

ОЦЕНКА ЭМИССИИ ИЗЛУЧАЕМЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ В РЕВЕРБЕРАЦИОННОЙ КАМЕРЕ

© 2016 г. И.Л. МОРГУЛИС

МАТИ – Российский государственный технологический
университет им. К. Э. Циолковского, г. Москва

Постановка проблемы

В настоящее время к бортовому радиоэлектронному оборудованию (БРЭО) предъявляются жесткие требования к допустимым уровням эмиссии излучаемых электромагнитных помех (ЭМП). Причиной этому является повышение зависимости летательных аппаратов (ЛА) от электрических и электронных систем, выполняющих функции, необходимые для безопасного продолжения полета и посадки, увеличение оснащенности ЛА средствами радиоэлектроники, как следствие повышение плотности компоновки аппаратуры, резкое повышение восприимчивости электрических и электронных систем к электромагнитным полям, вызванное ростом тактовых частот процессоров и шин, повышением плотности монтажа компонентов, переходом на субмикронные технологии их производства. Нарастает потребность в эффективных и недорогих методах оценки уровней эмиссии излучаемых ЭМП. Особого внимания заслуживают излучаемые ЭМП на частотах выше 400 МГц. Длина волны таких ЭМП соизмерима с размерами конструктивных элементов ЛА, они хорошо взаимодействуют с линиями связи БРЭО и обладают большой проникающей способностью.

Методы оценки эмиссии излучаемых ЭМП

Для оценки уровней эмиссии излучаемых элементами БРЭО электромагнитных полей чаще всего используется метод измерения напряженности электрической составляющей или плотности потока мощности электромагнитного поля ЭМП антеннами с известными характеристиками при отсутствии отражений в условиях открытой площадки или ее эквивалента - безэховой камеры. При этом измерение осуществляется последовательно с каждого ракурса.

Такой метод имеет высокую точность, но не учитывает специфики распространения широкополосных электромагнитных полей в замкнутом объеме в местах установки изделия на борту ЛА. Распространяясь в полостях фюзеляжа различными путями в условиях многократных переотражений, интерференции, дисперсии, нелинейных эффектов в материалах, некоторые характеристики результирующего электромагнитного поля, в том числе напряженность, могут отличаться от первоначальных.

Для повышения достоверности результирующей оценки электромагнитной совместимости (ЭМС) требуется метод, который позволил бы оценить максимальную мощность излучаемого изделием электромагнитного поля по всем направлениям с учетом особенностей распространения поля в замкнутом объеме.

Другой проблемой измерения эмиссии ЭМП непосредственным методом является наличие внешних ЭМП и неконтролируемой интерференции для снижения которых используются дорогостоящие экранированные безэховые камеры.

Цель работы

Разработка методики оценки эмиссии излучаемых БРЭО ЭМП в условиях реверберации. Исследование достоверности оценки максимального уровня излучаемых

БРЭО ЭМП в условиях замкнутого объема по разработанной методике.

Разработка алгоритма работы комплекса на основе реверберационной камеры обеспечивающего максимальную достоверность измерений за счет проведения измерений при настройке различных комбинаций собственных колебаний камеры.

Описание реверберационной камеры

Реверберационная камера представляет собой объемный резонатор высокой добротности, содержащий источники возмущения поля переменной конфигурации, благодаря которым в камере в широком диапазоне частот может поддерживаться большое число собственных колебаний (мод). При этом на каждой частоте путем настройки камеры возможна реализация различной структуры поля.

Роль объемного резонатора обычно выполняет экранированная камера определенных размеров и формы. Если предположить что ее стенки идеально проводящие, то при возбуждении поля, между стенками будут распространяться плоские неоднородные волны, называемые также собственными колебаниями (модами), ТЕ и ТМ типа.

Известно, что спектр собственных частот прямоугольного объемного резонатора определяется формулой:

$$\omega_{nmp}^2 = \frac{c^2 \pi^2}{\varepsilon \mu} \left(\frac{n^2}{a^2} + \frac{m^2}{b^2} + \frac{p^2}{l^2} \right) \quad (1)$$

где a, b, l – линейные размеры резонатора;

n, m, p – целые числа соответствующие числу полуволн укладывающихся в размер a, b и l соответственно;

ε, μ – диэлектрическая и магнитная проницаемость среды заполняющей резонатор;
 c – скорость света в вакууме;

Для камеры определенных геометрических размеров существует ряд частот, на которых за счет наличия большого числа мод поле в некотором пространственном объеме камеры становится достаточно однородным. Поддержание многомодового режима камеры в широком диапазоне частот возможно путем введения в объем камеры источников возмущения поля переменной конфигурации – подвижных отражателей.

