

Таким образом, спроектированы и изготовлены макеты ПП с двукратным и трехкратным МР.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Analysis of reservation methods based on modal filtration / V.R. Sharafutdinov, T.R. Gazizov // Systems of Control, Communication and Security. – 2019. – P. 117–144.

2. Оценка излучаемых эмиссий структуры с однократным модальным резервированием / А. Алхадж Хасан, Е.С. Жечев, Т.Р. Газизов // Электронные средства и системы управления. – 2020. – С. 250–253.

3. ГОСТ. 23751–79. Печатные платы. Требования и методы конструирования.

УДК 621.391.82

РАЗРАБОТКА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ С ТРЕХКРАТНЫМ МОДАЛЬНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ С ИСПОЛНЕНИЕМ ОПОРНОГО ПРОВОДНИКА В ВИДЕ БОКОВЫХ ПОЛИГОНОВ

А.М. Лакоза, А.В. Медведев, аспиранты

*Научный руководитель А.М. Заболоцкий, проф. каф. ТУ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, alexandrlakoz@gmail.ru*

Разработана печатная плата с трехкратным модальным резервированием с исполнением опорного проводника в виде боковых полигонов. Показано, что для отводов с углами 90 и 60° наблюдается наименьшее влияние отражений от нагрузок по сравнению с отводом в 45°. Для реализации печатной платы с трехкратным модальным резервированием выбрана конфигурации отводов с углом наклона 90°.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, модальное резервирование, печатная плата.

Для создания надежной радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) необходимо уделять пристальное внимание функциональной безопасности и электромагнитной совместимости [1]. Модальное резервирование (МР) – это подход к компоновке и трассировке резервируемых электрических межсоединений, при котором между резервируемой и резервной цепями образуется сильная электромагнитная связь [2]. Это позволяет осуществить защиту электрических цепей от сверхкороткого импульса (СКИ) за счет модальных искажений. Выделяют однократное и многократное МР (двукратное и трехкратное). Исследова-

ния структуры печатной платы (ПП) с трехкратным МР с исполнением опорного проводника в виде боковых полигонов показали, что из-за различия связей между проводниками важен порядок их переключения [3]. Так, в случае отказа, моделируемого либо коротким замыканием (КЗ), либо обрывом (ХХ) на одном из концов резервируемой цепи, после переключения на резервную цепь максимальное напряжение импульсов разложения на выходе изменяется. Для экспериментальной оценки этих изменений необходимо разработать макет ПП с МР. Цель работы – разработать ПП с трехкратным МР с исполнением опорного проводника в виде боковых полигонов.

На рис. 1 изображены топология слоев и поперечное сечение макета двусторонней ПП с МР.

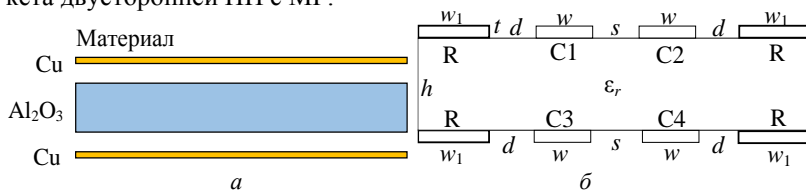


Рис. 1. Топология слоев макета (а) и поперечное сечение (б) ПП с МР

В качестве диэлектрического материала подложки используется оксид алюминия Al_2O_3 высокой степени очистки (порядка 98%) с параметрами: диэлектрическая прочность – 22 кВ/мм, тангенс угла диэлектрических потерь δ – 0,0003, теплопроводность λ – 30 Вт/(м·К), относительная диэлектрическая проницаемость ϵ_r – 9,8±0,1. Исследуемая структура имеет следующие геометрические размеры: ширина дорожек w = 850 мкм, расстояние между дорожками s = 250 мкм, ширина опорного полигона w_1 = 1800 мкм, высота диэлектрической подложки h = 600 мкм, толщина проводящего слоя t = 130 мкм, длина структуры l = 300 мм (без учета соединителей и отводов). Данные параметры оптимизированы для максимизации интервалов и обеспечения согласования к тракту 50 Ом.

