Μικροκύματα

Ενότητα 8: Επίπεδες γραμμές μεταφοράς

Σταύρος Κουλουρίδης

Πολυτεχνική

Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών

Σκοποί ενότητας

- Εξαγωγή και χρήση σχεδιαστικών εξισώσεων για τη χαρακτηριστική αντίσταση επίπεδων γραμμών μεταφοράς
- Μελέτη διάδοσης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε διηλεκτρική πλάκα

Περιεχόμενα ενότητας

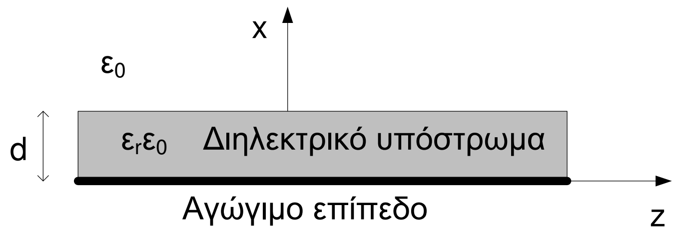
- Διηλεκτρική πλάκα
- Γραμμή ταινίας
- Μικροταινία
- Γραμμή εγκοπής
- Ομοεπίπεδος κυματοδηγός

Εισαγωγή

- Με τον όρο επίπεδες γραμμές μεταφοράς εννοούμε συστήματα που «τυπώνονται» πάνω σε διηλεκτρικά υλικά
- Οι πιο διαδεδομένες μορφές είναι η γραμμή ταινίας (stripline), η μικροταινία (microstrip), η γραμμή εγκοπής (slotline) και ο ομοεπίπεδος κυματοδηγός (coplanar waveguide)
- Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα τους είναι το χαμηλό κόστος, η ευκολία υλοποίησης, η δυνατότητα εύκολης κατασκευής γραμμών οποιασδήποτε χαρακτηριστικής αντίστασης και η δυνατότητα συνδυασμού με ενέργά στοιχεία για την κατασκευή ολοκληρωμένων μικροκυματικών κυκλωμάτων
- Οι επίπεδες γραμμές από την άλλη δεν έχουν δυνατότητα μεταφοράς μεγάλης ισχύος (όπως οι κυματοδηγοί) ενώ δεν έχουν το εύρος συχνοτήτων των ομοαξονικών για παράδειγμα.

Διηλεκτρική πλάκα σε αγώγιμο επίπεδο

- Σαν εισαγωγή στην πολύπλοκη ανάλυση των επίπεδων γραμμών μεταφοράς, θα μελετήσουμε μια βασική γεωμετρία, που είναι μια απλή διηλεκτρική πλάκα πάνω σε αγώγιμο επίπεδο.
- Στη βάση αυτή, θα δούμε το βασικό τύπο κύματος που δημιουργείται στις επίπεδες γραμμές που ονομάζεται επιφανειακό κύμα (TE ή TM), παρουσιάζει εκθετικά αποσβεννύμενη συμπεριφορά εκτός του διηλεκτρικού, ενώ η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια περιορίζεται στο εσωτερικό του διηλεκτρικού.



TM ρυθμοί σε διηλεκτρική πλάκα

- Η πλάκα του σχήματος έχει άπειρες διαστάσεις ως προς y, z, η διεύθυνση διάδοσης είναι κατά z, ενώ υποθέτουμε ότι δεν υπάρχει μεταβολή κατά y ($\frac{\partial}{\partial y} = 0$).
- Οι εξισώσεις του πεδίου πρέπει να γραφτούν σε δύο χώρους:μέσα και έξω από το διηλεκτρικό.
- Οι κάθετες στη διεύθυνση συνιστώσες θα βρεθούν από τις σχέσεις:

$$H_x = \frac{j}{{k_c}^2}\left(\omega\varepsilon\frac{\partial \mathrm{E}_z}{\partial y} - \beta\frac{\partial H_z}{\partial x}\right) \quad (1)$$

$$H_y = \frac{-j}{{k_c}^2}\left(\omega\varepsilon\frac{\partial \mathrm{E}_z}{\partial x} + \beta\frac{\partial H_z}{\partial y}\right) \quad (2)$$

$$E_x = \frac{-j}{{k_c}^2}\left(\beta\frac{\partial \mathrm{E}_z}{\partial x} + \omega\mu\frac{\partial H_z}{\partial y}\right) \quad (3)$$

$$E_y = \frac{j}{{k_c}^2}\left(-\beta\frac{\partial \mathrm{E}_z}{\partial y} + \omega\mu\frac{\partial H_z}{\partial x}\right) \quad (4)$$

