

ПОДСЕКЦИЯ 2.6

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

*Председатель – Заболоцкий А.М., проф. каф. ТУ, д.т.н.;
зам. председателя – Куксенко С.П., доцент каф. ТУ, д.т.н.*

УДК 53.09

ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В МАЛОГАБАРИТНОЙ РЕВЕРБЕРАЦИОННОЙ КАМЕРЕ

*Т.И. Третьяков, П.А. Попов, К.Н. Абрамова, студенты
Научный руководитель М.Е. Комнатнов, доцент каф. ТУ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, henos19039@gmail.com*

Определены размеры малогабаритной реверберационной камеры и рабочей зоны внутри нее. Вычислены количество возбуждаемых типов волн и нижняя граничная частота малогабаритной реверберационной камеры. Определено наиболее эффективное расположение антенны внутри корпуса камеры.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, реверберационная камера, электромагнитное поле.

В соответствии со стандартами [1–3] испытания радиоэлектронных средств (РЭС) на электромагнитную совместимость проводят с применением реверберационной камеры (РК). Одним из преимуществ РК является возбуждение в рабочей зоне высокой амплитуды напряженности электрического поля при минимальной подводимой мощности к излучающей антенне, что достигается за счёт многократных переотражений электромагнитных волн (ЭМВ) от стенок РК. В рабочей зоне РК образуются стоячие волны, не регулярные по амплитуде, которые определяют однородность электромагнитного поля (ЭМП). Для достижения однородного ЭМП в рабочей зоне РК применяют различные методы перемешивания ЭМВ, среди которых выделяют два основных метода: механический и электрический. Критерием достижения в рабочей зоне статистически однородного ЭМП является заданная погрешность, при которой для каждого этапа перемешивания одинаковы значения амплитуд напряженности электрического поля [4].

Для оценки распределения ЭМП в рабочей зоне РК часто используют численные методы, позволяющие получить распределение ЭМП в определенный момент времени и на заданной частоте [5]. Как правило, на предварительном этапе разработки РК выполняют предварительную оценку распределения ЭМП на рабочих частотах.

Цель данной работы – выполнить и представить результаты оценки распределения ЭМП в малогабаритной РК.

Одной из главных характеристик РК является рабочий диапазон частот, который определяется по минимальному числу типов возбуждаемых волн. Число возбуждаемых волн, которое определяется по приближенной формуле (1), в основном пропорционально трети входной мощности и размерам РК.

$$N(f) = \frac{8\pi}{3} V \frac{f^3}{c^3} - (L + H + l) \frac{f}{c} + \frac{1}{2}, \quad (1)$$

где V – объем корпуса РК; L, H, l – длина, высота и ширина корпуса камеры соответственно.

$$f_{mnp} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{m^2}{L}\right) + \left(\frac{n^2}{H}\right) + \left(\frac{p^2}{l}\right)}, \quad (2)$$

где f_{mnp} – резонансная частота корпуса РК; $m, n, p = 0, 1, \dots, \infty$; c – скорость света в вакууме [4].

Согласно критериям [6], нижняя граничная частота РК определяется по (2) как частота, при которой возможно распространение более 60 типов волн, а согласно MIL-STD-461F [7] – более 100. На рис. 1 представлена частотная зависимость числа возбуждаемых волн при размерах РК: $L = 1,65$ м, $H = 1,05$ м и $l = 0,9$ м, при этом размеры рабочей зоны составляют $0,55 \times 0,35 \times 0,3$ м³.

Из рис. 1 видно, что нижняя граничная частота РК равна 500 МГц [6] и 600 МГц [7]. Оценка равномерности распределения поля внутри РК выполнена, используя специальное ПО AMRC3, разработанное в научно-исследовательской лаборатории «Безопасность и электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств». Результатами моделирования в ПО AMRC3 являлись полученные значения амплитуд напряженности электрического поля в диапазоне частот от 500 МГц до 3 ГГц при разном положении излучающей антенны. Также выполнен расчет среднеквадратического отклонения напряженности электрического поля. На основании полученных результатов сделан вывод, что наиболее эффективное расположение антенны внутри РК находится на расстоянии λ и 2λ от передней стенки корпуса РК.

В результате проделанной работы установлены геометрические размеры корпуса ($L = 1,65$ м, $H = 1,05$ м, $l = 0,9$ м), размер рабочей

зоны ($0,55 \times 0,35 \times 0,3$ м³), нижняя граничная частота (500 МГц), а также определено наиболее эффективное расположение антенны внутри РК при λ и 2λ от передней стенки корпуса РК.

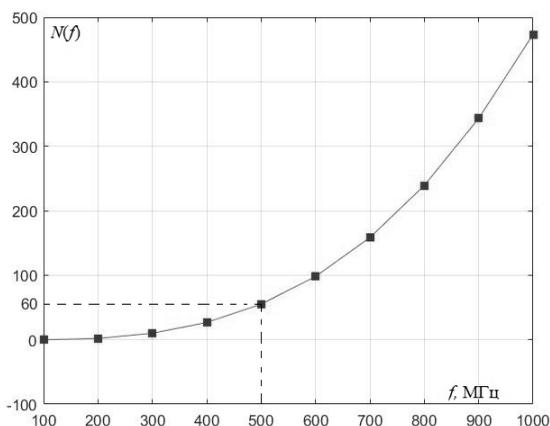


Рис. 1. Частотная зависимость числа возбуждаемых волн для корпуса РК размером $1,65 \times 1,05 \times 0,9$ м³

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-79-10162) в ТУСУРе.

ЛИТЕРАТУРА

1. DO-160. Environmental conditions and test procedures for airborne equipment. – 2010.
2. ГОСТ РВ 6601-001–2008. Оборудование бортовое авиационное. Общие требования к восприимчивости при воздействии электромагнитных помех и методики измерения. – М.: Стандартинформ, 2008. – 49 с.
3. SAE J 1113/27. Immunity to radiated electromagnetic fields – mode stir reverberation method. – 2005.
4. Демаков А.В. Обзор исследований в области разработки и применения реверберационных камер для испытаний на электромагнитную совместимость / А.В. Демаков, М.Е. Комнатнов, Т.Р. Газизов // Системы управления, связи и безопасности. – 2018. – № 2. – С. 151–190. – Режим доступа: <http://sccs.intelgr.com/archive/2018-02/09-Deмаkov.pdf> (дата обращения: 05.03.2022).
5. Демаков А.В. Аналитическая модель реверберационной камеры / А.В. Демаков, М.Е. Комнатнов // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. – 2018. – № 1-2. – С. 243–246.
6. Canavero F.G. Critical study of calibration techniques for a reverberation chamber / F.G. Canavero, L Musso // Proceedings of EMC. (Цюрих) – 2001. – P. 659–662.
7. MIL-STD-461F, Department of defense interface standard: requirements for the control of electromagnetic interference characteristics of subsystems and equipment. – 2007.