

РЕГУЛЯТОРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРЫ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Как известно, обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоэлектронных средств (РЭС) с каждым годом приобретает все большее значение. Более того, в настоящее время некоторые аспекты ЭМС уже принимают межгосударственный, глобальный характер. Обеспечение электромагнитной совместимости в настоящее время, по-видимому, формируется в отдельное научно-техническое направление.

Ключевые слова: управление радиочастотным спектром, электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств, регуляторно-технические меры, электромагнитная обстановка, интермодуляционные помехи.

T.T. Moidunov - Ph.D. Associate Professor, OshTU

REGULATORY-TECHNICAL MEASURES FOR USE OF RADIOELECTRONIC MEANS

As is known, the provision of electromagnetic compatibility (EMC) of radio electronic means (RES) every year becomes more important. Moreover, at present some aspects of EMC are already taking an interstate, global character. The provision of electromagnetic compatibility at the present time, apparently, is being formed into a separate scientific and technical direction.

Key words: management of radiofrequency spectrum, electromagnetic materiality of radioelectronic means, regulatory-technical measures, electromagnetic situation, intermodulative interference.

Введение. Улучшение электромагнитной обстановки достигается, в основном, путем улучшения параметров РПД и РПМ, определяющих их ЭМС (защищенность по цепям питания и управления, внеполосные и побочные излучения РПД, побочные каналы приема РПМ) и увеличения электромагнитной развязки между устройствами объекта, в первую очередь, между их антенно-фидерными устройствами.

Для этого используют дополнительные фильтры в цепях питания и управления, фильтры на входах РПМ и выходах РПД, ферритовые циркуляторы в фидерных трактах многоканальных радиопередающих устройств, а также дополнительные экраны для отдельных узлов, устройств в целом, фидеров и антенн.

Применение помехоподавляющих фильтров - основной способ ослабления кондуктивных помех в цепях управления и электропитания РЭС. Для подавления таких помех, в основном, используют различные виды LC-фильтров, состоящие из Г-, Т- и П-образных звеньев, продольные ветви которых содержат индуктивности, а поперечные — емкости. Сочетание различных типов таких звеньев позволяет получить крутизну характеристики затухания фильтра 100 дБ на декаду и более. Помехоподавляющие фильтры включают как можно ближе к источнику помехи на пути ее распространения к рецептору помехи. Эффективность фильтра характеризуется параметром ослабления помехи в месте ее влияния на рецептор.

С понижением рабочей частоты LC-фильтры становятся громоздкими, в этих случаях используют активные фильтры на основе микросхем (операционных усилителей). В активном фильтре операционный усилитель преобразует импеданс подключаемой к нему RC-цепи так, что такой усилитель ведет себя как индуктивность.

Для подавления побочных излучений в трактах РПД используют различные типы СВЧ-фильтров, подключаемых к их выходам. По принципу действия фильтры делятся на

отражающие, т.е. несогласованные с СВЧ-трактом вне полосы пропускания и поглощающие - согласованные по всей полосе частот.

Высокий уровень выходной мощности РПД (до единиц киловатт) накладывает особые требования к конструкции фильтра. Можно считать, что характеристики фильтра в полосе пропускания являются удовлетворительными, если вносимые потери не превышают нескольких десятых долей децибел, а уровень согласования, характеризуемый коэффициентом стоячей волны (КСВН), значения 1,3. Более высокие значения этих параметров могут приводить к тепловому перегреву элементов фильтра, к явлениям СВЧ-пробоя, ухудшению качества и надежности передающей системы в целом. Потери, вносимые фильтром в полосе заграждения, должны снижать уровни побочных излучений РПД до значений, не превышающих существующие нормы.

1. Изменение характеристик передающей антенны

Антенны РЭС бывают различными по типу и по характеру. Их можно подразделить на две группы: антенны осевого излучения и апертурные антенны. Антенны осевого излучения бывают: директорные («волновой канал»), лучевые, спиральные антенны. К апертурным антеннам относятся рупорные антенны (на основе конического или пирамидального рупора), одно- и двухзеркальные антенны с параболическим рефлектором или параболические антенны (ПА), а также комбинированные: рупорно-параболические (РПА), рупорно-линзовые (РЛА) и перископические антенны (ПРА) [4,5].

