

ПРИНЦЕССА

Евгений Карпов

Часть 2

Однотактный усилитель повышенной мощности

Небольшие уточнения

В процессе настройки нескольких плат, естественно, всплыли мелкие неприятности. В общем, все их удалось устранить малой кровью. Ниже я приведу фрагменты схем (*измененные и добавленные элементы выделены цветом*), в которые были внесены изменения, и дам короткие разъяснения.

В выходном каскаде была немного модифицирована схема стабилизации нуля (Рисунок 7). Для полного исключения влияния этой цепи на звук в низкочастотной области (15÷20Hz) постоянная времени была увеличена на порядок. Для уменьшения времени переходного процесса был добавлен диод VD7. Изменение соотношений постоянных времени цепи стабилизации привело к изменению длительности и характера переходного процесса, в результате, при включении усилителя на выходе появился довольно большой выброс. Это потребовало изменения схемы задержек подключения акустики. Кроме того, подключение выходного автотрансформатора после окончания переходного процесса на выходе значительно уменьшает стрессовую нагрузку на источник питания выходного каскада. Новая версия системы задержки показана на рисунке 8. Фактически, задержка стала двухступенчатой. Первая ступень (DA1) работает, как и прежде. Срабатыва-

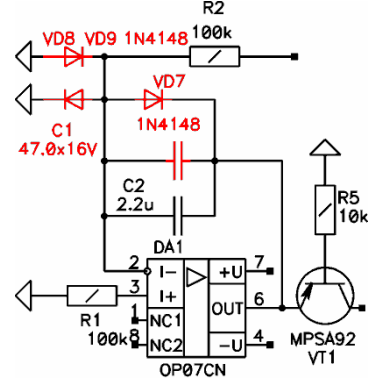


Рисунок 7

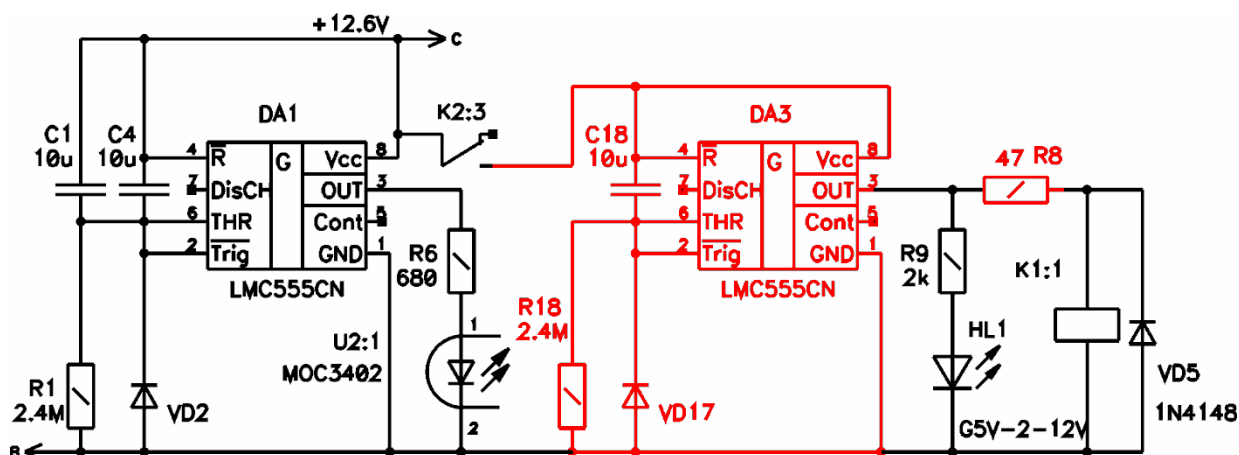


Рисунок 8

ние первой ступени подает напряжение питания на выходной каскад и на вторую ступень задержки (DA3), которая после окончания задержки подключает нагрузку.

Параметры усилителя

Максимальная выходная мощность	30 W
Номинальная выходная мощность	25 W
Чувствительность	≈ 170mV
Входное сопротивление	47 kOhm
Номинальное сопротивление нагрузки	8 Ohm
Выходное сопротивление	≈ 1 Ohm
Уровень шума (не взвешенный)	-91 dB
Коэффициент гармоник	
25W	3.3%
10W	2.1%
1W	0.6%
Мощностная полоса	20Hz÷100kHz
Неравномерность в полосе (не более)	1.5 dB
Несогласованность каналов (не более)	0.2 dB
Напряжение питания	220 V ±10%
Потребляемая мощность (не более)	550 WA
Габариты	330x400x480 мм
Вес	29 kG

Объективные параметры усилителя измерены при номинальном напряжении питания и при номинальном активном сопротивлении нагрузки.

