

Методы снижения синфазных и дифференциальных помех при проектировании электронных изделий

Хидетоши ЯМАМОТО
(Hidetoshi YAMAMOTO)

Электромагнитные помехи могут представлять серьезную проблему для электронных изделий, а потому требуют особого внимания со стороны разработчиков. В одном из предыдущих материалов [2] рассматривались вопросы электромагнитных помех и борьба с ними для импульсных источников питания. В данной статье на базе публикации [1] уделено внимание проблеме кондуктивных помех, связанных именно с линиями передачи сигналов, и их влиянию на конечное оборудование. Таким образом, в этом случае необходимо разобраться в различиях между синфазными и дифференциальными помехами, их воздействием на оборудование и сами линии связи, а также дать основные практические рекомендации по минимизации влияния таких помех.

Поскольку рассматриваемые помехи представляют собой разновидность электрической энергии, они естественным образом распространяются по проводникам в виде тока. В случаях, когда проводник представляет собой одну из жил многожильного кабеля, помехи по способу распространения делят на два вида: синфазные и дифференциальные. Схема, представленная на рис. 1, воспроизводит типичную ситуацию, с которой нередко приходится

иметь дело при устранении влияния помех в системе электронного оборудования. Здесь к электронному устройству подсоединен интерфейсный кабель, который действует как антенна, излучая помехи. Когда кабель отсутствует, уровень помех низок (рис. 1а). А при подсоединенном кабеле уровень помех в полосе частот от 100 до 300 МГц возрастает, как показано на рис. 1б.

Обычно у интерфейсного кабеля есть заземляющая линия, линия питания и сиг-

нальная линия. Какая же из них проводит помеху? К тому же кабель, изображенный на рис. 1, может быть экранированным. Будет ли в этом случае помеха также распространяться и через экран? На деле синфазная помеха поступает на все контакты соединителя, к которому подключен кабель. «Земля» электрической цепи в общем случае рассматривается как некая условная точка отсчета потенциала, уровень помех в которой минимален. Если на «земляном» проводнике есть наложенная помеха, как показано на рис. 1, та же помеха будет присутствовать и в цепи питания, и в сигнальной цепи. Помеха, наложенная на общий провод («землю»), называется синфазной.

Принцип работы всех электрических устройств основан на протекании электрического тока по замкнутой цепи. Рассмотрим случай, когда часть цепи — кабель — вынесена вовне, как на рис. 2а. Кабель представлен двумя сигнальными проводниками, через которые течет ток в противоположных направлениях. Эти токи равны по модулю, но противоположны по направлению, а потому сумма их электрических полей всегда будет равна нулю. Такой режим называется дифференциальным.

Возможна и другая ситуация, когда токи по разным линиям внутри кабеля протекают в одном направлении (рис. 2б). В таком случае говорят о синфазном режиме. Синфазная компонента — это составляющая электрического тока, протекающая по разным линиям в одном и том же направлении из-за одинакового напряжения, воздействующего

