

# Предварительный усилитель с микроконтроллерной системой управления

Наверное, не нужно доказывать, что усилитель является центральным компонентом звуковоспроизводящего комплекса. Его параметры оказывают влияние на качество звучания комплекса в целом, причем не важно, какой источник сигнала при этом используется: почти забытый проигрыватель виниловых дисков или катушечный магнитофон, кассетная дека или CD-плеер. В любом случае усилитель является частью звуковоспроизводящего тракта. Поэтому очень важно, чтобы он был достаточно качественным и не являлся ограничивающим фактором в достижении хорошего звучания комплекса.

В последнее время миниатюризация коснулась практически всех составляющих такого комплекса. Получили широкое распространение миди- и мин-системы. Теорети-

рядка семидесяти процентов внутреннего объема пустует. Поэтому вполне логично, что эти аппараты все чаще стали делать в корпусах миди- и минитипоразмера. Однако миниатюриза-

Современный усилитель несет в себе довольно много функций. Часто он является коммутационным центром, позволяющим выбирать источник сигнала. Система коммутации усилителя позволяет записывать сигнал на деку с одного источника, а прослушивать при этом сигнал с другого. Иногда усилитель позволяет коммутировать несколько акустических систем, которые находятся, например, в разных помещениях. Кроме того, он позволяет производить различные оперативные регулировки. Регулятор громкости (пожалуй, наиболее часто используемый орган управления во всем звуковоспроизводящем комплексе) тоже находится в усилителе. Из-за обилия функций управления, возложенных на усилитель, становится очень важным вопрос удобства эксплуатации. Давно прошли те времена, когда регулировки можно было производить только с передней панели аппарата. Сейчас практически вся звуковоспроизводящая аппаратура имеет дистанционное управление. Такой аппарат, как правило, работает под управлением встроенного микроконтроллера, на который, помимо функции декодирования сигналов дистанционного управления, возложено еще много других «обязанностей», что делает общение с аппаратом более комфортным для пользователя. Иногда можно услышать мнение, что дистанционное управление

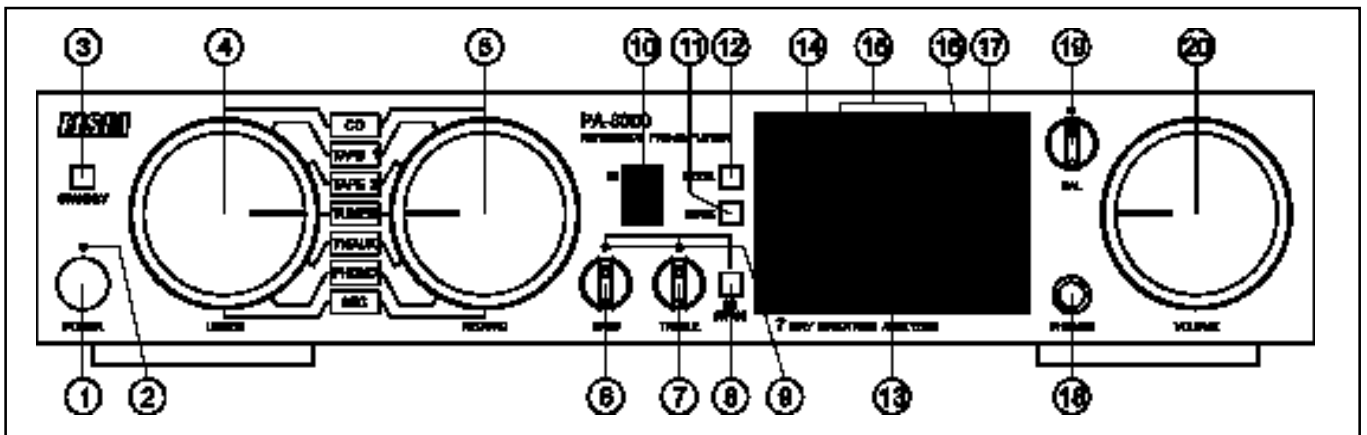


Рис. 1. Передняя панель усилителя

- |  |   |
|--|---|
| 1- Кнопка полного отключения питания                 | 11- Кнопка включения режима «MUTE»      |
| 2- Индикатор включения дежурного питания             | 12- Кнопка переключения стереорежимов   |
| 3- Кнопка включения дежурного режима                 | 13- 7-полосный спектроанализатор        |
| 4- Селектор входов для прослушивания (электропривод) | 14- Индикатор режима «MUTE»             |
| 5- Селектор входов для перезаписи                    | 15- Индикаторы стереорежимов            |
| 6- Регулятор тембра низших частот                    | 16- Индикатор «SWAP»                    |
| 7- Регулятор тембра высших частот                    | 17- Индикатор включения входа «DAT»     |
| 8- Кнопка отключения регуляторов тембра              | 18- Гнездо стереотелефонов              |
| 9- Индикаторы отключения регуляторов тембра          | 19- Регулятор стереобаланса             |
| 10- Приемник дистанционного управления               | 20- регулятор громкости (электропривод) |

