

Архитектура Silent Switcher второго поколения — инновационный подход к решению проблем ЭМС DC/DC-преобразователей

Владимир РЕНТЮК
Rvk.moduk@gmail.com
Василий ИЛЬИН
ilyin@argussoft.ru

Разработчики систем распределенного питания — будь это так полюбившаяся в последнее время технология PoL (Power of Load — питание в нагрузку) с одной общей шиной или классическое и более экономичное решение в виде формирования ряда шин — сталкиваются с одними и теми же проблемами. Кроме того, что инженеру необходимо создать оптимальное решение с заданными характеристиками в части питающих напряжений (стабильность, пульсации, переходные процессы, защита, секвенирование и пр.) и токов, от них требуется обеспечить оптимальную эффективность (КПД) и приемлемую стоимость системы организации питания в целом, что напрямую связано с такой непростой проблемой, как электромагнитная совместимость (ЭМС). Последнее подразумевает не только устойчивость по отношению к воздействию внешних электромагнитных полей, но и минимизацию собственных излучаемых электромагнитных помех тех или иных решений, используемых при организации типичной для современной аппаратуры разветвленной системы питания.

Что касается высокого КПД, то здесь бесспорно вне конкуренции импульсные DC/DC-преобразователи. О чем, собственно, уже написаны тома технической литературы, а потому будем воспринимать этот факт как данность. Но ложкой дегтя, которая может испортить всю бочку меда высокого КПД при применении источников питания этой технологии, становятся присущие им пульсации с частотой преобразования (рабочей частотой DC/DC-преобразователя), ее гармониками и артефактами намного более высокой частоты, в виде переходных процессов, связанных с неизбежными паразитными емкостными и индуктивными компонентами, а также скоростью нарастания и спада импульсов в силовых выходных каскадах. Конечное проявление этих негативных явлений — излучаемые и кондуктивные (наводимые на рядом расположенные элементы и проводники) электромагнитные помехи (ЭМП). Убежать от природы импульсных DC/DC-преобразователей, если вы хотите иметь высокий КПД своей системы питания, нельзя. А вот минимизировать последствия от их применения — можно и нужно.

Проблемы ЭМП и ЭМС — это весьма серьезный вызов, который, если не уделить ему должного внимания, может отбросить весь проект на его начальную стадию, именно весь проект, а не конкретную шину

или систему питания одной из нагрузок. Регламентам стандартов, особенностям испытаний, проблемам и их решениям при выполнении требований по ЭМС посвящена серия статей [1–6]. Чтобы победить ЭМП, первое, что обычно предпринимаются квалифицированными разработчиками, — должная фильтрация. Решения в части фильтрации на практических примерах и сравнения приведены в [7, 8]. Но иногда для ответственных применений с каскадами высокой чувствительности, — например, это могут быть сенсоры с их обвеской — общепринятых решений недостаточно, требуется использование дросселя в магнитном экране [9]. Однако присутствие дополнительных фильтров приводит к усложнению схемы и увеличению пространства, занимаемого системой питания, а наличие специального экранированного дросселя помогает справиться и с собственным излучением, что несомненно важно, но не решает проблемы в целом, так как в импульсных DC/DC-преобразователях ЭМП излучает не только силовой дроссель. Далеко не последнюю роль здесь играет и правильная разводка печатной платы, в контексте данной статьи имеется в виду ее участок, где размещена силовая часть DC/DC-преобразователя. Решить проблемы ЭМС, связанные с использованием эффективных в части КПД преобразователей, может снижение скорости

нарастания импульсов, что уменьшит артефакты от переходных процессов, но приведет к росту коммутационных потерь, следовательно, к сокращению КПД. Кроме того, уменьшение крутизны фронтов повышает минимальную длительность рабочего цикла, что в свою очередь потребует увеличения мертвых периодов, необходимого для недопущения сквозных токов, и ограничит минимальную длительность импульса. Все это в целом создаст дополнительные сложности с проектированием контура регулирования DC/DC-преобразователя. Остается еще одно действенное средство — это общее экранирование, но оно ведет к усложнению конструкции и к ее удорожанию. Казалось бы, мы имеем замкнутый круг, который не разорвать без тех или иных компромиссов.

Однако компания Linear Technology Inc. (ныне приобретенная компанией Analog Devices, продукция которой теперь известна под брендом Power by Linear) решила посмотреть на эту проблему по-другому. Инженеры компании взглянули на проблемы КПД и ЭМС глазами не только разработчика микросхемы контроллера DC/DC-преобразователя, но и разработчика его конечного решения. Были поставлены вполне определенные задачи:

1. Обеспечить широкий диапазон входного напряжения для надежной работы от автомобильной батареи: 3–42 В и выше.

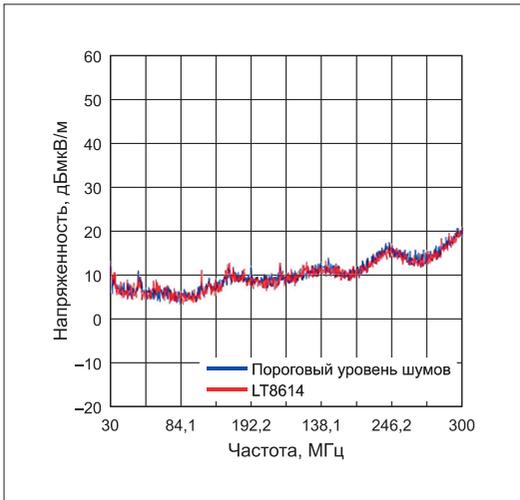


Рис. 1. Уровень порогового шума и шум платы DC/DC-преобразователя, выполненного на базе контролера LT8614, при измерении на соответствие требованиям CISPR25 в безэховой камере

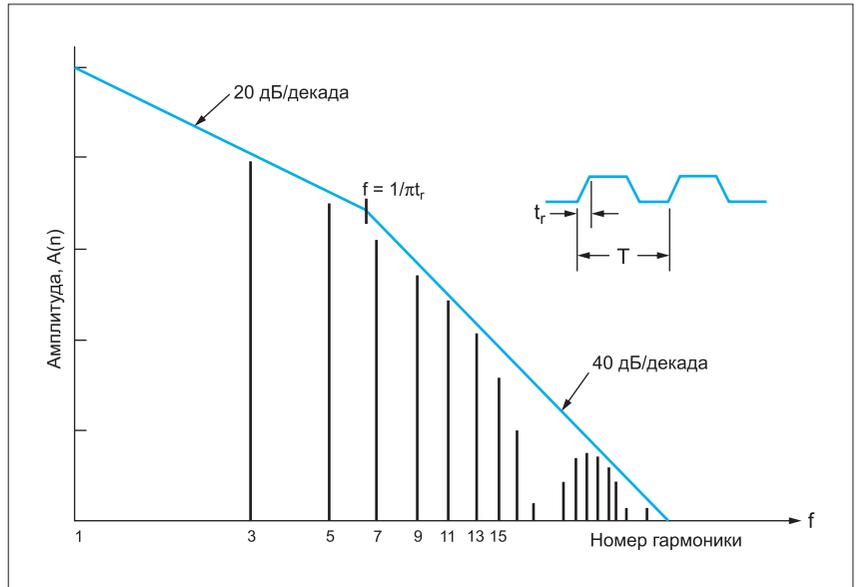


Рис. 2. Спектральная характеристика трапецеидального импульса согласно преобразованию Фурье

