

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИМПУЛЬСА НА ЭЛЕКТРОННУЮ АППАРАТУРУ НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА

Ю. Ю. Ушнурцева¹,

канд. техн. наук,

В. Е. Митрохин²,

проф., д-р. техн. наук

¹ Филиал Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии

А. В. Хрулева Министерства обороны Российской Федерации, г. Омск

² Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск

В статье рассмотрено негативное воздействие наиболее разрушительного источника электромагнитного излучения искусственного происхождения, такого как ядерный взрыв, на электронную аппаратуру наземного транспорта, а также разработана методика, позволяющая выработать эксплуатационно-технические требования к устройствам защиты электронных систем.

Ключевые слова: электромагнитный импульс, напряжение, частота, электронная аппаратура, наземный транспорт.

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF AN ELECTROMAGNETIC PULSE ON ELECTRONIC EQUIPMENT OF GROUND TRANSPORT

The article considers the negative impact of the most destructive source of electromagnetic radiation of artificial origin, such as a nuclear explosion, on the electronic equipment of ground transport, and also developed a technique that allows to develop operational and technical requirements for electronic system protection devices.

Keywords: electromagnetic pulse, voltage, frequency, electronic equipment, ground transport.

Технологии в XXI веке охватывают все аспекты жизни. Большинство из них используют микропроцессорную электронику. По мере развития прогресса им доверяют контроль над важными критическими функциями безопасности, в том числе и в наземном транспорте (НТ). Несмотря на все очевидные

преимущества, уязвимость электроники перед электромагнитными излучениями остается серьезной проблемой. 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), а он, в свою очередь, способен вывести из строя на достаточно большом удалении от эпицентра различные системы электроники, в том числе и НТ. При этом в соответствии со стандартом МЭК серии 61000 выделяют три стадии развития высотного ядерного взрыва: ранняя, промежуточная и поздняя.

Для всех стадий поведение электрического поля определяется соотношением:

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

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, с^{-1} (для ранней стадии $\alpha = 4 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}$, $\beta = 6 \cdot 10^8 \text{ с}^{-1}$, для промежуточной – $\alpha = 10^3 \text{ с}^{-1}$, $\beta = 6 \cdot 10^8 \text{ с}^{-1}$) [1].

Обеспечение надежной эксплуатации современных электронных устройств и систем НТ требует обязательного учета влияния на их работу электромагнитных импульсов естественного и искусственного происхождения. Для аппаратуры НТ необходим учет влияния электромагнитных импульсов, сопровождающих действие ионизирующих излучений ядерного взрыва [2].

Согласно ГОСТу [3], 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»).

Исходя из вышеперечисленного, имеет место необходимость разработки методики позволяющей моделировать воздействие ЭМИ, в том числе и ЯВ, на электронные системы НТ, для чего был проведен аналитический поиск зависимостей наведенного напряжения от частоты (рис. 1).

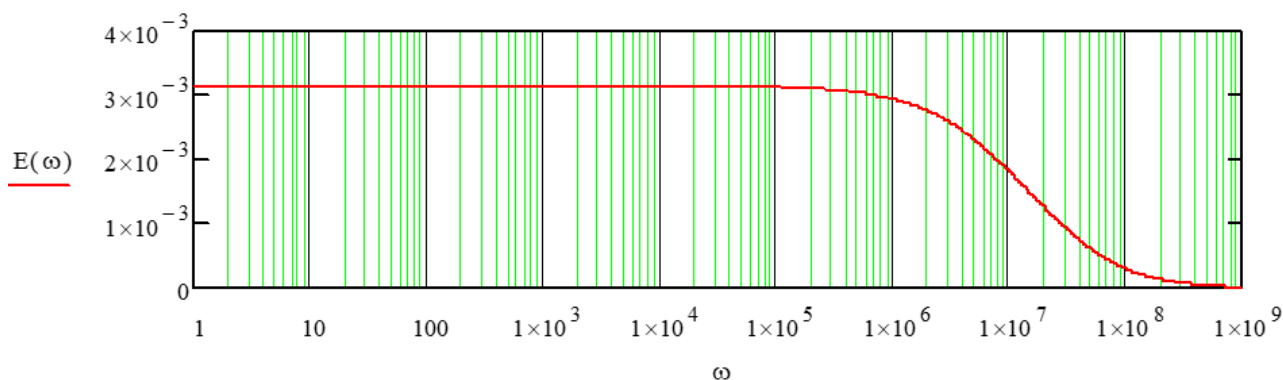


Рис. 1. График зависимости наведенного напряжения от частоты

При этом ток описывается следующими выражениями:

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

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

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

Чтобы получить ток такой формы, были подставлены значения параметров R, C, L [5].

