

СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ЛАМПОВОГО УСИЛИТЕЛЯ

Евгений Карпов

В статье рассмотрен вариант реализации простого многоканального стабилизатора, позволяющего полностью исключить влияние сети на работу усилителя и существенно упростить источник питания. Приведена принципиальная схема и показаны возможные варианты использования устройства.

Высокая чувствительность однотактных ламповых усилителей к колебаниям сетевого напряжения стала уже притчей во языцех. Особенно сильно колебания напряжения питания влияют на выходной каскад. Использование цепей, корректирующих напряжения смещения, в общем-то, полумера, колебания напряжения накала тоже вносят свой негативный вклад. Кардинальным решением является использование стабилизаторов как для стабилизации анодного напряжения, так и напряжения накала; это, кроме исключения влияний сети, улучшает и другие параметры усилителя. Но очевидное на первый взгляд решение оборачивается значительным усложнением конструкции, особенно это заметно, если усилитель выполнен на одной-двух лампах: источник питания получается сложнее усилителя. Для многих схем это просто неоправданно – овчинка выделки не стоит. Существуют и технические проблемы - стабилизация высоких анодных напряжений и больших токов накала.

Резюме простое – в большинстве ламповых усилителей используют традиционный источник питания.

Новое – хорошо забытое старое

Уже много лет известны линейные стабилизаторы с регулирующим элементом, включенным со стороны первичной обмотки силового трансформатора (Рис.1). Фактически, это обычный компенсационный линейный стабилизатор, дополненный устройством гальванической развязки. Широкого распространения стабилизаторы такого типа не получили, хотя они могут иметь очень высокую статическую точность, динамические характеристики у них неудовлетворительные. Наличие трансформатора со своими паразитными параметрами, выходного фильтра, гальванической развязки существенно ограничивают частотные свойства стабилизатора. Использовались такие структуры для стабилизации или очень низких напряжений при больших токах нагрузки или, наоборот, очень высоких напряжений. В первом случае это позволяло повысить эффективность стабилизатора, а во втором - обойти ограничения элементной базы.

Теперь давайте поставим мысленный эксперимент. Подключим к выходу стабилизатора постоянную нагрузку, например, резистор. И еще более ограничим частотные свойства стабилизатора до такой степени, чтобы цепь обратной связи практически не реагировала на пульсации напряжения на выходе. В этом случае пульсации выходного напряжения будут определяться исключительно параметрами выходного фильтра.

После этой небольшой подготовки включаем стабилизатор на номинальное напряжение сети. После завершения переходного процесса на выходе стабилизатора установится некоторое значение средневыврямленного напряжения, заданное цепью обратной связи. Соответственно, на входе силового трансформатора (точки 1,2) также установится некоторое значение переменного напряжения, пропорциональное коэффициенту трансформации, суммарным потерям и углу отсечки диодов. При изменении сетевого напряжения система будет пытаться поддерживать на выходе заданное значение выходного напряжения, но так как нагрузка у нас постоянна (то есть, и потери постоянны), стабильное напряжение будет и на вторичной, и на первичной обмотке (точки 1, 2) силового трансформатора.

Никто нам не запрещает намотать на этом сердечнике еще одну обмотку и снабдить ее выпрямителем и фильтром (Рис. 2). При условии, что второй канал стабилизатора тоже нагружен на постоянную нагрузку, на его выходе установится стабильное напряжение,

