

**ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ АНАЛИЗА
РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСНОГО СИГНАЛА
В ПОМЕХОЗАЩИТНЫХ СТРУКТУРАХ
С МОДАЛЬНЫМ РАЗЛОЖЕНИЕМ**

А.С. Южаков, А.А. Бояниевский, студенты каф. РТС;

Н.Р. Веремеенко, студент каф. СВЧиКР

Научный руководитель Е.Б. Черникова, доцент каф. СВЧиКР, к.т.н.

*Проект ГПО СВЧиКР-2504. Разработка аналитического
инструментария для совершенствования устройств защиты
с модальным разложением*

г. Томск, ТУСУР, sv.yuzhakov@yandex.ru

Приведены результаты тестирования программного модуля на основе аналитических моделей для вычисления форм напряжения на выходе активного и пассивных проводников помехозащитных структур с модальным разложением. Подтверждены корректность и применимость программного модуля для оценки эффективности помехозащитных структур.

Ключевые слова: аналитические модели, линии передачи, формы напряжения, перекрестные наводки, устройства защиты.

Широкое применение линий передачи (ЛП) в СВЧ-технике (в том числе устройства защиты с модальным разложением) и связанные с этим проблемы электромагнитной совместимости обуславливают необходимость определения характеристик ЛП. Для этого разработаны аналитические модели временного отклика помехозащитных структур с модальным разложением: 2- и 4-проводных ЛП [1]. На их основе создан прототип программного модуля с графическим интерфейсом. Между тем его верификация выполнена не в полной мере. Цель работы заключается в расчёте и анализе временного отклика и перекрестных наводок помехозащитных структур с помощью разработанного модуля.

Для исследований приняты устройства в виде 2- и 4-проводных ЛП (рис. 1): с сигнальными и опорными проводниками в одной и двух плоскостях на подложке. Первая из них является устройством защиты, а вторая обеспечивает трёхкратное модальное резервирование.

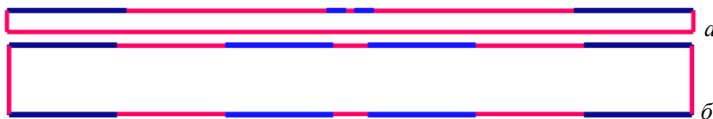


Рис. 1. Поперечные сечения линий передачи: 2-проводных – а; 4-проводных – б

При моделировании использовано воздействие с амплитудой ЭДС 1 В, длительности фронта, спада и плоской вершины по 50 пс. Сопротивления на концах ЛП приняты по 50 Ом. Длина линий $l=1$ м.

Формы напряжения с численной оценкой амплитуд импульсов (в вольтах) представлены на рис. 3 и 4.

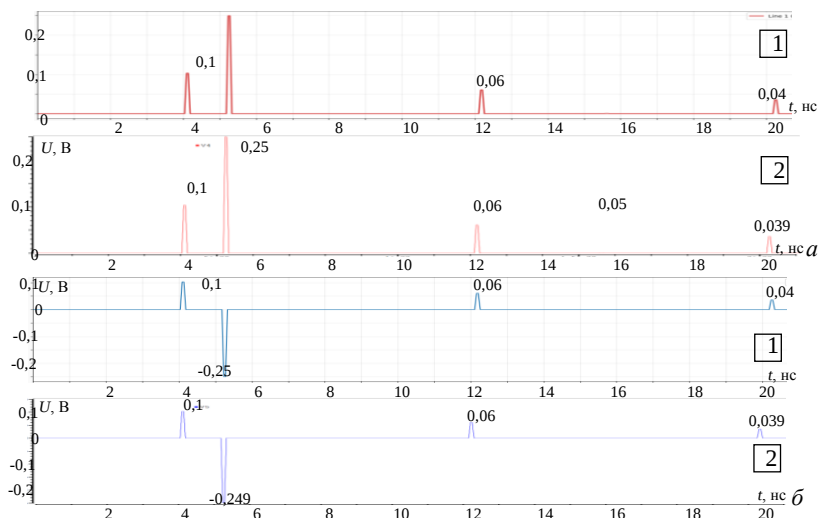


Рис. 2. Формы напряжения на выходе активного (а) (–) и пассивного (б) (–) проводников 2-проводной линии передачи, полученные в разработанном модуле (1) и в ПО TUSUR.EMC (2)

Для получения исходных данных, которые задаются в окне программного модуля, вычислены матрицы погонных коэффициентов электростатической (C) и электромагнитной (L) индукций структур в программе TUSUR.EMC. Для верификации результатов, полученных в программном модуле, выполнено вычисление отклика в TUSUR.EMC.