2. Путем уменьшения потерь в условиях повышенной температуры достичь высокой эффективности: не менее 90%.
3. Для повышения времени нахождения в ждущем режиме снизить собственный ток потребления до уровня порядка 2 мкА.
4. Уменьшить пульсации и максимально снизить излучаемый уровень ЭМП.
5. Повысить рабочую частоту преобразования, что позволит уменьшить его габариты и перенести излучение выше диапазона АМ, критического для автомобильных приложений.

Основное внимание здесь уделялось устранению излучения ЭМП в автомобильных системах. Хотя CISPR 25 класса 5 предназначен как для излучаемых, так и для наводимых ЭМП, более сложными являются излучаемые помехи. Однако это не говорит о том, что все остальные меры для выполнения требований по ЭМС, касающиеся разводки печатных плат и фильтрации, могут быть проигнорированы.

Мы, как разработчики, в части печатной платы обычно ограничены архитектурой контроллера выбранного типа преобразователя. А он, как правило, является оптимальным с точки зрения исполнения микросхемы, а не конечного схемотехнического решения. Это можно понять, поскольку в разработке печатной платы нам доступна большая гибкость, нежели при проектировании кристалла микросхемы контроллера DC/DC-преобразователя, если принять во внимание еще и его корпусирование.

Но в 2012 году здесь наматился инновационный прорыв. Это произошло в результате реализации компанией Linear Technology нового подхода к проблеме ЭМП и ЭМС DC/DC-преобразователя, получившей весьма удачное и красноречивое название Silent Switcher¹, то есть «тихий переключатель». На основании этого запатентованного решения в 2013 году на коммерчески доступном

уровне была впервые предложена архитектура контроллера DC/DC-преобразователя, которая оказалась весьма удачной с точки зрения как применения, так и минимизации, а точнее — подавления излучаемых силовым каскадом DC/DC-преобразователя ЭМП [10]. С этой архитектурой, впервые использованной в контролере LT8614 [11] тогда еще компании Linear Technology, можно получить DC/DC-преобразователь, аналогичный установленному в экранирующую коробку, но без экрана как такового и без вышеупомянутых недостатков (рис. 1). Базовой для разработки первого инновационного контроллера архитектуры Silent Switcher LT8614 стала микросхема LT8610 [12].

Как уже было сказано выше, источником генерации ЭМП DC/DC-преобразователя является в основном его силовая часть и связанные с ней внешние компоненты. Причина кроется в самой импульсной природе преобразования. Для оценки гармоник традиционного для DC/DC-преобразователей трапецеидального сигнала воспользуемся преобразованием Фурье для трапецеидального сигнала, типового для данных устройств:

$$A(n) = 2A\delta \times \left[\frac{\sin(n\pi\delta)}{\pi\delta} \right] \times \left[\frac{\sin\left(\frac{n\pi t_r}{T}\right)}{\left(\frac{n\pi t_r}{T}\right)} \right]$$

Здесь A — амплитуда импульса; t_r — время нарастания; δ — рабочий цикл $[(t_r+t_0)/T]$; T — период следования импульсов; n — целое число от единицы до бесконечности. Единицы измерения $A(n)$ будут такими же, как единицы, используемые для A , потому что остальная часть уравнения безразмерна. Для упрощения предложенного уравнения времена нарастания и спада приняты равными, в противном случае

за основу берется фронт с максимальной скоростью изменения. В результате мы получаем спектр, приведенный на рис. 2.

Излучение ЭМП может появляться как в дифференциальном, так и в синфазном режиме. Дифференциальные помехи являются следствием самой природы DC/DC-преобразователя, они генерируются большими токами, протекающими по замкнутым контурам схемы (рис. 3). Эти петли действуют как небольшие рамочные антенны, которые, как и следует из больших токов, излучают преимущественно магнитную составляющую поля электромагнитной помехи.

Возникает законный вопрос: зачем минимизировать площадь «горячих петель»? И ответ на него прост: это и есть излучатели ЭМП, когда ключ S1 снова открыт, после цикла запитывания и отпитывания ключа S2 (рис. 3а), ток течет по красным (синим) и зеленым контурам. Скорость изменения тока di/dt в красной и синей петлях ограничена индуктивностью дросселя. Здесь форма тока представляет собой постоянный ток с наложенным треугольным сигналом. Скорость изменения тока di/dt в зеленой петле ограничивается только паразитными процессами, и она намного больше, чем di/dt в красной или синей петле. Зеленая петля — это и есть наша «горячая петля». На рис. 3 связь осуществляется через паразитную емкость между дросселем и емкостями стока и истока МОП-транзисторов M1 (ключ S1) или M2 (ключ S2) соответственно. Еще одна «горячая петля» — схема повышенных напряжения (вольтодобавка) через конденсатор C_{BST} здесь ЭМП замыкается через емкость фильтра C_{VCC} внутреннего стабилизатора (рис. 3б).

Как известно, для периметра петли менее 1/4 длины максимальная интенсивность электрического поля возникает параллельно петле

¹ Silent Switcher — архитектура, запатентованная компанией Linear Technology, патент № 8823345.

