

ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΑ

Μικροκυματικά Δίκτυα

Δήμητρα – Θεοδώρα Κακλαμάνη
Καθηγήτρια ΕΜΠ



Μικροκυματικά κυκλώματα

- διασύνδεση παθητικών και ενεργητικών στοιχείων με γραμμές μεταφοράς (αντί αγωγών)
 - φίλτρα
 - ενισχυτές
 - ταλαντωτές
 - μείκτες
 -
- περίοδος ταλάντωσης μικροκυματικών σημάτων συγκρίσιμη με τις καθυστερήσεις στις γραμμές μεταφοράς → *κατανεμημένα στοιχεία* → **γενίκευση κλασσικής θεωρίας κυκλωμάτων**

Κυματοδότηση σε μέσο με άπειρη ομοιομορφία ως προς z :

$$\vec{E}(x, y, z) = \vec{e}(x, y)e^{\pm\gamma z}, \quad \vec{H}(x, y, z) = \vec{h}(x, y)e^{\pm\gamma z}, \quad \gamma = \alpha + j\beta, \quad e^{+j\omega t}$$



- πλήρης τρόπος περιγραφής: εξισώσεις Maxwell $\rightarrow \vec{E}, \vec{H}$ παντού
 - «δευτερογενή» κύματα από σκέδαση στην περιοχή (μέσα και κοντά) της ασυνέχειας
 - ικανοποίηση οριακών συνθηκών \rightarrow ΗΜ πεδίο ως υπέρθεση πολλών ιδιοκυμάτων ή ρυθμών που (συνήθως) αποθηκεύουν ενέργεια
- επιλογή κατάλληλων διαστάσεων κυματοδηγού \rightarrow διάδοση ενός ρυθμού και αποκοπή των υπολοίπων μακριά από την ασυνέχεια
- περιγραφή της επίδρασης της ασυνέχειας: προσπίπτον, ανακλώμενο, μεταφερόμενο \rightarrow **S-παράμετροι**

Κανονικοποιημένη κυματική τάση

για κύμα προς $+z$: $a(z) = \sqrt{\frac{1}{2} \text{Real} \iint (\vec{e} \times \vec{h}^*) \cdot \hat{z} dx dy} e^{-\gamma z} \Rightarrow a(z) = \sqrt{P} e^{-\gamma z} \Rightarrow$

$|a(z)|^2 = P e^{-2\alpha z} \rightarrow$ η ισχύς που μεταφέρεται από το κύμα στη θέση z

για κύμα προς $-z$: $b(z) = \sqrt{\frac{1}{2} \text{Real} \iint (\vec{e} \times \vec{h}^*) \cdot \hat{z} dx dy} e^{+\gamma z} \Rightarrow b(z) = \sqrt{P} e^{+\gamma z}$

$$a(z) = a(z_A) e^{-\gamma(z-z_A)}, \quad z > z_A$$

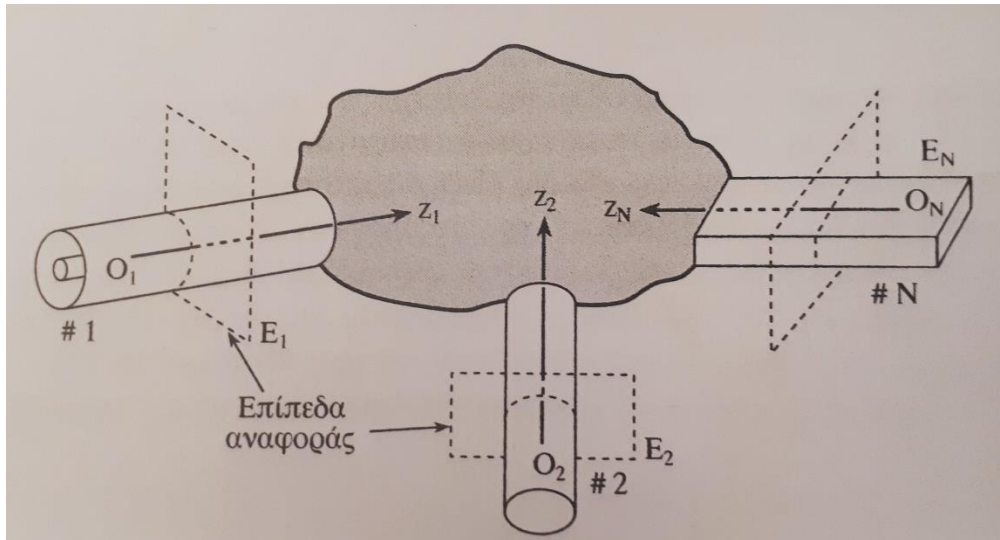
$$b(z) = b(z_B) e^{+\gamma(z-z_B)}, \quad z < z_B$$

$$V(z) = \sqrt{2z_0} (a(z) + b(z))$$

$$I(z) = \sqrt{2/z_0} (a(z) - b(z))$$

$$\frac{V(z)}{I(z)} = z(z) = z_0 \frac{a(z) + b(z)}{a(z) - b(z)} = z_0 \frac{1 + \rho(z)}{1 - \rho(z)}, \quad \rho(z) = \frac{b(z)}{a(z)}$$

