

СНИЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ В ИМПУЛЬСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ПУТЕМ КОРРЕКТНОЙ РАЗВОДКИ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ



Расположение компонентов и разводка печатной платы оказывают основное влияние на характеристики электромагнитного излучения импульсных преобразователей. В данной статье рассматриваются основные способы минимизации электрических и магнитных полей, а также наведенных электромагнитных излучений.

DC/DC-преобразователи широко используются в большинстве современных электронных систем, а их популярность обусловлена высоким КПД преобразования. К сожалению, они также имеют репутацию шумящих и нестабильных, и зачастую возникают сложности при прохождении сертификации на электромагнитные излучения (ЭМИ). Большинство из этих проблем (если исключить некорректный выбор компонентов) порождается расположением компонентов и разводкой печатной платы. Ошибки в разводке печатной платы могут положить конец любой самой совершенной разработке. Хорошая разводка платы позволяет не только пройти сертификацию на ЭМИ, но также играет решающую роль в корректности функционирования. Чтобы прочувствовать данную проблему, необходимо просмотреть требования к уровню ЭМИ и сопоставит их с потенциальными источниками ЭМИ в типичных преоб-

зователях постоянного напряжения (ППН). Остановимся на понижающем преобразователе в качестве примера (излагаемые далее рекомендации могут быть напрямую отнесены к повышающим преобразователям и другим топологиям). Изложенные рекомендации будут проиллюстрированы практическим примером разводки печатной платы импульсного преобразователя.

В требованиях по ЭМИ описывается исследуемая частотная область. Она разделена на два диапазона. В низкочастотном диапазоне от 150 кГц до 30 МГц измеряется вносимый во входную линию переменный

ток. В высокочастотном диапазоне 30 МГц...1 ГГц измеряются излученные электрические и магнитные поля. Электрические поля генерируются узловыми напряжениями схемы, а магнитные поля генерируются токами. Наиболее проблематичной формой сигнала является скачкообразная (например, прямоугольные импульсы), которая генерирует широкий спектр гармоник, достигающих очень высоких частот.

Для идентификации источников ЭМИ необходимо ознакомиться с принципом работы понижающего преобразователя, представленного на рисунке 1а. Основной идеей импульсных источников питания является работа транзисторов VT1 и VT2 в ключевом режиме, а не в линейном, как у стабилизаторов компенсационного типа. Протекающие токи и перепады напряжения транзис-

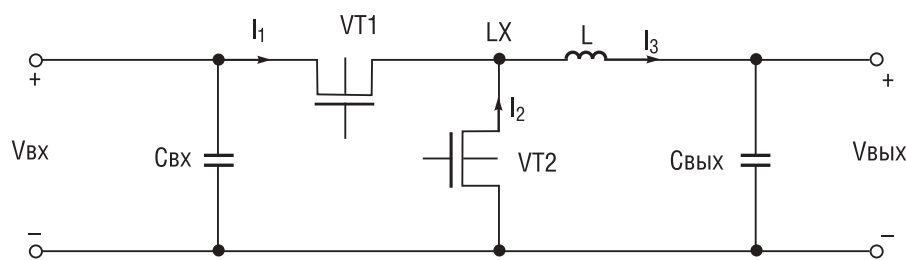


Рис. 1а. Принцип действия понижающего преобразователя с противофазным переключением транзисторов VT1 и VT2 для достижения максимального КПД преобразования

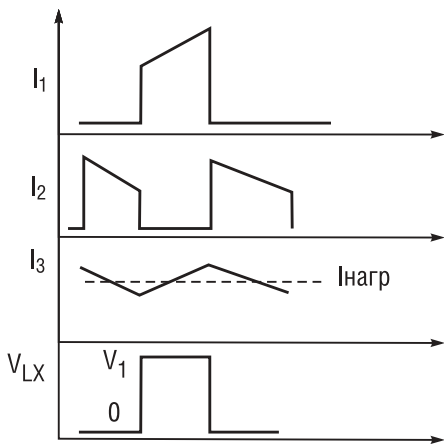


Рис. 16. Осциллограммы токов и напряжения в понижающем преобразователе (токи через ключевые транзисторы I1 и I2, а также напряжение в узле коммутации VLX имеют прямоугольную форму импульсов и, поэтому, являются потенциальными источниками ЭМИ)

торов имеют прямоугольную форму, но являются противофазными для минимизации потерь мощности.

