

Анализ передающей линии в печатных платах

Кухарук В.С.



Полосковые линии можно разделить на два больших класса: *закрытые* (экранированные) и *открытые*. Эти два класса линий имеют ряд общих черт, но вместе с тем и отличаются

друг от друга рядом принципиальных особенностей. Различия эти определяют области применения, частотные диапазоны и, естественно, требуют различного подхода при анализе их свойств и расчете параметров.

По композиционному оформлению полосковые линии делятся на *симметричные* и *несимметричные*. В симметричных линиях (рис. 2) наружные пластины находятся под одинаковым потенциалом и предполагается наличие диэлектрика с диэлектрической проницаемостью. Симметричные полосковые линии применяются для передачи больших мощностей и получения функциональных элементов с малыми потерями.

Несимметричные линии (рис. 1) используются главным образом в виде так называемых *микрополосковых линий*. При этом между центральным проводником и заземленной пластиной предполагается так же наличие диэлектрика [1].

Микрополосковая линия

- Длительность фронта импульса (t_r) = 5 нс.
- Длина проводника = 5 inch (12.7 см).
- 6 компонентов (нагрузок), распределены по всей длине трассы.
- Входная емкость (C_d) = 6 пФ на каждом сегменте трассы.

Геометрия микрополосковой линии передачи

- Ширина трассы (W) = 0,010 in (0,25 мм).
- Толщина диэлектрика (Расстояние между сигнальным проводником и потенциальным слоем), (H) = 0,012 in (0,3 мм).
- Толщина проводника (T) = 0.002 in (0,05 мм).
- Диэлектрическая постоянная (ϵ_r) = 4,6.

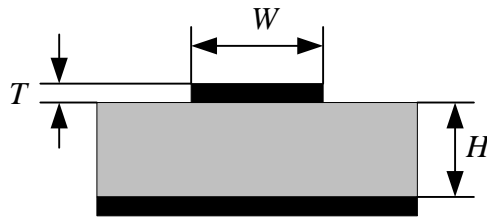


Рис. 1. Несимметричная микрополосковая линия

Какие требования по согласованию для этой трассировки ?

1. Вычисление характеристик импеданса

$$Z_0 = \left(\frac{79}{\sqrt{\epsilon_r + 1,41}} \right) \ln \left(\frac{5,98H}{(0,8 \times W) + T} \right) \Omega \quad (1)$$

Z_0 - характеристика импеданса (Ом);

W - Ширина трасы (мм);

T - Толщина проводника (мм);

H - Расстояние между проводником и потенциальным полигоном;

ϵ_r - Диэлектрическая постоянная.

$$Z_0 = \left(\frac{79(87)}{\sqrt{4,6 + 1,41}} \right) \ln \left(\frac{5,98 \times 0,3 \text{ мм}}{(0,8 \times 0,25 \text{ мм}) + 0,05 \text{ мм}} \right) = 63,5 (69,6) \Omega$$

2. Вычисление постоянной задержки сигнала

$$t_{pd} = 1,017 \sqrt{0,475 \epsilon_r + 0,67} \quad (2)$$

t_{pd} – постоянная времени задержки распространения сигнала в линии передачи.

$$t_{pd} = 1,017 \sqrt{0,475 \times 4,6 + 0,67} = \left(\frac{0,143 \text{ нс}}{\text{in}} \right)$$

Удельное время задержки

$$t_d = 3,3 \sqrt{\epsilon_r} = 7,07 \text{ нс/м}$$

3. Анализ емкостной нагрузки

Вычисление C_d общ распределенной емкости (общая приведенная входная емкость для всех составных длин трасс).

$$C_d \text{ общ} = 6 \times C_d / \text{длина трассы} = (6 \times 6 \text{ пФ}) / 5 \text{ in} = 7,2 \text{ пФ/in. } (0,283 \text{ пФ/м})$$

Вычисление внутренней емкости трассы

$$C_o = 1000 \frac{t_{pd}}{Z_0} \text{ пФ/длина трассы} \quad (3)$$

$$C_o = 1000 \frac{t_{pd}}{Z_0} = 1000 \left(\frac{1,72}{63,5} \right) \text{ нс/ft} = 27,0 \text{ пФ/ft} = 2,26 \text{ пФ/in. } (0,080 \text{ пФ/м})$$

Расчет времени задержки распространения сигнала в линии передачи от управляющего источника сигнала.

$$t'_{pd} = t_{pd} \sqrt{1 + \frac{C_{d \text{ общ}}}{C_o} ns/\text{длина трассы}} \quad (4)$$

t_{pd} – не модифицированное время задержки распространения сигнала в линии передачи, при ненагруженной линии.

t'_{pd} – модифицированное время задержки распространения сигнала в линии передачи, с емкостным сопротивлением в линии.