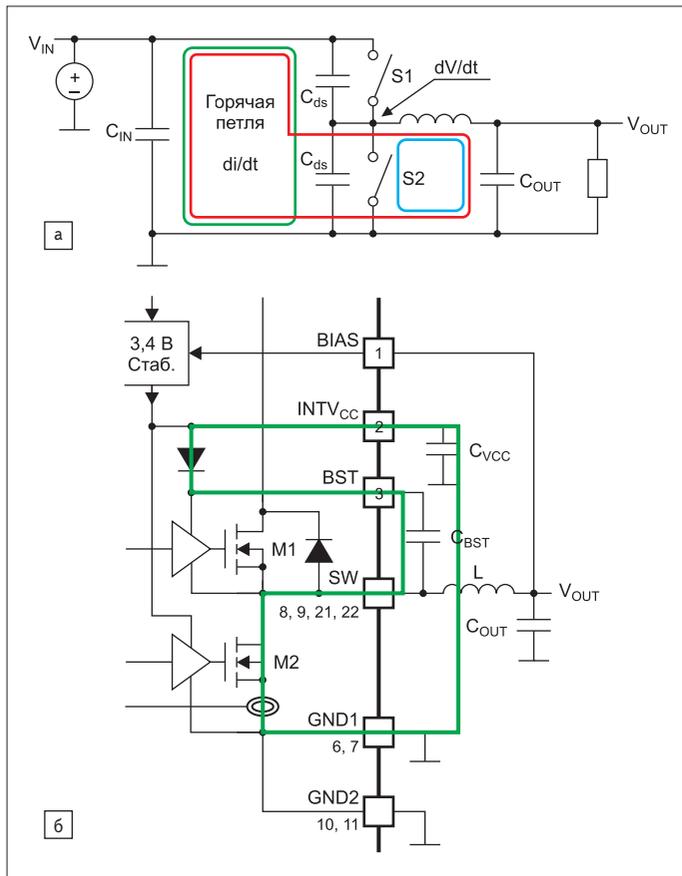


Рис. 3. Контуры протекания больших токов, формирующие ЭМП в типовом понижающем DC/DC-преобразователе: а) упрощенное представление; б) на примере реального контроллера

и пропорциональна частоте, току и площади такой петли. То есть чем круче фронты импульса, тем больше в нем содержится высокочастотных гармоник, а чем выше частота, тем короче антенна, необходимая для ее эффективного излучения. Естественно, никто из разработчиков сознательно не добавляет в проектируемый DC/DC-преобразователь антенну. Однако многие его структуры, в том числе и внутренние, не говоря уже о проводниках печатной платы и силовом дросселе, которые априори являются излучающими антеннами [9], создают проблемы в части выполнения требований по излучению ЭМП и ЭМС. Поэтому, хоть данные излучающие элементы и становятся неизбежным злом как следствие самой природы импульсного преобразования энергии, для того чтобы минимизировать излучение ЭМП и обойтись без общего экранирования, размеры по периметру и площадь таких петель должны быть максимально сокращены.

Здесь необходимо отметить, что синфазное излучение — результат паразитных явлений в схеме и падения напряжения на проводниках. Естественно, что ток, протекающий через импеданс заземления, вызывает определенное падение напряжения. Когда шины питания подключаются к системе, то этот общий провод образует антенну, которая излучает преимущественно электрические поля. Как правило, причины, порождающие синфазные ЭМП, трудно выявить и минимизировать, поскольку они носят недетерминированный характер, зависящий от случайных факторов, и не описываются в документации. Синфазные помехи по своей природе не были бы такой серьезной проблемой, если бы нагрузка была симметричной, линейной и изолированной. Однако наличие малейшей нелинейности в поведении линии связи с нагрузкой или в пути тока, который течет обратно в «землю», приведет к «выпрямлению» синфазной помехи и созданию на ее базе уже дифференциальной.

Именно реализация указанной выше оптимизации легла в основу первого контроллера DC/DC-преобразователя архитектуры Silent

Switcher LT8614, в котором снижение излучения ЭМП достигнуто за счет уникальной внутренней структуры. Согласно описанию рассматриваемой архитектуры, приведенной в ее patente [16], она базируется на разделении одиночных магнитных петель на несколько со связанными противоположными магнитными полями, что позволяет использовать их взаимную компенсацию. Это и приводит к значительно более низкому уровню суммарного магнитного поля и уменьшению уровня ЭМП. В одном варианте реализации данной идеи транзисторы с синхронным переключением делятся на параллельные верхние транзисторы и параллельные нижние транзисторы. Верхние транзисторы расположены так, чтобы работать в противофазе с нижними транзисторами, при этом развязывающие конденсаторы соединены между парами таким образом, чтобы создавать несколько менее нагруженных токовых петель. Компоненты этих петель выполнены с возможностью формирования зеркального отображения тока, поэтому результирующие магнитные поля оказываются в противоположных направлениях и, по существу, замыкаясь, компенсируют друг друга (рис. 4). Однако для того чтобы архитектура Silent Switcher была эффективной, требуется тщательная проработка топологии кристалла микросхемы контроллера, и здесь компания Analog Devices, как владелец всех разработок компании Linear Technology, всех своих карт не раскрывает.

В этом примере, согласно описанию, приведенному в [16], предполагается, что транзисторы M1 (M3) и M2 синхронно переключаются, обеспечивая импульсную подачу напряжения питания V_{IN} к силовому дросселю L1 понижающего DC/DC-преобразователя, а затем, после наработки, дроссель подключают к заземлению. Что касается импульсного стабилизатора напряжения, рассматриваемого нами в качестве примера, то для управления циклом работы ключей и получения заданного выходного напряжения V_{OUT} затворами ключей M1 (M3) и M2 управляет микросхема ШИМ-контроллера. Цикл регулируется через петлю регулирования таким образом, чтобы напряжение обратной связи, пропорциональное выходному напряжению, соответствовало напряжению внутреннего источника опорного напряжения (ИОН). Один из ключей, M1 (M3), является коммутатором питания, а другой, M2, — синхронным выпрямителем, который, по существу, действует как диод с малым собственным падением напряжения. Чтобы избежать короткого замыкания, ключи не активируются одновременно, для этого между циклами их включения формируется пауза — мертвое время. Длительность этой паузы влияет на КПД импульсного стабилизатора и коэффициент снижения напряжения при его преобразовании.

Новый подход к внутренней структуре DC/DC-преобразователей, предусматривающий минимизацию площади и разделение высокочастотного горячего контура на два контура меньшей мощности, позволил оптимизировать разводку преобразователей на печатной плате. Если разводка выполнена правильно, то в целом это приводит к значительно меньшей площади петли и, что, собственно, и лежит в основе архитектуры Silent Switcher, взаимно компенсирующим маг-

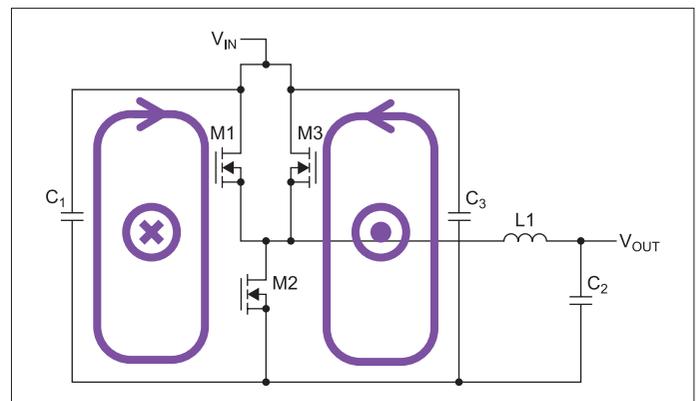


Рис. 4. Компенсация магнитной составляющей поля ЭМП, использованная в архитектуре Silent Switcher. Показаны направления токов и векторы генерируемых ими магнитных полей согласно правилу буравчика

