

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА НОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПО ПАРАМЕТРАМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ. ЧАСТЬ 2.

© 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

Во второй части статьи представлены результаты разработки и реализации комплекса типовых решений применяемых для обеспечения электромагнитной совместимости автотранспортных на уровнях схемотехнических и конструкционных решений.

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

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-2-21-30

EDN: QNYAF

Развитие современного автомобилестроения, сегодня трудно представить без соответствующего развития бортового электротехнического комплекса (БЭК) автотранспортных средств (АТС) включающего электротехнические и электронные компоненты и системы.

Для нормального функционирования бортового электротехнического комплекса автотранспортного средства уже на этапе проектирования закладываются инженерные решения в области обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС).

В первой части работы [1] дана классификация типовых решений, применяемых для обеспечения качества и помехоустойчивости АТС, а также представлены инженерные решения на уровнях информационных и топологических решений.

Схемотехнические решения

Схемотехнические ЭМС решения позволяют компенсировать ошибки конструкторов, допущенные при комплексном проектировании системы. Как типовой пример, при высокой помехоэмиссии от источника, обеспечение помехоустойчивости может решиться применением помехозащиты рецептора [2 – 4].

В общем, решения направлены на подавление некоторой области спектра и ограничения амплитуды помех и строятся они на основе пассивных и активных элементов. К пассивным компонентам относятся резисторы, конденса-

торы и индуктивности, а к активным – компоненты с нелинейной вольт-амперной характеристикой.

Все пассивные элементы имеют паразитные составляющие: сопротивление, индуктивность и емкость, из-за чего на высоких частотах их реальные характеристики отличаются от идеальных. Учета паразитных параметров позволяет обеспечить соответствие параметрам ЭМС у АТС.

На основе пассивных элементов проектируются все помехоподавляющие фильтры. Принцип их работы основан на создании преднамеренной неоднородности в волновом сопротивлении линии передачи, отражении энергии или поглощении помехового сигнала. Для обеспечения ЭМС, в подавляющих случаях, применяются R , L и C фильтры нижних частот, основные схемы которых приведены на рис.1. Часто применяются фильтры в однокомпонентном исполнении. Часто достаточно применение в цепи только индуктивности или шунтирующей емкости.

Все элементы имеют паразитные параметры. На практике наиболее применимы RC -фильтры, т.к. они не имеют выраженных резонансов.

Если в схеме из-за опорной плоскости и возвратного проводника может образовываться паразитный контур заземления, и в ней нет связи по постоянному току, то для его исключения применяется трансформатора, обеспечивая гальваническую развязку (рис. 2). Для обеспечения гальванической развязки сигнальных линий применяется оптрон или оптопара. Такая линия связи не восприимчива к электромагнитным воздействиям [5 – 7].

Ограничители перенапряжений применяют для уменьшения амплитуды переходных процессов, которые создаются при работе мощного электрооборудования АТС. В схеме они подключаются параллельно защищаемой цепи. Когда

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

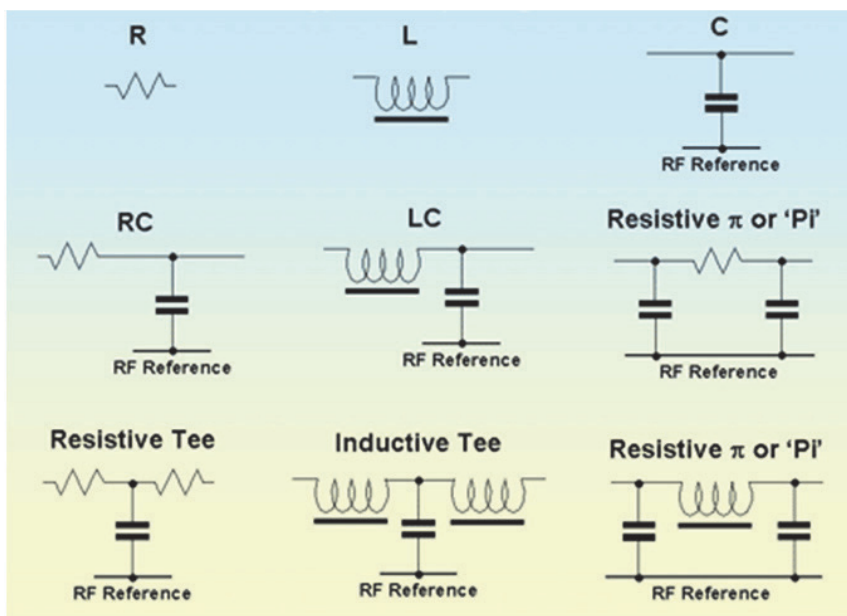


Рисунок 1 – Основные типы простых R, L и C фильтров

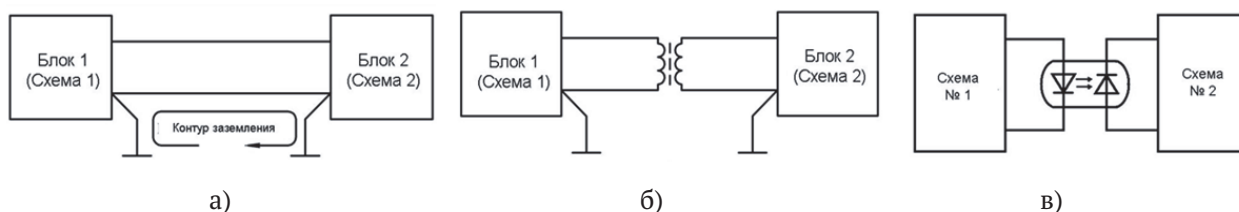


Рисунок 2 – Гальваническая развязка:

а) контур заземления; б) развязывающий трансформатор; в) оптопара

напряжения на ограничителе выше порогового уровня, они переключаются с высокого на низкое сопротивление. Наибольшее применение в схемотехнике АТС нашли три основных типа ограничителей напряжения: металлический окисный варистор, лавинный диод и кремниевый управляемый выпрямитель (рис. 3).

