

# ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

**ПЕТР ИЛЬИН**, технический консультант ИД, «Электроника»

*В статье освещаются требования международных стандартов по обеспечению электромагнитной совместимости в системах, использующих импульсные источники питания, и допустимые нормы уровня электромагнитных помех. Рассмотрены виды помех, генерируемых в импульсных источниках питания, и предлагаются практические меры по снижению уровня помех блоков питания, используемых как в крупных системах, так и в качестве автономных приложений.*

Импульсные источники питания являются источниками электромагнитных помех, поэтому в случае их применения вопросам электромагнитной совместимости уделяется особое внимание. Внутренние цепи импульсных источников питания, создающие нежелательное излучение с высоким содержанием гармоник, могут вызывать электромагнитные помехи как во внутренних узлах устройства, так и в другом электронном оборудовании, расположенном поблизости от источника помех.

С другой стороны, импульсные источники питания сами подвержены воздействию электромагнитных помех различного вида. Помехи могут поступать из сети электропитания или наводиться внешними высокочастотными магнитными полями, поэтому импульсные источники питания должны быть помехоустойчивыми.

## МЕЖДУНАРОДНЫЕ СТАНДАРТЫ ПО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ И ИМПУЛЬСНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

Для обеспечения электромагнитной совместимости и бесперебойной работы электронных систем приняты международные законодательные акты и стандарты, которые ограничивают уровни генерации и излучения различных видов электромагнитных помех. Кроме того, принимаются специальные меры для обеспечения необходимой устойчивости оборудования к воздействию электромагнитных помех. Наиболее важными международными стандартами в области электромагнитной совместимости являются:

- Стандарт Федеральной комиссии по связи США (Federal Communications Commission — FCC), глава 15;
- Стандарт Международного специального комитета по борьбе с радиопомехами (International Special Committee on Radio Interference — CISPR) или CISPR 22.

В этих стандартах цифровое электронное оборудование разделяется на два вида: оборудование класса А (Class A), которое можно использовать только в промышленных или других специально подготовленных зонах, и оборудование класса В (Class B), которое может использоваться только в жилых помещениях и офисах. Примерами устройств класса В являются персональные компьютеры, калькуляторы и другие подобные устройства для широкого использования. Нормы стандартов по электромагнитной совместимости являются более жесткими для устройств класса В, т.к. больше вероятности, что они располагаются поблизости от других электронных устройств, использующихся в доме. Допустимые уровни для оборудования класса В являются в три раза более жесткими (около 10 дБ), по сравнению с нормами, предусмотренными для оборудования класса А.

Стандарты на излучение электромагнитных помех учитывают два вида излучений:

- кондуктивные помехи на вводах электропитания;
- напряженность электрического поля помех при их излучении в эфир.

Нормами стандарта FCC установлено, что любой сигнал помехи частотой выше 10 кГц должен отвечать установленным в стандарте нормам. Кроме того, FCC определяет полосы частот, в пределах которых должно контролироваться паразитное излучение в зависимости от вида помех. Излучаемые помехи должны контролироваться в полосе частот 30...1000 МГц. Кондуктивные помехи, т.е. радиочастотные паразитные сигналы, которые содержатся в сети питания переменного тока, должны контролироваться в полосе частот 0,45...30 МГц.

Стандарт CISPR 22 требует сертификации устройств в частотном диапазоне 0,15...30 МГц для кондуктивных помех.

Требования стандартов FCC и CISPR 22 согласованы (гармонизиро-

ваны), и для сертификации цифрового электронного оборудования можно использовать тот или другой стандарт. Измерения электромагнитных помех на частоте выше 1000 МГц должны производиться в соответствии с правилами и нормами FCC, т.к. в CISPR 22 не установлены нормы для частот выше 1000 МГц. Нормы стандарта FCC даны в мкВ, а нормы CISPR — в дБмкВ, поэтому для прямого сравнения параметров нужен их перевод из одних единиц в другие.