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

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

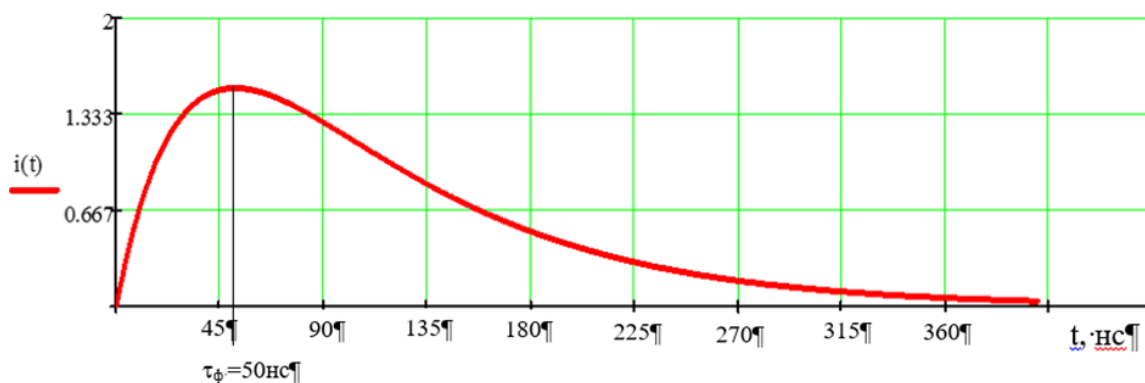


Рис. 2. График аperiodического режим

Для колебательного режима: $R = 50 \text{ Ом}$; $C = 2,33 \text{ нФ}$; $L = 1,22 \text{ мкГн}$; $E = 100 \text{ В}$ (рис. 3).

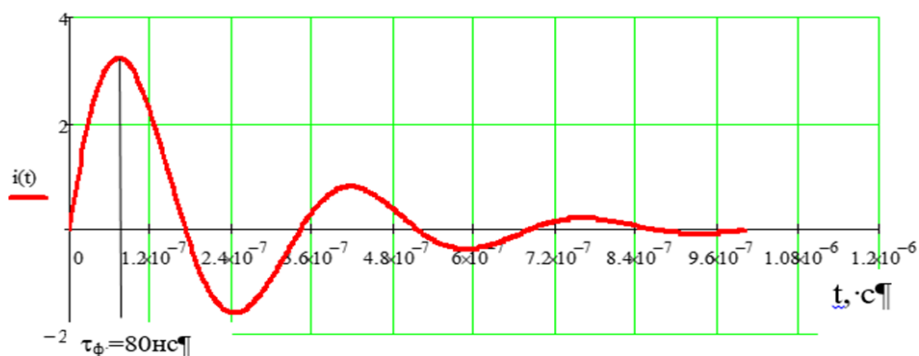


Рис. 3. График колебательного режима

Достоверность полученных аналитическим методом зависимостей была подтверждена экспериментально.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Разработанная методика позволяет на стадии проектирования определять параметры испытательной установки.
2. Используя экспериментальную установку, возможно провести натурные испытания электронных систем НТ на устойчивость к импульсным воздействиям.
3. Базируясь на разработанной методике, можно выработать эксплуатационно-технические требования к устройствам защиты электронных систем НТ.

Список литературы

1. *Балюк Н. В., Кечиев Л. Н., Степанов П. В.* Мощный электромагнитный импульс: воздействие на электронные средства и методы защиты. М. : ООО «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 : материалы IV Всерос. науч. конф. посвящ. 80-летию со дня рождения Главного конструктора ПО «Полет» А. С. Клинышкова. Омск : ОмГТУ, 2009. С. 47–50.