При проектировании электрооборудования АТС с использованием современной схемотехнической базы для обеспечения помехозащищенности разработаны ряд правил проектирования.

1. Выводы питания и заземления должны быть расположены близко друг к другу, т.к. это снизить индуктивность.

2. Увеличение числа соединений и контактов с опорной плоскостью.

3. Применение аналогово-цифровых преобразователей, т.к. цифровой сигнал, имеющий два логических состояния «0» и «1», а также в совокупности с цифровой фильтрацией, более помехозащищен чем аналоговый, имеющий два информативных состояния.

4. Применение компараторов предотвращает ложный переход состояния из-за помех.

5. Использование электронных компонентов с малой входной емкостью.

6. Применение дифференциальных схем, что позволяет сбалансировать информационные линии и подавить синфазные помехи.

7. Использование в электрической схеме усилителей для повышения соотношения сигнал/шум, который устанавливается как можно

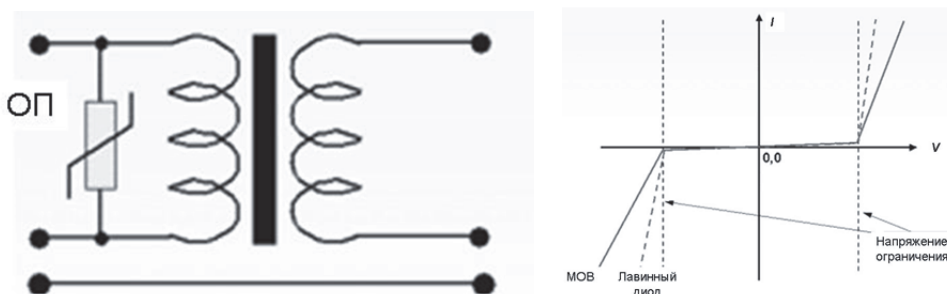


Рисунок 3 – Включение ограничителя напряжения в цепь и его характеристика

ближе к источнику усиливаемого сигнала.

8. Нагрузки должны быть согласованными или иметь как можно меньшее сопротивление.

9. Целесообразней применять пассивные фильтры вместо активных, т.к. при воздействии внешнего излучения они могут нарушать свою работоспособность.

10. Обеспечение фильтрации всех внешних межсоединений, предпочтительно с гальванической развязкой.

11. Для обеспечения помехоустойчивости работы схем необходимо применение развязки источников питания.

Конструкционные решения

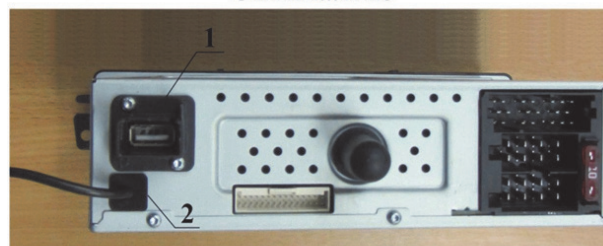
Данный класс решений включает в себя следующие подходы: разнесение источника и рецептора помех, оптимизация габаритных размеров изделий, использование помехозащищенных конструкций, размещение бортовых изделий в местах с минимальным уровнем воздействия и оптимизация элементов кузова. На практике сложно реализовать наилучшие решения с позиции ЭМС, т.к. это почти всегда вступает в противоречие с другими критериями: эргономикой, ремонтпригодностью, эстетикой, потребительским восприятием и экономической целесообразностью. Однако при обоснованном подходе они позволяют во многих случаях решить проблемы ЭМС.

При разнесении в АТС источника и рецептора помех влияние минимизируется за счет уменьшения электромагнитного поля с расстоянием. Мощные источники или потенциальные переизлучатели располагаются как можно дальше от сигнальных, информационных или слаботочных цепей. Пример подобного рода ЭМС проблем рассмотрен в [1], где антенный кабель проходил рядом с кабелем USB мультимедийной системы. Помехи, наведенные на радиоприемную антенну АТС, перенаводились на USB кабель и нарушали работоспособность USB порта. ЭМС проблема решается при разнесении на расстояние антенного и USB входов (рис.4). Данное правило необходимо соблюдать по отношению к бортовым передатчикам, одним из которых является ЭРА ГЛОНАСС с модулем GSM.

Оптимизация габаритных размеров изделий является многокритериальной задачей. Необходимо учитывать много факторов, например, массогабаритные размеры, особенности компоновки, стойкость к механическим воздействиям и т.п. С позиции ЭМС минимизация размеров изделия за счет применения современных интегральных микросхем позволяет уменьшить площадь воздействия электромагнитных помех. Однако при очень плотном монтаже элементов высок риск невыполнения ЭМС правил проектирования схем на печатных платах. Поэтому размеры изделия должны задаваться в кон-



Оптимально



Не оптимально

Рисунок 4 – Взаимное расположение антенного входа радиоприемника и USB порта мультимедийной системы:
1 – USB порт; 2 – антенный вход

структорской документации с учетом параметров помехоустойчивости.

