

Андрей Колдунов (г. Гродно)

ЧУТЬ ДОРОЖЕ БАКСА: BUCK-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ L7986TA И ST1S14 ОТ STMICROELECTRONICS



Компания **STMicroelectronics** обновила популярные линейки **buck-преобразователей ST1S10 и L597x**. На смену им пришли новые – **ST1S14 и L7986TA** с улучшенными характеристиками, расширенным диапазоном входного напряжения, и более надежной защитой от перегрузок.



На смену семейству **L597x** пришли микросхемы **L798x**, а семейству **ST1S10 – ST1S14** (таблица 1). Как видно из таблицы 1, наибольшим изменениям подверглась серия **ST1S14**. У нее более чем в два раза расширен диапазон питающего напряжения, в 10 раз увеличена длительность «мягкого старта» (soft-start), что привело к небольшому снижению импульсных нагрузок на источник питания и фильтрующие конденсаторы, и добавлена уникальная система защиты «NISCUP», эффективно защищающая микросхему от короткого замыкания на выходе даже при максимально допустимом входном напряжении.

Микросхема L7986TA

У микросхем семейства **L798x** изменения менее значительны: увеличено максимальное значение тока нагрузки с 2,5 до 3 А; напряжение обратной связи уменьшено до 0,6 В (это позволяет создавать преобразователи с минимальным выходным напряжением от 0,6 В): добавлена схема «мягкого старта»; диа-

пазон входного напряжения расширен до 38 В. Микросхема **L7986TA** – один из немногих присутствующих на рынке buck-преобразователей, гарантированно работающий в температурном диапазоне -40...125°C.

На рисунке 1 приведена функциональная схема **L7986TA**. Как видно из рисунка, это несинхронный преобразователь с р-канальным ключевым транзистором. Благодаря использованию р-канального транзистора максимальный коэффициент заполнения (duty cycle) равен 100% – то есть при очень малой разности входного и выходного напряжения транзистор полностью открыт, и падение напряжения между входом и выходом преобразователя определяется только сопротивлением его канала и протекающим током. Отсутствие синхронного выпрямителя чуть снизило КПД микросхемы, однако такое решение позволяет добиться гораздо меньшего уровня пульсаций. Также в микросхеме присутствуют ставшие уже привычными защита от перегрева с гистерезисом, защита клю-

чевого транзистора от перегрузки и блокировка работы при входном напряжении ниже 4,5 В.

Рабочая частота ШИМ равна 250 кГц; ее можно увеличить до 1 МГц, добавив резистор R_{FSW} между ножкой F_{SW} и землей. Для частоты 1 МГц сопротивление этого резистора должно быть примерно 33 кОм, 650 кГц – 68 кОм, 450 кГц – около 100 кОм. Также возможна синхронная работа двух микросхем – для этого достаточно соединить их порты SYNCH (естественно, земля у обеих микросхем должна быть общая); причем микросхема с более высокой частотой генератора будет работать как ведущая. Чтобы при этом исключить возможные артефакты из-за постоянного переключения «ведущий»/«ведомый» (частота ведь одинаковая), имеет смысл чуть повысить частоту одной из микросхем с помощью внешнего резистора. Сигнал на выходе SYNCH ведущего чипа – противофазный (сдвинут на 180°) его генератору, поэтому чипы в связке работают в противофазе – это уменьшает импульс-

Таблица 1. Популярные buck-преобразователи STMicroelectronics

Наименование	ST1S10	ST1S14	L5973D	L7985	L7986TA
Входное напряжение, В	2,5...18	5,5...48	4...36	4,5...38	4,5...38
Максимальный ток нагрузки, А	3	3	2,5	2	3
Сопротивление канала, Ом	0,12	0,2	0,25	0,2	0,2
Рабочая частота, кГц	900	850	250	250...1000	250...1000
Максимальный коэффициент заполнения, %	90	90	100	100	100
Напряжение обратной связи, В	0,8	1,22	1,235	0,6	0,6
Ток потребления, мА	1,5	1,7	3	2,4	2,4
Soft-start, мс	0,275	3,5	Нет	8,2	8,2
Ограничение тока, А	5	4,5	3	3	4,2
Синхронизация	+	-	+	+	+
Ориентировочная цена на складе КОМПЭЛ, \$	0,97 (от 80 штук)	1,27 (от 69 штук)	1,20 (от 36 штук)	1,28 (от 2500 штук)	1,38 (от 36 штук)

