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**

Κυματοδήγηση σε μέσο με *άπειρη ομοιομορφία ως προς z*:

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

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

Κανονικοποιημένη κυματική τάση

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

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

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

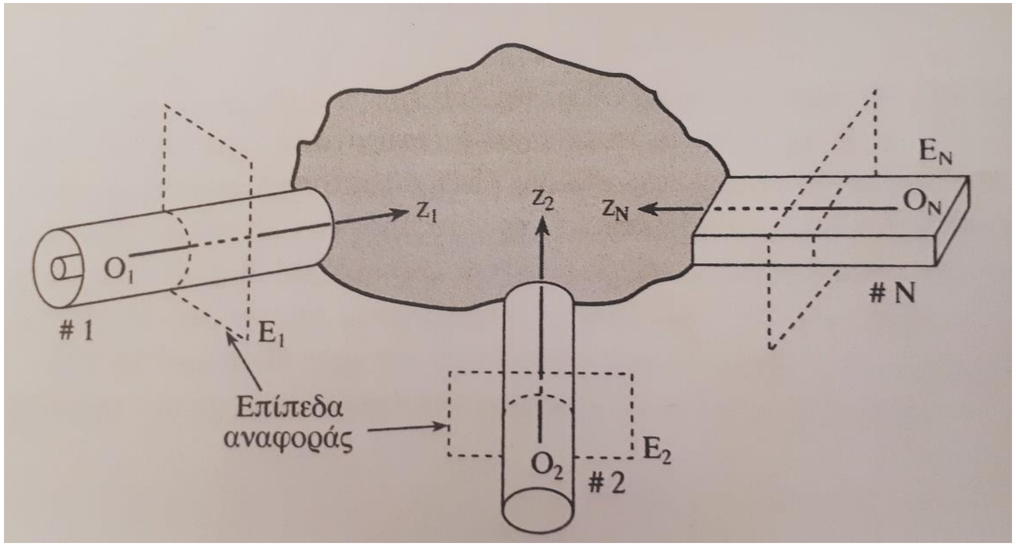
$$a(z) = a(z_A) e^{-\gamma(z - z_A)}, \qquad z > z_A$$

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

$$\boxed{V(z) = \sqrt{2z_0}\big(a(z) + b(z)\big)} \quad , \quad \boxed{I(z) = \sqrt{2/z_0}\big(a(z) - b(z)\big)}$$

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

Μικροκυματικά πολύθυρα



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

$$
\begin{aligned}
a_1(z_1) &= a_1(0)e^{-j\beta_1 z_1} \\
a_2(z_2) &= a_2(0)e^{-j\beta_2 z_2} \\
&\vdots \\
a_N(z_2) &= a_N(0)e^{-j\beta_N z_N}
\end{aligned}
\qquad
\begin{aligned}
b_1(z_1) &= b_1(0)e^{+j\beta_1 z_1} \\
b_2(z_2) &= b_2(0)e^{+j\beta_2 z_2} \\
&\vdots \\
b_N(z_2) &= b_N(0)e^{+j\beta_N z_N}
\end{aligned}
$$

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

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

Παράμετροι Σκέδασης (S-parameters)

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

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

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

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

- **πότε ισχύει $a_k = 0$;**
  πώς προσδιορίζονται με μετρήσεις οι S-παράμετροι ενός πολύθυρου;
  τι εκφράζει η παράμετρος S_{ij} ;
  τι εκφράζει η παράμετρος $S_{ii} = \left.\frac{b_i}{a_i}\right|_{a_k=0,\, k\neq i}$;

- σχέσεις μεταξύ των πινάκων $\overline{\underline{S}}$ και $\overline{\underline{Z}}, \overline{\underline{Y}}$ 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, $\underline{\overline{Z}}, \underline{\overline{Y}}$ συμμετρικοί πίνακες → $\boxed{\underline{\overline{S}} = \underline{\overline{S}}^T}$

Πολύθυρα χωρίς απώλειες

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

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

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

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

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