

1. Источники, приемники и пути передачи электромагнитных помех

1.1 Основные понятия

Понимание причин возникновения помех при проектировании электронных систем позволяет избежать ошибок в выборе оборудования, его размещении, экранировании и кабельной разводке, а также ускорить процесс внедрения системы.

Электромагнитная совместимость, как любое научно-техническое направление, имеет ряд ключевых понятий. Некоторые из них, как мы увидим в дальнейшем, еще не систематизированы в полной мере. Это относится и к классификации электромагнитных помех (ЭМП) и к проблемам ЭМС. По мере изучения курса мы введем необходимые понятия, принятые в большинстве публикаций по ЭМС. На данном же этапе напомним, что электромагнитная совместимость (ЭМС) – это способность некоторой аппаратуры нормально функционировать в определенной электромагнитной обстановке (ЭМО), не создавая при этом электромагнитных помех, опасных для других технических средств или человека. Уже в определении ЭМС содержится понятие электромагнитная помеха.

Электромагнитную помеху (ЭМП) можно определить как любое нежелательное электромагнитное явление, способное негативно влиять на работу электронной аппаратуры. Электромагнитная помеха – это электромагнитный, электрический и (или) магнитный процесс, созданный любым, в том числе природным, источником в пространстве и (или) проводящей среде, который нежелательно влияет или может влиять на полезный сигнал при его передаче, приеме и (или) преобразовании к заданному виду или воздействовать на человека.

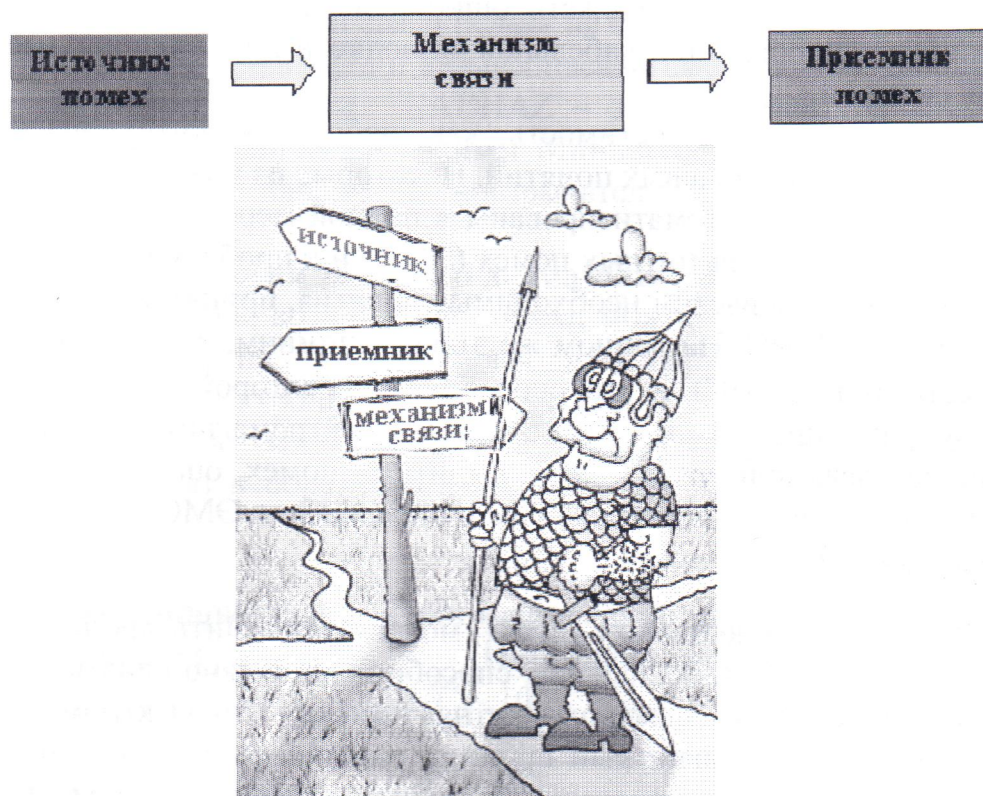
Полезным определением помехи является также ее представление в виде энергии сигнала, который приводит к нарушению (полному или частичному) работы электронного оборудования.

