

# Linii MMIC

## Introducere

Linia de transmisiune folosită cel mai mult astăzi în MMIC este linia microstrip. Aceasta poate fi fabricată în tehnologia Plessey Foundry, fie pe metalizarea M3, fie pe metalizarea M2. Intervalul impedanțelor caracteristice care pot fi realizate având în vedere lățimi de linii controlabile, este între  $40\Omega$  și  $110\Omega$ . Metalizarea M3 este cea preferată pentru realizarea liniilor microstrip datorită pierderilor ceva mai mici comparativ cu realizarea pe nivelul de metalizare M2.

Modelarea liniilor microstrip M2 și M3 se realizează folosind doar datele de la Foundry. Important de notat că modelele pentru linie și discontinuități disponibile în simulatoarele comerciale nu sunt valabile pentru cazul MMIC deoarece mediul MMIC este un mediu multi-dielectric. În fig.1 este prezentată o secțiune transversală printr-o linie microstrip realizată prin procesul Plessey, în care se evidențiază natura multi-dielectric a mediului MMIC.

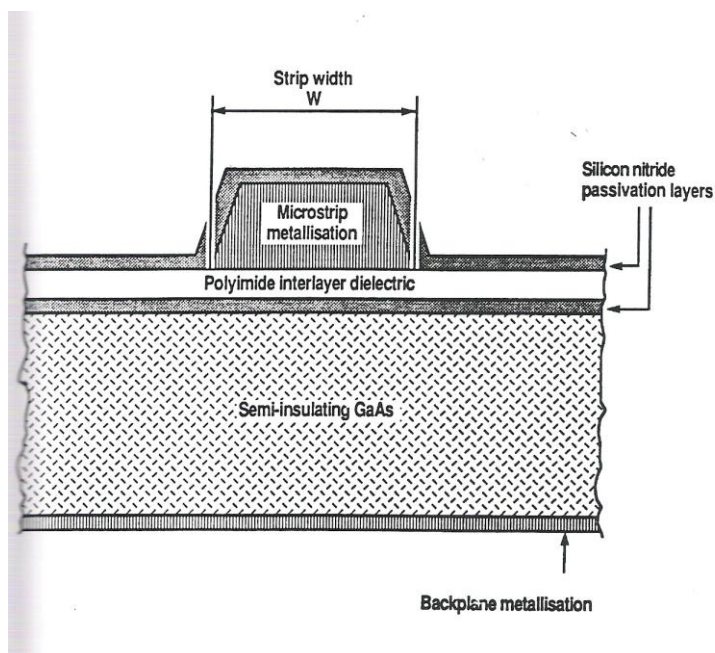


Fig.1. Secțiune transversal printr-o linie microstrip M3

Alte tipuri de linii, cum ar fi liniile coplanar, pot fi folosite doar dacă se dezvoltă modele pentru acestea folosind simulatoare electromagnetice.

## Linii microstrip M3

Rezistența metalizării M3 este  $7.5 - 12.5 \text{ m}\Omega/\text{sq}$ . Curentul maxim este de  $5\text{A}/\text{mm}$  de lățime.

Relația dintre impedanța caracteristică și lățimea benzii pe M3 este prezentată grafic în fig.1.2. Alternativ, poate fi utilizat un polinom de gradul 4 pentru această relație :

