

FIREHEAD SOUND STORM - 002

Мощный ламповый усилитель с многопетлевой ООС

Кочуров М.М.

Основные технические характеристики:

Номинальное входное напряжение.....	0.5 В
Номинальная (максимальная) выходная мощность.....	50(70)Вт
Диапазон воспроизводимых частот по уровню ± 1 дб.....	25-35000 Гц
Коэффициент гармоник при выходной мощности 10 Вт	
Суммарный.....	0,05
2-я гармоника.....	0,035%
3-я гармоника.....	0,029%
4-я гармоника.....	0,006%
5-я гармоника.....	ниже разрешающей способности АЦП анализатора спектра
Отношение сигнал-шум, невзвешенное.....	92дБ
Скорость нарастания выходного напряжения*.....	45 В/мкс
Фазовый сдвиг в диапазоне частот 50-10000Гц*.....	3 град
Выходное сопротивление*	0,08 Ом
Габариты.....	480x320x280мм
Масса	58кг

Параметры, обозначенные знаком * измерялись косвенными методами и являются приближенными

Габариты и масса указаны для стереоварианта.

[Схема усилителя](#)

Особенности схемотехники

За основу взяты схемы усилителей Е.Сергиевского (Р2/90) и В. Костина (Р4/98). Основным отличием является отсутствие электролитов в цепи прохождения сигнала и охват отдельных каскадов местными ООС, что позволило уменьшить глубину общей ООС и тем самым повысить устойчивость усилителя. Правильная коррекция цепей обратной связи и применение на входе фильтров, ограничивающих полосу пропускания, способствуют полному устранению динамических интермодуляционных искажений и определяют апериодическую реакцию на единичное воздействие и дельта-импульс. «Сердцем» усилителя является фазоинвертор, собранный по перекрестной схеме на триодах лампы VL2. Достоинством этой схемы является полная симметричность для обеих полувольт, как по амплитудным, так и по фазовым характеристикам. Включение ламп по схеме с общей сеткой минимизирует искажения и повышает перегрузочную способность. Недостатком подобного включения является низкое входное сопротивление. Для его увеличения применяется катодный повторитель на половине лампы VL1. Использование свободной половины для построения катодного повторителя второго канала не рекомендуется, так как при этом ухудшается разделение между каналами. С выхода фазоинвертора парафазные сигналы поступают на вход предоконечного каскада на лампе VL3. Каскад собран по дифференциальной схеме с источником тока в катодной цепи. Источник тока собран на пентоде VL4. Применение источника тока способствует линейзации каскада. Выходной каскад собран по классической двухтактной схеме с фиксированным смещением. Применение в выходном каскаде ламп ГУ-50 в триодном включении, более линейных, чем 6П41С и 6П45С, позволило снизить создаваемые каскадом искажения в 2-3 раза без применения

трудоемкой в настройке ультралинейной схемы. Для получения минимальных нелинейных и фазовых искажений необходимо использовать подобранные по характеристикам лампы. Оконечный и предоконечный каскады охвачены цепью местной ООС (R14, C4 и R19, C6), стабилизирующей параметры выходного каскада. Весь усилитель охвачен общей ООС глубиной 15-20 дБ. Для повышения устойчивости и устранения динамических интермодуляционных искажений должны выполняться следующие требования: верхняя граница полосы пропускания усилителя без ООС по уровню ± 1 дБ должна быть не менее 20 КГц, на входе усилителя должен стоять фильтр, ограничивающий уровень сигнала высших частот, должна быть обеспечена максимальная перегрузочная способность входных каскадов усилителя. Наиболее сложным является расширение диапазона воспроизводимых частот. Выходной трансформатор должен иметь минимальную собственную емкость и индуктивность рассеяния. Проще всего этого достигнуть секционированием обмоток. Помимо этого может применяться коррекция, осуществляющая сдвиг полюса, вносимого выходным трансформатором, в сторону увеличения частоты.