$C_{d \text{ общ}}$ – сумма всех емкостных нагрузок.

C_o – характеристическая емкость ненагруженной линии.

$$t'_{pd} = 0,143 \sqrt{1 + \frac{7,2}{2,26}} = 0,29 \text{ ns/in или } (3,5 \text{ нс/ft}).$$

$$t'_{pd} = 3,3 \sqrt{\varepsilon_{eff}} = 3,3 \sqrt{\frac{c\varepsilon}{c_o}} = 6,2 \text{ нс/м}$$

4. Анализ передающей линии

Для устранения искажения сигнала необходимо ввести коэффициент надежности, который равен от 2...3, в зависимости от частотных требований к печатной плате.

Если выполняется соотношение (5), то отражение и “звон” (затухающий сигнал) не влияют на форму сигнала.

$$(2 \times t'_{pd}) \times \text{длина трассы} \leq t_r \text{ или } t_f \quad (5)$$

t_r – длительность фронта импульса;

t_f – длительность спада импульса.

$$\text{Для данного случая: } (2 \times t'_{pd}) \times \text{длина трассы} = (2 \times 0,29 \text{ нс/in}) \times 5 \text{ in} = 2,9 \text{ нс.}$$

Согласование линии передачи не требуется, так как длительность фронта импульса $t_r = t_f = 5 \text{ нс}$, больше чем задержка распространения сигнала 2,9 нс, что удовлетворяет соотношению (5).

Для запаса прочности, можно повысить коэффициент с 2 до 3 в выражении $(3 \times t'_{pd}) \times \text{длина трассы}$. Для данного случая задержка будет равна 4,35 нс, что так же будет меньше длительности фронта. Следовательно, согласование не понадобится.

Допустим, что данная трасса спроектирована как полосковая линия:

- $t_{pd} = 1,017 \sqrt{\varepsilon_r} = 2,18 \text{ нс/ft} = 0,18 \text{ нс/in.}$
- $C_o = 1000 \frac{t_{pd}}{z_o} = 1000 \left(\frac{2,18}{63,5} \right) \text{ нс/ft} = 34,3 \text{ нФ/ft} = 2,86 \text{ нФ/in.}$

- $C_d = 7,2 \text{ пФ/in.}$
- $t'_{pd} = t_{pd} \sqrt{1 + \frac{C_{d\text{общ}}}{C_0}} = 4,05 \text{ ns/ft}$ или $(0,34 \text{ нс/in.})$.
- $(2 \times t'_{pd}) \times \text{длина трассы} = (2 \times 0,34 \text{ нс/in.}) \times 5 \text{ in} = 3,4 \text{ нс.}$

Данную трассу так же не надо согласовывать $3,4 \text{ нс} \leq 5 \text{ нс}$. Разница в задержки распространения сигнала для полосковой линии $1,60 \text{ нс}$, больше чем t_{pd} задержка распространения сигнала в линии передачи, при ненагруженной цепи.

Полосковая линия

- Длительность фронта импульса (t_r) = 2 нс.
- Длина проводника = 10 inch (25.4 см).
- 5 компонентов (нагрузок) распределены по всей длине трассы.
- Входная емкость (C_d) = 12 пФ, на каждом сегменте трассы.

Геометрия микрополосковой линии передачи (рис. 2)

- Ширина трассы (W) = 0,006 in (0,15 мм).
- Расстояние между потенциальными слоями (B) = 0,020 in (0,51 мм).
- Толщина проводника (T) = 0.0014 in (0.035 мм).
- Диэлектрическая постоянная (ϵ_r) = 4,6.