Зависимости уровня нелинейных искажений (THD) и уровня отдельных гармоник от выходной мощности показаны на рисунках 9 и 10 соответственно.

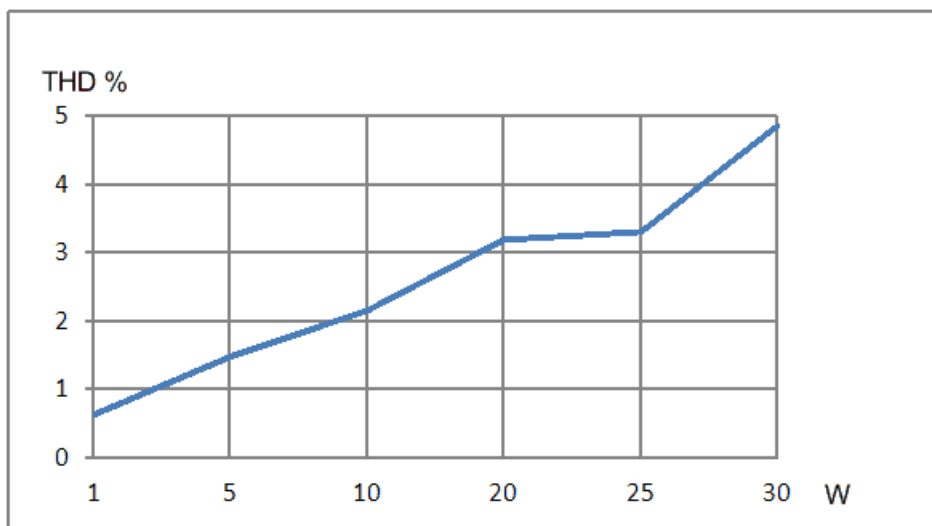


Рисунок 9

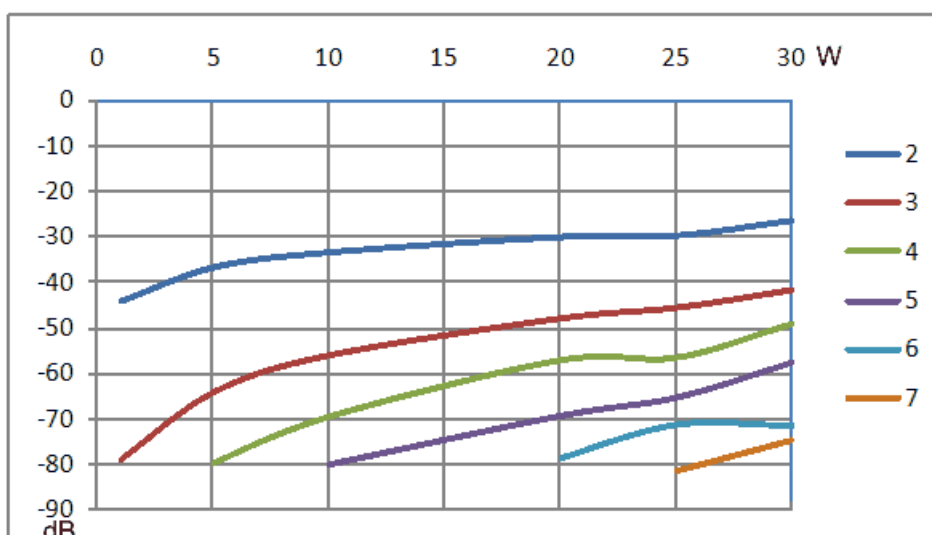


Рисунок 10

Чтобы оценить характер искажений, вносимых усилителем, ниже приведены спектрограммы выходного сигнала при уровне выходной мощности 1, 10 и 25 ватт (рисунки 11÷13).

