

Усилитель мощности Lync11

Усилитель, рассматриваемый в этой заметке, разработан мною на основе УНЧ с токовой ОС Lync9 и с учетом опыта эксплуатации 4 стереокомплектов в течение нескольких лет.

Все теоретические предпосылки, положенные в основу нового варианта усилителя остались теми же самыми, что и для Lync9, изменения коснулись схемотехнической и конструктивной реализации аппарата.

В первую очередь, при работе с Lync9 я обратил внимание на недостаточные токовые возможности и высокое собственное выходное сопротивление оконечного каскада на комплементарных МОП ПТ. Проявлялось это в значительном снижении уровня ограничения выходного напряжения при работе на низкоомную нагрузку из-за того, пиковое напряжение на выходе каскада УН было явно недостаточно для полного открывания выходных ПТ при сопротивлении нагрузки менее 2 – 3 Ом. Кроме того, у ПТ довольно велико собственное остаточное напряжение в открытом состоянии (6 - 8В при токе 10А), что заметно ограничивает использование напряжения питания. Большая и сильно нелинейная входная емкость ПТ при одном буферном каскаде после усилителя напряжения заметно влияет на работу каскада УН.

При детальном исследовании источников искажений в усилителе Lync9 выяснилось, что несимметричная цепь термостабилизации с ИОН на TL431 вносит заметные искажения (в основном четные гармоники) на частотах до 3 - 4кГц, где импеданс шунтирующего эту цепь конденсатора ещё достаточно велик.

Стабилитроны лавинного пробоя, работающие в качестве ИОН для каскодов, обладают высоким уровнем собственных шумов, что увеличивает шумовой пьедестал усилителя в целом, как за счет собственно шумов стабилитронов, так и за счет интермодуляционных составляющих этого шума с сигналом.

Входной каскад на комплементарных ПТ при всех своих достоинствах обладает все же немного большей собственной нелинейностью, чем четырехтранзисторный биполярный каскад, в основном за счет четных гармоник из-за меньшей степени комплементарности ПТ, чем БТ.

С учетом вышесказанного была разработана полностью симметричная схема усилителя мощности с токовой ОС на биполярных транзисторах, приведенная на рис. 1. Входной каскад на транзисторах VT1 - VT6 осуществляет преобразование напряжение – ток и вычитание из тока сигнала тока ОС. Дальнейшее усиление происходит в каскаде на транзисторах VT7 – VT12, представляющем собой симметричное “токовое зеркало с усилением” и каскодным выходом. Преобразование выходного тока этого каскада в напряжение осуществляется резисторами R12 и R43. Основное усиление сигнала по мощности производится выходным каскадом, представляющим собой трехступенчатый симметричный эмиттерный повторитель. В качестве выходных применены мощные комплементарные транзисторы типов MJ21193/21194 производства ON Semiconductor (бывш. Motorola). Такой выбор не случаен и основан на ряде сравнительных экспериментов с различными транзисторами в выходном каскаде. Первоначально я предполагал применить санкеновские 2SA1216/2SC2922, всем хорошо известные, очень линейные с точки зрения малой зависимости $h_{21э}$ от тока коллектора комплементарные пары. Но при внимательном изучении их даташитов меня насторожило очень большое изменение граничной частоты в зависимости от тока коллектора (в диапазоне 100мА – 5А). Отношение максимальной к минимальной частоте превышает 6 раз (10 – 62МГц) для pnp и 6.5 раз (11 - 72МГц) для npn транзисторов, что наводит на мысль об очень сильной зависимости емкостей база - эмиттер и база - коллектор от тока коллектора, а это может стать источником заметных искажений на высоких частотах даже при небольшом выходном сопротивлении предвыходного каскада. Поиск более удачных с этой точки зрения приборов дал не очень много результатов. При сопоставимой линейности по $h_{21э}$ значительно меньшую зависимость граничной частоты от коллекторного тока обнаружили (из реально доступных) только мотороловские MJ21193/21194 и MJ21195/21196 (и все их клоны), изменение граничной частоты которых не превышает 1.5 раза (4.5 – 6.6МГц) для pnp и 1.7раза (4.5 - 7.5МГц) для npn. Кроме того, эти транзисторы имеют большие максимальную мощность, максимально допустимую температуру перехода и ОБР. Сравнение усилителя с выходными каскадами на 2SA1216/2SC2922 и MJ21193/21194 показало заметное субъективное преимущество вторых, проявляющееся в более спокойном характере звука, меньшей “яркости” и утомительности. Кроме того, MJ21193/21194 дают более основательный, наполненный и глубокий

