидатов. Во-первых, это нелинейность проходной характеристики. По изучении справочных данных на перечисленные и ряд других ламп, я отказался от применения генераторных ламп, предназначенных для работы в каскадах усилителей ВЧ в режимах В2 и С2, т.к. их проходные характеристики сильно нелинейны (типы 829, 832, 837, LS50, ГУ19, ГУ42 и подобные) и ламп для выходных каскадов строчной развертки (EL500...509 и их аналоги, 6П13, 6П31), ввиду больших рабочих токов, значительной нелинейности и большой мощности, потребляемой цепью накала, а также субъективно грубого звука каскадов на основе подобных приборов.

Таким образом, из всего многообразия пентодов и лучевых тетродов, которые могут быть использованы в выходных каскадах УЗЧ, реальных кандидатур, с учетом их доставаемости, остается примерно десяток – полтора. Эти приборы явственно разделяются на три группы, существенно отличающиеся между собой по свойствам:

1) 6L6 - подобные лучевые тетроды, как-то: 6L6, 6L6G (6П3С), 6L6GA, 6L6GB, 6L6GC, 6V6, 6V6-GT (6П6С), 5516, 5871, 5881 (6П3С-Е), 7868, 6П7С, 807 (Г807), КТ66. К этой же группе по своим свойствам тяготеют пентоды 6F6 (6Ф6С) и очень интересные пальчиковые лучевые тетроды (по непонятным причинам именуемые пентодами) 6П43П

2) EL12 – подобные пентоды: EL12, EL31, EL34, EL37, 6CA7 (6П27С), EL82 (6П18П), EL84 (6П14П), EL86 (6П33П); в какой-то мере сюда можно отнести и мощные пентоды для видеоусилителей 6AG7 (6П9), EL81, 6П15П и аналогичные.

3) Выходные пентоды и лучевые тетроды с повышенной мощностью рассеяния анода, многие типы оптимизированы для работы в ультралинейном включении. К этой группе можно отнести лампы типа 6550, 6550В, 6550С (6П46С), 7027, EL151, EL152, КТ77, КТ88, КТ90, КТ99.

Хотя лампы внутри каждой из указанных групп могут существенно отличаться по параметрам предельных режимов, им свойственна схожесть нормированных выходных и проходных характеристик, спектров продуктов искажений и в значительной степени характера звучания. Последнее утверждение не означает, что лампы внутри одной группы звучат одинаково, просто различия в звучании между приборами одной группы заметно меньше, чем между приборами из разных групп.

Лампы из группы №2, на мой слух, наименее предпочтительны, при всех своих достоинствах, таких, как надежность, высокая чувствительность по управляющей сетке, не очень большие искажения, их «рыхлое» и «несобранное» звучание явно не относится к сильным сторонам этих приборов. Проходная характеристика большинства ламп данной группы имеет явно выраженную S – образность, что, в свою очередь, определяет преобладание нечетных гармоник в спектре искажений. В трактах среднего и низкого уровня такой звук может быть воспринят, как мягкость и глубина, но при работе с акустикой и источниками высокого разрешения такой звук уже не может быть признан

удовлетворительным. Часто характер звучания называют «ЕЛовым» или «ЕЛковым», подчеркивая специфичность такого звука для ламп EL34, 37, 84. В наименьшей степени таким обладают мощные пентоды видеоусилителей 6AG7.

Тетроды и пентоды группы №3 в основном являются порождением времен заката ламповой эры, они разрабатывались в 50...60 – е годы прошлого века, к этому времени выходные каскады строились, как правило, по ультралинейным (различных видов) схемам, от них требовалось получение выходной мощности в 50...100 Вт при минимальном количестве ламп и достаточно низком интегральном уровне искажений, а субъективные свойства звучания и тонкий анализ искажений в таких каскадах стояли далеко не во главе угла. Звучание ламп этой группы отличается напористостью, некоторая грубость и агрессивность. Спектр искажений каскадов на таких лампах широкий, слабоспадающий, во многом напоминает спектр искажений полупроводниковых усилителей. Явного превалирования нечетных гармоник нет, поскольку проходная характеристика, хотя и S-образна, но верхний загиб выражен слабо. В разных случаях и в разных трактах такие свойства могут восприниматься по-разному, в частности, усилители с выходным каскадом на рассматриваемых приборах довольно хорошо сочетаются с акустическими системами KEF моделей 70-х...80-х годов. В наибольшей степени указанные свойства проявляются у ламп 6550, в наименьшей – у ламп KT88.

