

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Ходьков А.С.

Титович Н.А. – к.т.н., доцент

При разработке современных радиоэлектронных систем (РЭС) одной из важнейших задач сегодня является обеспечение ее высокой помехоустойчивости. Рост числа, многообразия и сложности РЭС обусловил увеличение интенсивности непреднамеренных электромагнитных помех (ЭМП). Наиболее мощными являются стационарные помехи, создаваемые передатчиками радиорелейных и радиовещательных станций, радиолокационных и радионавигационных систем. Наиболее неблагоприятная обстановка складывается на объектах морской подвижной службы, самолетах. Так средняя плотность потока мощности электромагнитного излучения на кораблях морского флота составляет порядка $0,1 \text{ Вт/м}^2$ в непрерывном и 100 Вт/м^2 в импульсном режиме работы судовых радиолокационных станций. Интенсивность же электромагнитных полей на палубах авианосцев достигает 10 кВт/м^2 и выше в дециметровом и сантиметровом диапазоне длин волн (рис. 1). При проектировании аппаратуры специального назначения следует принимать во внимание, что уровни преднамеренных помех, создаваемых специальными тактическими системами радиоэлектронной борьбы, могут на два-три порядка превышать выше указанные. Обеспечение надежной работы систем связи и других РЭС в этом случае значительно усложняется. В последнее время значительно возросло число и мощность передатчиков подвижных наземных служб. В ряде случаев напряженность поля в салоне автомобиля может достигать 300 В/м . Достаточно много проблем при эксплуатации средств связи связано и с воздействием индустриальных ЭМП, вызванных работой электротехнических и радиотехнических устройств бытового и промышленного назначения.

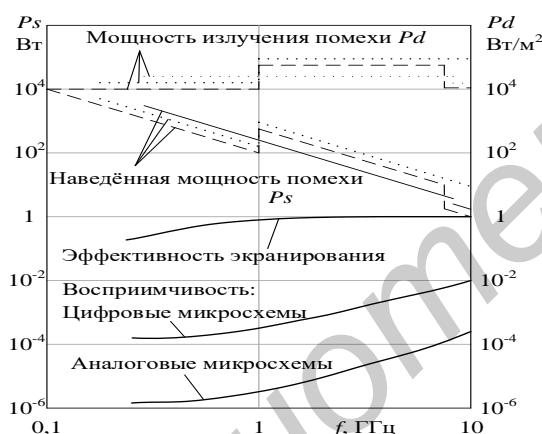


Рис. 1. Анализ электромагнитной обстановки в зоне работы РЭС.

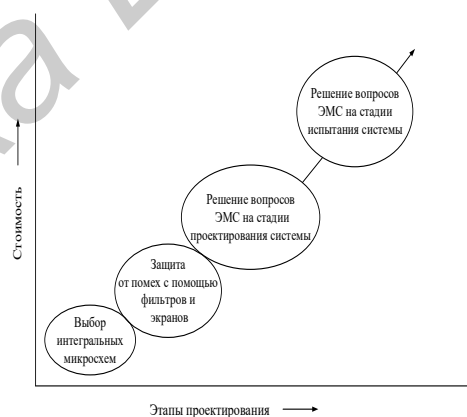


Рис.2. Увеличение стоимости затрат по обеспечению ЭМС на этапах проектирования.

В связи с возрастанием сложности РЭС и ограничениями, предъявляемыми к габаритам и весу, разработчикам часто приходится наполнять небольшой по объему объект аппаратурой различного функционального назначения. Неизбежная теснота размещения обуславливает взаимные помехи друг другу, обостряет внутрисистемную электромагнитную совместимость (ЭМС). Так в бортовых системах уровни рабочих сигналов различных устройств отличаются порой на несколько порядков.

Применяя идеальные непрерывные экраны можно достичь эффективности экранирования 100 дБ и выше. Однако на практике получить такое ослабление достаточно сложно. Наличие в стенках корпусов-экранов неоднородностей (отверстий и щелей для вентиляции и индикации, вводов, стыков, крышек и др.) создает дополнительные каналы для проникновения электромагнитных полей в экранируемую область. Степень утечки через экраны зависит от формы неоднородностей, их размеров. Так расчеты показывают, что если для сплошного экрана эффективность экранирования растет с ростом частоты, то отверстие в стенке на определенной частоте ограничивает этот рост. С увеличением размеров отверстия эта частота снижается. Такие зависимости имеют место в случае, когда отверстие электрически мало, т.е. когда длина волны электромагнитного излучения превышает размеры неоднородности. С ростом частоты отверстие становится резонансно согласованным с внешним полем (обычно на СВЧ) и поэтому проникновение через него увеличивается. В случае же когда длина волны проникающей ЭМП кратна размерам корпуса-экрана или части его объема, может наступить внутренний резонанс и все конструктивные меры становятся малоэффективными. Особенно вероятны такие явления в СВЧ диапазоне, где особенности проникновения электромагнитных волн через экраны недостаточно изучены.