$$y = ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx + e \quad (1.1)$$

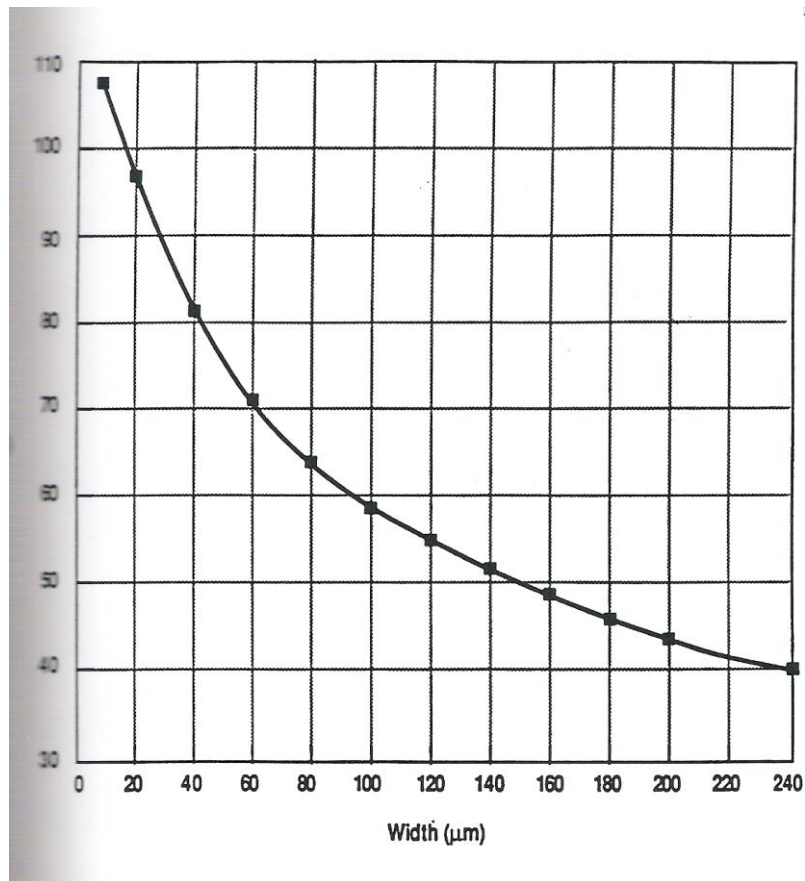


Fig.2. Impedanța caracteristică a liniei M3

Coeficienții polinomului sunt dați în tabelul 1.

Tabelul 1

x	W(μm)	Z(Ω)
y	Z(Ω)	W(μm)
a	$7.156906 \times 10^{-8}$	$2.089807 \times 10^{-5}$
b	$-4.604555 \times 10^{-5}$	$-6.916731 \times 10^{-3}$
c	0.011097	0.893244
d	-1.332506	-54.755564
e	120.004242	1389.755945

Valoarea lui W este valoarea lățimii benzii utilizată pe mască și ea în considerație grosimea efectivă a metalizării și efectele tehnologice.

În intervalul de frecvențe în care este valabil procesul Plessey F20, valoarea impedanței caracteristice nu este dispersivă (adică este independentă de frecvență).

Spre deosebire de impedanță, constanta dielectrică efectivă,  $\epsilon_{eff}$ , variaza cu frecvența. Aceasta variație este data de următoarea relație

$$\epsilon_{eff} = (4.913924 \times 10^{-5} W + 5.683995 \times 10^{-3}) \text{FREQ} + 2.363121 \cdot W^{0.142442} + 2.900819 \quad (1.2)$$

Unde  $W$  este în micrometri, iar  $FREQ$  în GHz.

Această relație este prezentată grafic în fig.3.