Группа №1 представлена, в основном, версиями родоначальника лучевых тетродов, 6L6, разработанного в 1936 г. инженером фирмы RCA О. Н. Schade [1]. Лампа, по совокупности свойств, оказалась настолько удачной, что серийно (!) выпускается как в виде близких к оригинальной конструкции версий, так и в виде модификаций уже в течение 70 лет. За это время было выпущено более миллиарда экземпляров 6L6 и ее клонов. Ни одна другая выходная электронная лампа в мире не производилась в массовых количествах столь длительный срок. В чем же причина столь долгой и успешной жизни этой лампы? Внимательное изучение материала «Beam Power Tubes» [2] позволяет частично ответить на этот вопрос. Во-первых, это уникальное сочетание электрических параметров. Лампа имеет достаточно большую мощность рассеяния анода (20Вт) и большой ток эмиссии (до 250...300 мА при положительном потенциале на управляющей сетке) при очень экономичной цепи накала (всего 5.7 Вт). То есть коэффициент термической эмиссионной эффективности (отношение допустимой мощности рассеяния анода совместно со второй сеткой к мощности, потребляемой цепью накала), составляющий  $E_{TE} = 3.86$  для оригинальной версии лампы, был и по сей день остается очень высоким для ламп косвенного накала. Более того, версия 6L6GC с увеличенной мощностью рассеяния на аноде и второй сетке, обладает величиной  $E_{TE} = 6.14$ , по сей день не превзойденной ни в одной из выходных приемно-усилительных ламп косвенного накала.

Проходная характеристика лампы имеет очень слабый верхний загиб, это определяет низкий уровень нечетных гармоник в спектре искажений каскадов на 6L6 (в режиме оптимальной нагрузки вторая гармоника примерно вчетверо выше третьей и в 12 раз выше пятой [2]). Это свойство делает 6L6 очень привлекательной для построения двухтактных усилителей, в которых происходит подавление четных гармоник. Кроме того, спектр гармоник 6L6 и ее версий быстро спадающий, в отличие от большинства других выходных пентодов и лучевых тетродов, это же определяет и низкий порядок комбинационных составляющих при усилении многочастотных сигналов [3].

Спустя несколько лет с момента начала производства 6L6 выяснилось, что прибор обладает хорошими высокочастотными свойствами и может быть использован для усиления и генерации сигналов на частотах до 100...150 МГц. Надежные конструкции управляющей и экранной сетки допускали значительные тепловые нагрузки и, соответственно, возможность работы в режимах С и ВС с токами управляющей сетки. Была разработана и специальная высокочастотная версия лампы, отличающаяся улучшенной изоляцией анода, его выводом наверх баллона и более глубоким вакуумом,

что позволило поднять рабочее напряжение на аноде до 600В. Эта версия получила статус генераторной лампы и собственное название – 807 [4].

Надежность 6L6 оказалась очень высокой, даже в режимах близким к предельным и в условиях механических воздействий лампы работали значительно дольше, чем их собратья-пентоды 6F6 и 837. Уже на 4-й год производства была освоена версия лампы с 3000- часовым

90% -м ресурсом, а впоследствии – и с 10000-часовым (5881). Довольно слабый микрофонный эффект сделал 6L6 чрезвычайно популярной лампой для усилителей электроакустических агрегатов, в которых громкоговоритель и усилитель располагались в одном корпусе. Нынешние представители таких устройств – гитарные усилители – «комбики» по сей день во многих случаях выполняются с применением в окончательном каскаде ламп 6L6 и их версий, их используют такие монстры промышленности музыкальных инструментов, как Fender и Gibson. Еще одна причина любви музыкантов к этой лампе – это возможность работы, как в линейном режиме, с очень низкими искажениями, так и в режиме перегрузки, «овердрайва», когда искажения резко растут, но сама перегрузка не представляет опасности для лампы.

