

Устройство для исследования устойчивости блоков малых космических аппаратов к электрическим полям помех

П.Ю. Вацков

*Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,
Москва, Россия*

Device for Investigating Resistance of Component Units of Small Space Vehicles against Fields of Noises

P.Yu. Vatskov

National Research University of Electronic Technology, Moscow, Russia

Приведены результаты испытаний блоков малых космических аппаратов на электромагнитную совместимость. Для испытаний на устойчивость к электрическим полям в качестве источника поля проволочной структуры применен отрезок четырехпроводной линии передачи. Представлены результаты исследования однородности электрического поля внутри источника. Разработанное устройство пригодно не только для испытаний изделия в целом, но и для оперативного контроля функционирования его блоков на разных этапах разработки. Автоматизация измерений позволяет исключить ошибки оператора и уменьшить время испытаний примерно в 20 раз.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость; малые космические аппараты; источник электрического поля; устойчивость.

The results of electromagnetic compatibility tests of the blocks of small space vehicles have been presented. For these tests as a field source, having a wire structure, a segment of the four-wire transmission line has been applied. The results of the study on homogeneity of the electric field inside the device have been presented. The device is suitable not only for testing the apparatus as a whole, but, also, for operative controlling the functioning of its main blocks at different development stages. The automation permits to exclude the errors of an operator and allows an approximately 20 times reduction of the tests time.

Keywords: electromagnetic compatibility; small space vehicles; electric field source; testing; susceptibility.

Введение. Малые космические аппараты создаются и эксплуатируются на околоземных орбитах, а также отправляются к Луне и Марсу. Составной частью малых космических аппаратов являются электронные блоки, которые относятся к устройствам вычислительной техники и входят в состав системы управления космическим аппаратом. Электронные блоки предназначены для обеспечения взаимодействия между вычислительной машиной и бортовыми системами. С учетом поставленной задачи разра-

батываемые блоки должны проходить лабораторно-отрабочные испытания на электромагнитную совместимость. Однако такие испытания практически не поддаются моделированию. Функционирование блоков и их модулей в условиях воздействия полей помех можно проконтролировать только при экспериментальном исследовании.

Испытания на устойчивость к электрическим полям помех являются частью испытаний на электромагнитную совместимость. Электронные блоки испытывают в диапазоне частот 1 кГц – 300 МГц. Напряженность электрического поля должна составлять не менее 1 В/м.

Модули электронных блоков предназначены для выполнения различных функций. Предполагается, что надежность функционирования блока увеличится, если каждый модуль будет проходить испытания на устойчивость, аналогичные испытаниям блока в целом. Для этого у каждого специалиста, ведущего разработку, должна быть возможность оперативной диагностики работы модуля непосредственно в лаборатории, начиная с первых макетов и заканчивая экспериментальными образцами.

Разработка источника электрического поля. Измерительное устройство для испытаний на устойчивость к электрическим полям помех состоит из трех основных элементов: задающего генератора, усилителя мощности и источника поля. Источники поля отличаются друг от друга принципом действия, размерами и ценой. В настоящее время для воспроизведения электрического поля при испытаниях на помехоустойчивость принято применять антенны [1], ТЕМ- [2] и ГТЕМ-камеры [3], реверберационную камеру [4] и полосковые линии [5]. Такие источники поля имеют ограниченное применение по ряду причин. Передающие антенны работают на низких частотах, имеют большие размеры и требуют больших помещений, между любой точкой антенны и стенами, а также между антенной и объектом измерений должно выдерживаться расстояние не менее 1 м. Отношение используемого полезного объема в ТЕМ-камерах к общему объему камеры невелико. Полосковые линии и ТЕМ-камеры громоздки и в основном позволяют испытывать небольшие устройства с характерными размерами 5–10 см. Реверберационная камера со специальным оборудованием представляет собой помещение большой площади [6].

Цель настоящей работы – разработка нестандартного источника поля для испытаний электронных блоков малых космических аппаратов. Источник должен быть недорогим, небольших размеров, простым в изготовлении и использовании, обеспечивать удобство размещения в нем испытываемого устройства, подходить для оперативного контроля помехоустойчивости, всегда быть «под рукой» для испытаний как электронных блоков, так и их ячеек и модулей.

В качестве источника выбрана проволочная структура – отрезок четырехпроводной линии передачи [7]. Такие линии используются для поверки и калибровки антенн небольших размеров во ВНИИФТРИ [8] и Новосибирском центре стандартизации, метрологии и испытаний [9] в качестве эталонов единицы напряженности электрического поля в диапазоне частот до 30 МГц. Источник этого типа ранее не применялся для испытаний на электромагнитную совместимость объемных объектов с сопоставимыми характерными размерами по трем координатам.

В четырехпроводной линии проводники в сечении линии находятся в вершинах обрабатываемого прямоугольника. Электрическое поле сосредоточено в объеме пространства между проводниками. Линия подключается к генератору сигналов и нагрузке с помощью конических переходов, которые позволяют свести проводники в одну точку без скачков волнового сопротивления. Расчетное волновое сопротивление линии обусловлено отношением ее ширины и высоты. Жесткость конструкции и постоянство размеров между проводами по всей длине линии обеспечивается диэлектрическими ра-

мами, в которых закреплены проводники. Рамы, проводники и разъем составляют целостную и симметричную во всех плоскостях конструкцию.

