



Э.И. Павлова, З.М. Гизатуллин

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ПОМЕХ В ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВАХ ПРИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ РАЗРЯДА МОЛНИИ

(Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ)

Современные электронные средства (ЭС) часто функционируют в условиях сложной электромагнитной обстановки, создаваемой мощными электромагнитными помехами (МЭМП). В зависимости от величины электромагнитных помех это может привести к ложным срабатываниям цифровых элементов или к их повреждению. При этом необходимость постоянно снижать энергетические характеристики полезных сигналов обуславливает актуальность данной проблемы и необходимость ее решать еще на этапе проектирования ЭС для снижения необходимости дополнительных затрат на их перепроектирование.

Источниками МЭМП могут быть как природные, так и искусственные явления (разряды молнии, электромагнитный импульс ядерного взрыва и т.п.) [1, 2, 3, 4, 5]. На сегодняшний день накоплено большое количество материалов по проблеме воздействия разряда молнии на функционирование элементов, но при этом отсутствует единая методика расчета наводимой помехи на конкретный контур ЭС (рис. 1).

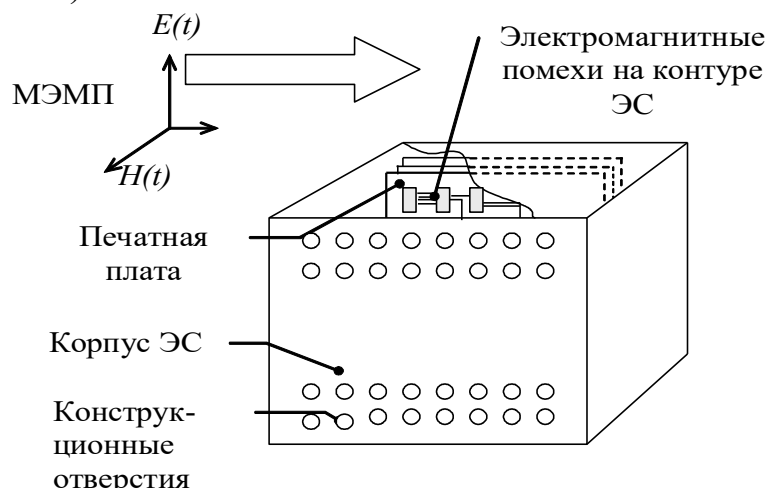


Рис. 1. Объект воздействия МЭМП

Целью данной работы является разработка методики анализа электромагнитного воздействия разряда молнии на функционирование ЭС для обеспечения их помехоустойчивости.

В природе встречаются два основных вида грозовых разрядов – линейная молния и шаровая молния. Линейная молния встречается наиболее часто и именно она представляет большую опасность для функционирования ЭС. Главный разряд молнии и является основным источником МЭМП [1]. В литературе [1] выделяют три основных механизма разряда молнии: прямой удар молнии,



разряд молнии на землю и межоблачные разряды. Реальные характеристики разряда молнии колеблются в широких пределах, но существуют рекомендуемые параметры для технических расчетов [6, 7, 8, 9]. Форма импульса тока молнии представляет собой совокупность двух экспоненциальных кривых: $i(t) = I_m k (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t})$, где I_m – амплитуда тока молнии, k – корректирующий коэффициент, α и β – параметры, определяющие величину переднего и заднего фронтов импульса. В данной работе для расчетов примем следующие параметры: $I_m = 200$ кА, $k = 1,052$, $\alpha = 0,2127 \cdot 10^4$ 1/с, $\beta = 0,2462 \cdot 10^6$ 1/с.

Для расчетов напряженности магнитного и электрического поля при разряде молнии можно использовать следующие уравнения [1]:

$$E_r(t) = \frac{Z_0 L_{\max} \cos \theta}{4\pi r^2} \left[\frac{c}{r} q \left(t - \frac{r}{c} \right) + \frac{dq \left(t - \frac{r}{c} \right)}{dt} \right],$$

$$E_\theta(t) = Z_0 \frac{L_{\max} \sin \theta}{4\pi r^2} \left[\frac{r}{c} \frac{di(t - r/c)}{dt} \right] + Z_0 \frac{L_{\max} \sin \theta}{4\pi r^2} \left[\frac{c}{r} q \left(t - \frac{r}{c} \right) + \frac{dq \left(t - \frac{r}{c} \right)}{dt} \right],$$

$$H_\phi(t) = \frac{L_{\max} \sin \theta}{4\pi r^2} \left[i \left(t - \frac{r}{c} \right) + \frac{r}{c} \frac{di(t - r/c)}{dt} \right],$$

где Z_0 – волновое сопротивление среды ($Z_0 = 120\pi$ Ом), L_{\max} – длина канала молнии, r – расстояние от точки наблюдения до середины канала молнии, c – скорость света, $q(t)$ – заряд, переносимый током молнии, $i(t)$ – импульс тока молнии, θ – угол между каналом молнии и направлением объект воздействия.

