

LT8645S — DC/DC-преобразователь Silent Switcher 2 для малошумящих приложений

Вячеслав ГАВРИКОВ
Василий ИЛЬИН
ilyin@argussoft.ru

Существует целый ряд приложений, в которых система питания должна не только обеспечить высокую эффективность, но и соответствовать жестким требованиям ЭМС. Новое поколение DC/DC-преобразователей от компании Analog Devices отличается минимальным уровнем собственных помех благодаря технологии Silent Switcher 2, которая подразумевает интеграцию развязывающих конденсаторов прямо в микросхему регулятора напряжения. Примером такого решения является синхронный преобразователь LT8645S. Он обеспечивает нагрузку до 8 А в широком диапазоне входных напряжений 3,4–65 В и, кроме того, имеет встроенную функцию расширения спектра.

Импульсные DC/DC-преобразователи обеспечивают отличные показатели эффективности в широком диапазоне входных напряжений и выходных нагрузок. Это в первую очередь относится к синхронным преобразователям. К сожалению, расплатой за высокий КПД становится усложнение схемной реализации и высокий уровень собственных помех.

С другой стороны, именно приемлемые показатели электромагнитной совместимости служат гарантией надежной работы сложных электронных систем. Помехи, создаваемые одним блоком, не должны мешать нормальному функционированию остальных блоков. В частности, электронные модули, работающие в составе автотракторной техники, должны отвечать жестким требованиям соответствующих стандартов. Например, ГОСТ 33991-2016 определяет требования к уровню кондуктивных по-

мех электрооборудования автомобильных транспортных средств, а ГОСТ Р 51318.25-2012 (СИСПР 25:2008) задает ограничения на генерацию ВЧ-помех.

Опыт показывает, что уровень собственных шумов определяется не только параметрами DC/DC-преобразователя, но и выбором компонентов, а также качеством компоновки и разводки печатной платы. Так, в традиционных импульсных регуляторах огромное значение имеет выбор и расположение развязывающих конденсаторов (рис. 1). Конденсатор C_{IN} должен обеспечивать минимальный импеданс контура входного тока. Этого можно добиться только при одновременном выполнении двух условий. Во-первых, если для развязки используются конденсаторы с минимальным последовательным сопротивлением ESR, например керамические чип-конденсаторы с диэлектриком X7R. Во-вторых, если эти конденсаторы

расположены максимально близко от вывода микросхемы. Аналогичные требования предъявляются к конденсатору на входе питания контроллера (C_{VCC}) и бутстрепному конденсатору (C_{BST}).

К сожалению, даже эти, казалось бы, простые правила не всегда удается выполнить. Однако производители интегральных импульсных преобразователей стараются упростить жизнь пользователям и постоянно совершенствуют свои микросхемы и технологии. Например, компания LinearTechnology (недавно вошедшая в состав Analog Devices) предложила технологию Silent Switcher 2.

DC/DC-преобразователи, использующие Silent Switcher 2, имеют встроенные конденсаторы C_{IN} , C_{VCC} и C_{BST} . Это дает сразу несколько преимуществ, в том числе обеспечение минимального импеданса на соответствующих входах микросхемы и, как следствие, улучшение шумовых показателей, уменьшение количества внешних компонентов, сокращение места, занимаемого на печатной плате.

Примером высокой эффективности технологии Silent Switcher 2 является понижающий синхронный DC/DC-преобразователь LT8645S. Наличие встроенных конденсаторов в LT8645S позволяет минимизировать уровень кондуктивных и ВЧ-помех. Кроме того, для улучшения показателей ЭМС у LT8645S есть встроенная функция расширения спектра.

Обзор DC/DC-преобразователя LT8645S

LT8645S — синхронный понижающий DC/DC-преобразователь с токовым управлением и широким диапазоном входных напряжений 3,4–65 В. Максимальная

