

Разработка малошумящих блоков питания

<http://www.cqham.ru/pow24-2.htm>

Tom Schum, <http://www.electronmajority.com>

Трёхвыводные стабилизаторы напряжения LM317/LM337 широко используются в аппаратуре. В их технических характеристиках значится, что они при работе выдают и шум с действующим значением (RMS) около 500 мкВ. Многие считают их за это малошумящими. Шумы бывают разные. Так некоторые блоки питания компьютеров имеют вентиляторы, которые называют малошумящими (подумаешь, маленький "малошумящий" "кулер"). А вот в этой статье речь пойдёт о низком уровне э л е к т р и ч е с к о г о шума в блоках питания.

Зачем же нужны малошумящие блоки питания? Измерительный усилитель на микросхеме INA103 может быть использован при коэффициенте усиления 2000 (66 дБ) и при этом имеет уровень шумов 1 нВ/√Гц (по отношению ко входу). На частоте 10 кГц этот усилитель подавляет шумы на 90 дБ. Разность 24 дБ. Десять мВ (RMS-действующего значения) фона и шумов блока питания на выходе INA103 превращаются в этой ситуации в 0,63 мВ (RMS) - 1,78 mVpp. Конечным результатом присутствия шумов является исчезновение в них "деталей" звуковой программы, например, и уменьшение динамического диапазона. Итак, если вы хотите получить качественный аудио (или любой другой аналоговый) сигнал, позаботьтесь о малошумящем блоке питания.

Самым малошумящим источником питания является гальваническая батарея (а точнее, гальванический элемент, из которых эта батарея состоит – UA9LAQ). Электричество вырабатывается в результате химической реакции, которая протекает только тогда, когда батарея нагружена (ток вытекает или втекает). В эту реакцию включено очень большое число молекул с небольшой кинетической энергией и, в результате, получается очень-очень небольшой уровень шума. Из пары элементов от фонарика может получиться неплохой малошумящий источник питания с уровнем шумов меньше одного мкВ и тут ничего не попишешь. Если энергия вытекает из батареи, то напряжение на её выводах изменяется (степень изменения зависит от её химического состава, а их может быть много). Вместе с разрядом батареи повышается её внутреннее сопротивление (импеданс) и растут шумы. Выбор напряжения питания также зависит и от того, сколько элементов Вы сможете включить в батарею последовательно (например, 10 элементов по 1,5 В дают 15 В питающего напряжения.), но при этом возрастает вероятность отказа всей батареи, если откажет один элемент.

Из заряжаемых элементов (аккумуляторов) получают неплохие, но тяжёлые и громоздкие малошумящие источники питания, их нужно во время и аккуратно заряжать, а расстройство, что они могут отказаться в самый критический момент не покинет Вас никогда.

Следующим шагом может послужить, время от времени, подкачка энергией от внешнего источника питания тем же аккумуляторам, чтобы они дольше не разряжались (однако, такой режим работы аккумуляторов

приводит к уменьшению их ёмкости, другое дело: работа сетевого источника питания с постоянно подключенным "в буфере" аккумулятором - UA9LAQ). Этот внешний источник питания вносит свою порцию шумов в довесок к шумам Вашего источника питания, но батарея, путём своего малого импеданса стабилизирует напряжение (и несколько "нейтрализует" вносимые шумы – UA9LAQ). Тщательно выполненный, с малошумящим источником тока, такой источник питания с уровнем шумов и фона менее 10 мкВ может быть вполне отличным со сроком службы батарей примерно равным сроку их хранения (3...5 лет). Но...проблематично создать малошумящий источник тока.

Если бы было возможно значительно снизить уровень шумов источника тока, то батарею можно было бы заменить резистором. А это бы сэкономило кучу денег, потраченных на батареи. Но у резистора, как правило больше сопротивление, чем импеданс у батареи на её выводах, а, значит, и больше шум.

Чтобы обойти проблему выходного (внутреннего) импеданса, нужно сделать эмуляцию батареи (заменить её) устройством, которое бы вносило эквивалентный батарее импеданс, подключенный к источнику тока. Самым простым и наиболее часто употребляемым на практике примером этого устройства является знакомый нам стабилитрон. Типичный средний стабилитрон в этом режиме даёт выходной импеданс примерно в десять раз больший, чем (также средняя) батарея, да ещё и вносит свои специфические шумы (эффект Зенера и др., в процессе задействовано намного меньше молекул, чем в батарее (каждый носитель имеет поэтому большую кинетическую энергию и создаёт большой шум - UA9LAQ)). Но стабилитрон - всё-таки, выход из положения. Опорный элемент LT1236 фирмы Linear Technology даёт 5.000 или 10.000 В с уровнем шума всего около 3 мкВ. С помощью этого опорного элемента можно получать до 15 мА тока, если Вам необходимо получить ток, скажем, 10 мА при одном из выше обозначенных напряжений, то проблема уже решена. Для других напряжений и больших токов Вам уже необходим малошумящий усилитель мощности.

