

Как прокормить цифру вместе с оркестром.

Хороший работник всегда хорошо кушает.

Народная мудрость.

И только хорошо покушав, он опять становится хорошим работником. Так уж устроен мир, законы которого одинаковы как в диких джунглях, так и в дебрях электронных устройств.

Мы уже отмечали, что звук – это промодулированное питание и из акустических систем мы слышим именно источник питания нашего усилителя с некоторыми характерными призвуками модулятора, т.е. непосредственно усилителя или иного устройства. Так же как в личной жизни мы неоправданно мало внимания уделяем вопросам собственного здорового питания, так и в подавляющем большинстве электронных изделий разработчики подобным же образом относятся к вопросам питания своих проектов. Судя по всему, они предпочитают обедать в заведениях fast food типа "Макдоналдс", а нас потчевать своей продукцией, напичканной устройствами класса fast power, действующих на ухо нормального человека точно так же, как упомянутый обед на его желудок.

Открыв крышку практически любого серийного аппарата, мы обнаружим стабилизаторы серии 78XX, 79XX и аналогичных, ставших практически неотъемлемым атрибутом низковольтных цепей. Микросхемы этих серий получили столь широкое применение исключительно из-за своей доступности, малой стоимости и универсальности. По аналогии с компьютерной техникой их можно отнести к устройствам типа Plug and play, т.е. "впаял, и будет работать", что, однако, не должно освобождать разработчика аппаратуры от закономерного вопроса, насколько же хорошо микросхема будет выполнять возложенные на неё задачи?

Задачи, возникающие в звуковой аппаратуре, можно отнести к наивысшей категории сложности, что, несомненно, предъявляет повышенные требования к устройствам подобного типа. Действительно, серия 78XX и в стандартных применениях ведет себя не совсем адекватно, что частенько заставляет пользователя заглядывать в дополнительные инструкции разработчиков микросхемы, касающихся предотвращения паразитной генерации. Беглый взгляд на её внутреннюю структуру (1) показывает, что, запутавшись в её дебрях, рабочий сигнал может не только споткнуться, но и непоправимо покалечиться. Автор не рекомендует использовать серию 78XX даже в таких, второстепенных, на первый взгляд, цепях, как питание косвенного накала ламп.

Стабилизаторы типа LM317 имеют более высокие потребительские параметры, в том числе и с точки зрения звуковоспроизведения. Это оправдывает их использование для наших целей, несмотря на некоторую усложнённость подключения. Типовая схема их включения достаточно широко известна и, в данной статье, рассматриваться не будет. Конечно же, существует огромное количество неплохих, с точки зрения звука, интегральных устройств, не получивших заслуженной широкой известности (вероятно, экономический фактор здесь сыграл решающую негативную роль). Свое внимание мы направим на рассмотрение схем, **максимально** ориентированных на достижение высокого качества воспроизведения звука, как в аналоговых, так и в собираемых нами цифровых цепях звуковоспроизводящего тракта.

В первую очередь нам необходимо разобраться с причинами, ограничивающими применение тех или иных стабилизаторов для звуковых целей. Наличие у них хорошей защиты от короткого замыкания в нагрузке не имеет никакого отношения к звуковоспроизведению и призвано защитить копеечный стабилизатор, когда из Вашего аппарата уже повалит дым (не дай Вам Бог). Внутренние цепи стабилизатора, используемые для этих целей, "съедают" приличную часть рабочего музыкального

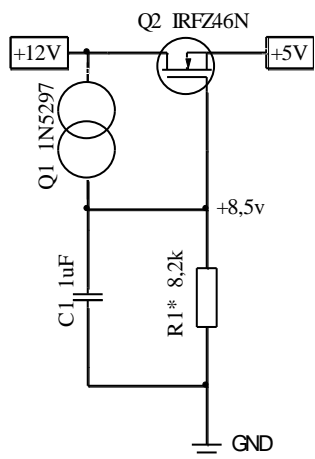
сигнала, а на выходе неизбежно оставляют следы своей жизнедеятельности, которые с готовностью излучаются Вашими акустическими системами. Далее, как правило, существующая элементная база, используемая в звуковоспроизводящей технике, не предъявляет высоких требований к **долговременной стабильности** питающего схему напряжения (имеется в виду, что дрейф питающего напряжения в пределах нескольких процентов обычно не имеет существенного значения). Гораздо важнее поведение источника питания в условиях динамически изменяющегося тока нагрузки, поведение которого при реальном сложном музыкальном сигнале носит выраженный импульсный характер. В этом случае говорят о характеристиках **кратковременной стабильности** источника питания (вопросы о степени важности долговременной и кратковременной стабильности параметров мы уже затрагивали в предыдущей части статьи). Именно реакция той или иной схемы источника питания на импульсную нагрузку и характеризует её звуковые свойства, а для цифровых схем становится практически единственным важным фактором.

На первый взгляд может показаться странным, но именно динамические свойства стабилизаторов питания определяют их собственные шумы, которые также важны при рассмотрении любых задач. Действительно, было бы странно списывать достаточно высокие внутренние шумы интегральных стабилизаторов (для серии 78XX они вообще не нормируются) только на суммарные шумовые характеристики входящих в них элементов. Более внимательное рассмотрение принципов работы подобных устройств поможет нам разобраться в данном вопросе.

