

Идеология и схемотехника гибридного усилителя мощности.

Васильченко Е.В.,
г. Казань, 28 августа 1999г.

Настоящий топик инспирирован в основном вялотекущей перепиской в эхах mo.hi-fi и hardware.shem'ы. Автор не гарантирует отсутствие в статье грубых ошибок, заблуждений, наличия нужных знаков препинания. Автор заранее приносит извинения тем, кого он мог вольно или невольно обидеть своими высказываниями. Автор не несет ответственность за возможный ущерб, нанесенный применением информации, полученной из настоящей статьи.

Затевая эту переписку, я надеюсь, что совместными усилиями будет создан «народный усилитель», достойный преемник УНЧ сельского радиолюбителя.

История началась лет восемь назад с Суховского усилителя, ну, того самого. Поверив на слово авторитету, я сделал усилитель в металле, даже не проверив на макете. Разочарование было жестоким, усилитель звучал плохо (а было сделано 5 комплектов). Все объективные характеристики были подтверждены проверкой на приборах (СК4-74, СК4-56, С6-11), а звук был на уровне Амфитона. Усилитель сильно проигрывал конкурентам в лице Current dumping amplifier из Радио 9/85, не говоря уж о ламповом Regent-30. Оценки слышавших его были в основном такие: глухо, сдавленно, просто неприятно по сравнению с другими.. Попытки что-то исправить по рекомендациям Корзинина из Радио привели меня к мысли, которую сам Сухов на днях высказал в эхе: «НИЧЕГО в моих усилителях менять не надо, там лишнего нет». Присоединяюсь. Возможно, надо было ставить фирменные конденсаторы вместо К73, резисторы, «проводнички секретные». Может он бы и зазвучал. (кстати, в одном из Current dumping из 9/85 у меня стоит тот же комплект микросхем, транзисторов, что и в «Суховском» и даже КМ-6 на входе, ОФИЦЕРЫ, МОЛЧАТЬ!). Но, как сказал один несостоявшийся выпускник моей alma mater, «Мы пойдем другим путем».

Большинство транзисторных УМ строится по схеме _Усилитель напряжения(УН)-Интерфейс(а модератор не заругает за компьютерное словечко?)-Усилитель тока(УТ). Ничего не имея против существующего положения, разберем по составляющим. Нам поможет фрагмент переписки :

Subject: умзч вв Сухова Н.
Date: Fri, 27 Aug 99 07:59:30 +0400
From: Nick Sukhov <Nick.Sukhov@p34.f197.n463.z2.fidonet.org>
Organization: -= Журнал Радиохобби <http://radiohobby.da.ru> -= ,
Newsgroups: fido7.su.hardw.schemes

Однажды (а именно, 25 Aug 99, в 22:31) Ilya Berdenikov писал к Arkady Ostrovski:

АО>> мне тут один деятель обещался прислать схему субж, где
АО>> микросхемно -транзисторный вход заменили одной лампой (типа 6н23п)
АО>> и отключили оос. говорит, Кг возрос до 0.8, но зато на высоких
АО>> стало просто бесподобно.

ИБ> интересно, как сам Сухов это прокомментирует ?

Смесь бульдога с носорогом.

ИБ> Мне, например, кажется, что 0.8 - это слишком много.

Ну во всяком случае это на 4-5 порядков худшая линейность, чем в настоящем суховском.

Nick Sukhov.

Конец цитаты.

В попытке разобраться с настоящим суховским усилителем, я разделил его на составляющие и стал исследовать линейность. Первым испытуемым стал выходной эмиттерный повторитель, он потом в качестве носорога вошел в схему предлагаемого усилителя без изменений (не выбрасывать же рудименты!) Сигнал подавался кажется с ГЗ-118, на выходе был резистор 4/8 Ом, выход и вход контролировались автоматическим искажометром С6-11(опять не уверен, что правильно его называю, давно это было) и СК4-74. Были получены следующие результаты.

При нестабилизированном питании +_ 42 В, и токе покоя 100 ма на частоте 1 кГц усилитель тока почти во всем диапазоне мощностей показал стабильный результат - 3% гармоник с хрестоматийным распределением по спектру. И только для малого сигнала, когда выходные транзисторы работают в классе А, коэффициент гармоник опускается до 0,6%. Увеличив ток покоя до 3А получаем 0,6-0,7% на выходной мощности до 20-30 Ватт (с водяным охлаждением радиаторов).

