

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ЗАЗЕМЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ АНТЕННЫ НА УРОВЕНЬ НАВЕДЕННЫХ ПОМЕХ

С.В. Петровский

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Исследуется влияние качества заземления автомобильной антенны на уровень электромагнитных помех, создаваемых бортовыми источниками. На основании исследований определена оптимальная форма поверхности контакта кабеля с кузовом автомобиля.

Ключевые слова: антенна, помеха, электрический контакт, система зажигания.

Установка антенны на автомобиле имеет ряд особенностей, и от ее правильности сильно зависит дальность связи. Уровень помех от системы зажигания двигателя серьезно влияет на чувствительность станции, поэтому желательно располагать антенну как можно дальше от двигателя, а питание станции осуществлять через фильтр или непосредственно от аккумуляторной батареи. Необходимо, чтобы уровень шума приемника при отключенной антенне не изменялся после включения двигателя. Это будет означать, что по цепям питания помехи не проникают. В большинстве современных автомобильных станций используются фильтры по питанию, и они не требуют дополнительной фильтрации. В этом случае подключать станцию к бортовой сети автомобиля можно в любой удобной точке.

К автомобильной антенне предъявляются настолько жесткие требования по механическим, электрическим, эстетическим и эксплуатационным параметрам, что подавляющее большинство автомобилистов используют антенны промышленного изготовления. Все типы автомобильных антенн относятся к классу антенн Ground plane, роль заземляющей поверхности которых (противовеса) играет металлический кузов автомобиля. При установке на кузов из диэлектрика такая антенна будет работать, только если подстелить под нее лист металла $1,5 \times 1,5$ м, поэтому для автомобилей с пластмассовым кузовом и пластиковых катеров разработаны специальные антенны типа «вертикальный полуволновый вибратор», оба плеча которых укорочены согласующими индуктивностями.

Наилучшие результаты по дальности связи дает полноразмерная антенна длиной $4/\lambda$, однако такая длинная антенна (2,75 м) имеет неприятное свойство задевать за ветки деревьев, арки, въездные ворота и прочие препятствия. По этой причине производители антенн используют различные методы их укорочения (согласующая индуктивность в основании штыря, в середине его или распределенная по всей длине антенны). Это позволяет уменьшить длину антенны, не слишком ухудшив ее характеристики по сравнению с полноразмерной штыревой антенной. Но даже для этих укороченных антенн справедливо общее правило: чем длиннее антенна, тем она эффективнее.

Металлические и пластиковые (фибергласовый или углепластиковый штырь с медным проводником внутри) антенны работают одинаково эффективно. Антенны на магнитном основании легко убираются внутрь машины на стоянке, что предохраняет их от похищения, а сила магнита обеспечивает их надежное крепление при лю-

бой скорости. Для этих антенн справедлива та же рекомендация относительно длины, а работают они хуже из-за того, что связь экрана подводящего кабеля с кузовом-противовесом осуществляется через емкость основания на кузов, а не за счет непосредственного контакта. Для этих антенн изменение длины кабеля недопустимо [1].

Автомобильная антенна должна быть настроена в резонанс на средней частоте диапазона. Для этого потребуются измеритель коэффициента стоячей волны (КСВ), который включается между станцией и антенной. Различные модели антенн настраиваются разными способами. Причем в большинстве случаев настройка в резонанс достигается регулировкой длины штыря. Если КСВ больше на верхнем краю диапазона, длину штыря нужно уменьшить, а если на нижнем – то увеличить. При этом желательно добиться минимума КСВ в середине диапазона. Минимум не должен быть близок к 1,0. Если во всем диапазоне удастся получить КСВ не более 1,9, то это хороший результат. Уменьшать КСВ дальше нецелесообразно, так как возможный выигрыш будет незначителен. Коэффициент стоячей волны по напряжению вычисляется по формуле

$$K_{СВН} = \frac{U_1 + U_2}{U_1 - U_2}$$

где U_1 и U_2 – амплитуды падающей и отраженной волн соответственно.

