

Электромагнитная совместимость автомобильной электроники

Владимир КОНДРАТЬЕВ,
инженер

Быстрое развитие автомобильной промышленности, создание автономных транспортных средств и систем помощи водителю (ADAS) порождает необходимость разработки специальных устройств и методик для измерения электромагнитной совместимости (ЭМС) оборудования автомобиля. В автомобиле устанавливается все большее количество сложных электронных устройств, которые должны работать совместно, не создавая помехи друг другу, а также системам безопасности и связи.

Введение

Увеличение количества электронных устройств в автомобильных системах повлекло за собой изменения в электронном блоке управления автомобилем, системах связи, системах передачи информации, безопасности и мультимедиа. Одним из главных аспектов при установке нового оборудования является организация электромагнитной совместимости с уже имеющимися системами.

Обновленные стандарты правил установки беспроводной связи в транспортных средствах требуют создания высокопроизводительных электронных систем, обладающих высокой скоростью передачи и обработки данных и, следовательно, работающих на высоких частотах. Каждая новая подсистема должна соответствовать стандартам электромагнитной совместимости, соблюдать целостность передаваемых сигналов и обрабатываемых потоков данных. Кроме того, в силу постоянной миниатюризации электронных устройств необходимо точно следовать установленным производственным стандартам и допускам, т. к. различия в номинальных параметрах устройства могут вызывать отклонения в режиме работы, что, в свою очередь, может негативно влиять на ЭМС, целостность сигнала и питания.

Целостность сигнала

Исторически одним из ключевых этапов разработки новых систем является проведение испытаний на целостность сигнала (SI). В связи с постоянно растущей потребностью в более высокой пропускной способности системы и уменьшении времени задержки, вызванной вычислениями на удаленных серверах, заказчики все чаще требуют при разработке использовать устройства на базе ламинированных материалов с низкими потерями, отвечающих в то же время более

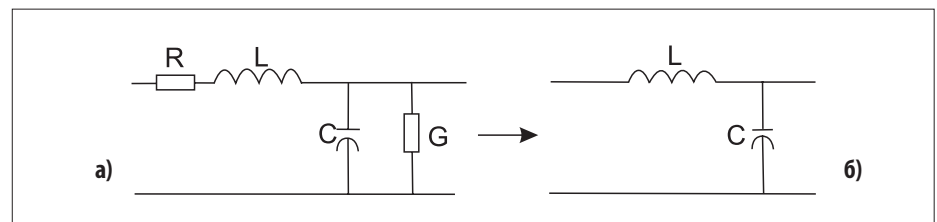


Рис. 1. а) схема линии передачи; б) аппроксимация 1-го порядка

строгим техническим требованиям и допускам для контроля импеданса.

Методики анализа целостности сигнала постоянно совершенствуются — в них сочетается анализ с помощью имитационных моделей и измерительных приборов, что позволяет осуществлять точное исследование сигнала при прохождении через линии передачи, переходные отверстия, корпуса и разъемы. По мере усложнения печатных плат границы между анализом целостности сигнала и анализом цепей питания устройства размываются. Понятия целостности сигнала и целостности цепей электропитания устройства тесно связаны. Анализ целостности сигнала является важным шагом для создания надежных устройств, а также для понимания и решения возможных проблем, возникающих при тестировании опытных образцов в лабораторных условиях.

Цифровые устройства ранее не имели проблем с потерей данных в линии передачи, т. к. на низких скоростях частота откли-

ка имеет слабое влияние на сигнал. Однако с ростом скорости передачи даже короткие линии могут страдать от перекрестных помех и отражений сигнала. В таком случае характеристики цепи передачи определяются на основе паразитных сопротивлений, воздействующих на линию.