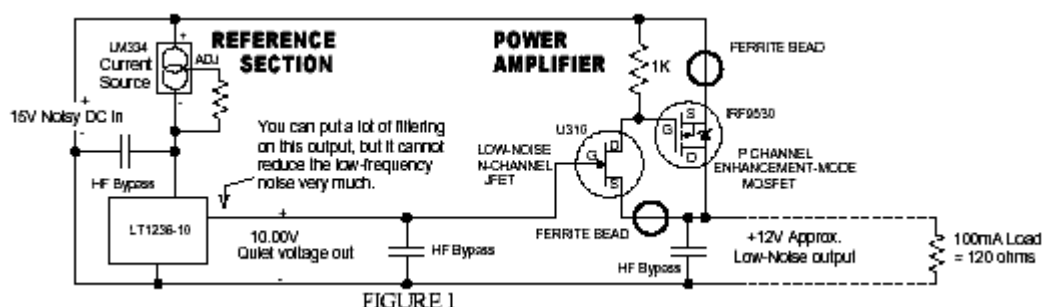


Рис.1.

На Рис. 1 в базовой схеме опорный элемент LT1236 питается через источник тока LM334, а усилитель управляется током нагрузки опорного элемента. LM334 по паспорту необходим (по крайней мере) 1 В между выводами "+" и "-", а ток через источник задаётся величиной сопротивления резистора, подключаемого к выводу ADJ. Источник тока фактически здесь не нужен, источник тока не совсем "тихий" (шумит),

однако, шум подавляется LT1236. На выходе LT1236 имеется широкополосный шум порядка 3 мкВ. Усилитель мощности способен отдавать ток в нагрузку, но не может его снижать, так как предполагается, что нагрузка, в любом случае, маломощная (речь, видимо, об отсутствии защиты от КЗ и перегрузок по току - UA9LAQ). В некоторых источниках питания такое снижение (ограничение) тока предпочтительно. Малошумящий полевой транзистор U310 выполняет роль управляемого напряжением источника тока и требует, чтобы напряжение на его истоке было на 2 В больше (положительнее), чем на затворе. Если напряжение на истоке увеличится, то ток через U310 уменьшится и наоборот. Этот ток проходит через резистор в 1 ком и "превращается" в напряжение на затворе Р-канального полевого транзистора IRF9530. Этому транзистору необходимо, чтобы на его затворе напряжение было на 2-3 В более отрицательно, чем на истоке, чтобы начать проводить ток, а это означает, что U310 должен пропускать через резистор своей нагрузки в цепи стока (1 ком) ток в 3 мА. IRF9530 является источником тока для выхода. Импеданс источника тока высок (?), так что шумы и фон входящего постоянного тока уменьшаются. Обратная связь ещё больше их уменьшает.

IRF9530, как и другие полевые транзисторы этого типа состоят из тысяч параллельных МОП ячеек, соединённых в параллель. Шум каждой ячейки высок, а усиление - мало, при параллельном соединении тысяч ячеек общий шум снижается, а усиление растёт. У полевого транзистора U310 уровень шума, возможно, ниже (4...5 нВ/√Гц). Данные по шумовым параметрам мощных МОП транзисторов трудно найти, так как, они, в основном, применяются в импульсных режимах. Я же на Рис. 1 привожу МОП ПТ, работающий в линейном режиме.

У каскада усилителя мощности в действительности два входа: выход опорного элемента, соединённый с затвором ПТ U310 и выход БП, соединённый с истоком этого же транзистора. Вход с источника опорного напряжения "тихий" (малошумящий) и U310 усиливает его сигнал в схеме с общим истоком. Выход БП относительно "шумный" и сигнал с него усиливается U310 в схеме с общим затвором. U310, в силу своей высокоомности, практически не нагружает источник опорного напряжения и является относительно низкоомной нагрузкой для выхода БП. Это обстоятельство как нельзя лучше подходит для нашего случая: источник опорного напряжения работает лучше, если он слабо нагружен и выходной импеданс - низкий при минимальной нагрузке выхода (примерно 5 мА или чуть больше, это, примерно, тот ток, при котором следует правильно эксплуатировать U310 в этой схеме). Любое изменение напряжения на любом из вышеупомянутых двух входов отразится на напряжении затвор-исток U310 и сменит ток его стока. Изменившийся ток стока, в свою очередь, изменит напряжение, прилагаемое к затвору МОП ПТ. Шум на выходе БП со входа стабилизатора и шум обоих ПТ подводятся, благодаря ПТ, в противофазе и эта обратная связь помогает подавлять шум на выходе БП.

Наибольшее усиление в комбинированном усилителе мощности приходится на МОП ПТ: 3,7S. Другими словами: изменение напряжения затвор-исток на 1 В даёт изменение тока стока на 3,7 А. У U310

усиление составляет 10 mS ($0,01 \text{ S}$), что означает, при изменении напряжения затвор – исток на 1 В , ток стока ПТ изменяется на 10 мА . Резистор, включенный в цепь затвора МОП ПТ позволяет получать изменение смещения на нём в 1 В на каждый миллиампер изменения тока стока U_{310} . Итак, если мы примем ток нагрузки равным 100 мА , то сможем наблюдать ослабление шума, проследив за движением выходного шума напряжением в 1 мВ через петлю обратной связи. Ток нагрузки 100 мА протекает от источника напряжения $+ 12 \text{ В}$ через нагрузку эквивалентную 120 Ом . 1 мВ шума эквивалентен всплескам тока $8,3 \text{ мкА}$. Этот ток протекает через МОП ПТ вместе с током нагрузки.

