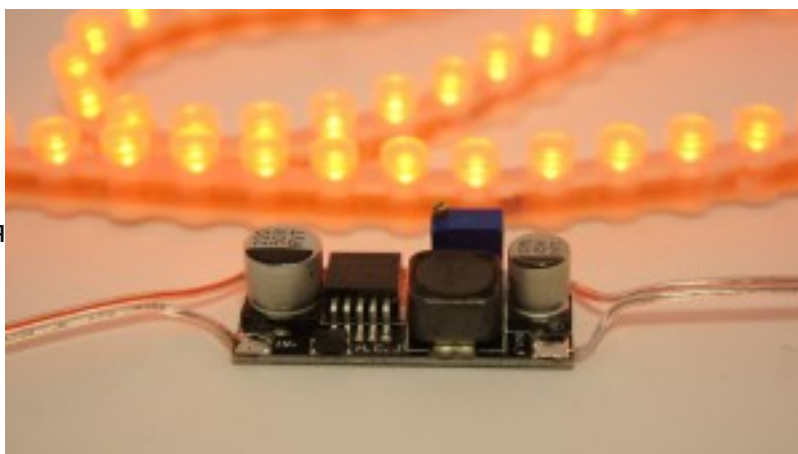


DC–DC преобразователь LM2596

May 20, 2014 • catethysis

LM2596 понижает входное (до 40 В) напряжение — выходное регулируется, ток 3 А. Идеален для светодиодов в машине. Очень дешёвые модули — около 40 рублей в Китае.



Компания

Texas Instruments

выпускает качественные, надежные, доступные и дешёвые, удобные в применении DC-DC контроллеры [LM2596](#). Китайские заводы выпускают на её основе сверхдешёвые импульсные понижающие (stepdown) конвертеры: цена модуля на LM2596 примерно [35 рублей](#) (вместе с доставкой). Я советую [купить](#) сразу партию в 10 штук — для них всегда найдётся применение, при этом цена опустится до [32 рублей](#), и меньше 30 рублей при заказе 50 штук. Подробнее о [расчёте обвязки](#) микросхемы, регулировке [тока и напряжения](#), его [применении](#) и о некоторых [минусах конвертера](#).

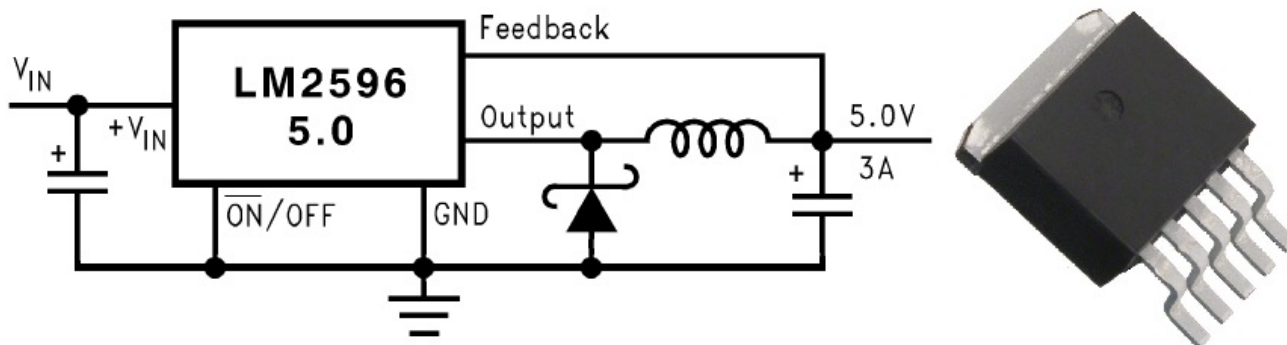
Типичный метод использования — стабилизированный источник напряжения. На основе этого стабилизатора легко сделать импульсный блок питания, я применяю её как простой и надёжный лабораторный блок питания, выдерживающий короткое замыкание. Они привлекательны постоянством качества (похоже, все они делаются на одном заводе — да и сложно сделать ошибки в пяти деталях), и полным соответствием [даташиту](#) и заявленным характеристикам.

Другая область применения — импульсный стабилизатор тока для [питания мощных светодиодов](#). Модуль на этой микросхеме позволит вам подключить автомобильную светодиодную матрицу на 10 Ватт, дополнительно обеспечив защиту от КЗ.

Крайне рекомендую купить их десяток штук — обязательно пригодятся. Они по-своему уникальны — входное напряжение вплоть до 40 вольт, и требуется лишь 5 внешних компонентов. Это удобно — можно поднять напряжение на шине [электропитания](#)

[умного дома](#) до 36 вольт, уменьшив сечение кабелей. В точках потребления ставим такой модуль и настраиваем его на нужные 12, 9, 5 вольт или сколько понадобится.

Рассмотрим их подробнее.



Характеристики микросхемы:

- Входное напряжение — от 2.4 до 40 вольт (до 60 вольт в версии HV)
- Выходное [напряжение](#) — фиксированное либо регулируемое (от 1.2 до 37 вольт)
- Выходной [ток](#) — до 3 ампер (при хорошем охлаждении — до 4.5A)
- Частота преобразования — 150кГц
- Корпус — TO220-5 (монтаж в отверстия) либо D2PAK-5 (поверхностный монтаж)
- КПД — 70-75% на низких напряжениях, до 95% на высоких

Содержание:

1. [Источник стабилизированного напряжения](#)
2. [Схема преобразователя](#)
3. [Даташит](#)
4. [USB-зарядник на основе LM2596](#)
5. [Стабилизатор тока](#)
6. [Применение в самодельных устройствах](#)
7. [Регулировка выходного тока и напряжения](#)
8. [Улучшенные аналоги LM2596](#)

История — линейные стабилизаторы

Для начала, объясню чем плохи стандартные линейные преобразователи напряжения вроде [LM78XX](#) (например 7805) или LM317. Вот его упрощённая схема.

