

## Двухкаскадный однотоктный на 6С33С без обратных связей.

Александр Торрес, Гонгконг-Нетания.

Усилителей на свете много. Какой из них лучше, какой хуже – однозначного ответа нет (да и вряд ли когда будет!). Одни предпочитают транзисторные или микросхемные «мощные операционники», другие – только однотоктники, третьи падают в обморок, если в усилителе находят хоть один полупроводниковый элемент (даже если это всего-навсего светодиод индикации – и вместо него норовят поставить неоновую лампочку или «зеленый глаз»). Четвертых выворачивает наизнанку, если стоят параллельные лампы, транзисторы, конденсаторы или даже резисторы, но при этом выясняется, что они не понимают, чем отличается трансформатор от дросселя (случай реальный). Пятые – пытаются решить все проблемы подбором правильного направления серебряных сетевых проводов и «правильного» припоя.

Описываемый усилитель не претендует на звание «супер-пупер» или «всех времен и народов». Я прекрасно отдаю себе отчет, что 6С33С хотя и хорошая, но не самая-самая. Но было интересно сконструировать усилитель, исходя из некоторых концепций. Хотя «лучшая концепция – это отсутствие всякой концепции»(С)перифразированный А. Клячин, тем не менее были высказаны следующие пожелания:

- Обойтись без обратных связей, даже местных.
- Минимум каскадов усиления.
- Обойтись без электролитических конденсаторов в цепи сигнала (исключая конечно, стоящие по питанию – они ведь тоже находятся в сигнальной цепи).
- Получить достаточно высокую мощность для однотоктника (15-18Вт), чтобы обеспечить достаточную перегрузочную способность и малый уровень искажений на обычной для комнаты громкости (4-5Вт на акустике, с чувствительностью 88-92дБ)
- Обойтись минимумом моточных изделий, а те, без которых нельзя – максимально простые.

Мощный стабилизаторный триод 6С33С отличается от большинства других триодов своим огромным током анода. *(Это обуславливает большую любовь к построению бестрансформаторных усилителей, или ОТЛ, на этой лампе, К сожалению, ни одного нормально звучащего ОТЛ лично мне пока услышать не посчастливилось, но возможно еще повезет в будущем).* Однако, его недостатком, кроме большой мощности накала, является большая тепловая инерция, температурная нестабильность, особенно при высоком сопротивлении утечки в цепи сетки.

Проявляется это в том, что при использовании фиксированного смещения (Рис. 1а) вследствие изменения температуры, напряжений и большой тепловой инерции – при максимальном использовании потенциала лампы (т.е. близкой к максимальной мощности на аноде – 55-60Вт) часто наблюдается лавинный саморазогрев лампы. Встречается много утверждений, типа «все это чепуха, я сделал и ничего не случилось» - но, как правило, или при этом использовалась 6С33С с мощностью на аноде 40-45Вт, или это был Лофтин-Уайт

(усилитель с непосредственными связями), или же «просто повезло». Есть также индивидуумы, использующие эту лампу с половиной накала и большим «недогрузом». У них тоже она не идет «вразнос», но мне всегда их хотелось просить – а зачем вам при этом 6С33С? Есть много других ламп!

Справедливости ради замечу, что и мне попадались нормально живущие с фиксированным смещением ламп (особенно 6С33С-В) даже при мощности 70-80Вт на аноде, но немало попадалось и таких, которые «шли вразнос» уже при 50Вт. Есть у меня одна уникальная лампа, которая уходит в лавинный саморазогрев сразу, как только мощность превышает 63-64Вт (даже с использованием описываемого ниже «автофикса», эта лампа «улетала» в ток под 1 ампер, при смещении на сетке -100в!).

Поэтому наиболее часто используют автоматическое смещение (Рис 1б), которое дает прекрасную стабилизацию режима работы лампы. Но, как и в «Золотом правиле механики» - выигрываем в силе, проигрываем в расстоянии. Вместе со стабилизацией режима, мы получаем резистор в катод, на котором рассеивается большая мощность (порядка 20Вт) и местную обратную связь, для устранения которой – резистор необходимо шунтировать конденсатором большой емкости. В случае 6С33С, работающей при токе 300мА и смещении 70В, резистор 230 Ом рассеивает 21Вт. И ему требуется электролитический конденсатор, импеданс которого не больше 1/10 от сопротивления резистора на нижней рабочей частоте. В данном случае – это не менее чем 330мкФ на 100 вольт, лучше же использовать 1000мкФх100в в сочетании с пленочным конденсатором 1-10мкф.

