

Предварительный усилитель Lynx03

Рассматриваемый предварительный усилитель предназначен для работы совместно с усилителями мощности Lynx11- Lynx17 либо иными аппаратами подобного уровня качества.

Устройство обеспечивает:

- коммутацию сигнала от одного из 4-х линейных входов,
- ступенчатое ослабление сигнала на выходе в диапазоне 0...-69дБ с шагом 3дБ,
- дополнительную возможность ослабления сигнала на 20дБ,
- высокое входное и низкое выходное сопротивление и значительный выходной ток, что позволяет работать с межкомпонентными кабелями со значительной собственной емкостью.

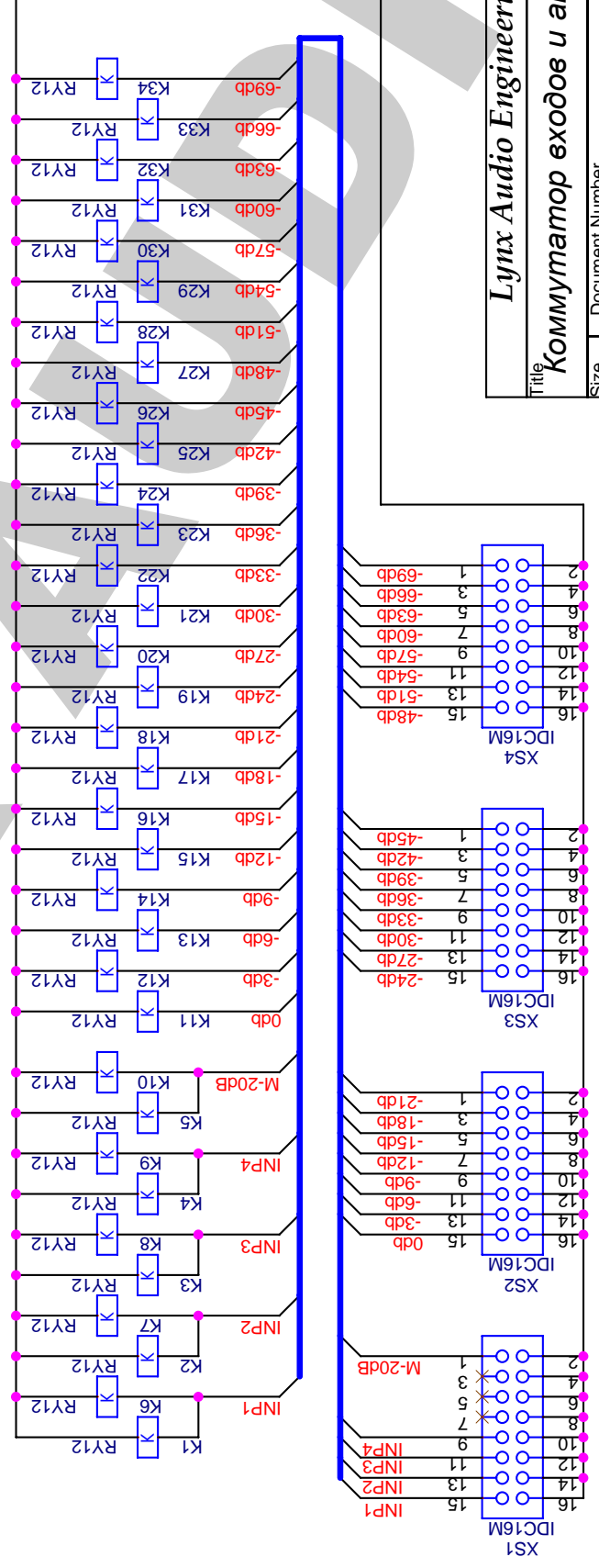
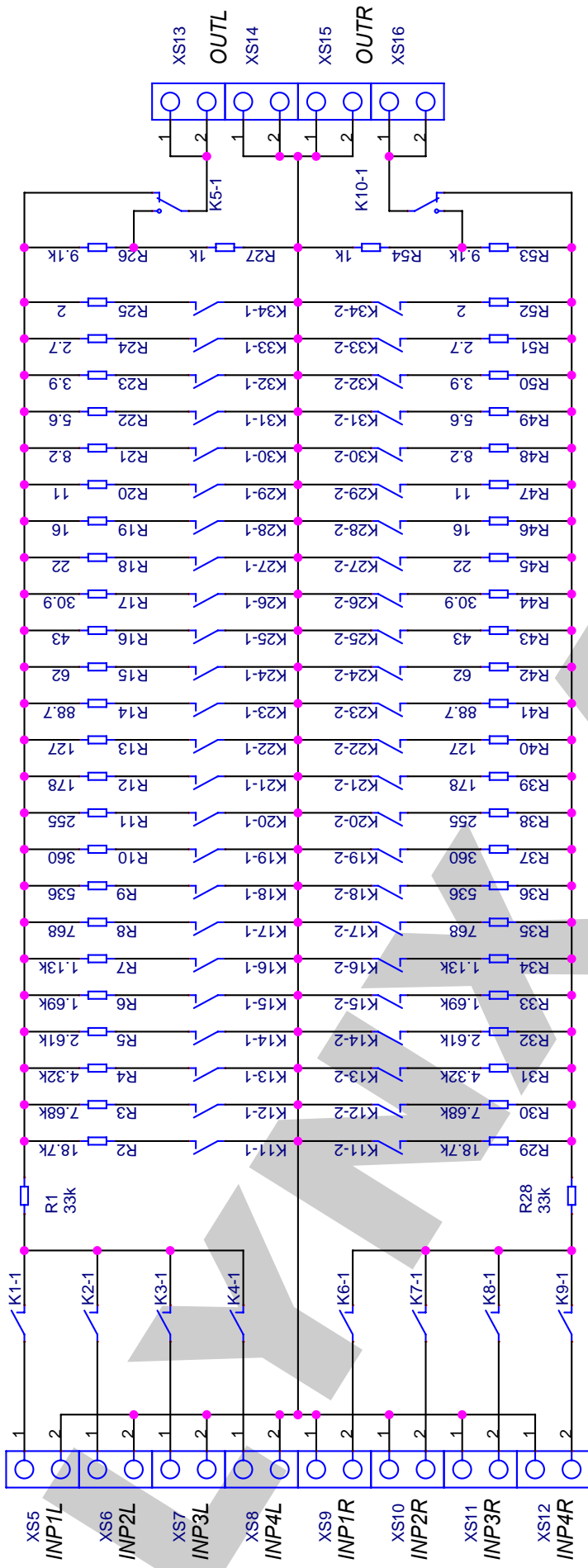
Предварительный усилитель не оснащен регуляторами тембра и стереобаланса, как абсолютно бессмысленными функциями при работе в составе комплекта аппаратуры высокого разрешения.

