

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА И ПРОГРАММЫ ДЛЯ КВАЗИСТАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СОГЛАСОВАННОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЛИНИИ В ВОЗДУХЕ

Л.К. Болатова, магистрант

г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, lai_95@bk.ru

Построение систем обработки цифровой информации на основе специально сформированных дифференциальных сигналов является одним из наиболее перспективных направлений в развитии цифровой техники. Дифференциальная передача сигналов становится стандартным интерфейсом, позволяющим передавать информацию со скоростью 100 Мбит/с и выше, вплоть до гигабитного уровня. Устройства на основе дифференциальной передачи сигналов отличаются высокими показателями по быстродействию, параметрами электромагнитной совместимости и целостности сигнала. Поэтому точность при изготовлении цепей дифференциальной линии (ДЛ) в качестве физической поддержки для схем дифференциальной передачи сигналов является важным аспектом.

В большинстве случаев при изготовлении межсоединений и схемных компонентов имеет место разброс параметров, который создает отклонения от наилучшего варианта разработки. Вследствие этого на реальные ДЛ обычно влияют даже несущественные асимметрии и нерегулярности, которые могут значительно ухудшить ожидаемую работу. Предложена новая математическая модель для квазистатического анализа ДЛ с асимметрией и нерегулярностью [1]. Однако отсутствие алгоритма анализа затрудняет реализацию вычислений по этой модели. Между тем эта модель основана на исходном случае без асимметрии и нерегулярности. Поэтому начать разработку алгоритма целесообразно именно с этого случая.

Цель работы – разработка алгоритма для квазистатического анализа ДЛ без асимметрии и нерегулярности, согласно новой математической модели, предложенной в [2].

Детальный анализ математической модели из работы [1] для ДЛ из пары проводов в воздухе над плоскостью земли позволил разработать следующий алгоритм:

1. Ввод исходных параметров поперечного сечения ДЛ: r_w – радиус проводов, s – расстояние между проводами, h – высота, на которой расположены провода над идеально проводящей плоскостью земли (рис. 1).

2. Вычисление погонных элементов матрицы индуктивностей

$$\tilde{L} = \begin{bmatrix} l_1 & l_m \\ l_m & l_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{l} & \tilde{l}_m \\ \tilde{l}_m & \tilde{l} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где

$$\tilde{l} = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{2h}{r_w}\right), \quad \tilde{l}_m = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{2h}{s}\right), \quad (2)$$

при выполнении условия $s^2 \ll h^2$.

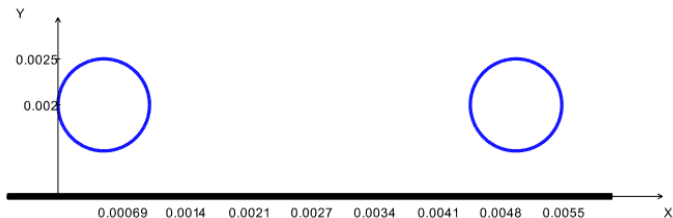


Рис. 1. Поперечное сечение анализируемой ДЛ

3. Вычисление погонных элементов модальной матрицы индуктивностей

$$\tilde{L}_m = T_V^{-1} \tilde{L} T_I = \begin{bmatrix} \tilde{L}_{CM} & \tilde{\Delta I} \\ \tilde{\Delta I} & \tilde{L}_{DM} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{L}_{CM} & 0 \\ 0 & \tilde{L}_{DM} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где

$$T_V = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 \\ 1 & -1/2 \end{bmatrix}, \quad T_I = \begin{bmatrix} 1/2 & 1 \\ 1/2 & -1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

4. Вычисление значения сопротивлений на концах ДЛ в эквивалентной схеме для дифференциальной моды (ДМ) (рис. 2) для выполнения условия согласования

$$Z_D = \tilde{Z}_{DM} = c_0 \tilde{L}_{DM}, \quad (5)$$

где c_0 – скорость света в вакууме.

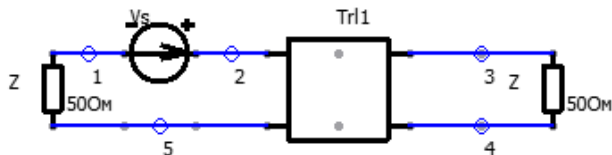


Рис. 2. Эквивалентная схема ДЛ для ДМ, согласованной с 50 Ом

5. Вычисление для воздействующей ЭДС V_S распределений напряжения и тока ДМ по координате z вдоль ДЛ

$$\tilde{V}_{DM}(z) = \frac{V_S}{2} e^{-\gamma_0 z}, \quad \tilde{I}_{DM}(z) = \frac{V_S}{2 \tilde{Z}_{DM}} e^{-\gamma_0 z}, \quad (6)$$

где $\gamma_0 = j\omega/c_0$; ω – угловая частота воздействия.

Алгоритм для сравнения программно реализован и апробирован в программных продуктах MathCad и TALGAT [2]. Для этого из примера в [1] взяты следующие исходные данные: $r_w = 0,5$ мм, $s = 5$ мм, $h = 50$ мм. При аналитическом вычислении индуктивностей получены значения: собственные – $1,659 \cdot 10^{-6}$ Гн/м, взаимные – $1,198 \cdot 10^{-6}$ Гн/м, а волновое сопротивление ДМ – 276,31 Ом. По геометрической модели поперечного сечения, построенной в TALGAT, рассчитаны собственные и взаимные индуктивности при различной сегментации до сходимости: собственные – $1,057 \cdot 10^{-6}$ Гн/м, а взаимные – $6,204 \cdot 10^{-7}$ Гн/м. Различие для собственных индуктивностей составило около $\pm 22\%$, а для взаимных – около $\pm 32\%$. Значительное различие может быть связано с тем, что при аналитическом решении используются приближенные формулы (2), не учитывающие эффекта близости проводников при сильной связи. Поэтому в случае сильной связи проводников ДЛ может быть целесообразнее применять на аналитические формулы, а численные методы, например метод моментов, – в TALGAT. Что касается напряжения и тока вдоль линии в воздухе, то для согласованного случая без потерь их амплитуды оказываются не зависящими от частоты и координаты. Так что их вычисление оказывается тривиальным. Между тем для более общих случаев всё будет несколько сложнее. Их предполагается рассмотреть в будущем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Grassi F. Effects of undesired asymmetries and nonuniformities in differential lines / F. Grassi, P. Manfredi, X. Liuy et al. // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – October 2017. – Vol. 59, No. 5. – P. 1613–1624.
2. НИЛ «БЭМС РЭС» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://talgat.org/> (дата обращения: 20.02.2018).

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ВЫРАЖЕНИЯ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОГОННЫХ ЗАДЕРЖЕК МОД ЗЕРКАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОГО МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА

*Е.Б. Черникова, магистрант; А.О. Белоусов, аспирант
г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, chiernikova96@mail.ru*

В настоящее время наблюдается массовое внедрение радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) практически во все отрасли жизнедеятельности человека, в том числе военную, атомную, космическую, промышленную. Как результат, возникает необходимость решения вопросов по защите РЭА от электромагнитных помех. Для защиты РЭА от сверхкороткого импульса (СКИ) предложена технология модаль-