чески уменьшение объема лазерного проигрывателя, кассетной деки или тюнера непосредственно на качество звучания повлиять не может. Действительно, предпосылками миниатюризации стало появление миниатюрных компонентов, поверхностного монтажа. Все большая степень интеграции микросхем и достижения схемотехники позволяют сейчас реализовать на одной микросхеме целый узел, который раньше содержал десятки, а то и сотни элементов. Если открыть верхнюю крышку полноразмерной (с шириной передней панели около 42 см) кассетной деки или лазерного проигрывателя, то можно увидеть, что по-

ция не может пройти безболезненно для таких компонентов, как акустические системы и усилители. Параметры акустических систем находятся в прямой зависимости от геометрических размеров. Усилитель же представляет собой мощное устройство, которое слабо поддается миниатюризации: он должен иметь силовой трансформатор значительных размеров, большие электролитические конденсаторы, массивные радиаторы для охлаждения выходных транзисторов. Владельцы миди- и мини-систем проигрывают в качестве звучания в основном из-за плохих усилителей и акустических систем.

вместе с другими цифровыми схемами управления и индикации неуместно ввиду трудноустраняемых помех. На самом деле это не так. Грамотное конструирование позволяет свести уровень помех от встроенной цифровой схемы управления до значения, лежащего ниже уровня собственных шумов аналогового тракта. Опыт показывает, что с помехами со стороны процессора не возникает никаких проблем даже в кассетной деке, где с микропроцессором соседствует усилитель воспроизведения, имеющий высокую чувствительность. Гораздо больше проблем в таком случае возникает, например, с

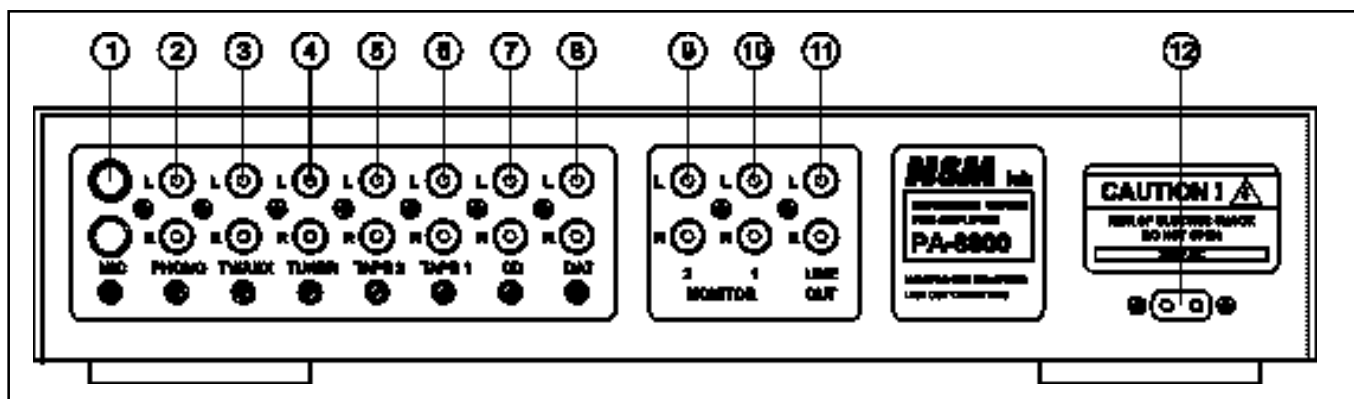


Рис. 2. Задняя панель усилителя

- 1- Вход микрофона с регулятором чувствительности
- 2- Вход магнитного звукоснимателя (ММ) с регулятором чувствительности
- 3- Вход TV/дополнительный с регулятором чувствительности
- 4- Вход тюнера с регулятором чувствительности
- 5- Вход деки 2 с регулятором чувствительности
- 6- Вход деки 1 с регулятором чувствительности

- 7- Вход проигрывателя компакт-дисков с регулятором чувствительности
- 8- Вход цифрового магнитофона с регулятором чувствительности
- 9- Выход для перезаписи на деку 2
- 10- Выход для перезаписи на деку 1
- 11- Выход на усилитель мощности
- 12- Разъем сетевого питания

наводками со стороны силового трансформатора блока питания на магнитную головку. Сказанное выше не означает, что помехи отсутствуют в любом случае. В случае неграмотного конструирования можно получить в аппарате весьма сложную обстановку в плане помех, устранить которые будет очень трудно. Нежелательным с этой точки зрения является, например, применение в светодиодном дисплее динамической индикации.