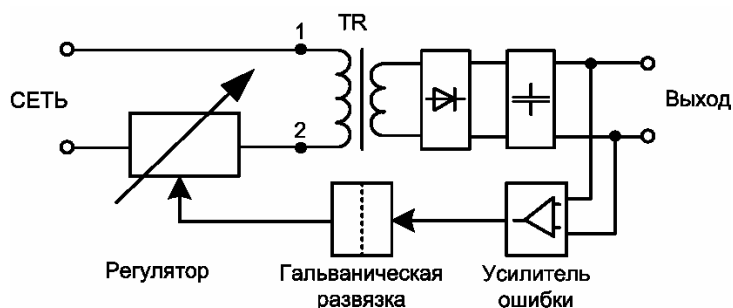


Рисунок 1

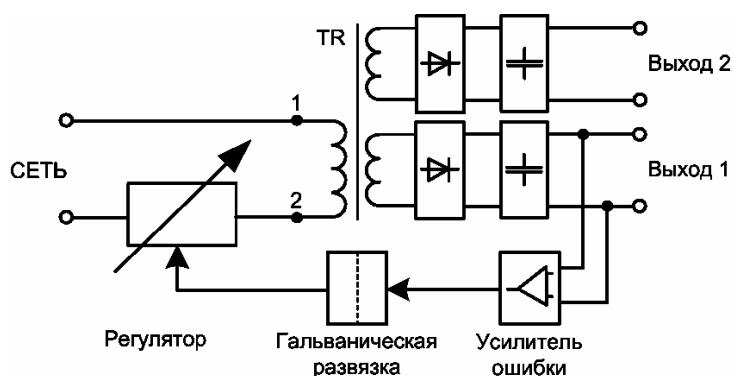


Рисунок 2

пропорциональное коэффициенту трансформации и суммарным потерям, приведенным к этому каналу, и также не зависящее от сетевого напряжения. Ведь напряжение на первичной обмотке стабильно, а все обмотки жестко связаны между собой через коэффициент трансформации.

Следующий возможный шаг - это подключение к точкам 1,2 еще одного трансформатора со своим набором обмоток и выпрямителей. Так как в точках 1,2 напряжение стабильно, то на выходе выпрямителей второго трансформатора при условии постоянства нагрузок тоже будет стабильное напряжение, не зависящее от напряжения сети.

Собственно говоря, нам это и нужно: исключить влияние сетевого напряжения на несколько выходных. Такой стабилизатор очень хорошо подходит для питания устройств, требующих нескольких напряжений и потребляющих постоянный ток, например, усилителей, работающих в классе «А», многоканальных стабилизаторов накала.

В стабилизаторе можно применять любые типы выпрямителей (в том числе и кенотронных) и любые типы фильтров (только не следует забывать об устойчивости замкнутой системы регулирования). Вопросы выходного сопротивления каналов и уровня пульсаций решаются традиционным способом: использованием соответствующих фильтров и выходных конденсаторов.

Схема стабилизатора

Полная принципиальная схема стабилизатора приведена на рисунке 3.

Стабилизатор имеет следующие параметры –

Входное напряжение	180 ÷ 240 V
Выходное напряжение ведущего канала	6.3 V
Выходной ток ведущего канала	1 A
Выходное напряжение второго канала	300 V
Выходной ток второго канала	50mA
Амплитуда пульсаций	1 V
Нестабильность выходных напряжений	≈ 1%

Обратимся теперь к схеме стабилизатора. В качестве ведущего используется канал 6.3V, это не лучшее решение, но существенно упрощает схему стабилизатора. Параллельно выходу канала подключен регулятор, выполненный на микросхеме DA1, совмещающей в себе источник опорного напряжения и усилитель ошибки. Выход микросхемы нагружен на светодиод оптрона гальванической развязки, выходное напряжение устанавливается делителем R13 ÷ R15.

Регулирующий элемент реализован на транзисторе VT1, включенном в диагональ выпрямительного моста VD3, и работает в линейном режиме. Управляющее напряжение на затвор транзистора поступает с делителя, образованного транзистором оптрона и резистором R3. Делитель питается стабилизированным напряжением, поступающим со стабилизатора VD1. Напряжение на параметрический стабилизатор поступает с однополупериодного выпрямителя на диоде VD2, питающегося непосредственно от сети. Резистор R5 служит для линеаризации характеристик регулирующего элемента, а компоненты C2, R7 предупреждают возможное самовозбуждение схемы.

Для защиты от перегрузок в цепь стока транзистора включен резистор R8. Падение напряжения на нем компенсирует управляющее напряжение, и при токе около 3A схема превратится в источник тока.

Регулирующий элемент зашунтирован резистором R9. Хотя это и сужает диапазон стабилизации, но повышает линейность регулирующего элемента и уменьшает рассеиваемую на нем мощность. Кроме того, при включении стабилизатора в сеть в начальный момент времени напряжение на выходе параметрического стабилизатора равно нулю, и его нарастание происходит довольно медленно из-за значительной величины конденсатора C1. Трансформатор оказывается подключенным к сети через резистор R9, что ограничивает бросок тока, вызванный зарядом фильтрующих емкостей и холодными нитями накала ламп. По мере нарастания напряжения на конденсаторе C1, стабилизатор плавно входит в режим стабилизации.

Высоковольтный выпрямитель реализован по классической мостовой схеме. В случае необходимости уменьшения пульсаций на его выходе можно увеличить выходную емкость вплоть до 1000μF.

При реализации усилителя по структуре “двойное моно” первичная обмотка второго трансформатора со своими выпрямителями подключается параллельно первичной обмотке основного трансформатора.

