

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА С ЛИЦЕВОЙ СВЯЗЬЮ ДЛЯ ЗАЩИТЫ СИЛОВОЙ ШИНЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ОТ СВЕРХКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ

*А.М. Заболоцкий, д-р техн. наук, профессор каф. ТУ*

*Р. Хажибеков, аспирант каф. ТУ*

*г. Томск, ТУСУР, zabolotsky\_am@mail.ru*

Представлены некоторые результаты научно-исследовательской работы студентов по разработке прототипа модального фильтра с лицевой связью для защиты силовой шины электропитания космических аппаратов от сверхкороткого импульса. Результаты моделирования показали, что разработанная структура модального фильтра уменьшает амплитуду сверхкороткого импульса в 3,8 раза. Приведен вид печатной платы с МФ.

**Ключевые слова:** модальный фильтр, сверхкороткий импульс, силовая шина электропитания

Научно-исследовательская работа является неотъемлемой частью обучения магистрантов, так в ходе подготовки по программе «Электромагнитная совместимость радиоэлектронной аппаратуры» они участвуют в разработке прототипов устройств защиты силовой шины электропитания (СШЭП) космических аппаратов (КА) от помех (проект ФЦП ИР, соглашение №14.574.21.0172, 2017–2019 гг.). Кроме того, в разработке устройств защиты участвуют студенты четвертого курса в рамках проекта ГПО ТУ-1801 «Защита силовой шины электропитания от помех».

Цель работы – представить некоторые результаты научно-исследовательской работы по разработке МФ с лицевой связью для защиты СШЭП КА от СКИ.

Одна из задач проекта ФЦП ИР – создание устройств защиты СШЭП от СКИ. Для реализации данной задачи предложено использовать технологию модальной фильтрации [1]. В работах [2–4] показано, что модальный фильтр (МФ) с лицевой связью имеет наибольшую разность задержек мод и наименьшую амплитуду импульсов разложения. Поэтому при создании МФ для защиты СШЭП КА от СКИ использовалась структура с лицевой связью.

При разработке структуры МФ с лицевой связью для защиты СШЭП учитывались следующие требования: максимальный ток потребления прибором 10 А, напряжение пробоя изоляции 600 В, волновое сопротивление 50 Ом, электроизоляция проводников. Параметры СКИ: длительность 0,45 нс, амплитуда 1 кВ. Размер печатной платы не должен превышать 50×120 мм. Моделирование выполнялось в TALGAT.

Поперечное сечение структуры МФ с покрывающими диэлектрическими слоями представлена на рис. 1, где ширина проводника  $w=5,5$  мм, расстояние между проводниками  $s=2$  мм, толщина проводника  $t=0,105$  мм, толщина диэлектрика  $h=0,79$  мм, толщина ПЭК-82 (пенокомпанд эпоксидный)  $hp=2$  мм, длина проводников  $l=276$  мм.

Результаты моделирования представлены на рис. 2. Из полученных результатов видно, что на выходе МФ амплитуда СКИ уменьшается 3,8 раза и разность задержек мод равна 0,8 нс.

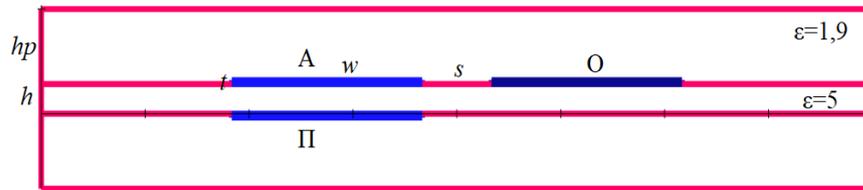


Рис. 1 – Поперечное сечение МФ с лицевой связью для СШЭП КА, где А – активный проводник, П – пассивный проводник и О – опорный проводник

