



3. Коняшов И.С. Разработка имитационной модели эвакуации людей во время пожара // Наука 21 века: вопросы, гипотезы, ответы, 2016, №5(20). – с.30-33.
4. Котосонова А.С. Моделирование поведения населения в условиях ЧС // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России, 2016. № 2 (19). – С. 88-90.

Р.М. Гизатуллин, М.С. Шкиндеров, Э.С. Константинов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ В ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВАХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ РАЗРЯДА МОЛНИИ НА СИСТЕМУ МОЛНИЕЗАЩИТЫ ЗДАНИЯ

(Казанский национальный исследовательский технический
университет имени А.Н. Туполева – КАИ)

В современных зданиях, с помощью использования разных электронных систем, создаются очень хорошие профессиональные условия труда персонала, обеспечивается необходимый уровень защиты информации, максимально рационально расходуются энергетические и другие ресурсы. При этом приходится сталкиваться с рядом трудностей, которые определяются несовершенством инфраструктуры зданий и помещений, предназначенных для размещения современных электронных средств (ЭС). В первую очередь это относится к задачам электромагнитной совместимости (ЭМС), поскольку современное оборудование функционирует при определенных ограничениях на уровень внешних помех (разряды молнии, статическое электричество, промышленные источники и т.п.). Попытки решить проблему ЭМС на этапе отладки уже установленных систем приводят к значительным затратам и в ряде случаев требуют переделки помещений и переналадки оборудования [1, 2, 3].

По приближенным подсчетам в земную поверхность каждую секунду ударяют около ста молний. Что касается возможных путей воздействия разряда молнии, в литературе [4, 5] выделяется три основных механизма воздействия (рис. 1). Учитывая актуальность вышесказанного, в данной работе проводится анализ задачи прямого воздействия разряда молнии на молниеотвод и связанное с этим смещение потенциалов земли системы заземления. Это приводит к образованию электромагнитной помехи в кабельной системе, соединяющей ЭС в различных зданиях или помещениях одного здания [6, 7, 8] (рис. 2).

Как показывают исследования [1, 2, 4, 9], разрядный ток молнии представляет собой совокупность двух экспоненциальных кривых:

$$i(t) = I_m \cdot k \cdot (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}),$$

где: I_m – максимальный ток разряда молнии (до 200 кА); k – корректирующий коэффициент; α , β – коэффициенты определяющие крутизну переднего и заднего фронтов тока разряда.



Рис. 1. Механизмы воздействия разряда молнии

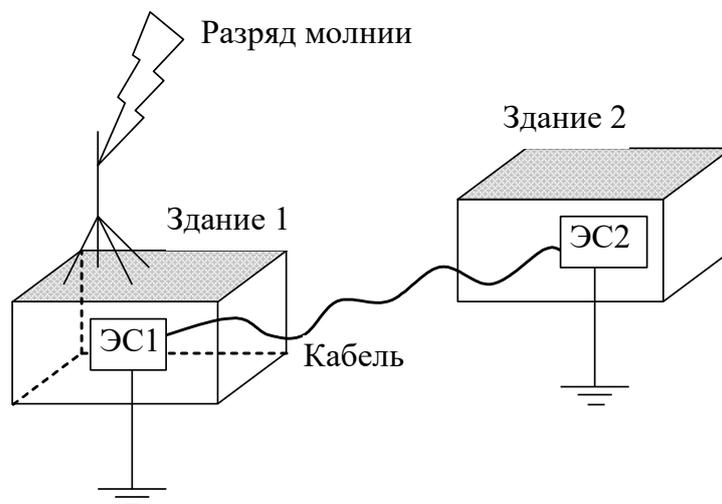


Рис. 2. Описание задачи исследования

При этом передний фронт и спад импульса тока могут варьироваться в широких пределах. При испытаниях на воздействие разряда молнии рекомендуется использовать шесть типов разрядного тока. Для каждого из этих форм тока предлагаются свои значения параметров α , β и k для уравнения тока разряда (табл. 1) [9].

Таблица 1. Параметры математической модели тока разряда молнии

$t_{фр}$, мкс	$t_{50\%}$, мкс	$\alpha \cdot 10^{-4}$	$\beta \cdot 10^{-6}$	k
1,2	50	1,4732	2,0810	1,043
2,0	25	3,3687	1,0622	1,156
2,0	50	1,5292	1,1188	1,072
0,25	100	0,6986	10,840	1,005
1	200	0,3517	2,6727	1,010
10	350	0,2127	0,2461	1,051

Первичные параметры коаксиального кабеля были использованы из [6]. На основе первичных параметров вычисляются вторичные параметры коаксиального кабеля, которые необходимы для создания модели (табл. 2).

На основе анализа задачи и параметров разработана эквивалентная схема в программном комплексе схмотехнического моделирования ПА-9 (аналог



PSPICE). При этом в современных приемопередатчиках ЭС в обязательном порядке присутствует элемент защиты от перенапряжений. В общую эквивалентную схему также включена модель элемента защиты на основе стабилитронов.

Таблица 2. Вычисленные вторичные параметры коаксиального кабеля

Линия	Параметры
Внутренний проводник	Активное сопротивление $R= \text{Ом/м}$
	Индуктивность $L=2,12 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$
	Проводимость $G=2,7 \cdot 10^{-10} \text{ См/м}$
	Емкость $C= 8,27 \cdot 10^{-11} \text{ Ф/м}$
Внешний проводник	Активное сопротивление $R= \text{Ом/м}$
	Индуктивность $L=2,02 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м}$
	Проводимость $G=0 \text{ См/м}$
	Емкость $C= 8,09 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Взаимный параметр	Взаимная индуктивность $M=0,24 \cdot 10^{-9} \text{ Гн/м}$

В первую очередь проведены исследования по выявлению, какой именно тип разрядного тока молнии является наиболее опасным и создает наибольшую помеху U_p (рис. 3).

