



$$(\pi_k^m, \pi_s^m)_{\Pi^m} = (\chi_k^m, \chi_s^m)_{\mathbb{R}^{\sum_{i=1}^m n_i}}$$

как это делается, например, во множественном анализе соответствий [3-4]. При таком подходе измерения в одной номинальной шкале трактуются как некоррелированные случайные величины.

Рассмотренная процедура легко обобщается на случай измерений, проводимых одновременно как в номинальных, так и в интервальных шкалах. Ее очевидным недостатком является каскадный рост размерности данных в зависимости от увеличения разрядности номинальных шкал.

### Литература

1. Фридман, А. Э. Основы метрологии. Современный курс [Текст] / А. Э. Фридман. – С-Пб.: НПО «Профессионал», 2008. – 284 с.: ил.
2. Богачев, В. И. Основы теории меры [Текст]: в 2 т. / В.И. Богачев - Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2003.
3. Benzerc J.-P. Analyse des Donnes. Tome 2. L' analyse de correspondences. Paris: Dunod. 1973.
4. Greenacre M. Multiple and Joint Correspondence Analysis / Correspondence Analysis in the Social Sciences (pp.141-161). San Diego, CA: Academic Press. 1994.

О.В. Чернов, М.С. Шкиндеров, Р.М. Гизатуллин

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МИКРОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ ПО ДВУХПРОВОДНОЙ ЛИНИИ СЕТИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ЗДАНИЯ

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

Проблема борьбы с электромагнитными помехами, в том числе и преднамеренной ее разновидностью, становятся с каждым годом все более актуальной и в настоящее время рассматривается как неотъемлемая часть задачи информационной безопасности. Еще лет пятнадцать тому назад никто из гражданских потребителей электронных систем и не задумывался, что уже существует такая ветвь информационного терроризма как «электромагнитный терроризм». По определению, электромагнитный терроризм определяется как преднамеренная вредная генерация электромагнитной энергии, создающая помехи или сигналы в электронных системах и тем самым приводящая к сбою, повреждению или разрушению этих систем. При этом одним из наиболее вероятных и опасных путей воздействия преднамеренных электромагнитных помех (ЭМП) на электронные системы является сеть электропитания [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Сообщество электромагнитной совместимости, которое имеет значительный опыт разрешения проблем непреднамеренных электромагнитных помех, несёт определенную ответственность по решению этой проблемы и введению разумных стандартов.

Хорошо известно, что в большинстве случаев, электропроводка здания



обеспечивает эффективный перенос потенциально разрушительной энергии в электронные средства (ЭС). Но при этом интерес представляет как изменяются параметры ЭМ импульса, а именно его форма, фронт и длительность, в зависимости от длины распространения в линии.

Целью данной работы является анализ параметров введенных микросекундных импульсных ЭМП на конце исследуемой двухпроводной линии электропитания в зависимости от длины распространения.

В работе рассматриваются типичные микросекундные ЭМП импульсы [7], воздействующие по сети электропитания (табл. 1). Наиболее часто форма импульсов представляет собой двойную экспоненту.

Таблица 1

Параметры ЭМ импульсов, распространяющихся по линии электропитания		
№	Длительность фронта, $t_{fp}$	Длительность импульса на уровне 50 %, $t_{50\%}$
1	1 мкс	10 мкс
2	1,2 мкс	50 мкс
3	10 мкс	700 мкс

Анализ параметров введенного ЭМ импульса на конце линии, в зависимости от длины его распространения проводится в программном комплексе схемотехнического моделирования ПА-9. Для проведения имитационного моделирования разработана модель источника преднамеренных ЭМП воздействий и модель двухпроводной линии длиной от 1 до 30 метров (рис. 1).



Рис. 1. Модель двухпроводной линии (фрагмент 1 м)

Результатом проведенных исследований являются графики зависимости напряжения микросекундного импульса ЭМП в линии для различных длин. Например, на рис. 2 наглядно видно, как изменяет параметры импульса ЭМП с микросекундными параметрами (№2, табл. 1). На рис. 3 приведен график изменения фронта и длительности введенного импульса ЭМП как функция от длины его распространения по линии.

По результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы: введенное в двухпроводную линию электропроводки здания микросекундный импульс ЭМП на выходе линии почти полностью сохраняется, т.е. отсутствует изменение ее формы, а также видно незначительное изменение фронта и длительности на рассматриваемой длине электропроводки.