Обратимся к рисунку 16, где показаны напряжение в узле коммутации VLX и токи I1 и I2 прямоугольной формы, протекающие через транзисторы и содержащие высокочастотные составляющие. Ток через индуктивность I3 имеет треугольную форму и должен рассматриваться как потенциальный источник шума. Такие формы сигналов необходимы для достижения высокого КПД, но при этом представляют собой главную проблему с точки зрения ЭМИ.

Идеальный преобразователь не должен генерировать внешних магнитных и электрических полей и должен потреблять только постоянный ток на своем входе. Все эффекты, вызванные работой импульсной схемы, должны быть подавлены в пределах блока преобразователя. За выполнение этого отвечают разработчик схемы и инженер по разводке печатной платы, которые должны гаран-

тировать выполнение изложенных ниже требований.

Электрическое поле генерируется в узле LX, т.к. на всех остальных узлах присутствует постоянное напряжение. Это поле легко ограничить за счет достаточно малой площади узла и близкого расположения общего слоя (таким образом, данное поле ограничивается в этом слое). Однако при этом нельзя переусердствовать, т.к. увеличение паразитной емкости приводит к снижению эффективности и может привести к появлению затухающих колебаний напряжения в узле LX. С другой стороны малые размеры узла, как следствие, привносят последовательное сопротивление, чего нужно избегать.

Излучение *электромагнитного поля* генерируется импульсными токами I1, I2, I3. Паразитная индуктивность проводников печатной платы в каждой токовой петле определяет напряженность поля. Неметаллизированная площадь платы между токовыми петлями должна быть минимизирована, а ширина проводника — максимизирована для снижения магнитных полей. Индуктивность (L) также должна ограничивать поле, но только за счет собственной конструкции, а не за счет разводки печатной платы.

Наведенные ЭМИ — основная причина отказов. Они генерируются, когда входной и выходной конденсаторы Cвх и Cвых не могут обеспечить малое сопротивление для импульсных токов I1 и I3. Данные токи затем попадают в подключенные ко входу и выходу преобразователя схемы.

Сопротивление составляют внутреннее сопротивление кон-

денсатора (в т.ч. паразитного), а также паразитная индуктивность печатной платы. Паразитная индуктивность печатной платы определяет сопротивление и должна быть минимизирована. Этим также будет снижено излучение магнитного поля. Внутри импульсного преобразователя необходимо избегать применения переходных отверстий, т.к. их индуктивность достаточно высока. Этого можно достичь путем создания локальных проводящих областей в верхнем/компонентном слое. Компоненты для поверхностного монтажа припаиваются непосредственно к этим областям. Для минимизации индуктивности путь прохождения тока должен быть как можно более широким и коротким. Переходные отверстия рекомендуется использовать только для подключения локальных проводящих областей к системным за пределами источника питания. Их паразитная индуктивность в данном случае помогает ограничить высокочастотные токи в верхнем слое. Иногда переходные отверстия устанавливаются вокруг индуктивности, где за счет их сопротивления в некоторой степени подавляются излученные ЭМИ. Другой причиной образования ЭМИ является общий слой, где импульсные токи индуцируют выбросы напряжения. Импульсные токи не должны иметь общий используемый путь подключения к внешней схеме, в т.ч. общий слой. Правильное решение заключается в организации отдельной проводящей области для сильноточных общих сигналов в верхнем слое в пределах границы преобразователя и подключением ее к

системному общему слою в одной точке, обычно у выходного конденсатора.