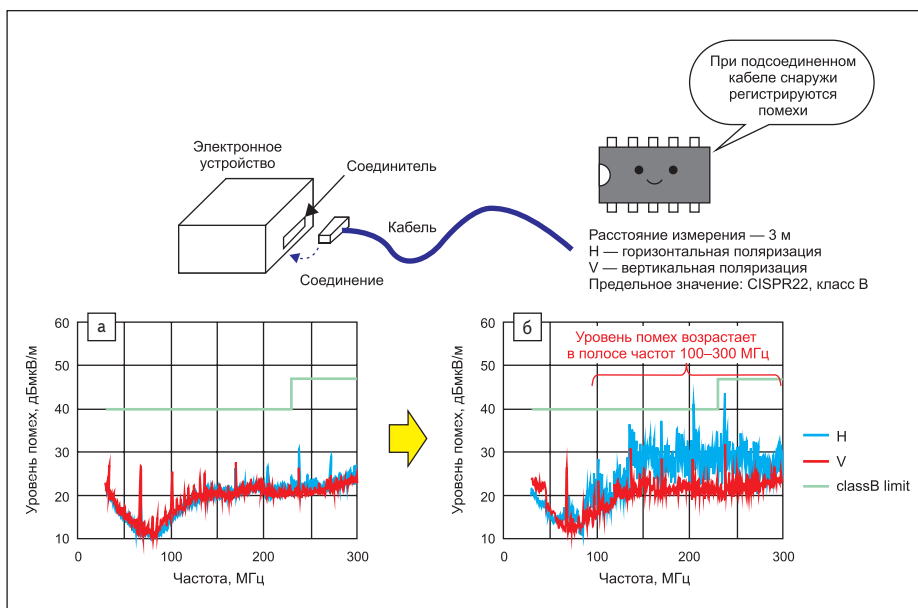


Рис. 1. Пример электромагнитных помех, излучаемых кабелем электронного устройства: а) без кабеля; б) при подсоединенном кабеле

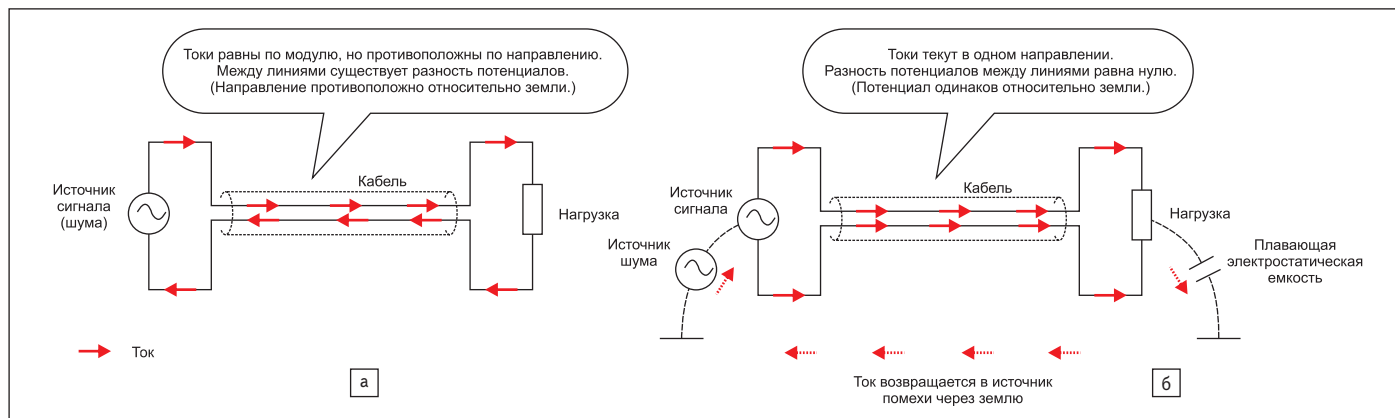


Рис. 2. Режимы: а) дифференциальный; б) синфазный

на каждую из линий тем или иным образом. Из рисунка можно понять, что ток помехи обусловлен утечкой тока через плавающую электростатическую емкость нагрузки относительно «земли» с возвратом в источник помехи через «землю» (ток может протекать и через непосредственное соединение нагрузки с источником помехи, не проходя через «землю»).

В общем случае для подавления дифференциальных помех, распространяющихся по проводникам, используются фильтры нижних частот (ФНЧ) из конденсаторов (С) и катушек индуктивности (L). Эти фильтры устанавливаются в середине кабеля, служащего проводником помехи, или в точке его подсоединения. Как показано на рис. 3, сочетание конденсатора, включенного параллельно, и последовательно включенного реактивного элемента в виде дросселя может служить фильтром для подавления дифференциальных помех. Как уже говорилось, ток дифференциальной помехи течет в том же направлении, что и рабочий ток цепи. Поэтому индуктивность L и емкость С подбирают так, чтобы частота среза образованного ими ФНЧ не оказывала влияния на функционирование цепи.