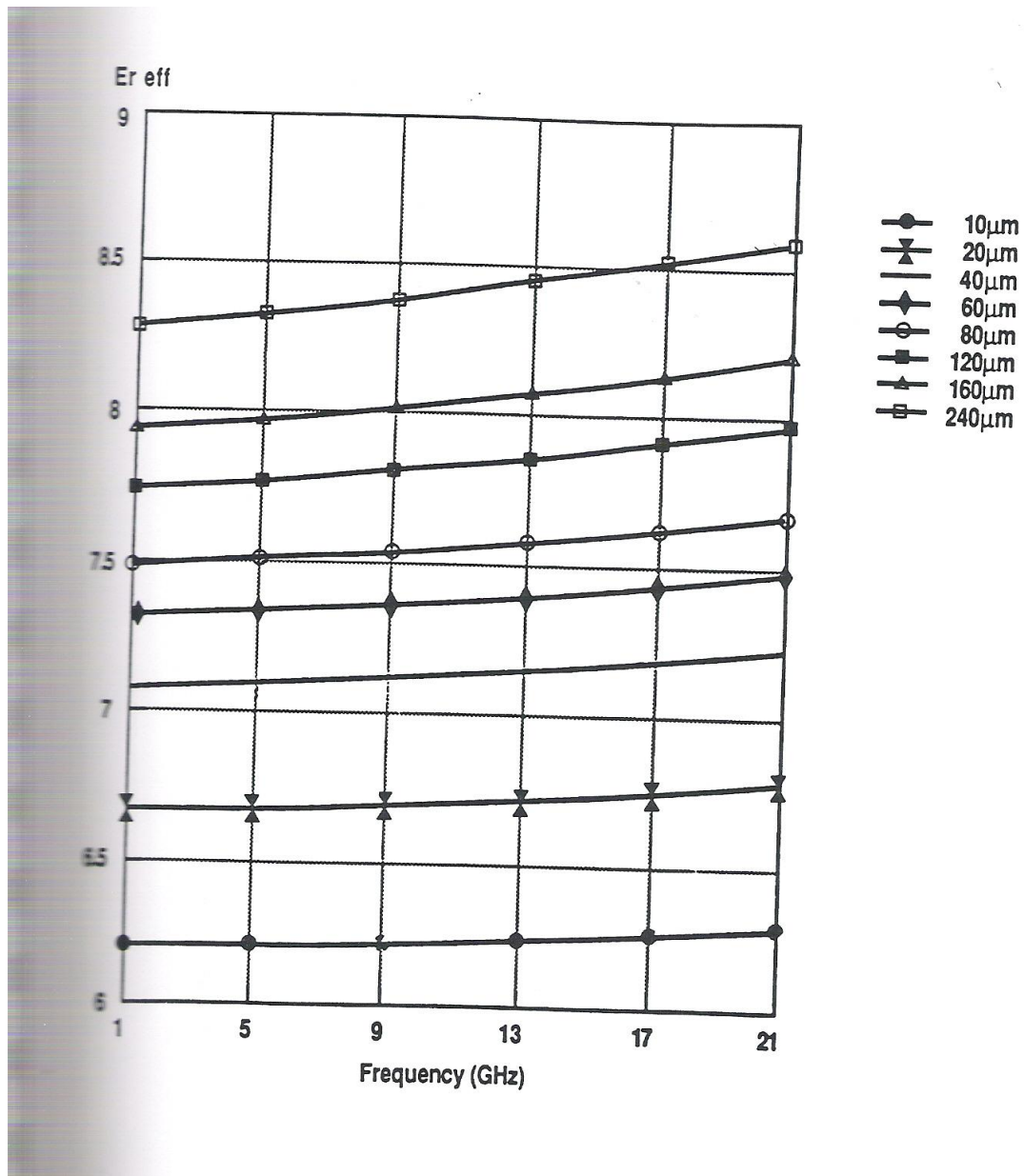


Fig.3.  $Er$  efectiv a liniei M3

### Linia microstrip M2

Rezistența metalizării M2 este de 45 – 65  $m\Omega/sq$ , iar curentul maxim este 5A/mm de lățime.

Relația dintre impedanța caracteristică și lățimea benzi pe M2 este prezentată grafic în fig.4.

