Мощный усилитель с ТОС Lynx PA76

Данный усилитель разработан на основе очень удачного и пользующегося заслуженной популярностью проекта Lynx PA72. От своего предшественника Lynx PA76 унаследовал структуру усилителя с ТОС, входной каскад на полевых транзисторах с затвором на основе pn-перехода и каскодный биполярно-полевой усилитель напряжения, обладающий высокой линейностью и «мягким» спектром искажений.

Основные отличия заключаются в выходном каскаде, выполненном на высоколинейных биполярных транзисторах по схеме «тройного» симметричного эмиттерного повторителя, с первой и второй ступенями, работающими в классе А. Для снижения температурного дрейфа «исходного усилителя» и минимизации уровня помех и искажений, питание драйверных каскадов осуществляется от стабилизаторов с большим коэффициентом подавления пульсаций, высокой собственной линейностью и апериодической переходной характеристикой как по входному, так и по выходному воздействию.

Для защиты выходных транзисторов в аварийных ситуациях в усилителе применена быстродействующая тиристорно-оптронная защита, при срабатывании запирающая все каскады усиления.

Практически полное устранение постоянного смещения на выходе устройства достигается за счет применения дополнительного съёмного модуля поддержания нулевого потенциала на основе инвертирующего интегратора. Ввиду того, что существуют разные мнения о пользе или вреде сервосистем в звуковых усилителях мощности, предусмотрена возможность работы Lynx PA76 как с модулем поддержания нуля, так и без него.

Устройство защиты АС обеспечивает надежную защиту акустических систем при возникновении (по любым причинам) постоянного напряжения на выходе УМ, при пропадании или снижении менее допустимого предела любого из напряжений питания усилителя. Помимо функций защиты АС, устройство обеспечивает ограничение пускового тока при включении питания усилителя, индикацию состояния устройства и «квазисенсорное» включение.

Принципиальная схема усилителя мощности Lynx PA76 приведена на рис.1, модуля поддержания нуля Lynx SRV76 – на рис.2, системы защиты и «мягкого старта» Lynx PR76 – на рис.3, и источника питания Lynx PWR76 – на рис.4.

За основу нового усилителя Lynx PA76 взята хорошо зарекомендовавшая себя топология ОУ с ТОС, позволяющая создавать высоколинейные усилительные устройства с неглубокой ООС и очень высоким быстродействием. Схема усилителя во многом аналогична Lynx PA72. Основные отличия заключаются в выходном каскаде, построенном на биполярных транзисторах и связанных с этим особенностях построения схемы (в частности, применение цепи термостабилизации тока покоя выходного каскада и быстродействующей оптронно-тиристорной защиты выходного каскада от тока короткого замыкания нагрузки и сквозного тока). Драйверные каскады усилителя питаются стабилизированными напряжениями +/-58В от малошумящих стабилизаторов компенсационного типа (ИОН – ФШ – ОУ) с малым дрейфом, при этом для получения каждого из питаний используется собственная обмотка силового трансформатора.

Важным отличием схемы Lynx PA76 от предыдущего усилителя Lynx PA72 является применение интегральных источников опорного напряжения для питания базовых цепей «верхних» транзисторов каскодов. Это решение позволило примерно в 3-5 раз снизить температурный дрейф усилительной части по сравнению со схемой, использующей для этих цепей обычные стабилитроны. В результате (при использовании подобранных по крутизне и начальному току стока входных ПТ и ПТ второго каскада) дрейф усилителя с замкнутой петлей ООС не превышает 7…15мВ в диапазоне температур элементов схемы от +10 до +55 С.