Существует и «уменьшенная» версия 6L6, как бы ее половинка, - лучевой тетрод 6V6. Сохраняя многие положительные качества «старшей сестры», 6V6 при вдвое меньшей допустимой мощности рассеяния на аноде, обладает меньшими междуэлектродными емкостями и лучше работает в высокочастотных и импульсных устройствах, когда не требуется значительной отдаваемой мощности.

После Второй Мировой войны ряд фирм разработали модернизированные варианты 6L6, отличающиеся предельными параметрами, механическим исполнением и надежностью. Наиболее удачной из всех следует признать лампу 6L6GC (RCA, 1951 г.), полностью сохранившую все характеристики 6L6, в том числе и междуэлектродные емкости, но допускающую в полтора раза большую мощность рассеяния на аноде (30 Вт против 20 Вт у 6L6) и вдвое большую – на экранной сетке (5 Вт против 2.5 Вт).

Сеточные характеристики ламп 6L6 имеют значительный раскрыв (в чем-то схожи с удлиненными характеристиками пентодов для каскадов с регулируемым усилением) и отсечки анодного тока не происходит даже при значительных отрицательных потенциалах на управляющей сетке. Это означает, что в двухтактном каскаде не будет происходить резкой отсечки анодных токов плеч, что благоприятно для работы выходного трансформатора с точки зрения нелинейных искажений, обусловленных нестационарными процессами в выходном трансформаторе при наличии отсечки [5].

Лампы именно этого типа и было решено использовать в выходном каскаде усилителя. От пары 6L6GC можно свободно получить мощность до 45...50 Вт [6], не заходя в область токов управляющей сетки при напряжениях на аноде и экранной сетке существенно меньше, чем максимально допустимые. Номинальная выходная мощность в нагрузке выбрана равной 35 Вт, что, с учетом потерь в выходном трансформаторе, требует от каскада отдаваемой мощности 38...42 Вт. Смещение на сетки ламп выходного каскада лучше применять фиксированное. В этом случае для работы двухтактного каскада требуются два противофазных сигнала, одинаковых по амплитуде, которые формируются в фазоинверторном каскаде.

Из всего разнообразия фазоинверторных каскадов, на мой взгляд, наихудшими объективными параметрами и звучанием обладает двухкаскадная схема или т.н. фазоинвертор на лампе с общим катодом [3]. Плечи такого фазоинвертора отличаются низкой степенью симметрии на низких и высоких частотах, дополнительные фазовые сдвиги выходных сигналов, кроме требуемых  $180^\circ$ , приводящие к возникновению нелинейных и интермодуляционных искажений в выходном каскаде. Несколько исправляют положения автобалансные варианты такого каскада, но и при их применении затруднительно получить фазовые сдвиги относительно  $180^\circ$ , меньшие  $\pm 1^\circ \dots \pm 2^\circ$ , приемлемые для усилительных устройств высокого качества.

Несколько лучшими свойствами обладает каскад с разделенной нагрузкой, но и он не свободен от ряда недостатков. Основной из них – это переменный потенциал катода лампы относительно подогревателя. При небольших амплитудах сигнала, в частности, при наличии после фазоинвертора драйверного каскада с усилением (схема Уильямсона) это не очень принципиально, за исключением того, что драйверный каскад обладает собственной нестабильностью и по мере работы ламп возможно возникновение дополнительной асимметрии напряжений сигнала, подаваемых на сетки ламп оконечного каскада. Если же фазоинвертор с разделенной нагрузкой работает с большими амплитудами (более 3...5 В), т.е. является одновременно и драйвером, то изменяющийся потенциал между катодом и подогревателем (а этот участок можно рассматривать, как сложный вакуумно-полупроводниковый диод) будет сопровождаться модуляцией емкости катод – подогреватель и проводимости этого участка, которые, в свою очередь, являются частью нагрузки катодного плеча. Это приводит к возникновению дополнительных нелинейных искажений (аналогично возникновению «входных» искажений в неинвертирующих каскадах на ОУ с ПТ на входе и изоляцией рп-переходом). Снизить эти искажения можно, применяя лампы с хорошей изоляцией подогревателя, повышая потенциал подогревателя относительно катода (не менее чем на 30...40В выше, чем пиковое напряжение на катоде), либо применением отдельной изолированной обмотки накала для питания фазоинвертора, которая непосредственно соединена с катодом. Все указанные меры либо частично решают проблемы, либо создают дополнительные конструктивные и схемотехнические проблемы. В частности, применение отдельной обмотки накала ухудшает помехозащищенность каскада и существенно увеличивает емкость нагрузки катодного плеча, что может привести к значительному рассогласованию фаз плеч на частотах выше 5...10 кГц, особенно в случае применения ламп с невысокой крутизной характеристики и высокого выходного сопротивления катодного плеча.