Вывод 1: Выбор величины тока покоя выходного каскада, работающего в классе АВ, обусловлен исключительно конструктивными требованиями.

Вывод 2: Кроссоверные искажения в выходном каскаде составляют наиболее значительную часть.

Может кто не знает, механизм кроссоверных искажений в двухтактных каскадах примерно таков (специалисты меня потом поправят): На малом сигнале (пока ток сигнала через транзисторы или лампы меньше тока покоя) транзисторы плеч работают на нагрузку вдвоем, затем при повышении уровня, один из транзисторов закрывается. Это эквивалентно увеличению выходного сопротивления вдвое. Т.е. динамическая характеристика имеет резкий излом.

Можно «увидеть» кроссоверные искажения так: подключая и отключая нагрузку на малом уровне, засечь осциллографом «просадку» сигнала на выходе. Затем увеличить уровень и проделать ту же операцию. Пока

усилительные элементы работают в классе А, они практически не замечают изменения нагрузки, при переходе в В просадка заметна. Все это, конечно, не относится к усилителям, у которых выходное сопротивление формируется с помощью ООС.

В статье «Current dumping: does it really work?» в Wireless World в 1978 году Vanderkooy & Lipshits особенно подчеркивали достоинство усилителей, работающих в классе В,- у них нет кроссоверных искажений. Я думаю, что простенький Current dumping усилитель, вытасканный на свет божий Гумелей, хорошо звучит именно поэтому. Вывод третий и традиционно самый умный.: Усилитель должен комплектоваться изначально линейными узлами, а использование для линеаризации усилителя глубокой общей ООС есть оффсникерс.

Итак, первый компромисс, выходной каскад усилителя тока работает с током покоя 350ма., предвыходной- 35ма (почти всегда в классе А), первый - 4 ма (в кл.А во всем диапазоне сигналов и нагрузок в т.ч. КЗ). В этом режиме усилитель не перегревается. От чистого класса В пришлось отказаться до лучших времен, чтобы не связываться с ОС.

Вернемся к нашим бульдогам.

Говорить о влиянии усилителя напряжения на качество звучания давно стало общим местом. Ратуя за линейность в высшей мере, спросим себя, как получить 90-100 Вольт напряжения от пика до пика (35 В эфф.) с наименьшими усилиями. Ответ на поверхности: любой вакуумный триод сделает это с видимым удовольствием. Поехидничаем по поводу 4-5 порядков линейности.

Соберем реостатный каскад на триоде с общим катодом. Питание нужно вольт 300. Подадим на вход сигнал от генератора, к аноду через переходной конденсатор подключим резистор 10 килоОм в качестве имитатора входного сопротивления УТ. (правда это не очень корректная имитация , ведь у составного эмиттерного повторителя огромная входная емкость, как статическая, так и динамическая).

Вот какие результаты показали некоторые лампы :

(Ток покоя / максимальное напряжение на нагрузке (от пика до пика), при котором начинают расти гармоники/ Коэффициент гармоник при этом напряжении)

6Н6П 13ма / 100В / 1%

6Н23П 12ма / 120В / 3%

6Н1П 8ма / 80В / 2%

Пробовал я получить что-то подобное от транзисторов КП959, КТ940 (делал каскады с динамической нагрузкой, с токовым зеркалом, с общей базой, еще какие-то), так искажометр зашкаливает.

Вывод 4: Для усиления напряжения линейнее лампы еще ничего не придумано. Это даже в Радио можно прочитать. Это я уже потом узнал, что Шашурин применяет ECC88 в УН для LAMM-1, а у фирмы Sorland ламповый УН вообще является визитной карточкой.

Компромисс второй. Усилитель напряжения в предлагаемом УМ выполнен по схеме SRPP на лампе 6Н23П, так легче получить малое выходное сопротивление (так и быть, с помощью ООС по току) и большую амплитуду неискаженного напряжения на выходе. Потом , в другом таком усилителе я опробовал простой однотактный каскад, звучит ничуть не хуже.