Какие еще могут быть варианты? Схемы с непосредственной связью и с переходными трансформаторами могут помочь, но они обладают своими недостатками. Достоинствами фиксированного смещения являются, кроме отсутствия резистора и конденсатора в катод лампы, еще отсутствие потерь (нагрева) этого резистора и легкость регулировки смещения простым маломощным подстроечным резистором. В случае автосмещения – ток покоя лампы можно изменить только изменением величины мощного резистора.

Много десятилетий назад, была придумана схема последовательного автосмещения. От обычного автосмещения она отличалась тем, что резистор стоял ДО фильтрующего конденсатора блока питания. Поскольку падение напряжения на нем зависит от тока, протекающего через лампу, то и происходит стабилизация (Рис 1в). Нужно только выделить постоянную составляющую, т.к. через резистор идет пульсирующий ток выпрямителя.

Олег Чернышев (Ярославль) предложил брать напряжение с резистора через диод, соорудив таким образом пиковый детектор, этим удалось уменьшить сопротивление резистора, выделяемую на нем мощность (мощность – примерно в 2-3 раза), и уменьшить пульсации напряжения смещения. Я пошел на небольшое увеличение сопротивления резистора и рассеиваемой на нем мощности (но все же – оно меньше чем для обычного автосмещения, в районе 11-12Вт) для увеличения напряжения, снимаемого с резистора, добавив в схему подстроечный резистор.

В итоге, получившаяся схема (Рис 1д) обладает следующими достоинствами:

- Отсутствие катодного резистора и конденсатора.
- Легкость установки желаемого тока лампы обычным маломощным подстроечным резистором .
- Стабилизация режима, поскольку это не фиксированное а автоматическое смещение ( $U_{см}$  зависит от тока лампы)

Есть еще одно достоинство предлагаемой схемы – резистор автофикса стоит между выпрямителем и электролитом, тем самым сглаживая зарядный ток конденсатора как во время включения (InRush Current), так и во время работы.

