

И.Е. САГИЕВА, аспирант, ТУСУР, Томск

ЭКРАНИРОВАНИЕ МИКРОПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ КАК РЕСУРС ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИК

Выполнено моделирование двух видов микрополосковых линий: экранированной и покрытой заземленным проводником. Вычислены зависимости погонной задержки и волнового сопротивления. Для экранированной линии выявлена возможность нулевой чувствительности погонной задержки и волнового сопротивления к изменению ширины полоски и высоты экрана. Для покрытой линии показана возможность минимизации чувствительности погонной задержки к изменению ширины полоски и высоты заземленного проводника.

Микрополосковые линии (МПЛ) получили широкое распространение в качестве линий передачи быстродействующих сигналов [1]. Важной задачей является получение стабильных характеристик линий. В этой связи актуальна минимизация чувствительности характеристик линий к изменению их параметров. Между тем возможности такой минимизации ограничены простотой конструкции классической МПЛ. Однако некоторые ее модификации, например с экранированием, дают эти возможности [2, 3], хотя экранирование и не рассматривалось в качестве данного ресурса. На практике микрополосковые схемы размещают в корпусах, защищающих от внешних электромагнитных и климатических воздействий. При этом идеализированное представление об удаленности проводящих стенок и крышки экрана в ряде случаев оказывается неточным, в связи с чем важно исследовать их влияние на значения погонной задержки и волнового сопротивления линии, а также возможность использования этого влияния для получения стабильных значений погонной задержки (τ) и волнового сопротивления (Z).

Цель работы – рассмотреть экранирование МПЛ как ресурс для уменьшения чувствительности ее характеристик.

Строгий электродинамический анализ полей в исследуемых линиях довольно сложен. Параметры заполняющей среды в линиях неоднородны по сечению, так что лишь часть поля концентрируется в диэлектрической подложке, а остальное – в воздухе. Поэтому в линиях распространяется не чистая ТЕМ-мода, а квази-ТЕМ. Тем не менее для таких линий применяют квазистатический анализ на основе вычисления погонной емкости.

В системе TALGAT [4] построены геометрические модели поперечного сечения линии и методом моментов вычислены матрицы порядка 2×2 (рисунок 1,а) и 1×1 (рисунок 1,б) погонных коэффициентов электростатической индукции с учетом диэлектрика и без него. Значения ряда параметров выбраны типовыми и не менялись: толщина сигнального и заземленного проводника $t=18$ мкм, толщина диэлектрической подложки $h=1$ мм, относительная диэлектрическая проницаемость подложки $\epsilon_r = 4,5$.

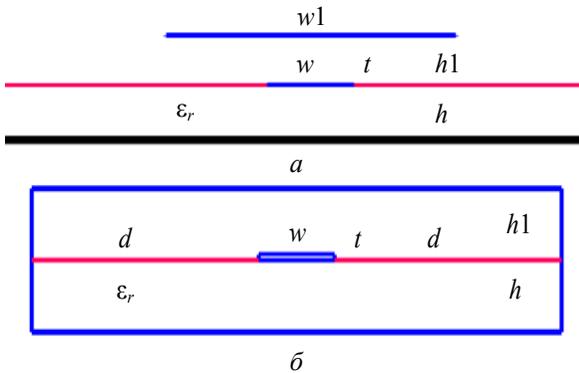


Рисунок 1. Поперечное сечение МПЛ:
 a – покрытой; b – экранированной

Для покрытой МПЛ из матриц брались значения (обозначаемые далее C и C_0) диагонального элемента, соответствующего сигнальному проводнику, и вычислялись значения τ и Z (v_0 – скорость света в вакууме):

$$\tau = (C/C_0)^{0,5} / v_0, \quad Z = 1 / \left(v_0 (C \cdot C_0)^{0,5} \right).$$

Выполнено моделирование в широком диапазоне параметров линии, показанной на рисунке 1,а, и выявлена область па-

раметров с интересующим поведением характеристик. Зависимости τ от $h1$ при разных w представлены на рисунке 2,а. Характерной особенностью зависимостей является их пересечение между собой. В начале диапазона $h1$ увеличение w ведет к уменьшению τ , а в конце – к увеличению. В середине диапазона (при $h1=0,5-0,8$ мм) чувствительность τ к изменению w минимальная (вплоть до нулевой). Интересно также уменьшение чувствительности τ к изменению $h1$ при уменьшении w . На рисунке 2,б показаны аналогичные зависимости для Z . Они монотонно возрастают и не пересекаются. Таким образом, появляется возможность выбором параметров линии получать требуемое значение Z при минимальной чувствительности τ к изменению w и $h1$.

Для экранированной МПЛ расчет τ и Z выполнен по формулам $\tau = (LC)^{0,5}$, $Z = (L/C)^{0,5}$, где L – погонная индуктивность линии; C – погонная емкость линии.

