

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА НОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПО ПАРАМЕТРАМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ. ЧАСТЬ 1

© 2024 А.С. Подгорний¹, П.А. Николаев², В.Н. Козловский¹

¹ Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

² АО «АВТОВАЗ», Тольятти, Россия

Статья поступила в редакцию 01.04.2024

В первой части статьи представлены результаты разработки и реализации комплекса типовых решений применяемых для обеспечения электромагнитной совместимости автотранспортных на уровнях информационных и топологических решений.

Ключевые слова: автотранспортное средство, бортовой электротехнический комплекс, электромагнитная совместимость.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-2-13-20

EDN: QGXWEV

Для нормального функционирования бортового электротехнического комплекса (БЭК) автотранспортного средства (АТС) уже на этапе проектирования закладываются инженерные решения в области обеспечения качества и электромагнитной совместимости (ЭМС). Из практики известно, что при недостаточно должном ЭМС подходе, БЭК не только перестает нормально функционировать, но и влияет на работоспособность других систем. Наиболее часто проблемы выявляются, когда разрабатывается принципиально новые электротехнические и электронные устройства. Учет ЭМС на первоначальном этапе позволяет минимизировать ресурсы доработок для быстрого и эффективного обеспечения соответствия требованиям [1 – 13]. Во многих случаях для решения проблем применяется комплексный подход.

Обобщая существующий опыт, можно дать следующую классификацию по способу реализации применяемых для обеспечения помехоустойчивости решений ЭМС (рис. 1).

Информационные решения

К данной группе относятся решения, принципы обеспечения ЭМС которых основаны на применении помехозащищенной информации. Сюда входят сигналы, коды и программные решения.

Сигналы лежат в основе всех информационных сообщений. При их искажении происходят ошибки приема данных, и нарушается

Подгорний Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент. E-mail: zxcvbnm89207@yandex.ru

Николаев Павел Александрович, доктор технических наук, начальник лаборатории электромагнитной совместимости. E-mail: pra690@yandex.ru

Козловский Владимир Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой.

E-mail: Kozlovskiy-76@mail.ru

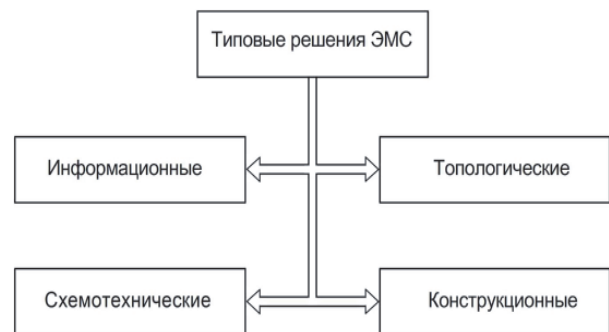


Рисунок 1 – Классификация типовых решений, применяемых для обеспечения помехоустойчивости АТС

работоспособность бортовой электроники. Вследствие чего целостность сигналов важна для нормального функционирования электрооборудования.

В АТС используется как аналоговая, так и цифровая передача информации. В основном аналоговые сигналы поступают с датчиков на входе систем управления, с дальнейшим преобразованием в цифровой формат (рис. 2). Межсистемные коммуникации производятся посредством цифровых сигналов.

Наименее помехозащищенными являются аналоговые сигналы, у которых амплитуда служит носителем информации. Физический процесс искажения заключается в изменении истинного значения $U_{ист}$ на некоторую величину, соответствующую наведенной помехе. Дальнейшая обработка информации производит по искаженным данным.

$$U_{изм} = U_{ист} \pm U_{п}, \quad (1)$$

где $U_{изм}$ – напряжение сигнала на входе устройства обработки; $U_{ист}$ – истинное значение сигнала; $U_{п}$ – напряжение помехи.

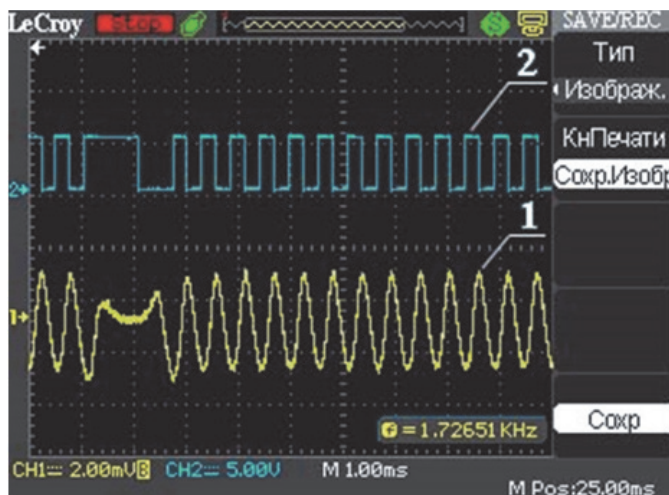


Рисунок 2 – Сигналы датчика положения коленчатого вала: 1 – аналоговый; 2 – цифровой, после преобразователя