Предельные значения уровня кондуктивных помех по FCC определяются для диапазонов частот 0,45...1,6 МГц и 1,6...30 МГц. Предельные значения уровня излучаемых помех по FCC определяются для диапазонов частот 30...88 МГц, 88...216 МГц и 216...1000 МГц при фиксированном измеряемом расстоянии 3 м. Допустимые нормы кондуктивных и излучаемых помех для стандартов CISPR22 и FCC представлены в таблицах 1 и 2, соответственно.

Тестирование оборудования на электромагнитную совместимость и соответствие требованиям стандартов выполняется согласно методике, определенной в стандарте ANSI C63.4-2009 «Методы измерения радиопомех от низковольтного электрического и электронного оборудования в диапазоне частот от 9 кГц до 40 ГГц» (Methods of Measurement of Radio-Noise Emissions from Low-Voltage Electrical and Electronic Equipment in the Range of 9 kHz to 40 GHz). Следует отметить, что производится тестирование системы в целом, а не только блока питания. При использовании в системе внешних источников питания необходимо тестировать всю систему, даже если блок питания соответствует установленным нормам.

## ВИДЫ И ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ

Электромагнитные помехи могут быть разделены на непрерывные (длительные) помехи и помехи от переход-

ного процесса. Непрерывные помехи появляются, когда источник помех излучает непрерывный сигнал, содержащий основную частоту источника и связанные гармоники.

Непрерывные помехи можно, в свою очередь, разделить по полосе частот. Частоты от нескольких десятков Гц до 20 кГц являются звуковыми частотами. Источниками звуковых помех являются источники питания и связанные с ними провода, линии передач и подстанции, устройства обработки звука (аудиоусилители мощности и громкоговорители), а также демодуляция несущей высокой частоты, как например, при FM-радиопередаче.

Высокочастотные помехи возникают в частотном диапазоне свыше 20 кГц. Источниками высокочастотных помех являются радиотрансляция, телевизионные и радиоприемники, промышленное, научное и медицинское оборудование, а также высокочастотные схемы (микропроцессоры, микроконтроллеры и другие высокоскоростные цифровые устройства).

Широкополосный шум, содержащий кратные частоты, можно разделить частично на оба частотных диапазона. Источниками широкополосного шума могут быть солнечная активность, непрерывно работающие электроразрядники (аппараты для

дуговой сварки), а также мобильная связь.

Электромагнитные помехи от переходного процесса возникают, когда источник излучает короткие импульсы, а не непрерывный сигнал. Источниками помех от переходного процесса являются импульсные электрические схемы, например, индуктивные нагрузки, реле, электромагниты и электромоторы. Другими источниками могут быть электростатический разряд, системы освещения, скачки напряжения в сети и т.д.

Периодические помехи от переходного процесса могут быть вызваны работой электромоторов, систем зажигания бензиновых двигателей и непрерывным переключением цифровых схем.

### КАНАЛЫ ПРОНИКНОВЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ В ИМПУЛЬСНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

Воздействие электромагнитных помех может происходить путем кондуктивной связи через нежелательные (паразитные) цепи, посредством индукционной связи (как в трансформаторе) и путем излучения.

Кондуктивная связь возникает, когда канал связи между источником помех и приемным устройством формируется путем непосредственного контакта. Прямой контакт может быть обеспечен через линию передачи, провод, кабель, проводник печатной платы или металлический корпус. Кондуктивные помехи могут появиться как в синфазном, так и в дифференциальном режимах на двух проводниках.

Дифференциальные помехи возникают из-за дифференциальных токов в паре проводов: ток покидает источник по одной линии и возвращается по обратной линии дифференциальной пары. Дифференциальные токи протекают между импульсным источником питания и его источником или нагрузкой через выводы питания. На земляной шине дифференциальные токи отсутствуют.

Синфазные помехи вызываются синфазными токами. В этом случае шумовой ток течет вдоль обеих линий в одном и том же направлении и попадает через паразитные цепи на системную земляную шину. Во многих случаях синфазные помехи поступают через паразитные емкости в схеме. Синфазный ток течет в одном направлении от импульсного источника питания через ввод питания и возвращается обратно к источнику по земле. Кроме того, синфазные токи могут передаваться через емкость между корпусом и землей.