Если обе линии имеют плавающий потенциал относительно «земли», цепь считается дифференциальной, и последовательно включенный реактивный элемент в виде дросселя используется в обеих линиях. При этом необходимо позаботиться о сохранении симметрии, чтобы импеданс линий был одинаков. Если же одна из сторон заземлена (например, как в цифровых цепях), цепь считается несимметричной, и на стороне «земли» такой реактивный элемент обычно не применяется. Здесь терминами «дифференциальный» и «несимметричный» обозначается соотношение между потенциалами линий относительно «земли» при протекании синфазной компоненты тока. Если потенциал двух линий симметричен (равен по модулю и противоположен по знаку), то цепь носит название дифференциальной, а если значительный потенциал имеет только одна из линий, то цепь

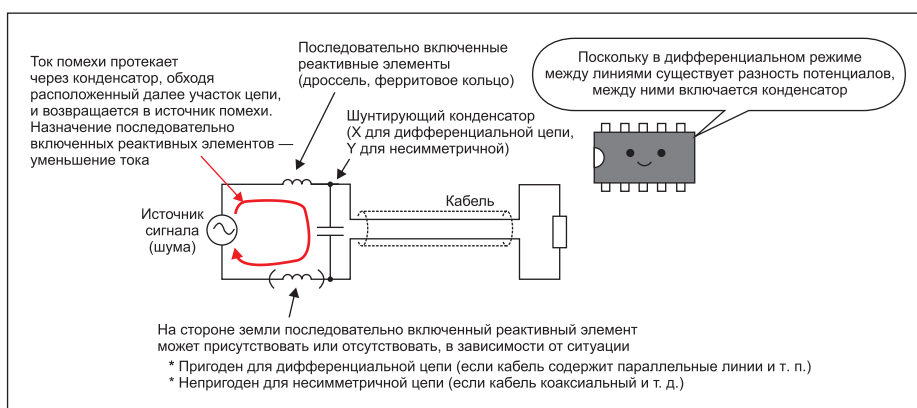


Рис. 3. Пример схемы фильтра дифференциальных помех

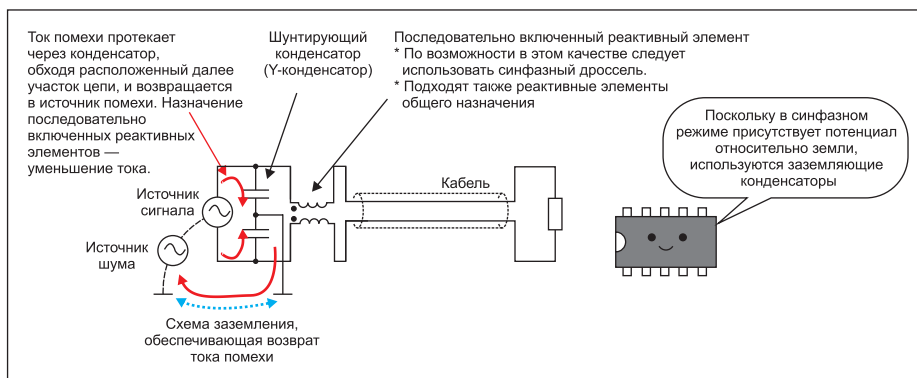


Рис. 4. Простейшая схема фильтра синфазных помех

называется несимметричной. Вторая линия несимметричной цепи — это «земля», потенциал которой почти равен нулю.

На рис. 4 показана схема фильтра синфазных помех, содержащего соединенные с «землей» конденсаторы (их еще называют Y-конденсаторами). В качестве последовательно включенного реактивного элемента следует по возможности использовать синфазный дроссель. Если кабель многожильный, целесообразно создать аналог синфазного дросселя, намотав его на ферритовый сердечник или пропустив его через такой сердечник. Синфазная помеха может возникнуть на общей линии, к которой подсоединен

Y-конденсатор. В этом случае помехоподавляющее действие Y-конденсатора ослабляется, поскольку такая общая линия, к которой он подключен, уже не является «землей» в прямом смысле, так как она не имеет нулевой потенциал относительно точки заземления.

В подобной ситуации необходимо предусмотреть отдельную точку заземления для Y-конденсатора. Как показано на рис. 4, она должна обеспечивать более легкий путь для возврата тока помехи в источник помехи, чем пути через паразитные емкости, замыкая контур и таким образом ограничивая ее распространение.

