

**АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХ СВЯЗАННЫХ ЛИНИЙ
ПЕРЕДАЧИ В ВИДЕ СПИРАЛИ****М.С. Мурманский, магистрант каф. ТУ***Научный руководитель Е.С. Жечев, доцент СВЧУКР, к.т.н.**г. Томск, ТУСУР, mihailmurmanskii@gmail.com*

Дан анализ характеристик двух связанных линий передачи в виде спирали, расположенных на внутреннем слое печатной платы. Показано, что предложенная схема трассировки позволяет ослабить импульс сверхширокополосной электромагнитной помехи в 2,67 раза.

Ключевые слова: *N*-нормы, временной отклик, микрополосковые линии передачи.

Микрополосковые линии передачи широко используются в современных печатных платах (ПП), работающих до сотен ГГц. Такие линии часто служат в качестве линий задержки [1]. Ранее в [2] было предложено располагать близко две линии передачи, расположенные на внешнем слое ПП, и трассировать их проводники в виде спирали и меандра. Благодаря этому удалось увеличить помехоподавление сверхширокополосных помех в линиях передачи при контролируемом уровне дальней перекрестной помехи. Целью же данной работы является анализ характеристик двух связанных линий передачи в виде спирали, расположенных на внутреннем слое ПП.

Исследуемая структура. На рис. 1, *а* представлено поперечное сечение предложенной структуры. Видно, что проводники располагаются на внутреннем слое ПП. На рис. 1, *б* показана эквивалентная схема включения двух связанных линий передачи. Помеховое воздействие подается с помощью генератора E с внутренним сопротивлением R_s на порт 1, выходной сигнал снимается с порта 2. Номинал резисторов принят равным 50 Ом.

В качестве помехового воздействия использован Гауссов импульс (0,1–6 ГГц), который соответствует определению СШП-помехи согласно стандарту МЭК [3]. Геометрические параметры структуры (мкм): $w = 200$, $s = 50$, $d = 50$, $h = 68$, $h_1 = 70$, $l = 189$ мм. Параметры используемых диэлектрических материалов 1035HRC ($\epsilon_{r1} = 3,05$, $\text{tg}\delta_1 = 0,040$) и 1078 ($\epsilon_r = 3,26$, $\text{tg}\delta = 0,040$) [4]. Для проведения электродинамического моделирования использована программа COMSOL Multiphysics. На рис. 2 представлены вычисленные формы напряжений в портах 1 и 2.

Из рис. 2. видно, что предложенная схема трассировки в виде спирали, расположенной на внутреннем слое ПП, позволяет умень-

шить пиковое значение напряжения СШП ЭМП в 2,67 раза. Для более детального анализа в таблице представлены вычисленные значения N -норм для форм напряжения на входе и выходе структуры. N -нормы используются для оценки форм сигналов во временной области [5].

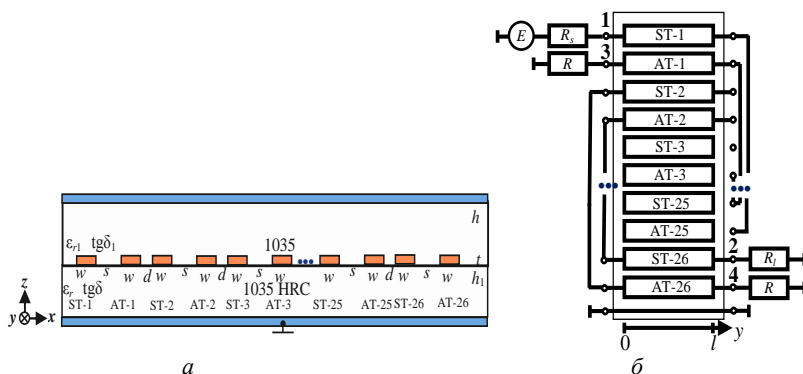


Рис. 1. Поперечное сечение (а) и эквивалентная схема включения (б) связанных линий передачи со схемой трассировки в виде спирали