Предположим, что импульсы шума положительны по знаку. Этот шум увеличивает напряжение затвор-исток U_{310} на 1 мВ , ток стока этого транзистора падает, при этом на 10 мкА . Это изменение тока, протекая через резистор 1 ком , включенный в цепь стока этого ПТ, даст уменьшение падения напряжения на нём на 10 мВ , которое является также уменьшением напряжения затвор-исток МОП ПТ и приведёт к уменьшению тока стока МОП ПТ на 37 мкА . Анализ показывает, что в цепи обратной связи существует усиление $-4,45$ (13 дБ), которое позволяет уменьшать любой шум на выходе БП. Не всякий шум уничтожается, но общий уровень шумов уменьшается, по крайней мере, на 13 дБ . Напряжение затвор-исток и усиление ПТ зависят от изменения температуры и от тока нагрузки. Например, проводимость МОП ПТ в $3,7 \text{ S}$ измерена при токе стока $7,2 \text{ А}$, длительности импульсов 300 мксек , при 2% рабочем цикле при напряжении на транзисторе 50 В . При меньших токах проводимость уменьшается и при токе нагрузки в 100 мА может быть меньше 1 S . Тем не менее, этого достаточно, чтобы в цепи обратной связи оставалось некоторое усиление и устройство могло подавлять шум. Для большего усиления в петле обратной связи можно найти ПТ и с 30 S , если хорошо поискать. U_{310} выступает здесь больше в роли элемента сравнения, чем просто усилителя, сравнивающего выходное напряжение с опорным и изменяющее смещение МОП ПТ, уравнивая, таким образом, оба (разница, из-за смещения ПТ, может достигать, однако, двух вольт). N–p–n транзисторы также будут хорошо работать в этой схеме, при этом выходное напряжение БП будет $9,4 \text{ В}$ (ниже опорного, так как необходимо напряжение для открытия перехода база – эмиттер биполярного транзистора). При этом выходном напряжении работа усилителя мощности будет как и прежде (с МОП ПТ), но ослабление шумов возрастет из-за большего усиления биполярного транзистора в схеме с общей базой, нежели усиление ПТ в схеме с общим затвором.

Выходное напряжение - главная причина, по которой здесь применяется МОП ПТ. ПТ с переходом (U_{310}) обеспечивает выходное напряжение БП на 2 В выше опорного и на 3 В ниже входного нестабилизированного напряжения. В этом случае, МОП ПТ работает, как положено, только, если нет падения напряжения сток-исток U_{310} , которое наступает при токе стока этого ПТ 3 мА (и менее). Так что получаются небольшие границы изменения тока стока этого ПТ в меньшую сторону. Версия МОП ПТ с меньшим напряжением смещения позволит эту границу отодвинуть. Либо - это, либо накиньте ещё для верности 1 В напряжения, про запас. N-p-n биполярный транзистор не влияет на необходимый запас в

минимального тока через стабилитроны в 2, 5 мА может оказаться маловато).

Источник эталонного напряжения LT1236-5 выдаёт напряжение 5 В с малым содержанием шумов, которое через ФНЧ, состоящий из двух RC-секций (10 ком и 1 мкФ), поступает на затвор сдвоенного МОП транзистора. На другой затвор сдвоенного МОП транзистора (дифференциальной пары) поступает напряжение с резистивного делителя, подключенного к выходу БП. Эта схема позволяет повысить подавление шумов на выходе стабилизатора.

Соотношение сопротивлений R_x и любого R_y 1 : 2. Если падение напряжения на R_x равно 3,5 В, то и на каждом резисторе R_y падение должно составлять ту же величину. Напряжение затвор-исток у транзисторов дифференциальной пары имеет величину порядка логических уровней, так что они должны начинать проводить с напряжения затвор-исток порядка 1,5 В. Р-канальный МОП ПТ имеет стандартные параметры и начинает открываться при напряжении затвор-исток порядка 3,5 В. Цифры, конечно же не точные (примерные) и значения сопротивлений R_x и R_y подбираются при настройке готового устройства. Точное значение R_y определяется удалением R_y с правой стороны и заменой R_x на R_y и подбором сопротивления R_y , чтобы привести Р-канальный МОП ПТ в проводящее состояние с ожидаемым током нагрузки (например, от 100 мА до 5 А, сами выберете). Затем, R_x устанавливают точно половинной величины, а R_y справа переключают: этим устраняется эффект Миллера (повышает усиление) в дифференциальном усилителе.

Эта схема очень легко превращается в стабилизатор в минусовой цепи питания. Чтобы осуществить такое превращение, замените Р-канальный МОП ПТ IRF9530 на N-канальный IRF530, а IRF7103 - сдвоенный N-канальный – на сдвоенный Р-канальный IRF7342. Питание (смещение) LT1236-5 также сменится, чтобы его можно было использовать как эталонный источник отрицательного напряжения. Здесь уместно напомнить время от времени обращаться к паспортным данным на применяемые изделия электронной промышленности.

Стабилизатор с регулирующим элементом в цепи отрицательного напряжения показан на Рис. 3.