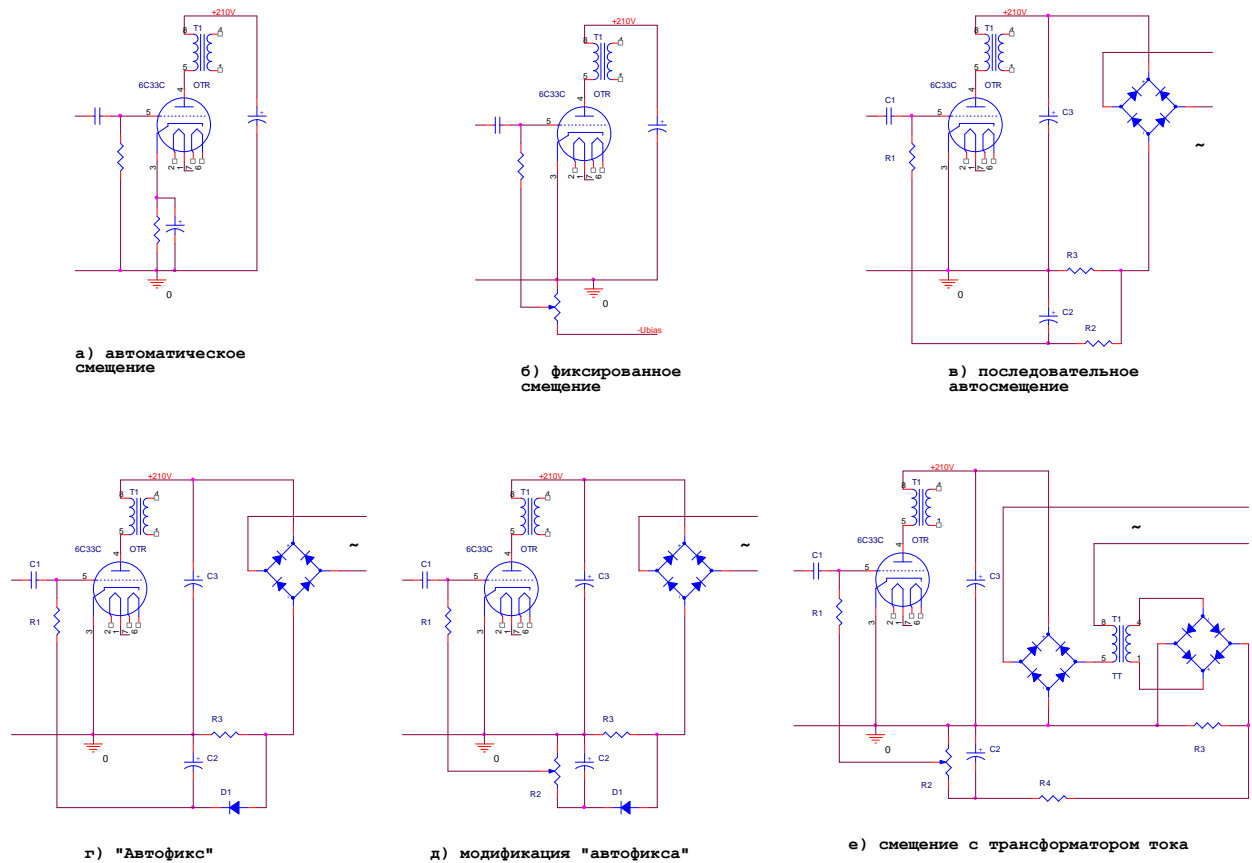


Рис 1

Существует другая возможность – использовать трансформатор тока, установленный в цепи переменного тока (во вторичной обмотке анодного трансформатора, перед выпрямителем. Возможна и его установка в первичной обмотке.) Такая схема (Рис 1е) еще больше снижает потери мощности во вспомогательных цепях, но требует более сильной фильтрации напряжения смещения, что может привести (и в некоторых случаях я это наблюдал) к самовозбуждению схемы на инфранизких частотах.

Следует заметить, что как схема автофикса, так и схема с трансформатором тока, в случае изготовления не моноблоков а стереоусилителя – требуют отдельных анодных обмоток и выпрямителей для каждого канала.

Перейдем к рассмотрению полной схемы усилителя (Рис. 2). Выходной каскад построен по схеме «автофикс» с регулируемым смещением. Режим работы каскада – 210В на аноде, 0,28А. При желании, можно его изменить подстроечным резистором в обе стороны (зависит от конкретной лампы). При изменении смещения меняется как ток, так и анодное напряжение (из-за изменения падения напряжения на резисторе автофикса). Резистор 1 Ом в цепи катода 6С33С служит для измерения тока, после настройки его можно закортить (хотя он никому не мешает). Выходные трансформаторы секционированные – 4 секции первичной обмотки (790 витков, в сумме, провод 0,85мм) , между которыми 3 секции вторичной обмотки (по 36 витков в каждой), которая намотана плоским литцендратом большого (2мм<sup>2</sup>) сечения - это позволило обойтись без запаралеленных секций и уйти от уравнивающих токов. Во вторичной обмотке сделан отвод от одной секции, это позволяет включать трансформатор тремя различными способами, получая с нагрузкой 8 Ом величину  $R_a$  – 430 Ом, 960 Ом и 3.8кОм. Последнее значение вряд ли имеет практический смысл (хотя целиком вписывается в «концепцию» Юрия Макарова –  $R_a/R_i=20-30$ ), но может быть интересно в качестве эксперимента, а также при работе с 4-х омной акустикой. 430 Ом на первый взгляд мало, с другой стороны – «соотношение  $R_a/R_i$  не следует делать более 4-5, ухудшается динамика каскада, и нелинейные искажения выше этого соотношения уменьшаются незначительно (с)Анатолий Манаков». В реальности – все зависит от акустических систем (АС), как и многие SE без обратной связи, данный усилитель критичен к характеристике импеданса АС.

Сердечник выходного трансформатора – «двойной С-Core» из железа М5, сечение центрального керна 18см<sup>2</sup>, прокладка – 0,3мм. Изготовленный трансформатор имеет индуктивность 4.5Гн, сопротивление первичной обмотки по постоянному току – 5.5 Ом, линейный участок намагничивания трансформатора – простирается вплоть до 0,62А. С полным включением вторичной обмотки полоса частот трансформатора 9Гц-75кГц, а всего усилителя - 11Гц-53кГц (по уровню -3 dB при напряжении 10В на нагрузке 8 Ом), выходное сопротивление – около 2 Ом, искажение синусоиды (по осциллографу) на выходе начинается при мощности на нагрузке 15-18Вт. Коэффициент усиления – 13.