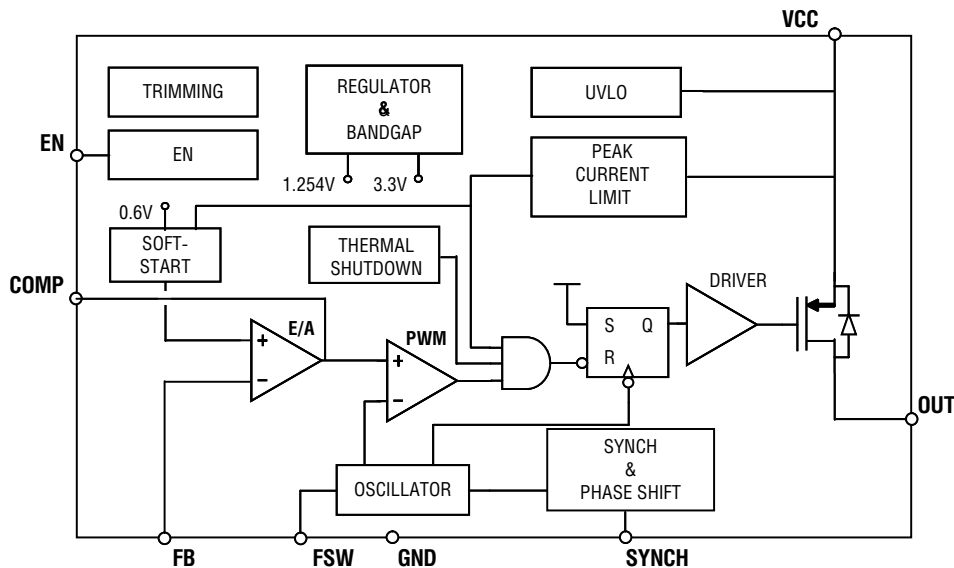


Рис. 1. Блок-схема L7986TA

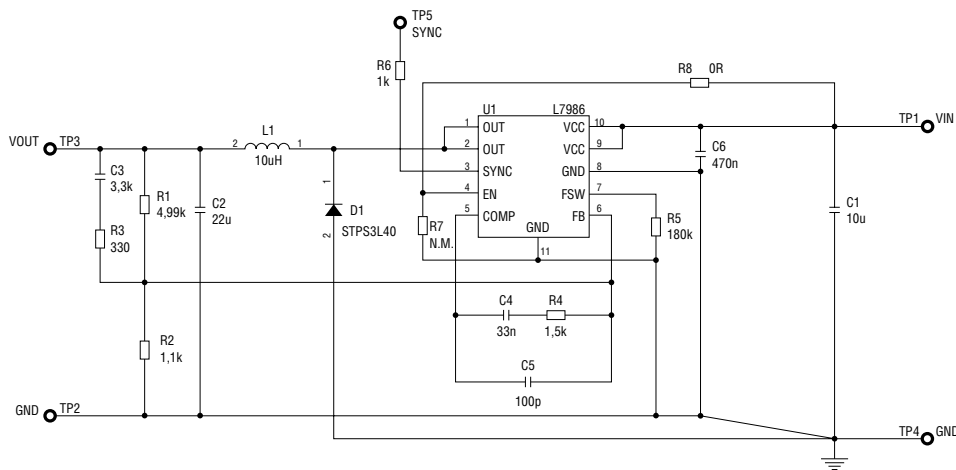


Рис. 2. Рекомендуемая схема включения L7986TA

ную нагрузку на входные конденсаторы и снижает электромагнитное излучение.