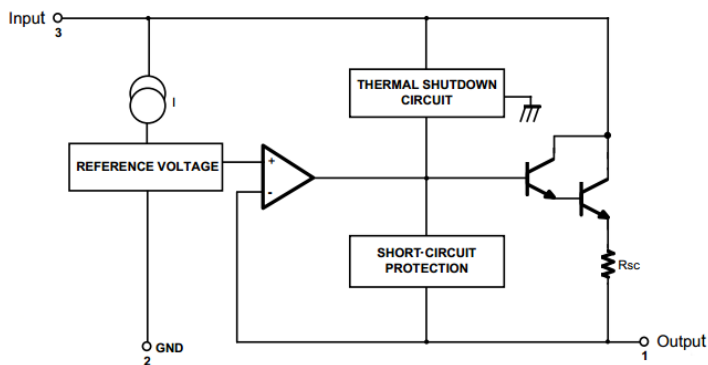


Figure 1. Block Diagram

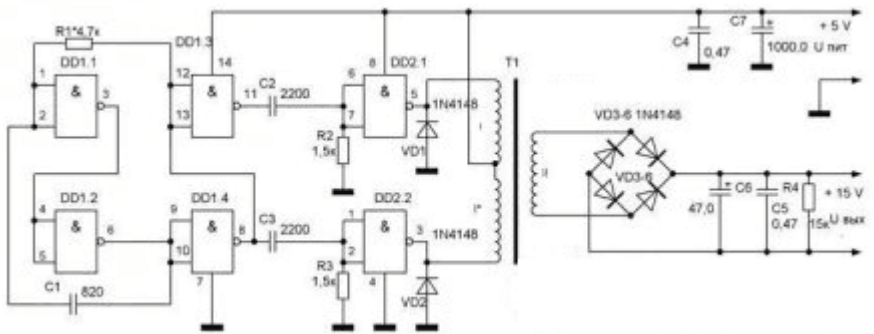
Главный элемент такого преобразователя — мощный биполярный транзистор, включенный в своём «исконном» значении — как управляемый резистор. Этот транзистор входит в состав [пары Дарлингтона](#) (для увеличения коэффициента передачи по току и снижения мощности, необходимой на работу схемы). Базовый ток задаётся операционным усилителем, который усиливает разность между выходным напряжением и заданным с помощью ИОН (источник опорного напряжения), т.е. он включен по классической схеме усилителя ошибки.

Таким образом, преобразователь просто включает резистор последовательно с нагрузкой, и управляет его сопротивлением чтобы на нагрузке гасилось, к примеру, ровно 5 вольт. Нетрудно посчитать что при понижении напряжения с 12 вольт до 5 (очень частый случай применения микросхемы 7805) входные 12 вольт распределяются между стабилизатором и нагрузкой в отношении «7 вольт на стабилизаторе + 5 вольт на нагрузке». На токе в полампера на нагрузке выделяется 2.5 ватта, а на 7805 — целых 3.5 ватта.

Получается что «лишние» 7 вольт просто гасятся на стабилизаторе, превращаясь в тепло. Во-первых, из-за этого возникают проблемы с охлаждением, а во-вторых на это уходит много энергии из источника питания. При питании от розетки это не очень страшно (хотя всё равно наносится вред экологии), а при батарейном или аккумуляторном питании об этом нельзя не помнить.

Другая проблема — таким методом вообще невозможно сделать повышающий преобразователь. Часто такая потребность возникает, и попытки решить этот вопрос двадцать-тридцать лет назад поражают — насколько сложен был синтез и расчёт таких схем. Одна из простейших схем такого рода — двухтактный преобразователь 5В->15В.

Нужно признать, что он обеспечивает гальваническую развязку, однако он неэффективно использует трансформатор — каждый момент времени задействована лишь половина первичной обмотки.



Забудем это как страшный сон и перейдём к современной схемотехнике.