Поскольку целью являлось построение 2-х каскадного усилителя, то первый каскад (драйвер) должен обладать достаточным коэффициентом усиления, и большим максимальным запасом по размаху выходного сигнала. Используемая лампа 6Э5П, которую "открыл" для аудиоприменения Анатолий Манаков, при питании 350-400в позволяет получить (в отсутствие выходного каскада) размах выходного сигнала +120В peak-to-peak. Это примерно вдвое превышает максимально возможный сигнал +60-70В p-p, который зависит от напряжения смещения выходного каскада. Эта лампа может быть включена как тетрод или как триод. В первом случае усиление даже избыточно (100-130), во втором - наоборот, недостаточно (30-40). В связи с этим, использована т.н. <ультралинейная> схема включения тетрода, в которой вторая сетка подключена к части анодной нагрузки. При указанных на схеме номиналах, данная схема имеет коэффициент усиления 60-70, что наиболее подходит для данного случая (в оригинальной схеме А.Манакова в аноде стоят одинаковые резисторы, и коэффициент усиления 45-50).

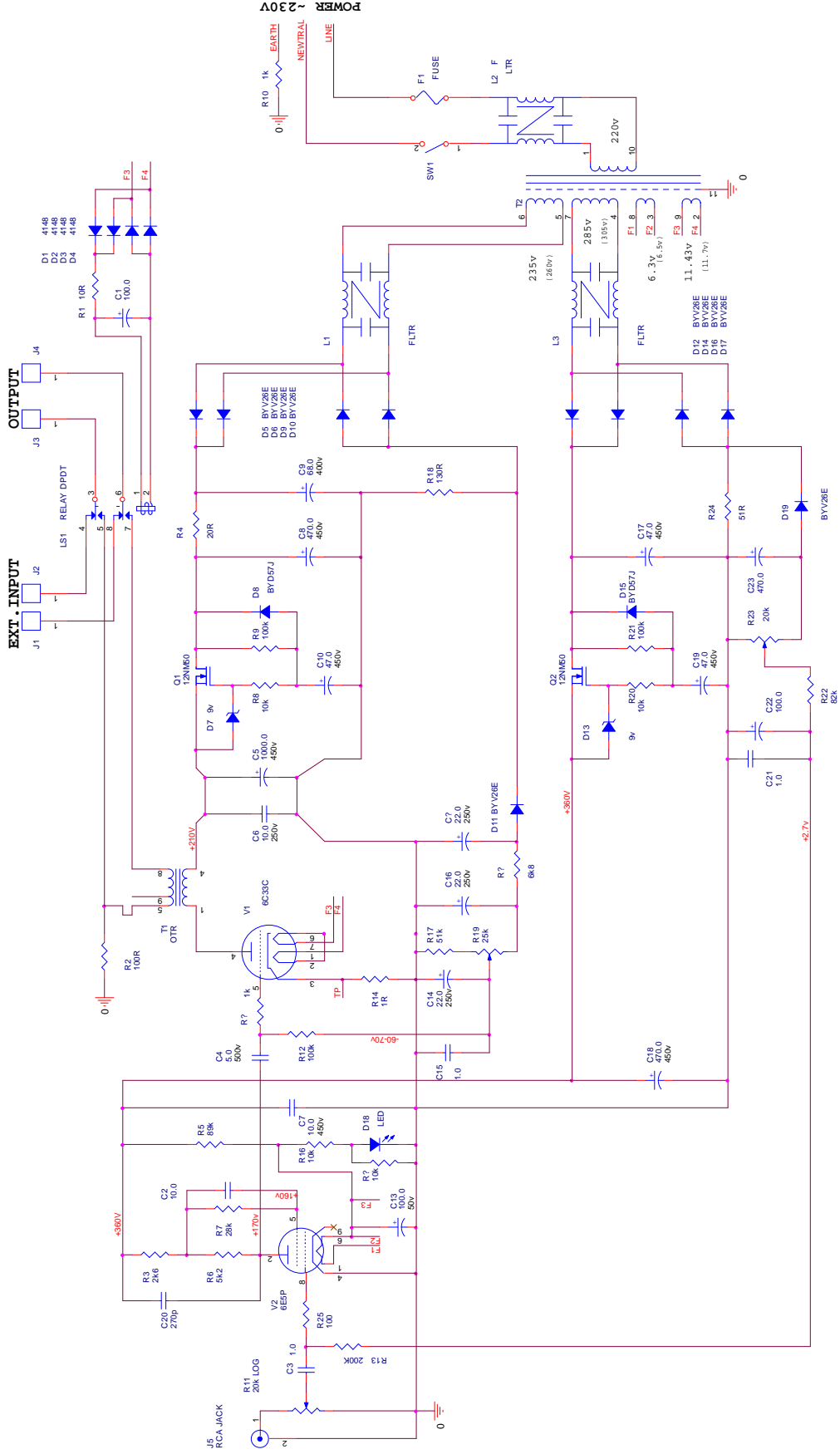
Смещение драйвера может быть сделано несколькими способами - традиционное автоматическое смещение (резистор около 100 Ом, зашунтированный конденсатором 2000мкф в катод, сеточный резистор при этом сидит на земле), фиксированное смещение батарейкой в цепи сетки и фиксированное смещение. Последнее и было выбрано, поскольку мы решили обойтись без конденсаторов в катодах всех ламп. Откуда брать напряжение (отрицательный источник) для фиксированного напряжения, не имеет большого значения, но поскольку такового не имелось – был и в драйвере использован «автофикс». Здесь его стабилизирующие свойства автоматического смещения не так важны, поэтому смещение используется общее для двух каналов. Аналогично питанию выходного каскада, в питании драйвера резистор автофикса также способствует уменьшению пиков зарядного тока электролитов блока питания.