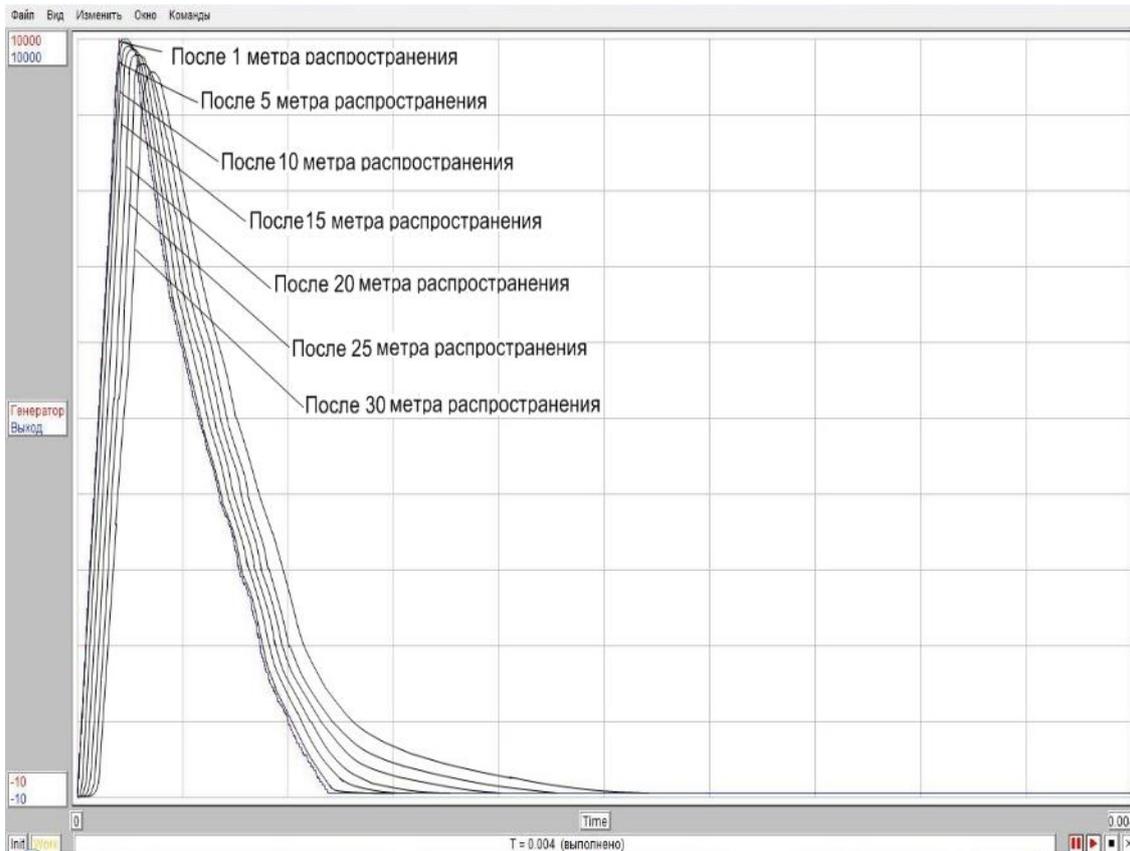


Рис. 2. Изменение напряжения ЭМ импульса при различных длинах распространения

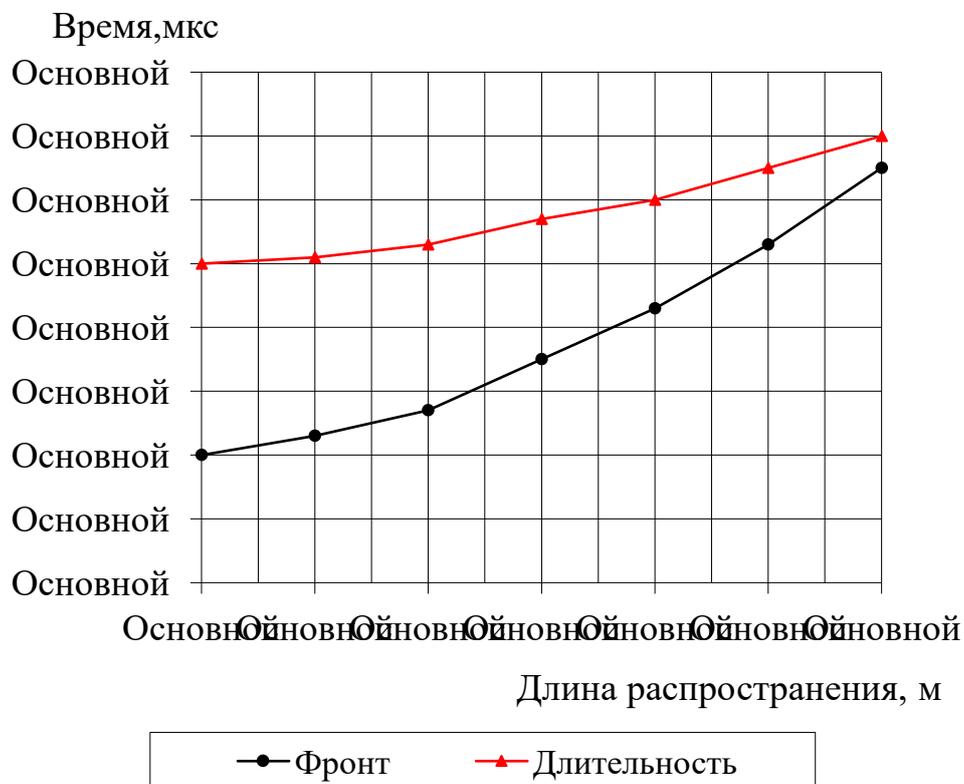


Рис. 3. Изменения фронта и длительности введенного ЭМ импульса в двухпроводной линии как функция от длины распространения



При этом, как представлено в [8, 9], внешние и внутренние устройств защиты электронных систем от помех по сетям электропитания при воздействии микросекундных ЭМП не всегда являются достаточно эффективными. Например, при воздействии микросекундных ЭМП с амплитудой до 1000 В применение внешних защитных устройств практически не влияет на величину электромагнитной помехи на выходе источника вторичного электропитания устройств. Воздействие микросекундных ЭМП с амплитудой более 2000 В, устройства защиты выдерживают только ограниченное количество раз, далее происходит физическое разрушение защитных элементов. Для повышения информационной безопасности электронных систем при преднамеренных воздействиях ЭМИ по сети электропитания возможно применение существующих и новых технических решений [10, 11, 12, 13].

### Литература

1. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М., Зиатдинов И.Н. Моделирование электромагнитного воздействия на электронные средства по сети электропитания здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2014. – №7-8. – С. 104-110.
2. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М., Зиатдинов И.Н. Анализ функционирования вычислительной техники при воздействии электромагнитных помех по сети электропитания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2015. – №7-8. – С. 98-105.
3. 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.
4. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М. Анализ качество электроэнергии в однофазной сети электропитания 220 Вольт 50 Герц // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2012. – №7-8. – С. 63-71.
5. 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.
6. Обухов А.В., Ляшева С.А., Шлеймович М.П. Методы автоматического распознавания автомобильных номеров // Вестник Чувашского университета. 2016. №3. С.201-208.
7. Mansson D., Nilsson T., Thottappillil R. Propagation of UWB Transients in Low-Voltage Installation Power Cables // IEEE Transactions on electromagnetic compatibility, vol. 49, no. 3, August 2007.
8. Гизатуллин Р.М., Гизатуллин З.М. Помехоустойчивость и информационная безопасность вычислительной техники при электромагнитных воздействиях по сети электропитания. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2014. – 142 с.
9. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М. Исследование помехоустойчивости вычислительной техники при электромагнитных воздействиях по сети электро-



питания // Радиотехника и электроника. – 2016. – №5. – С. 500–504.

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. – 2015. – №6. – С. 2.

11. Белоусов А.О., Газизов Т.Р., Заболоцкий А.М. Многопроводная микрополосковая линия как модальный фильтр для защиты от сверхкоротких импульсов // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2015. – №3. – С. 124-128.

12. Газизов А.Т., Заболоцкий А.М., Газизов Т.Р. Разложение сверхкороткого импульса в структурах с лицевой связью // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2017. – №3. – С. 70-75.

13. Белоусов А.О., Заболоцкий А.М., Газизов Т.Р. Экспериментальное подтверждение модельной фильтрации в многопроводной микрополосковой линии // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2016. – №3. – С. 51-54.

М.С. Шкиндеров, О.В. Чернов, Р.М. Гизатуллин

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ НАНОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ ПО ДВУХПРОВОДНОЙ ЛИНИИ СЕТИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ЗДАНИЯ

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

За прошлые годы произошло увеличение активности в области преднамеренных электромагнитных (ЭМ) помех, которые иногда упоминаются как «электромагнитный терроризм», что в нормативных документах относится к задаче информационной безопасности. В то время как больше всего внимания было сосредоточено на «излучающей» угрозе, совершенно ясно, что не надо забывать об угрозе кондуктивных помех. Кондуктивные угрозы включают то, что произведено с помощью наведения в линию излучающего поля и от прямого ввода кондуктивных помех в электропроводку, например, здания [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Хорошо известно, что в большинстве случаев, электропроводка здания обеспечивает эффективный перенос потенциально разрушительной энергии в электронные средства (ЭС). Но при этом интерес представляет как изменяются параметры ЭМ импульса, а именно его форма, фронт и длительность, в зависимости от длины распространения в линии.

Целью данной работы является анализ параметров введенных наносекундных ЭМ импульсов на конце исследуемой двухпроводной линии в зависимости от длины распространения. На рис. 1 представлен способ подключения к двухпроводной линии генератора и нагрузки [4].