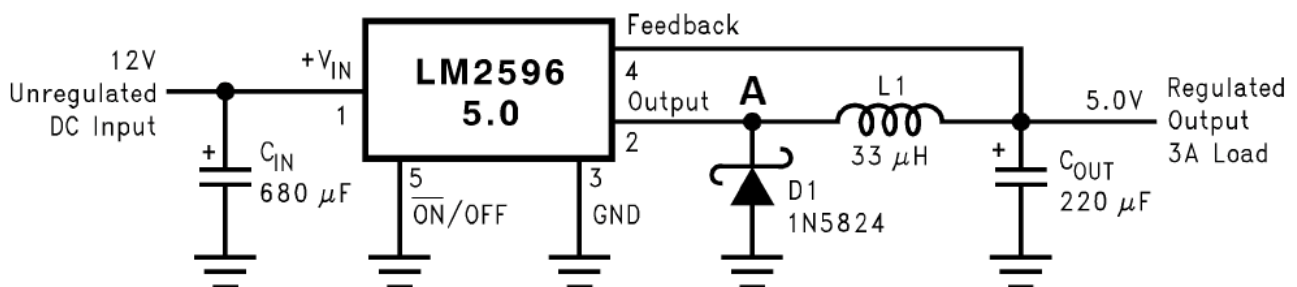
Источник напряжения

Схема

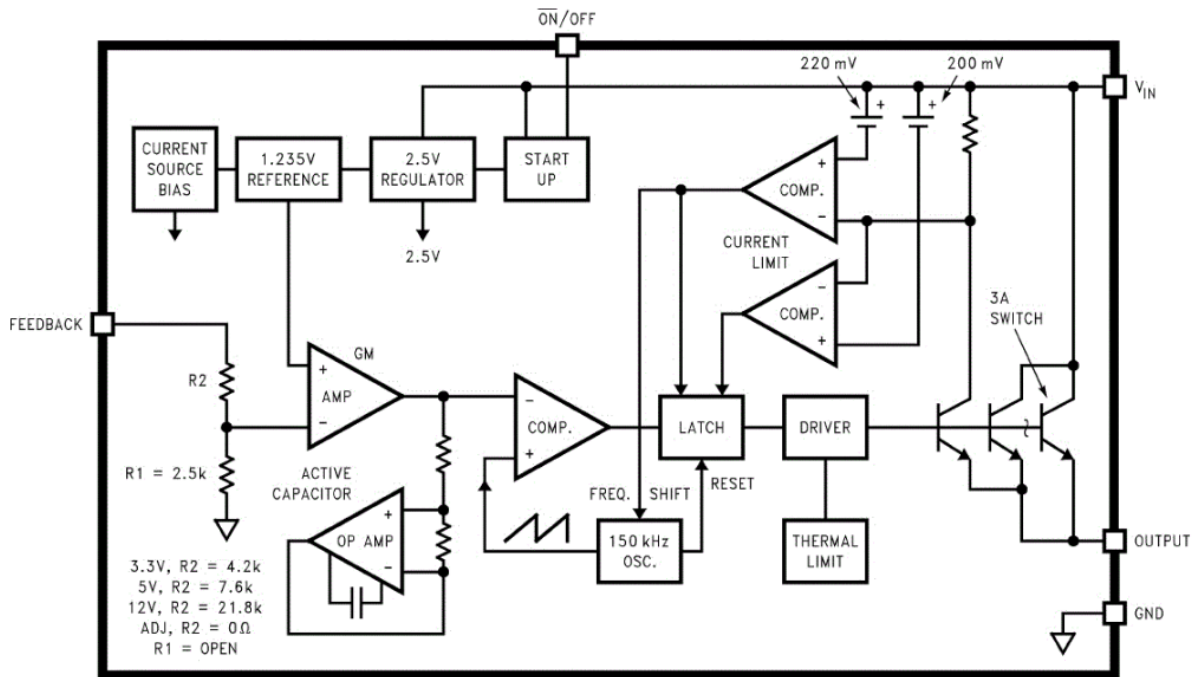
Микросхема удобна в применении в качестве **step-down конвертера**: мощный биполярный ключ находится внутри, осталось добавить остальные компоненты регулятора — быстрый диод, индуктивность и выходной конденсатор, также возможно поставить входной конденсатор — всего 5 деталей.

В версии LM2596ADJ также потребуется схема задания выходного напряжения, это два резистора или один переменный резистор.

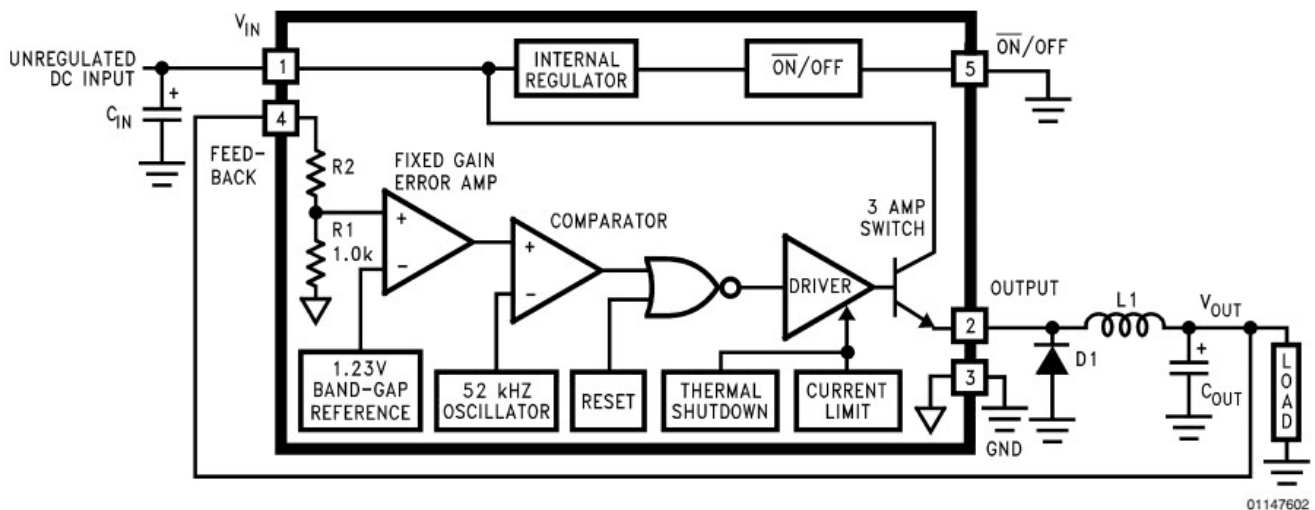
Схема понижающего преобразователя напряжения на основе LM2596:



Внутреннее строение LM2596:



Вся схема вместе:



Здесь можно [скачать даташит/datasheet на LM2596](#).

Принцип работы: управляемый [ШИМ-сигналом](#) мощный ключ внутри устройства посылает импульсы напряжения на индуктивность. В точке А $x\%$ времени присутствует полное напряжение, и $(1-x)\%$ времени напряжение равно нулю. LC-фильтр сглаживает эти колебания, выделяя постоянную составляющую, равную $x \cdot$ напряжение питания. Диод замыкает цепь, когда транзистор выключен.