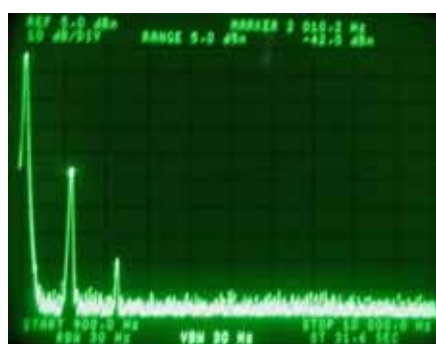


Рисунок 11



Рисунок 12

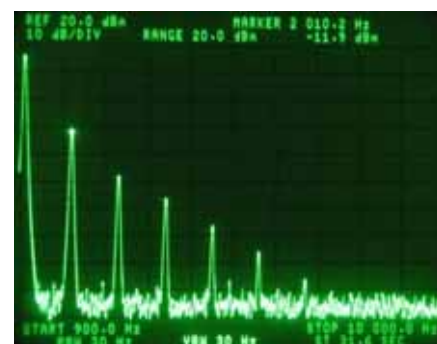


Рисунок 13

Следует отметить, что усилитель вносит искажения, характерные именно для однотактных каскадов на вакуумных триодах. По сравнению с «Золушкой», скорость спада уровня гармонических искажений получилась даже несколько больше, и при более коротком «хвосте». Субъективно, этот усилитель звучит заметно лучше и динамичнее, как за счет лучшей частотной и переходной характеристики, так и за счет

большого запаса мощности. С формальной точки зрения этому усилителю до уровня HI-FI, ой как далеко, но что интересно, по субъективному восприятию музыки 95% усилителей, относящихся к этому классу, не годятся Принцессе в подметки.

Конструкция усилителя

Конструктив усилителя выбран несколько необычным, это напольная конструкция без претензий на особую декоративность (строго и не бросаться в глаза). Во-первых, усилитель предназначен для воспроизведения музыки, а не для украшения интерьера, поэтому во главу угла ставились вопросы оптимальной компоновки, обеспечение охлаждения, удобства и безопасности эксплуатации. Во-вторых, усилитель имеет большой вес, и не каждая тумбочка его выдержит. В-третьих, усилитель выделяет много тепла и должен свободно обтекаться воздухом со всех сторон.

Как уже говорилось, все компоненты одного канала размещены на одной плате. Исходно предполагалась горизонтальное размещение платы в корпусе, но по ряду причин компоновку пришлось изменить, и «Принцесса» стала выше и толще. Большие габариты корпуса, в основном, определяются необходимостью эффективного охлаждения компонентов. Как показал предыдущий опыт, оставлять открытыми компоненты, имеющие высокую температуру (температура баллона выходной лампы достигает 250°C , охладителей - $70\div 80^{\circ}\text{C}$), не очень хорошо, особенно, если есть маленькие дети. И, несмотря на мои длительные расчеты тепловых режимов, я все равно немного ошибся. Максимальное расчетное значение температуры охладителя не должно было превышать 70°C , реально получилось 80. Ну это меня не сильно смутило (да и транзисторы – тоже), а вот с нагревом верхней части корпуса в районе выходных ламп вышла прямая промашка. Температура крышки поднималась выше 100°C , в результате «Принцесса» обзавелась двумя сверхтихими пропеллерами (рекомендую фирмы Noctua, серия NF-S). Даже находясь рядом с усилителем, их не слышно, и это решило все проблемы с тепловыми режимами.

Корпус усилителя условно разбит на три зоны (Рис. 14, 15).

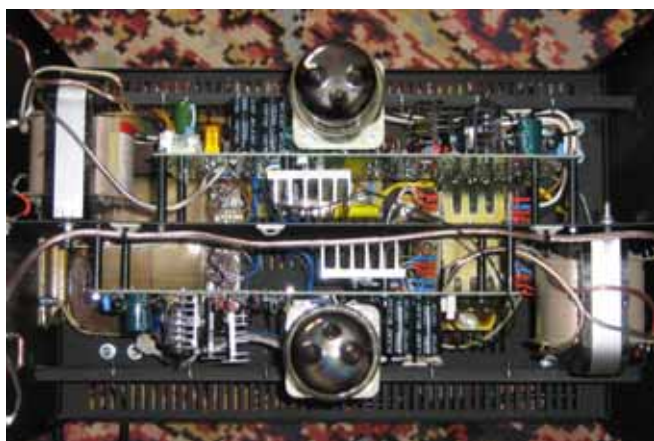


Рисунок 14



Рисунок 15

В нижней части размещены силовые трансформаторы и элементы сетевого фильтра, средняя часть корпуса разделена продольной перегородкой, на которой слева и справа размещены платы каналов и выходные трансформаторы. Массивная перегородка экранирует каналы друг от друга и служит ребром жесткости корпуса.

Охладитель транзисторов стабилизатора накала также размещен в нижней части и не имеет электрического контакта с корпусом. Транзисторы стабилизатора установлены также через изолирующие прокладки. Двойная изоляция позволяет использовать усилитель без заземления. На задней панели устанавливаются две клеммы, одна из них подключена к корпусу усилителя (в точке соединения земель каналов и экранов силовых трансформаторов), а вторая - к проводу заземления сетевого шнура. При необходимости, в зависимости от помеховой обстановки, клеммы соединяются перемычкой.