Высококачественные усилители часто делают двухблочными. Для этого есть все основания. Усилитель разбирают на предварительный усилитель и усилитель мощности. Предварительный усилитель несет на себе все функции управления, а усилитель мощности таковых не имеет и порой содержит одну лишь кнопку включения питания. У этих усилителей очень мало общего. Даже блоки питания желательно использовать отдельные, чтобы исключить взаимное влияние входных и мощных каскадов. Для того чтобы объединить эти блоки в одном корпусе, не ухудшив технических характеристик, необходимо преодолеть существенные технические трудности. Например, большое количество разъемов на задней панели затрудняет установку там радиаторов. Немаловажен и вопрос электромагнитной совместимости. Дело в том, что выходной ток усилителя мощности достигает десятков ампер, что вынуждает очень тщательно делать разводку общего провода и цепей питания, так как падение напряжения в них может оказаться приложенным к входу усилителя и станет причиной повышенного коэффициента гармоник. Конструктивно сложно в одном корпусе разместить большие мощные платы и большое количество слабосигнальных схем. Их желательно разделить экраном, а это не что иное, как практически два отдельных корпуса. Преимуществом двухблочного усилителя является также гибкость в выборе компонентов. Например, имеется предварительный усилитель с достаточным набором сервисных функций. Для того чтобы увеличить мощность усилителя, достаточно заменить один блок — усилитель мощности. И наоборот, если имеется хороший усилитель мощности, то мож-

но заменить только предварительный усилитель.

Вообще говоря, усилитель мощности можно использовать и без предварительного усилителя, если цель — максимально укоротить сигнальный тракт. Для этого можно подключить вход усилителя мощности (через переменный резистор в качестве регулятора громкости) к выходу лазерного проигрывателя. При этом будет обеспечена максимально линейная АЧХ при минимальных искажениях.

Предварительный усилитель можно использовать и «в одиночку». Обычно он имеет выход для подключения стереотелефонов. Нужно отметить, что даже у довольно дорогих аппаратов (лазерный проигрыватель, кассетная дека) хоть и имеется гнездо для подключения стереотелефонов, встроенный телефонный усилитель часто бывает очень низкого качества. Это проявляется в повышенном уровне шумов, сравнительно высоком коэффициенте гармоник, который резко растет при повышении уровня сигнала. Качество звучания можно сильно улучшить, используя предварительный усилитель в качестве телефонного. Более того, при этом доступны регулировки тембра и коммутация, так что при переходе от источника к источнику не требуется переставлять штекер.

Вашему вниманию предлагается предварительный усилитель с микроконтроллерной системой управления, который получил название PA-8000. В данной статье основное внимание уделяется не отдельным частям сигнального тракта усилителя, как это делается обычно, а усилителю как законченному устройству. Основное внимание уделено системе управления, пользовательским функциям, дизайну. В то же время отдельные узлы усилителей, такие как предусилитель-корректор, регулятор громкости и тембра, были неоднократно описаны в литературе, и не составляет труда в предлагаемом усилителе заменить аналоговую электронику на какой-либо другой вариант. В данной конструкции схема предусилителя-корректора и микрофонного усилителя заимствована из [1], схема регулятора тембра и буферных каскадов — из [2]. Поскольку

параметры звукового тракта практически полностью определены этими узлами, в данной статье они не приводятся.

Усилитель выполнен в корпусе формата MIDI. Передняя панель усилителя изображена на рис. 1.

После знакомства с внешним видом аппарата можно перейти к реализованному в нем набору пользовательских функций.

PA-8000 имеет два селектора входов. Один селектор используется для выбора источника для прослушивания (Listen), а другой — для выбора источника для записи (Record). Схема коммутации устроена таким образом, что входное сопротивление не зависит от того, выбран ли данный вход для прослушивания, записи или для того и другого сразу. Управление селектором входов осуществляется с помощью двух переключателей.

В качестве коммутационных элементов использованы электромагнитные реле, что обеспечивает очень низкое проникновение сигнала с отключенного источника и низкие искажения.