Подробное описание работы

Индуктивность противится изменению тока через неё. При появлении напряжения в точке А дроссель создаёт большое отрицательное напряжение самоиндукции, и напряжение на нагрузке становится равно разности напряжения питания и напряжения самоиндукции. Ток индуктивности и напряжение на нагрузке постепенно растут.

После пропадания напряжения в точке А дроссель стремится сохранить прежний ток, текущий из нагрузки и конденсатора, и замыкает его через диод на землю — он постепенно падает. Таким образом, напряжение на нагрузке всегда меньше входного напряжения и зависит от скважности импульсов.

Выходное напряжение

Модуль выпускается в четырёх версиях: с напряжением 3.3В (индекс –3.3), 5В (индекс –5.0), 12В (индекс –12) и регулируемая версия LM2596ADJ. Имеет смысл везде применять именно настраиваемую версию, поскольку она в большом количестве есть на складах электронных компаний и вы вряд ли столкнётесь с её дефицитом — а она требует дополнительно лишь два копеечных резистора. Ну и конечно, версия на 5 вольт тоже пользуется популярностью.

LM2596SX-3.3/NOPB 2010	TI	TO-263 (D2PAK)	135.24 112.42 101.43	< 20 20–50 > 50	—	923
LM2596SX-5.0/NOPB 2007	TI	TO-263-5	116.48 96.83 87.36	< 20 20–50 > 50	—	8163
LM2596SX-ADJ/NOPB 2006	TI	TO-263-5	114.40 95.09 85.80	< 20 20–50 > 50	—	3363

Количество на складе — в последнем столбце.

Можно сделать задание выходного напряжения в виде DIP-переключателя, хороший пример этого приведён [здесь](#), либо в виде поворотного переключателя. В обоих случаях потребуется батарея точных резисторов — зато можно настраивать напряжение без вольтметра.

Корпус

Существует два варианта корпусов: корпус для планарного монтажа TO–263 (модель LM2596S) и корпус для монтажа в отверстия TO–220 (модель LM2596T). Я предпочитаю применять планарную версию LM2596S, поскольку в этом случае радиатором является сама плата, и отпадает необходимость покупать дополнительный внешний радиатор. К тому же её механическая стойкость гораздо выше, в отличие от TO–220, которую обязательно надо к чему-то привинчивать, хотя бы даже к плате — но тогда проще установить планарную версию. Микросхему LM2596T-ADJ я рекомендую использовать в блоках питания, потому что с её корпуса легче отвести большое количество тепла.

Сглаживание пульсаций входного напряжения

Можно использовать как эффективный «интеллектуальный» стабилизатор после выпрямления тока. Поскольку микросхема следит непосредственно за величиной

выходного напряжения, колебания входного напряжения вызовут обратно пропорциональное изменение коэффициента преобразования микросхемы, и выходное напряжение останется в норме.

Из этого следует, что при использовании LM2596 в качестве понижающего преобразователя после трансформатора и выпрямителя, входной конденсатор (т.е. тот который стоит сразу после диодного моста) может иметь небольшую ёмкость (порядка 50-100мкФ).

Выходной конденсатор

Благодаря высокой частоте преобразования выходной конденсатор тоже не обязан иметь большую ёмкость. Даже мощный потребитель не успеет значительно посадить этот конденсатор за один цикл. Проведём расчёт: возьмём конденсатор в 100мкФ, 5V выходного напряжения и нагрузку, потребляющую 3 ампера. Полный заряд конденсатора $q = C \cdot U = 100 \text{e-6 мкФ} \cdot 5 \text{ В} = 500 \text{e-6 мкКл}$.

За один цикл преобразования нагрузка заберёт из конденсатора $dq = I \cdot t = 3 \text{ А} \cdot 6.7 \text{ мкс} = 20 \text{ мкКл}$ (это всего 4% от полного заряда конденсатора), и тут же начнётся новый цикл, и преобразователь засунет в конденсатор новую порцию энергии.

Самое главное — не используйте в качестве входного и выходного конденсатора танталовые конденсаторы. У них прямо в даташитах пишут — «не использовать в цепях питания», потому что они очень плохо переносят даже кратковременные превышения напряжения, и не любят высокие импульсные токи. Используйте обычные алюминиевые электролитические конденсаторы.

Эффективность, КПД и тепловые потери

КПД не так высок, поскольку в качестве мощного ключа используется биполярный транзистор — а он имеет ненулевое падение напряжения, порядка 1.2В. Отсюда и падение эффективности при маленьких напряжениях.

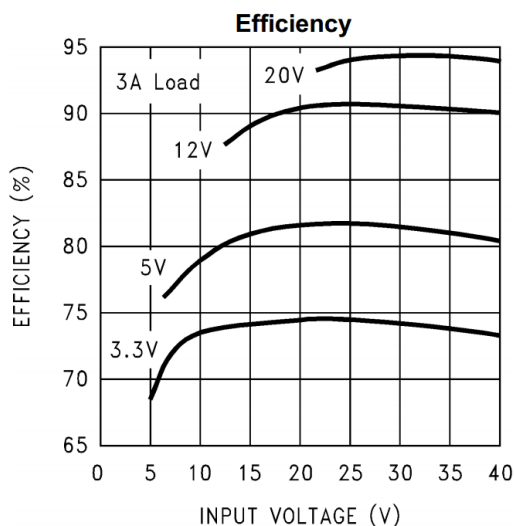


Figure 5.

Как видим, максимальная эффективность достигается при разности входного и выходного напряжений порядка 12 вольт. То есть, если нужно уменьшить напряжение на 12 вольт — в тепло уйдёт минимальное количество энергии.