1.2.Триада

Любая проблема ЭМС сводится к определению трех элементов - источника помехи, пути или среды, по которой помеха может проходить, и приемника (или рецептора) помехи. Эта триада ключевых элементов проблемы ЭМС приведена на рис. Проблемы ЭМС могут быть решены, когда все эти элементы идентифицированы.

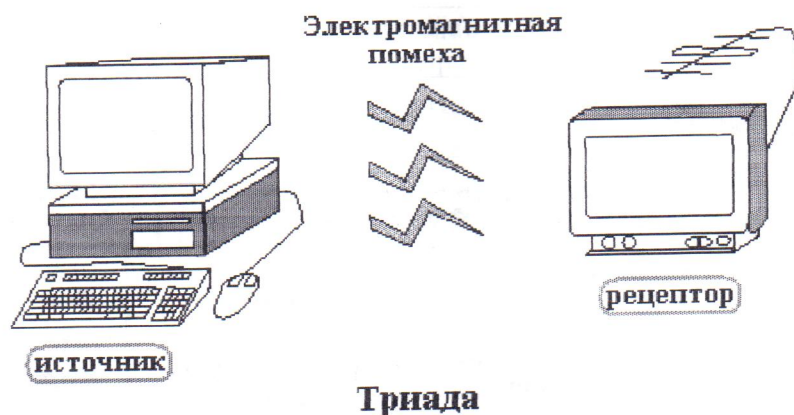
Каждый из этих трех элементов должен присутствовать, однако не каждый элемент можно идентифицировать в том или ином конкретном случае. Про-

блема ЭМС может быть решена только в том случае, если хотя бы два элемента этой триады идентифицированы и тогда взаимодействие источника и рецептора можно либо устранить, либо ослабить. А если хотя бы один из элементов этой триады удалить, то проблем с ЭМС не будет.



Модель влияния с источником помех, механизмом связи и приемником

Одним из наглядных примеров, поясняющим приведенную схему является случай воздействия компьютера на работу расположенного рядом телевизора или радиоприемника. Компьютер мешает приему ТВ или FM - сигналов. Он является источником помех, телевизор (радиоприемник) – рецептором и воздушная среда - путем прохождения помех.(поэтому, если есть желание смотреть ТВ, то лучше не работать и наоборот).



В качестве примера в таблице приведены некоторые элементы триады электромагнитной совместимости.

Таблица 1

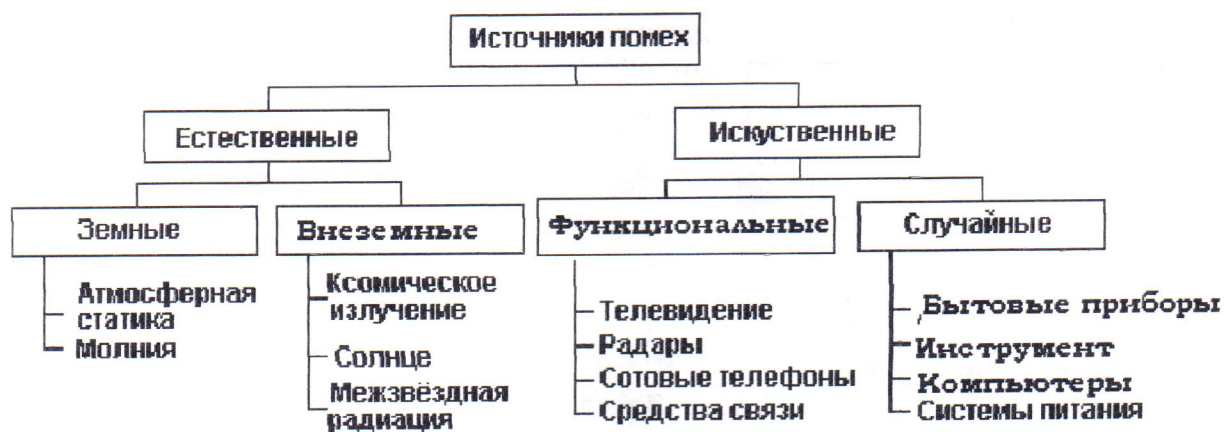
Элементы триады электромагнитной совместимости		
Источники наведенных и излученных помех	Причины и пути распространения помех	Принимающие элементы
Передатчики, радары, системы телеметрии; навигационное оборудование, двигатели; коммутаторы; линии электропитания	Дефекты систем экранирования; неправильное заземление; некачественная фильтрация; силовые линии; кабели систем передачи данных	Приемники (все типы); чувствительные электронные компоненты; организм человека