TM ρυθμοί σε διηλεκτρική πλάκα(2)

- Η συνιστώσα E_z θα βρεθεί από την εξίσωση Helmhotz σε κάθε περιοχή:

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}+\frac{\partial^2}{\partial z^2}+k^2\right)E_z=0$$

η οποία για κάθε περιοχή γράφεται:

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\varepsilon_r {k_0}^2-\beta^2\right)\mathrm{E}_z=0, \qquad \text{για } 0\le x\le d,$$

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2}+{k_0}^2-\beta^2\right)\mathrm{E}_z=0, \qquad \text{για } d\le x\le \infty.$$

- Για τις δύο περιοχές οι κυματικοί αριθμοί αποκοπής θα είναι:

$$\varepsilon_r {k_0}^2-\beta^2={k_c}^2, \qquad \text{για } 0\le x\le d$$

$${k_0}^2-\beta^2=-h^2, \qquad \gamma\iota\alpha \quad d\le x\le \infty.$$

- Η αρνητική τιμή του κυματικού αριθμού αποκοπής για $d\le x\le\infty$, οφείλεται στην υπόθεση πως η ενέργεια δεν πρέπει να διαδίδεται σε αυτό το χώρο.

TM ρυθμοί σε διηλεκτρική πλάκα(3)

- Η γενική λύσης της εξίσωσης Helmhotz για κάθε περιοχή θα είναι:

$$E_z = (\mathrm{A}\sin k_c x + B\cos k_c y)e^{-j\beta z}, \qquad \gamma\iota\alpha\ 0 \le x \le d$$

$$E_z = \left(Ce^{hx} + De^{-hx}\right)e^{-j\beta z}, \qquad \gamma\iota\alpha\ \ d \le x \le \infty.$$

- Η σταθερά διάδοσης β πρέπει να είναι ίδια και στους δύο χώρους, λόγω της εξίσωσης συνέχειας στη διαχωριστική επιφάνεια.
- Οι οριακές συνθήκες είναι:

$$E_z|_{x=0} = 0, \qquad |E_z|_{x\to\infty} < \infty$$

από τις οποίες προκύπτει ότι $B = 0, C = 0.$

- Από τις (1)-(4) ισχύει: $H_x = H_z = E_y = 0$
- Στη διαχωριστική επιφάνεια ισχύει η συνέχεια των εφαπτομενικών συνιστωσών του ηλεκτρικού πεδίου, άρα για $x = d$:

$$A\sin k_c d = De^{-hd}$$

TM ρυθμοί σε διηλεκτρική πλάκα(3)

- Η συνέχεια των εφαπτομενικών συνιστωσών του μαγνητικού πεδίου σε συνδυασμό με την (2) δίνει για $x = d$:

$$\frac{\varepsilon_r A}{k_c} \cos k_c d = \frac{D}{h} e^{-hd}$$

- Η ύπαρξη μη μηδενικών λύσεων του παραπάνω συστήματος απαιτεί η ορίζουσα του να είναι μηδέν, δηλαδή:

$$k_c \tan k_c d = \varepsilon_r h$$

- Αν δούμε επιπλέον ότι ισχύει ${k_c}^2 + h^2 = (\varepsilon_r - 1){k_0}^2$ έχουμε ένα σύστημα το οποίο μπορούμε να λύσουμε τουλάχιστον γραφικά ως προς k_c και h, αν γράψουμε τις δύο σχέσεις με την εξής μορφή:

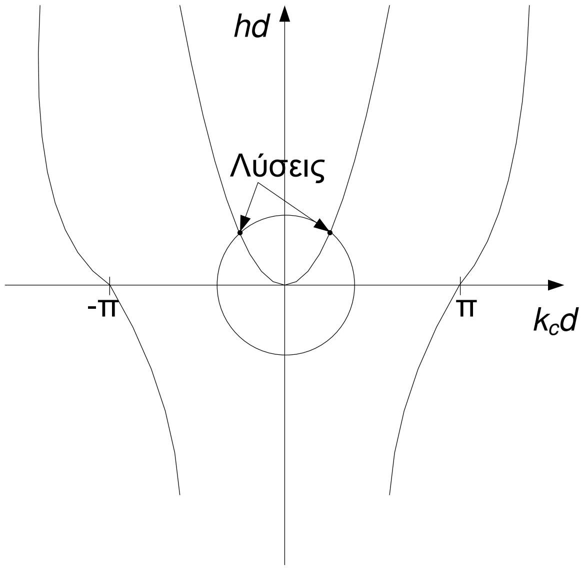
$$(k_c d) \tan k_c d = \varepsilon_r (hd),$$
$$(k_c d)^2 + (hd)^2 = (\varepsilon_r - 1)(k_0 d)^2$$