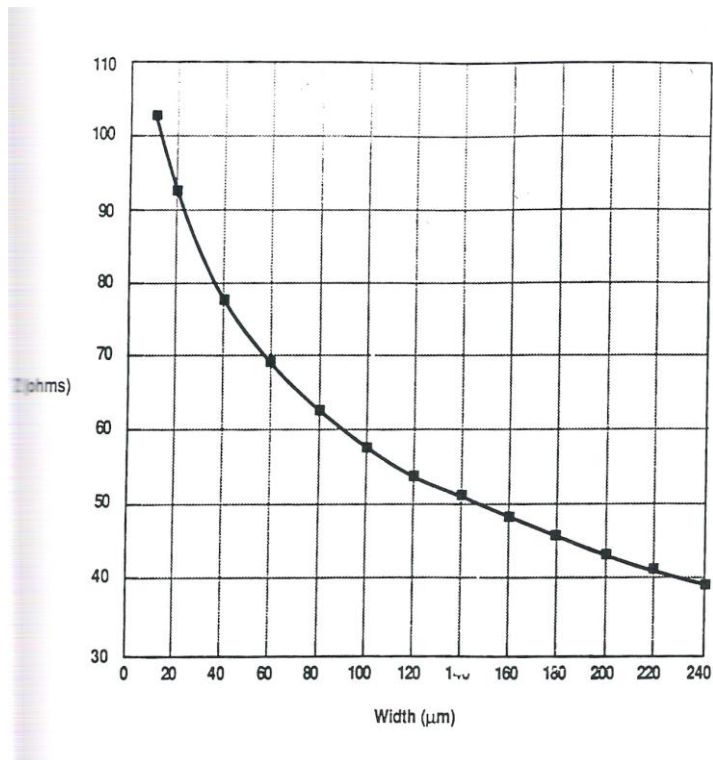


Fig.4. Impedanta caracteristică a liniei M2

Alternativ, relația se poate exprima și analitic printr-un polinom de gradul 4.

$$y = ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx + e \quad (1.3)$$

Unde coeficienții sunt dați de tabelul 2.

**Tabelul 2**

x	W(μm)	Z(Ω)
y	Z(Ω)	W(μm)
a	$5.524749 \times 10^{-8}$	$2.329332 \times 10^{-5}$
b	$-3.631416 \times 10^{-5}$	$-7.546243 \times 10^{-3}$
c	$9.043643 \times 10^{-3}$	0.953284
d	-1.147796	-57.117012
e	112.803788	1414.72856

Valoarea lui W este lățimea benzii necesară pe mască și ea în considerație grosimea efectivă a metalizării cât și efectele tehnologice.

În banda de frecvențe în care procesul Plessey F20 este valabil, impedanta este independentă de frecvență.

Spre deosebire de impedanță, constanta dielectrică efectivă este dependență de frecvență, această dependență fiind dată de relația analitică :

$$\varepsilon_{eff} = u \cdot \text{FREQ} + v \quad (1.4)$$

Unde  $FREQ$  este în GHz, iar  $u$  și  $v$  sunt definiți de polinoame de gradul 3

