

Михаил Чигарев (КОМПЭЛ)

## SWIFT™ – УПРАВЛЯЕМ ПИТАНИЕМ ПО-НОВОМУ



**Импульсные понижающие DC/DC-преобразователи с интегрированным MOSFET-транзистором** – одно из самых популярных решений для управления питанием. Высокий КПД, широкий диапазон входного напряжения, высокий выходной ток и компактные размеры источника питания – все это можно реализовать с помощью семейства преобразователей SWIFT™ компании Texas Instruments.

Выбор данного семейства преобразователей в качестве темы обсуждения обусловлен тем, что они подходят для широкого круга применений – от устройств с батарейным питанием до систем промышленной автоматизации и телекоммуникационных устройств. Еще одной причиной выбора достаточно узкой тематики является то, что охватить все DC/DC-преобразователи в рамках одной статьи практически невозможно, на данный момент их у TI более 600! Мы попытаемся осветить общие критерии выбора того или иного преобразователя, некоторые проблемы, которые встают перед разработчиком при проектировании DC/DC-источника питания, показать интересные варианты их применения и технические особенности, которые отличают решения TI от решений других производителей.

Эволюция современных DC/DC-преобразователей идет по пути уменьшения габаритов конечного источника питания и повышения его эффективности. Требования по габаритам приводят к тому, что на рынке появляются все больше и больше преобразователей с высокой частотой преобразования (свыше 1 МГц) и MOSFET-ключом, расположенным на одном кристалле с контроллером. В первую очередь повышение частоты позволяет уменьшить габариты дросселя, однако при этом приходится ответственно подойти к выбору этого дросселя.

На практике на частотах преобразования свыше 300 кГц уже встает необходимость применения дросселей с особыми техническими характеристиками для обеспечения работы на высоких частотах. Компания Sumida, например, в своей линейке дросселей CDEP использует плоский провод с прямоугольным се-

чением для уменьшения скин-эффекта на высоких частотах. Отличным выбором высокочастотного дросселя является серия IHLP от компании Vishay, благодаря применению в них специальных неферритовых материалов удалось расширить диапазон рабочих частот до 5 МГц!

Тема высокочастотных дросселей затронута не случайно – это, пожалуй, самый частый вопрос, задаваемый нам разработчиками, которые решили применить продвинутый DC/DC-контроллер в своем изделии. Для выбора дросселя можно зайти на наш

сайт и воспользоваться параметрическим поиском в разделе «Индуктивности» <http://catalog.compel.ru/inductor/list>. Дроссели от Sumida и Vishay на данный момент доступны на нашем складе в Москве.

Для обеспечения высокой эффективности источника питания Texas Instruments применяет ряд технических решений. Во-первых, это использование встроенного MOSFET-транзистора с низким значением сопротивления «сток-исток» в открытом состоянии  $R_{ds(on)}$  и малым значением суммарного заряда затвора ( $Q_g$ ). Во-вторых, для приложений, где требуется высокий ток нагрузки и малое значение выходного напряжения, TI предлагает преобразователи с синхронным выпрямлением. В-третьих, для сохранения высокой эффективности на малых токах нагрузки в ряде преобразователей предусмотрен режим Eco-mode™ – при сохранении постоянной тактовой частоты в режиме