Помехозащищенные конструкции изначально наиболее рационально применять для оборудования, которое высокочувствительно к электромагнитным помехам или является их мощным источником. Решения выбираются на основании анализа рассматриваемых систем, выполняющих заданный функционал, но отличающихся по конструктивному исполнению. Наиболее очевидным и наглядным примером является экранирование. Другим примером является реализация электромеханического усилителя рулевого управления на базе безколлекторного электродвигателя (рис. 5).

Размещение бортовых изделий в местах с минимальным уровнем воздействия базируется на особенностях распределения электромагнитных волн в пространстве. На любой металлический элемент, например, корпус, провода жгутов, печатную плату, происходит замыкание электрических линий поля, а контура являются магнитными антеннами. При размещении устройства в свободной области пространства силовые линии поля воздействуют на него во всей окружающей его сфере. Суть решений заключается в компоновке изделий в местах с наименьшим количеством силовых линий. Наиболее оптимальным расположением блоков является внутренняя поверхность кузова, потому что исключается телесный сектор воздействия 180°. На рис.6 представлен пример

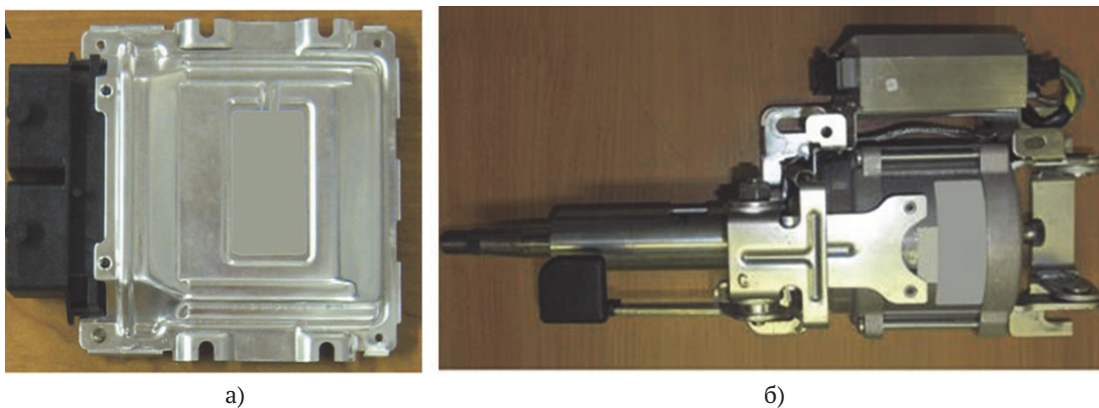


Рисунок 5 – Помехозащищенные конструкции:
 а) контроллер системы управления двигателем;
 б) электромеханический усилитель рулевого управления с безколлекторным двигателем

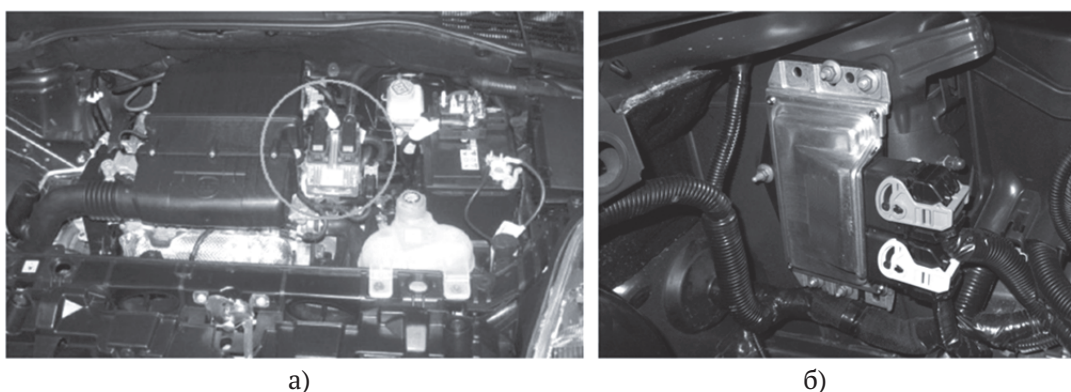


Рисунок 6 – Расположение контроллера системы управления двигателем в подкапотном пространстве АТС:
 а) в пространстве капота; б) на кузове

компоновки контроллера системы управления двигателем в АТС.

Оптимизация элементов кузова. АТС является сложной широкополосной антенной. Через отверстия и щели, обладающие определенными радиочастотными характеристиками, проникает электромагнитное поле. Меняя их взаимную ориентацию или конфигурацию уже на начальном этапе проекта можно заложить более вы-

сокие параметры помехоустойчивости АТС. Например, ориентация щели капота, определяет направление основного лепестка диаграммы направленности (рис. 7) и при вертикальной ее ориентации минимизируется основное горизонтальное направление действия помех.

