

ANTENNA THEORY AND APPLICATIONS

Supervisor: Michael Mavredakis
Writted By John Spathopoulos

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΑ

- 1.....Στοιχεία Ραδιοζεύξεων
 1. Ακτινοβολία
 2. Ατμοσφαιρική Απορρόφηση
 3. Επίδραση της γήινης καμπυλότητας
 4. Επίδραση μορφολογίας του εδάφους
 5. Επίδραση της συστάσεως του εδάφους
 6. Επίδραση της ιονόσφαιρας
 7. Διαλείψεις (Fading)
 8. Ατμοσφαιρική διάθλαση
- 2.....Χρήση Χάρτη Smith
 1. Χάρτης Smith
 2. Απλή προσαρμογή
 3. Μετασχηματιστής προσαρμογής απλού στελέχους
 4. Προσαρμογή σύνθετης αντίστασης κυματοδηγού
 5. Προσδιορισμός της σύνθετης αντίστασης κατά μήκος του κυματοδηγού
 6. Προσαρμογή σύνθετης αντίστασης
- 3.....Βασικά Χαρακτηριστικά Κεραιών
 1. Διάγραμμα ακτινοβολίας
 2. Κατευθυντικότητα ή κατευθυντικό κέρδος
 3. Πόλωση κεραίας
 4. Απολαβή ή κέρδος G
 5. Ενεργό ύψος και ενεργός επιφάνεια κεραίας
 6. Αντίσταση ακτινοβολίας R_a
 7. Αντίσταση απωλειών R_L
 8. Αντίσταση εισόδου Z_{in}
 9. Αμοιβαία σύνθετη αντίσταση μεταξύ κεραιών
 10. Απόδοση κεραίας η
 11. Ισχύς εισόδου W_{in}
 12. Γωνία μισής ισχύος
 13. Κατανομή ρεύματος
 14. Κεραίες ευρείας και στενής ζώνης
 15. Λόγος εμπρός-πίσω
- 4.....Εξαρτήματα Προσαρμογής
 1. Δρομέας βραχυκύκλωσης
 2. Επαγωγικό διάφραγμα
 3. Χωρητικό διάφραγμα
 4. Συντονισμένο διάφραγμα
 5. Κοιλίες συντονισμού
 6. Συντονιστές E-H
 7. Επαγωγικός και χωρητικός στύλος
 8. Φόρτοι προσαρμογής
 9. Έλεγχος της προσαρμογής των κεραιών
- 5.....Είδη Κεραιών
 1. Η δίπολη κεραία $\frac{\lambda}{2}$
 2. Το αναδιπλωμένο δίπολο
 3. Βροχοκεραίες

4. Προσγειωμένη κεραία $\frac{\lambda}{4}$ (Marconi)
5. Στοιχειοκεραίες
6. Ελικοειδής κεραία
7. Κεραίες Yagi-Uda
8. Κατοπτρική κεραία
9. Κεραίες χοάνης
10. Μικροταινιακή κεραία

Προβλήματα

Παράρτημα Α: Χρήση Κεραίων στις κινητές επικοινωνίες

Παράρτημα Β: Ασφάλεια πάνω απ'όλα!

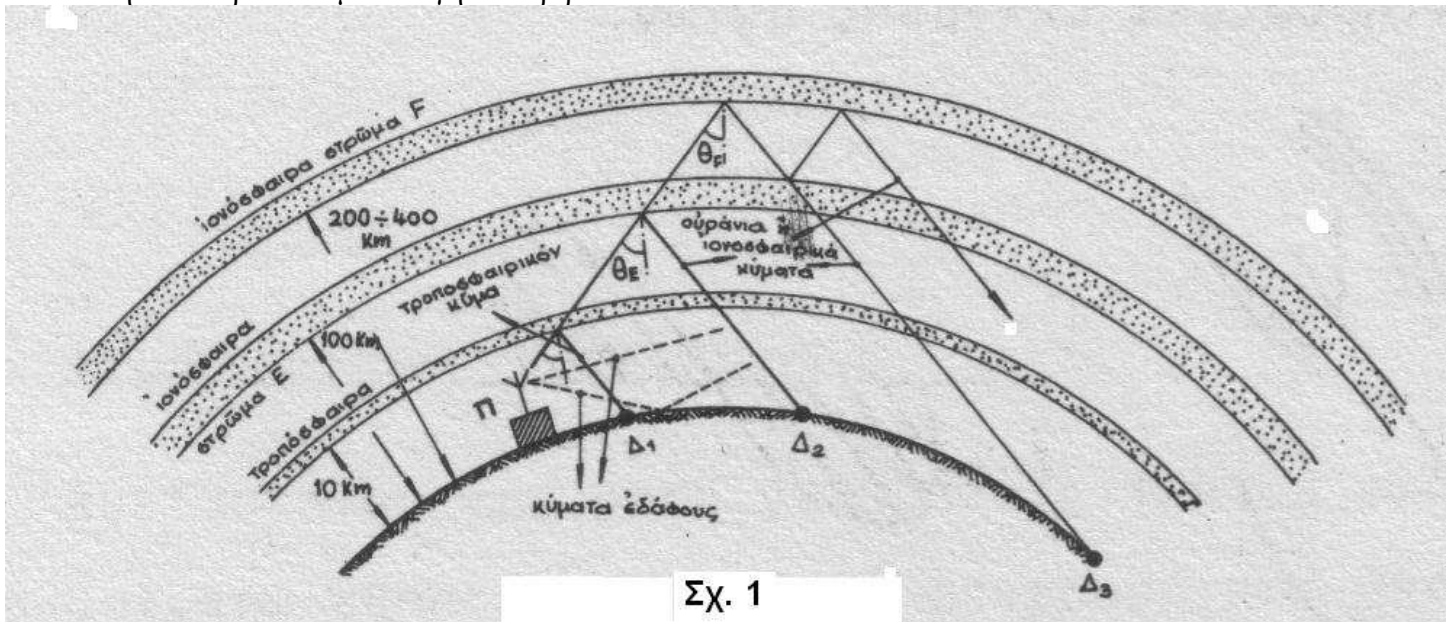
Παράρτημα Γ: Γωνιόμετρο-Μαθηματική προσέγγιση μικροταινιακής κεραίας

Κεφάλαιο 1: Στοιχεία Ραδιοζεύξεων

Ακτινοβολία

Στις ασύρματες επικοινωνίες χρησιμοποιούμε τα ραδιοκύματα. Όπως είναι γνωστό τα ραδιοκύματα αποτελούνται από οδεύοντα ηλεκτρομαγνητικά πεδία που μεταφέρουν ποσά ενέργειας από τον πομπό στον δέκτη και ως εκ τούτου κατά τη διάδοση έχουμε ορισμένες απώλειες ενέργειας τις οποίες καλούμε **απώλειες** μεταδόσεως και είναι σημαντικές.

Οι κύριοι παράγοντες οι οποίοι επιδρούν στην αλλοίωση των θεωρητικών υπολογισμών όσον αφορά την ενέργεια που φθάνει στον δέκτη είναι: σφαιρικότητα της γης, μορφολογία εδάφους, ανάκλαση στην ιονόσφαιρα, ανάκλαση στην τροπόσφαιρα κ.α. Έτσι πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν η διαδρομή που θα ακολουθήσει ένα κύμα προτού εκπεμφθεί. Στο σχ.1 δίνονται οι κυριότεροι τρόποι διάδοσης που δύναται να ακολουθήσει ένα ραδιοκύμα στο γήινο περιβάλλον:



Σχ. 1

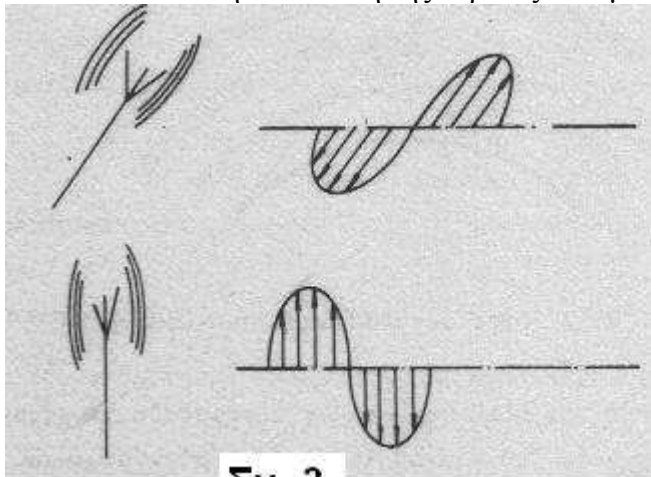
Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η επίδραση των ανωτέρων παραγόντων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη συχνότητα εκπομπής. Στο σχ.2 φαίνονται οι περιοχές στις οποίες διαιρούνται τα ραδιοκύματα καθώς και τα κυριότερα χαρακτηριστικά εκπομπής αυτών.

ΠΕΡΙΟΧΑΙ ΡΑΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΗΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΚΠΟΜΠΗΣ

Περιοχάι Συχνότητων	Συχνότης	Μήκος κύματος	Διάδοσις	Χαρακτηριστικός	Εμβέλειαι		Απαιτούμενη Ίσχυς	Απαιτούμενος Ήχος Κεραίας
					Ήμισφ. Θέρος	Πύκτα Χειμών		
Δίαι χαμηλάι συχνότητες	20kHz ≤ f ≤ 30kHz	150km ≤ λ ≤ 10km	VLF	Μικρά κύματα	Μεγάλη	Μεγάλη	Εξαιρετικώς ύψηλή	Πολύ μεγάλου
Χαμηλάι συχνότητες	30kHz ≤ f ≤ 300kHz	10km ≤ λ ≤ 1km			LF	Μεγάλη		
Μέσαι συχνότητες	300kHz ≤ f ≤ 3MHz	1km ≤ λ ≤ 100m	MF	Μεσαία κύματα	Μέση	Μεγάλη	Ύψηλή πρὸς μέτρια	Μεγάλου
	3MHz ≤ f ≤ 10MHz	100m ≤ λ ≤ 30m			Μέση	Μέση πρὸς Μεγάλου		
Ύψηλάι συχνότητες	10MHz ≤ f ≤ 30MHz	30m ≤ λ ≤ 10m	HF	Βραχεία κύματα	Μεγάλη	Μικρά	Χαμηλή	Μικρόν
	30MHz ≤ f ≤ 300MHz	10m ≤ λ ≤ 1m			VHF	Υπερ-βραχεία κύματα		
Δίαι ύψηλάι συχνότητες	300MHz ≤ f ≤ 3GHz	1m ≤ λ ≤ 10cm	UHF	Μικρο-κύματα	Μικρά	Μικρά	Χαμηλή	Πολύ μικρόν
Υπερ-ύψηλάι συχνότητες	3GHz ≤ f ≤ 30GHz	10cm ≤ λ ≤ 1cm	SHF	Μικρο-κύματα	Μικρά	Μικρά	Χαμηλή	Πολύ μικρόν
Εξαιρετικώς ύψηλάι συχνότητες	30GHz ≤ f ≤ 300GHz	1cm ≤ λ ≤ 1mm	ESHF	Μικρο-κύματα	Μικρά	Μικρά	Χαμηλή	Πολύ μικρόν

Σχ. 2

Τέλος τα ραδιοκύματα διακρίνονται και ως προς το επίπεδο πολώσεως του ηλεκτρικού τους πεδίου η διεύθυνση του οποίου είναι η διεύθυνση της κεραίας εκπομπής (σχ.3).



Σχ. 3

Ατμοσφαιρική απορρόφηση

Ανεξαρτήτως της οδού μεταδόσεως τα ραδιοκύματα υφίστανται σημαντική εξασθένηση λόγω απορροφήσεως από την ατμόσφαιρα. Η απορρόφηση αυτή εμφανίζεται είτε ως απορρόφηση ενέργειας από τα στοιχεία της ατμόσφαιρας είτε ως διάθλαση ή διάχυση από διάφορα αιωρούμενα σωματίδια εντός αυτής (σκόνη, σταγόνες βροχής, χιόνι, ηλεκτρικά φορτισμένα σωματίδια ή μόρια αέρα κ.λ.π.). Είναι προφανές ότι η απορρόφηση εξαρτάται από τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες. Συνεπώς άλλη απορρόφηση έχουμε τον χειμώνα και άλλη το καλοκαίρι, άλλη τη νύχτα και άλλη τη μέρα. Επειδή οι διάφοροι θεωρητικοί υπολογισμοί που έχουν γίνει αναφέρονται σε μετάδοση εν κενώ του κύματος, θέτουμε ένα συντελεστή K στα μεταδιδόμενα ηλεκτρικά μεγέθη. Ο συντελεστής αυτός που περιγράφει την απορρόφηση της ατμόσφαιρας δίνεται από τη σχέση:

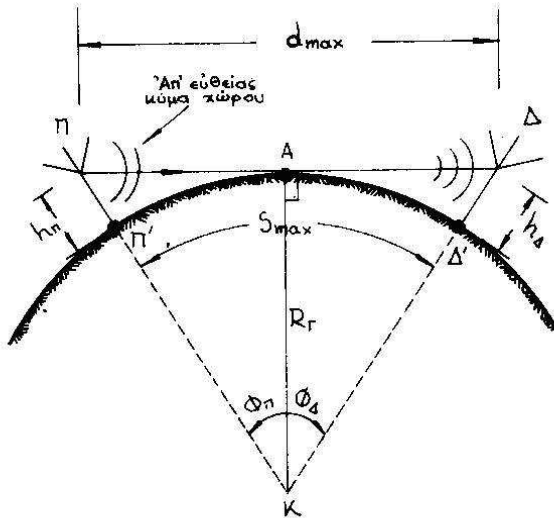
$$K = e^{-\frac{a \cdot d}{\sqrt{\lambda}}} \quad (1)$$

όπου: d : Η απόσταση από τη κεραία εκπομπής σε Km

α: Συντελεστής εξαρτώμενος από το μέσο μετάδοσης, τις καιρικές συνθήκες και τη συχνότητα. Για ατμοσφαιρική μετάδοση την ημέρα πάνω από τη θάλασσα το α λαμβάνει τιμές από 0,0014 έως 0,0015.

Επίδραση της γήινης καμπυλότητας

Αυτή η επίδραση πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε μεγάλες αποστάσεις (άνω των 80Km). Είναι ανεξάρτητη της συχνότητας, των καιρικών συνθηκών και άλλων παρόμοιων παραγόντων και αφορά μόνο τα κατ'ευθεία ή κατά γραμμή σκοπεύσεως οδεύοντα κύματα χώρου (direct waves). Από το σχ.4 υπολογίζουμε την μέγιστη δυνατή απόσταση συνδέσεως μέσω απευθείας κυμάτων δυο σταθμών με ύψη κεραιών h_p για τον πομπό και h_d για τον δέκτη.



Σχ. 4

Έχουμε λοιπόν:

$$ΠΑ = \sqrt{(R_T + h_\pi)^2 - R_T^2} = \sqrt{h_\pi(2R_T + h_\pi)} \quad \text{όπου } R_T = 6370 \text{ Km η ακτίνα της γης}$$

και:

$$\Delta A = \sqrt{(R_T + h_\Delta)^2 - R_T^2} = \sqrt{h_\Delta(2R_T + h_\Delta)}. \text{ Οπότε, κατόπιν υπολογισμών και δεδομένου ότι τα } h_\Delta \text{ και } h_\pi \text{ είναι πολύ μικρότερα του } 2R_T \text{ προκύπτει:}$$

$$d_{\max} \cong 3,6(\sqrt{h_\pi} + \sqrt{h_\Delta}) \quad [\text{Km}] \quad (h_\pi, h_\Delta \text{ σε m}) \quad (2)$$

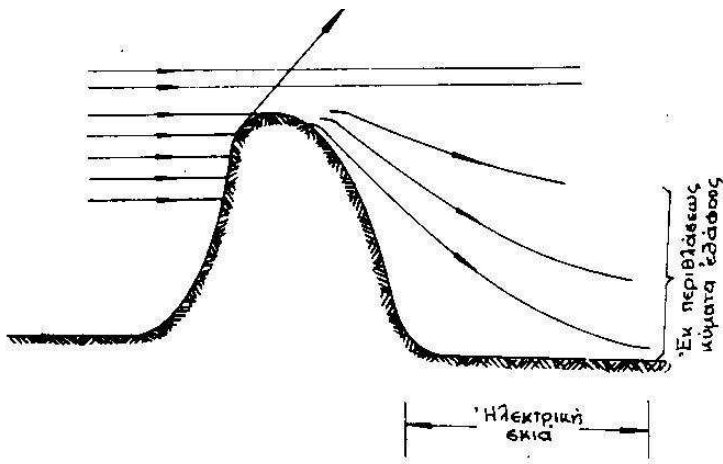
Αν ο δέκτης δεν έχει υπερυψωμένη κεραία, δηλαδή $h_\Delta = 0$ έχουμε:

$$d_{\max} \cong 3,6\sqrt{h_\pi} \quad [\text{Km}] \quad (3)$$

Τέλος επειδή οι διάφορες αποστάσεις επί της γης δεν μετρούνται κατά γραμμή σκοπεύσεως, αλλά ως μήκη γηίνων τόξων θα ήταν ορθότερο αντί του $ΠΑ + ΑΔ = ΠΔ = d_{\max}$ να υπολογίσουμε το $Π'Δ' = S_{\max}$ οπότε οι ανωτέρω τύποι χρήζουν μιας μικρής διορθώσεως που δίνεται από τριγωνικούς τύπους.

Επίδραση μορφολογίας του εδάφους

Η παραπάνω διερεύνηση ισχύει υπό την προϋπόθεση ομαλού εδάφους, άνευ σημαντικών εξάρσεων και πάσης φύσεως εμποδίων. Αυτό σπάνια φυσικά ισχύει. Η μορφολογία επηρεάζει κυρίως τα απευθείας κύματα και τα κύματα επιφανείας. Γενικά ένα εμπόδιο δημιουργεί ηλεκτρική σκιά όπισθεν αυτού διότι περιορίζει την ευθύγραμμη διάδοση. Η επίδρασή του αμβλύνεται κάπως ένεκα του φαινομένου της περιθλάσεως η ένταση του οποίου εξαρτάται γενικότερα από τη συχνότητα του κύματος.



Επίδραση της συστάσεως του εδάφους

Η γήινη επιφάνεια ανάλογα της συστάσεώς της απορροφά ενέργεια από τα κύματα. Η απορρόφηση ενέργειας από τα συστατικά του εδάφους μπορεί να εκτιμηθεί από το βάθος εισχώρησης το οποίο είναι το μέγεθος που εκφράζει το μέγιστο βάθος στο οποίο μπορούν να εισχωρήσουν τα κύματα έχοντας υποστεί ελάττωση κατά $\frac{1}{e}$ και δίνεται από τη σχέση:

$$\alpha = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\sigma f}} \quad (4)$$

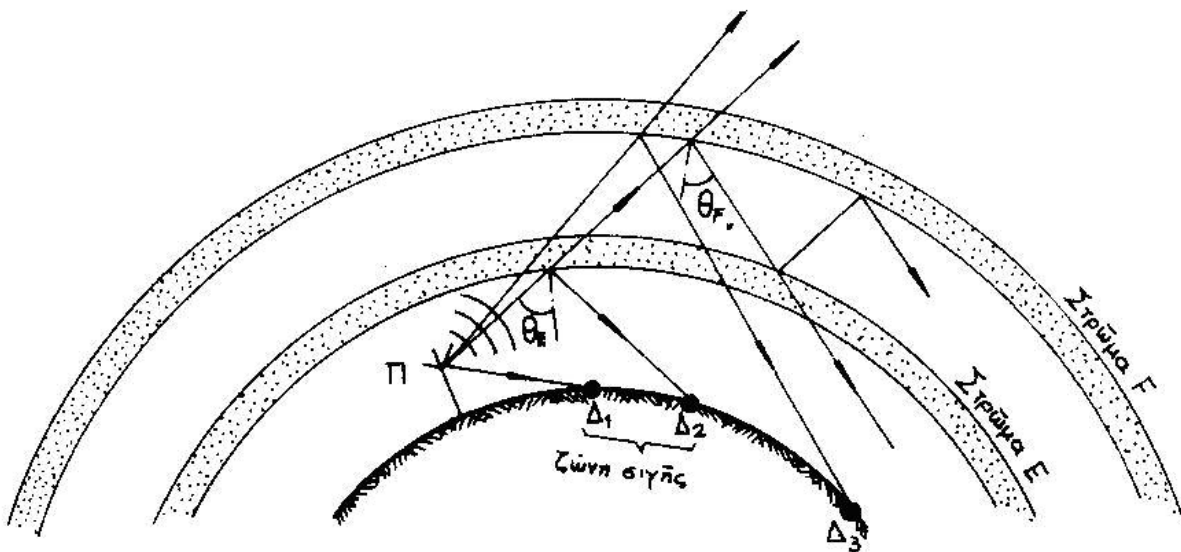
όπου: μ η μαγνητική διαπερατότητα του εδάφους

σ η αγωγιμότητα του εδάφους ($\sigma = \frac{1}{\rho}$ όπου ρ η ειδική αντίσταση του εδάφους)

Παρατηρούμε ότι η εισχώρηση ελαττώνεται με αύξηση της συχνότητας.

Επίδραση της ιονόσφαιρας

Η ιονόσφαιρα αποτελείται βασικά από δύο στρώματα ιονισμένων σωματιδίων (σχ.5), τα οποία βρίσκονται σε μεγάλα ύψη από την επιφάνεια της γης.



Σχ. 5

Τα ιονισμένα σωματίδια λόγω του ότι φέρουν φορτία απωθούν ή έλκουν τα ραδιοκύματα. Τα δυο στρώματα της ιονόσφαιρας καλούμενα E και F αντιστοίχως μετακινούνται και έχουν διαφορετικό ύψος την νύχτα απ'ότι τη μέρα. Επίσης κατά τη διάρκεια της νύχτας ελαττώνεται ο ιονισμός τους. Τα κύματα που φθάνουν στα ιονοσφαιρικά στρώματα ονομάζονται ιονοσφαιρικά ή ουράνια (Sky waves). Αυτά δύναται να διπλασιασθούν και να συνεχίσουν την πορεία τους προς το διάστημα ή να ανακλασθούν και να επιστρέψουν στη γη. Η δεύτερη περίπτωση παρουσιάζει ενδιαφέρον αφού η εκμετάλλευσή του παρέχει τη δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ σταθμών που δεν έχουν οπτική επαφή μεταξύ τους. Για να υποστεί ένα κύμα ολική ανάκλαση θα πρέπει να προσπέσει στα ιονοσφαιρικά στρώματα υπό γωνία μεγαλύτερη ή ίση της γωνίας διαθλάσεως θ_E ή θ_F (σχ.5). Η τιμή αυτή είναι αντίστροφα ανάλογη του βαθμού ιονισμού του στρώματος (επομένως και των καιρικών συνθηκών) καθώς και της συχνότητας του προσπίπτοντος κύματος. Ένα κύμα ορισμένης συχνότητας διαδίδεται μακρύτερα τη νύχτα παρά τη μέρα, το χειμώνα παρά το καλοκαίρι. Επίσης κάτω από τις ίδιες καιρικές συνθήκες κύματα μικρής συχνότητας φθάνουν μακρύτερα από κύματα μεγαλύτερης συχνότητας. Τα αποτελέσματα όσον αφορά την ανακλαστική ικανότητα των δύο στρωμάτων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

	Ήμέρα		Νύχτα	
	Μεγίστη	Έλάχιστον	Μεγίστη	Έλάχιστον
	Συχνότης	Μήκος κύματος	Συχνότης	Μήκος κύματος
Στρώμα E	10MHz	30m	3MHz	
Στρώμα F	30MHz	10m	10:12MHz	25:30m

Παρατηρούμε ότι γενικά κύματα πέρα των βραχέων δεν ανακλώνται στην ιονόσφαιρα επομένως η μετάδοσή τους περιορίζεται στην επίγεια οδό.

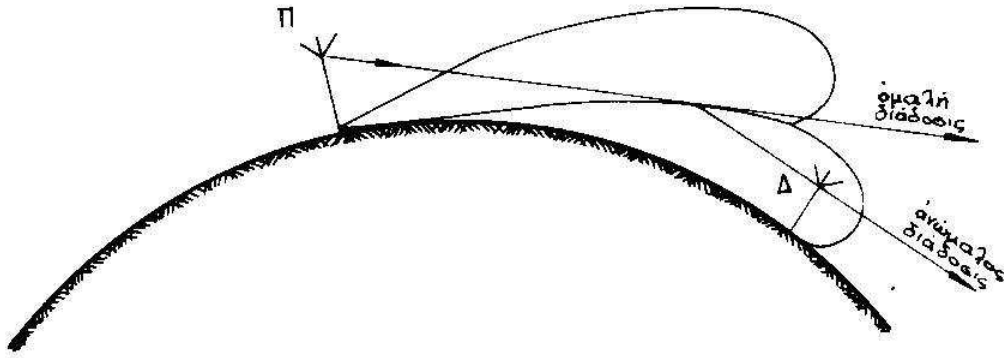
Διαλείψεις (Fading)

Όπως έχει ήδη λεχθεί οι οδοί μεταδόσεως ενός κύματος είναι πολλές. Ένας δέκτης λοιπόν λαμβάνει πάντοτε περισσότερα του ενός κύματα, είτε άμεσα είτε έμμεσα, προερχόμενα από τον ίδιο πομπό. Τα άμεσα διατηρούνται αναλλοίωτα κατά ισχύ και φάση. Αντίθετα τα έμμεσα μεταβάλλονται διαρκώς κατά αυτά τα στοιχεία. Έτσι αν μιλάμε π.χ για ουράνια κύματα, η φάση του ληφθέντος στον δέκτη πεδίου, μεταβάλλεται διαρκώς και έτσι θα έχουμε λήψη μεταβλητής εντάσεως. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται Fading.

Η διάλειψη γίνεται αισθητή όταν τα διάφορα συνιστώντα κύματα είναι της ίδιας τάξης μεγέθους, φθάνει δε μέχρι πλήρους μηδενισμού της ακροάσεως όταν έχουμε συμβολή κυμάτων με διαφορά φάσης 180° . Στην τηλεοπτική εικόνα το φαινόμενο αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση δευτερευουσών εικόνων που ονομάζονται φαντάσματα (ghost image).

Ατμοσφαιρική διάθλαση

Ο δείκτης διαθλάσεως της ατμόσφαιρας εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες (πίεση, θερμοκρασία, υγρασία κ.λ.π.). Ακόμα η ταχύτητα διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι αντίστροφα ανάλογη του δείκτη διάθλασης. Επομένως δεν διατηρείται αλλά μεταβάλλεται λαμβάνουσα μεγαλύτερες τιμές στα υψηλά ατμοσφαιρικά στρώματα. Αποτέλεσμα αυτού είναι η εντός της ατμόσφαιρας διάθλαση των ραδιοκυμάτων και η καμπύλωση της τροχιάς τους (σχ.6).



Σχ. 6

Το φαινόμενο καλείται ανώμαλη διάδοση και είναι ιδιαίτερα αισθητό στις υψηλές συχνότητες (μικροκύματα) όπου έχουμε μεγαλύτερη μεταβολή του δείκτη διάθλασης. Χρήση αυτού γίνεται στα ραντάρ για την επισήμανση στόχων που κινούνται πίσω από τον οπτικό ορίζοντα.

Κεφάλαιο 2: Χρήση Χάρτη Smith

Χάρτης Smith

Σε αυτό το σημείο, κρίνεται απαραίτητο να δοθούν στον σπουδαστή κάποιες γνώσεις πάνω στις γραμμές μεταφοράς και συγκεκριμένα πάνω στην χρήση του χάρτη Smith, τον οποίο ο σπουδαστής θα πρέπει να είναι σε θέση να τον χειριστεί προκειμένου να μπορεί να πετύχει προσαρμογή της αντίστασης εισόδου της κεραίας με την αντίσταση της γραμμής μεταφοράς, ακόμα και αν χρειασθεί η χρήση στελέχους για την επίτευξή της. Όπως θα γίνει σύντομα κατανοητό, αν και εκ πρώτης όψεως ο χάρτης Smith δείχνει κάτι το εξαιρετικά περίπλοκο, εντούτοις η χρήση του είναι αρκετά απλή. Παρακάτω δίνεται ένας τέτοιος χάρτης:

μας δίνει το πραγματικό μέρος (R_n) της **ανηγμένης σύνθετης αντίστασης** Z_n και είναι πάντα θετικό, ενώ η δεύτερη μας δίνει το φανταστικό μέρος αυτής (X_n) και είναι είτε θετικό ($+X_n$)-αν βρίσκεται στο άνω ημικύκλιο- είτε αρνητικό ($-X_n$)-αν βρίσκεται στο κάτω ημικύκλιο το σημείο μας. Εμείς όμως ζητάμε την **πραγματική σύνθετη αντίσταση** Z_0 της γραμμής μεταφοράς. Έτσι π.χ, υποθέτοντας ότι έχουμε $Z_0=50\Omega$, στο σημείο 11 (Σχ.7) έχουμε $Z_n=R_n-X_n=0.5-0.3j$. Άρα $Z=50\times(0.5-0.3j)=25-15j \Omega$. Στο σημείο 3 αντίστοιχα έχουμε $Z_n=0.6+0.8j$. Άρα $Z=50\times(0.6+0.8j)=30+40j \Omega$. Φυσικά με το ίδιο σκεπτικό έχουμε στο κέντρο $Z_n=1+0j$, στο σημείο 13 $Z_n=0$ και στο αντιδιαμετρικό του τέρμα δεξιά, $Z_n=\infty+0j=\infty$.

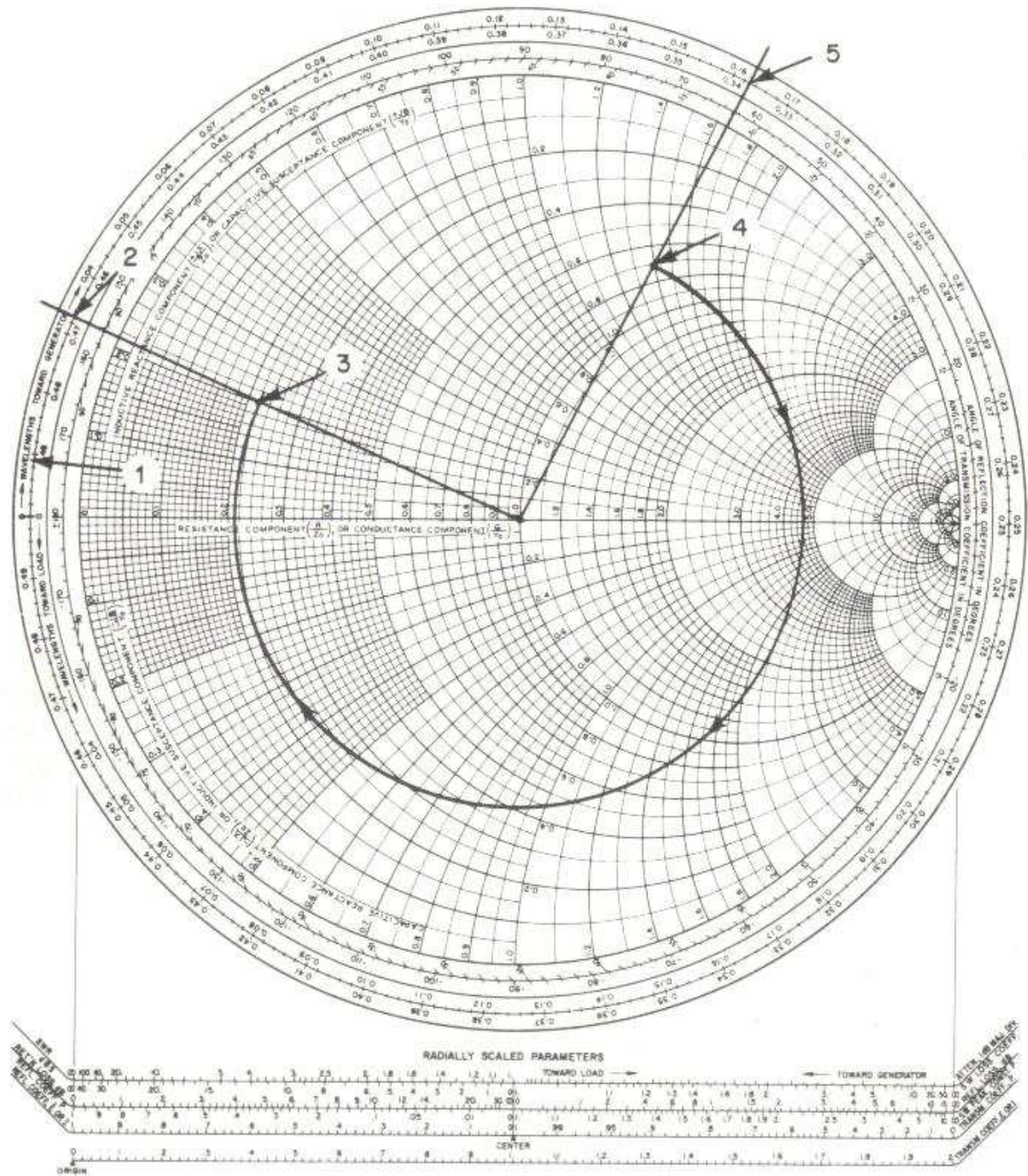
Στη συνέχεια μπορούμε να βρούμε τον συντελεστή ανάκλασης $\rho(\chi)$ σε κάποιο σημείο χ της γραμμής. Ο συντελεστής ανάκλασης δίνεται από τον τύπο: $\rho(\chi)=|\rho(\chi)| \cdot e^{j\phi}$. Άρα για να τον προσδιορίσουμε πλήρως, θα πρέπει να γνωρίζουμε στο συγκεκριμένο σημείο της γραμμής, το μέτρο και την φάση του. Για να βρούμε το μέτρο με ένα κανόνα μετράμε την απόσταση του σημείου μας από το κέντρο. Στη συνέχεια πηγαίνουμε στην αριστερή ημιευθεία της τρίτης κατά σειρά ευθείας που δίνεται κάτω από τον χάρτη Smith (σημείο 10). Προσοχή εδώ! **Χρησιμοποιούμε μόνο την αριστερή ημιευθεία και όχι την δεξιά (απ' το center και αριστερά)**. Εκεί μετράμε τόση απόσταση όση έχουμε βρει ότι απέχει το σημείο μας από το κέντρο και ο προκύπτων αριθμός μας δίνει το $|\rho(\chi)|$. Για να βρούμε την φάση ϕ , προεκτείνουμε την ευθεία που ενώνει το κέντρο με το σημείο μας μέχρι και τις περιφέρειες των εξωτερικών κύκλων. Η "πιο έξω" ένδειξη που διαβάζουμε στον 2^ο κύκλο μας δίνει την γωνία σε μοίρες. Έτσι π.χ το σημείο 8 παριστάνει συντελεστή ανάκλασης $0.45 \angle -63.4^\circ$. Ομοίως το σημείο 13 παριστάνει συντελεστή ανάκλασης $1 \angle 180^\circ$.

Πρόβλημα 1: Μια γραμμή μετάδοσης 50Ω που έχει μήκος 0.87λ , τερματίζει σε φορτίο $35+70j \Omega$. Να βρεθούν η σύνθετη αντίσταση και ο συντελεστής ανάκλασης όπως βλέπουμε από το άκρο της γραμμής μετάδοσης.

Λύση:

Ουσιαστικά εδώ εννοεί να βρούμε τα άνωθεν χαρακτηριστικά καθώς κινούμαστε προς την γεννήτρια. Αρχικά βρίσκουμε την ανηγμένη σύνθετη αντίσταση: $Z_n = \frac{35+70j}{50} = 0,7+1,4j$ (σημείο 4, σχ.8). Εκεί

$\rho(\chi) = 0.65 \angle 63^\circ$. Προεκτείνοντας την ευθεία που τραβήξαμε για να βρούμε την ϕ , βλέπουμε ότι στον 4^ο κύκλο, η εξωτερική ένδειξη (σημείο 5) μας δείχνει ότι βρισκόμαστε 0.163λ προς την γεννήτρια. Εμείς όμως θέλουμε να μετακινηθούμε άλλα 0.87λ προς την γεννήτρια, δηλαδή $0.87+0.163=1.033\lambda$. Ο κύκλος όμως αυτός φθάνει μόνο μέχρι 0.5λ . Άρα πρέπει να διαγράψουμε 2 φορές τον κύκλο (με την φορά δεικτών του ρολογιού, όπως αναγράφεται) συν 0.033λ ακόμη. Επίσης το σημείο μας πρέπει να ισαπέχει από το κέντρο, όσο και το σημείο 4. Με αυτά τα δεδομένα βρίσκουμε ότι αναφερόμαστε στο σημείο 2. Εκεί $\rho(\chi) = 0.65 \angle 156^\circ$ και $Z=50\times(0.22+0.2j)=11+10j$.