Практически все схемы стабилизаторов питания (аналогичная ситуация и в других областях техники) строятся по схеме следящих систем с обратным регулированием, основополагающий принцип работы которых заключается в **обязательном постоянном наличии отклонения (ошибки) в выходном параметре** (в нашем случае в выходном напряжении стабилизатора) относительно заданного значения и постоянной попытке компенсации этого отклонения с помощью цепи обратного регулирования (обратной связи). При этом мгновенное значение выходного напряжения стабилизатора **никогда не равно** заданному значению, а постоянно колеблется вокруг него в обе стороны (если быть педантичным, то они все-таки равны в моменты смены знака ошибки с "плюс" на "минус" и наоборот). Примерно среднее значение напряжения, вокруг которого происходят эти колебания, и называется выходным напряжением стабилизатора, которое указывается в справочных данных производителя и которое мы можем измерить своими вольтметрами. Величина отклонения мгновенного значения напряжения от этого среднего значения характеризуется как собственный шум стабилизатора. Чем лучше динамические (и частотные) свойства стабилизатора (в первую очередь его цепи обратной связи), тем быстрее он будет компенсировать эти отклонения и тем меньшей величины они смогут достигнуть, т.е. тем меньше его внутренние шумы. Очевидно, что и импульсную нагрузку такой стабилизатор будет отслеживать лучше.

Аналогичный характер поведения, имеющий, правда, совершенно иную природу возникновения, имеют стабилитроны, как полупроводниковые, так и электровакуумные. Инерционные процессы, лежащие в основе физики их работы, приводят к их достаточно плохим динамическим показателям и, как **второстепенное** следствие, высоким паразитным значениям шумов. Это свойство стабилитронов заслуживает рекомендации воздержаться от их применения в высококачественных звуковоспроизводящих устройствах.

Итак, с высокой степенью очевидности вырисовываются два пути построения стабилизаторов: использование устройств без цепи обратного регулирования или, когда по каким-то причинам первый путь не приемлем, подыскать стабилизаторы с максимально короткой и простой цепью обратной связи. Пример возможной практической реализации первого подхода показан на **Рис.1**:



Q1 - 1N5283...1N5314, LM334, КП303А...В

Q2 - IRFZ46N

C1 - К77 или аудиофильного класса, К73-нежелательно;
1мкф, ёмкость желательна как можно больше.

R1 - ВС, УЛИ; 0,25W; 8,2k - подбирается в конкретном случае.

Рис.1

Здесь и далее по всему тексту: *слева* обозначен вход стабилизатора (подключается к выпрямителю со сглаживающим фильтром), *справа* указан выход стабилизатора (подключается к нагрузке).

Схема представляет собой разновидность умножителя емкости с возможностью регулировки выходного напряжения резистором R1. Прекрасные звуковые свойства схемы обусловлены отсутствием общей цепи обратной связи (имеется только местная обратная связь, характерная для используемой схемы истокового повторителя). Регулирующим элементом является полевой транзистор Q2, который отслеживает на своем истоке (выходе стабилизатора) изменение напряжения на затворе. Обеспечив на затворе Q2 не зависящее от внешних условий напряжение, мы тем самым стабилизируем и выходное напряжение. Для этих целей используется генератор тока Q1, стабилизирующий ток для резистора R1, на котором и выделяется подающееся на затвор Q2 стабилизированное напряжение. Величину R1 придется подбирать под конкретный экземпляр Q1. Для улучшения фильтрации всевозможных помех используется конденсатор C1, который должен быть пленочным, желательно высокого качества и максимальной возможной емкости. Параметр крутизны полевого транзистора Q2 является основополагающим при выборе его типа и возможной замене. В схеме на его затворе указана ориентировочная величина напряжения в рабочем режиме. Минимальное напряжение на источнике тока Q1 1N5297 также должно быть не менее 1,5В, что ограничивает минимальное значение входного напряжения стабилизатора величиной 10В при любых изменениях в питающей сети. Значительно лучшими параметрами, в качестве источника тока Q1, обладает LM334, падение напряжения на котором должно быть не менее 1В. Вполне возможно собрать Q1 на полевом транзисторе КП303А...В или другом, по известной схеме генератора тока, не требующей кроме транзистора дополнительных элементов. При этом падение напряжения на Q1 не должно быть менее 4,5В. Полевой транзистор Q2 можно заменить интегральным составным биполярным транзистором Дарлингтона или собрать его из дискретных биполярных транзисторов по известной схеме. При этом разница напряжений между выходом стабилизатора и базой составного транзистора уменьшится до величины примерно 1,2В, что позволит использовать данный стабилизатор при входном напряжении от 7,7В с Q1 1N5297. Полевой транзистор в этой цепи имеет все-таки лучшие звуковые показатели.