В реверберационной камере используются подвижные управляемые отражатели, конфигурация и степень свободы которых рассчитаны таким образом, чтобы обеспечить необходимое число мод в заданном диапазоне частот. То есть для каждой частоты рабочего диапазона камеры должно существовать хотя бы одно положение отражателей, для которого в рабочем объеме камеры неоднородность поля во всех направлениях не превышает определенного значения (обычно ± 3 дБ). При этом структура поля в рабочем объеме также зависит от положения и характеристик излучающей антенны, положения, размеров формы и состава самого испытываемого изделия и, можно сказать, является случайной.

В процессе калибровки при излучении в камере узкополосного сигнала с известными параметрами, на каждой частоте определяется параметры настройки, обеспечивающие требуемую однородность поля в рабочем объеме и калибровочные коэффициенты необходимые для пересчета измеренных значений мощности на выходе приемной антенны в значения мощности излучаемой изделием.

Поскольку в реверберационной камере эффективно используется явление объемного резонанса, для измерения мощности излучения не требуется применение дорогостоящих широкополосных радиопоглощающих материалов. Это значительно снижает стоимость испытательной установки.

Алгоритм работы комплекса на основе реверберационной камеры

При измерении эмиссии ЭМП в реверберационной камере используется следующий принцип: исследуемое изделие, излучающее ЭМП в определенном диапазоне частот создает в рабочем объеме камеры электромагнитное поле, возбуждающее на

каждой частоте определенную комбинацию собственных колебаний, зависящую от настроек подвижных отражателей.

Связь излучаемой изделием мощности с измеренной мощностью на выходе измерительной антенны определяется соотношением:

$$P_{rad} = \frac{P_{res} \cdot \eta_{tr}}{CCF} \quad (2)$$

где P_{res} – мощность, измеренная на выходе приемной антенны, усредненная для различных комбинаций собственных колебаний камеры;

η_{tr} – КПД передающей антенны, использованной при калибровке камеры;

CCF – коэффициент калибровки камеры, определяемый как отношение измеренной мощности на выходе приемной антенны к мощности подаваемой на вход передающей антенны, используемой при калибровке.

Определение достоверности испытаний в условиях реверберации

Для определения достоверности метода требуется определить напряженность и диаграмму направленности излучения тестового изделия на исследуемых частотах в отсутствие мешающих отражений, например в безэховой камере, затем на основании этих данных вычислить мощность ЭМП излучаемых изделием. Сравнительный анализ полученных результатов с результатами измерения в реверберационной камере позволит определить достоверность метода.

Достоинства и недостатки метода

Достоинством метода оценки эмиссии ЭМП в условиях реверберации является низкая, по сравнению с методом открытой площадки, стоимость испытательного комплекса за счет отсутствия необходимости использования радиопоглощающих материалов, меньшая трудоемкость оценки суммарной мощности ЭМП, а также приближенность структуры поля при проведении измерений к реальным условиям на борту ЛА.

К недостаткам данного метода можно отнести меньшую, по сравнению с методом открытой площадки, точность измерения за счет неоднородности и случайной структуры поля в камере, а также невозможность определения поляризации излучаемого поля. Влияние неоднородности поля на точность измерений может быть снижено увеличением количества воспроизводимых реализаций структуры поля при проведении измерений.

Выводы

Метод оценки эмиссии ЭМП излучаемых БРЭО в условиях реверберации при использовании эффективных алгоритмов калибровки и измерения может обеспечить достаточную точность измерения мощности поля, сравнимую с результатами испытаний в условиях открытой площадки.

В некоторых случаях метод измерения реверберационной камере может быть предпочтительнее метода открытой площадки, например, при установке БРЭО в замкнутом объеме сложной конфигурации, для которого характерно значительное искажение структуры излучаемого поля.