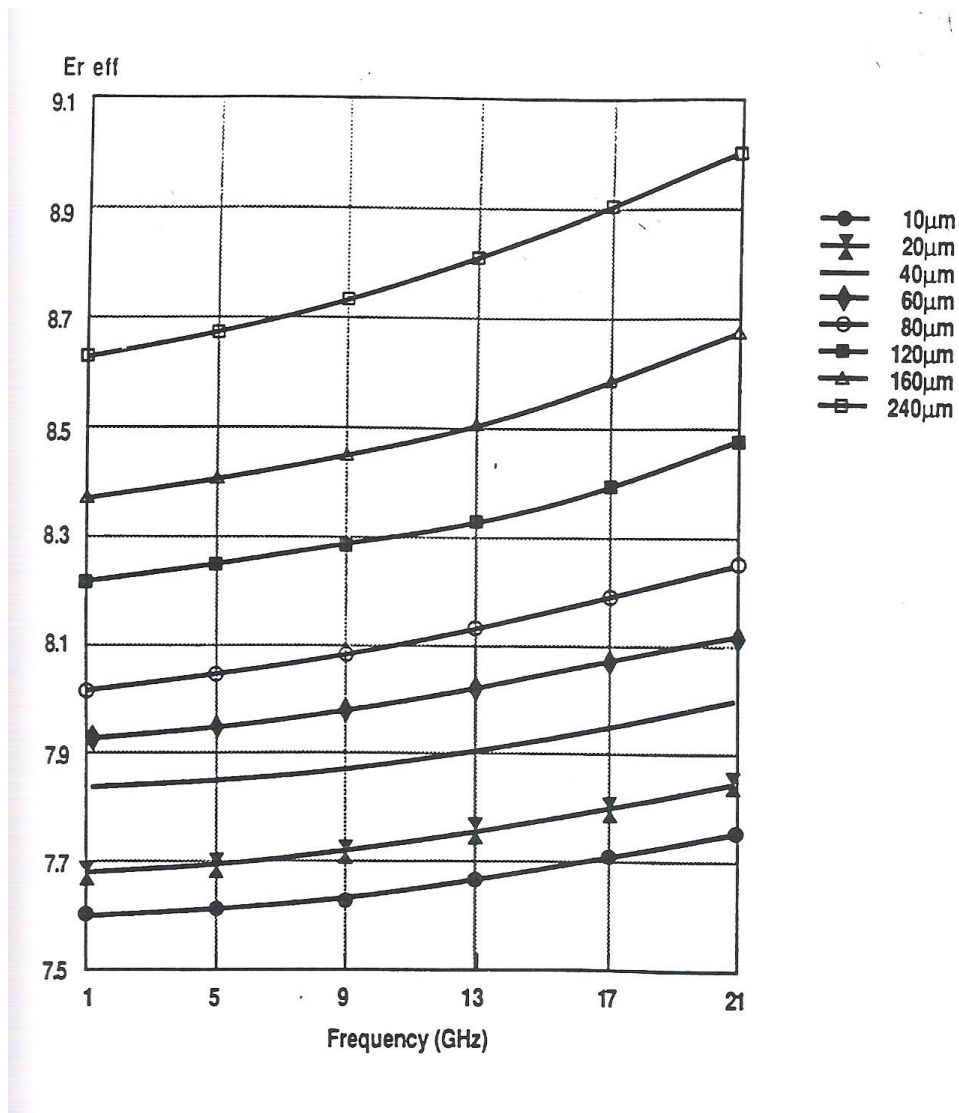
$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d \quad (1.5)$$

Cu coeficientii dați de tabelul 3.

**Tabelul 3**

x	$W(\mu\text{m})$ u	$W(\mu\text{m})$ v
A	$5.721383 \times 10^{-11}$	$3.665503 \times 10^{-8}$
b	$-8.245841 \times 10^{-8}$	$-2.081676 \times 10^{-5}$
c	$6.364327 \times 10^{-5}$	$7.427148 \times 10^{-3}$
d	$6.402617 \times 10^{-3}$	7.516266

Relatia 1.5 prezentată grafic în fig.5



*Fig.5  $Er$  efectiv pentru linii microstrip M2*

## Discontinuități

Realizarea unui layout pentru un MMIC este imposibil de făcut fără ca să introducem discontinuități. Liniile microstrip sunt formate din benzi, pot forma joncțiuni în T sau pot prezenta discontinuități între diferite grosimi de linii. Aceste discontinuități pot degrada performanța circuitelor de microunde. Vom prezenta câteva dintre efectele posibile ale acestor discontinuități.

### Corecții ale benzilor

#### 1. Benzi izolate

În fig.6 sunt prezentate benzi microstrip teșite la 50% și neteșite.