Уровень наведенных помех из-за линейности АТС, как электромагнитной системы, пропорционален уровню внешнего излучения. Если U_n таково, что выходная функция управления выходит за допустимые пределы, то происходит нарушение функционирования АТС. Например, неправильное определение количества топлива из-за искажения данных массового объема воздуха подаваемого в цилиндры двигателя может привести к его остановке. Из-за наведенных помех на датчик массового расхода воздуха, контроллер системы управления скорректирует подачу топлива, вследствие чего в действительности получится обедненная или обогащенная топливовоздушная смесь. Если коэффициент избытка воздуха $\alpha_{ив}$ будет выходить за пределы 0,4 – 1,3, то фронт пламени в цилиндре не будет развиваться, и смесь не будет гореть. На рис. 3 показана динамика развития сбоя. На участке I уровень электромагнитного воздействия незначителен и сигнал с датчика массового расхода воздуха не искажен. Дальнейшее увеличение амплитуды внешнего излучения приводит к наведению помех, достаточных для по-

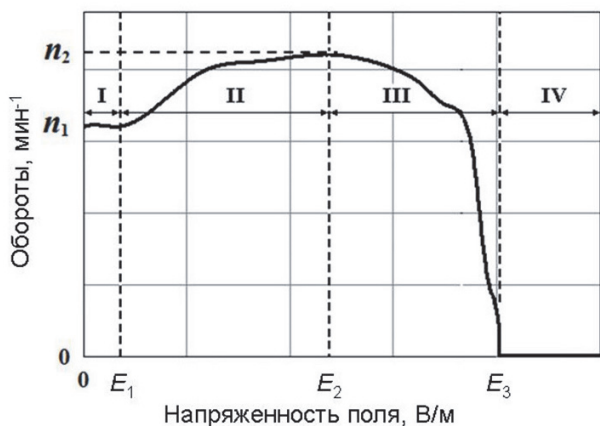


Рисунок 3 – Развитие сбоя двигателя при искажении информации о поступающем в цилиндры воздухе

явления ошибки управления, выражающейся в обогащении топливовоздушной смеси. Участок II характеризуется достижением значения $\alpha_{ив} = 0,8$ и двигатель выходит на точку характеристики максимальной мощности. Это обуславливает приращению оборотов с n_1 до n_2 . Дальнейшее увеличение уровня излучения приводит к уменьшению коэффициента избытка воздуха, и соответственно мощности двигателя. На участке III обороты падают, а затем, когда уровень помех становится такой, что фактический $\alpha_{ив} < 0,4$, двигатель останавливается (участок IV).

Основной путь повышения помехозащищенности информации с датчиков является применение частотно-модулированных сигналов (рис. 4).

Для повышения помехозащищенности цифровой информации применяются дифференциальные сигналы (рис. 5), в которых синфазная наведенная помеха подавляется более чем 50 дБ. Ее коэффициент ослабления равен

$$k_{осс} = \frac{U_{сф}}{U_{д}} = \frac{U_{вх1} + U_{вх2}}{2(U_{вх1} - U_{вх2})}, \quad (2)$$

