

Особенности измерения эмиссии с применением реверберационных камер при испытаниях на электромагнитную совместимость радиоэлектронных средств

М.В. Нефёдов

АО «ГЦМО ЭМС», г. Москва

Аннотация: в данной статье представлен обзор методов измерений эмиссии радиоэлектронных средств с помощью реверберационных камер, в соответствии с действующими нормативными документами в области электромагнитной совместимости. Приведено сравнение параметров измерений и методик расчёта эмиссии при использовании данных методов. Показаны результаты измерений этими методами эмиссии изделия в реверберационной и полубезэховой камерах.

Ключевые слова: реверберационная камера, эмиссия радиоэлектронных средств, испытательное оборудование, электромагнитная совместимость, радиоэлектронные средства

1. Введение

Продолжающийся на протяжении последних десятилетий бурный рост номенклатуры радиоэлектронных средств (РЭС) различного назначения обусловил необходимость совершенствования методов и средств испытаний радиоэлектронного оборудования на электромагнитную совместимость (ЭМС). В частности, большую актуальность носят испытания различных РЭС на определение величины нежелательных радиочастотных помех, генерируемых ими – т.н. «эмиссии» РЭС.

В действующих нормативных документах, содержащих методики измерения эмиссии, в качестве испытательного оборудования используется экранированные безэховые (БЭК) или полубезэховые камеры (ПБЭК) с нормированной рабочей зоной, набор антенн, измерительный приёмник и т.д. [1].

Однако, в соответствии с некоторыми нормативными документами, в качестве альтернативного метода для измерения эмиссии РЭС возможно применение реверберационной камеры (РЭК).

Реверберационная камера - это экранированное помещение или объём, в котором различными способами достигаются высокие значения напряжённости электрического поля.

Для снижения неоднородности формируемого электрического поля, внутри камеры устанавливается подвижный отражатель, или миксер (тюнер).

Принцип работы реверберационной камеры – полостной резонатор с высокой добротностью (рисунок 1).

Для измерения эмиссии РЭС при проведении испытаний на ЭМС в Российской Федерации РЭК до настоящего времени не применялись, хотя уже много лет используются для этих целей за рубежом, в том числе и при испытаниях телекоммуникационного оборудования [2-3].

Между тем, методика измерений эмиссии РЭС с помощью РЭК описана в 21 разделе действующего в России документа [4]. Кроме того, РЭК в качестве альтернативного метода для определения эмиссии РЭС указана в [1]. При этом сама методика измерений, на который ссылается этот документ, описана лишь в документе [5], который не переведен на русский язык и в Российской Федерации не действует.

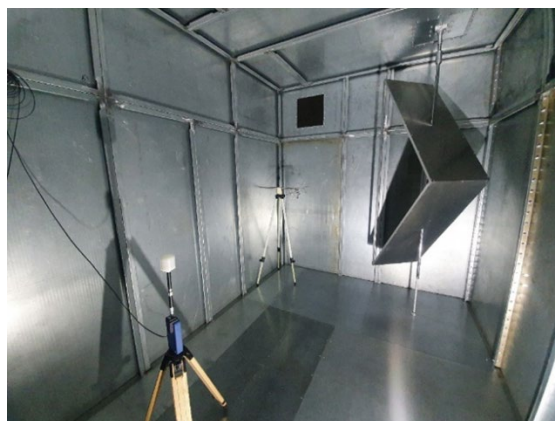


Рисунок 1. Рабочая зона камеры РЕВЕР 200

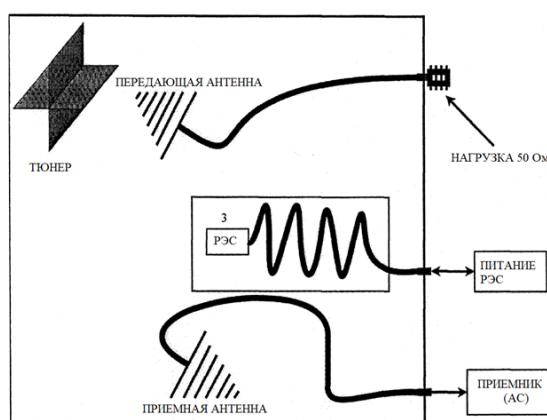


Рисунок 2. Схема установки для измерения эмиссии в РЭК, согласно КТ-160/G (21 раздел)

2. Особенности измерения эмиссии РЭС с помощью реверберационных камер

Методики и особенности измерения эмиссии РЭС с помощью РЭК довольно подробно исследованы и описаны в многочисленных зарубежных исследованиях, например, в [5-6].