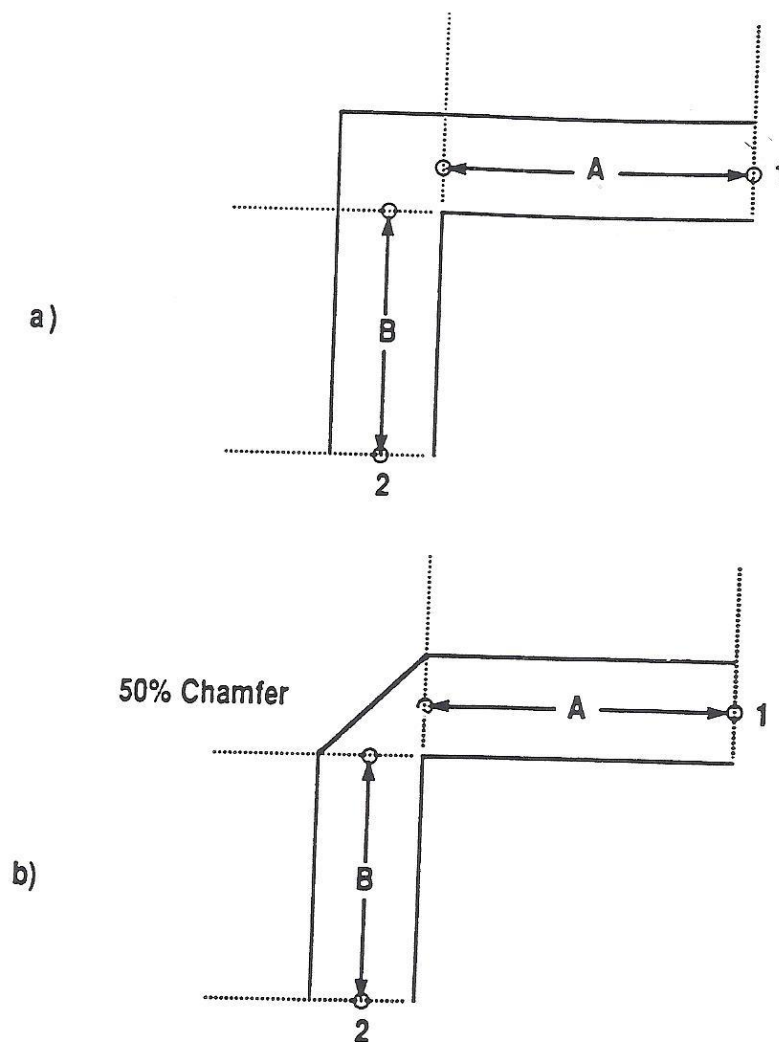


Fig.6. Bandă microstrip teșită 50%

În tabelul 4 sunt prezentate corecțiile pentru ambele tipuri de situații pentru diverse lățimi de bandă. Aceste corecții se aplică lungimii fizice de layout a liniei de transmisiune și sunt valabile atât pentru metalizare M2 cât și pentru M3. Ele sunt independente de frecvență.

**Tabelul 4**

Lățimea benzii ( $\mu\text{m}$ )	Efectul de colț ( $\mu\text{m}$ ) (fără șitură)	Efectul de colț ( $\mu\text{m}$ ) (teșitură 50%)
10	-43	-
20	-37	-
30	-30	-18
40	-25	-8
50	-19	1
60	-12	11
70	-6	19
80	0	28
90	6	36
100	13	43
140	39	70

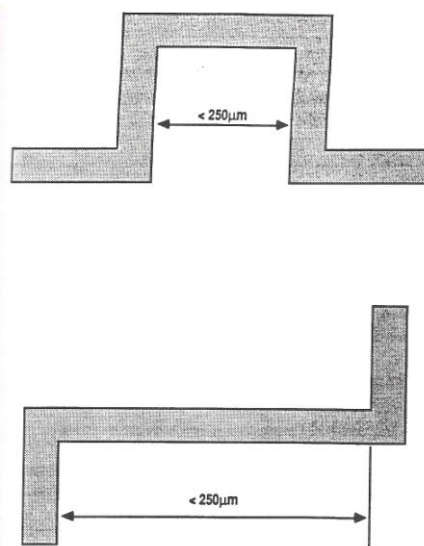
Pot fi făcute următoarele observații asupra tabelului 4 :

- Nu se teșesc benzile cu lățime sub 30  $\mu\text{m}$ .
- Corecția de colț schimbă de semn în funcție de lățimea benzii ; adică colțul poate avea atât efectul de lungire a liniei cât și efectul de scurtare, în funcție de lățimea liniei.

Compensarea de lungime se alică când se trece de la schema de circuit la layout. Valoarea corectată nu este re-introdusa în fișierul de simulare.

## 2. Benzi cuplate

Tabelul 4 cu corecții se aplică doar benzilor izolate. În fig.7 sunt prezentate exemple de benzi cuplate.