Наилучшие характеристики помехозащищенности достигаются при комбинированном применении различных решений. Например,

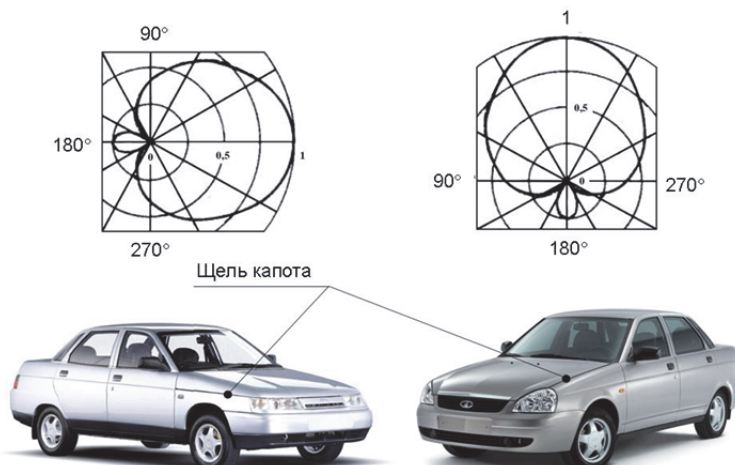


Рисунок 7 – Диаграммы направленности щели капота АТС в горизонтальной плоскости (схематично)

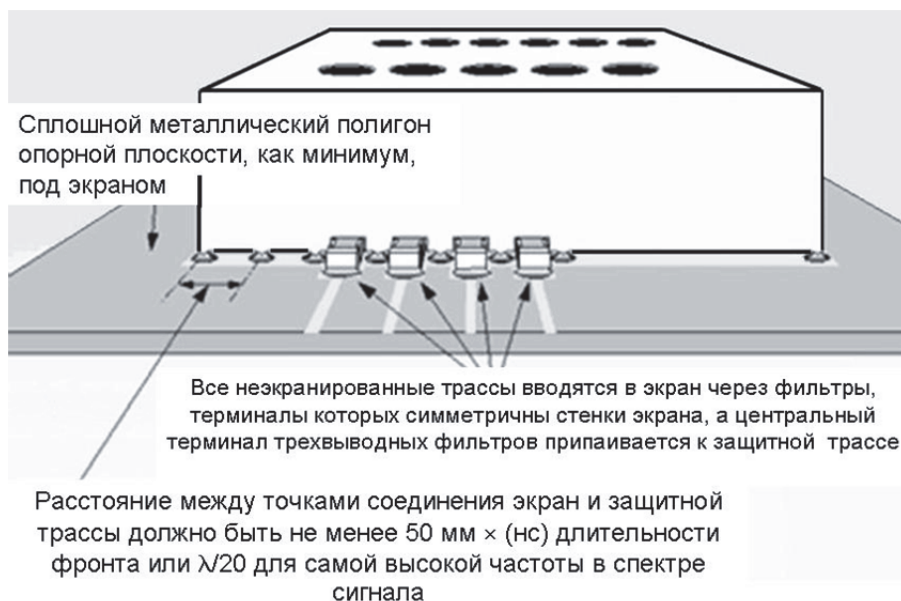


Рисунок 8 – Пример установки проходных фильтров совместно с экраном

типовым является сочетание конструктивных и схемотехнических решений, таких как совместное использование экранирования и фильтрации, или применение проходных фильтров. На рис. 8 приведен пример использования проходных конденсаторов на печатной плате совместно с экраном. Конденсатор расположен на печатной плате так, чтобы его вход и выход были разделены стенкой экраном, а вывод заземления припаян плоскости заземления.

По результатам обзора существующих решений предлагается ввести классификацию методов защиты АТС, по принципу действия: пассивные и активные. Пассивные имеют некоторую постоянную помехозащиты, характеризующую ослабление электромагнитного воздействия. Сюда относятся схемотехнические, конструктивные, топологические и часть информацион-

ных решений. Активные методы базируются на информационных решениях, в основе которых положены алгоритмы самонастраивания.

В части комплексной защиты от электромагнитного воздействия как активные, так и пассивные методы имеют большие перспективы развития.

При исследованиях помехоустойчивости бортового электротехнического комплекса, а также для решения инженерных задач в области повышения помехозащищенности (БЭК) АТС была применена экспериментальная база комплекса исследований электромагнитной совместимости Волжского автомобильного завода. В ее состав входит безэховая камера СВЧ с габаритными размерами $30 \times 20 \times 14,5$ м. Это позволяет проводить испытания на ЭМС полноразмерных автотранспортных средств (рис.9).