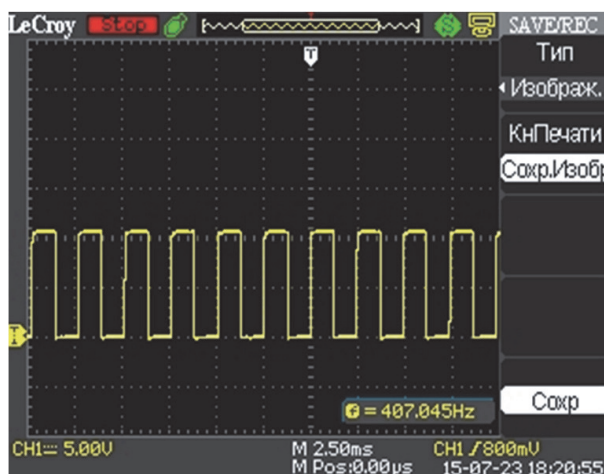


Рисунок 4 – Частотно-модулированный сигнал с датчика массового расхода воздуха

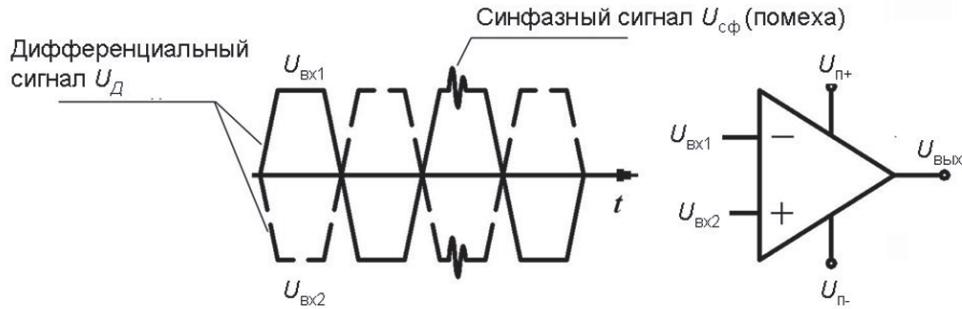


Рисунок 5 – Дифференциальный сигнал

где $U_{сф}$ – напряжение синфазного сигнала; $U_{д}$ – напряжение дифференциального сигнала; $U_{вх1}$ и $U_{вх2}$ – составляющие напряжения дифференциального сигнала.

Однако эффективное подавление помехи достигается только в области рабочей полосы электрической схемы.

На протокольном уровне повышение помехозащищенности достигается применением кодированных последовательностей. В современных сетях АТС в основном используются CAN-протоколы, имеющие типовую скорость передачи данных 500 кбит/с. Данная скорость оптимальна для длины шины 5 м. Нормальная работоспособность CAN-шины сохраняется при ее загрузке не более 55%. В некоторых случаях могут использоваться CAN-шины с другими скоростями, например, мультимедийные низкоскоростные 125 кбит/с, или 1 Мбит/с, объединяющие группу из 2–3 устройств.

Помимо CAN в АТС локально реализуются протоколы пакетной передачи данных Ethernet, GSM, Wi-Fi и Bluetooth.

При обработке информации широко применяется программная фильтрация, реализуемая на принципах накопления и анализе полученных данных.

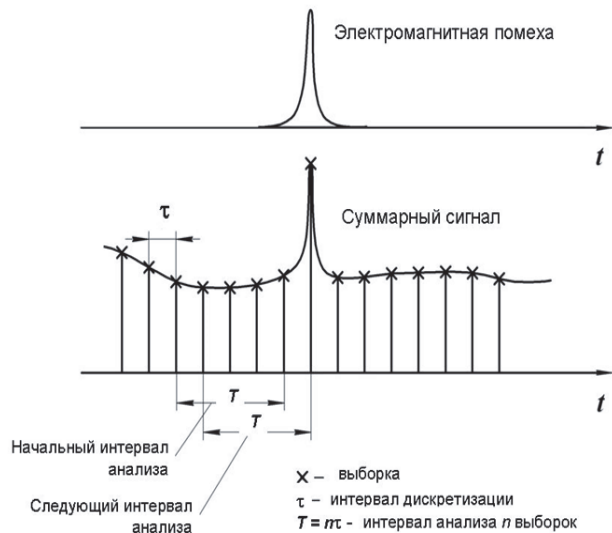


Рисунок 6 – Фильтрация грубых ошибок

Одним из типовых решений является введение временной задержки для исключения дребезга контактов. Как правило, она выбирается исходя из компромиссных условий – достижения наиболее максимального подавления помех и приемлемого отклика системы. В числовом выражении временная задержка задается в диапазоне 40–120 мс.

Другим видом программной фильтрации является анализ текущих данных по отношению к среднему значению (рис. 6). Этим исключаются грубые ошибки.

Среднее значение вычисляется за серию предыдущих измерений и вычисляется дисперсия. Если последнее измерение попадает в заданное окно допуска, то оно учитывается в дальнейшей обработке. В другом случае при выходе за допуск оно исключается из измерений, как грубая ошибка.

Широко применяются решения, обеспечивающие выход программы из неопределенного состояния. При появлении дестабилизирующего фактора, например, электромагнитной помехи, возникают в программе условия неоднозначности, и она уходит в неопределенное состояние. Для возвращения к исходной нормальной работоспособности необходимо принудительная перезагрузка или перезапуск. Второй путь базируется на применении сторожевого таймера (рис. 7). В начальный момент времени работы сторожевой таймер системы запускает свой внутренний счетчик. При нормальном функционировании микропроцессор, через заданные периоды времени сбрасывает сторожевой тай-

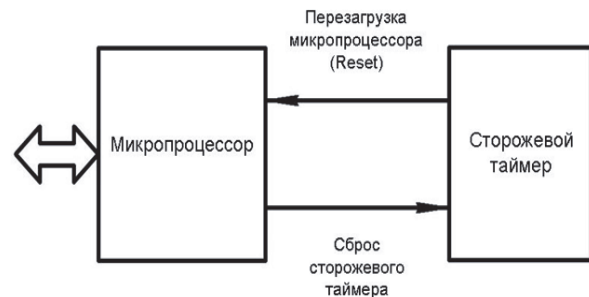


Рисунок 7 – Следящая схема перезагрузки микропроцессора на базе сторожевого таймера

мер. При зависании микропроцессора таймер им не сбрасывается и происходит переполнение его внутреннего счетчика, после чего таймер формирует сигнал «Reset», который перезагружающий микропроцессор.