При разработке данного устройства была поставлена задача сконструировать предварительный усилитель – регулятор громкости, в минимальной мере влияющий на передаваемый сигнал, как с точки зрения объективно измеряемых параметров, так и с точки зрения субъективного восприятия. Поэтому было принято решение использовать в качестве регулятора громкости дискретный L – аттенюатор на основе реле, специально предназначенных для работы с малыми сигналами, а для буферного каскада разработана «композитная» схема усилителя на высококачественных ОУ. Первоначально предполагалось оснастить блок предварительного усилителя логической системой управления на базе ПЛИС и энергонезависимой памяти FRAM, но в процессе работы, с целью упрощения устройства, ускорения его реализации и некоторого снижения стоимости комплектации, логическая система управления была заменена на электромеханическую, в которой коммутация катушек реле осуществляется с помощью многопозиционных галетных переключателей.

Конструктивно предварительный усилитель Lynx03 состоит из 4-х относительно самостоятельных функциональных узлов, - источника питания с устройством мягкого запуска, блока управления и индикации, коммутатора входов и аттенюатора, буферного каскада со стабилизаторами его питания. Каждый из вышеперечисленных узлов выполнен в виде отдельной печатной платы размерами 155 x 110 мм. Принципиальные электрические схемы плат приведены на нижеследующих рисунках:

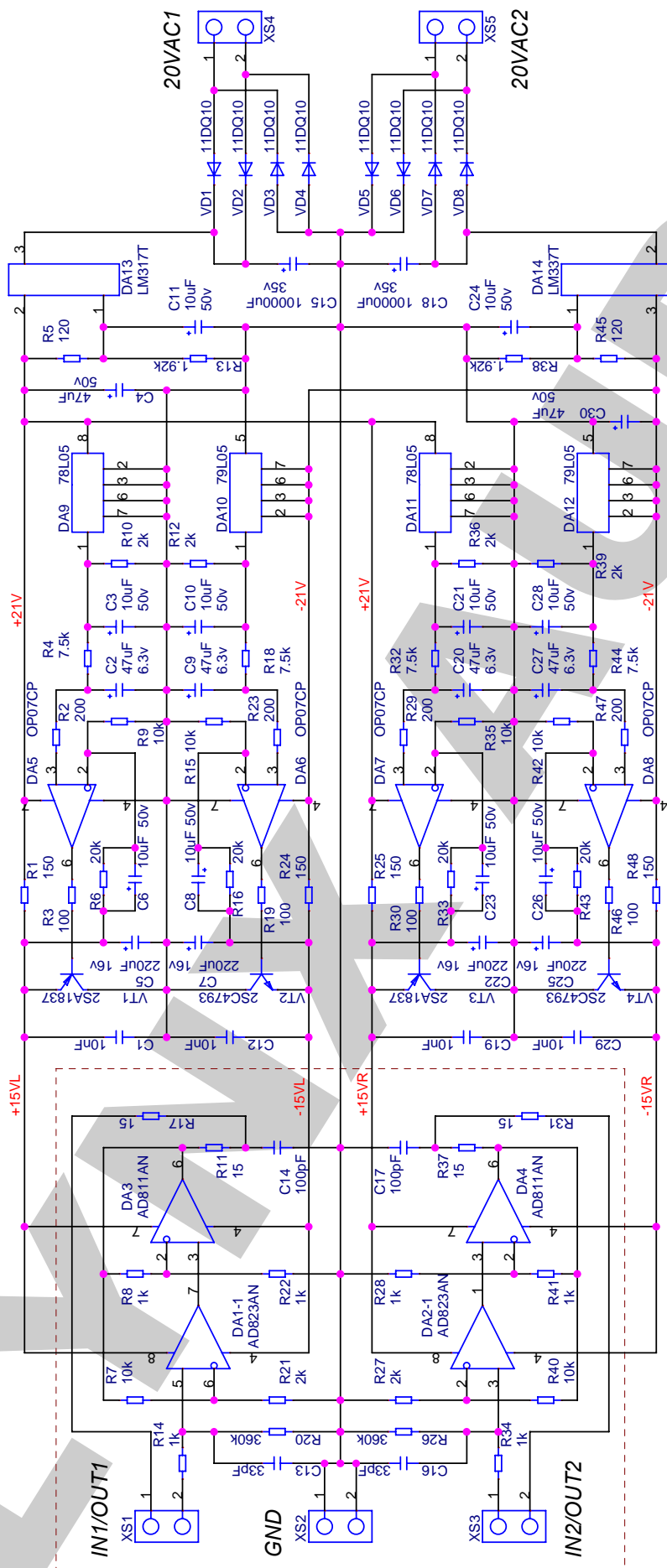
- коммутатор входов и аттенюатор – рис. 1,
- буферный каскад и стабилизаторы питания – рис. 2,
- блок управления и индикации – рис. 3,
- источник питания – рис. 4.