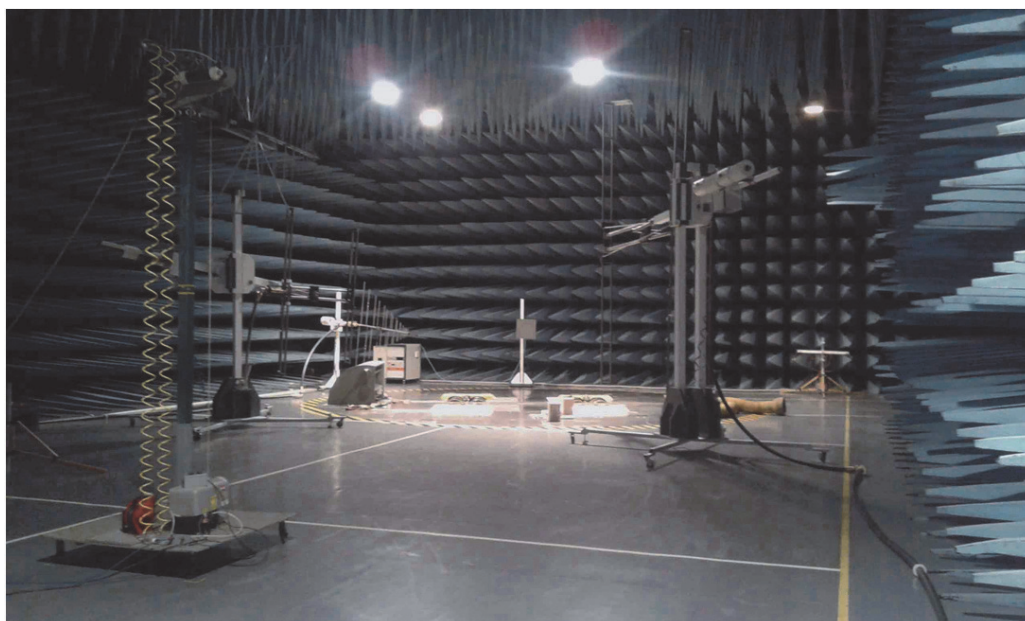


Рисунок 9 – Безэховая камера СВЧ комплекса ЭМС Волжского автомобильного завода

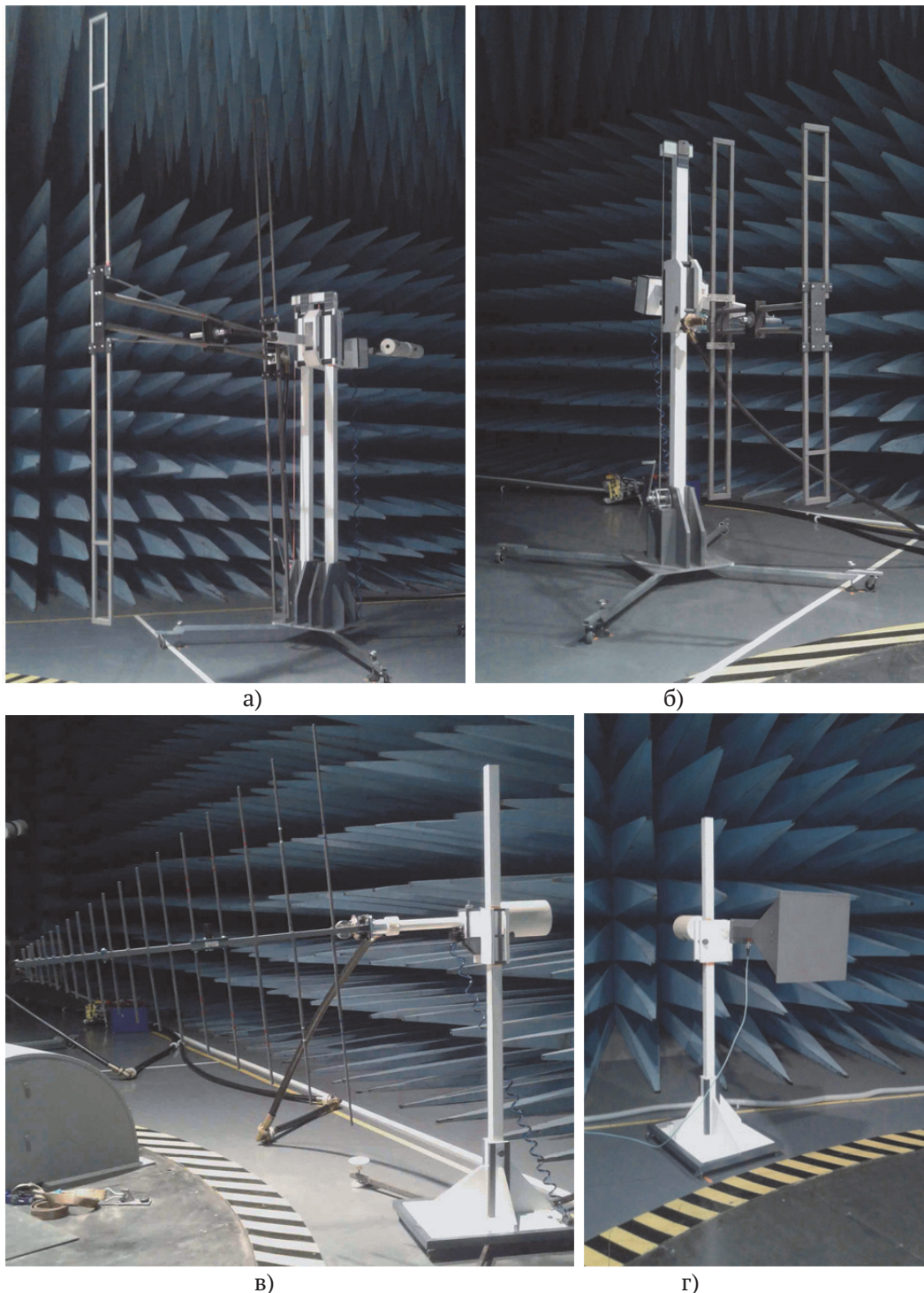


Рисунок 10 – Излучающие антенны:
а) АТ 1225; б) АТ 1250; в) АТ 1080; г) АТ 4510

Безэховая камера покрыта радиопоглощающим материалом рассеивающего типа и имеет рабочий диапазон частот от 20 МГц до 18 ГГц. Ее эффективность экранирования составляет не менее 80 дБ.

