

РАСЧЕТ ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕМ-КАМЕРЫ

Н.Л. Казанский^{1,2}, Е.А. Рахаева^{1,2}

¹Институт систем обработки изображений РАН, Самара, Россия,

²Самарский государственный аэрокосмический университет, Самара, Россия

Аннотация

С использованием многомодовых матриц рассеяния рассчитана частотная характеристика ТЕМ-камеры, которая предназначена для проведения испытаний электронных компонентов и систем на электромагнитную совместимость.

Введение

Для проведения испытаний электронных компонентов и систем на электромагнитную совместимость используют ТЕМ-камеры [1]. ТЕМ-камера состоит (рис. 1) из регулярного отрезка полосковой линии 1, на входе и выходе которой включены пирамидальные переходы 2 и 3.

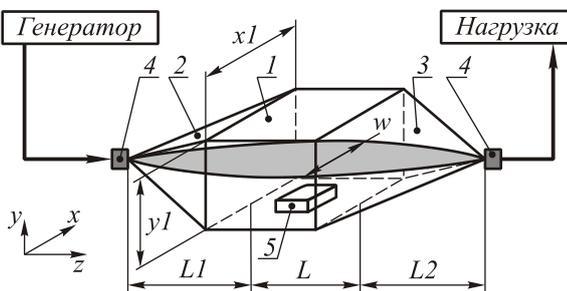


Рис. 1. ТЕМ-камера для проведения испытаний на электромагнитную совместимость

Пирамидальные переходы служат для согласования геометрических размеров регулярной части ТЕМ-камеры с коаксиальными разъемами 4, подключенными к генератору и нагрузке, и представляют собой линии передачи с непрерывно изменяющимися геометрическими размерами.

Объект испытаний 5 помещается в середину регулярной части ТЕМ-камеры, где электромагнитное поле имеет минимальную неравномерность и не содержит продольных составляющих. Генератор, пирамидальные переходы и согласованная нагрузка обеспечивают в регулярной части ТЕМ-камеры режим бегущей волны, которая имитирует электромагнитную волну в открытом пространстве.

Габариты ТЕМ-камеры зависят от размеров исследуемого объекта, что обусловлено требованиями, предъявляемыми к неравномерности электромагнитного поля в месте расположения исследуемого объекта [2].

В регулярной части ТЕМ-камеры при больших размерах поперечного сечения регулярной части и высоких частотах кроме основной волны распространяющимися могут быть и высшие типы волн [3], которые не проходят на ее вход и выход. Это обусловлено тем, что пирамидальные переходы представляют собой нерегулярные линии передачи с малыми геометрическими размерами поперечного сечения на одном конце, на котором для высших типов волн условия распространения не выполняются [4]. По-

этому в таких нерегулярных линиях распространяющиеся высшие типы волн при их падении со стороны регулярной части ТЕМ-камеры не проходят на выход пирамидального перехода, а отражаются от критических сечений [5].

Как показали теоретические и экспериментальные исследования [6], при определенных условиях эти высшие типы волн могут вызвать появление резонансов на частотной характеристике ТЕМ-камеры. При возбуждении резонансов в ТЕМ-камере электромагнитное поле в регулярной части в месте расположения объекта испытаний становится неравномерным, и проведение достоверных испытаний на электромагнитную совместимость становится невозможным.

Целью работы является расчет частотной характеристики ТЕМ-камеры.

Расчет характеристик ТЕМ-камеры с использованием многомодовых матриц рассеяния

Внешние электрические характеристики ТЕМ-камеры при учете в ее регулярной части распространяющихся высших типов волн можно рассчитать, используя многомодовые матрицы рассеяния входящих в нее элементов.

При расчете частотных характеристик ТЕМ-камеру (рис. 1) можно представить в виде каскадного соединения трех многомодовых многополюсников (рис. 2), которые описывают внешние электрические характеристики регулярной части и пирамидальных переходов.

