



ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΥΨΗΛΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ (Θ)

Ενότητα 10: Μικροκυματική Τεχνολογία

ΔΙΔΑΣΚΩΝ: Δρ. Στυλιανός Τσίτσος
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΤΕ



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη 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.



Ενότητα 10

Μικροκυματική Τεχνολογία

Δρ. Στυλιανός Τσίτσος

Περιεχόμενα ενότητας

Σκοποί ενότητας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ, ΚΕΡΔΟΣ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΙ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΠΙΣΤΡΟΦΗΣ

Απώλεια παρεμβολής και εξασθένιση

- Τα μικροκυματικά σήματα συνδέονται με καλώδια, κυματοδηγούς ή γραμμές. Αυτά τα στοιχεία, ιδανικά, δεν έχουν dc αντίσταση ή σύνθετη αντίσταση σε χαμηλές ή υψηλές συχνότητες και συνεπώς δεν απορροφούν καθόλου μικροκυματική ισχύ.
- Στην πράξη όμως, ένα μέρος της μικροκυματικής ισχύος απορροφάται εξαιτίας του επιδερμικού βάθους. Ως αποτέλεσμα, η ισχύς που εξέρχεται από ένα καλώδιο είναι μικρότερη από αυτήν που εισέρχεται στο καλώδιο.
- Η απορρόφηση της ισχύος ονομάζεται **εξασθένιση** και η απορροφούμενη ισχύς μετατρέπεται σε θερμότητα.
- Ένας άλλος λόγος που η ισχύς εξόδου είναι μικρότερη από την ισχύ εισόδου, είναι η **ανάκλαση**. Έτσι, ένα στοιχείο ή συσκευή μπορεί να ανακλά κάποια από την ισχύ εισόδου και επιτρέπει την υπόλοιπη να περάσει χωρίς απορρόφηση.
- Η εξασθένιση οφείλεται αποκλειστικά σε απορρόφηση και κατανάλωση ισχύος, ενώ οι **απώλειες παρεμβολής λαμβάνουν υπόψη την ανάκλαση και την εξασθένιση**. Συγκεκριμένα, η απώλεια παρεμβολής είναι οι ίδια με την εξασθένιση αν δεν υπάρχει ανάκλαση ισχύος παρά μόνο απορρόφηση.

Μικροκυματική Τεχνολογία

- Η απώλεια παρεμβολής (Insertion Loss, IL) για ένα δεδομένο στοιχείο, ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος εισόδου προς την ισχύ εξόδου:

$$IL = P_{in} / P_{out} \quad (4.1)$$

- Η απώλεια παρεμβολής εφαρμόζεται σε παθητικά στοιχεία.
- Οι ενεργές συσκευές, όπως ένας ενισχυτής, προσθέτουν ισχύ στην είσοδο έτσι ώστε η ισχύς εξόδου είναι μεγαλύτερη από την ισχύ εισόδου.
- Ένα χωρίς απώλειες στοιχείο θα έχει απώλεια παρεμβολής ίση με 1 επειδή η ισχύς εξόδου είναι ακριβώς ίση με την ισχύ εισόδου.
- Ένα στοιχείο με άπειρη απώλεια παρεμβολής σημαίνει ότι απορροφά ή ανακλά το 100% της ισχύος εισόδου, δηλαδή η P_{out} είναι μηδέν. Επομένως, όσο μεγαλύτερη είναι η απώλεια παρεμβολής, τόσο περισσότερη απορρόφηση ισχύος έχει το στοιχείο.
- Η απώλεια παρεμβολής ενός στοιχείου μπορεί να εκφραστεί σε dB :

$$IL (dB) = P_{in}(dBm) - P_{out}(dBm) \quad (4.2)$$

- Ένα ιδανικό στοιχείο ($IL=1$) έχει απώλεια παρεμβολής 0 dB .
- Συνήθως οι κατασκευαστές δηλώνουν την εξασθένιση των προϊόντων τους σε dB . Στην περίπτωση καλωδίου ή κυματοδηγού, δίνεται συνήθως η εξασθένιση ανά μονάδα μήκους.