В рабочем объеме камеры полеобразующими системами создается электромагнитное излучение напряженностью не менее 200 В/м. Применяемые антенны АТ 1225, АТ 1250, АТ 1080 и АТ 4510 перерывают диапазон частот от 20 МГц до 2 ГГц (рис. 10).

Характеристики антенны АТ 1225: рабочий диапазон частот: 20 – 50 МГц; импеданс: 50 Ом; коэффициент стоячей волны: 2,5:1; неравномерность амплитудно-частотной характеристики: $\pm 1,5$ дБ.

Характеристики антенны АТ 1250: рабочий диапазон частот: 50 – 100 МГц; импеданс: 50 Ом; коэффициент стоячей волны: 2:1; неравномерность амплитудно-частотной характеристики: $\pm 1,5$ дБ.

Характеристики антенны АТ 1080: рабочий диапазон частот: 80 – 1000 МГц; импеданс: 50

Ом; коэффициент стоячей волны: 1,5:1; неравномерность амплитудно-частотной характеристики: ± 1 дБ.

Характеристики антенны АТ 4510: рабочий диапазон частот: 1 – 4,2 МГц; импеданс: 50 Ом; коэффициент стоячей волны: 2:1.

Питание излучающих антенн осуществляется широкополосными усилителями мощности ф. Amplifier Research: AR 10000 L, AR 3000 W и AR 500 TG 2 (рис. 11).

Характеристики усилителя мощности AR 10000 L: номинальная мощность: 10 кВт; рабочий диапазон частот: 0,01 – 100 МГц; КСВН: 1,5:1; усиление: min 70 дБ.

Характеристики усилителя мощности AR 3000 W: номинальная мощность: 3 кВт; рабочий диапазон частот: 80 – 1000 МГц; КСВН: 2:1; усиление: min 60 дБ.

Характеристики усилителя мощности AR 500 TG 2: номинальная мощность: 500 Вт; рабочий диапазон частот: 1 – 2,05 ГГц; КСВН: 2:1; усиление: min 57 дБ.

Для калибровки уровня электромагнитного поля в рабочей зоне применяются широкополосные изотропные датчики Е-поля RadiSense 4, ф. DARE, работающие в диапазоне частот от 10 КГц до 4 ГГц и позволяющие измерять уровни от 1 В/м до 1 кВ/м (рис. 12).



Рисунок 11 – Применяемые усилители мощности:
а) AR 10000 L; б) AR 3000 W; в) AR 500 TG 2

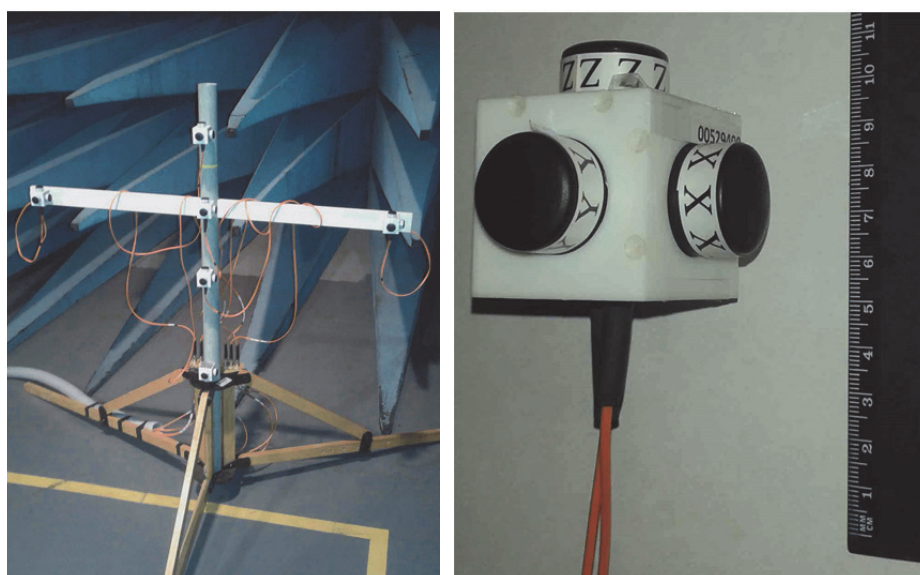


Рисунок 12 – Широкополосные изотропные датчики Е-поля RadiSense

Для контроля параметров сигналов, подводимых к излучающим антеннам, применяется ваттметр поглощаемой мощности BOONTON 4232 A (рис.13), имеющий диапазон рабочих частот от 0,05 до 8 ГГц и КСВН не более 1,3.

Для тестирования различных режимов БЭК АТС применяется динамометрический поворотный роликовый стенд ф.ZOLLNER (рис.14). Максимальная допустимая скорость АТС на данном стенде составляет 200 км/ч. Его функционал позволяет тестировать автотранспортные средства на динамических режимах разгона и торможения. Управление стендом осуществляется дистанционно. Угол вращения в горизонтальной плоскости: 360 град.

Все применяемое в экспериментах измерительное оборудование проходит ежегодную поверку и имеет соответствующие сертификаты, копии которых приложены в приложении.

Для реализации ездовых циклов АТС применяется робот-автопилот, имеющий защиту от электромагнитного излучения 200 В/м в диапазоне частот 10 КГц – 2 ГГц (рис.15 (а)). Его функционал позволяет осуществлять разгон и торможение за счет управления педалями автотранспортного средства.