Коммутатор обеспечивает подключение сигнала с одного из 4-х входов к ступенчатому L – аттенюатору и выполнен на реле типа RY12W-K производства Takamisawa – Fujitsu. Контакты этих реле обеспечивают наименьший уровень собственной нелинейности из всех, когда-либо исследованных мною. При уровне сигнала 2В и сопротивлении нагрузки 10кОм, уровень собственных искажений и контактных шумов для контактных групп данных реле составляет менее - 126дБ, т.е. ниже предела разрешения спектроанализаторов серий FSP в узкополосном режиме. Учитывая невысокую цену и доступность данных реле, такие характеристики их контактных групп делают RY12 практически идеальным решением для коммутаторов и аттенюаторов звуковых сигналов. Ступенчатый L – аттенюатор реализован с показательной характеристикой ослабления, двадцатью четырьмя положениями и шагом ослабления по 3дБ на положение. Количество шагов и шаг ослабления выбраны аналогично таковым в усилителях Бриг001 и его прототипе Marantz DC 1180. В качестве основных проходных резисторов R1 и R28 использованы металлофольговые ультрапрецизионные резисторы серии SMR3D производства Vishay. Данные резисторы обладают крайне низким уровнем собственного шума всех разновидностей (теплого, избыточного и токового), практически полным отсутствием собственной термо-ЭДС и очень низкими нелинейностями. Печатная плата аттенюатора допускает установку как вышеуказанных резисторов, так и резисторов серий MELF и RC55. Несколько менее жесткие требования предъявляются к резисторам R2 – R27, R29 - R54, они могут быть прецизионные металлопленочные, напр., серий RN55, RC55, MRS25. Ни в коем случае не следует применять приборы производства СНГ, либо неизвестных производителей, даже прецизионных серий. Их собственные шумы и искажения различных видов обычно на порядок – полтора выше таковых для импортных изделий оригинальных типов. Очень хорошо работают резисторы MELF и оригинальные SMD – резисторы типоразмера 1206. Возможность их применения также предусмотрена в топологии печатной платы.



Лух Audio Engineering Department
Коммутатор входов и attenuатор ЛухХ03А

Document Number **Рис.1**
 Date: Saturday, September 09, 2006
 Sheet 1 of 1
 Rev 3



