

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 3, Number 307 (2016), 15 – 19

UDC: 629.78

**CIRCUIT SIMULATION OF PROTECTION ONBOARD ELECTRONICS
FROM ELECTROSTATIC DISCHARGE****Zh. Zhantayev, V. Grichshenko, A. Mukushev**

«Institute of Ionosphere» JSC «National Center of Space Research and Technology», Almaty
gri@gzi.kz

Keywords: simulation, electrostatic discharge, on-board equipment, spacecraft

Abstract. There were presented and discussed the results of circuit simulation influence of electrostatic discharge (ESD) on the onboard electronics of the different spacecraft (SC) and ways to improve its interference immunity. The paper considered the conditions of formation and influence of electrostatic discharge on the elements and units of the onboard electronics in space.

The technique of circuit simulation, including modeling of ESD generator and its influences on elements of onboard the electronics in ISIS Proteus environment was given. The recommendations for noise immunity of on-board electronics from ESD in the real world are represented.

The results may be used by forecasting of the failures of onboard electronics in real space, the development of interference immunity of microprocessor systems for use in electronics of various spacecrafts.

УДК: 629.78

**СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЩИТЫ
ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ
ОТ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО РАЗРЯДА****Ж.Ш. Жантаев, В.Ф. Грищенко, А. Мукушев**

ДТОО «Институт ионосферы» АО «НЦКИТ, г.Алматы

Ключевые слова: имитационное моделирование, электростатический разряд, бортовая аппаратура, космический аппарат.

Аннотация. Представлены и обсуждаются результаты схемотехнического моделирования воздействия электростатических разрядов (ЭСР) на электронную бортовую аппаратуру космических аппаратов (КА) различного назначения и пути повышения ее помехозащищенности. В работе рассмотрены условия формирования и влияния электростатического разряда на элементы и узлы бортовой электронной аппаратуры в реальных условиях.

Представлена методика схемотехнического моделирования, включающая моделирование генератора ЭСР и воздействия его на элементы бортовой электронной аппаратуры в среде ISIS Proteus. Разработаны рекомендации по помехозащищенности бортовой аппаратуры от ЭСР в реальных условиях.

Полученные результаты могут быть использованы при прогнозировании отказов бортовой электронной аппаратуры в реальных условиях, разработке помехозащищенных микропроцессорных систем для использования в бортовой электронной аппаратуре КА различного назначения.

Введение. Известно, что во время эксплуатации КА различного назначения в результате комплексного воздействия факторов космического пространства происходят отказы в

автоматизированных системах, приводящие к уменьшению срока эксплуатации на орбите, а в некоторых случаях и их потере. Причины и характер отказов бортовой электронной аппаратуры различны. Большинство авторов связывает отказы бортовой аппаратуры с солнечными вспышками. Однако многочисленными бортовыми экспериментами установлено, что даже при отсутствии солнечных вспышек в магнитоспокойные дни регистрируются отказы бортовой электронной аппаратуры различного характера. Например, возникшие нештатные ситуации с КА «KazSat-1» и «Фобос-грунт» были связаны с отказами в системе управления и с условиями эксплуатации.

В настоящее время созданы и успешно функционируют казахстанские КА различного назначения, в том числе: спутники связи KazSat-2,-3; осуществлен запуск спутников дистанционного зондирования Земли «KazEOSat-1,-2»; разрабатываются космическая система научно-технологического назначения, некоторые узлы и элементы бортовой аппаратуры казахстанских КА.

Поэтому особое внимание уделяется комплектация бортовой электронной аппаратуры компонентами повышенной надежности, устойчивой к условиям эксплуатации и воздействию факторов космического пространства (КП), поиску новых и модернизации используемых схем защиты.

В настоящее время существует тенденция использования современных технологий при создании бортовой радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Минимизируются весогабаритные параметры аппаратуры, увеличивается плотность ее компоновки в объеме КА. При этом обязательно учитывается электромагнитная совместимость приборов и узлов бортовой РЭА.