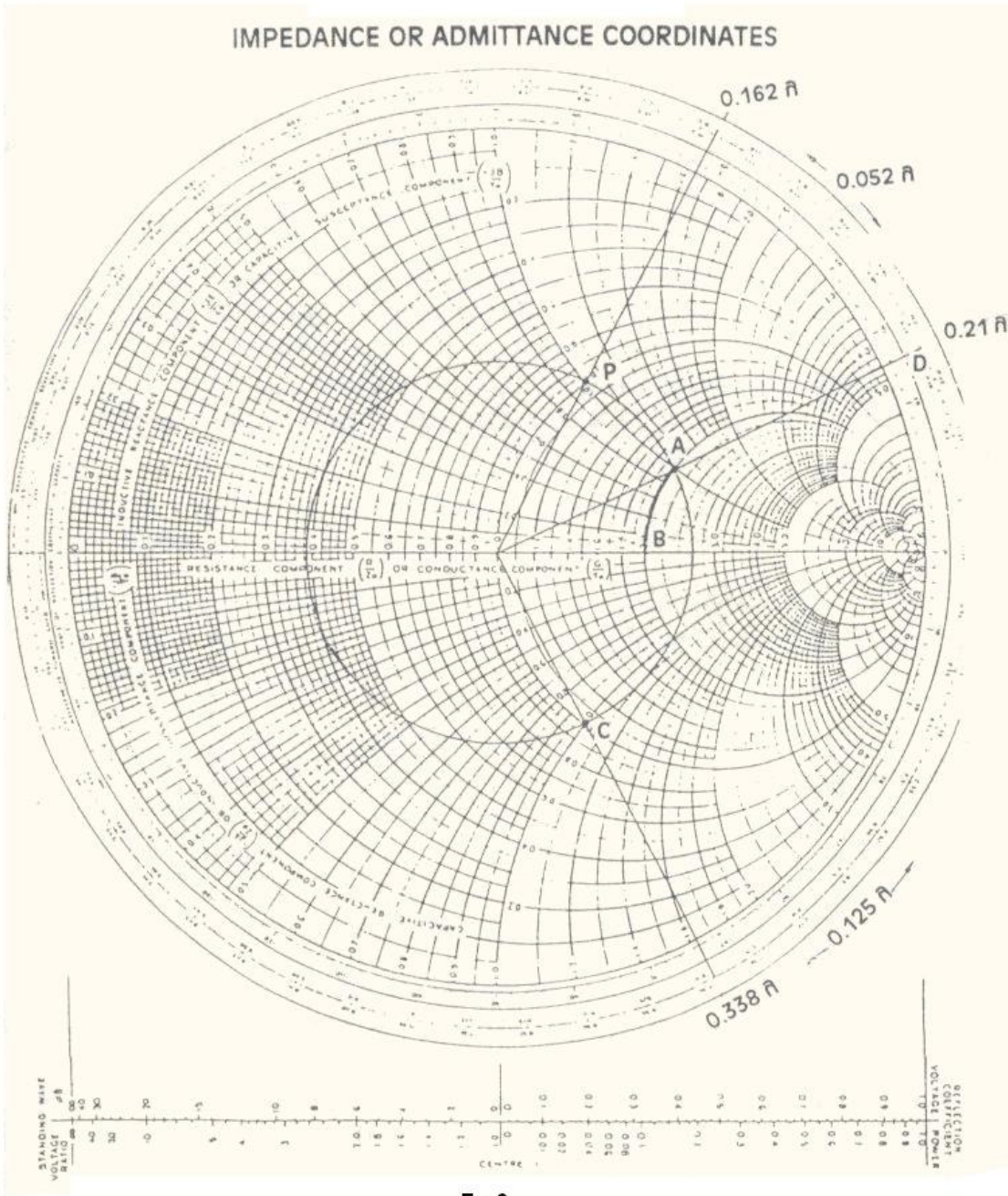
Σχ. 8: Χρήση του πίνακα Smith για να βρεθεί η μεταβολή της σύνθετης αντίστασης κατά μήκος γραμμής μετάδοσης.

Απλή Προσαρμογή

Αφού λοιπόν μάθαμε πώς να “κινούμαστε” πάνω στο χάρτη, φθάνουμε στο θέμα που μας ενδιαφέρει που είναι η προσαρμογή μιας σύνθετης αντίστασης. Όταν λοιπόν λέμε ότι θέλουμε να πετύχουμε προσαρμογή **μιας γραμμής μεταφοράς**, αυτό που ουσιαστικά εννοούμε είναι να έχουμε ανηγμένη σύνθετη αντίσταση $1+j0$. Αυτό φυσικά είναι σχετικό και εξαρτάται από την αντίσταση εισόδου της κεραίας στην οποία θέλουμε να προσαρμόσουμε τη γραμμή μας. Σε κάθε περίπτωση όμως, ανεξάρτητα του τι ωμικό φορτίο θέλουμε να

έχουμε (άρα και R_n), θέλουμε να εξαλείψουμε παρασιτικές χωρητικότητες και αυτεπαγωγές δηλαδή να εξαλείψουμε το φανταστικό μέρος της Z_n πράγμα που το πετυχαίνουμε με τη μέθοδο που θα χρησιμοποιήσουμε παρακάτω.

Παράδειγμα: Έστω λοιπόν ότι έχουμε $Z_n=2+j \Omega$ (σχ.9). Αυτό σημαίνει ότι βρισκόμαστε στο σημείο A. Αν έχουμε και $Z_0=50\Omega$, τότε $Z=100+50j$. Για να εξαλειφθεί η φαινόμενη αντίσταση του φορτίου, θα πρέπει να τοποθετηθεί σε σειρά με το φορτίο μια χωρητική αντίσταση $-50j \Omega$. Αυτό γίνεται μετακινούμενοι κατά μήκος του σταθερού κύκλου στο σημείο B όπως φαίνεται στο σχήμα. Πάλι όμως μας μένει το πραγματικό μέρος >1 . Άρα ψάχνουμε σημεία πάνω στο χάρτη που να έχουν πραγματικό μέρος 1. Εύκολα φαίνεται ότι τέτοια σημεία είναι τα P και C (με το ίδιο X_n). Κοιτώντας λοιπόν πάντα τον 4^ο κύκλο βλέπουμε ότι για να πάμε στο σημείο P πρέπει να μετακινηθούμε $0.162-0.21=0.052\lambda$ πάνω στη γραμμή προς το φορτίο ή για το C, $0.338-0.21=0.125\lambda$ προς την γεννήτρια και εκεί να τοποθετήσουμε αντίστοιχα φαινόμενες αντιστάσεις $+50j \Omega$ για το C ή $-50j \Omega$ αν επιλέξουμε το P.

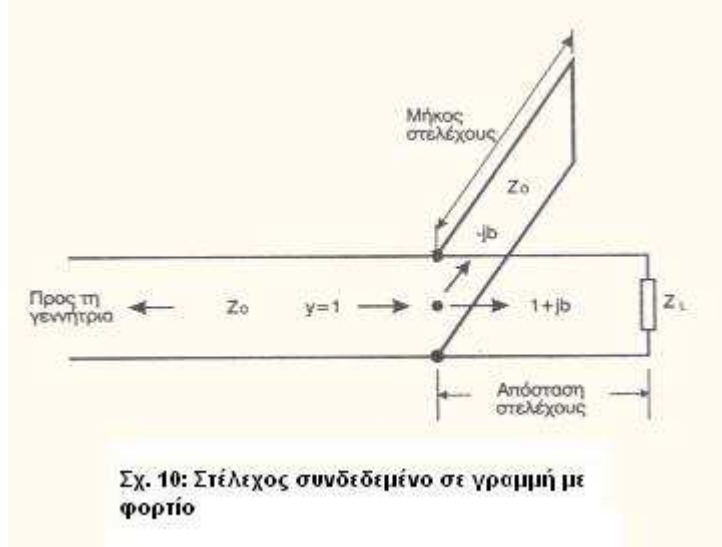


Σχ. 9

Άσκηση για το σπίτι: Προσπαθήστε να πετύχετε προσαρμογή γραμμής μεταφοράς που έχει $Z_0=40\Omega$ και τερματίζει σε φορτίο $Z=80+35j\ \Omega$, αφήνοντας όμως $R_n=1.3$.

Μετασχηματιστής προσαρμογής απλού στελέχους

Ένα στέλεχος(stub) είναι ένα κομμάτι γραμμής μεταφοράς που μπορεί να είναι είτε βραχυκυκλωμένο, είτε ανοικτό στο άλλο του άκρο. Συνδέεται σε μια γραμμή με φορτίο, είναι καθαρά φανταστικό και σχεδιάζεται ώστε να εξουδετερώσει το φαινόμενο τμήμα της γραμμής σε αυτό το σημείο. Επειδή όμως μια ανοικτή γραμμή τείνει να ακτινοβολεί συνήθως χρησιμοποιείται βραχυκυκλωμένο στέλεχος. Επιπλέον, ιδιαίτερα σε υψηλές συχνότητες, το στέλεχος μπορεί να γίνει εξάρτημα σταθερά ρυθμιζόμενο ώστε να ταιριάζει σε μια ποικιλία φορτίων ή να λειτουργεί σε μια μεγάλη περιοχή συχνοτήτων.



Για τον υπολογισμό ενός τέτοιου στελέχους ακολουθούμε την εξής διαδικασία:

- 1.Βρίσκουμε την ανηγμένη σύνθετη αντίσταση.
- 2.Βρίσκουμε την ανηγμένη σύνθετη αγωγιμότητα. Αυτή βρίσκεται σε αντιδιαμετρικά αντίθετο σημείο από την ανηγμένη σύνθετη αντίσταση.
- 3.Από αυτό το σημείο βρίσκουμε το πλησιέστερο σε αυτό σημείο **προς το φορτίο** στο οποίο η ανηγμένη σύνθετη αγωγιμότητα είναι $1\pm bj$. Διαβάζουμε την απόσταση του από τον 4° κύκλο και η απόστασή του από το προηγούμενο σημείο μας δίνει την απόσταση του στελέχους.
- 4.Στη συνέχεια μεταφερόμαστε στο δεξιό άκρο του χάρτη. Εκεί είναι το σημείο $\infty, j\infty$ που είναι η σύνθετη αντίσταση του βραχυκυκλώματος. Ταξιδεύοντας με την φορά του ρολογιού στην περιφέρεια του χάρτη βρίσκουμε το σημείο στο οποίο η φαινόμενη αντίσταση είναι $\pm bj$ της γραμμής στο σημείο στο οποίο το στέλεχος θα πρέπει να συνδεθεί.
- 5.Διαβάζουμε την απόσταση σε μήκος κύματος από το σημείο αρχής($\infty, j\infty$) στο νέο σημείο. Αυτό είναι το απαιτούμενο μήκος του στελέχους.

Παράδειγμα: Μια γραμμή μεταφοράς 300Ω , συχνότητας 10MHz , έχει φορτίο $Z=450-600j\ \Omega$. Να υπολογισθεί η θέση και το μήκος του στελέχους για να προσαρμοσθεί το φορτίο της γραμμής.

Λύση

$$Z_n = \frac{450 - 600j}{300} = 1.5 - 2j$$

και είναι το σημείο P.

Το διαμετρικά αντίθετο σημείο του είναι η ανηγμένη αγωγιμότητα(σημείο Q).

$$Y_n = 0.24 + 0.32j.$$

Το πλησιέστερο του $1 \pm bj$ είναι το $Y=1+1.7j$, σημείο R. Η απόσταση του σημείου αυτού από το φορτίο, Q έως R βρίσκεται στο χείλος του χάρτη και είναι:

Απόσταση $= 0.181 - 0.051 = 0.13\lambda$. Συνεπώς το στέλεχος θα τοποθετηθεί 0.13λ από το φορτίο και θα πρέπει να έχει φαινόμενη αγωγιμότητα -1.7 .

Ξεκινώντας από τα δεξιά και ταξιδεύοντας με τη φορά των δεικτών του ρολογιού στο χείλος του χάρτη, φθάνουμε στο σημείο $0, -1.7j$ (σημείο N). Η απόσταση αυτού του σημείου από το δεξί άκρο μας δίνει το μήκος του στελέχους:

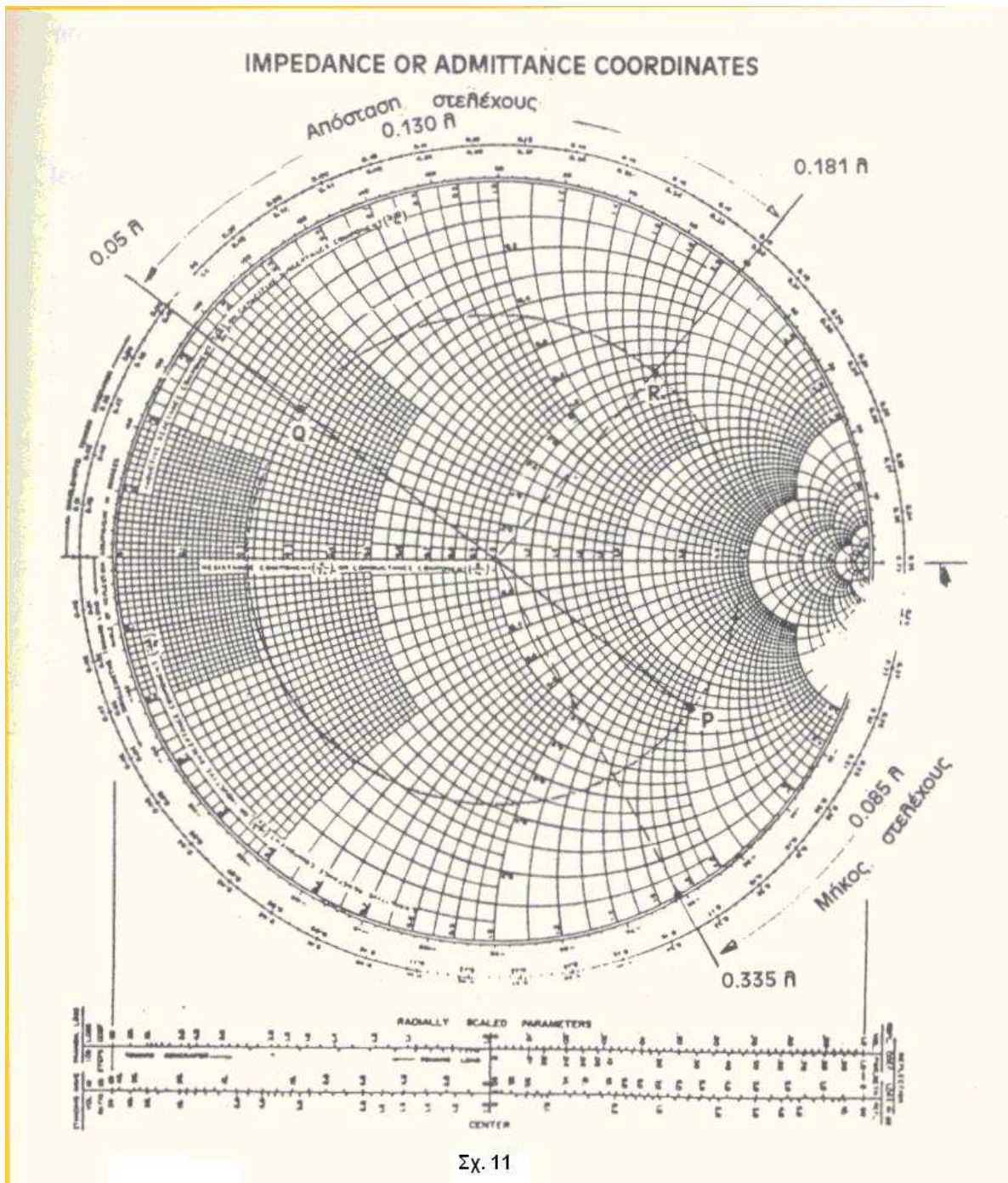
Μήκος στελέχους $= 0.335 - 0.25 = 0.085\lambda$. Συνεπώς το μήκος του στελέχους είναι 0.085λ και πρέπει να συνδεθεί 0.13λ από το φορτίο.

Επειδή δε

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{3 \times 10^8}{10^7} = 30m$$

Απόσταση $= 0.13 \times 30 = 3.9m$

Μήκος στελέχους $= 0.085 \times 30 = 2.55m$.



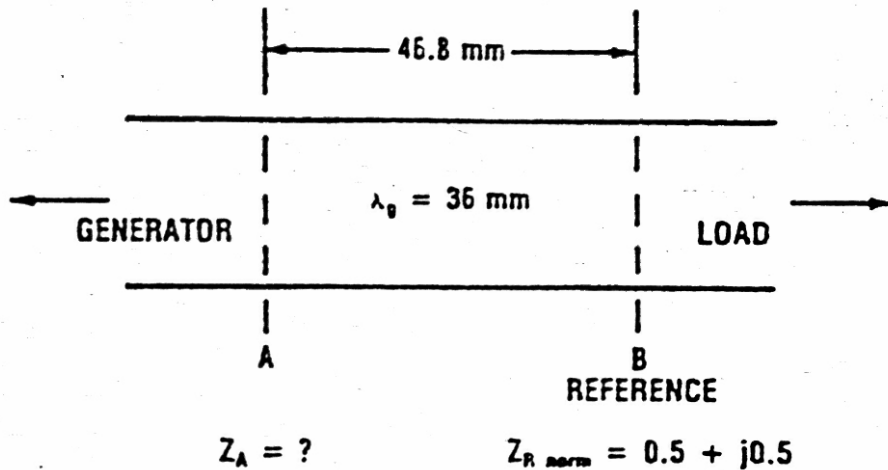
Προσαρμογή σύνθετης αντίστασης κυματοδηγού

Η σχετική γωνία φάσης μεταξύ της τάσης πρόσπτωσης και της τάσης ανάκλασης μεταβάλλεται περιοδικά κατά μήκος του κυματοδηγού. Όταν ο συντελεστής ανάκλασης είναι ο λόγος της τάσης προσπτώσεως προς την τάση ανάκλασης, η γωνία φάσης θα μεταβάλλεται περιοδικά κατά μήκος του κυματοδηγού. Ο συντελεστής ανάκλασης σε ένα ζητούμενο σημείο κατά μήκος του κυματοδηγού είναι ο συντελεστής ανάκλασης στο φορτίο συν μια πρόσθετη οριακή φάση. Αυτή η οριακή φάση εξαρτάται από την απόσταση ανάμεσα του ζητούμενου σημείου και του φορτίου. Για ένα κυματοδηγό με ελάχιστες απώλειες, η τιμή του συντελεστή ανάκλασης θα είναι σταθερή κατά μήκος του κυματοδηγού. Η φάση της του συντελεστή ανάκλασης θα είναι το άθροισμα της αρχικής γωνίας φάσης στο φορτίο συν την πρόσθετη γωνιακή φάση κατά την μετατόπιση κατά μήκος του κυματοδηγού.

Ο υπολογισμός της σύνθετης αντίστασης σε κάθε σημείο κατά μήκος του κυματοδηγού από ένα αναφορικό σημείο ανάκλασης, είναι εύκολο να γίνει με το χάρτη Smith. Αυτό που χρειάζεται είναι ένα σημείο αναφοράς και το συντελεστή ανάκλασης σε αυτό το σημείο. Αυτό το σημείο αναφοράς μπορεί να είναι στο φορτίο ή σε οποιοδήποτε άλλο σημείο του κυματοδηγού. Ο συντελεστής ανάκλασης καθορίζει ένα σημείο πάνω στο χάρτη Smith, που είναι η διατομή του SWR κύκλου και της ευθείας γραμμής. Στο χάρτη Smith, ο συντελεστής ανάκλασης είναι το ίδιο με τον SWR κύκλο. Αντιπροσωπεύει τον τύπο της σύνθετης αντίστασης για ένα ζητούμενο απροσάρμοστο φορτίο. Όλες οι σύνθετες αντιστάσεις μπορούν να είναι πάνω σε μία γραμμή με ελάχιστες απώλειες. Το μόνο που χρειάζεται είναι μισό μήκος κύματος το οποίο θα καλύπτει όλες τις καταστάσεις των σύνθετων αντιστάσεων πάνω στη γραμμή όσο αυτές θα επαναλαμβάνονται κάθε $\lambda/2$. Η σύνθετη αντίσταση σε κάθε σημείο του κυματοδηγού βρίσκεται πάνω στον SWR κύκλο. Για να βρούμε την σύνθετη αντίσταση σε ένα ζητούμενο σημείο, ο συντελεστής ανάκλασης θα περιστρέφεται με μία γωνία που θα αντιστοιχεί στην διαφορά φάσης μεταξύ του σημείου αναφοράς και του ζητούμενου σημείου. Για να μετακινήσουμε το σημείο στην απαιτούμενη γωνία υπάρχουν δύο κλίμακες στον εξωτερικό κύκλο του χάρτη Smith. Η κλίμακα **μήκος κύματος προς γεννήτρια** και η κλίμακα **μήκος κύματος προς φορτίο**. Αυτές οι κλίμακες βαθμολογούνται σε μήκη κύματος, χρησιμοποιούνται για να προσθέσουμε την απαιτούμενη γωνία φάσης στον αναφορικό συντελεστή ανάκλασης. Η κλίμακα **μήκη κύματος προς γεννήτρια** χρησιμοποιείται όταν η μετατόπιση από το σημείο αναφοράς είναι προς την γεννήτρια και αντίστοιχα η κλίμακα **μήκη κύματος προς το φορτίο** όταν η μετατόπιση από το σημείο αναφοράς πηγαίνει προς το φορτίο.

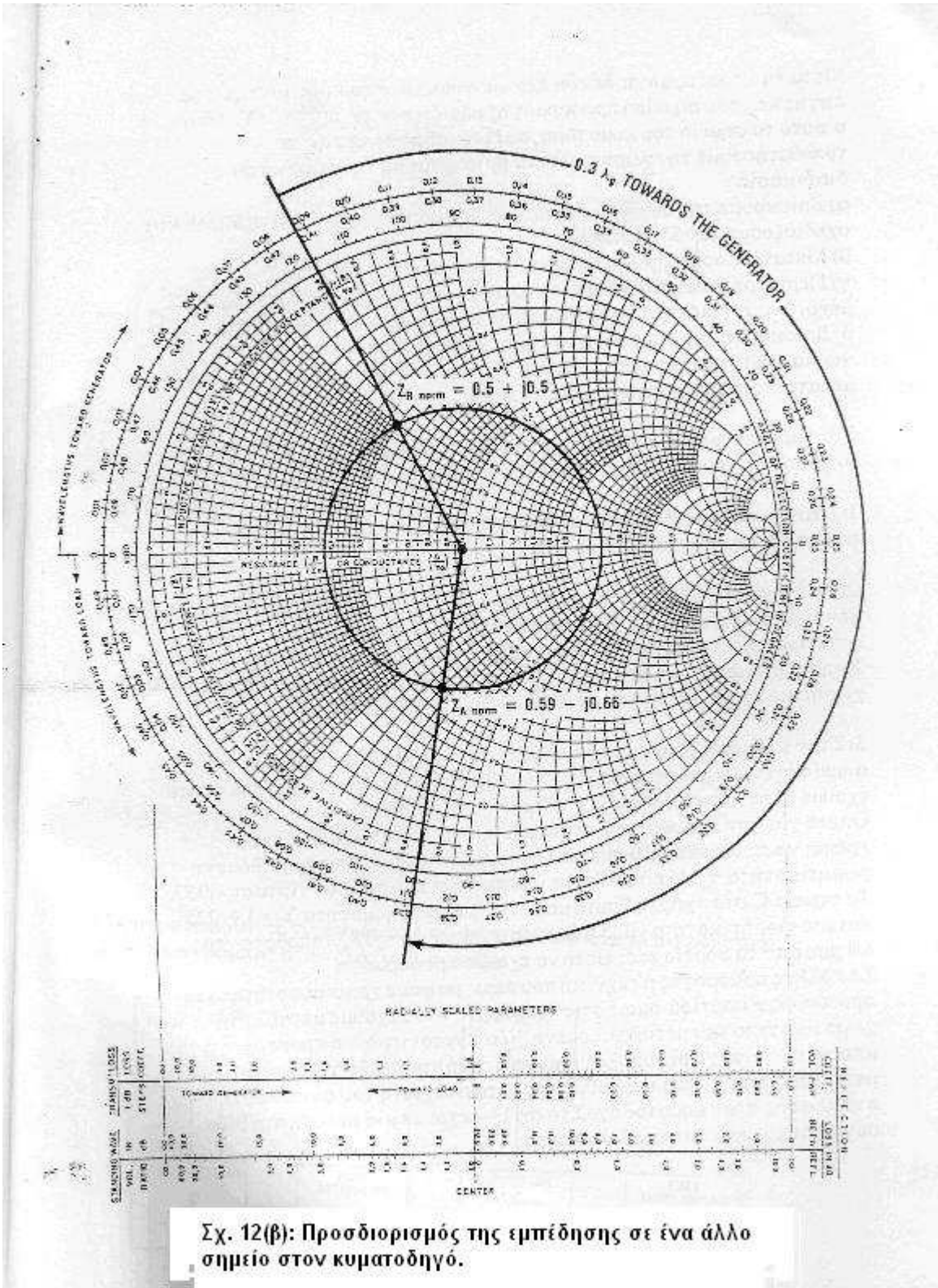
Προσδιορισμός της σύνθετης αντίστασης κατά μήκος του κυματοδηγού

Ο προσδιορισμός της σύνθετης αντίστασης κατά μήκος του κυματοδηγού μπορεί να κατανοηθεί εύκολα με το παρακάτω παράδειγμα. Βρίσκουμε τη σύνθετη αντίσταση στο σημείο A που βρίσκεται ανάμεσα στη γεννήτρια και το σημείο αναφοράς B όπως φαίνεται στο σχ.12(α).



Σχήμα 12(α): Σχέση μεταξύ του σημείου A και του σημείου αναφοράς B.

Η σύνθετη αντίσταση αναφοράς Z_R θα είναι $0.5 + j0.5$ και το μήκος κύματος του κυματοδηγού θα είναι στα 36 mm . Οπότε η σύνθετη αντίσταση είναι 46.8 mm και πιο κοντά στη πηγή. Η σύνθετη αντίσταση στο σημείο αναφοράς είναι σχεδιασμένη στο χάρτη (σχ.12(β)).

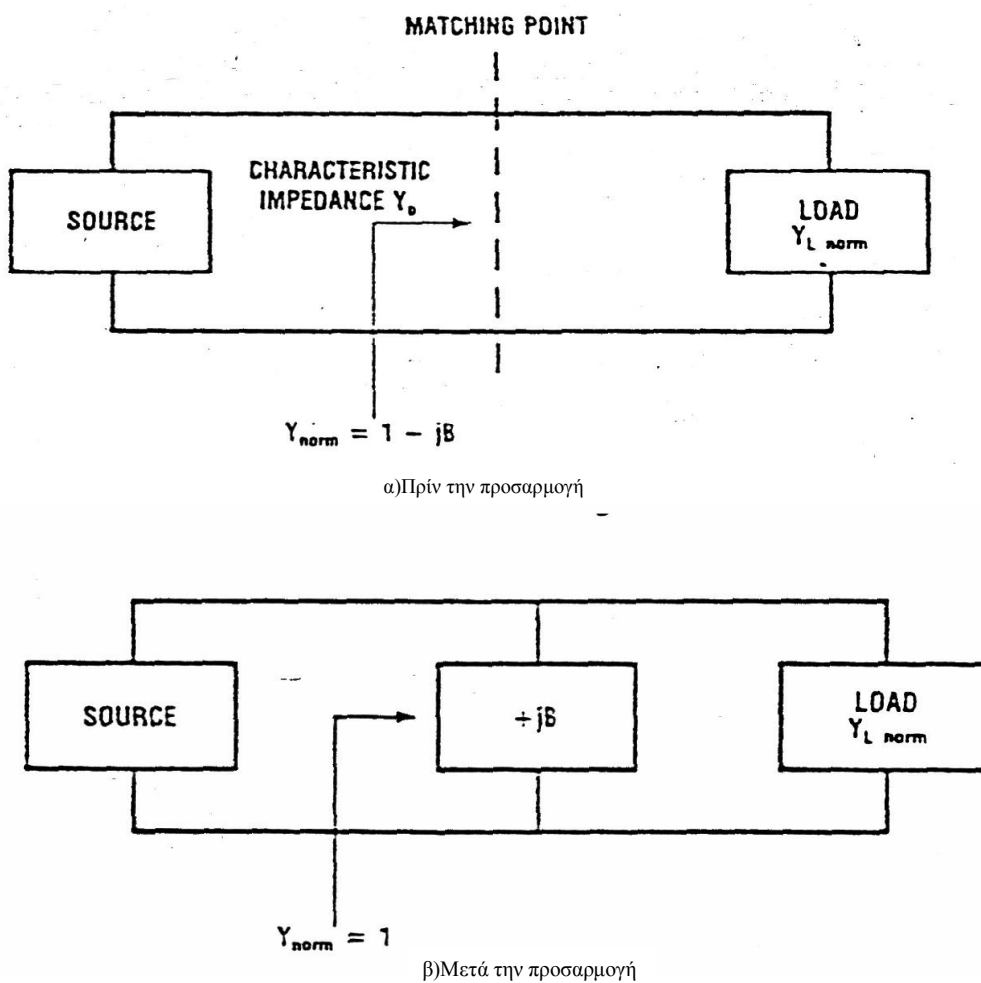


Σχ. 12(β): Προσδιορισμός της εμπέδησης σε ένα άλλο σημείο στον κυματοδηγό.

Στην κλίμακα προς γεννήτρια βρίσκουμε $0.088\lambda_g$ στο συγκεκριμένο σημείο (B). Η απόσταση 46.8mm είναι $13\lambda_g$. Όταν η σύνθετη αντίσταση σε γραμμή ελάχιστων απωλειών επαναλαμβάνεται κάθε $\lambda/2$, μπορούμε να δούμε ότι μια πλήρη περιστροφή ισοδυναμεί με μία μετατόπιση των $0.5\lambda_g$. Αυτό σημαίνει ότι η σύνθετη αντίσταση $13\lambda_g$ από το σημείο αναφοράς B είναι ίδια με αυτή $0.3\lambda_g$ από αυτό το σημείο. Έτσι αν περιστρέψουμε τον συντελεστή ανάκλασης $0.3\lambda_g$ προς τη γεννήτρια μας δίνει το συντελεστή ανάκλασης στο σημείο A, όπου η κλίμακα μήκος κύματος είναι $0.3\lambda_g + 0.088\lambda_g = 0.388\lambda_g$. Η σύνθετη αντίσταση στο A θα είναι $0.6 - j0.75$.

Προσαρμογή σύνθετης αντίστασης

Στις μικροκυματικές συχνότητες προσαρμογή ενός σημείου σημαίνει την ακύρωση του ανακλώμενου κύματος εξαιτίας της απορρόφησης όλης της ενέργειας της πηγής. Αυτό μπορεί να γίνει με την προσθήκη μιας σύνθετης αντίστασης σε ένα μικροκυματικό κύκλωμα. Ο καλύτερος τρόπος προσθήκης μιας σύνθετης αντίστασης είναι παράλληλα. Γι' αυτό στους υπολογισμούς χρησιμοποιούνται τις αγωγιμότητες. Για να έχουμε προσαρμογή σύνθετης αντίστασης πρέπει να προσθέσουμε μια καθαρή χωρητικότητα τις απαιτούμενης τιμής στην συγκεκριμένη θέση κατά μήκος του κυματοδηγού. Η συγκεκριμένη θέση προσδιορίζεται από το σημείο κατά μήκος της γραμμής της οποίας η αγωγιμότητα είναι ίση με 1. Η χωρητικότητα που θα προστεθεί μπορεί να είναι ίση στο μέγεθος αλλά αντίθετη στο πρόσημο. Για παράδειγμα αν η αγωγιμότητα είναι $1 - jB$ (σχ.13).

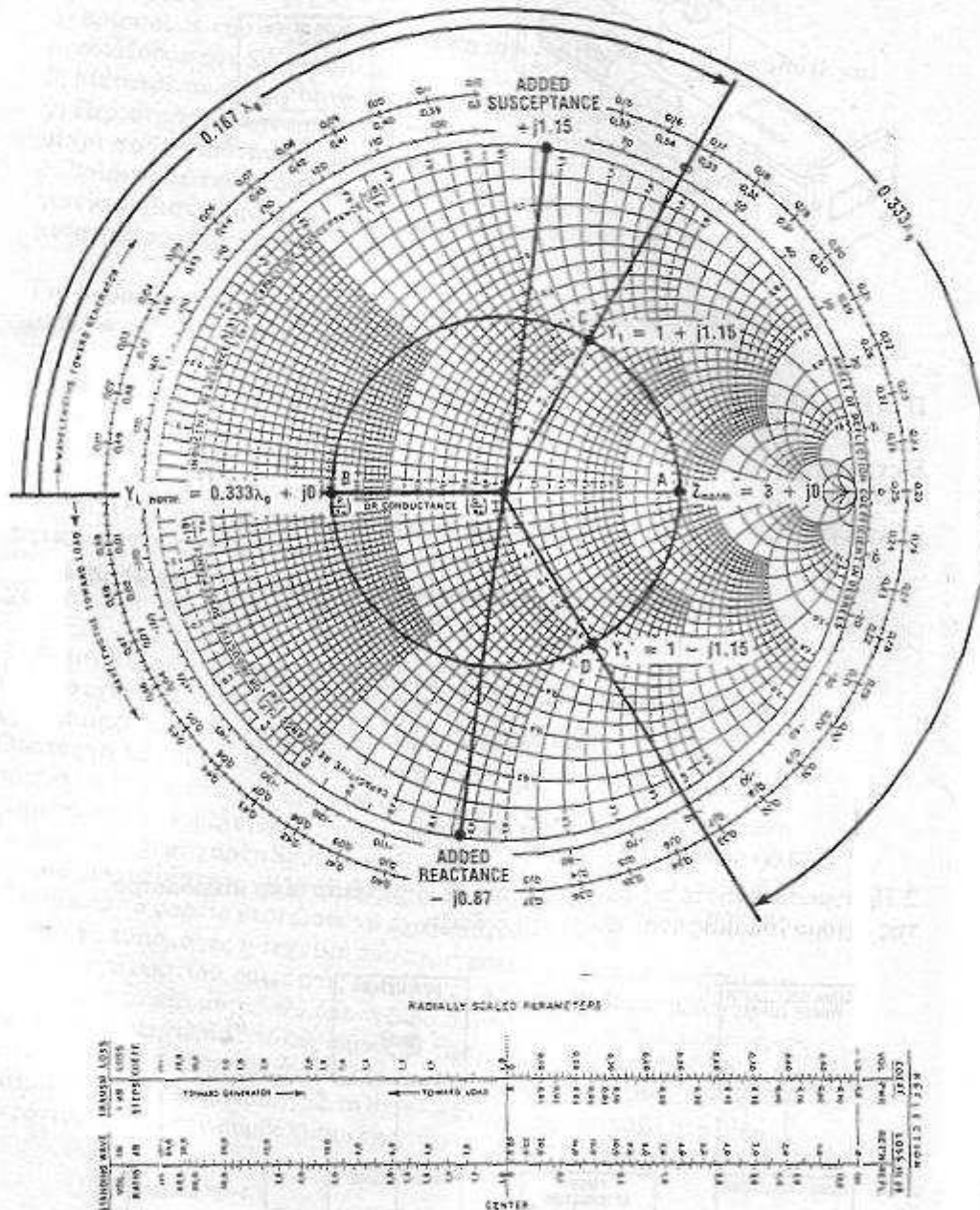


Σχήμα 13: Προσαρμογή φορτίου

Μετά την προσαρμογή, δεν θα έχουμε ανακλώμενο κύμα μεταξύ της πηγής και του σημείου προσαρμογής επειδή αγωγιμότητα Y_0 πάνω σ' αυτό το σημείο του κυματοδηγού. Η ακριβής θέση για να τοποθετήσουμε τη χωρητικότητα βρίσκεται με την παρακάτω διαδικασία:

- α) Βρίσκουμε τη σύνθετη αντίσταση του φορτίου στον χάρτη Smith και σχεδιάζουμε τον SWR κύκλο.
- β) Μετατρέπουμε την σύνθετη αντίσταση σε αγωγιμότητα.
- γ) Περιστρέφουμε το διάνυσμα της αγωγιμότητας του SWR κύκλου μέχρι η αγωγιμότητα να βρεθεί πάνω στον κύκλο αγωγιμότητας.
- δ) Βρίσκουμε την απόσταση σε μήκος κύματος που αντιστοιχεί σε γωνία περιστροφής στην κλίμακα προς γεννήτρια και την μετατρέπουμε σε πραγματική απόσταση.