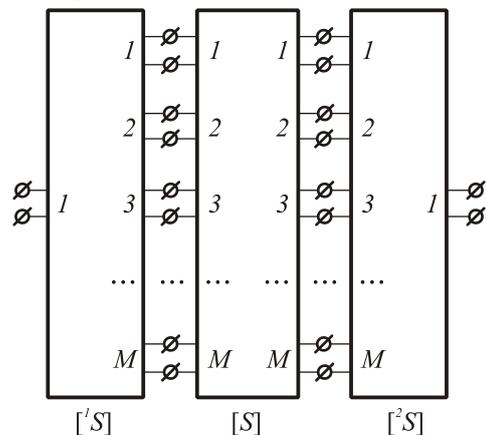


Рис. 2. Представление ТЕМ-камеры в виде каскадного соединения многомодовых многополюсников (M - число собственных распространяющихся типов волн)

Число входов у многополюсников определяется числом учитываемых типов волн.

При учете в регулярной части ТЕМ-камеры M собственных распространяющихся типов волн ее можно представить в виде многополюсника с $2M$ входами, многомодовая матрица рассеяния которого будет иметь вид [7]:

$$[S] = \begin{bmatrix} [S_{11}] & [S_{12}] \\ [S_{21}] & [S_{22}] \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где $[S_{11}] = [S_{22}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix},$

$$[S_{21}] = [S_{12}] = \begin{bmatrix} \exp(-i\gamma_1 L) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \exp(-i\gamma_2 L) & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \exp(-i\gamma_M L) \end{bmatrix},$$

γ_i – постоянная распространения i -го типа волны в регулярной части, L – длина регулярной части ТЕМ-камеры.

В матрицах рассеяния пирамидальных переходов со сторон, подключенных к регулярной части, следует учитывать M распространяющихся собственных типов волн, а со сторон сечения с малыми геометрическими размерами – только один. В этом случае многомодовые матрицы рассеяния первого и второго пирамидальных переходов можно записать в виде:

$$[{}^1S] = \begin{bmatrix} {}^1S_{11}^{(11)} & {}^1S_{12}^{(11)} & {}^1S_{12}^{(12)} & \dots & {}^1S_{12}^{(1M)} \\ {}^1S_{21}^{(11)} & {}^1S_{22}^{(11)} & {}^1S_{22}^{(12)} & \dots & {}^1S_{22}^{(1M)} \\ {}^1S_{21}^{(21)} & {}^1S_{22}^{(21)} & {}^1S_{22}^{(22)} & \dots & {}^1S_{22}^{(2M)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ {}^1S_{21}^{(M1)} & {}^1S_{22}^{(M1)} & {}^1S_{22}^{(M2)} & \dots & {}^1S_{22}^{(MM)} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$[{}^2S] = \begin{bmatrix} {}^2S_{11}^{(11)} & {}^2S_{11}^{(12)} & \dots & {}^2S_{11}^{(1M)} & {}^2S_{12}^{(11)} \\ {}^2S_{11}^{(21)} & {}^2S_{11}^{(22)} & \dots & {}^2S_{11}^{(2M)} & {}^2S_{12}^{(21)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ {}^2S_{11}^{(M1)} & {}^2S_{11}^{(M2)} & \dots & {}^2S_{11}^{(MM)} & {}^2S_{12}^{(M1)} \\ {}^2S_{21}^{(11)} & {}^2S_{21}^{(12)} & \dots & {}^2S_{21}^{(1M)} & {}^2S_{22}^{(11)} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Методика расчета многомодовых матриц рассеяния для пирамидальных переходов ТЕМ-камеры, представляющих нерегулярные линии передачи, приведена в [4, 7].

Используя алгоритм расчета каскадного соединения многомодовых матриц рассеяния [8], можно рассчитать частотную характеристику ТЕМ-камеры.

По этой методике была рассчитана частотная характеристика коэффициента передачи ТЕМ-камеры с размерами $x_1 = 18$ м, $y_1 = 11,2$ м, $L_1 = 10,36$ м,

$L = 8$ м, $L_2 = 8,45$ м (рис. 1). ТЕМ-камера с такими размерами, предназначенная для проведения испытаний транспортных средств на электромагнитную совместимость, установлена в Дирекции по техническому развитию ОАО «АВТОВАЗ». Расчет частотной характеристики проводился в диапазоне частот от 0 до 30 МГц. В этом диапазоне частот в регулярной части распространяющимися являются 7 собственных типов волн [4]. Результаты расчета частотной зависимости выраженного в децибелах модуля коэффициента передачи ТЕМ-камеры по основной моде $20 \log |S_{21}^{(11)}|$ при учете в ее регулярной части семи распространяющихся собственных типов волн приведены на рис. 3а.

