

Универсальный гибридный усилитель

"Ламповый ренессанс", определяющий политику многих фирм-производителей аудиоаппаратуры последнее десятилетие, вызвал к жизни множество разнообразных конструкций усилителей на электровакуумных приборах. Некоторая их часть действительно обладает достойным качеством и параметрами, большая же часть - откровенное барахло при несопоставимо высоких, по сравнению с реальным качеством, ценах. С другой стороны, за прошедшие годы существенно возрос уровень полупроводниковых технологий, и, что не менее важно, доступность хороших компонентов на отечественном рынке, позволяющий создавать интегральные устройства весьма высокого качества. По всей видимости, объединение в едином устройстве полупроводниковых и электровакуумных приборов, позволяющее реализовать лучшие свойства и тех, и других, станет весьма существенным направлением в конструировании высококачественной аудиоаппаратуры в ближайшие годы.

Рассматриваемый усилитель относится к классу устройств, сочетающих в одной конструкции лампы и полупроводниковые элементы. Благодаря этому, усилитель обладает очень хорошим звучанием, однако его энергопотребление и габариты существенно меньше, чем у аналогичных по качеству ламповых моделей.

Основные технические характеристики усилителя приведены ниже:

1. Номинальная выходная мощность, Вт, не менее	2 x 8,5
2. Номинальный диапазон частот при неравномерности АЧХ ± 3 дБ, Гц, не уже	10...30000
3. Коэффициент нелинейных искажений при номинальной выходной мощности в диапазоне частот 40 Гц - 16000 Гц, %, не более	0,35
4. Относительный уровень шумов и помех, дБ, не более	-92
5. Чувствительность (входное сопротивление) со входа №1 со входа №2	1 В (15 кОм) 0,25 (470 кОм)
6. Скорость нарастания выходного напряжения, В/мкс, не менее	3
7. Мощность, потребляемая от сети, Вт, не более	85

Функционально усилитель состоит из 4-х основных блоков:

A1 - блок коммутации и регулировки (рис. 1)

A2 - оконечные усилители (рис. 2)

A3 - блок управления и индикации (рис. 3)

A4 - блок питания (рис.4)

Блок коммутации и регулировки (A1) обеспечивает предварительное усиление входного сигнала, коммутацию входов, регулировку громкости и включение режима "тихо". Его принципиальная схема приведена на рис. 1. Входной сигнал с разъемов 1XS1 и 1XS2 подается на вход усилительных каскадов на ОУ 1DA1 и 1DA2 типа AD845 фирмы Analog Devices. Эти ОУ отличает низкий уровень шумов и искажений, хорошие динамические параметры и очень хорошее "субъективное" качество звучания.

Коммутатор входов выполнен на реле 1K1 типа RY12W-K фирмы Takamisawa. Применение данного типа реле обусловлено тем, что оно специально предназначено для коммутации слабых сигналов, его контакты обладают низким уровнем термо-ЭДС и контактной разности потенциалов. Тщательная обработка контактных поверхностей и

применение в качестве материала контактов сплава серебро-палладий, покрытого золотом Au 99,999 снижает контактные шумы до уровня тепловых шумов резисторов.

На выводы нормально разомкнутых контактов реле подается сигнал непосредственно со входных разъемов 1XS3, 1XS4 (вход №2), а на выводы нормально замкнутых контактов - сигнал с выхода каскада предварительного усиления. С выводов перекидных контактов сигналы левого и правого каналов поступают на входы регулятора громкости, выполненного на микросхеме 1DA3 типа AD7112 фирмы Analog Devices. Данная ИС (торговое название LOGDAC) представляет собой двухканальный умножающий 17-и разрядный ЦАП, выполненный по КМОП-технологии. На одном кристалле вместе с ЦАП выполнен специальный дешифратор, преобразующий входной 8-и разрядный код в 17-и разрядный, построенный таким образом, что линейному изменению входного кода соответствует логарифмическое изменение вытекающего тока ЦАП, причем изменение входного кода на единицу изменяет выходной ток на 0,375 дБ. Так реализуется характеристика передачи код-ток, соответствующая характеристике переменного резистора группы "В".

Как и другие умножающие ЦАП структуры КМОП, AD7112 работает с двуполярным опорным напряжением размахом до ± 25 В, в качестве которого используется звуковой сигнал. Выходной ток ЦАП преобразуется в напряжение каскадами на ОУ 1DA4 и 1DA5 типа AD845; напряжение на выходе этого каскада в любой момент времени может быть определено по формуле:

$$U_{\text{вых}} = -U_{\text{вх}} \times 10^{\exp\left(-\frac{0,375N}{20}\right)}$$

где:

$U_{\text{вых}}$ - выходное напряжение;

$U_{\text{вх}}$ - входное напряжение;

N - десятичное значение входного кода.