Что такое [эффективность преобразователя](#)? Это величина, характеризующая токовые потери — на выделение тепла на полностью открытом мощном ключе по закону Джоуля-Ленца и на аналогичные потери при переходных процессах — когда ключ открыт, допустим, лишь наполовину. Эффекты от обоих механизмов могут быть сравнимы по величине, поэтому не нужно забывать про оба пути потерь. Небольшая мощность идёт также на питание самих «мозгов» преобразователя.

В идеальном случае, при преобразовании напряжения с U_1 до U_2 и выходном токе I_2 выходная мощность равна $P_2 = U_2 \cdot I_2$, входная мощность равна ей (идеальный случай). Значит, входной ток составит $I_1 = U_2 / U_1 \cdot I_2$.

В нашем же случае преобразование имеет эффективность ниже единицы, поэтому часть энергии останется внутри прибора. Например, при эффективности η выходная мощность составит $P_{out} = \eta \cdot P_{in}$, а потери $P_{loss} = P_{in} - P_{out} = P_{in} \cdot (1 - \eta) = P_{out} \cdot (1 - \eta) / \eta$. Конечно, преобразователь вынужден будет увеличить входной ток, чтобы поддерживать заданные выходные ток и напряжение.

Можно считать, что при преобразовании 12В -> 5В и выходном токе 1А потери в микросхеме составят 1.3 ватта, а входной ток будет равен 0.52А. В любом случае это лучше любого линейного преобразователя, который даст минимум 7 ватт потерь, и потребит из входной сети (в том числе на это бесполезное дело) 1 ампер — в два раза больше.

Кстати, микросхема [LM2577](#) имеет в три раза меньшую частоту работы, и её эффективность несколько выше, поскольку меньше потерь в переходных процессах. Однако, ей нужны в три раза более высокие номиналы дросселя и выходного конденсатора, а это лишние деньги и размер платы.

Увеличение выходного тока

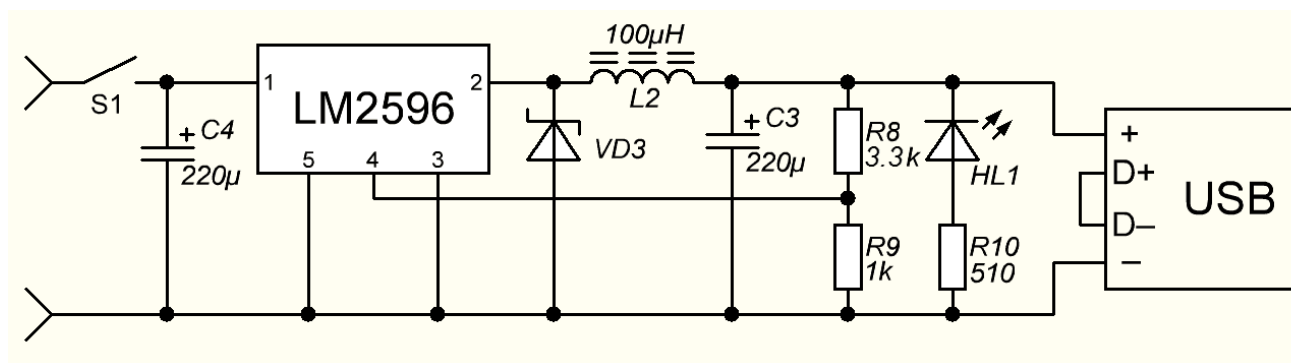
Несмотря на и так довольно большой выходной ток микросхемы, иногда требуется ещё БОльший ток. Как выйти из этой ситуации?

1. Можно запараллелить несколько преобразователей. Конечно, они должны быть настроены точно на одно и то же выходное напряжение. В таком случае нельзя обойтись простыми SMD-резисторами в цепи задания напряжения Feedback, нужно использовать либо резисторы с точностью 1%, либо вручную задавать напряжение переменным резистором.

Если нет уверенности в маленьком разбросе напряжений — лучше параллелить

USB-зарядник на LM2596

Можно сделать очень удобный походный USB-зарядник. Для этого необходимо настроить регулятор на напряжение 5В, снабдить его USB-портом и обеспечить питание зарядника. Я использую купленный в Китае радиомодельный литий-полимерный аккумулятор, обеспечивающий 5 ампер-часов при напряжении 11.1 вольт. Это очень много — достаточно для того чтобы **8 раз** зарядить обычный смартфон (не учитывая КПД). С учётом КПД получится не меньше 6 раз.



Не забудьте замкнуть контакты D+ и D- гнезда USB, чтобы сообщить телефону что он подключен к заряднику, и передаваемый ток неограничен. Без этого мероприятия телефон будет думать, что он подключен к компьютеру, и будет заряжаться током в **500mA** — очень долго. Более того, такой ток может даже не скомпенсировать ток потребления телефона, и аккумулятор вовсе не будет заряжаться.

Также можно предусмотреть отдельный вход 12В от автомобильного аккумулятора с разъёмом прикуривателя — и переключать источники каким-либо переключателем. Советую установить светодиод, который будет сигнализировать что устройство включено, чтобы не забыть выключить батарею после полной зарядки — иначе потери в преобразователе полностью посадят резервную батарею за несколько дней.