Схема «мягкого старта» плавно (64 ступеньки) увеличивает напряжение обратной связи от 0 до 0,6 В — соответственно, так же плавно увеличивается выходное напряжение. Длительность этого периода составляет 2048 такта генератора, и при частоте 250 кГц равна 8 мс. К сожалению, рестарта (при КЗ выхода) не предусмотрено.

Для защиты от КЗ выхода последовательно с каналом ключевого транзистора включен датчик тока. После отпирания транзистора этот датчик остается неактивным в течении 200 нс (фильтрация выбросов в момент переключения). Далее, если ток через канал транзистора выше тока ограничения (3,7 А), защита срабатывает, транзистор закрывается, а логика микросхемы пропускает 1 такт генератора. Если в следующем активном такте защита снова срабатывает, микросхема пропускает 2 такта, и так до 7 тактов. То есть в режиме короткого замыкания частота импульсов снижается в 8 раз.

Для корректной работы системы защиты при высоком входном напряжении не рекомендуется «разгонять» микросхему: так, при напряжении 38 В желательно ограничиться частотой максимум 700 кГц.

Для управления режимом работы микросхемы используется вход EN. Если он не подключен, или напряжение на нем ниже 0,3 В — микросхема выключена, и потребляемый ток не превышает 30 мкА. При напряжении на этом входе выше 1,2 В, но не больше напряжения питания, микросхема работает в активном режиме. Потребляемый входом EN ток не превышает 10 мкА (типичное значение 7,5 мкА).

Рекомендуемая схема включения показана на рис. 2 (выходное напряжение равно 3,3 В). Корректирующая цепочка (Тип III) рассчитана для использования на выходе многослойного керамического конденсатора C2 с очень низким ESR (единицы мОм). При использовании танталовых или электролитических конденсаторов нужно использовать цепочку типа II — их емкость должна

быть минимум 330 мкФ; цепочку C3, R3 нужно убрать, а C4, R4, C5 — пересчитать по формулам из документации [1]. В частности, при параметрах $V_{in} = 24$ В, $V_{out} = 5$ В, $I_o = 3$ А, $L_1 = 18$ мкГн, $C_2 = 22$ мкФ с $ESR < 1$ мОм (керамический) номиналы элементов должны быть: $R_1 = 4,99$ кОм, $R_2 = 680$ Ом, $R_3 = 200$ Ом, $R_4 = 2$ кОм, $C_3 = 3300$ пФ, $C_4 = 22$ нФ, $C_5 = 220$ пФ. При тех же данных, но при использовании электролитического конденсатора $C_2 = 330$ мкФ с $ESR = 35$ мОм номиналы следующие: $R_1 = 4,99$ кОм, $R_2 = 680$ Ом, $R_4 = 4,99$ кОм, $C_4 = 82$ нФ, $C_5 = 68$ пФ.

Индуктивность дросселя L1 можно рассчитать по следующей формуле:

$$L_{min} = \frac{V_{out} + V_f}{\Delta I_{max}} \times \frac{1 - D_{min}}{F_{sw}}$$

где V_f — падение напряжения на диоде D1 (порядка 0,5...0,7 В для диода Шоттки); ΔI_{MAX} — пульсации тока (обычно 0,2...0,3 — чем меньше, тем лучше); F_{sw} — рабочая частота (250 кГц); D_{MIN} — минимальный коэффициент заполнения, рассчитывается по формуле:

$$L_{min} = \frac{V_{out} + V_f}{V_{inmax} - V_{sw}}$$

где V_{sw} — падение напряжения на ключевом транзисторе (порядка 0,1...0,8 В, в зависимости от тока через транзистор).

Особое внимание при разработке печатной платы нужно уделить разводке земель — рабочая частота довольно высокая, и при неправильной разводке преобразователь может выйти из строя (рис. 4). Следует обратить внимание на сильноточные цепи — земля входного и выходного конденсаторов, диода, микросхемы. Их желательно разделить и провести двумя-тремя лучами от земли входного конденсатора. Эти дорожки должны быть как можно короче и максимальной ширины. Конденсатор C6 (керамический с низким ESR, емкостью 0,22...1 мкФ) нужно разместить как можно ближе к выводам питания микросхемы. Для улучшения теплоотвода от микросхемы печатную плату желательно использовать двухслойную, с переходными отверстиями под днищем микросхемы — его нужно припаять к земле.