Пример схемы линии передачи показан на рис. 1. Величина общего сопротивления играет ключевую роль в этой схеме, определяя однородность линии передачи и, как следствие, качество передаваемого сигнала. В случае если линия передачи не согласована с источником сигнала и нагрузкой (приемником), т. е. их импедансы имеют разные значения, возникают нежелательные эффекты, например отражения сигнала, что, в свою очередь, вызывает потерю энергии и ухудшение качества передачи. При высоких скоростях передачи данных могут появиться нежелательные выбросы или спады. Кроме того, форма сигнала может стать ступенчатой, что приводит к сбоям в работе системы.

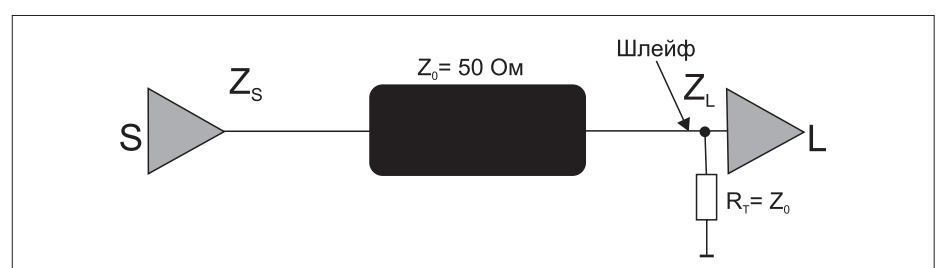


Рис. 2. Схема параллельного согласования

Несоответствие величин импеданса можно преодолеть путем параллельного согласования линии передачи данных с источником сигнала при помощи шунтирующего резистора R_T (рис. 2) или с помощью RC-фильтра, позволяющего, однако, согласовать сигналы только при высокой частоте передачи.

Другим фактором, влияющим на качество передачи сигнала при высокой частоте, являются потери в линии, которые не позволяют приемнику корректно обрабатывать информацию.

Основные причины потерь в линии передачи, как правило, связаны с материалом проводника или подложки печатной платы.

- **Диэлектрические потери.** Высоко-частотные сигналы возбуждают молекулы изолирующего материала, снижая уровень сигнала. Диэлектрические потери – характеристика материала печатной платы.
- **Поверхностный эффект.** По мере увеличения частоты сигнала уменьшается его амплитуда при проникновении вглубь проводящей среды. В результате переменный ток высокой частоты при протекании по проводнику распределяется преимущественно в поверхностном слое. В свою очередь, уменьшение толщины проводящего слоя вызывает увеличение сопротивления и, следовательно, затухание сигнала (рис. 3). Плотность переменного тока J по мере проникновения вглубь проводника изменяется по экспоненциальному закону, а величина δ , характеризующая толщину скин-слоя, определяется по формуле:

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu}} \sqrt{\sqrt{(1+\cos\epsilon)^2 + \rho\omega\epsilon}}, \quad (1)$$

где ρ — удельное сопротивление проводника; ω — угловая частота; μ — магнитная проницаемость; ϵ — диэлектрическая проницаемость материала.

В настоящее время наиболее популярным типом ИС для автомобилестроения являются КМОП-микросхемы благодаря высокой скорости переключения и очень низким значениям рассеиваемой мощности. Идеальная КМОП-микросхема потребляет (рассеивает) энергию, только когда она меняет свое состояние, т. е. когда происходит разряд или заряд емкостей. В целом, для КМОП-схем ток потребления составляет в среднем 10 мА, а методы ограничения выбросов учитывают пиковые значения напряжения и тока, а не их среднюю величину.

