

того, в небольшом диапазоне после этой точки (в области 10 МГц) уровень эмиссий при $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ниже, чем при $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, тогда как почти во всем диапазоне ниже 3 МГц уровень был выше почти на 10 дБ.

Таким образом, в зависимости от того, как температура влияет на компоненты, составляющие фильтр ЭМП, изменение температуры может улучшить или ухудшить ослабление уровня кондуктивных эмиссий. Это также делает актуальным повышение точности учета влияния температуры на частотные характеристики компонентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hani F., Boulzazen H., Kadi M. High-frequency characterization and modeling of EMI filters under temperature variations // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – Dec. 2017. – Vol. 59. – No. 6. – P. 1906–1915.

ОБЗОР МЕТОДОВ И ПОДХОДОВ К МОДЕЛИРОВАНИЮ МЕАНДРОВЫХ ЛИНИЙ ЗАДЕРЖКИ

Е.А. Сердюк, студент; А.В. Носов, аспирант

Научный руководитель Р.С. Суровцев, доцент каф. ТУ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, serduk.10@mail.ru

В настоящее время радиоэлектронная аппаратура (РЭА) является неотъемлемым компонентом практически всех сфер деятельности человека. Поэтому от ее бесперебойной работы зависит безопасность каждого человека и современного общества в целом. В связи с высокой плотностью монтажа межсоединений на печатной плате, уменьшением рабочих напряжений устройств и возрастающей верхней граничной частотой спектра используемых сигналов при проектировании РЭА необходимо особое внимание уделять электромагнитной совместимости (ЭМС). Одной из задач ЭМС является обеспечение защиты РЭА от электромагнитных воздействий, которые могут быть вызваны перенапряжением, природными явлениями (вторичное проявление разряда молнии) или являться результатом преднамеренных действий человека в террористических целях. Особую опасность представляют сверхкороткие импульсы (СКИ) наносекундного и субнаносекундного диапазонов. Такие СКИ способны проникать внутрь РЭА и выводить ее чувствительные цифровые цепи из строя. Существующие устройства защиты зачастую неспособны обеспечить должной защиты от таких воздействий в силу недостаточного быстродействия и малой мощности [1]. Поэтому по-прежнему остается актуальным поиск новых эффективных устройств защиты РЭА от СКИ.

В этой связи предложен простой подход к защите РЭА, основанный на разложении СКИ в витке меандровой линии задержки за счет

модальных искажений сигнала [2]. Между тем, при проектировании традиционных меандровых линий задержки эти искажения нежелательны и являются одним из основных факторов, влияющих на изменение задержки [3]. Исследованию подходов к компенсации искажений посвящено множество работ исследователей со всего мира [4–11]. Поэтому при проектировании таких устройств необходим детальный предварительный анализ искажений и моделирование распространения сигнала в меандре (как полезного, так и помехового). Многообразие известных численных методов дает возможность выбора наиболее корректного и точного метода для моделирования поставленной задачи. Однако указанные исследования защитных меандровых линий из [3] выполнены на основе метода моментов (МоМ) для вычисления матриц погонных коэффициентов линии и модифицированного метода узловых потенциалов для моделирования отклика сигнала в линии. Поэтому целесообразно выполнить обзор других численных методов, которые применяются для моделирования меандровых линий и провести сравнение. Поэтому цель данной работы выполнить обзор методов и подходов к моделированию меандровых линий задержки.

Наиболее простым, но при этом достаточно точным из численных методов, применяемых для моделирования межсоединений, является МоМ. Так известно его использование для вычисления задержки сигнала в меандровых линиях печатных платах вычислительных систем [9]. При моделировании учтены трехмерная конфигурация линии, в том числе толщина сигнальной линии, изгибы линии и скин-эффект. Рассматриваются линии задержки, имеющие разные разности между проводниками, а полученные результаты сравниваются с результатами двумерного моделирования в других коммерческих программных продуктах, а также с аналитическими формулами из литературы и экспериментальными измерениями.

В результате выявлено, что для определения относительной задержки в меандровой линии с различными разностями между проводниками предпочтительнее использовать аналитические методы, а для настройки фазового сдвига импульсов более точным является полноволновой подход. В другом исследовании представлены результаты сравнения трех численных методов (метода конечных разностей во временной области, метода конечных элементов (МКЭ) и МоМ) для моделирования меандровой линии задержки [10]. Для определения параметров линии применяются полноволновой метод конечных разностей во временной области и упрощенный метод конечных разностей с использованием уравнений для многопроводных линий. Выполнено сравнение вычисленных форм выходного напряжения с использованием указанных методов, а результаты сравнены с двумя ал-

горитмами, основанными на МКЭ и подходами на основе МоМ. В результате продемонстрировано хорошее согласование полученных результатов. В еще одном исследовании выполнено моделирование линий задержки с использованием метода эквивалентных схем частичных элементов и метода конечных разностей во временной области [11].