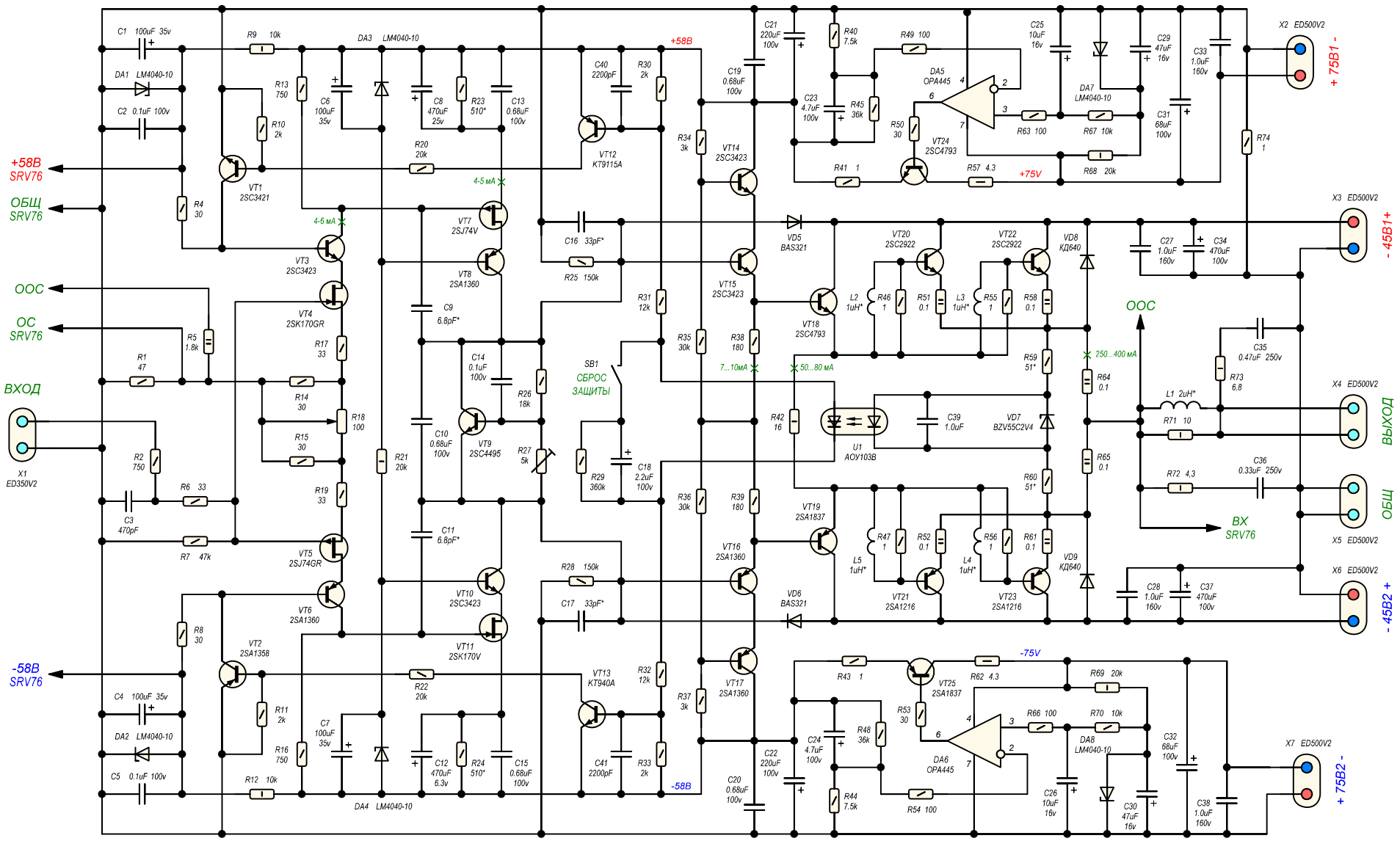

Рис.1

LYNX AUDIO	*Усилитель мощности Lynx PA76*	*05.01.2018*

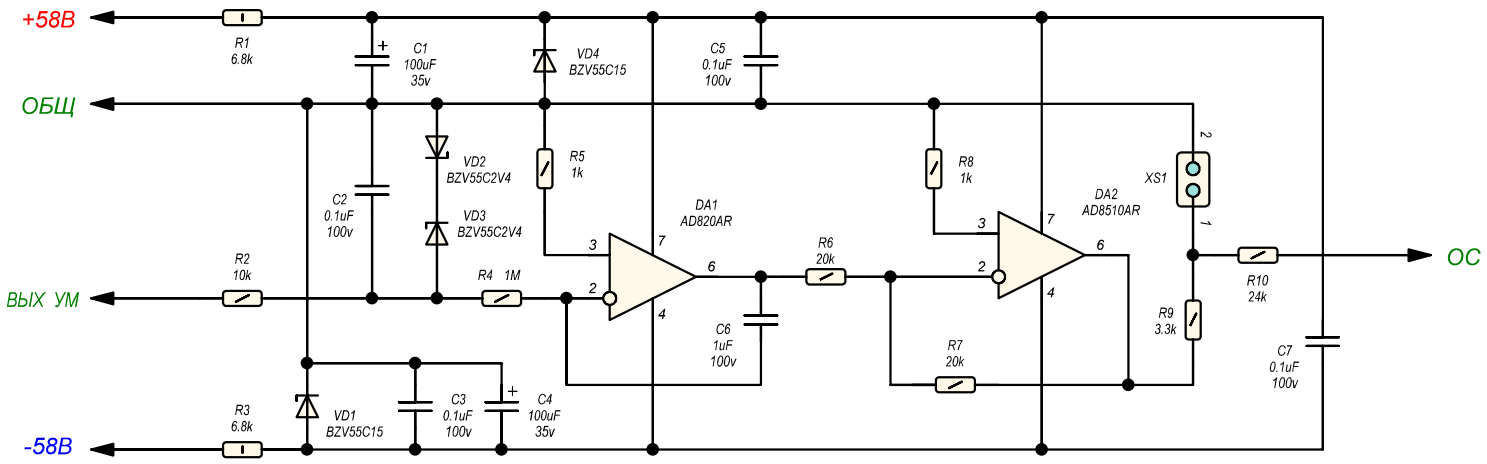

Рис. 2

LYNX AUDIO	***Модуль поддержания нулевого потенциала Lynx SRV76***	***05.02.2018***

