



М.Г. Нуриев, Р.И. Салимов

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ АВТОМОБИЛЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

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

Современные автомобили содержат в себе огромное количество быстродействующих электронных средств различного назначения. Их надежное функционирование является залогом безопасности и комфорта. Высоковольтные линии электропередачи (ВЛЭП) являются одними из мощных макроисточников промышленных электромагнитных помех влияющих на надежность и помехоустойчивость функционирования электронных средств, в частности установленных на автомобилях [1]. Наиболее распространенным видом ВЛЭП являются воздушные линии, выполненные голыми проводами, подвешенными на изоляторах и смонтированными на опорах. Можно выделить три механизма возникновения электромагнитных полей вокруг ВЛЭП [2]: за счет токов и напряжений в рабочем режиме; за счет токов и напряжений в режиме короткого замыкания (КЗ); за счет источников внешних перенапряжений, например, воздействия разряда молнии. Основные сложности проведения натуральных экспериментальных исследований воздействия ВЛЭП на электронные средства автомобилей возникают при втором и третьем механизме возникновения электромагнитных полей из-за их случайного характера образования.

Одним из возможных подходов для решения задачи анализа помехоустойчивости электронных средств автомобилей при воздействии ВЛЭП является применение масштабного физического эксперимента – физическое моделирование [3]. Но в научной литературе слабо представлены математические и методические аспекты решения данных технических задач. Целью данной работы является разработка математических и методических основ физического моделирования электромагнитных помех в линиях связи электронных средств, в частности установленных на автомобиле при воздействии электромагнитных полей ВЛЭП. В литературе приведены примеры применения данного метода [4, 5, 6] и проведена оценка точности (расхождение результатов моделирования и экспериментов составляет не более 20%).

Для решения рассматриваемой задачи физического моделирования предлагается следующая методика.

1. Определить основные проектные параметры исследуемого электронного средства и автомобиля: размеры, геометрия и материалы конструктивных элементов; тип, размеры, материал, геометрия и схема подключения антенн; тип, размеры, материал, геометрия и схема подключения линий связи; тип нагрузки на линиях связи.

2. Определить потенциальные исходные данные для макроисточников



помех. Например, рассмотрим ВЛЭП со следующими параметрами: линейное напряжение $U - 110$ кВ; частота – 50 Гц; номинальный рабочий ток – 500 А; максимальный мгновенное значение тока КЗ $I_{MAX} - 95$ кА; максимальное значение периодической составляющей тока КЗ $I_{K3} - 46,5$ кА; высота подвеса проводов – 15 м; расстояние между проводами – 4 м; диаметр проводников – 10 мм.

3. Выбрать первичные масштабные коэффициенты физического моделирования. Данные коэффициенты в первую очередь зависят от размеров лаборатории, геометрических размеров стенда имитатора, параметров генератора, размеров автомобиля и др.

4. Рассчитать значения масштабных параметров электромагнитного поля ВЛЭП: максимальная напряженность электрического поля ВЛЭП, В/м – реальная 1000 В/м – масштабная – 100 В/м; максимальная напряженность магнитного поля КЗ ВЛЭП - реальная 1500 А/м – масштабная – 150 А/м.

Напряженность магнитного поля при коротком замыкании ВЛЭП определяется по выражению (рис. 1) [1, 2]:

$$H(t) = \frac{I_{K3} \left(e^{\frac{-t}{T_c}} - \cos(2\pi f t) \right)}{2\pi r} = \frac{H' \left(\frac{t'}{k_t} \right)}{k_H},$$

где T_c - постоянная времени сети (0.1 с).

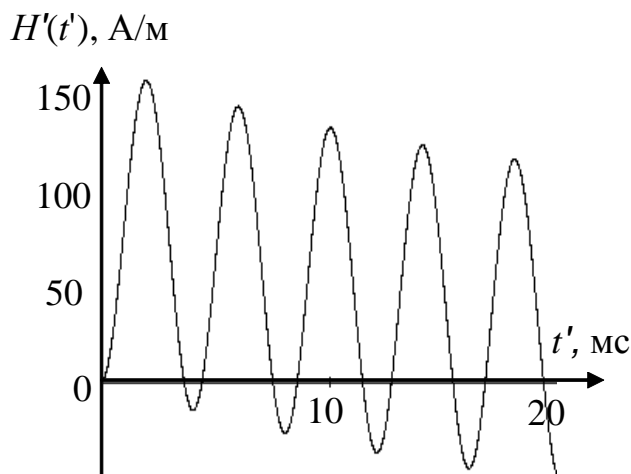


Рис. 1. Магнитное поле ВЛЭП в режиме короткого замыкания

5. Физическое моделирование электромагнитных полей ВЛЭП и помех в линиях связи масштабной модели электронных средств автомобиля осуществляется с помощью следующего стенда (рис. 2).

