

6. Rizzi R. *et al.* Electromagnetic interferences on implantable medical devices onboard of high speed trains // IEEE Int. Symp. on EMC. – 2006. – PP. 1–6.
7. Ashraf M. *et al.* A thermal energy harvesting power supply with an internal startup circuit for pacemakers // IEEE trans. on VLSI syst. – 2015. – PP. 26–37.
8. Gore V.B. *et al.* Wireless power transfer technology for medical applications // CASP Cummins College of Engin for Women. – 2016. – PP. 455–460.
9. Campi T. *et al.* Induced effects in a pacemaker equipped with a wireless power transfer charging system // IEEE Trans. on EMC. – 2017. – PP. 1–4.
10. Kod M. *et al.* Feasibility study of using the housing vases of implantable devices as antennas // IEEE Access. – 2016. – Vol. 4. – PP. 6939–6949.
11. Anzai D. *et al.* EMI evaluation based on electromagnetic and circuit analysis for human body communication systems // Int. Symp. on EMC. – 2014. – PP. 745–748.
12. Wang J. *et al.* Effectiveness evaluation of shielding material for reducing electromagnetic interference of cardiac pacemaker by portable information terminals // Int. Symp. on EMC. – 2001. – PP. 1054–1057.
13. Lai W.C. A band pass filter to near Infrared charging for implantable cardiac pacemaker and ECG micro-stimulator application // IEEE MTT-S IMWS-BIO. – 2015. – P. 51–52.
14. Stevenson R.A. Design and application of broadband ceramic feedthrough capacitor EMI filters to cardiac pacemakers and implantable defibrillators // Proc. 19th Int. Conf. – IEEE/EMBS. – 1997. – PP. 2558–2562.
15. Stevenson R.A. Feedthrough EMI filter with ground isolation for cardiac pacemakers and implantable cardioverter defibrillators // Proc. of the 20th Annual Int. Conf. of the IEEE Engin. in Med. and Biol. Soc. – 1998. – PP. 3319–3323.
16. Gerosa A. *et al.* A fully integrated dual-channel log-domain programmable preamplifier and filter for an Implantable Cardiac Pacemaker // IEEE trans. on circuits and sys. – 2004. – P. 1916–1925.
17. Basak D. *et al.* A Low Noise Preamplifier and Switched Capacitor Filter for Heart-rate Detection // Int. Conf. on ICAES. – 2013. – PP. 184–188.

**РАЗРАБОТКА ИНТЕРФЕЙСА ПРОГРАММЫ
ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ
МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КОРПУСА С АПЕРТУРОЙ**

А.В. Веселовский, К.Э. Джанбаев, магистранты;

М.Е. Комнатнов, м.н.с.

Томск, ТУСУР, каф. ТУ, weselalex93@mail.ru

Экранирование является одним из конструкторских средств обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоэлектронных средств (РЭС). Экранирование должно быть обоснованным и рассмотрено после применения методов оптимальной компоновки и трассировки узлов и блоков РЭС [1]. Между тем получение быстрой

предварительной оценки эффективности экранирования (ЭЭ) электромагнитного экрана актуально на стадии проектирования РЭС, поскольку позволяет оценить массу и габариты РЭС, а также принять заблаговременно дополнительные меры конструктивного исполнения помехозащиты. Предварительные оценки ЭЭ могут быть получены при помощи аналитических методов. Одним из первых аналитических методов для вычисления ЭЭ металлического корпуса с апертурой является метод, который позволяет вычислить ЭЭ корпуса с центральным расположением апертуры, представленный в [2]. Позже представлен метод [3], учитывающий изменение расположения апертуры в стенке корпуса. Методика усовершенствована посредством применения численного интегрирования коэффициента связи апертуры с корпусом, позволяет повысить точность вычисления ЭЭ [4]. Однако, это увеличивает временные затраты и усложняет аналитическую оценку ЭЭ. Вычисления без применения интегрального выражения с сохранением точности возможно выполнить на основе [5]. Таким образом, известны отдельные методики вычисления ЭЭ, позволяющие разработчику выполнить быструю предварительную оценку ЭЭ. Однако нет комплексного решения, позволяющего объединить методики и проанализировать вычисленные значения ЭЭ с использованием разных методов вычисления.

Цель работы – разработать графический интерфейс программы с использованием разных аналитических методов вычисления ЭЭ металлического корпуса с прямоугольной апертурой.

Для разработки интерфейса программы использовалась программная среда GUI в MATLAB [6]. Интерфейс содержит семь панелей (рис. 1).

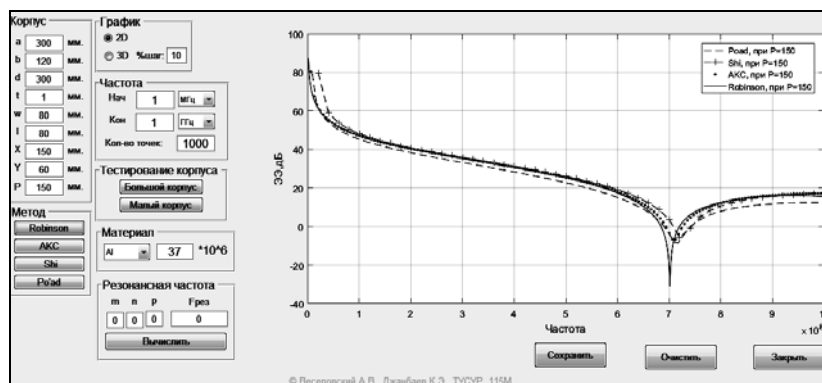


Рис. 1. Графический интерфейс программы для вычисления ЭЭ металлического корпуса с прямоугольной апертурой

В панели «Корпус» пользователю необходимо ввести: размеры корпуса $a \times b \times d$ с толщиной стенок t ; размеры апертуры $w \times l$ и координаты (от левого нижнего угла корпуса) центра $X \times Y$; расположение точки наблюдения ЭЭ P (рис. 2).