Устанавливать антенну на автомобиле нужно как можно выше (на крыше, на переднем или заднем крыле), бампер с этой точки зрения является наихудшим местом, так как имеет место близость к двигателю, а значит, к основному электрооборудованию (стартер, система зажигания), поэтому помехи будут максимальными.

При установке антенны в середине крыши диаграмма направленности приближается к круговой. Если антенна установлена на правом краю крыши, большее усиление она дает в направлении влево от оси автомобиля, если на левом краю, то вправо. При заднем размещении антенны она наиболее эффективно работает вперед. Для успешной работы штыревая антенна должна быть согласована с линией питания и настроена в резонанс с излучаемым ею сигналом. Несмотря на все многообразие согласующих устройств и штырей их можно разбить на три группы:

- 1) штырь согласованный, электрическая длина которого равна 1/2 или 1/4 (полуволновый или четвертьволновый вибраторы);
- 2) штырь с электрической длиной больше 1/2 или 1/4 (излишки компенсируют с помощью емкости);
- 3) штырь с электрической длиной меньше 1/2 или 1/4 (недостающую длину добавляют индуктивностью).

Необходимо помнить, что конденсатор и катушка должны иметь максимально возможную добротность, а также желательно, чтобы температурные коэффициенты емкости и индуктивности были как можно лучше. Точно определить теоретическое их значение трудно, так как в этом случае происходит влияние коэффициента укорочения вибратора, торцевых емкостей на землю и массы других параметров. Вследствие этого согласующие емкости или индуктивности часто подбираются экспериментально для всех диапазонов частот, принимаемых автомобильной антенной.

При этом в направлениях линии размещения антенн наблюдается резкий минимум, а в перпендикулярных направлениях – усиление на 3 дБ. Если разместить эти антенны на расстоянии около 3 м (максимальная ширина автомобиля) друг от друга, то эффект сложения и подавления сигналов существенно ослабляется, в результате чего такие двойные антенны работают как одинарные, установленные на крыше кабины. Виды крепления антенн можно разделить на 3 основные группы: крепление в

отверстие в кузове, крепление в виде кронштейна, устанавливаемого на водосливной бортник крыши или зеркала, и магнитные основания [1].

Необходимо обращать внимание на непереносимое соблюдение основного принципа: надежный контакт антенны с кузовом, отсутствие ненадежных контактов в заделке коаксиального кабеля в разъемах, в том числе в разъемах и подпружиненных контактах салазок при съемных вариантах трансивера.

При установке антенны в отверстие в кузове нужно продавить краску и грунтовку снаружи кузова в месте крепления. Затем при монтаже антенны нужно обеспечить хорошее электрическое соединение кронштейна с кузовом. Для этого нужно продавить краску на бортике в местах контакта или обеспечить соединение с помощью самонарезающего шурупа, ввертываемого в отверстие, специально просверленное в бортике. Теоретические расчеты показывают, что наибольшие потери имеют места в зоне с радиусом $0,3 - 0,4$ длины волны, поэтому в этой зоне желательно провести заземление, то есть соединить радиальные провода между собой перемычками. Это позволит уравнивать потенциалы контактного кабеля антенны и кузова максимально близко, что приведет к уменьшению сопротивления заземления и вследствие этого увеличит эффективность работы антенны, расширив ее широкополосность. Особенно это важно для укороченных антенн.

Все больше электронных устройств вводится в эксплуатацию, а также совершенствуется в современных автомобилях. По этой причине проблема, вызванная электромагнитной совместимостью электрических систем автомобиля, становится все более и более актуальной. Электромагнитное поле от работающей системы зажигания может вызывать отказ или сбой электрических устройств и оказывать влияние на безопасность и надежность автомобилей, что вызывает большое беспокойство среди проектировщиков автомобилей и их изготовителей. Международными и местными правилами стандартизируется электромагнитная совместимость (EMC). Например, специальный международный комитет по радиопомехам (CISPR) указал на стандарты EMC с техническими требованиями на пороге автомобильной электромагнитной радиации для проводимого EMI (от 150 до 30 МГц) и EMC по излучению (от 30 МГц до 1 ГГц) [2, 3].