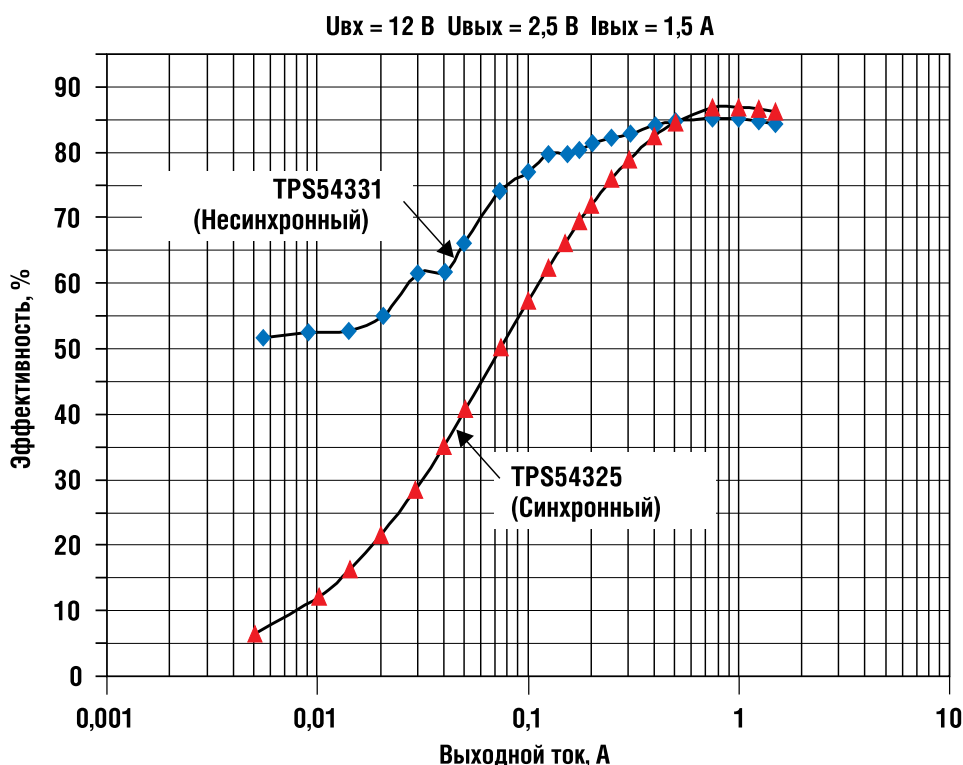


Рис. 1. Сравнение эффективности TPS54331 и TPS54325 при U<sub>вых</sub> = 2,5 В

Таблица 1. Семейство преобразователей SWIFT™

Наименование	Увх., В	Увых., В	Ивых., А	Исобств., мА	Синхр. выпр.	Граб., кГц	Eco-mode™	Корпус
TPS5401/54040	3,5...42	0,8...39	0,5	0,116	—	100...2500	+	10MSOP PowerPAD
TPS54140/240	3,5...42	0,8...39	1,5/2,5	0,116/0,138	—	300...2500	+	10MSOP PowerPAD
TPS54060	3,5...60	0,8...57	0,5	0,116	—	100...2500	+	10MSOP PowerPAD, 10SON
TPS54160/260	3,5...60	0,8...57	1,5/2,5	0,116/0,138	—	300...2500	+	10MSOP PowerPAD, 10SON
TPS5410/20/30/50	5,5...36	1,23...31	1/2/3/5	3	—	500	—	8SOIC/8SO PowerPAD
TPS54225/325/425	4,5...18	0,76...5,5	2/3/4	0,8/0,85/0,85	+	700	—	14HTSSOP
TPS54226/326/426	4,5...18	0,76...5,5	2/3/4	0,8/0,85/0,85	+	700	+	14HTSSOP, 14QFN
TPS54320	4,5...17	0,8...15	3	0,6	+	200...1200	—	14QFN
TPS54620	4,5...17	0,8...15	6	0,6	+	200...1600	—	14QFN
TPS54327	4,5...18	0,76...7	3	0,85	+	700	—	8SO PowerPAD
TPS54328	4,5...18	0,76...7	3	0,85	+	700	+	8SO PowerPAD
TPS54350/550	4,5...20	0,9...12	3/6	5/9	+	250...700	—	16HTSSOP
TPS54521	4,5...17	0,8...15	5	0,6	+	200...900	—	14QFN