Всплески тока в цепи питания микросхемы являются одним из основных источников искажения сигнала. Установка блокировочных конденсаторов рядом с каждым контактом питания позволяет частично решить эту проблему. Однако стоит также учитывать емкость конденсаторов: при перезарядке конденсаторов большой емкости возникают

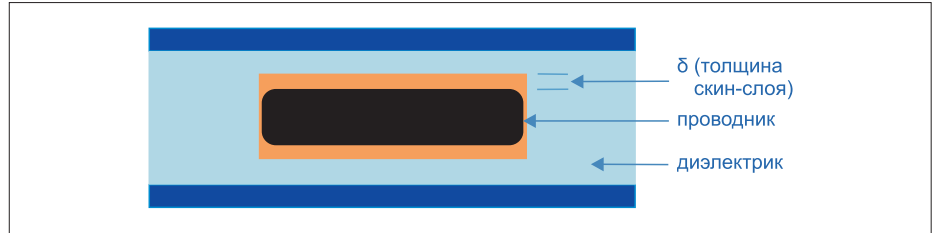


Рис. 3. Структура печатной платы. Оранжевый слой — глубина проникновения тока; синий слой — опорный («земля» или питание); голубой — диэлектрический материал. Медный слой печатной платы выделен черным цветом

заметные выбросы тока. Кроме того, эти компоненты не успевают полностью перезарядиться при высокой скорости работы схемы.

В свою очередь, конденсаторы малой емкости могут обеспечить работу схемы на высокой частоте, но в таком случае возникают проблемы с быстрым разрядом из-за небольшой емкости. Наилучшим решением для большинства цепей является сочетание параллельно установленных конденсаторов разных номиналов, например 1 и 0,01 мкФ.

Как известно, автомобильные электронные системы работают в т. ч. в АМ-диапазоне (530 кГц—1,8 МГц). Почти каждый автомобиль оснащен радиоприемником, который имеет очень чувствительный и настраиваемый усилитель с высоким коэффициентом усиления в диапазоне 500 кГц—1,5 МГц. В то же время многие устройства в цепях питания работают на коммутационных частотах в этой же полосе, что приводит к проблемам совместимости. Из-за подобных проблем большинство устройств переводят на частоты, расположенные выше АМ-диапазона; как правило, это частоты более 2 МГц.

Автомобильный стандарт

Основные требования ЭМС к автомобильной электронике заключаются в том, чтобы электронные устройства не излучали сильных электромагнитных помех (ЭМП). Кроме того, устанавливаемые устройства должны

быть защищены от электромагнитного влияния других систем.

Как правило, в автомобилях установлено сразу несколько приемников разных систем, распределенных по внутреннему пространству. Стандарты их защиты разработаны и определены международной электротехнической комиссией (МЭК, IEC). Цепи питания в автомобильных устройствах должны соответствовать CISPR 25 — международному стандарту, определяющему допустимый максимум электромагнитных помех (рис. 4).

Автомобильные стандарты, относящиеся к электромагнитной совместимости, в основном разрабатываются организациями CISPR, ISO и SAE. CISPR и ISO — организации, которые разрабатывают и поддерживают стандарты для международного использования. Стандарты CISPR 25 и ISO 11452-2 составляют основу для большинства спецификаций в области ЭМС.

Стандарт CISPR 25 устанавливает требования, согласно которым уровень ЭМП должен быть как минимум на 6 дБ меньше, чем самое низкое измеренное значение сигнала. Тестирование на устойчивость к кондуктивным высокочастотным помехам проводится с использованием технологии инъекции тока (BCI) в соответствии с требованиями стандарта ISO 11452-4.

Стандарт CISPR 25 описывает ограничения и методики измерения помех в диапазоне частот 150 кГц—1000 МГц. Стандарт действует в отношении любого электронного