Трансформаторный каскад фазоинвертора при использовании трансформаторов высокого качества с симметричной намоткой и статическими экранами между обмотками позволяет получать выходные сигналы, очень близкие по амплитуде и с малым фазовым рассогласованием. Но для его реализации требуется специальный трансформатор (напр., Lundahl LL1660S), поскольку даже симметричные трансформаторы стандартных типов не обеспечивают требуемого фазового рассогласования, меньшего  $\pm 1^\circ \dots \pm 2^\circ$ , на частотах выше 7...8 кГц. Кроме того, дополнительный трансформаторный каскад может вносить дополнительные частотные и нелинейные искажения на нижних частотах (ниже 30...50 Гц). Несомненное достоинство трансформаторного фазоинвертора – это очень низкое сопротивление выходной цепи по постоянному току и способность отдавать в нагрузку значительную мощность, что позволяет использовать его в качестве драйвера для выходного каскада, работающего не только в режимах A1 и AB1, но и в режимах A2 и AB2 с токами управляющих сеток выходных ламп.

Практически всех перечисленных недостатков лишен фазоинвертор на основе дифференциального каскада, или, как его называли ранее, автобалансный фазоинвертор по схеме с общей сеткой. В классическом виде такой фазоинвертор обладает некоторой асимметрией выходных напряжений за счет конечной величины катодного сопротивления. Даже применяя т.н. «long tail» схемы, в которых за счет подключения катодного резистора к отрицательному источнику питания, удается поднять его сопротивление до десятка – другого килом, асимметрия остается достаточно большой, в пределах 0.85...0.95 при одинаковых параметрах ведущего и ведомого триодов. Выход из положения очень прост, особенно при наличии источника отрицательного питания, используемого для организации смещения ламп выходного каскада – в качестве катодного резистора нужно применить активный источник тока, например, на пентоде. Динамическое сопротивление такого источника тока может достигать 10...15 Мом при практически любой величине постоянного тока. Такое высокое сопротивление по переменному току в катодной цепи позволяет реализовать дифференциальный

фазоинвертор с коэффициентом асимметрии, определяемом только разницей параметров ламп фазоинверсного каскада. Фазоинвертор на дифференциальном каскаде с источником тока в катодной цепи обладает еще одним очень важным качеством – сетки ламп каскада могут находиться под практически любым потенциалом, при этом ток катодной цепи будет неизменным. Это свойство позволяет использовать непосредственную связь фазоинвертора с входным каскадом при использовании двухкаскадной схемы. Для поддержания постоянного потенциала сетки ведомого триода равным потенциалу сетки ведущего, ее можно подключить через ФНЧ с очень низкой частотой среза к той же цепи, что и сетку ведущего. Выбор частоты среза в районе 0.05...0.1 Гц гарантирует дополнительный спад АЧХ каскада на низких частотах за счет синфазной составляющей входного сигнала не более 0.1...0.2 дБ на частоте 10...15 Гц.