Топологические решения применяются для обеспечения рационального ЭМС исполнения информационных и силовых линий и широко применяются при проектировании печатных плат и трассировке жгутов проводов.

При неправильном проектировании печатной платы электронная система будет иметь низкую помехозащищенность и соответственно вероятность нарушения ее работоспособности возрастает. Для современных высокоскоростных схем печатная плата рассматривается как линия с распределенными и сосредоточенными элементами, которые зависят от проводящего рисунка, магнитной и диэлектрической проницаемостями. Шины питания, для подавления помех, имеют высокую емкость. Для сигнальных линий критерием является обеспечение волнового сопротивления в диапазоне 40–120 Ом. Для каждой системы выбирается свое оптимальное значение волнового сопротивления. Так для CAN-шины оно составляет 120 Ом, а для радиотехнических систем, например, система ЭРА ГЛОНАСС – 50 Ом.

Не маловажным моментом является организация взаимной трассировки прямого и возвратного проводников. Большая площадь контура определяет высокий уровень наведенных в нем помех. Рациональная конфигурация прямого и возвратного проводников подразумевает их прохождение рядом без расхождений (рис.8), а наилучшим решением в качестве возвратного проводника является плоскость.

Обеспечение параметров ЭМС также достигается минимизацией длин проводников печатной платы, т.к. короткие проводники яв-

ляются менее эффективными приемными антеннами.

Одной из основных проблем ЭМС в печатных платах являются перекрестные помехи, передающиеся по емкостной и по индуктивной связям (рис. 9).

Перекрестные помехи уменьшаются за счет использования проводящих слоев для возвратного пути; снижения длины проводников; преимущественного использования микрополосковых линий передач; уменьшение волнового сопротивления; использования материалов с малой диэлектрической проницаемостью; сближения сигнальных и возвратных трасс в выводах корпусов микросхем и соединителях; использования защитных трасс с закорачивающими металлизированными отверстиями на концах и по длине, а также расположения сигнальных линий перпендикулярно друг другу. Для надежной работы схемы приемлемый уровень перекрестных помех составляет 5%.

Минимизация внутрисистемных помех достигается зонированием, суть которого сводится к разнесению на плате аналоговых и цифровых элементов, высокочастотных и низкочастотных узлов, а также мощных и сигнальных.

Наиболее часто плоскость заземления разделяют на две зоны (рис. 10). В этом случае щель в плоскости заземления полностью прерывает возвратные токи.

Правильное проектирование печатных плат обеспечивается разнесением потенциальных слоев аналоговых и цифровых схем, т.к. если между ними имеется перекрытие, то образованная между слоями емкость в этой области будет обеспечивать путь для помех из одной части схемы к другой. Важным правилом является расположение электронных компонентов так, чтобы их плоскости заземления и питания были сгруппированы вместе и не перекрывались.

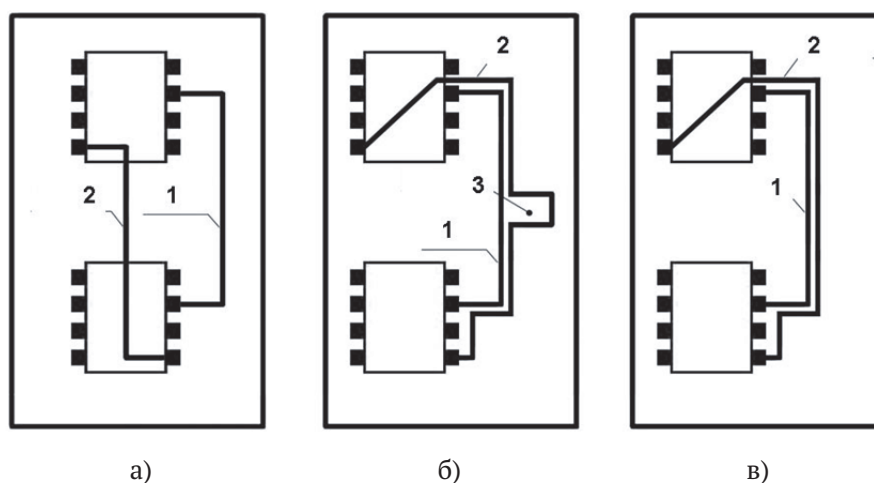


Рисунок 8 – Реализация трассы печатного рисунка:

- а) не рационально (большая площадь контура);
- б) не рационально (неоднородность волнового сопротивления); в) рационально;
- 1 – прямой проводник; 2 – возвратный проводник; 3 – зона неоднородности

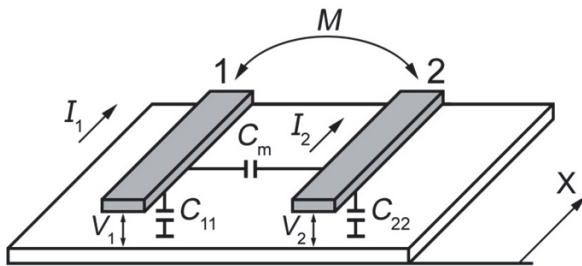


Рисунок 9 – Взаимодействие линий передач при образовании перекрестных помех:
1 – источник; 2 – рецептор



Рисунок 10 – Контур возвратных токов при зонировании аналоговой и цифровой схем

При разработке схем на многослойных печатных платах формируются полосковые линии передач, а также схема распределения электропитания с минимизацией полного сопротивления.

При проектировании жгутов проводов АТС применяются аналогичные принципы повышения помехозащищенности, что и при проектировании печатных плат, но в другой реализации.

Наиболее распространены малозатратные способы, позволяющие уменьшить площадь контура. Основной из них базируется на соблюдении технологии сборки жгутов, где в процессе производства обеспечивается наиболее возможно близкая прокладка между возвратным и прямым проводниками на всей длине трассы. Эффективно применение витой пары. Ее электрические параметры зависят от шага скрутки, и

типа проводов. Эффективность витой пары повышается с увеличением числа витков на удельную единицу длины. Ослабление помех неэкранированной витой пары составляет 13–55 дБ.

Разнесение проводов позволяет достаточно эффективно обеспечить ЭМС. Задача заключается в удалении высокочувствительных проводов от цепей, являющихся источниками на максимально возможное расстояние.

Трассировку проводов осуществляют в соответствии с их классами. Класс 1 – провода, для передачи очень чувствительных сигналов. Класс 2 – провода, для передачи менее чувствительных сигналов. Класс 3 и класс 4 – провода, несущие слабо и сильно воздействующие сигналы соответственно. Маршруты проводов разносятся согласно их классам. Между каждым классом расстояние задается как можно больше. В соответствии с конструкторскими правилами проектирования разнесение для параллельных проводов должно быть не менее 10 см между соседними классами.

На рисунке 11 показан пример неправильно расположения кабелей, вследствие которого были проблемы ЭМС. На приемную антенну АТС на частотах 100-110 МГц наводились внешним излучением с уровнем 40 В/м электромагнитные помехи и распространялись по антенному кабелю. Далее по емкостной связи они переносились на USB кабель флеш-накопителя. Из-за этого нарушалось нормальное функционирование USB порта мультимедийной системы.

Параметры ЭМС жгутов проводов значительно улучшаются за счет включения нескольких дополнительных возвратных проводников. Данное решение уменьшает площадь контура между прямыми и возвратными проводниками. При расположении дополнительных проводом регулярно по всему жгуту, показатели ЭМС будут улучшены на 10 дБ до частоты 200 МГц. Оптимальное решение заключается в организации у каждого сигнального или силового проводника одного возвратного. Наиболее рациональным является исполнение, при котором два

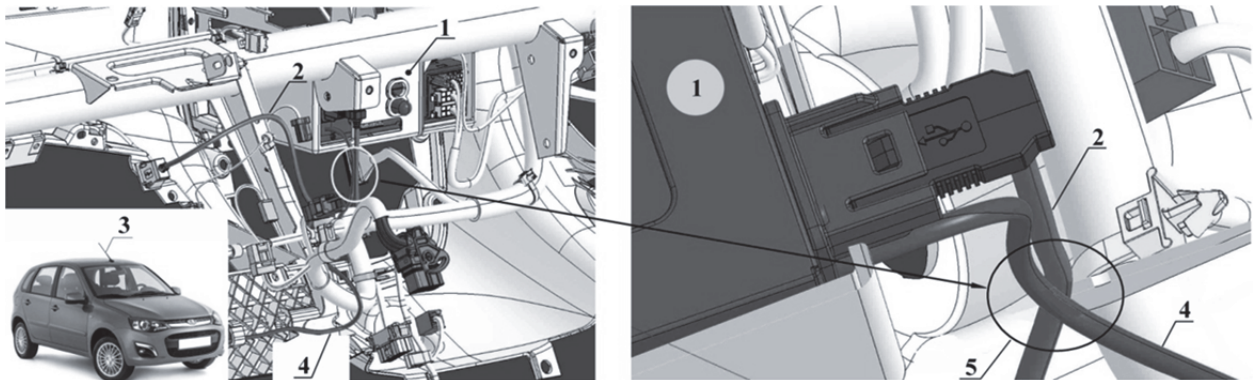


Рисунок 11 – Неоптимальная трассировка кабелей:
1 – мультимедийная система; 2 – USB кабель флеш-накопителя; 3 – антенна;
4 – антенный кабель; 5 – место сближения USB и антенного кабелей

сигнальных провода разнесены на расстояние за счет установки между ними двух возвратных проводников.