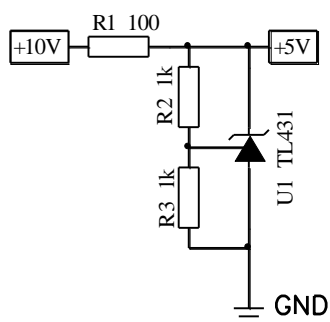
Данный стабилизатор обладает низкоомным выходом с пассивным характером поведения в условиях динамической нагрузки и, повторим, прекрасными звуковыми качествами, что позволяет рекомендовать его для использования как в самостоятельно изготавливаемых конструкциях, так и для замены штатных стабилизаторов серии 78XX и им подобных в готовых покупных устройствах. Единственным серьезным недостатком описанной конструкции можно считать относительно плохую

температурную стабильность, определяемую в первую очередь температурной стабильностью генератора тока на Q1, который всегда можно заменить более совершенной схемой по Вашему усмотрению (при использовании LM334 этот показатель приобретает уже прекрасные параметры). Так как мы рассматриваем только звуковые характеристики устройств, то не будем глубоко вдаваться, отметим только, что в большинстве случаев температурной стабильности указанной схемы вполне достаточно, но первое время её желательно контролировать.

Некоторое неудобство может вызвать и процедура подбора R1. Желательно к выходу стабилизатора сначала подключить резистивную нагрузку, потребляющую примерно такой же ток, как и реальное устройство, резистором R1 установить напряжение примерно 4,8В, подключить реальную нагрузку и, через несколько минут прогрева, установить номинальное напряжение 5В. Все эти незначительные неудобства с лихвой окупятся выросшим уровнем звучания Вашего устройства. При замене стабилизатора 78XX на готовой печатной плате можно использовать освободившиеся монтажные отверстия для установки Q2, на ножках которого можно без особого труда разместить остальную схему.

Рассмотренное устройство представляет собой вариант последовательного стабилизатора напряжения, получившего свое название от его схемы включения последовательно с нагрузкой. При этом, схема питания всего устройства замыкается в кольцо выпрямитель-сглаживающий фильтр-стабилизатор-нагрузка. Изменения тока в нагрузке, вызванные присутствием в ней музыкального сигнала, вызывают **пропорциональные** изменения тока и во всех цепях этого кольца питания, т.е. во всех его звеньях будет также присутствовать музыкальный сигнал в том или ином виде. Очевидно, что такой принцип построения цепей питания предъявляет повышенные требования к схемотехнике и комплектующим выпрямителя и сглаживающего фильтра с точки зрения их звуковых свойств, а также неизбежное их влияние на конечный уровень звуковоспроизведения. Наиболее перспективно с этих позиций применение схем параллельной стабилизации, т.е. когда стабилизатор подключается параллельно нагрузке и становится **её зеркальным отражением** по потребляемому току. При этом, по цепям выпрямителя и сглаживающего фильтра теоретически **всегда будет течь ток постоянной величины**, что снижает их влияние на звук. Звуковой же сигнал по питанию замыкается в короткое кольцо нагрузка-стабилизатор и не выходит за её пределы. Принцип построения таких стабилизаторов предусматривает обязательное наличие в них петли обратного регулирования, поэтому будем относиться к ним очень внимательно.

Великолепными звуковыми свойствами и другими потребительскими параметрами обладают стабилизаторы на основе микросхемы TL431, которая к тому же широко доступна в розничной продаже. Оценить её внутреннюю структуру, для понимания принципа работы, и почерпнуть много полезной информации можно в (2). Базовая схема её включения, применительно к нашим целям, представлена на **Рис.2**:



U1 - TL431

R1 – углерод ВС, УЛИ и др.; 0,5W; 100 Ом

R2, R3 - углерод ВС, УЛИ и др.; 0,125W; 1k

Рис.2

Напомним некоторые эксплуатационные параметры этой микросхемы: диапазон регулировки напряжения от 2,5в до 36в, максимальный ток через микросхему 100 мА, максимальная рассеиваемая мощность 0,77Вт. Эти параметры необходимо всегда тщательно рассчитывать и контролировать.

Требуемая величина выходного напряжения устанавливается резисторами R2,R3 и рассчитывается по формуле:

$$U_{\text{вых}}(В) = ((R2/R3)+1)*2.5$$

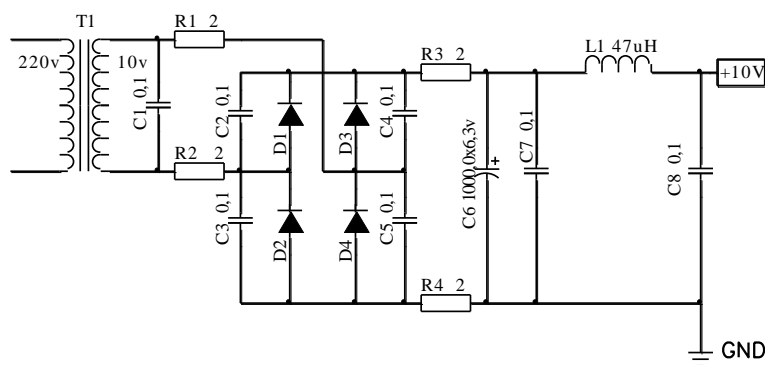
Величина резистора R1 определяется так: $R1 = (U_{\text{вх}} - U_{\text{вых}}) / (I_{\text{нагр}} + I_{\text{стаб}})$;

где $U_{\text{вх}}$ – входное напряжение стабилизатора (в нашем случае 10в); $U_{\text{вых}}$ – выходное напряжение стабилизатора; $I_{\text{нагр}}$ – ток, потребляемый нагрузкой; $I_{\text{стаб}}$ – ток, протекающий непосредственно через микросхему стабилизатора.