1.3 Источники помех

В качестве помехи может фигурировать практически любое электромагнитное явление в широком диапазоне частот. ЭМП может возникнуть и вследствие того, что меняются параметры среды, по которой проходит полезный сигнал, что будет проявляться как искажение сигнала.

Основой анализа источников ЭМП является их **классификация**. Мы приведем наиболее распространенную классификацию источников ЭМП, хотя она и не является достаточно полной (в отечественной литературе сравнительно полная классификация источников помех разработана в МИЭМ © Кечиев Л. Н. Webmaster Carol chief@rtuis.miem.edu.ru).

Сигналы электрического происхождения обнаруживаются на земной поверхности, в подземных сооружениях, под водой, в атмосфере и в космическом пространстве (внеземные). И первая классификация источников помех - это их деление **по природе возникновения**.



Классификация источников помех

В зависимости от *источника* электромагнитные помехи можно разделить на естественные и искусственные (рис.). В области ЭМС под источником подразумевается источник помехи, возникающей непреднамеренно либо из-за недостаточности принятых технических и организационных мер, либо из-за особенности физического процесса.

1.3.1. Естественные источники

Естественные источники (Natural EMI sources) – это источники, связанные с природными физическими явлениями в виде электромагнитных излучений. Естественные источники можно разделить на земные и внеземные. Все естественные источники имеют широкий спектр излучения и некогерентные. Например, атмосферные разряды происходят с частотами от единиц Гц до 10 МГц.

Космические источники (extraterrestrial noise) – излучение Солнца и других галактик имеет частоты выше 1 МГц.

Солнечное излучение Солнце - это могучий источник электромагнитного излучения практически во всей области электромагнитного спектра. Излучение Солнца имеет 11-летний цикл, когда наблюдаются вспышки активности Солнца. Максимум излучения Солнца имеет период в 100 лет. Особенно интенсивно излучает Солнце диапазоне частот 20 МГц - 120 МГц, что приходится учитывать в линиях связи с ИСЗ (искусственные спутники Земли), имеющими различные орбиты, пересекающиеся с направлениями на Солнце. С солнечным излучением связаны и магнитные бури и грозные разряды.

Космическое излучение Космические помехи от радиоизлучения Солнца, звезд и Галактики проявляются как шум в широком диапазоне частот – от 8 МГц и до частот выше, чем единицы ГГц. Сравнительно интенсивные излучения наблюдаются на некоторых фиксированных частотах. К

ним, например, относится излучение межзвездного водорода на длине волны $\lambda = 21$ см. (соответствующая частота излучения равна 1.43 ГГц).

К классу естественных помех относится и **электростатическая помеха**, возникающая вследствие электризации различных тел, и проявляющаяся вследствие токов стекания накопленных электрических зарядов и (или) искровых разрядов между элементами конструкции. Такие помехи проявляются в диапазоне частот от нескольких Герц до 1 ГГц.

