МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ РАДИОСВЯЗИ

В.Е. Митрохин, Ю.Ю. Ушнурцева

Омский государственный университет путей сообщения, Омск, Российская Федерация

Описано моделирование процесса влияния импульсов на оборудование радиосвязи.

Ключевые слова: моделирование; электромагнитный импульс; радиосвязь.

SIMULATION OF TEST PULSES FOR RADIO COMMUNICATION EQUIPMENT

V.E. Mitrokhin, Yu.Yu. Ushnurtseva

Omsk State Transport University, Omsk, Russian Federation

A simulation of the process of the effect of pulses on radio equipment is described.

Keywords: modeling; electromagnetic pulse; radio communication.

Основными источниками мощных электромагнитных излучений естественного и искусственного происхождения являются: грозовые разряды, мощные радиопередающие средства (РПС) и радиолокационные станции (РЛС), высоковольтные линии электропередач (ВЛЭП), контактная сеть железных дорог (КСЖД), а также генераторы сверхширокополосного и микроволнового излучения. Наиболее мощным искусственным источником электромагнитного излучения является ядерный взрыв (ЯВ). Импульсные электромагнитные поля, возникающие при ядерном взрыве, принято называть электромагнитным импульсом ядерного взрыва (ЭМИ ЯВ).

В соответствии со стандартом МЭК серии 61000 выделяют три стадии развития высотного ядерного взрыва: ранняя, промежуточная и поздняя. На рис. 1 представлен ЭМИ ЯВ на ранней стадии.

Рис. 1. Электромагнитный импульс ядерного взрыва на ранней стадии

Для всех стадий поведение электрического поля определяется соотношением (1):

$$e(t) = e_{max}k(e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}), \quad (1)$$

где E_{max} – максимальная амплитуда импульса, В/м (для ранней стадии ЭМИ ЯВ имеет максимальную амплитуду 50 кВ/м); k – нормировочный коэффициент $k = 1,3$ (для ранней стадии, $k = 1$ для промежуточной стадии); α, β – показатели экспоненты, c^{-1} (для ранней стадии $\alpha = 4 \cdot 10^7 c^{-1}$, $\beta = 6 \cdot 10^8 c^{-1}$, для промежуточной – $\alpha = 10^3 c^{-1}$, $\beta = 6 \cdot 10^8 c^{-1}$) [1].

Обеспечение функционирования современных электронных устройств и систем требует обязательного учёта влияния на их работу электромагнитных импульсов естественного и искусственного происхождения. Для аппаратуры специального назначения необходим учёт влияния электромагнитных импульсов, сопровождающих действие ионизирующих излучений ядерного взрыва.

Многие виды человеческой деятельности сопровождаются образованием мощных электромагнитных импульсных полей, способных существенно осложнить работу радиоэлектронных устройств и систем. Одним из самых мощных источников электромагнитных импульсов является ядерный взрыв [2].

Требования и методы испытаний приборов на устойчивость к наносекундным импульсным помехам устанавливает ГОСТ Р 51317.4.4-2007 (МЭК 61000-4-4:2004) [3]. Согласно этому ГОСТу длительность фронта импульсов должна составлять 5 нс, длительность импульса (на уровне 50 % пикового значения) – 50 нс, частота повторения импульсов при амплитуде напряжения 2 кВ – 2,5 кГц, длительность пачки импульсов – 15 мс, период повторения пачек импульсов – 300 мс, выходное сопротивление испытательного генератора – 50 Ом.

Требования и методы испытаний приборов на устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии устанавливает ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95) [4]. Согласно этому ГОСТу длительность фронта импульса должна быть равной 1 мкс, длительность импульса (на уровне 50 % пикового значения) – 50 мкс, интервал между импульсами – 1 мин, выходное сопротивление испытательного генератора – 10 Ом (схема «провод-заземление») или 2 Ом (схема «провод-провод»).

На рис. 2 изображён график зависимости напряжения от времени.

Рис. 2. График зависимости напряжения от времени

На рис. 3 изображён график зависимости наведённого напряжения от частоты.

Рис. 3. График зависимости наведённого напряжения от частоты

Ток описывается следующими выражениями:

при $r > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ – аperiодический режим: $i(t) = -\frac{E}{\beta \cdot L} \cdot e^{-\alpha t} \cdot \sinh(\beta \cdot t);$ (2)

при $r < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ – колебательный режим: $i(t) = -\frac{E}{\omega L} e^{-\alpha t} \sin \omega t;$ (3)

при $r = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ – критический режим: $i(t) = -\frac{E}{L} - t e^{-\alpha t}$ (4)

Чтобы получить ток такой формы, были подставлены значения параметров R, C, L [5]:
Для аperiодического режима: $R=50$ Ом; $C=2,33$ нФ; $L=1,22$ мкГн; $E=100$ В (рис. 4).

$$i(t) = -\frac{E}{\beta \cdot L} \cdot e^{-\alpha t} \cdot \sinh(\beta \cdot t); \alpha = \frac{R}{2L}; \beta = \sqrt{\alpha^2 - \frac{1}{L \cdot C}}. \quad (5)$$

Рис. 4. График аperiодического режим

Для колебательного режима: $R = 50$ Ом; $C = 2,33$ нФ; $L = 1,22$ мкГн; $E = 100$ В (рис. 5).

Рис. 5. График колебательного режима

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Разработана методика, позволяющая определять параметры испытательной установки (генератора).
2. Используя данную испытательную установку, возможно провести испытания оборудования радиосвязи и связи на устойчивость к импульсным воздействиям.
3. Базируясь на разработанной методике, можно выработать эксплуатационно-технические требования к устройствам защиты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Балюк Н.В., Кечиев Л.Н., Степанов П.В.* Мощный электромагнитный импульс: воздействие на электронные средства и методы защиты. М.: Группа ИДТ, 2007. 478 с.
2. *Рикетс Л.У., Бриджес Дж.Э., Майлетта Дж.* Электромагнитный импульс и методы защиты. М.: Атомиздат, 1979. 328 с.
3. ГОСТ Р 51317.4.4-2007 (МЭК 61000-4-4:2004). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к наносекундным импульсным помехам. Требования и методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2008. 33 с.
4. ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. Требования и методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2008. 35 с.
5. *Митрохин В.Е., Жабина А.В., Митрохин М.В.* Математическое моделирование разряда статического электричества, возникающего на поверхности космического аппарата // Проблемы разработки, изготовления и эксплуатации ракетно-космической и авиационной техники: матер. IV Всерос. науч. конф., посвящ. 80-летию со дня рождения главного конструктора ПО «Полёт» А.С. Клинышкова. Омск: ОмГТУ, 2009. С. 47–50.