На этапе проектирования к источнику поля предъявляются следующие требования: размер объекта испытаний $15 \times 15 \times 20$ см (при необходимости его составные части должны свободно размещаться внутри линии); напряженность поля не менее 1 В/м в заданном диапазоне частот во всем объеме линии; входная мощность не более 1 Вт; отклонение напряженности поля в объеме испытываемого устройства не более 6 дБ.

Исследование электрического поля в источнике. Исследуются однородность и напряженность электрического поля в объеме линии. Отклонение напряженности поля при измерениях вдоль осей X и Y не превышает 3 дБ. Интерес представляет распределение поля вдоль оси Z (рис.1).

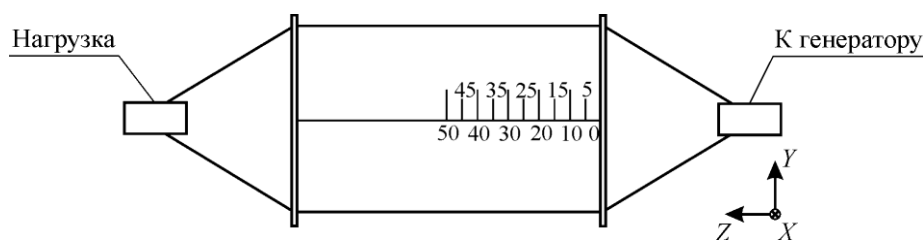


Рис.1. Зонирование источника электрического поля при исследовании однородности поля

Внутри источника поля рассматриваются три зоны протяженностью 30 см вдоль направления распространения волны: от 0 до 30 см, от 10 до 40 см и от 20 до 50 см. Размеры зон выбираются исходя из стандартных размеров объектов испытаний. Измерительная антенна перемещается вдоль линии от точки с координатой 0 до точки с координатой 50 с шагом 5 см. Внутри каждой из зон определяется координата, в которой напряженность поля максимальна, и координата, в которой напряженность поля минимальна.

На рис.2,*а* показана зависимость количества частот испытаний от определенного отклонения напряженности поля. Видно, что для 92 % частот отношение максимального и минимального значений напряженности в точках в пределах той или иной зоны составляет менее 6 дБ. Отклонение на 6–10 дБ достигается для 5 % частот испытаний, для 3 % частот отклонение составляет более 10 дБ.

Рис.2,*б* иллюстрирует соотношение между количеством частот испытаний и объемом пространства внутри облучателя, в котором возможно разместить испытываемый объект так, что отклонение напряженности поля не превысит 6 дБ. Исследование пока-

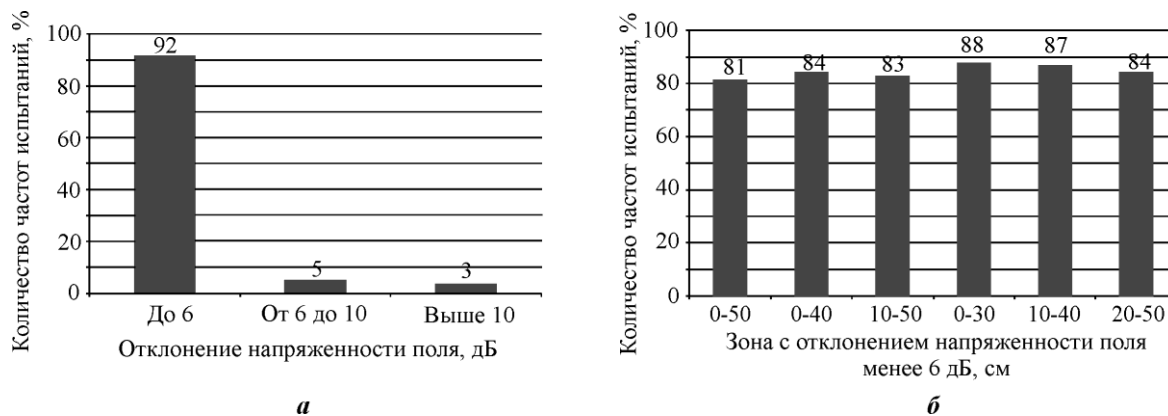


Рис.2. Зависимость количества частот испытаний от отклонения напряженности электрического поля (*а*) и объема пространства, в котором напряженность электрического поля составляет менее 6 дБ (*б*)

зало, что при воздействии на объект 81 % частот можно размещать объект в любой точке 50-сантиметровой зоны, т.е. для 81 % частот источник поля удовлетворяет требованиям по однородности поля. Для 40-сантиметровой зоны количество частот, при которых напряженность поля удовлетворяет требованиям по равномерности, увеличивается на 2–3 % в зависимости от зоны. В 30-сантиметровых зонах количество частот, на которых поле равномерно, достигает 88 %. Так как набор значений частот, где поле однородно, различен для каждой зоны, можно проводить испытания с заданной однородностью практически во всем диапазоне частот. Для этого потребуется размещать объект в разных зонах.