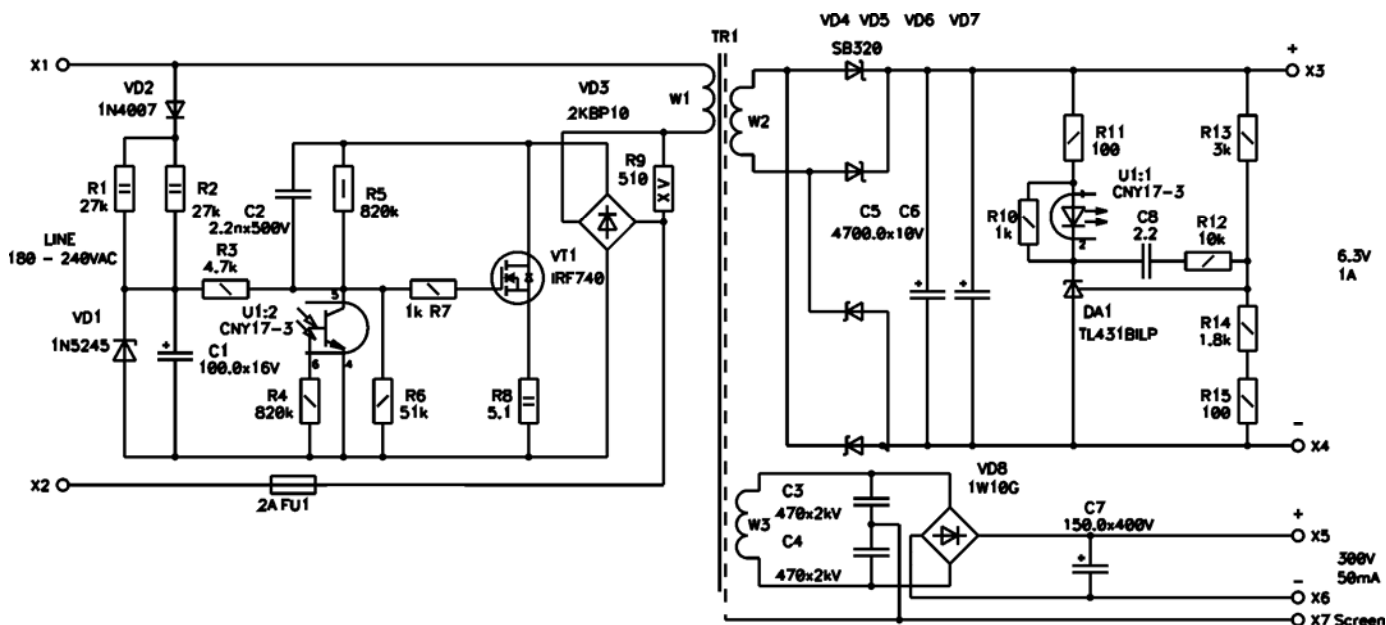


Рисунок 3

Конструкция, детали, налаживание.

Схему стабилизатора лучше собрать на печатной плате (или ее подобии). При разработке печатной платы следует учесть то обстоятельство, что часть элементов схемы находится под напряжением сети. Расстояние между компонентами сетевой и вторичной части должно быть не менее 10мм. Оптрон устанавливается между первичной и вторичной частью стабилизатора, и под ним желательно выполнить в плате просечку (если оптрон разместить на краю платы, то легко сделать пропил). Также следует обратить особое внимание на качество изоляции регулирующего транзистора VT1 от охладителя, лучше всего изолировать и корпус транзистора, и сам охладитель от шасси. При использовании стабилизатора для питания одного канала усилителя транзистор VT1 следует снабдить охладителем с эффективной площадью порядка 300см², при питании двух каналов площадь охладителя следует увеличить до 500÷600см². Транзистор может быть удален от платы на 100÷150мм.

В стабилизаторе можно использовать компоненты любых типов. Стабилитрон VD1 на 15 вольт может быть любым, тип оптрона тоже не критичен, но он должен иметь нормированный коэффициент передачи тока в районе 100÷200%. Регулирующий MOSFET транзистор можно заменить на любой другой с допустимым током стока 5÷10А и допустимым напряжением стока не менее 400V.

Диодные мосты заменяются одиночными диодами с обратным напряжением 400÷700V и током не менее 1А. В качестве выпрямительных диодов ведущего канала следует использовать диоды Шотки с обратным напряжением не менее 20V и током 3А. Резистор R9 – проволочный.