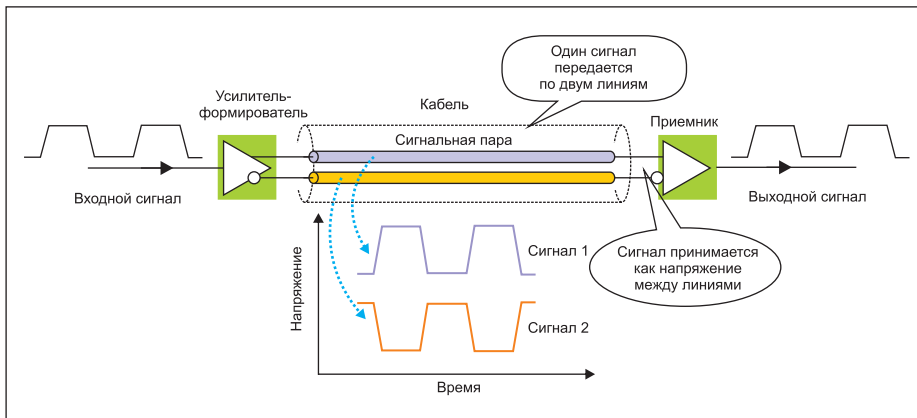


Рис. 5. Форма дифференциального сигнала

В последние годы высокоскоростная передача сигналов (как, например, в интерфейсе USB) все чаще реализуется по дифференциальной схеме. Синфазные помехи, содержащиеся в дифференциальных сигналах, несколько отличаются от тех, которые описаны выше.

В дифференциальной схеме сигналы на каждой линии в паре имеют противоположную фазу, как показано на рис. 5, и сигнал регистрируется приемником как разность напряжения между линиями. Если токи двух линий симметричны, они содержат только дифференциальную компоненту, поэтому уровень помех очень низок ввиду механизма, изображенного на рис. 5. В этом случае снижается и восприимчивость к помехам, наведенным извне.

Вместе с тем если сигнал, переданный по двум линиям, слегка разбалансирован (теряет симметрию), его разбалансированные компоненты образуют синфазную помеху. Считается, что разбаланс может быть вызван такими факторами, как несогласованность скорости нарастания и спада импульса, различия во времени распространения или в абсолютных величинах сигналов, а также наложенными на него синфазными помехами.

За исключением последнего, все эти факторы представляют собой проблемы, связанные с формированием целостности сигнала,

а не с помехами как таковыми. Кроме того, разбаланс может возникать и из-за неодинаковой длины проводов в линиях передачи сигнала, их изгиба, различий полного сопротивления (импеданса) оконечных нагрузочных резисторов или несоблюдения требований по согласованию (волновому сопротивлению), что приводит к росту коэффициента стоячей волны (КСВ) и, следовательно, к возникновению внутренних отражений в линии передачи. Спектр синфазной помехи, обусловленной разбалансом сигнала, имеет вид высокочастотных гармоник, наложенных на частоту основного сигнала (рис. 6).

Кроме того, наложенная помеха часто наблюдается как результат воздействия внешней помехи через источник питания или «землю» усилителя-формирователя либо приемника. Она может иметь вид гармоник основного сигнала, а может возникать на частотах, никак не связанных с частотой сигнала, что приводит к возникновению интермодуляционных искажений. При этом особенно сложно удалять низкочастотные биения [2].

Обычно для подавления тока синфазных помех, которые приводят или являются следствием разбаланса дифференциальных сигналов, используются синфазные дроссели. Как правило, они устанавливаются на стороне усилителя-формирователя. Но если по-

мехи наблюдаются на стороне приемника, дроссели устанавливаются и там. В качестве синфазных дросселей должны быть выбраны элементы с малой величиной затухания на рабочей частоте. Причина этого заключается в том, чтобы такие дроссели не оказывали негативного влияния на полезный дифференциальный сигнал. Такой выбор не вызывает сложности, поскольку основной спектр помех обычно лежит значительно выше рабочей частоты линии передачи. Помимо синфазных дросселей, для защиты дифференциальных сигналов от помех применяются экранированные кабели.

Из всего сказанного можно сделать следующие выводы.

Кондуктивные помехи, или помехи проводимости, — это не только и не столько продукты внешнего влияния, они могут быть следствием внутренних процессов, связанных с технологией передачи информации. При наличии линий связи с высокоскоростными сигналами мы неизбежно сталкиваемся с проблемой помех проводимости.