Детали и конструкция

Как было указано выше, для минимизации искажений, необходимо подобрать лампы выходного каскада. При этом лучше всего использовать лампы ГУ-50 из ЗИП военных радиостанций. Как правило, лампы, прошедшие военную приемку, взятые из одной серии и из одной упаковки имеют разброс не более 1-2%, но лучше все же это проверить. В предоконечном каскаде применены лампы 6Н6П-И, из ЗИПа радиорелейной станции Р-404, имеющие более высокие динамические характеристики и более высокие допустимые токи, чем обычные 6Н6П. Неплохо проверить идентичность обоих триодов лампы, включая их по мостовой схеме и измеряя разбаланс моста при различных напряжениях сетки. В катодной цепи ламп предоконечного каскада включен источник тока на лампе 6Ж9П(6Ж52П). Если есть возможность, лучше использовать "железный" пентод 6Ж3 от авиационной техники, отличающийся большей стабильностью параметров. Для повышения динамических свойств можно попробовать собрать предоконечный каскад на лампе 6Н5С или подобранной паре 6С19С, при этом в генераторе тока следует применить более мощный пентод, н-р 6П1П, 6П18П и им подобные. У меня этих ламп не было, и я этот вариант не испытывал. В фазоинверторе могут применяться лампы 6Н1П, 6Н2П, 6Н3П, 6Н23П, 6Н8С, при этом основным условием является идентичность обоих триодов лампы и их линейность. Наибольшей линейностью обладают лампы 6Н8С и 6Н8М, прошедшие авиационную приемку. Их лучше всего использовать и в катодном повторителе. В выходном трансформаторе желательно применять высококачественную холоднокатаную сталь с толщиной проката 0.35мм, сталь меньшей толщины не может быть рекомендована поскольку соизмеримость величины немагнитного зазора и толщины ленты способствует появлению высших "зубцовых" гармоник. Несмотря на преимущества Ш-образных сердечников, использовать их в выходных трансформаторах нежелательно из-за невозможности точной сборки в домашних условиях. В качестве обмоточного, используется провод ПЭТ-200, который вроде как из бескислородной меди (если верить некоторым источникам из Инета). Склейка половин сердечника производится эпоксидной смолой, в которую добавлен мелкодисперсный ферритовый порошок с проницаемостью 2000 (можно приготовить в обычной кофемолке, если ее не жалко). Готовый трансформатор желательно пропитать эпоксидкой для уменьшения потерь на магнитострикцию, после чего поместить в экран из толстого пермаллоя (я использовал 2мм) и залить герметиком. Чем дальше находится сердечник трансформатора от стенок экрана, тем лучше. Монтаж усилителя выполнен на фторопластовой плате толщиной 5мм (текстолит подойдет), проводом из бескислородной меди (Phoenix, двухжильный, для акустических систем, цена 50руб/м). Все резисторы С2-29, подстроечные - проволочные СП5-3, желательно после настройки измерить их сопротивление и заменить на постоянные, конденсаторы полипропиленовые К78-4 и полистироловые К71-8.

Крайне нежелательно использовать металлобумажные и слюдяные конденсаторы, несмотря на всевозможные рекомендации аудиоманьяков, они обладают большой абсорбцией и значительной утечкой. Для устранения влияния нелинейности контактов колодок, лампы непосредственно впаиваются в схему. Разводка общего провода показана на схеме, и выполняется проводом ППИ-Уу с диаметром жилы 3,15 мм (тоже вроде как бескислородная медь), у кого есть деньги, могут для разводки использовать фирменный кабель с палец толщиной или шины из OFS или Ag. Входные разъемы - позолоченные RCA, BNC, выходные – мощные позолоченные винтовые.

Блок питания

[Схема анодного стабилизатора оконечного каскада +420В](#)

[Схема анодного стабилизатора предоконечного каскада +420В](#)

[Схема анодного стабилизатора фазоинвертора +200В](#)

[Схема стабилизатора отрицательного напряжения –120В](#)

[Схема стабилизатора накала](#)

[Полная схема блока питания](#)

