

Бочков, К. А. Элементы моделирования электромагнитной совместимости устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / К. А. Бочков, Д. В. Комнатный; Министерство образования Республики Беларусь, Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта». — Гомель: БелГУТ, 2013. — 184, [1] с.: ил., табл. — Библиография: с. 178-185.

УДК 656.25

УДК 621.391.827

УДК 621.331:621.391.827

ББК 39

**СБО** — 1 экз.

Рассмотрены вопросы моделирования электромагнитной совместимости устройств железнодорожной автоматики и телемеханики, реализованных на современной микроэлементной и микропроцессорной базе.

Описаны вероятностно-логические модели электромагнитной совместимости, модели на основе системного подхода, модели излучения неоднородностей корпусов устройств, вопросы реализации метода граничных элементов применительно к задачам электромагнитной совместимости, методы расчета воздействия различных вариантов электростатического разряда на аппаратуру автоматики.

Для специалистов по разработке и испытаниям СЖАТ, инженеров службы сигнализации и связи железных дорог, аспирантов и магистрантов соответствующих специальностей. Может быть полезна студентам старших курсов вузов железнодорожного транспорта, слушателям курсов повышения квалификации.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

К. А. БОЧКОВ, Д. В. КОМНАТНЫЙ

ЭЛЕМЕНТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ  
УСТРОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ  
АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

Гомель 2013

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
1 Общие принципы моделирования электромагнитной совместимости.....	7
1.1 Вероятностно-логические модели ЭМС.....	7
1.2 Вычисление вероятности сбоя электронных узлов под действием электромагнитных помех.....	10
1.2.1 Расчет вероятности сбоя при распределении уровней помех и помехоустойчивости по нормальному закону.....	17
1.2.2 Расчет вероятности сбоя при распределении уровня помех по логарифмически нормальному, уровня помехоустойчивости по усеченному нормальному законам.....	19
1.2.3 Расчет вероятности сбоя при распределении уровня помех по закону Рэлея, уровня помехоустойчивости по нормальному закону.....	21
1.2.4 Расчет вероятности сбоя при распределении уровня помех по экспоненциальному, уровня помехоустойчивости по нормальному законам.....	22
1.3 Определение законов распределения параметров помех на основе энергетического подхода.....	25
1.4 Методы нормирования параметров электромагнитной совместимости на основе вероятностных моделей.....	30
1.5 Определение среднего времени наработки устройств на сбой под действием электромагнитных помех.....	33
1.6 Системный подход к моделированию электромагнитной совместимости	38
2 Модели воздействия наносекундных электромагнитных импульсов на электронную аппаратуру.....	43
2.1 Сравнительный анализ воздействия помех на электронную аппаратуру	43
2.2 Модели излучения неоднородностей корпуса под воздействием импульса электростатического разряда.....	51
2.3 Условия эквивалентности импульсов помех различной формы.....	59
2.3.1 Импульс прямоугольной формы.....	62
2.3.2 Импульс экспоненциальной формы.....	63
2.3.3 Импульс трапециoidalной формы.....	65
2.3.4 Импульс включения с фронтом экспоненциальной формы.....	67
2.3.5 Косинусный импульс.....	69
2.3.6 Импульс формы $A/2(1 - \cos 2\pi t/t_n)$ .....	70
2.3.7 Трапециoidalный импульс с косинус-квадратным скруглением.....	71
2.3.8 Косинус-кубический импульс.....	74
2.3.9 Биэкспоненциальный импульс.....	76

2.3.10 Затухающий синусоидальный импульс .....	78
3 Реализация метода граничных элементов в задачах электромагнитной совместимости.....	82
3.1 Общие положения метода граничных элементов.....	82
3.2 Двумерные линейные граничные элементы.....	85
3.3 Трехмерные четырехугольные граничные элементы.....	88
3.4 Треугольные граничные элементы.....	94
3.5 Кольцеобразные граничные элементы.....	96
3.6 Методика построения сеток прямоугольных граничных элементов.....	101
4 Электростатический разряд при ремонте электронной аппаратуры ЖАТ.....	108
4.1 Модель разряда на узел электронной аппаратуры.....	108
4.2 Модель распространения импульсов в линии связи узла.....	117
4.3 Наводки в линиях узла при электростатическом разряде во время ремонта...	122
4.4 Рекомендации по защите электронных узлов от ЭСР при ремонте аппаратуры ЖАТ.....	125
4.5 Метод эквивалентных электродов для расчета параметров линий и кабелей	131
4.5.1 Основы метода эквивалентных электродов.....	131
4.5.2 Расчет параметров заглубленной линии.....	135
4.5.3 Расчет полосковой линии.....	141
4.5.4 Расчет экранированной линии.....	145
4.5.5 Расчет емкостных параметров многожильного кабеля.....	151
4.6 Применение метода эквивалентных электродов для решения пространственных задач.....	155
5 Помехи от стекания индуцированных электростатических зарядов с корпусов технических средств.....	162
5.1 Структурная электрическая модель процессов при стекании заряда с корпуса технического средства.....	162
5.2 Расчет электростатической индукции на корпус технического средства...	165
5.3 Оценка наводок в узлах аппаратуры ЖАТ при стекании индуцированных зарядов.....	173
Заключение.....	176
Список литературы.....	178