



М.Г. Нуриев, Р.И. Салимов

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ АВТОМОБИЛЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ КОНТАКТНОЙ СЕТИ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

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

В связи с наличием множества переходов над контактной сетью электро-транспорта (КСЭ) чувствительные электронные средства автомобилей подвергаются ее электромагнитному воздействию [1]. Анализ существующих разработок в области исследования помехоустойчивости электронных средств, в том числе и автомобилей, указывает на недостаточность имитационных установок и методик, необходимых для тестирования их помехоустойчивости при воздействии электромагнитных полей КСЭ.

Общая протяженность электрифицированных дорог в Российской Федерации превышает 50 тыс. км. На железной дороге номинальным уровнем постоянного напряжения принято считать 3,3 кВ, переменного напряжения 25 кВ, в городской контактной сети от 600 до 825 Вольт. Контактная сеть электро-транспорта (КСЭ) являются одним из мощных макроисточников промышленных электромагнитных помех для функционирования электронных средств, в том числе автомобильных [1]. Основными элементами электрифицированных железных дорог являются тяговые подстанции и контактная сеть. Контактная сеть электро-транспорта включает в себя: провода (контактные, несущий трос, усиливающие); поддерживающие конструкции – опоры, консоли. Можно выделить несколько видов влияния КСЭ на электронные средства: электрическое – обусловлено потенциалом контактной сети по отношению к земле; магнитное – обусловлено возникновением постоянных или переменных тяговых токов и токов короткого замыкания (КЗ). Последний случай создает самые мощные электромагнитные воздействия и при этом вызывает наибольшую сложность проведения натуральных экспериментальных исследований из-за случайного характера образования. При этом токи короткого замыкания КСЭ постоянного тока намного больше (до 28 кА), чем токи сети переменного напряжения (до 5 кА).

Одним из возможных подходов для решения задачи анализа помехоустойчивости электронных средств автомобилей при воздействии КСЭ является применение масштабного физического эксперимента – физическое моделирование [2]. Но в открытой научной литературе слабо представлены математические и методические аспекты решения данных технических задач. С учетом изложенного, целью данной работы является разработка математических и методических основ практической методики физического моделирования электромагнитных помех в линиях связи электронных средств автомобилей при воздействии электромагнитных полей КСЭ. В научно-технической литературе приведены примеры применения данного метода, математических моделей, ме-



тодик и стендов для исследования электромагнитных полей и помех в линиях связи электронных средств [2, 3, 4, 5]. Оценка точности физического моделирования показывает, что расхождение результатов для рассмотренных задач составляет не более 20%.

Для решения задачи физического моделирования электромагнитных помех предлагается следующая методика:

1. Определить основные проектные параметры исследуемого автомобиля. Наиболее существенными являются следующие параметры: размеры, геометрия и материалы конструктивных элементов; тип, размеры, материал, геометрия и схема подключения антенн; тип, размеры, материал, геометрия и схема подключения линий связи.

2. Определить потенциальные исходные данные для КСЭ. Например: постоянное напряжение $U - 3,3$ кВ; линейное переменное напряжение $U - 25$ кВ; частота – 50 Гц; номинальный рабочий ток до 2 кА; максимальное значение постоянного тока КЗ $I_{MAX} - 28$ кА; максимальное значение переменного тока КЗ $I_{MAX} - 5$ кА; высота подвеса контактного провода – 6,15 м; диаметр провода – 9 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 максимального электромагнитного поля КСЭ (табл. 1).

Таблица 1. Значения параметров для моделирования

Параметры	Реальный	Масштабный
Максимальная напряженность электрического поля КСЭ переменного тока $E(t)$, В/м	1700	170
Максимальная напряженность магнитного поля КЗ КСЭ постоянного тока $H(t)$, А/м	1000	100

В случае магнитного воздействия наихудшего режима КЗ КСЭ постоянного тока напряженность поля на расстоянии r от контактного провода определяется по выражению (рис. 1) [1]:

$$H(t) = \frac{I_{kz}(1 - e^{-\frac{t}{T_c}})}{2\pi r} = \frac{H'(\frac{t'}{k_t})}{k_H},$$

где T_c - постоянная времени сети (максимальное значение 0,2 с); r – расстояние от провода.

5. Физическое моделирование электромагнитных полей КСЭ и электромагнитных помех в линиях связи масштабной модели автомобиля осуществляется с помощью специального стенда (рис. 2).