Кондуктивные электромагнитные помехи измеряются в диапазоне частот до 30 МГц. Токи частотой ниже 5 МГц в

Таблица 1. Допустимые нормы для кондуктивных и излучаемых помех согласно CISPR

Предельные уровни кондуктивных помех для устройств класса А		
Частота излучения, МГц	Предельные уровни кондуктивных помех, дБмкВ	
	Квази-пиковые	Средние
0,15...0,50	79	66
0,50...30,0	73	60
Предельные уровни кондуктивных помех для устройств класса В		
Частота излучения, МГц	Предельные уровни кондуктивных помех, дБмкВ	
	Квази-пиковые	Средние
0,15...0,50	От 66 до 56*	От 56 до 46*
0,50...5,00	56	46
0,50...30,0	60	50
Предельные уровни излучаемых помех на расстоянии 10 м для устройств класса А		
Частота излучения, МГц	Предельные уровни напряженности поля, дБмкВ/м	
30...88	39	
88...216	43,5	
216...960	46,5	
свыше 960	49,5	
Предельные уровни излучаемых помех на расстоянии 3 м для устройств класса В		
Частота излучения, МГц	Предельные уровни напряженности поля, дБмкВ/м	
30...88	40,0	
88...216	43,5	
216...960	46,0	
свыше 960	54,0	

Таблица 2. Допустимые нормы для кондуктивных и излучаемых помех согласно FCC

Предельные уровни кондуктивных помех для устройств класса А	
Частота излучения, МГц	Предельные уровни кондуктивных помех, мкВ
0,45...1,6	1000
1,6...30,0	3000
Предельные уровни кондуктивных помех для устройств класса В	
Частота излучения, МГц	Предельные уровни кондуктивных помех, мкВ
0,45...1,6	250
1,6...30,0	250
Предельные уровни излучаемых помех на расстоянии 3 м для устройств класса В	
Частота излучения, МГц	Предельные уровни напряженности поля, мкВ/м
30...88	100
88...216	150
216...1000	200
свыше 1000	200
Предельные уровни излучаемых помех на расстоянии 30 м для устройств класса А	
Частота излучения, МГц	Предельные уровни напряженности поля, мкВ/м
30...88	30
88...216	50
216...1000	70
свыше 1000	70

ИНТЕРНЕТ МАГАЗИН  
**Elitan.ru**

**МОСКВА**  
телефон (495)  
**649-84-45**  
Факс 495 646-80-01

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**  
телефон (812)  
**313-28-33**  
Факс 812 313-28-44

**ИЖЕВСК**  
телефон (3412)  
**50-33-30**  
Факс 3412 51-84-29

**ЭЛЕКТРОННЫЕ  
КОМПОНЕНТЫ**

**ПРИБОРЫ  
И ИНСТРУМЕНТ**

**КОМПЬЮТЕРНЫЕ  
КОМПЛЕКТУЮЩИЕ**

**1 000 000 товаров от 999 изготовителей**

- Минимальный заказ не ограничен
- 12 способов доставки по России и за рубеж
- Удобная система оплаты:  
Банк, VISA, MasterCard, Webmoney, ЯндексДеньги, RBK Money.
- Ежедневное обновление склада
- Отслеживание состояния заказа через сайт

 **литан**  
info@elitan.ru www.elitan.ru



большинстве случаев являются дифференциальными, а выше 5 МГц — синфазными. Дифференциальные и синфазные токи в системе проиллюстрированы на рисунке 1.

Индуктивная связь возникает там, где источник и приемник находятся на небольшом расстоянии друг от друга. Индуктивная связь может быть вызвана электрической или магнитной индукцией. Электрическая индукция является следствием емкостной связи, а магнитная индукция обусловлена индуктивной связью. Емкостная связь возникает, когда имеется переменное электрическое поле между двумя соседними проводниками, что вызывает изменение напряжения на соседнем проводнике. Магнитная связь возникает, когда появляется переменное магнитное поле между двумя параллельными проводниками, что вызывает изменение напряжения вдоль принимающего излучаемое поле проводника. Излучаемая связь возникает, когда источник и приемник («жертва») действуют как радиоантенны. Источник излучает электромагнитную волну, которая распространяется по открытому пространству между источником и «жертвой» и принимается «жертвой».