Переключение режима "норма-ослабление" ("тихо") осуществляется контактами реле 1K2 типа RY12W-K. При этом сигнал снимается либо непосредственно с выхода ОУ 1DA4, 1DA5, либо с делителя, образованного резисторами 1R9, 1R10 (1R13, 1R14). Выводы переключающего контакта реле 1K2 являются выходами сигнала с блока коммутации и регулировки, который подается на входы оконечных усилителей (A2) выполненных по трехкаскадной схеме с многопетлевой ООС (рис.2). Первый каскад реализован на ОУ 2DA1 и 2DA2 типа AD845, охваченных местной ООС через резисторы 2R3, 2R6 (2R22, 2R10). Собственный коэффициент усиления этого каскада 30 дБ. На инвертирующие входы ОУ подается также сигнал общей ООС с выходов усилителя через резисторы 2R1 (2R24). Второй каскад (микросхемы 2DA3, 2DA4), - фазоинвертор на основе так называемого "балансного драйвера" типа SSM2142 фирмы Analog Devices. Эта микросхема формирует на выходах одинаковые по амплитуде противофазные сигналы в широком диапазоне частот с очень низкими нелинейными искажениями при работе на нагрузку от 600 Ом. Сигналы с выходов фазоинвертора через антипаразитные резисторы 2R1 (2R9) и 2R8 (2R16) поступают на управляющие сетки ламп двухтактного выходного каскада. Выходные лампы, - пентоды типа 6П43П, работают с автоматическим смещением, определяемым резисторами (2R2, 2R3), (2R4, 2R5), (2R12, 2R13) и (2R14, 2R15) в цепях катодов. Резисторы зашунтированы конденсаторами 2C1, 2C3, 2C6, 2C8. Анодная нагрузка ламп - цепь первичной обмотки выходного трансформатора 2TR1 (2TR2). Сигнал со вторичной обмотки трансформаторов поступает на выходные разъемы 2XS1 и 2XS2. От качества выходных трансформаторов во многом зависит результирующее качество всего устройства, поэтому к их конструированию и изготовлению следует подойти с особой тщательностью и вниманием. Эквивалентное сопротивление "анод-анод" выходного каскада должно составлять:

4,5 ... 6,5 кОм для 6П14П

2,8 ... 4 кОм для 6П18П

2,5 ... 3,5 кОм для 6П33П

2,5 ... 4 кОм для 6П41С

3 ... 4,5 кОм для 6П43П

Вторичные обмотки трансформаторов 2TR1 и 2TR2 зашунтированы нормально замкнутыми контактами реле 2К1 типа RY12 на время протекания переходных процессов при включении усилителя. Задержка размыкания контактов определяется отдельно смонтированным простейшим реле времени.

Блок управления и индикации (А3) осуществляет управление электронным регулятором громкости и семисегментными светодиодными индикаторами, отображающими ослабление, вносимое регулятором громкости в дБ.

Основа этого блока – ПЛИС EPM7128SLC84.

На выходах матрицы формируются сигналы управляющего кода для регулятора громкости (D7 - D0), сигнал выбора соответствующего канала ЦАП (A/B), и сигналы записи данных в регистры ЦАП (WR и CS) соответственно протоколу записи данных AD7112, а также сигналы управления статическим индикатором на светодиодных матрицах 3HL1 - 3HL6.

Управление громкостью производится посредством кнопок 3SB1 и 3SB2 (громче и тише). При нажатии на любую из них ПЛИС формирует разрешающий сигнал для тактового генератора, импульсы которого подсчитываются реверсивным счетчиком с ограничением пределов счета. Для каждого значения выходного кода счетчика формируются соответствующие сигналы CS, WR и A/B и выходные сигналы индикации. Выбор в пользу статического индикатора определен отсутствием импульсных помех при работе подобного устройства. Выходы ПЛИС управляют электронными ключами (3DD3 - 3DD6), которые работают на светодиоды семисегментных индикаторов. Индикатор 3HL1 используется для получения знака "-", а 3HL7 и 3HL8 - букв dB.

Тактовый генератор выполнен на элементах 3DD1B, 3DD1D и 3R3 и 3C8, а генератор сигнала начального сброса ПЛИС - элементами 3DD1A, 3DD1C и 3R1 и 3C7. Резисторы наборов 3R12 - 3R18 ограничивают ток через светодиоды семисегментных индикаторов на уровне 5 мА. Реализовать устройство управления и индикации можно и на жесткой логике (это займет примерно 15-30 корпусов микросхем серии ТТЛ (74), либо на однокристальном микропроцессоре серий 89С52, 89С53 и т.п., но, в этом случае, необходимо принимать все доступные меры по борьбе с импульсными помехами, проникающими в цепи аналоговых сигналов.