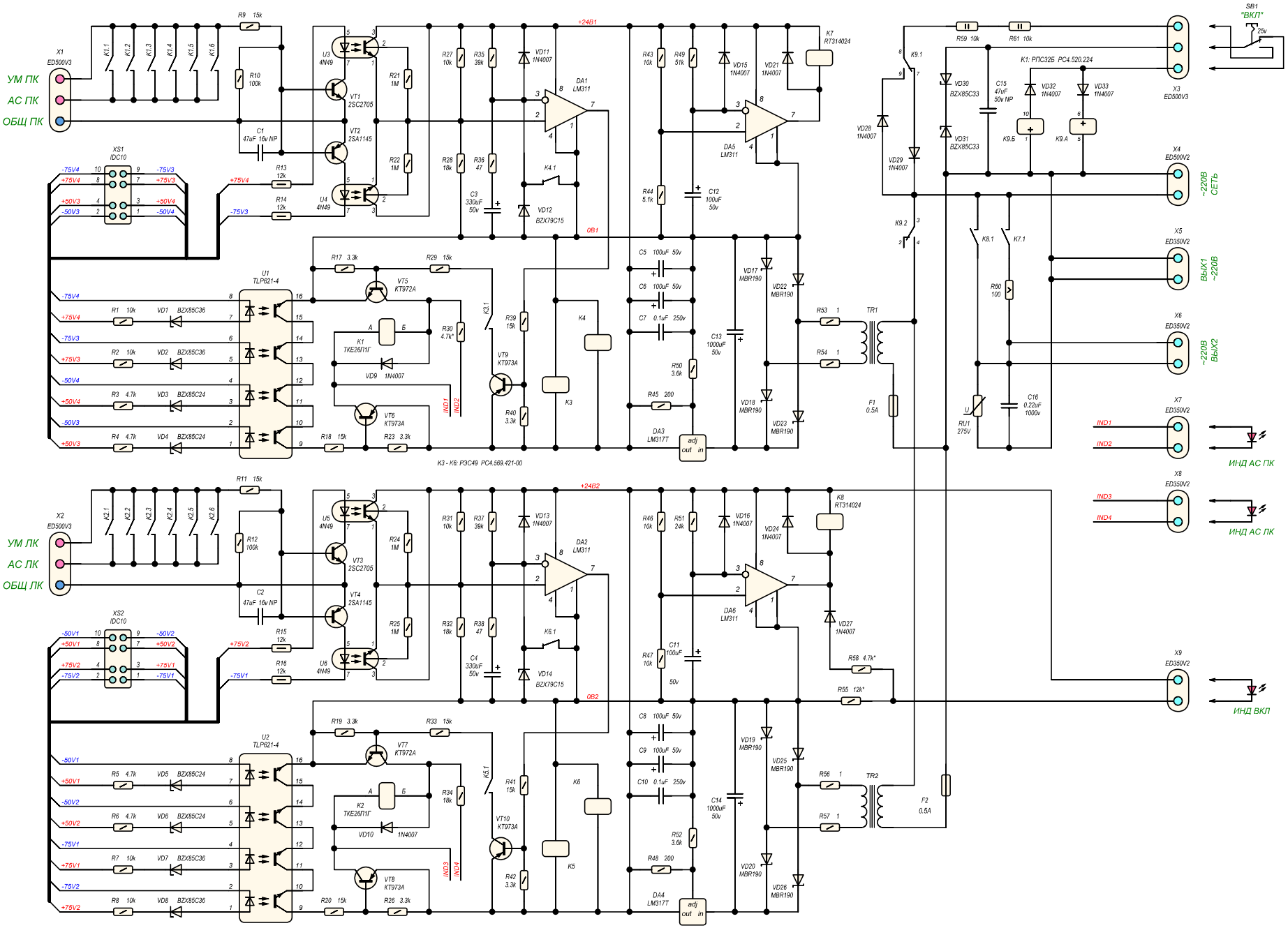

Рис. 3

LYNX AUDIO	*Система защиты АС и "плавного пуска" Lynx PR76*	02.02.2018

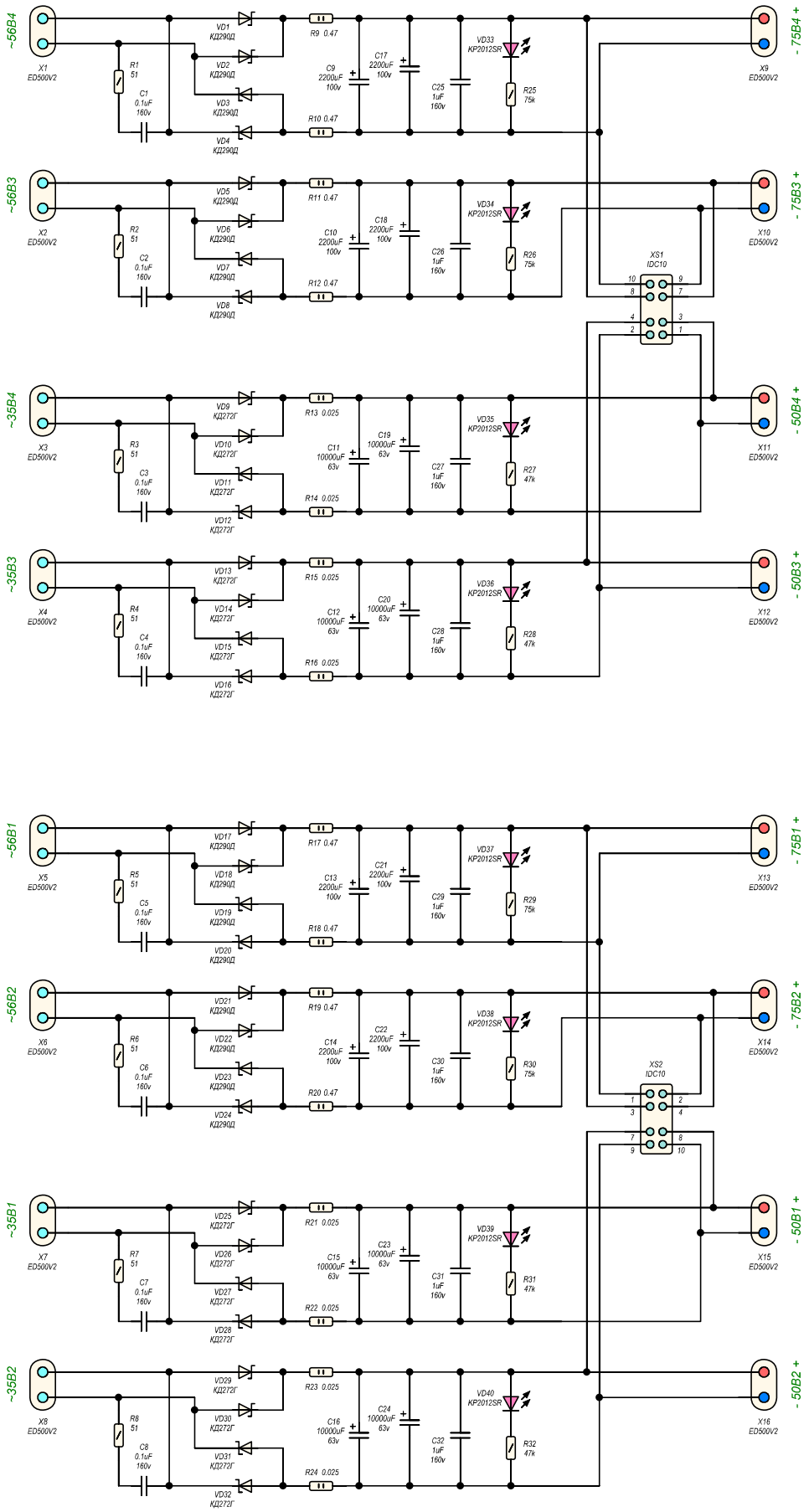

Рис. 4

LYNX AUDIO	***Выпрямители питания Lynx PWR76***	*05.02.2018*

Вид платы Lynx PA76 приведен на рис. 5, а смонтированного модуля (с выходными транзисторами и охладителем) – на рис.6.