Оптимальным условием работы параллельного стабилизатора обычно считается, когда протекающие токи через него и нагрузку примерно равны. Отметим, что это является желательным, но не всегда строго обязательным условием для выполнения, особенно при питании цифровых частей схемы.

Достаточно скромные мощностные параметры этой микросхемы не позволяют запитать одним таким стабилизатором сразу всё наше устройство. Более мощный вариант такого стабилизатора, рассматриваемый ранее в одном из номеров "Практики", требует для своей реализации дополнительных силовых элементов, что значительно удлиняет цепь обратного регулирования и тут же ведет к сильному ухудшению важных параметров. Сама собой напрашивается реализация оптимального с точки зрения звука организации питающих цепей – а именно, использовать такой отдельный стабилизатор для питания каждой микросхемы, что позволит максимально развязать все микросхемы по цепям питания, что особенно актуально для цифровой части.

Указанный факт, что по цепям выпрямителя и сглаживающего фильтра течёт постоянный ток, не зависящий от сигнала в нагрузке, позволит нам максимально оптимизировать эти цепи. Пример их практической реализации представлен на Рис.3:



D1...D4 – диоды Шоттки; не менее 30В/1А
R1...R4 - углерод ВС, УЛИ; 0,25W; 2 Ом
C1...C5, C7, C8 –
для цифровой части керамика 0,1 мкФ/25В
для аналоговой части слюда К31 и др. 0,01мкФ
C6 – 1000 мкФ/6,3В; особых требований к качеству не предъявляется
L1 - 47 мкГн и выше/200мА
Для аналоговой части L1, C8 не устанавливать

Рис.3

Концепция построения этого узла основана на стремлении максимально отфильтровать питание от высокочастотных помех, постоянно присутствующих в сети и обогащаемых цифровыми устройствами. Фильтрация осуществляется в обе стороны, т.е. как со стороны сети к нашему устройству, так и отфильтровываются помехи, создаваемые нашей цифровой частью и стремящиеся проникнуть обратно в сеть (в этом случае сетевой трансформатор работает для этих помех как повышающий их амплитуду в 22 раза!).

В качестве выпрямительных диодов в аналогичных низковольтных устройствах всегда лучше использовать диоды Шоттки, теоретическое обоснование такого выбора мы опустим. Отметим только, что вопреки теоретическим постулатам, реальные диоды Шоттки все-таки создают импульсные помехи

при своей работе, которые в стандартных выпрямительных диодах являются следствием наличия в них неосновных носителей тока. По сравнению с обычными диодами эти импульсы больше по амплитуде, но короче во времени, с ними все-таки легче справиться. Резисторы R1 и R2 служат для ограничения этих импульсов по амплитуде, а конденсаторы C2-C5 для их фильтрации. Кроме того, эти конденсаторы не дают возможным высокочастотным помехам протекать на диодах, тем самым, расширив свой спектр. Резисторы R3 и R4 ограничивают ток заряда электролитического конденсатора C6, что также позволяет избежать возникновения широкополосной импульсной помехи, всегда имеющей место в стандартных схемах выпрямителей. В конечном результате у нас получился прекрасный многосвязный высокочастотный фильтр. Со стороны сетевых помех он выглядит так: C1=>R1,R2,C2...C5=>R3,R4,C6,C7=>L1,C8. Для помех, стремящихся проникнуть со стороны цифровой части в сеть, фильтрация осуществляется аналогичными звеньями в обратном порядке.

Если Вы отважитесь самостоятельно изготовить сетевой трансформатор или, по крайней мере, намотать самостоятельно необходимую вторичную обмотку на подходящее промышленное изделие,

советуем воспользоваться другой схемой выпрямителя:

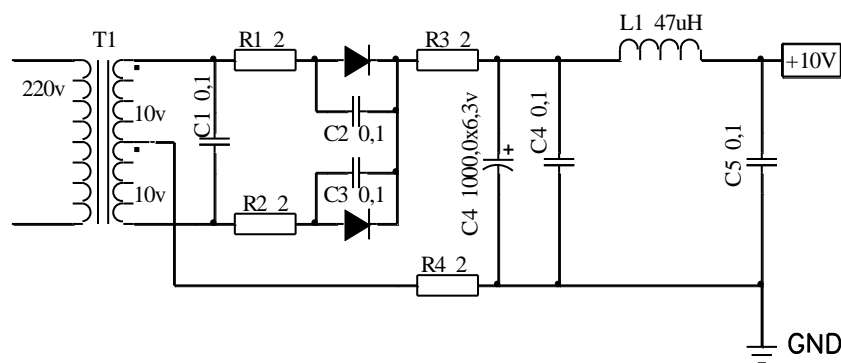


Рис.4

Вторичная обмотка выполняется сложными вместе двумя проводами, образующими две абсолютно одинаковые обмотки. Выводы этих обмоток соединяются согласно схеме, на

которой квадратными точками указаны начала этих обмоток.