TM ρυθμοί σε διηλεκτρική πλάκα-Γραφική λυση

- Αποδεκτές λύσεις είναι αυτές για τις οποίες $h > 0$.
- Η ανάλυση της γραφικής λύσης μας δείχνει ότι υπάρχει η δυνατότητα πολύρρυθμης μετάδοσης, αλλά και η δυνατότητα διάδοσης TM κυμάτων με συχνότητα αποκοπής **μηδέν** (TM_0 ρυθμός)
- Η συχνότητα αποκοπής για κάθε ρυθμό είναι

$$f_c^{TM_n} = \frac{nc}{2d\sqrt{\varepsilon_r - 1}}, \qquad n = \mathbf{0}, 1,2, \ldots$$

$\kappa\alpha\iota\ c\ \eta\ \tau\alpha\chi\acute{\upsilon}\tau\eta\tau\alpha\ \tau o\upsilon\ \varphi\omega\tau\acute{o}\varsigma\ \sigma\tau o\ \kappa\varepsilon\nu\acute{o}$



TE ρυθμοί σε διηλεκτρική πλάκα

- Με ανάλογο τρόπο η εξίσωση Helmhotz μας δίνει:

$$H_z = (\mathrm{A}\sin k_c x + B\cos k_c y)e^{-j\beta z}, \qquad \gamma\iota\alpha\ 0 \le x \le d$$
$$H_z = \left(Ce^{hx} + De^{-hx}\right)e^{-j\beta z}, \qquad \gamma\iota\alpha\ \ d \le x \le \infty.$$

- Οι οριακές συνθήκες $\frac{\partial H_z}{\partial x}|_{x=0} = 0,\ \ |H_z|_{x\to\infty} < \infty$, δίνουν $\mathrm{A} = \mathrm{C} = 0$.
- Η συνέχεια της H_z για $x = d$, δίνει $\mathrm{B}\cos k_c d = De^{-hd}$, ενώ η συνέχεια της E_y επιβάλλει $\frac{-B}{k_c}\sin k_c d = \frac{D}{h}e^{-hd}$
- Οι δύο αυτές εξισώσεις αποτελούν ένα σύστημα που μπορεί να γραφεί στη μορφή

$$-(k_c d)\cot k_c d = hd,$$
$$(k_c d)^2 + (hd)^2 = (\varepsilon_r - 1)(k_0 d)^2.$$

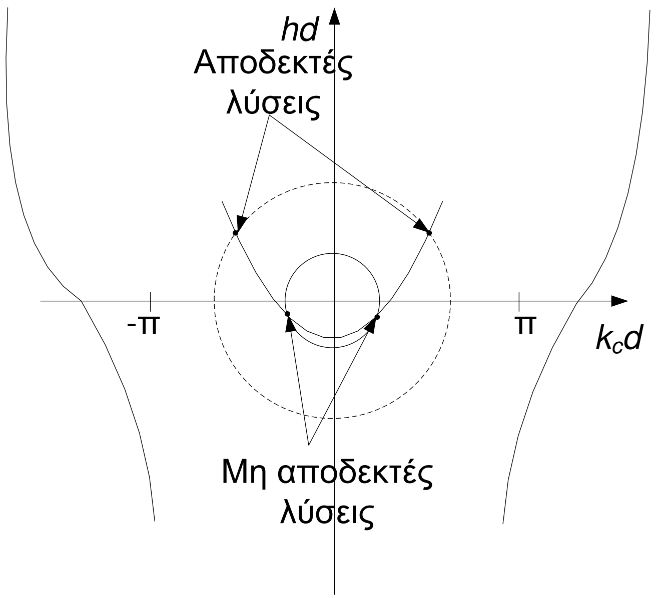
TE ρυθμοί σε διηλεκτρική πλάκα-γραφική λύση