Источнику приписывается градуировочный коэффициент (отношение мощности на входе в источник поля к напряженности поля внутри источника) для каждой частоты. При градуировке напряженность поля измеряется в нескольких точках внутри четырехпроводной линии при некоторой заданной мощности генератора. Поскольку источник поля – линейное устройство, для каждой частоты рассчитывается такое значение выходной мощности генератора, чтобы значение напряженности поля внутри источника соответствовало норме. Градуировочный коэффициент источника поля определяется в автоматическом режиме с помощью разработанного программного обеспечения. Оператор вручную только перемещает измерительную антенну, запускает работу программы и сохраняет результаты измерений в память компьютера. Затраты времени оператора при градуировке в ручном режиме составляют приблизительно 10,5 ч на одну точку внутри линии. Автоматизация сокращает это время до 15 мин. Таким образом, автоматизация дает выигрыш во времени в 42 раза.

Напряженность поля в источнике внутри каждой из зон удовлетворяет требованиям. Применяя усилитель мощности с выходной мощностью 1 Вт, можно проводить испытания объектов на устойчивость к электрическому полю напряженностью не ниже 126 дБмкВ/м (2 В/м). Использование усилителя с выходной мощностью 100 Вт позволит расширить диапазон значений испытательного поля до 146 дБмкВ/м (20 В/м).

Устройство входит в состав установки для испытаний, автоматизированной с помощью разработанного программного обеспечения. Программа устанавливает значения частоты и выходной мощности генератора в зависимости от значения градуировочного коэффициента, полученного при градуировке установки. Контроль функционирования объекта осуществляется с помощью контрольно-проверочной аппаратуры. Программа, управляющая этой аппаратурой, работает под управлением программы, задающей воздействие. Оператор включает устройства и запускает работу программы. Установка значений градуировочного коэффициента при измерениях в ручном режиме занимает около 10 ч. Автоматизация позволяет исключить ошибки оператора и уменьшить время испытаний приблизительно в 20 раз по сравнению с настройкой генератора вручную.

Заключение. Разработанное устройство пригодно для испытаний объемных объектов размером до 30×30×30 см, а также их составных частей. Увеличение однородности поля внутри источника позволяет испытывать устройства с большими характерными размерами. Автоматизация увеличивает скорость и повышает достоверность измерений.

В настоящее время устройство применяется для испытаний одного из экспериментальных образцов блока управления на устойчивость к электрическим полям помех.

Литература

1. MIL-STD-461F. Department of Defence interface standard: Requirements for the control of electromagnetic interference characteristics of subsystems and equipment. – URL: <http://snebulos.mit.edu/projects/reference/MIL-STD/MIL-STD-461F.pdf> (дата обращения: 26. 04. 2016).

2. **Комнатнов М.Е.** Обзор TEM-камер, используемых при проведении испытаний на ЭМС // Материалы Всероссийской науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР-2013» (Томск, 2013). – Томск: В-Спектр, 2013. – С. 116–119.
3. **Аникин В.В., Бакулин И.Е., Герасимов С.В.** Перспективы использования GTEM-камер для автоматизированных испытаний технических средств на электромагнитную совместимость // Системы обработки информации. – 2010. – №6 (87). – С. 46–48.
4. **Höjjer M.** Fast and accurate radiated susceptibility testing by using the reverberation chamber // 2011 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC) (Aug. 2011). – 2011. – P. 861–864.
5. **Valek M., Korinek T., Bostik T.** Design of stripline for EMC testing // 14th Conference on microwave techniques (COMITE) (Apr. 2008). – 2008. – P. 1–4.
6. Оборудование для испытаний на ЭМС: каталог. – СПб. – М. – Екатеринбург. – Н. Новгород: Компания «Диполь», 2016. – 54 с. – URL: www.dipaul.ru (дата обращения: 15.05.2016).
7. **Лукьянов В.И.** Электрическое поле источника на базе отрезка четырехпроводной линии передачи // Измерительная техника. – 1991. – №7. – С. 42–44.
8. Создание и совершенствование эталонной базы в области радиочастотных электромагнитных измерений / **В.А. Тищенко, М.В. Балаханов, В.И. Лукьянов и др.** – Менделеево: ФГУП «ВНИИФТРИ», 2013. – 200 с.
9. ФБУ «Новосибирский ЦСМ». – URL: <http://www.ncsm.ru/page-74.html> (дата обращения: 05.05.2016).

Статья поступила
23 мая 2016 г.

Вацков Павел Юрьевич – аспирант кафедры микроэлектронных и радиотехнических устройств МИЭТ, Москва, Россия. *Область научных интересов:* разработка оборудования для экспериментального исследования функционирования устройств вычислительной техники в специальных условиях, автоматизация измерительных установок. **E-mail:** p.vatskov@gmail.com

Информация для читателей журнала «Известия высших учебных заведений. Электроника»

С тематическими указателями статей за 1996 - 2016 гг., аннотациями и содержанием последних номеров на русском и английском языках можно ознакомиться на нашем сайте:

<http://www.miet.ru>