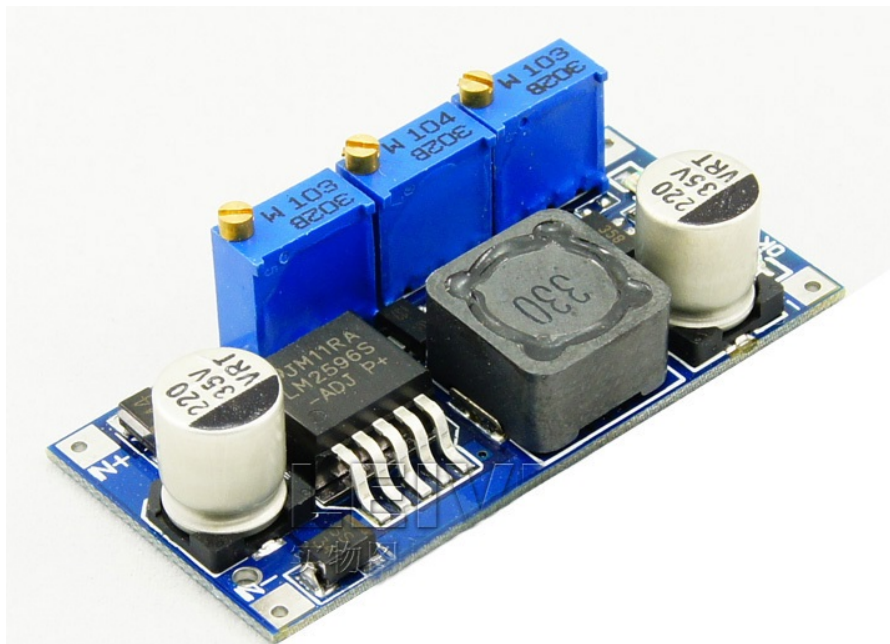
Такой аккумулятор не слишком подходит, потому что он рассчитан на высокие токи — можно попробовать найти менее сильноточную батарею, и она будет иметь меньшие

размеры и вес.

Стабилизатор тока

Регулировка выходного тока


Возможна только в версии с настраиваемым выходным напряжением (LM2596ADJ). Кстати, китайцы делают и такую версию платы, с регулировкой напряжения, тока и всевозможной индикацией — готовый модуль стабилизатора тока на LM2596 с защитой от КЗ, можно купить под названием xw026fr4.



Если вы не хотите применять готовый модуль, и желаете сделать эту схему самостоятельно — ничего сложного, за одним исключением: у микросхемы нет возможности управления током, однако её можно добавить. Я объясню, как это сделать, и попутно разъясню сложные моменты.

Применение

Стабилизатор тока — штука, нужная для питания мощных светодиодов (кстати — мой проект микроконтроллерного **драйвера мощного светодиода**), лазерных диодов, гальваники, заряда аккумуляторов. Как и в случае со стабилизаторами напряжения, есть два типа таких устройств — линейный и импульсный.

Классический линейный стабилизатор тока — это LM317, и он вполне хорош в своём классе — но его предельный ток 1.5A, для многих мощных светодиодов этого недостаточно. Даже если умощнить этот стабилизатор внешним транзистором — потери на нём просто неприемлемы. Весь мир катит бочку на энергопотребление лампочек дежурного питания, а тут LM317 работает с КПД 30%  Это не наш метод.

А вот наша микросхема — удобный драйвер импульсного преобразователя напряжения, имеющий много режимов работы. Потери минимальны, поскольку не применяется никаких линейных режимов работы транзисторов, только ключевые.

Изначально она предназначалась для схем стабилизации напряжения, однако несколько элементов превращают её в стабилизатор тока. Дело в том, что микросхема всецело полагается на сигнал «Feedback» в качестве обратной связи, а вот что на него подавать — это уже наше дело.

В стандартной схеме включения на эту ногу подаётся напряжение с резистивного делителя выходного напряжения. 1.2В — это равновесие, если Feedback меньше — драйвер увеличивает скважность импульсов, если больше — уменьшает. Но ведь можно на этот вход подать напряжение с токового шунта!

Шунт

Например, на токе 3А нужно взять шунт номиналом не более 0.1Ом. На таком сопротивлении этот ток выделит около 1Вт, так что и это много. Лучше запараллелить три таких шунта, получив сопротивление 0.033Ом, падение напряжения 0.1В и выделение тепла 0.3Вт.