Более эффективными являются экраны специальной конструкции, например, с выполнением отверстий для вводов, вентиляции и индикации в виде заградительных волноводов. Однако при этом значительно возрастает стоимость всего изделия, его габариты и вес. Таким образом, традиционный подход к защите от ЭМП, основанный главным образом на совершенствовании конструкции РЭС, сегодня не всегда эффективен.

Известные схемотехнические методы предполагают использование для снижения уровней помех фильтров, дросселей, трансформаторов, защитных разрядников, элементов оптоэлектроники. Эффективным средством повышения помехоустойчивости являются системные методы, связанные с использованием корректирующих кодов, позволяющих исправлять системные и групповые ошибки. Однако, когда помеха воздействует не только на линию связи, но и одновременно на все устройства обработки и информацию, содержащуюся в них, желаемого результата они также не дают.

В таких условиях большим резервом повышения помехоустойчивости РЭС является учет восприимчивости к воздействию ЭМП элементной базы, в частности полупроводниковых приборов (ПП) и интегральных микросхем (ИМС).

Системный подход к проектированию РЭС предполагает рассмотрение вопросов, касающихся повышения надежности ее работы, уже на самой нижней ступени иерархической лестницы, а именно при выборе элементной базы и проектировании печатных плат. Так как наведенные помеховые сигналы в конечном итоге попадают в цепи радиоэлектронных устройств и воздействуют на их элементы, то помехоустойчивость систем связи, радиоправления, обработки информации во многом определяется восприимчивость элементной базы, в особенности ПП и ИМС. Результаты исследований отечественных и зарубежных ученых показывают, что выбор менее восприимчивой к воздействию помех элементной базы позволяет в десятки раз снизить затраты по обеспечению ЭМС на стадии эксплуатации аппаратуры (рис. 2).

Внедрение такого подхода в практику проектирования РЭС требует не только изменения психологии разработчиков, но и обеспечения их определенным объемом справочных материалов, содержащих как сравнительные данные по восприимчивости элементной базы, так и рекомендации по применению различных ПП и ИМС в условиях воздействия ЭМП. Так, например, анализируя результаты экспериментальных исследований изменения среднего времени задержки распространения логических элементов И-НЕ под действием наведенного на шину питания ВЧ помехового сигнала, приведенные на рисунке, можно сделать вывод, что при разработке быстродействующих схем, критичных к изменению временных параметров сигналов, предпочтительнее выбирать ИМС серии 1533. Если же использовать элементы серий 531 или 1554, то вероятность возникновения обратимых сбоев в работе цифровых устройств под действием помех весьма велика. В то же время результаты испытаний и расчетов показали, что у микросхем серии 1533 в сравнении с другими чаще всего происходят недопустимые отклонения уровней логических нуля и единицы.

В настоящее время известно много работ зарубежных и отечественных ученых, посвященных исследованию восприимчивости ПП и ИМС к воздействию помех. Основные их результаты изложены в обзорах [1-4]. Однако использование их разработчиками пока не носит системный характер. Поэтому целью дальнейшей работы в этой области является не только расширение номенклатуры исследуемых ПП и ИМС, но и обучение разработчиков эффективным методам проектирования. Выбирая менее критичную к воздействию ЭМП элементную базу, рационально применяя традиционные конструкционные и схемные меры защиты к наиболее уязвимым цепям ПП и ИМС, можно значительно повысить надежность работы аппаратуры связи, устройств управления, обработки и хранения информации, не прибегая при этом к чрезмерному усложнению конструкции РЭС, увеличению ее габаритов и веса. Наиболее перспективными достаточно дешевым является расчетный метод анализа восприимчивости, использующий как стандартные программы, так и вновь разработанные модели.

Результаты исследований могут быть использованы и при разработке более устойчивой к воздействию помех элементной базы.

Список использованных источников:

1. Mardiguian M. A Handbook Series on Electromagnetic Interference and Compatibility. Volume 5. Electromagnetic Control in Components and Devices. – Interference Control Technologies, Virginia, 1988.
2. Бригидин А.М., Титович Н.А., Кириллов В.М. И др. Влияние электромагнитных помех на работоспособность полупроводниковых приборов и интегральных схем (обзор)// Электронная техника. Вып.1(148), 1992. –С. 3 - 13.
3. Титович Н.А., Ползунов В.В. Исследование восприимчивости полупроводниковых приборов к воздействию электромагнитных помех // Журнал «Доклады БГУИР», 2015, №1, -С.114-118.
4. Ключник А.В., Пирогов Ю.А., Солодов А.В. Обратимые отказы интегральных микросхем в полях радиоизлучения (обзор)// [Журнал радиоэлектроники](#). 2013. № 1. -С. 3-27.