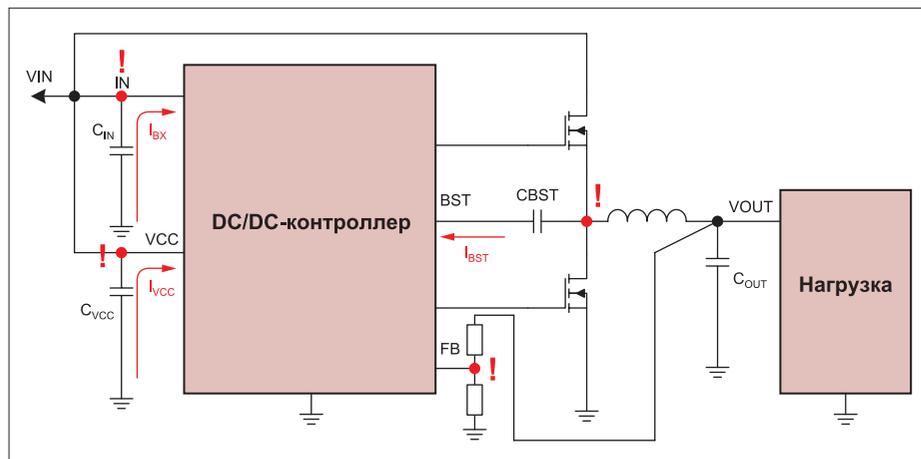


Рис. 1. Расположение развязывающих емкостей и бутстрепного конденсатора имеет большое значение с точки зрения ЭМС