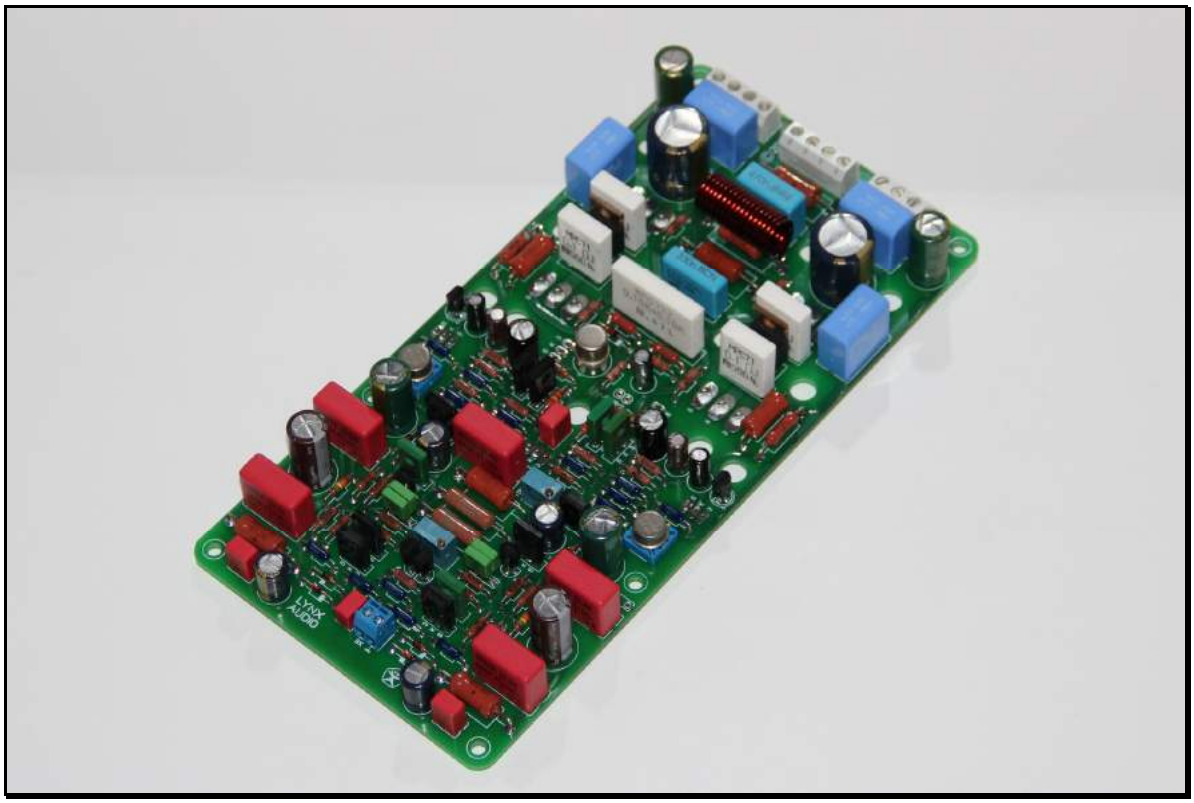

Рис. 5. Смонтированная плата усилителя мощности Lynx PA76

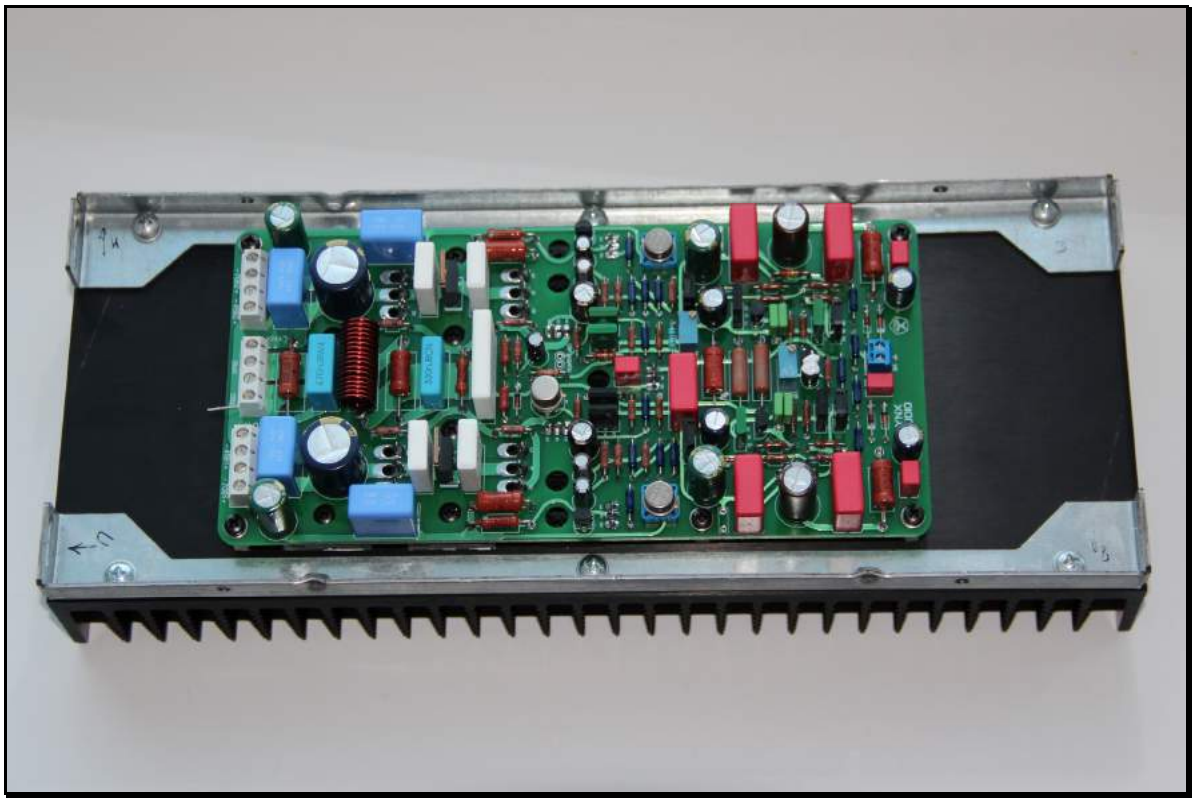

Рис. 6 Плата Lynx PA76, установленная на охладителе транзисторов ВК

Система поддержания нуля Lynx SRV76 выполнена на основе инвертирующего интегратора (с ограничением амплитуды входного воздействия), обладающего лучшими характеристиками по сравнению с неинвертирующим. Для подключения схемы поддержания нуля к инвертирующему входу усилителя мощности, выходной сигнал интегратора инвертируется дополнительным каскадом на малошумящем высоколинейном ОУ. Модуль SRV76 выполнен в виде отдельной платы, устанавливаемой над платой усилителя мощности. Применение данного модуля не является обязательным и зависит, в основном, от личных слуховых предпочтений.

Для защиты АС от переходных процессов при включении и выключении усилителя, а также от постоянного тока (при различных неисправностях усилителя и источника питания) используется модуль защиты Lynx PR76. Кроме функции защиты АС, модуль выполняет также и функции системы «мягкого запуска», предотвращая «токовый удар» от заряда емкостей фильтров питания и намагничивания сердечника силового трансформатора при включении. Для определения наличия постоянного напряжения на выходе УМ и контроля наличия напряжений питания УМ используются хорошо зарекомендовавшие себя схемы на основе транзисторных оптронов. Формирование задержки подключения АС к выходам УМ после подачи питания и временных интервалов «мягкого старта» осуществляется с