

Рис. 4. Формы напряжения на дальнем конце структуры ПП с трехкратным МР: без отводов (—), с отводами под углами 90° (---), 60° (····) и 45° (- · -) относительно горизонтали

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 20-19-00446) в ТУСУРе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Patel M.R. Spacecraft power systems. – New York: CRC Press, 2005. – 734 p.
2. Analysis of reservation methods based on modal filtration / V.R. Sharafutdinov, T.R. Gazizov // Systems of Control, Communication and Security. – 2019. – P. 117–144.
3. Belousov A.O., Medvedev A.V., Chernikova E.B., Gazizov T.R., Zabolotsky A.M. Switching order after failures in symmetric protective electrical circuits with triple modal reservation // Symmetry. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). – 2021. – Vol. 1074, № 13(6). – 22 p.

УДК 621.391

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТОДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ В СТРУКТУРЕ С ДВУКРАТНЫМ МОДАЛЬНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ

*М.С. Мурманский, студент; Е.С. Жечев, ассистент
г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, mihailmurmanskii@gmail.com*

Исследуется структура с двукратным модальным резервированием с наличием магнитодиэлектрического покрытия и без него. Выполнен анализ излучаемых эмиссий.

Ключевые слова: модальная фильтрация, временной отклик, модальное резервирование, ТЕМ-камера, магнитодиэлектрик.

Широкое внедрение радиоэлектронных средств привело к тому, что при одновременной работе элементов они начинают оказывать влияние друг на друга [1]. Для повышения функциональной безопас-

ности и надежности предложен способ модального резервирования (МР). За счет сильной электромагнитной связи между резервной и резервируемой цепями можно добиться разложения сверхкороткого импульса (СКИ) на последовательность импульсов меньшей амплитуды. [2]. Для анализа излучаемых эмиссий использовалась ТЕМ-камера, которая была построена по параметрам из [3]. Одним из эффективных методов обеспечения электромагнитной совместимости является применение магнитоэлектрических покрытий [4].

Цель работы – исследовать влияние магнитоэлектрического покрытия на уровень излучаемых эмиссий в структуре с двукратным МР.

На рис. 1 представлена эквивалентная схема включения структуры с двукратным МР.

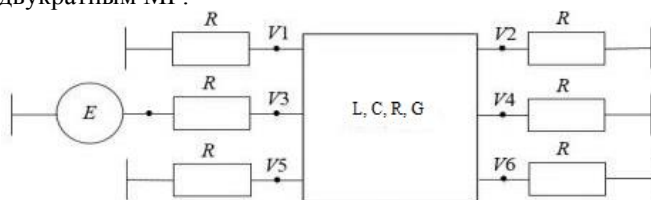


Рис. 1. Эквивалентная схема включения структуры с двукратным МР

Смоделирована печатная плата (ПП) в структуре с двукратным МР, параметрами поперечного сечения: $s = 300$ мкм, $w = 400$ мкм, $\epsilon_r = 4,6$, $t = 35$ мкм, $h = 500$ мкм. Номиналы сопротивления $R = 50$ Ом на схеме (см. рис. 1).

В качестве среды моделирования использовалась система электродинамического моделирования Advanced Design System (ADS). Поперечное сечение объекта при $h = 30,25$ мм показано на рис. 2.

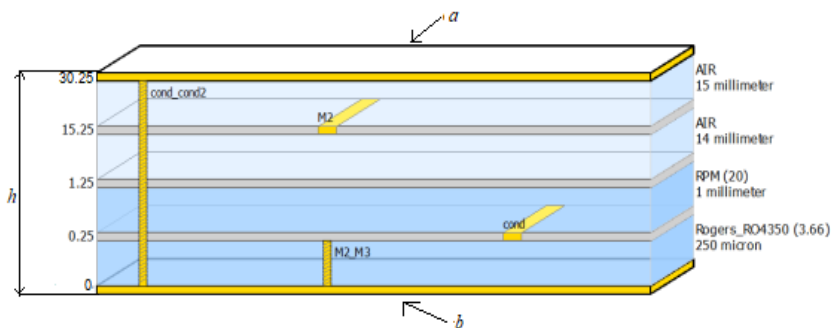


Рис. 2. Конфигурация слоев ТЕМ-камеры построенной в системе ADS:
 a – верхняя граница ТЕМ-камеры; b – нижняя граница ТЕМ-камеры;
 h – высота ТЕМ-камеры

Для анализа излучаемых эмиссий выполнено 2 варианта моделирования:

1. Без магнитоэлектрического покрытия.
2. С магнитоэлектрическим покрытием (когда пространство между TEM-камерой и печатной платой заполнялось магнитоэлектрическим покрытием с параметрами: $\epsilon_r = 20$, $\mu = 4$, $h = 1$ мм).