Блок питания (А4) обеспечивает напряжения питания следующих значений:

1. +180 В (нестабилизованное) - питание цепей анодов и экранных сеток выходного каскада;
2. ±15 В (стабилизированное) - питание всех операционных усилителей и балансных драйверов;
3. +12 В (стабилизированное) - питание обмоток реле;
4. +5 В (стабилизированное) - питание цифровых микросхем, светодиодных индикаторов и цифровой части AD7112;
5. ~6,3 В - питание цепей накала ламп выходного каскада.

Трансформатор 4TR1 имеет 7 вторичных обмоток и выполнен на тороидальном магнитопроводе, причем число витков всех обмоток увеличено в 1,5 раза по сравнению с расчетным для снижения магнитных наводок. Выпрямитель питания +180 В реализован на быстродействующих диодах 4VD1 - 4VD4 типа HFA08TB60. Резисторы 4R1, 4R2, 4R3, 4R4 и конденсаторы 4C3 и 4C4 обеспечивают подачу положительного потенциала около +30 В на накальные обмотки для снижения уровня фона от цепей накала. Выпрямители для стабилизаторов ±15 В, +12 В и +5 В выполнены на сборках диодов Шоттки типа L6210 фирмы SGS Thomson. Каждая сборка содержит 2 моста с выпрямленным максимальным напряжением до 50 В и током до 4 А. В стабилизаторах ±15 В работают микросхемы LM317/LM337, а в +12 В и +5 В соответственно LM7812 и LM7805. Все

интегральные стабилизаторы размещаются на общем теплоотводе площадью около 150 см².

Коротко о примененных деталях и возможных заменах.

1. Блок коммутации и регулировки (A1).

1DA1, 1DA2, 1DA4, 1DA5 могут быть заменены на AD843, AD825, AD744, OP42, AD797 (с небольшими доработками из-за его нестабильности при коэффициенте усиления менее 5) без ухудшения качества или с незначительным его ухудшением.

1DA4, 1DA5 можно заменить и на AD811, AD846. Допустимо использовать и многие другие ОУ с учетом их особенностей и качества звучания.

Микросхема AD7112 аналогов не имеет. В принципе, ее можно заменить любым другим сдвоенным умножающим ЦАП или двумя одиночными, но при этом не сохранится логарифмический закон изменения громкости. Непосредственная замена (правда, с линейной характеристикой регулирования) - это сдвоенный линейный ЦАП AD7528 (и по выводам и по сигналам), либо его аналог MX7528 (фирма **Maxim**). Отечественные ЦАП серии K572 применять не рекомендуется ввиду существенно больших искажений.

Реле RY12W-K можно заменить на другие реле, предназначенные для коммутации сигналов малых уровней.

2. Блок оконечных усилителей.

ОУ 2DA1 и 2DA2 могут быть указанных выше типов. Обязательное условие - полоса единичного усиления не менее 20 МГц и стабильность с единичным коэффициентом усиления.

Балансные драйверы SSM2142 фирмы Analog Devices имеют полный аналог DRV134 фирмы от Texas Instruments.

Лампы выходного каскада могут быть любыми из указанных ранее или их зарубежных аналогов. От типа ламп выходного каскада зависит конструкция и точные данные трансформаторов 2TR1 и 2TR2, но в любом случае их необходимо выполнить на магнитопроводах габаритом не менее ШЛ20х40 с обязательным секционированием обмоток. О расчете и изготовлении выходных трансформаторов можно прочесть в соответствующей литературе. Наилучшие результаты дает применение высококачественных выходных трансформаторов Hashimoto.

Резисторы 2R2, 2R4, 2R12 и 2R14 - многооборотные, непроволочные, фирмы Bourns; конденсаторы 2C1, 2C3, 2C6 и 2C8 - максимально качественные.

Реле 2K1 - любого типа с обмоткой на 12 В.

3. Блок управления регулятором громкости (A3).

Микросхема 3DD1 - любая из серий 74ALS132, 74HC132, 74AC132 или KP1533ТЛЗ, KP1554ТЛЗ, KP1594ТЛЗ. Ключи 3DD3 - 3DD6 типа K1109КТ63 можно заменить восемью дискретными транзисторами с ограничительными резисторами в базовой цепи каждый. В принципе, можно реализовать открытый коллекторный выход и в матрице EPМ7128, но это снизит надежность работы из-за большого количества одновременно работающих выходов со значительным током. Семисегментные светодиодные индикаторы красного цвета свечения с общим анодом, - типа HDSP7301 фирмы Hewlett Packard можно заменить любыми другими соответствующего типа. Резисторные матрицы 3R12 - 3R18 можно заменить дискретными резисторами.