TPS54233	3,5...28	0,8...25	2	0,11	—	300	+	8SOIC
TPS54231/331	3,5...28	0,8...25	2/3	0,11	—	570	+	8SOIC
TPS54232/332	3,5...28	0,8...25	2/3,5	0,11	—	1000	+	8SOIC/8HSOIC PowerPAD
TPS56121/221	4,5 -14	0,6...12	15/25	2,5	+	300...1000	—	22SON
TPS54283/286	4,5...28	0,8...25,2	2 + 2*	1,8	—	300/600	—	14HTSSOP
TPS54383/386	4,5...28	0,8...25,2	3 + 3*	1,8	—	300/600	—	14HTSSOP
TPS55383/386	4,5...28	0,8...25,5	3 + 3*	1,8	—	300/600	—	16HTSSOP
TPS5429x	4,5...28	0,8...25,5	2,5 + 1,5*	1,65	—	300, 600, 1200	—	16HTSSOP
TPS54110/310	3...6	0,9...4,5	1,5/3	4,2/6,2	+	280...700	—	20HTSSOP
TPS54610	3...6	0,9...4,5	6	11	+	280...700	—	28HTSSOP
TPS54218/318/418/618	2,95...6	0,8...4,5	2/3/4/6	0,35	+	200...2000	—	16QFN
TPS54317/337	3...6	0,9...3,3	3	6,2	+	280...1600	—	24VQFN
TPS54010	2,2...4	0,9...2,5	14	13	+	280...700	—	28HTSSOP
TPS54610	3...6	0,9...4,5	6	11	+	280...700	—	28HTSSOP
TPS54810	4...6	0,9...3,3	8	11	+	280...700	—	28HTSSOP
TPS54910	3...4	0,9...2,5	9	11	+	280...700	—	28HTSSOP
TPS54319	2,95...6	0,82...4,5	3	0,36	+	300...2000	—	16QFN
TPS54617/917	3...6/4	0,9...3,3/2,5	6/9	11	+	280...1600	—	34VQFN
TPS84620	4,5...14,5	1,2...5,5	6		+	480...780	—	BQFN

\* — два выходных канала.