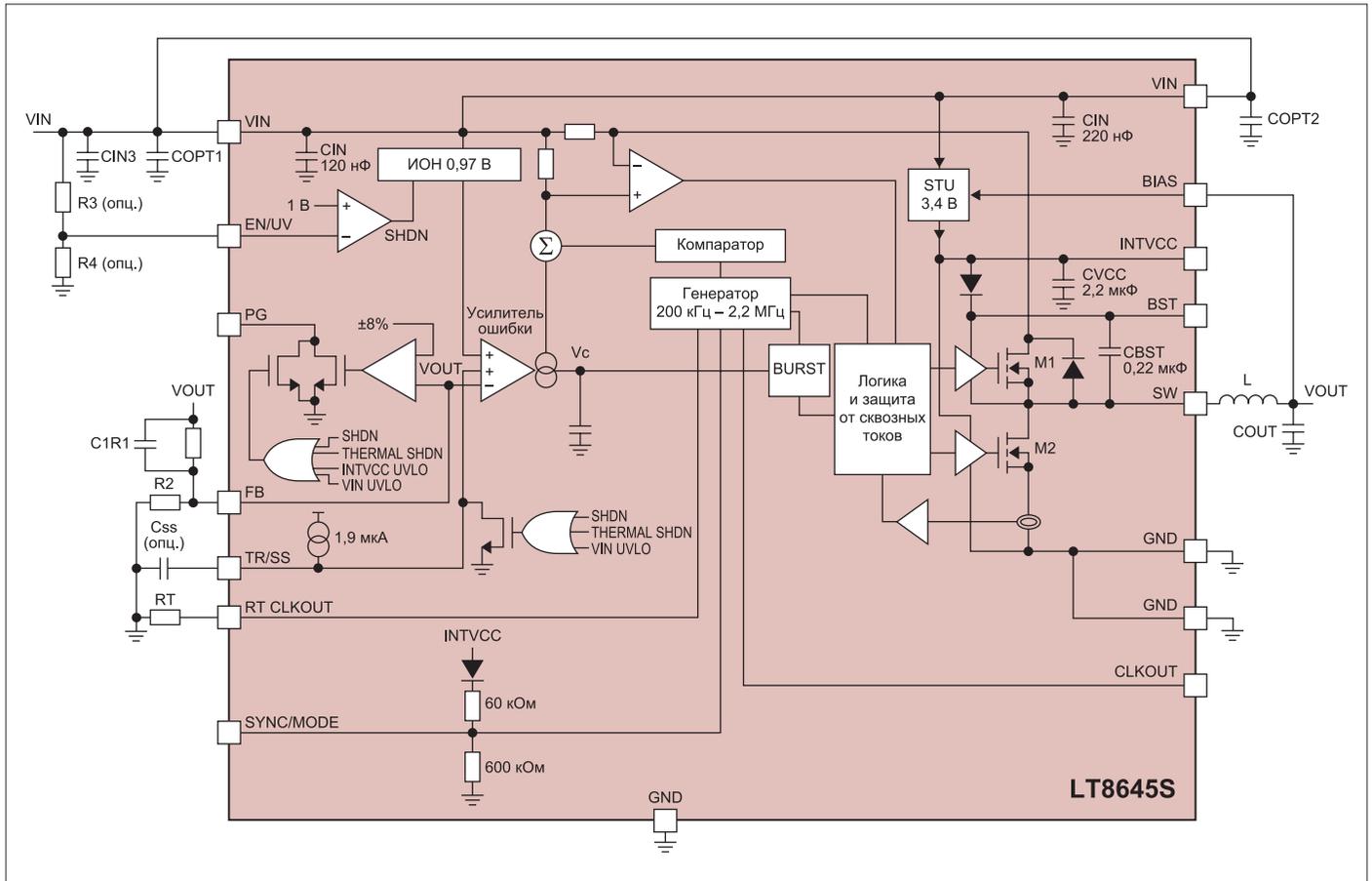


Рис. 2. Внутренняя структура LT8645S

выходная нагрузка LT8645S достигает 8 А. Основные характеристики LT8645S приведены в таблице.

Как было сказано выше, преобразователь LT8645S выполнен по технологии Silent Switcher 2 и отличается наличием встроенных конденсаторов: CIN1, CIN2, CVCC, CBST (рис. 2). Входные конденсаторы CIN1 и CIN2 номиналом 20 нФ гарантируют минимальный импеданс контура входного тока и эффективную высокочастотную развязку.

Схожие преимущества обеспечивает конденсатор CVCC емкостью 2,2 мкФ. Критичная с точки зрения помех цепь бутстрепного конденсатора также оказывается скрытой внутри корпуса преобразователя, что значительно упрощает жизнь разработчикам. Наличие интегрированных конденсаторов существенно улучшает показатели ЭМС конечных устройств и значительно упрощает разводку печатной платы.

LT8645S использует синхронную понижающую топологию. Рабочая частота преобразователя задается одним внешним резистором и лежит в диапазоне 200 кГц – 2,2 МГц. Следует отметить, что широкий диапазон частот позволяет обеспечивать соответствие требованиям ГОСТ Р 51318.25-2012 (СИСПР 25:2008). Дело в том, что согласно этому стандарту необходимо избегать использования частот, отведенных для АМ- и FM-приемников. То есть в идеале — выбрать частоту коммутации либо менее 530 кГц (АМ-модуляция), либо выше 1,8 МГц (FM-модуляция).

Кроме того, LT8645S имеет встроенную функцию расширения спектра. При подключении вывода SYNC/MODE к выводу INTVCC частота коммутации силовых ключей начинает автоматически линейно изменяться в диапазоне 0–20% от заданного значения. Частота модуляции при этом составляет 2,5 кГц.

Расширение спектра дополнительно улучшает шумовые показатели LT8645S. Подробнее об этом речь пойдет далее.

Среди важных достоинств LT8645S можно отметить высокую эффективность, в том числе и при малой нагрузке. Встроенные силовые ключи M1 и M2 обеспечивают минимальные потери проводимости за счет низкого собственного сопротивления. Типовое сопротивление верхнего транзистора M1 составляет 36 мОм, а сопротивление нижнего транзистора M2 — 25 мОм. Низкие динамические потери обеспечиваются минимальным временем коммутации силовых ключей (включение 40 нс, выключение 80 нс) и наличием сразу двух режимов для работы с малыми выходными токами (Burst Mode и Pulse-Skipping Mode).

Режим Burst предусмотрен для получения минимального уровня потребления от 1,7 мкА. При этом встроенный генератор преобразователя отключается. Выходной конденсатор заряжается в течение коротких импульсов, а частота коммутации полностью определяется нагрузкой.

В режиме Pulse-Skipping минимизация потребления достигается за счет пропуска импульсов при малой нагрузке. При этом схема тактирования остается активной и частота коммутации кратна выбранной частоте. Нужно отметить, что уровень потребления в режиме Pulse-Skipping выше, чем в режиме Burst.

Таблица. Характеристики синхронного DC/DC-преобразователя LT8645S	
Параметр	LT8645S
Режим работы	ШИМ с ОС по току
Диапазон входных напряжений V_{IN} , В	3,4–65
Выходной ток I_{OUT} max, А	8
Диапазон рабочих частот, кГц	200–2200
Сопротивление верхнего транзистора, мОм	36
Сопротивление нижнего транзистора, мОм	25
Расширение спектра, %	20
Частота модуляции частоты коммутации, кГц	2,5
Диапазон рабочих температур, °С	–40...+125
Корпус	6×4 мм LQFN-32
Внешняя синхронизация	есть
Настройка выходного напряжения	есть
Настройка плавного запуска	есть
Функция PGOOD	есть
Настройка рабочей частоты	есть
Защита OV/UV	есть
Защита от перегрева	есть
Защита от перегрузки по току	есть

Преобразователи LT8645S имеют традиционный набор защитных функций: от перегрева, просадок напряжения, перенапряжений, перегрузок по току.