Μικροκυματική Τεχνολογία

Απώλεια παρεμβολής σε σειρά

- Αν έχουμε n στοιχεία σε σειρά, η ολική απώλεια δίνεται από το γινόμενο των επιμέρους απωλειών, όταν αυτές οι τιμές εκφράζονται σε αδιάστατη μορφή, δηλαδή:

$$IL (\text{ολική}) = IL (1) \cdot IL (2) \cdot \dots \cdot IL (n) \quad (4.3)$$

- Αν εκφράσουμε την απώλεια παρεμβολής σε dB θα έχουμε την παρακάτω έκφραση:

$$IL (\text{ολική, dB}) = IL (1, dB) + IL (2, dB) + \dots + IL (n, dB) \quad (4.4)$$

Κέρδος ισχύος

- Στα μικροκυματικά κυκλώματα, ο ενισχυτής ενισχύει την ισχύ. Η ισχύς εξόδου είναι μεγαλύτερη από την ισχύ εισόδου κατά έναν παράγοντα που ονομάζεται κέρδος (ισχύος), G . Αυτή η έξτρα ισχύς προέρχεται από το τροφοδοτικό που λειτουργεί τον ενισχυτή. Έτσι το κέρδος του ενισχυτή υπολογίζεται ως:

$$G(\text{κέρδος}) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (4.5)$$

- Το κέρδος ισχύος μπορεί να εκφραστεί και σε dB :

$$G(dB) = P_{out} (dBm) - P_{in} (dBm) \quad (4.6)$$

Μικροκυματική Τεχνολογία

Ενισχυτές σε σειρά

- Αν έχουμε n ενισχυτές σε σειρά, το συνολικό κέρδος δίνεται από το γινόμενο των επιμέρους κερδών:

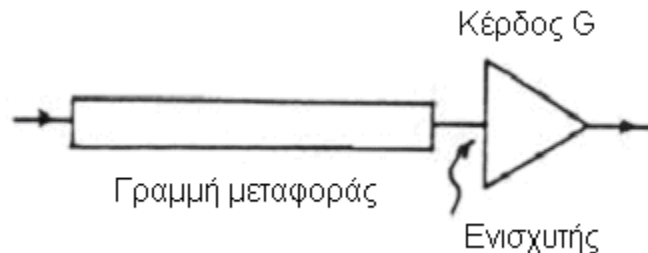
$$G_T (\text{ολικό κέρδος}) = G_1 \cdot G_2 \cdot \dots \cdot G_n \quad (4.7)$$

- Αν εκφράσουμε την παραπάνω σχέση σε dB , θα έχουμε:

$$G_T (\text{ολικό κέρδος, dB}) = G_1 (dB) + G_2 (dB) + \dots + G_n (dB) \quad (4.8)$$

Συνδυασμός κέρδους και απώλειας παρεμβολής

- Η ισχύς του σήματος αφού περάσει μέσα από το καλώδιο εξασθενεί και στη συνέχεια ενισχύεται από έναν ενισχυτή με δεδομένο σταθερό κέρδος.



Σχήμα 4.1:

Συνδυασμός εξασθένισης με κέρδος.

- Η ισχύς εξόδου P_{out} θα δίνεται από τη σχέση: $P_{out} = P_{in} \cdot \frac{G}{IL}$ (4.9)

- Η παραπάνω έκφραση σε dB γίνεται: $P_{out} = P_{in} (dBm) - IL(dB) + G(dB)$ (4.10)