Лух Audio Engineering Department

title Бufferный каскад и стабилизаторы питания Лух03А

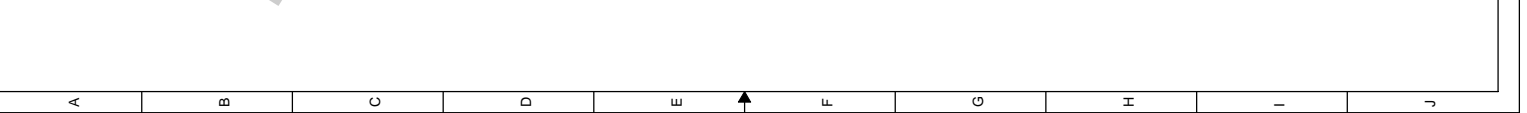
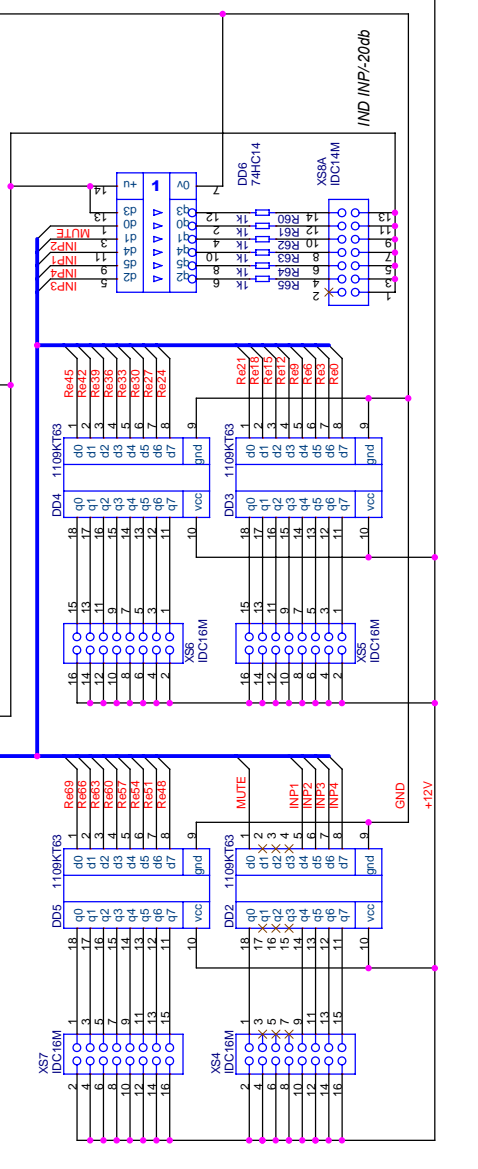
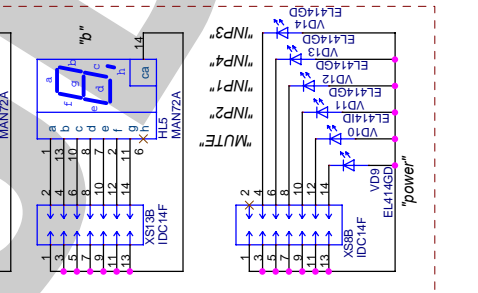
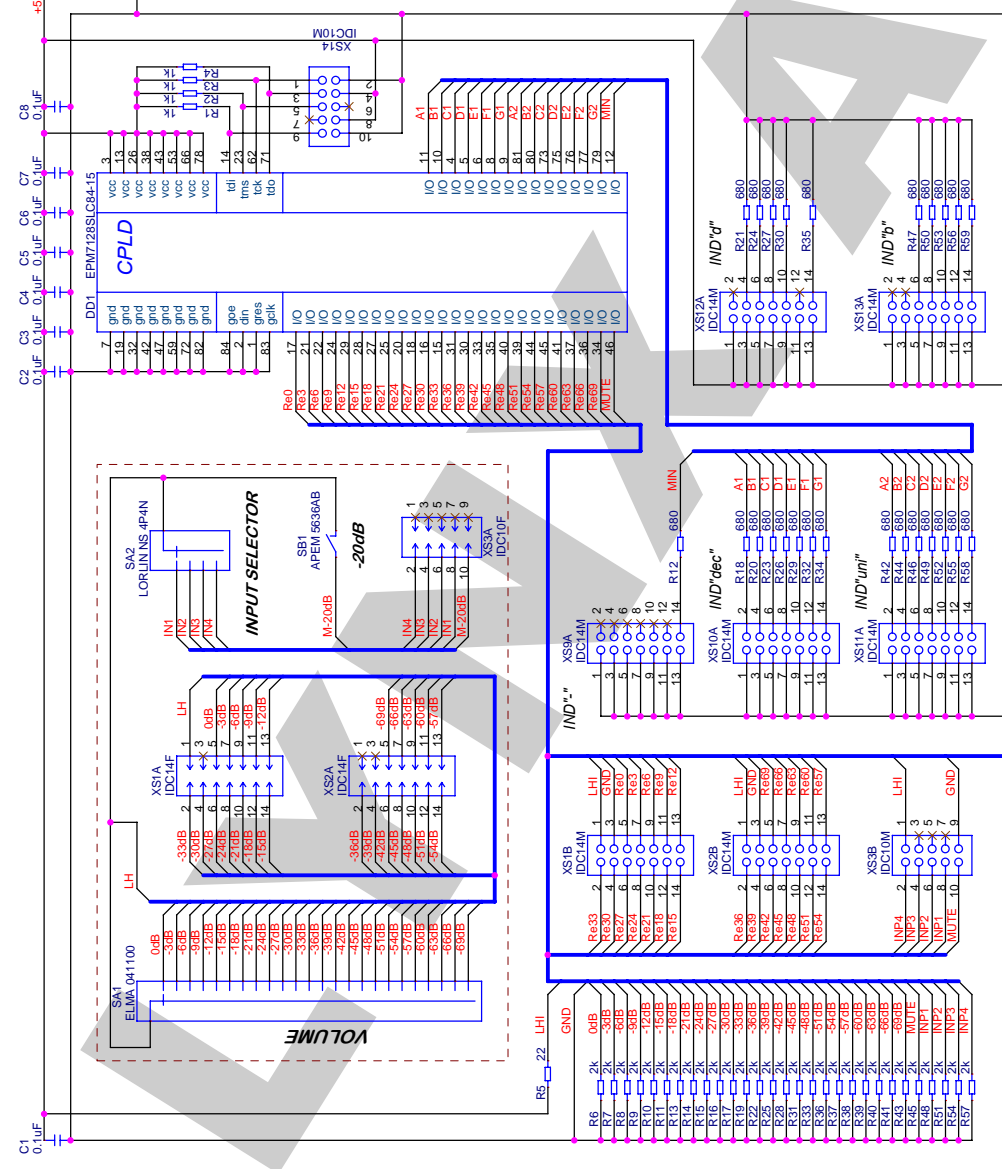
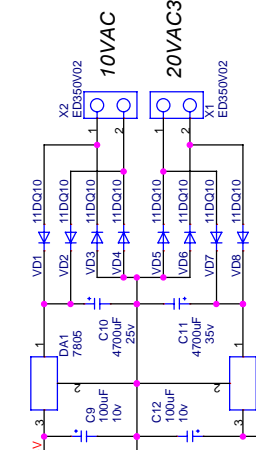
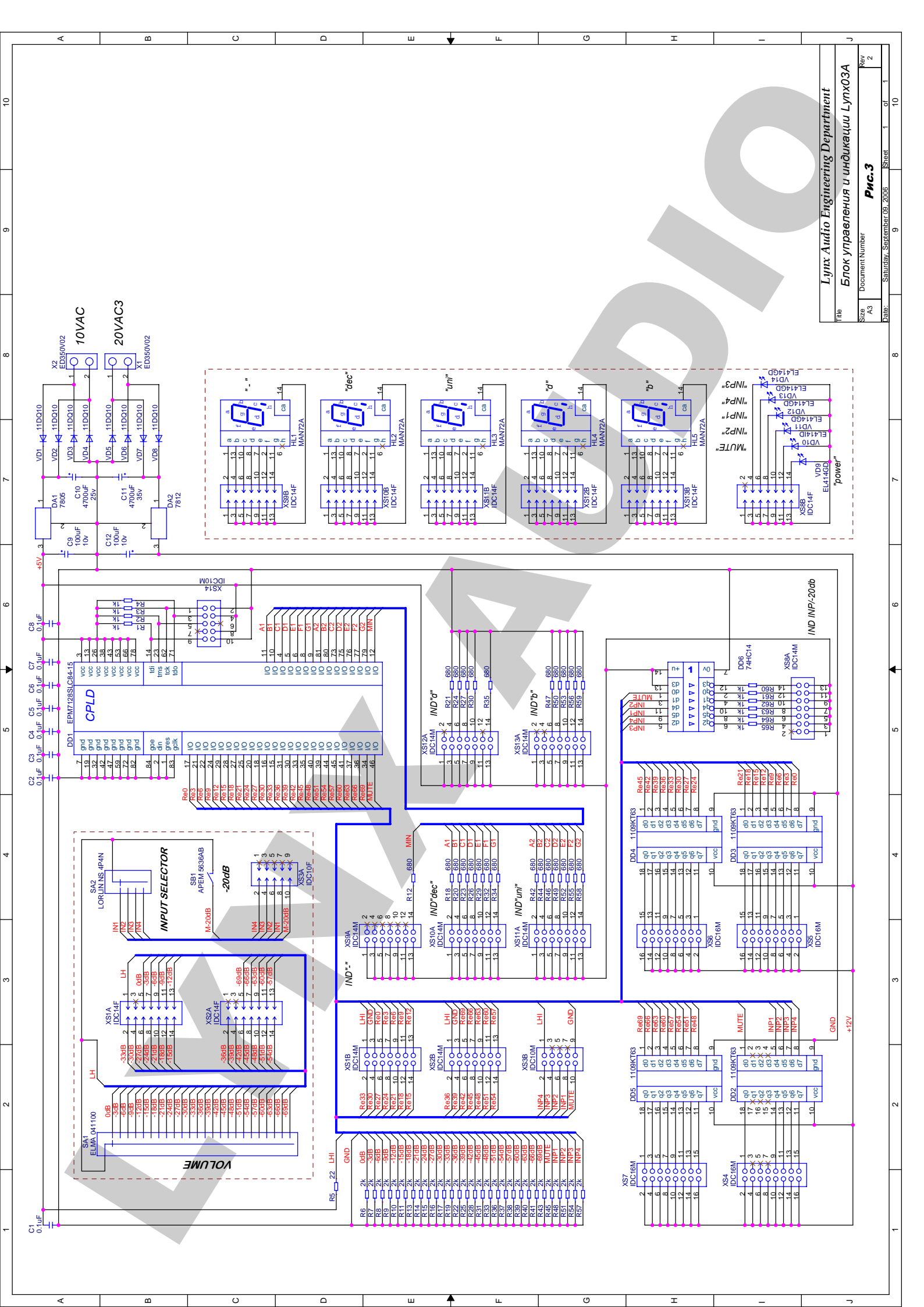
Size Document Number