Недавно методы моделирования широко использовались в предсказании EMC, включая метод конечных элементов, метод моментов, метод конечного различия временного интервала и метод линии передачи. Эти методы могут помочь идентифицировать автомобильные проблемы, важные с точки зрения EMC, и на очень ранней стадии проектирования избежать интенсивных затрат в циклах модернизации, разработки и внедрения в процессе проектирования автомобилей. С другой стороны, помехи от системы зажигания при работающем двигателе внутреннего сгорания являются самым сильным источником помех в автомобиле. Много измерений и моделирований были выполнены для исследования этой проблемы в разных странах, в т. ч. в России. Однако тесты EMC согласно международным стандартам дороги и отнимают много времени. Кроме того, в этих экспериментах анализируются механизм загрузки свечи зажигания и сопутствующие этому помехи, которые в значительной степени зависят от надежности электрического подсоединения антенного кабеля к крыше автомобиля.

Рассмотрим таблицу уровня помех с надежным ($R_{\text{перех.}} < 0,05 \text{ Ом}$ и $R_{\text{зазем.}} < 2 \text{ Ом}$) и ненадежным ($R_{\text{перех.}} > 0,05 \text{ Ом}$ и $R_{\text{зазем.}} > 2 \text{ Ом}$) контактом [4, 5]. Из таблицы видно, что уровень помех при надежном контакте снижается в среднем в полтора раза по всему диапазону частот.

**Уровень помех с надежным ($R_{перех.} < 0,05 \text{ Ом}$ и $R_{зазем.} < 2 \text{ Ом}$)
и ненадежным ($R_{перех.} > 0,05 \text{ Ом}$ и $R_{зазем.} > 2 \text{ Ом}$) контактом с крышей автомобиля**

Частота, МГц	Надежный контакт	Ненадежный контакт
0,15	-9,91	-6,74
0,154017	-10,42	-7,20
0,156065	-10,92	-7,64
0,158141	-11,43	-8,09
0,160244	-11,93	-8,53
0,162376	-12,04	-8,95
1,005533	-11,07	-7,54
1,018907	-10,89	-7,83
1,032459	-11,03	-7,02
1,046191	-11,16	-6,19
1,005533	-11,07	-7,54
1,018907	-10,89	-7,83
3,010713	-1,04	6,85
3,050757	-1,73	7,64
3,091333	-2,42	8,43
3,132449	-3,11	9,22
3,174112	-1,15	8,31
10,019550	-2,86	0,09
10,152814	-1,48	2,14
10,287851	0,40	4,62
10,424684	2,28	7,10
10,563337	4,16	9,58
10,703834	3,70	9,14
28,082134	-14,10	-10,20
28,455639	-14,68	-10,99
28,834111	-15,26	-11,78
29,217617	-15,84	-12,57
29,606224	-16,41	-13,35
30	-4,77	5,53
65,164814	2,39	12,74
65,247377	1,98	12,44
65,330046	1,57	12,14
65,412819	1,16	11,83
65,495696	0,74	11,53
80,001321	-4,12	5,12
80,102683	-4,39	4,87
80,204173	-4,66	4,63
80,305791	-4,43	3,97
105,033038	-7,40	11,16
105,166115	-7,09	10,88
105,299360	-6,78	10,59
105,432774	-6,47	10,30

Та же картина видна и на рис. 1, где показано напряжение широкополосных радиопомех на выходе антенного кабеля автомобиля.

