

3. Degraeve A., Pissoort D. Study of the effectiveness of spatially EM-diverse redundant systems under plane-wave illumination // Asia-Pacific Inter. Symp. on Electromagnetic Compatibility (AP EMC). Shenzhen, 2016. P. 211 – 213.

4. Degraeve A., Pissoort D. Study of the effectiveness of spatially EM-diverse redundant systems under reverberation room conditions // IEEE Inter. Symp. on Electromagnetic Compatibility (EMC). Ottawa, 2016. P. 374 – 378.

5. New concept of critical infrastructure strengthening / T. R. Gazizov [et al.] // Proc. of the 13th Inter. Conf. of Numerical Analysis and Applied Mathematics. Rhodes, Greece, 2015. P. 1 – 3.

УДК 621.3.087.21

АНАЛИЗАТОР ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ КОРПУСОМ НА ОСНОВЕ ИЗМЕРИТЕЛЯ S-ПАРАМЕТРОВ

Комнатнов М. Е.

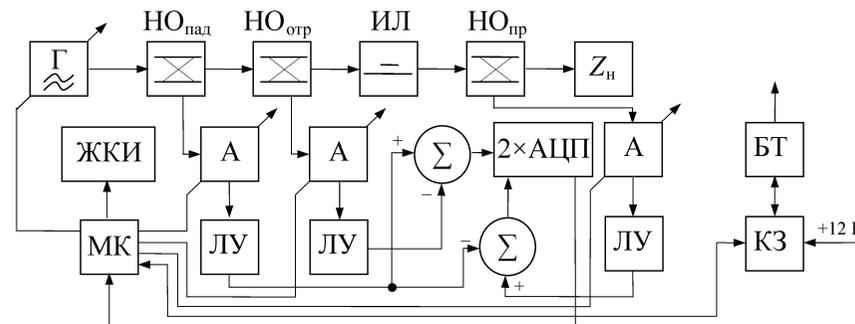
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

Одним из конструкторских средств обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронной аппаратуры при проектировании является экранирование пластиной [1] или корпусом [2]. Измерение эффективности экранирования (ЭЭ) проводят на основе различных нормативных документов при помощи комплекса измерительных средств, который содержит ряд специализированных приборов и устройств, включая приемную (датчик электромагнитных помех) и передающую антенны, генератор, усилитель мощности, измерительный приемник, беззховую камеру и т. д. Подобный комплекс достаточно дорог, требует немало времени подготовительного процесса с привлечением специалистов в области электромагнитной совместимости. К тому же его применение невозможно на рабочем месте инженера или в учебных лабораториях. Таким образом, дешевое автономное устройство, не требующее дополнительных измерительных средств, позволяющее выполнить предварительное измерение ЭЭ, может быть весьма полезно.

С этой целью разработан автономный анализатор эффективности экранирования корпусом на основе измеренных S-параметров.

Методика определения ЭЭ при помощи S-параметров для корпуса размером 300×300×120 мм [3] основана на преобразовании параметров матрицы S в матрицу Z, в соответствии с которой вычисляется эквивалентное сопротивление корпуса. Вычисление ЭЭ проводится по известным аналитическим формулам [4]. Программная реализация описанных выражений [3, 4] достаточно проста и может быть выполнена аппаратными средствами микроконтроллера.

В технической документации [5] на интегральную схему AD8302 описано простое устройство для измерения модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения в диапазоне частот до 2,7 ГГц. Схема содержит в одном корпусе два логарифмических усилителя (ЛУ), сумматор и фазовый детектор, что является ее преимуществом. Недостатки же – относительно небольшие верхняя частота (2,7 ГГц) и динамический диапазон (не более 60 дБ). На основе данной схемы и предложенной методики разработано устройство (рисунок) для измерения ЭЭ.



Устройство портативного анализатора ЭЭ

Основой портативного анализатора ЭЭ является измерительная линия (ИЛ) с волновым сопротивлением 50 Ом, которая возбуждает корпус сигналом от генератора в диапазоне частот от 100 МГц до 8 ГГц. В качестве генератора (Г) выбран широкополосный синтезатор СВЧ-диапазона, выполненный на интегральной схеме ADF 5355. Ослабление амплитуды падающих, отраженных и проходящих волн от направленных ответвителей (НО) регулируется в диапазоне от 0 до 32 дБ при помощи регулируемого аттенуатора (А) НМС346MS8G аналоговым напряжением от цифро-аналогового преобразователя микроконтроллера (МК). Перестройка частоты генератора, регулировка ослабления аттенуаторами, вычисление значений ЭЭ на основе S-параметров, вывод частотной зависимости ЭЭ и отображение информации о текущем состоянии батареи (БТ) от контроллера заряда (КЗ) на жидкокристаллическом индикаторе (ЖКИ) осуществляет МК ATmega 2560, который при желании может быть заменен на более производительный. Значения S-параметров вычисляются двумя сумматорами (Σ) на основе малошумящего операционного усилителя. Сигнал на сумматоры приходит от логарифмических усилителей AD8318 и оцифровывается двумя аналого-цифровыми преобразователями (АЦП) AD7887.