Охладители транзисторов силовых стабилизаторов и охладитель транзистора выходного каскада подняты на уровень платы. Это позволяет сократить длину соединительных проводов и обеспечивает свободное обтекание охладителей воздухом. Пропеллеры (на рисунках не показаны) установлены приблизительно под выходными лампами на высоте (от поддона) $35\div 40\text{мм}$.

Как выглядит усилитель с установленными охладителями и с закрытой крышкой, показано на рисунках 16 и 17.



Рисунок 16



Рисунок 17

Такая конструкция совершенно не является обязательной, но проектируя свой вариант, следует уделить особое внимание охлаждению элементов.

Трансформаторы

Оба силовых трансформатора работают с пониженной индукцией. Габаритная мощность трансформатора накала выбрана несколько большей, чем необходимо, это связано с большим количеством обмоток и соответственно – низким коэффициентом заполнения. Для трансформатора накала использован сердечник и арматура от промышленного трансформатора ОСМ1-0.25 (таблица 1), а для трансформатора силового источника используется сердечник и арматура от трансформатора ОСМ1-0.63 (таблица 2). Трансформаторы мотаются обычным образом. Для межслоевой изоляции (для тонкого провода) используется конденсаторная бумага толщиной 0.03мм, для межобмоточной изоляции – пленка ПЭТ-Э толщиной 0.1мм. Для изоляции сетевой обмотки от экрана необходимо положить три слоя пленки. Сердечники трансформаторов склеиваются эпоксидным компаундом с низким магнитным сопротивлением, и трансформаторы пропитываются лаком МЛ-92 с последующей сушкой при температуре 120С°. Намотка – рядовая, обмотки наматываются в том же порядке, в каком они перечислены в таблице.

Таблица 1

Обмотка	Число витков	Провод	Напряжение (Вольт)	Примечание
W1	440	ПЭВ-2 Ø 0.72мм	≈ 180	
Экран	1	Медная фольга		Толщина – 0.1 – 0.15 мм
W2	870	ПЭВ-2 Ø 0.17мм	390	
W3	64	ПЭВ-2 Ø 0.19мм	29	
W4	870	ПЭВ-2 Ø 0.17мм	390	
W5	64	ПЭВ-2 Ø 0.19мм	29	
W6	13	ПЭВ-2 Ø 1.2мм	5,8	Обмотки W6, W7 мотаются одновременно (в два провода)
W61	13	ПЭВ-2 Ø 1.0мм	5,8	
W7	13	ПЭВ-2 Ø 1.2мм	5,8	
W71	13	ПЭВ-2 Ø 1.0мм	5,8	Обмотки W8, W9 мотаются одновременно (в два провода)
W8	13	ПЭВ-2 Ø 1.2мм	5,8	
W81	13	ПЭВ-2 Ø 1.0мм	5,8	
W9	13	ПЭВ-2 Ø 1.2мм	5,8	
W91	13	ПЭВ-2 Ø 1.0мм	5,8	

Намотку трансформатора накала следует делать очень аккуратно, иначе есть шанс, что обмотки не поместятся в окне. Следует обратить пристальное внимание на качество стыковки половинок магнитопроводов и обязательно проконтролировать ток холостого хода трансформаторов перед пропиткой.

Выходной трансформатор намотан на Ш-образном сердечнике, составленном из двух магнитопроводов ПЛМ22x32x58 из стали 3414 (толщина ленты 0.35мм). Обмотка W1:1 состоит из 9 секций по 64 витка, намотанных проводом ПЭТ-155 Ø 0754мм. Секции соединены последовательно согласно.

Таблица 2

Обмотка	Число витков	Провод	Напряжение (Вольт)	Примечание
W1	390	ПЭВ-2 Ø 1.2мм	220	
Экран	1	Медная фольга		Толщина – 0.1 – 0.15 мм
W2	310+310	ПЭВ-2 Ø 0.64мм	174+174	Отвод от середины
W3	310+310	ПЭВ-2 Ø 0.64мм	174+174	Отвод от середины

Между секциями обмотки W1:1 намотаны секции обмотки W1:2 (восемь секций). Каждая секция содержит по 27 витков провода ПЭВ-2 Ø 0.86мм. Секции соединены последовательно согласно. Части обмотки W1:1 и W1:2 также соединяются последовательно согласно. Для удобства коммутации секций целесообразно проводить намотку так, чтобы конец одной секции находился рядом с началом следующей (намотка змейкой). Каркас катушки изготавливается из стеклотекстолита толщиной 1мм. Намотка секций рядовая, межсекционная изоляция – один слой пленки ПЭТ-Э толщиной 0.1мм. Полное число витков обмотки автотрансформатора равно 576+216. Половинки магнитопроводов склеиваются компаундом, но трансформатор не пропитывается. Трансформатор крепится к шасси хомутом из стальной полосы толщиной 0.5÷0.8мм.