Повышение помехозащищенности жгутов достигается оптимизацией их трассы, которая базируется на основе взаимодействия электромагнитного поля и поверхностей с высокой проводимостью. В местах кузова, где две металлические поверхности соединяются с образованием неразвернутого угла, концентрация линий напряженности поля минимальна, т.к. не выполняется условие $\vec{E}_{tg} = 0$, а где переход выполнен плавным изгибом, там концентрация линий напряженности поля больше, чем в неразвернутом угле (рис.12). Снижение уровня наводимых помех осуществляется прокладкой проводника вдоль плоской проводящей поверхности, что как минимум исключается сектор воздействия помех 180 град. Более защищены провода и жгуты, прокладываемые вдоль углов или в канале.

В качестве примера на рис.13 представлена оптимальная с позиции ЭМС трехмерная мо-

дель трассы жгута. Исследования показывают, что при правильном подходе помехозащищенность увеличивается на 10–20 дБ.

Правильная организация эквипотенциальной поверхности заземления является одним из эффективных решений уменьшения уровня помех. На практике проводники заземления имеют комплексное сопротивление, зависящее от их геометрических размеров и увеличивающееся с возрастанием частоты:

$$Z_3 = \sqrt{R_3^2 + (2\pi fL_3)^2}, \quad (3)$$

где R_3 и L_3 – активное сопротивление и индуктивность провода.

При прочих равных условиях на высоких частотах существенно влияет индуктивность проводов, и поэтому две разнесенные точки заземления имеют отличающийся потенциал, что определяет проблемы ЭМС.

Заземление осуществляется по одноточечной и многоточечной схемам (рис. 14). Одноточечное заземление может быть организовано в

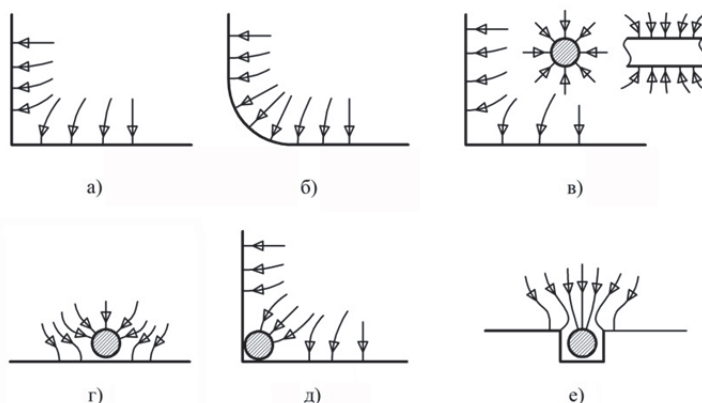


Рисунок 12 – Распределение линий электрического поля на металле:
 а) неразвернутый угол; б) плавный переход; в) проводник в свободном пространстве;
 г) проводник на металлической поверхности; д) проводник, в неразвернутом угле;
 е) проводник в канале