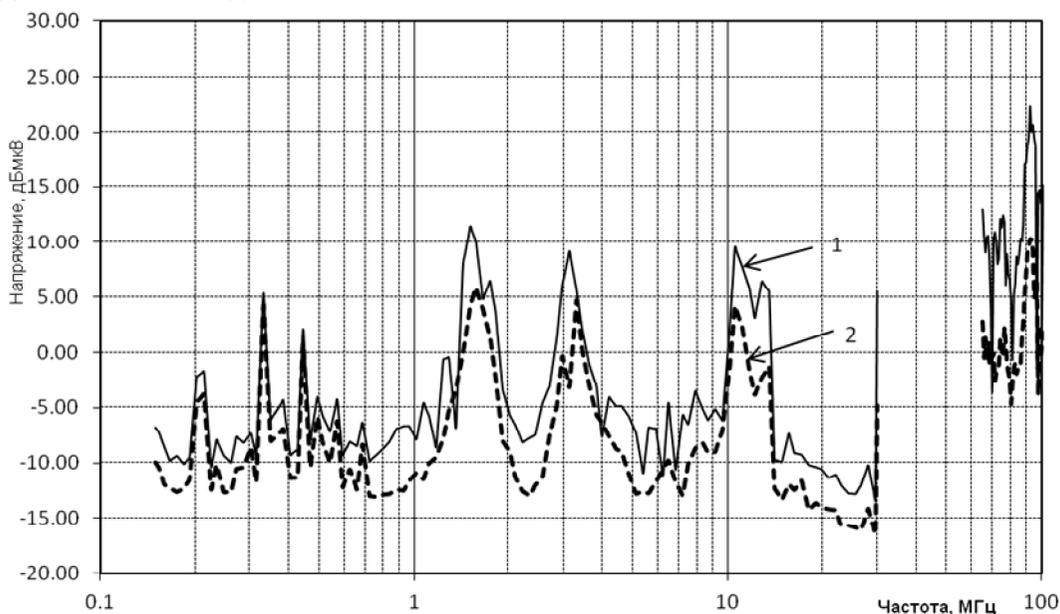


Рис. 1. Напряжение широкополосных радиопомех на выходе антенного кабеля автомобиля:

- 1 – плохой контакт ($R_{\text{перех.}} > 0,05 \text{ Ом}$ и $R_{\text{зазем.}} > 2 \text{ Ом}$) кабеля с крышей автомобиля;
- 2 – хороший контакт ($R_{\text{перех.}} < 0,05 \text{ Ом}$ и $R_{\text{зазем.}} < 2 \text{ Ом}$) кабеля с крышей автомобиля

На рис. 2, 3 показаны разные производители антенных кабелей и результат их тестирования в сравнении друг с другом и с предельными значениями. При этом видно, что от качества контакта зависит уровень помех. Причем на разных частотах (см. рис. 2) у разных производителей уровень помех различается в среднем до двух раз, но при этом не превышает предельных значений ни у одного из производителей на всех диапазонах частот. В диапазоне длинных волн (см. рис. 2) уровни помех практически не отличаются. В диапазонах средних и коротких волн уровень помех отличается примерно в 2 раза.

На рис. 3 наглядно показан диапазон высоких частот, наиболее часто используемый в автомобилях (взят из рис. 2, на котором он плохо просматривается). По нему четко видно, что на ультракоротком диапазоне частот, разбитом на два участка – от 65 до 74 МГц (УКВ-диапазон) и от 87 до 108 МГц (FM-диапазон), характеристики антенных кабелей для разных производителей примерно в 2 раза отличаются по отношению друг к другу по уровню помех. При этом уровень помех в среднем в 4 раза ниже нормы для всех типов антенных кабелей.

Антенные кабели разных производителей («Урал», «ИТЕЛМА», Санкт-Петербург) имеют разную контактную площадку, что имеет кардинальное значение, так как в зависимости от качества контакта ($R_{\text{перех.}} < 0,05 \text{ Ом}$ и $R_{\text{зазем.}} < 2 \text{ Ом}$) изменяется качество приема радио- и телесигналов. Антенный кабель «Урал» имеет наибольшее количество контактных зубцов, которые должны обеспечить наилучший контакт с кузовом автомобиля. У кабеля «ИТЕЛМА» зубцов меньше, а у кабеля производителя из Санкт-Петербурга контактная площадка имеет всего 3 контакта. Это должно означать, что антенный кабель «Урал» даст наилучшие результаты по уровню помех, но это не является безусловным фактом, так как качество заземления определяется не количеством зубцов, а сопротивлением заземления.