- Η γραφική λύση του συστήματος δείχνει ότι ο πρώτος ρυθμός θα διαδίδεται μόνο αν η ακτίνα του κύκλου ξεπεράσει το $\pi/2$.
- Η συχνότητα αποκοπής για κάθε ρυθμό δίνεται από τη σχέση

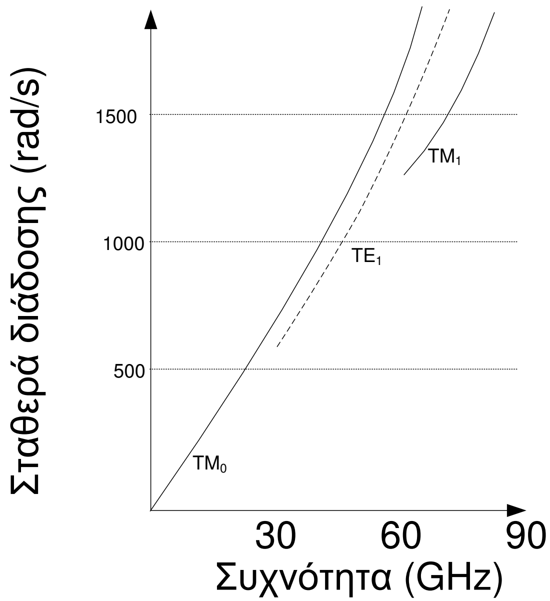
$$f_c{}^{TE_n} = \frac{(2n-1)c}{4d\sqrt{\varepsilon_r - 1}}, \qquad n = \mathbf{1}, 2, \ldots$$

$και\ c\ η\ ταχύτητα\ του\ φωτός\ στο\ κενό$

- **Δεν διαδίδεται σε αυτή την περίπτωση ο μηδενικός ρυθμός**



Σχέση διασποράς για τους ρυθμούς διηλεκτρικής πλάκας



Ποιοτική μεταβολή της σταθεράς διάδοσης β ως προς τη συχνότητα για τον TM_0 ρυθμό στην περίπτωση διηλεκτρικής πλάκας

Ο σχεδόν-TEM ρυθμός

- Ο σχεδόν-TEM ρυθμός αναφέρεται σε ρυθμό ο οποίος δεν είναι TEM, έχει όμως με σημαντική ακρίβεια τα χαρακτηριστικά ενός TEM ρυθμού.
- Για παράδειγμα στην περίπτωση της διηλεκτρικής πλάκας, δείξαμε ότι ο ρυθμός TM_0 έχει συχνότητα αποκοπής μηδέν. Αν επιπλέον αποφύγουμε την πολύρρυθμη μετάδοση σε μια τέτοια πλάκα και επίσης κρατήσουμε τη συχνότητα λειτουργίας σε επίπεδα τέτοια ώστε η σχέση διασποράς να είναι γραμμική, αυτός ο TM_0 ρυθμός είναι σχεδόν-TEM, καθώς η παράλληλη στη διάδοση συντιστώσα του ηλεκτρικού πεδίου είναι πολύ μικρότερη από τις κάθετες.

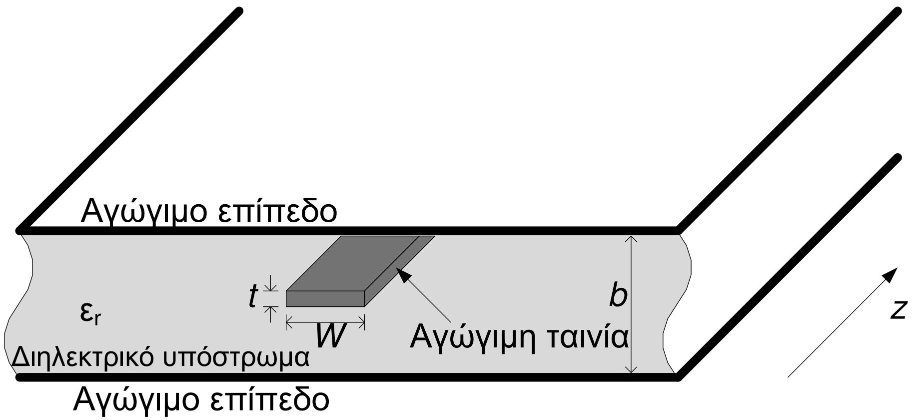
Η γραμμή ταινίας (stripline)