Наладка усилителя

Наладка усилителя производится в несколько этапов. Вообще, если в монтаже нет ошибок, использованы исправные детали, монтаж выполнен грамотно - узлы начинают работать сразу, и требуется только подстройка режимов. Но не следует забывать, что в усилителе используется много полупроводниковых компонентов, и любая ошибка монтажа, неосторожность и поспешность - может очень быстро и надолго испортить вам настройку. При наладке усилителя надо обязательно использовать ЛАТР, первое включение любого узла или части схемы производится при плавном подъеме напряжения питания. И маленькая рекомендация: работая с одним каналом, желательно снимать все анодные напряжения со второго (даже, если канал настроен)

Этап 1

К ведущему каналу (канал, содержащий элементы стабилизации напряжения накала и задержек) подключают обмотки трансформатора накала – сетевую, накала драйвера и выходной лампы, напряжения смещения. Проверяют наличие и величину напряжения накала (резистор R6, часть 1 Рис.3), наличие и величину отрицательного напряжения смещения (допустимое отклонение - ±20%). Устанавливают предварительное значение напряжения смещения (резисторы R3и R9, часть 1, Рис.2). Проверяют работу системы задержек.

Подключают ко второму каналу усилителя обмотки накала и смещения и проверяют величину напряжения накала, наличие и величину отрицательного напряжения смещения, устанавливают предварительное значение напряжения смещения.

Этап 2

К ведущему каналу подключают обмотку анодного питания драйвера. Проверяют величину выходных напряжений стабилизаторов анодных напряжений и окончательно устанавливают режим работы ламп VL1, VL3 (часть 1, Рис.2). Подключают ко второму каналу обмотку анодного питания драйвера и повторяют описанные выше операции. **Отключают обмотки анодного питания драйвера от обоих каналов.**

Этап 3

Минуя схему задержки, подключают ЛАТР к сетевой обмотке трансформатора силового питания, изымают обе выходные лампы, подключают выходную обмотку трансформатора силового питания к ведущему каналу. Проверяют работоспособность, отсутствие самовозбуждения и подстраивают величину выходного напряжения (резисторы R3 и R11, часть 1, Рис.5) стабилизаторов силового питания (допустимое отклонение - +0÷-3%). Повторяют эту операцию для второго канала. **Отключают обмотки анодного питания от обоих каналов.**

Этап 4

Вставляют обе выходные лампы, закорачивают перемычкой анод VL3 на общий провод. **Отключают выходные автотрансформаторы.** Подключают выходную обмотку трансформатора силового питания к ведущему каналу, подают сетевое напряжение на стабилизатор накала. После прогрева катода выходной лампы плавно повышают анодное напряжение выходного каскада, одновременно контролируя его ток покоя. Если ток покоя не превышает необходимого, проверяют отсутствие самовозбуждения и отсутствие напряжения на выходе каскада (допустимое значение - 5÷10mV). Далее, дают установиться тепловым режимам элементов (15÷20 минут) и устанавливают необходимый ток покоя (резистор R12, часть 1,

Рис.1). Если ток покоя сразу превышает нужное значение, увеличивают номинал R12 и повторяют все сначала. Аналогичную операцию повторяют для второго канала.

Этап 5

Удаляют переключки, восстанавливают все соединения, согласно схеме, подключают все источники питания в штатном режиме. Подключают к входу усилителя генератор, а к выходу – номинальную нагрузку. Включают усилитель и дают ему прогреться 15÷20 минут. Устанавливают величину токовой ОС по минимальному уровню гармоник на номинальной мощности (резистор R20, часть 1, Рис.1). Конечно, желательно использовать спектроанализатор, более доступный вариант – получение минимального искажения сигнала при контроле сигнала по осциллографу с точной подстройкой на слух. Проверяют балансировку каналов усилителя и его частотную характеристику.

Чтобы не иметь проблем с балансировкой каналов, желательно перед началом монтажа отобрать парные лампы в каналы (хотя бы, по коэффициенту усиления) и парные компоненты, которые могут влиять на коэффициент передачи.

Заключение

Те, кто рискнет повторить эту конструкцию, должны иметь в виду две вещи: первое - схема достаточно сложная, и второе - себестоимость усилителя получается довольно высокой. Хотя, если вы ощущаете в себе достаточно силы, и есть зуд в руках – то удачной работы.