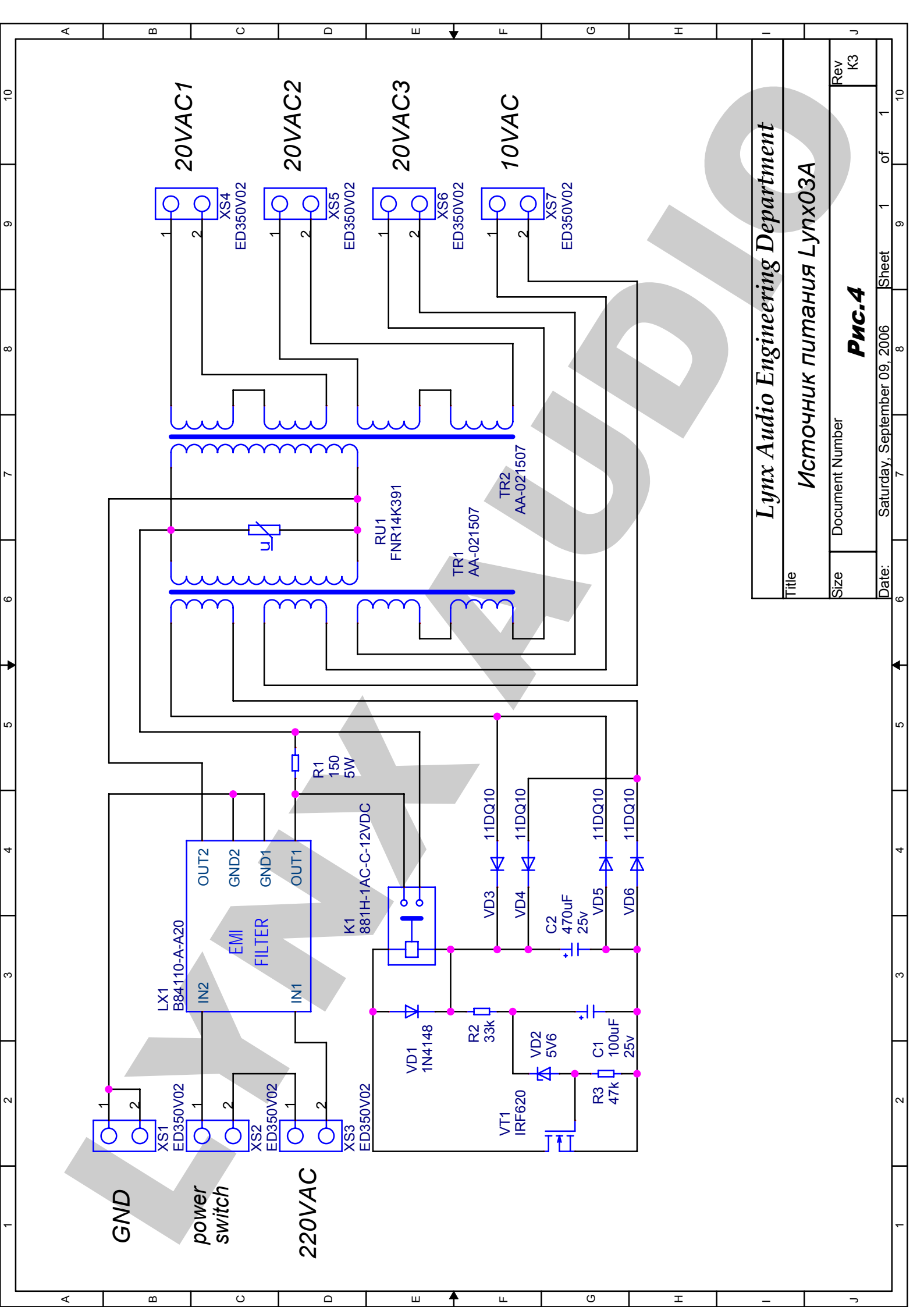
Рис.2

Rev

9

Date: Sunday, September 10, 2006 Sheet 9 of 10





Lynx Audio Engineering Department

Источник питания Lynx03A

Рис.4

Title	
Size	Document Number
Date:	Rev
Saturday, September 09, 2006	K3

Для достижения максимально возможных параметров аттенюатора, реле, применяемые для коммутации резисторов можно подобрать по минимуму контактного шума, термо-ЭДС и нелинейных искажений при работе с сигналами 0.1...0.01 В. Однако, такой подбор весьма сложен и требует выполнения ряда измерений с очень высоким разрешением, что не всегда доступно, а результаты не меняют общей картины принципиально.

