

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЛАГОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ НА УРОВЕНЬ ПЕРЕКРЕСТНЫХ НАВОДОК В ПЯТИПРОВОДНОЙ ШИНЕ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

*В.А. Сирица, студент; А.В. Носов, магистрант;
Р.С. Суровцев, доцент каф. ТУ, к.т.н.*

При эксплуатации радиотехнических систем военной, морской и ракетно-космической отраслей большую роль играет стабильность работы радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Постоянный рост скорости и плотности монтажа межсоединений печатных плат РЭА приводит к росту уровня перекрестных наводок, которые могут привести к отказам работы РЭА. Поэтому возникает необходимость разработки новых подходов к компенсации и способов уменьшения уровня перекрестных наводок.

Известно, что нанесение покрывающего диэлектрического слоя оптимальной толщины на пару связанных линий позволяет уменьшить амплитуду наводок [1]. Аналогичное исследование выполнено на примере восьмипроводной шины реальной печатной платы бортовой РЭА космического аппарата, где показана возможность уменьшения амплитуды наводок более чем в 2 раза [2]. Между тем ряд вопросов остается не исследованным. Например, не исследована возможность уменьшения амплитуды перекрестных наводок при неполном покрытии межсоединения диэлектрическим слоем. Целью данной работы является исследование влияния толщины влагозащитного покрытия на уровень перекрестных наводок при частичном нанесении диэлектрика на поверхность межсоединения.

Для проведения исследований выбрана пятипроводная линия передачи с типовыми геометрическими параметрами печатных плат. Поперечное сечение отрезка с покрытием представлено на рис. 1, *а*, а без покрытия – на рис. 1, *б*. Параметры поперечного сечения: ширина проводника w и расстояние между проводниками s выбраны по 200 мкм, высота проводника $t = 35$ мкм, толщина основы $h_c = 100$ мкм, диэлектрическая проницаемость основы $\varepsilon_{rc} = 3$, диэлектрическая проницаемость покрывающего слоя $\varepsilon_{rv} = 4,5$. Построение поперечных сечений и все дальнейшее моделирование выполнено в системе TALGAT [3].

Схема соединения линии передачи представлена на рис. 2, где обозначения l_1 и l_2 введены для длин отрезков межсоединения с покрывающим слоем и без него соответственно. Общая длина линии $l = l_1 + l_2$ выбрана 100 мм. В качестве воздействия выбран импульс в виде трапеции: ЭДС $E_0 = 1$ В, длительности фронта/спада $t_f = t_r = 1$ нс, плоской вершины – $t_d = 8$ нс.

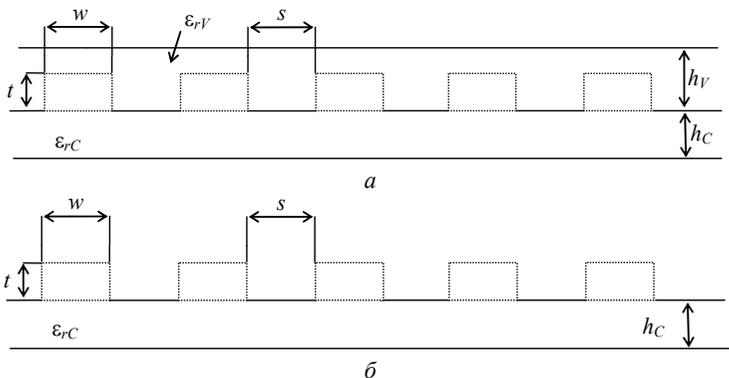


Рис. 1 Поперечные сечения отрезков пятипроводного межсоединения с покрывающим слоем (а) и без него (б)

В качестве активного выбран центральный проводник. Выполнено вычисление форм сигнала на пассивных проводниках в начале и конце межсоединения. Поскольку структура имеет центральную симметрию, то далее на графиках представлены формы сигнала в узлах на ближнем ($V1, V4$) и дальнем ($V3, V6$) концах только двух пассивных проводников от края структуры. Рассмотрен рассогласованный случай: сопротивления на ближнем конце линии приняты $R1 = R2 = \dots = R5 = 10 \text{ Ом}$, а на дальнем $R6 = R7 = \dots = R10 = 1 \text{ кОм}$.

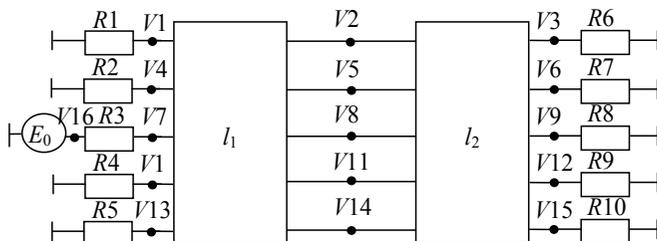
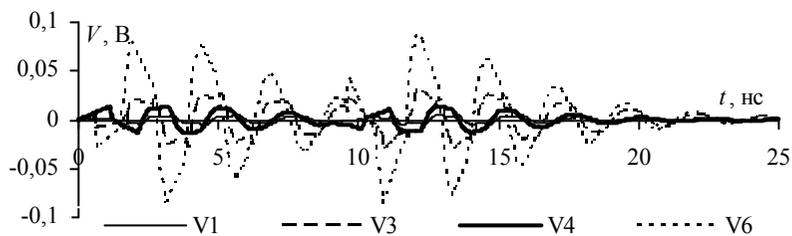