На работоспособность бортовой РЭА и формирование ЭСР главным образом оказывают воздействия основные факторы КП: солнечное электромагнитное излучение, солнечные (СКЛ) и галактические (ГКЛ) космические лучи, частицы радиационных поясов Земли (РПЗ), магнитосферная плазма, собственная атмосфера КА, микрометеориты и в меньшей степени другие. Элементы бортовой аппаратуры, наиболее подверженные воздействию ЭСР, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Воздействие ЭСР на устройства РЭА

Процессы на поверхности и внутри КА	Результаты воздействия ЭСР	Опасные факторы КП
Электризация на внешней поверхности и внутри КА	ЭСР на поверхности и в объеме диэлектрических элементов, транзисторов и интегральных схем. Электромагнитные помехи (ЭМП) в электронных цепях, разрушение элементов РЭА	Протоны с $E=0,1-10$ МэВ Электроны с $E=0,1-30$ КэВ
Эмиссионные процессы на внешней поверхности КА	Инициирование ЭСР в устройствах РЭА, фоновые сигналы в измерительной аппаратуре	Микрометеоры, магнитосферная плазма, СКЛ, СКЛ, ГКЛ, частицы РПЗ
Электризация РЭА	Радиационные шумы, сбои и отказы, электромагнитные помехи	Протоны с $E=0,1-10$ МэВ Электроны с $E=0,1-30$ КэВ, СКЛ, ГКЛ, частицы РПЗ, Микрометеоры,
Световая помеха в оптических приборах	Ухудшение спектральных характеристик в оптических приборах, астронавигационном оборудовании, ухудшение свойств собственной атмосферы КА	ЭСР, протоны, электроны, солнечное э/м излучение, магнитосферная плазма

В реальных условиях комплексное воздействие факторов КП влияет на процессы электризации КА, вызывающие формирование ЭСР.

Как видно из таблицы 1, особую роль играют процессы электризации поверхности КА, вызывающие электростатические разряды КА. ЭСР являются источниками ЭМП, которые воздействуют на отдельные элементы и устройства и бортовые системы в целом, приводящие к кратковременным отказам.

Поэтому необходимо создание различных способов защиты РЭА от ЭСР на этапе проектирования, поскольку возможный ущерб от потери спутников может многократно превосходить их стоимость.

Цель исследования. Разработка методов моделирования воздействия ЭСР на электронную бортовую аппаратуру и научно-обоснованных рекомендаций по повышению ее помехозащищенности.

Методы исследования. В данной работе использован схемотехнический 2-х этапный метод для моделирования воздействия электростатического разряда на элементы интегральных микросхем (ИС), который наглядно демонстрирует поведение тока ЭСР и наведенные электромагнитные помехи (ЭМП) в электронной аппаратуре.

Схемотехническое моделирование на первом этапе заключалось в разработке в среде ISIS Proteus модели испытательного генератора в соответствии с ГОСТ-ом Р 51317.4.2-99. В качестве метода испытания была выбрана машинная модель (machine-model-MM) [1].

Принцип работы данного испытательного генератора, основанный на заряде конденсатора через резистор R2 от источника питания 400 В, представлен на рисунке 1а.

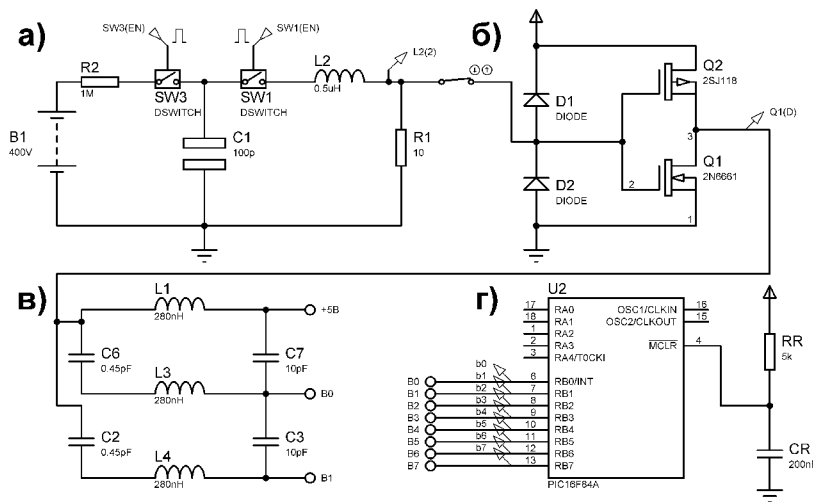


Рисунок 1 – Схема воздействия ЭСР на микропроцессорную систему: а) источник ЭСР, б) элемент защиты, в) эквивалентная схема шины данных, г) микроконтроллер

Разряд конденсатора осуществлялся через индуктивность L2 на нагрузку или тестируемые ИС. Полученная форма тока имела периодический характер с затуханием по экспоненциальному закону.

