

# Влияет ли ориентация дросселя импульсного источника питания на излучаемые электромагнитные помехи?

К. Солуша<sup>1</sup>, Дж. Ли<sup>2</sup>, Ф. Ван<sup>3</sup>

УДК 621.318.43 | ВАК 05.27.01

Чтобы снизить уровень электромагнитных помех в импульсных источниках питания следует учитывать ряд факторов, в том числе характеристики преобразователей, компоновку печатной платы, конструкцию и расположение критичных с точки зрения излучения помех компонентов. В статье рассмотрены конструктивные особенности дросселей, включая расположение и форму выводов, материал сердечника и другие параметры, влияющие на уровень электромагнитных помех. Обсуждаются результаты испытаний демонстрационной платы на базе драйвера светодиодов на излучаемые помехи при двух вариантах ориентации дросселя.

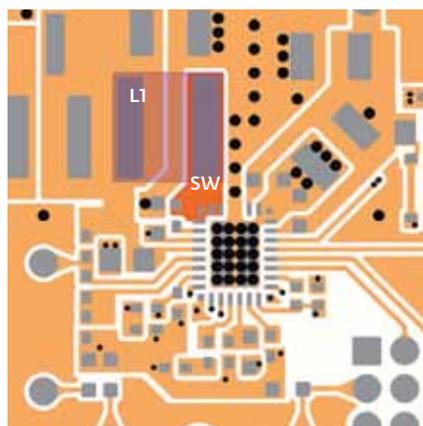
**С**пектр электромагнитных помех, создаваемых импульсными источниками питания, зависит от ряда параметров, включая площадь «горячего» контура, скорость (крутизну сигнала) и частоту переключения, входную и выходную фильтрацию, экранирование, компоновку платы и заземление. Один из потенциальных источников излучаемых помех – коммутационный узел. Медные проводники в этом узле могут действовать как антенна, передавая помехи, генерируемые быстрыми переключениями. Это основной источник излучаемых помех для большинства импульсных стабилизаторов.

Количество медных проводников в коммутационном узле в верхнем слое печатной платы, безусловно, должно быть минимизировано, чтобы ограничить площадь антенны. При использовании монолитного импульсного стабилизатора (силовой ключ встроен в ИС) коммутационный узел представляет собой короткий проводник на верхнем слое платы, соединяющий ИС и дроссель. При использовании контроллера (силовой ключ расположен вне ИС контроллера) коммутационный узел может быть расположен отдельно на ключах, далеко от ИС. В топологиях понижающего и повышающего преобразователя медный проводник коммутационного узла подключается к одному из выводов дросселя. Из-за того, что приходится принимать во внимание целый ряд факторов, влияющих на характеристики устройства, проектирование топологии коммутационного узла в верхнем или внутренних

слоях печатной платы (в плоскости XY) представляет собой настоящее искусство (рис. 1).

## ГЕОМЕТРИЯ ДРОССЕЛЯ

С учетом конструкции выводов дросселя коммутационный узел также простирается в вертикальной плоскости (в плоскости Z). Вертикальная ориентация выводов катушки может усилить антенный эффект и увеличить излучение помех. Кроме того, внутренние обмотки дросселя могут быть несимметричными. Даже если в дросселе симметричная конструкция выводов, индикатор полярности на его корпусе может указывать на другие особенности компонента. На рис. 2 показана структура внутренней обмотки дросселя Coilcraft серии XAL. Обмотка из плоского провода начинается в нижней части компонента и заканчивается на верхней части, поэтому в плоскости Z один вывод оказывается намного короче другого.

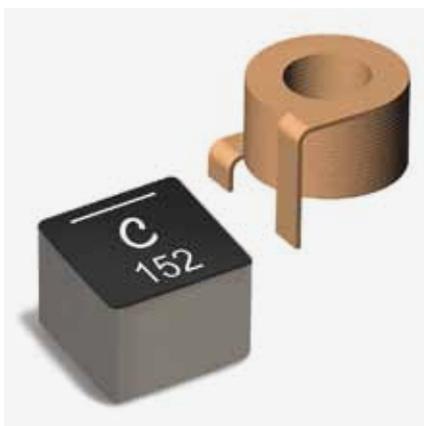


**Рис. 1.** На топологии печатной платы DC3008A светодиодного драйвера LT8386 цветом выделен коммутационный узел в верхнем слое платы (в плоскости XY)

<sup>1</sup> Analog Devices, директор по применению, keith.szolusha@analog.com.