Απώλεια επιστροφής

- Όταν μία δέσμη μικροκυμάτων εισέρχεται σε ένα σύστημα που δεν είναι τέλεια προσαρμοσμένο, γενικά θα υπάρχει μία ανάκλαση. Μέρος της ισχύος εισόδου απορροφάται ή μεταδίδεται στο σύστημα και η υπόλοιπη ανακλάται. Όταν το ανακλώμενο κύμα συναντά το προσπίπτον κύμα, γίνεται αλληλεπίδραση, που έχει ως αποτέλεσμα ένα στάσιμο κύμα.
- Η απώλεια επιστροφής (Return Loss, RL) ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος του προσπίπτοντος κύματος προς την ισχύ του ανακλώμενου κύματος:

$$RL = \frac{P_{inc}}{P_{refl}} \quad (4.11)$$

- Σε μια περίπτωση τέλει προσαρμογής, δεν θα έχουμε καθόλου ανάκλαση, δηλαδή $P_{refl}=0$, ανεξάρτητα από την τιμή της P_{inc} . Έτσι προκύπτει μία άπειρη απώλεια επιστροφής. Η χειρότερη περίπτωση συμβαίνει όταν 100% της προσπίπτουσας ισχύος ανακλάται, δηλαδή $P_{refl} = P_{inc}$. Αυτό σημαίνει απώλεια επιστροφής ίση με 1 .
- Η απώλεια επιστροφής μπορεί επίσης να εκφραστεί σε dB :

$$RL(dB) = P_{inc}(dbm) - P_{refl}(dBm) \quad (4.12)$$

- Η ισχύς που μεταδίδεται εκφράζεται ως εξής:

$$\text{Μεταδιδόμενη ισχύς} = P_{inc}(\text{Watt}) - P_{refl}(\text{Watt}) \quad (4.13)$$

Μικροκυματική Τεχνολογία

Συντελεστής ανακλάσεως

- Μία εναλλακτική ποσότητα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντί για την απώλεια επιστροφής είναι ο συντελεστής ανακλάσεως της τάσεως ρ . Αν η μικροκυματική ισχύς μετρείται από μία συσκευή που μετατρέπει την ισχύ σε τάση, ο συντελεστής ανακλάσεως της τάσης ορίζεται ως:

$$\rho = \frac{V_{refl}}{V_{inc}} \quad (4.14)$$

- Επειδή η ισχύς σχετίζεται με το τετράγωνο της τάσεως, μπορούμε να εξάγουμε την παρακάτω έκφραση:

$$RL = \frac{P_{inc}}{P_{refl}} = \frac{V_{inc}^2}{V_{refl}^2} = \frac{1}{\rho^2} \quad (4.15)$$

- απ' όπου λαμβάνουμε:

$$\rho = \frac{1}{\sqrt{RL}} \quad (4.16)$$

- Μία ιδανική διάταξη, έχει άπειρη απώλεια επιστροφής ($RL=\infty$) που αντιστοιχεί σε ένα συντελεστή ανακλάσεως ίσο με το 0 ($\rho=0$). Παρόμοια, μία διάταξη με 100% ανάκλαση ($RL=1$), δίνει $\rho=1$.

Απώλεια επιστροφής, συντελεστής ανακλάσεως και VSWR

- Η έννοια του λόγου στασίμου κύματος τάσεως (VSWR) ορίζεται ως εξής:

$$VSWR = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} \quad (4.17)$$

όπου V_{\max} η μέγιστη (rms) τάση του στασίμου κύματος και V_{\min} η ελάχιστη (rms) τάση του στασίμου κύματος.

- Η απώλεια επιστροφής, ο συντελεστής ανακλάσεως και το VSWR είναι όλες ποσότητες που περιγράφουν το φαινόμενο της ανάκλασης και σχετίζονται μεταξύ τους. Η εξίσωση (4.15), σε dB γράφεται:

$$RL(dB) = 20 \log \frac{1}{\rho} \quad (4.18)$$

Στην εξίσωση (4.17) V_{\max} είναι το άθροισμα της τάσης του προσπίπτοντος κύματος και της τάσης του ανακλώμενου κύματος, ενώ V_{\min} είναι η διαφορά μεταξύ της τάσεως του προσπίπτοντος κύματος και της τάσεως του ανακλώμενου κύματος. Συνεπώς:

$$VSWR = \frac{V_{inc} + V_{refl}}{V_{inc} - V_{refl}} \quad (4.19)$$

απ' όπου προκύπτει:

$$VSWR + 1 = \frac{2V_{inc}}{V_{inc} - V_{refl}} \quad (4.20)$$

$$VSWR - 1 = \frac{2V_{refl}}{V_{inc} - V_{refl}} \quad (4.21)$$

Μικροκυματική Τεχνολογία

- και επομένως:
$$\frac{VSWR + 1}{VSWR - 1} = \frac{V_{inc}}{V_{refl}} \quad (4.22)$$