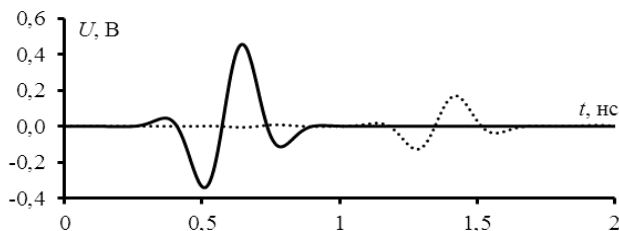


Рис. 2. Вычисленные формы напряжения в портах 1 (—) и 2 (---)

Вычисленные N -нормы форм напряжений в портах 1 и 2

Источник	N_1	$N_2 \cdot 10^9$	$N_3 \cdot 10^{-12}$	$N_4 \cdot 10^{-11}$	$N_5 \cdot 10^{-6}$
Порт 1	0,454	9,370	6,460	9,224	5,046
Порт 2	0,17	3,186	1,888	6,221	2,022

Показано, что в исследуемой структуре, при заданном помеховом воздействии, значение N_1 снижается в 2,67 раза, N_2 – в 2,94 раза, N_3 – в 3,42 раза, N_4 – в 1,48 раза, N_5 – в 2,49 раза. При этом значение N_3 ослабляется в 3,43 раз. Таким образом, использование данной схемы трассировки позволяет снизить пиковое значение напряжения СШП ЭМП в 2,67 раза.

Исследование выполнено в рамках проекта FEWM-2024-0005 Минобрнауки России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dai X. Implicit periodic strong reflection points of UWB Hilbert fractal time delay lines and the performance improvements / X. Dai, W. Feng, W. Che // IEEE Trans. Microw. Theory Techn. – Oct. 2022. – Vol. 70, No. 10. – P. 4376–4388.
2. Zhechev Y.S. et al. Routing Technique for Microwave Transmission Lines to Ensure UWB Interference Immunity // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2023. – Vol. 12, No. 71. – P. 5304–5316.
3. Electromagnetic Compatibility (EMC). – Part 1–5: High Power Electromagnetic (HPEM) Effects on Civil Systems // IEC. 61000-1-5. – Ed: IEC. – 2004.
4. Intel Agilex® 7 Device Family HighSpeed Serial Interface Signal Integrity Design Guidelines [Электронный ресурс]. – Сайт Intel: <https://device.report/manual/11296866> (дата обращения: 12.04.2024).
5. Baum C.E. Norms and eigenvector norms // Math. Notes. – 1979. – Vol. 63. – P. 1–42.

УДК 621.391.825

ВЛИЯНИЕ ЗАЗЕМЛЕННЫХ ЗАЩИТНЫХ ТРАСС НА ПОМЕХОПОДАВЛЯЮЩИЕ СВОЙСТВА ДВУХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПАР

С.В. Власов, магистрант

*Научный руководитель Е.С. Жечев, доцент каф. СВЧуКР, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, Lukashinka12@gmail.com*

Представлены результаты моделирования характеристик двух связанных дифференциальных пар с защитными трассами и без них. Результаты показали, что применение защитных трасс ухудшают помехоподавляющие свойства, но уменьшает наведенное напряжение на вторую дифференциальную пару.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, дифференциальная пара, сверхширокополосная помеха.

Обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС) является ключевым аспектом в проектировании современных радиоэлектронных систем. Дифференциальные пары играют важную роль в передаче сигналов на высоких частотах, и их надежное функционирование в различных электромагнитных средах критично [1].

Для обеспечения ЭМС, в частности, защиты от различных видов помех применяют разнообразные технические решения, такие как TVS-диоды, варисторы, LC-фильтры и т.д. [2]. Эти меры направлены на защиту дифференциальных пар от разрядов статического электричества, перенапряжений, шумов и других внешних воздействий. Важно учитывать не только защиту от внешних помех, но и уменьшение