помощью аналоговых реле времени на компараторах. Устройство защиты Lynx PR76 имеет два полностью независимых и гальванически не связанных канала, что исключает возможность случайного формирования «земляной петли» при монтаже двухканального усилителя. Особенностью устройства защиты Lynx PR76 является применение герметичных газонаполненных реле типа ТКЕ26П1Г для коммутации цепей акустических систем. В ходе ряда экспериментов и прослушиваний было установлено, что эти реле существенно превосходят большинство типов негерметичных реле, обычно применяемых для коммутации АС как по субъективному восприятию звучания, так и по ряду объективных параметров, в частности, допустимому разрываемому току цепи без повреждения контактных групп.

Вид собранной платы Lynx PR76 приведен на рис.7.

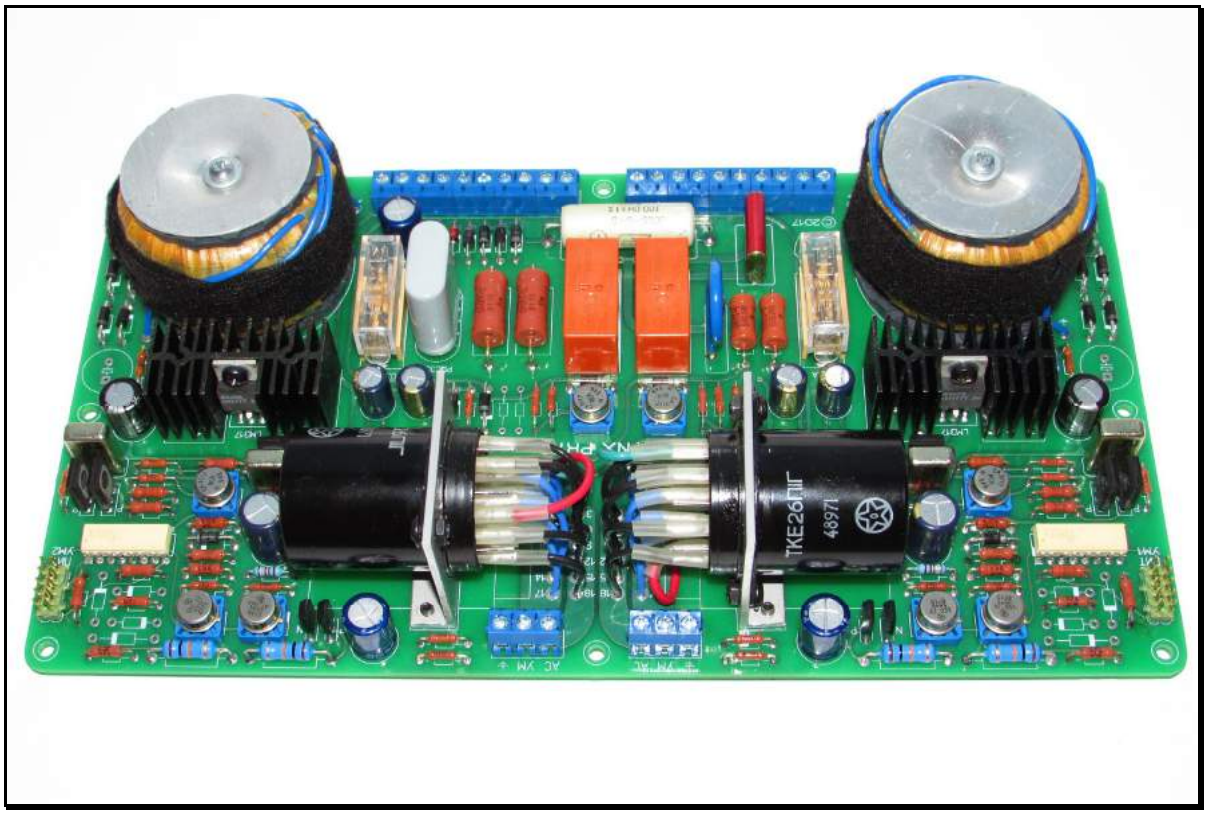

Рис. 7 Плата Lynx PR76

Источник питания Lynx PWR76 обеспечивает работу двух каналов УМ Lynx PA76 и содержит две пары силовых выпрямителей для питания выходных каскадов и две пары высоковольтных выпрямителей для питания драйверных каскадов. Во всех выпрямителях приняты меры по ограничению скорости нарастания зарядного тока конденсаторов фильтра и подавлению помех, возникающих в системе трансформатор-выпрямитель при коммутации диодов. Переменные напряжения на выпрямители Lynx PWR76 подаются с пары специализированных силовых трансформаторов, работающих с пониженной индукцией в магнитопроводе и имеющих двойной статический экран первичной обмотки. Вид собранной платы Lynx PWR76 приведен на рис. 8.