<sup>2</sup> Analog Devices, специалист по применению, gengyao.li@analog.com.

<sup>3</sup> Analog Devices, инженер по испытаниям, frank.wang@analog.com.

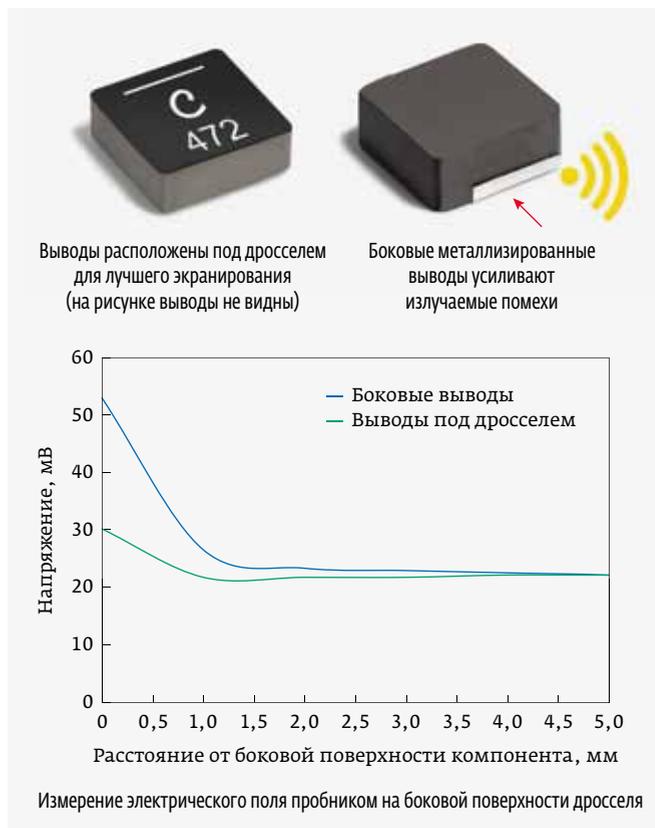


**Рис. 2.** Белая полоса на корпусе дросселя Coilcraft XAL указывает на короткий вывод катушки (на корпусе выводы не видны)

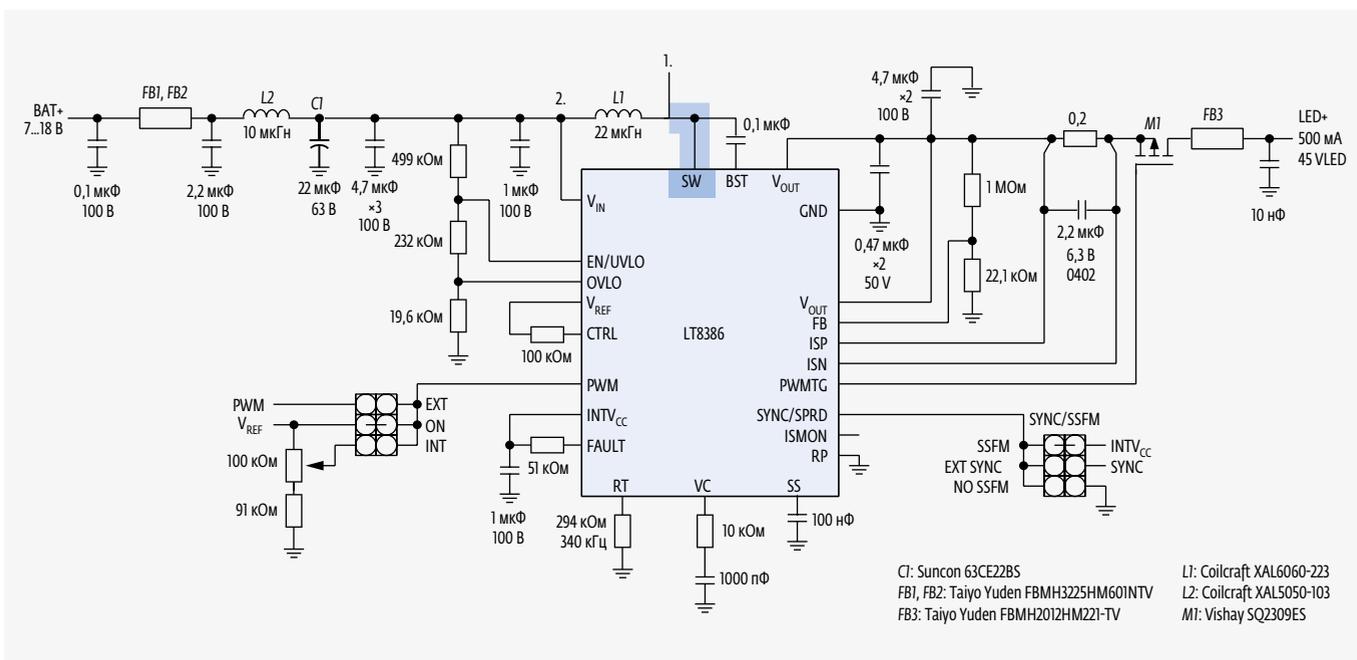
Кроме того, дроссели с открытыми боковыми выводами могут работать хуже, чем с экранированными вертикально расположенными выводами, как показано на рис. 3. Разработчики могут выбрать дроссели, у которых минимальная площадь вертикальных и открытых выводов, чтобы уменьшить электромагнитные помехи, но как насчет ориентации выводов дросселя и их влияния на излучаемые помехи?

### ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИЗЛУЧАЕМЫЕ ПОМЕХИ

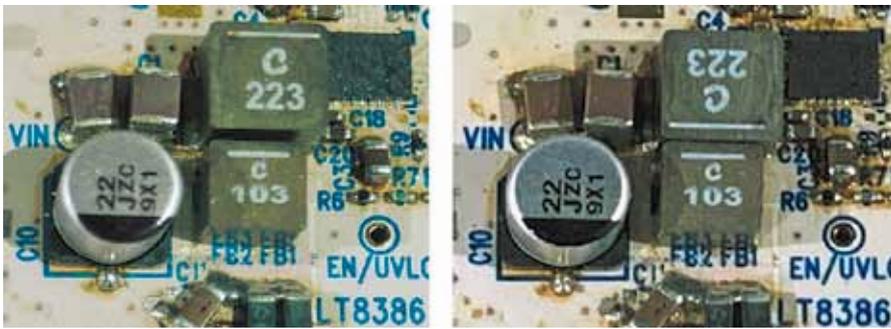
Низкий уровень излучаемых помех тестируемой платы зависит от сочетания характеристик ИС и особенностей компоновки платы. Даже при использовании монолитной ИС с низким уровнем помех необходимо уделить



**Рис. 3.** В схемах, чувствительных к электромагнитным помехам, следует обращать внимание не только на ориентацию, но и на тип выводов дросселя



**Рис. 4.** На схеме платы DC3008A драйвера светодиодов LT8386 коммутационный узел SW выделен цветом (на плате предусмотрена возможность менять ориентацию дросселя L1 для сравнения результатов испытаний)



**Рис. 5.** Варианты ориентации дросселя Coilcraft XAL6060-223MEB на демонстрационной плате для LT8386: слева – короткий вывод на узле SW (ориентация 1); справа – длинный вывод на узле SW (ориентация 2)

внимание топологии платы, а также учитывать расположение и ориентацию критичных с точки зрения излучения помех компонентов. Чтобы проверить это, авторы исследовали влияние ориентации основного дросселя  $L1$  на демонстрационной плате для LT8386 (рис. 4, 5). На корпусе дросселя серии XAL6060 от Coilcraft нанесена белая полоса, указывающая на короткий вывод компонента. Типовые испытания на кондуктивные и излучаемые помехи по стандарту CISPR 25 в камере электромагнитных помех показали, что ориентация этого дросселя критически влияет на характеристики устройства.