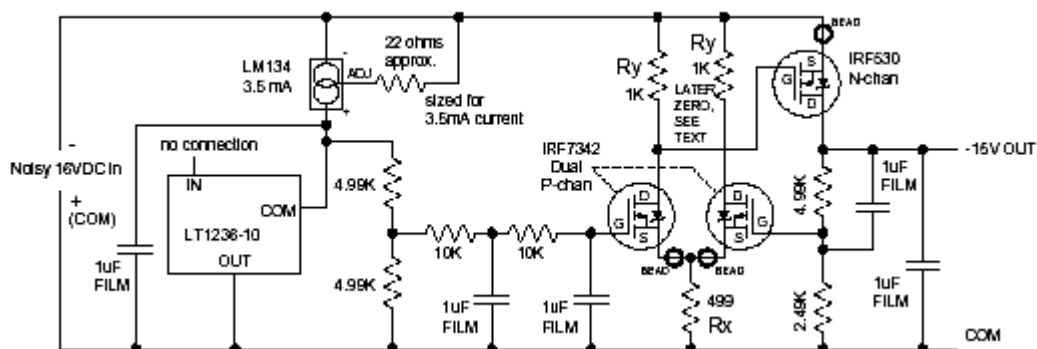


Рис. 3.

Источник эталонного напряжения работает здесь в качестве параметрического параллельного стабилизатора напряжения. В этом режиме LT1236-5 работать не может и заменён на LT1236-10, с его выхода через делитель опорное напряжение -5 В подаётся дальше.

Вот эта и была моей первой конструкцией. Я, возможно, добавлю к статье результаты её работы, если что-либо интересное выяснится.

Что же самые малолушмящие, выходит, МОП транзисторы и только их нужно применять в малолушмящих стабилизаторах блоков питания? На Рис. 4 схема для исследования.

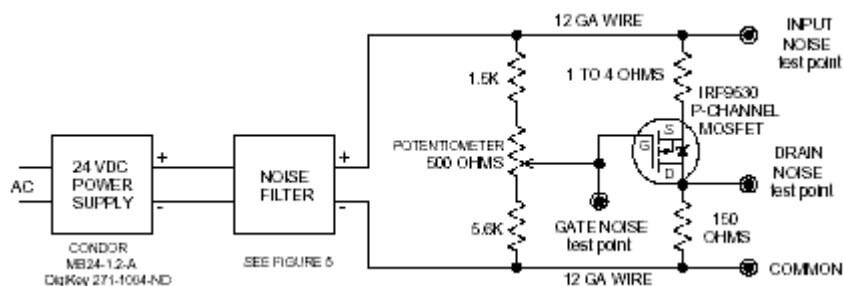


Рис. 4.

IRF9530 и резистор 150 Ом рассеивают достаточно большую мощность, так что считайте, что н е о б х о д и м о размещать их на подходящих радиаторах. Перед началом измерений установите потенциометр так, чтобы через резистор 150 Ом протекал ток в 100 мА (на нём 15 В). Дождитесь пока МОП ПТ достигнет температурного равновесия (рассеиваемая мощность на нём, при этом, составит примерно 0,9 Вт). После прогрева, так отрегулируйте потенциометр, чтобы ток ("убежавшее" при прогреве значение) через резистор 150 Ом снова составил 100 мА. Резистор постоянно рассеивает мощность 1,5 Вт. Начните с резистора в цепи истока в 1 Ом, если будет идти сильный дрейф, смените его на большее значение. Как только схема стабилизируется, не нужно будет подстраивать потенциометр, значит, пришло время измерять шум.

Чтобы измерить шум в схеме, сначала закоротите щупы прибора между собой и отметьте или компенсируйте собственные шумы, затем, закороченные щупы установите на общую точку источника питания (COMMON Рис. 4). Между двумя положениями щупов разницы в показаниях прибора быть не должно. Затем измерьте входной шум (INPUT NOISE), который должен быть очень низким. После этого измерьте шум на затворе, при этом, дайте успокоиться стрелке прибора (показаниям), поскольку касание щупами затвора вызывает скачок тока и необходимо, чтобы "система успокоилась". Это возмущение повлияет и на температурную стабильность, но вскоре всё снова уравновесится.

Убедитесь, что ток через резистор в 150 Ом всё ещё остаётся равным 100 мА и, после, измерьте шум на стоке транзистора. Разница между шумами на затворе и стоке есть то, ради чего был затеян измерительный стенд. Пользуйтесь средне-квадратичными значениями (RMS) (действующими) напряжений шумов, так как форма и время действия их импульсов неизвестны, непредсказуемы. Это означает, что нужно взять

большее значение напряжения, возвести в квадрат, затем, взять меньшее значение и сделать то же, после из большего вычесть меньшее и извлечь корень квадратный из разности - это и будет RMS значение шума вносимого МОП ПТ. Шум затвора - меньшее значение, шум стока - большее. Шум на затворе примерно равен таковому на входе, но может быть и немного выше, в силу процессов, происходящих в ПТ.

IRF530 может также быть проверен в схеме Рис. 4, если сменить полярность питающего напряжения. Обратите внимание, что в испытательной схеме МОП ПТ включены как источники тока. Тем же образом они и используются на Рис. 2 и 3.