Контакты переключателей не используются для непосредственного управления реле. Положение переключателей считывается микропроцессором и выполняется программная операция переключения. Переключение входов происходит в следующей последовательности: включается режим «Mute», отключается текущий вход, подключается новый вход, отключается режим «Mute». Такая последовательность предотвращает щелчки при переключении. Включение входа происходит только в том случае, если переключатель остается в одном и том же положении некоторое время. Это предотвращает включение промежуточных входов в процессе переключения.

PA-8000 имеет восемь входов:

- Mic — микрофонный вход, имеющий встроенный предусилитель с чувствительностью 1 мВ;
- Phono — вход магнитного звукоснимателя с подвижным магнитом (ММ);
- TV/Aux — вход TV-тюнера или дополнительный;
- Tuner — вход тюнера;
- Tape 1 — вход деки 1;
- Tape 2 — вход деки 2;

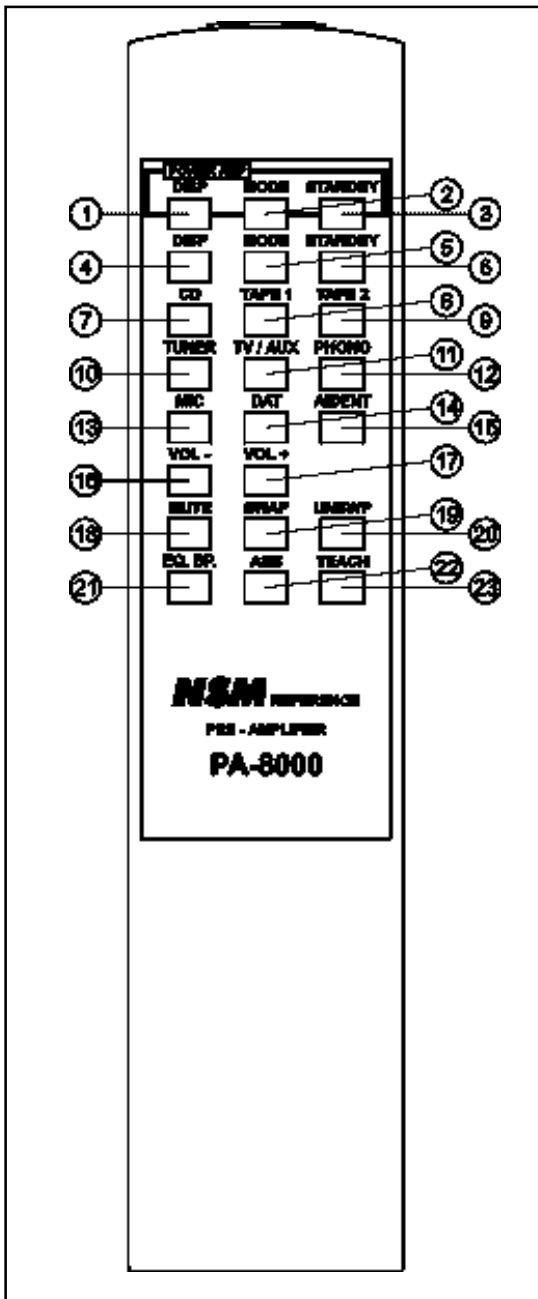


Рис. 3. Пульт управления

- 1,2,3- Кнопки управления усилителем мощности
- 4- Кнопка отключения дисплея
- 5- Кнопка переключения стереорежимов «Stereo», «Rev. stereo», «Mono L», «Mono R», «Mono L+R»
- 6- Кнопка включения дежурного режима
- 7- Кнопка выбора входа проигрывателя компакт-дисков
- 8- Кнопка выбора входа деки 1
- 9- Кнопка выбора входа деки 2
- 10- Кнопка выбора входа тюнера
- 11- Кнопка выбора входа TV/дополнительный
- 12- Кнопка выбора входа магнитного звукоснимателя
- 13- Кнопка выбора входа микрофона
- 14- Кнопка выбора входа цифрового магнитофона
- 15- Кнопка автоматического поиска входа, на котором присутствует сигнал
- 16- Кнопка уменьшения уровня громкости
- 17- Кнопка увеличения уровня громкости
- 18- Кнопка включения режима «Mute»
- 19- Кнопка включения режима свопирования входов
- 20- Кнопка восстановления прежнего порядка входов
- 21- Кнопка выключения регуляторов тембра
- 22- Кнопка включения/выключения режима автоматического перехода в дежурный режим (Auto Standby). Включение сопровождается одним звуковым сигналом, выключение — двумя
- 23- Кнопка включения режима обучения командам дистанционного управления другой аппаратуры. Программно эта функция пока не поддерживается

- CD — вход проигрывателя компакт-дисков;
- DAT — вход цифрового магнитофона.