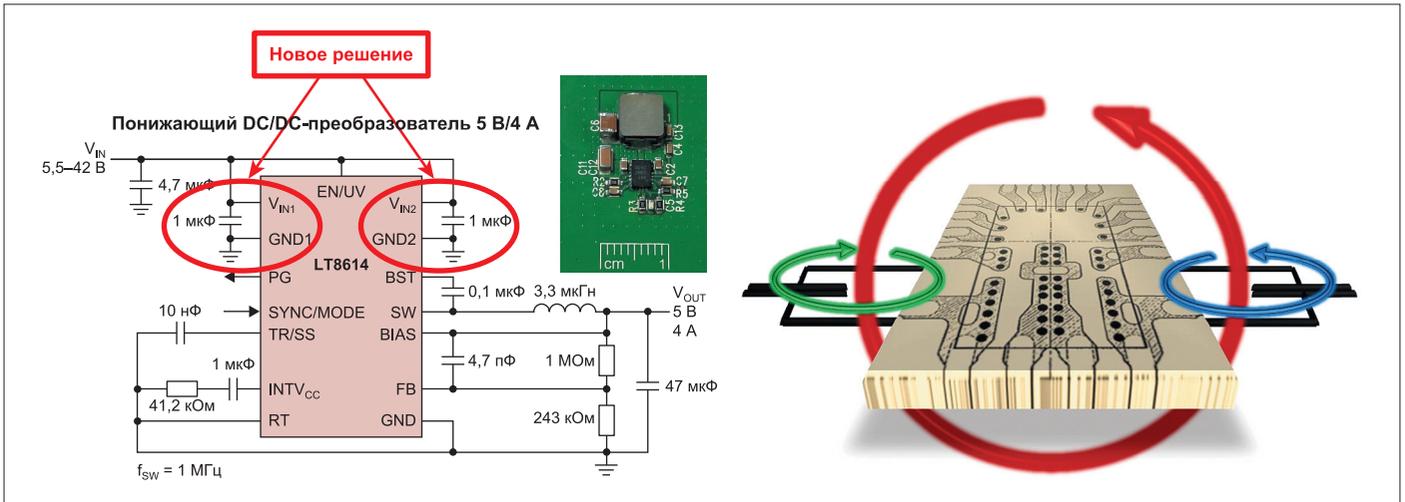


Рис. 5. Пример практического решения в виде понижающего DC/DC-преобразователя, выполненного на контроллере LT8614 архитектуры Silent Switcher. В основе архитектуры Silent Switcher лежит разделение «горячих петель» на две с замкнутыми магнитными полями

нитным полям. Такая компенсация эквивалентна помещению DC/DC-преобразователя регулятора в цельный замкнутый экран.

Это решение в практической плоскости для архитектуры Silent Switcher имеет вид, представленный на рис. 5. Для минимизации токовых петель и создания компенсирующих магнитных полей изменению подверглась внутренняя топология, при этом изменилась и технология корпусирования (рис. 6), но размеры кристалла остались прежними. При этом габариты LT8614 в корпусе QFN (с перевернутым кристаллом) составляют 3×4 мм, такие же, как у LT8610 в корпусе MSOP без учета выводов, так что тут налицо пусть и небольшая, но экономия пространства.

Кроме вышеизложенных инноваций, имеется еще ряд решений, которые не раскрывались компанией Linear Technology и сегодня не раскрываются компанией Analog Devices и упоминаются только в общем контексте. Результатом этого комплексного подхода стало значительное улучшение формы импульса и кардинальное уменьшение «звона» — переходных процессов на вершине и спаде импульса, возникающих вследствие наличия паразитных емкостей и индуктивностей [13]. Можно сказать, что импульс стал практически идеальным (рис. 7). Это чрезвычайно благоприятно сказалось и на уровне излучения собственных ЭМП, особенно в высокочастотной области спектра, и на эффективности, поскольку из-за более крутых фронтов снизились и коммутационные потери. Последнее позволило повысить мощность DC/DC-преобразователя за счет увеличения его выходного тока с 2,5 до 4 А. Что касается общего уровня ЭМП, то по сравнению с базовой версией контроллера LT8610 он уменьшился примерно на 20 дБмкВ [13], что с большим запасом вписывается в пределы по излучению ЭМП, установленные стандартом CISPR22 для класса В.

Как можно видеть, есть явный эффект от использования архитектуры Silent Switcher, и он заключается в том, что ЭМП компенсируются, а площадь «горячих пе-

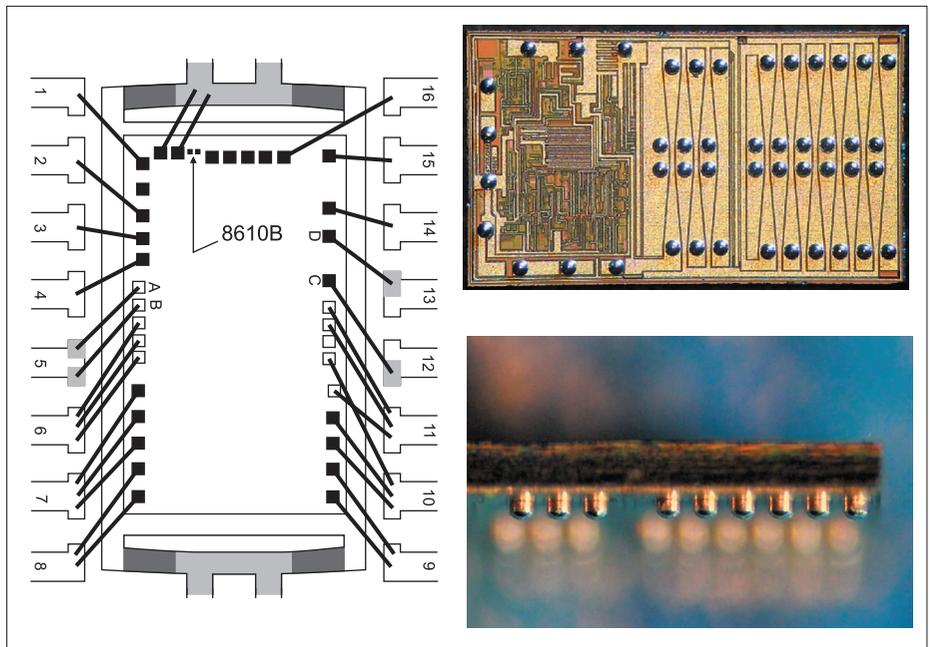


Рис. 6. Изменение внутренней топологии и корпусирования для контроллера DC/DC-преобразователя архитектуры Silent Switcher