Общие требования к РЭК при определении эмиссии РЭС и особенности измерений можно выделить из действующих нормативных документов. Наиболее характерными особенностями являются:

- в качестве измерительных РЭК рассматриваются только РЭК с механическим типом перемешивания мод;
- мощность, принятая антенной во всех фиксированных позициях тюнера прямо пропорциональна мощности, излучаемой образцом РЭС;
- на эту пропорцию влияют: добротность РЭК, эффективность передающей антенны и нагрузочный коэффициент РЭК;
- результаты измерений не зависят от позиции, формы излучения и ориентации приёмной антенны и образца РЭС;
- измерение эмиссии в РЭК должно удовлетворять по времени сканирования приёмника. Из-за использования тюнера время измерений увеличивается при использовании пикового детектора;
- приёмная антенна не должна быть направлена на образец РЭС или тюнер, а, в лучшем случае, должна быть направлена в один из углов РЭК;
- существует два подхода к измерению эмиссии в РЭК: средняя принятая

мощность и максимальная принятая мощность;

- режим измерений средней мощности характеризуется меньшей неопределенностью измерений;

- режим измерения максимальной мощности дает лучшие результаты в случаях с РЭС со сложным паттерном излучения.

2. Сравнение методик расчёта эмиссии РЭС согласно КТ-160 и IEC 61000-4-21

Среди действующих нормативных документов в области ЭМС и телекоммуникаций методики измерения эмиссии с помощью РЭК утверждены в [1,4,5]. Стоит особо отметить, что методика измерений суммарной излучаемой мощности передающего устройства (т.е., по сути, той же эмиссии) представлена в информационном разделе нормативных документов, регламентирующих методы испытаний мобильных систем [7].

Сравнение действующих методик измерений в указанных документах свидетельствует о том, что при использовании РЭК возможен выбор как параметров измерений, так и методик расчёта.

При этом каждая из действующих методик имеет свои преимущества и недостатки при практическом измерении эмиссии РЭС.

Таблица 1. Сравнение параметров измерений эмиссии РЭС, согласно КТ-160/G и IEC 61000

– 4-21

Характеристика	КТ-160/G	IEC 61000 – 4 – 21
Диапазон частот, ГГц	От 0,1 до 6	В требуемом диапазоне частот, но не ниже нижней рабочей частоты РЭК
Режим работы тюнера	Непрерывный	Непрерывный, Шаговый
Вид измеряемого помехового сигнала	Синусоидальный	Синусоидальный, Импульсный
Детектор	Пиковый	Пиковый (в непрерывном или шаговом режиме), Средний (в шаговом режиме), RMS (измерения импульсных помех)
Кол-во пространственных точек на одной частоте, не менее	200	Не менее количества точек, использованных при валидации РЭК
Используемая для расчёта эмиссии величина приёмной мощности	Максимальная	Максимальная, Средняя
Эквивалентная направленность РЭС	1,64	1,7 или расчётная
Шум	Ниже предельного на 6 дБ	Ниже предельного на 20 дБ

Так, согласно таблице 1, методика измерений, представленная в КТ-160/G, ограничивает диапазон измерений поддиапазоном от 100 до 6000 МГц. При этом диапазон измерений по IEC 61000 – 4-21 ограничен лишь характеристиками самой РЭК. В то же время, количество пространственных точек, т.е. точек поворота тюнера при измерениях, должно быть не менее 200, что подразумевает использование только непрерывного режима поворота тюнера, что увеличивает общее время измерений. Согласно таблице 2, при расчёте эмиссии РЭС по IEC 61000 – 4-21, должно учитываться расстояние между РЭС и приёмной антенной, расположенной внутри РЭК.

С другой стороны, при измерениях согласно IEC 61000 – 4-21, кроме процедуры

калибровки с выключенным РЭС внутри РЭК, предварительно должна быть проведена дополнительная калибровка пустой РЭК, что может увеличить суммарное время измерений.

Кроме того, в ИЕС 61000 – 4-21 более строгие требования к собственным шумам внутри РЭК при проведении измерений.