звук. Объективные измерения показали меньший уровень интермодуляционных составляющих в каскаде на MJ21193/21194, а также быстрее затухающий по сравнению с 2SA1216/2SC2922 спектр гармоник, хотя величины 2 и 3 гармоник у каскада на мотороловских транзисторах были несколько выше.

Для снижения “токовой напряженности” выходного каскада, в нем применено параллельное соединение трех транзисторов в каждом плече. Предвыходной каскад с током покоя около 40 - 45мА на весьма мощных и линейных транзисторах MJ15032/15033 обеспечивает нормальные условия раскачки для трех параллельных выходных транзисторов, а межбазовое сопротивление величиной 20 Ом – быстрый разряд емкостей база – эмиттер.

Цепь термостабилизации выходного каскада усилителя выполнена по симметричной схеме температурно – чувствительного регулируемого аналога “bandgap” – ИОН и включена между базами первой пары эмиттерных повторителей.

Все источники опорных напряжений для каскодов, нагрузочных источников тока входных ЭП и стабилизаторов питания - “bandgap” – типа (либо прямосмещенный светодиод, либо параллельный стабилизатор TL431), что позволило избавиться от шумов лавинного пробоя, характерных для стабилитронов, и, соответственно, понизить шумовой пьедестал усилителя в целом.

Система поддержания нуля на выходе принципиально аналогична таковой усилителя Lynx9 и отличается лишь применением более качественной элементной базы.

Защита АС от постоянного тока на выходе усилителя выполнена на основе “оконных компараторов” на двояных ОУ. Наряду с защитой АС я применил мягкий заряд емкостей фильтра питания усилителя, когда при включении питания ток заряда ограничен резистором в цепи первичной обмотки силового трансформатора. Это заметно продлевает жизнь дорогим конденсаторам фильтра и не дает 16-амперному автомату в силовом щитке вырубать сеть при каждом включении усилителя. Схема источника питания и защитных систем приведена на рис. 2.

В качестве некоего элемента эстетики усилитель Lynx11 снабжен 20-уровневым индикатором выходной мощности с диапазоном индикации в 60дБ. Схема индикатора приведена на рис.3.

Работающий в настоящее время экземпляр усилителя обладает следующими параметрами:

- | | |
|---|-----------|
| 1. Номинальная выходная мощность на нагрузке 8 Ом, Вт | 2 x 125 |
| 2. Номинальная выходная мощность на нагрузке 4 Ома, Вт | 2 x 250 |
| 3. Номинальная выходная мощность на нагрузке 2 Ома, Вт (в течение 5 с) | 2 x 500 |
| 4. Номинальный диапазон частот при неравномерности АЧХ +0/-3 дБ (без входного фильтра ВЧ-помех), Гц | 0-200000 |
| 5. Скорость нарастания выходного напряжения (с цепями коррекции АЧХ, без входного фильтра ВЧ-помех), В/мкс | 400 |
| 6. Время установления выходного напряжения, нс | менее 200 |
| 7. Коэффициент нелинейных искажений при номинальной выходной мощности на нагрузке 4 Ома и частоте сигнала 10 кГц, % | 0,012 |
| 8. Глубина общей ООС, дБ | 14 |

Коротко о деталях и конструкции. Все маломощные транзисторы, примененные в усилителе, - производства фирмы Toshiba. Выходной и предвыходной каскады - ON Semiconductor.

Все транзисторы должны быть попарно подобраны с точностью не хуже 2,5% по значению $h_{21Э}$, а транзисторы токовых зеркал – подобраны с такой же точностью в четверку. Между транзисторами VT1 и VT6, VT2 и VT5, VT7 и VT8, VT10 и VT11 попарно необходимо обеспечить тепловой контакт. Светодиоды ИОН следует подобрать так, чтобы прямое напряжение на VD1 и VD2, VD3 и VD4 было одинаковым при номинальном рабочем токе 4.5мА.