Силовой трансформатор намотан на сердечнике ШЛМ25х25 и имеет следующиемоточные данные –

Обмотка	Число витков	Провод
W1	960	0.27мм ПЭЛ-2
Экран	1 (не замкнутый)	Медная фольга 0.15мм
W2	40	0.8мм ПЭЛ-2
W3	1410	0.21мм ПЭЛ-2

В принципе, можно использовать любой сердечник с габаритной мощностью 50÷60W, но об этом мы поговорим чуть позже.

При правильной сборке стабилизатор не требует налаживания и начинает работать сразу. Если у вас есть ЛАТР, то первое включение желательно произвести, плавно повышая входное напряжение и контролируя выходное. При достижении на входе напряжения около 180V напряжение на ведущем канале должно достигнуть 6.3V и более не меняться. Стабилизатор можно включать без нагрузки, естественно, на высоковольтном выходе будет повышенное напряжение. Полную

проверку стабилизатора (диапазон стабилизации, нестабильность) проводят с подключенными эквивалентами нагрузок.

Некоторые тонкости

Хочу еще раз обратить внимание читателей, что уровни пульсаций на выходе каналов и выходное сопротивление по переменному току определяются емкостью выходных конденсаторов или параметрами фильтров.

Ведомый канал (высоковольтный) при изменении нагрузки ведет себя подобно обычному выпрямителю с емкостным фильтром: уменьшение тока приведет к росту выходного напряжения, увеличение тока - к падению выходного напряжения. Напряжение ведущего канала меняться не будет. Изменение тока нагрузки ведущего канала не будет приводить к изменению его выходного напряжения, будет смещаться нижняя граница стабилизации, а вот напряжение ведомого канала будет меняться. Увеличение тока нагрузки ведущего канала приведет к росту выходного напряжения ведомого и наоборот.

Подключение второго трансформатора не приводит к изменению выходных напряжений.

Поэтому такой стабилизатор рассчитывается для использования с конкретной нагрузкой по каждому каналу.

Наличие включенного последовательно с первичной обмоткой сопротивления регулятора делает прямой расчет необходимых напряжений на вторичных обмотках более сложным. Это касается как расчета трансформатора на другую мощность, так и перерасчета трансформатора на другой тип сердечника. Но эту проблему можно приблизительно решить, не вдаваясь в сложную теорию. Рассчитывают выпрямители обеих каналов обычным способом. Исходными данными для их расчета является выходное напряжение и ток нагрузки. В результате вы получите необходимые напряжения вторичных обмоток и их действующие токи. Теперь, задавшись нижним значением напряжения сети и считая, что в этом случае первичная обмотка трансформатора соединена непосредственно с сетью, так как транзистор регулирующего элемента насыщен, рассчитывают трансформатор. Такой упрощенный расчет дает ошибки в определении необходимых напряжений обмоток. Влияние этой ошибки на ведущий канал приведет к сдвигу границы стабилизации вверх, чтобы этого избежать, увеличивают число витков в обмотке, питающей выпрямитель ведущего канала, на 5÷7%. А вот в обмотке, питающей ведомый канал, целесообразно сделать несколько отводов через 15÷20 вольт в сторону повышения. Это даст возможность более точно установить выходное напряжение ведомого канала. Другой вариант: изготовить трансформатор и, временно его собрав, подключить к схеме. Проведя испытания стабилизатора при номинальных токах нагрузки, можно сделать выводы о необходимом изменении числа витков обмотки ведомого канала.

Кстати, в стабилизаторе можно с успехом использовать обычные сетевые трансформаторы без перемотки первичной обмотки (правда, необходимо знать ее число витков). Это приводит к некоторому повышению габаритной мощности трансформатора, с одной стороны, и улучшению электромагнитного режима сердечника - с другой.

Заключение

Приведенная выше схема стабилизатора применена в простом однотактном ламповом усилителе с ультралинейным выходным каскадом и общей выходной мощностью около 6 ватт. Аналогичная схема также используется как предстабилизатор в гибридном усилителе TOP – класса с выходной мощностью 40 ватт. Каких-либо нареканий на повторяемость схемы и, в общем, на систему электропитания не возникало.

Попутно хочу заметить, что при активной нагрузке такой стабилизатор можно использовать и для стабилизации переменного напряжения. Выходное напряжение стабилизатора близко к синусоидальному, коэффициент гармоник 5÷7%. Такая структура прекрасно подходит для создания многоканальных стабилизаторов напряжения накала в сложных ламповых усилителях.