В работе выполнено сравнение результатов, полученных методом конечных разностей во временной области и методом эквивалентных схем частичных элементов. Каждый из исследуемых методов решает одну задачу совершенно по-разному, но тем не менее показано хорошее совпадение результатов.

Из представленного обзора видно, что существуют различные методы и подходы к моделированию меандровых линий задержки. Наиболее известным и хорошо исследованным является МоМ, который широко применяется для моделирования различных межсоединений в рамках квазистатического подхода. Выявленное хорошее совпадение результатов, полученных с помощью МоМ с другими более точными и затратными методами говорит о приемлемой точности МоМ при малых затратах на моделирование. В дальнейшем необходимо выполнить моделирование защитных линий задержки с применением других численных методов и сравнить полученные результаты.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI57417 X0172.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gizatullin Z.M. Investigation of the Immunity of Computer Equipment to the Power-Line electromagnetic Interference / Z.M. Gizatullin, R.M. Gizatullin // Journal of Communications Technology and Electronics. – Vol. 61. – No. 5. – P. 546–550.
2. Surovtsev R.S. Possibility of Protection Against UWB Pulses Based on a Turn of a Meander Microstrip Line / R.S. Surovtsev, A.V. Nosov, A.M. Zabolotsky, T.R. Gazizov // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – Vol. 59. – No. 6. – P. 1864–1871.
3. Лысенко А.А. Автоматическое формирование линий задержки в топологии печатного монтажа / А.А. Лысенко, Ю.Т. Лячек, О.Б. Полубасов // Известия Санкт-Петербургского гос. электротехн. ун-та ЛЭТИ. – 2011. – № 9. – С. 61–65.
4. Wu R.B. Laddering wave in serpentine delay line / R.B. Wu, F.L. Chao // IEEE Transactions on components, packaging, and manufacturing technology. – 1995. – part B, Vol. 18, No. 4. – P. 644–650.
5. Wu R.B. Flat spiral delay line design with minimum crosstalk penalty // IEEE Transactions on components, packaging, and manufacturing technology. – 1995. – Part B, Vol. 19, No. 2. – P. 397–402.

6. Sudo T. Experimental characterization and numerical modeling approach of meander delay lines / T. Sudo, J. Kudo, Y. Ko, K. Ito // IEEE International EMC Symposium. – Minneapolis. – 2002. – Vol. 2. – P. 711–715.

7. Ramahi O.M. Analysis of conventional and novel delay lines: a numerical study // Applied Computational Electromagnetics Society journal. – 2003. – No. 3. – P. 181–190.

8. Amplitude equalized transmission line dispersive delay structure for analog signal processing / S. Gupta, Y. Horii, B. Nikfal, C. Caloz // Telecommunication in Modern Satellite Cable and Broadcasting Services (TELSIKS), 2011 10th International Conference on. – Nis, Serbia, 2011. – P. 379–382.

9. Rubin B.J. Study of meander line delay in circuit boards / B.J. Rubin, B. Singh // IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques. – 2000. – Vol. 48. – P. 1452–1460.

10. Bhobe A.U. Meander delay line challenge problems: a comparison using FDTD, FEM and MoM / A.U. Bhobe, C. Lolloway, M. Picket-May // Int. Symposium on EMC. – 2001. – P. 805–810.

11. Archambeault B. Using PEEC and FDTD to solve the challenge delay line problem / B. Archambeault, A. Roden, O. Ramahi // IEEE EMC Symposium. – Montreal, Canada, 2001. – Vol. 2. – P. 1–4.

ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСЛУГ

И.А. Трубоченинова, магистрант; А.В. Бусыгина, ассистент

г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, trubcheninova.ia@mail.ru

Одной из ключевых задач текущего этапа общественного развития является обеспечение качественного образования. Для ее успешного решения важно проводить регулярный анализ качества образовательной деятельности, выявляющий его сильные и слабые стороны. Под качеством образования понимается степень соответствия результатов образования предъявляемым к ним требованиям, которые регламентированы различными нормативно-правовыми актами. В документе [1] перечислены основные показатели оценки, касающиеся открытости и доступности информации об университете, комфортности условий, компетентности преподавательского состава, удовлетворённости качеством образовательной деятельности. При этом каждый показатель имеет несколько критериев, которые позволяют осуществить оценку.

Вопрос об оценке качества образования стал актуален для кафедры телевидения и управления (ТУ) ТУСУР. Причиной этого стало открытие в 2015 году магистерских программ на кафедре, что является новым направлением работы и поэтому важно выяснить качество