1.3.2. Искусственные источники

Искусственные источники (Man-made EMI sources) – источники, созданные человеком. К ним относятся:

- электросиловые установки (линия электропередачи, контактная сеть электротранспорта, преобразователи, трансформаторы, электродвигатели, генераторы);

- аппаратура связи (вещательная на разных диапазонах: АМ, FM, VHF или UHF; навигационная, телефонная, радиочастотная, спутниковая, сотовые телефоны, устройства мобильной связи);

- промышленное оборудование, электроприборы и электроинструменты, флуоресцентные осветительные лампы, системы зажигания автомобилей, пылесосы, моющие машины, электросварочные аппараты, средства вычислительной техники, и т.д., включая даже детские игрушки.

Действие помех этого класса на рецепторы проявляется в большинстве случаев в виде импульсных процессов, характеристики которых зависят от типа конкретного устройства.

Вследствие разнообразности источников искусственная помеха является наиболее распространенной в диапазонах частот от десятков Гц до 1 ГГц, а в ряде случаев и до более высоких частот. Природа этих помех вероятностная, поскольку имеется множество случайных факторов, определяющих амплитудные, частотные, временные, пространственные и спектральные характеристики помех.

Искусственные помехи можно разделить на создаваемые функциональными источниками или излучателями (**Intentional radiating emitters** или **intentional radiators**) и создаваемые нефункциональными источниками (**Unintentional (incidental) radiating devices** или **unintentional radiators**).

Функциональным источником помехи будем называть в случае, если для него самого создаваемое им электромагнитное излучение является полезным сигналом. К таким источникам относятся, прежде всего, передающие устройства радиосвязи.

Таблица 2

Источники электромагнитных помех		
<u>Функциональные источники</u> (Intentional Radiators)	<u>Нефункциональные источники</u> (Unintentional Radiators)	Случайные источники (Incidental Radiation devices)
Радиостанции, Walkie-Talkies , маломощные системы телеметрии, радиомикрофоны, передатчики охранных систем, системы управления открыванием и запирающим ворот	Системы кабельного телевидения, микроволновые и промышленные нагреватели, радиоприемники, компьютерные игры, магнитофоны, переключатели силовой электроники, приборы, цифровые схемы и дисплеи	Приборы бытовой электроники (фены, электробритвы, миксеры, электрические зажигалки и т.п.), стартеры ламп дневного освещения

Нефункциональными называют источники, которые создают электромагнитное излучение в качестве побочного эффекта в процессе работы. К ним можно отнести любые проводные коммуникации, создающие электромагнитные поля, коммутационные устройства, импульсные блоки питания аппаратуры и т.п. Электростатический разряд с тела человека также может рассматриваться как создаваемый нефункциональным источником ЭМП. В таблице 1 приведены примеры функциональных, нефункциональных и случайных источников помех.

Принципиальное различие между функциональными и нефункциональными источниками состоит в том, что для вторых уровень электромагнитного излучения часто можно снизить путем пересмотра конструкции источника, в то время как для функциональных ЭМП такой путь обычно исключается.

В рамках выделенных искусственных источников помех их можно дополнительно разделить на **внутрисистемные** (*Intra-system interference*) и **межсистемные** (*Intersystem interference*) источники помех (Таблица 3). Межсистемная помеха создается сторонней электронной системой. Внутрисистемная помеха создается, как это следует из названия, внутри самой системы.

Таблица 3

Примеры межсистемных и внутрисистемных помех	
Межсистемные	Внутрисистемные
Радиопередатчики, линии электропередачи, радары, сотовые телефоны, системы зажигания двигателей, молнии, электростатические разряды, электродвигатели, дроссели	Источники питания, выпрямители, генераторы сигналов, цифровые часы, кабели цепи питания, проводные сети

Излучение естественных источников практически невозможно предотвратить, но они и создают проблем значительно меньше, чем искусственные (за исключением молний). Трудно устранить воздействие (помехи) функциональных источников, однако основные источники всех помех – это нефункциональные источники. Так, например, сотовые телефоны или двусторонняя радиосвязь могут создать серьезные проблемы в работе медицинского оборудования. Поэтому очень важно обеспечить стойкость электронных систем к действию нефункциональных ЭМП.