Самым узким местом при таком построении УМ является интерфейс между УН и УТ , другими словами, нужно принудить бульдога к связи с носорогом в условиях, когда сопротивление носорога имеет комплексную величину (т.е. не только мнимую, но действительную;-). У носорогов вообще сложный характер (а если его кормить выходным продуктом, feedback то есть....)

После ряда экспериментов был принят самый простой вариант связи УН с УТ- через конденсатор. По теории двухтактный эмиттерный повторитель, работающий в кл.А, можно возбуждать в любом плече, на практике пришлось подавать сигнал синфазно в оба плеча. Коэффициент гармоник в этом случае снижался почти вдвое. Неладно что-то в датском королевстве. Транзистор, включенный аналогом стабилитрона, задает ток покоя и, естественно, привинчен к радиатору выходного каскада. Резисторы, питающие этот стабилитрон, одновременно привязывают выход усилителя к нулю, точнее к полуразности напряжений питания плеч.

Результатом упрощенного подхода к интерфейсу является плохая устойчивость усилителя. В некоторых экземплярах приходилось включать в цепи базы транзисторов небольшие резисторы (10-50 Ом). Второй серьезный недостаток- это слышимый фон переменного тока. На экране осциллографа хорошо видны тонкие «кlyики». Причиной фона является проникновение импульсов заряда конденсаторов фильтра блока питания на вход усилителя тока (УН не фонит , надо только накал заземлить). RC фильтр 820 ом 4,7 мкф почти не помогает. Помогает стабилизация напряжения питания или , на крайний случай, П-образный LC фильтр в питании усилителя. В одном из последних вариантов я применил дроссели Д61 с двумя конденсаторами по 15000 мкф в каждом полюсе питания. Особенно эффектно это решение смотрится в варианте двойного моно. По крайней мере по одному параметру этот усилитель находится на уровне лучших образцов Hi-end`а- по весу.

По поводу звука, первое, что бросается в уши, это кристально чистые середина и верх звукового диапазона. Звук очень высоко оценен профессиональными музыкантами за способности в воспроизведении органа Hammond, медных и деревянных духовых, и особенно гитары. Эти способности у него на уровне триодных ламповиков, которые тоже участвовали в демонстрациях. Некоторые записи вообще воспринимаются по новому. Паузы между звуками заполнены воздухом, а не ватой, как у других транзисторников. Реверберационные хвосты прослушиваются полностью, а не вязнут в вате. Ну а «дымка над образом» имеет консистенцию «сиреневого тумана» , здесь смайл стоит. Так что 0,8%- это только на первый взгляд много, а на вслух- очень даже неплохо. Мощность более 100 ватт на 8 ом. На 4 омах 200Вт синусоидальной мощности не получается, блок питания не дает, а вот на реальной музыке пиковое выходное напряжение практически равно питанию, те +- 44 вольта, сами посчитайте, сколько там РМРО. Ложкой дегтя является воспроизведение самых низких частот. Бас у этого усилителя немного суховат, но это огрех конкретно этой схемы с конкретно этими номиналами.

Теперь еще немного дидактики. Я далек (пока) от того, чтобы кричать на каждом углу, что коэффициент гармоник усилителя ни о чем не говорит (эх, дожить бы до АМЛ). Еще как говорит. О мастерстве разработчика, об опыте технолога, о твердолобости ведущего конструктора, наконец. Но о звуке- очень мало и только в связи с другими факторами, такими как схемотехника узлов, наличие/отсутствие местных и общих ОС. Я не буду кричать, что ООС портит звук, но применять ее по возможности не буду, не дорос еще. Я пройду мимо людей, с жаром обсуждающих проблему подбора межблочных кабелей, и не хмыкну. Ведь звук в мозгу обрабатывается теми же нейронными контурами, которые содержат и зрительные, и осязательные образы, и кучу другой информации, которая формирует сознание и общую культуру пациента. Есть слухачи экстракласса, которых не собьешь с толку золоченой ручкой и чьей-то там сигнатурой на панели. Но основная масса потребителей находится под жестоким прессингом (от слова пресса) торговцев воздухом . Поэтому нет ничего удивительного в том, что люди начинают искренно верить в различные мифы.