- Ο λόγος V_{inc}/V_{refl} είναι το αντίστροφο του ορισμού του συντελεστή ανακλάσεως. Επομένως η σχέση μεταξύ του $VSWR$ και του ρ θα είναι:

$$\rho = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \quad (4.23)$$

- ή διαφορετικά:
$$VSWR = \frac{1 + \rho}{1 - \rho} \quad (4.24)$$

- Από τις σχέσεις (4.15) και (4.23) έχουμε:

$$RL = \left(\frac{VSWR + 1}{VSWR - 1} \right)^2 \quad (4.25)$$

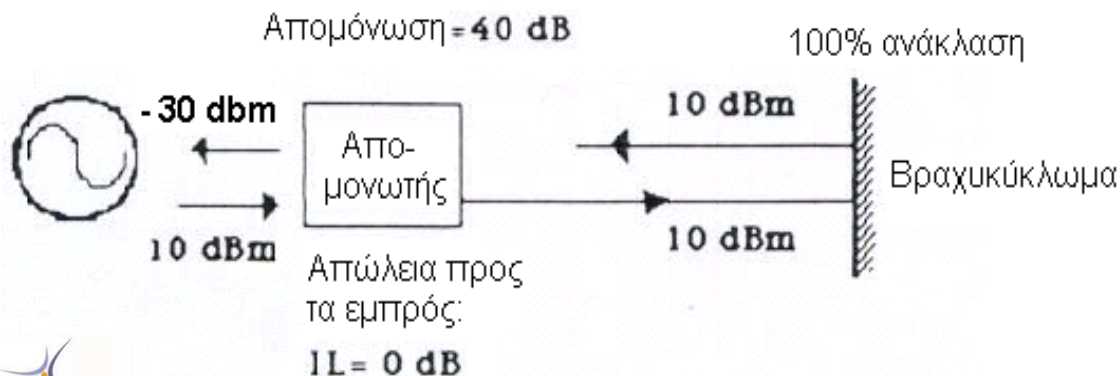
- ή:
$$VSWR = \frac{\sqrt{RL} + 1}{\sqrt{RL} - 1} \quad (4.26)$$

- **Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σε όλες τις παραπάνω εξισώσεις, οι ποσότητες πρέπει να είναι σε αριθμητική μορφή και όχι σε dB.**

Μικροκυματική Τεχνολογία

Απομόνωση

- Ένας απομονωτής είναι ένα παθητικό στοιχείο που επιτρέπει στα μικροκύματα να μεταδοθούν προς τη μία κατεύθυνση, αλλά όχι προς την αντίθετη κατεύθυνση. Ένας ιδανικός απομονωτής έχει μηδενική απώλεια παρεμβολής προς τη μία κατεύθυνση και άπειρη απώλεια στην αντίθετη κατεύθυνση. Το στοιχείο που είναι ανάλογο του απομονωτή στις χαμηλές συχνότητες είναι η διάοδος.
- Αν τοποθετηθεί μεταξύ μιας γεννήτριας σήματος και του υπόλοιπου κυκλώματος, ο απομονωτής μπορεί να ελαττώσει το ανακλώμενο κύμα προς τη γεννήτρια σε χαμηλότερο επίπεδο, έτσι ώστε η ποσότητα του ανακλώμενου κύματος που εισέρχεται στη γεννήτρια να είναι ελάχιστη. Η ικανότητα του απομονωτή να «μπλοκάρει» το ανακλώμενο κύμα, δίνεται ποσοτικά από την απομόνωσή του.



Σχήμα 4.2:

Ο απομονωτής ελαττώνει σημαντικά την ισχύ του ανακλώμενου κύματος από ένα βραχυκύκλωμα προς τη γεννήτρια.

Τέλος Ενότητας