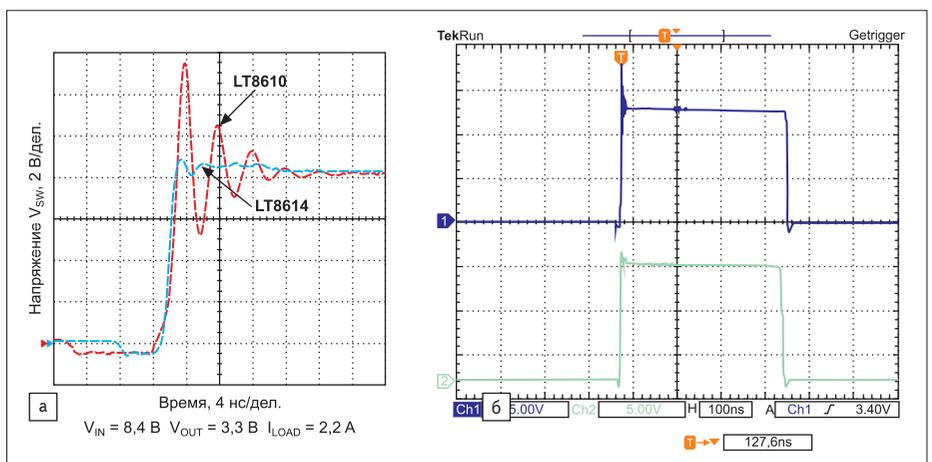


Рис. 7. Форма импульса на силовом дросселе: а) до внедрения архитектуры Silent Switcher; б) после ее внедрения. Условия измерения: входное напряжение $V_{IN} = 8,4$ В; выходное напряжение $V_{OUT} = 3,3$ В; ток нагрузки $I_{LOAD} = 2,2$ А

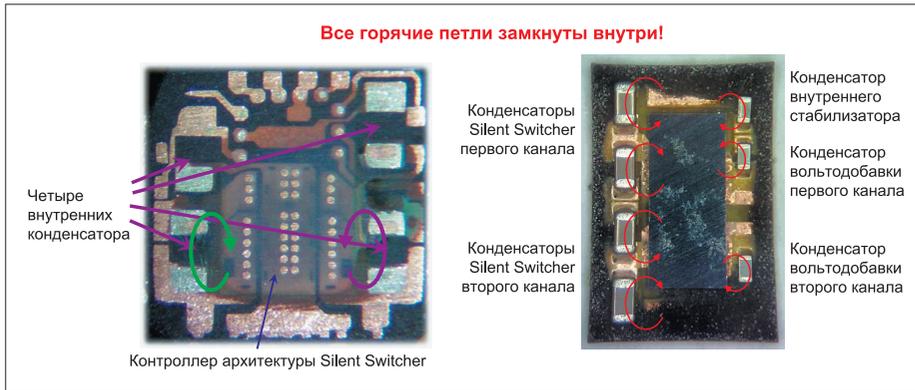


Рис. 8. Silent Switcher 2 — развитие архитектуры Silent Switcher за счет повышения интеграции и сокращения площади «горячих петель» для одноканального и двухканального контроллеров

тель» при этом сокращается. Но разработчики компании нашли еще один путь снижения ЭМП, интегрировав конденсаторы, формирующие петли противозащитного тока, непосредственно в корпус микросхемы контроллера, в том числе и конденсаторов вольтодобавки и фильтра по выходу внутреннего стабилизатора напряжения, также играющих далеко не последнюю роль в формировании «горячих петель» при излучении ЭМП (рис. 8), о чем шла речь в начале статьи (рис. 3). Фактически в корпусе микросхемы мы имеем гибридное решение, выполненное на общей подложке.

Первым представителем архитектуры, получившей название Silent Switcher 2, является выведенный на рынок в 2017 году контроллер понижающего DC/DC-преобразователя LT8640S. Он был разработан как дальнейшее развитие контроллера LT8614 архитектуры Silent Switcher. В это же время появилась и его более мощная версия — контроллер LT8645S/LT8646S [14], блок-схема которого показана на рис. 9.

По вполне понятным причинам интегрировать конденсаторы большой емкости в 32-выводной корпус LQFN размером всего 6×4 мм достаточно сложно, поэтому разра-

ботчики ограничились одним конденсатором C_{VCC} большой емкости 2,2 мкФ в качестве выходного для внутреннего стабилизатора и конденсатором $C_{BST} = 0,22$ мкФ для вольтодобавки, а для замыкания «горячих петель» и формирования компенсирующего магнитного поля ограничились емкостями C_{IN1} и C_{IN2} номиналом в 20 нФ, остальная емкость добавляется уже непосредственно на печатной плате. Для этого используются многослойные керамические конденсаторы типоразмера 0805 и номиналом 4,7 мкФ и более, хотя на практике применяют конденсаторы емкостью до 0,47 мкФ. Впрочем, это в ряде случаев предоставляет определенную гибкость. Что касается корпусирования и внутренней топологии, то, как и в случае с LT8614, разработчики отказались от проволочных выводов, выполнив все подключения через стойки (применена технология перевернутого кристалла), что вместе с интегрированной на общей подложке шиной заземления позволило использовать высокие скорости переключения, уменьшающие коммутационные потери. Такое решение вместе с ноу-хау компании обеспечило рост КПД (рис. 10) до 96% при существенном снижении уровня собственного электромагнитного излучения преобразователя. Как можно видеть на рис. 10, архитектура Silent Switcher не только не снижает эффективность конеч-