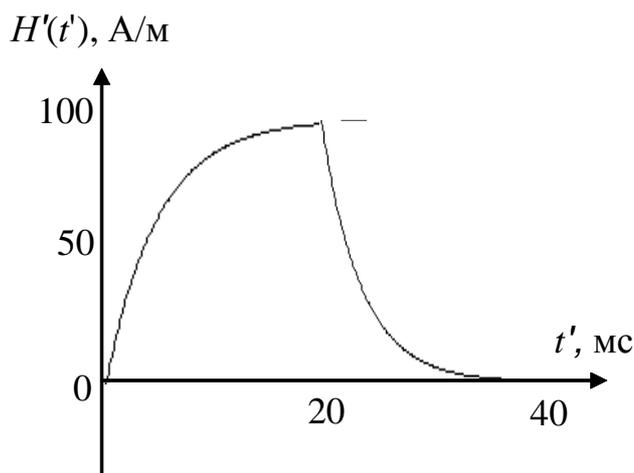


Рис. 1. Магнитное поле КСЭ в режиме короткого замыкания

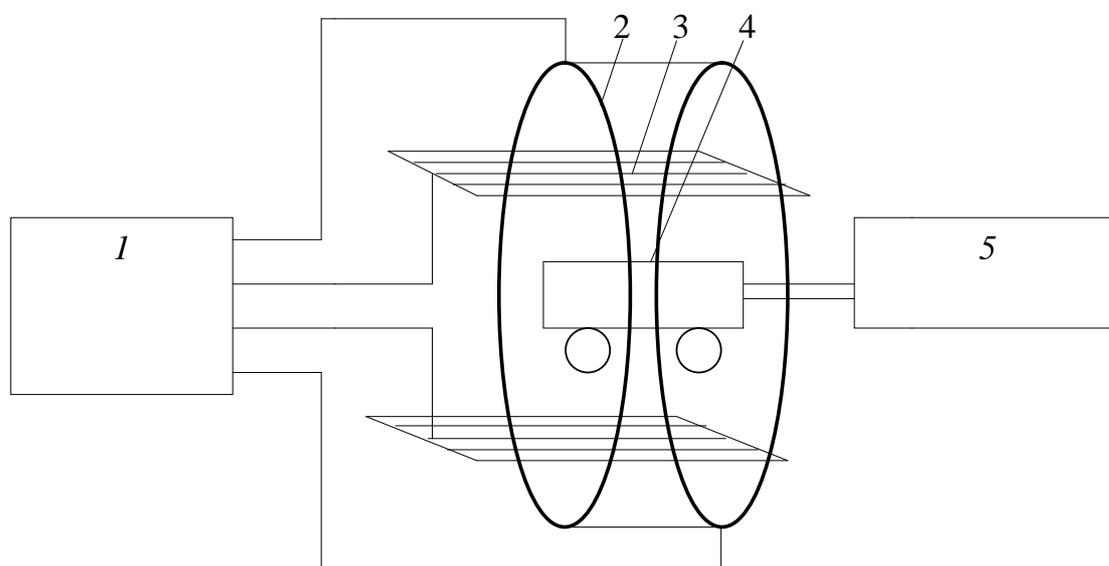


Рис. 2. Схема стенда для физического моделирования электромагнитных помех в линиях связи при воздействии КСЭ (1 – генератор имитатор; 2 – катушка для создания магнитного поля; 3 – линии для создания электрического поля; 4 – масштабная модель автомобиля; 5 – измерительное оборудование)

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

7. На основе измеренных значений провести физическое моделирование электромагнитных помех в линиях связи полномасштабного автомобиля при воздействии электромагнитных полей КСЭ.

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



Кроме рассмотренного электромагнитного воздействия КСЭ, современные электронные средства автомобиля подтверждены воздействию электростатическому разряду [6], электромагнитному импульсу молнии [7]. Для повышения помехоустойчивости возможно применение известных или новых решений [8, 9, 10].

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. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М. Моделирование электромагнитной обстановки на основе теории масштабного эксперимента для задач электромагнитной совместимости и защиты информации // Информационные технологии. – 2013. – №4. – С. 19-22.
3. 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.
4. 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.
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. Гизатуллин З.М. Электромагнитная совместимость электронно-вычислительных средств при воздействии электростатического разряда // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2009. - №1-2. – С. 104-112.
7. Гизатуллин З.М. Анализ электромагнитной обстановки внутри зданий при воздействии разряда молнии // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2008. - №1-2. – С. 38-47.
8. Гизатуллин З.М. Повышение эффективности экранирования корпуса электронных средств // Технологии электромагнитной совместимости. – 2010. – №3. – С. 37-43.
9. 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.
10. 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.