Помехи проводимости имеют два типа: дифференциальный и синфазный. В зависимости от характера воздействия на сигнал помехи могут суммироваться с сигналом, не изменяя информативной составляющей самого сигнала, а могут изменять форму информационно-отличительной части сигнала, иметь зависимость от его значений и от определенных особенностей в сигнале и т. п. При известном характере помех последнего типа возможна коррекция сигнала для уменьшения их влияния. Такой коррекцией может быть улучшение согласования линии передачи (по КСВ, длинам отдельных линий, минимизации перегибов и т. п.), повышение качества формирования дифференциального сигнала (согласования по скорости нарастания и амплитуде).

Для дифференциальной помехи должен использоваться метод ее замыкания с помощью X-конденсаторов, а еще лучше полноценных ФНЧ с использованием дросселей. При этом частоту среза такого фильтра следует выбирать с учетом минимального его влияния на передачу полезного сигнала.

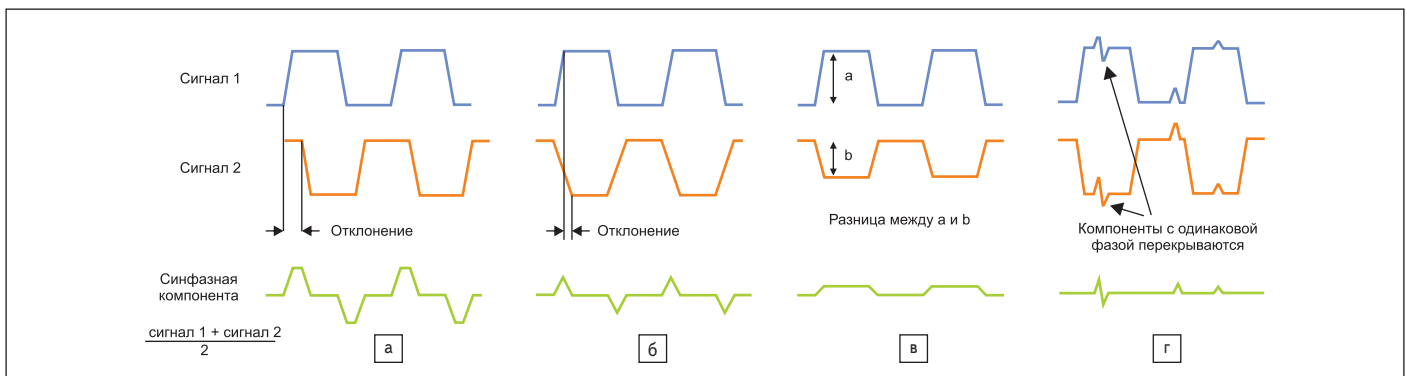


Рис. 6. Причины возникновения синфазных помех:

а) неодинаковое время распространения; б) неодинаковое время нарастания; в) разные величины сигналов; г) наложенная синфазная помеха

Синфазные помехи могут быть вызваны токами утечки в цепи, например через паразитные емкости. Такая утечка вызывает сильное электромагнитное излучение, которое влияет на работу конечного оборудования. И хотя синфазные помехи не сказываются непосредственно на структуре передаваемого сигнала, они переходят в дифференциальные, а потому они должны быть уменьшены как можно раньше и как можно ближе к их потенциальному источнику. Поскольку подавление таких помех путем обычной фильтрации невозможно, то для их подавления необходимо использовать специальные синфазные

дроссели или ферритовые поглощающие элементы, установленные на линию передачи. Кроме того, если это возможно, следует применять блокирующие данный вид помех Y-конденсаторы с правильно выбранной точкой их подключения, которые сформируют более легкий путь для помехи и, таким образом, устранят ее дальнейшее распространение.

Еще одним важным аспектом является экранирование. Этот вопрос требует отдельного рассмотрения. Однако надо учитывать, что в ряде случаев само по себе экранирование не решает поднятую в настоящей статье проблему на сто процентов, поскольку рас-

смотренные помехи могут и будут наводиться на экранную оплетку. Так что в любом случае решение должно быть комплексным. ■

Литература

1. Noise Suppression Products/EMI Suppression Filters. Conductor conduction and common mode. Murata Manufacturing Co., Ltd. www.murata.com/en-sg/products/emc/emifil/knowhow/basic
2. Робертс С. Решения проблемы пульсаций и помех DC/DC-преобразователей: входная и выходная фильтрация // Компоненты и технологии. 2015. № 8.