4. Блок питания.

Трансформатор 4TR1 должен обеспечивать на холостом ходу следующие значения напряжений вторичных обмоток:

150 В; 21 В; 21 В; 15 В; 9 В; 6,7 В; 6,7 В.

Токи вторичных обмоток выбираются исходя из реальных токов потребления блоков для конкретной используемой элементной базы.

Диоды 4VD1 - 4VD4 могут быть любыми из серий HFA или другие быстродействующие с малым зарядом восстановления. Диодные сборки L6210 можно заменить мостами, собранными из диодов Шоттки с обратным напряжением не ниже 50 В, например 11DQ060. Электролитические конденсаторы во всех блоках, за исключением ранее означенных, - серий HU3 и HU4 фирмы Hitachi. Возможна их замена на аналогичные изделия фирм Nippon Chemicon, Elna, и т.п. Ни в коем случае недопустимо использование электролитов российского производства ввиду их полной непригодности для использования в звуковой технике. Резисторы во всех блоках - металлопленочные, производства "Philips", либо аналогичные Vishay, Firstronics, Phoenix. Пленочные конденсаторы 2C2 и 2C7 блока оконечных усилителей, - типа PPFХ Multicap, припаиваются непосредственно к выводам выходных трансформаторов.

Правильно собранный из исправных деталей усилитель требует минимальной настройки. Она сводится к подбору попарно ламп выходного каскада и установке одинаковых (с точностью не хуже 1 мА) токов покоя ламп 2VL1 - 2VL4 резисторами 2R2, 2R4, 2R12, 2R14 соответственно. Для ламп 6П43П при напряжении питания +180 В, ток покоя должен находиться в пределах 50-60 мА (для режима класса А); при этом напряжение на катодах будет примерно +10.... +15 В.

Глубину общей ООС оконечных усилителей устанавливают в пределах 3-10 дБ подбором резисторов 2R1 и 2R24.

Субъективные прослушивания рассмотренного выше усилителя при работе с акустическими системами В&W CDM1 от ПКД с ЦАП Lynx 7

1. Разумное сочетание полупроводниковой и вакуумной технологии в одном усилительном аппарате не приводит к деградации качества звука по сравнению с аналогичным ламповым аппаратом.

2. При несколько худшем соотношении цена/качество (в основном из-за высоких цен на импортные высококачественные полупроводниковые компоненты), гибридный усилитель обладает существенно большими эксплуатационными возможностями и меньшими габаритами, чем аналогичный ламповый.

3. Субъективное качество звучания гибридного усилителя сильно зависит от качества применяемых полупроводниковых компонентов, поэтому для достижения хороших результатов следует использовать только высококлассные микросхемы ведущих фирм "аналоговой" направленности: Analog Devices, Burr Brown/Texas Instruments, Linear Technology, в крайнем случае - Maxim, Mitsubishi, Elantec.

4. Гибридная технология позволяет создать прекрасно звучащие усилительные аппараты, во многом превосходящие ламповые аналоги.