Για παράδειγμα , θέλουμε να προσαρμόσουμε το φορτίο $Z_L=3+j0$ (σημείο Α σχ.14).



Σχ. 14: Παράδειγμα προσαρμογής εμπέδησης.

Το μήκος κύματος θα είναι $\lambda_g=36\text{mm}$.

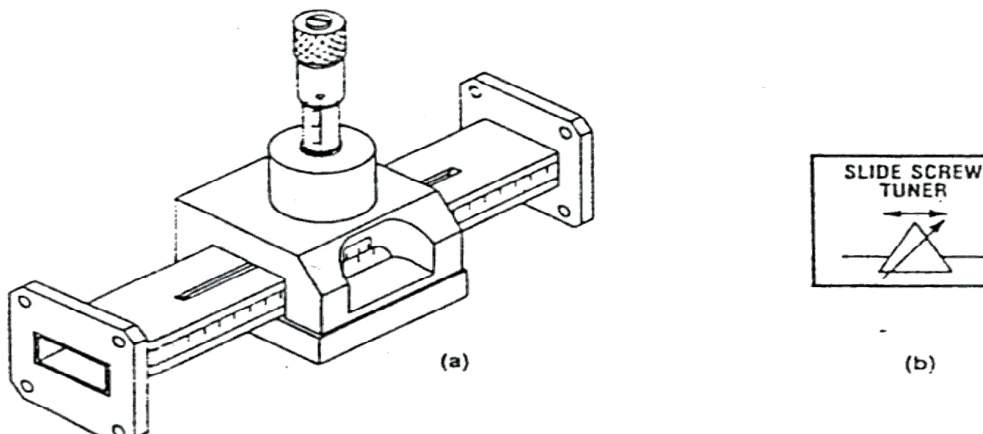
1)Περιστρέφουμε 180° και η σύνθετη αντίσταση μετατρέπεται σε αγωγιμότητα (σημείο Β) $Y_L=0.33+j0$.

2) Το διάνυσμα OB της αγωγιμότητας περιστρέφεται προς την γεννήτρια μέχρι η αγωγιμότητα να συμπίπτει με τον κύκλο αγωγιμότητας στην συνιστώσα της επαγωγικής χωρητικότητας. Χρησιμοποιώντας το σημείο D στην συνιστώσα της επαγωγικής χωρητικότητας η αγωγιμότητα θα είναι $Y_1=1-j1.15$.

3) Στην κλίμακα μήκη κύματος προς γεννήτρια, βρίσκουμε ότι το σημείο έχει μια μετατόπιση $0.333 \lambda_g$. Το μετατρέπουμε σε χιλιοστά οπότε έχουμε μετατόπιση $d=0.333 \lambda_g * 36\text{mm}$ $\lambda_g=12\text{mm}$.

Οπότε για την προσαρμογή του φορτίου μια χωρητικότητα $+1.15j$ πρέπει να τοποθετηθεί 12mm από αυτό. Από το σχ.14 η προστιθέμενη χωρητικότητα είναι ίση με μια πρόσθετη άεργο αντίσταση $-j0.87$. Το σημείο C στο χάρτη Smith μας δίνει μια αγωγιμότητα $Y_1=1+j1.15$ και μια χωρητικότητα $-j1.15$ ή άεργος αντίσταση $+j0.87$, τοποθετώντας 6mm από το φορτίο έτσι ώστε να έχουμε προσαρμογή.

Σε πολλές εφαρμογές η τεχνική που περιγράψαμε χρησιμοποιείται για προσαρμογή φορτίου, όμως στις εφαρμογές όπου έχουμε μεταβλητή χωρητικότητα και μεταβαλλόμενη βίδα συντονισμού, η προσαρμογή μπορεί να γίνει χωρίς υπολογισμούς. Η τιμή της αντίστασης είναι μεταβλητή και η θέση της ρυθμίζεται στο ελάχιστο του συντελεστή ανάκλασης στον κυματοδηγό. Στο σχ.14 έχουμε μια μεταβλητή βίδα συντονισμού και τον συμβολισμό της.



Σχήμα 15:(α)Μια μεταβλητή βίδα συντονισμού (β)συμβολική αναπαράσταση

Κεφάλαιο 3: Βασικά χαρακτηριστικά κεραιών

Ανεξάρτητα από το είδος της κεραίας που διαθέτουμε, όλες οι κεραιές έχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά γνωρίσματα. Αυτά είναι:

1) Διάγραμμα ακτινοβολίας

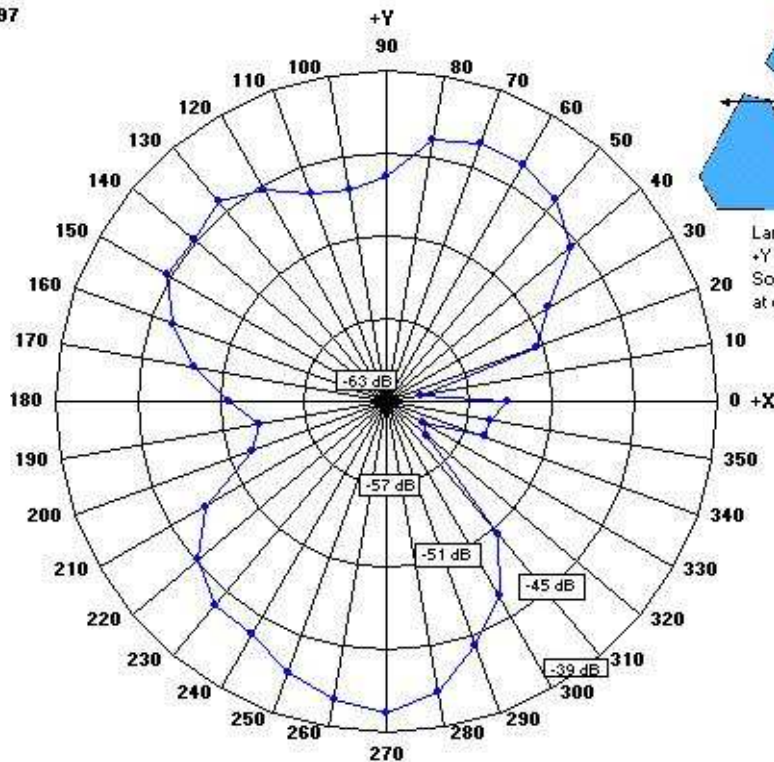
Ιδιαίτερα σημαντικό χαρακτηριστικό μιας κεραίας είναι ο τρόπος που κατανέμει την ισχύ που ακτινοβολεί στο χώρο. Αυτό περιγράφεται με το διάγραμμα ακτινοβολίας. Το διάγραμμα ακτινοβολίας είναι η γραφική παράσταση των ιδιοτήτων ακτινοβολίας (μακρινού πεδίου) μιας κεραίας. Ένα διάγραμμα ακτινοβολίας μπορεί να παριστάνει τη γωνιακή κατανομή:

- (α) Του μέτρου της έντασης πεδίου
- (β) Της πυκνότητας ισχύος
- (γ) Της έντασης ακτινοβολίας

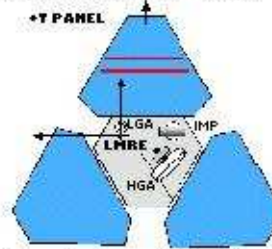
Το διάγραμμα μπορεί να είναι είτε για το κάθετο (E), είτε για το οριζόντιο επίπεδο (H).

Παρακάτω δίνεται ένα παράδειγμα διαγράμματος ακτινοβολίας.

Mars Pathfinder LMRE Antenna Radiation Plot
 Radial Distance from Source to Receiver = 3 Meters
 Date: 5/30/97



Standard Polar Coordinates



Lander Model Orientation:
 +Y axis Petal is pointing
 South with LMRE antenna
 at center of plot.

Η σχεδίαση πραγματοποιείται με κανονικοποίηση ως προς τη μέγιστη τιμή για ορισμένη απόσταση r . Αυτό σημαίνει ότι αν έχουμε 10 τιμές τάσης (εφόσον μιλάμε για διάγραμμα ακτινοβολίας) σε 10 διαφορετικές γωνίες, προτού τις τοποθετήσουμε πάνω στο διάγραμμα τις διαιρούμε όλες με την μέγιστη τιμή τάσεως από αυτές. Αν αντίθετα έχουμε διάγραμμα ισχύος (β περίπτωση) τοποθετούμε τις τιμές μας στις αντίστοιχες γωνίες χωρίς κανονικοποίηση.

Πειραματικά οι τιμές μας λαμβάνονται με έναν από τους εξής τρόπους:

- α) Με την κεραία εκπομπής σταθερή παίρνουμε μετρήσεις πεδίου σε διάφορες γωνίες περιστρέφοντας σε σταθερή ακτίνα **την κεραία λήψης γύρω από την κεραία εκπομπής**.
- β) Με σταθερή την κεραία λήψης παίρνουμε μετρήσεις **περιστρέφοντας την κεραία εκπομπής γύρω από τον εαυτό της**.
- γ) Περιστρέφουμε την κεραία εκπομπής γύρω από τον εαυτό της και για κάθε γωνία προσπαθούμε να έχουμε σταθερή ένδειξη οργάνου ελαττώνοντας την απόσταση μεταξύ των κεραίων. Έτσι παίρνουμε μετρήσεις γωνίας με απόσταση οι οποίες μεταφράζονται σε γωνία με ένταση πεδίου.

2) Κατευθυντικότητα ή κατευθυντικό κέρδος D .

Η κεραία δεν ακτινοβολεί ομοιόμορφα σ' όλες τις κατευθύνσεις αλλά συνήθως η ακτινοβλούμενη ισχύς συγκεντρώνεται σε λίγες στερεές γωνίες που έχουν κοινή κορυφή την κεραία. Αυτές οι γωνίες ονομάζονται λοβοί. Ένα μέτρο της συγκέντρωσης της ακτινοβολίας δίνει η κατευθυντικότητα (directivity) της κεραίας που ορίζεται ως:

$D = \text{μέγιστη πυκνότητα ισχύος} / \text{μέση πυκνότητα ισχύος}$

Υπολογισμός της κατευθυντικότητας από το διάγραμμα ακτινοβολίας

Για να το κάνουμε αυτό, αρχικά εμβαδομετρούμε το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας και βρίσκουμε την αντίστοιχη ακτίνα του διαγράμματος που θα είχε η κεραία αν ακτινοβολούσε ισοτροπικά σύμφωνα με την σχέση:

$$E = \pi \times R_{\text{mean}}^2$$

Αν τότε μιλάμε για διάγραμμα ακτινοβολίας η κατευθυντικότητα της κεραίας είναι:

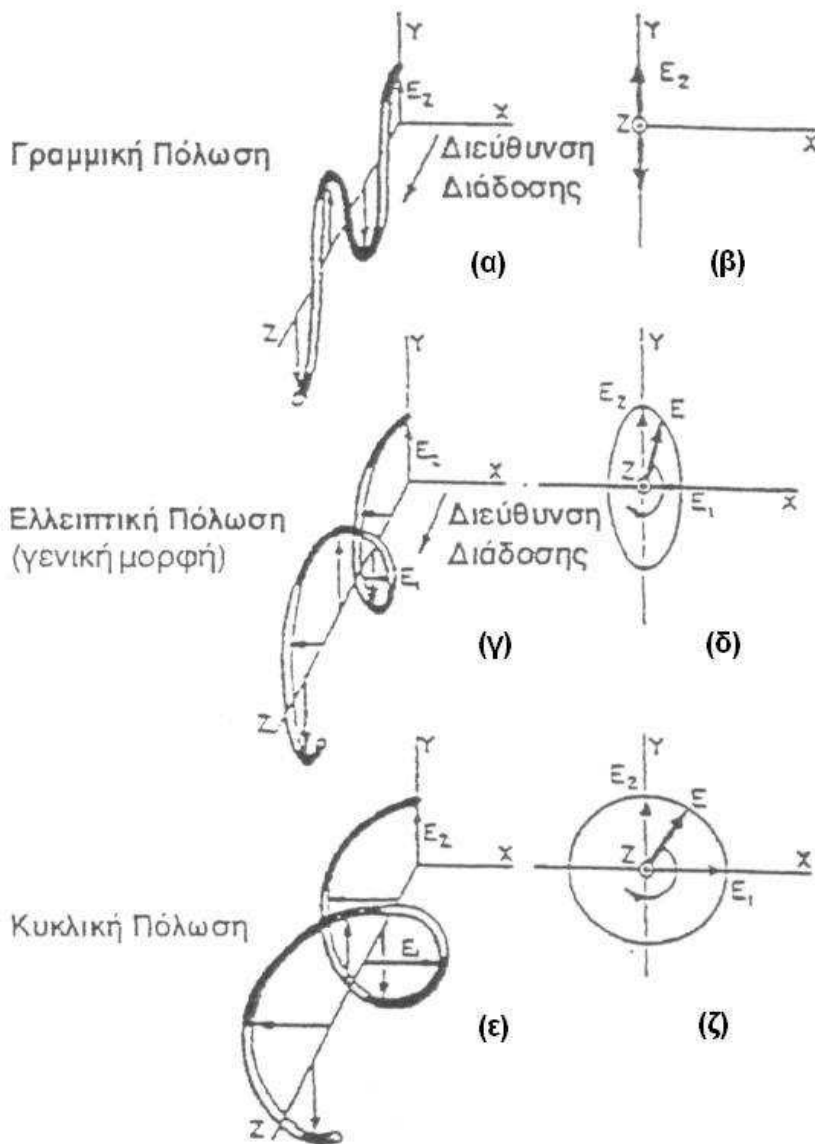
$$d = \frac{R_{\text{max}}}{R_{\text{mean}}} \quad \text{ή} \quad d = 10 \log \left(\frac{R_{\text{max}}}{R_{\text{mean}}} \right) \quad [\text{db}]$$

Αν μιλάμε για διάγραμμα έντασης ηλεκτρικού πεδίου (τάση/μονάδα μήκους) οι σχέσεις είναι:

$$d = \left(\frac{R_{\text{max}}}{R_{\text{mean}}} \right)^2 \quad \text{ή} \quad d = 20 \log \left(\frac{R_{\text{max}}}{R_{\text{mean}}} \right) \quad [\text{db}]$$

3) Πόλωση Κεραίας

Η πόλωση μιας κεραίας καθορίζεται από την διεύθυνση της συνιστώσας του ηλεκτρικού πεδίου με αναφορά το επίπεδο του εδάφους. Αν το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος βρίσκονται πάντοτε σε σταθερά επίπεδα τότε το κύμα είναι επίπεδο ή επίπεδα πολωμένο. Ειδική περίπτωση του επίπεδου κύματος είναι το γραμμικά πολωμένο κύμα, όπου τα διανύσματα των πεδίων βρίσκονται μόνιμα σε ευθεία γραμμή. Παράδειγμα γραμμικά πολωμένου κύματος είναι το κύμα που παράγει ένα γραμμικό δίπολο. Στο σχ.16(α) φαίνεται το ηλεκτρικό πεδίο ενός γραμμικά πολωμένου κύματος.



Σχ. 16

Το πλάτος και η διεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου E , φαίνονται σαν συνάρτηση της απόστασης για μια στιγμή του χρόνου. Στο σχ.16(β) είναι το κύμα όπως το βλέπει ένας παρατηρητής που κοιτάζει προς τη διεύθυνση διάδοσης Z . Το ηλεκτρικό πεδίο E μεταβάλλεται κατά πλάτος μεταξύ θετικού και αρνητικού E_2 και η διεύθυνση του E περιορίζεται στον άξονα Y . Στο σχ.16(γ) έχουμε ένα ελλειπτικά πολωμένο κύμα να ταξιδεύει κατά τη διεύθυνση Z . Όπως φαίνεται από το θετικό άξονα του Z το άκρο του διανύσματος του ηλεκτρικού πεδίου διαγράφει ελλειπτική τροχιά με μεγάλο και μικρό ημιάξονα της έλλειψης E_2 και E_1 αντίστοιχα, όπως δείχνει το σχ.16(δ). Η ειδική περίπτωση του γραμμικά πολωμένου κύματος συμβαίνει όταν $E_1=0$. Όταν $E_1=E_2$ τότε η έλλειψη γίνεται κύκλος και έχουμε κυκλική πόλωση. Η μεταβολή του E για κυκλικά πολωμένο κύμα φαίνεται στα σχήματα 16(ε) και 16(ζ). Ένα ελλειπτικά πολωμένο κύμα μπορεί να είναι δεξιόστροφο ή αριστερόστροφο. Συνήθως τα χαρακτηριστικά πόλωσης μιας κεραίας είναι σταθερά ή μεταβάλλονται ελάχιστα προς τη κατεύθυνση του κυρίου λοβού, αλλά υπάρχει μεταβολή για τους δευτερεύοντες λοβούς. Μια κεραία λήψης θα είναι πιο αποδοτική αν το κύμα που δέχεται έχει τα ίδια χαρακτηριστικά πόλωσης με την κεραία εκπομπής. Όταν η πόλωση του προσπίπτοντος κύματος είναι διαφορετική από την πόλωση της κεραίας τότε έχουμε απώλεια λόγω **πολωτικής μη προσαρμογής (polarization mismatch)**.

Ορίζουμε **πολωτική απόδοση ή p** το λόγο της ισχύος που δέχεται μια κεραία προς την ισχύ που μπορούσε να δεχθεί αν το προσπίπτον κύμα ήταν πολωτικά προσαρμοσμένο προς την κεραία λήψης.

Πειραματικός προσδιορισμός της πόλωσης κεραίας

Για να προσδιορίσουμε την πόλωση της κεραίας εκπομπής παρεμβάλουμε στη δέσμη ακτινοβολίας και ενώ η κεραία εκπομπής και η κεραία λήψης βρίσκονται στη θέση των 0° , σχάρα από παράλληλα σύρματα με δύο τρόπους: την μια φορά τα σύρματα έχουν διεύθυνση παράλληλη προς το οριζόντιο επίπεδο και την άλλη κάθετη προς αυτό. Σε όποια από τις δυο περιπτώσεις η ένδειξη του οργάνου που συνδέεται με το δέκτη ελαχιστοποιείται, αυτή η περίπτωση χαρακτηρίζει την πόλωση της κεραίας.

4) Απολαβή ή κέρδος G

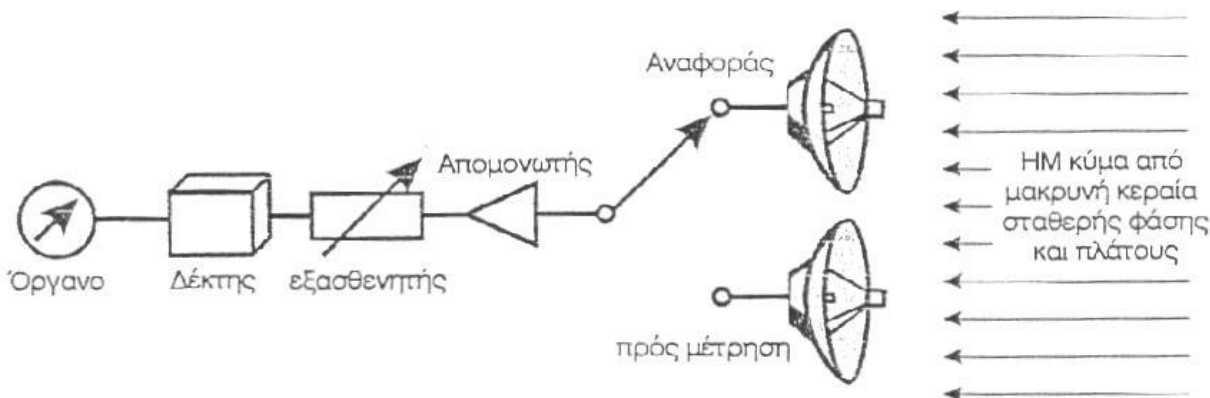
Η απολαβή μιας κεραίας δίνεται σαν η απολαβή σε σχέση με μια κεραία αναφοράς όταν και η δύο τροφοδοτούνται με την ίδια ισχύ:

$G = \text{μέγιστη ένταση ακτινοβολίας} / \text{μέγιστη ένταση ακτινοβολίας της κεραίας αναφοράς}$

Η κεραία αναφοράς σε όλες τις κεραίες είναι το δίπολο Hertz $\lambda/2$, με εξαίρεση το ίδιο το δίπολο που χρησιμοποιεί σαν κεραία αναφοράς την ιστροπική.

Πειραματικός υπολογισμός του κέρδους

Χρησιμοποιείται η διάταξη του σχ.17:



Σχ. 17: Μέτρηση απολαβής κεραίας

Α) αρχικά με την κεραία αναφοράς συνδεδεμένη στο σύστημα παίρνουμε μια ένδειξη στο όργανο ενδείξεων με τον εξασθενητή στα 0 db.

Β) Με την προς μέτρηση κεραία συνδεδεμένη στο σύστημα ρυθμίζουμε τον εξασθενητή ώστε να πάρουμε την ίδια ένδειξη στο όργανο. Τότε η ένδειξη σε db στον εξασθενητή = απολαβή της κεραίας σε σχέση με την κεραία αναφοράς.

5) Ενεργό ύψος και ενεργός επιφάνεια κεραίας

Το ενεργό ύψος h_e είναι μια παράμετρος που σχετίζεται με την διατομή της κεραίας. Ορίζεται ως ο λόγος της επαγόμενης τάσης προς το προσπίπτον κύμα:

$$h_e = \frac{V}{E} \quad (5)$$

Ένας εναλλακτικός ορισμός προκύπτει αν θεωρήσουμε την περίπτωση εκπομπής. Τότε το ενεργό ύψος θα είναι ίσο με το φυσικό ύψος h_p (ή μήκος l) επί της μέσης κανονικοποιημένης τιμής του ρεύματος:

$$h_e = \frac{I_{mean}}{I_0} h_p$$

όπου I_{mean} η μέση τιμή του ρεύματος και I_0 η μέγιστη τιμή αυτού.

Η ενεργός επιφάνεια A_e ορίζεται ως:

A_e =ωφέλιμη ισχύς που απορροφάται από την κεραία/πυκνότητα ισχύος που φτάνει στην κεραία.

Η ενεργός επιφάνεια σχετίζεται με το ενεργό ύψος σύμφωνα με τη σχέση:

$$A_e = \frac{Z_0}{4R_A} h_e^2$$

Όπου $Z_0=377\Omega$ =αντίσταση ελεύθερου χώρου και R_A η αντίσταση ακτινοβολίας.

Επίσης αν θεωρήσουμε την ισχύ ανά μονάδα επιφάνειας που λαμβάνει ο δέκτης σαν P_r , του πομπού με P_t , τις απολαβές σε σχέση με την ισοτροπική κεραία, του πομπού και του δέκτη, G_t και G_r αντίστοιχα, σε απόσταση r από τον ισοτροπικό πομπό, τότε θα ισχύει η σχέση μεταφοράς του Friis:

$$P_r = \frac{P_t G_r G_t \lambda^2}{(4\pi r)^2}$$

6) Αντίσταση ακτινοβολίας R_A

Αντίσταση ακτινοβολίας της κεραίας ονομάζεται η **ωμική** εκείνη αντίσταση, που όταν διαρρέετε από ρεύμα ίσο προς το ρεύμα εισόδου της κεραίας θα απορροφούσε ισχύ ίση προς την ισχύ ακτινοβολίας της κεραίας.

Έτσι $R_A = \frac{W_A}{I_{rms}^2}$. Αυτό σημαίνει ότι η αντίσταση ακτινοβολίας εξαρτάται από το σημείο τροφοδότησης της

κεραίας. Συνήθως η τροφοδότηση γίνεται σε σημείο μέγιστου ρεύματος, οπότε η αντίσταση συμβολίζεται με

R_0 . Η αντίσταση ακτινοβολίας σε σημείο που απέχει απόσταση x από τη κοιλία ρεύματος θα είναι $R_x = \frac{R_0}{\cos^2 \beta x}$

. Η έκφραση αυτή στη περίπτωση που η κατανομή ρεύματος δεν είναι ημιτονική ως έχει υποθεθεί, δίνει ικανοποιητική προσέγγιση με τη προϋπόθεση ότι η κεραία είναι πολύ λεπτή.

7) Αντίσταση απωλειών R_L

Η κεραία τροφοδοτείται με ισχύ μέσω γραμμής μεταφοράς. Από αυτή την ισχύ ακτινοβολείτε ένα ποσοστό της ενώ το υπόλοιπο αποτελεί απώλειες στη κεραία σε μορφή θερμότητας. Τις απώλειες αυτές αντιπροσωπεύει η αντίσταση απωλειών R_L που ορίζεται ως εξής: αντίσταση απωλειών της κεραίας είναι η **ωμική** εκείνη αντίσταση που όταν διαρρέετε από ρεύμα ίσο προς το ρεύμα εισόδου της κεραίας δαπανά ισχύ ίση με την ισχύ απωλειών W_L της κεραίας.

8) Αντίσταση εισόδου Z_{in} .

Αυτή ισούται με $Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}}$. Πρόκειται για την αντίσταση που όταν τεθεί στο τέρμα της γραμμής τροφοδότησης

αντί της κεραίας προσλαμβάνει την ίδια ισχύ με αυτή της κεραίας. Είναι μιγαδική της μορφής

$Z_{in} = R_{in} + jX_{in}$. Η τιμή της εξαρτάται απ' το σημείο τροφοδότησης της κεραίας ενώ το πραγματικό της μέρος

είναι: $R_{in} = R_A + R_L$. Επίσης εξαρτάται από το έδαφος και τις γειτονικές κεραίες λόγω σύζευξης. **Στην**

περίπτωση που η κεραία θεωρείται μεμονωμένη στο χώρο η Z_{in} ονομάζεται ίδια αντίσταση και

συμβολίζεται με Z_{11} . Η φανταστική αντίσταση εισόδου παριστάνει την ισχύ που αποθηκεύεται στη περιοχή του κοντινού πεδίου. Η R_{in} παριστάνει κατανάλωση. Τη κατανάλωση λόγω θερμικής απώλειας πάνω στη κεραία (R_L) και τη κατανάλωση λόγω ωφέλιμης ενέργειας που ακτινοβολείτε από τη κεραία (R_A).

9) Αμοιβαία σύνθετη αντίσταση μεταξύ κεραιών

Κεραίες σε μικρή απόσταση μεταξύ τους σε σχέση με το μήκος κύματος έχουν μια αμοιβαία αλληλεπίδραση που οφείλεται στην αμοιβαία σύνθετη αντίστασή τους. Σε αποστάσεις μεγαλύτερες από μερικά μήκη κύματος η επίδραση της αμοιβαίας αντίστασης είναι αμελητέα γιατί η ισχύς που παίρνει η μια κεραία από την άλλη είναι ένα μικρό ποσοστό της συνολικής εκπεμπόμενης ισχύος. Εάν μια κεραία 1 που διαρρέεται από ρεύμα I_1 και

βρίσκεται σε σύζευξη με προσκείμενη κεραία 2, προκαλεί σε αυτή τάση $-V_{12}$ τότε $Z_{12} = -\frac{V_{12}}{I_1}$ είναι η σύνθετη αντίσταση αμοιβαίας επαγωγής των κεραιών. Και λόγω ρεύματος I_2 στην δεύτερη, εμφανίζεται τάση $-V_{21}$ στην πρώτη. $Z_{21} = -\frac{V_{21}}{I_2}$ είναι πάλι η αμοιβαία αντίσταση μεταξύ των δυο κεραιών και $Z_{12}=Z_{21}$. Η τάση στην κεραία 1

είναι:

$$V_1 = Z_{11} \cdot I_1 + Z_{12} \cdot I_2$$

και στην κεραία 2 είναι:

$$V_2 = Z_{22} \cdot I_2 + Z_{12} \cdot I_1$$

Τότε η φαινομενική αντίσταση εισόδου της κεραίας 1 είναι:

$$Z = \frac{V_1}{I_1} = Z_{11} + Z_{12} \cdot \frac{I_2}{I_1}$$

Η αντίσταση εισόδου της κεραίας δεν είναι ίση με την ίδια αντίστασή της. Συνήθως στη πράξη η αμοιβαία σύνθετη αντίσταση δίνεται από διαγράμματα αμοιβαίας ωμικής και μη ωμικής αντίστασης σε σχέση με την απόσταση των κεραιών σε μήκος κύματος.

10) Απόδοση κεραίας n.

Ισούται με: $n = \frac{W_A}{W_A + W_L} = \frac{R_A}{R_A + R_L}$. Το n πέφτει όσο μικρότερο είναι το μέγεθος της κεραίας σε σχέση με το μήκος κύματος.

Παράδειγμα: Να βρεθεί ο βαθμός αποδόσεως κεραίας όταν, R_r =αντίσταση ακτινοβολίας=70 Ω και R_L =αντίσταση απωλειών=10 Ω.

Λύση:

Ο βαθμός αποδόσεως είναι:

$$\eta = \frac{R_r}{R_A} = \frac{R_r}{R_A + R_L} = \frac{70}{80} = 0.875 \text{ ή } 87.5\% \text{ (} R_A \text{=αντίσταση κεραίας)}.$$

11) Ισχύς εισόδου W_{in} .

Ισούται με: $W_{in} = W_A + W_L = \frac{1}{2} R_A [I_m]^2 + \frac{1}{2} R_L [I_m]^2$, όπου W_A =ακτινοβολούμενη ισχύς και W_L =ισχύς θερμικών απωλειών.

12) Γωνία μισής ισχύος.

Γωνία μισής ισχύος ονομάζουμε την γωνία εκείνη που σχηματίζεται στο κύριο λοβό μεταξύ των δύο μοναδικών σημείων όπου η ισχύς εκπομπής της κεραίας πέφτει στο μισό της μέγιστης, αν μιλάμε για διάγραμμα ισχύος. Αν μιλάμε για διάγραμμα ακτινοβολίας πρόκειται για τη γωνία που σχηματίζεται μεταξύ των μοναδικών εκείνων σημείων (πάντα στον κύριο λοβό) που έχουν ένταση πεδίου 0.707 του μέγιστου. Μετρίεται σε μοίρες.

13) Κατανομή ρεύματος.

Πρόκειται για την μεταβολή του ρεύματος κατά μήκος της κεραίας. Υπάρχουν δυο τύποι κατανομών:

α) Στις ασυντονιστές κεραίες έχουμε στάσιμα κύματα λόγω της ύπαρξης εκτός από οδεύοντων και ανακλώμενων κυμάτων. Το πλάτος του κύματος δεν παραμένει σταθερό αλλά μεταβάλλεται κατά μήκος του αγωγού. Η μεταβολή αυτή είναι ημιτονοειδής με την προϋπόθεση ότι το οδεύον και το ανακλώμενο κύμα έχουν το ίδιο πλάτος. Τότε $I_x = I_m \sin \beta x$ με $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$.

β) Στις συντονισμένες κεραίες το ανακλώμενο κύμα δεν υπάρχει λόγω προσαρμογής. Η κατανομή ρεύματος τότε ισούται με: $I_x = I_m e^{-\gamma x}$, όπου:

$$\gamma = \alpha + j\beta$$

γ = σταθερά μετάδοσης

α = σταθερά εξασθένησης

β = σταθερά φάσης.

Για την ιδανική περίπτωση $\alpha = 0$ και $I_x = I_m e^{j\beta x}$, δηλαδή το πλάτος είναι σταθερό κατά μήκος της γραμμής και μόνο η φάση μεταβάλλεται.

14) Κεραίες ευρείας και στενής ζώνης.

Μια κεραία που λειτουργεί σε μεγάλη περιοχή συχνοτήτων είναι κεραία ευρείας ζώνης. Αν f_c η μέση συχνότητα τότε:

$$f_c = \frac{f_u + f_l}{2} \quad (6)$$

όπου, f_u η μεγαλύτερη συχνότητα λειτουργίας της κεραίας και f_l η μικρότερη συχνότητα λειτουργίας της κεραίας. Για κεραίες με στενό εύρος ζώνης η σχέση που το δίνει είναι:

$$BW = \frac{(f_u - f_l)}{f_c} \cdot 100\% \quad (7)$$

Για κεραίες ευρείας ζώνης το εύρος τους δίνεται από τη σχέση:

$$BW = \frac{f_u}{f_l} \cdot 100\% \quad (8)$$

Γενικά, μια κεραία είναι ευρείας ζώνης όταν η αντίσταση εισόδου της κεραίας και το διάγραμμα ακτινοβολίας δεν αλλάζουν τουλάχιστον μέσα σε μια οκτάβα $\left(\frac{f_u}{f_l} = 2 \right)$.

15) Λόγος εμπρός-πίσω: Είναι ο λόγος της ισχύος που ακτινοβολείτε στην κατεύθυνση μέγιστης ισχύος προς την ισχύ που ακτινοβολείτε στην αντίθετη κατεύθυνση. Εκφράζεται συνήθως σε db. Έτσι αν μια κεραία πρόκειται να λειτουργήσει π.χ σαν σταθμός βάσης σε επικοινωνία πλοίων-ξηράς και έχουμε 2 κεραίες, μια με λόγο 3db και μια με λόγο 10db, θα προτιμηθεί σαφώς η δεύτερη αφού θα πρέπει συνήθως να ακτινοβολεί ελάχιστα στην κατεύθυνση της γης και να ακτινοβολεί με μέγιστη απόδοση στην κατεύθυνση της θάλασσας. Με αυτόν τον τρόπο θα υπάρχει μικρότερη απώλεια ισχύος που ακτινοβολείτε από την ακτή προς το εσωτερικό.

16) Μια σχεδίαση κεραίας μπορεί να κατασκευασθεί σε κλίμακα σε άλλο μέγεθος ώστε να λειτουργήσει σε άλλη συχνότητα από αυτήν που έχει σχεδιασθεί να λειτουργεί. Η εξίσωση είναι:

$$D = \frac{f_1}{f_2} \times d$$

όπου:

D =κλιμακούμενο μέγεθος

d =αρχικό μέγεθος σχεδίασης

f_1 =αρχική συχνότητα σχεδίασης

f_2 =κλιμακούμενη συχνότητα (συχνότητα προτιθέμενης λειτουργίας)

Έτσι για παράδειγμα ένα στοιχείο 39 ιντσών μήκους με συχνότητα λειτουργίας στα 144MHz θα μπορούσε να δουλέψει στα 14MHz αν το μήκος του γινόταν: $D=401.1$ ίντσες, ή 33,43 πόδια. Για να επανασχεδιασθεί μια κεραία στην σωστή κλίμακα προκειμένου να δουλέψει σε διαφορετική συχνότητα όλες οι φυσικές διαστάσεις πρέπει να επανασχεδιασθούν περιλαμβανομένου του μήκους των στοιχείων, των διαστημάτων των στοιχείων, διάμετροι boom και διάμετροι στοιχείων. Μήκοι και διαστήματα μπορούν να επανασχεδιασθούν με την άνωθεν εξίσωση, όχι όμως και οι διάμετροι των στοιχείων. Αν η κεραία του παραδείγματός μας τελειοποιηθεί με $\frac{3}{8}$

της ίντσας κυλινδρικά στοιχεία για τα 14MHz τα στοιχεία θα πρέπει να είναι διαμέτρου $144/14 \times \frac{3}{8} = 3.86$

ίντσες διάμετρο. Πρακτικά μια 4 ιντσών διάμετρος θα ήταν αποδεκτή αλλά κυλινδρικά στοιχεία διαμέτρου 4 ιντσών και μήκους 33 ποδιών θα ήταν παράλογο. Έτσι η επιλογή διαφορετικής διαμέτρου αποτελεί μονόδρομο. Αυτός είναι και ο λόγος που γενικότερα προτιμάμε να επεμβαίνουμε στα ενεργά και όχι στα φυσικά μεγέθη των κεραίων.