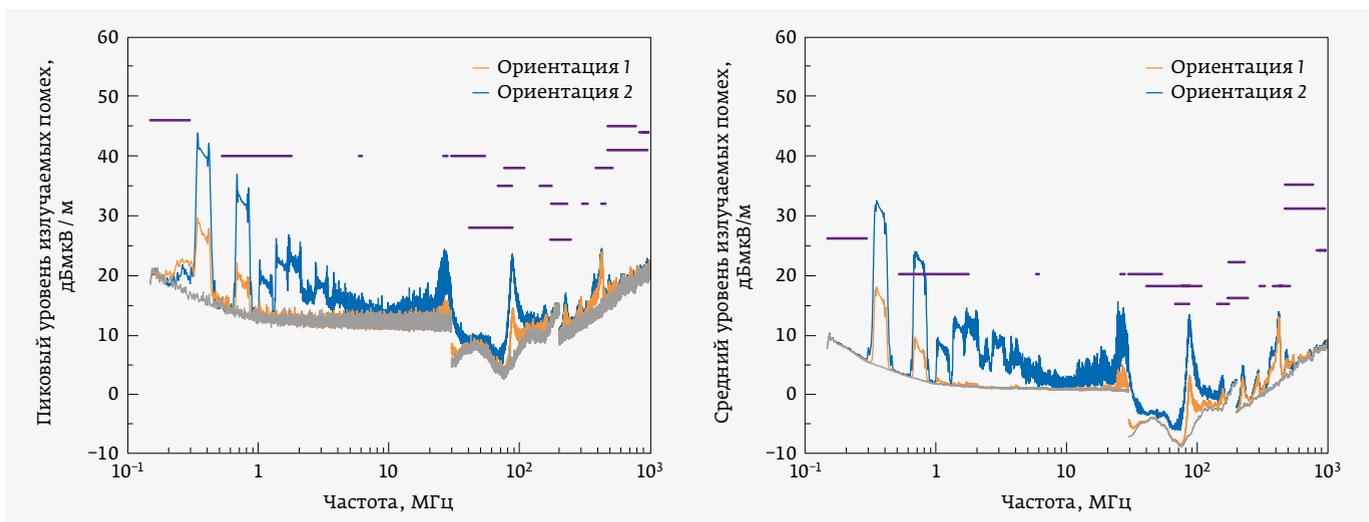
На рис. 6, 7 и 8 показано, что на характеристики излучаемых помех демонстрационной платы DC3008A напрямую влияет ориентация дросселя  $L1$  без каких-либо изменений других компонентов. В частности, в диапазонах низких частот (от 150 кГц до 150 МГц) и FM (от 70 до 108 МГц) отмечаются более низкие помехи

при ориентации дросселя 1, то есть с коротким выводом, размещенным на коммутационном узле SW. Нельзя также игнорировать разницу в уровне помех от 17 до 20 дБмкВ/м в диапазоне AM.

Не все дроссели одинаковы. Направление намотки, форма и тип выводов, даже материал сердечника могут различаться. Магнитные и электрические поля, создаваемые сердечниками, изготовленными из разных материалов и в разных конструктивных исполнениях, могут влиять на уровень излучаемых дросселем помех. Однако анализ этих ситуаций выявляет возможности, которые можно использовать.

### ДРОССЕЛИ БЕЗ ИНДИКАТОРА ПОЛЯРНОСТИ

Ориентацию дросселя легко определить, если с помощью маркировки, нанесенной, как правило, шелкографией, указано различие размеров внутренних выводов компонента. Если выбрана одна из таких катушек, целесообразно наносить метку на печатной плате, монтажной схеме и даже в принципиальной электрической схеме. К сожалению, у некоторых дросселей нет индикатора полярности или маркировки короткого вывода. Структура обмотки внутри катушки может быть как близкой к симметричной, так и нет. Здесь нет злого умысла – производители могут не знать об этой конкретной особенности сборки компонента. В любом случае мы рекомендуем измерять излучаемые помехи при двух ориентациях выбранного



**Рис. 6.** Характеристики излучаемых помех показывают, что ориентация дросселя на плате DC3008A оказывает значительное влияние на результаты (когда короткий вывод подсоединен к узлу SW (ориентация 1, минимальный размер антенны), излучаемые помехи значительно уменьшаются)