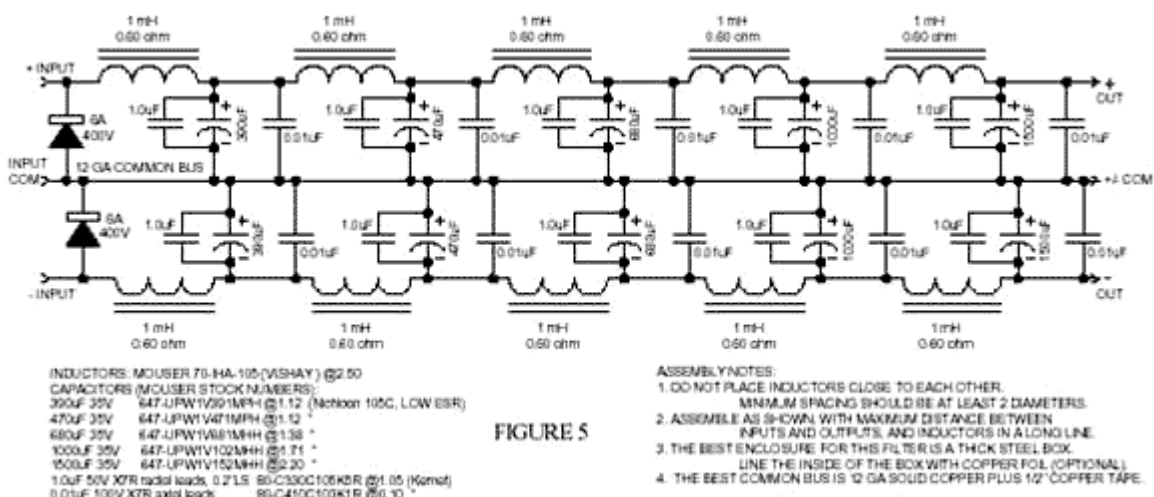


Рис. 5.

На Рис. 5 показан довольно эффективный фильтр шумов для двухполярного источника питания, выполненный на базе двух источников питания для медицинской техники (один указан на Рис. 4). Медицинские приборы, как правило, имеют очень небольшие утечки в питающую сеть. Значения оксидных конденсаторов сменены, чтобы избежать низкочастотных резонансных явлений в фильтрах. Выходной шум этого фильтра следует измерять нагрузив каждую его ветвь сопротивлением 240 Ом с выхода на корпус. Резистор нагрузки симулирует действие измерительной схемы с Рис. 4.

Примечания к Рис. 5:

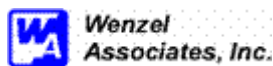
- 1 Не располагайте катушки индуктивности близко друг к другу, минимум два диаметра катушек.
- 2 Собирайте фильтр в вытянутой глухой металлической (стальной) коробке, располагая катушки в линию и максимально разнося вход и выход фильтра.
- 3 Лучшим корпусом для фильтра является глухая толстостенная стальная коробка с медным фольговым внутренним общим проводником для монтажа.
- 4 Лучшим общим проводом являются толстая медная шина и медная лента полдюймовой ширины.

Свободный перевод с английского: Виктор Беседин (UA9LAQ)
ua9laq@mail.ru

Покончим с шумом в стабилизаторах напряжения!

http://www.cqham.ru/pow32_2.htm

Автор статьи Charles Wenzel,



Разработчики малошумящих усилителей, генераторов, другой высокочувствительной аппаратуры порой сталкиваются с трудно разрешимой проблемой вносимых со стороны источника питания шумов, фона, помех. К сожалению, многие стабилизаторы имеют в составе выходных напряжений значительные уровни собственных шумов, "пички" - результат работы ключевых схем и высокие уровни фликкер-шумов от неразвязанных источников опорных напряжений. Типичные трёхвыводные интегральные стабилизаторы имеют на выходе уровень белого шума в несколько нановольт на корень квадратный из Гц, это ещё не самый худший уровень - белый шум некоторых источников опорного напряжения достигает величины в 1 мкВ на корень из Гц. Преобразователи типа "постоянный ток - постоянный ток" ("постоянное напряжение - постоянное напряжение") и импульсные стабилизаторы напряжения могут иметь на выходе продукты своей "деятельности", уровень которых заходит далеко в диапазон милливольт, а спектр широкополосен. В некоторых системах применяются компоненты, которые "загрязняют", в общем-то чистый (при условии отсутствия этих компонентов) источник питающего напряжения.

Традиционный подход в деле уменьшения таких шумов можно назвать "методом грубой силы". Между "шумящим" стабилизатором и нагрузкой включаются значительные по величине индуктивности катушки с конденсаторами ("сглаживающие фильтры" - ограничение полосы частот шума - $UA9LAQ$), порой последовательно включаются дополнительные "сглаживающие" стабилизаторы. В большинстве случаев "чистящие" устройства блоков питания имеют дело с полным током нагрузки. Устройство, описываемое здесь имеет ту "изюминку", что не использует полного тока нагрузки в "деле улучшения" качественных показателей БП.

Чтобы понять принцип "очистки", следует иметь в виду, что, всё-таки, уровень шумов стабилизатора на несколько порядков ниже уровня его выходного напряжения, даже, если рассматривать таковое в широком диапазоне частот. Например, десятивольтовый стабилизатор напряжения может иметь 10 мкВ шума в полосе 10 кГц - уровень шумов на шесть порядков ниже уровня выходного напряжения стабилизатора. Значит, и шумовой ток, протекающий через резистивную нагрузку будет на шесть порядков меньше постоянного тока. Введём резистор с незначительным сопротивлением в цепь питания нагрузки (последовательно) и допустим, что устройство, каким-либо образом, подавляет шум на нагрузке до нуля. Тогда получаем зависимость для шумового тока: V_n / R , где V_n - напряжение шумов,

R - сопротивление введённого в цепь питания нагрузки резистора. Если примем сопротивление этого резистора равным 1 Ом, то, в нашем примере: $10 \text{ мкВ} / 1 \text{ Ом} = 10 \text{ мкА}$ - это очень маленький ток! Если бы токоограничительное устройство разработать так, чтобы шумовой ток был замкнут на общий провод, тогда бы и в нагрузке этого шумового тока не было. Усилением шума с помощью инвертирующей проводимости усилителя с определённым коэффициентом усиления, можно снизить шумовой ток. Необходимая величина проводимости вычисляется просто - $1/R$, где R - сопротивление последовательно включенного в цепь нагрузки низкоомного резистора.