Расстояния между антенной и точкой наблюдения определяет характеристики излучаемого антенной поля. Результирующая напряженность поля, создаваемого антенной в свободном пространстве, зависит от разности хода волн Δr , образованных отдельными излучающими элементами антенны, являющихся элементарными излучателями. Когда выполняется условие $\Delta r \ll \lambda$ (λ - длина волны), антенна может рассматриваться как точечная. Расстояние от антенны, где это условие выполняется, называется дальней зоной, или зоной Фраунгофера. Здесь напряженность поля изменяется обратно пропорционально расстоянию. Характер изменения напряженности поля существенно зависит от расстояния R до передатчика. Различают ближнюю и дальнюю зона приема сигналов [1].

Диаграмма направленности антенны (ДНА) определяет угловое распределение амплитуд напряженности электрического поля антенны $E(\varphi)$ в дальней зоне в двух ортогональных плоскостях при фиксированном удалении [4]. Обычно эти плоскости выбирают так, чтобы в одной из них был расположен вектор электрического поля E_a , а в другой — магнитного поля H . ДНА нормируется к максимальной интенсивности излучения, которое имеет место в главном направлении, т.е. при $\varphi = 0$, и представляется зависимостью

$$F^2(\varphi) = g_a(\varphi) - g_{a \max} \tag{1}$$

где φ - угол наблюдения, образуемый направлением от точки расположения антенны до точки наблюдения и главным направлением излучения (приема) данной антенны;

$F^2(\varphi)$ - значение ДНА, дБ, под углом φ ;

$g_a(\varphi)$ - КУ антенны, дБ, под углом φ .

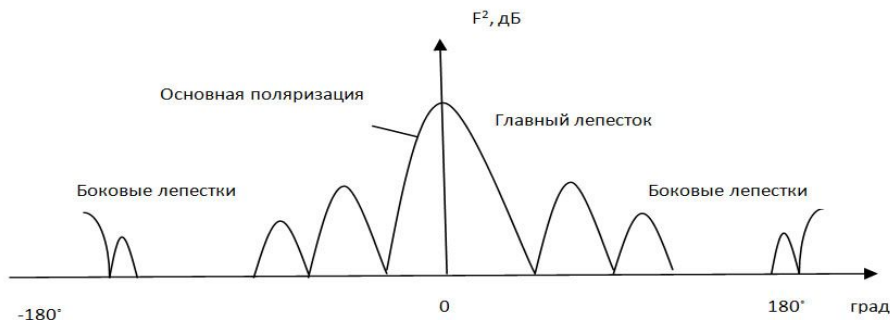


Рис. 1. Общий вид идеализированных ДНА на основной поляризации и кроссполяризации в прямоугольных координатах

Для расчета условий ЭМС, особенно сетевых структур радиосвязи, необходимо располагать полными зависимостями ДНА как на основной поляризации сигнала, так и на кроссполяризации. Однако указанное влияние на параметры реальных антенн элементов их конструкции и окружающих предметов приводит к необходимости при проведении расчетов ЭМС прибегать к усредненным математическим описаниям характеристик антенн РЭС, в частности, их ДНА. С этой целью, на практике широко используются так называемые гарантированные огибающие ДНА в графической или аналитической форме, являющиеся результатом аппроксимации экспериментальных ДНА реальных антенн [1].

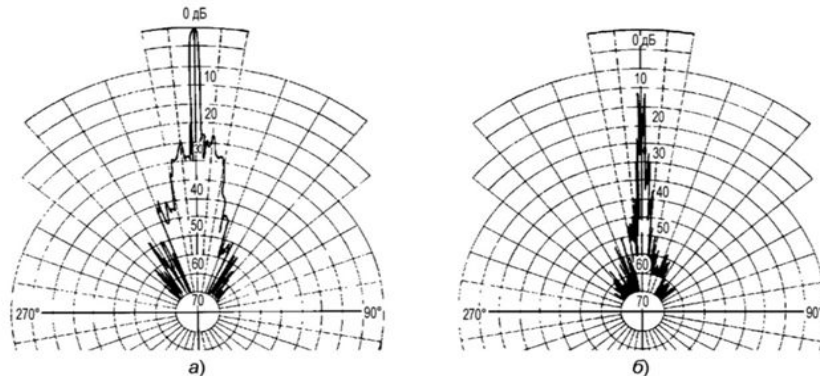


Рис. 2. Вид реальных ДНА на основной поляризации (а) и на кроссполяризации (б) в полярных координатах