Резисторы R18, R20, R22, R29, R36, R38, R40, – мощные измерительные толстопленочные фирмы Caddock, типа MP930. Остальные резисторы – металлопленочные, мощностью 0,5Вт (кроме дополнительно указанной) фирмы BC Components, с 1%-допуском. Электролитические конденсаторы – Elna серии RJH, кроме C21 - Black Gate типа FK. Конденсаторы C7 и C13 - керамические, типа KT1 или KT2; все пленочные емкости – фирмы Rifa серии PHE426.

Выходные, предвыходные и термостабилизирующие транзисторы смонтированы на алюминиевых охладителях типа O153-150 по три транзистора каждого плеча + соответствующий предвыходной + термостабилизирующий на одной половине охладителя. Корпуса транзисторов

изолированы от охладителей прокладками из оксида алюминия. Применение слюды и мягких прокладок на основе стеклоткани, ставших популярными в последнее время, нежелательно, поскольку эти материалы вносят большее дополнительное тепловое сопротивление, чем Al_2O_3 . Тепловое сопротивление контактная поверхность охладителя – среда не должно превышать $0,85^{\circ}C/Wt$ на каждое плечо из 3 выходных и одного предвыходного транзисторов.

Большинство элементов схемы смонтировано на печатной плате из фольгированного материала типа FR4 толщиной 2мм с фольгой 70 мкм. Транзисторы VT9, VT12, VT15, VT16 установлены на индивидуальные охладители площадью по 20 см^2 , а VT26, VT27 – по 50 см^2 , размещенные на печатной плате.

Схема, собранная без ошибок из заведомо исправных деталей, практически не требует настройки. Ток покоя выходного каскада устанавливают потенциометром R28 в пределах 300 – 1000мА. Емкости C7 и C13 подбирают при замкнутой цепи ООС по критерию получения гладкой переходной характеристики при сохранении максимально возможной скорости нарастания выходного напряжения.

Благодаря высокой собственной линейности, усилитель может работать без общей ООС. В этом случае первый полюс его АЧХ находится на частоте около 320 кГц, а коэффициент усиления составляет 42дБ. Введение неглубокой ООС, причем постоянной глубины в полосе частот, охватывающей все гармоники любой звуковой частоты вплоть до 16-го порядка для 20 кГц, позволяет увеличить коэффициент демпфирования и уменьшить искажения, сохранив монотонно убывающий характер их спектра. При этом усилитель с замкнутой цепью ООС стабилен при работе на нагрузку любого характера, в т.ч. чисто емкостную.

Силовой трансформатор TR2 (см. рис. 2) – тороидальный, габаритной мощностью 2.5 кВт, причем количество витков в обмотках выбрано таким, чтобы индукция в магнитопроводе не превышала 8000Гс. Вторичные обмотки силового питания выполнены медной лентой. Все выпрямители выполнены на диодах Шоттки фирмы International Rectifier. Конденсаторы фильтров силового питания – фирмы Rifa, серии PEN169. Остальные электролитические конденсаторы – Elna RJH или LPH.

При монтаже усилителя для силовоточных цепей использовался литцендрат ЛЭПШД 1000 х 0,05, помещенный в полиэтиленовую термоусадочную трубку. Входные гнезда RCA и зажимы для подключения АС – фирмы “Thunderbolt”.

В заключение хочу выразить искреннюю признательность и благодарность моим замечательным супруге, матери и сыну за терпение и любовь, сделавшими возможным появление данной конструкции, коллеге из Тольятти Сергею Васянину, чья помощь позволила преодолеть ряд проблем при разработке усилителя, и коллеге из Новосибирска Сергею Рубцову, который рядом идей, высказанных в письмах помог мне не наступать на уже исхоженные грабли, а также моему сотруднику Алексею Вишнякову, оказавшему большую помощь в создании моей странички.