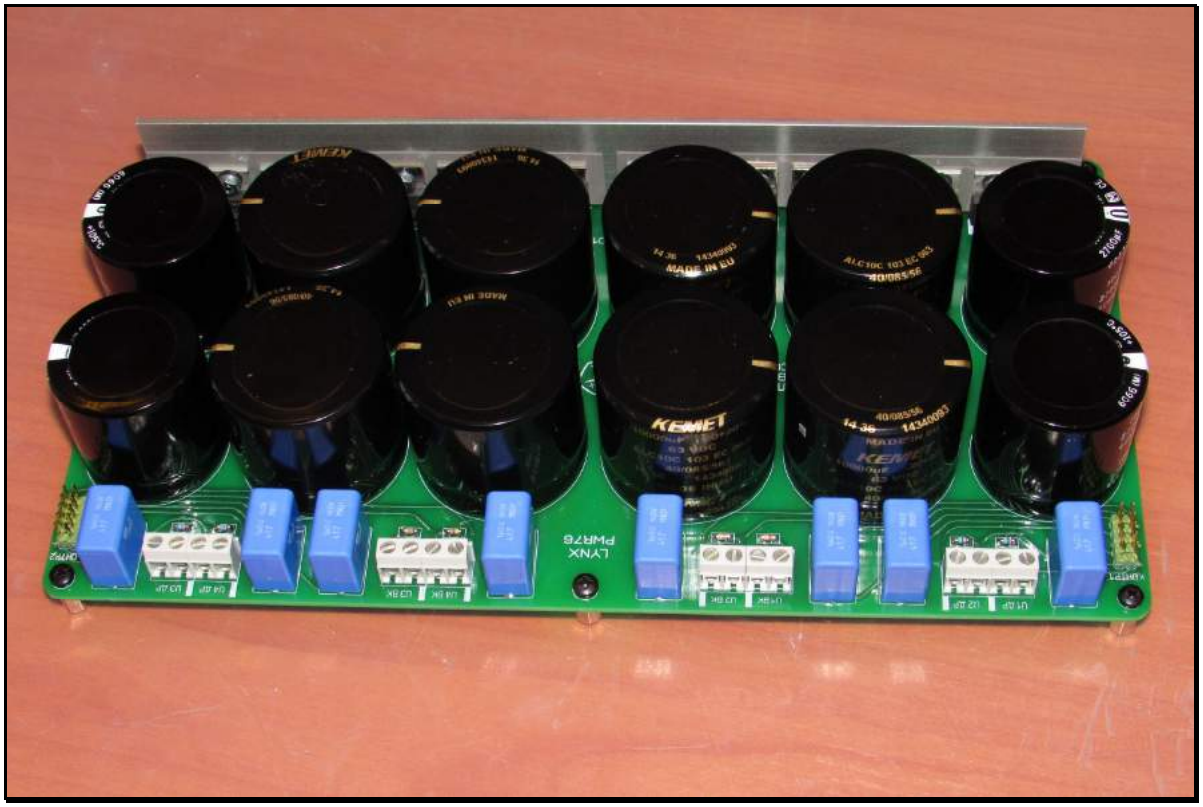

Рис. 8 Плата Lynx PWR76

Габаритные размеры плат и особенности их конструктива первоначально выбирались таковыми, чтобы устройство можно было разместить в корпусе HIFI200 Dissipante (3U x 300 мм, тип 1NPDA03300N), радиаторы которого имеют достаточную площадь охлаждения, чтобы обеспечить надежную работу усилителя с током покоя ВК порядка 350…500 мА при долговременной выходной мощности каждого канала (в течение 24 час) порядка 50Вт на нагрузке 4Ом. Возможный вариант конструкции усилителя в указанном корпусе приведен на рис.9.

Схемотехника и конструкция усилителя Lynx PA76 допускает большую вариативность применяемых электронных компонентов. В каскодных схемах 1 и 2 ступеней усилителя мощности возможно применение транзисторов типов 2SK170/2SJ74, 2SK330/2SJ105, 2SK364/2SJ104, 2SK366/2SJ107, 2SK370/2SJ108, 2П303Д/2П103Д, КП303Д/КП103М. Применение двух последних пар из перечисленных требует некоторого изменения номиналов резисторов в цепях истоков и нагрузки первых каскодов, но при этом увеличивает перегрузочную способность и устойчивость у ВЧ-помехам. Полевые транзисторы желательно подобрать в пары по значению начального тока стока с точностью не хуже 3…5% и крутизны характеристики с точностью не хуже 10…15% .

Рис. 9 Вариант конструкции усилителя Lynx PA76

Биполярные транзисторы в каскодах допустимо применять любых типов соответствующей структуры с допустимым напряжением коллектор-эмиттер не менее 100В для входного каскада и 150В для второго и допустимой мощностью рассеяния на коллекторе не менее 0.3…0.5 Вт Желательно, чтобы «бета» этих транзисторов была не менее 80…100, а ее зависимость от тока коллектора по возможности минимальной. Попарный подбор этих транзисторов не требуется. В эмиттерных повторителях также допустимо использование разнообразных транзисторов с минимальной зависимостью «беты» от тока коллектора и напряжением коллектор-эмиттер не менее 150В. В частности, в первой ступени ВК хорошо работают 2SC3955/2SA1540, 2SC3423/2SA1360, 2SD1609/2SD1109, КТ940А/КТ9115А. Во второй ступени возможно применение приборов 2SC4793/2SA1837, 2SC5171/2SA1930, 2SC4883/2SA1859. Для оконечной ступени подойдут 2SC2921/2SA1215, 2SC2922/2SA1216, 2SC3519/2SA1386, 2SC6145/2SA2223, MJL3281/MJL1302.