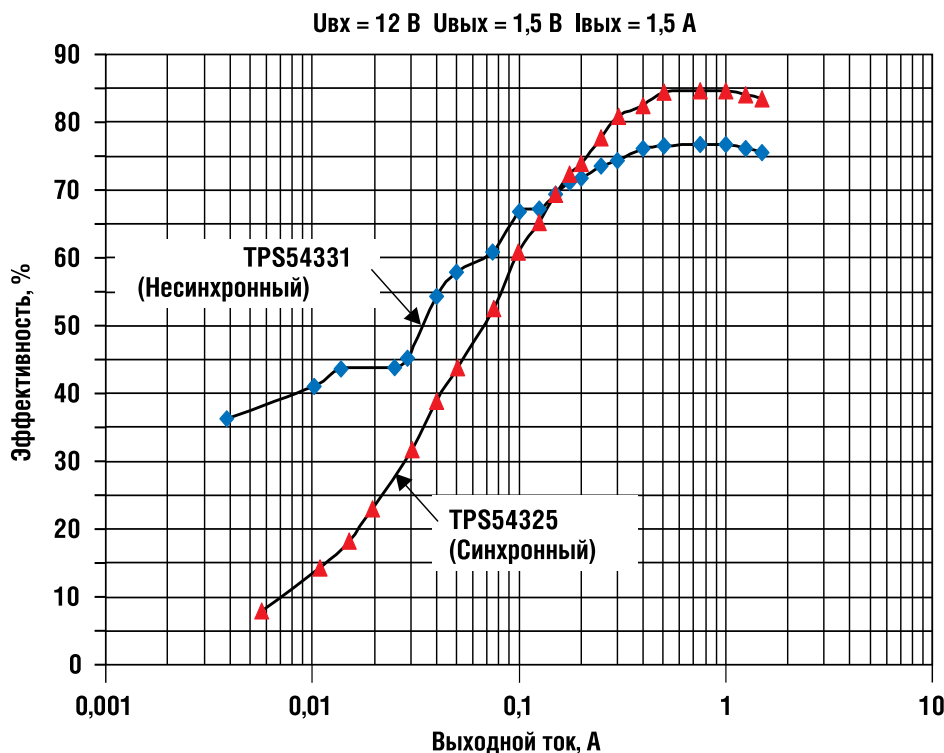


Рис. 2. Сравнение эффективности TPS54331 и TPS54325 при Увых = 1,5 В

малой нагрузки преобразователь «пропускает» часть управляющих импульсов (*pulse skipping*). Еще одной важной составляющей эффективности DC/DC-источника питания, которой уделяют внимание многие производители, в том числе и TI, является собственное потребление микросхемы преобразователя.

Графическое сравнение эффективности преобразователей с синхронным и несинхронным выпрямлением представлено на рисунках 1 и 2. В качестве примера приведены: **TPS54331** (несинхронное выпрямление) и **TPS54325** (синхронное выпрямление). Разница в эффективности на малых токах нагрузки связана, прежде всего, с большим влиянием потерь на переключение в синхронном преобразователе, а также с тем, что на малых нагрузках TPS54331 переходит в режим Eco-mode™ (рисунок 1). На больших токах преобразователь с синхронным выпрямлением имеет более высокий КПД при малых значениях выходного напряжения (рисунок 2) в силу того, что у несинхронного прямое падение напряжения на ди-

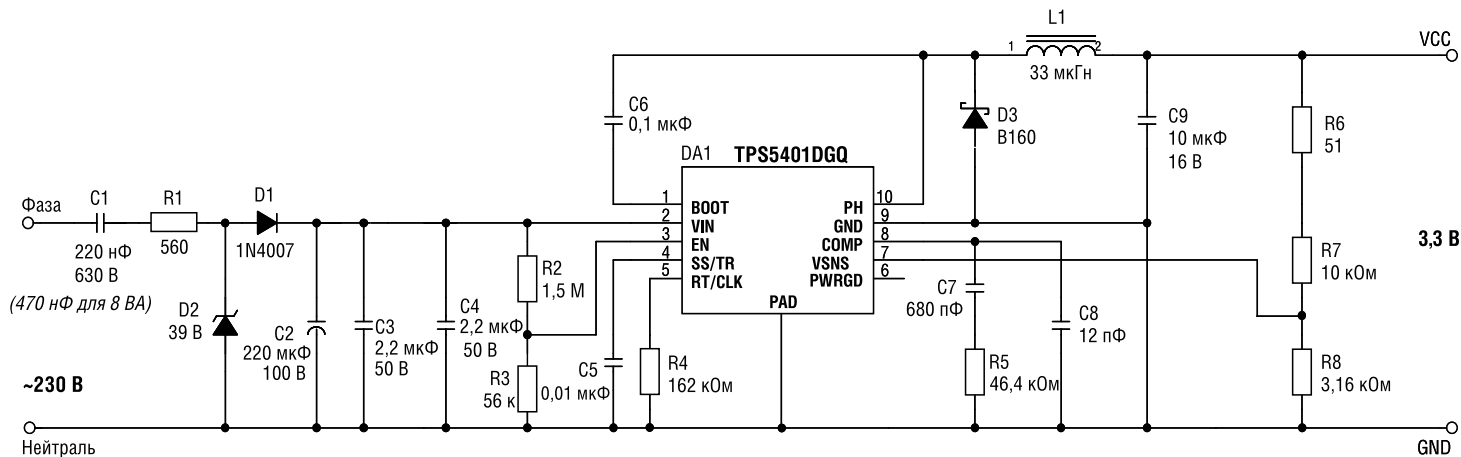


Рис. 3. Схема для увеличения выходного тока преобразователя на гасящем конденсаторе