2. Характеристики приемной станции

Радиоприемные устройства предназначены для выделения сигналов из радиоизлучений. Идеальный с точки зрения ЭМС радиоприемник должен иметь только один основной канал приема (рис.3). В реальных приемниках, кроме основного, имеются также нежелательные неосновные каналы приема, расположенные за пределами полосы основного канала в широком диапазоне частот. Через основной и неосновные каналы на выход приемника могут поступать помехи, ухудшающие ЭМС РЭС [1].

Восприимчивость приемника к радиопомехам оценивается по отношению к излучаемым помехам, воздействующим через антенну РПУ, а также помимо нее, например, через корпус по цепям питания, управления и др. Восприимчивость является мерой способности радиоприемника реагировать на непреднамеренные помехи и зависит от его чувствительности и избирательности по основному и неосновным каналам приема [3, 5, 6].

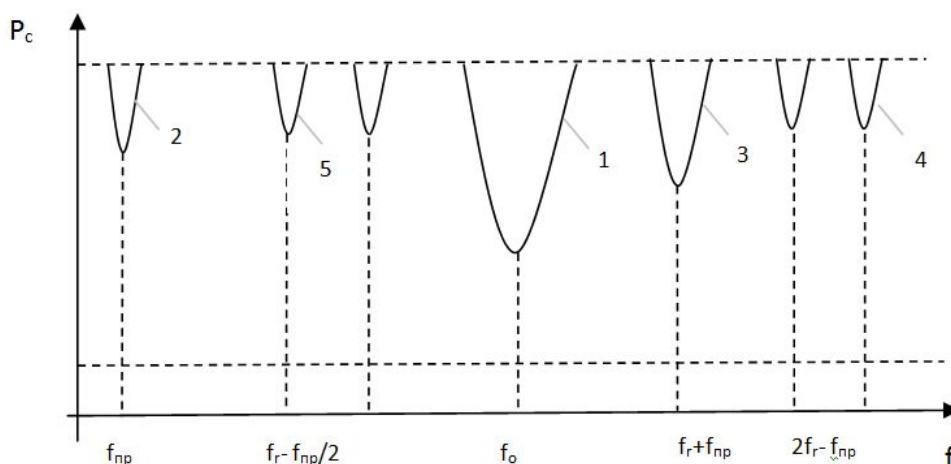


Рис. 3 Характеристика восприимчивости к помехам супергетеродинного приемника:

- Где 1 - основной канал приема на частоте настройки $f_0 = f_r - f_{np}$;
- 2- побочный канал приема на промежуточной частоте f_{np} ;
- 3- побочный канал приема на зеркальной частоте $f_r + f_{np}$;
- 4- побочные каналы приема на комбинационных частотах $0,5(f_r \pm f_{np})$ и $2f_r \pm f_{np}$;
- 5 - побочные каналы приема на субгармониках частоты настройки приемника $0,5f_0 = 0,5(f_r - f_{np})$ и зеркальной частоты $0,5(f_r + f_{np})$.

В реальных условиях на вход радиоприемника наряду с полезным могут поступать интенсивные мешающие радиосигналы от нескольких радиостанций, что приводит к появлению нелинейных эффектов в тракте приема. В этом случае оценка ЭМС радиоприемника и измерение его параметров (в частности, избирательности), должна производиться при совместном действии на входе двух (или трех) колебаний, соответствующих сигналу и помехам.

Многосигнальные методы измерений параметров приемника позволяют более полно оценить его работу в условиях действия сильных мешающих сигналов, влияние которых приводит к появлению нелинейных эффектов блокирования, перекрестной модуляции и интермодуляции, т.е. к появлению соответствующих нежелательных внеполосных каналов приема.

3. Борьба с помехами с помощью экранирования

Экранирование как средство борьбы с ЭМП применяется для таких элементов РЭС, которые могут быть либо источниками, либо рецепторами помех. Экранирование радиоэлектронной аппаратуры на всех уровнях, начиная с отдельных компонентов (реле, силители и т. д.) и кончая подсистемами и системами (здания, самолеты, автомобили и т. д.).