Контроль параметров БЭК при проведении испытаний осуществляется как с помощью помехозащищённых видеокамер, способных работать при уровнях поля 200 В/м в диапазоне частот до 5 ГГц, так и с помощью помехозащищенного устройства DDT-2000 ф.DIRELEC, подключаемого к CAN-шине через стандартный автомобильный разъем OBD2. Применение последнего позволяет при уровне внешнего электромагнитного воздействия 200 В/м в диапазоне частот 10 КГц до 3 ГГц передавать и отображать в режиме реального времени чтение текущих ошибок, параметры сигналов и диагностическую информацию. Помехозащищенность DDT-2000 обеспечивается за счет реализации в нем конструктивных, схемотехнических и структурно-функциональных решений. Защита передаваемых данных достигается за счет применения оптоволоконной линии связи.

Программа исследований помехоустойчивости электротехнических систем (БЭК) включала в себя испытания современных и перспективных прототипов автомобилей отечественных производителей, в том числе электромобилей «Эллада» и автомобилей с комбинированной энергетической установкой (гибриды), а также автомобилей зарубежного производства (рис.15).

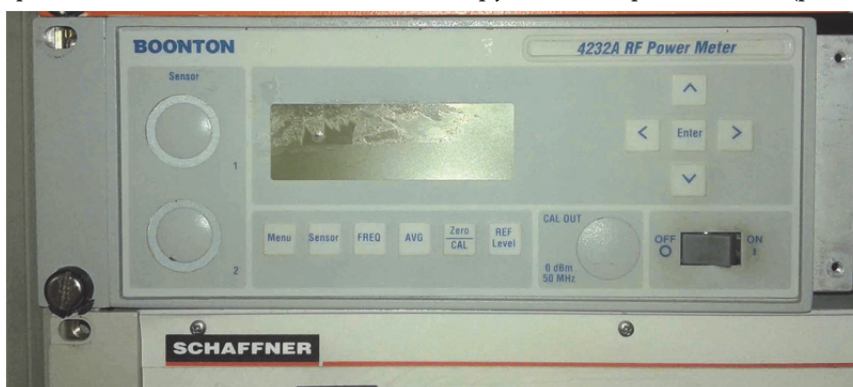
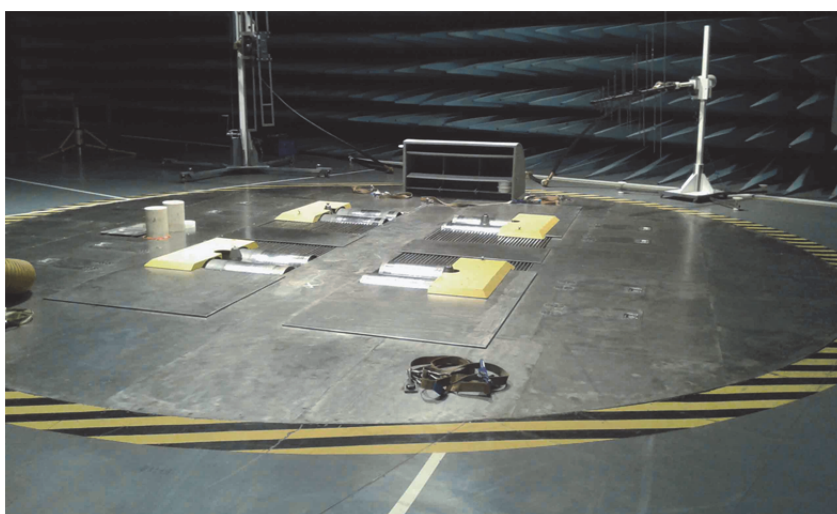


Рисунок 13 – Ваттметр поглощаемой мощности BOONTON 4232 A

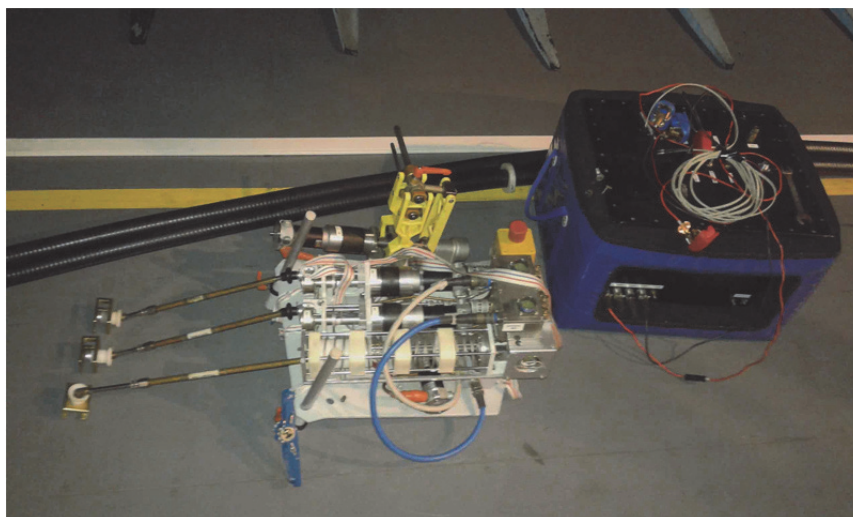


а)



б)

Рисунок 14 – Динамометрический поворотный роликовый стенд ф.ZOLLNER
а) стенд; б) панель управления стендом



(a)



б)



в)

Рисунок 15 – Оборудование для проведения исследований в области ЭМС автомобилей

Таким образом, проблема обеспечения ЭМС современных АТС в настоящее время, вследствие активного количественно-качественного роста элементов бортового электрооборудования и электроники, приобретает особую актуальность. Решение данной проблемы должно закладываться на этапах проектирования новых автомобилей и соответствующей компонентной базы. При решении инженерных задач должны привлекаться не только конструкторские подразделения автосборочного предприятия, но и специалисты технологи, производственники, эксперты службы качества, а также специалисты предприятий поставщиков. Рациональность закладываемых инженерных решений должна обеспечиваться совместной работой проектных групп, а полученные при проектировании результаты решений должны строго обеспечиваться в процессе производства АТС. Практика показывает, что решение проблемы ЭМС новых автомобилей невозможно без применения самых современных типов исследовательского оборудования и компьютерной техники, а также соответствующего программного обеспечения.