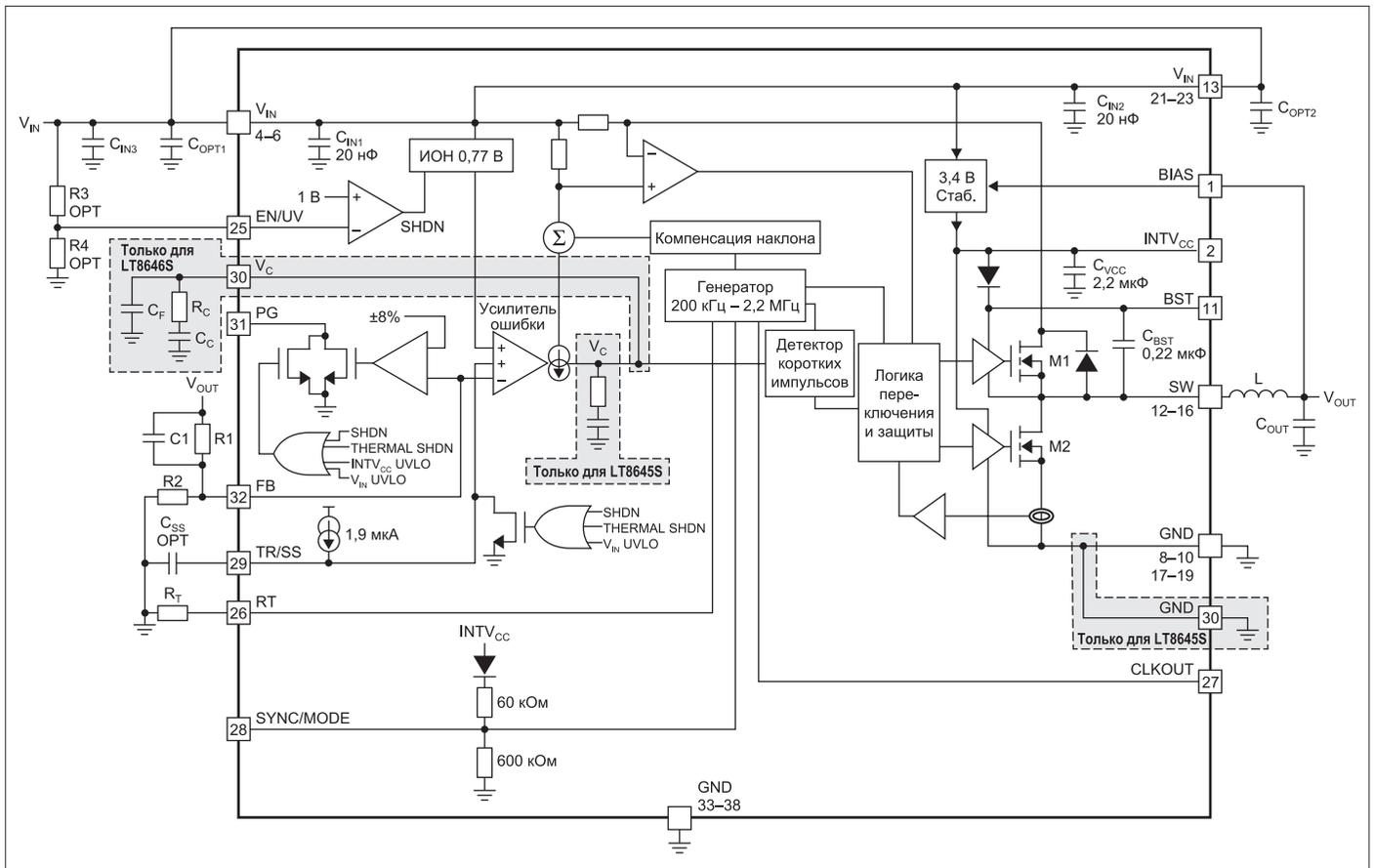


Рис. 9. Блок-схема синхронного контроллера понижающего DC/DC-преобразователя LT8645S архитектуры Silent Switcher 2 с интегрированными компенсирующими конденсаторами

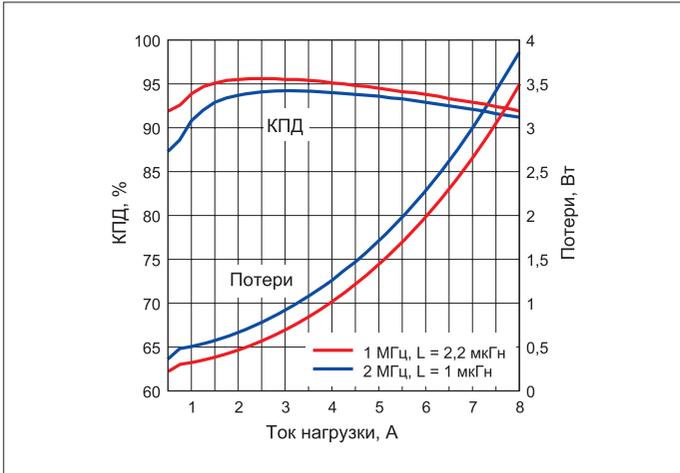


Рис. 10. Зависимость КПД и потерь от тока нагрузки для понижающего DC/DC-преобразователя с входным напряжением 12 В и выходным 5 В, выполненного на основе контроллера LT8645S архитектуры Silent Switcher 2

ного решения, но повышает ее и расширяет диапазон нагрузок, сохраняя высокий КПД.

Весьма хорошо то, что конструктивные особенности архитектуры Silent Switcher 2 обеспечивают низкий уровень излучения независимо от схемы трассировки печатной платы, в том числе при использовании двухслойных плат. При этом уровень ЭМП (рис. 11) не становится критическим даже при удалении входного конденсатора на 3 см [15].

Как можно видеть на рис. 11, рассматриваемая архитектура не ограничивается одноканальными вариантами DC/DC-преобразователей, с ее применением уже доступны и двухканальные решения в виде контроллера LT8650S, выполненные также в 32-выводном корпусе LQFN размером 6×4 мм. Кроме того, имеются и полностью законченные решения в виде модулей (рис. 12), например LTM8053, реализованный по технологии μModule, содержащий силовой дроссель и все элементы обвески.

Для использования микро модуля в конечном приложении необходимо подключение всего двух внешних конденсаторов типоразмера 0805 (входной и выходной) и двух резисторов типоразмера 0603

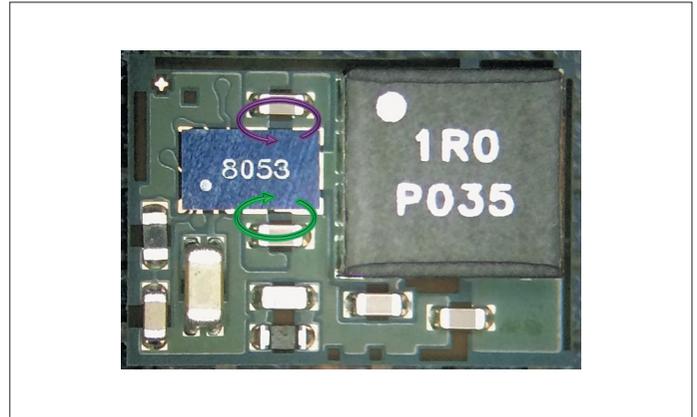


Рис. 12. Микро модуль LTM8053, использующий архитектуру Silent Switcher

(установка рабочей частоты и выходного напряжения). При этом общая монтажная площадь решения не превышает 100 мм², что примерно вдвое меньше, чем у коммерчески доступных аналогичных модулей источников питания той же мощности. Благодаря архитектуре Silent Switcher модуль имеет очень низкий уровень электромагнитных излучений и соответствует требованиям стандарта CISPR 22 класса B, что допускает его применение в системах обработки сигналов с высокой чувствительностью к шумам — например, в устройствах графического отображения информации и радиочастотных системах. Данные по μModule, выполненным на контроллерах архитектуры Silent Switcher, имеются на сайте компании Analog Devices, их более детальное рассмотрение не входило в задачи настоящей статьи.