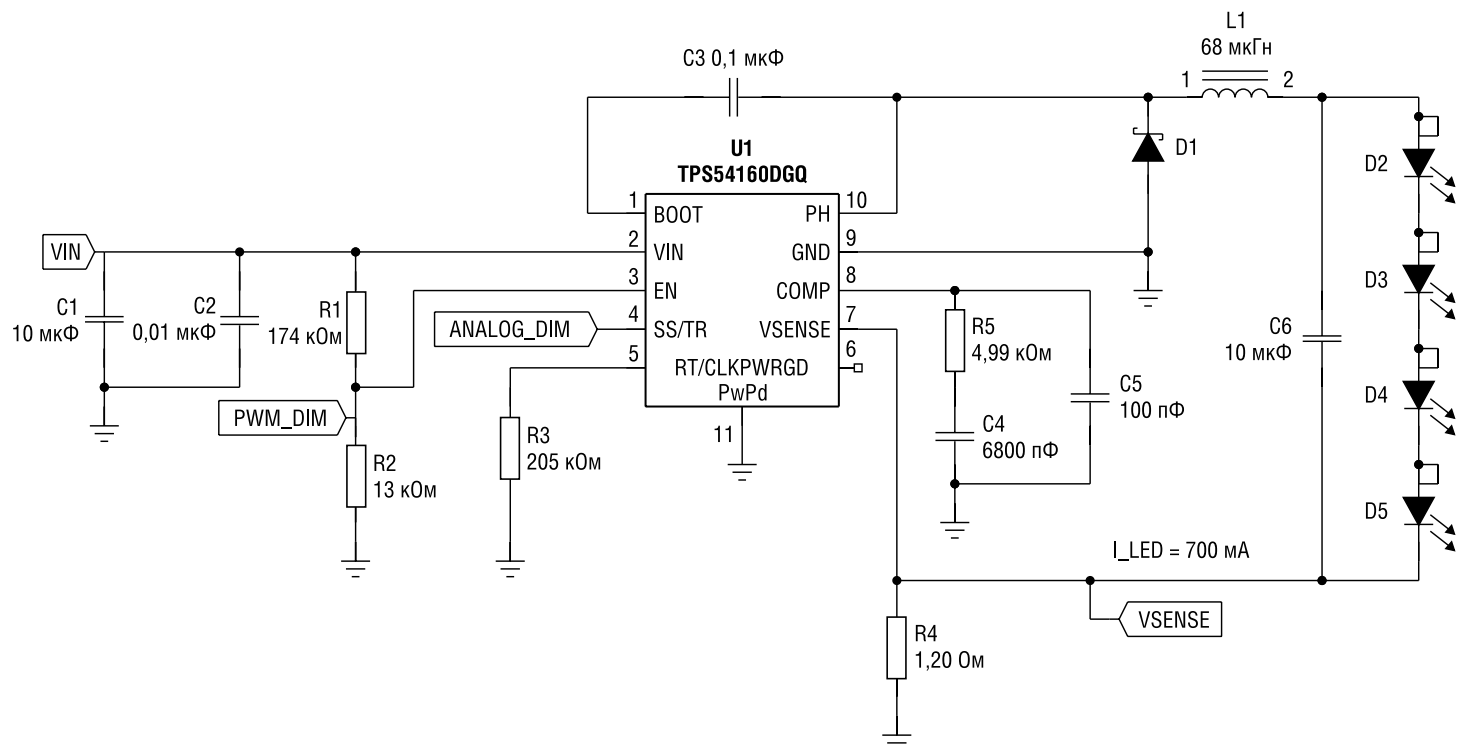


Рис. 4. Понижающий драйвер светодиодов на TPS54160

оде становится сравнимо со значением выходного напряжения.

Резюмируя вышесказанное, можно сделать вывод, что при выборе типа преобразователя следует сначала оценить характер нагрузки. Характеристики эффективности в зависимости от тока нагрузки, входного и выходного напряжений приведены в документации на любой преобразователь TI.