При моделировании двух вариантов на центральный проводник (узел 3) подавался трапецеидальный импульс с параметрами: амплитуда 1 В, длительностями фронта, спада и плоской вершины – 0,2 пс. На рис. 3 представлен макет платы, встроенный в TEM-камеру, в системе ADS.

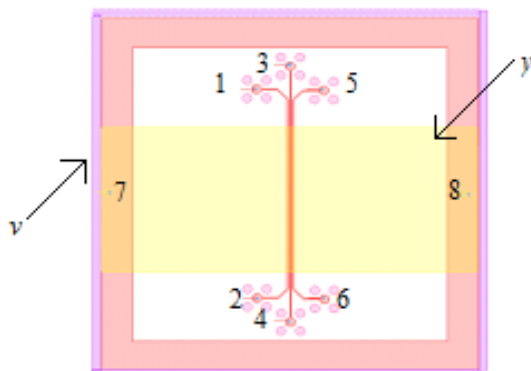


Рис. 3. Макет ПП с двукратным МР в составе TEM-камеры в системе ADS:
 v – боковая грань TEM-камеры; y – центральный проводник TEM-камеры,
 $1-7$ – узлы

Далее необходимо проанализировать полученный временной отклик (4) и излучаемые эмиссии на центральный проводник TEM-камеры (7).

На рис. 4 представлены графики временного отклика (4) и наведенного напряжения (7).

Из рис. 4, *а* видно, что применение магнитоэлектрического покрытия уменьшило амплитуду импульсов разложения на 0,17 В и увеличило время спада и фронта. Из рис. 4, *б* видно, что применение магнитоэлектрического покрытия уменьшило наведенное напряжение на 0,2 В.

Таким образом, применение магнитоэлектрического покрытия дает большее ослабление за счет уменьшения амплитуды импульсов разложения и наведенного напряжения. В дальнейшем планируется изготовить макет ПП и провести экспериментальное исследование в частотной и временной областях в TEM-камере.

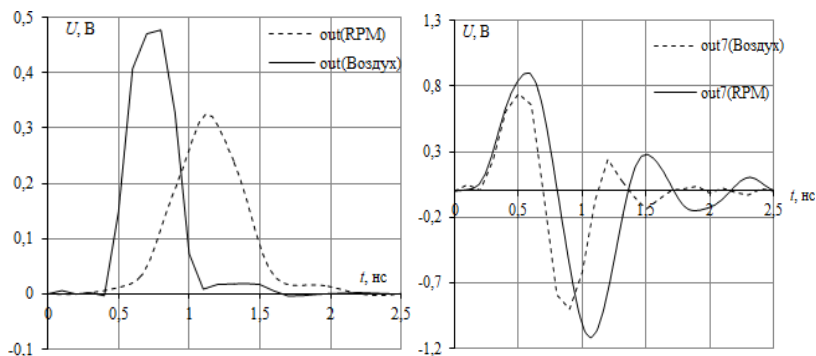


Рис. 4. Временной отклик на трапецеидальный импульс для структуры с двукратным МР без магнитодиэлектрического покрытия и с ним (а), а также формы наведенного напряжения на центральный проводник ТЕМ-камеры (б)

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22-29-01331).

ЛИТЕРАТУРА

1. Харлов Н.Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: учеб. пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 207 с.
2. Хасан А. Алхадж, Жечев Е.С., Газизов Т.Р. Оценка излучаемых эмиссий структуры с однократным модальным резервированием // Электронные средства и системы управления. – 2020. – С. 250–253.
3. Демаков А.В., Комнатнов М.Е. Разработка ТЕМ-камеры для испытаний интегральных схем на электромагнитную совместимость // Доклады ТУСУР. – 2018. – С. 52–55.
4. Беспалова Е.Е., Беляев А.А., Широков В.В. Радиопоглощающие материалы для СВЧ-излучения высокой мощности // Труды ВИАМ. – 2015. – № 3. – С. 45–51.

УДК 621.382.334

ПАЗАРИТНАЯ ЁМКОСТЬ ПОСАДОЧНОГО МЕСТА С УЧЁТОМ ПРИПОЯ НА ЭЛЕКТРОДАХ ТРАНЗИСТОРА

И.И. Николаев, А.А. Дроздова, аспиранты

*Научный руководитель М.Е. Комнатнов, доцент каф. ТУ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, nikolaev.727@yandex.ru*

Представлена квазистатическая модель посадочного места корпуса транзистора для поверхностного монтажа на печатной плате с учётом припоя. Вычислены матрицы коэффициентов электростатической индукции посадочных мест с учётом припоя для биполярного (BFU590G) и полевого (IRFZ46) транзисторов. На основе вычис-