Индуктивная связь встречается реже, чем кондуктивная или излучаемая связь. Требования к электромаг-

нитным помехам, как излучаемым, так и кондуктивным, применимы ко всей электронной системе. Модули питания являются одними из многих компонентов системы. Поскольку требования к электромагнитным помехам применимы ко всей системе, необходимо приложить немало усилий для ограничения шума при её проектировании.

#### **ПРАКТИЧЕСКИЕ МЕРЫ ПО УМЕНЬШЕНИЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ В СИСТЕМАХ ПИТАНИЯ**

В системах и схемах, которые используют импульсные источники питания, следует минимизировать проблемы, связанные с электромагнитными помехами и обеспечить соблюдение установленных норм. Важно отметить, что даже приложение с тщательно спроектированным импульсным источником питания может не соответствовать требованиям стандарта, если оно не оптимизировано с целью минимизации электромагнитных помех.

#### **МЕТОДЫ УМЕНЬШЕНИЯ КОНДУКТИВНЫХ ПОМЕХ**

Для того чтобы эффективно ослабить негативное воздействие кондуктивных помех, необходимо отдельно рассматривать синфазный и дифференциальный шум, т.к. различаются под-

ходы к решению проблемы для каждого вида шума. Реализованные решения для дифференциального шума не исключают синфазный шум в схеме и наоборот.

Дифференциальный шум обычно можно подавить включением шунтирующего конденсатора непосредственно между силовой и обратной линиями импульсного источника питания. Силовые линии, которые требуют фильтрации, могут быть расположены на входе или выходе импульсного источника питания. Для наилучшей эффективности шунтирующие конденсаторы на этих линиях необходимо располагать



Рис. 1. Дифференциальные и синфазные токи в системе

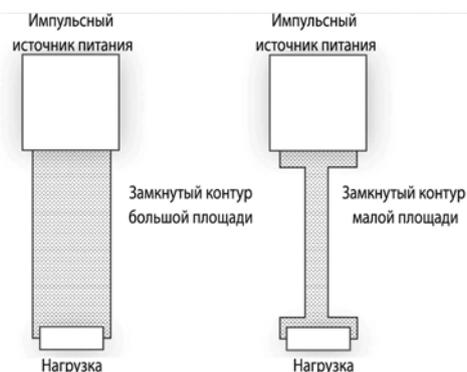


Рис. 2. Уменьшение площади петлевой антенны снижает излучаемые помехи

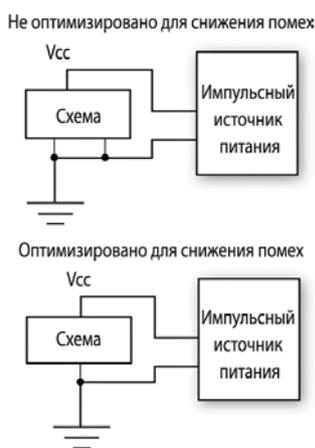


Рис. 3. Пример исключения петель в шинах питания

вблизи выводов источника генерации помех. Расположение шунтирующего конденсатора критически важно для эффективного ослабления дифференциальных токов на высоких частотах. Ослабление дифференциальных токов на более низких частотах вблизи основной частоты переключения источника генерации помех может потребовать применения шунтирующего конденсатора намного большей емкости, чего нельзя достичь с помощью керамического конденсатора.

Керамические конденсаторы емкостью до 22 мкФ могут подойти для фильтрации дифференциальных помех на низковольтных выходах импульсных источников питания, но их может быть недостаточно для применения на входах импульсных источников питания, где могут наблюдаться 100-В выбросы напряжения. Для таких приложений используются электролитические конденсаторы ввиду их высокой емкости и рабочего напряжения.