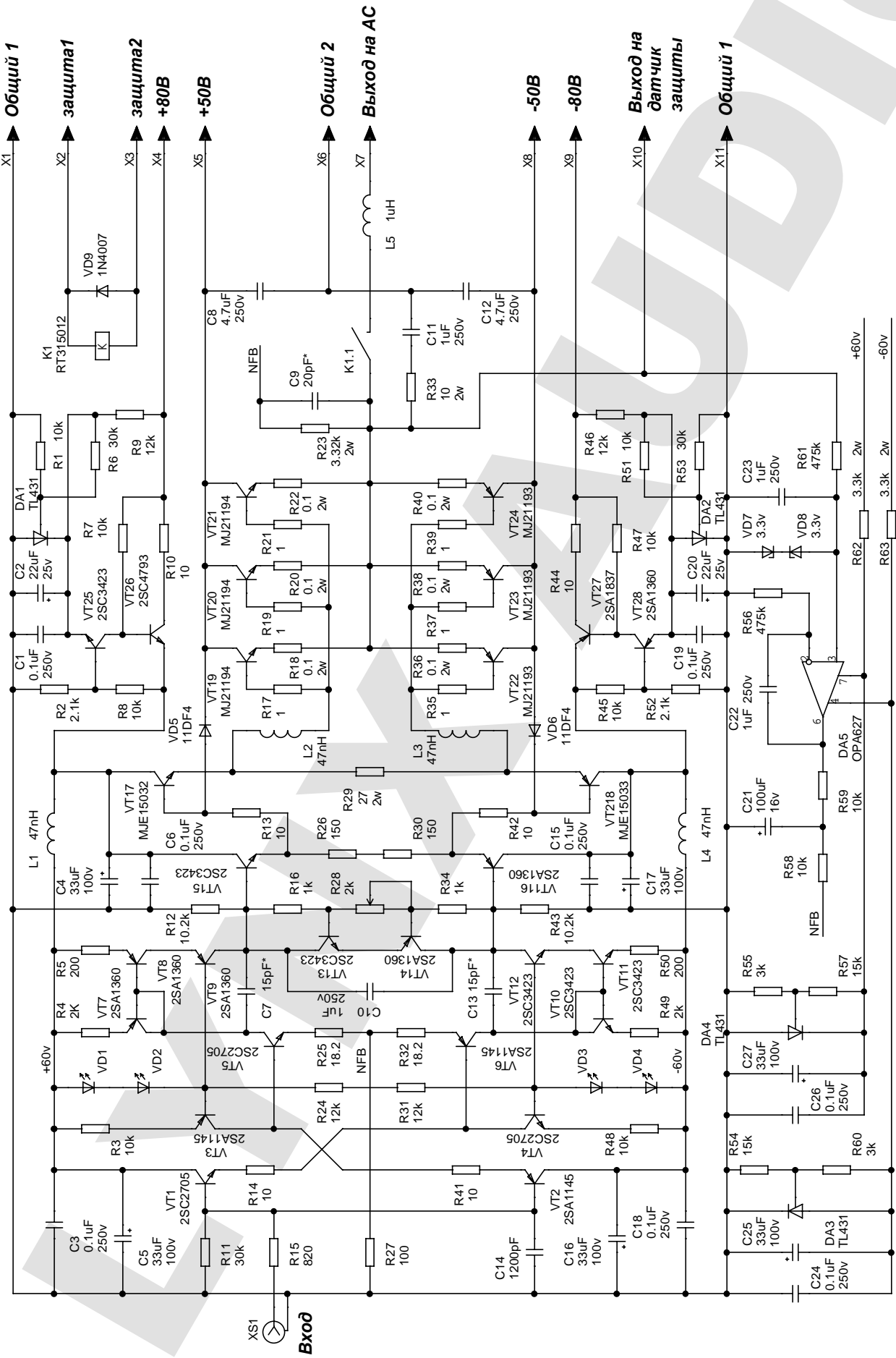