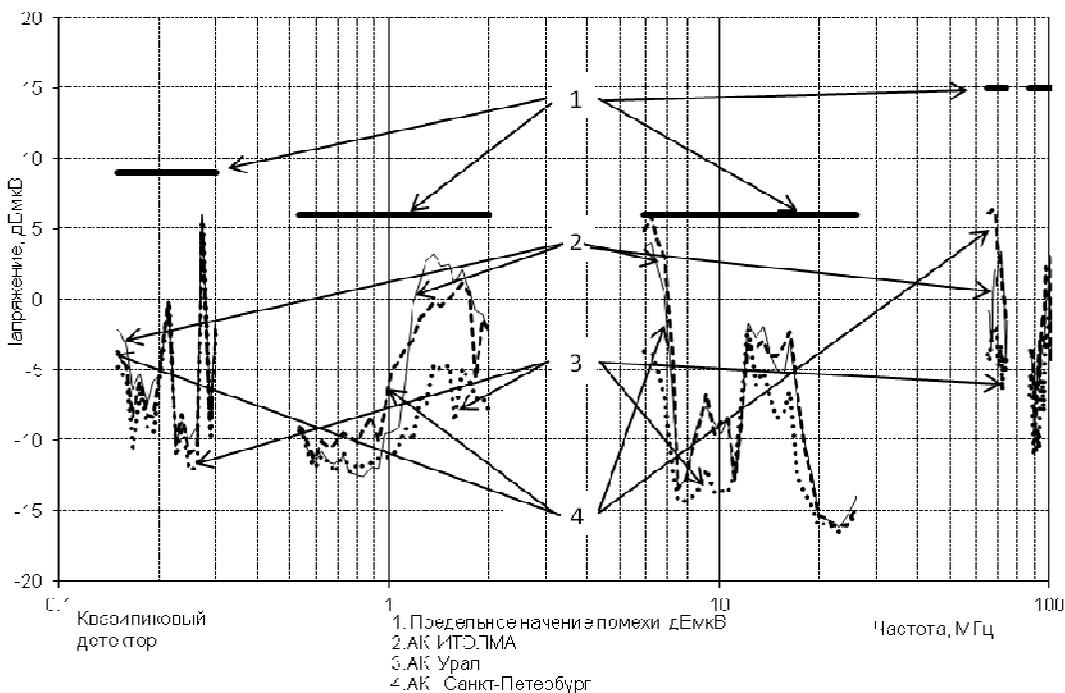


Рис. 2. Напряжение широкополосных радиопомех на выходе антенного кабеля автомобиля LADA 11194