На втором этапе в схемотехнической модели использовалась 8-битная магистраль, по которой передается информация с максимальной скоростью 1 Мбит/с. При моделировании учитывались паразитные реактивности, к которым относятся индуктивности, образованные выводами элементов и длинными дорожками, ёмкости между контактными выводами ИС и корпусом. Поэтому распределенные реактивности шины передачи данных, представленные на рисунке 1в в виде элементов с сосредоточенными параметрами, были рассчитаны по методике предложенной в работе [2]. В результате сквозного проектирования были разработаны топология печатной платы и эквивалентная схема высокоскоростной шины с учётом паразитных реактивностей.

В расчёте паразитной ёмкости с параллельными обкладками использовалась формула из работы [3]:

$$C = 0,0085 \cdot \epsilon \cdot \frac{S}{d} [n\Phi], \quad (1)$$

где C – паразитная ёмкость, nΦ; ε – относительная диэлектрическая проницаемость материала печатной платы; S - площадь обкладки, мм²; d – расстояние между обкладками, мм.

Для расчёта паразитной индуктивности проводника использовалась формула [3]:

$$L = 4l \left[\ln \frac{2l}{(W + H)} + 0.224 \left(\frac{W + H}{l} \right) + 0.5 \right] [\text{нГн}] , \quad (2)$$

где L – паразитная индуктивность, нГн; l – длина проводника, мм; W – ширина дорожки, мм; H – толщина дорожки, мм.

Используя формулы (1) и (2), был выполнен расчёт паразитных реактивностей, результаты которого представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчетные значения паразитных емкостей

Паразитные реактивности	Начальные условия моделирования			Расчетные номиналы
Паразитная ёмкость	$\varepsilon = 4,5$	$S = 205 \text{ мм}^2$	$d = 1,74 \text{ мм}$	$C = 0,45 \text{ пФ}$
Паразитная индуктивность	$l = 27 \text{ мм}$	$W = 7,62 \text{ мм}$	$H = 1 \text{ мм}$	$L = 280 \text{ нГн}$

Результаты моделирования переходного процесса при воздействии ЭСР на ИМС с элементами защиты представлены на рисунке 2.

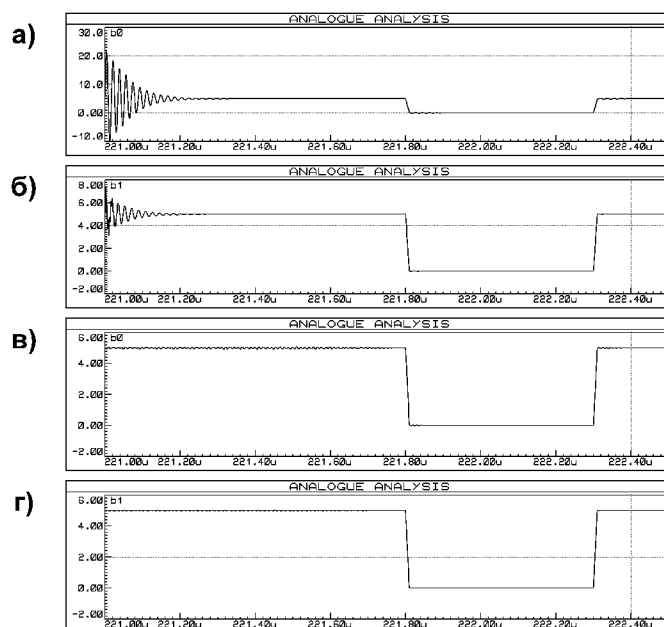


Рисунок 2 – Осциллограммы помех на 2-х линиях шины: а, б) осциллограммы помех от ЭСР на различных шинах; в, г) осциллограммы помех на этих же шинах, соответственно, после использования защиты в схеме моделирования

В качестве элемента защиты использовалась сборка из диодов и КМОП-транзисторов, обеспечивающая быстрый отвод тока и рассеивание тепла. Анализ полученных графических данных показал, что ЭСР наводит ЭМП, уровень которых превышает порог напряжения переключений логического состояния в цифровых и микропроцессорных системах.

Анализ графических данных моделирования ЭМП в результате воздействия ЭСР на микропроцессорную систему показал, что в результате использования защиты уровень электромагнитной помехи, вызванной ЭСР, значительно уменьшился.