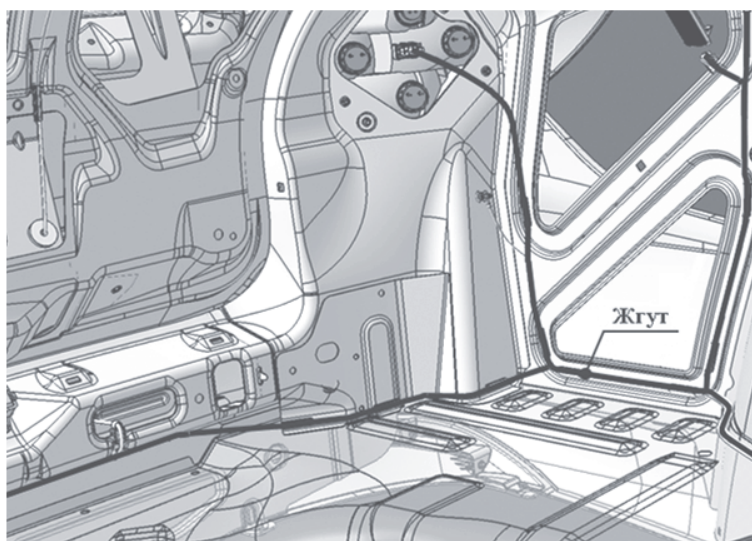


Рисунок 13 – Оптимальная трасса жгута в кузове АТС

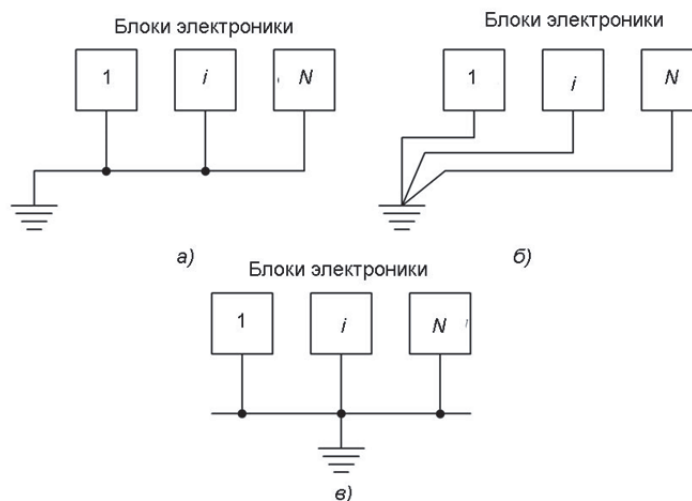


Рисунок 14 – Схемы заземления:

а) одноточечное последовательное; б) одноточечное параллельное; в) многоточечное

виде последовательного и параллельного подключения.

При решении задач ЭМС одноточечную последовательную схему не рекомендуется применять в цепях с большим разбросом потребляемых мощностей, т.к. в каждой точке подключения конкретной схемы напряжение будет отличаться от других.

Чтобы одноточечное заземление было ЭМС эффективно, следует делать провода не более $1/20$ самой короткой длины волны электромагнитной помехи.

На высоких частотах наиболее эффективно работает многоточечная схема заземления вследствие низкой индуктивности трассы, которая по отношению к опорной плоскости делается как можно короче.

Для обеспечения параметров ЭМС применяется схема с разделенными соединениями. Провода или линии заземления организуются по трем типам: сигнальные, слаботочные, силовые и корпусные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 12.1.002-84. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах. [Текст] – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 8 с.
2. ГОСТ 28751-90. Электромагнитная совместимость. Кондуктивные помехи по цепям питания. [Текст] – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 20 с.
3. ГОСТ Р 50648-94. Устойчивость к магнитному полю промышленной частоты. Технические требования и методы испытаний. [Текст] – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 16 с.
4. ГОСТ Р 51320-99. Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные. Методы испытаний технических средств – источников промышленных радиопомех. [Текст] – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 39 с.
5. ГОСТ 52230-2004 Электрооборудование автотракторное. Общие технические условия. [Текст] – М.: Стандартинформ, 2004. – 27 с.
6. ГОСТ Р 54618-2011. Система экстренного реагирования при авариях. Методы испытаний автомобильной системы вызова экстренных оперативных служб на соответствие требованиям по электромагнитной совместимости, стойкости к климатическим и механическим воздействиям. [Текст] – М.: Стандартинформ, 2012. – 32 с.
7. ГОСТ Р МЭК 61508-1-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 1. Общие требования. [Текст] – М.: Стандартинформ, 2013. – 53 с.
8. ГОСТ Р МЭК 61508-2-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 2. Требования к системам. [Текст] – М.: Стандартинформ, 2013. – 87 с.
9. ГОСТ Р МЭК 61508-3-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 3. Требования к программному обеспечению. [Текст] – М.: Стандартинформ, 2013. – 133 с.
10. ГОСТ Р МЭК 61508-4-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 4. Термины и определения. [Текст] – М.: Стандартинформ, 2013. – 45 с.
11. ГОСТ Р МЭК 61508-5-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 5. Рекомендации по применению методов определения уровней полноты безопасности. [Текст] – М.: Стандартинформ, 2013. – 62 с.
12. ГОСТ Р МЭК 61508-6-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с

безопасностью. Часть 6. Руководство по применению ГОСТ Р МЭК 61508-2 и ГОСТ Р МЭК 61508-3. [Текст] – М.: Стандартинформ, 2013. – 60 с.

13. ГОСТ Р МЭК 61508-7-2012. Функциональная без-

опасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 7. Методы и средства. [Текст] – М.: Стандартинформ, 2013. – 177 с.

ENGINEERING SOLUTIONS USED TO ENSURE THE QUALITY OF NEW VEHICLES IN TERMS OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY. PART 1

© 2024 A.S. Podgorniy¹, P.A. Nikolaev², V.N. Kozlovsky¹

¹ Samara State Technical University, Samara, Russia

² JSC “AVTOVAZ”, Togliatti, Russia

The first part of the article presents the results of the development and implementation of a set of standard solutions used to ensure electromagnetic compatibility of motor vehicles at the levels of information and topological solutions.