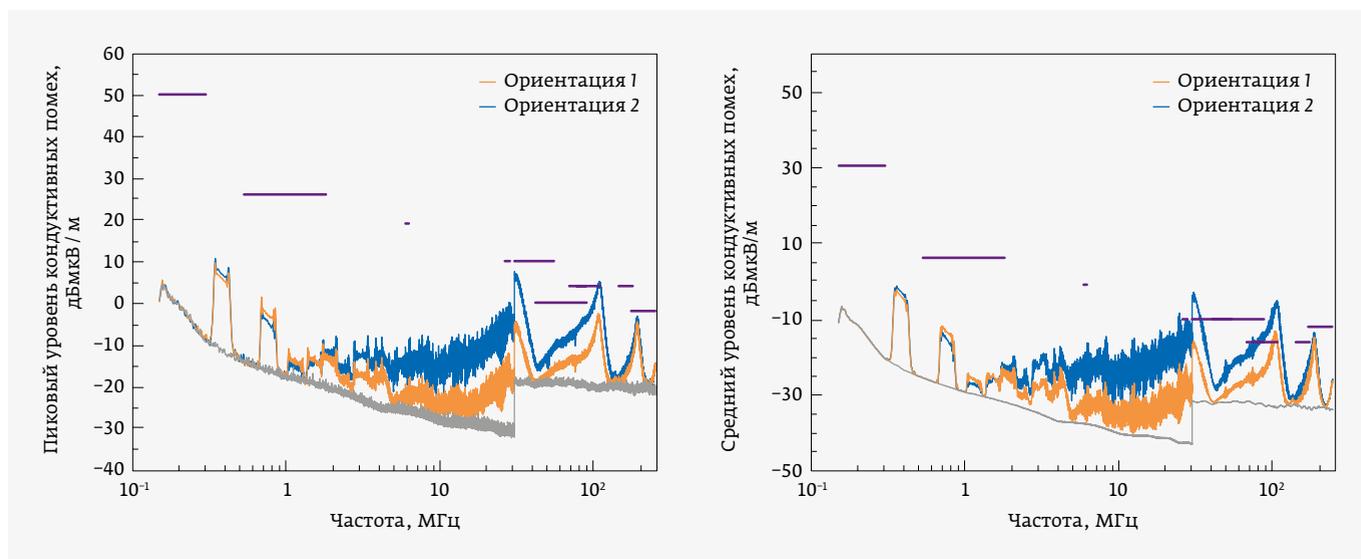


Рис. 7. Кондуктивные помехи, измеренные методом токового пробника, снижаются на частотах выше 3 МГц при подключении короткого вывода дросселя к узлу SW (ориентация 1) по сравнению с альтернативной ориентацией 2

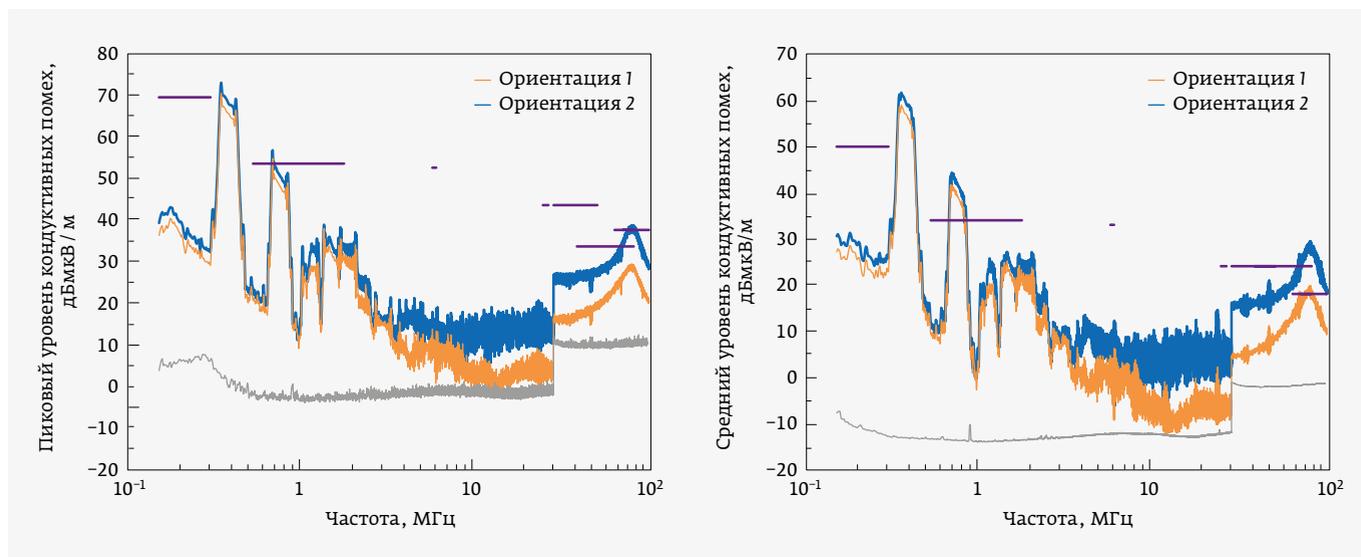


Рис. 8. Уровень кондуктивных помех, измеренный методом напряжения, снижается на частотах выше 3 МГц при подключении короткого вывода дросселя к коммутационному узлу (ориентация 1) по сравнению с альтернативной ориентацией 2

дросселя в сертифицированной камере, чтобы обеспечить повторяемость измерений.