Закключение. Разработана методика моделирования воздействия ЭСР на элементы электронной аппаратуры, в которой токопроводящие проводники заменены на эквивалентную схему замещения с использованием схмотехнических средств ISIS Proteus. Разработаны и исследованы схмотехнические модели испытательного генератора, шины данных и воздействия

ЭСР на ИС. Созданные модели позволили получить новые данные по моделированию защиты РЭА при воздействии ЭСР. Предложена схема помехозащищенности электронной аппаратуры от ЭСР.

Работа выполнена в рамках бюджетного грантового финансирования МОН РК на 2013-2015 годы (грант 0130/ТФЗ). Название проекта: «Имитационное моделирование сбоев бортовой электронной аппаратуры космических аппаратов в условиях комплексного воздействия факторов космического пространства» Регистрационный номер (РН) 0113РК00303.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Горлов М. И., Строгонов А. В., Адамян А. Г. Воздействие электростатических разрядов на полупроводниковые изделия. Часть 1, ChipNews, № 1, 2001.
- [2] Медведев А.М. Печатные платы. Конструкции и материалы, М.: Техносфера 2005, 304 с.
- [3] Кечиев Л.Н., Соловьёв А.В., Нисан А.В. Методика анализа влияния конструкции печатных плат на электрофизические параметры проводников. Сборник докладов IX НТК по ЭМС и электробезопасности, СПб.: ВИТУ, 2006, С. 274-277.
- [4] Кечиев Л.Н., Пожидаев Е.Д. Защита электронных средств от воздействия статического электричества, М.: Издательский дом «Технологии», 2005, 352 с.

REFERENCES

- [1] Gorlov M.I., Strogonov A.V, Adamyan A.G. Effects of electrostatic discharge on semiconductor of products. Part 1. ChipNews. № 1, 2001 (Rush).
- [2] Medvedev AM Printed circuit boards. Structures and materials, M.: Technosphere 2005, 304 p. (Rush).
- [3] Kechiev LN, Soloviev AV, AV Nisan. Methods of analyzing the effect of PCB design parameters on the electrical conductors. Proceedings of the IX NTC EMC and electrical safety, SPb.: VITU 2006, pp 274-277, (Rush).
- [4] Kechiev LN, Pozhidaev ED. Protection of electronic from means of static electricity, M.: Publishing House "Technology", 2005, 352 p. (Rush).

ЭЛЕКТРОСТАТИКАЛЫҚ РАЗРЯДТАН ЭЛЕКТРОНДЫҚ АППАРАТТЫ ҚОРҒАУДЫ ҮЛГІЛЕУ ТЕХНИКАЛЫҚ СХЕМАСЫ

Ж.Ш. Жангаев, В.Ф. Грищенко, А. Мукушев

ЕЖПИС «Ионосфера институты»;
«Үлттық ғарыштық зерттеулер мен технологиялар орталығы» АҚ, Алматы

Түйін сөздер: имитациялық үлгілеу, электростатикалық разряд, борттық аппаратура.

Аннотация. Түрлі мақсаттағы ғарыштық аппараттарындағы (ҒА) электрондық борт аппаратурасындағы электростатикалық разрядтардың (ЭСР) әсерін үлгілеу техникалық схемасының нәтижелері және олардың бөгеттік қорғау жолдарын арттыру талқыланып ұсынылады. Жұмыста нақты шарттағы борттық электрондық аппаратура тораптары және элементтеріндегі электростатикалық разрядтардың әсері және қалыптасу шарттары қарастырылды.

ISIS Proteus ортасында үлгілеудің техникалық схема құралдарын қолдану арқылы борттық электрондық аппаратура элементтеріндегі әсері және ЭСР генераторын үлгілеуден тұратын, әзірленген имитациялық үлгілеу әдістемесі ұсынылды. Нақты шарттардағы ЭСР-тан борт аппаратураларын бөгеттік қорғау жөніндегі ұсыныстар әзірленді.

Алынған нәтижелер түрлі мақсаттағы ҒА электрондық борт аппаратурасын қолдану үшін бөгеттік қорғау микропроцессорлық жүйені әзірлеуде, нақты шарттарда борт электрондық аппараттарының жұмыстан шығуын болжау кезінде қолданылуы мүмкін.

Поступила 17.06.2016 г.