Буферный каскад предназначен для компенсации начального ослабления, вносимого аттенюатором, которое в положении «0дБ» составляет примерно 15дБ и для обеспечения низкого выходного сопротивления и большого допустимого тока на выходе. К этому узлу предъявляются весьма жесткие требования – уровень шума должен быть не более -115...-118дБ, искажения при выходном напряжении 2...3 В на нагрузке выше 500...600 Ом в звуковом диапазоне частот - не выше -112...-115дБ, апериодическая переходная характеристика, полоса пропускания – от постоянного тока до 150...200кГц. Кроме того, каскад должен быть устойчив при работе на комплексную нагрузку, обладать высоким входным сопротивлением, низким напряжением и током смещения по входу, минимальной нелинейной составляющей входной емкости для всемерного уменьшения «входных искажений» сигнала от источника с ненулевым выходным сопротивлением [1].

Поскольку выполнение всех вышеперечисленных требований в однокристалльном монолитном ОУ практически весьма затруднено, было принято решение использовать так называемую «композиционную» схему ОУ, в которой применяются два или более ОУ, причем входной прибор обеспечивает требуемый уровень входного сопротивления, тока и напряжения смещения, петлевого усиления и частоту первого полюса, а выходной – высокую нагрузочную способность и низкий уровень искажений при работе на низкоомную нагрузку. Основные принципы построения подобных «композиционных» ОУ рассмотрены в [2], [3] и [4]. В результате изучения схемотехники и технических данных различных типов ОУ, в той или иной мере пригодных для использования в «композиционном» усилителе, были выбраны приборы типов AD823 для входного каскада и AD811 для выходного.

AD823 представляет собой ОУ с дифкаскадом на полевых транзисторах с низкой крутизной и малыми емкостями, усилителем напряжения в виде сломанного каскада и симметричным выходным каскадом типа «токовое зеркало с усилением» [4]. Данный ОУ обладает весьма низкими искажениями при работе на высокоомные нагрузки, хорошим запасом устойчивости (порядка 6...7дБ), очень низкой входной емкостью и малым напряжением и током смещения на входе [5]. Буферный каскад выполнен на основе хорошо известного ОУ с ТОС AD811 [6]. Он обеспечивает слабонагруженный режим работы выхода AD823, и, кроме того, дополнительное усиление по напряжению, равное 2. Такое решение позволяет не только увеличить петлевое усиление, но и поднять скорость нарастания выходного напряжения и расширить полосу пропускания «композиита» с замкнутой петлей ООС (естественно при условии достаточного запаса устойчивости входного ОУ и значительно более широкой полосы частот выходного каскада, чем входного, что в данном случае безусловно выполняется).

На плате буферного усилителя размещены два канала на «композиционных» ОУ в неинвертирующем включении, независимые параллельные стабилизаторы компенсационного типа для питания ОУ, выполненные по структуре ИОН - фильтр шумов – ОУ. В качестве ИОН применены маломощные стабилизаторы типов 78L05 и 79L05. Использование фильтра шумов с частотой среза 0.45Гц в значительной степени снижает собственный шум таких ИОН и, в результате, шум выходного напряжения стабилизаторов определяется в основном шумом примененных ОУ. С этой точки зрения оптимальны для работы в стабилизаторах питания именно приборы типа OP07, поскольку они имеют наиболее удачную комбинацию входных шумовых параметров (тока и напряжения) и позволяют получить минимальный шум всего устройства в целом.

Первичные стабилизаторы, выпрямители и конденсаторы фильтров питания применены общие для обоих каналов. При этом развязка между каналами по цепям питания составляет более 120дБ.

Коэффициент передачи усилителей с замкнутой петлей ООС составляет 16дБ. От ВЧ помех входы ОУ защищены Г-образными RC - фильтрами R14C13 и R34C16, а выходы – Т-образными фильтрами R11C14R17 и R37C17R31. При проектировании подобных каскадов с очень низкими шумами и искажениями следует особое внимание уделить применяемой элементной базе, поскольку результирующий динамический диапазон в существенной мере будет определяться ее особенностями. Резисторы в сигнальных цепях следует применять малошумящих типов, металлопленочные или металлофольговые, в частности, RC55, RN55. Пленочные блокирующие конденсаторы – полипропиленовые фольговые, Wima FKP2, электролитические после стабилизаторов – Rubycon Black Gate серии FK, K или C. Электролитические конденсаторы в цепях ООС стабилизаторов и в фильтрах шумов ИОН - Rubycon Black Gate серии Standart, K, FK, NX или C. Указанные конденсаторы обладают минимальными флуктуациями емкости, т.е. «емкостным шумом» и обеспечивают наиболее «чистое» стабилизированное питание усилительных каскадов.

Конденсаторы фильтров выпрямителей – Rubycon Black Gate Standart, Hitachi HP3 или Elna LPH. Диоды выпрямителей питания – с переходом Шоттки. Балластные резисторы параллельных стабилизаторов – толстопленочные производства Caddock, типа MP930.