Из рис. 2 видно, что во временном отклике устройства защиты с проводниками в одной плоскости на диэлектрической подложке на основе 2-проводной линии четко различимы 2 импульса основных мод с задержками $t_1=4,03$ и $t_2=5,17$ нс и 2 переотраженных импульса первой моды с задержками $3t_1=12,1$ и $5t_1=20,17$ нс, при этом переотраженный импульс второй моды приходит с задержкой $3t_2=15,51$ нс и имеет малое значение амплитуды (0,93 мВ).

Из рис. 3 видно, что на выход структуры приходят 4 импульса ($t_1=4,47$ нс, $t_2=4,91$ нс, $t_3=5,91$ нс и $t_4=6,41$ нс) и 5 переотраженных ($3t_1=13,41$ нс, $3t_2=14,73$ нс, $3t_3=17,73$ нс, $3t_4=19,23$ нс и $5t_1=22,35$ нс).

Сравнение форм напряжения на выходе активного проводника и форм перекрестных наводок, вычисленных в программном модуле, показало полное совпадение с результатами из ПО TUSUR.EMC.

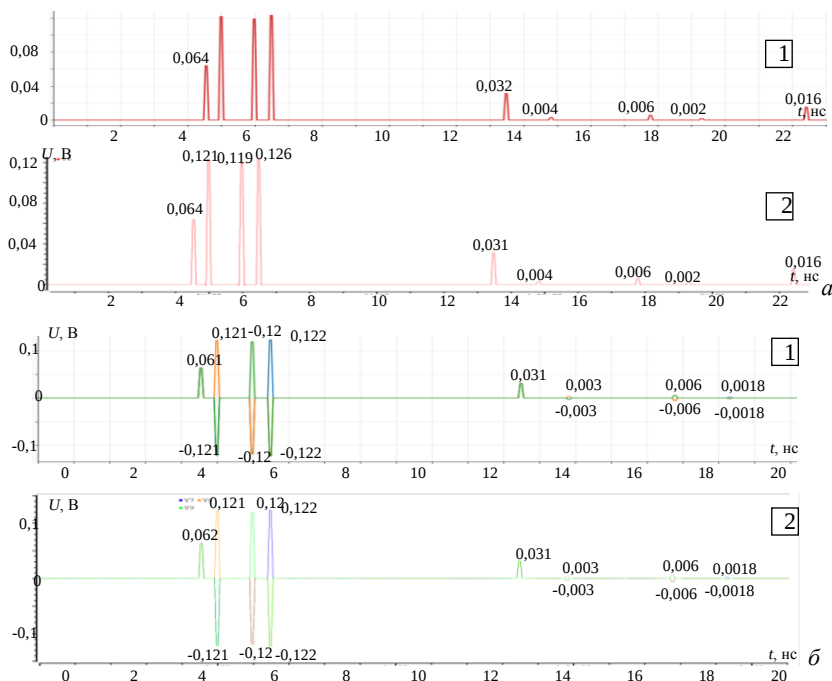


Рис. 3. Формы напряжения на выходе активного (а) (–) и пассивных (б) (–, –, –) проводников 4-проводной линии передачи, полученные в разработанном модуле (1) и в ПО TUSUR.EMC (2)

Таким образом, полученные результаты подтверждают корректность вычислений в программном модуле на основе аналитических моделей и демонстрируют его применимость для анализа распространения импульсного сигнала и оценки характеристик помехозащитных структур с модальным разложением.

Работа выполнена в рамках проекта FEWM-2024-0005 Минобрнауки России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Костелецкий В.П. Аналитические модели для вычисления частотных и временных откликов линий передачи с резистивными нагрузками и учетом асимметрии проводников / В.П. Костелецкий, Е.Б. Черникова, А.М. Заболоцкий // Системы управления, связи и безопасности. – 2022. – № 3. – С. 1–15.