

УДК 621.372.8

**ОБЗОР МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ
КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПОМОЩИ ТЕМ-КАМЕР**

Демаков А. В.

*Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники*

Обеспечение электромагнитной совместимости бортовой радиоэлектронной аппаратуры является актуальной проблемой, поскольку такая аппаратура должна работать согласно заданным тактико-техническим требованиям

в сложной электромагнитной обстановке. Для ее защиты от электромагнитных воздействий прибегают к использованию электромагнитных экранов. Традиционно для их изготовления применяются металлические листы и фольга, что существенно влияет как на массу космического аппарата, так и на затраты при выведении полезной нагрузки на орбиту [1].

Последние достижения в области разработки наноматериалов позволили создать образцы композитов, обеспечивающих экранирование в широком диапазоне частот. Использование нового класса материалов для решения проблемы электромагнитной совместимости является перспективным направлением и представляет собой предмет современных исследований [2]. Существующие методы измерения эффективности экранирования (ЭЭ) материалов основаны на измерении количественной меры затухания электромагнитной волны, распространяющейся через планарный экран из исследуемого материала, вне зависимости от вида источника электромагнитного поля.

ЭЭ планарных образцов композитов определялась с помощью модифицированной камеры поперечной электромагнитной волны (ТЕМ-камеры). Измерения в ней (в отличие от антенных измерений) возможны в широком диапазоне частот вне экранированного помещения. Ниже приведено описание основных модификаций ТЕМ-камеры.

СТЕМ-камера. Конструкция данного устройства представляет собой линию передачи, образованную двумя изолированными друг от друга соосными коническими проводниками [3]. Образец исследуемого материала устанавливается в зазоре между секциями с помощью фланцевого соединения (рис. 1). Также разрабатываются конструкции с неразрывным центральным проводником, для измерения ЭЭ в которых образец материала должен быть выполнен в форме диска. Каждая секция обеспечивает постоянство волнового сопротивления и отсутствие отражений электромагнитной волны. При подаче воздействия на вход СТЕМ-камеры в воздушном зазоре между основным и опорным проводниками распространяется поперечная электромагнитная волна, отражающаяся при распространении через образец материала. Количественная мера ЭЭ в данном случае определяется через S -параметры линии передачи:

$$\text{ЭЭ(дБ)} = 20 \lg \left| \frac{S_{21}''}{S_{21}'} \right|,$$

где S_{21}'' и S_{21}' – коэффициент передачи без исследуемого образца и с ним.

Потери при распространении поперечной волны также обусловлены омическим контактом между образцом и корпусом камеры, для минимизации которого применяют покрытие кромок образца материала электропроводящими чернилами.

ДТЕМ-камера. Данное устройство представляет собой результат гибридизации двух ТЕМ-камер, имеющих общую с апертурой стенку корпуса (рис. 2).

Литература

1. Комнатнов М. Е., Газизов Т. Р., Дементьев А. С. Моделирование эффективности экранирования металлической пластиной для бортовой аппаратуры космического аппарата // Доклады ТУСУРа. 2011. №2 (24), ч. 1. С. 133 – 136.
2. *Effective Permittivity of Shielding Pocomposite Materials for Microwave Frequencies* / V. Preault [et al.] // IEEE Trans. on Electromagnetic Pompatibility. 2013. Vol. 55, № 6. P. 1178 – 1186.
3. *Setup for EMI Shielding Effectiveness Tests of Electrically Pconductive Polymer Pocomposites at Frequencies up to 3.0 GHz* / R. Valente [et al.] // IEEE Access. 2017. Vol. 5. P. 16665 – 16675.
4. Donohoe J. P., Jun Xu, Pittman C. U., Jr. Variability of dual TEM cell shielding effectiveness measurements for vapor grown carbon nanofiber/vinyl ester composites // Inter. Symp. on Electromagnetic Pompatibility. 2005. Vol. 1. P. 190 – 194.

УДК 621.389

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ Н-МОСТА ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЭКРАНИРОВАННОЙ КАМЕРЫ

Собко А. А.

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

Для управления традиционными мостовыми схемами типа Н-моста необходимо наличие не менее двух сигналов широтно-импульсной модуляции (ШИМ), что усложняет управление большим количеством нагрузок. Также микроконтроллеры имеют ограниченное количество выводов с аппаратной реализацией ШИМ-сигнала. Для терморегулятора [1] климатической экранированной камеры разработан Н-мост [2], управляемый одним ШИМ-сигналом. Н-мост необходим для регулирования температуры внешней поверхности ТЕМ-камеры посредством элементов Пельтье (ЭП). Регулирование температуры (нагрев/охлаждение) поверхности ТЕМ-камеры необходимо производить с высокой точностью, что задает определенные требования на параметры используемых Н-мостов. Важнейшим параметром становится правильность формы выходного сигнала Н-моста.

Цель работы – выполнить измерения параметров разработанного Н-моста в составе терморегулятора климатической экранированной камеры.

Основным отличием от традиционных схем является наличие в схеме разработанного Н-моста (рис. 1) дополнительных активного (АЕ5) и управляющего (РЕ3) элементов, которые позволяют управлять Н-мостом, используя один ШИМ-сигнал, что вдвое снижает количество используемых выводов ШИМ-сигнала микроконтроллера. Элементы РЕ1 и РЕ2 управляются простым

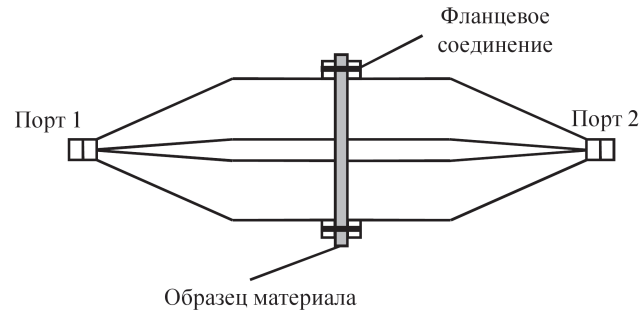


Рис. 1. Конструкция СТЕМ-камеры

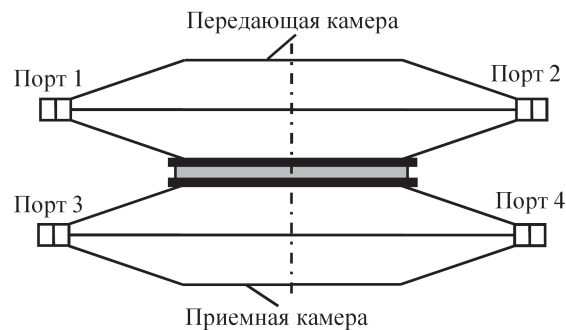


Рис. 2. Конструкция DТЕМ-камеры

ЭЭ также определяется через потери при распространении волны через образец, расположенный в апертуре. Связь между камерами описывается с помощью теории малых апертур, согласно которой распространение поля в приемной камере можно описать с помощью дипольного приближения [4]. На основе измеренных коэффициентов передачи без испытуемого образца (S_{41}^u, S_{31}^u) и с ним (S_{41}^l, S_{31}^l) ЭЭ по электрической и магнитной составляющим поля определяется как

С помощью представленных видов измерительных устройств возможно проведение быстрых и качественных измерений ЭЭ композитов, однако требуются дальнейшие исследования, направленные на расширение их рабочего диапазона.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI57417X0172.