Типы регулирующих транзисторов в стабилизаторах питания драйвера непринципиальны. Диоды выпрямителей могу быть самых различных типов российского и импортного производства. В качестве мощных выпрямительных диодов хорошо работают КД271, КД272, КД273, MBR10100, MBR20100 и другие аналогичные приборы. Для выпрямителей питания драйверов следует использовать диоды с допустимым обратным напряжением не менее 150В.

Основная часть резисторов – металлопленочные (RN55, RN65, ОМЛТ). Эмиттерные резисторы оконечной ступени – ленточные безындуктивные MPC71 и MPC722, либо толстопленочные MP930 (возможность установки последних предусмотрена на плате). Конденсаторы блокировки питаний и коррекции АЧХ усилителя – полипропиленовые металлизированные и полипропиленовые фольговые (напр., Wima MKP4 и Wima FKP2). Электролитические конденсаторы мощных выпрямителей – Kemet ALC10, остальные – надлежащего качества и подходящих типоразмеров. Потенциометры балансировки и установки тока покоя выходного каскада – PV36W (Murata) или 3296W (Bourns). Катушка

индуктивности L1 – 15…20 витков изолированного провода диаметром 1…1.5мм. Диаметр намотки – 12…15мм.

В устройстве защиты для коммутации сетевого питания возможно применение различных типов реле, с рабочим напряжением 24 - 27В, аналогичных указанным с соответствующим рабочим напряжением обмотки, в частности, серий RT314 и RT114 (TE Connectivity) и HF115 (Hongfa).Управляющие реле РЭС49 – любого паспорта с рабочим напряжением 24 – 30В. Реле коммутации АС – авиационные герметичные газонаполненные ТКЕ26П1Г прямой замены не имеют. Возможна установка аналогичных реле с меньшим количеством контактных групп – ТКЕ24П1Г. Оптроны гальванических развязок могут быть практически любых типов. Все резисторы, кроме R60 металлопленочные, соответствующей мощности (RN55, RN60, ОМЛТ, MF). Электролитические конденсаторы – любых типов необходимых габаритов. С1, С2, С15 – неполярные. Транзисторы могут быть любых типов соответствующей структуры и параметров. Компараторы любые из LM111/211/311 или 521СА3.

Авторский экземпляр усилителя обладает следующими техническими характеристиками:

1. Номинальная выходная мощность, Вт
   на нагрузке 4 Ом …….. 185
   на нагрузке 8 Ом …….. 100

2. Скорость нарастания выходного напряжения, В/мкс
   (ограничена цепями коррекции и входным фильтром) …….. 65

3. Малосигнальная полоса усиливаемых частот при
   выходной мощности 1Вт и неравномерности 3дБ, Гц …… 0 – 250000

4. Глубина ООС в полосе 0 – 20000Гц, дБ …… 40 – 42

5. Уровень нелинейных искажений при мощности 100Вт
   на нагрузке 4Ом, дБ, не выше …… - 85

6. Уровень собственных шумов относительно входного сигнала,
   соответствующего номинальной выходной мощности, дБ, не более …… -133

7. Перегрузочная способность входа усилителя
   с отключенной цепью ООС, В, не менее …… 0.35

8. Максимальная амплитуда выходного тока, А …… 30

10. Монотонный спад огибающей спектральных составляющих искажений

11. Переходная характеристика – апериодическая.

Спектр выходного сигнала усилителя при работе на нагрузку 4Ом и выходной мощности 95Вт приведен на рис. 10, спектр выходного сигнала усилителя при работе на нагрузку 4Ом и выходной мощности 1.1Вт приведен на рис. 11.