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

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. Комнатнов М. Е., Газизов Т. Р. Оценка эффективности экранирования корпуса соединителя бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата // Авиакосмическое приборостроение. 2013. № 4. С. 37 – 42.
3. Shourvarzi A., Joodaki M. Shielding Effectiveness Estimation of a Metallic Enclosure With an Aperture Using S-Parameter Analysis: Analytic Validation and Experiment // IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility. 2017. Vol. 59, Iss. 2. P. 537 – 540.
4. Analytical formulation for the shielding effectiveness of enclosures with apertures / M. P. Robinson [et al.] // IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility. 1998. Vol. 40, № 3. P. 240 – 248.
5. AD8302. Усилитель/фазовый детектор ВЧ/ПЧ с полосой 2,7 ГГц : техническая документация. LF–2.7 GHz RF/IF Gain and Phase Detector [Электронный ресурс]. URL: <http://www.analog.com/ru/products/rf-microwave/rf-power-detectors/non-rms-responding-detector/ad8302.html> (дата обращения: 04.11.2017).

УДК 621.371.32

РАСШИРЕНИЕ ЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА ПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ СОВМЕСТИМОСТЬ

Тернов С. А., Комнатнов М. Е.
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

Совершенствование конструкций различных устройств для проведения испытаний на помехоустойчивость радиоэлектронных средств является одной из актуальных задач в области электромагнитной совместимости. Для воздействия однородного электромагнитного поля высокой амплитуды на испытуемый объект необходимы значительные габариты безэховой камеры и излучающей системы, что не всегда целесообразно при испытании радиоэлектронных средств небольшого размера, поэтому одним из вариантов решения такой задачи является использование полосковой линии.

Предлагаемое устройство представляет собой две параллельные металлические пластины, между которыми распространяется электромагнитная волна, возбуждаемая сигналом от генератора [1]. В связи с неуклонным ростом верхней граничной частоты используемых сигналов актуально увеличение верхней рабочей частоты. Так, например, полосковая линия, применяемая для

оценки устойчивости радиоэлектронных средств к воздействию электромагнитного излучения [2], обеспечивает проведение испытаний на электромагнитную совместимость лишь в диапазоне частот до 3 ГГц. Таким образом, целесообразно исследование по расширению рабочего диапазона частот полосковой линии.

Моделирование полосковой линии [2] позволило установить частотную зависимость модуля коэффициента отражения $|S_{11}|$ на частотах до 10 ГГц (рис. 1).

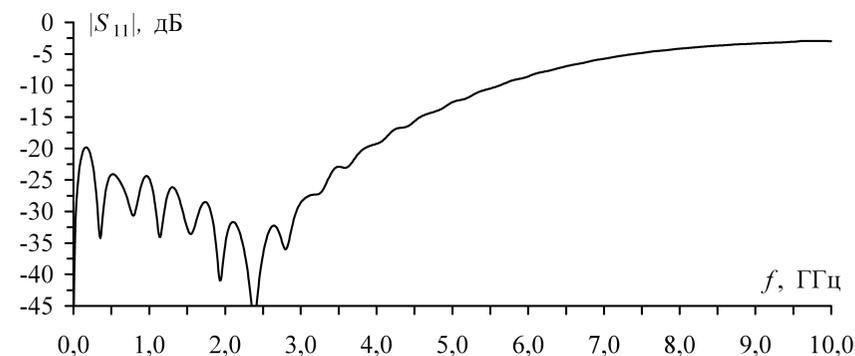


Рис. 1. Частотная зависимость $|S_{11}|$ до оптимизации

Из рис. 1 видно, что максимальная рабочая полоса частот находится в диапазоне до 4 ГГц, где максимальное значение $|S_{11}|$ не превышает минус 20 дБ, что является недостаточным. Поэтому необходимо провести оптимизацию геометрических параметров данной конструкции и их соотношения для расширения рабочей полосы частот.

Оптимизация осуществляется с использованием метода доверительных областей и генетического алгоритма. Вычислена частотная зависимость $|S_{11}|$ в диапазоне частот до 10 ГГц (рис. 2).

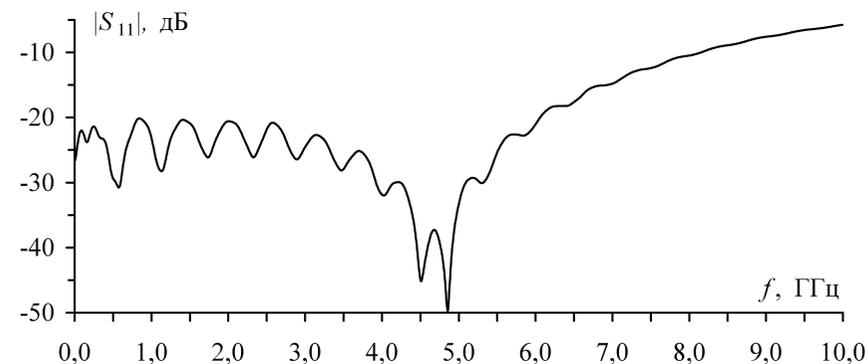


Рис. 2. Частотная зависимость $|S_{11}|$ после оптимизации