Данная схема обладает значительно лучшими свойствами фильтрации сетевых помех. К тому же, меньшее количество выпрямительных диодов также создаёт меньшее количество потенциальных проблем с помехами от них.

При самостоятельном изготовлении сетевого трансформатора для цифровой части также очень полезно введение электростатического экрана между сетевой обмоткой и вторичной. Такой экран может быть выполнен в виде **незамкнутого** витка медной фольги, полностью перекрывающего первичную обмотку. К этой фольге подпаивается гибкий провод, второй конец которого через маломощный резистор 10 Ом припаивается к точке GND опять-таки в центре звезды, формирующей цепь GND. Для тороидальной конструкции сетевого трансформатора можно рекомендовать выполнять электростатический экран в виде плотной дополнительной обмотки в один равномерный слой проводом диаметром примерно 0,4 мм, один конец этой обмотки никуда не подсоединяется. Экран в виде витка фольги выполняет свои функции значительно более эффективно, чем в виде дополнительной обмотки. В трансформаторе для аналоговой части схемы наличие электростатического экрана **нежелательно**.

Напомним, что введение резисторов R1...R4 оправдано лишь в случае использования параллельного стабилизатора. В остальных случаях их присутствие вызывает больше проблем, чем положительных моментов. Наличие этих резисторов меняет в выпрямителе известные соотношения между переменными и постоянными напряжениями; к ним также неприменим в численном виде закон Ома.

Перейдем теперь к более тщательному рассмотрению вопросов организации питания с использованием предложенных схем. Сначала рассмотрим питание аналоговой части.

Использование любой из предложенных схем стабилизаторов в аналоговых цепях (не только применительно к нашей конструкции) позволяет полностью отказаться от использования шунтирующих

питание узла *электролитических* конденсаторов, а в большинстве случаев и от необходимости использования других типов конденсаторов даже малой емкости. **Грамотно реализованный** параллельный стабилизатор **для каждой точки** питания аналоговых цепей всегда лучше, чем любой, даже самый знаменитый пленочный конденсатор. Справедливость этого утверждения так нетрудно проверить! Необходимо только достаточно внимания уделить выделенным фразам.

Следует всегда помнить очень важный момент, что мы рассматриваем использование стабилизаторов, подключаемых к цепям питания, только для "звуковых" целей, и на них не следует возлагать ещё и задачи фильтрации выпрямленного напряжения. Несмотря на то, что стабилизаторы прекрасно справятся и с фильтрующими функциями, эта их дополнительная обязанность на пользу звуку не пойдёт. Эту работу желательно возложить на отдельный стабилизатор, который будет включаться сразу после фильтра выпрямителя и после него уже полностью отфильтрованное напряжение будет подаваться на "звуковой" стабилизатор. Если "звуковой" стабилизатор выполнен по схеме Рис.2, то в качестве фильтрующего стабилизатора можно использовать микросхему LM317 (напоминаем, что в этой цепи уже течет практически простой постоянный ток, что снижает требования к выпрямителю и фильтрующему стабилизатору). В случае же выполнения "звукового" стабилизатора по схеме Рис.1, фильтрующий стабилизатор также должен быть выполнен по схеме Рис.1.

Здесь у нас как-то само собой произошло разделение предпочтений на использование рассмотренных схем стабилизаторов: если Вы хотите использовать один стабилизатор для питания всей конструкции, то его лучше выполнять по схеме Рис.1. Если ли Вы приняли решение об использовании отдельного стабилизатора для каждого потребителя питания в схеме (применительно к нашей конструкции DAC'a, в аналоговой части схемы речь идет о необходимости питания и возможного буферного каскада для мультибитового ЦАП'a), оптимальным вариантом выглядит схема на Рис.2. В рассматриваемой нами конструкции DAC'a при этом нет необходимости использовать какие-либо шунтирующие аналоговое питание конденсаторы, что крайне благоприятно сказывается на звуке. Такая необходимость может возникнуть только при питании от подобного стабилизатора каких-либо цепей с малым уровнем рабочего сигнала, соизмеримым с собственными шумами стабилизатора, которые необходимо будет устранять высококачественным плёночным конденсатором. В случае применения схемы Рис.1 для устройств со значительными изменениями звукового тока (выходные каскады усилителей мощности и т.д.), может потребоваться дополнительный качественный конденсатор ёмкостью порядка 10 мкф на выходе этого стабилизатора. Для аналоговых цепей нашего DAC'a опять-таки никаких конденсаторов не требуется.

Увеличение номинала резистора R1 на Рис.2 улучшает коэффициент стабилизации параллельного стабилизатора, что крайне благоприятно сказывается на звуке в аналоговых устройствах. Этим можно воспользоваться, увеличив при этом входное напряжение на стабилизаторе для обеспечения требуемых токов нагрузки и стабилизатора. При этом также необходимо будет обращать внимание на мощность, рассеиваемую R1. Можно попробовать заменить R1 электронным генератором тока, что ещё улучшит коэффициент стабилизации, но здесь на первый план уже будут выходить звуковые свойства этого генератора, по которым хороший резистор все-таки практически невозможно обыграть.