Другие компоненты, включающие интегральную схему контроллера, компоненты смещения и компоненты обратной связи/компенсации, обрабатывают низкоуровневые сигналы. Во избежание перекрестных помех данные сигналы должны быть расположены внутри области, отделенной от сильноточных компонентов, а интегральная схема контроллера должна быть расположена между сильноточными и остальными перечисленными компонентами. Иначе говоря, сильноточные компоненты должны быть установлены по одну сторону контроллера, а компоненты для обработки низкоуровневых сигналов — с другой. На выходе встроенных в контроллер драйверов затворов возникают импульсные токи большой амплитуды на частоте преобразования, поэтому, расстояние между интегральной схемой и ключевыми транзисторами должно быть минимизировано. Высокоимпедансные узлы, например, выходы обратной связи и компенсации, должны быть малыми и удаленными от сильноточных компонентов, особенно от узла коммутации LX. Интегральные схемы контроллеров ППН зачастую имеют два общих вывода: GND и PGND. Идея такого решения заключается в разделении слаботочного сигнального общего и сильноточного общего. Тем не менее, для соединения слаботочных общих цепей необходимо создать отдельную проводящую область. Рекомендуется не использовать для этих целей верхний слой, но в этом случае допускается

использовать переходные отверстия. Аналоговый общий и сильноточный общий должны быть соединены только в одной точке, обычно у вывода PGND. В крайних случаях (при больших токах) необходимо действительное одноточечное соединение всех типов общих цепей. В этом случае локальную общую, сильноточную общую и системную общую проводящие области соединяют у выходного конденсатора.

Подытожим данные рассуждения в виде рекомендаций по разводке печатной платы (похожие рекомендации по проектированию печатной платы встречаются в подробной документации на импульсные преобразователи):

1. Размещение и разводка печатных проводников силовых компонентов. Начните с установки ключевых транзисторов VT1 и VT2, индуктивности L, а также входных и выходных конденсаторов C_{вх} и C_{вых}. Их необходимо расположить таким образом, чтобы мини-

мизировать расстояние между ними, в особенности подключение к общей цепи VT2, C_{вх} и C_{вых}, а также соединение C_{вх} и VT1. Далее необходимо в верхнем слое разместить проводящие области для сильноточного общего, входного, выходного и LX-узлов и подвести к ним печатные проводники в верхнем слое с использованием коротких и широких дорожек.

2. Размещение и разводка компонентов с низкоуровневыми сигналами. Интегральная схема контроллера должна быть размещена как можно ближе к ключевым транзисторам. Компоненты с низкоуровневыми сигналами размещаются на другой стороне контроллера. Высокоимпедансные узлы должны быть малыми и как можно дальше отнесены от узла LX. Создайте проводящую область аналогового общего в приемлемом слое и соедините его с сильноточным общим в одной точке.

Описанная выше методика проиллюстрирована ниже.

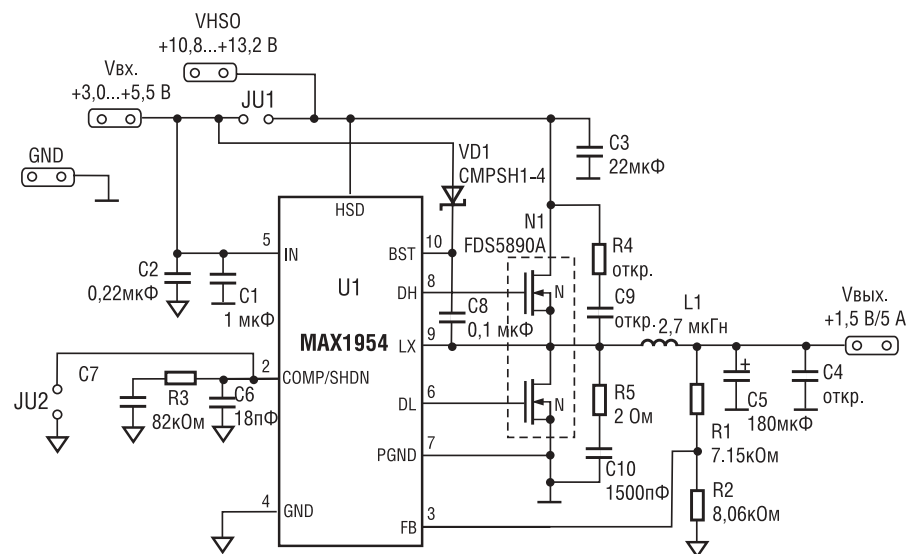


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема оценочного набора на основе MAX1954, выполняющего функцию сильноточного понижающего преобразователя.