Входные разъемы расположены на задней панели усилителя (рис. 2).

Переключатель «Listen» оборудован электродвигателем, что позволяет управлять им с пульта дистанционного управления (рис. 3).

Пульт содержит кнопки, с помощью которых возможен прямой выбор любого входа для прослушивания. При этом переключатель устанавливается электродвигателем в соответствующее положение. На пульте дистанционного управления имеется восемь кнопок, в то время как переключатель входов на передней панели имеет семь положений. Поэтому вход «DAT» можно включить только с пульта. Выбор источников для записи используется сравнительно редко, поэтому пульт дистанционного управления такой функции не имеет.

Для удобства подключения источников логическая связь между входными разъемами и положениями переключателей не является жесткой. Любому положению переключателя можно поставить в соответствие любой вход. Конфигурация сохраняется в энергонезависимой памяти. Надписи у разъемов и у переключателей соответствуют конфигурации «по умолчанию». Благодаря технологии свопирования можно производить подключение источников к входным разъемам в любом порядке (исключение составляют лишь входы с предусилителями: Mic и Phono). Затем можно задать необходимое соответствие. Для этого нужно:

1. Включить один из источников сигнала (например, CD).
2. Переключая входы, «найти» сигнал источника.
3. Нажать кнопку «Swap» на пульте, при этом на дисплее начнет мигать надпись «Swap».
4. Включить вход, который должен соответствовать данному источнику (например, CD). При этом надпись «Swap» начинает гореть постоянно, индицируя, что данный вход и вход, на котором был первоначально обнаружен сигнал, поменялись местами. Новая конфигурация сразу запоминается в энергонезависимой памяти.

Конфигурацию «по умолчанию» можно восстановить нажатием кнопки «UnSwap».

PA-8000 имеет функцию автоматического поиска входного сигнала. Эта функция позволяет автоматически найти и включить вход, на который поступает сигнал источника.

Включить ее можно нажатием кнопки «Aldent» на пульте. При этом усилитель начинает последовательно переключать входы, пока сигнал не будет обнаружен. После этого найденный вход остается включенным. Если сигнала нет ни на одном из входов, усилитель осуществляет 10 циклов сканирования и поиск прекращается.

Предварительные усилители обычно имеют специальный выход, сигнал с которого используется для записи на магнитофонную деку. Такой выход обычно называют мониторным. PA-8000 имеет два мониторных выхода, сигнал с которых может быть подан на две деки для записи. При попытке записи с деки на ту же деку соответствующий мониторный выход автоматически отключается. Иначе у усилителя деки окажутся замкнутыми вход и выход и возможно его самовозбуждение. Номинальный уровень сигнала на мониторных выходах равен 775 мВ. Режим «Mute» на мониторные выходы не действует. Часто в предварительных усилителях имеется кнопка «контроль сквозного канала», которая включает сигнал с выхода сквозного канала деки. Поскольку PA-8000 имеет отдельные селекторы входов, контроль сквозного канала производится с помощью переключателя «Listen» той деки, на которую ведется запись.

В высококачественных предварительных усилителях регулятор тембра часто делают отключаемым. PA-8000 имеет отключаемый двухполосный регулятор тембра с глубиной регулировки ±10дБ. Такая глубина регулировки является вполне достаточной. Включение/отключение регулятора производится с помощью кнопки «Eq.Br», которая есть как на пульте, так и на передней панели. При отключении регулятора загораются два светодиода в середине шкалы регуляторов, символизируя линейную АЧХ. Состояние выключателя регулятора запоминается в энергонезависимой памяти и восстанавливается при включении усилителя.

Спектроанализатор не является необходимой частью усилителя. Более того, большое число пользователей являются его противниками. PA-8000 имеет встроенный 7-полосный спектроанализатор. Однако при желании его можно выключить с помощью кнопки «Disp» на пульте. Спектр отображается на дисплее с помощью светодиодных линеек, каждая из которых состоит из девяти светодиодов. Для исключения помех на аналоговые цепи со стороны индикации динамическая индикация не используется. Центральные частоты полос спектроанализатора отображаются внизу дисплея. Регулятор тембра влияет на показания спектроанализатора.

Очень важным при прослушивании стереопрограмм является соблюдение правильности подключения стереоканалов. Когда входы подключаются с помощью разъемов типа RCA, очень легко перепутать стереоканалы. Чтобы не создавать неудобств в этом случае, усилитель должен иметь возможность менять стереоканалы местами. Кроме того, иногда усилителю приходится работать от монофонического источника сигнала.