Экран, образованный металлическим барьером, можно анализировать при помощи как теории поля, так и теории цепей. В настоящее время, теория поля используется шире и поэтому будет здесь применена.

4. Подавление помех с помощью фильтров

Электрические фильтры могут быть разделены на две группы: для подавлений межсистемных помех (межсистемные фильтры) и для подавления помех в цепях питания в пределах одной системы (внутрисистемные фильтры).

К первым относятся фильтры, обеспечивающие:

- избирательность супергетеродинных приемников по соседнему каналу (настроенный фильтр в сочетании с УПЧ);
- подавление зеркального канала и внеполосных помех в преселекторах супергетеродинных приемников;
- подавление мешающего воздействия на частоте, близкой к рабочим частотам устройства (режекторные фильтры);
- защиту входа РП от помех на частотах, лежащих вне рабочей полосы рецептора (фильтры верхних или нижних частот);
- подавление нежелательных излучений передатчиков (фильтры, рассчитанные на высокую проходящую мощность).

В ряде случаев, межсистемные фильтры характеризуются одинаковыми значениями входного и выходного сопротивлений в рабочей полосе частот. Чаще всего оно равно 50 или 72 Ом. Однако используют также и другие значения сопротивлений, например, 600 Ом для фильтров звуковых частот и 300 Ом для фильтров, работающих в диапазоне ОВЧ и в нижней части диапазона УВЧ.

Межсистемные фильтры могут характеризоваться также степенью обеспечиваемой ими защиты чувствительных цепей от помех (для приемных устройств) или уровнем потерь в рабочей полосе частот при условии нормальной работы на больших уровнях пиковой импульсной мощности передатчика (например, до уровней + 100 дБм).

Внутрисистемные фильтры применяют для:

- подавления помех, распространяющихся по шинам питания, общим для ряда потребителей;

- устранения связей по высокой частоте между различными устройствами, имеющими общее сопротивление;
- подавления широкополосных помех, создаваемых станками, электроприборами и другими видами оборудования, использующего электромашины, а также устройствами, в которых возбуждаются переходные процессы: люминесцентными лампами, системами зажигания двигателей внутреннего сгорания, реле, соленоидами и другими переключающими устройствами;
- защиты различных устройств, чувствительных к помехам: датчиков, электровоспламенителей, вычислительных машин.

Внутрисистемные фильтры, как правило, имеют различные значения входного и выходного сопротивлений. Например, сопротивление источника питания на низких частотах зачастую менее 1 Ом , в то время как сопротивление его нагрузки существенно больше. Кроме того, сопротивления источника и нагрузки могут зависеть от частоты.

Для расчета характеристик фильтра используется его математическая модель. Модель фильтра может быть составлена лишь в том случае, если известны либо принципиальная электрическая или эквивалентная схема фильтра, либо его параметры (экспериментальные).

Таким образом, для оценки уровня помех наиболее целесообразно знать реальное значение затухания, создаваемого фильтром при установке его в конкретной цепи. Если реальное значение затухания определить сложно, то можно воспользоваться данными измерений в идеальных условиях, т. е. номинальными характеристиками этого фильтра. Если же указанные сведения отсутствуют, можно воспользоваться ориентировочными значениями максимального затухания для фильтров различной конструкции.

Литература:

1. **Бадалов, А.Л.** Нормы на параметры электромагнитной совместимости РЭС [Текст] / А.С. Михайлов // Справочник. — М.: Радио и связь, 1990
2. *Буга Н.Н.*, Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств [Текст] / В.Я. Канторович, В.И. Носов // М.: Радио и связь, 1998.
3. **Ротхамель, К.** Антенны. — СПб: Бояныч, 1998
4. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем. Учебн. пособие [Текст] / Под ред. д.т.н., проф. М.А. Быховского // М.: Эко-Трендз, 2006. — 376 с.: илл.
5. Справочник по радиорелейной связи / Под ред. С.В. Бородича // М.: Радио и связь, 1981.
6. Фиксированная служба. Аспекты совместного использования частот. Рекомендации МСЭ-Р. Серия F.-Часть 2.-Женева: Бюро радиосвязи, 1997.