Примечание: Обратите внимание, что на схеме используются различные обозначения общих узлов (разделены сильноточные и аналоговые общие узлы)

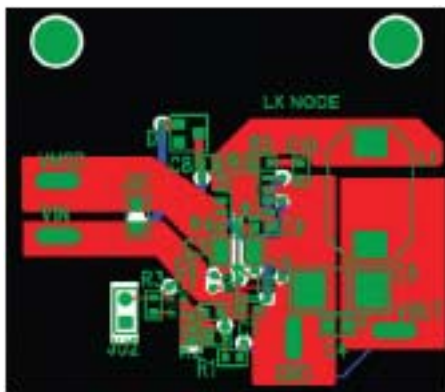


Рис. 3. Разводка печатной платы оценочного набора на основе контроллера MAX1954, где отображены рассмотренные принципы проектирования (красным цветом обозначен верхний слой, синим – нижний слой, черным – системный общий слой (средний слой), аналоговый общий (в среднем слое) сделан невидимым для повышения читабельности)

MAX1954 — недорогая интегральная схема ШИМ-контроллера с токовым режимом преобразования, ориентированная на пользовательские, телекоммуникационные и промышленные электронные устройства. На рисунке 2 показана схема оценочного набора MAX1954, а рисунке 3 показана разводка его печатной платы. Данный преобразователь характеризуется нагрузочной способностью 5 А. Набор может питаться от низковольтной (V_{in}) или высоковольтной распределительной (VHSD) шин.

Начнем с поиска сильноточных компонентов: спаренная ключевая транзисторная сборка N1, индуктивность L1, входной конденсатор C3 и выходной конденсатор C5. Расположение C3 очень критично; он должен быть как можно ближе и параллельно стоку верхнего МОП-транзистора и источнику нижнего МОП-транзистора. Это необходимо выполнить ввиду присутствия высокочас-

тотных импульсных выбросов тока, вызванных восстановительным зарядом встроенного диода нижнего МОП-транзистора во время включения верхнего МОП-транзистора. Эти элементы расположены в правой части разводки печатной платы. Все подключения выполнены в верхнем слое (показаны красным цветом). Узел LX в верхнем правом углу расположен непосредственно над системным общим слоем и поэтому экранирован от узлов небольшой площади VHSD и PGND в верхнем слое.

Низкоуровневые сигналы и связанные с ними компоненты размещены на левой стороне платы. Расположение выводов контроллера MAX1954 упрощает разделение низкоуровневых сигналов от сильноточных цепей. Контроллер U1 размещен между низкоуровневыми сигналами и сильноточной областью. Дорожка, соединяющая R1 и R2, является узлом обратной связи, поэтому, сделана тонкой. Тонкой дорожкой также выполнен узел компенсации (C7, C8 и R3). Аналоговый общий слой является средним и содержит сквозные металлизированные отверстия для соединения с компонентами, однако, в целях повышения читабельности сделан невидимым.

Сильноточный и слаботочный аналоговый общие слои разделены на печатной плате, и на схеме также обозначены разными символами. Верхняя область сильноточного общего, аналоговый общий слой и площадка подключения системного питания соединены вместе в нижнем правом углу.

В узле коммутации под влиянием паразитных индуктивности и емкости будут формироваться высокочастотные (40...100 МГц) колебания, которые могут вызвать ЭМИ. Подавить данные колебания может простая демпфирующая RC-цепь, установленная параллельно каждому МОП-транзистору. Для демпфирования колебаний на выводе VLX под влиянием нарастающего фронта необходимо добавить RC-демпфер параллельно нижнему МОП-транзистору. По аналогии, для демпфирования колебаний на выводе VLX, вызванных спадающим фронтом, необходимо добавить RC-демпфер параллельно верхнему МОП-транзистору. В связи с тем, что установка дополнительных демпфирующих элементов увеличивает стоимость, применять их нужно только при необходимости. Правильно подобранный RC-демпфер существенно не ухудшает эффективность преобразования, т.к. запасенная в паразитных элементах энергия так или иначе рассеивается в схеме, а при установке демпфера данный процесс всего лишь затягивается.

Примечание:

Рассмотренные рекомендации применимы также и к повышающему преобразователю, если поменять местами входное и выходное напряжения.

По вопросам получения технической информации обращайтесь в компанию КОМПЭЛ.
E-mail: ac-dc-ac@compel.ru.
Тел. в Москве: (495) 995-0901.
Тел. в СПб: (812) 327-9404.