6. Провести серию экспериментальных исследований по измерению электромагнитных помех в линиях связи масштабной физической модели автомобиля при воздействии электромагнитного поля ВЛЭП.

7. На основе измеренных значений провести физическое моделирование электромагнитных помех в линиях связи (контур) полномасштабного автомобиля при воздействии электромагнитных полей ВЛЭП на основе математической модели:



$$U'_3(t') = \mu_0 a' b' \frac{dH'(t')}{dt'} = \mu_0 k_l^2 ab \frac{k_H}{k_t} \frac{dH(t)}{dt}, U_3(t) = 50 \times U'_3(5 \times t')$$

где a, b – размеры контура.

8. Провести сравнение результатов физического моделирования параметров электромагнитных помех в линиях связи электронных средств автомобиля с критическими значениями, приводящими, например, к временному нарушению функционирования или повреждению элементов [1, 7]. На основе результатов сравнения можно сделать вывод об обеспечении помехоустойчивости электронных средств автомобиля к воздействию электромагнитных полей ВЛЭП.

2 3 4

1

5



Рис. 2. Схема стенда для физического моделирования электромагнитных помех в линиях связи при воздействии ВЛЭП (1 – генератор имитатор; 2 – катушка для создания магнитного поля; 3 – линии для создания электрического поля; 4 – масштабная модель автомобиля; 5 – измерительное оборудование)

Кроме рассмотренного электромагнитного воздействия ВЛЭП, современные электронные средства автомобиля подтверждены воздействию помех по сети электропитания [8], электростатическому разряду [9], электромагнитному импульсу молнии [10]. Для повышения помехоустойчивости возможно применение известных или новых решений [11, 12, 13].

Литература

1. Кравченко В.И., Болотов Е.А., Летунова Н.И. Радиоэлектронные средства и мощные электромагнитные помехи / Под ред. В.И. Кравченко. – М.: Радио и связь, 1987. – 256 с.
2. Колиушко Г.М., Кравченко В.И., Пешков А.А. Воспроизведение мощных электромагнитных помех, создаваемых высоковольтными линиями электропередачи // Электромагнитная совместимость и электромагнитная экология: Сб. докл. междунар. конф. – СПб., 1993. – С. 723–726.
3. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М. Моделирование электромагнитной обстановки на основе теории масштабного эксперимента для задач электромаг-



нитной совместимости и защиты информации // Информационные технологии. – 2013. – №4. – С. 19-22.

4. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М., Нуриев М.Г. Математические модели для физического моделирования задач электромагнитной совместимости // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2015. – №1-2. – С. 115-122.

5. Гизатуллин З.М., Нуриев М.Г., Гизатуллин Р.М. Физическое моделирование электромагнитных помех при электромагнитном воздействии на макрообъекты // Журнал радиоэлектроники: электронный журнал. – 2015. – №6. – С. 1.

6. 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.

7. Гизатуллин З.М. Анализ воздействия высоковольтных линий электропередачи на функционирование цифровых элементов печатных плат // Технологии электромагнитной совместимости. – 2006. – № 3. – С. 3.

8. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М., Зиатдинов И.Н., Шарафутдинов И.И. Помехоустойчивость средств вычислительной техники при динамических изменениях напряжения сети электропитания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2013. – №1-2. – С. 105–115.

9. Гизатуллин З.М. Электромагнитная совместимость электронно-вычислительных средств при воздействии электростатического разряда // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2009. - №1-2. – С. 104-112.

10. Гизатуллин З.М. Анализ электромагнитной обстановки внутри зданий при воздействии разряда молнии // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2008. - №1-2. – С. 38-47.

11. Гизатуллин З.М. Повышение эффективности экранирования корпуса электронных средств // Технологии электромагнитной совместимости. – 2010. – №3. – С. 37-43.

12. Гизатуллин З.М. Снижение электромагнитных помех в межсоединениях многослойных печатных плат // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2012. – №2 – С. 199-205.

13. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М., Назметдинов Ф.Р., Набиев И.И. Повышение помехоустойчивости электронных средств при электромагнитных воздействиях по сети электропитания // Журнал радиоэлектроники: электронный журнал. – 2015. – №6.- С. 2.