Иногда на компоненте нет внешней маркировки, и ориентация дросселя произвольна, но его характеристики важны для учета других факторов. Например, силовые дроссели WE-MAP1 от компании Würth Elektronik из металлического сплава отличаются малыми габаритами и высокой эффективностью. Их выводы находятся на нижней стороне корпуса. Каждый дроссель маркируется точкой сверху рядом с логотипом WE, но точка не указывается

в технической документации как индикатор начала намотки (рис. 9). Хотя сначала это вызывает некоторую путаницу, предполагается, что этот компонент, у которого структура внутренней обмотки близка к симметричной, будет работать одинаково при обеих ориентациях корпуса. Поэтому точку сверху корпуса этого компонента не нужно указывать на сборке. Тем не менее, при использовании в цепях, критичных к электромагнитным помехам, было бы разумно протестировать плату для обеих ориентаций дросселя, чтобы убедиться в отсутствии проблем.

### ЕЩЕ ОДИН ПРИМЕР: ДРОССЕЛЬ WÜRTH WE-XHM1

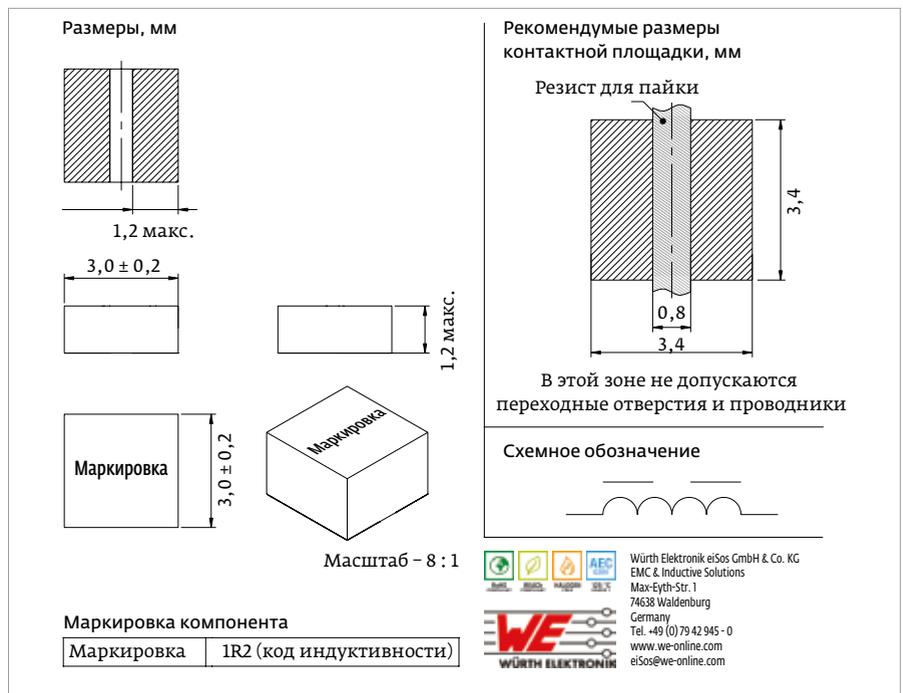
Авторы протестировали плату DC3008A с высококачественным дросселем Würth, начало обмотки которого обозначено точкой на верхней части корпуса и в документации (рис. 10). Дроссель 74439346150 на 15 мкГн отлично подходит для форм-фактора LT8386 и отвечает требованиям по току. И на этот раз для сравнения с дросселем Coilcraft были проведены испытания этого компонента, установленного на плате в двух положениях (рис. 11).

Результаты измерений (рис. 12) аналогичны результатам для дросселя Coilcraft и демонстрируют нам, что ориентация компонента на плате оказывает значительное влияние на помехи. Как видно из представленных графиков, ориентация 1 (см. рис. 11) обеспечивает наименьший уровень излучаемых помех как в AM-, так и в FM-диапазоне.