Таблица 2. Сравнение методик расчёта эмиссии РЭС согласно КТ-160/G и ИЕС 61000-4-21

Величина	КТ-160G	ИЕС 61000 – 4 – 21 (расчёт по пиковым значениям)	ИЕС 61000 – 4 – 21 (расчёт по средним значениям)
Калибровочный коэффициент	$CCF = \langle \frac{P_{изм_сред}}{P_{ген}} \rangle$		$CVF = \langle \frac{P_{изм_ИБО_сред}}{P_{ген}} \rangle$
Нагрузочный коэффициент		$CLF = CVF \times \langle \frac{P_{ген}}{P_{изм_сред_пустая}} \rangle$	
Потери ввода, дБ	$IL = (P_{ген} - L_{потерь}) + (10 \times \log(\eta)) - P_{калиб\ РЭС}$	$IL = \langle \frac{P_{изм_макс_пустая}}{P_{ген}} \rangle$	$IL = \langle \frac{P_{изм_макс_пустая}}{P_{ген}} \rangle$
Мощность помех, Вт	$P_{помех} = \frac{10^{(P_{изм} + IL)/10}}{1000}$	$P_{помех} = \frac{P_{изм_макс} \times \eta}{CLF \times IL}$	$P_{помех} = \frac{P_{изм_сред} \times \eta}{CVF}$
Напряженность электрического поля, В/м	$E = \sqrt{\frac{D \times P_{помех} \times 377}{4 \times \pi}}$	$E = \sqrt{\frac{D \times P_{помех} \times 377}{4 \times \pi \times r^2}}$	$E = \sqrt{\frac{D \times P_{помех} \times 377}{4 \times \pi \times r^2}}$
Где η – КПД передающей антенны, r – расчётное расстояние между РЭС и приёмной антенной, м, D – эквивалентная направленность РЭС.			

При этом большинство предварительных измерений, необходимых для измерения эмиссии могут проведены при первичной аттестации РЭК в качестве испытательного оборудования.

3. Практические измерения эмиссии РЭС в РЭК

Для сравнения методик измерения эмиссии с помощью РЭК между собой и с помощью других методов были проведены измерения эмиссии образца РЭС в диапазоне частот от 400 до 1000 МГц с шагом 50 МГц. Измерения проводились в РЭК РЕВЕР400 в соответствии с [4-5] (рисунок 2) и в ПБЭК. Результаты измерений представлены на рисунке 3.

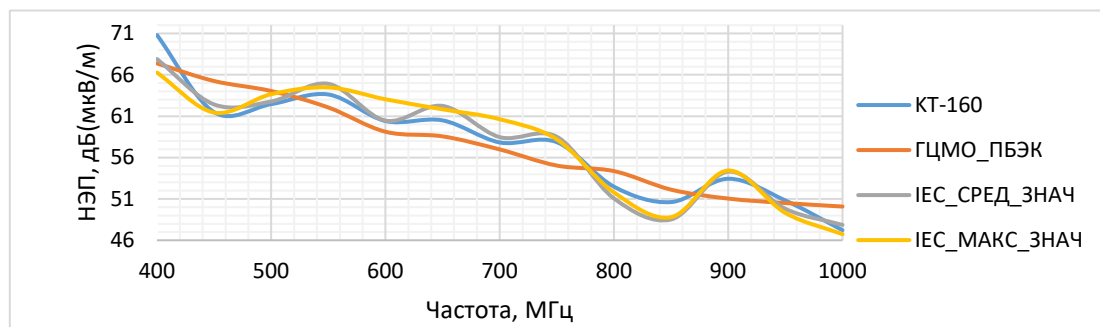


Рисунок 3. Результаты измерений эмиссии образца РЭС в ПБЭК ГЦМО по ГОСТ CISPR 16-2-3-2016 и в РЕВЕР400 по КТ-160/G и ИЕС 61000-4-21

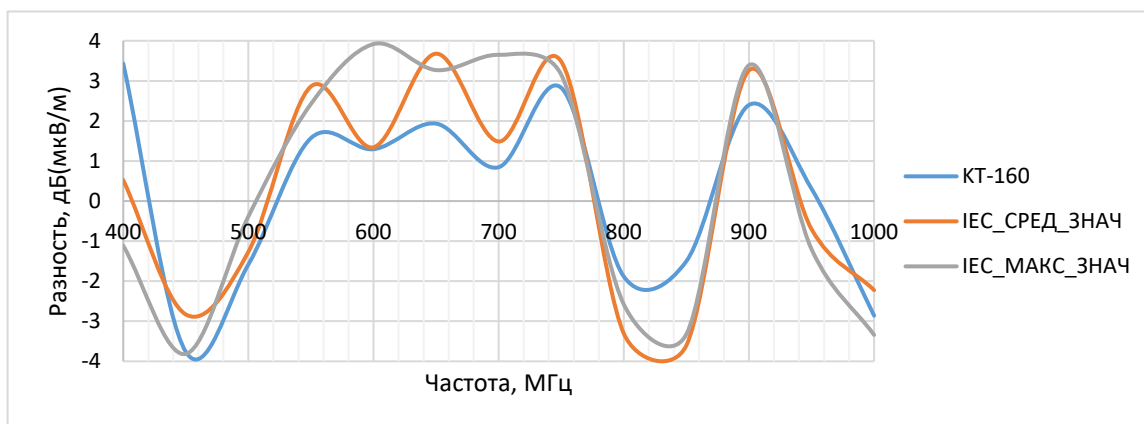


Рисунок 4. Отклонение результатов измерений эмиссии образца РЭС в ПБЭК ГЦМО по ГОСТ CISPR 16-2-3-2016 от измерений в РЕВЕР400 по КТ-160/G и IEC 61000-4-21