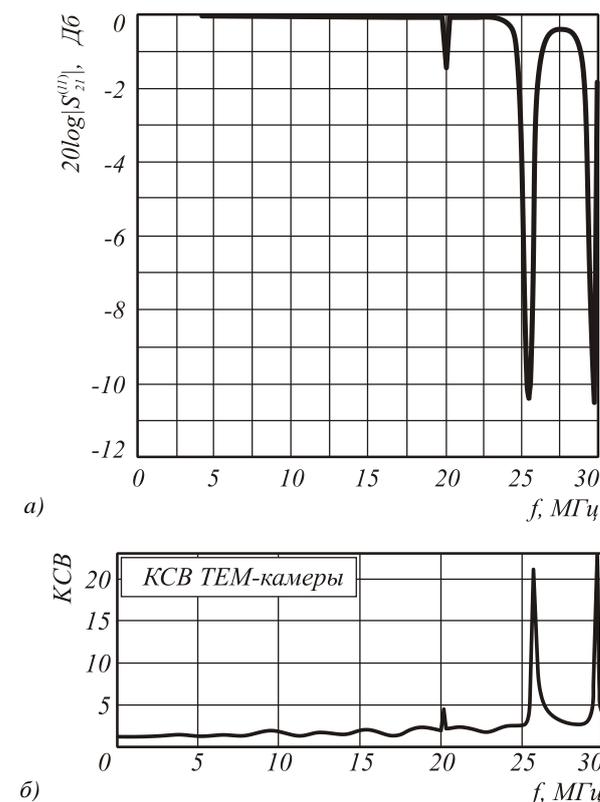


Рис. 3. Рассчитанная (а) и экспериментально измеренная (б) частотные характеристики ТЕМ-камеры

Из представленной зависимости следует, что на частотах свыше 20 МГц в ТЕМ-камере наблюдаются резонансы. На этих резонансных частотах структура поля в регулярной части искажается, и результаты проведения испытаний на электромагнитную совместимость становятся недостоверными.

Представленные результаты расчета частотной характеристики коэффициента передачи ТЕМ-камеры подтверждаются проведенными экспериментальными измерениями частотной зависимости коэффициента стоячей волны (КСВ) на входе ТЕМ-камеры [6]. Для этого на входе ТЕМ-камеры включался перестраиваемый по частоте генератор и измеритель коэффициента стоячей волны, а на выходе – согласованная нагрузка. На рис. 3б приведена экс-

периментально измеренная частотная зависимость КСВ на входе ТЕМ-камеры.

Из представленных результатов следует, что экспериментально измеренные резонансные частоты совпадают с теоретически рассчитанными с погрешностью менее 3%, что подтверждает адекватность предложенной расчетной модели ТЕМ-камеры.

Заключение

Предложена методика расчета частотной характеристики ТЕМ-камеры с использованием многомодовой матрицы рассеяния при учете в ее регулярной части всех распространяющихся типов волн.

По рассчитанной частотной характеристике ТЕМ-камеры с указанными выше размерами выявлены ее резонансные частоты, численно равные 20, 25,8 и 29,6 МГц. На этих частотах электромагнитное поле в регулярной части становится неоднородным, что препятствует проведению испытаний на электромагнитную совместимость.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российско-американской программы «Фундаментальные исследования и высшее образование» (“BRHE”, CRDF Project RUX0-014-SA-06) и Российского фонда фундаментальных исследований (гранты №№ 07-07-97601-р_офи, 06-07-08074-офи).

CALCULATION OF THE FREQUENCY CHARACTERISTIC OF TEM-CELL

N.L. Kazanskiy^{1,2}, E.A. Rakhaeva^{1,2}

¹ *Image Processing Systems Institute of the RAS, Samara, Russia,*

² *Samara State Aerospace University (SSAU), Samara, Russia*

Abstract

Using multimode scattering matrices, the frequency characteristic of TEM-cell designed for electromagnetic compatibility tests of electronic components and systems is calculated.