Блок управления и индикации выполнен на отдельной плате и предназначен для управления реле коммутатора входов и аттенюатора и индикации текущего состояния предварительного усилителя. Для управления реле аттенюатора применяется 24-х позиционный галетный переключатель производства швейцарской фирмы ELMA с функцией «замыкание перед коммутацией». Это позволяет избежать щелчков при регулировании громкости в условиях наличия сигнала. Если же временные характеристики примененных реле таковы, что их коммутация происходит существенно медленнее отпуская, то устранить возникающие в этом случае щелчки очень просто с помощью шунтирования обмоток реле конденсаторами емкостью 10...20мкФ.

Сигнал высокого лог. уровня с одного из контактов «галетника» одновременно подается на ключ соответствующего реле и на вход ПЛИС, проект которой выполняет преобразование точно - позиционного кода в семисегментный код индикации текущего уровня ослабления сигнала. Ослабление отображается посредством семисегментных индикаторов. Выходной ток буферов ПЛИС может достигать 25...40 мА, поэтому в модуле индикации возможно применение практически любых современных светодиодных индикаторов с общим анодом.

Выбор реле, коммутирующего вход, осуществляется также галетным переключателем на четыре положения, а индикация подключенного входа – дискретными светодиодами.

Режим ослабления сигнала в 10 раз (-20дБ) осуществляется с помощью переключателя на два положения, работающего на ключ соответствующих реле. Кроме того, сигнал этого переключателя подается на ПЛИС для изменения показаний индикаторов на 20дБ, а также на дополнительный дискретный светодиод.

Выпрямители (на основе диодов с переходом Шоттки), фильтры и стабилизаторы питания реле и индикаторов размещены на этой же плате. Соединения платы с переключателями регулятора громкости, коммутации входов и ослабления, светодиодами и семисегментными индикаторами, платой аттенюатора осуществляется с помощью плоских шлейфов и разъемов типа IDC. При монтаже следует обратить внимание на то, что сигнальную землю плат обработки звуковых сигналов (аттенюатор и буфер) ОБЯЗАТЕЛЬНО нужно соединить с землей платы блока управления отдельным проводником, в противном случае может заметно возрасти уровень фона и наводок.

Плата источника питания содержит капсулированные тороидальные трансформаторы производства Toroid, обеспечивающие питание всех узлов предварительного усилителя, фильтр ВЧ-помех производства Epcos, простейшую систему «soft-start», ограничивающую токи заряда конденсаторов фильтров и пусковые токи первичных обмоток трансформаторов и варисторный ограничитель импульсных помех.

Внешний вид нескольких экземпляров предварительного усилителя Lynx03 в процессе сборки приведен на рис.5 и рис.6 :

Собранный и настроенный усилитель обладает следующими техническими характеристиками:

- | | |
|---|--------------|
| 1. Номинальный малосигнальный диапазон воспроизводимых частот при неравномерности АЧХ не более +/-1дБ, Гц | 0.....300000 |
| 2. Скорость нарастания выходного напряжения, В/мкс | 60 |
| 3. Уровень гармонических искажений при выходном напряжении +/- 3В, на частотах 100Гц, 1000Гц и 10000Гц и нагрузке 1кОм дБ, менее | -116 |
| 4. Уровень интермодуляционных составляющих, дБ (суммарных и разностных) для частот 5 кГц и 6 кГц суммарной тепловой мощностью 4мВт на нагрузке 1 кОм, дБ, менее | -116 |
| 5. Уровень шумов и помех на выходе, дБ, менее | -118 |
| 6. Выходное сопротивление (с выходным защитным фильтром), Ом | 30 +/-1 |

Внешний вид нескольких экземпляров предварительного усилителя Lunx03 в процессе сборки приведен на рис.5 и рис.6:

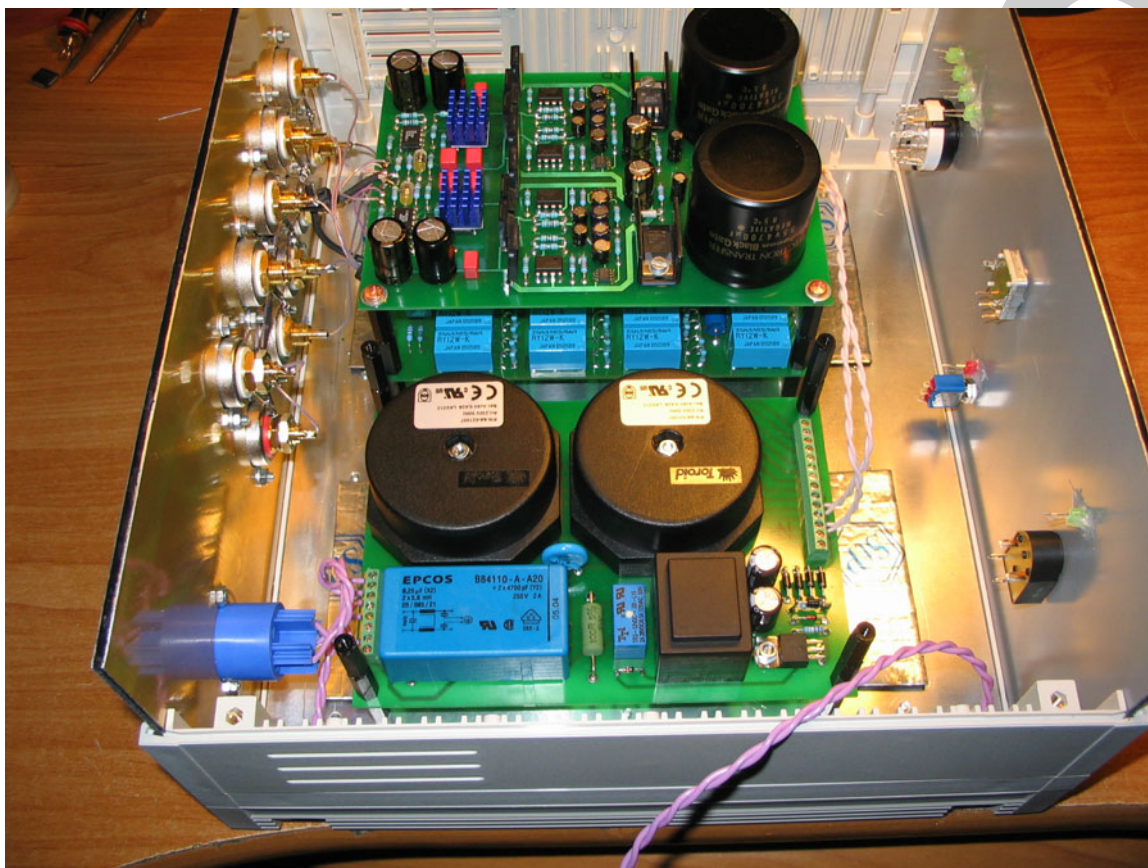


Рис. 5

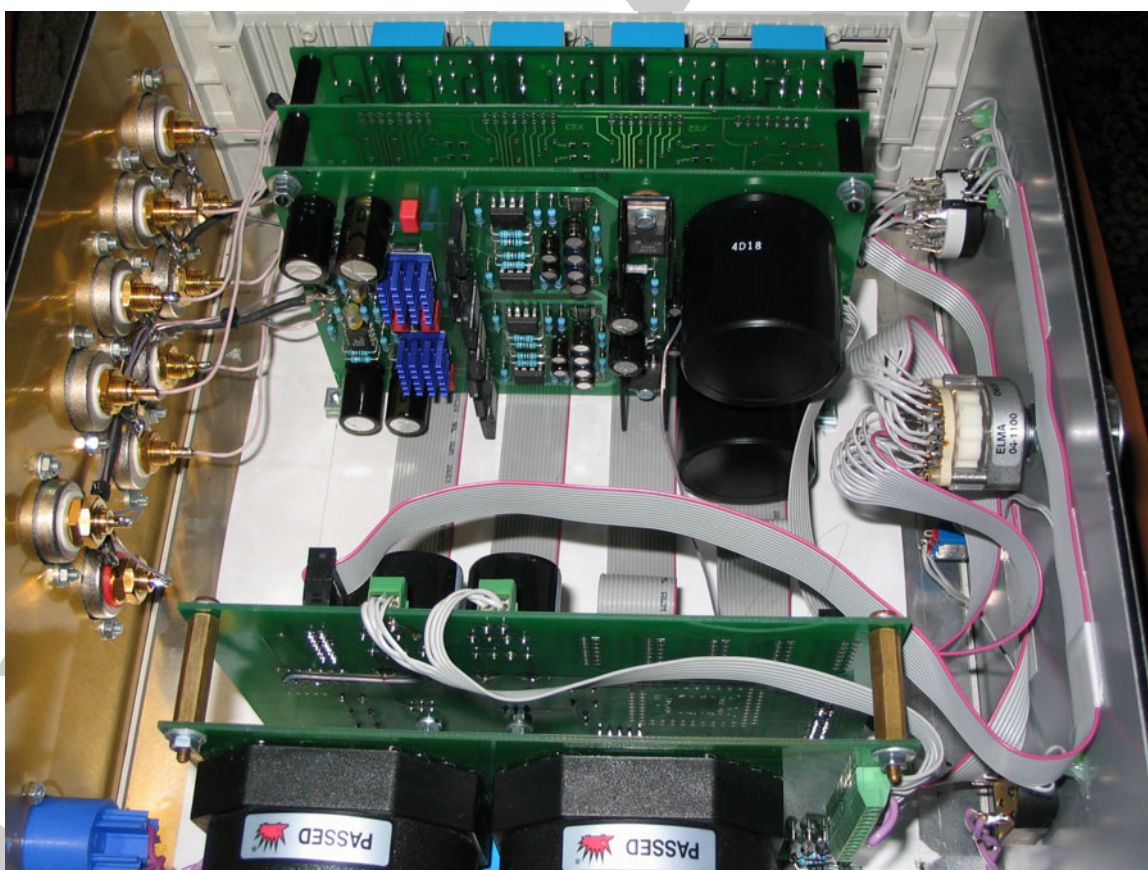


Рис. 6

Привести спектрограммы продуктов искажений не представляется возможным ввиду того, что собственные искажения усилителя лежат ниже уровня искажений и шумов измерительного АЦП, имеющегося в наличии (АК5394)

Большинство деталей и конструктивных элементов, примененных в предварительном усилителе Lynx03, доступны из номенклатуры каталога [Elfa](#), а также у перербургских фирм-поставщиков электронных компонентов «[Вест-Эл](#)», «[Элтех](#)», «[ЭФО](#)», «[Мега-Электроника](#)», «[Самodelка.Ру](#)»

В заключение хочу выразить свою признательность и благодарность всем, кто в той или иной мере принимал участие в работе над данным проектом, своей поддержкой и участием помогал в трудные минуты и радовался вместе со мной удачам, - моим жене, сыну и матери, моим товарищам и коллегам – Александру Бахареву (г. С. – Петербург), Сергею Жукову (г. С.-Петербург), Алексею Вишнякову (г. С. – Петербург), Евгению Артемову (г. Москва), Юрию Дудину (г. Троицк), Сергею Проворову (г. Красногорск), а также вышеуказанным фирмам - поставщикам электронных компонентов.

Литература и документация

1. Analog Devices Application Note AN232
2. W. Jung, S. Wurcer, "A High Performance Audio Composite Line Stage", 1992 Amplifier Applications Guide, ADI, Norwood, MA, 1992.
3. W. Jung "Composite Line Driver With Low Distortion", Electronic Design Analog Special Issue, June 24, 1996
4. Op Amp Applications, ADI, Norwood, MA, 2002
5. Analog Devices AD823 Datasheet
6. Analog Devices AD811 Datasheet

Санкт – Петербург,
Апрель – сентябрь 2006г.