Блок питания (анодный) входного каскада имеет 3-х ступенчатый фильтр, образованный сначала резистором автофикса и первым электролитическим конденсатором, затем последовательным резистором и вторым конденсатором, и в заключение- «электронным дросселем» на мосфете и большим, установленным параллельно выходному каскаду электролитическим конденсатором, зашунтированным пленочным. В выпрямителе используются быстрые диоды и противопопомеховые фильтры (common mode, на схеме не показаны), предотвращающие попадание всякого «мусора» из розетки. Аналогичный «электронный дроссель» применен и в анодном питании драйвера. Накали всех ламп питаются переменным током, для уменьшения фона – все накалы смещены на несколько десятков вольт вверх. (Светодиод в цепи делителя смещения накалов используется исключительно для индикации).

При таком построении блока питания, уровень фона на выходе составляет около 3мв, что на АС с чувствительностью 90дБ, практически не слышно даже если «вставить ухо в колонку». Эксперимента ради, я пробовал не меняя ничего в блоке питания, закорачивать электронные дроссели выходных каскадов. При этом в АС появлялся небольшой фон, неслышимый уже с полуметра, но я все же рекомендую не отказываться от них.

Вторичные обмотки выходных трансформаторов, подключены к клеммам АС через реле, питаемое от накальной обмотки. При выключенном усилителе, реле подключает АС входным клеммам. Если усилитель будет использоваться только для высококачественного прослушивания музыки – этого можно и не делать, но если Вы используете одну пару АС как для музыки так и для кино, то для последнего нет большого смысла гонять ламповый усилитель. В том случае, выход на АС с Вашего ресивера или другого усилителя (более простого транзисторного или микросхемного) подключается к входным клеммам, и Вы коммутируете одну пару АС на два усилителя просто включением-выключением питания этого усилителя.

При повторении усилителя, следует учесть, что некоторые элементы не только лампы, также рассеивают определенное количество тепла – это резисторы автофикса и резисторы в анодной цепи драйвера. Их следует выбирать соответствующей мощности. Мосфеты электронных дросселей греются слабо, специальные радиаторы им не нужны. Более чем достаточно привинтить их к металлическому шасси, а вот резисторам автофикса может понадобиться и радиатор.



Панельки под 6С33С лучше всего керамические, помните – они нагреваются! При построении усилителя были использованы электролитические конденсаторы Philips, Rubycon, пленочные конденсаторы – Wima, BC Components. Резисторы – Bourns и Dale.

Звучание усилителя получилось достаточно интересным, чувствуется большой запас мощности. Очень чистые и прозрачные ВЧ, прекрасно передающиеся СЧ и мягкие, ненавязчивые НЧ, но конечно – для передачи «взрывов» в кино этот усилитель годится меньше мощного транзисторного двухтактника.

Благодарю Анатолия Манакова, Марка Фельдшера и других за помощь и консультации.  
<http://altor.sytes.net>



P.S. Уже после выхода статьи, была сделана вторая версия данного усилителя. Ее основные отличия:

1. Увеличена емкость конденсатора С5 с 1000 до 2000 мкФ.
2. Число витков первичной обмотки выходного трансформатора увеличено до 1200 витков.
3. Используются отдельные трансформаторы анодного питания (Т2) для двух каналов.
4. Остальные отличия не принципиальны, и связаны с другой механической конструкцией усилителя.