Семейство преобразователей SWIFT™ представлено в таблице 1. Остановимся на описании наиболее интересных новинок. **TPS5401** и **TPS54060/160/260** в первую очередь выделяются очень широким диапазоном входного напряжения от 3,5 до 60 В и выходным током до 2,5 А у TPS54260. Частоту преобразования можно установить в диапазоне от 100 кГц до 2,5 МГц с помощью внешнего резистора. Не секрет, что

многие производители (ST, ONS и другие) расширяют свои линейки DC/DC-преобразователей за счет выпуска микросхем со все более широким входным диапазоном напряжения и высоким выходным током, но TPS54260 на данный момент является безусловным лидером по соотношению этих параметров.

Эти выдающиеся характеристики использованы в полной мере в схеме на рисунке 3. Данная схема позволяет увеличить ток нагрузки емкостного преобразователя напряжения, который очень часто используется в счетчиках электро-

энергии, при этом такое решение привлекательно низкой себестоимостью. Повышение допустимого тока нагрузки особенно актуально в современных счетчиках, в которых применяются продвинутое интерфейсы (например, радиоканал).

Коротко поясним суть этой схемы. Полная мощность в вольт-амперах  $P (B \cdot A) = U_{RMS} \times I_{RMS}$ . Для выполнения требований по ограничению собственного потребления счетчика 4 В·А при напряжении сети 220 В  $I_{RMS}$  необходимо ограничить значением 17,4 мА.

Таблица 2. Сравнение линейного и импульсных регуляторов в схеме с гасящим конденсатором

Параметры	Ивых(max), мА (лин. рег.)	Ивых(max), мА TPS5401	Ивых(max), мА TPS54060
Рвых. < 4 В·А	8	35	49
Рвых. < 8 В·А	16	109	137



Рис. 5. Внешний вид TPS84620

При этом входная емкость вычисляется по формуле:  $C1 = I_{RMS} / (U_{RMS} \times 2\pi f)$ . При частоте сети 50 Гц:  $C1 \geq 240$  нФ. Постоянный ток на входе DC/DC-преобразователя после однополупериодного выпрямителя:  $I_{вхDC} = (I_{AC} \times \sqrt{2}) / \pi$ . При  $I_{RMS} = 17,4$  мА:  $I_{вхDC} = 7,8$  мА. Для линейного стабилизатора  $I_{вхDC} = I_{вхDC}$ , поэтому такой вариант источника питания может использоваться только для простейших счетчиков, у которых максимальный ток потребления находится в пределах 8 мА.

Для импульсного преобразователя:  $I_{вхDC} = P_{вх} / U_{вх}$ ,  $P_{вх} = P_{вх} \times \eta$ ,  $P_{вх} = U_{вхDC} \times I_{вхDC}$ .

Таким образом, при использовании импульсного DC/DC-преобразователя выходной ток  $I_{вхDC}$  является функцией, зависящей от  $U_{вхDC}$  и КПД. Собственно говоря, для большего выходного тока необходимо большее входное напряжение. На практике мы имеем результаты, показанные в таблице 2. Поскольку TPS5401 имеет максимальное входное рабочее напряжение 42 В, а TPS54060 – 60 В, то при использовании последнего можно получить более высокое значение выходного тока.

Еще одним интересным вариантом применения DC/DC-преобразователя серии SWIFT™ является источник питания мощных светодиодов с возможностью аналогового и ШИМ-димминга на базе TPS54160 (рисунок 4).

Данная схема примечательна прежде всего малым количеством элементов обвязки и возможностью использовать только керамические конденсаторы, отказавшись от электролитов. Схема рассчитана на входное напряжение 24 В и номинальное выходное напряжение 14,8 В при токе 700 мА. Таким образом, возможно подключение одной линейки из четырех светодиодов последовательно в режиме 700 мА или двух линеек по 350 мА параллельно (например, светодиоды серий MX6 и MX3 от CREE, соответственно). Подробное описание можно найти по ссылке <http://focus.ti.com/lit/an/slva374/slva374.pdf>.