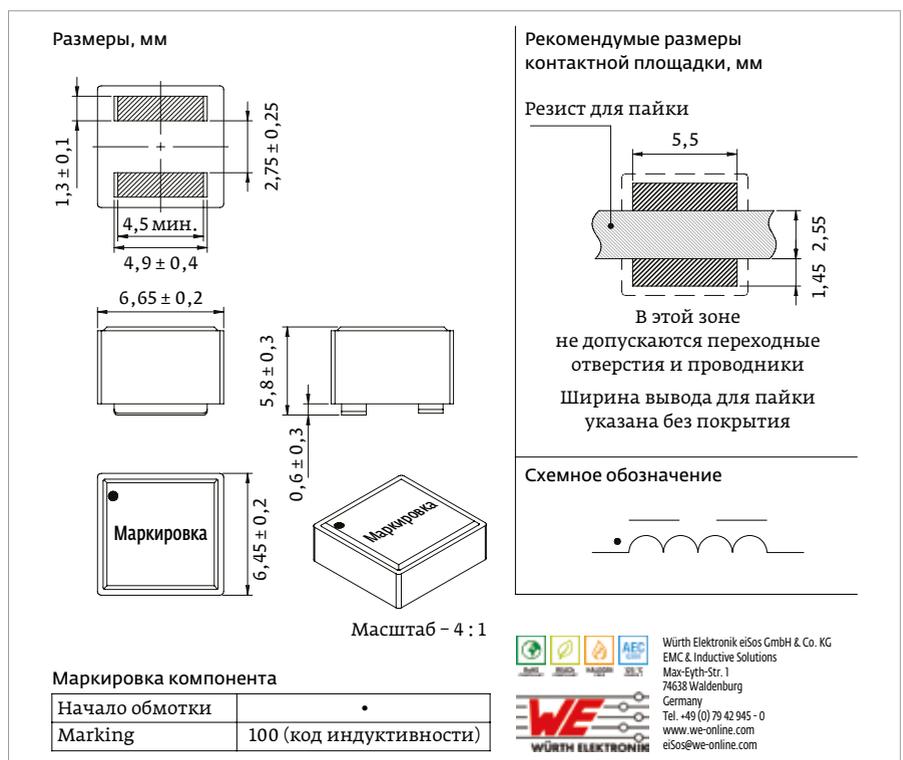
### ПОВЫШАЮЩЕ-ПОНИЖАЮЩИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С ДВУМЯ КОММУТАЦИОННЫМИ УЗЛАМИ

Очевидно, что ориентация дросселя может влиять на излучаемые помехи повышающего драйвера светодиодов с одним коммутационным узлом. Можно предположить, что повышающие стабилизаторы напряжения имеют аналогичные характеристики излучаемых помех, поскольку элементы, используемые в этих двух схемах, одинаковы.

Можно также допустить, что для понижающих стабилизаторов применяются похожие подходы в проектировании коммутационных узлов с точки зрения минимизации антенного эффекта выводов дросселя. Тем не менее, поскольку коммутационный узел понижающего стабилизатора находится ближе ко входу преобразователя, дальнейшие исследования помогут определить, одинаковы ли эффекты ориентации дросселя в диапазонах AM и FM для понижающего стабилизатора и для повышающего стабилизатора.



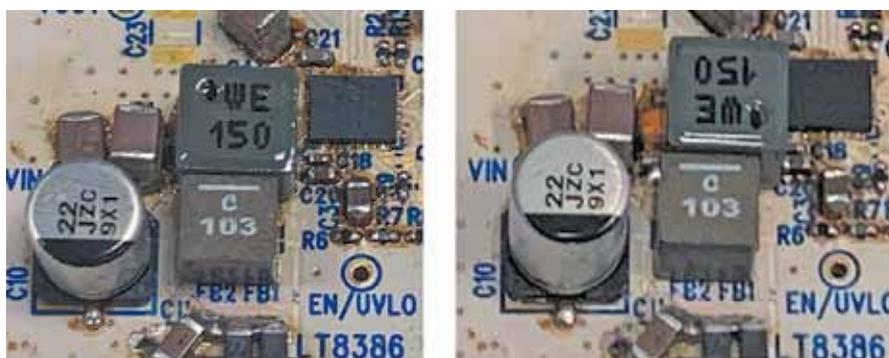
**Рис. 9.** В технической документации на дроссель WE-MAPI не указана точка начала намотки, хотя она имеется сверху корпуса компонента (в этих дросселях может отсутствовать эффект влияния ориентации на помехи, но для проверки рекомендуется тестирование)



**Рис. 10.** Начало намотки дросселя серии WE-XHM1 обозначено маркировкой на верхней части корпуса

В случае повышающе-понижающих (buck-boost) преобразователей с двумя коммутационными узлами возникают некоторые затруднения. Популярные устройства этого типа, например, такие как синхронные повышающе-понижающие преобразователи семейства LT8390 на 60 В с четырьмя ключами, оснащены такими важными с точки зрения снижения электромагнитных помех функциями, как частотная модуляция с расширением спектра (SSFM) и архитектура с малой площадью контура нарастания переходных процессов. Схема с одним дросселем создает менее ясную картину того, как ориентация этого компонента может повлиять на помехи. Если короткий вывод размещен на одном коммутационном узле, то длинный вывод работает как антенна на другом коммутационном узле. Какая ориентация лучше всего подходит для таких схем? Что происходит, когда все четыре ключа коммутируются в рабочей области этих четырех ключей ( $V_{IN}$  близко к  $V_{OUT}$ )?