$U_p, \text{ В}$

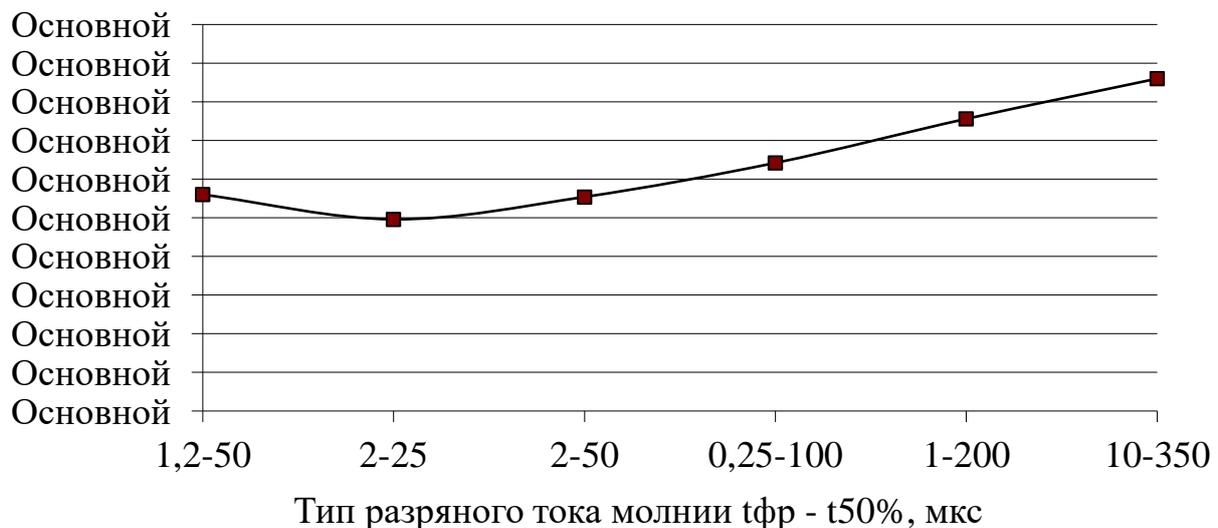


Рис. 3. Зависимость напряжения помехи от типа разрядного тока молнии

Таким образом, по выполненной работе можно сделать следующие выводы: выявлено, что наиболее опасным типом разряда молнии является разряд с параметрами 10-350 мкс. При таком разряде, при прочих равных условиях, величина электромагнитной помехи на приемопередатчике ЭС достигает 43 В (величина воздействия 40 кА); наименьший уровень электромагнитной помехи получается при воздействии разряда молнии с параметрами 2-25 мкс (24,8 В), что меньше на 42,3 %.

Данные исследования также актуальны для современных систем контроля управления доступом в здания [10, 11, 12]. Эффективное обеспечение безопасности путем применения таких систем связано с их надежным функционирова-



нием в реальных условиях эксплуатации, где присутствуют разные источники электромагнитных помех, в том числе и разряд молнии.

Литература

1. Augustyniak L.K. Lightning overvoltages in wiring systems of the building // Электромагнитная совместимость и электромагнитная экология: Сб. науч. докл. IV Междунар. симпозиума. – СПб., 2001. – С. 78–81.
2. Гизатуллин З.М. Анализ электромагнитной обстановки внутри зданий при воздействии разряда молнии // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2008. – №1-2. – С. 38-47.
3. Гизатуллин З.М. Технология прогнозирования и повышения электромагнитной совместимости цифровых электронных средств при внешних высокочастотных импульсных электромагнитных воздействиях // Технологии электромагнитной совместимости. – 2010. – №3. – С. 22-29.
4. Кравченко В.И., Болотов Е.А., Летунова Н.И. Радиоэлектронные средства и мощные электромагнитные помехи. М.: Радио и связь, 1987.
5. 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.
6. Tominaga T., Kawano H., Hattori M. Calculation of lightning surges inducing at equipment connecting with 10 Base-5 Cable // Proceedings of the IEEE International Symposium on EMC. – Seattle, 1999. – pp. 660–665.
7. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М., Шкиндеров М.С., Нуриев М.Г., Салимов Р.И. Моделирование электромагнитных помех в неэкранированной витой паре при внешних электромагнитных воздействиях // Журнал радиоэлектроники. – 2016. – №12. – С. 1.
8. Гизатуллин З.М., Набиев И.И., Шкиндеров М.С. Помехоустойчивость локальных вычислительных сетей при внешних электромагнитных воздействиях // Телекоммуникации. – 2017. – №2. – С. 41-47.
9. Chavka G.G., Aniserowicz K. Analysis of time-domain characteristics and spectral parameters of selected models of lightning current // Электромагнитная совместимость и электромагнитная экология: Сб. науч. докл. IV Междунар. симпозиума. – СПб, 2001. – С. 65–70.
10. Шкиндеров М.С., Нуриев М.Г., Гизатуллин З.М. Сквозное прогнозирование помехоустойчивости систем контроля и управления при внешних электромагнитных воздействиях // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2016. – №2. – С. 26-37.
11. Гут Р.В., Кирпичников А.П., Ляшева С.А., Шлеймович М.П. Методы ранговой фильтрации в системах видеонаблюдения // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. № 17. С. 71-73.
12. Шлеймович М.П., Кирпичников А.П., Ляшева С.А., Медведев М.В. Выделение границ на изображениях на основе модели энергетических признаков вейвлет-преобразования. Вестник технологического университета. 2017. Т. 20, № 21. С. 103-107.