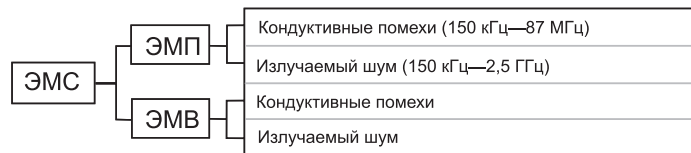


Рис. 4. Электромагнитные помехи в автомобильных системах

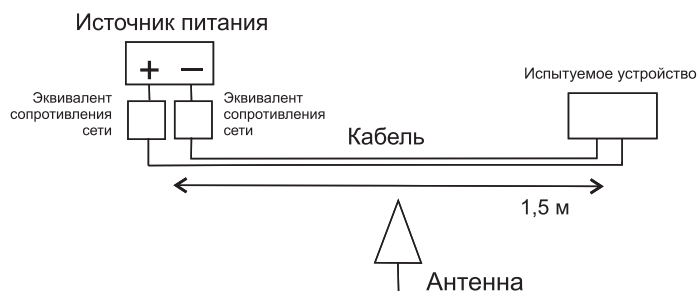


Рис. 5. Пример схемы для измерения электромагнитных помех, излучаемых компонентом

компонента, предназначенного для использования в автотранспортных средствах. CISPR 25 также определяет схему тестирования и измерения помех, излучаемых компонентами (рис. 5).

Если частота помехи не превышает 1 ГГц, антенна размещается в средней точке кабеля. Протекающий в линии ток (напряжение, LISN) измеряется при наведенной помехе. Качество сигнала, в свою очередь, определяется совокупностью длины линии и наведенного шума. Для соответствия требованиям ЭМС необходимо не только уменьшить уровень помех от источника, но и исключить их распространение вдоль линии передачи.

Тестирование на ЭМС

При наличии магнитного поля катушка из проводящего материала может работать как антенна, преобразующая магнитное поле в ток (явление электромагнитной индукции). Сокращение размера и количества витков минимизирует индуктивное воздействие на схему. Этот эффект можно наблюдать, например, при передаче дифференциального сигнала: между передатчиком и приемником образуется петля, наводящая индукционные помехи на сигнал. Другой пример — совместное использование одной и той же схемы двумя подсистемами, например дисплеем и электронным блоком управления.

Как известно, часть сигнала отражается в тех участках линии передачи высокоскоростного сигнала, где имеются разрывы импеданса. Отражение сигнала приводит к его искажениям.

Искажения сигнала вызываются также задержками в сигнальных проводниках или в заземляющем слое печатной платы. Чтобы избежать подобных явлений, необходимо исключить острые углы при разводке дорожек на печатной плате. Для минимизации отражений от компонентов используются компоненты небольших размеров, изготовленные, например, в корпусе 0402, а ширина дорожки выбирается равной ширине компонента. Часто во избежание ЭМП по возможности уменьшают скорость изменения напряжения (dv/dt) или тока (di/dt). В данном случае

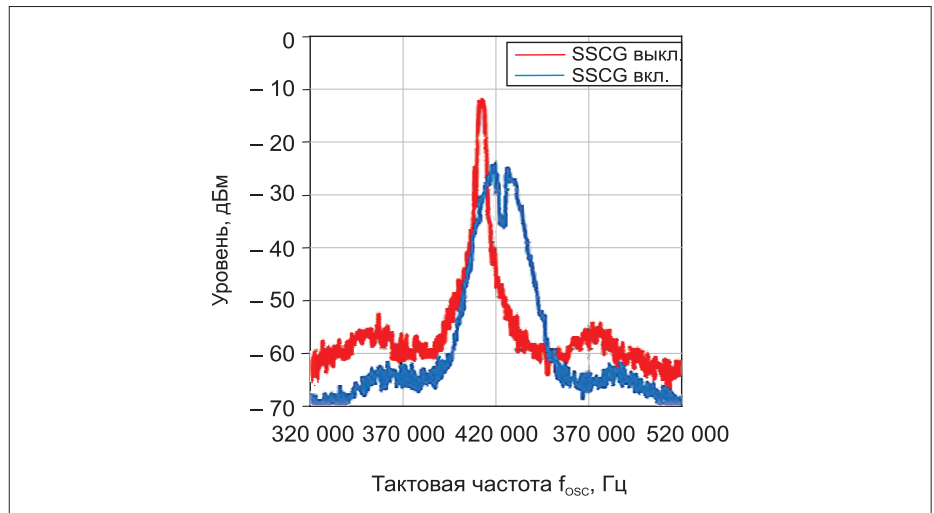


Рис. 6. Снижение уровня электромагнитных помех с помощью SSCG

DC/DC-преобразователи могут оказаться эффективнее, чем другие линейные решения.