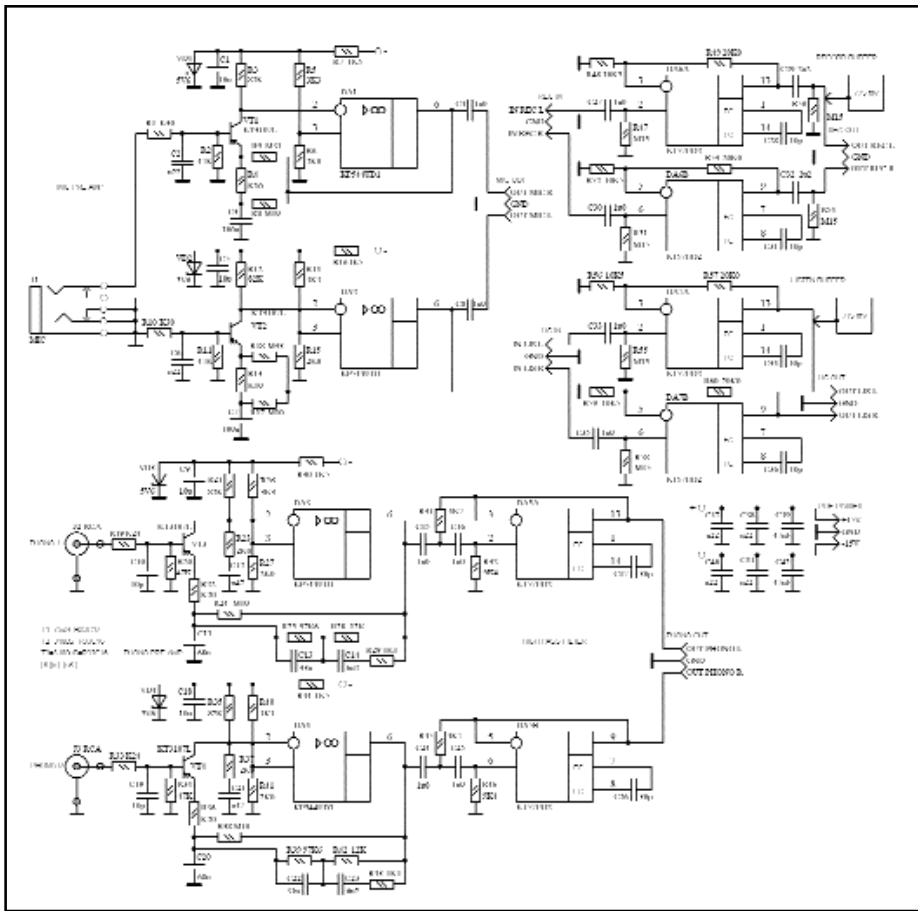


Рис. 5. Блок предусилителей

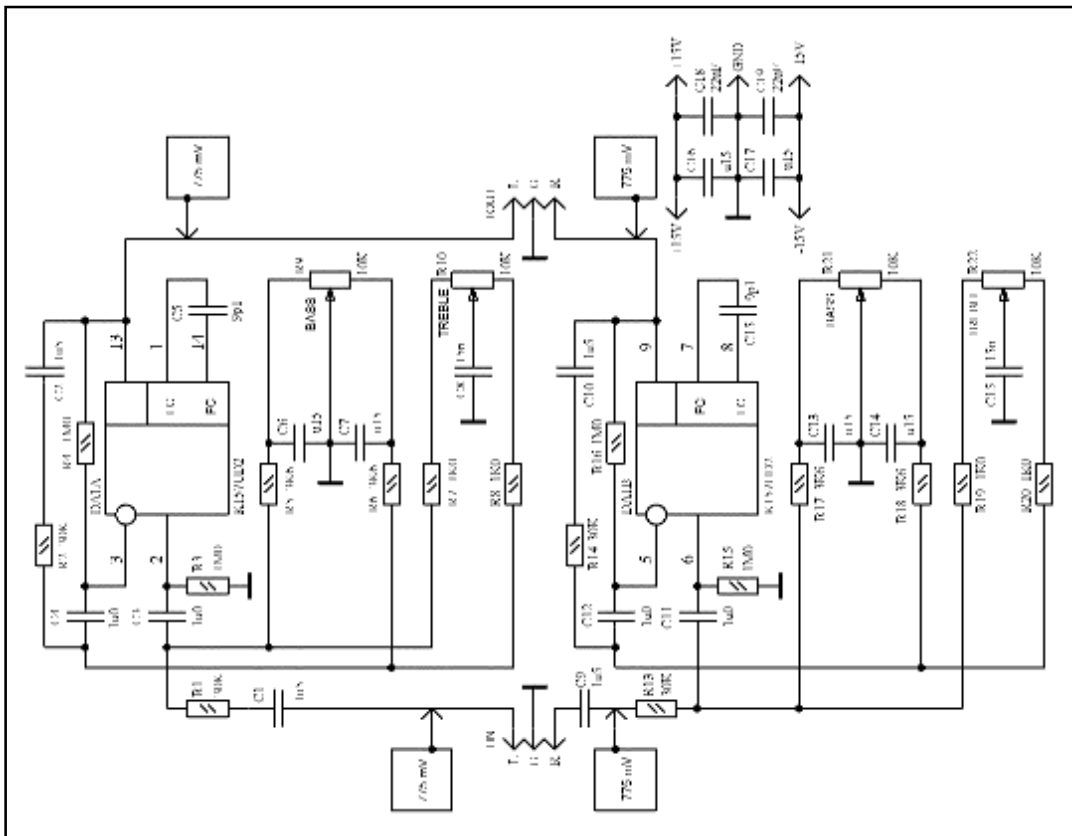


Рис. 6. Блок регуляторов тембра

правильном конструировании усилителя может перегрузиться не выходной каскад, а входной или какой-либо промежуточный. Предпосылка для этого — наличие регулятора громкости в цепи сигнала. Действительно,

если на вход усилителя подать слишком сильный сигнал, то, установив регулятор громкости в положение вблизи минимума, можно получить на выходе номинальный сигнал. Но каскады усиления, установленные перед регулятором громкости будут перегружены. В высококачественных предварительных усилителях иностранного производства встречаются различные схемотехнические решения. Например, в предварительном усилителе CX-1 фирмы «Yamaha» в качестве регулятора громкости применен счетверенный блок переменных резисторов. Это сделано для того, чтобы равномернее распределить ослабление сигнала регулятором между каскадами усилителя. В некоторых усилителях фирмы «Marantz» дополнительные секции регулятора громкости включены в цепь обратной связи первого каскада.