Рассмотрим слаботочную версию устройства (Рис. 1), которую можно применить для "чистки" маломощных БП. Последовательно в цепь нагрузки здесь включен 15-омный резистор, падение напряжения на нём составляет 150 мВ при токе нагрузки равном 10 мА - обычном для малошумящего предусилителя или задающего генератора. В цепи эмиттера однотранзисторного усилителя имеется резистор, который в союзе с сопротивлением переходов транзистора даёт примерно 15 Ом (между коллектором и корпусом). Напряжение шумов стабилизатора выделится на резисторе (последовательно с нагрузкой) и будет замкнуто на корпус с коллектора транзистора. Снижение уровня шумов может достигать 20 дБ без подбора сопротивления резистора. Собственный вносимый транзистором 2N4401 шум незначителен и составляет примерно 1 нановольт на корень из Гц. Подбором сопротивления резистора в эмиттерной цепи транзистора подавление шумов можно увеличить до, более, чем 40 дБ.

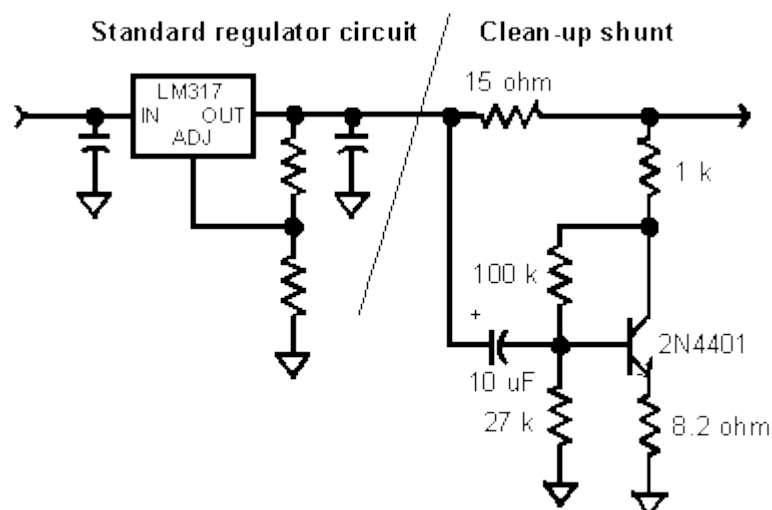


Figure 1: Clean-up circuit for low current loads.

Рис. 1. "Чистящая схема" для маломощных нагрузок. Схема принципиальная электрическая.

В сильноточных (в смысле тока) БП с низкоомными нагрузками сопротивление дополнительного последовательного "инструментального" резистора необходимо снижать (из-за большого падения напряжения и рассеиваемой на нём мощности - *UA9LAQ*). Это потребует дополнительного усиления в схеме устройства "очистки". Одним способом осуществления этого является применение составного транзистора, как показано на Рис. 2. Действующее сопротивление открытых переходов транзистора составляет примерно 0,25 Ом, что в союзе с эмиттерным резистором 0,75 Ом даст искомое сопротивление 1 Ом (при "инструментальном" резисторе сопротивлением 1 Ом). Оконечный транзистор открыт немного больше, чем это нужно и с включенным в цепь коллектора резистором может "управляться с выбросами" напряжения обеих полярностей величиной до 10 мВ. Составной транзистор (схема Дарлингтона) MPSD54 может быть заменён транзистором 2N4403, но действующее сопротивление переходов тогда немного превысит 1 Ом.

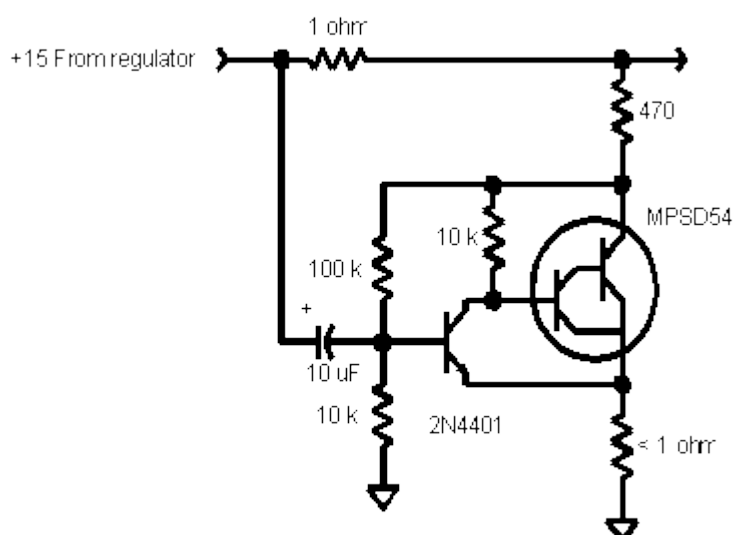


Figure 2: Compound transistor version for higher current loads.