Даже сравнительно большое сопротивление канала ключа 0,2...0,3 Ом и отсутствие синхронного выпрямителя позволяют получить приемлемый КПД выше 80% практически во всем диапазоне.

Микросхема L7986 практически полностью pin-to-pin совместима со своей предшественницей L5973D, поэтому ее можно монтировать на плату, изготов-

ленную под L5973D, или использовать как замену. Нужно только учесть различия этих микросхем: L7986 включается высоким уровнем на ножке EN (L5973D - низким), поэтому ее (ножка 3) нужно оторвать от земли и соединить с ножкой 8; образцовое напряжение у L7986 ниже, чем у L5973D - нужно заново пересчитать сопротивления резисторов обратной связи (R1 и R2 на рис. 2), а элементы корректирующей цепочки на выходе COMP микросхемы нужно замкнуть на ее вход FB, а не на землю.

Микросхема ST1S14

Микросхема **ST1S14** - синхронный понижающий преобразователь (рис. 3) [2]. В отличие от L7986, в ней используется пара n-канальных транзисторов, а это автоматически требует фантомного питания для верхнего транзистора, и максимальный коэффициент заполнения будет не выше 90%. Однако, учитывая высоковольтность микросхемы, это не столь существенно. Также у микросхемы имеются два входа включения EN и выход сигнала Power Good. Прямой и инверсный входы включения EN упрощают интеграцию преобразователя в систему. А выход представляет собой открытый коллектор с максимально допустимым напряжением внешней подтяжки, равным входному напряжению преобразователя. Его можно использовать в качестве супервизора. В устройство встроены защита от перегрева, короткого замыкания выхода, защита от пониженного напряжения питания, напряжения обратной связи, фантомного питания верхнего MOSFET - при срабатывании любого узла защиты, а также при включении сигналом EN микросхема автоматически начинает новый цикл «soft start».

«Мягкий старт» состоит из трех фаз:

1. Пока напряжение на входе VFB ниже 300 мВ (только что включили или короткое замыкание на выходе), микросхема работает на частоте 170 кГц, а пиковый ток выхода ограничен значением 1,45 А;

2. Как только напряжение на входе VFB превысит 300 мВ, начинается вторая фаза, в течение которой напряжение обратной связи (и, соответственно, выходное напряжение и напряжение на входе VFB) ступенчато увеличивается в течении 3,3 мс до номинального значения 1,22 В. При этом микросхема работает на номинальной частоте 850 кГц и с типовым ограничением тока 4,5 А;

3. В этот момент «мягкий старт» завершается, и начинается нормальная работа микросхемы.

Работа преобразователя возможна только при условии, что на входе EN1 поддерживается низкий уровень (не больше 0,5 В), а на входе EN2 - высо-