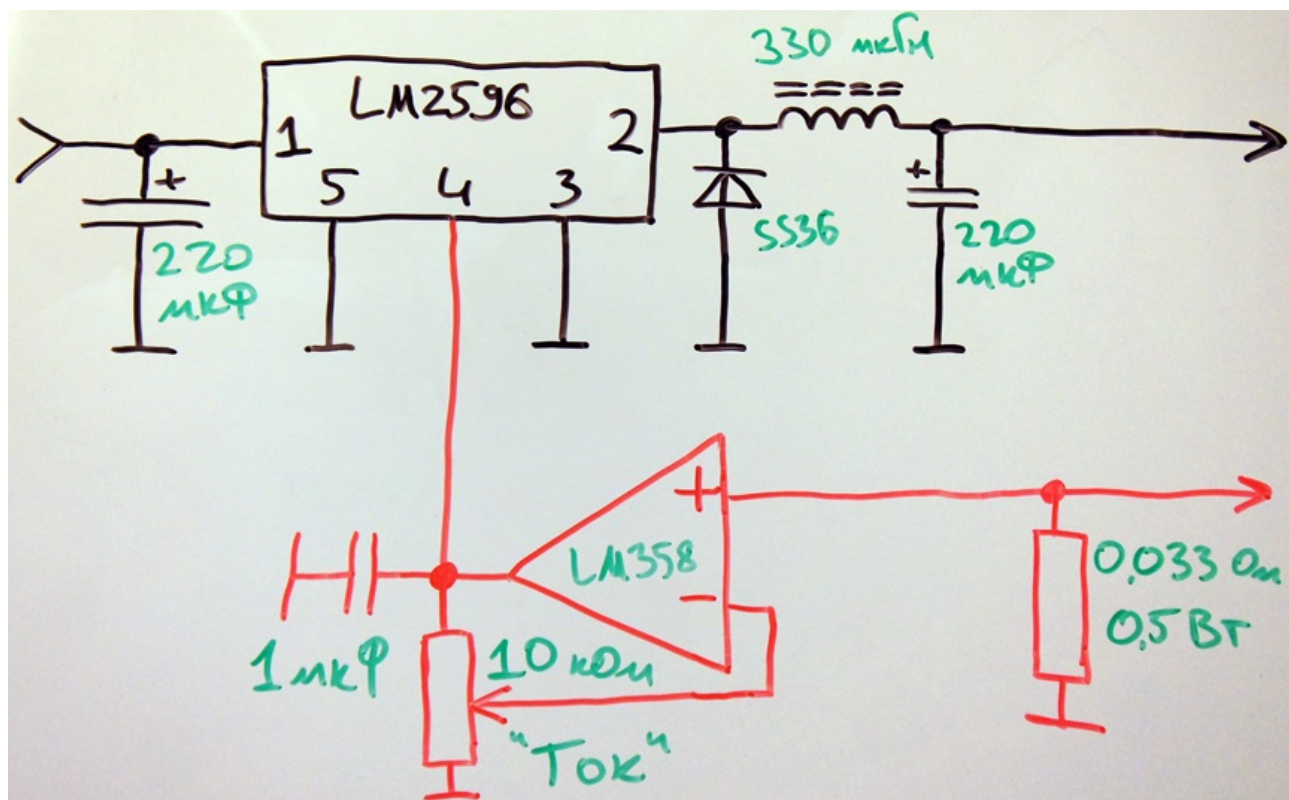
Однако, вход Feedback требует напряжение 1.2В — а мы имеем лишь 0.1В. Ставить бо́льшее сопротивление нерационально (тепла будет выделяться в 150 раз больше), поэтому остаётся как-то увеличить это напряжение. Делается это с помощью операционного усилителя.

Неинвертирующий усилитель на ОУ

Классическая схема, что может быть проще?

Объединяем

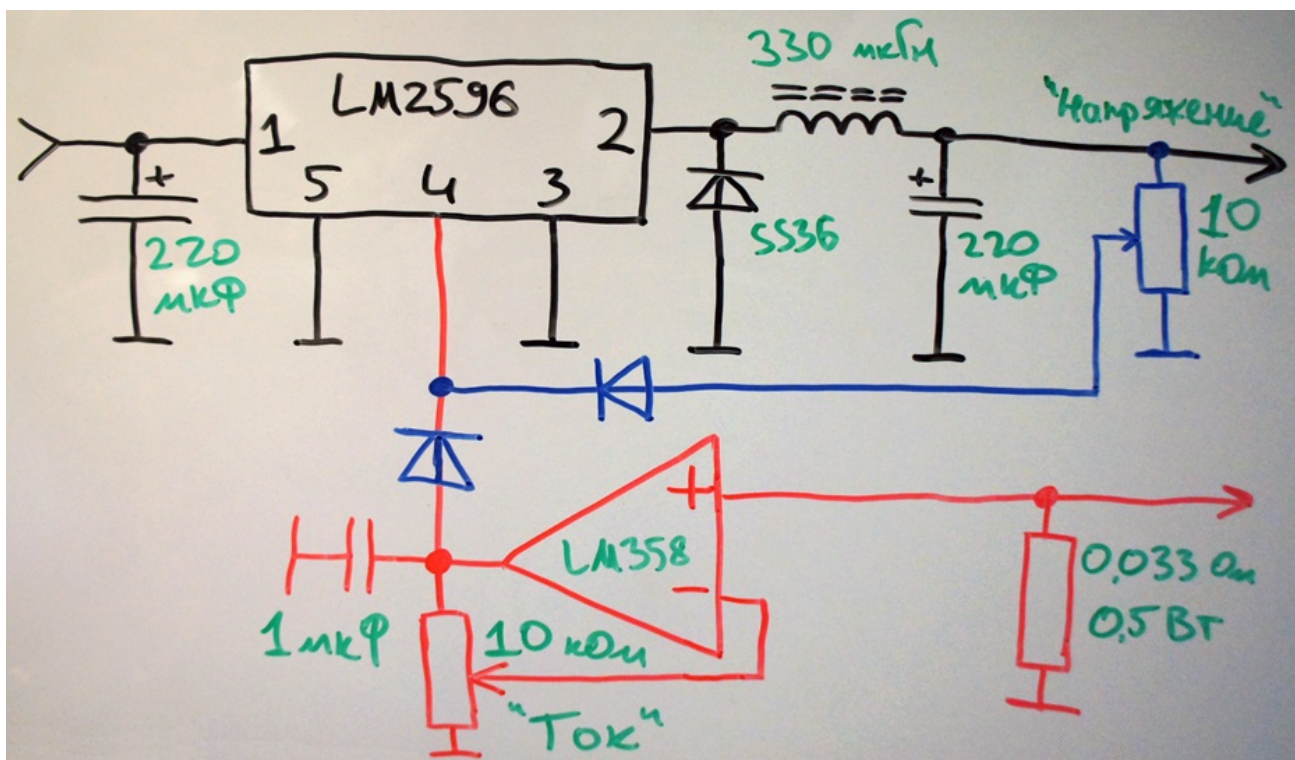
Теперь объединяем обычную схему преобразователя напряжения и усилитель на ОУ LM358, к входу которого подключаем токовый шунт.