Κεφάλαιο 4: Εξαρτήματα Προσαρμογής

Στις γραμμές μεταφοράς είχαμε αναφέρει πως σε μια διάταξη μιας γραμμής που τερματίζει σε ένα φορτίο έχουμε προσαρμογή αν το φορτίο έχει τιμή ίδια με την χαρακτηριστική αντίσταση Z_0 της γραμμής. Διαφορετικά ένα μέρος της ισχύος ανακλάται στο φορτίο και επιστρέφει προς την είσοδο της διάταξης. Έχουμε γνωρίσει τη λύση του προβλήματος με τη βοήθεια ενός βραχυκυκλωμένου στο τέρμα του stub, υπολογίζοντας την απόστασή του από το φορτίο και το μήκος του. Με παρόμοιο τρόπο μπορούμε να αντιμετωπίσουμε το αντίστοιχο πρόβλημα σε μια μικροκυματική διάταξη. Καταρχήν σε μια στοιχειώδη μικροκυματική διάταξη έχουμε μια πηγή μικροκυμάτων, ένα ομοαξονικό καλώδιο για την εξαγωγή της ενέργειας, στη συνέχεια έχουμε σύνδεση του ομοαξονικού καλωδίου με κυματοδηγό, ξανά σύνδεση κυματοδηγού και ομοαξονικής γραμμής και τέλος σύνδεση της γραμμής σε μια κεραία. Σε όλες τις συνδέσεις υπάρχει το πρόβλημα της προσαρμογής. Ας αναφερθούμε λοιπόν στην επίτευξη προσαρμογής στα σημεία σύνδεσης του κυματοδηγού και της γραμμής. Θεωρούμε ότι έχουμε πετύχει προσαρμογή της κεραίας στη γραμμή μεταφοράς. Τότε αντικαθιστούμε τη γραμμή με την αντίσταση εισόδου της (θα είναι ίση με την αντίσταση εισόδου της κεραίας) και θα έχουμε τον κυματοδηγό να τερματίζει σ' ένα φορτίο. Εδώ πλέον μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα εξής εξαρτήματα:

1) Δρομέας βραχυκύκλωσης.

Πρόκειται για ένα βραχυκύκλωμα που εφάπτεται στα εσωτερικά τοιχώματα του κυματοδηγού και μπορεί να κινείται κατά μήκος του. Αρχικά υπολογίζουμε τη θέση του. Δηλαδή την απόστασή του από τα σημεία σύνδεσης του κυματοδηγού με τη γραμμή έτσι ώστε να εξισώσουμε την χαρακτηριστική αντίσταση του κυματοδηγού με το πραγματικό μέρος της σύνθετης αντίστασης που παρουσιάζει ο κυματοδηγός σ' αυτή τη θέση. Επίσης υπολογίζουμε το μήκος του δρομέα έτσι ώστε να εξουδετερώνει το φανταστικό μέρος αυτής της σύνθετης αντίστασης.

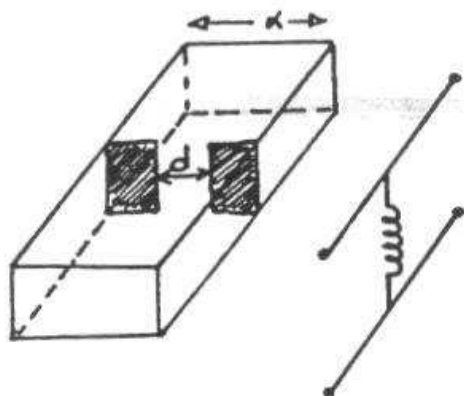
Η αντίσταση εισόδου του δρομέα βραχυκύκλωσης θα είναι:

$$Z_1 = jZ_0 \tan(\beta g l) = jZ_0 \tan\left(\frac{2\pi}{\lambda_g} l\right)$$

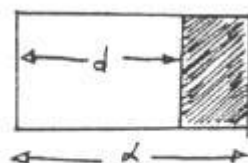
όπου λ_g είναι το μήκος κύματος στον κυματοδηγό και l το μήκος του. Η προσαρμογή που επιτυγχάνεται με τον δρομέα βραχυκύκλωσης αφορά μια μικρή περιοχή συχνοτήτων. Με την χρησιμοποίηση ενός διπλού δρομέα μπορούμε να αυξήσουμε λίγο αυτήν την περιοχή. Μια ακόμη μεγαλύτερη διεύρυνση της περιοχής συχνοτήτων όπου έχουμε προσαρμογή μπορούμε να πετύχουμε χρησιμοποιώντας τον διπλό δρομέα και συγχρόνως ελαττώνοντας βαθμιαία τμήμα της διάστασης b του κυματοδηγού.

2) Το επαγωγικό διάφραγμα.

Πρόκειται για ελάσματα πλήρως αγωγή που τοποθετούνται κάθετα προς τα πλευρικά τοιχώματα του κυματοδηγού όπως φαίνεται στο σχ.18.

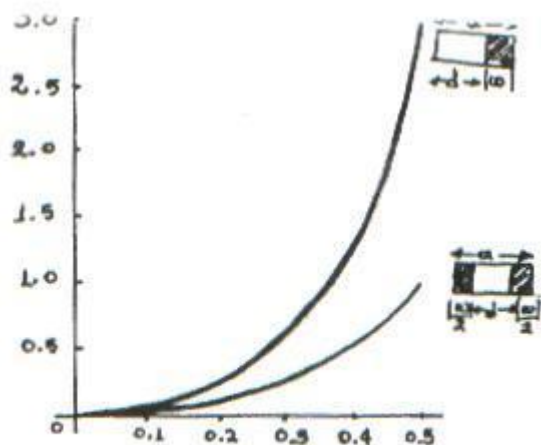


Σχ. 18

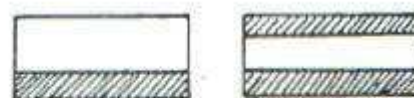


Σχ. 19

Αν το πλάτος του είναι μικρό σχετικά με το λ , το επαγωγικό διάφραγμα ισοδυναμεί με μια επαγωγική αγωγιμότητα. Έτσι στη θέση που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει τα χαρακτηριστικά του να υπολογιστούν έτσι ώστε η ισοδύναμη αγωγιμότητά του να εξουδετερώνει την χωρητική αγωγιμότητα που παρουσιάζει ο κυματοδηγός σ' αυτήν τη θέση. Η απόστασή του από το φορτίο του κυματοδηγού θα υπολογισθεί όπως και στην περίπτωση του δρομέα βραχυκύκλωσης. Υπάρχουν δύο τύποι επαγωγικών διαφραγμάτων, τα συμμετρικά και τα ασύμμετρα. Ένα ασύμμετρο διάφραγμα φαίνεται στο σχ.19. Στο σχ.20 έχουμε ένα διάγραμμα μεταβολής της ανοιγμένης επαγωγικής αγωγιμότητας για συμμετρικό και ασύμμετρο διάφραγμα σαν συνάρτηση των χαρακτηριστικών τους a και ω .



Σχ. 20



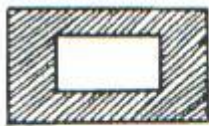
Σχ. 21

3) Το χωρητικό διάφραγμα.

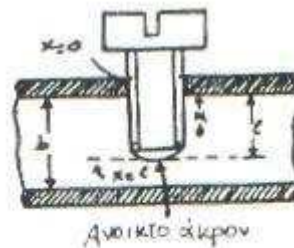
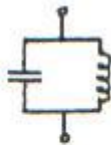
Προκύπτει ξανά για πλήρως αγωγή ελάσματα που τοποθετούνται κάθετα προς την πάνω και την κάτω επιφάνεια του κυματοδηγού όπως φαίνεται στο σχ.21. Τα εξαρτήματα αυτά παρουσιάζουν χωρητική αγωγιμότητα που η τιμή της εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά τους a και d . Έτσι μπορούν να εξουδετερώσουν τυχόν επαγωγική αγωγιμότητα που παρουσιάζει ο κυματοδηγός σε κάποια θέση. Υπάρχουν και αυτά σε δυο τύπους. Τον συμμετρικό και τον ασύμμετρο.

4) Το συντονισμένο διάφραγμα.

Το διάφραγμα αυτό φαίνεται στο σχ.22.



Σχ. 22



Σχ. 23

Πρόκειται για συνδυασμό ενός επαγωγικού και ενός χωρητικού διαφράγματος. Έτσι το ισοδύναμό του κύκλωμα είναι ένα a.c. παράλληλο κύκλωμα. Εκλέγοντας κατάλληλα τις διαστάσεις του μπορούμε να πετύχουμε μηδενική φαινόμενη αγωγιμότητα.

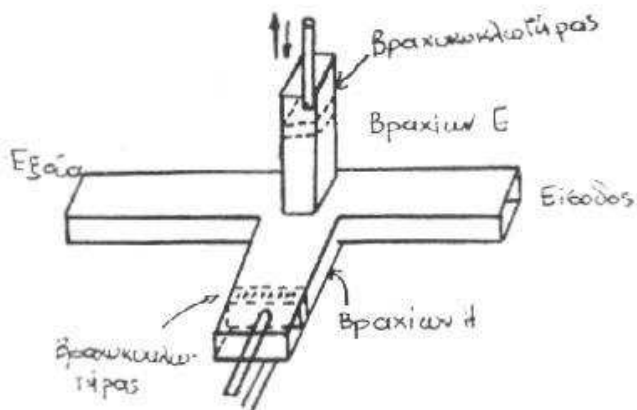
5) Κοχλίες συντονισμού.

Τα προηγούμενα εξαρτήματα που αναφέραμε έχουν το μειονέκτημα ότι μένουν σταθερά στη θέση που τοποθετούνται. Αυτό περιορίζει την περιοχή συχνοτήτων στην οποία μπορούμε να πετύχουμε προσαρμογή. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με το κοχλία συντονισμού όπως φαίνεται στο σχ.22. Θεωρητικά ο κοχλίας ισοδυναμεί με ανοιχτή γραμμή μεταφοράς. Έτσι η αντίσταση εισόδου του κοχλίας θα είναι επαγωγική ή χωρητική ανάλογα με το μήκος του. Όμως επειδή χρησιμοποιούνται συνήθως στη μεγαλύτερη πλευρά του κυματοδηγού που είναι και η διάστασή του είναι μικρότερη από $\frac{\lambda}{4}$, η αντίσταση του κοχλίας είναι πάντοτε χωρητική. Αν ο κοχλίας εκτός από τη δυνατότητα μεταβολής του μήκους του αποκτήσει και τη δυνατότητα ολίσθησης κατά μήκος του κυματοδηγού τότε μπορεί να βοηθήσει στην επίτευξη προσαρμογής σε μια αρκετά ευρεία περιοχή συχνοτήτων.

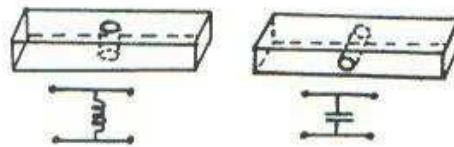
Ένας άλλος τρόπος διεύρυνσης της περιοχής αυτής όπου μπορούμε να έχουμε προσαρμογή είναι να χρησιμοποιήσουμε δυο κοχλίες σε ορισμένη μεταξύ τους απόσταση και να μεταβάλλουμε μόνο τα μήκη κύματός τους, όπως ακριβώς στη προσαρμογή με διπλό στέλεχος στις γραμμές μεταφοράς.

6) Συντονιστές E-H.

Με τα εξαρτήματα αυτά, που μας θυμίζουν πάλι το διπλό στέλεχος στις γραμμές, μπορούμε να πετύχουμε προσαρμογή σε μια σχετικά ευρεία περιοχή συχνοτήτων. Έχουμε ένα βραχυκυκλωμένο δρομέα που ολισθαίνει στον βραχίονα του ηλεκτρικού πεδίου E και έναν που ολισθαίνει στον βραχίονα του μαγνητικού πεδίου H. Με τους συντονιστές που E-H ρυθμίζοντας τα μήκη των δρομέων εξουδετερώνουμε την άεργη αντίσταση του κυματοδηγού σ' εκείνη την θέση. Στο σχ.24 έχουμε έναν συντονιστή E-H που αποσαφηνίζει όσα είπαμε.



Σχ. 24



Σχ. 25

7) Επαγωγικός και χωρητικός στύλος.

Τα εξαρτήματα αυτά καταλήγουν στις απέναντι πλευρές του κυματοδηγού. Αν καταλήγουν στις επιφάνειες της διάστασης a προσθέτουν επαγωγική αντίσταση παράλληλα στην φαινόμενη αντίσταση που παρουσιάζει ο κυματοδηγός σ' αυτή τη θέση. Αν καταλήγουν στα τοιχώματα της διάστασης b προσθέτουν χωρητική αντίσταση παράλληλα στη φαινόμενη αντίσταση του κυματοδηγού σ' αυτή τη θέση. Οι δυο περιπτώσεις φαίνονται στο σχ.25.

8) Φόρτοι προσαρμογής.

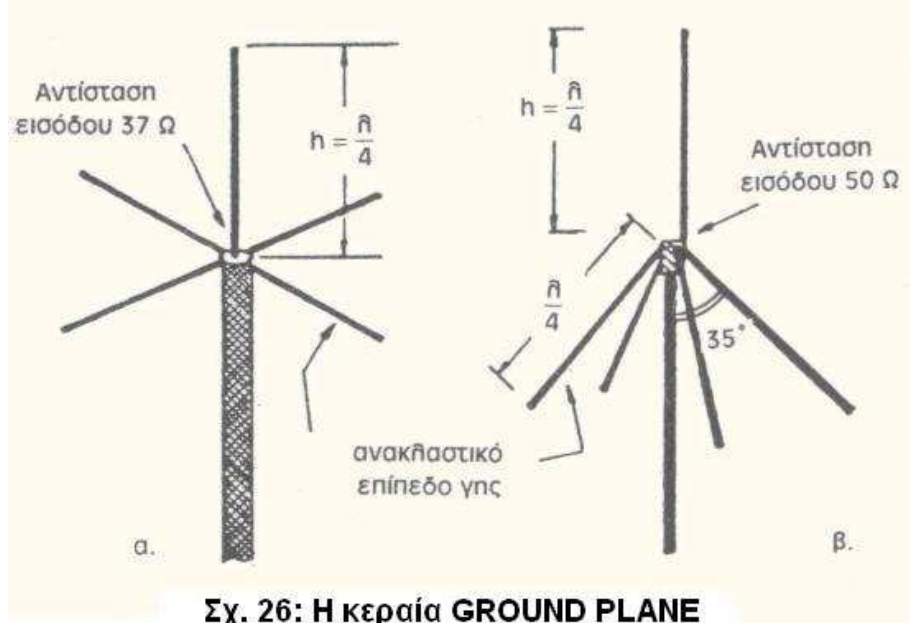
Πρόκειται για εξαρτήματα που τοποθετούνται συνήθως στο τέρμα του κυματοδηγού. Κατασκευάζονται από κατάλληλα απορροφητικό υλικό με σκοπό την απορρόφηση της ισχύος που προσπίπτει σ' αυτά. Υπάρχουν δυο τέτοια εξαρτήματα. Το πρώτο είναι σε μορφή λωρίδας που από κάποιο σημείο και πέρα εκλεπτύνεται. Αυτό το εκλεπτυσμένο τμήμα έχει μήκος ίσο με περίττο πολλαπλάσιο του $\frac{\lambda}{4}$. Έτσι το προσπίπτον στο φορτίο και το ανακλώμενο έχουν αντίθετη φάση και εξουδετερώνονται. Στο δεύτερο ο φόρτος τοποθετείται κάθετα στον κυματοδηγό και απέχει $\frac{\lambda_g}{4}$ από το τέρμα που είναι βραχυκυκλωμένο. Με τα εξαρτήματα αυτά επιτυγχάνεται προσαρμογή σε μια στενή περιοχή συχνοτήτων. Επίσης η χαρακτηριστική αντίσταση του φόρτου πρέπει να είναι ίδια με αυτή του κυματοδηγού στον οποίο τοποθετείται. Η προσπίπτουσα ακτινοβολία μετατρέπεται σε θερμότητα. Γι' αυτό πρέπει να συμβαίνει απαγωγή της θερμότητας είτε με ψήκτρες, είτε με ρεύμα αέρος, είτε με άλλους τρόπους.

Έλεγχος της προσαρμογής των κεραιών

Η σημαντικότερη απαίτηση για την καλή λειτουργία της κάθε κεραιάς είναι η σωστή προσαρμογή της στην γραμμή μεταφοράς που την διεγείρει, σ' ολόκληρη την ζώνη των συχνοτήτων, που εκπέμπει ή λαμβάνει. Μια προσαρμοσμένη κεραιά ακτινοβολεί ή λαμβάνει, οι απροσάρμοστες κεραιές ανακλούν προς τα πίσω το σήμα που δέχονται.

Η προσαρμογή των κεραιών ελέγχεται και ρυθμίζεται εύκολα, όταν διατίθενται ζεύκτες κατευθυντικοί με αντίσταση εισόδου και εξόδου όση και η αντίσταση εισόδου της κεραιάς, για την περιοχή συχνοτήτων που ενδιαφέρει. Οι κατευθυντικοί ζεύκτες κατασκευάζονται συνήθως ομοαξονικοί ή με κυματοδηγούς. Για την ρύθμιση και τον έλεγχο της προσαρμογής πρέπει και η είσοδος της κεραιάς να είναι ομοαξονική ή κυματοδηγός, συμβατός με την είσοδο του κατευθυντικού ζεύκτη. Σε διαφορετική περίπτωση ανάμεσα στην κεραιά και τον ζεύκτη πρέπει να παρεμβληθούν μετασχηματιστές αντιστάσεων, και συμμετροποιητές BALUN.

Ασύμμετρες γραμμές(unbalanced lines)είναι εκείνες που, ο ένας κλάδος τους μένει πάντοτε στο δυναμικό της γης, όπως γίνεται με τις ομοαξονικές γραμμές και τις μικρολωρίδες. Λίγες κεραιές έχουν ομοαξονική(άρα και ασύμμετρη) είσοδο με χαρακτηριστική αντίσταση 50Ω . Τέτοιες είναι οι κατακόρυφες, συντονισμένες κεραιές $\lambda/4$, με επίπεδο γης (ground plane), όπως αυτές που φαίνονται στο σχ.26. Στις κεραιές αυτές το ύψος του κατακόρυφου σκέλους h , ορίζει την συχνότητα συντονισμού τους, έτσι ώστε να είναι $4h \cong c/f$ και η κλίση των τεσσάρων βραχιόνων ορίζει την τιμή της αντιστάσεως εισόδου. Η αντίσταση εισόδου τους έχει τιμή 35Ω όταν οι βραχίονες είναι οριζόντιοι και 50Ω , όταν οι βραχίονες σχηματίζουν γωνία 145° με την κατακόρυφο.



Σχ. 26: Η κεραιά GROUND PLANE

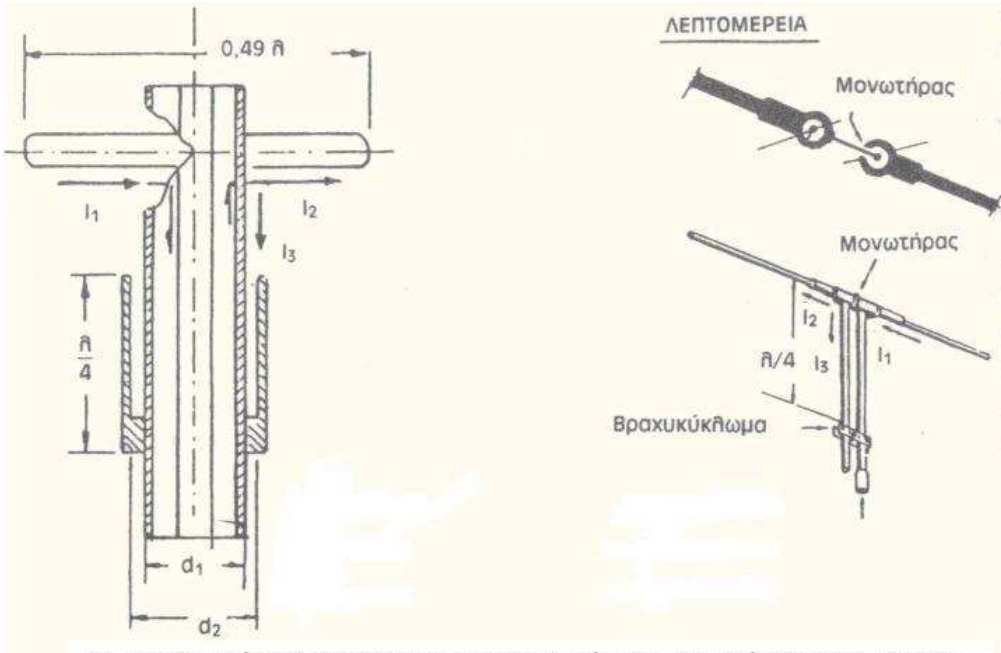
Για την διέγερση συμμετρικών στοιχείων ακτινοβολίας, όπως είναι τα απλά συντονισμένα δίπολα $\lambda/2$, με ομοαξονικές γραμμές, πρέπει να παρεμβληθούν συμμετροποιητές BALUN (BALance-UNbalance), που στην περιοχή VHF χρησιμοποιούν πυρήνες με φερριτή. Στην περιοχή UHF και στα μικροκύματα, τους συμμετροποιητές συγκροτούν διάφορες διατάξεις τμημάτων γραμμής $\lambda/4$, όπως φαίνεται στα σχήματα 26(α) και 26(β). Οι συμμετροποιητικές διατάξεις είναι απαραίτητες για τον έλεγχο και την ρύθμιση της προσαρμογής των συμμετρικών κεραιών με κατευθυντικούς ζεύκτες, που έχουν ομοαξονική είσοδο.

Για την προσαρμογή ανοικτών και συντονισμένων διπόλων $\lambda/2$, σε συχνότητες μεγαλύτερες από 300MHz χρησιμοποιούνται οι συμμετροποιητές “μπαζούκα” (bazooka), που φαίνονται στα σχήματα 27(α) και 27(β). Στη διάταξη του σχήματος 27(α), που βρίσκει εφαρμογή σε μικροκυματικές συχνότητες, ο αριστερός κλάδος του συμμετρικού διπόλου διεγείρεται από το ρεύμα $-I_1$ του εσωτερικού αγωγού του ομοαξονικού καλωδίου. Το ρεύμα I_1 , που ρέει και στο εσωτερικό του περιβλήματος του καλωδίου διαιρείται στα ρεύματα I_2 και I_3 που ρέουν στο δεξιό άκρο του διπόλου και στην εξωτερική πλευρά του περιβλήματος, αντίστοιχα. Κατά συνέπεια ισχύει:

$$I_1 = I_2 + I_3 \quad (9)$$

Για να διεγείρεται σωστά το δίπολο, πρέπει τους δύο του κλάδους να τους διεγείρουν ίσα ρεύματα. Άρα πρέπει να μηδενισθεί το I_3 .

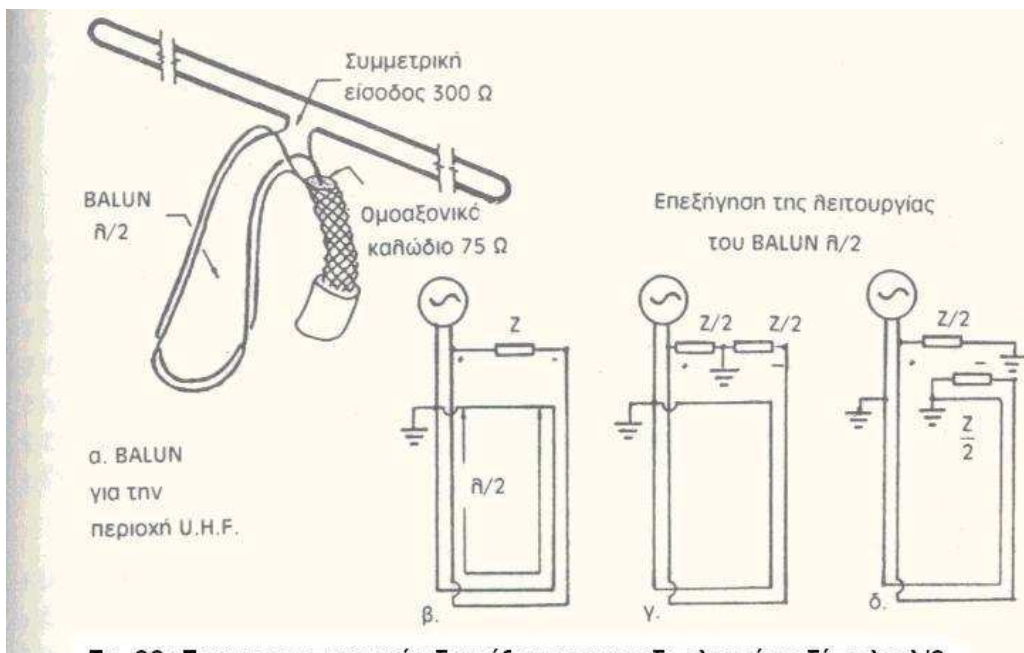
Για να μηδενισθεί η ροή ρεύματος στην εξωτερική πλευρά του ομοαξονικού, προς τη γη περιβάλλεται το ομοαξονικό καλώδιο με ένα δεύτερο περίβλημα που έχει μήκος $\lambda/4$. Με τον τρόπο αυτό σχηματίζονται δύο ομοαξονικές γραμμές, που η μια είναι μέσα στην άλλη. Το δεύτερο εξωτερικό περίβλημα βραχυκυκλώνεται στο άκρο προς τον πομπό, έτσι που η αντίσταση εισόδου στην εξωτερική γραμμή να είναι άπειρη. Το I_3 μηδενίζεται και οι δυο κλάδοι του διπόλου διεγείρονται από ίσα ρεύματα. Η διάταξη προσαρμογής του συμμετρικού διπόλου στην ομοαξονική γραμμή δεν αλλάζει την αντίσταση εισόδου του διπόλου.



Σχ. 27(α): Διάταξη ΒΑΖΟΟΚΑ για μικροκύματα, (β) διάταξη BALUN για την περιοχή V.H.F.

Ανάλογη με την διάταξη του σχήματος 27(β) είναι η διάταξη μπαζούκα του σχήματος 27(α), που βρίσκει εφαρμογές στις ζώνες VHF και UHF. Στη διάταξη αυτή τον μηδενισμό του ρεύματος I_3 στο εξωτερικό του περιβλήματος του ομοαξονικού καλωδίου κάνει η βραχυκυκλωμένη δίκλωνη γραμμή. Αυτή σχηματίζεται από δύο περιβλήματα ομοαξονικών καλωδίων και έχει μήκος $\lambda/4$.

Η προσαρμοστική διάταξη που χρησιμοποιείται συχνότερα στην περιοχή UHF για την προσαρμογή των συμμετρικών αναδιπλωμένων δίπολων $\lambda/2$, που έχουν αντίσταση εισόδου 290Ω σε ασύμμετρες ομοαξονικές γραμμές μεταφοράς με χαρακτηριστική αντίσταση 73Ω , φαίνεται στο σχ.28(α). Ο τρόπος που λειτουργεί η διάταξη αυτή φαίνεται στο σχ.28(β). Στο σχήμα αυτό το αναδιπλωμένο δίπολο έχει αντικατασταθεί από την ισοδύναμη αντίσταση εισόδου του, Z . Είναι φανερό στο τελευταίο σχήμα, πως όταν η πηγή δίνει τάση V ως προς τη γη, στο σημείο A, το σημείο B, παίρνει τάση $-V$ μέσα από την γραμμή μεταφοράς, που έχει μήκος $\frac{\lambda_g}{2}$.



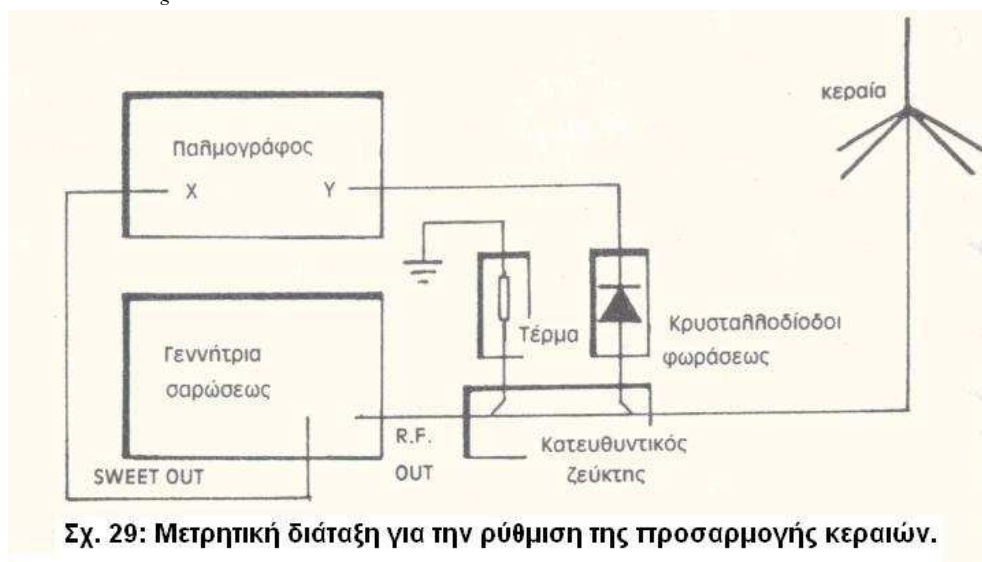
Σχ. 28: Συμμετροποιητικές διατάξεις για αναδιπλωμένο δίπολο $\lambda/2$.

Κατά συνέπεια, η τάση του μέσου της αντίστασης Z , ως προς την γη είναι 0 και το σημείο και το σημείο αυτό μπορεί να γειωθεί, όπως φαίνεται στο σχ.28(γ). Έτσι η αντίσταση Z χωρίζεται στη μέση και το ένα μισό της διεγείρεται κατευθείαν από την πηγή, ενώ το άλλο μισό της διεγείρεται μέσα από ένα τμήμα της γραμμής μεταφοράς, που έχει μήκος $\frac{\lambda_g}{2}$. Εξ αιτίας του μήκους του τμήματος της γραμμής μεταφοράς η αντίσταση εισόδου της είναι ίση με την αντίσταση φορτίου της, δηλαδή $\frac{Z}{2}$. Γι'αυτό η πηγή "βλέπει" σαν φορτίο δύο παράλληλες αντιστάσεις, που καθεμιά τους έχει τιμή $\frac{Z}{2}$ και συνεπώς φορτίζεται ασύμμετρα ως προς την γη με αντίσταση φορτίου $\frac{Z}{4}$. Όταν η αντίσταση του αναδιπλωμένου δίπολου είναι 290Ω , η πηγή και το ομοαξονικό καλώδιο, που καταλήγει στο δίπολο φορτίζονται με ασύμμετρο ωμικό φορτίο, 73Ω .

Καθώς οι κατευθυντικοί ζεύκτες και οι κρυσταλλοδιόδοι φωράσεως των μετρητικών διατάξεων λειτουργούν ικανοποιητικά σε πολύ ευρύτερες περιοχές από τις διατάξεις των στοιχείων ακτινοβολίας με τους μετασχηματιστές BALUN, είναι δυνατή η ρύθμιση της προσαρμογής των τελευταίων να γίνει γρήγορα, με διατάξεις σάρωσης της συχνότητας, όπως αυτή του σχήματος 29. Όλες οι ρυθμιστικές δυνατότητες που παρέχει η κατασκευή της κεραίας, χρησιμοποιούνται για να ελαχιστοποιηθεί το μέτρο του συντελεστή ανάκλασης στην είσοδό της, πάνω σε μια ζητούμενη ζώνη συχνοτήτων. Ο ποσοτικός έλεγχος, όμως της προσαρμογής αυτής, δυσκολεύεται από τη μη γραμμική απόκριση των κρυσταλλοδιόδων φωράσεως στο σήμα εισόδου και διευκολύνεται όταν γίνεται με ενδείκτες που διαθέτουν λογαριθμικές κλίμακες.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονιστεί ότι με το να πετύχουμε προσαρμογή ($Z_{in}=R_g$ όπου R_g η αντίσταση του δέκτη και Z_{in} η σύνθετη αντίσταση) έχουμε μέγιστη μεταφορά ισχύος στο δέκτη και η μέγιστη μεταφερόμενη ισχύς είναι:

$$P_{r(max)} = \frac{V^2}{4R_g} \quad (10)$$

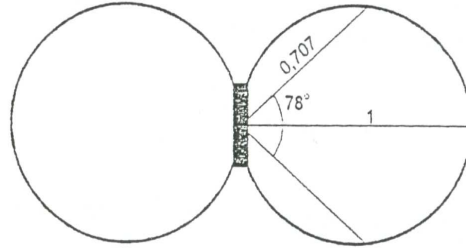
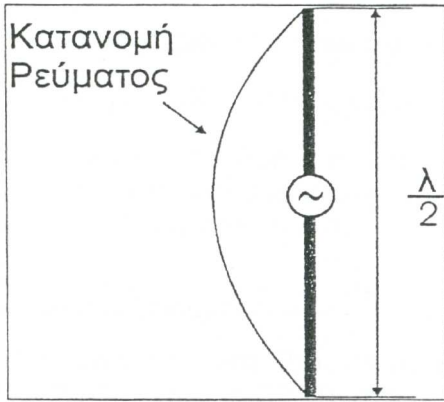


Κεφάλαιο 5: Είδη κεραίων

Η δίπολη κεραία $\frac{\lambda}{2}$

Όταν η κεραία τροφοδοτείται στο μέσον με μια γραμμή μεταφοράς η κατανομή ρεύματος είναι περίπου ημιτονοειδής, με μέγιστο στο μέσον και μηδέν στα άκρα:

$$I = I_0 \cos\left(\frac{2\pi Z}{\lambda}\right) e^{j\omega t}, \text{ όπου } Z \text{ η απόσταση από το κέντρο της κεραίας.}$$



Στα UHF και VHF οι διαστάσεις του δίπολου είναι τέτοιες που το καθιστούν κατάλληλο για χρήση σαν κεραία η σαν στοιχείο σε σύστημα κεραιών. Η ακτινοβολούμενη ισχύς του είναι:

$$P = 30I^2 \int_0^\pi \frac{\cos^2\left\{\left(\frac{\pi}{2}\right)\cos\theta\right\}}{\sin\theta} d\theta$$

Η αντίσταση ακτινοβολίας του είναι ίση με την αντίσταση εισόδου του:

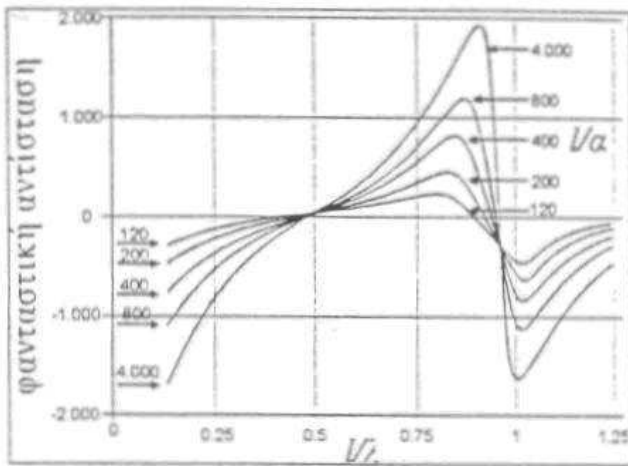
$$R_{in} = R_A = 73\Omega$$

Η γωνία μισής του ισχύος είναι 78° .

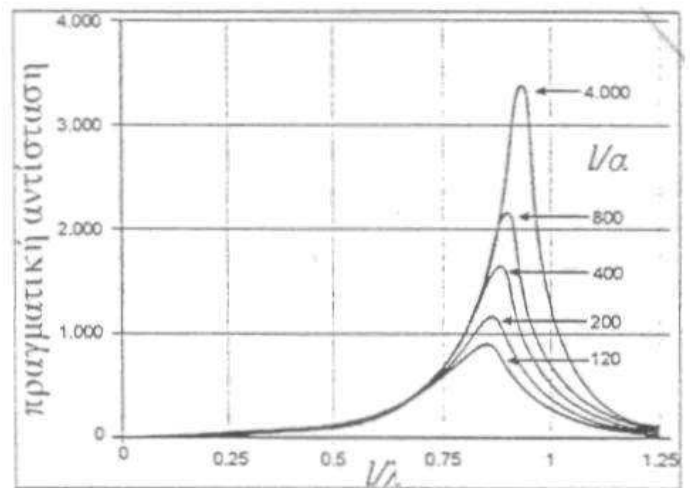
Η απολαβή του σε σχέση με το ισότροπο είναι:

$$G_0 = 1.64 = 2.16\text{db}$$

Επειδή η δίπολη κεραία είναι μια πρακτική κεραία η αντίστασή της σαν φορτίο σε μια γραμμή μεταφοράς μπορεί να μετρηθεί. Αν αυτό γίνει θα βρεθεί ότι το φανταστικό και το πραγματικό μέρος της σύνθετης αντίστασης μεταβάλλονται με το μήκος της κεραίας όπως φαίνεται στα σχήματα 30 και 31.



Σχ. 30: Η φανταστική αντίσταση του δίπολου σαν συνάρτηση του μήκους l , για διάφορες τιμές της ακτίνας a .