Что касается контроллеров DC/DC-преобразователей, использующих архитектуру Silent Switcher первого и второго поколения, то в настоящее время разработчикам систем питания коммерчески доступны несколько вариантов, представленных в таблице.

Разработанные компанией Analog Devices под брендом Power by Linear микросхемы и модули архитектуры Silent Switcher 2 — это компактные, высокоскоростные синхронные контроллеры понижающих DC/DC-преобразователей стабилизаторов напряжения с крайне низкими уровнями излучения ЭМП и широким диапазоном входных напряжений, в первую очередь предназначенные для автомо-

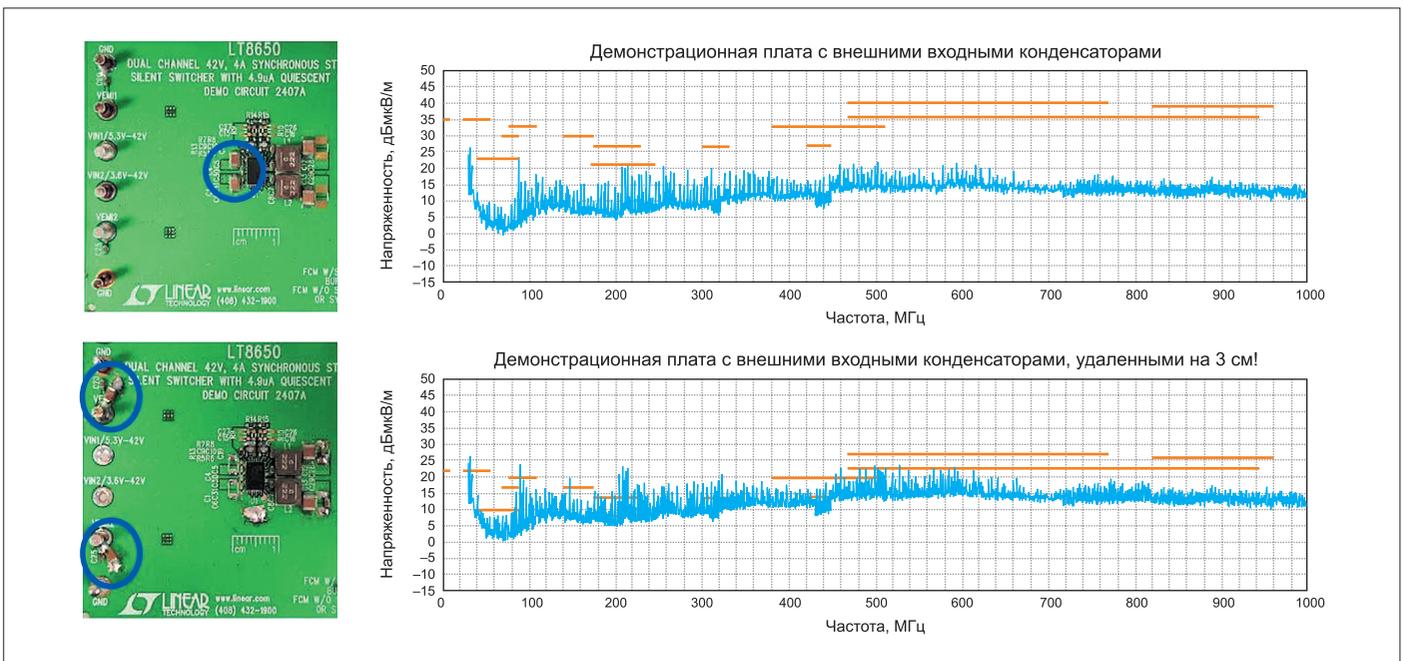


Рис. 11. Сравнение влияния на уровень излучаемых ЭМП места расположения входного конденсатора для плат, использующих DC/DC-преобразователи архитектуры Silent Switcher 2

бильных и транспортных применений. Эти стабилизаторы, разработанные с использованием архитектуры Silent Switcher второго поколения, минимизируют выбросы ЭМП и решают проблемы ЭМС, обеспечивая при этом высокий КПД даже при высоких рабочих частотах переключения. Конструкция рассматриваемых в данной статье контроллеров включает встроенные развязывающие по высокой частоте конденсаторы, плоскость заземления, медные штырьки для подключения, что минимизирует переходные процессы на фронтах импульсов, а это в свою очередь также снижает излучения ЭМП. Благодаря уже встроенным конденсаторам размещение на печатной плате DC/DC-преобразователей, выполненных на базе рассмотренных контроллеров, стало менее критичным. Дополнительные возможности в части уменьшения ЭМП здесь открываются при использовании технологии размытия спектра, применение которой предусмотрено общим решением архитектуры всех контроллеров от Analog Devices данного направления (рис. 13) [17].

Синхронные выпрямители, примененные в рассматриваемых контроллерах архитектуры Silent Switcher и Silent Switcher 2, при частоте переключения 2 МГц обеспечивают КПД до 95%. Стабилизация по пиковому току с минимальным временем выключения 30 нс позволяет реализовывать преобразователи с высокими коэффициентами понижения при высоких частотах переключения. Этот режим предоставляет разработчикам возможность оптимизировать КПД, избегая критических, чувствительных к ЭМП полос частот. В режиме Burst Mode (генерация пачек импульсов) стабилизаторы имеют сверхнизкий ток покоя и оказываются весьма эффективным решением при питании очень малых нагрузок. Во всех режимах работы стабилизаторы архитектур Silent Switcher 2

Таблица. Контроллеры синхронных понижающих DC/DC-преобразователей с низким уровнем ЭМП архитектуры Silent Switcher и Silent Switcher 2