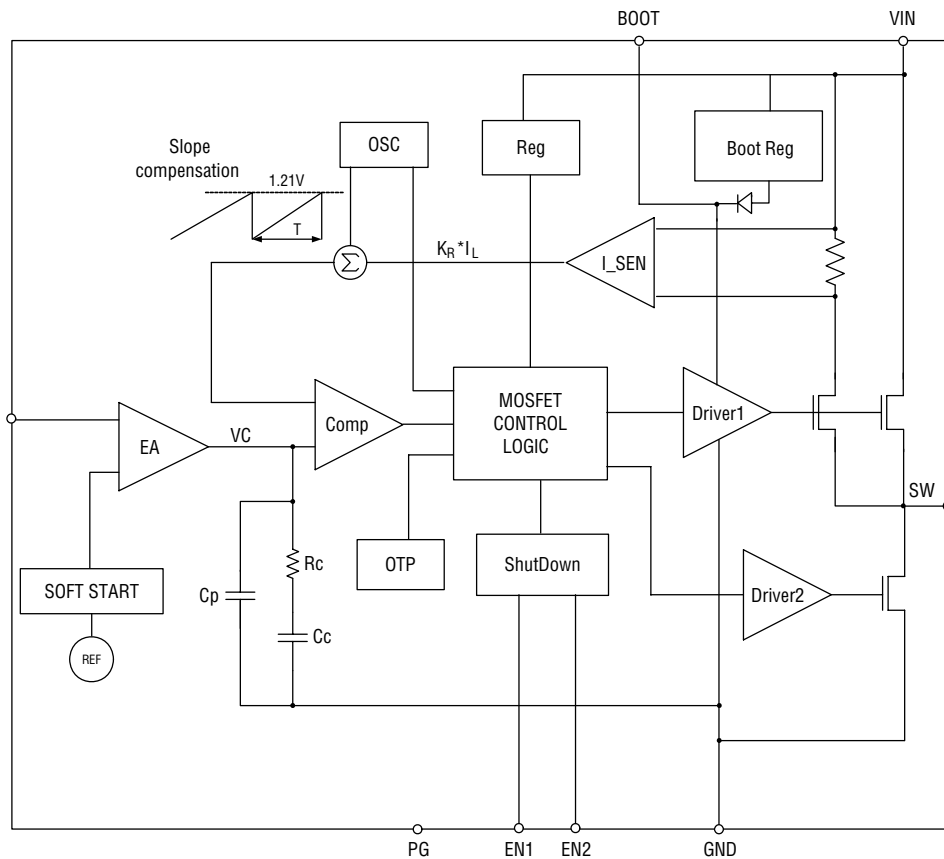


Рис. 3. Блок-схема ST1S14

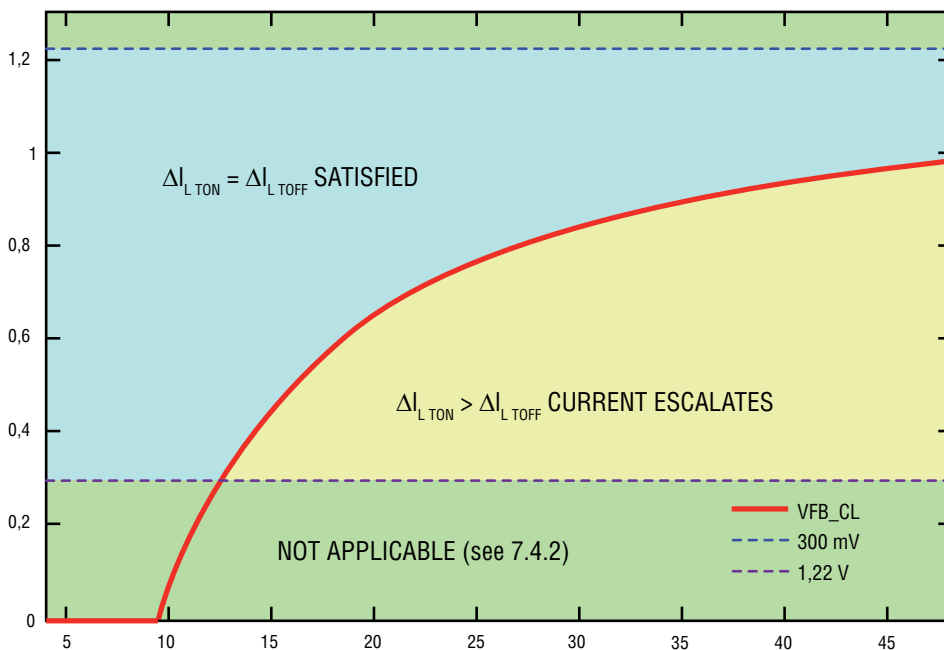


Рис. 4. Режимы работы защиты от перегрузки ST1S14

кий (не ниже 1,5 В). При любых других комбинациях уровней преобразователь не работает. Напряжение на входе EN1 может быть в пределах 0...5 В, на входе EN2 - 0...VCC.