Дмитрий Андронников,
Санкт-Петербург, 1996...1998

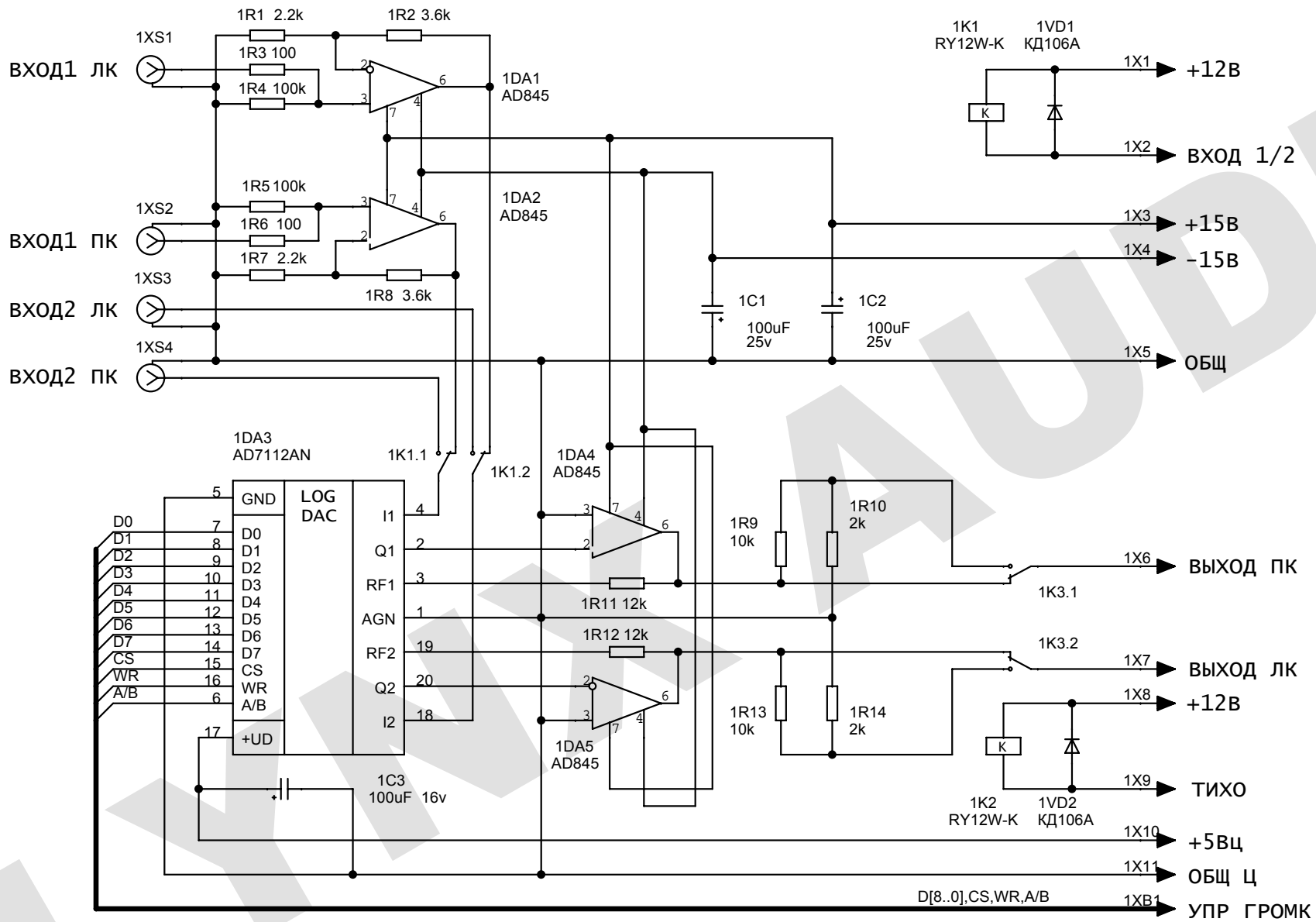


Рис. 1

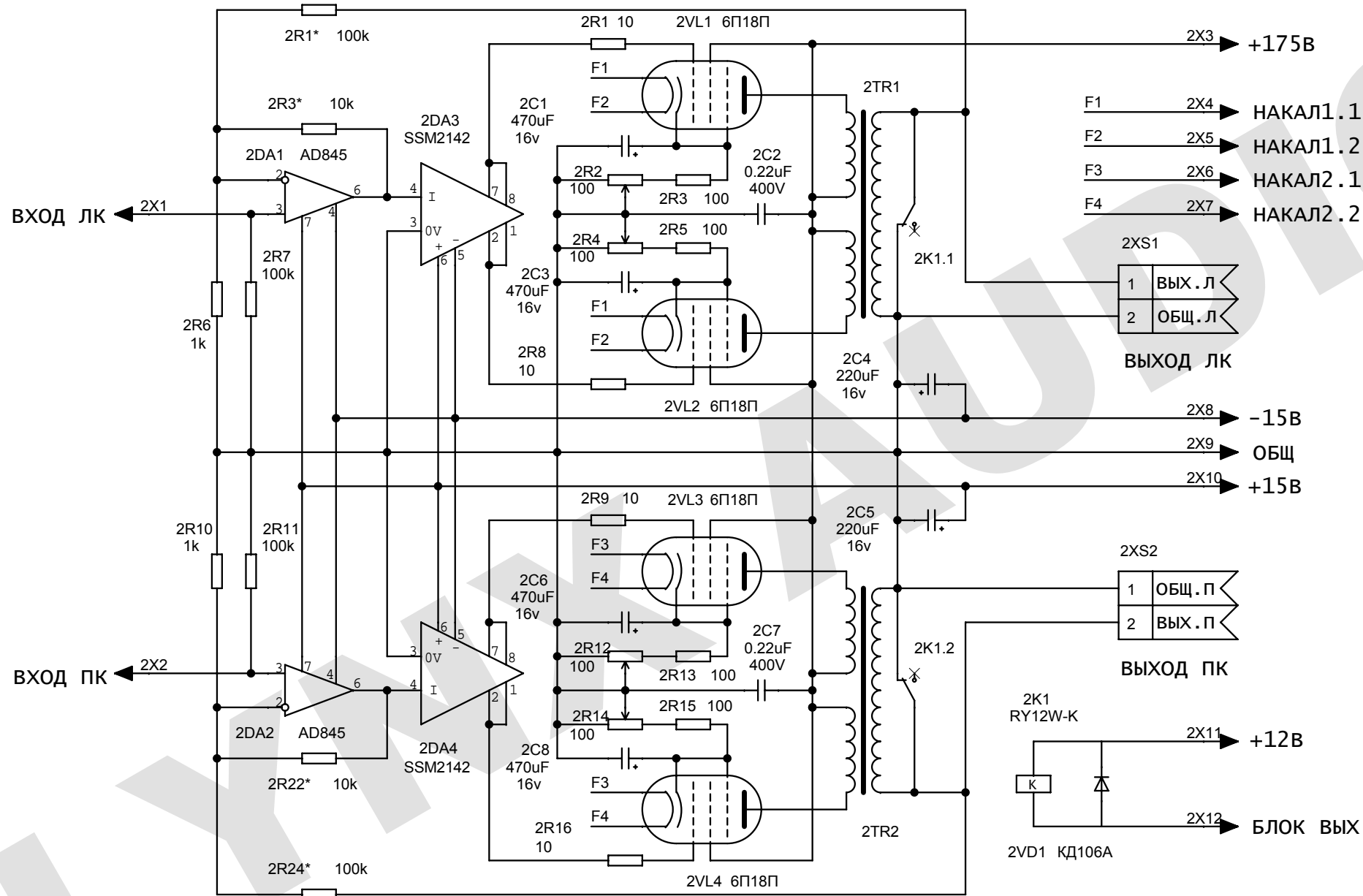