Итак, господа офицеры, какие будут предложения? Поручик Ржевский.
Рис.1 – с кондером между УН и УТ, Рис.2 – с трансформатором (прим. ред. ;))

РИС.1

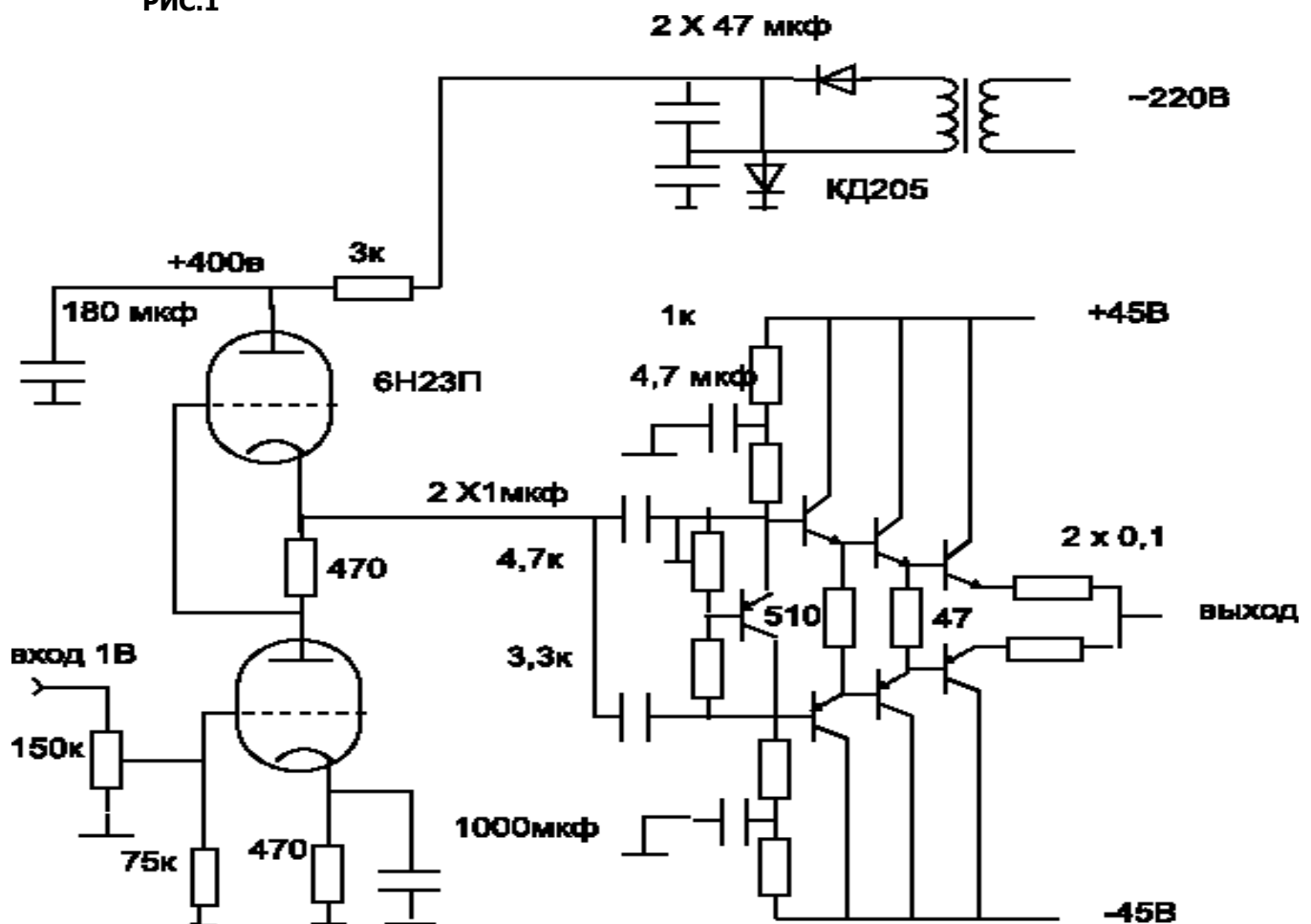


РИС.2