Каждый канал усилителя питается от отдельного блока питания. Для выпрямления всех анодных напряжений используются кенотроны. В источнике отрицательного напряжения выпрямитель собран по однофазной нулевой схеме на диодах с малым временем восстановления. Кенотроны выбраны не случайно, они не создают выбросов тока при выключении, характерных для полупроводниковых диодов. Опыт эксплуатации предыдущей версии усилителя (Firehead Sound Storm 001) показал, что недостаточное подавление коммутационных помех может существенно влиять на качество звучания. Этот эффект становится заметным при повышенных напряжениях питания. Замена диодов кенотронами позволяет полностью решить эту проблему. Для стабилизации анодных и отрицательного напряжения используются параметрические стабилизаторы на MOSFET транзисторах. Регулирующий транзистор стабилизатора напряжения питания оконечного каскада установлен на радиатор 500 кв.см, все остальные 50 кв.см, стабилитроны 10 кв.см. На выходе стабилизаторов включены электролиты К50-27. Применение нескольких конденсаторов сравнительно малой емкости вместо одного большого вызвано необходимостью уменьшить выходную индуктивность блока питания. Накал ламп питается от отдельных трансформаторов. Два накальных трансформатора применены по причине невлезания требуемого числа обмоток на один ☺. Обмотки накала кенотронов должны иметь хорошую изоляцию, так как они имеют высокий потенциал относительно корпуса. Накал всех усилительных ламп питается стабилизированным напряжением от источника, общего для обоих каналов. В качестве регулирующих элементов использованы германиевые П210, включенные по два в параллель. Применение отдельных стабилизаторов для каждой лампы, как это было сделано в предыдущей модели, оказалось невыгодным. Для устранения проникновения ВЧ помех в усилитель через цепи накала, нагреватель каждой лампы зашунтирован керамическим конденсатором 0,033-0,1мк, который подпаивается непосредственно к штырькам лампы. Также в блоке питания следует предусмотреть задержку подачи анодных напряжений на 1-2 минуты после включения усилителя. Я использовал [реле времени](#) на таймере К1006ВИ1, для коммутации применялись реле РЭП-17 с серебряными контактами, подающие питание на анодные трансформаторы. В качестве силовых трансформаторов использовались перемотанные ТСА-270 от телевизоров. Обмотки [секционируются](#) для исключения постоянной составляющей магнитного потока. Все обмотки на 380В содержат 2 X 440витков, на 200В-2 X 240витков, на 150В – 2 X 175 витков. Обмотки питания оконечного канала намотаны проводом ПЭВ-2 0,4, все остальные ПЭВ-2 0,16. Первичная обмотка оставляется без изменений. Силовые трансформаторы экранируются двойным экраном, первый, который ближе к сердечнику, из электротехнической стали

толщиной 2мм, второй из пермаллоя толщиной 5мм (что спер, то и использовал ☺) . Для защиты от помех, проникающих из сети, применяется двухступенчатый синфазный фильтр и варисторный ограничитель напряжения.

Настройка усилителя

Проверив правильность монтажа приступают к налаживанию усилителя. Устанавливают на выходе эквивалент нагрузки (40м, 50Вт). Движок R17 установить в нижнее положение по схеме, R21 в правое, R23 посередине. Отпаивают цепь ООС (резистор R11 и конденсатор C3) , и устанавливают режимы ламп: резистором R17 выставляют напряжение на сетке относительно катода VL3.1 и VL3.2 равным -3В (это напряжение должно быть одинаковым для обоих триодов) , резистором R21 – напряжение на сетках выходных ламп -50В, резистором R23 балансируют выходной каскад, при этом напряжение между анодами VL5 и VL6 нужно выставить равным нулю . Далее присоединяется цепь ООС, к выходу усилителя подключают вольтметр и осциллограф, вход закорочен. Если на выходе появляется переменное напряжение, и увеличение C3 не обеспечивает срыв генерации, значит неправильно сфазированы обмотки выходного трансформатора , необходимо поменять местами выводы вторичной обмотки. На вход подают прямоугольный сигнал и подбором C3 добиваются апериодического изменения выходного сигнала. Изменяя параметры корректирующей цепи C5, R15 добиваются минимального времени переходного процесса при отсутствии перерегулирования. Если возникает резонанс за пределами звуковой частоты, бороться с ним можно следующими методами: увеличить C3 (но при этом несколько зарежутся высокие), одновременно уменьшить R14 и R19, вторичную обмотку выходного трансформатора зашунтировать последовательной RC-цепочкой с постоянной времени, равной $t=1/\omega_{рез}$, где $\omega_{рез}$ – частота резонанса.

При затруднениях в настройке пишите мне, постараюсь ответить (как только получится выйти в Инет), мой
e-mail: arietz@chuvsu.ru