Одной из серьезных проблем, которая мешает оптимальному построению усилителя, является большое разнообразие выходных уровней сигналов разных источников. Раньше для бытовой аппаратуры номинальным уровнем сигнала на линейном выходе считался уровень 250 мВ. В профессиональной аппаратуре — 775 мВ. На практике эти стандарты почти никогда не выполняются. Самый маленький уровень, вплоть до 150 мВ, имеют тюнеры и радиоприемники. Магнитофоны и магнитофонные деки имеют на линейном выходе более

высокий сигнал — 250–775 мВ. Лазерные проигрыватели имеют большой уровень на линейном выходе — около 2 В (все значения среднеквадратические). Предварительный усилитель, естественно, обязан работать с любым из этих источников сигнала. При этом не остается ничего другого, как ориентироваться на самый «слабый» источник и делать чувствительность усилителя порядка 150 мВ. Так и сделано в большинстве промышленных усилителей. При этом предварительный усилитель приходится эксплуатировать при положениях регулятора громкости, близких к минимальному, что уменьшает перегрузочную способность и нарушает правильную работу системы тонкомпенсации. Кроме того, поскольку разные источники имеют разные выходные уровни, при переключении входов изменяется громкость. Это вынуждает при каждом переключении входов корректировать громкость регулятором, что неудобно и ведет к преждевременному износу регулятора.