Дифференциальный входной фильтр обычно состоит из комбинации электролитического и керамического конденсатора, что позволяет эффективно ослаблять дифференциальный ток как на более низкой основной частоте переключения, так и на частотах более высоких гармоник. Дополнительного подавления дифференциальных токов можно

достичь с помощью включенной последовательно с сетевым входом катушки индуктивности, которая совместно с шунтирующим конденсатором образует однокаскадный дифференциальный LC-фильтр нижних частот.

Синфазные кондуктивные токи эффективно подавляются путем включения шунтирующего конденсатора между каждой силовой линией и землей. Эти силовые линии могут быть на входе и/или выходе импульсного источника питания. Дополнительного подавления синфазных токов можно достичь с помощью пары связанных дросселей, включенных последовательно с каждым сетевым входом. Высокий импеданс связанных дросселей к синфазным токам обеспечивает передачу этих токов через шунтирующий конденсатор.

#### МЕТОДЫ УМЕНЬШЕНИЯ ИЗЛУЧАЕМЫХ ПОМЕХ

Излучаемые помехи можно подавить с помощью уменьшения высокочастотного импеданса и сокращения площади антенной петли, что обеспечивается путем минимизации площади замкнутой антенной петли, которая образуется силовой линией и ее обратным каналом (см. рис. 2). Индуктивность проводника печатной платы можно минимизировать, делая ее ширину как можно больше и прокладывая ее параллельно обратному каналу. Уменьшение площади между силовой линией и ее обратным каналом обеспечивает снижение ее импеданса. В пределах печатной платы эта область может быть сокращена путем размещения силовой и обратной линий — одной под другой — на соседних слоях платы. Земляной слой, расположенный на открытых поверхностях печатной платы, особенно если плата расположена прямо под источником генерации помех, значительно уменьшает излучаемые электромагнитные помехи.

Для дополнительного уменьшения излучаемых помех можно использовать металлические экраны, чтобы канали-

зировать излучение. Это достигается размещением источника генерации помех внутри заземленного проводящего корпуса. Интерфейс с внешней средой осуществляется через проходные фильтры. Кроме того, нужно поместить синфазные шунтирующие конденсаторы между проводящим корпусом и земляной шиной.

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕРЫ УМЕНЬШЕНИЯ ПОМЕХ ДЛЯ ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Необходимо обеспечить надежное соединение проводов с импульсным источником питания. Провода должны быть как можно более короткими, а количество петель — минимизировано. Следует избегать прокладки входных или выходных проводов вблизи силовых устройств. Убедитесь, что все соединения с землей выполнены надежно. Заземляющие провода должны быть также как можно более короткими. Если при работе схемы или системы наводятся переходные токовые процессы, очень важно размещать развязывающие конденсаторы таким образом, чтобы импульсы тока не могли передаваться к источнику питания. В качестве таких конденсаторов следует использовать высокочастотные керамические конденсаторы и накопительные конденсаторы большой емкости. Если допускается режимом эксплуатации, то следует уменьшить частоту или увеличить длительность фронта/спада тактового сигнала. Схемы с более высокой тактовой частотой и более быстрым временем переключения следует располагать вблизи входа силовой линии для того, чтобы уменьшить переходные процессы в цепи питания. Рекомендуется, чтобы аналоговые и цифровые схемы были физически изолированы друг от друга, как по источнику питания, так и по сигнальным линиям.

Следует избегать появления заземляющих контуров в системе, особенно когда система является сложной. Это можно обеспечить, используя одну точку подсоединения к земляной шине. На рисунке 3 показан пример подсоединения системы к земляной шине.

Если в системе имеется множество схемных узлов, то их следует отделить между собой с помощью прокладки отдельных линий питания и/или путем включения катушек индуктивности в линиях питания, как показано на рисунке 4.