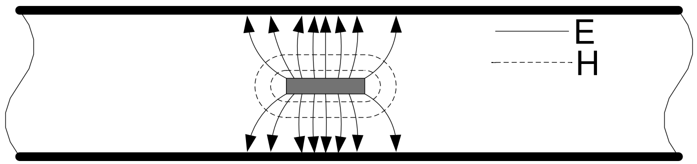
- Η γραμμή ταινίας τυπώνεται πάνω σε ένα διηλεκτρικό υπόστρωμα σε ύψος $b/2$, και στη συνέχεια σκεπάζεται από ίδιο διηλεκτρικό. Οι δύο άλλες πλευρές των υποστρωμάτων καλύπτονται με αγώγιμο υλικό.
- Ο ρυθμός λειτουργίας της γραμμής ταινίας είναι ο TEM.
- Φασική ταχύτητα:

$$v_p = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0 \varepsilon_r}} = \frac{c_0}{\sqrt{\varepsilon_r}}$$

- Σταθερά διάδοσης:

$$\beta = \frac{\omega}{v_p} = \sqrt{\varepsilon_r} k_0$$





Εξίσωσεις γραμμής ταινίας με **αμελητέο** πάχος αγωγού $(\boldsymbol{t=0})$

- Αποδεικνύεται με τη βοήθεια ηλεκτρομαγνητικής ανάλυσης ότι η χαρακτηριστική αντίσταση: $Z_0 = \frac{30\pi}{\sqrt{\varepsilon_r}} \frac{b}{W_e + 0.441b}$

όπου W_e το ενεργό πλάτος του κεντρικού αγωγού για το οποίο ισχύει: $\frac{W_e}{b} = \frac{W}{b} - \begin{cases} 0, & W/b \geq 0.35 \\ (0.35 - W/b)^2, & W/b < 0.35 \end{cases}$

- Αν ζητούνται οι διαστάσεις της γραμμής, δεδομένης της χαρακτηριστικής αντίστασης, χρησιμοποιούνται οι σχέσεις:

$$\frac{W}{b} = \begin{cases} x, & Z_0\sqrt{\varepsilon_r} \leq 120 \\ 0.85 - \sqrt{0.6 - x}, & Z_0\sqrt{\varepsilon_r} > 120 \end{cases}$$

όπου

$$x = \frac{30\pi}{Z_0\sqrt{\varepsilon_r}} - 0.441$$

Εξίσωσεις γραμμής ταινίας με **μη αμελητέο** πάχος αγωγού (**$t \neq 0$**)

- Χαρακτηριστική αντίσταση:

$$Z_0 = \frac{30}{\sqrt{\varepsilon_r}} \ln\left\{1 + \frac{4}{\pi}\frac{b-t}{W'}\left[\frac{8}{\pi}\frac{b-t}{W'} + \sqrt{\left(\frac{8}{\pi}\frac{b-t}{W'}\right)^2 + 6.27}\right]\right\}$$

όπου

$$\frac{W'}{b-t} = \frac{W}{b-t} + \frac{x}{\pi(1-x)}\left\{1 - \ln\left[\left(\frac{x}{2-x}\right)^2 + \left(\frac{0.0796x}{W/b + 1.1x}\right)^m\right]\right\},$$

$$m = 2\left(1 + \frac{2}{3}\frac{x}{1-x}\right)^{-1},$$

$$x = \frac{t}{b}.$$

Απώλειες σε γραμμή ταινίας(1)

- Οι απώλειες χωρίζονται σε **απώλειες διηλεκτρικού** και σε **απώλειες στους αγωγούς**.
- Η σταθερά απόσβεσης για τις απώλειες διηλεκτρικού είναι

$$\alpha_d = \frac{\beta \tan \delta}{2} \quad (\mathrm{Np}/m)$$

όπου $\tan \delta$ η εφαπτομένη απωλειών στο διηλεκτρικό.