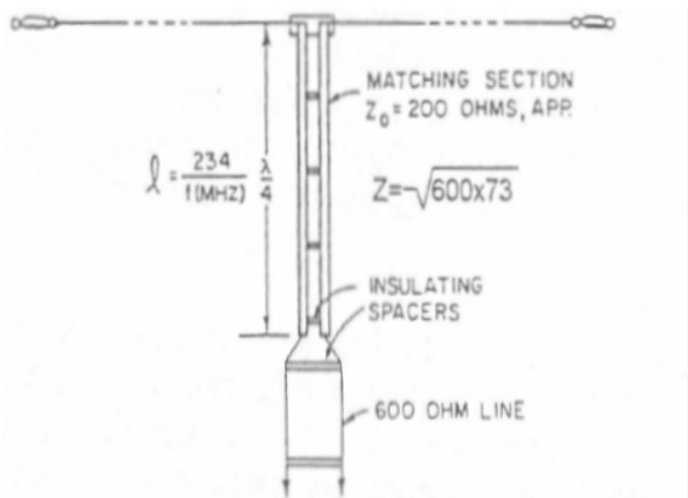
Σχ. 31: Αντίσταση εισόδου του δίπολου σαν συνάρτηση του μήκους l για διάφορες τιμές της ακτίνας a

Βλέπουμε ότι η Z εξαρτάται από την ακτίνα a του αγωγού του δίπολου. Φυσικά εμείς ενδιαφερόμαστε για τα σημεία των διαγραμμάτων που αντιστοιχούν σε μήκος περίπου $\frac{\lambda}{2}$. Αν όμως το μήκος είναι ακριβώς $\frac{\lambda}{2}$, η

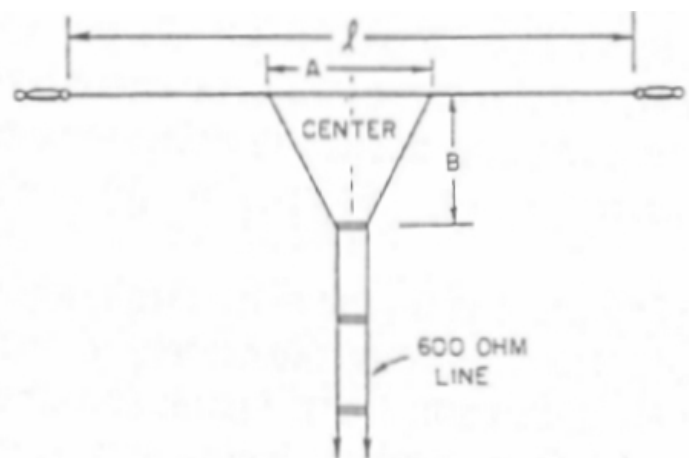
σύνθετη αντίσταση περιλαμβάνει και μια μικρή επαγωγική αντίσταση σε σειρά. Με λίγο μικρότερο μήκος συντονισμού επιτυγχάνουμε τον μηδενισμό αυτής και έτσι η αντίσταση εισόδου της κεραίας είναι καθαρά ωμική(και πάντα ίση με την R_A). Η αντίσταση εισόδου φυσικά και περιλαμβάνει και την αντίσταση του αγωγού, αλλά αυτή είναι αμελητέα σε σχέση με την R_A . Σημαντικό τέλος είναι σε ευρείας ζώνης εφαρμογές να χρησιμοποιούνται δίπολα με μεγάλη διάμετρο αγωγού.

Πρακτικές μορφές της δίπολου κεραίας

α) Η κεραία $\lambda/2$ τροφοδοτείται στο μέσον της με διπλή γραμμή (κεραία Q). Για λόγους προσαρμογής θα πρέπει η κεραία να τροφοδοτείται με γραμμή μεταφοράς με $Z_0 \approx 73\Omega$. Τέτοια καλώδια είναι τα ομοαξονικά αλλά επειδή παρουσιάζουν σημαντικές απώλειες προτιμάται η τροφοδότηση με γραμμή 600Ω και η προσαρμογή γίνεται με παρεμβολή μετασχηματιστή $\frac{\lambda}{4}$ (quarter-wave transformer).



Κεραία τύπου Q



Κεραία τύπου Δ

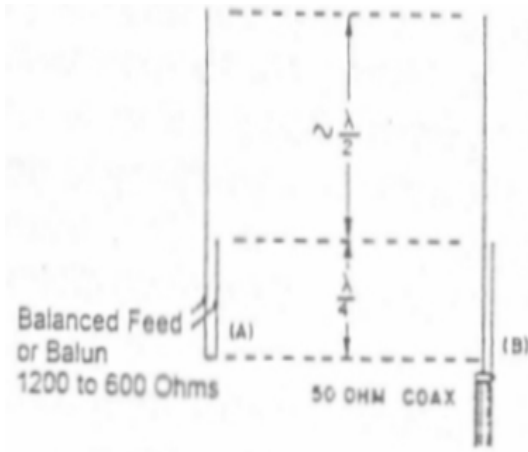
β) Αν η τροφοδότηση της κεραίας γίνει όπως στο σχήμα η κεραία αναφέρεται ως δίπολος Δ. Οι αποστάσεις a , β υπολογίζονται για την προσαρμογή της κεραίας στη γραμμή. Για γραμμή τροφοδότησης 600Ω οι διαστάσεις a και β υπολογίζονται προσεγγιστικά από τις σχέσεις $a=0,12\lambda$, $\beta=0,15\lambda$ και περαιτέρω βελτίωση γίνεται με έναν ανιχνευτή στάσιμων κυμάτων, δεδομένου ότι σημασία έχει και η απόσταση του δίπολου από το έδαφος και η διάμετρος του σύρματος.

γ) Κεραία J. Εδώ έχουμε τροφοδότηση στο άκρο του δίπολου. Στο άκρο της κεραίας η αντίσταση εισόδου είναι πολύ μεγάλη (πρακτικά της τάξης των $10K\Omega$). Έτσι η γραμμή που θα τροφοδοτήσει την κεραία στο άκρο της

πρέπει να έχει υψηλή αντίσταση. Αυτή την ιδιότητα έχει η βραχυκυκλωμένη γραμμή $\frac{\lambda}{4}$. Η γραμμή θα

τροφοδοτηθεί με τη σειρά της μέσω άλλης γραμμής και σε θέση που θα προσδιορισθεί για επίτευξη προσαρμογής. Η κεραία J χρησιμοποιείται σε μήκη κύματος μικρότερα των $10m$ ($f > 30MHz$) και μπορεί να

προσγειωθεί στο σημείο βραχυκύκλωσης του $\frac{\lambda}{4}$ επειδή υπάρχει δεσμός τάσης.



Κεραία τύπου J

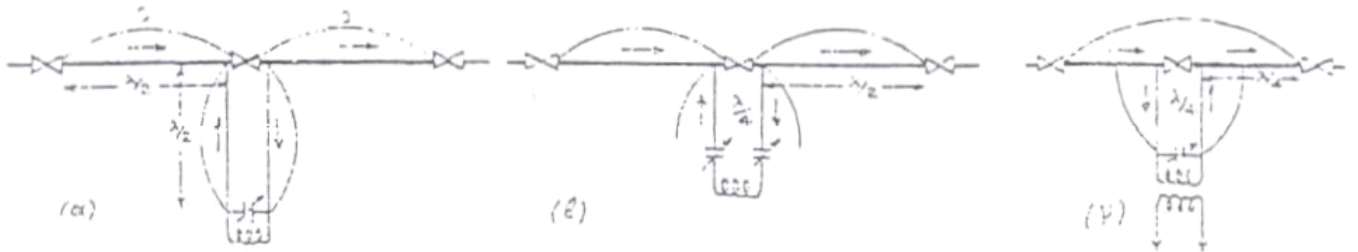
δ) Τροφοδότηση σε άλλα σημεία.

Στις προηγούμενες περιπτώσεις κεραιών υπήρχε προσαρμογή της κεραιάς στη γραμμή τροφοδότησης. Αν η τροφοδότηση γίνεται με συντονισμένη γραμμή (όχι προσαρμογή) προκύπτουν άλλες μορφές της δίπολου κεραιάς όπως:

δ.1) Κεραία Levy.

Αποτελείται από δύο δίπολα $\frac{\lambda}{2}$ που τροφοδοτούνται στα άκρα τους από την ίδια διπλή γραμμή που είναι

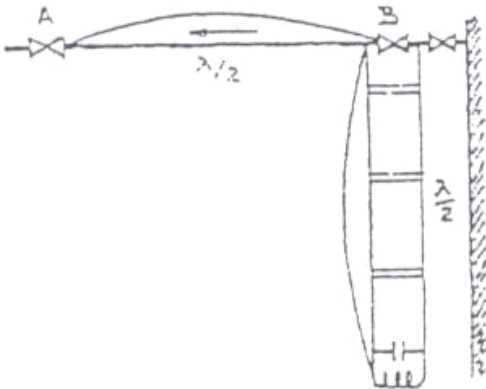
συντονισμένη και μπορεί να έχει μήκος $\frac{\lambda}{2}$ ή $\frac{\lambda}{4}$.



Κεραίες Levy

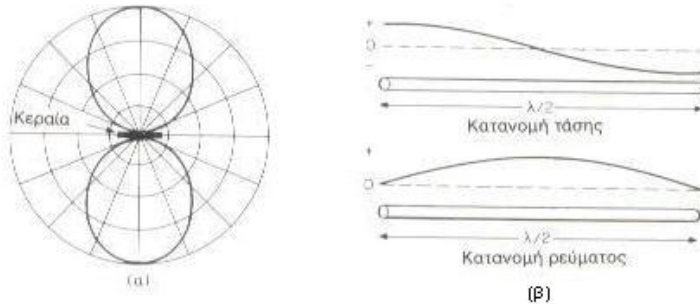
δ.2) Κεραία Zeppelin.

Μια κεραία Zeppelin μπορεί να θεωρηθεί το μισό μιας Levy και έχει το πλεονέκτημα ότι είναι πιο εύκολη η εγκατάστασή της. Εμφανίζει όμως προβλήματα στα ρεύματα της γραμμής λόγω της ασυμμετρίας της γραμμής.



Κεραία Zeppelin

Το διάγραμμα ακτινοβολίας μιας κεραίας Hertz είναι το παρακάτω. Παρατηρήστε ότι η κεραία έχει μεγαλύτερη απόδοση προς δύο κατευθύνσεις αλλά δεν έχει απόδοση στην κατεύθυνση που είναι κάθετη στις κατευθύνσεις με απόδοση. Στο σχ.32(β) φαίνεται η κατανομή του ρεύματος και της τάσης. Μια κεραία Hertz κόβεται σε μήκος $\lambda/2$ και συνήθως τοποθετείται σε οριζόντιο επίπεδο.

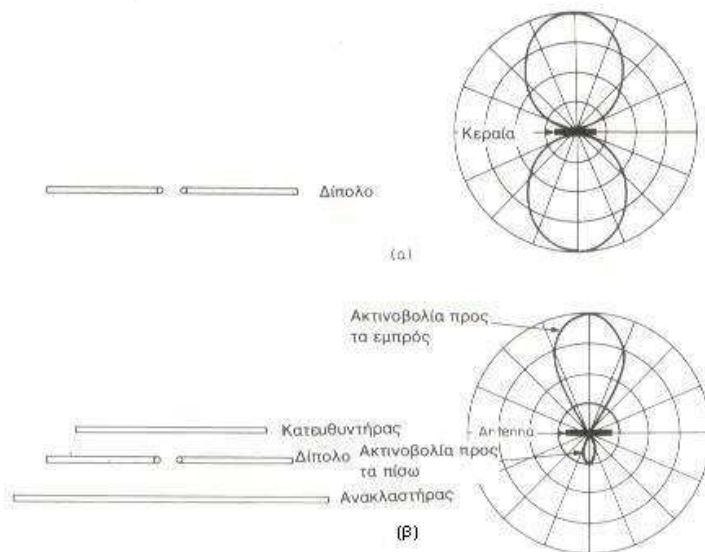


Σχ. 32(α): Διάγραμμα ακτινοβολίας Hertz με δίπολο , (β) Κατανομή ρεύματος και τάσης σε κεραία με δίπολο.



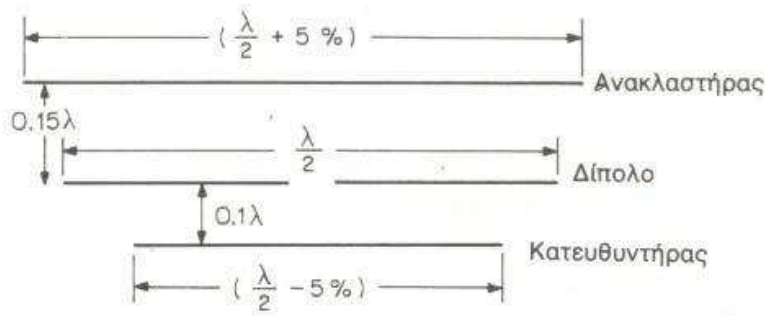
Σχ. 33: Κεραία Hertz με δίπολο

Προκειμένου να κατασκευάσουμε μια κεραία με περισσότερο κατευθυντικά χαρακτηριστικά μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κατευθυντήρες και ανακλαστήρες σε συνδυασμό με μια κεραία με δίπολο.



Σχ. 34(α): Κεραία με δίπολο και το διάγραμμα ακτινοβολίας της. (β) Κεραία με δίπολο σε συνδυασμό με έναν ανακλαστήρα και έναν κατευθυντήρα και το διάγραμμα ακτινοβολίας της.

Οι ανακλαστήρες και οι κατευθυντήρες ονομάζονται παρασιτικά στοιχεία ενώ το δίπολο οδηγούμενο στοιχείο, επειδή το δεύτερο συνδέεται με τη γραμμή μετάδοσης αντίθετα με τα άλλα δύο. Ο συνδυασμός αυτών των στοιχείων ονομάζεται κεραία δέσμης. Ο ανακλαστήρας έχει μεγαλύτερο μήκος από το δίπολο ενώ ο κατευθυντήρας μικρότερο. Η άριστη απόσταση του ανακλαστήρα από το δίπολο είναι 0.15λ αν ο ανακλαστήρας είναι 5% μεγαλύτερος από το δίπολο. Η άριστη απόσταση του κατευθυντήρα από το δίπολο, αν αυτός είναι 5% μικρότερος από το δίπολο είναι αντίστοιχα 0.1λ .



Σχ. 35: Η γεωμετρική κατασκευή κεραίας δέσμης τριών στοιχείων

Γενικά ισχύει η σχέση:

$$F\lambda = kC \quad (11)$$

Όπου k ο παράγοντας ταχύτητας. Αυτός είναι ένας δεκαδικός αριθμός που, όταν πολλαπλασιάζετε με την ταχύτητα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στον χώρο, δίνει την ταχύτητα των κυμάτων αυτών σε ένα φυσικό μέσο.

Πρόβλημα 2: Να υπολογισθεί η ενεργός διατομή A_{em} του βραχέως δίπολου.

Λύση:

Η μέγιστη ενεργός διατομή A_{em} δίνεται από τη σχέση:

$$A_{em} = \frac{V^2}{4PR_r} \quad (1)$$

Η μέγιστη ισχύς που λαμβάνεται από το δίπολο λαμβάνει χώρα όταν αυτό είναι παράλληλο προς το προσπίπτον ηλεκτρικό πεδίο εντάσεως E (σχ.9.34 α).

Λόγω του ομοιόμορφου πεδίου έχουμε:

$$\text{Δυναμικό κεραίας } V = E \cdot l \quad [\text{Volts}]$$

Η πυκνότητα ισχύος δίνεται από τη σχέση:

$$P = \frac{E^2}{Z_0} \quad [\text{W/m}^2]$$

Τέλος για το βραχύ δίπολο ισχύει:

$$R_r = 80\pi^2 \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2. \text{ Αντικαθιστώντας τις παραπάνω σχέσεις στην (1) προκύπτει ότι: } A_{em} = 0,119\lambda^2.$$

Πρόβλημα 3: Να βρεθεί η μέγιστη ενεργός επιφάνεια μιας κεραίας που έχει $\lambda=2\text{m}$ και $D=100$.

Λύση:

Αν D_1 και D_2 οι κατευθυντικότητες δύο κεραίων, έχουμε:

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{A_{em1}}{A_{em2}} \quad (1)$$

Αν θεωρήσουμε την κεραία 1 ιστροπική τότε έχουμε $D_1=1$, οπότε αφού το A_{em2} έχει υπολογισθεί από το πρόβλημα 2 και με $D_2 = \frac{3}{2}$ (κατευθυντικότητα βραχέως δίπολου), έχουμε: $A_{em1} = \frac{\lambda^2}{4\pi}$. Για αυτήν την τιμή του

A_{em1} και με δεδομένο ότι $D_1=1$ και $D_2=D=100$, ξανααντικαθιστούμε στην (1) και έχουμε: $A_{em} = \frac{\lambda^2}{4\pi} D$ γενικά για κεραία. Άρα $A_{em} = 31,8 \text{ m}^2$.

Είναι αυτονόητο ότι το φυσικό μήκος του δίπολου για άριστη εκπομπή σήματος στα π.χ 40MHz και το αντίστοιχο μήκος για άριστη μετάδοση στα π.χ 20MHz είναι διαφορετικά. Το σήμα μικρότερης συχνότητας θα χρειάζεται μεγαλύτερο δίπολο από το σήμα μεγαλύτερης συχνότητας. Για να επιτύχουμε την άριστη μετάδοση σήματος σε διαφορετικές συχνότητες από ένα και μόνο δίπολο χρησιμοποιούμε διατάξεις που είναι γνωστές σαν “παγίδες κεραίων”. Έτσι, αν στην περίπτωσή μας, στο κάθε σκέλος του δίπολου περιληφθεί ένα κύκλωμα που εξαρτάται από τη συχνότητα και που θα λειτουργεί είτε σαν ανοικτό είτε σαν κλειστό κύκλωμα(ανοιχτός ή κλειστός διακόπτης), αυτό ουσιαστικά θα επιμηκύνει ή θα επιβραχύνει την κεραία ανάλογα με τον τρόπο που θέλουμε. Το κύκλωμα αυτό ονομάζεται “παγίδα κεραίας” και ουσιαστικά μεταβάλλει το ενεργό της μήκος.

Εφαρμογή: Να σχεδιασθεί κεραία με δίπολο που να έχει την ίδια απόδοση στα 60 και στα 40MHz. Να θεωρήσετε ότι ο παράγοντας ταχύτητας είναι 0.8.

Σχεδίαση:

Πρώτα υπολογίζουμε το μήκος κύματος του σήματος των 60MHz.

$$f\lambda = kC \Rightarrow 60 \cdot 10^6 \lambda = 0,8 \cdot 3 \cdot 10^8 \Rightarrow \lambda = 4m$$

Το κατάλληλο μήκος για το δίπολό μας είναι:

$$\frac{\lambda}{2} = 2m$$

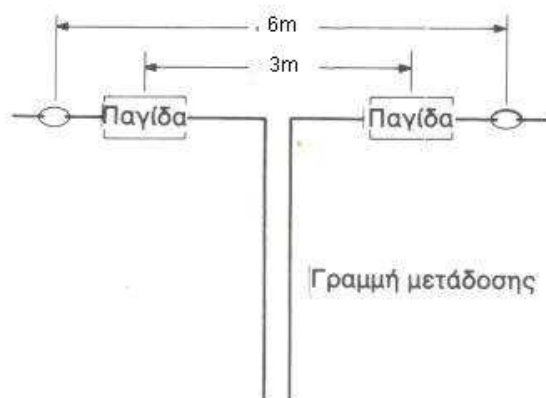
Ομοίως, το μήκος κύματος του σήματος των 40MHz είναι:

$$f\lambda = kC \Rightarrow 40 \cdot 10^6 \lambda = 0,8 \cdot 3 \cdot 10^8 \Rightarrow \lambda = 6m$$

Το μήκος του δίπολου είναι:

$$\frac{\lambda}{2} = 3m$$

Στο σχ.37 φαίνεται η κεραία που ικανοποιεί τις ανάγκες που ορίστηκαν παραπάνω.

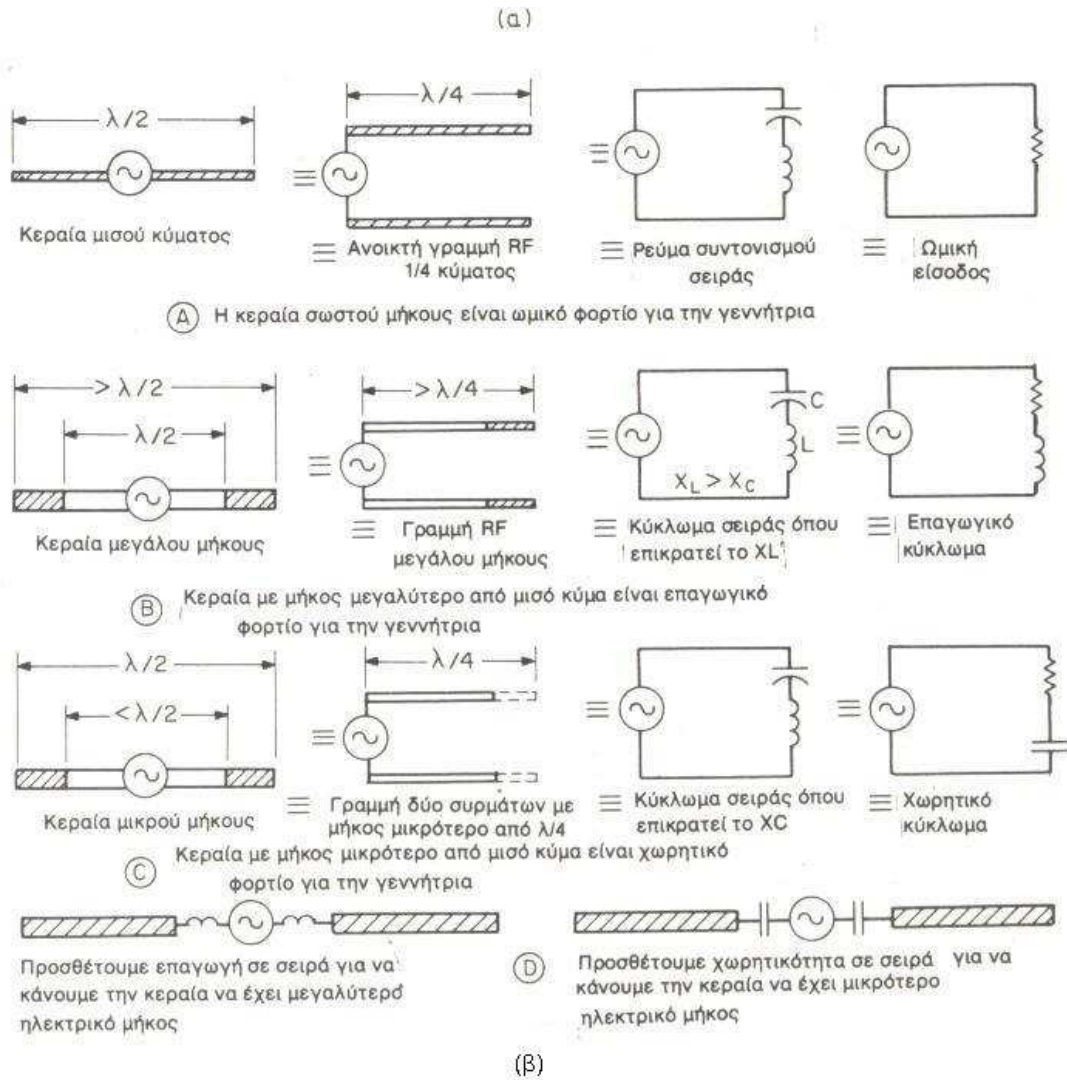


Σχ. 37: Κεραία με δίπολο με παγίδες κεραίων που χρησιμοποιούνται και στα 40 και στα 60 MHz.

Η σχέση μεταξύ του εύρους ζώνης συχνοτήτων και του Q μιας κεραίας είναι η ίδια με τη σχέση στα συντονισμένα κυκλώματα:

$$BW = \frac{f_0}{Q} \quad (12)$$

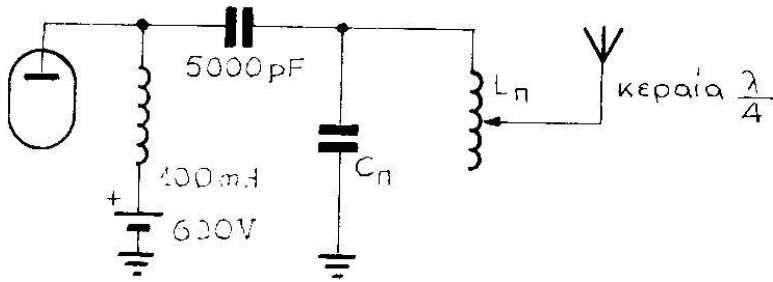
Όπου f_0 , η συχνότητα για την οποία κόπηκε στο συγκεκριμένο μήκος(συχνότητα συντονισμού, δηλαδή η συχνότητα άριστης λειτουργίας της). Εδώ πρέπει να διευκρινισθεί ότι η συχνότητα αυτή αντιπροσωπεύει το μέγιστο σημείο του κυρίως λοβού στο διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας. Σε αυτό το σημείο παραθέτουμε στο σχ.38 την αναλογία του φυσικού μήκους της κεραίας με τα συντονισμένα κυκλώματα.



Σχ. 38(α): Άριστη απόκριση συχνότητας και απομάκρυνση από την άριστη συχνότητα σχεδίασης για διάφορες τιμές του Q.(β) Επίδραση του μήκους στην σύνθετη αντίσταση της κεραίας.

Αν για κάποιο λόγο, η συχνότητα συντονισμού της κεραίας δεν βρίσκεται ακριβώς στην συχνότητα εκπομπής, η κεραία μπορεί να συντονισθεί. Αυτό γίνεται με κυκλώματα συντονισμού κεραίας που στο μεγαλύτερο τμήμα τους, είναι συντονιζόμενα κυκλώματα με φανταστικά στοιχεία που υπολογίζονται έτσι ώστε όταν συνδεθούν με την κεραία, να αλληλοαναιρούνται τα φανταστικά στοιχεία της κεραίας και του συντονισμένου κυκλώματος(προσαρμογή).

Πρόβλημα 4: Στοιχειώδες κατακόρυφο δίπολο του Hertz ακτινοβολεί με ύψος $h=10\text{m}$ σε συχνότητα $f=1\text{MHz}$. Η χωρητικότητα της κορυφής του σχηματίζεται με οριζόντιο αγωγό, σε σχήμα Γ, που το μήκος του, L , είναι ίσο με $\lambda/4$ (γι' αυτό και συχνά ονομάζεται "κεραία $\lambda/4$ "). Διεγείρεται από πομπό 50W , που έχει λυχνία εξόδου πέντοδο με εσωτερική αντίσταση $R_0=200\text{k}\Omega$. Η κεραία συνδέεται με τον πομπό με προσαρμοστική διάταξη L, C , όπως φαίνεται στο σχ.39.



Σχ. 39

Ζητείται να υπολογιστούν: α) Η αντίσταση εισόδου της κεραίας, β) οι τιμές των στοιχείων L_{Π} και C_{Π} της προσαρμοστικής διάταξης, γ) ο βαθμός αποδόσεως της κεραίας μαζί με την προσαρμοστική διάταξη, αν ο συντελεστής ποιότητας του πηνίου L_{Π} είναι $Q=50$, δ) η ισχύς που ακτινοβολείται από την κεραία, ε) η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που εκπέμπεται σε απόσταση $r=10\text{km}$ από τον πομπό

Λύση:

α) Το μήκος κύματος είναι: $\lambda=c/f=300\text{m}$. Άρα, πραγματικά η κεραία έχει ύψος πολύ μικρότερο από το μήκος κύματος. Το μήκος του οριζώντιου αγωγού είναι:

$$L = \frac{\lambda}{4} - h = 75 - 10 \Rightarrow L = 65\text{m} \quad (1)$$

Η χωρητικότητα κορυφής της κεραίας $\lambda/4$ υπολογίζεται από τη σχέση:

$$C = \epsilon_0 \lambda \frac{\tan k(L+h)}{\ln\left(\frac{4h}{d}\right)} \quad (2)$$

και είναι άπειρη. Συνεπώς η χωρητική αντίδραση στην είσοδό της είναι μηδέν. Δηλαδή η κεραία $\lambda/4$ είναι συντονισμένη. Η αντίσταση ακτινοβολίας και συνεπώς η αντίσταση εισόδου της υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Z_{\text{εισ}} = R_r = \frac{2P_r}{I_0^2} = 160\pi^2 \left(\frac{h}{\lambda}\right)^2 = 160\pi^2 \left(\frac{10}{300}\right)^2 \Rightarrow Z_{\text{εισ}} = 1,76\Omega \quad (3)$$

β) Επειδή η κεραία $\lambda/4$ είναι συντονισμένη δεν χρησιμοποιείται στη βάση της πηνίο για τον συντονισμό της. Άρα είναι: $R_L=0$. Το στοιχείο L_{Π} της προσαρμοστικής διάταξης είναι:

$$L_{\Pi} = \frac{R_r + R_L}{2\pi f} \sqrt{\frac{R_0 - (R_r + R_L)}{R_r + R_L}} = \frac{R_r}{2\pi f} \sqrt{\frac{R_0 - R_r}{R_r}} = \frac{1,76}{2\pi \cdot 10^6} \sqrt{\frac{200000}{1,76}} \Rightarrow L_{\Pi} = 94\mu\text{H} \quad (4)$$

Το στοιχείο C_{Π} της προσαρμοστικής διάταξης είναι:

$$C_{\Pi} = \frac{1}{2\pi f R_0} \sqrt{\frac{R_0 - (R_r + R_L)}{R_r + R_L}} = \frac{10^{-6}}{2\pi \sqrt{1,76 \cdot 200000}} \Rightarrow C_{\Pi} = 269\text{pF} \quad (5)$$

γ) Ισχύει:

$$R_L = \frac{\omega L}{Q} \quad (6)$$

Και:

$$n = \frac{P_r}{P_r + P_L} = \frac{R_r}{R_r + R_L} \xrightarrow{(5)} n = \frac{R_r}{R_r + \frac{\omega L_{\Pi}}{Q}} = \frac{1,76}{1,76 + \frac{2\pi \cdot 94}{50}} \Rightarrow n = 0,13 \quad (7)$$

Όπου, n ο συντελεστής απόδοσης της κεραίας $\lambda/4$ και της διατάξεως προσαρμογής.

δ) Από τον συντελεστή απόδοσης n και την ισχύ που δίνει ο πομπός P_T , υπολογίζεται η ισχύς P_r που ακτινοβολεί η κεραία:

$$P_r = nP_T = 0,13 \cdot 50 = 6,5\text{W} \quad (8)$$

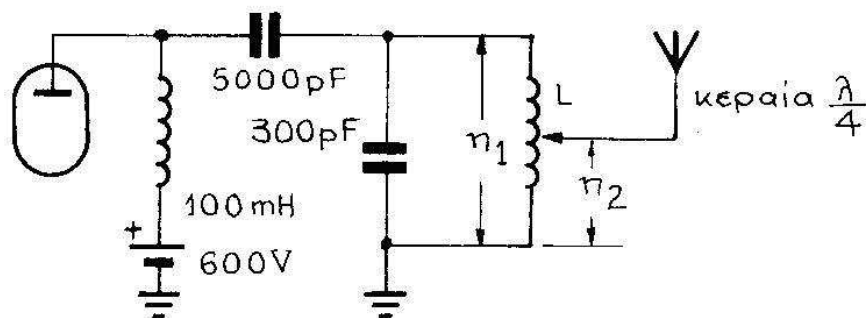
ε) Η μέγιστη επιφανειακή πυκνότητα ισχύος που εκπέμπει το στοιχειώδες δίπολο στην επιφάνεια της γης και σε απόσταση 10km, είναι:

$$g = nd = \frac{4\pi r^2 N_{\max}}{P_T} \Rightarrow N_{\max} = \frac{P_T nd}{4\pi r^2} = \frac{50 \cdot 0,13 \cdot 3}{4\pi \cdot 10^8} \Rightarrow N_{\max} = 15,5 nW / m^2$$

Η αντίστοιχη ένταση του ηλεκτρικού πεδίου είναι:

$$E = \sqrt{2N_{\max}} \cdot 120\pi \Rightarrow E = 3,4 mV / m \quad (9)$$

Πρόβλημα 5: Στοιχειώδες δίπολο ακτινοβολεί κατακόρυφο με ύψος $h=10m$ σε συχνότητα $f=4MHz$. Η χωρητικότητα της κορυφής του σχηματίζεται με οριζόντιο αγωγό που έχει μήκος L , ίσο με $\lambda/4-h$. Ο πομπός διεγείρει με ισχύ $P_1=60W$ ένα συντονισμένο κύκλωμα L, C . Η κεραία συνδέεται με το κύκλωμα αυτό μέσα από αυτομετασχηματιστή που σχηματίζεται στο πηνίο του κυκλώματος με λόγο σπειρών $(n_1/n_2)=20$, όπως φαίνεται στο σχ.40.



Σχ. 40

Το συντονισμένο κύκλωμα έχει χωρητικότητα $C=310pF$ και συντελεστή ποιότητας $Q=60$. Να υπολογιστούν: α) Η αντίσταση εισόδου του στοιχειώδους δίπολου, β) η αυτεπαγωγή του συντονισμένου κυκλώματος του πομπού, γ) η φαινόμενη αντίσταση συντονισμού αυτού του κυκλώματος, δ) η ισχύς P_T που ακτινοβολείται από την κεραία

Λύση:

Το μήκος κύματος είναι: $\lambda=c/f=80m$. Και πάλι $\lambda \gg h$. Το μήκος L του αγωγού είναι: $L = \frac{\lambda}{4} - h = 10m$. Με τον

οριζόντιο αυτό αγωγό το στοιχειώδες δίπολο λειτουργεί σαν κεραία συντονισμένη και η αντίσταση εισόδου της είναι πραγματική και ίση με την αντίσταση ακτινοβολίας της που είναι:

$$Z_{\text{εισ}} = R_r = 160\pi^2 \left(\frac{h}{\lambda}\right)^2 = 160\pi^2 \left(\frac{10}{80}\right)^2 = 24.65\Omega.$$

β) Η αυτεπαγωγή L , του κυμαινόμενου κυκλώματος υπολογίζεται ώστε η συχνότητα συντονισμού του να είναι 4MHz.

$$L = \frac{1}{(2\pi f)^2 C} = \frac{1}{4\pi^2 16 \cdot 310} = 5\mu H. \quad (\text{Στον συντονισμό: } L\omega = \frac{1}{C\omega})$$

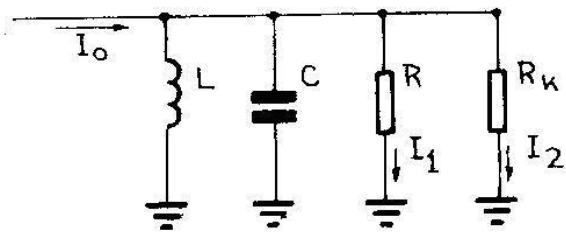
γ) Η φαινόμενη αντίσταση συντονισμού του κυκλώματος είναι:

$$R = Q\sqrt{\frac{L}{C}} = 60 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{5}{310}} = 7.62k\Omega.$$

δ) Μέσα από τον αυτομετασχηματιστή η αντίσταση εισόδου του στοιχειώδους δίπολου μεταφέρεται και φορτίζει το κυμαινόμενο κύκλωμα με τιμή, R_k , που είναι:

$$R_k = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 R_r = 20^2 \cdot 24.65 = 9.86k\Omega.$$

Όταν οι αντιστάσεις R και R_k ληφθούν υπ' όψιν το συντονισμένο κύκλωμα LC παίρνει τη μορφή που φαίνεται στο σχ.41.



Σχ. 41

Το ρεύμα I_2 , που διαρρέει την αντίσταση R_k υπολογίζεται ότι είναι:

$$I_2 = I_0 \frac{\frac{1}{R_k}}{\frac{1}{R_k} + \frac{1}{R}} = \frac{R}{R + R_k} I_0.$$

Η ισχύς που ακτινοβολείται από την κεραία είναι:

$$P_r = I_2^2 R_k = \frac{R^2 R_k}{(R + R_k)^2} I_0^2.$$

Αλλά η ισχύς P_T , που δίνει ο πομπός είναι:

$$P_T = I_0^2 R$$

Άρα, με αντικατάσταση στην προηγούμενη σχέση, υπολογίζεται:

$$P_r = \frac{R_k R}{(R_k + R)^2} P_T = \frac{9.86 \cdot 7.62}{(9.86 + 7.62)^2} 60 = 14.75 W.$$

Πρόβλημα 6: Απλό συντονισμένο δίπολο $\lambda/2$ λαμβάνει σε συχνότητα $f=100\text{MHz}$ σε περιοχή του χώρου, όπου το πεδίο του πομπού έχει ένταση $E=1\text{mV/m}$. Συνδέεται χωρίς διάταξη προσαρμογής με συμμετρική γραμμή καθόδου, που έχει χαρακτηριστική αντίσταση $Z_0=300\ \Omega$ σε δέκτη που έχει αντίσταση εισόδου $300\ \Omega$. Ζητείται να υπολογιστούν: α) Το μήκος $2h$ του δίπολου, β) το σημείο, στο οποίο η γραμμή καθόδου συνδέεται στο δίπολο, γ) η ισχύς που δίνει το δίπολο στον δέκτη και δ) η τάση που αναπτύσσεται στην είσοδο του δέκτη.