Для подключения нагрузок и измерительного оборудования в конструкции ПП применяются SMA-соединители марки 0732511350, подключенные к регулярной части ПП. Поскольку топология платы не позволяет подключить их напрямую (без нарушения регулярности ПП), используются отводы, длина которых выбирается таким образом, чтобы расстояние между центрами коаксиальных SMA-соединителей для всех случаев не превышало 1,5 мм. Исходя из условия, длины отводов имеют следующие значения: для угла наклона 45° длина отвода составляет 9,09 мм, для 60° – 7,283 мм, для 90° – 7,095 мм.

На рис. 2 изображены отводы исследуемой структуры в различных конфигурациях исполнения.

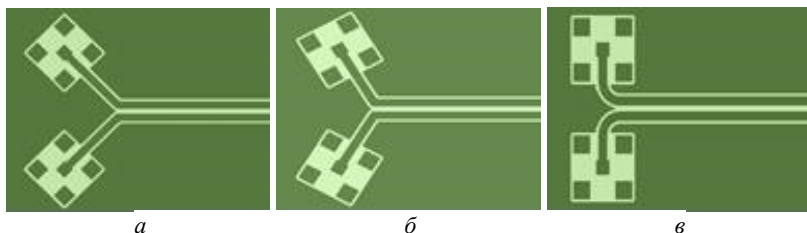


Рис. 2. Конфигурации отводов исследуемой структуры: наклон 45° (а); 60° (б) и 90° (в) относительно горизонтали

Рассматриваемые углы наклона отводов линии выбраны с точки зрения типовых топологий разводки ПП: несмотря на то, что угол наклона 90° относительно горизонтали позволяет максимально эффективно расположить компоненты относительно друг друга, одновременно снижая длину отводов до минимально возможных, применение подобного вида трассировки в некоторых случаях невозможно.

На рис. 3 представлена принципиальная схема для моделирования исследуемых структур с учетом отводов в сравнении со структурой без отводов. На вход принципиальной схемы подается СКИ с ЭДС 2 В и длительностями фронта, плоской вершины и спада по 50 пс. Нагрузки выбраны равными 50 Ом. Рисунок 4 отображает влияние конфигурации и длины отводов на формы импульсов разложения на дальнем конце ПП с МР относительно идеализированного случая линии без отводов.

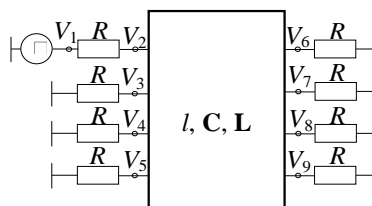


Рис. 3. Принципиальная схема структуры с МР

Видно, что для отводов с углами 90° и 60° наблюдается наименьшее влияние отражений от нагрузок по сравнению с 45° . Для реализации ПП с трехкратным МР выбрана конфигурации отводов углом 90° .

Таким образом, разработан макет ПП с трехкратным модальным резервированием с исполнением опорного проводника в виде боковых полигонов.

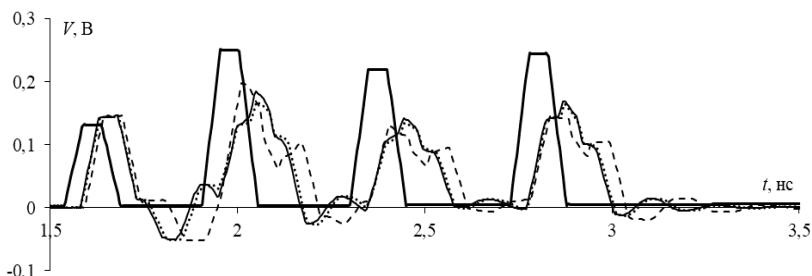


Рис. 4. Формы напряжения на дальнем конце структуры ПП с трехкратным МР: без отводов (—), с отводами под углами 90° (---), 60° (····) и 45° (- · -) относительно горизонтали

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-