Απώλειες σε γραμμή ταινίας (2)

- Η σταθερά απόσβεσης για τις απώλειες αγωγού είναι

$$\alpha_c = \begin{cases} \dfrac{2.7\times 10^{-3} R_s \varepsilon_r Z_0}{30\pi(b-t)} A, & Z_0\sqrt{\varepsilon_r} \le 120 \\ \dfrac{0.16 R_s}{Z_0 b} B, & Z_0\sqrt{\varepsilon_r} > 120 \end{cases} \quad (Np/m)$$

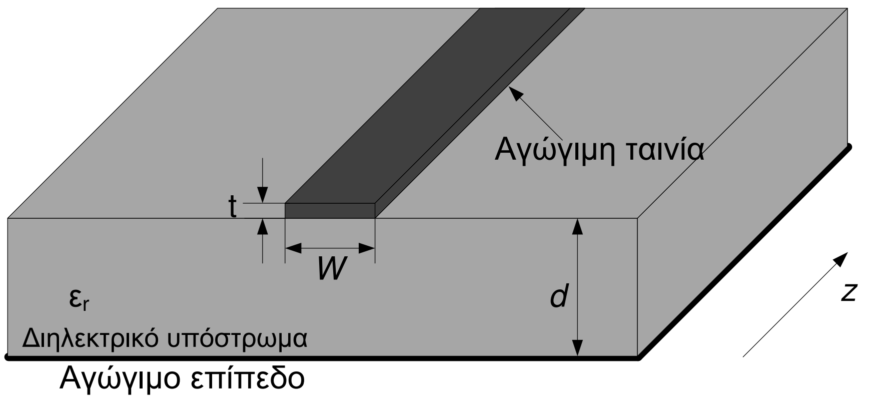
Όπου $R_s = \sqrt{\pi f \mu/\sigma}$ είναι η επιφανειακή αντίσταση του αγωγού και

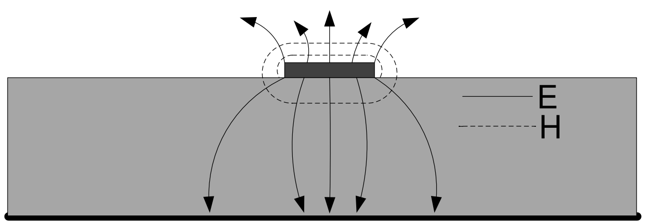
$$\mathrm{A} = 1 + \frac{2W}{b-t} + \frac{1}{\pi}\frac{b+t}{b-t}\ln\left(\frac{2b-t}{t}\right),$$

$$B = 1 + \frac{b}{0.5W + 0.7t}\left(0.5 + \frac{0.414t}{W} + \frac{1}{2\pi}\ln\frac{4\pi W}{t}\right).$$

Μικροταινία (microstrip)

- Επειδή οι δυναμικές γραμμές δεν περιορίζονται στο διηλεκτρικό, η μικροταινία είναι μια μη ομογενής γραμμή. Άρα δεν υποστηρίζει TEM ρυθμό.
- Εξαιτίας της μετάδοσης σε δύο υλικά, τα πεδία του επικρατέστερου ρυθμού αποτελούν ένα υβριδικό TE-TM κύμα, πολύπλοκο ως προς την ανάλυση του.
- Στην πράξη όταν $d \ll \lambda$, αυτός ο ρυθμός μπορεί να θεωρηθεί ως σχεδόν-TEM.





Φασική ταχύτητα και σταθερά διάδοσης σε μικροταινία

- Φασική ταχύτητα: $\upsilon_p = \dfrac{c_0}{\sqrt{\varepsilon_{r,eff}}}$
- Σταθερά διάδοσης: $\beta = k_0\sqrt{\varepsilon_{r,eff}}$
- Η *ενεργός διηλεκτρική σταθερά* $\varepsilon_{r,eff}$ μπορεί να ερμηνευθεί ως η διηλεκτρική σταθερά ενός μέσου που αν γέμιζε όλο το χώρο, η συμπεριφορά του συστήματος θα ήταν ίδια, σε ότι αφορά τα χαρακτηριστικά του σχεδόν-TEM ρυθμού.

$$\varepsilon_{r,eff} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} F - \frac{\varepsilon_r - 1}{4.6}\frac{t/d}{\sqrt{W/d}}$$

όπου

$$F = \begin{cases} \dfrac{1}{\sqrt{1 + 12\, d/W}} + 0.04(1 - W/d)^2, & W/d \le 1 \\ \dfrac{1}{\sqrt{1 + 12\, d/W}}, & W/d > 1 \end{cases}$$