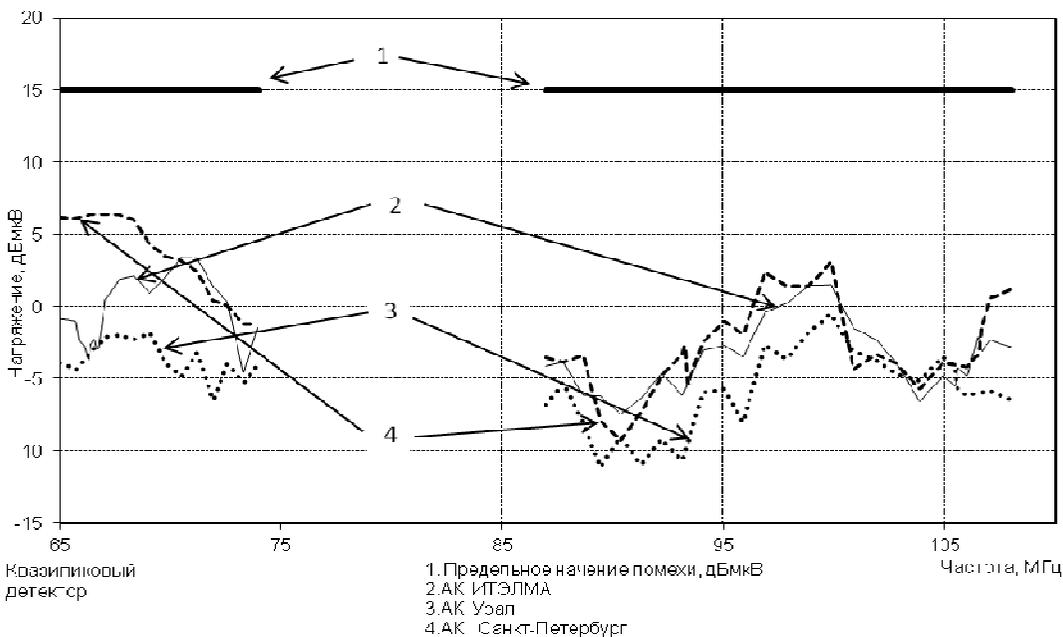


Рис. 3. Напряжение широкополосных радиопомех на выходе антенного кабеля автомобиля LADA 11194 (ультракороткий диапазон частот)

Учитывая тот факт, что антенный кабель затягивается на кузов с усилием 1,5-2 Н·м, то есть зубья или контакты продавливают краску и грунтовку и врезаются в кузов, в данном случае наименьшее $R_{\text{зазем.}}$ должно быть в случае наибольшего количества зубцов. Данными рис. 2, 3 подтверждается, что сопротивление заземления лучше всего у производителя антенных кабелей марки «Урал», так как его уровень помех наименьший из всех и значительно ниже критического уровня, причем на всех диапазонах частот.

Таким образом, в данной статье подтверждается, что надежный контакт антенного кабеля с кузовом автомобиля, выступающим в роли заземлителя, значительно снижает уровень помех от электрооборудования автомобиля. При этом в основном помехи идут от системы зажигания; от стартера также присутствуют кратковременные, но значительные по интенсивности помехи. В результате очевидно, что чем лучше качество контакта ($R_{\text{зазем.}}$) антенного кабеля с кузовом автомобиля (заземлителем), тем выше качество сигнала и дальность его приема.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ротхаммель К.* Антенны: Пер. с нем. – М.: Додека, 2005.
2. *Петровский С.В.* Исследования по электромагнитной совместимости системы зажигания автомобилей // Тезисы докладов межвузовской научно-технической конференции «Микроэлектроника и информатика – 2000». – Зеленоград: Изд-во МИЭТ, 2000. – С. 123.
3. *Петровский С.В., Новиков О.Я., Путько В.Ф.* Электромагнитная совместимость катушки зажигания с другими системами автомобиля // Тематический сборник научных трудов международной конференции «Автомобиль и техносфера ICATS 2001». – Казань, 2001. – С. 417.
4. *Николаев П.А.* Исследование динамики разрядных процессов в системе зажигания ДВС и излучаемых радиопомех // Автомобильная промышленность. – 2006. – № 8. – С. 19-21.
5. *Николаев П.А., Червяков С.А.* Обзор методов подавления помех от системы зажигания // Технологии ЭМС. – 2006. – № 3. – С. 46-54.

Статья поступила в редакцию 4 октября 2012 г.

QUALITY RESEARCH OF THE WAY THE CAR ANTENNA IS GROUND TO THE LEVEL OF INDUCED RADIOINTERFERENCE

S.V. Petrovski

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

The paper performs the quality research of the way the car antenna is grounded to the level of electromagnetic interference generated by on-board sources. On the basis of this research the optimal shape of the contact surface between the cable and the car body was defined.

Keywords: antenna, radiointerference, electrical contact, the ignition system.