Мощный резистор 0.033 Ом — это и есть шунт. Его можно сделать из трёх резисторов 0.1 Ом, соединённых параллельно, а для увеличения допустимой рассеиваемой мощности — используйте SMD-резисторы в корпусе 1206, поставьте их с небольшим промежутком (не вплотную) и постарайтесь максимально оставить слой меди вокруг резисторов и под ними. На выход Feedback подключен небольшой конденсатор, чтобы устранить возможный переход в режим генератора.

Регулируем и ток и напряжение

Давайте заведём на вход Feedback оба сигнала — и ток, и напряжение. Для объединения этих сигналов воспользуемся обычной схемой монтажного «И» на диодах. Если сигнал тока выше сигнала напряжения — он будет доминировать и наоборот.



Пару слов о применимости схемы

Вы не можете регулировать выходное напряжение. Хотя невозможно регулировать одновременно и выходной ток, и напряжение — они пропорциональны друг другу, с коэффициентом «сопротивление нагрузки». А если блок питания реализует сценарий вроде «постоянное выходное напряжение, но при превышении тока начинаем уменьшать напряжение», т.е. CC/CV — то это уже зарядное устройство.

Максимальное напряжение питания схемы — 30V, поскольку это предел для LM358. Можно расширить этот предел до 40V (или 60V с версией LM2596-HV), если питать ОУ от стабилизатора.

В последнем варианте в качестве суммирующих диодов необходимо использовать диодную сборку, поскольку в ней оба диода сделаны в рамках одного технологического процесса и на одной пластине кремния. Разброс их параметров будет гораздо меньше разброса параметров отдельных дискретных диодов — благодаря этому мы получим высокую точность отслеживания значений.

Также нужно внимательно следить за тем, чтобы схема на ОУ не возбуждалась и не перешла в режим генерации. Для этого старайтесь уменьшить длину всех проводников, а особенно дорожки, подключенной к 2 выводу LM2596. Не располагайте ОУ вблизи этой дорожки, а диод SS36 и конденсатор фильтра расположите ближе к корпусу LM2596, и обеспечьте минимальную площадь петли земли, подключенной к этим элементам — необходимо обеспечить минимальную длину пути возвратного тока «LM2596 -> VD/C -> LM2596».

Применение LM2596 в устройствах и самостоятельная разводка платы

О применении микросхемы в своих устройствах не в виде готового модуля я подробно рассказал в [другой статье](#), в которой рассмотрены: выбор диода, конденсаторов, параметров дросселя, а также рассказал про правильную разводку и несколько дополнительных хитростей.

Возможности дальнейшего развития

Улучшенные аналоги LM2596

Проще всего после этой микросхемы перейти на [LM2678](#). По сути — это тот же самый stepdown преобразователь, только с полевым транзистором, благодаря которому КПД поднимается до 92%. Правда, у него 7 ног вместо 5, и он не pin-to-pin совместимый. Тем не менее эта микросхема очень похожа, и будет простым и удобным вариантом с улучшенной эффективностью.

L5973D — довольно старая микросхема, обеспечивающая до 2.5А, и немного более высокий КПД. Также у неё почти в два раза выше частота преобразования (250 кГц) — следовательно, требуются меньшие номиналы индуктивности и конденсатора. Однако, я видел что с ней происходит, если поставить её напрямую в [автомобильную сеть](#) — довольно часто выбивает помехами.


ST1S10 — высокоэффективный (КПД 90%) DC–DC stepdown преобразователь.

- Требуется 5–6 внешних компонентов;
- Сделан по схеме синхронного преобразования (т.е. вместо Step–down схемы применён полумост);
- Эффективность работы при малых нагрузках увеличена за счёт режима пропуска импульсов;
- Есть схема слежения за температурой и нагрузкой — отключается при критическом нагреве и при коротком замыкании;
- Работает на большой частоте — 900 кГц. Есть тактовый вход, позволяющий манипулировать частотой — например, при низкой нагрузке уменьшить частоту, при высокой увеличить. Также можно устроить spread frequency — хаотически менять частоту, чтобы уменьшить интенсивность шума в эфире, «размазав» этот шум по спектру.
- У него нет защиты от КЗ. Причём под «защитой» я имею в виду не защиту преобразователя (а он сам по себе прочный и стойкий), а защиту нагрузки. Есть много свидетельств тому, что при КЗ в нагрузке он выжигает нагрузку полностью



Поэтому его не стоит использовать для экспериментов, а только для проверенных устройств — или ставить предохранитель.

ST1S14 — высоковольтный (до 48 вольт) контроллер. Большая частота работы (850 кГц), выходной ток до 4А, выход Power Good, высокий КПД (не хуже 85%) и схема защиты от превышения тока нагрузки делают его, наверное, лучшим [преобразователем для питания сервера](#) от 36–вольтового источника.

Если требуется максимальный КПД — придётся обращаться к неинтегрированным stepdown DC–DC контроллерам. Проблема интегрированных контроллеров в том, что в них никогда не бывает классных силовых транзисторов — типичное сопротивление канала не выше 200мОм. Однако если взять контроллер без встроенного транзистора — можно выбрать любой транзистор, хоть AUIRFS8409–7P с сопротивлением канала в пол–миллиона 

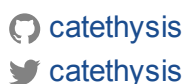
DC-DC преобразователи с внешним транзистором

Хорошо зарекомендовал себя LTC1624, правда он довольно дорог и его тяжело найти — он уже устарел. Его аналог, MAX1627 — контроллер в корпусе SO–8, требует 5 внешних компонентов и P–канальный полевик.

Следующая часть

другие статьи

[Драйвер светодиода](#) [Питание от автомобильной сети](#) [Питание сервера от DC-DC конвертеров](#) [Самодельный PoE](#)



Блог им. Catethysis