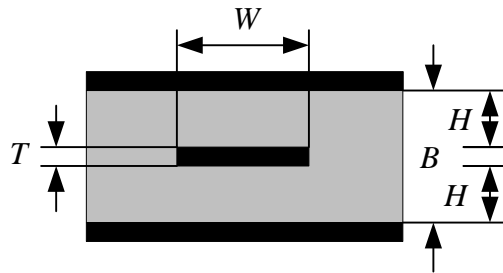


Рис. 2. симметричная микрополосковая линия

5. Вычисление характеристик импеданса

$$Z_0 = \left(\frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \right) \ln \left(\frac{1,9B}{0,8(W+T)} \right) = \Omega = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \left(\frac{1,9(2H+T)}{0,8(W+T)} \right) \quad (6)$$

$$Z_0 = \left(\frac{60}{\sqrt{4,6}} \right) \ln \left(\frac{1,9 \times 20}{0,8(6+1,4)} \right) = 50,7 \Omega$$

Z_0 - характеристика импеданса (Ом);

W - Ширина трассы (мм);

T - Толщина проводника (мм);

B - Расстояние между потенциальными слоями (мм);

H - Расстояние между сигнальным проводником и потенциальным полигоном;

C_o – характеристика емкости для передающей линии;

ϵ_r - Диэлектрическая постоянная;

$W/(H-T) < 0,35$;

$T/H < 0,25$.

6. Вычисление задержки сигнала

$$t_{pd} = 1,017\sqrt{\epsilon_r} \text{ (нс/ft)} \text{ или } t_{pd} = 85\sqrt{\epsilon_r} \text{ (пс/in)} \quad (7)$$

$$t_{pd} = 1,017\sqrt{\epsilon_r} = 2,18 \text{ (нс/ft)} \text{ или } (0,182 \text{ нс/in})$$

7. Анализ емкостной нагрузки

Вычисление $C_d \text{ общ}$ распределенной емкости (общая приведенная входная емкость для всех составных длин трасс).

$$C_d \text{ общ} = 6 \times C_d / \text{длина трассы} = (6 \times 12 \text{ пФ}) / 10 \text{ in} = 7,2 \text{ пФ/in.}$$

Вычисление внутренней емкости трассы

$$C_o = 1000 \frac{t_{pd}}{Z_0} = 1000 \left(\frac{0,182}{50,7} \right) = 43 \text{ пФ/ft} = 3,58 \text{ пФ/in.}$$

Расчет времени задержки распространения сигнала в линии передачи от управляющего источника сигнала.

$$t'_{pd} = 0,182 \sqrt{1 + \frac{7,2}{3,58}} = 0,32 \text{ ns/in} \text{ (3,5 нс/ft)}.$$

8. Анализ передающей линии

Для данного случая: $(2 \times t'_{pd}) \times \text{длина трассы} = (2 \times 0,32 \text{ нс/in}) \times 10 \text{ in} = 6,4 \text{ нс}$.

Необходимо согласование линии передачи (для устранения эффектов в передающей линии), так как длительность фронта импульса $t_r = t_f = 2 \text{ нс}$, меньше чем задержка распространения сигнала 6,4 нс.

Допустим, что данная трасса спроектирована как микрополосковая линия:

- $t_{pd} = 1,017\sqrt{0,475 \times 4,6 + 0,67} = 0,143 \text{ нс/in.} (1,72 \text{ нс/ft})$

$$C_o = 1000 \frac{t_{pd}}{Z_0} = 1000 \left(\frac{0,143}{50,7} \right) = 2,76 \text{ пФ/in.} (33,0 \text{ пФ/ft})$$

- $C_d = 7,2 \text{ пФ/in.}$

- $t'_{pd} = t_{pd} \sqrt{1 + \frac{C_{d_{общ}}}{C_0}} = 0,26 \text{ нс/in} (3,19 \text{ ns/ft}) .$
- $(2 \times t'_{pd}) \times \text{длина трассы} = (2 \times 0,26 \text{ нс/in}) \times 10 \text{ in} = 5,2 \text{ нс}.$

Данную трассу необходимо согласовывать $5,2 \text{ нс} \geq 2 \text{ нс}.$

Список используемой литературы

1. Е.И. Нефёдов, А.Т. Фиалковский. Полосковые линии передачи. 2-е изд., доп. И перераб. М.: Наука, 1980.