Специалисты, работающие в области обеспечения ЭМС АТС - это высококвалифицированные эксперты, часто имеющие ученую сте-

пень, постоянно работающие в тесном контакте с в ведущими университетами страны.

В заключение, также необходимо выделить аспект, связанный с постоянным ростом значимости проблемы обеспечения ЭМС современных АТС, который связан с еще более активным применением электротехнических и электронных систем на автомобилях с комбинированной энергоустановкой (гибридах), а также электромобилях, производство которых из года в год возрастает.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Подгорный, А.С. Инженерные решения, применяемые для обеспечения качества новых автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости. Часть 1 / А.С. Подгорный, П.А. Николаев, В.Н. Козловский // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2024. Т. 26. – № 2. С. 13-20.
2. Николаев, П.А. Электромагнитная совместимость автотранспортных средств [Текст]. – М. / П.А. Николаев, Л.Н. Кечиев // Грифон, 2015. – 424 с.
3. SAE J1939-15. SAE aug2008. Reduced Physical Layer, 250K bits/sec, UN-Shielded Twisted Pair (UTP), 2008. - 20 p.
4. Отт Г. Методы подавления шумов и помех в электронных системах. / Под редакцией М.В.

- Гальперина. [Текст] - М.: Мир. – 1979. – С. 317.
5. *Armstrong K.* Advanced PCB design and Layout for EMC. Part 6 – Transmission Lines [Текст] – 3rd. - EMC&Compliance Journal. - 2001 - № 58. - P. 1–30.
 6. *Джонсон Г.* Конструирование высокоскоростных цифровых устройств: начальный курс черной магии.: Пер. с англ. // Джонсон Г., Грэхем М. [Текст] – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 624 с.
 7. *Armstrong K.* Design Techniques for EMC Part 3 – Filtering and Suppressing Transients. [Текст] – EMC&Compliance Journal. – 2006. – № 66. – P. 4–44.
 8. *Armstrong K.* Design Techniques for EMC. Part 5 – Printed Circuit Board (PCB) Design and Layout. [Текст] - EMC&Compliance Journal. – 2007. – № 73. – P. 34–42.

ENGINEERING SOLUTIONS USED TO ENSURE THE QUALITY OF NEW VEHICLES IN TERMS OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY. PART 2

© 2024 A.S. Podgorny¹, P.A. Nikolaev², V.N. Kozlovsky¹

¹ Samara State Technical University, Samara, Russia

² JSC “AVTOVAZ”, Togliatti, Russia

The second part of the article presents the results of the development and implementation of a set of standard solutions used to ensure electromagnetic compatibility of vehicles at the levels of circuitry and design solutions.

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

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-2-21-30

EDN: QNYAYF

REFERENCES

1. *Podgornij, A.S.* Inzhenerny`e resheniya, primenyaemy`e dlya obespecheniya kachestva novy`h avtomobilej po parametram elektromagnitnoj sovmestivosti. Chast` 1. / A.S. Podgornij, P.A. Nikolaev, V.N. Kozlovskij // Izvestiya Samarckogo nfuchnogo centra rossijskoj akademii nauk. N. 26. № 1. S. 13–20.
2. *Nikolaev, P.A.* Elektromagnitnaya sovmestimost` avtotransportny`h sredstv [Текст]. – М. / P.A. Nikolaev, L.N. Kechiev // Grifon, 2015. – 424 s.
3. SAE J1939-15. SAE aug2008. Reduced Physical Layer, 250K bits/sec, UN-Shielded Twisted Pair (UTP), 2008. – 20 p.
4. *Ott G.* Metody` podavleniya shumov i pomex v elektronny`h sistemah. / Pod redakciej M.V. Gal`perina. [Текст] – М.: Мир. – 1979. – С. 317.
5. *Armstrong K.* Advanced PCB design and Layout for EMC. Part 6 – Transmission Lines [Текст] – 3rd. – EMC&Compliance Journal. – 2001 – № 58. - P. 1–30.
6. *Dzhonson G.* Konstruirovaniye vy`sokoskorostny`h cifrovyy`x ustrojstv: nachal`ny`j kurs chernoj magii.: Per. s angl. // Dzhonson G., Gre`xem M. [Текст] – М.: Izdatel`skij dom «Vil`yams», 2006. – 624 s.
7. *Armstrong K.* Design Techniques for EMC Part 3 – Filtering and Suppressing Transients. [Текст] – EMC&Compliance Journal. – 2006. – № 66. – P. 34–44.
8. *Armstrong K.* Design Techniques for EMC. Part 5 – Printed Circuit Board (PCB) Design and Layout. [Текст] – EMC&Compliance Journal. – 2007. – № 73. – P. 34–42.

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