

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Degauique P.* Power-Line communication: channel characterization and modeling for transportation systems // IEEE Vehicular Technology Magazine. – 2015. – Vol. 10, Iss. 2. – PP. 28–37.
2. *ГОСТ 20824–81.* Лак ЭП-730. – СПб.: ООО «Гамма индустриальные краски», 2012. – 2 с.

### **ИЗМЕНЕНИЕ ЗАДЕРЖКИ НЕЧЕТНОЙ МОДЫ С ПОМОЩЬЮ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ ОБЛАСТИ СВЯЗИ ПРОВОДНИКОВ МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА**

*Р.Р. Хажибеков, магистрант каф. ТУ*

*Томск, ТУСУР, r300994@mail.ru*

Для защиты радиоэлектронной аппаратуры от сверхкороткого импульса (СКИ) предложены устройства защиты – модальные фильтры (МФ), основанные на технологии модальной фильтрации [1]. Принцип работы МФ основан на использовании явления модального разложения импульсного сигнала в многопроводных линиях передачи из-за разности задержек мод. В работе [1] представлены результаты исследований, показывающие влияние неоднородного диэлектрического заполнения связанной линии на разность задержек мод. Однако разность задержек мод можно изменить за счет применения периодического профиля области связи – пилообразного или ступенчатого [2]. В таких структурах увеличивается длина пути нечетной моды по сравнению с четной, поскольку токи нечетной моды вытесняются к внутренним краям проводников в области связи, а токи четной моды – к внешним.

Цель работы – исследовать влияние периодического профиля области связи проводников на изменение задержки нечетной моды МФ.

Для исследования используется структура МФ из FR-4 [1, 3] (рис. 1, а), ширина проводников 0,5 мм, толщина 85 мкм, толщина материала 0,4 мм. Сопротивление резисторов, установленных в начале и конце активного и пассивного проводников, равно 100 Ом. При исследовании используется электродинамическое моделирование [4]. В качестве входного воздействия используется импульсный сигнал длительностью 300 пс и амплитудой 10 В (рис. 2).

Результаты моделирования для исходной структуры МФ длиной 2 м представлены на рис. 3. Видно, что задержка для нечетной моды составила 7,5 нс, а для четной – 10,8 нс.

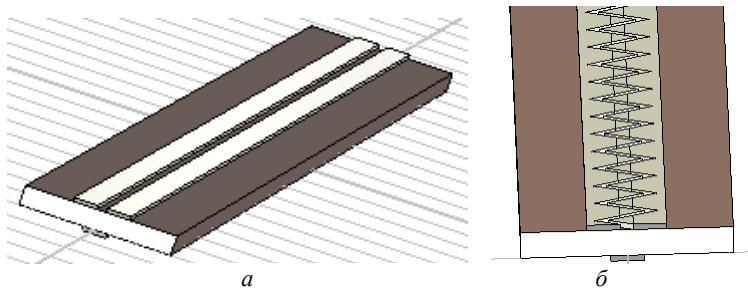


Рис. 1. Исходная структура МФ (а) и МФ с пилообразным профилем области связи между активным и пассивным проводниками (б)