Несколько по иному обстоят дела при рассмотрении питания цифровой части нашего устройства. Скорость изменения потребляемого тока здесь настолько высока, что стабилизатор не сможет эти изменения отследить и полноценно обработать. Здесь остаются в силе все наши предыдущие рекомендации о необходимости использования высококачественного электролитического конденсатора совместно с небольшим керамическим конденсатором на каждом выводе питания. Оптимальным вариантом также будет использование стабилизатора по схеме Рис.2 на каждом выводе питания, что позволит значительно снизить обмен помехами между отдельными частями схемы. Если

Вы нацелены на достижение наивысшего результата, то просто необходимо полностью гальванически развязать все цепи питания, путем сборки для каждой из них отдельного выпрямителя со своей вторичной обмоткой сетевого трансформатора. Электростатический экран между каждой обмоткой и поверх всего трансформатора также крайне желателен. Экстремальным решением, конечно, будет использование отдельного сетевого трансформатора для каждого потребителя питания в цифровой части. Вы никогда не пожалеете о затраченных усилиях! При этом необходимо начала и концы сетевых обмоток всех трансформаторов соединить, не перепутывая друг с другом.

Построение звуковых устройств на **параллельных** стабилизаторах позволяет также с прекрасными результатами использовать всевозможные сетевые фильтры, которые в обычных условиях "съедают" динамику музыкального сигнала.

Несколько слов о выборе керамических конденсаторов. В настоящее время широко применяются три основные группы керамических конденсаторов, различающихся по используемому диэлектрику и имеющих соответствующее международное обозначение NP0(C0G/CH); X7R(BX/B) и Z5U/Y5V. Опустим рассмотрение их доступных параметров, и обратим особое внимание на их недокументированные особенности, важнейшей из которых для нас является значительный внутренний пьезоэффект. Это явление проявляется в том, что при подаче или изменении напряжения на таком конденсаторе происходит механическая деформация его диэлектрика, тут же вызывающая на его обкладках вторичную разность потенциалов. В условиях импульсного характера приложенного напряжения, что как раз имеет место на шинах питания в цифровой технике, этот процесс не происходит мгновенно и вторичная разность потенциала может возникнуть на обкладках конденсатора уже в тот момент, когда вызвавший этот процесс импульс уже завершился. Налицо возникновение дополнительной помехи, которую сгенерировал сам конденсатор. Это явление наиболее характерно для конденсаторов с диэлектриком Z5U/Y5V и возрастает с увеличением ёмкости конденсатора. Для диэлектрика X7R(BX/B) эти неприятности проявляются в значительно меньшей степени, а для NP0(C0G/CH) становятся уже практически незаметны. Сложности только в том, что при выборе более качественного диэлектрика нам становятся недоступными большие значения ёмкостей. Использование высококачественных электролитических конденсаторов больших номиналов помогает "разгрузить" их керамических помощников, без использования которых нам просто не обойтись, и позволяет выбрать элементы с качественным диэлектриком и скромных номиналов. В аналоговых цепях использование любых видов керамических конденсаторов недопустимо.

При использовании экстремального пути развязки по питанию (отдельные вторичные обмотки или отдельные трансформаторы), можно со спокойной совестью использовать конденсаторы типа NP0 ёмкостью 1000 пФ (желательно все-таки несколько больше, примерно до 4700пФ, если сможете достать). В случае применения одного выпрямителя и отдельных стабилизаторов, придется к конденсатору NP0 1000 пФ параллельно добавить X7R 0,1 мкФ, а если Вы решили обойтись и одним общим стабилизатором, то желательно собрать комбинацию: NP0 1000 пФ/ X7R 0,047 мкФ/ X7R 0,47...1 мкФ. Корпус конденсаторов может быть как типоразмера 0805, так и 1206. Использование конденсаторов с диэлектриком Z5U/Y5V крайне нежелательно, но ради того, чтобы понять, о чем идет речь, можно поэкспериментировать и с ними.

Наличие приличного (как по ёмкости, так и по качеству) электролитического конденсатора снимает значительную часть динамической нагрузки со стабилизатора, заставляя его только обеспечивать подзаряд этого самого конденсатора и лишь иногда "вступать в игру". В этих условиях можно не использовать фильтрующий стабилизатор и подключать "цифровой" стабилизатор непосредственно к фильтру выпрямителя, но его применение всё же даст лучший результат. Для экстремально настроенных энтузиастов можно порекомендовать попытаться найти оптимум в величине используемых электролитических конденсаторов, путём уменьшения их величины, и перекладывая тем

самым часть задач на стабилизатор (который, как мы помним, имеет звуковые характеристики лучше, чем любой конденсатор, тем более электролит). Из опыта автора, при **максимально оптимизированной** элементной базе и топологии питания, земель и сигнальных проводников, эта величина находится в районе 20...50 мкФ и может при этом потребовать корректировки номинала керамического конденсатора и, в каждом конкретном случае, может отличаться непредсказуемо от этих значений. Эта работа очень трудоёмкая и имеет смысл, только если весь Ваш остальной звуковой тракт действительно заслуживает этих усилий. Повторяю, это уже не всегда оправданный экстремизм и приводится здесь исключительно для познавательных целей.