При проектировании автомобильного оборудования требуется предусмотреть защиту от помех в диапазоне 500 кГц—1,5 МГц. Большинство автомобильных устройств работает на коммутационных частотах выше этой полосы. Если фильтр не позволяет исключить помехи, они наводятся во всей цепи.

Существует несколько способов уменьшить уровень электромагнитных помех. При использовании тактового генератора с распределенным спектром (Spread Spectrum Clock Generator, SSCG) энергия сигнала, содержащаяся в узкой полосе частот генератора, распределяется по более широкой полосе, что уменьшает амплитуду основной гармоники и меньших гармоник. В результате уменьшается электромагнитное излучение, создаваемое тактовым генератором. Этот эффект достигается путем модуляции тактовой частоты, что позволяет сгладить выбросы, создаваемые ЭМП.

Контролируемое изменение тактовой частоты в определенном диапазоне позволяет «размазать» спектр помех по этому диапазону. Энергия излучения также распределяется по этому диапазону частот, что приводит к уменьшению амплитуды пиковых значений помех. Метод SSCG, обеспечивающий

электромагнитную совместимость, является лучшим решением для снижения электромагнитных помех, т. к. позволяет сохранить целостность тактового сигнала и охватить широкий диапазон частот. По сравнению с традиционными методами, основанными на использовании пассивных компонентов, например ферритовых бусин, радиочастотных катушек для подавления электромагнитных помех, в методе SSCG используется микросхема с активными компонентами для уменьшения помех с помощью частотной модуляции (рис. 6).

Цепи питания

Электронные устройства, устанавливаемые на транспортные средства, имеют разные источники питания. Управление цепями питания происходит при помощи коммутационных схем, которые, однако, также являются источниками помех. Если нет возможности увеличить частоту переключения, приходится искать другие методы подавления помех.

Коммутационная частота DC/DC-преобразователей, устанавливаемых в автомобильных системах, составляет 2 МГц (за исключением некоторых устройств). Таким образом, при использовании АМ-диапазона

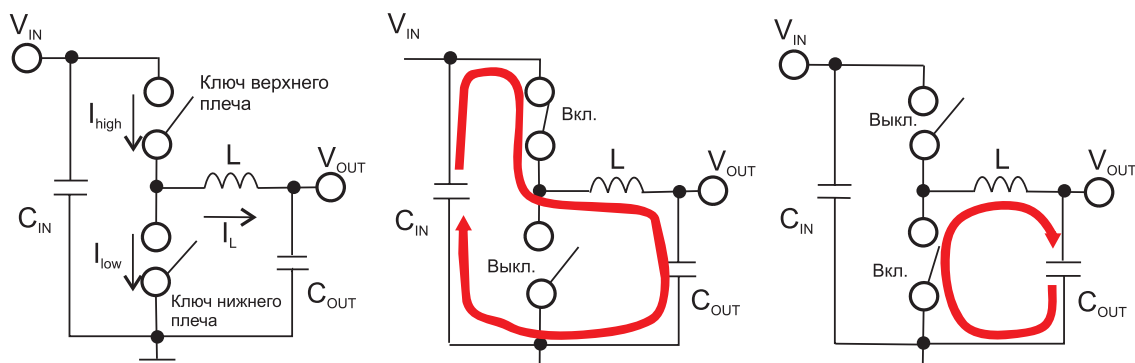


Рис. 7. Работа понижающего преобразователя с токовой петлей при разных положениях переключателя

(530 кГц—1,8 МГц) практически не возникают проблемы, связанные с ЭМП, поскольку он находится ниже 2 МГц, но появляется необходимость в подавлении помех на частоте выше 2 МГц. В частности, помехи на частоте выше 30 МГц требуют особого внимания, т. к. они влияют на функционал автомобильных систем. Схема понижающего DC/DC-преобразователя показана на рис. 7.