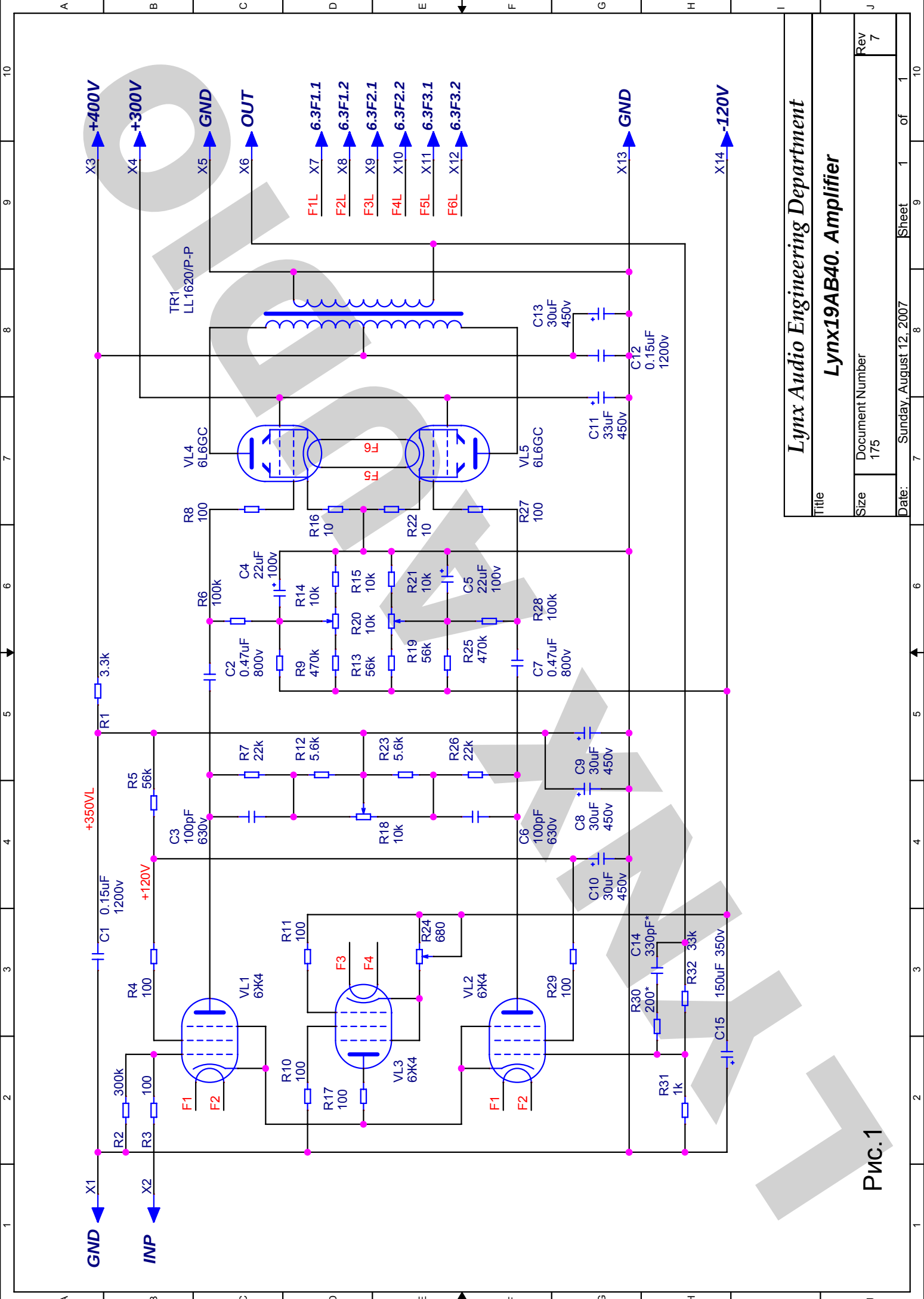
При проектировании усилителя в качестве базовых рассматривались два последних варианта фазоинвертора (трансформаторный и на дифференциальном каскаде), предпочтение все же было отдано дифкаскаду, как отработанному в значительном количестве устройств и показавшему отличные результаты.

Поскольку выходной каскад на экранированных лампах обладает достаточно высоким выходным сопротивлением, то, для наилучшего взаимодействия с акустическими системами, его желательно понизить до приемлемых величин в единицы Ом. Просто и эффективно это делается с помощью цепи общей ООС, охватывающей усилитель. (Жевание соплей о том, что ООС это плохо, я оставляю для любителей статей одного питерского горе – инженера, тщетно порывавшегося устранять ООС в холодильниках и стиральных машинах ☺ и для китайских недоучек - любителей сверхкрутых (гы-гы) драйверов NSC ☺ )

В свете всего вышесказанного была разработана схема усилителя мощности, получившего название Lynx19 и представленная на рисунке 1 (один канал). Усилитель было решено сделать полностью на экранированных лампах, что позволило обойтись всего двумя каскадами и завести ООС достаточной глубины. В качестве входных ламп я выбрал небезызвестные широкополосные пентоды 6АС7 (6Ж4), отличающиеся большой крутизной и высокой линейностью проходной характеристики, а также высочайшей надежностью.