Рассматриваемое ЭС располагается внутри здания с железобетонной конструкцией, которая вносит наибольший вклад в экранирование МЭМП на данном этапе. При длине волны $\lambda \gg a_w$, где a_w – шаг сетки, эффективность экранирования S_h стен можно рассчитать по формуле [1, 6]:

$$S_h = \frac{(\beta - \alpha)n}{\mu_0 \sigma_w^* c d_w \alpha \beta},$$

где $\sigma_w^* = \frac{\pi d_w \sigma_w}{4a_w}$ – удельная проводимость сетчатой структуры, n – коэффициент формы корпуса или здания, σ_w – удельная проводимость материала сетки, d_w – толщина проволоки сетки, μ_0 – магнитная постоянная ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м).

Изменение величин фронта (τ_{fp}) и длительности ($\tau_{50\%}$) МЭМП после прохождения стены здания можно рассчитать по формулам [1]:

$$\tau_{fp} = 0,33 \mu_0 \sigma_w^* d_w^2, \quad \tau_{50\%} = \frac{0,69 \mu_0 \sigma_w^* d_w}{n}.$$

Корпуса ЭС обычно представляют собой прямоугольную конструкцию, изготовленную из алюминиевого сплава. Алюминий – неферромагнитный ма-



териал, поэтому эффективность экранирования корпуса ЭС определяется по ранее представленной формуле. Далее по рассчитанным параметрам напряженности поля определяется поле внутри ЭС и возникающие электромагнитные помехи, используя уравнения [1, 6]:

$$u_n(t) = \frac{2\pi\varepsilon_0 lh}{\ln(2h/a)} \left[\frac{z_1 z_2}{z_1 + z_2} \right] \frac{dE(t)}{dt}, \quad i_n(t) = \frac{2\mu_0 lh}{z_1 + z_2} \frac{dH_\phi(t)}{dt},$$

где $u_n(t)$ – напряжение помехи, $i_n(t)$ – импульс тока помехи, l – длина контура, h – ширина контура, a – толщина проводников контура, z_1, z_2 – величина нагрузки на концах контура, ε_0 – электрическая постоянная.

Совокупность вышеприведенных расчетов образует методику анализа электромагнитных помех в контурах ЭС в результате электромагнитного воздействия разряда молнии. Данная методика реализуется в виде прикладной программы с использованием визуальной среды разработки и отладки. Методика может быть применена на ранних этапах разработки ЭС для сокращения временных и финансовых затрат на их перепроектирование и доработку.

Литература

1. Кравченко В.И., Болотов Е.А., Летунова Н.И. Радиоэлектронные средства и мощные электромагнитные помехи. – М.: Радио и связь, 1987. 256 с.
2. Гизатуллин З.М. Анализ магнитных полей внутри здания при воздействии разряда молнии на внешнюю систему молниезащиты здания // Технологии электромагнитной совместимости. – 2010. – №3. – С. 30-36.
3. Гизатуллин З.М. Анализ электромагнитной обстановки внутри зданий при воздействии разряда молнии // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2008. – №1-2. – С. 38-47.
4. Гизатуллин З.М., Фазулянов Ф.М., Шувалов Л.Н., Гизатуллин Р.М. Целостность информации в USB флэш-накопителе при воздействии импульсного магнитного поля // Журнал радиоэлектроники. 2015. – №8. – С. 8.
5. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М., Нуриев М.Г. Методика физического моделирования воздействия разряда молнии на летательные аппараты // Известия вузов. Авиационная техника. – 2016. – №2. – С. 3-6.
6. Henry O.W. Electromagnetic Compatibility Engineering. – New Jersey, John Wiley & Sons, 2009. – 872 p.
7. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций СО 153-34.21.122-2003. - М.: Изд-во МЭИ, 2004. – 29 с.
8. Baba Y., Rakov V.A. Applications of Electromagnetic Models of the Lightning Return Stroke // IEEE Transactions on Power Delivery. - 2008. – No 2. – P. 800 - 811.
9. Lin L., Rakov V.A. Distribution of Currents in the Lightning Protective System of a Residential Building—Part II: Numerical Modeling // IEEE Transactions on Power Delivery. - 2008. – No 4. – P. 245 - 251.