Автоматический ввод данных значений может быть выполнен при помощи панели «Тестирование корпуса». При нажатии кнопок «Большой корпус» и «Малый корпус» происходит автозаполнение всех параметров. Для малого $a = 29,5$ мм, $d = 9$ мм, $b = 21,5$ мм с апертурой в центре $w = 2$ мм, $l = 29,5$ мм, а для большого $a = b = 300$ мм, $d = 120$ мм

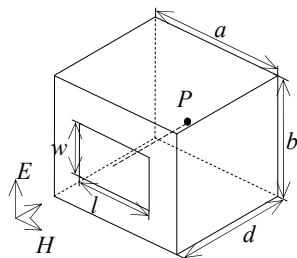


Рис. 2. Прямоугольный корпус

с апертурой $w = 80$ мм $l = 80$ мм в центре корпуса. Вычисления выполняются в частотном диапазоне от 1 МГц до 1 ГГц с шагом 1 МГц. При необходимости каждый из параметров пользователь может изменить.

В панели «Резонансная частота» вычисляется резонансная частота в зависимости от режимов m , n и p возбуждения корпуса, которые задаются от 0 до ∞ пользователем. На панели «График» пользователь выбирает вид построения частотной зависимости ЭЭ: 2D или 3D. При построении 2D вычисляется частотная зависимость для одной точки наблюдения P , а при построении 3D-ряд частотных зависимостей ЭЭ с заданным в процентах шагом точек P (рис. 3).

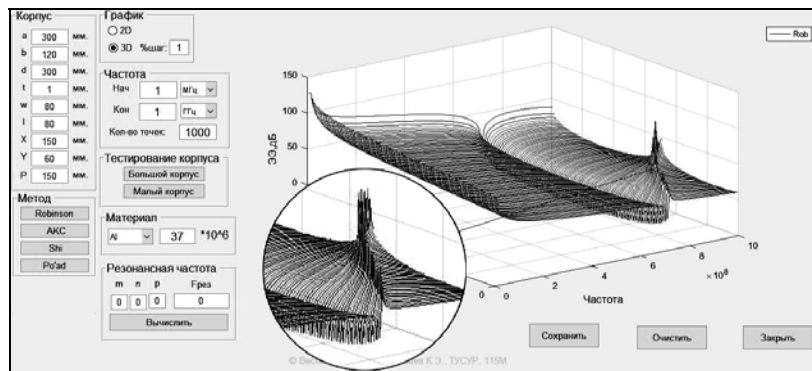


Рис. 3. Отображение ряда частотных зависимостей ЭЭ с заданным шагом для точки P (3D)

Выполнить вычисление ЭЭ возможно в панели «Метод», выбрав необходимый метод вычисления. После вычисления ЭЭ происходит автосохранение результатов в виде таблиц ASCII. Кроме того, возможно сохранить в необходимую директорию результаты с указанием

имени, нажав на кнопку «Сохранить». Панель «Частота» позволяет задать начальное и конечное значения частот, а также количество точек построения. В панели «Материал» либо выбирается материал (алюминий, железо или медь), либо задаётся необходимая удельная проводимость материала корпуса.

Программная реализация вычисления частотных зависимостей ЭЭ, в зависимости от перемещения точки наблюдения, интересна тем, что возможно на графике наблюдать, как изменятся значения ЭЭ в заданном диапазоне частоты на заданном расстоянии от апертуры корпуса. Например, из рис. 3 видно, что возле апертуры корпуса на частотах вблизи первого резонанса ЭЭ повышается, а в середине корпуса имеет наименьшее значение.

Полученные частотные зависимости ЭЭ в MATLAB сравнивались с зависимостями, полученными в программе MathCad и приведенными в работах [2–5]. Однако неучёт точности интегрирования при реализации в MATLAB двух методов [3, 4] привел к небольшому рассогласованию значений в области резонансов, полученных в программе MathCad. Представленная программная реализация известных методов позволит разработчикам более тщательно анализировать частотные зависимости ЭЭ за очень короткое время.

Работа выполнена за счет проекта 8.9562.2017/БЧ Минобрнауки Российской Федерации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Князев А.Д.* Конструирование радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости / А.Д. Князев, Л.Н. Кечиев, Б.В. Петров. – М.: Радио и связь, 1989. – 224 с.
2. *Robinson M.P., Benson T.M., Christopoulos C.* Analytical formulation for the shielding effectiveness of enclosures with apertures // IEEE Trans. Electromagn. Compat. Aug. – 1998. – Vol. 40, No. 3. – PP. 240–248.
3. *Po'ad F.A., Jenu M.M.Z., Christopoulos C., Thomas D.W.P.* Analytical and experimental study of the shielding effectiveness of a metallic enclosure with off-centered apertures // in Proc. 17th Int. Zurich Symp. Electromagn. Compat. – Zurich, Switzerland, 2006. – PP. 618–621.
4. *Shi D., Shen Y., Ruan F., Wei Z., Gao Y.* Shielding analysis of enclosure with aperture irradiated by plane wave with arbitrary incident angle and polarization direction // Proc. IEEE Int. Symp. Electromagn. Compat. –Qingdao, China, 2008. – PP. 361–364.
5. *Комнатнов М.Е.* Анализ эффективности экранирования бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата и создание устройств для испытаний на электромагнитную совместимость: дис. ... канд. техн. наук. – Томск, ТУСУР, 2016. – 216 с.
6. *MATLAB* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/MATLAB/> (дата обращения: 11.11.2016).