Высокое значение крутизны характеристики ламп позволило применить анодную нагрузку относительно небольшой величины, что, с одной стороны, определило работу ламп на достаточно линейном участке ПХ, а с другой – при сохранении достаточного усиления каскада, обеспечить небольшое его выходное сопротивление и, соответственно, отсутствие спада АЧХ на высоких частотах при работе на входную емкость оконечных ламп. Настройка баланса фазоинвертора осуществляется путем изменения сопротивления анодной нагрузки плеч многооборотным безындуктивным потенциометром. Питание вторых сеток подается через балластный резистор от анодного питания. Симметрия каскада и его работа без отсечки анодного тока позволила применить блокирующий конденсатор относительно небольшой емкости, уделив первоочередное внимание его качеству, от которого в существенной мере зависит звучание усилителя. Источник тока в катодной цепи выполнен на таком же пентоде 6АС7. Ток покоя каскада устанавливается при помощи керметного потенциометра в катодной цепи этой лампы. После настройки его лучше заменить на постоянный соответствующей величины, поскольку регулировка тока имеет достаточно «резкий» характер. Отрицательное питание источника тока -120В стабилизированное.

Выходной каскад построен по типовой схеме двухтактного усилителя на лампах 6L6GC и трансформаторе Lundahl LL1620. Смещение на первые сетки выходных ламп – фиксированное. Питание вторых сеток выходных ламп необходимо осуществлять от источника с низким выходным сопротивлением – это одно из немаловажных условий получения небольших искажений на низких частотах и субъективно хорошего качества баса.



Lynx Audio Engineering Department

Lynx19AB40. Amplifier

|       |  |                         |  |              |  |
|-------|--|-------------------------|--|--------------|--|
| Title |  | Document Number         |  | Rev          |  |
| Size  |  | 175                     |  | 7            |  |
| Date: |  | Sunday, August 12, 2007 |  | Sheet 1 of 1 |  |

Цепь обратной связи глубиной ок. 6...8 дБ заводится на сетку второй лампы фазоинвертора со вторичной обмотки выходного трансформатора. Для обеспечения устойчивости усилителя и гладкой ПХ в схеме имеются две цепи коррекции. Первая – в анодных цепях ламп фазоинвертора (конденсаторы С3 и С6), вторая – в цепи ООС (R30C14). Номиналы элементов обеих цепей приведены ориентировочные, они подбираются при настройке под конкретные выходные трансформаторы. Цепи накалов всех каскадов – раздельные, и находятся под потенциалами, обеспечивающими минимальный уровень фона. При желании, накал ламп ФИ и источника тока можно питать от выпрямителей со сглаживающими фильтрами – это позволит получить уровень фона, не превышающий -90...-95дБ, что может оказаться полезным при работе с АС чувствительностью выше 90дБ/Вт/м.

Схема источника питания приведена на рис. 2 (для двух каналов).

Все выпрямители питания выполнены по мостовым схемам на основе диодов Шоттки. В высоковольтных выпрямителях применены ДШ из карбида кремния. Эта мера позволила исключить помехи от обратного восстановления диодов, негативно влияющие на качество звука. Электролитические конденсаторы фильтров питания (и в источниках положительного питания, и в усилителе – Mundorf HV), а в источниках отрицательного питания – Hitachi HU4 и Black Gate VK (шунтирующие стабилитроны).

Источники отрицательного питания – стабилизированные на основе параллельных стабилизаторов на мощных стабилитронах, балластные резисторы – Caddock MP930.

Питание вторых сеток оконечных ламп осуществляется от электронных фильтров на мощных полевых транзисторах. Такое решение обеспечивает низкое внутреннее сопротивление источников, а также возможность регулировки напряжения вторых сеток, что очень полезно для подстройки характеристик ламп под конкретный выходной трансформатор и конкретную величину нагрузки.

Трансформаторы питания – тороидальные, с индукцией ок. 9000Гс и экранирующими обмотками.

В усилителях и источниках питания применены резисторы типов PR02 и PR03 производства Phoenix Passive, потенциометры типа PV36 производства Murata, пленочные конденсаторы Mundorf M-Cap Supreme в сигнальных цепях и блокировке питания ламп усилителей.