Мы рассмотрим эти вопросы в одной из следующих статей, где обсудим результаты испытаний на электромагнитные помехи повышающе-понижающего контроллера с четырьмя ключами и двумя коммутационными узлами при различных ориентациях дросселя. И еще пища для размышлений: может ли быть для данной топологии более двух вариантов (кроме поворота на  $180^\circ$ ) расположения дросселя?

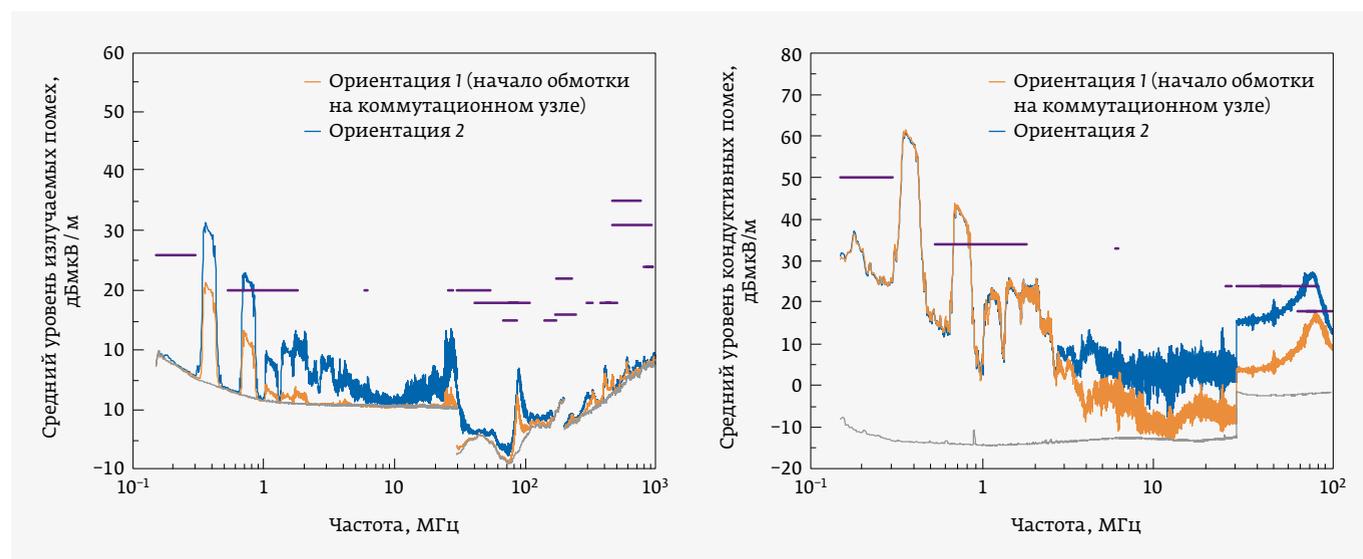


**Рис. 11.** Два варианта установки дросселя Würth 74439346150 (WE 150) на плате DC3008A LT8386: слева – к узлу SW подключен короткий вывод дросселя (начало обмотки); справа – к узлу SW подключен длинный вывод дросселя (наилучшие результаты испытаний на излучаемые помехи (см. рис. 12) обеспечивает подсоединение начала обмотки к узлу SW)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ориентация дросселя в импульсных стабилизаторах имеет значение. При измерении излучаемых помех следует обратить внимание как на положение дросселя, так и на повторяемость результатов испытаний – помните о любых различиях, связанных с выбранным компонентом, проводите испытания в обоих положениях дросселя и сообщайте производителю платы о любых трудностях, если ориентацию компонента невозможно определить. Снизить уровень электромагнитных помех можно, просто повернув дроссель на  $180^\circ$ .

По вопросам поставки продукции Analog Devices обращайтесь в компанию ЭЛТЕХ по электронной почте [analog@eltech.spb.ru](mailto:analog@eltech.spb.ru).



**Рис. 12.** Результаты испытаний показывают, что ориентация корпуса высокоэффективного дросселя Würth 74439346150 оказывает значительное влияние на уровень излучаемых и кондуктивных электромагнитных помех