Паразитная индуктивность контура создает колебания напряжения и, следовательно, помехи. Чтобы сгладить колебания напряжения, необходимо уменьшить паразитные индуктивности и повысить скорость реакции схемы. Данные методы подавления помех применяются не только в транспортной сфере, но и в промышленном оборудовании (рис. 8, 9).

Для подавления помех на частоте до 20 МГц можно использовать специальные экраны. Для подавления помех на частоте выше 20 МГц устанавливается синфазный дроссель (СМСС) в непосредственной близости с разъемом питания, или используется фильтр низких частот (ФНЧ) рядом с разъемом (рис. 10).

Выводы

Управление и работа современных автотранспортных средств все в большей мере зависит от электронных систем — систем помощи водителю (ADAS), автопилота и т. д., которые должны безошибочно функционировать, не создавая электромагнитных помех для других автомобильных систем. Разработка и реализация надежных систем, которые не создают ЭМП и не ухудшают работу других устройств, стало возможным благодаря правильному подбору электронных компонентов, материалов проводников и печатных плат.



Рис. 8. Система питания автомобиля

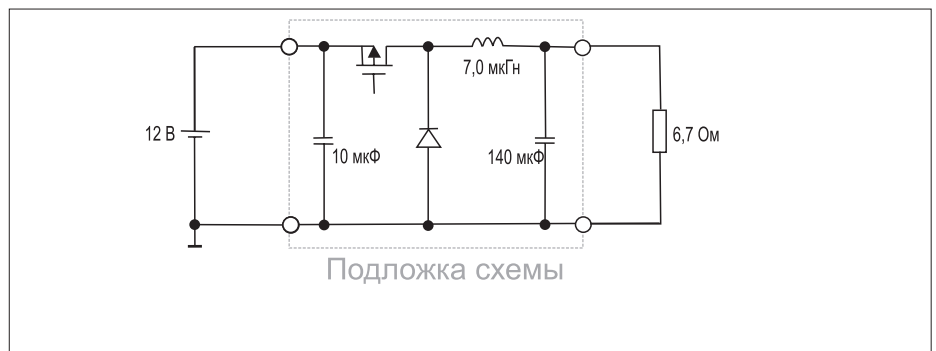


Рис. 9. Микросхема понижающего DC-DC преобразователя

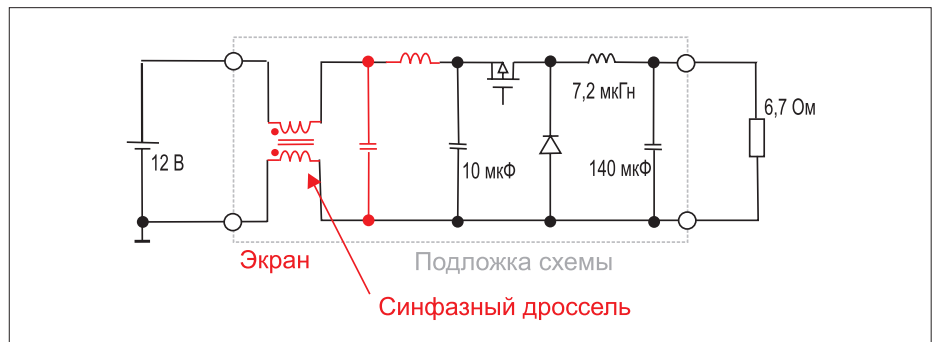


Рис. 10. DC/DC-преобразователь с рис. 9 с дополнительными компонентами для подавления помех

Статья опубликована в журнале «Электронные компоненты» № 10'2019