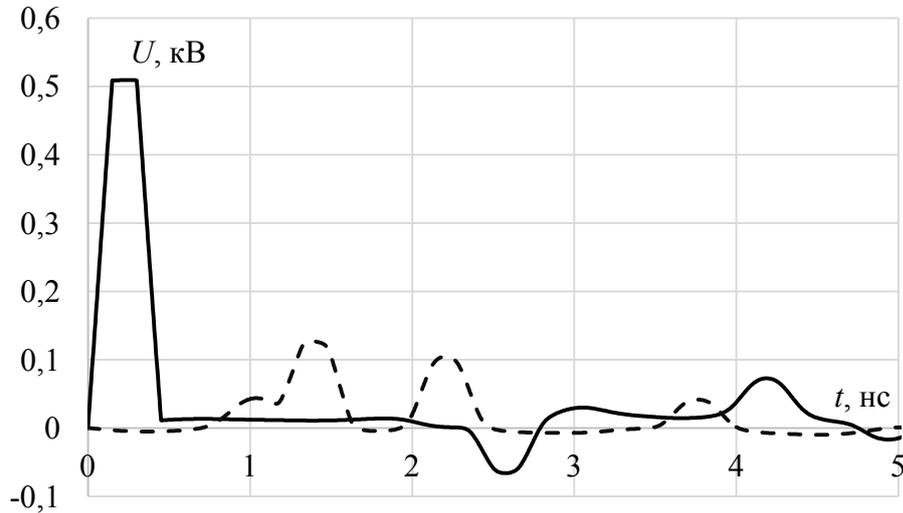


Рис. 2 – Формы напряжения на входе (—) и выходе (- - -) МФ

Вид печатной платы МФ с лицевой связью для защиты СШЭП КА представлен на рис. 3. Проводники свернуты в меандр для достижения размера печатной платы.

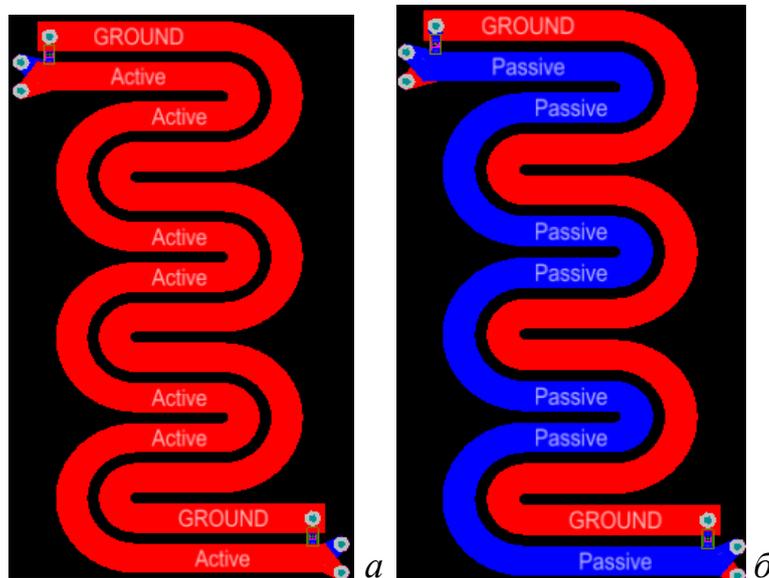


Рис. 3 – Вид печатной платы МФ с лицевой связью: активный и опорный проводники (а), пассивный и опорный проводники (б)

Таким образом, в работе представлен прототип МФ с лицевой связью для защиты СШЭП КА от СКИ. Результаты моделирования показали, что амплитуда СКИ уменьшается в 3,8 раза. Представлен вид печатной платы с МФ.

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. Заболоцкий А.М. Модели, алгоритмы, методики, технологии и устройства для обеспечения электромагнитной совместимости бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата: диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук. Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, 2016. – 359 с.

2. Improved design of modal filter for electronics protection / A.M. Zabolotsky, T.R. Gazizov, A.O. Melkozerov, P.E. Orlov, E.S. Dolganov // Proc. of 31-th Int. conf. on lightning protection. Austria, Vienna, 2–7 September 2012. –2012.

3. Газизов А.Т. Разложение сверхкороткого импульса в модальных фильтрах с лицевой и торцевой связью / А.Т. Газизов, А.М. Заболоцкий // Современные проблемы радиоэлектроники: сб. науч. тр. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2015. – С. 317-319.

4. Gazizov A.T. Printed Structures for Protection Against UWB Pulses / A.T. Gazizov, A.M. Zabolotsky, O.A. Gazizova // 16-th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2015: Conference Proceedings. Novosibirsk State Technical University. Altai, Erlagol – 29 June – 3 Jule, 2015. – 2015. – P. 120-122.