Для удобства расчета собственного источника питания светодиодов на базе TPS54x60 TI предлагает программу, ре-

ализованную в виде excel-файла, которая доступна по ссылке: <http://focus.ti.com/docs/toolsw/folders/print/leddriver60vsswift-calc.html>.

Описанные выше примеры показывают, насколько разнообразными могут быть варианты применения одного и того же DC/DC-преобразователя вообще и семейства SWIFT™ в частности. В заключительной части статьи хотелось бы обратить внимание на позиции, обладающие впечатляющими характеристиками по величине выходного тока.

**TPS54620** – выходной ток до 6 А, при достаточно широком входном и выходном диапазонах напряжений и максимальной частоте преобразования до 1,6 МГц.

**TPS56221** – выходной ток до 25 А! Выпускается в корпусе 22SON. Выход этой микросхемы стал возможен в связи с приобретением Texas Instruments компании Ciclon Semiconductor, которая являлась производителем MOSFET-транзисторов по технологии NexFET™ с самыми низкими значениями суммарного заряда затвора и сопротивления «сток-исток». Эти транзисторы интегрированы на кристалле преобразователя.

На данный момент финальным аккордом в эволюции DC/DC-преобразователей TI становится **TPS84620**. Фактически это микросхемодуль, в которой интегрированы: контроллер с синхронным выпрямлением + MOSFET-транзисторы (по сути TPS54620), дроссель и часть остальной пассивной обвязки. Этот модуль обеспечивает выходной ток до 6 А, и все это в компактном корпусе BQFN (рисунок 5).

#### Полезные ссылки

Для расчета DC/DC-источников питания TI предлагает программу SwitcherPro™, которую можно скачать по ссылке [www.ti.com/switcherpro](http://www.ti.com/switcherpro). Программа постоянно обновляется (добавляются новые позиции) и является хорошей отправной точкой в разработке

своего DC/DC-преобразователя. Помимо расчета схемы и получения списка компонентов (BOM), можно получить рекомендации по расположению компонентов на плате.

TINA-TI – бесплатный Spice-симулятор от Texas Instruments: [www.ti.com/tina-ti](http://www.ti.com/tina-ti).

Для подбора дросселя можно воспользоваться функционалом нашего сайта [www.compel.ru](http://www.compel.ru). В разделе «Калькуляторы» появился простой расчет, позволяющий подобрать необходимый дроссель при регулируемом выходном напряжении и разных типах нагрузки. Примечателен данный «калькулятор» и тем, что по результатам расчета выводится предложение из складских позиций, подходящих под расчетные параметры. Прямая ссылка <http://catalog.compel.ru/blog/fordesigners/calculators/stepdown/>.

При выборе дросселя серии IHLP от Vishay может пригодиться калькулятор потерь: <http://www.vishay.com/inductors/calculator/calculator/>.

#### Литература

1. «Efficiency of synchronous versus nonsynchronous buck converters», Rich Nowakowski, Ning Tang. Texas Instruments «Analog Applications Journal» 4Q2009. (SLYT358)

2. «TPS5401 Increases Output Current of Cap-Drop Power Supply», Sankar Sadasivam, Harmeet Singh, Michael Gilbert. Texas Instruments «Power Solution of the Month» December 2010.

3. «TPS54160 60-V, Step-Down LED Driver Design Guide», Daniel Acevedo, John Tucker. Application Report SLVA374

4. «Using IHLP's in Automotive Applications», Vishay Application Note.

Получение технической информации, заказ образцов, поставка – e-mail: [mcu.vesti@compel.ru](mailto:mcu.vesti@compel.ru)