Рис. 2

УПРАВЛЯЮЩИЕ СИГНАЛЫ LOGDAS AD7112

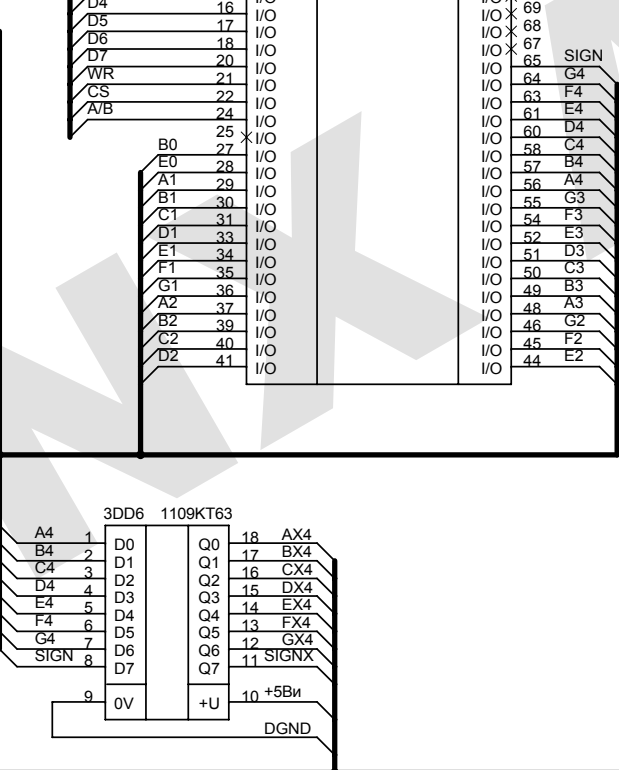
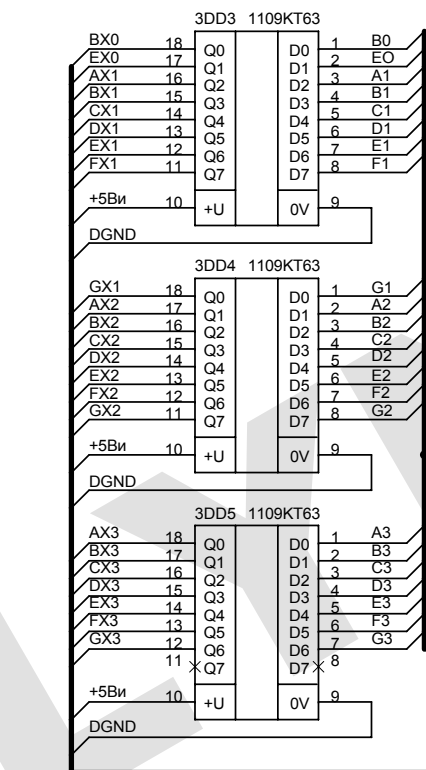
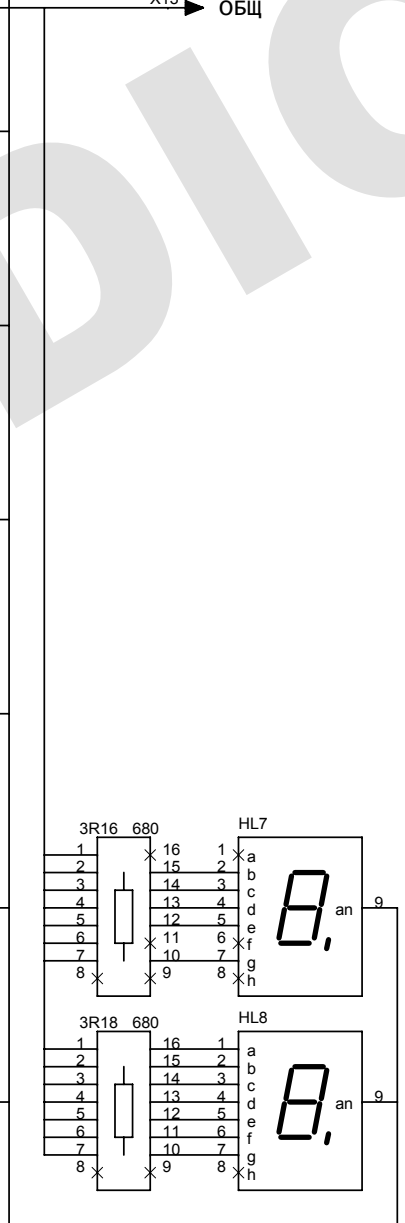