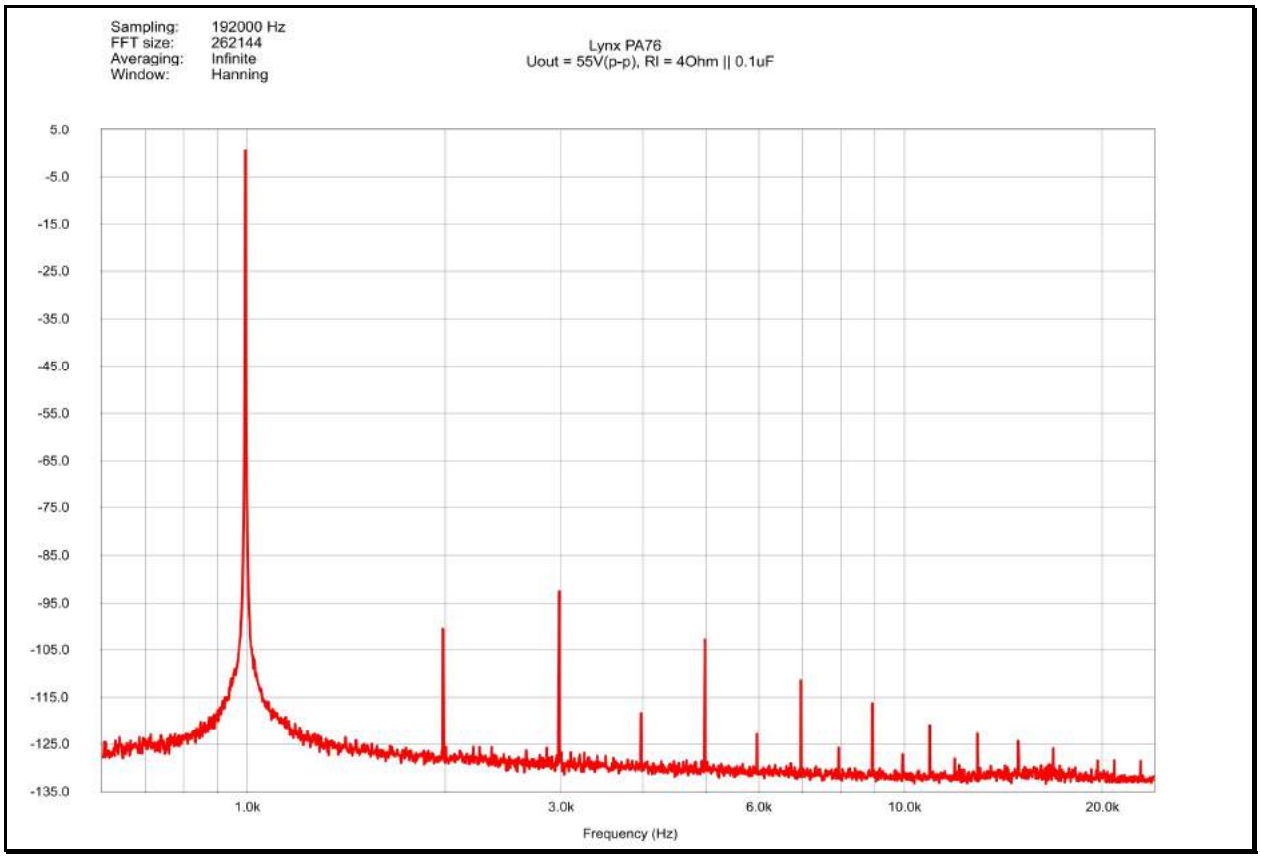

Рис. 10 Спектр сигнала на выходе усилителя Lynx PA76. $P_{вых}$ = 95Вт, $R_н$ = 4Ом

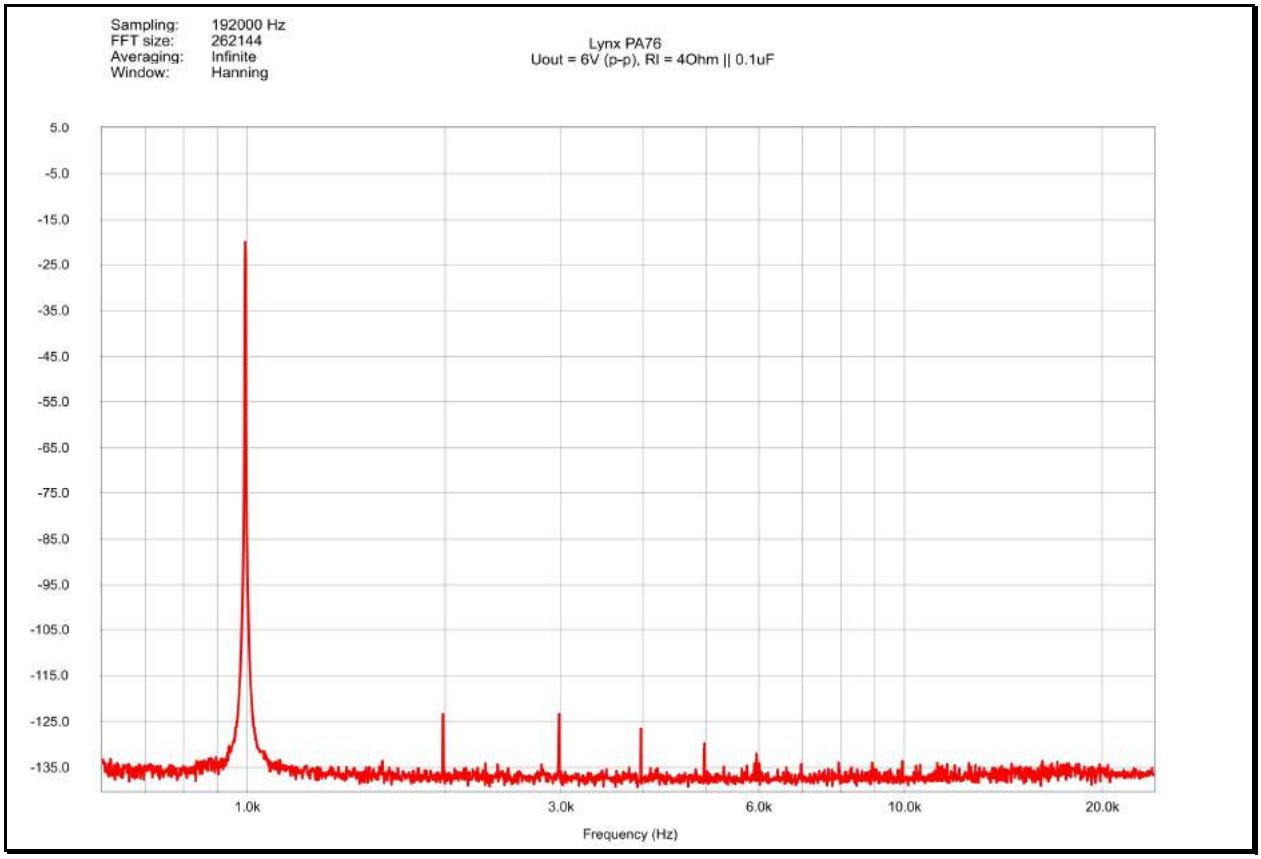

Рис. 11 Спектр сигнала на выходе усилителя Lynx PA76. $P_{вых}$ = 1.1Вт, $R_н$ = 4Ом

Прослушивание данного усилителя (источник – ЦАП Lynx D78X, предварительный усилитель – Lynx P79, АС – Dynaudio Contour 3.3) показало очень ясное, отлично проработанное звучание, позволяющее передать тончайшие нюансы звкоизвлечения музыкальных инструментов, как индивидуально, так и в больших составах. Lynx PA76 создает очень естественные размеры звуковых образов и полностью лишен эффекта появления «поющих голов». Звучание усилителя очень комфортное и позволяет с удовольствием слушать музыку самых различных жанров и направлений.

Дмитрий Андронников (Lynx Audio)
Сергей Жуков (Lynx Audio)

Санкт-Петербург,
Март 2017 – февраль 2018