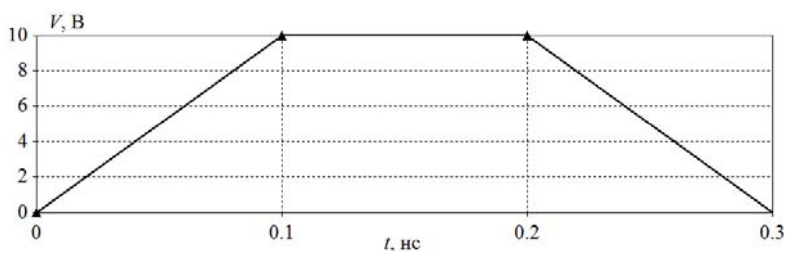


Рис. 2. Входное воздействие

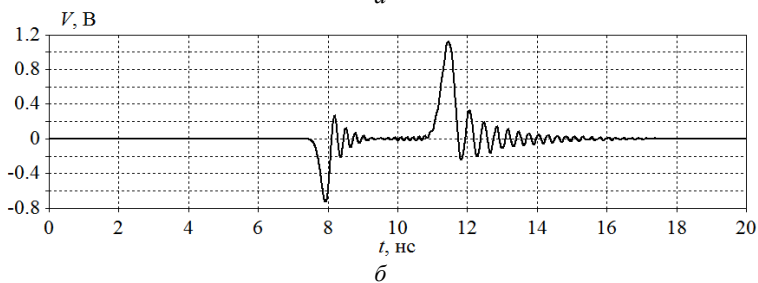
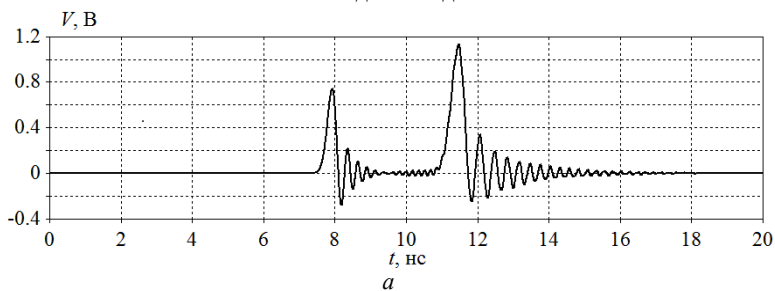


Рис. 3. Формы сигналов для исходной структуры МФ в конце активного (а) и пассивного (б) проводников

На рис. 1, б изображена структура МФ с пилообразным профилем области связи между активным и пассивным проводниками. Результаты моделирования для этой структуры представлены на рис. 4 для длин 1 и 2 м. При этом длины пилообразного профиля области связи равны 1,8 и 3,6 м. Из полученных результатов видно, что при длине структуры МФ 1 м приходит один импульс, как в активном, так и в пассивном проводниках с задержкой 5,2 нс. Происходит выравнивание задержек чётной и нечётной мод. При длине 2 м наблюдается 2 импульса в обоих проводниках, а время задержки нечётной моды составляет 14,5 нс, а для чётной – 11,7 нс.

Таким образом, использование периодического профиля области связи проводников МФ приводит к увеличению задержки нечетной моды.

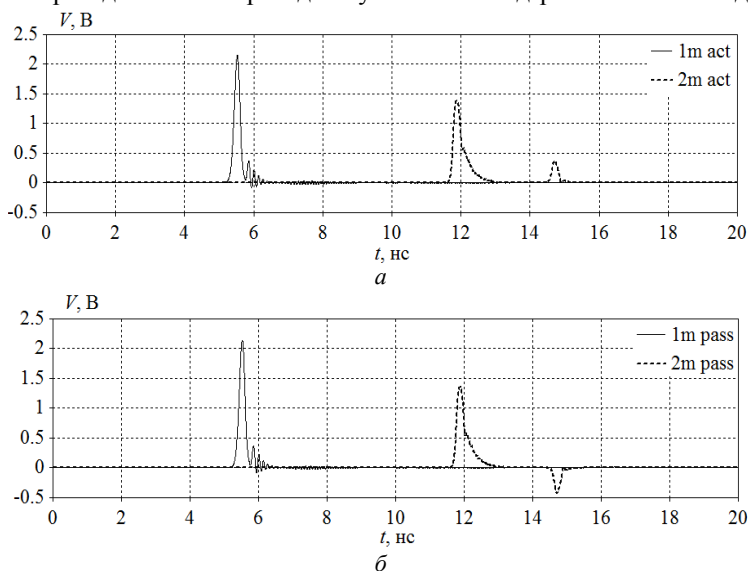


Рис. 4. Формы сигнала для структуры с пилообразным профилем связи в активном (а) и пассивном (б) проводниках для длин 1 м (—) и 2 м (- -)

Математическое моделирование выполнено за счет проекта 8.9562.2017 Минобрнауки Российской Федерации. Численный эксперимент проведен за счет гранта РФ 14-19-01232 в ТУСУРе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Заболоцкий А.М.* Новые решения для обеспечения электромагнитной совместимости бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата / А.М. Заболоцкий, Т.Р. Газизов, И.Ф. Калимулин. – Томск: Изд-во Том. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2016. – 288 с.