Минимальное время открытого состояния верхнего ключа равно 90 нс, поэтому при высоком входном напряжении минимальное выходное напряжение увеличивается. На частоте 250 кГц этот предел становится чуть выше 1,22 В

уже при входном напряжении 17 В, и линейно увеличивается до 3,8 В при входном напряжении 48 В. Таким образом, например, при питании выше 40 В получить на выходе напряжение ниже 3 В невозможно. А учитывая небольшой запас для нормальной работы обратной связи, выходное напряжение должно быть еще выше.

Система защиты ST1S14 может работать в трех режимах (рис. 4). При на-

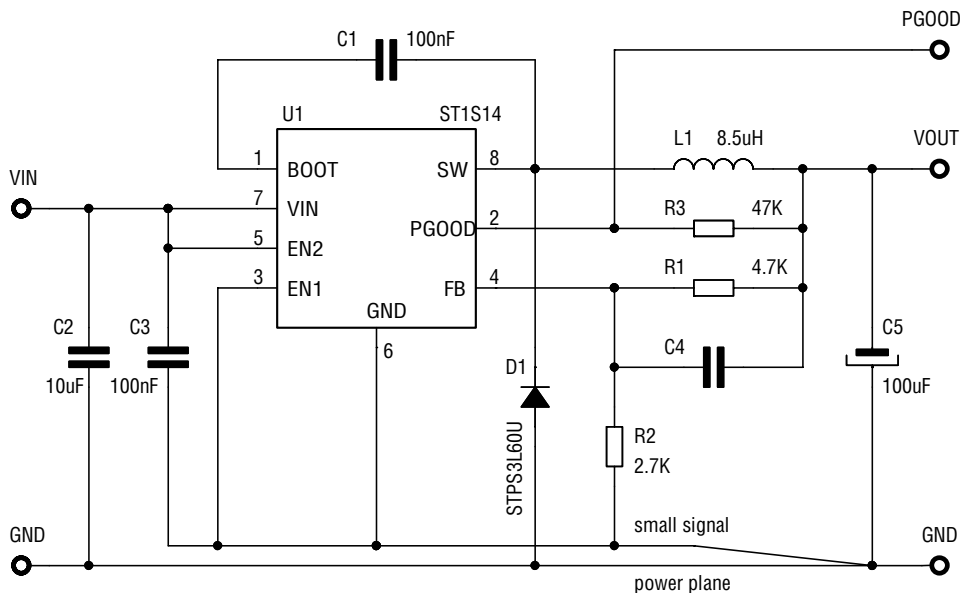


Рис. 5. Рекомендуемая схема включения ST1S14

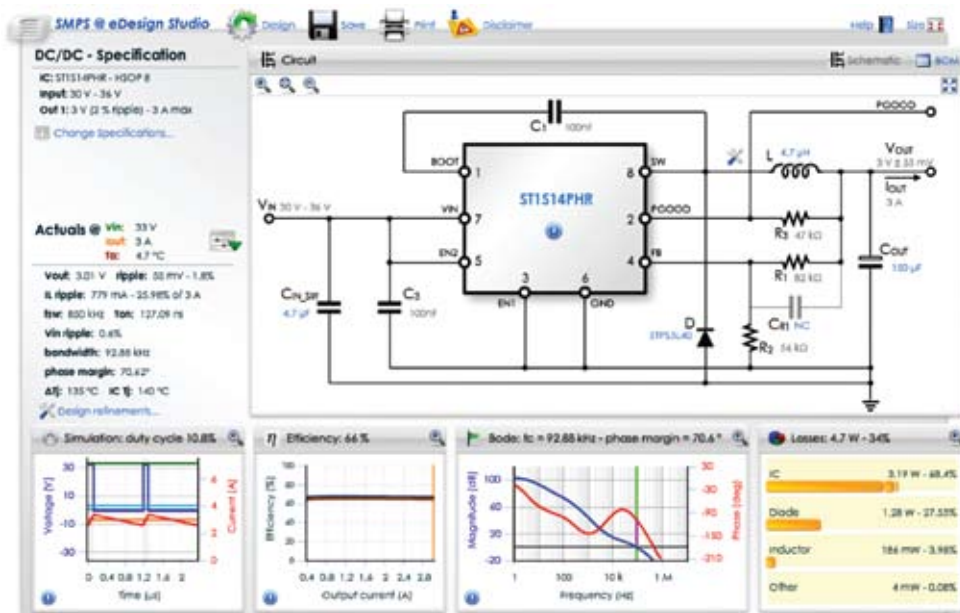


Рис. 6. Окно SMPS @ eDesign Studio

пряжении на входе V_{FB} меньше 300 мВ рабочая частота преобразователя снижается в пять раз, а ограничение тока наступает при 1,45 А. Если напряжение на входе V_{FB} больше 300 мВ, но меньше 1,22 В, наступает ограничение амплитуды тока через верхний транзистор (типичное значение 4,5 А). В любом режиме при слишком большой разности между входным и выходным напряжением (связано с минимальной длительностью импульса 90 нс) микросхема переходит в режим HICCU — генератор работает на номинальной частоте и с ограничением тока на уровне 6,2 А с последующей (после срабатывания) паузой 16 мс в работе генератора и запуском цикла «мягкого старта».

Рекомендуемая схема включения ST1S14 показана на рис. 5. Несмотря на то, что преобразователь — синхронный, все равно рекомендуется использовать внешний диод с малым временем обратного восстановления между выходом и землей, так как быстродействие встроенного транзистора и его паразитного диода недостаточно высоко для надежной защиты микросхемы от отрицательных импульсов тока. Индуктивность дросселя L1 можно рассчитать по приведенной выше формуле или по упрощенной, справедливой для любого buck-преобразователя:

$$L_{min} = \frac{V_{in} - V_{out}}{\Delta I} \times T_{on} = \frac{V_{in} - V_{out}}{\Delta I} \times 0,5 \times \frac{1}{F_{sw}}$$