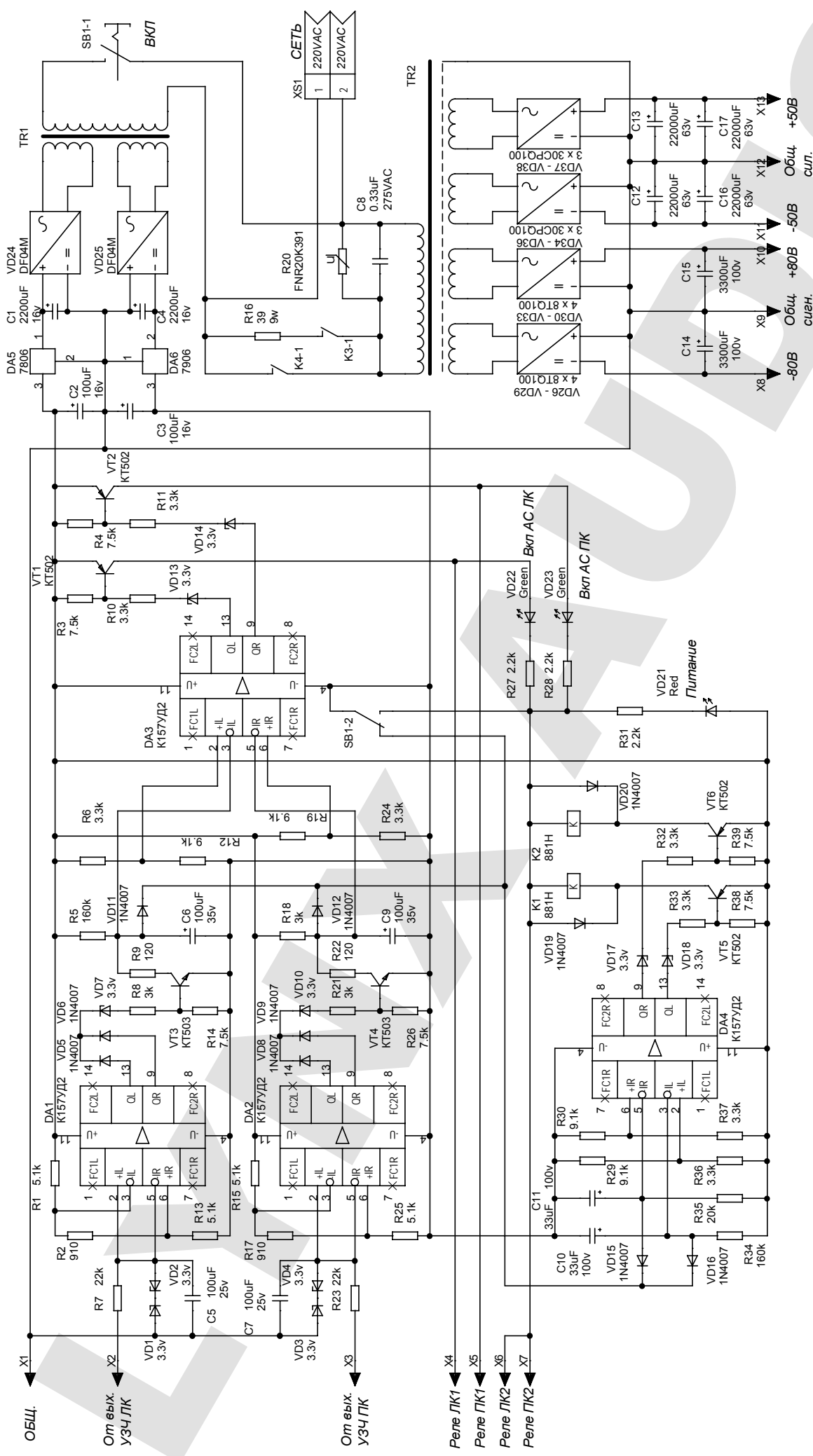