Как видно из рисунка 4, результаты измерений эмиссии образца РЭС с помощью РЭК показали хорошую сходимость с результатами измерений «классическим» методом с применением ПБЭК.

Отклонение результатов измерений эмиссии с помощью методики, приведенной в КТ-160/G в большинстве частотных точек составило менее 3 дБ. Наибольшее же отклонение результатов измерений в РЭК всеми методами от результатов, полученных в ПБЭК, составило не более 4 дБ.

При этом в качестве источников погрешности измерений эмиссии в РЭК можно рассматривать следующие факторы:

- неоднородность поля в рабочей зоне конкретной РЭК, особенно в диапазоне частот ниже 1 ГГц;
- погрешность измерений приёмника или анализатора спектра;
- погрешность установки амплитуды и частоты калибровочного сигнала генератором;
- отличие реального коэффициента полезного действия излучающей антенны от принятого фиксированного значения, указанного в нормативных документах;
- влияние изменения величины коэффициента стоячей волны, вызванной вращением тюнера, при калибровке и измерениях в РЭК и другие факторы.

Кроме того, необходимо учитывать, что, поскольку измеряемое поле в РЭК является изотропным, результаты измерений нельзя разделить на поляризационные составляющие.

3. Заключение

Результаты практических измерений эмиссии изделия свидетельствует о том, что РЭК могут применяться для определения эмиссии РЭС в широком диапазоне частот. При этом результаты измерений с помощью РЭК хорошо сходятся с результатами измерений с помощью ПБЭК.

Среди возможных направлений уменьшения погрешности измерений эмиссии с помощью РЭК можно рассмотреть:

- более тщательную статистическую обработку данных измерений;
- учёт различных физических эффектов, вызванных взаимодействием образца РЭС и антеннами при измерении эмиссии;
- анализ влияния режимов работы измерительного и вспомогательного оборудования на результаты измерений эмиссии.

Кроме того, в настоящее время в технической литературе описаны дополнительные методы измерений эмиссии в РЭК [8], например:

- измерение во временной области, без предварительной калибровки;
- измерение с помощью векторного анализатора цепей и одной антенны;
- метод эталонного коаксиально-волнового перехода и другие.

Учитывая малые габариты РЭК и низкую стоимость, по сравнению с БЭК и ПБЭК, они могут применяться на производстве РЭС различного назначения при проведении испытаний на ЭМС.

Таким образом, применение РЭК может стать полноправной альтернативой использованию измерительных комплексов на основе БЭК и ПБЭК при измерении эмиссии образцов РЭС.

Список литературы

1. ГОСТ CISPR 16-2-3 – 2016 «Требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерения. Часть 2-3. Методы измерения радиопомех и помехоустойчивости. Измерения излучаемых помех». – М.: Стандартиформ, 2020. – 79 с.
2. NASA/TM-2011-217146. Radiated Emissions from a Remote-Controlled Airplane-Measured in a Reverberation Chamber. 2011.
3. Nabil Arsalane. Channel Emulation for active characterization of MIMO communication systems. Electronics. Université de Limoges, 2014. English. (NNT : 2014LIMO0069).
4. KT-160G/14G. Условия эксплуатации и окружающей среды для бортового авиационного оборудования (Внешние воздействующие факторы). М.: НИИАО, 2015.
5. IEC 61000-4-21. Electromagnetic compatibility (EMC), Part 4-21: Testing and measurement techniques – Reverberation chamber test methods. 2011.
6. ARNAUT, LR., Measurement uncertainty in reverberation chambers - I. Sample statistics, National Physical Laboratory (UK), Report TQE 2, Ed. 2.0, Dec. 2008.
7. ETSI TR 125 914 V16.0.0 (2020-08). Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Measurements of radio performances for UMTS terminals in speech mode (3GPP TR 25.914 version 16.0.0 Release 16).
8. Qian Xu, Yi Huang, Sheng Yuan, Lei Xing. Two Alternative Methods to Measure the Radiated Emission in a Reverberation Chamber//International Journal of Antennas and Propagation 2016. doi:10.1155/2016/5291072.