Также LT8645S позволяет выполнять настройку длительности плавного запуска с помощью внешнего конденсатора и контролировать готовность выходного напряжения через выход PG (функция Power Good).

Типовые схемы включения LT8645S

Типовая схема включения LT8645S имеет важное отличие от типовых схем включения традиционных преобразователей (рис. 3). Как уже было сказано, высокочастотные развязывающие конденсаторы CIN1, CIN2, CVCC, а также бутстрепный конденсатор CBST уже помещены внутри микросхемы. Поэтому от разработчика потребуются только добавить внешние низкочастотные конденсаторы большой емкости, последовательное сопротивление ESR которых оказывается не критичным.

Корпус LT8645S имеет два вывода VIN. На каждом входе рекомендуется разместить по одному керамическому чип-конденсатору 0,47 мкФ (X7R или X5R). Еще один общий конденсатор 4,7 мкФ следует поместить на входе схемы.

Емкость выходного конденсатора и дроссель фильтра выбирают исходя из требований приложения.

Выходное напряжение схемы задается с помощью традиционного резистивного делителя R_1 , R_2 :

$$R_1 = R_2(V_{out}/0,97 \text{ В} - 1).$$

На рис. 3 $R_1 = 1 \text{ МОм}$, $R_2 = 243 \text{ МОм}$ (выходное напряжение 5 В).

Задание рабочей частоты f_{sw} в LT8645S выполняется с помощью внешнего резистора R_T :

$$R_T = 46,5/f_{sw} - 5,2.$$

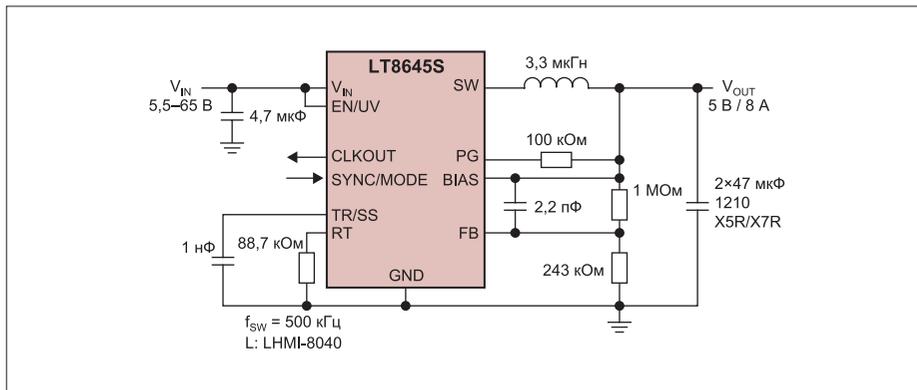


Рис. 3. Типовая схема включения LT8645S с фиксированной рабочей частотой

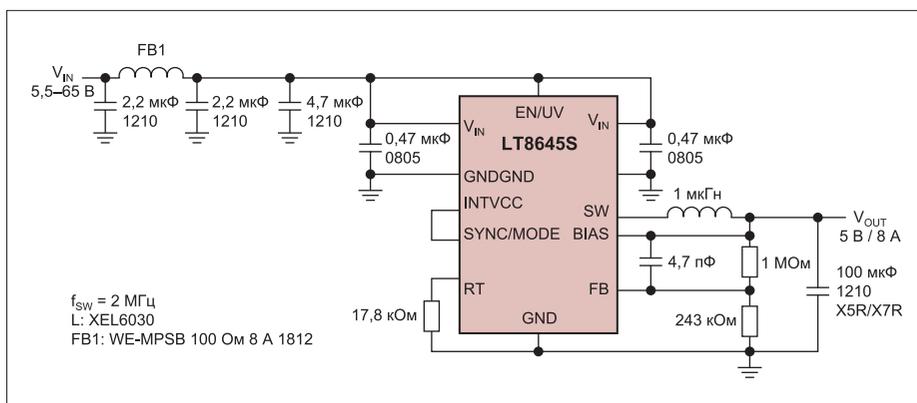


Рис. 4. Типовая схема включения LT8645S с расширением спектра рабочей частоты

На рис. 3 для получения частоты 500 кГц выбран резистор $R_T = 88,7 \text{ кОм}$.