*Fig.7. Exemple de benzi cuplate*

Benzile se consideră cuplate dacă ele sunt depărtate la mai puțin de 250  $\mu\text{m}$ . Pentru factorii de compensare în cazul benzilor cuplate trebuie contactat Plessey Support Service.

### 3. Jonctiuni in T

De contactat Plessey Support Service

#### Exemple de proiectare

##### Exemplul 1

În timpul proiectării inițiale de circuit, este necesară o linie serie cu impedanța caracteristică de  $82\Omega$  și lungimea de  $5^\circ$  la frecvența de 10 GHz. Să se calculeze dimensiunile fizice a liniei MMIC.

##### Soluție

Dacă presupunem linia realizată pe metalizarea M3, atunci graficul (sau ecuația) lui  $Z_0$  versus  $W$  ne dă o lățime a benzii de  $W = 40\mu\text{m}$ .

Dacă  $\phi$  este lungimea electrică, in grade, a liniei, la frecvența  $f$  în GHz, atunci lungimea  $l$  este dată de relația :

$$l = \left( \frac{\phi}{360} \right) \left( \frac{300}{f \sqrt{\epsilon_{eff}}} \right) (mm)$$

Apoi, relația care leagă  $\epsilon_{eff}$  de  $W$  și  $f$  ne dă  $\epsilon_{eff} = 7.08$  pentru o linie pe M3, de lățime de 40  $\mu\text{m}$ , la frecvența de 10 GHz.

$$l = 0.156mm$$

Valorile lui  $W$  și  $l$  pot fi acum introduse în simulator.

##### Exemplul 2

După optimizarea finală de circuit, dimensiunile finale a unei linii M3 sunt  $W = 30\mu\text{m}$ ,  $L = 100\mu\text{m}$ . Datorită constrângerilor fizice ale layout-ului impuse liniei de transmisiune, aceasta trebuie îndoită. Cum va afecta efectul de colt performanțele de microunde ?

##### Soluție

Cazul (1) : fără teșire

Tabelul 4 ne dă o corecție de  $-30\mu\text{m}$ . Considerăm fig.6. Distanța proiectată de la nodul 1 la 2 este de  $100\mu\text{m}$ . Totuși, colțul introduce o scurtare de  $-30\mu\text{m}$ , deci distanța reală dintre nodul 1 și 2 trebuie să fie de  $70\mu\text{m}$ . Prin urmare, utilizând colțul și păstrind lungimea proiectată între 1 și 2 de  $100\mu\text{m}$ , va trebui să adăugăm un supliment de  $30\mu\text{m}$ , adică  $A \rightarrow A+15$  și  $B \rightarrow B+15$  (sau oricare altă combinație potrivită).



Cazul (2) : teșit 50%

Tabelul 4 ne ofera în acest caz o corectie de  $-18\mu\text{m}$ . Prin urmare vom avea un supliment de  $18\mu\text{m}$ , adică, de exemplu,  $A \rightarrow A+9$  și  $B \rightarrow B+9$ .

*Exemplul 3*

După optimizarea finală a unui circuit, dimensiunile finale ale unei linii M2 sunt  $W = 70\mu\text{m}$ ,  $L = 100\mu\text{m}$ . Linia trebuie îndoită. Care este noua lungime de linie ?

*Soluție*

Cazul (1) : fără teșire

Tabelul 4 ne dă o corecție de  $-6\mu\text{m}$ . Pentru a mentine lungimea între nodul 1 și 2 de  $100\mu\text{m}$  și să luăm în considerație colțul, înseamnă un supliment de  $6\mu\text{m}$ , de exemplu  $A \rightarrow A+4$  și  $B \rightarrow B+2$ .

Cazul (2) : tesire 50%

Tabelul 4 ne da o corecție de  $+19\mu\text{m}$ . Aceasta face lungimea efectivă dintre nodurile 1 și 2 de  $119\mu\text{m}$ . Pentru a mentine lungimea dintre nodurile 1 și 2 la  $100\mu\text{m}$ , trebuie să reducem  $19\mu\text{m}$ , de exemplu  $A \rightarrow A-9$  și  $B \rightarrow B-10$