Исчерпаны ли на этом все возможности оптимальной организации питания нашего устройства? Конечно же нет. Мы рассмотрели только основные принципы эффективного подхода к этому вопросу. На "закуску", как всегда, экстремальная схема стабилизатора, предложенная L.Thorsten'ом для устройств с двухполярным питанием:

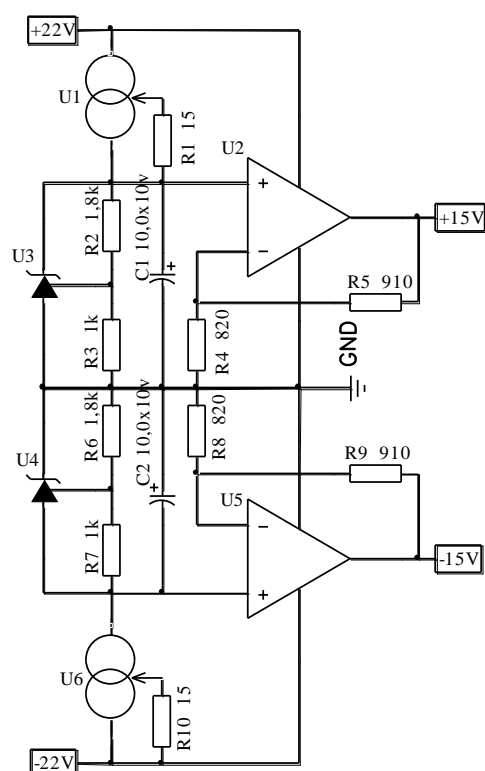


Рис.5

U1, U6 – LM334

U3, U4 – TL431, LM431

U2, U5 – LM6181, LM6182

R1, R10 – углерод ВС, УЛИ и др.; 0,125W; 15 Ом

R2, R6 - углерод ВС, УЛИ и др.; 0,125W; 1,8 кОм

R3, R7 - углерод ВС, УЛИ и др.; 0,125W; 1 кОм

R4, R8 - углерод ВС, УЛИ и др.; 0,125W; 820 Ом

R5, R9 - углерод ВС, УЛИ и др.; 0,125W; 910 Ом

C1, C2 - Black Gate FK 10 мкФ/10В

Уже знакомые нам узлы на микросхемах TL431 используются в цепях создания фиксированного смещения для непосредственно стабилизаторов U2 и U5, выполненных на сверхбыстродействующих микросхемах. Для получения максимальных стабилизационных характеристик в этих цепях используются источники тока U1 и U6 (они не находятся в цепях прохождения звукового сигнала). Заявленное выходное сопротивление стабилизатора составляет много меньше 0,1 Ом в

звуковом диапазоне. Выход может обеспечить значительные токовые показатели, сохраняя их как при отдаче тока в нагрузку, так и при необходимости его поглощения (переходные процессы при больших динамических перепадах сигнала). Входные напряжения стабилизатора также должны быть хорошо отфильтрованы и стабилизированы. Особое внимание обращается на недопустимость использования конденсаторов на выходе данного стабилизатора и необходимость минимизации паразитных емкостей монтажа. Несоблюдение данной рекомендации может привести к возбуждению стабилизатора.

Данный стабилизатор, вероятно, прекрасно смог бы работать и в цифровой части без шунтирующих конденсаторов, при условии использования отдельного стабилизатора на каждый цифровой потребитель, но реальных опытов автор не производил.

Мы достаточно подробно ознакомились с организацией "калорийного" питания для наших любимых электронных устройств, но на этом наше знакомство с удивительной микросхемой TL431 в звуковых приложениях не заканчивается. Вашему вниманию предлагается схема лампового стабилизатора, которая не только изящно выглядит, но и прекрасно работает, не оставляя шансов на победу при реальном сравнении с другими, известными автору подобными вариантами:

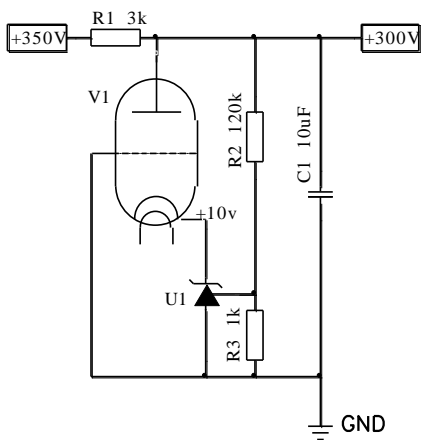


Рис.6

V1 – 6Н8С, внутренние триоды запараллелены.