Главным преимуществом LT8645S является низкий уровень собственных шумов. Кроме встроенных конденсаторов, для дополнительного улучшения показателей ЭМС предлагается использовать функцию расширения спектра, которая активируется при подключении вывода SYNC/MODE к выводу INTVCC (рис. 4).

После активации функции расширения спектра частота коммутации начинает линейно изменяться в диапазоне 0–20% от за-

данного значения. Например, если с помощью резистора R_T задана частота 1 МГц, то модуляция будет производиться в диапазоне 1–1,2 МГц.

Расширение спектра позволяет сгладить пики на шумовой частотной характеристике. Это касается как кондуктивных помех (рис. 5), так и ВЧ-помех (рис. 6). Представленные характеристики получены при тестировании отладочной платы DC2468A. При этом LT8645S обеспечивает выполнение жестких требований CISPR25 Class 5.

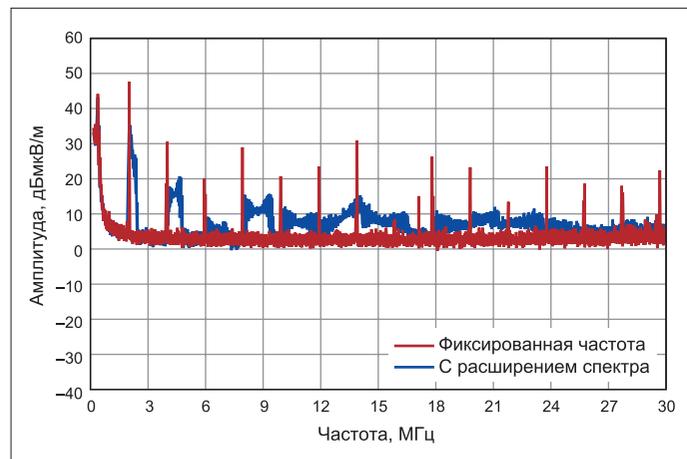


Рис. 5. Кондуктивные помехи LT8645S на примере оценочной платы DC2468A с дополнительным входным фильтром

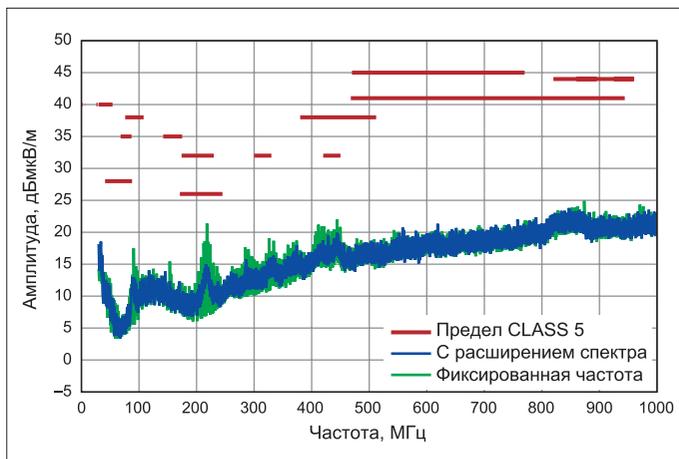


Рис. 6. ВЧ-помехи LT8645S на примере оценочной платы DC2468A с дополнительным входным фильтром отвечают требованиям CISPR25 Class 5