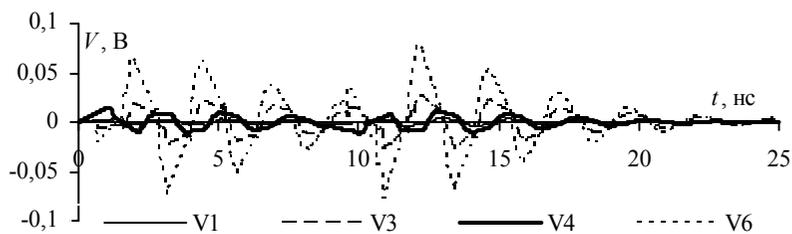
Рис. 2. Схема соединений линии передачи

При моделировании изменялась толщина покрывающего слоя от 10 до 150 мкм при изменении длины отрезка с покрытием от 10 до 90 мм. На рис. 3 представлены формы сигнала в начале ($V1, V4$) и конце ($V3, V6$) пассивных проводников для крайних точек изменения диапазона $h_V = 10$ и 150 мкм и $l_1 = 10$ и 90 мм.

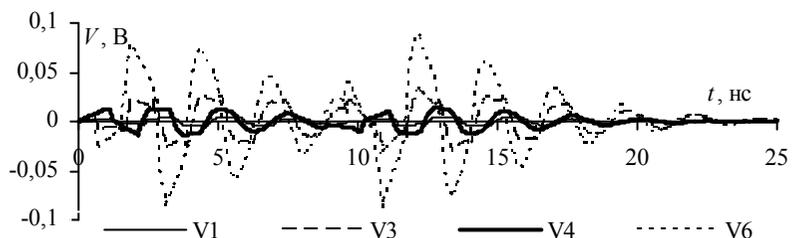
Из зависимостей на рис. 3 видно, что увеличение длины отрезка с покрывающим слоем приводит к уменьшению амплитуды перекрестных наводок.



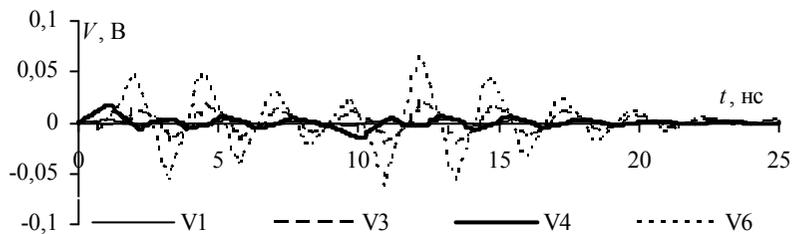
a



б



в



г

Рис. 3. Формы перекрестной помехи на ближнем и дальнем концах линии, при $h_V = 10$ мкм, $l_1 = 10$ мм (*a*), $h_V = 10$ мкм, $l_1 = 90$ мм (*б*), $h_V = 150$ мкм, $l_1 = 10$ мм (*в*) и $h_V = 150$ мкм, $l_1 = 90$ мм (*г*)

Так? при увеличении l_1 от 10 до 90 мм максимальная амплитуда наводок уменьшается более чем на 10%. Увеличение толщины влагозащитного покрытия до 150 мкм при $l_1 = 10$ мм (рис. 3, в) приводит незначительному уменьшению амплитуды наводки (менее 0,1%), однако при увеличении l_1 до 90 мм (рис. 3, з) амплитуда уменьшается на 30% по сравнению с исходным уровнем. Это связано с компенсацией перекрестной наводки на дальнем конце, поскольку ее амплитуда пропорциональна разности коэффициентов емкостной и индуктивной связей, а увеличение толщины влагозащитного покрытия приводит к уменьшению этой разности.

Таким образом, увеличение толщины влагозащитного покрытия позволяет существенно (до 30% на рассмотренном примере) снизить амплитуду перекрестной наводки. Между тем очевидно, что предел уменьшения амплитуды наводки за счет данного похода конечен, поскольку чрезмерное увеличение толщины влагозащитного покрытия может привести к перекомпенсации амплитуды наводки на дальнем конце в согласованном случае, что приведет к росту общего уровня наводок в случае рассогласования. В качестве продолжения исследований видится необходимым рассмотрение других способов нанесения влагозащитного покрытия (избирательное нанесение только на участок межсоединения, или только на критичные проводники и т.д.) и проведение натурных испытаний для апробации предложенных подходов.

Математическое моделирование выполнено за счет госзадания 8.9562.2017/БЧ Минобрнауки Российской Федерации. Численный эксперимент проведен за счет гранта 14-19-01232 в ТУСУРе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Газизов Т.Р. Уменьшение искажений электрических сигналов в межсоединениях и влияний преднамеренных силовых электромагнитных воздействий: дис. ... д-ра тех. наук: 05.12.07. – Томск: ТУСУР, 2010. – 351 с.
2. Суrowцев Р.С. Уменьшение искажений электрических сигналов в межсоединениях и влияний преднамеренных силовых электромагнитных воздействий: дис. ... канд. тех. наук: 05.12.04. – Томск: ТУСУР. – 2016. – 248 с.
3. Куксенко С.П. Новые возможности системы моделирования электромагнитной совместимости TALGAT / С.П. Куксенко, А.М. Заболоцкий, А.О. Мелкозеров, Т.Р. Газизов // Докл. Том. гос. ун-та систем упр. и радиотехники. – 2015. – № 2 (36). – С. 45–50.