Λύση:

α) Το μήκος κύματος είναι: $\lambda=c/f=3\text{m}$. Συνεπώς το μήκος του συντονισμένου δίπολου $\lambda/2$ είναι $2h=1,5\text{m}$ ή ακριβέστερα $2h=0,49\lambda=1,47\text{m}$.

β) Η απόσταση z του σημείου της συνδέσεως της γραμμής καθόδου από το μέσον της κεραίας δίνεται από την σχέση:

$$|z| = \frac{\lambda}{2\pi} \arccos \sqrt{\frac{73}{Z_0}} = 0,42\text{m}.$$

γ) Η ενεργός επιφάνεια λήψεως του συντονισμένου δίπολου $\lambda/2$ είναι:

$$A = \frac{d\lambda^2}{4\pi} = \frac{1,64 \times 3^2}{4\pi} = 1,17\text{m}^2.$$

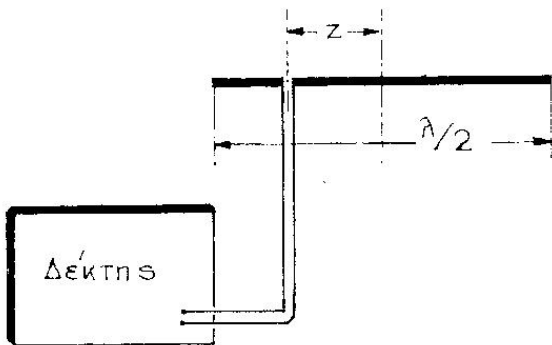
Από την προηγούμενη σχέση και την εξίσωση $A = \frac{P_r}{N_{\Pi}}$, υπολογίζεται πως η ισχύς που δίνει το δίπολο $\lambda/2$ στο

δέκτη είναι:

$$P_r = N_{\Pi} A = \frac{E^2}{2 \times 120\pi} A = 1,55\text{nW}.$$

δ) Από τα προηγούμενα υπολογίζεται πως η τάση στην είσοδο του δέκτη είναι:

$$V = \sqrt{P_r \cdot R_{\epsilon\iota\sigma}} = \sqrt{15,5 \cdot 300 \cdot 10^{-5}} = 0,67mV.$$



Πρόβλημα 7: Απλό συντονισμένο δίπολο $\lambda/2$ εκπέμπει με συχνότητα $f=20\text{MHz}$ τοποθετημένο οριζόντια σε ύψος H πάνω από την γη. Να υπολογιστεί το ύψος H , ώστε το μέγιστο της πυκνότητας ακτινοβολίας του να εμφανίζεται σε γωνία ανύψωσης $\alpha=30^\circ$ και να προσβάλλει την ιονόσφαιρα με την επιθυμητή γωνία προσπτώσεως.

Λύση:

Η επίδραση που έχει η παρουσία της γης στην ακτινοβολία του δίπολου $\lambda/2$, περιγράφεται από τον παράγοντα $\Pi(\alpha)$, που είναι:

$$|\Pi(\alpha)| = 2|\sin(kH \sin \alpha)|.$$

Ο παράγοντας αυτός παίρνει την μέγιστη τιμή του, όταν ισχύει η σχέση:

$$\frac{2\pi H}{\lambda} \sin 30^\circ = \frac{\pi}{2} + n\pi \quad (n, \text{ φυσικός})$$

Από την τελευταία σχέση υπολογίζεται ότι το ύψος H στο οποίο τοποθετείται η κεραία είναι:

$$H = \frac{\lambda}{2}(1 + 2n).$$

Το μήκος κύματος είναι: $\lambda=c/f=15\text{m}$. Άρα το χαμηλότερο ύψος H στο οποίο μπορεί να τοποθετηθεί το οριζόντιο δίπολο $\lambda/2$ και να ακτινοβολεί προς την ιονόσφαιρα με γωνία ανύψωσης $\alpha=30^\circ$, υπολογίζεται για $n=0$ ότι είναι: $H=\lambda/2=7,5\text{m}$.

Πρόβλημα 8: Μια κεραία λήψης δέχεται σήμα $50\mu\text{V}$. Αν μεταβληθούν οι κατευθυντικές ιδιότητες της κεραίας εκπομπής, η κεραία λήψης με τις ίδιες συνθήκες δέχεται σήμα $100\mu\text{V}$. Να υπολογιστεί η απολαβή της δεύτερης κεραίας εκπομπής σε σχέση με την πρώτη.

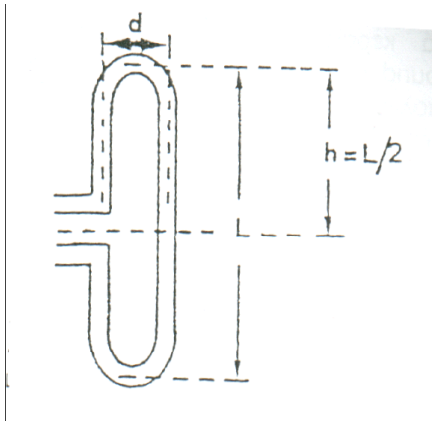
Λύση

Στο πρόβλημα αυτό συγκρίνονται μεταξύ τους δύο κεραίες εκπομπής. Το γεγονός αυτό αποτρέπει την ανάγκη να ορίσουμε κεραία αναφοράς:

$$A_{db} = 20 \log \frac{V_2}{V_1} = 20 \log \frac{100}{50} \Rightarrow A_{db} = 6\text{db}$$

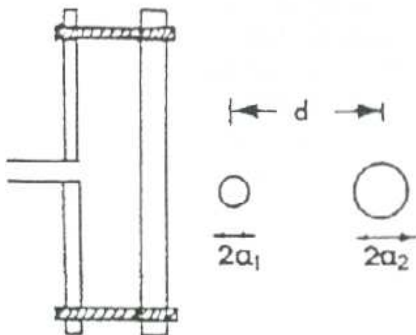
Το αναδιπλωμένο δίπολο.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το αναδιπλωμένο δίπολο.



Το αναδιπλωμένο δίπολο

Το αναδιπλωμένο δίπολο έχει το πλεονέκτημα ότι λειτουργεί σε μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων από το ευθύγραμμο δίπολο και κατασκευάζεται πιο εύκολα. Γι' αυτό χρησιμοποιείται στις κεραίες Yagi Uda. Το αναδιπλωμένο δίπολο έχει κατά κανόνα τετραπλάσια αντίσταση εισόδου απ' ότι το ευθύγραμμο δίπολο. Έτσι αν ένα ευθύγραμμο δίπολο έχει αντίσταση εισόδου 75Ω , το αντίστοιχο αναδιπλωμένο θα έχει αντίσταση εισόδου 300Ω . Και εδώ η αντίσταση εισόδου ισούται αριθμητικά με την αντίσταση ακτινοβολίας του δίπολου. Ο άνωθεν κανόνας όμως ισχύει με την προϋπόθεση ότι οι δυο κλάδοι του δίπολου είναι αγωγοί με ίσες διαμέτρους. Υπάρχουν περιπτώσεις στο αναδιπλωμένο δίπολο όπου οι δυο κλάδοι δεν είναι ίσοι, αλλά αγωγοί με διαφορετικές διαμέτρους:

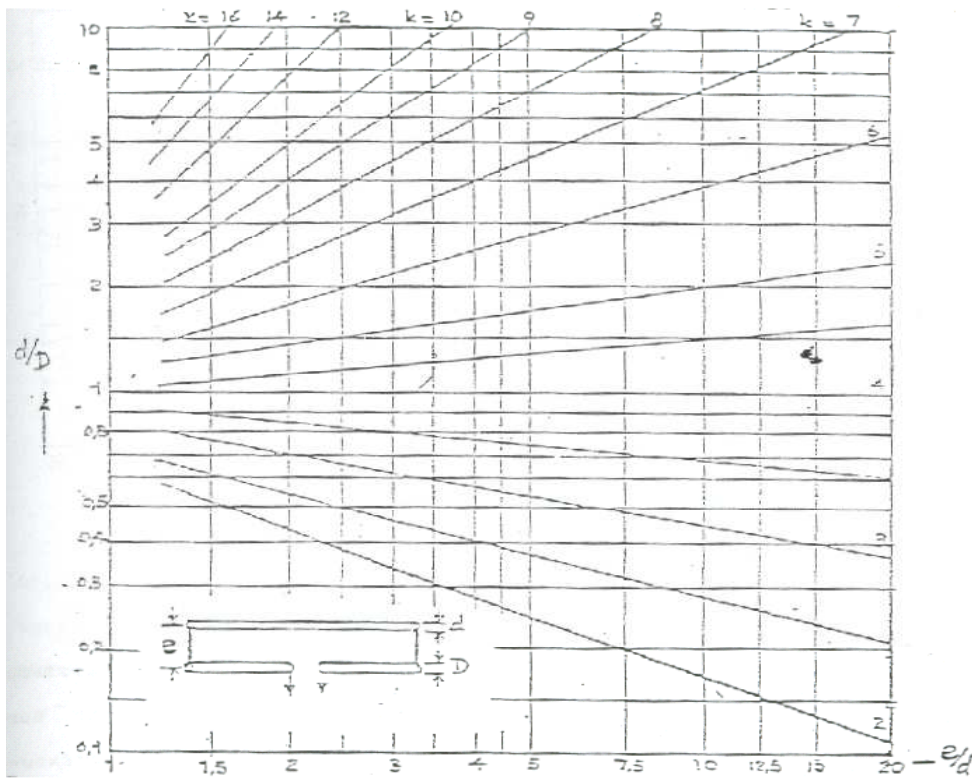


Σε αυτές τις περιπτώσεις οι αντίσταση εισόδου του δίπολου μπορεί να βρεθεί με δύο διαφορετικές προσεγγίσεις. Η πρώτη προσέγγιση κάνει χρήση τύπων. Αν οι διάμετροι των δύο αγωγών είναι αυτοί που φαίνονται στο σχήμα και απέχουν μεταξύ τους απόσταση d , τότε η αντίσταση εισόδου είναι: $Z_{in} = (1+c)^2 Z_a$, όπου $c = \ln(d/a_1)/\ln(d/a_2)$. Στη πράξη όμως η αντίσταση ακτινοβολίας (άρα και εισόδου) δίνεται από διαγράμματα (σχήματα 42 και 43). Σ' αυτά τα διαγράμματα συσχετίζονται: α) Ο συντελεστής k με τον οποίο πολλαπλασιάζετε η αντίσταση ακτινοβολίας του αρχικού δίπολου $\lambda/2$. β) Η διάμετρος D του αρχικού δίπολου. γ) Η διάμετρος d που προκύπτει από την αναδίπλωση και δ) η απόσταση e των αγωγών.

Πρόβλημα 9: Να βρεθεί ο συντελεστής k κεραίας αναδιπλωμένου δίπολου με $D=4\text{mm}$, $d=12\text{mm}$ και $e=24\text{mm}$. Δίνεται ότι το ευθύγραμμο δίπολο έχει αντίσταση ακτινοβολίας 12Ω , λόγω παρουσίας κοντά του παρασιτικών στοιχείων.

Λύση:

Για $e/d=2$, $d/D=3$ από το σχ. 42: $7 < k < 8 \Rightarrow k \approx 7,8$. Άρα $k \times 12 = 7,8 \times 12 = 93,6\Omega$ η αντίσταση ακτινοβολίας του αναδιπλωμένου δίπολου.

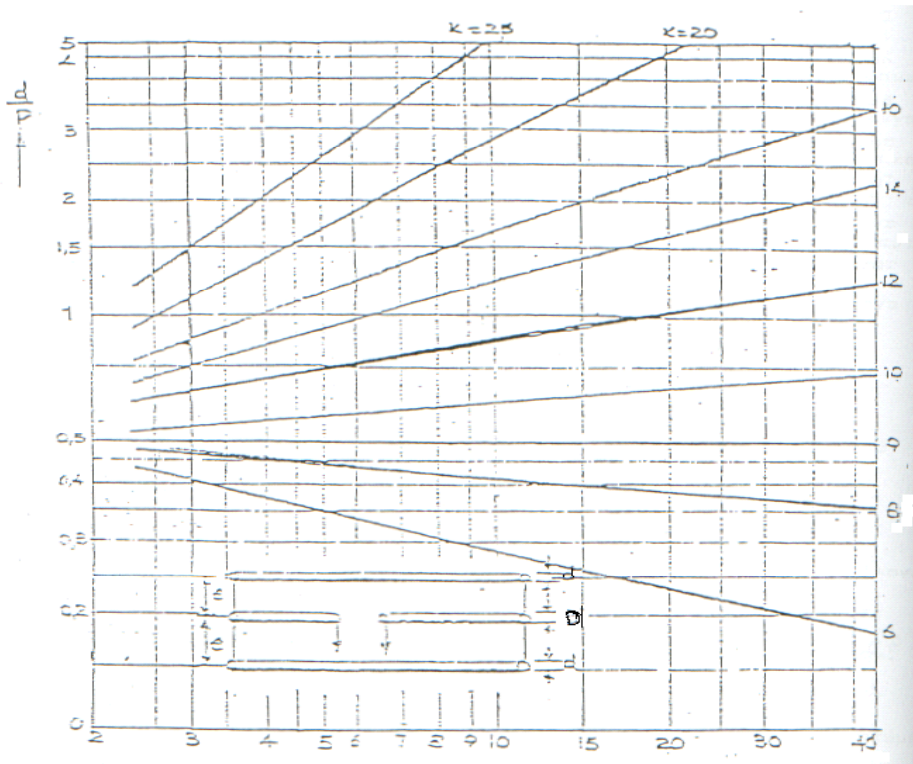


Σχ. 42

Πρόβλημα 10: Αν έχουμε να προσαρμόσουμε κεραία με $R_A=15\Omega$ με γραμμή 300Ω , τότε ο συντελεστής $k = \frac{300}{15} = 20$. Αν $d=10\text{mm}$ και $D=5\text{mm}$ να βρεθεί η απόσταση μεταξύ των αγωγών του αναδιπλωμένου δίπολου e .

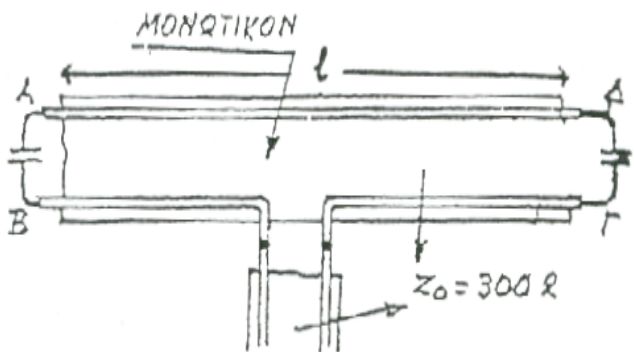
Λύση:

Από το σχ.42 για $k=20$ και $d/D=2$, βλέπουμε ότι δεν υπάρχει τέτοια τιμή που να μας καλύπτει. Άρα καταφεύγουμε στο δεύτερο διάγραμμα, δημιουργώντας σύστημα με τρία δίπολα. Τότε με τα παραπάνω δεδομένα έχουμε $e/d=6,5 \Rightarrow e=65\text{mm}$ για σύστημα 3 δίπολων με τροφοδοσία στο μέσον.



Σχ. 43

Πρακτικές Μορφές



Το αναδιπλωμένο δίπολο κατασκευάζεται από σωλήνες και οι αγωγοί του δύναται να συντονίζονται σε διαφορετικές συχνότητες αλλάζοντας το μήκος l . Αναδιπλωμένα δίπολα μπορούν να κατασκευαστούν από γραμμή 300Ω εμπορίου. Τα σημεία ΑΒ, ΓΔ τα συνενώνουμε με μικρούς πυκνωτές περίπου 7pF/m κεραίας. Το μήκος l της κεραίας δίνεται απ' τον τύπο: $l = \frac{142.64}{f(\text{MHz})}$.

Πρόβλημα 11: Κατακόρυφο αναδιπλωμένο δίπολο $\lambda/2$ εκπέμπει με συχνότητα $f=100\text{MHz}$ και ισχύ $P_r=10\text{W}$ και διεγείρεται με ομοαξονική γραμμή μεταφοράς, που έχει χαρακτηριστική αντίσταση $Z_0=75\Omega$. Για την σύνδεσή του χρησιμοποιείται προσαρμοστική διάταξη με γραμμή μήκους $\lambda_g/2$. Να υπολογιστούν: α) Το μήκος του βρόχου της προσαρμοστικής διάταξης, β) η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου σε απόσταση $r=10\text{km}$ στο επίπεδο του ορίζοντα αν αγνοηθεί η επίδραση που έχει στην ακτινοβολία της κεραίας η παρουσία της γης.
Λύση:

Το μήκος κύματος είναι: $\lambda=c/f=3\text{m}$. Το μήκος κύματος της ίδιας συχνότητας μέσα στο ομοαξονικό καλώδιο, που, συνήθως έχει μονωτικό με σχετική διηλεκτρική σταθερά ϵ'_r , είναι:

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon'_r}} = 2\text{m}.$$

Συνεπώς το μήκος του βρόχου της προσαρμοστικής διάταξης είναι $l=(\lambda_g/2)=1\text{m}$.

β) Η επιφανειακή πυκνότητα ισχύος που εκπέμπει η κεραία σε απόσταση r δίνεται από τη σχέση:

$$d = \frac{N_{\max}}{N_{\mu\epsilon\sigma}} = \frac{4\pi r^2 N_{\max}}{P_r} \Rightarrow N_{\max} = \frac{d \cdot P_r}{4\pi r^2} = \frac{1,64 \cdot 10}{4\pi \cdot 10^8} = 13 \frac{\text{nW}}{\text{m}^2}.$$

Τέλος η ένταση του πεδίου είναι:

$$E = \sqrt{2 \times 120\pi \times N_{\max}} = 3,1 \text{ mV/m}.$$

Η παρουσία της γης θα είχε ως συνέπεια τον διπλασιασμό της έντασης E του ηλεκτρικού πεδίου.

Βροχοκεραίες

Μια βροχοκεραία είναι μια κλειστού κυκλώματος κεραία. Χωρίζεται σε δυο μεγάλες κατηγορίες. Μια “μικρή” βροχοκεραία μπορεί να θεωρηθεί ότι απλά είναι ένα μεγάλο πηνίο και η κατανομή του ρεύματος σε ένα τέτοιο βρόχο είναι ίδια όπως και σε ένα πηνίο. Αυτό σημαίνει, ότι το ρεύμα έχει την ίδια φάση και την ίδια ενίσχυση σε κάθε πλευρά του βρόχου. Για να ικανοποιηθεί αυτή η συνθήκη, το συνολικό μήκος του αγωγού στο βρόχο δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 0.1λ. Ένας “μεγάλος” βρόχος είναι ένας στον οποίο το ρεύμα δεν είναι το ίδιο είτε σε ενίσχυση είτε σε φάση σε κάθε πλευρά του βρόχου.

Βρόχοι μισού κύματος

Το μικρότερο μέγεθος “μεγάλου” βρόχου που γενικά χρησιμοποιείται είναι ένα που έχει μήκος αγωγού $\frac{\lambda}{2}$. Ο αγωγός είναι συνήθως σχηματισμένος σε τετράγωνο όπως φαίνεται στο σχήμα 1, με μήκος κάθε πλευράς $\frac{\lambda}{8}$. Όταν τροφοδοτείται στο κέντρο της μιας πλευράς, το ρεύμα ρέει σε ένα κλειστό βρόχο όπως φαίνεται στο

Α. Η κατανομή ρεύματος είναι περίπου η ίδια όπως σε ένα $\frac{\lambda}{2}$ καλώδιο και έτσι είναι μέγιστη στο κέντρο της πλευράς απέναντι από τους ακροδέκτες X-Y και ελάχιστη στους ακροδέκτες. Αυτή η κατανομή ρεύματος κάνει την ένταση του πεδίου να είναι μέγιστη στο επίπεδο του βρόχου και στην κατεύθυνση που κοιτάει από την μικρού-ρεύματος πλευρά στην υψηλού-ρεύματος. Αν και η άλλη πλευρά είναι ανοιχτή με ακροδέκτες όπως φαίνεται στο Β, η κατεύθυνση του ρεύματος παραμένει αμετάβλητη αλλά η μέγιστη ροή ρεύματος συμβαίνει στους ακροδέκτες. Αυτό αντιστρέφει την κατεύθυνση της μέγιστης ακτινοβολίας.

Η αντίσταση ακτινοβολίας σε ένα σημείο μέγιστου πλάτους για το ρεύμα (που είναι η αντίσταση στα X-Y στο σχήμα 1B) είναι της τάξεως των 50Ω. Η σύνθετη αντίσταση στους ακροδέκτες στο Α είναι μερικές χιλιάδες ohms. Αυτή μπορεί να μειωθεί χρησιμοποιώντας δύο ίδιους βρόχους δίπλα-δίπλα με μερικές ίντσες κενό μεταξύ τους και εφαρμόζοντας τάση μεταξύ του ακροδέκτη X στον ένα βρόχο και του ακροδέκτη Y στον άλλο.

Αντίθετα με ένα δίπολο $\frac{\lambda}{2}$ ή ένα μικρό βρόχο, δεν υπάρχει κατεύθυνση στην οποία η ακτινοβολία από τον

βρόχο του τύπου του σχήματος 1 να είναι μηδέν. Υπάρχει αξιοσημείωτη ακτινοβολία στην κατακόρυφη κατεύθυνση στο επίπεδο του βρόχου, όπως και “πίσω” (η αντίθετη προς τα βελόνια κατεύθυνση). Ο λόγος εμπρός-πίσω είναι της τάξεως των 4 έως 6dB. Το μικρό μέγεθος και το σχήμα του διαγράμματος

κατευθυντικότητας προκύπτει με απώλεια 1dB όταν η ένταση πεδίου στην βέλτιστη κατεύθυνση από ένα τέτοιο βρόχο συγκρίνεται με το πεδίο από ένα $\frac{\lambda}{2}$ δίπολο στη βέλτιστή του κατεύθυνση.

Ο λόγος εμπρός-πίσω μπορεί να αυξηθεί και η ένταση πεδίου το ίδιο ταυτόχρονα και να δώσουν παραπάνω απολαβή 1dB έναντι του δίπολου , χρησιμοποιώντας επαγωγικές αντιστάσεις για να “φορτώσουν” τις πλευρές συνδέοντας το εμπρός και πίσω τμήμα του βρόχου. Αυτό φαίνεται στο σχήμα 2. Οι επαγωγικές αντιστάσεις που πρέπει να έχουν τιμή περίπου 360Ω, ελαττώνουν το ρεύμα στις πλευρές που τοποθετούνται και το αυξάνουν στην πλευρά που έχει ακροδέκτες. Αυτό αυξάνει την κατευθυντικότητα και κατά συνέπεια την αποτελεσματικότητα του βρόχου σαν ακτινοβολητή.

Βρόχοι ενός μήκους κύματος

Τρεις μορφές λ-βρόχων φαίνονται στο σχήμα 3. Στο Α και Β οι πλευρές των τετραγώνων έχουν μήκος $\frac{\lambda}{4}$ και η διαφορά τους είναι στα σημεία που εισάγονται οι ακροδέκτες. Στο C οι πλευρές του τριγώνου είναι $\frac{\lambda}{3}$. Η σχετική κατεύθυνση της ροής του ρεύματος είναι όπως φαίνεται στα σχήματα. Αυτή η κατεύθυνση αντιστρέφεται στο μέσο στην περίμετρο του βρόχου , καθώς τέτοιες αντιστροφές πάντα συμβαίνουν στη σύνδεση κάθε $\frac{\lambda}{2}$ μέρους του καλωδίου.

Τα κατευθυντικά χαρακτηριστικά βρόχων αυτού του είδους είναι αντίθετα αυτών ενός μικρού βρόχου. Αυτό σημαίνει ότι η ακτινοβολία είναι μέγιστη κατακόρυφα στο επίπεδο του βρόχου και ελάχιστη σε κάθε κατεύθυνση στο επίπεδο του βρόχου. Αν οι τρεις βρόχοι που φαίνονται στο σχήμα 3 στηριχθούν σε ένα κάθετο επίπεδο με τους ακροδέκτες στο κάτω μέρος , η ακτινοβολία θα είναι οριζόντια πολωμένη. Όταν οι ακροδέκτες μετακινηθούν στο κέντρο της μιας κάθετης πλευράς στο Α ή σε μια γωνιά στο Β , η ακτινοβολία θα πολωθεί κάθετα. Αν οι ακροδέκτες μετακινηθούν σε μια γωνιά στο C, η πόλωση θα είναι διαγώνια , περιλαμβάνοντας οριζόντια και κάθετα στοιχεία.

Σε αντίθεση με ευθύγραμμες κεραιές , το ηλεκτρικό μήκος της περιφέρειας ενός λ-βρόχου είναι μικρότερο από το πραγματικό μήκος. Για βρόχους φτιαγμένους από καλώδιο που λειτουργούν σε συχνότητες κάτω από τα 30MHz όπου ο λόγος του μήκους του αγωγού με την διάμετρο του καλωδίου είναι μεγάλος , ο βρόχος θα είναι κοντά στον συντονισμό όταν

$$\text{Μήκος}(ft) = \frac{1005}{f_{MHz}}$$

Η αντίσταση ακτινοβολίας ενός συντονισμένου λ-βρόχου είναι περίπου 100Ω, όταν ο λόγος του μήκους του αγωγού προς τη διάμετρό του είναι μεγάλος. Στην κατεύθυνση μέγιστης ακτινοβολίας (αυτή είναι η κατακόρυφη στο επίπεδο του βρόχου ανεξάρτητα από το που τροφοδοτείται) ο λ-βρόχος θα δείξει ένα μικρό κέρδος παραπάνω από το $\frac{\lambda}{2}$ δίπολο. Θεωρητικά αυτό το κέρδος είναι περίπου 2dB. Ο λ-βρόχος χρησιμοποιείται

συνήθως ως στοιχείο μιας κατευθυντικής διάταξης κεραιών (κυβική τετράγωνη κεραιά και δέλτα-βρόχου κεραιά) παρά από μόνη της. Στις προαναφερόμενες κεραιές είναι σχεδόν πάντα οδηγούμενος έτσι ώστε η πόλωσή του να είναι οριζόντια.

Μικρές Βροχοκεραίες

Πιθανότατα η πιο γνωστή μορφή αυτής της κεραιάς να είναι η κεραιά ράβδου-φερρίτη που χρησιμοποιείται σε φορητούς AM αναμεταδότες. Μια βροχοκεραία θεωρείται μικρή όταν έχει μήκος μικρότερο από 0.1λ. Σε αυτήν

την ενότητα μιλάμε για 0.085λ μήκος. Αυτό το μέγεθος βασίζεται στο ότι το ρεύμα γύρω από την περίμετρο του βρόχου πρέπει να είναι σε φάση. Όταν το τύλιγμα του αγωγού είναι μεγαλύτερο από 0.085λ αυτό παύει να ισχύει. Αυτός ο περιορισμός προκύπτει από το διάγραμμα ακτινοβολίας του σχήματος 4.

Ο απλούστερος βρόχος είναι ο μιας σπείρας μη συντονισμένος βρόχος με ένα φορτίο συνδεδεμένο σε ένα ζεύγος ακροδεκτών στο κέντρο μιας εκ των πλευρών (σχήμα 5). Το σχήμα 6 αναπαριστά έναν βρόχο από πάνω και δείχνει το στιγμιαία ακτινοβολούμενο κύμα τάσης. Παρατηρείστε ότι τα σημεία A και B του βρόχου λαμβάνουν την ίδια στιγμιαία τάση. Αυτό σημαίνει ότι κανένα ρεύμα δεν θα διατρέξει σημεία ίδιου δυναμικού. Μια παρόμοια ανάλυση του σχήματος 7, με τον βρόχο γυρισμένο κατά 90° σε σχέση με το σχήμα 6, δείχνει ότι αυτή η θέση του βρόχου παρέχει μέγιστη απόκριση. Φυσικά η τάση που απορρέει από το επερχόμενο κύμα είναι μικρή εξαιτίας του μικρού μεγέθους του βρόχου. Το σχήμα 4 δείχνει το ιδανικό διάγραμμα ακτινοβολίας ενός μικρού βρόχου. Η τάση ανάμεσα στους ακροδέκτες δίνεται από τη σχέση:

$$V = \frac{2\pi ANE \cos \theta}{\lambda} \quad (13)$$

όπου:

V=τάση ανάμεσα στους ακροδέκτες

A=εμβαδό του βρόχου (m²)

N=αριθμός σπειρών στο βρόχο

E=RF ένταση πεδίου $\left(\frac{V}{m}\right)$

θ=γωνία μεταξύ του επιπέδου του βρόχου και της πηγής του σήματος (σταθμός εκπομπής)

λ=μήκος κύματος λειτουργίας (m)

Η εξίσωση για το ενεργό μήκος της κεραίας είναι:

$$h = \frac{2\pi NA}{\lambda} \quad [m] \quad (14)$$

Εύκολα από τις άνωθεν εξισώσεις μπορεί ναδειχθεί ότι μια κεραία με τους προαναφερόμενους περιορισμούς, θα έχει πολύ μικρό ενεργό μήκος και θα δίδει μικρή σχετικά τάση στο δέκτη, ακόμα και με μεγάλο εφαρμοζόμενο σήμα.

Συντονισμένοι βρόχοι

Μπορούμε να συντονίσουμε έναν βρόχο τοποθετώντας έναν πυκνωτή ανάμεσα στους ακροδέκτες της κεραίας. Αυτό προκαλεί την εμφάνιση μιας μεγαλύτερης τάσης ανάμεσα στους ακροδέκτες του βρόχου εξαιτίας του συντελεστή ποιότητας Q του παράλληλου συντονισμένου κυκλώματος που δημιουργείται. Η τάση ανάμεσα στους ακροδέκτες τώρα δίνεται από τη σχέση:

$$V = \frac{2\pi ANEQ \cos \theta}{\lambda} \quad (15)$$

Προσγειωμένη κεραία $\frac{\lambda}{4}$ (Marconi)

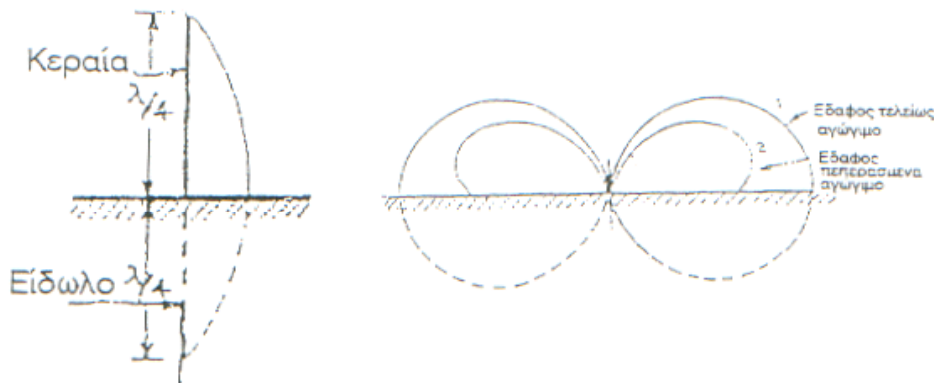
Η αρχή των ειδώλων

Μέχρι τώρα θεωρήσαμε την κεραία μεμονωμένη στο χώρο και μακριά από το έδαφος (ιδανική κατάσταση). Στη πράξη η επίδραση του εδάφους είναι σημαντική. Αν θεωρήσουμε κεραία σε ύψος h από το έδαφος και ένα τυχαίο σημείο M του χώρου, η ακτινοβολία στο M προέρχεται τόσο από την απευθείας ακτινοβολία της κεραίας όσο και από μία ακτινοβολία που είναι αποτέλεσμα της ανάκλασης στο έδαφος μέρους της ακτινοβολίας από την κεραία. Η ακτινοβολία από την ανάκλαση στο έδαφος μπορεί να θεωρηθεί ότι

προέρχεται από μια κεραία συμμετρική ως προς το έδαφος της αρχικής κεραίας και αποτελεί το είδωλό της. Έτσι η ακτινοβολία της κεραίας που βρίσκεται κοντά στο τελείως αγωγίμο και επίπεδο έδαφος μπορεί να μελετηθεί σαν σύστημα δυο κεραιών όμοιων σαν να μην υπάρχει στο έδαφος. Αυτό το συμπέρασμα αποτελεί την αρχή των ειδώλων και δίνει κατά προσέγγιση ικανοποιητικά αποτελέσματα για μήκη κύματος μεγαλύτερα των 300m ή για συχνότητα $f < 1\text{MHz}$.

Κεραία Marconi

Πρόκειται για μια κεραία μήκους $\frac{\lambda}{4}$ προσγειωμένης στο έδαφος. Σύμφωνα με την αρχή των ειδώλων μπορεί να μελετηθεί σαν σύστημα δύο κεραιών $\frac{\lambda}{4}$ δηλαδή μιας κεραίας $\frac{\lambda}{2}$. Το πλεονέκτημά της είναι ότι το φυσικό ύψος της είναι το μισό του φαινομενικού. Η αντίσταση ακτινοβολίας της θα είναι το μισό της κεραίας $\frac{\lambda}{2}$ δηλαδή 36,5Ω. Το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας $\frac{\lambda}{4}$ θα είναι όμοιο με αυτό της $\frac{\lambda}{2}$ στην ιδανική περίπτωση (έδαφος τελείως αγωγίμο) με τη διαφορά πως πραγματική υπόσταση έχει μόνο το μισό δηλαδή το τμήμα πάνω από το έδαφος. Η κατανομή του ρεύματος προκύπτει εύκολα αφού στο άνω άκρο της έχουμε δεσμό ρεύματος και στη βάση της κοιλία ρεύματος (ανοικτή γραμμή).



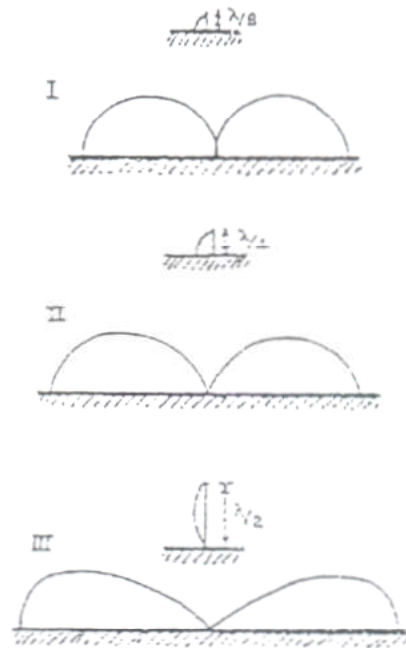
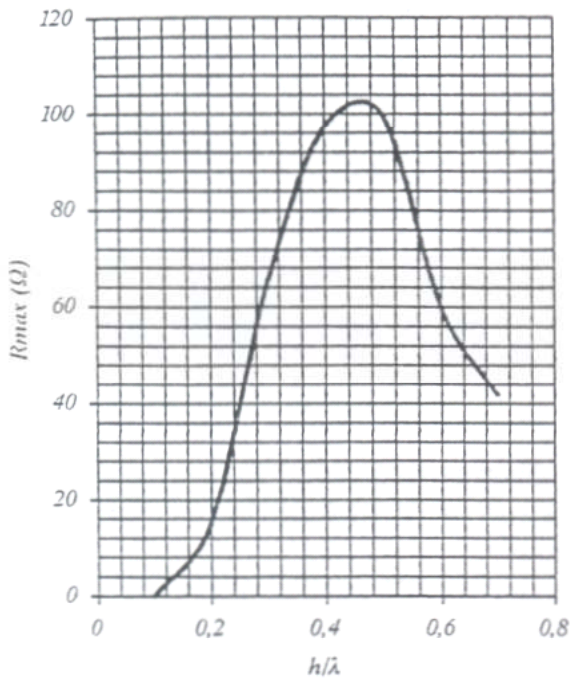
Σχ. 44α):Κεραία Marconi β)Διάγραμμα ακτινοβολίας

Η αντίσταση ακτινοβολίας προκύπτει από διαγράμματα (σχ.45(α)) που τη συσχετίζουν με τον λόγο $\frac{h}{\lambda}$. Από τα διαγράμματα αυτά προκύπτει $R_{\max}=105\Omega$ για $\frac{h}{\lambda}=0,45$. Για τους τρόπους τροφοδότησης αυτοί είναι ίδιοι με της κεραίας $\frac{\lambda}{2}$. Από τα διαγράμματα ακτινοβολίας (σχ.45(β)) προκύπτει η ανάγκη αύξησης του ύψους της κεραίας γιατί αυτή αυξάνει την R_a και βελτιώνει την ακτινοβολία. Η πραγματική όμως αύξηση του ύψους κοστίζει, γι'αυτό αυξάνουμε το ενεργό και όχι το φυσικό ύψος της κεραίας.