При необходимости можно разместить на линиях DC-питания ферритовые шайбы для развязки системы и источника питания по переменному току. Эта мера может быть эффективной, когда имеется угроза нарушения работы системы из-за появления гар-

# Индустриальная Автоматика



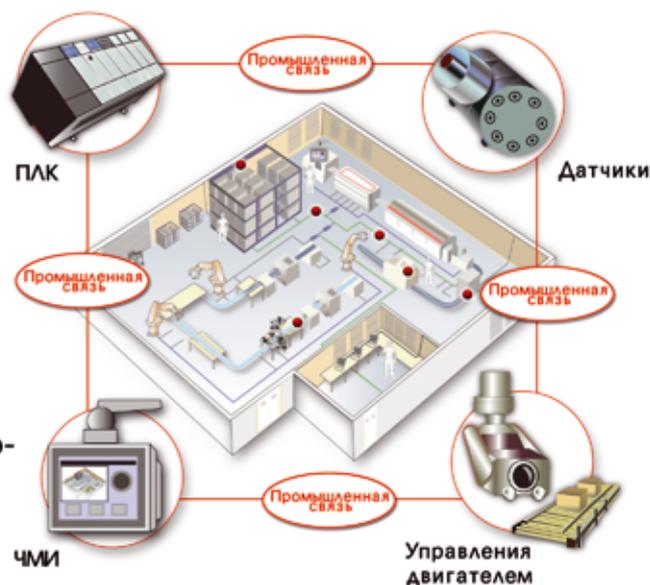
## Ускорьте время проектирования с промышленными решениями от TI

### Широкое портфолио системно-оптимизированного аппаратного, программного обеспечения и инструментов

Ассортимент продукции TI для автоматизации промышленного производства - от 8-битных и 32-битных микроконтроллеров ARM® Cortex™-M3 до микропроцессоров ARM® Cortex™-A8, систем управления электропитанием, интерфейсов и промышленных драйверов - предлагает новейшие технологии, системную экспертизу и глобальную поддержку, чтобы удовлетворить строгие требования надежности и исполнения в критической среде.

Узнайте больше о планах развития системно-оптимизированных продуктов от TI для каждого сегмента рынка промышленной автоматизации, в том числе :

- **Человеко-машинный интерфейс (ЧМИ)**
- **Промышленная связь**
- **Управления двигателем**
- **Программируемый логический контроллер (ПЛК)**
- **Датчики**



Дополнительную информацию по поводу промышленной автоматизации TI, образцов, руководств по применению и т.д. вы можете найти на [www.ti.com/automation\\_ru](http://www.ti.com/automation_ru)

моник при переключении питания или для того, чтобы предотвратить попадание помех, сгенерированных в системе, в источник питания. Если для какого-либо приложения недостаточно встроенного фильтра электромагнитных помех, можно включить дополнительный фильтр перед источником питания. Ферритовая шайба может быть также размещена на земляном проводе между входом сети переменного тока и блоком питания.

Хотя многие из методов уменьшения помех, рассмотренных выше, применимы как для AC/DC-, так и DC/DC-преобразователей в составе системы, имеются специфические меры, которые касаются только DC/DC-преобразователей. Импульсный режим работы большинства DC/DC-преобразователей подразумевает импульсный входной ток, который лучше всего передается через локальные конденсаторы, расположенные вблизи от импульсных устройств. Поскольку многие DC/DC-преобразователи имеют компактные размеры, они в большинстве случаев не содержат конденсаторов достаточной емкости. Разработчик системы должен разместить дополнительные конденсаторы на входе, чтобы снизить дифференциальные помехи. Для лучшей фильтрации можно использовать PI-фильтры, как показано на рисунке 5. Для снижения уровня синфазных помех можно использовать дополнительные конденсаторы.

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ УМЕНЬШЕНИЯ ПОМЕХ НА СИСТЕМНОМ УРОВНЕ

Как уже говорилось, при том, что большинство импульсных источников питания спроектировано в соответствии с требованиями стандартов по электромагнитным помехам, сама система тоже должна быть спроектирована таким образом, чтобы генерировать минимум помех и соответствовать допустимым нормам. Компонентами системы, при проектировании которых следует уделить особое внимание снижению помех, являются сигнальные линии, печатные платы и твердотельные компоненты.