Для обеспечения надежной работы усилителя и длительной службы ламп применяется система мягкого запуска, схема которой приведена на рис.3. По сути – это многопозиционный электронный таймер на основе ПЛИС. Временные интервалы задаются путем подсчета периодов питающей сети. Включение питания усилителя производится в три стадии, после чего размыкаются контакты реле, шунтирующие вторичные обмотки выходных трансформаторов. Выключение производится в обратном порядке. Такое решение гарантирует отсутствие токового удара в силовых трансформаторах, плавный заряд конденсаторов фильтра и плавную подачу накала ламп, а также отсутствие щелчков и др. посторонних звуков от переходных процессов при включении и выключении усилителя.

Входной блок усилителя представляет собой коммутатор на 3 входа и регулятор громкости. Все коммутации выполнены на реле с низким уровнем контактного шума и искажений типа RY12, о преимуществах которых неоднократно говорилось, а регулятор громкости – дискретный потенциометр DACT CT2 или ALPS RK27 или RK18. Принципиальная схема входного блока приведена на рис. 4.

Усилитель удобно размещается в 19-дюймовом конструктиве Schroff Multipac высотой 4HE и глубиной 400мм. Монтаж элементов производится частично навесным, частично печатным способом на шасси из 4...5мм алюминия, установленного в конструктив. Внешний вид усилителя на разных стадиях изготовления показан на рис.5...7:





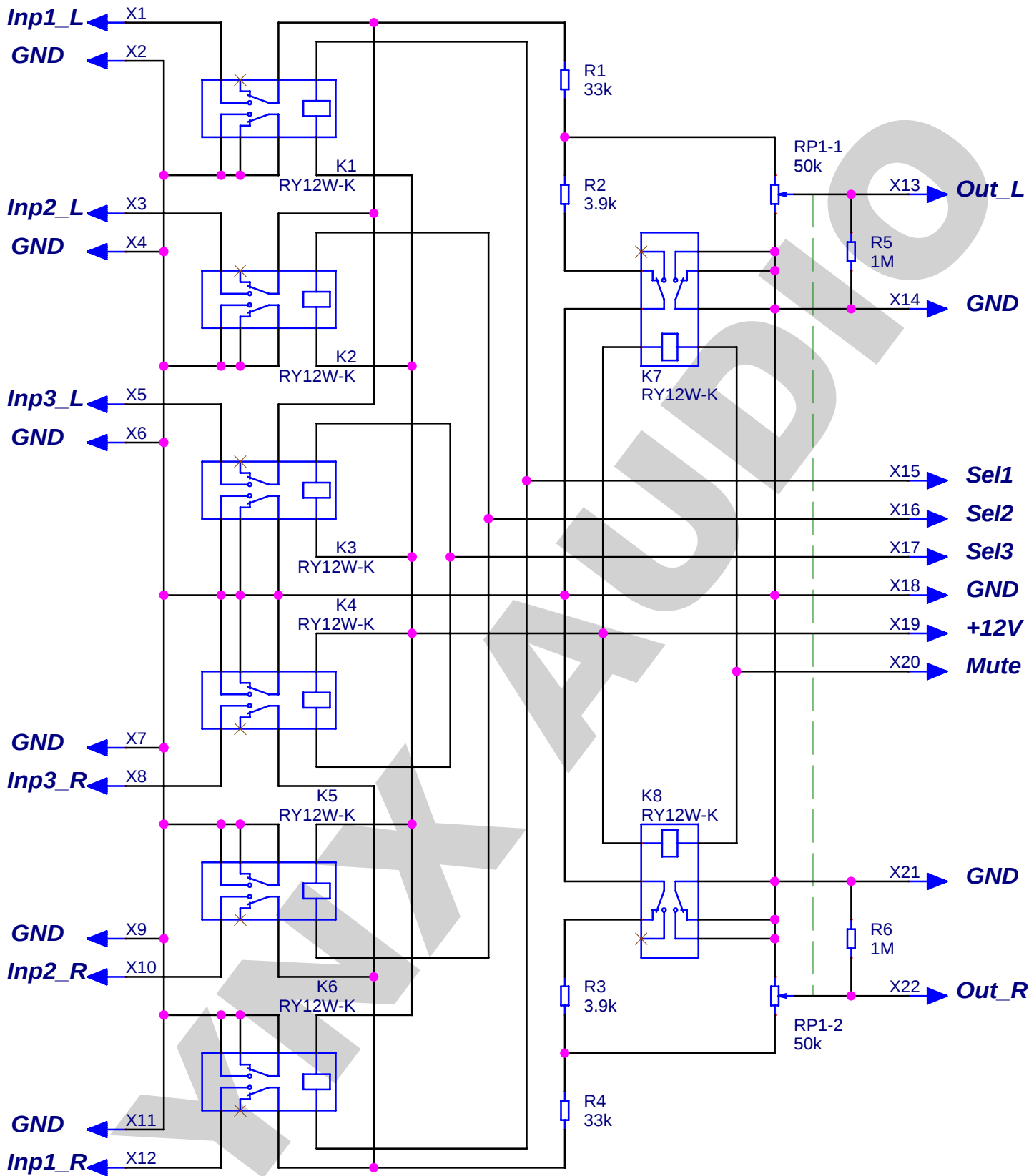


Рис.4

| Lynx Audio Engineering Department |                         |                                         |              |
|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|--------------|
| Title                             |                         | Lynx19AB40. Input selector & attenuator |              |
| Size                              | Document Number         |                                         | Rev          |
|                                   | 174                     |                                         | 5            |
| Date:                             | Sunday, August 12, 2007 |                                         | Sheet 1 of 1 |



Рис. 5  
Расположение основных элементов на шасси



Рис. 6  
Вид собранного усилителя без верхней крышки



Рис. 7  
Вид собранного усилителя без верхней крышки



Рис. 6  
Вид части собранного усилителя без верхней крышки

Произвести полные технические испытания усилителя не представилось возможным ввиду ограниченности выделенного заказчиком времени на изготовление и доводку данного усилителя. Согласно первичным измерениям, выходная мощность при оптимальном напряжении на вторых сетках выходных ламп составила 38Вт на нагрузке 8 Ом, диапазон частот при мощности в 27Вт – 7Гц...45кГц при неравномерности АЧХ менее 2дБ, интегральный коэффициент нелинейных искажений при мощности 27Вт – менее 1%, относительный уровень шумов и помех – ниже -90дБ.

Субъективное звучание усилителя с АС Dynaudio Focus220 от ЦАП Lynx28 ровное, мягкое, бархатистое, с приятным средним регистром, четким басом. Хорошо прорабатывает детали и сцену «вглубь». Несогласованность сопротивления АС с выбранной заказчиком величиной сопротивления нагрузки придавала некоторую грубость сложным композициям, но при перекоммутации вторичных обмоток под  $R_n = 4\text{Ом}$  она полностью исчезала. На сольных номерах усилитель очень точно передает возраст и настроение исполнителя.

В заключении хотелось бы искренне поблагодарить за помощь и поддержку всех тех, кто прямо или косвенно принимал участие в создании данного устройства: моих товарищей и коллег Сергея Жукова (г. С.-Петербург), Алексея Вишнякова (г. С.-Петербург), Андрея Попцова (г. С.-Петербург), Алексея Шалина (г. Воронеж), участников форума «Аудиопортал» петербургские фирмы «ВестЭл», «Мега-Электроника», «Самodelка.ру», «Элтех», «Гамма», «ЭФО», а также моих жену, маму и сына за постоянное внимание, тепло и заботу, без которых невозможно было бы успешное творчество.

С.-Петербург, 1997...2007гг

#### Литература

1. Ken-Rad Radio Tubes. Engineering Bulletin. "The 6L6 Beam Power Amplifier". Owensboro, Kentucky, April, 27, 1936
2. Radio Corporation Of America, Tube Division. O. H. Schade. "Beam Power Tubes". Publication No. ST-59, Harrison, New Jersey, March, 1938.
3. Войшвилло Г. В. «Усилители низкой частоты на электронных лампах», Связьиздат, Москва, 1963.
4. Radio Corporation Of America, Tube Department. Technical Manual TT3. Air-Cooled Transmitting Tubes. Harrison, New Jersey, October, 1938.
5. Цыкин Г. С. «Трансформаторы низкой частоты», Связьиздат, Москва, 1955.
6. General Electric. Electronic Tubes. ET-T1515A. 6L6-GC Manual. February 10, 1959.