Έστω γραμμή που τερματίζεται με άεργο φορτίο jx (χωρητικό ή επαγωγικό) και έχει μήκος l_1 . Αυτή η γραμμή ισοδυναμεί με ανοικτή γραμμή με μήκος l_1+l_x όπου l_x θα προκύψει από την σχέση:

$$J_x = jZ_0 \sigma \phi l_x \quad (16)$$

Έτσι μπορούμε να αυξήσουμε το ενεργό ύψος της κεραίας τοποθετώντας στη κορυφή της μια χωρητικότητα. Αν το έδαφος δεν ευνοεί την σωστή προσγείωση της κεραίας μπορούμε να την βελτιώσουμε με ενταφιασμό στο έδαφος αγωγών (βάθους 30cm) ακτινικά γύρω από την βάση της κεραίας. Αν το έδαφος είναι ξηρό το μέτρο αυτό δεν αποδίδει και η προσγείωση γίνεται με αντίβαρο δηλαδή με δίκτυο αγωγών τοποθετημένων ακτινωτά γύρω από τη βάση της κεραίας και σε κάποιο ύψος από το έδαφος.



Σχήμα 45α): Μεταβολή αντίστασης ακτινοβολίας προσγειωμένης κεραίας συναρτήση του $\frac{h}{\lambda}$ β) Μεταβολή διαγράμματος ακτινοβολίας με το ύψος της κεραίας.

Στοιχειοκεραίες

Μια διάταξη αποτελούμενη από πολλές στοιχειώδεις κεραίες των οποίων τα πλάτη και οι φάσεις μπορούν να ρυθμιστούν ονομάζεται στοιχειοκεραία (antenna array). Αυτά τα στοιχεία ακτινοβολίας μπορεί να είναι δίπολα $\lambda/2$ ή σχισμές ή στοιχεία μικρολωρίδων κλπ. Όταν τα στοιχεία είναι όμοια και απέχουν ίσες αποστάσεις μεταξύ τους, τότε, το συνολικό διάγραμμα ακτινοβολίας είναι ίσο με τον παράγοντα διάταξης επί του διαγράμματος ακτινοβολίας του ενός στοιχείου. Για λόγους απλότητας θα υποθέσουμε ότι η στοιχειοκεραία αποτελείται από ισότροπες σημειακές πηγές και το διάγραμμα ακτινοβολίας είναι ο παράγοντας διάταξης της στοιχειοκεραίας. Έστω ότι έχουμε δυο τέτοιες πηγές σε απόσταση d μεταξύ τους. Το σχετικό πλάτος μεταξύ τους είναι K και η φάση α . Τότε το ολικό μακρινό πεδίο σε κατεύθυνση θ από την κατακόρυφο της στοιχειοκεραίας

είναι: $S(\theta) = 1 + Ke^{-jy}$, όπου $y = \frac{2\pi d \sin \theta}{\lambda} + \alpha$. Δηλαδή σε ένα απομακρυσμένο σημείο το απομακρυσμένο

ηλεκτρομαγνητικό πεδίο της πηγής a θα καθυστερεί σχετικά με αυτό της πηγής b κατά γωνία y . Το διάγραμμα ακτινοβολίας πεδίου είναι $S(\theta) = \cos\left(\frac{y}{2}\right)$.

Πρόβλημα 12: Έστω ότι έχουμε τα ίδια πλάτη και φάση μηδέν ($K=1, \alpha=0$) και απόσταση μεταξύ στοιχείων $\frac{\lambda}{2}$. Να σχεδιασθεί το διάγραμμα ακτινοβολίας της διάταξης.

Λύση:

Δηλαδή $d = \frac{\lambda}{2}$ (1). Έχουμε μέγιστο πεδίο όταν: $S(\theta) = \pm 1 \Rightarrow \cos\left(\frac{y}{2}\right) = \pm 1 \Rightarrow \frac{y}{2} = n\pi$ (2), ως γνωστό από την

τριγωνομετρία. Όμως από την σχέση για το y έχουμε: $\frac{y}{2} = \frac{\pi d \sin \theta}{\lambda} \Rightarrow$ (λόγω

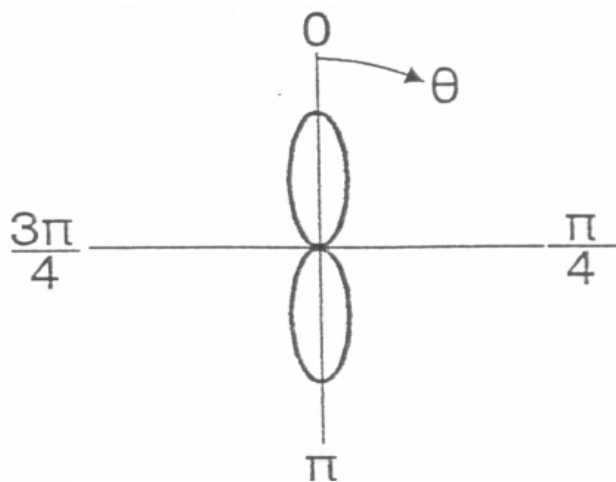
(1),(2)) $\frac{\pi \sin \theta}{2} = n\pi \Rightarrow \sin \theta = 2n$, όπου n ακέραιος αριθμός. Για $n=0, \sin \theta = 0 \Rightarrow \theta = 0, \pi$.

Για ελάχιστο (μηδενισμό πεδίου) πρέπει να ισχύει από την τριγωνομετρία:

$$\frac{y}{2} = \frac{\pi d \sin \theta}{\lambda} = (2n \pm 1) \frac{\pi}{2}.$$

Για $n=0, d = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \sin \theta = \pm 1$ και $\theta = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}$. Συνοψίζοντας: Έχουμε μέγιστα πεδίου όταν $\theta = 0, \pi$. Έχουμε μηδενισμό

πεδίου όταν $\theta = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}$. Όλα τα παραπάνω συνοψίζονται στο διάγραμμα ακτινοβολίας που παραθέτουμε:



Διάγραμμα ακτινοβολίας 2 στοιχείων $d = \lambda/2, \alpha = 0$

Πρόβλημα 13: Έστω ότι μας δίνουνε $\left(d = \frac{\lambda}{4}, \alpha = -\frac{\pi}{2}\right)$. Θα έχουμε μέγιστα όταν:

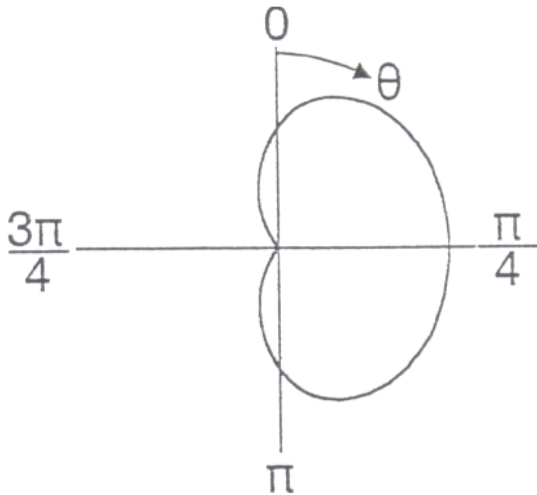
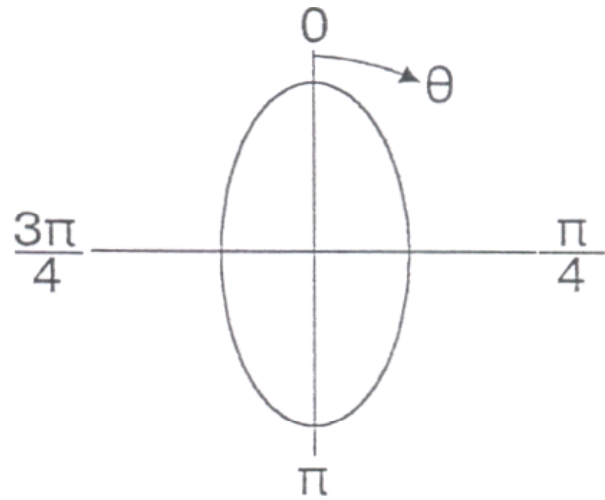
$$\frac{y}{2} = \frac{\pi d \sin \theta}{\lambda} + \frac{\alpha}{2} \Rightarrow n\pi = \frac{\pi \sin \theta}{4} - \frac{\pi}{4} \Rightarrow \sin \theta - 1 = 4n \Rightarrow \sin \theta = 1 + 4n \quad (1)$$

Για $n=0$, από την (1) $\Rightarrow \theta = \frac{\pi}{2}$. Οπότε σε αυτήν την γωνία έχουμε μέγιστο πεδίου. Για μηδενισμό πεδίου πρέπει

$$\frac{y}{2} = \frac{\pi d \sin \theta}{\lambda} - \frac{\pi}{4} = (2n \pm 1) \frac{\pi}{2}. \text{ Για } n=0 \text{ έχουμε:}$$

$$\frac{\pi d \sin \theta}{\lambda} - \frac{\pi}{4} = \pm \frac{\pi}{2} \Rightarrow \frac{d \sin \theta}{\lambda} = \frac{1}{4} \pm \frac{1}{2} \Rightarrow \sin \theta = 1 \pm 2 = 3, -1. \text{ Φυσικά η πρώτη περίπτωση απορρίπτεται οπότε για}$$

$\theta = \frac{3\pi}{2}$ θα έχουμε ελάχιστο πεδίου. Τα παραπάνω απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα.

Διάγραμμα ακτινοβολίας 2 στοιχείων $d=\lambda/4, \alpha=-\pi/2$ Διάγραμμα ακτινοβολίας 2 στοιχείων $d=\lambda/4, \alpha=0$

Πρόβλημα 14: $\left(d = \frac{\lambda}{4}, \alpha = 0\right)$

Λύση:

Για μέγιστο $\frac{y}{2} = n\pi = \frac{\pi d \sin \theta}{\lambda} \Rightarrow \sin \theta = \frac{n\lambda}{d} = 4n$. Για $n=0$ $\sin \theta = 0 \Rightarrow \theta = 0, \pi$. Σε αυτές τις γωνίες δηλαδή έχουμε μέγιστο πεδίο. Έχουμε μηδενισμό πεδίου όταν:

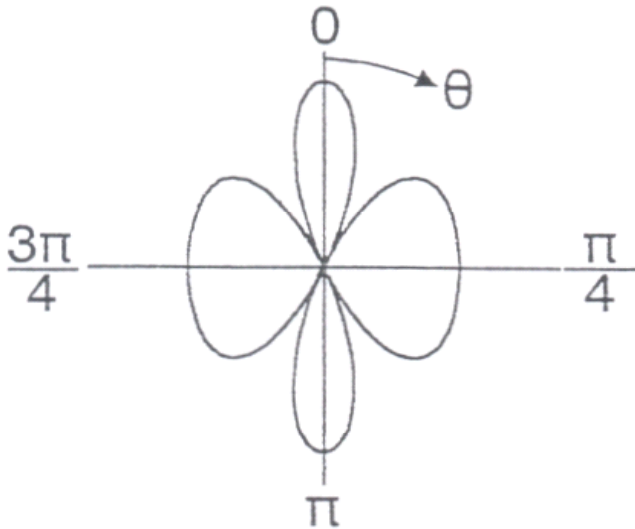
$\frac{y}{2} = (2n \pm 1)\frac{\pi}{2} = \frac{\pi d \sin \theta}{\lambda}$. Για $n=0$ $\frac{\pi d \sin \theta}{\lambda} = \pm \frac{\pi}{2} \Rightarrow \sin \theta = \pm 2$ (απορρίπτεται). Δηλαδή δεν υπάρχει μηδενισμός πεδίου. Τα άνωθεν φαίνονται στο παραπάνω σχήμα.

Πρόβλημα 15: $(d = \lambda, \alpha = 0)$

Λύση:

Για μέγιστα: $\frac{y}{2} = n\pi = \frac{\pi d \sin \theta}{\lambda} \xrightarrow{d=\lambda} \sin \theta = n \xrightarrow{n=0} \theta = 0, \pi$. Για $n=1$ έχουμε $\theta = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}$. Οπότε έχουμε μέγιστο πεδίο όταν $\theta = 0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}$. Μηδενισμό πεδίου έχουμε όταν:

$\frac{y}{2} = (2n \pm 1)\frac{\pi}{2} = \frac{\pi d \sin \theta}{\lambda} \xrightarrow{d=\lambda} \sin \theta = \frac{1}{2}(2n \pm 1) \xrightarrow{n=0} \sin \theta = \pm \frac{1}{2} \Rightarrow \theta = \pm 30^\circ, \pm 150^\circ$ Τα παραπάνω φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Διάγραμμα ακτινοβολίας 2 στοιχείων $d=\lambda, a=0$

Ομοιόμορφη γραμμική στοιχειοκεραία.

Πρόκειται για την στοιχειοκεραία όπου τα στοιχεία βρίσκονται πάνω σε ευθεία γραμμή σε ίσες μεταξύ τους αποστάσεις, έχουν ίσα πλάτη και έχουν φάση a /στοιχείο. Για N τέτοια στοιχεία έχουμε:

$$S(\theta) = \frac{\sin\left(N\frac{y}{2}\right)}{\sin\frac{y}{2}} \quad (17)$$

με πλάτος κυρίως λοβού:

$$S(\theta)_{\max} = N \quad (18)$$

Ελάχιστα για ευρύπλευρη (broadside) έχουμε όταν:

$$N\frac{y}{2} = \pm K\pi \quad (19)$$

όπου K ακέραιος αριθμός.

Για broadside μέγιστο όταν:

$$N\frac{y}{2} = 0 \quad (20)$$

Για end-fire μέγιστο όταν:

$$\theta = \frac{\pi}{2} \quad \text{ή} \quad \alpha = -\frac{2\pi d}{\lambda} \quad (21)$$

Για την ύπαρξη άλλων κύριων λοβών θα πρέπει:

$$d \geq m\lambda \quad (22)$$

όπου m , ακέραιος θετικός αριθμός.

Έχουμε δευτερεύοντες λοβούς εκεί όπου:

$$\sin\theta = \pm \left(l + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{Nd} \quad (23)$$

με $l \geq 0$ (θετικός ακέραιος). Το πρώτο δευτερεύον μέγιστο προκύπτει από την (23) για $l=1$. Το πλάτος των δευτερευόντων λοβών είναι:

$$\frac{2N}{3\pi} \quad (24).$$

Ένας δείκτης που μετράει το ύψος των λοβών είναι ο SLL(Side Lobe Level). Ισχύει:

$$\text{λοβού)} \xrightarrow{(18),(24)} SLL = 20 \log \left(\frac{2N}{\frac{3\pi}{N}} \right) = 13.5 \text{ db} \quad (25)$$

Πρόβλημα 16: ($N=4, d=\lambda/2, \alpha=0$). Να σχεδιασθεί το διάγραμμα ακτινοβολίας.

Λύση:

Από την (17) έχουμε:

$$S(\theta) = \frac{\sin\left(N \frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta\right)}{\sin\left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta\right)} = \frac{\sin(2\pi \sin \theta)}{\sin\left(\frac{\pi}{2} \sin \theta\right)}$$

Ελάχιστα θα έχουμε

$$\text{όταν: } 2\pi \sin \theta = \pm K\pi \Rightarrow \sin \theta = \pm \frac{K}{2} \xrightarrow{K=\pm 1, K=\pm 2} \sin \theta = \pm \frac{1}{2}, \pm 1 \Rightarrow \theta = 30^\circ, 90^\circ, 150^\circ, 210^\circ, 270^\circ, 330^\circ.$$

$S(\theta)_{\max}=4$ είναι το πλάτος του κύριου λοβού.

Μέγιστα όταν $2\pi \sin \theta = 0 \Rightarrow \theta = 0^\circ, 180^\circ$.

$d = \frac{\lambda}{2} \leq m\lambda$ οπότε δεν υπάρχουν άλλοι κύριοι λοβοί.

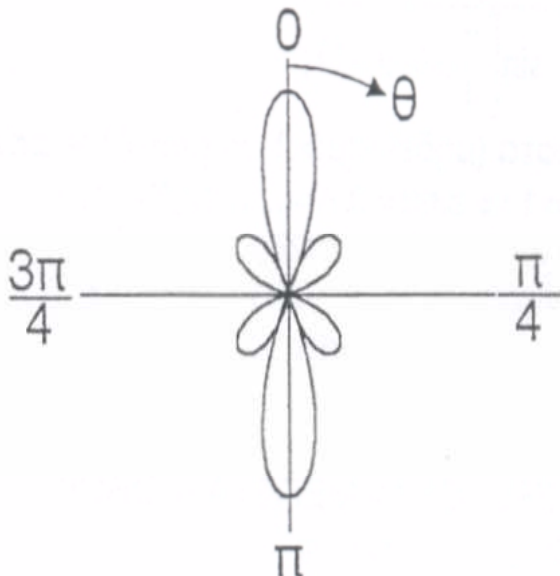
Δευτερεύοντες λοβοί από την (23) για $l=1$:

$$\sin \theta = \pm \frac{3}{4} \Rightarrow \theta = 48.5^\circ, 131.5^\circ, 228.5^\circ, 311.5^\circ.$$

$$\text{Πλάτος δευτερευόντων λοβών} = \frac{2N}{3\pi} = \frac{8}{3\pi}.$$

$$SSL = 20 \log \frac{4}{\frac{8}{3\pi}} = 13.5 \text{ db}.$$

Τα παραπάνω φαίνονται στο κάτωθεν σχήμα.



Πρόβλημα 17: Η κεραία οδεύοντος κύματος (traveling wave) είναι μια ευθύγραμμη γραμμική κεραία με μήκος $2h=L$ και ακτινοβολεί στο κενό. Τροφοδοτείται στο ένα άκρο της και το άλλο άκρο της τερματίζεται σε ωμική αντίσταση R . Αυτή απορροφά όλη την ισχύ που προσπίπτει πάνω της. Συγχρόνως, το πλάτος των ταλαντώσεων του ρεύματος μένει σταθερό σε όλο το μήκος της κεραίας. Να υπολογιστεί το μακρινό μαγνητικό πεδίο που ακτινοβολεί η κεραία και να σχεδιαστεί το διάγραμμα ακτινοβολίας, όταν $L=3\lambda$.

Λύση:

Σύμφωνα με την εκφώνηση, η κατανομή του ρεύματος πάνω στην κεραία οδεύοντος κύματος είναι:

$$I(z') = I_0 e^{-jkz'} \quad (1)$$

Ισχύει επίσης για το μακρινό πεδίο ευθύγραμμης κεραίας η σχέση:

$$\dot{H}_\Phi = -H_x \sin \Phi + \dot{H}_y \cos \Phi = \frac{j \sin \Theta e^{-jkr}}{2\lambda r} \int_{-h}^h I(z') e^{jkz' \cos \Theta} dz' \quad (2)$$

Με αντικατάσταση της σχέσης (1) στη (2) προκύπτει ότι το μακρινό μαγνητικό πεδίο της κεραίας είναι:

$$|H_\Phi| = \left| \frac{I_0 \sin \Theta}{2\lambda r} \int_{-L}^L e^{-jkz'} e^{jkz' \cos \Theta} dz' \right|$$

Κατόπιν πράξεων προκύπτει:

$$|H_\Phi| = \frac{I_0}{4\pi r} \left| \sigma \phi \frac{\Theta}{2} \sin \left(kL \sin^2 \frac{\Theta}{2} \right) \right| \quad (3)$$

Επίσης γνωρίζουμε ότι:

$$\dot{N} = \frac{\mathbf{E} \times \mathbf{H}^*}{2} = N_\Pi + jN_A \quad (4)$$

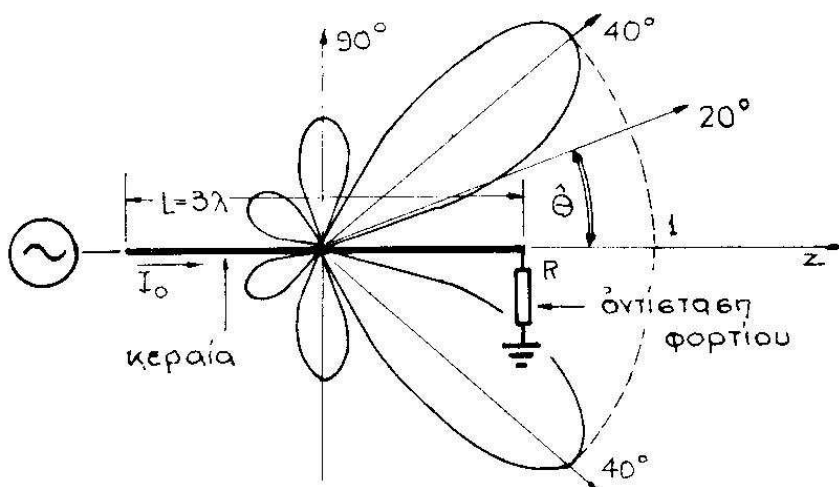
Με αντικατάσταση της σχέσης (3) στην (4) προκύπτει ότι η πυκνότητα ισχύος που ακτινοβολεί η κεραία είναι:

$$N_\Pi = \frac{15I_0^2}{4\pi^2} \sigma \phi^2 \frac{\Theta}{2} \sin^2 \left(kL \sin^2 \frac{\Theta}{2} \right) \quad (5)$$

Το στερεό διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας ορίζεται από την εξίσωση (5) και την σχέση:

$$r(\Theta, \Phi) = \frac{N_\Pi(\Theta, \Phi)}{N_{\max}} \quad (6)$$

Η Ε τομή του στερεού διαγράμματος ακτινοβολίας ισχύος όταν $L=3\lambda$ φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Πρόβλημα 18: Γραμμική διπολική κεραία ακτινοβολεί στο κενό. Η κατανομή του ρεύματος πάνω της περιγράφεται από τη σχέση:

$$I(z') = I_0 \sin k(h - |z'|) \quad (1)$$

Να υπολογιστεί το μακρινό μαγνητικό πεδίο που ακτινοβολεί η κεραία και να σχεδιασθεί το διάγραμμα ακτινοβολίας της, όταν $h = \lambda/2$ και $h = 3\lambda/2$.

Λύση:

Το μαγνητικό πεδίο της διπολικής κεραίας είναι:

$$|H_\Phi| = \frac{I_0}{2\lambda r} \left| \int_{-h}^h \sin k(h - |z'|) e^{jkz' \cos \Theta} dz' \right| \quad (2)$$

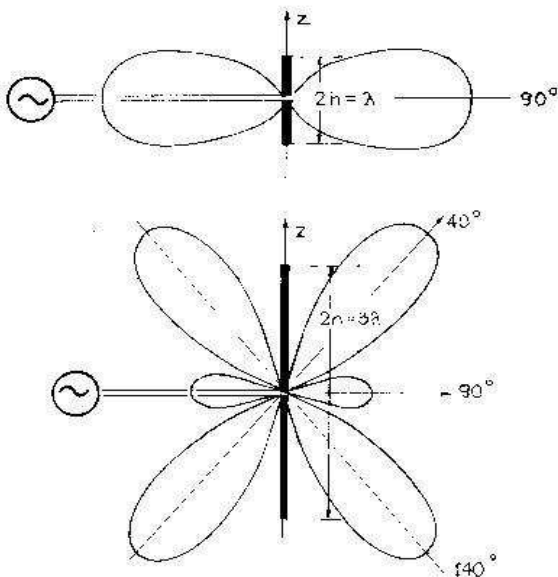
Μετά τον αναλυτικό υπολογισμό του ολοκληρώματος, το μακρινό μαγνητικό πεδίο γράφεται με τη μορφή:

$$|H_\Phi| = \frac{I_0}{2\pi r} \left| \frac{\cos(kh \cos \Theta) - \cos kh}{\sin \Theta} \right| \quad (3)$$

Η επιφανειακή πυκνότητα ισχύος που ακτινοβολεί η κεραία είναι:

$$N_\Pi = \frac{15I_0^2 [\cos(kh \cos \Theta) - \cos kh]^2}{\sin^2 \Theta} \quad (4)$$

Η Ε-τομή του στερεού διαγράμματος ακτινοβολίας ισχύος της διπολικής κεραίας, που υπολογίζεται από την τελευταία σχέση, όταν $h = \lambda/2$ και $h = 3\lambda/2$, φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Πρόβλημα 19: Η κεραία μιας μονοκαναλικής τηλεπικοινωνιακής ζεύξης είναι δίπολο $\lambda/2$ συντονισμένο στους 160MHz. Εκπέμπει τοποθετημένο στο επίπεδο που διχοτομεί την διέδρη γωνία ενός ορθογωνικού ανακλαστήρα, όπως φαίνεται στο σχήμα Θ.ΠΙ-2. Να υπολογιστεί το διάγραμμα ακτινοβολίας του.

Λύση:

Το διάγραμμα ακτινοβολίας του δίπολου $\lambda/2$ με τον ορθογωνικό ανακλαστήρα είναι το διάγραμμα μιας διδιάστατης στοιχειοσειράς τεσσάρων δίπολων $\lambda/2$, που σχηματίζουν δυο δίπολα $\lambda/2$ κατά τον άξονα x και δυο γραμμικές στοιχειοσειρές κατά τον άξονα y . Με βάση την αρχή του πολλαπλασιασμού των διαγραμμάτων μπορεί να γραφεί πως είναι:

$$H_\Phi = H_{\Phi 0}(\theta) \Pi_1(\nu\gamma_1) \Pi_2(\mu\gamma_2).$$

Όπου: $H_{\Phi 0}$ το μακρινό μαγνητικό πεδίο που εκπέμπει ένα απλό συντονισμένο δίπολο $\lambda/2$.

Ισχύει:

$$|H_{\Phi 0}| = \frac{I}{2\pi r} \left| \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin \theta} \right|.$$

Αν H είναι η απόσταση του δίπολου $\lambda/2$ από το κάθε επίπεδο του ορθογωνικού ανακλαστήρα, τότε ο παράγοντας διατάξεως της στοιχειοσειράς που σχηματίζει το πραγματικό δίπολο $\lambda/2$ και το είδωλό του στο επίπεδο Oyz , είναι:

$$\Pi_1(\nu, \gamma_1) = \Pi_1(2, \gamma_z) = |2 \sin(kH \cos \gamma_z)|.$$

Αλλά $\cos \gamma_z = \sin \theta \cos \phi$, οπότε:

$$\Pi_1(2, \gamma_z) = 2 |\sin(kH \sin \theta \cos \phi)|$$

Αντίστοιχα ο παράγοντας διάταξης των δύο στοιχειοσειρών κατά τον άξονα y , όταν ληφθεί υπ' όψιν η σχέση $\cos \gamma_y = \sin \theta \sin \phi$, μπορεί να γραφεί πως είναι:

$$\Pi_2(\mu, \gamma_2) = \Pi_2(2, \gamma_y) = 2 |\sin(kH \sin \theta \sin \phi)|.$$

Με αντικατάσταση των προηγούμενων εξισώσεων στην αρχική γραφή της αρχής του πολλαπλασιασμού των διαγραμμάτων προκύπτει ότι το μακρινό μαγνητικό πεδίο που εκπέμπει το δίπολο $\lambda/2$ μαζί με τον ανακλαστήρα είναι:

$$|H_\phi| = \frac{2I}{\pi r} \left| \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin \theta} \sin(kH \sin \theta \cos \phi) \sin(kH \sin \theta \sin \phi) \right|.$$

Από το μακρινό μαγνητικό πεδίο και τις σχέσεις:

$$\dot{E}_\theta = -Z_k \dot{H}_\phi \quad (1)$$

Και

$$\dot{N} = \frac{\dot{E} \times \dot{H}}{2} = N_{\Pi} + jN_A \quad (2)$$

υπολογίζεται ότι η επιφανειακή πυκνότητα ισχύος που εκπέμπει η κεραία είναι:

$$N_{\Pi} = \frac{240I^2}{\pi r^2} \left| \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin \theta} \sin(kH \sin \theta \cos \phi) \sin(kH \sin \theta \sin \phi) \right|^2.$$

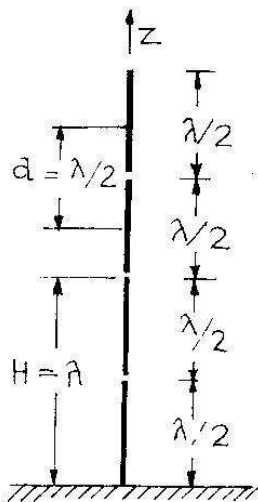
Η πυκνότητα ισχύος που ακτινοβολείται, γίνεται μέγιστη πάνω στο επίπεδο που διχοτομεί την διεδρη γωνία του ανακλαστήρα, όταν είναι:

$$H = \frac{\lambda}{2\sqrt{2}}.$$

Τότε για $\theta = \pi/2$ και $\phi = \pi/4$ προκύπτει:

$$N_{\max} = \frac{240I^2}{\pi r^2}.$$

Πρόβλημα 20: Τέσσερα απλά συντονισμένα δίπολα $\lambda/2$ έχουν τοποθετηθεί συγγραμμικά στον ίδιο κατακόρυφο άξονα σε απόσταση $d = \lambda/2$ μεταξύ τους. Το χαμηλότερο δίπολο ακουμπά στην επιφάνεια της γης, όπως φαίνεται στο σχ.46.



Τα δίπολα τροφοδοτούνται συμφασικά με ρεύμα I_0 και εκπέμπουν μετωπικά στο οριζόντιο επίπεδο. Ζητείται να υπολογιστεί το μακρινό μαγνητικό πεδίο που εκπέμπουν και το διάγραμμα ακτινοβολίας της στοιχειοκεραίας που σχηματίζουν.

Λύση:

Το μακρινό μαγνητικό πεδίο υπολογίζεται με βάση την αρχή του πολλαπλασιασμού των διαγραμμάτων:

$$H_{\Phi} = H_{\Phi 0}(\Theta) \Pi(\nu\gamma_1) \Pi(\mu\gamma_2).$$

Όπου: $\Pi(\nu\gamma_1)$ ο παράγοντας διάταξης της στοιχειοκεραίας των τεσσάρων στοιχείων,

$\Pi(\mu\gamma_2)$ ο παράγοντας διάταξης που περιγράφει την επίδραση που έχει η παρουσία της γης στην ακτινοβολία των κατακόρυφων κεραίων.

Ισχύει:

$$H_{\Phi 0} = \frac{I}{2\pi r} \left| \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \Theta\right)}{\sin \Theta} \right|,$$

$$\overset{\circ}{\Pi}(\nu\gamma) = e^{\frac{j\nu-1}{2}(kd \cos \gamma + \delta)} \frac{\sin\left[\frac{\nu}{2}(kd \cos \gamma + \delta)\right]}{\sin\left[\frac{1}{2}(kd \cos \gamma + \delta)\right]} \Rightarrow \Pi(\nu\gamma_1) = \frac{\left| \sin\frac{4}{2}\left(k\frac{\lambda}{2} \cos \Theta\right) \right|}{\left| \sin\frac{1}{2}\left(k\frac{\lambda}{2} \cos \Theta\right) \right|} = 4 \cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \Theta\right) \cos(\pi \cos \Theta).$$

Η διάταξη των τεσσάρων δίπολων είναι μια κατακόρυφη κεραία σε ύψος $H = \lambda$ πάνω από τη γη. $\Pi(\mu\gamma_2) = \Pi(2, \Theta)$ οπότε:

$$|\Pi(\alpha)| = 2|\cos(kH \sin \alpha)| \Rightarrow |\Pi(2, \Theta)| = 2|\cos(2\pi \cos \Theta)|.$$

Πρόβλημα 21: Οριζόντιο συντονισμένο δίπολο $\lambda/2$ ακτινοβολεί σε ύψος H πάνω από την αγωγίμη επιφάνεια της γης με συχνότητα $f = 60 \text{ MHz}$. Πόσοι λοβοί ακτινοβολίας δημιουργούνται και σε ποιες γωνίες ανύψωσης διευθύνονται όταν $H = \lambda/2$ και όταν $H = 2\lambda$;

Λύση:

Ο παράγοντας διάταξης που περιγράφει την επίδραση της παρουσίας της γης στην ακτινοβολία του οριζόντιου δίπολου, δίνεται από την σχέση:

$$|\Pi(\alpha)| = 2|\sin(kH \sin \alpha)|.$$

Ο παράγοντας αυτός παίρνει την μέγιστη τιμή του (2), όταν:

$$\alpha = \arcsin\left[\frac{\lambda}{4H}(1 + 2\nu)\right],$$

όπου ν ακέραιος, φυσικός ή μηδέν και τέτοιος ώστε:

$$0 \leq \nu \leq \frac{2H}{\lambda} - \frac{1}{2}.$$

Όταν $H=\lambda/2$ μόνο η τιμή $\nu=0$ ικανοποιεί τον προηγούμενο περιορισμό. Οι αντίστοιχες γωνίες ανύψωσης υπολογίζεται ότι είναι:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{\lambda}{4} \cdot \frac{2}{\lambda}\right), \text{ δηλαδή ή } 30^\circ \text{ ή } 150^\circ.$$

Όταν αντίστοιχα, $H=2\lambda$ υπάρχουν 4 τιμές του ν που ικανοποιούν τον ίδιο περιορισμό. Κάθε τιμή του ν δίνει δύο τιμές της γωνίας ανύψωσης α στις οποίες εμφανίζονται τα μέγιστα 2 λοβών ακτινοβολίας. Αυτές είναι:

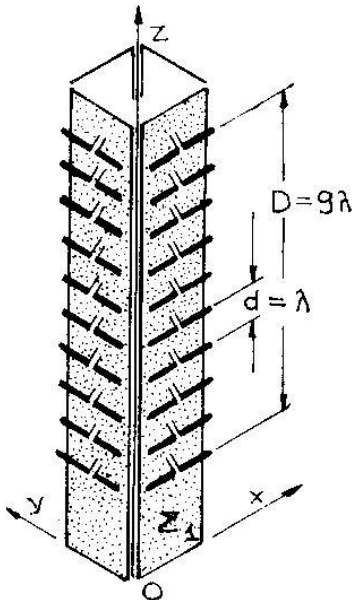
$$\nu=0: \quad \alpha = \arcsin\left(\frac{\lambda}{4} \cdot \frac{1}{2\lambda}\right), \text{ δηλαδή } 7,2^\circ \text{ ή } 172,8^\circ,$$

$$\nu=1 \quad \alpha = \arcsin(3/8), \text{ δηλαδή } 22^\circ \text{ ή } 158^\circ,$$

$$\nu=2 \quad \alpha = \arcsin(5/8), \text{ δηλαδή } 38,7^\circ \text{ ή } 141,3^\circ,$$

$$\nu=3 \quad \alpha = \arcsin(7/8), \text{ δηλαδή } 61^\circ \text{ ή } 119^\circ$$

Πρόβλημα 22: Η κεραία πομπού τηλεόρασης χρησιμοποιεί 4 στοιχειοσειρές των 10 δίπολων $\lambda/2$ με ανακλαστήρα (μία σε κάθε κατεύθυνση του οριζοντα), όπως φαίνεται στο σχ.47.



Τα δίπολα τροφοδοτούνται συμφασικά και εκπέμπουν μετωπικά με συχνότητα $f=500\text{MHz}$ στην επιφάνεια της γης. Να υπολογιστούν: α) Το άνοιγμα του λοβού ακτινοβολίας στο κατακόρυφο επίπεδο, β) το κατευθυντικό κέρδος της κεραίας, γ) η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που εκπέμπεται σε απόσταση $r=50\text{km}$, στο επίπεδο της γης, αν η ισχύς του πομπού είναι 100W .