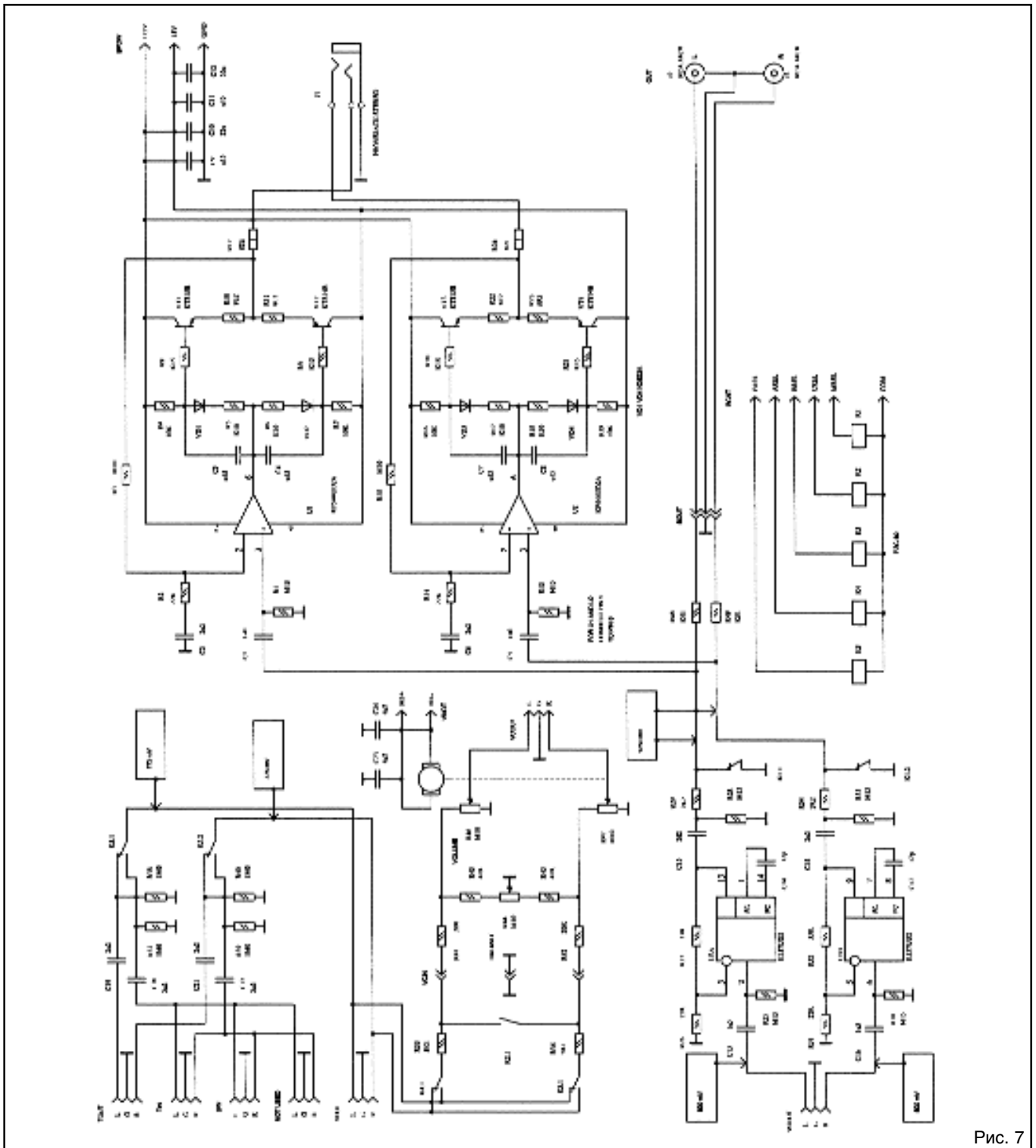


Рис. 7

Выходом из этого положения является нормирование сигнала на входе усилителя. РА-8000 имеет на всех входах пассивные регуляторы уровня, с помощью которых уровни сигналов приводятся к одному значению, равному 250 мВ. Это значение определяет максимальную чувствительность входов, которая достаточна для работы со всеми современными источниками сигнала. Подстроечные резисторы нормировки входных сигналов расположены на задней панели под соответствующими входными разъемами. На практике, для каждого источника нужно отрегулировать уровень сигнала, например, пользуясь показаниями

спектроанализатора, примерно на одинаковое значение.

Теперь вернемся к вопросу о распределении усиления в тракте усилителя. В РА-8000 этот вопрос решен следующим образом.

После нормировки и коммутации (рис. 4) сигнал поступает на входной буферный усилитель с коэффициентом усиления 10 дБ (рис. 5), который доводит уровень до 775 мВ. Этот уровень является номинальным для регулятора тембра (рис. 6), который обеспечивает глубину регулировки АЧХ  $\pm 10$  дБ и имеет единичный коэффициент передачи в режиме линейной АЧХ. За регулятором тембра следует пассивная схема регулиров-

ки громкости и стереобаланса, а за ней — выходной усилитель (рис. 7) с коэффициентом усиления 8 дБ, который доводит уровень сигнала до 1250 мВ, что достаточно для работы усилителя мощности. Такое построение тракта исключает возможность перегрузки выходного усилителя даже при максимальном подъеме АЧХ регулятором тембра.

В следующем номере журнала мы более подробно рассмотрим принципиальную схему усилителя.

**Леонид Ридико,  
Минск**

*Продолжение следует*