Keywords: electromagnetic compatibility, test TE-cell, electromagnetic calculation, frequency characteristics.

Citation: Kazanskiy NL, Rakhaeva EA. Calculation of the frequency characteristic of TEM-cell [In Russian]. *Computer Optics* 2007; 31(3): 52-54.

Acknowledgements: The research was financially supported by the Russian-American Basic Research and Higher Education Program (BRHE, CRDF Project RUX0-014-SA-06) and the Russian Foundation for Basic Research (grants Nos. 07-07-97601-r_ofi, 06-07-08074-ofi).

References:

- [1] Crawford ML. Generation of Standard EM Fields Using TEM Transmission Cells. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* 1974; EMC-16(4): 40-46.
- [2] GOST R 51048-97. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Generators of electromagnetic field with TEM-cells. Technical requirements and test methods [In Russian]. Moscow: Standards Publisher, 1998.
- [3] Kazanskiy NL, Podlypnov GA, Rakhaeva EA, Sarzhin MA. Calculation of electromagnetic field characteristics in TEM-cell. 6-th International symposium on electromagnetic compatibility and electromagnetic ecology 2005; 226-228.
- [4] Kazanskiy NL, Rakhaeva EA. Calculation of the characteristics of the pyramidal transition of TEM-cell [In Russian]. Proceedings of the Samara Research Center of RAS 2007; 9(3): 598-605.
- [5] Mitrokhin VN. Adiabatic invariant changing on critical sections of nonhomogeneous waveguides [In Russian]. Series: Instrument Engineering. Herald of the Bauman Moscow State Technical University 1990; 1: 53-60.
- [6] Rakhaeva EA, Kazanskiy NL, Podlypnov GA, Rakhaev AA, Suhov VV, Sarzhin MA. Research of resonance effects in TEM-cell. 7-th international symposium on electromagnetic compatibility and electromagnetic ecology. Saint-Petersburg, 2007; 104-106.
- [7] Kazanskiy NL, Rakhaeva EA. Calculation of characteristics of irregular transmission lines [in Russian]. *Antennas* 2007; (10): 51-55.
- [8] Veselov GI (ed.), Egorov EN, Alekhin YuN, et al. Microwave microelectronic devices [In Russian]. Moscow: “Vysshaya shkola” Publisher, 1988; 280 p.

Литература

1. Crawford M.L. Generation of Standard EM Fields Using TEM Transmission Cells//IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 1974. – Vol. EMC-16, no. 4. – Pp. 40-46.
2. ГОСТ Р 51048-97. Совместимость технических средств электромагнитная. Генераторы электромагнитного поля с Т-камерами. Технические требования и методы испытаний. - М.: Издательство стандартов, 1998.
3. Kazansky N.L., Podlypnov G.A., Rakhaeva E.A., Sarzhin M.A. Calculation of electromagnetic field characteristics in TEM-cell // 6-th International symposium on electromagnetic compatibility and electromagnetic ecology, 2005. – Pp. 226-228.
4. Казанский Н.Л., Рахаева Е.А. Расчет характеристик пирамидального перехода ТЕМ-камеры // Известия Самарского научного центра РАН. – 2007. – Т. 9. – № 2. (в печати).
5. Митрохин В.Н. Изменение адиабатического инварианта на критических сечениях неоднородных волноводов // Вестник МГТУ, 1990. - №1. - С. 53-60. сер. Приборостроение.
6. Rakhaeva E.A., Kazansky N.L., Podlypnov G.A., Rakhaev A.A., Suhov V.V., Sarzhin M.A. Research of resonance effects in TEM-cell // 7-th international symposium on electromagnetic compatibility and electromagnetic ecology / Saint-Petersburg, 2007. – Pp. 104-106.
7. Казанский Н.Л., Рахаева Е.А. Расчет характеристик нерегулярных линий передач // Антенны. 2007. - №10. – С. 51-55.
8. Микроэлектронные устройства СВЧ / Г.И. Веселов, Е.Н. Егоров, Ю.Н. Алёхин и др. - М.: Высшая школа, 1988. - 280 с.