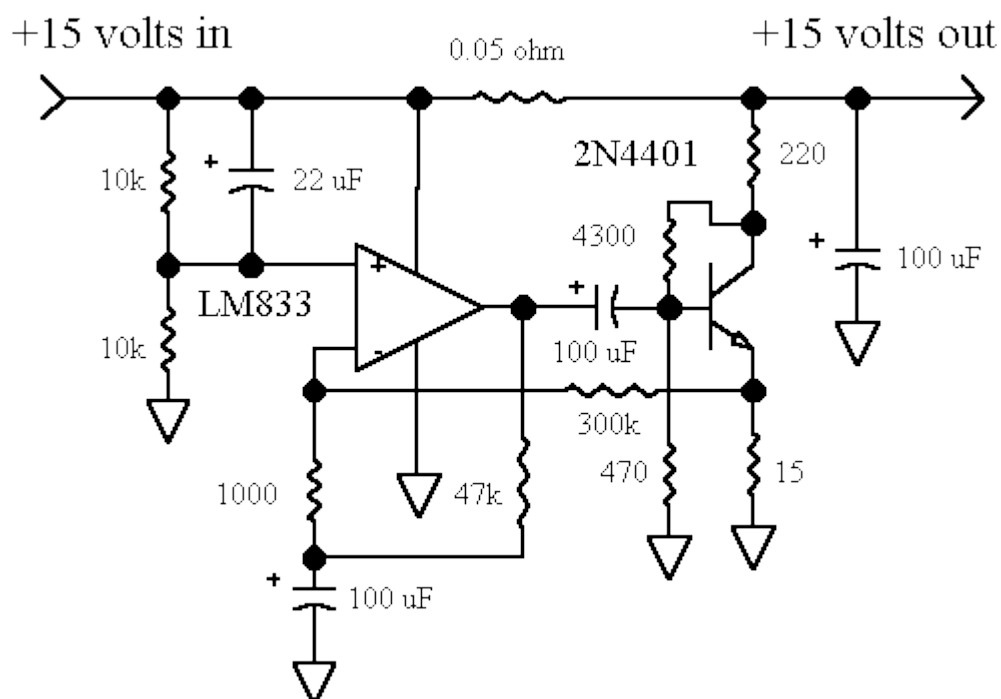
Рис. 2. Версия ШП на составном транзисторе.

Простота однотранзисторных схем притягивает, но, всё-таки, как же такие схемы будут работать при больших токах нагрузки? Одним ограничивающим фактором является конечное сопротивление переходов транзисторов, которое ограничивает

усиление одного каскада. Используйте транзисторы, рассчитанные на большие коллекторные токи. Мощные силовые транзисторы – хороший выбор для применения в устройстве, даже если рассеиваемая на них мощность будет незначительной. Резистор в эмиттерной цепи транзистора (Рис. 1) упраздняется, а сопротивление резистора смещения уменьшается до 5 или 10 кОм. Коллекторный резистор выбирается из расчёта получения необходимого усиления: если сопротивление этого резистора уменьшается, эмиттерное сопротивление транзистора снижается примерно на $0.025 / I_c$, где I_c – ток коллектора, без учёта внутреннего сопротивления транзистора. Транзистор 2N5192 с резистором 270 Ом в цепи коллектора и 4,7 кОм - резистором смещения будет хорошо работать с резистором – датчиком (последовательным в цепи нагрузки – UA9LAQ) сопротивлением 1 Ом и потреблять при этом ток 40 мА. Усиление транзистора зависит от температуры, но хорошее снижение уровня шумов может быть достигнуто в широком температурном диапазоне.