Μικροκυματικά πολύθυρα



- γραμμές χωρίς απώλειες
- μονορρυθμική διάδοση
- ορισμός αξόνων κατεύθυνσης διάδοσης και επιπέδων αναφοράς

$$a_1(z_1) = a_1(0)e^{-j\beta_1 z_1}$$

$$a_2(z_2) = a_2(0)e^{-j\beta_2 z_2}$$

⋮

$$a_N(z_2) = a_N(0)e^{-j\beta_N z_N}$$

$$b_1(z_1) = b_1(0)e^{+j\beta_1 z_1}$$

$$b_2(z_2) = b_2(0)e^{+j\beta_2 z_2}$$

⋮

$$b_N(z_2) = b_N(0)e^{+j\beta_N z_N}$$

• για να περιγραφεί πλήρως η κυκλωματική συμπεριφορά του πολύθυρου, αρκεί \forall θέση z η γνώση των εξόδων $b_i(0)$ για συγκεκριμένες εισόδους $a_i(0)$

➤ για ποιους λόγους μπορεί να υπάρχει σήμα a_i στην i -στη θύρα;

➤ για ποιους λόγους μπορεί να υπάρχει σήμα b_i στην i -στη θύρα;

Παράμετροι Σκέδασης (S-parameters)

$$b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2 + \dots + S_{1N}a_N$$

$$b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2 + \dots + S_{2N}a_N$$

⋮

ή $\underline{\mathbf{b}} = \underline{\mathbf{S}} \cdot \underline{\mathbf{a}}$ με $S_{ij} = \left. \frac{b_i}{a_j} \right|_{a_k=0, k \neq j}$

$$b_N = S_{N1}a_1 + S_{N2}a_2 + \dots + S_{NN}a_N$$

- πότε ισχύει $a_k = 0$;
- πώς προσδιορίζονται με μετρήσεις οι S-παράμετροι ενός πολύθυρου;
- τι εκφράζει η παράμετρος S_{ij} ;
- τι εκφράζει η παράμετρος $S_{ii} = \left. \frac{b_i}{a_i} \right|_{a_k=0, k \neq i}$;
- τι σημαίνει $S_{ij} = 0$;
- σχέσεις μεταξύ των πινάκων $\underline{\mathbf{S}}$ και $\underline{\mathbf{Z}}, \underline{\mathbf{Y}}$ του πολύθυρου

Δίθυρο



ανάκλαση

ανάστροφη μετάδοση (ανάδραση)

$$\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}$$

ορθή μετάδοση

Αμφίδρομα πολύθυρα

Αρχή αμοιβαιότητας, $\underline{\bar{Z}}, \underline{\bar{Y}}$ συμμετρικοί πίνακες $\rightarrow \underline{\bar{S}} = \underline{\bar{S}}^T$

Πολύθυρα χωρίς απώλειες

Πρέπει $P_{εισ} = \sum_{n=1}^N P_{εισ,n} = \sum_{n=1}^N (|a_n|^2 - |b_n|^2) = 0 \Rightarrow$ ⁽¹⁾

$$\underline{a}^{*T} \cdot \underline{a} - \underline{b}^{*T} \cdot \underline{b} = 0 \Rightarrow \underline{a}^{*T} \cdot \underline{a} - \underline{a}^{*T} \cdot \underline{\bar{S}}^{*T} \cdot \underline{\bar{S}} \cdot \underline{a} = 0 \Rightarrow$$
 ⁽²⁾

$$\underline{a}^{*T} \cdot \left(\underline{\bar{I}} - \underline{\bar{S}}^{*T} \cdot \underline{\bar{S}} \right) \cdot \underline{a} = 0 \Rightarrow \underline{\bar{S}}^{*T} \cdot \underline{\bar{S}} = \underline{\bar{I}} \Rightarrow \underline{\bar{S}}^{-1} = \underline{\bar{S}}^{*T}$$

$$\sum_{k=1}^N |a_k|^2 = \underline{a}^{*T} \cdot \underline{a} \quad (1)$$

$$\underline{b} = \underline{\bar{S}} \cdot \underline{a} \Rightarrow \underline{b}^{*T} = \underline{a}^{*T} \cdot \underline{\bar{S}}^{*T} \quad (2)$$