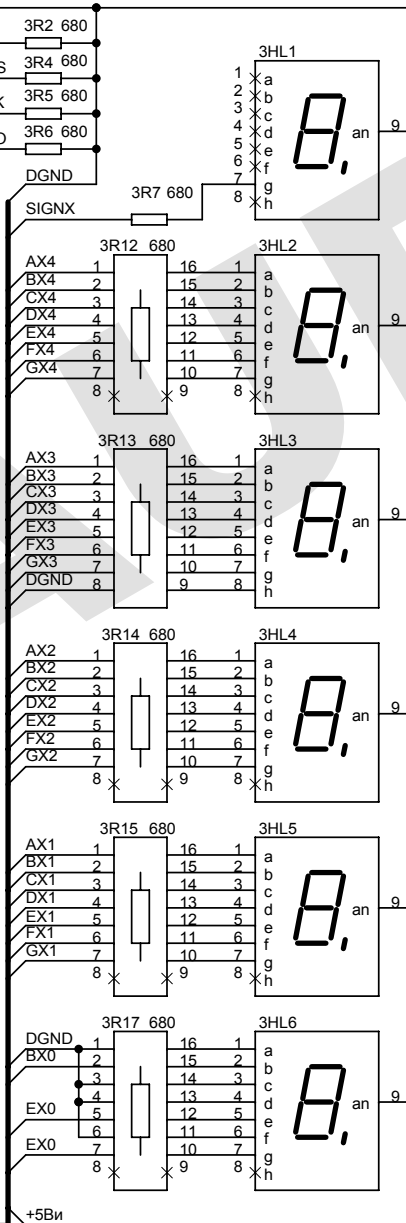
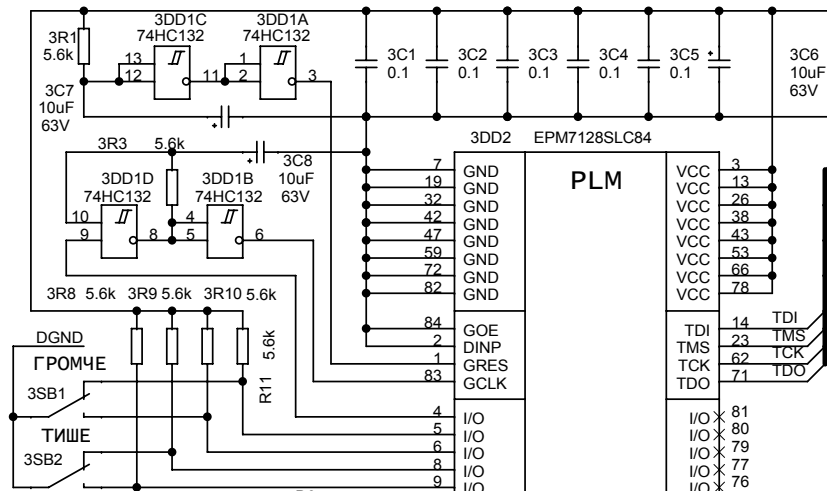
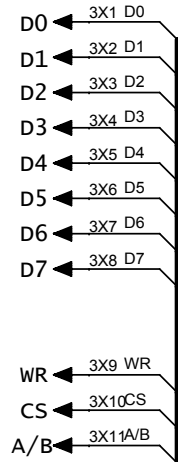