Наименование	Число выходов	Диапазон входного напряжения V_{IN} , В	Выходной ток	Макс. КПД (2 МГц, $V_{IN} = 12$ В, $V_{OUT} = 5$ В), %	Ток потребления, мкА	Технические особенности	Тип и размеры корпуса
LT8650S	2	3–42	Два канала по 4 А, пиковый 6 А на каждый канал	94,6	6,2	Silent Switcher 2	6×4×0,94 мм LQFN
LT8645S	1	3,4–65	8 А	94	2,5	Silent Switcher 2	6×4×0,94 мм LQFN
LT8646S	1	3,4–65	8 А	94	2,5	Silent Switcher 2, внешняя компенсация	6×4×0,94 мм LQFN
LT8643S	1	3,4–42	6 А постоянный, 7 А пиковый	95	120	Silent Switcher 2, внешняя компенсация	4×4×0,94 мм LQFN
LT8640S	1	3,4–42	6 А постоянный, 7 А пиковый	95	2,5	Silent Switcher 2	4×4×0,94 мм LQFN
LT8609S	1	3–42	2 А постоянный, 3 А пиковый	93	2,5	Silent Switcher 2	3×3×0,94 мм LQFN
LT8641	1	3–65	3,5 А постоянный, 5 А пиковый	94	2,5	Silent Switcher	3×4 мм QFN-18
LT8640	1	3,4–42	5 А постоянный, 7 А пиковый	95	2,5	Silent Switcher, Burst Mode	3×4 мм QFN-18
LT8640-1	1	3,4–42	5 А постоянный, 7 А пиковый	95	2,5	Silent Switcher, режим FCCM	3×4 мм QFN-18
LT8614	1	3,4–42	4 А	94	2,5	Silent Switcher	3×4 мм QFN-18

Примечание. Для приведенных контроллеров доступны демонстрационные платы, файлы для проектирования печатных плат и модели для симулятора LTpowerCAD.

требуют крайне незначительной (на уровне чуть выше 100 мВ при токе 1 А) разницы между минимальным входным и выходным напряжениями.

Особенности общих конструктивных решений и ноу-хау, заложенные в контроллеры архитектуры Silent Switcher 2, гарантируют низкие уровни излучения ЭМП, а также небольшое по занимаемой площади решение источника питания, исключая его критичность к компоновке печатной платы. Технические особенности и высокие характеристики контроллеров понижающих DC/DC-преобразователей архитектуры Silent Switcher 2 позволяют использовать эти устройства на любой печатной плате, упростить решение конечного продукта и снизить риски нарушения требований по ЭМС даже при использовании двухслойных плат. ■

Литература

1. Рентюк В. Электромагнитная совместимость: проблема, от которой не уйти // Компоненты и технологии. 2017. № 7.
2. Рентюк В. Что нужно знать об испытаниях на выполнение требований по ЭМС для изделий коммерческого назначения // Компоненты и технологии. 2017. № 7.
3. Петит Г. Что нужно знать об испытаниях на выполнение требований ЭМС для изделий военного и аэрокосмического назначения. Краткий обзор // Компоненты и технологии. 2017. № 8.
4. Петит Г. Что требуется при подготовке изделия для испытаний, как их проводят и чем они заканчиваются // Компоненты и технологии. 2017. № 9.
5. Уайт К. Устранение проблем, выявленных в ходе испытаний изделия на выполнение требований по ЭМС // Компоненты и технологии. 2017. № 10.
6. Хейс С. Что такое риски и анализ рисков применительно к ЭМС // Компоненты и технологии. 2017. № 11.
7. Рентюк В. Влияние выбора компонентов, схемотехнического и конструктивного решений на вопросы ЭМС современных DC/DC-преобразователей. Часть 1 // Компоненты и технологии. 2018. № 2.
8. Рентюк В. Влияние выбора компонентов, схемотехнического и конструктивного решений на вопросы ЭМС современных DC/DC-преобразователей. Часть 2 // Компоненты и технологии. 2018. № 3.
9. Браманпалли Р. Перевод и дополнения: Рентюк В. Проблема излучения ЭМП силовым дросселем DC/DC-преобразователя и варианты ее решения // Компоненты и технологии. 2018. № 6.
10. Armstrong T. Silent Switcher Technology. Analog Devices, Inc., 2017. www.mouser.com/pdfdocs/ACTSilentSwitcher.pdf

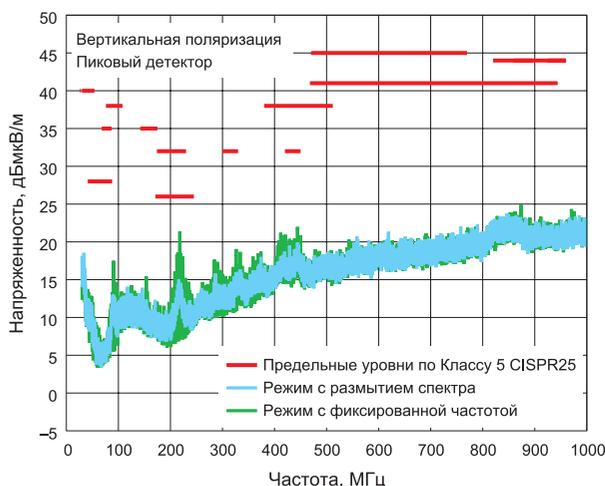


Рис. 13. График излучения ЭМП для DC/DC-преобразователя, выполненного на контроллере LT8640S

11. LT8614: 42V, 4A Synchronous Step-Down Silent Switcher with 2.5µA Quiescent Current Data Sheet, LT 0617 Rev D. Linear Technology Corporation, 2013. www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/8614fd.pdf
12. LT8610 42V, 2.5A Synchronous Step-Down Regulator with 2.5µA Quiescent Current. Linear Technology Corporation, 2012. www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/8610fa.pdf
13. Kueck C. Reduce EMI and Improve Efficiency with Silent Switcher Designs. Application Note 144 November 2013. Linear Technology Corporation, 2013. www.analog.com/media/en/technical-documentation/application-notes/an144f.pdf
14. LT8645S/LT8646S 65V, 8A Synchronous Step-Down Silent Switcher 2 with 2.5µA Quiescent Current. Analog Devices, Inc., 2017. www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/8645sfa.pdf
15. Linear Technology. Analog Devices Silent Switcher 2 Regulators. www.analog.com/en/education/education-library/videos/5631869949001.html
16. Shtargot L., Cheng D., Gardner J., Witt J., Kueck C. Magnetic field cancellation in switching regulators, US8823345B2 US Grant, 2012-10-19. Linear Technology Corp. www.patents.google.com/patent/US8823345B2/en
17. Armstrong T. Low EMI/EMC Emission Switching Converter Eases ADAS Designs. Analog Dialog, Jan. 2018. www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/low-emi-emc-emission-switching-converter-eases-adas-designs.html

Статья опубликована в журнале «Компоненты и технологии» № 7'2018