Остальные требования к деталям и монтажу — такие же, как и для рассмотренного выше L7986TA. Формулы для расчетов номиналов элементов корректирующей цепочки можно найти в документации [2], для типичного случая ($V_{IN} = 6...48$ В, $V_{OUT} = 3,3$ В, $C_{OUT} = 100$ мкФ с $ESR = 75$ мОм, $R_{OUT} = 2$ Ом, $I_{OUT} = 1,65$ А) $R1 = 5,6$ кОм, $R2 = 3,3$ кОм, $C4 = 0,15$ мкФ, $L1 = 8,2$ мкГн. Для быстрого старта разработчиком доступна отладочная плата STEVAL-ISA095V1 [3] с полностью собранным преобразователем.

Для минимизации расчетов и уменьшения времени разработки преобразователя компания STMicroelectronics предлагает онлайн-помощник SMPS @ eDesign Studio, доступный по адресу <https://my.st.com/analogsimulator>. [4]. После несложной регистрации мы можем выбрать в папке «Examples» любой тип преобразователя (повышающий или понижающий AC/DC или DC/DC, драйвер светодиодов, зарядное устройство). Нажав кнопку «Create project» и выбрав необходимый тип преобразователя, мы попадаем на следующую страницу, где указываем необходимые входные/выходные параметры, выбираем из списка наиболее подходящую микросхему, нажимаем кнопку Start Design и через несколько секунд получаем готовый образец схемы с указанными параметрами всех компонентов схемы (рис. 6). Причем их можно поменять (достаточно кликнуть на них мышкой и выбрать из списка предлагаемых другой) и мгновенно увидеть изменения в характеристиках преобразователя.

Литература

1. L7986TA datasheet — http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/DM00041568.pdf
2. ST1S14 datasheet — http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/CD00285678.pdf
3. STEVAL-ISA095V1 — Up to 3 A step-down switching regulator based on the ST1S14 — <http://www.st.com/internet/evalboard/product/251956.jsp>
4. SMPS @ eDesign Studio — <https://my.st.com/analogsimulator/>

Получение технической информации, заказ образцов, поставка — e-mail: mcu.vesti@compel.ru