U1 – TL431

R1 – углерод ВС, УЛИ и др.; 2W; 3 кОм

R2 – углерод ВС, УЛИ и др.; 2W; 120 кОм

R3 – углерод ВС, УЛИ и др.; 0,125W; 1 кОм

C1 – МБГО; 10мкФ/300В

Автор является приверженцем октальных ламп и высоких напряжений, что сказалось на выборе элементной базы и режимов работы. Управляющим элементом здесь является всё та же TL431, динамические свойства которой и будут в основном определять поведение всей схемы. Звуковая сигнатура лампы V1 здесь также будет заметна, хотя и в меньшей степени, чем в усилительных каскадах. Известные общие рекомендации о нежелательности использования одних и тех же ламп в разных каскадах в пределах одного устройства, имеют место и в этом случае, т.е. желательно применять разные типы ламп для стабилизатора и каскада усиления, к которому он подключен. Все детали, входящие в эту схему, в равной степени будут оказывать заметное влияние на звук, поэтому, после окончательной отладки всего узла вместе с питаемым им усилительным каскадом, желательно все резисторы и конденсатор заменить продукцией близкого Вашему сердцу аудиофильских брендов.

Величина резистора R1 рассчитана из следующих показателей: номинальный ток через лампу стабилизатора – 7mA; ток через резистивный делитель R2,R3 – 2,5mA; номинальный ток через подключённую нагрузку – 7mA.

При реализации этой схемы, пристальное внимание необходимо уделить выбору лампы с максимальным напряжением на аноде, допускающим её применение с заданным выходным напряжением стабилизатора. Внимательного расчета и контроля потребует величина рассеиваемой мощности на лампе и микросхеме.

В этой схеме также можно попробовать заменить резистор R1 на ламповый генератор тока, по крайней мере, пара-тройка электродов в вакууме уже смогут полноценно соперничать даже с резисторами известных марок.

При жгучей необходимости повысить выходное напряжение стабилизатора, можно "выжать" ещё вольт 30 сверх максимально допустимого напряжения на аноде, несколько модернизировав схему:

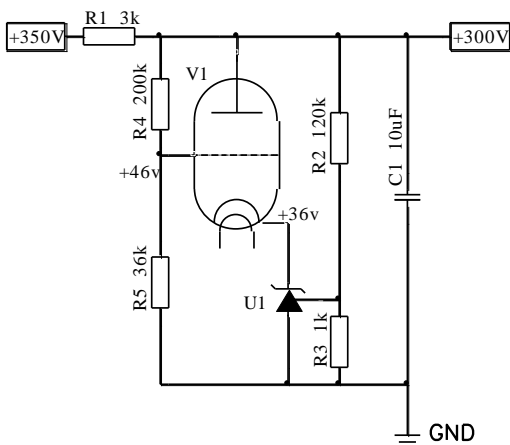


Рис.7

R4 – углерод ВС, УЛИ и др.; 1W; 200 кОм

R5 – углерод ВС, УЛИ и др.; 0,25W; 36 кОм

При этом можно получить выходное напряжение стабилизатора, равное максимально допустимому напряжению лампы между анодом и катодом (для данной лампы 330в) и плюс

максимальное рабочее напряжение на микросхеме стабилизатора (36в). Итого теоретически допустимо получить с этих элементов 36бв. Напряжение на катоде лампы (верхнем по схеме выводе стабилизатора) устанавливается делителем R4,R5, путем выбора рабочей точки лампы V1 по её анодным характеристикам.

Внимание! Крайне нежелательно эксплуатировать элементы в предельных для них рабочих режимах! Рассматриваемый выше пример получения максимальных показателей приведён исключительно в познавательных целях.

Внимание! Эксплуатация и все эксперименты со схемами параллельных стабилизаторов осуществляются только при подключенной реальной нагрузке или её эквиваленте. Включение стабилизатора без нагрузки может привести к выходу его из строя!

Номиналы элементов и указанные на схемах режимы работы справедливы только для использованной лампы 6Н8С. В остальных случаях они в обязательном порядке требуют дополнительных расчётов.

Как уже было отмечено, добавление ещё одного активного элемента удлиняет петлю обратного регулирования и ведёт к некоторому возрастанию уровня шумов, для борьбы с которыми служит конденсатор С1. Его указанная на схеме величина является ориентировочной для конденсаторов типа МБГО, а для более качественных типов может быть меньше. При использовании этой схемы стабилизатора для питания линейного каскада с амплитудами сигналов больше 1В, этот конденсатор вполне возможно будет исключить. Использование генератора тока также может устранить необходимость применения этого конденсатора.

Экстремально настроенным ламповым пуристам не стоит сходу отвергать такой необычный симбиоз кремниевых элементов с электровакуумными приборами. Это именно тот случай, когда они предельно удачно дополняют друг друга и убедиться в этом реально ничего не стоит, достаточно просто вынуть лампу V1 для дезактивации стабилизатора (при выключенном питании) и самостоятельно прочувствовать разницу. В конце концов, баллоны абсолютно всех вакуумных красавиц, включая и таких звезд, как WE300B и 2A3, всё равно сделаны практически из чистого кремния.

Оставайтесь с нами и удачи Вам во всех начинаниях!

Литература:

1. Микросхемы для бытовой радиоаппаратуры: Справочник/ И.В.Новаченко, В.М. Петухов, И.П.Блудов, А.В.Юровский.- М.:Радио и связь,1989.-384с.:ил.; страница 38.
2. Хоровиц П., Хилл У.: Искусство схемотехники: Пер. с англ.- 5-е изд., перераб.-М.:Мир 1998.-704с.,ил.: страница 357.