Зависимости τ от высоты крышки над подложкой $h1$ при разных значениях w для $d=w$ представлены на рисунке 2,в. Анализ зависимостей показывает, что при изменении $h1$ во всем диапазоне, когда полоска наиболее широкая ($w=0,6; 0,9; 1,2; 1,5$ мм), значение τ монотонно возрастает, а когда ширина полоски мала ($w=0,1; 0,2; 0,3$ мм), наблюдается нулевая чувствительность τ к изменению $h1$ почти во всем диапазоне. Зависимости при $w=0,6; 0,9; 1,2; 1,5$ мм пересекаются между собой в одной точке ($h1=0,9$ мм), т.е. в этой точке будет нулевая чувствительность τ к изменению w . При уменьшении w до 0,1 мм точка пересечения графиков сдвигается к $h1=0,2$ мм. На рисунке 2,г показаны соответствующие зависимости для Z . Примечательно, что они ведут себя аналогично зависимостям для τ , также показывая возможность получения нулевой чувствительности к изменениям $h1$ и w .

Между тем сравнение с кривыми для МПЛ с заземленными проводниками для линии с такими же параметрами, только без боковых стенок позволяет предположить, что именно наличие боковых стенок, за счет увеличения краевых емкостей, позволяет получить нулевую чувствительность τ и Z в широком диапазоне значений $h1$.

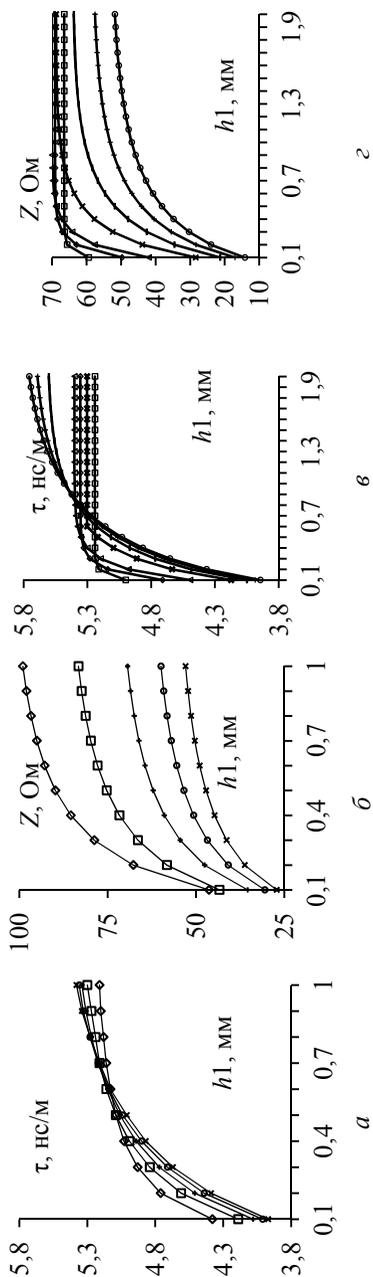


Рисунок 2. Зависимости τ (а) и Z (б) от h_1 при $w=0,3$ (□); $0,6$ (□); $0,9$ (+); $1,2$ (○); $1,5$ (×) мм для МПЛ, покрытой заземленным проводником;
 τ (в) и Z (з) от h_1 при $w=0,1$ (□); $0,2$ (△); $0,6$ (×); $0,9$ (θ); $1,2$ (+); $1,5$ (○) мм для экранированной МПЛ

В заключение отметим, что данные результаты получены для конкретных значений параметров линии. Однако легко получить аналогичные зависимости при других значениях параметров. Результаты работы могут быть использованы для проектирования линий передачи со стабильными характеристиками.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI57417X0172.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бахарев С.И., Вольман В.И. Справочник по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств. М.: Радио и связь, 1982. 328 с.
2. Сагиева И.Е. Моделирование характеристик микрополосковой линии, покрытой заземленным проводником // Научная сессия ТУСУР-2017: материалы международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 55-летию ТУСУРа, Томск, 10–12 мая 2017 г. Томск: В-Спектр, 2017. В 8 ч. Ч. 3. С. 77–79.
3. Сагиева И. Исследование характеристик экранированной микрополосковой линии // Известия вузов. Физика. 2017. Т. 60, № 12/2. С. 103–107.
4. Новые возможности системы моделирования электромагнитной совместимости TALGAT / С.П. Куксенко, А.М. Заболоцкий, А.О. Мелкозеров, Т.Р. Газизов // Докл. Томск. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. 2015. № 2(36). С. 45–50.

I.Ye. Sagiyeva

Shielding of a microstrip line as a resource to reduce the sensitivity of its characteristics

Two types of microstrip lines: shielded and covered with a grounded conductor are simulated. Per-unit-length delay and impedance are calculated. For the shielded one the possibility of zero sensitivity of the per-unit-length delay and the impedance to the change of strip width and the screen height are revealed. For the covered line the possibility of minimizing the sensitivity of the per-unit-length delay to the change of the strip width and the height of the grounded conductor are shown.

indira_sagiyeva@mail.ru