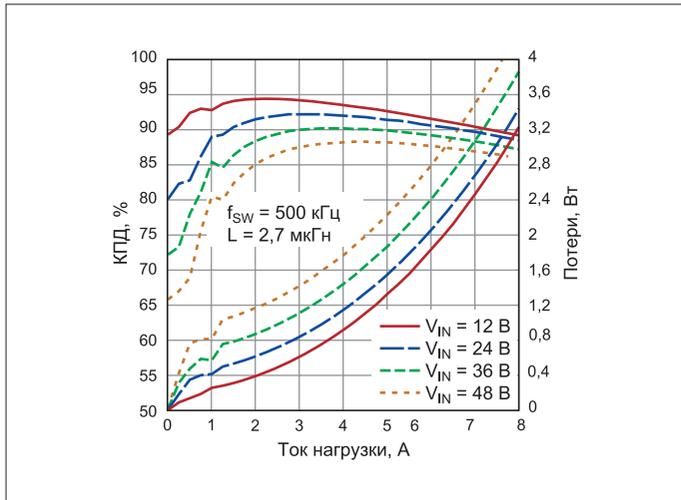


Рис. 7. КПД DC/DC-преобразователя LT8645S в широком спектре нагрузок

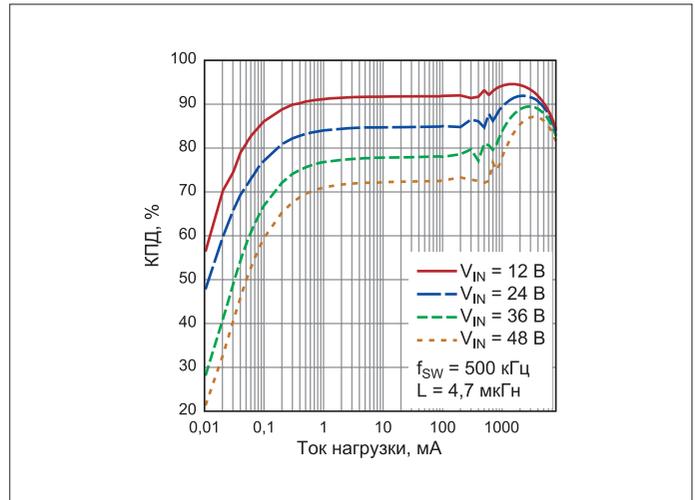


Рис. 8. КПД DC/DC-преобразователя LT8645S в диапазоне малых нагрузок

Важным достоинством LT8645S являются высокие показатели эффективности.

Анализ эффективности LT8645S

Благодаря синхронной топологии, низкому сопротивлению встроенных силовых ключей и минимальному времени коммутации преобразователя LT8645S обеспечивают высокую эффективность 95% (и выше) в широком диапазоне нагрузочных токов (рис. 7).

Для импульсных преобразователей напряжения диапазон малых токов считается наиболее критичным с точки зрения КПД. Для повышения эффективности при малой нагрузке в LT8645S применяются режимы Burst и Pulse-Skipping (рис. 8). Они позволяют поддерживать высокий КПД около 90% даже при выходном токе 100 мА.

Для подтверждения высокой эффективности LT8645S следует обратиться к данным, полученным в ходе испытаний отладочной платы DC2468A. В частности, при полной нагрузке 8 А и входном напряжении 12 В повышение температуры корпуса LT8645S составило 50 °С. Это вполне приемлемый результат с учетом широкого рабочего диапазона температур $-40...+125 \text{ °С}$.

Широкий рабочий диапазон напряжений, высокая эффективность, отличные показатели ЭМС делают DC/DC-преобразователи LT8645S привлекательными в первую очередь для автомобильных приложений, предъявляющих жесткие требования к уровню собственных помех. Однако LT8645S будут интересны и для промышленных источников питания, а также для различных PoL-систем, например в телекоммуникационном оборудовании.

Заключение

Понижающий синхронный DC/DC-преобразователь LT8645S служит примером высокой эффективности технологии Silent Switcher 2, направленной на ограничение уровня собственных помех. Благодаря встроенным входным конденсаторам и бутстрепному конденсатору LT8645S отвечает жестким требованиям современных стандартов ЭМС, например CISPR25. Кроме того, для улучшения шумовых показателей в LT8645S реализована встроенная функция расширения спектра.

Дополнительным преимуществом LT8645S является высокая эффективность, обеспеченная синхронной топологией, минимальными сопротивлениями интегриро-

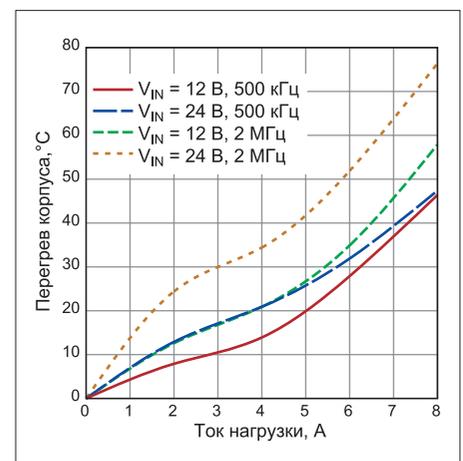


Рис. 9. Изменение температуры корпуса DC/DC-преобразователя LT8645S на примере оценочной платы DC2468A

ванных силовых ключей, а также наличием сразу двух режимов для работы с малыми выходными токами (Burst Mode и Pulse-Skipping Mode).

Литература

1. www.analog.com