Рис. 3

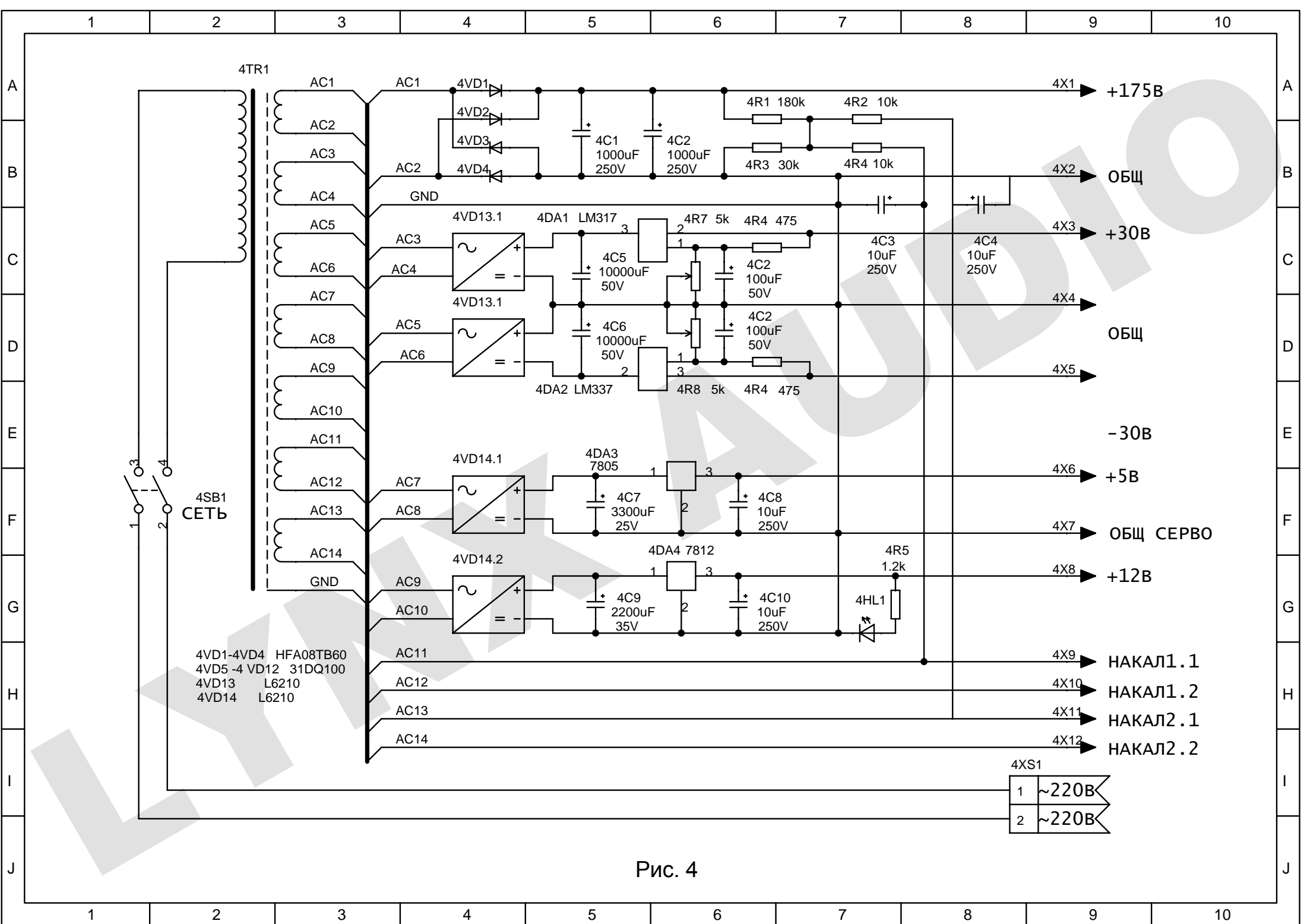


Рис. 4