Χαρακτηριστική αντίσταση μικροταινίας

$$Z_0 = \begin{cases} \dfrac{60}{\sqrt{\varepsilon_{r,eff}}} \ln\left(\dfrac{8d}{W'} + \dfrac{W'}{4d}\right), & W/d \leq 1 \\ \dfrac{120\pi}{\sqrt{\varepsilon_{r,eff}}} \left[\dfrac{W'}{d} + 1.393 + 0.667 \ln\left(\dfrac{W'}{d} + 1.444\right)\right]^{-1}, & W/d > 1 \end{cases}$$

όπου $W' = W$, αν t/d ενώ γενικά υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\frac{W'}{d} = \begin{cases} \dfrac{W}{d} + \dfrac{1.25}{\pi}\dfrac{t}{d}\left(1 + \ln\dfrac{4\pi W}{t}\right), & W/d \leq \dfrac{1}{2\pi} \\ \dfrac{W}{d} + \dfrac{1.25}{\pi}\dfrac{t}{d}\left(1 + \ln\dfrac{2d}{t}\right), & W/d > \dfrac{1}{2\pi} \end{cases}$$

Υπολογισμός διαστάσεων μικροταινίας

- Γνωρίζοντας τη χαρακτηριστική αντίσταση και θεωρώντας αμελητέο το πάχος του αγωγού ($t = 0$):

$$\frac{W}{d} = \begin{cases} \frac{8e^{A}}{e^{2A-2}}, & \mathrm{A} > 1.52 \\ \frac{2}{\pi}\left\{\mathrm{B} - 1 - \ln(2\mathrm{B} - 1) + \frac{\varepsilon_r - 1}{2\varepsilon_r}\left[\ln(B-1) + 0.39 - \frac{0.61}{\varepsilon_r}\right]\right\}, & \mathrm{A} \le 1.52 \end{cases}$$

όπου

$$A = \frac{Z_0}{60}\sqrt{\frac{\varepsilon_r + 1}{2}} + \frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r + 1}\left(0.23 + \frac{0.11}{\varepsilon_r}\right),$$

$$B = \frac{60\pi^2}{\mathrm{Z}_0\sqrt{\varepsilon_r}}$$

Απώλειες μικροταινίας

- Η σταθερά απόσβεσης που οφείλεται στις απώλειες διηλεκτρικού είναι

$$\alpha_d = \frac{k_0 \varepsilon_r \left(\varepsilon_{r,eff} - 1\right) \tan\delta}{2\sqrt{\varepsilon_{r,eff}}(\varepsilon_r - 1)} \quad (Np/m)$$

- Η σταθερά απόσβεσης που οφείλεται στις απώλειες αγωγού είναι προσεγγιστικά

$$a_c = \frac{R_s}{Z_0 W} \quad (Np/m) \text{ ή } a_c = \frac{8.686 R_s}{Z_0 W} \quad (dB/m)$$

όπου R_s η επιφανειακή αντίσταση του αγωγού

- Η προσέγγιση είναι ικανοποιητική όταν $W > d$.

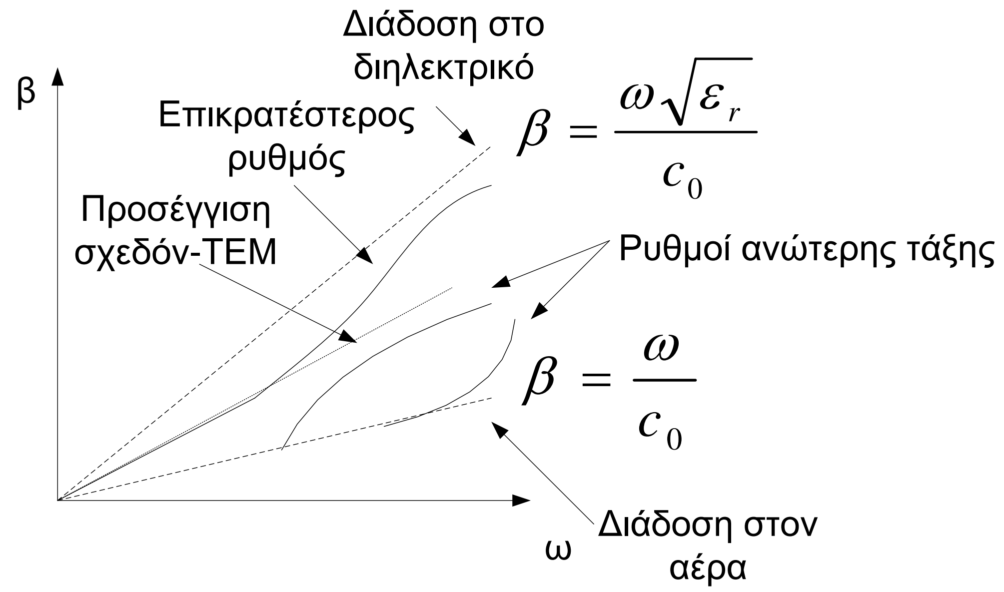
Μέγιστη συχνότητα λειτουργίας μικροταινίας