На сигнальных линиях следует использовать фильтры нижних частот

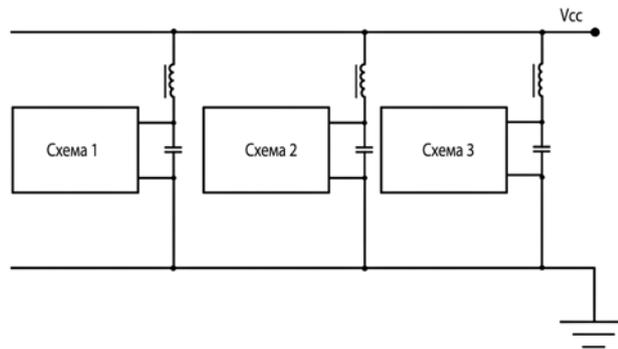


Рис. 4. Разделение линий питания для отдельных узлов системы

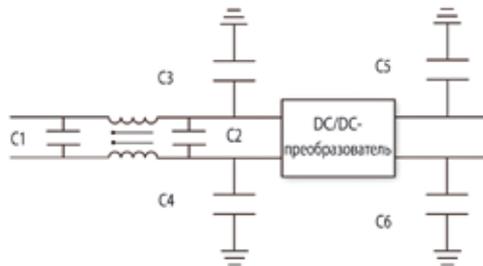


Рис. 5. Типовая схема фильтрации для DC/DC-преобразователя

для уменьшения допустимой полосы частот до того минимума, при котором удается пропускать сигналы без затухания. Петли питания и обратного канала должны располагаться ближе к линиям широкополосных сигналов для минимизации излучаемых помех. Кроме того, сигнальные линии для передачи высокочастотных сигналов должны иметь корректную оконечную нагрузку для уменьшения отражений. «Звон» и выбросы на этих линиях могут быть также минимизированы за счет использования соответствующей оконечной нагрузки.

Изменение импеданса печатной платы, при котором возможно усиление помех, можно минимизировать за счет использования более широких металлических проводников, что уменьшает импеданс силовых линий. Где это возможно, сигнальные проводники следует проектировать с учетом задержки распространения и времени нарастания и спада сигнала, а также использовать отдельные слои питания и земли. Следует избегать применения щелевых апертур в топологии печатных плат, особенно в слоях земли или около токовых дорожек для снижения нежелательных антенных эффектов.

Кроме того, необходимо по возможности минимизировать применение T-образных ответвлений проводников, которые могут вызывать отражения сигнала и появление гармоник. Следует уменьшить число или совсем исключить резкие изгибы металлических проводников для того, чтобы снизить концентрацию поля. Плавающие проводящие области могут быть источниками излучаемых помех, поэтому следует избегать их появления, за исключением случаев, когда они необходимы для улучшения теплового режима на плате. Кроме того, твердотельные компоненты на плате должны быть развязаны как можно ближе к линиям питания кристалла — это нужно, чтобы уменьшить шум от элемента и переходные процессы в линиях питания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Don Li, Jeff Schnabel. *Electromagnetic Compatibility Considerations for Switched Mode Power Supplies*//CUI Inc.
2. *SMPS AC/DC Reference Design User's Guide*//Microchip Technology Inc.
3. Glenn Skutt. *Application Note: Meeting Military Requirements for EMI and Transient Voltage Spike Suppression*//VPT, Inc.

## ГРАНИТ-ВТ

Электронная аппаратура для ответственных применений

- Серийное производство электронных модулей, в т.ч. с приемкой "5"
- Париленовое влагозащитное покрытие
- Контрактное производство высокотехнологичной электроники, в т.ч. BGA с рентген-контролем
- Контрактная разработка и инженерное сопровождение



Интерактивный конструктор  
электронных приборов на сайте [www.granit-vt.ru](http://www.granit-vt.ru)

ЗАО "ГРАНИТ-ВТ" т./ф.: 8 (812) 274-04-48, e-mail: mail@granit-vt.com, www.granit-vt.ru 191014, Санкт-Петербург, ул. Госпитальная 3