Рис. 1

Title		Lynx Audio Engineering Department	
Size		УНЧ с токовой ООС	
Document Number	1	Sheet	1 of 1
Rev	LA1	Date:	Tuesday, April 22, 2003



Система "мягкого включения", защиты АС и источник питания УЗЧ

Лунх Audio Engineering Department Система защиты АС и источник питания УЗЧ		Rev	1	of	10
		Size	Document Number	Sheet	1
Date:	Tuesday, April 22, 2003	2	9	8	10

Рис. 2

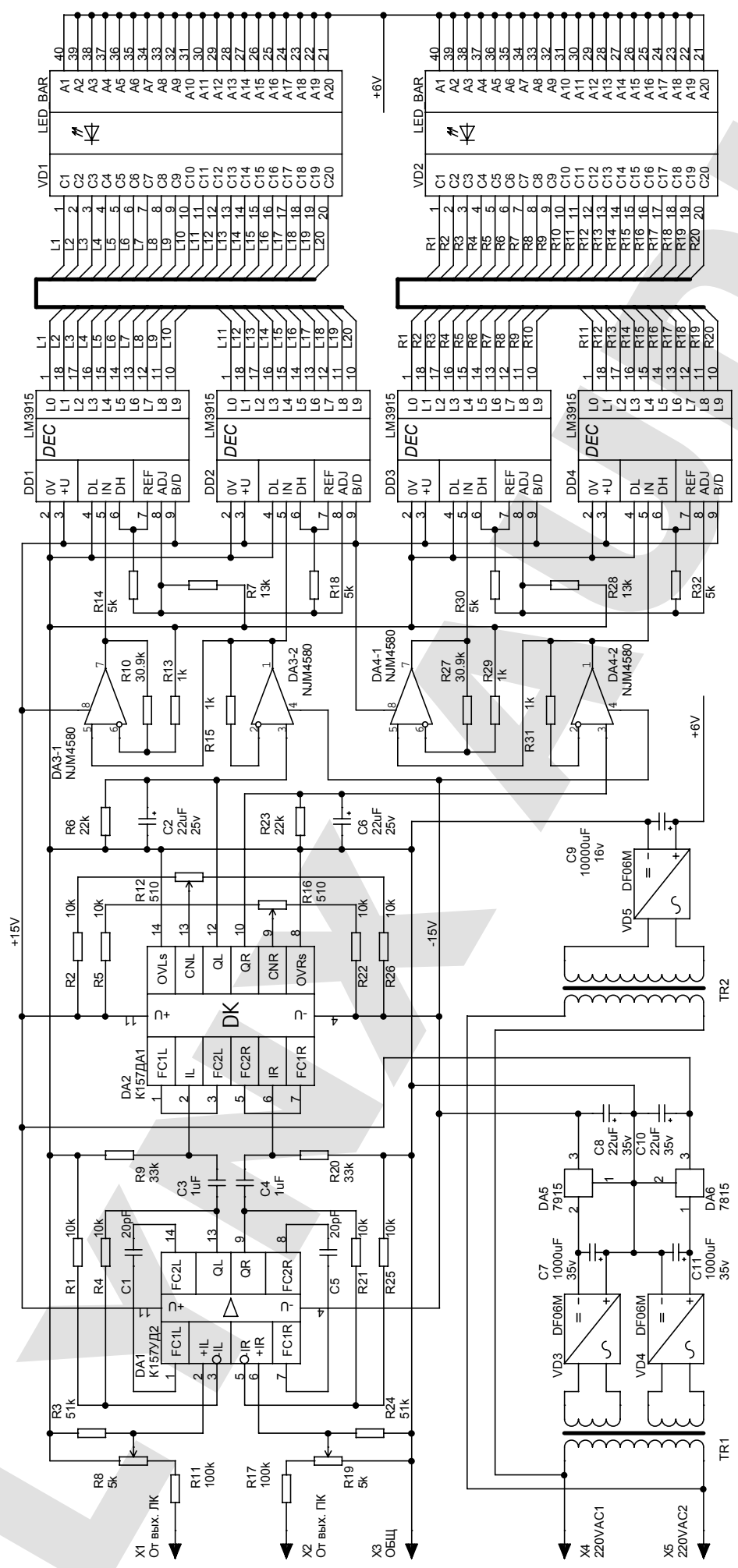


Рис. 3

Лунх Audio Engineering Department	
Индикатор уровня выходного сигнала УНЧ	
Title	
Size	Document Number 3
Date:	Thursday, April 24, 2003
Sheet	1 of 1
Rev	LA3