Key words: vehicle, on-board electrical system, electromagnetic compatibility.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-2-13-20

EDN: QGXWEV

REFERENCES

1. GOST 12.1.002-84. E`lektricheskie polya promy`shlennoj chastoty`. Dopusimye` urovni` napryazhennosti i trebovaniya k provedeniyu kontrolya na rabochix mestax. [Tekst] – M.: Izd-vo standartov, 1986. – 8 s.
2. GOST 28751-90. E`lektromagnitnaya sovmestimost`. Konduktivny`e pomexi po cepyam pitaniya. [Tekst] – M.: Izd-vo standartov, 1991. – 20 s.
3. GOST R 50648-94. Ustojchivost` k magnitnomu polyu promy`shlennoj chastoty`. Texnicheskie trebovaniya i metody` ispy`taniy. [Tekst] – M.: Izd-vo standartov, 1994. – 16 s.
4. GOST R 51320-99. Sovmestimost` texnicheskix sredstv e`lektromagnitnaya. Radiopomexi industrial`ny`e. Metody` ispy`taniy texnicheskix sredstv – istochnikov industrial`ny`x radiopomex. [Tekst] – M.: Izd-vo standartov, 1999. – 39 s.
5. GOST 52230-2004 E`lektrooborudovanie avtotraktornoe. Obshhie texnicheskie usloviya. [Tekst] – M.: Standartinform, 2004. – 27 s.
6. GOST R 54618-2011. Sistema e`kstretnogo reagirovaniya pri avariyaх. Metody` ispy`taniy avtomobil`noj sistemy` vy`zova e`kstretny`x operativny`x sluzhb na sootvetstvie trebovaniyam po e`lektromagnitnoj sovmestimosti, stojkosti k klimaticheskim i mexanicheskim vozdeystviyam. [Tekst] – M.: Standartinform, 2012. – 32 s.
7. GOST R ME`K 61508-1-2012. Funkcional`naya bezopasnost` sistem e`lektricheskix, e`lektronny`x, programmiruemy`x e`lektronny`x, svyazanny`x s bezopasnost`yu. Chast` 1. Obshhie trebovaniya. [Tekst] – M.: Standartinform, 2013. – 53 s.
8. GOST R ME`K 61508-2-2012. Funkcional`naya bezopasnost` sistem e`lektricheskix, e`lektronny`x, programmiruemy`x e`lektronny`x, svyazanny`x s bezopasnost`yu. Chast` 2. Trebovaniya k sistemam. [Tekst] – M.: Standartinform, 2013. – 87 s.
9. GOST R ME`K 61508-3-2012. Funkcional`naya bezopasnost` sistem e`lektricheskix, e`lektronny`x, programmiruemy`x e`lektronny`x, svyazanny`x s bezopasnost`yu. Chast` 3. Trebovaniya k programnomu obespecheniyu [Tekst] – M.: Standartinform, 2013. – 133 s.
10. GOST R ME`K 61508-4-2012. Funkcional`naya bezopasnost` sistem e`lektricheskix, e`lektronny`x, programmiruemy`x e`lektronny`x, svyazanny`x s bezopasnost`yu. Chast` 4. Terminy` i opredeleniya. [Tekst] – M.: Standartinform, 2013. – 45 s.
11. GOST R ME`K 61508-5-2012. Funkcional`naya bezopasnost` sistem e`lektricheskix, e`lektronny`x, programmiruemy`x e`lektronny`x, svyazanny`x s bezopasnost`yu. Chast` 5. Rekomendacii po primeneniyu metodov opredeleniya urovnej polnoty` bezopasnosti. [Tekst] – M.: Standartinform, 2013. – 62 s.
12. GOST R ME`K 61508-6-2012. Funkcional`naya bezopasnost` sistem e`lektricheskix, e`lektronny`x, programmiruemy`x e`lektronny`x, svyazanny`x s bezopasnost`yu. Chast` 6. Rukovodstvo po primeneniyu GOST R ME`K 61508-2 i GOST R ME`K 61508-3. [Tekst] – M.: Standartinform, 2013. – 60 s.
13. GOST R ME`K 61508-7-2012. Funkcional`naya bezopasnost` sistem e`lektricheskix, e`lektronny`x, programmiruemy`x e`lektronny`x, svyazanny`x s bezopasnost`yu. Chast` 7. Metody` i sredstva. [Tekst] – M.: Standartinform, 2013. – 177 s.

Alexander Podgorniy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. E-mail: zxcvbnm89207@yandex.ru

Pavel Nikolaev, Doctor of Technical Sciences, Head of the Laboratory of Electromagnetic Compatibility.

E-mail: npa690@yandex.ru

Vladimir Kozlovsky, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department. E-mail: Kozlovskiy-76@mail.ru