1.4. Рецепторы (приемники) помех

В ЭМС таким же ключевым понятием, как “источник помехи”, является понятие “рецептор помехи”. В англоязычной литературе для обозначения рецептора помехи используется слово “*victim*”, что переводится как “жертва”. И на самом деле, электромагнитная помеха, прошедшая к рецептору кондуктивным путем или в виде излучения, вызывает либо деградацию рецептора, т.е. выход его из строя, либо сбой в его работе.

Рецептором помех является также всякое устройство, способное либо использовать, либо детектировать электромагнитное излучение. Большое число приборов являются и рецептором и источником помех одновременно, поскольку они содержат и передатчики и приемники. В качестве примера можно привести сотовый телефон.

Подобно тому, как и при классификации источников, мы можем выделить также два типа рецепторов – естественные и искусственные. К естественным рецепторам (**Natural EMI receptors**) относятся люди, животные, растения.

Искусственные рецепторы (**Man-made EMI receptors**) можно разделить на 4 категории: приемное электронное оборудование, усилители, промышленные и бытовые электронные приборы и RADHAZ.

Приемное электронное оборудование - это радиоприемники, приемники оборудования связи, приемники радаров и т.п.

Усилители – это видео и аудио усилители

Промышленные и бытовые электронные приборы – это компьютеры, системы управления и контроля промышленных процессов, электронное измерительное оборудование, биомедицинское оборудование системы локальной связи и т.п. К бытовым приборам относятся телевизоры, аудиотехника, электромузыкальные инструменты, системы контроля температуры и т.п.

RADHAZ – это еще один тип рецепторов. В последние годы принято говорить о терроризме и в этой связи нельзя не сказать о такой категории рецепторов, как электровзрыватели и взрывоопасные смеси, которые приводятся в действие радиосигналами. RADHAZ – это аббревиатура **RA**Diation **HA**Zards. Термин введен из программы Министерства обороны США по противодействию использованию радиовзрывателей в террористических целях.

1.5. Пороговая энергия и диапазоны значений помех

Как уже отмечалось, воздействие помехи можно рассматривать как передачу рецептору энергии, которая приводит к нарушению (полному или частичному) работы электронного оборудования. В этой связи вводят понятие **пороговая энергия** – минимальной энергии, при передаче которой прибору в нем происходят необратимые изменения или происходит разрушение прибора.

Таблица 4

Ориентировочные значения пороговой энергии	
Компоненты	Пороговая энергия (мДж)
СВЧ диоды	$10^{-4} - 10^{-3}$
КМОП ИС	$10^{-3} - 10^{-2}$
Транзисторы малой мощности	$10^{-3} - 10^{-1}$
Переключающие диоды	$10^{-1} - 10^{-2}$
Реле	1 - 100
Углеродные резисторы 0.25Вт)	10
(Длительность импульса равна или меньше 1мкс. При величинах в 10 или 100 раз меньших возможны временные сбои и восстановление работоспособности) [from Degauque and Hamelin, 1993]	

Особенно высокий процент случаев неправильной работы электронных систем по причине недостаточной ЭМС велик в системах на микроэлектронной и микропроцессорной элементной базе. Он показывает, что проблема ЭМС носит физический характер. Так, для нарушения работы электромеханического реле требуется энергия 10^{-3} джоуля, а для нарушения работы интегральных микросхем требуется 10^{-7} джоуля. Разница составляет 4 порядка или 10000 раз. Для разрушения электромеханического реле требуется энергия в 1 Дж, а для разрушения интегральных микросхем требуется энергия в 10^{-2} Дж.