- Η μέγιστη συχνότητα λειτουργίας καθορίζεται από την αύξηση των απωλειών με τη συχνότητα, την ύπαρξη απωλειών λόγω ακτινοβολίας και κυρίως από την πιθανότητα διέγερσης ρυθμών ανώτερης τάξης
- Η μέγιστη συχνότητα ως την οποία δεν έχω διέγερση κάποιου ανώτερου ρυθμού είναι

$$f_c = \frac{150}{\pi d}\sqrt{\frac{2}{\varepsilon_r - 1}\tan^{-1}(\varepsilon_r)} \quad (GHz)$$

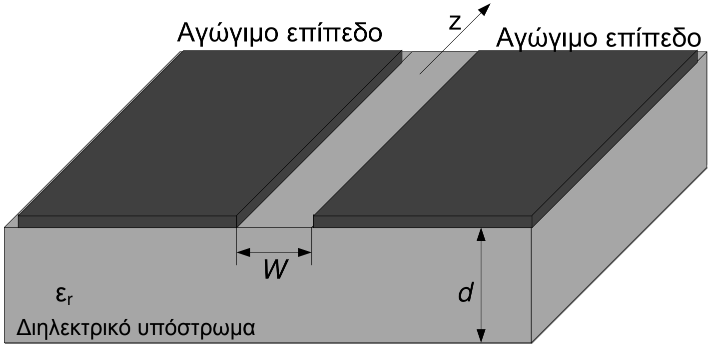
όπου d σε mm.

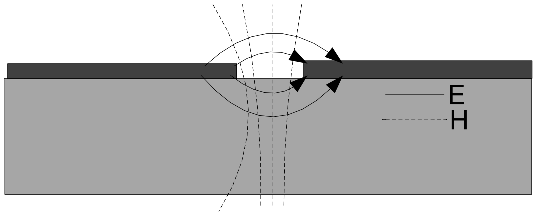
Σχέση διασποράς *β-ω* σε μικροταινία



Γραμμή εγκοπής (slotline)

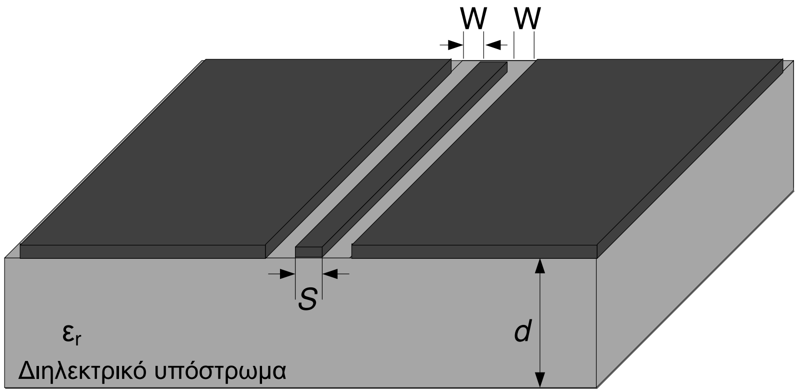
- Είναι χρήσιμη σε κυκλώματα που απαιτούν γραμμές υψηλής χαρακτηριστικής αντίστασης
- Παρέχει εύκολη υλοποίηση βραχυκυκλωμάτων και κλαδωτών σειράς
- Ο διαδιδόμενος ρυθμός δεν είναι TEM αλλά TE με σημαντική διασπορά





Ομοεπίπεδος κυματοδηγός

- Παρέχουν σημαντική ευκολία στην υλοποίηση παθητικών και ενεργών κυκλωμάτων, καθώς δεν απαιτούνται οπές και παράλληλες διατάξεις
- Υποστηρίζουν σχεδόν TEM ρυθμούς και έχουν χαμηλές απώλειες που μειώνονται με την αύξηση του πλάτους S



Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.00.

Σημείωμα Αναφοράς

Σημείωμα Αδειοδότησης

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.