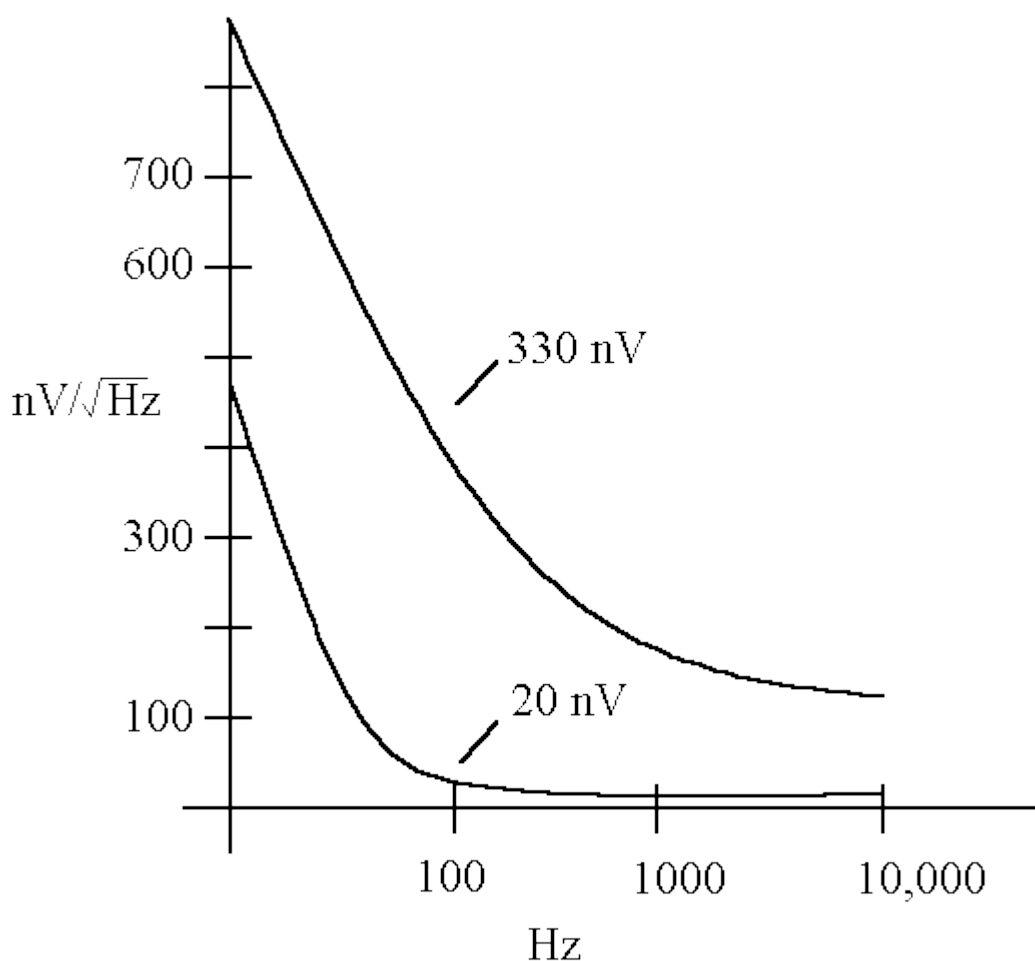
Экспериментаторы попытаются “затащить” в схему устройства параллельный стабилизатор TL431 для использования его вместо одиночного транзистора. Затея не плохая. Фликкер-шум, при этом, правда будет немного великоват, но уровень подавления “пиков” от импульсных стабилизаторов будет очень высоким. Высокое усиление TL431 позволяет применять очень малые сопротивления последовательных образцовых в цепи нагрузки резисторов. Другой интересной микросхемой является CA3094, имеющей встроенный составной транзистор, способный работать с токами до 100 мА, а шум операционного усилителя составляет 18 нВ при полосе 10 Гц.

Приведённые два примера являются типичными для множества выпускаемых компонентов, имеющих аналогичную схемотехнику. Трёхтранзисторная версия устройства была разработана под сопротивление резистора - датчика 0,05 Ом и пару версий на ОУ были разработаны с использованием LM833. Хотя все эти версии работали хорошо, сложность устройств уже начинала досаждать. Одно утешение, что не нужно иметь сильноточных проходных элементов (малое сопротивление резистора датчика - малая выделяемая на нём мощность- UA9LAQ). Так что и габариты устройства получаются небольшими.



Следующее устройство разработано с целью использования в источниках питания с выходным напряжением 15 В - обычным в парке БП. Шунтовое (параллельное) устройство подавляет имеющийся белый шум, помехи и линейные (в смысле сети питания) сигналы, проникающие в БП, причём, при тщательном изготовлении, подавление вышеперечисленного может достигать 40 дБ (это в 100 раз по напряжению

– UA9LAQ). Номиналы деталей не слишком критичны, кроме, пожалуй, коэффициента усиления усилителя, который должен быть равен отношению сопротивления эмиттерного резистора транзистора к сопротивлению последовательного резистора. В нашем примере усиление составляет: $15 / 0,05 = 300$. В действительности, усиление составляет 301 при тех номиналах, что указаны на схемах, так что применение резистора сопротивлением 299 кОм было бы желательно (если уж быть строгим), но сопротивление в 0,05 Ом, в этом случае, подобрать точно, ещё труднее. Один из определяющих усиление резисторов можно сделать подстроечным и производить настройку по максимуму подавления шумов на выходе БП. Выберите для устройства надёжный малошумящий потенциометр металло-плёночного или проволочного типа, чтобы получить впечатляющие результаты. Стандартные значения постоянных резисторов позволяют получить достаточные для большинства применений результаты шумоподавления. Отлично работает в приведённой схеме микросхема LM833, но и другие малошумящие ОУ будут работать здесь хорошо. Выбирайте ОУ с широкой полосой пропускания с малым входным (в оригинале стоит, именно, "входным" – UA9LAQ) напряжением шумов. Если есть возможность варьировать напряжение питания нагрузки, то можно применить большее сопротивление последовательного резистора, при этом, усиление усилителя подстройте, как указано выше. LM833 – двоянный ОУ, поэтому, с применением одного корпуса, можно построить два шумоподавителя, применив их в разных стабилизаторах одного БП или включив последовательно для лучшего подавления шумов и помех в линии у одного стабилизатора. Шумопонижающий шунт не забирает мощность у нагрузки, потери в цепи нагрузки определяются лишь последовательно включенным сопротивлением резистора в цепи её питания.



Следующий график показывает работу шумоподавителя в схеме трёхвыводного стабилизатора (интегрального). Уровень шума стабилизатора составлял 330 нВ на

корень из Гц на частоте 100 Гц, при помощи приводимого шумоподавителя, эта цифра уменьшилась до 20 нВ. Это подавление шумов на 24 дБ было достигнуто без специального подбора компонентов и уделения повышенного внимания их монтажу. Одно замечание следует сделать относительно общего провода: следует применять широкие шины и большие поверхности. Подавление, осуществляемое шумоподавителем реально выше, чем указано на графике. Работа схемы на низких частотах определяется размерами связующих (переходных) конденсаторов, а уровень шумоподавления - усилением LM833 и шумами резисторов.