Λύση:

α) Το άνοιγμα του λοβού ακτινοβολίας της στοιχειοσειράς Σ_1 στο επίπεδο zOy δίνεται από τη σχέση:

$$\Theta = 2 \sin \frac{\Theta}{2} = \frac{\lambda}{D} = 0,11 \text{ rad} = 6,37^\circ.$$

β) Το άνοιγμα του λοβού ακτινοβολίας της ίδιας στοιχειοσειράς στο επίπεδο xOy είναι ίσο με το άνοιγμα του λοβού ενός συντονισμένου δίπολου $\lambda/2$, δηλαδή $\Phi \approx \frac{\pi}{2}$. Από τα ανοίγματα του λοβού ακτινοβολίας

υπολογίζεται το κατευθυντικό κέρδος της στοιχειοσειράς Σ_1 που είναι:

$$d_{\Sigma} = \frac{4\pi}{\frac{\pi}{2} \cdot 0,11} = 76.$$

Επειδή η κεραία ολόκληρη εκπέμπει με τέσσερις στοιχειοσειρές στα τέσσερα σημεία του ορίζοντα το ολικό κατευθυντικό κέρδος της είναι: $d = \frac{d_s}{4} = 18$ ή $D=12,5\text{dB}$.

γ) Η επιφανειακή πυκνότητα ισχύος που ακτινοβολεί η κεραία σε απόσταση 50km, είναι:

$$N_{\max} = \frac{P_r \cdot d}{4\pi r^2} = \frac{18 \cdot 10^2}{4\pi \cdot 5^2 \cdot 10^8} = 50 \frac{nW}{m^2}.$$

Τέλος η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στην ίδια περιοχή του χώρου είναι:

$$E = \sqrt{2Z_{\kappa} N_{\max}} = \sqrt{2 \cdot 120\pi \cdot 0,05 \cdot 10^3} = 6 \text{ mV/m}.$$

Άσκηση για το σπίτι: Να σχεδιασθεί το διάγραμμα ακτινοβολίας για $N=7, d=\lambda, \alpha=0,5$.

End Fire-Ακροπυροδοτική

$$\text{Εδώ έχουμε } \frac{y}{2} = \frac{\pi d}{\lambda} (\sin \theta - 1) \quad (26)$$

Επίσης:

$$S(\theta) = \frac{\sin \left[\frac{N\pi d}{\lambda} (\sin \theta - 1) \right]}{\sin \left[\frac{\pi d}{\lambda} (\sin \theta - 1) \right]} \quad (27)$$

Έχουμε μέγιστο όταν: $\sin \theta = 1 \Rightarrow \theta = \frac{\pi}{2}$, δηλαδή πάνω στον άξονα της κεραίας.

Έχουμε ελάχιστα όταν:

$$\frac{Ny}{2} = \pm K\pi \quad (28)$$

Το άνοιγμα δέσμης του κύριου λοβού είναι: $2\sqrt{\frac{2\lambda}{Nd}}$ και είναι μεγαλύτερο από την ευρύπλευρη.

Πρόβλημα 23: Να σχεδιασθεί το διάγραμμα ακτινοβολίας για $N=4, d = \frac{\lambda}{4}, \alpha = -\frac{2\pi d}{\lambda}$.

Λύση:

$$\text{Από την (27) έχουμε: } S(\theta) = \frac{\sin[\pi(\sin \theta - 1)]}{\sin\left[\frac{\pi}{4}(\sin \theta - 1)\right]}.$$

Ελάχιστα (μηδενισμό) από την (28) έχουμε όταν:

$$\pi(\sin \theta - 1) = \pm K\pi \Rightarrow \sin \theta = 1 - K.$$

Για $K=1 \Rightarrow \sin \theta = 0$ και για $K=2 \Rightarrow \sin \theta = -1$, άρα μηδενισμούς για $\theta = 0, -\frac{\pi}{2}$.

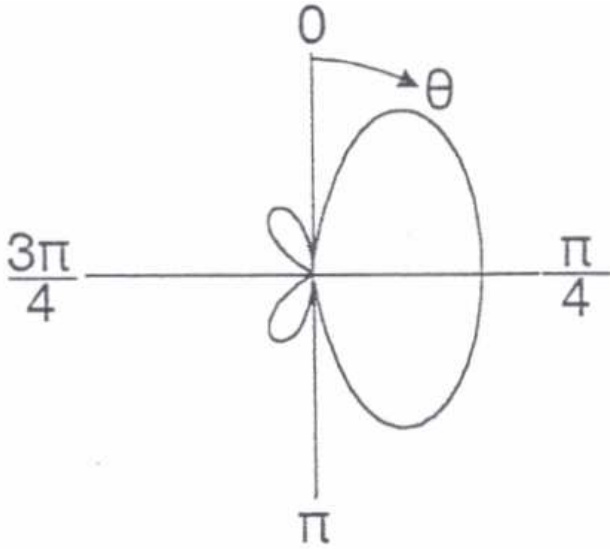
1^ο μέγιστο για $y = 0 \Rightarrow \sin \theta = 1 \Rightarrow \theta = \frac{\pi}{2}$.

$d = \frac{\lambda}{4} \leq m\lambda$ οπότε δεν υπάρχουν άλλα κύρια μέγιστα (λοβοί).

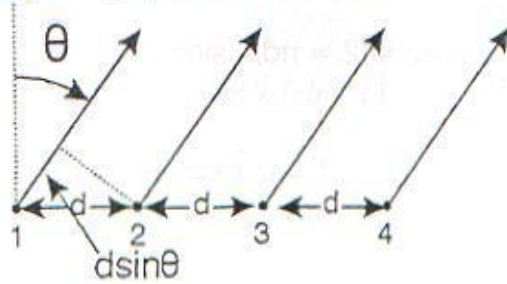
Δευτερεύοντα μέγιστα όταν:

$$\pi(\sin \theta - 1) = \pm \left(l + \frac{1}{2} \right) \pi \Rightarrow \sin \theta = 1 - \left(l + \frac{1}{2} \right) \xrightarrow{l=1} \sin \theta = -\frac{1}{2} \Rightarrow \theta = -30^\circ, -150^\circ.$$

Από τα παραπάνω μπορεί να σχεδιασθεί το διάγραμμα ακτινοβολίας:

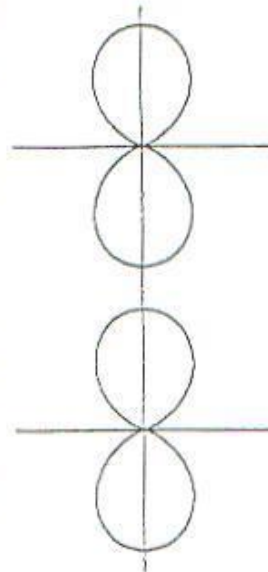


5.3 Πολλαπλασιασμός Διαγραμμάτων.

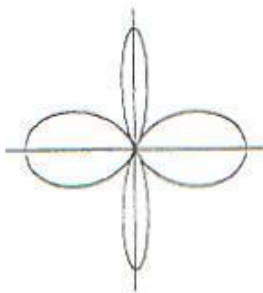


Σχ. 48: Στοιχειοκεραία τεσσάρων στοιχείων σε απόσταση d μεταξύ τους.

Έστω ότι θέλουμε να σχεδιάσουμε το διάγραμμα ακτινοβολίας της πιο πάνω διάταξης όπου $d = \lambda/2$ και η φασική διαφορά μεταξύ των στοιχείων $\alpha = 0$. Το διάγραμμα για στοιχεία 1 και 2 είναι γνωστό: $d = \lambda/2 \Rightarrow$ και το διάγραμμα για στοιχεία 3 και 4 είναι επίσης γνωστό: $d = \lambda/2 \Rightarrow$



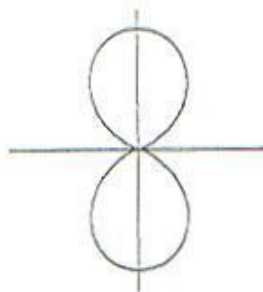
Το πρόβλημα τότε ανάγεται στο να βρεθεί το διάγραμμα ακτινοβολίας δυο ομοίων κεραιών που απέχουν απόσταση λ μεταξύ τους και που έχουν διαγράμματα ακτινοβολίας:



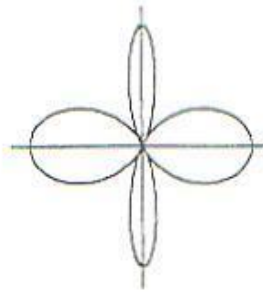
Ο παράγοντας διάταξης δυο ισότροπων πηγών σε απόσταση λ μεταξύ τους είναι:

Δηλαδή αρχίσαμε από: $d = \lambda/2, d = \lambda/2, d = \lambda/2$, που αντικαταστάθηκε από: λ .

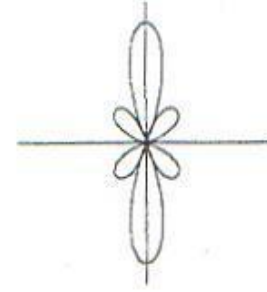
Όπως είπαμε στην αρχή της θεωρίας των στοιχειοκεραιών το συνολικό διάγραμμα ακτινοβολίας είναι ίσο με τον παράγοντα διάταξης επί του διαγράμματος ακτινοβολίας του ενός στοιχείου. Τότε το συνολικό διάγραμμα ακτινοβολίας είναι:



διάγραμμα του ενός στοιχείου



παράγοντας διάταξης

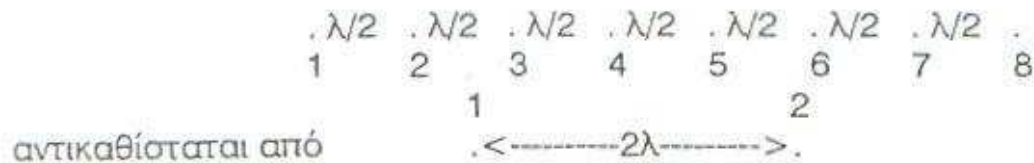


συνολικό διάγραμμα

Σχ. 49: Διάγραμμα ακτινοβολίας $N=4, d=\lambda/2$

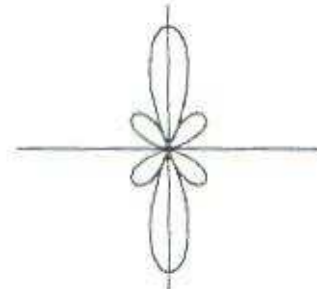
Ο πολλαπλασιασμός γίνεται σημείο προς σημείο.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΜΕ 8 ΣΤΟΙΧΕΙΑ

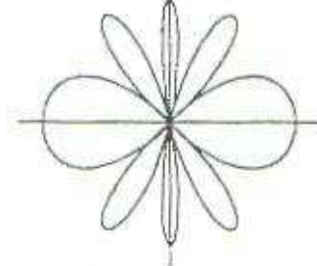


Το πρόβλημα εξεύρεσης του διαγράμματος ακτινοβολίας κεραίας 8 στοιχείων με απόσταση μεταξύ τους $\lambda/2$ μετατρέπεται σε πρόβλημα με δύο στοιχεία με απόσταση 2λ μεταξύ τους.

Το διάγραμμα των 4 στοιχείων $\lambda/2$ μεταξύ τους :



Το διάγραμμα 2 στοιχείων 2λ μεταξύ τους :



Τότε έχουμε :



Σχ. 50: Διάγραμμα ακτινοβολίας κεραίας $N=8$, $d=\lambda/2$

Ο πολλαπλασιασμός γίνεται σημείο προς σημείο. Ο αριθμός των δευτερευόντων λοβών του συνολικού διαγράμματος μπορεί να βρεθεί από τον αριθμό των ελαχίστων του συνολικού διαγράμματος. Ο αριθμός των ελαχίστων του συνολικού διαγράμματος είναι το σύνολο των ελαχίστων του παράγοντα διάταξης και του διαγράμματος του ενός στοιχείου με την προϋπόθεση ότι δεν συμπίπτουν μεταξύ τους. Το άνοιγμα του κύριου λοβού είναι ίσο με το άνοιγμα μεταξύ ελαχίστων του αντιστοίχου λοβού του παράγοντα διάταξης.

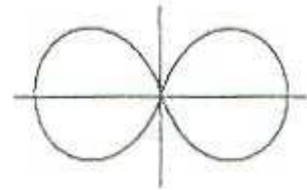
Στοιχειοκεραίες δίπολων

A)

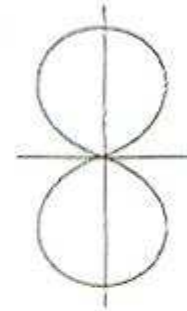
Κεραία με δύο δίπολα ίσου πλάτους απόσταση $d = \lambda/2$

$\cdot \leftarrow \lambda/2 \rightarrow \cdot$

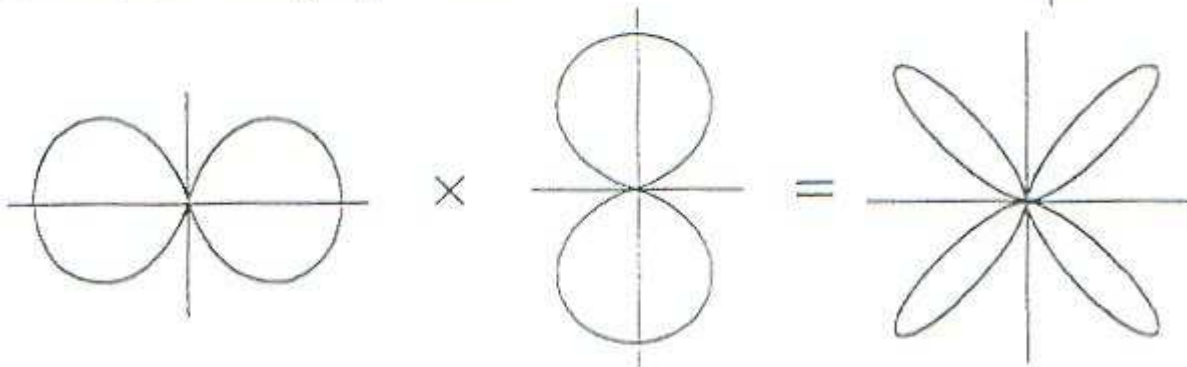
Διάγραμμα στο επίπεδο E του ενός στοιχείου (δίπολου) είναι:



Παράγοντας διάταξης δύο ιστροπικών πηγών σε απόσταση $\lambda/2$ είναι:



Τότε το συνολικό διάγραμμα είναι:



διάγραμμα του
ενός στοιχείου

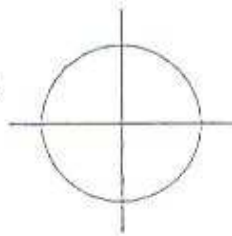
παράγοντας
διάταξης

συνολικό
διάγραμμα

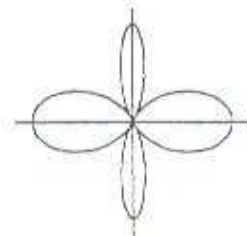
Σχ. 51: Διάγραμμα ακτινοβολίας στο επίπεδο E κεραίας με δύο παράλληλα δίπολα ίσου πλάτους για $d = \lambda/2$.

Β)
Κεραία με δύο δίπολα απόσταση $d=\lambda$ να βρεθεί το διάγραμμα στο Η επίπεδο.
 $\left\langle \text{-----} \right\rangle$, παράλληλα δίπολα
 $d=\lambda$

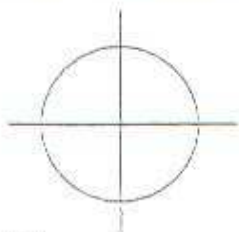
Το διάγραμμα δίπολου στο Η επίπεδο είναι:



Παράγοντας διάταξης δύο ιστροπικών πηγών σε απόσταση λ είναι:

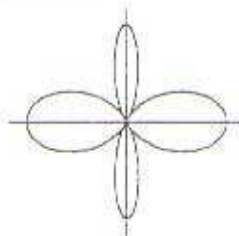


Τότε το συνολικό διάγραμμα είναι:



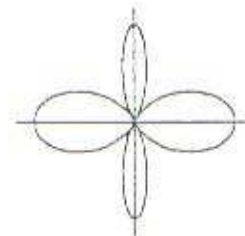
διάγραμμα του παράγοντας ενός στοιχείου

×



συνολικό διάταξης

=

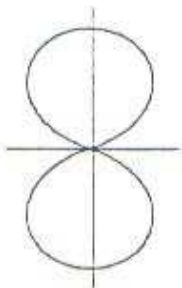


διάγραμμα

Σχ. 52: Διάγραμμα ακτινοβολίας κεραίας με δύο παράλληλα δίπολα στο Η επίπεδο για $d=\lambda$

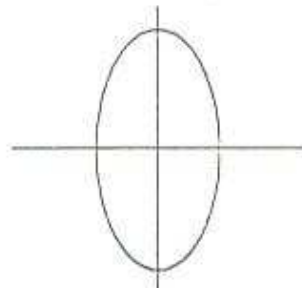
Γ)

Κεραία με δύο συνευθειακά δίπολα: $\text{-----} \rangle$, $d=\lambda/4$, $\text{-----} \rangle$



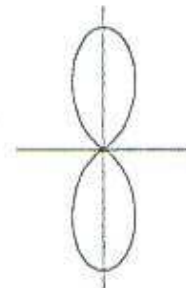
διάγραμμα στοιχείου

×



παράγοντας διάταξης

=



συνολικό διάγραμμα

Σχ. 53: Διάγραμμα ακτινοβολίας κεραίας με δύο συνευθειακά δίπολα ίσου πλάτους για $d=\lambda/4$

Παράδειγμα: Να σχεδιαστεί το διάγραμμα ακτινοβολίας δύο συνευθειακών δίπολων για $d=\lambda/2$.

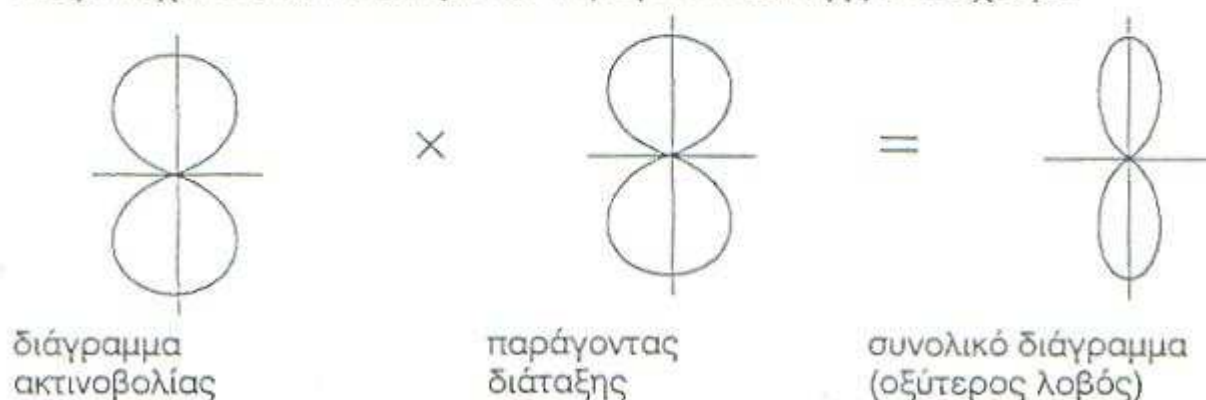
ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΟΚΕΡΑΙΑΣ

Η αρχή του πολλαπλασιασμού των διαγραμμάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την σχεδίαση στοιχειοκεραίας με όσο οξύ λοβό θέλουμε και χωρίς δευτερεύοντες λοβούς. Αν έχουμε δύο κεραίες που αποτελούνται από δύο ισοφασικά στοιχεία σε απόσταση $d = \lambda/2$ μεταξύ τους και η απόσταση μεταξύ των κεραιών είναι $\lambda/2$ τότε το συνολικό διάγραμμα μπορεί να βρεθεί ως ακολούθως:
διάταξη



Η διάταξη ουσιαστικά αποτελείται από τρία στοιχεία με το μεσαίο να διαρρέεται με διπλάσιο ρεύμα από τα άλλα δύο.

Η σχέση των ρευμάτων θα είναι 1:2:1. Σ' αυτή την διάταξη το διάγραμμα του ενός στοιχείου είναι το ίδιο με τον παράγοντα διάταξης τότε έχουμε:

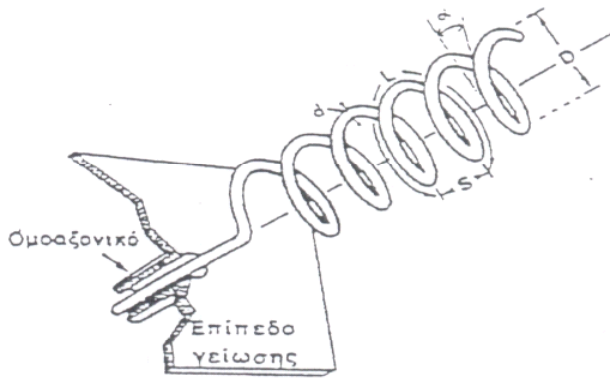


Σχ. 54: Διάγραμμα ακτινοβολίας τριών στοιχείων $d = \lambda/2$ και σχέση ρευμάτων 1:2:1.

Η διάταξη μπορεί να επεκταθεί προσθέτοντας κάθε φορά και ένα στοιχείο, κατασκευάζοντας έτσι όσο οξύ λοβό θέλουμε.

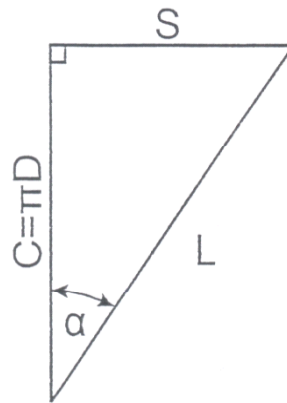
Ελικοειδής κεραία

Μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελεί συνδυασμό της βροχοκεραίας και της γραμμικής κεραίας. Αν μια σπείρα της κεραίας έχει μήκος L τότε η γεωμετρική συσχέτιση των γεωμετρικών στοιχείων της κεραίας φαίνεται στα σχήματα 55 και 56:



Σχ. 55

Γεωμετρία και διαστάσεις ελικοειδούς κεραίας.



Σχ. 56

Μια ανεπτυγμένη μορφή έλικας.

Τα σύμβολα που χρειάζονται για να περιγράψουν την έλικα είναι τα ακόλουθα:

D: Διάμετρος σπείρας της έλικας

C: Περίμετρος της έλικας ($C = \pi D$)

S: Απόσταση μεταξύ των σπειρών ($S = C \tan \alpha$)

α : Γωνία κλίσης ($\alpha = \arctan\left(\frac{S}{C}\right)$)

L: Μήκος μιας σπείρας ($L = \sqrt{C^2 + S^2}$)

N: Αριθμός σπειρών

A: Αξονικό μήκος

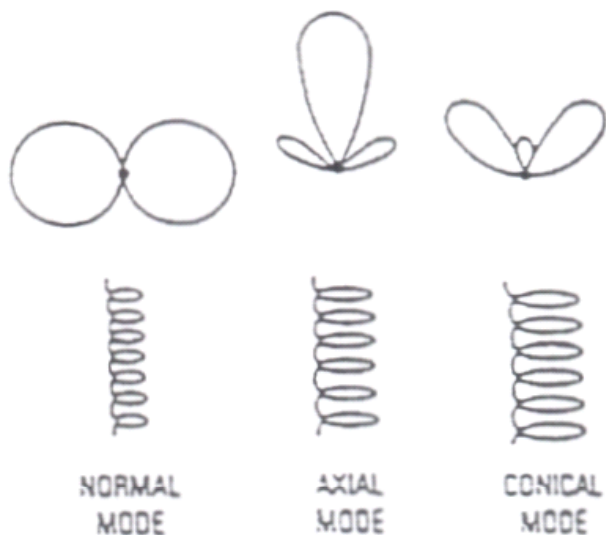
d: Διάμετρος του αγωγού

Όταν $S=0$ ($\alpha=0^\circ$) η έλικα καταλήγει σε βροχοκεραία ενώ όταν $D=0$ ($\alpha=90^\circ$) καταλήγει σε γραμμική κεραία (βραχύ δίπολο). Η έλικα μπορεί να ακτινοβολήσει σε πολλούς ρυθμούς αλλά οι πιο σημαντικοί είναι δύο:

1) Ο κάθετος ρυθμός που δίνει ακτινοβολία η οποία είναι κάθετη στον άξονα της έλικας. Αυτό συμβαίνει όταν οι διαστάσεις της έλικας είναι μικρές εν συγκρίσει με το μήκος κύματος.

2) Ο αξονικός ρυθμός που δίνει μέγιστο κατά μήκος αυτής της έλικας και συμβαίνει όταν η περίμετρος είναι της τάξης μεγέθους του μήκους κύματος.

Γενικά ο αξονικός ρυθμός υπερισχύει όσον αφορά το εύρος ζώνης και την απόδοση. Στο σχ.57 φαίνονται 3 διαφορετικοί ρυθμοί ακτινοβολίας. Ο κάθετος, ο αξονικός και ο κωνικός ρυθμός.



Σχ. 57: Τρεις διαφορετικοί ρυθμοί ακτινοβολίας ελικοειδούς κεραίας.

Κάθετος Ρυθμός.

Στο κάθετο ρυθμό λειτουργίας το πεδίο είναι μέγιστο σε διεύθυνση κάθετη προς τον άξονα της έλικας και για καθορισμένη γεωμετρία τα εκπεμπόμενα κύματα είναι κυκλικής πόλωσης. Εδώ το συνολικό μήκος της θα είναι μικρό με αποτέλεσμα να έχει χαμηλή απόδοση. Για τον υπολογισμό των E_{ϕ} και E_{θ} για μικρή έλικα, θεωρούμε ότι η έλικα αποτελείται από μικρούς βρόχους και μικρά δίπολα σε σειρά. Να σημειωθεί ότι εξαιτίας του μικρού μήκους της κεραίας το ρεύμα μπορεί να θεωρηθεί σταθερό κατά πλάτος και φάση. Έτσι, κατόπιν πράξεων

προκύπτει ότι το μακρινό πεδίο μικρού βρόχου έχει μόνο E_{ϕ} συνιστώσα που είναι: $E_{\phi} = \frac{120\pi^2 [I] \sin \theta \cdot A}{r \cdot \lambda^2}$, όπου

η επιφάνεια του βρόχου $A = \frac{\pi D^2}{4}$. Το μακρινό πεδίο μικρού δίπολου έχει μόνο E_{θ} συνιστώσα που είναι:

$E_{\theta} = j \frac{60\pi [I] \sin \theta \cdot S}{r \cdot \lambda}$. Συγκρίνοντας τις εκφράσεις για E_{ϕ} και E_{θ} βλέπουμε ότι η παρουσία του j στην E_{θ} και η

απουσία του από την E_{ϕ} δείχνει ότι τα δύο πεδία που είναι κάθετα μεταξύ τους παρουσιάζουν διαφορά φάσης $\frac{\pi}{2}$. Ο λόγος $\frac{E_{\theta}}{E_{\phi}}$ μας δίνει τον λόγο των αξόνων της έλλειψης πόλωσης για το μακρινό πεδίο AR (Axial Ratio).

$$AR = \frac{2S\lambda}{\pi^2 D^2}$$

Έχουμε τρεις περιπτώσεις έλλειψης πόλωσης που μας ενδιαφέρουν

1) Όταν $E_{\phi}=0$ ο λόγος $AR=\infty$ και η έλλειψη πόλωσης είναι μια κάθετη γραμμή που δείχνει ότι η πόλωση είναι κάθετη γραμμική. Οπότε σε αυτή την περίπτωση η έλικα είναι κάθετο δίπολο.

2) Όταν $E_{\theta}=0, AR=0$ και η έλλειψη πόλωσης είναι οριζόντια γραμμή που δείχνει ότι η πόλωση είναι οριζόντια γραμμική. Σ' αυτή τη περίπτωση η έλικα είναι οριζόντιος βρόχος.

3) Όταν $[E_{\theta}]=[E_{\phi}]$. Εδώ $AR=1$ και η έλλειψη πόλωσης είναι κύκλος που σημαίνει ότι η πόλωση είναι κυκλική. Οπότε:

$$\frac{2S\lambda}{\pi^2 D^2} = 1 \Rightarrow \pi D = \sqrt{2S\lambda} \Rightarrow C = \sqrt{2S\lambda}$$

Στη γενική περίπτωση το πεδίο έχει ελλειπτική πόλωση εκτός των 3 παραπάνω περιπτώσεων. Ο τύπος της πόλωσης όμως εξαρτάται από την γωνία κλίσης α . Συνεχίζοντας, στην τρίτη περίπτωση κατόπιν πράξεων προκύπτει:

$$S = \lambda \left[-1 \pm \sqrt{1 + \left(\frac{L}{\lambda}\right)^2} \right]. \text{ Για να είναι πάντα το μήκος } S > 0, \text{ ισχύει η λύση με (+). Η συσχέτιση των εξισώσεων}$$

$$\text{μας δίνει γωνία κλίσης για κυκλική πόλωση: } \alpha = \sin^{-1} \left[\frac{\left(-1 + \sqrt{1 + \left(\frac{L}{\lambda}\right)^2} \right)}{\frac{L}{\lambda}} \right]. \text{ Όταν } \alpha \uparrow, \text{ τότε η πόλωση είναι}$$

πάλλι ελλειπτική. Τελικά όταν $\alpha = 90^\circ$ έχουμε δίπολο και η πόλωση είναι γραμμική και κάθετη. Το BW μιας τέτοιας μικρής έλικας είναι πολύ μικρό και η απόδοση εξίσου μικρή. Μπορούν να αυξηθούν μεγαλώνοντας το μέγεθος της έλικας αλλά για να έχουμε ομοιόμορφη και με σταθερή φάση κατανομή ρεύματος πρέπει να τοποθετηθούν μετατοπιστές φάσης κατά διαστήματα πάνω στην έλικα. Γι' αυτό η παραγωγή του κάθετου ρυθμού από έλικα έχει σοβαρές πρακτικές δυσκολίες και περιορισμούς.

Αξονικός ρυθμός ακτινοβολίας.

Στον αξονικό ρυθμό η κεραία λειτουργεί σαν ακροπυροδοτική με ένα κύριο λοβό κατά μήκος του άξονά της. Η πόλωση στην περιοχή μεγίστου είναι κυκλική και η κατευθυντικότητα αυξάνει συναρτήσει του αριθμού των σπειρών. Στην πράξη ο αξονικός ρυθμός δημιουργείται πολύ εύκολα. Για να δημιουργηθεί ο αξονικός ρυθμός όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η περίμετρος της έλικας πρέπει να είναι της τάξης του μήκους κύματος. Μια πολύ διαδεδομένη περίπτωση είναι εκείνη στην οποία:

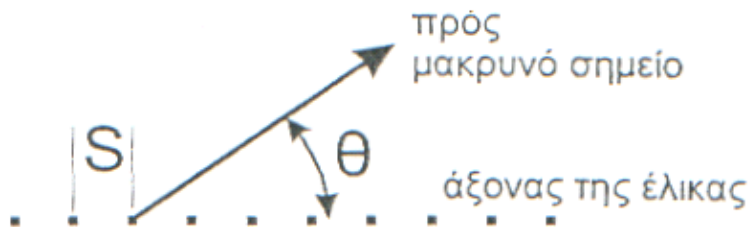
$$\frac{3}{4}\lambda \leq C \leq \frac{4}{3}\lambda$$

Αν f_L είναι η χαμηλότερη συχνότητα λειτουργίας και f_u η υψηλότερη τότε το BW είναι:

$$BW = \frac{f_u}{f_L} = \frac{\lambda_u}{\lambda_L} = \frac{3}{4} \Rightarrow BW = 1,78, \text{ το οποίο προσεγγίζει την τιμή } 2:1 \text{ που ισχύει για τις κεραίες ευρείας ζώνης.}$$

Μια ελικοειδής κεραία με αξονικό ρυθμό έχει το διάνυσμα του ηλεκτρικού πεδίου να περιστρέφεται γύρω από την έλικα όπως και το ρεύμα. Στο άκρο της έλικας υπάρχει μικρή ανάκλαση του προσπίπτοντος κύματος. Το τεχνητό έδαφος της κεραίας δεν είναι κρίσιμο αλλά πρέπει να είναι μεγαλύτερο σε μήκος ή διάμετρο από $\frac{\lambda}{2}$. Η

τροφοδοσία συνήθως πραγματοποιείται με ομοαξονικό καλώδιο, όπου ο εσωτερικός αγωγός είναι συνδεδεμένος με την έλικα και ο εξωτερικός είναι γειωμένος. Το τεχνητό έδαφος μπορεί να είναι κατασκευασμένο από τετραγωνικό ή κυκλικό επίπεδο αγωγό ή από ακτινωτά σύρματα. Η έλικα παρουσιάζει ρεύμα που πολύ λίγο διαφέρει από σπείρα σε σπείρα. Αυτό σημαίνει ότι είναι δυνατό η έλικα να προσεγγιστεί με στοιχειοκεραία N στοιχείων τροφοδοτούμενων με ίδια πλάτη και φάση:



Στοιχειοκεραία ισοτροπικών σημειακών πηγών. Κάθε πηγή αντιπροσωπεύει και μια σπείρα της έλικας.

Με βάση την αρχή του πολλαπλασιασμού των διαγραμμάτων, το μακρινό πεδίο της έλικας είναι το γινόμενο του διαγράμματος του ενός στοιχείου επί τον παράγοντα διάταξης στοιχειοκεραίας N στοιχείων ισοτροπικών

πηγών. Η απόσταση S μεταξύ των πηγών είναι η απόσταση μεταξύ των σπειρών. Εάν το διάγραμμα της μιας σπείρας είναι προσεγγιστικά $\cos\theta$ τότε το συνολικό διάγραμμα ακτινοβολίας θα είναι:

$$E(\theta) = A \frac{\sin\left(\frac{Ny}{2}\right)}{\sin y} \cos\theta, \text{ όπου:}$$

A =παράγοντας κανονικοποίησης

$$y = B \cos\theta + a$$

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$a = BS$ =διαφορά φάσης από σπείρα σε σπείρα

a =προοδευτική φάση μεταξύ σπειρών= $2\pi/\lambda \cdot L/(v/c)$

v =φασική ταχύτητα μέσα στον αγωγό της έλικας

Παράγοντα ταχύτητας ονομάζουμε την ταχύτητα φάσης σε σχέση με την ταχύτητα του φωτός στον ελεύθερο χώρο:

$$p = \frac{v}{c}$$

Έχει αποδειχθεί ότι για αξονικό ρυθμό ελικοειδούς κεραίας ο παράγοντας ταχύτητας για κύμα που διαδίδεται μέσα στον αγωγό της έλικας και για μέγιστη κατευθυντικότητα, ικανοποιεί τη σχέση:

$$p = \frac{\frac{2L}{\lambda}}{\frac{2S}{\lambda} + \frac{2N+1}{N}}, \text{ όπου:}$$

$$AR = \frac{2N+1}{N} = \text{λόγος των αξόνων της έλλειψης για } N \text{ σπείρες έλικα στον αξονικό ρυθμό.}$$

Παρατηρείστε ότι αν το N είναι μεγάλο τότε το AR προσεγγίζει την μονάδα και η πόλωση γίνεται κυκλική.

Παράδειγμα: Μια τυπική μορφή ελικοειδούς κεραίας έχει: $c=\lambda, a=12^\circ, N=12$. Από τις προηγούμενες σχέσεις παίρνουμε:

$$a=2.509\pi, S=0.213\lambda, L=1.022\lambda \text{ και } p=0.818$$

Βλέπουμε ότι η ταχύτητα φάσης είναι μικρότερη από την ταχύτητα που θα είχαμε στον ελεύθερο χώρο. Ένα τέτοιο κύμα το ονομάζουμε αργό κύμα¹.

Μια εμπειρική σχέση που δίνει το άνοιγμα μισής ισχύος της κεραίας είναι:

$$HP = \frac{52^\circ}{\frac{C}{\lambda} \sqrt{\frac{NS}{\lambda}}}$$

και ισχύει στις περιοχές όπου:

$$12^\circ < a < 15^\circ \quad \& \quad \frac{3}{4}\lambda < C < \frac{4}{3}\lambda \quad \& \quad N > 3$$

Η κατευθυντικότητα μετά από πράξεις προκύπτει:

¹ Εύλογα ίσως αναρωτηθείτε: “Μα καλά, γίνεται έτσι και αλλιώς να έχει μεγαλύτερη ταχύτητα από την ταχύτητα του φωτός”; Η απάντηση είναι ναι. Και αυτό γιατί η **ενέργεια** είναι αυτή που δεν ταξιδεύει με ταχύτητα μεγαλύτερη του φωτός. Η ταχύτητα φάσης όμως είναι η ταχύτητα του **κυματικού σχηματισμού** και όχι της ενέργειας.

$$D = 15 \left(\frac{C}{\lambda} \right)^2 \left(\frac{NS}{\lambda} \right)$$

Μια εμπειρική έκφραση της αντίστασης εισόδου είναι:

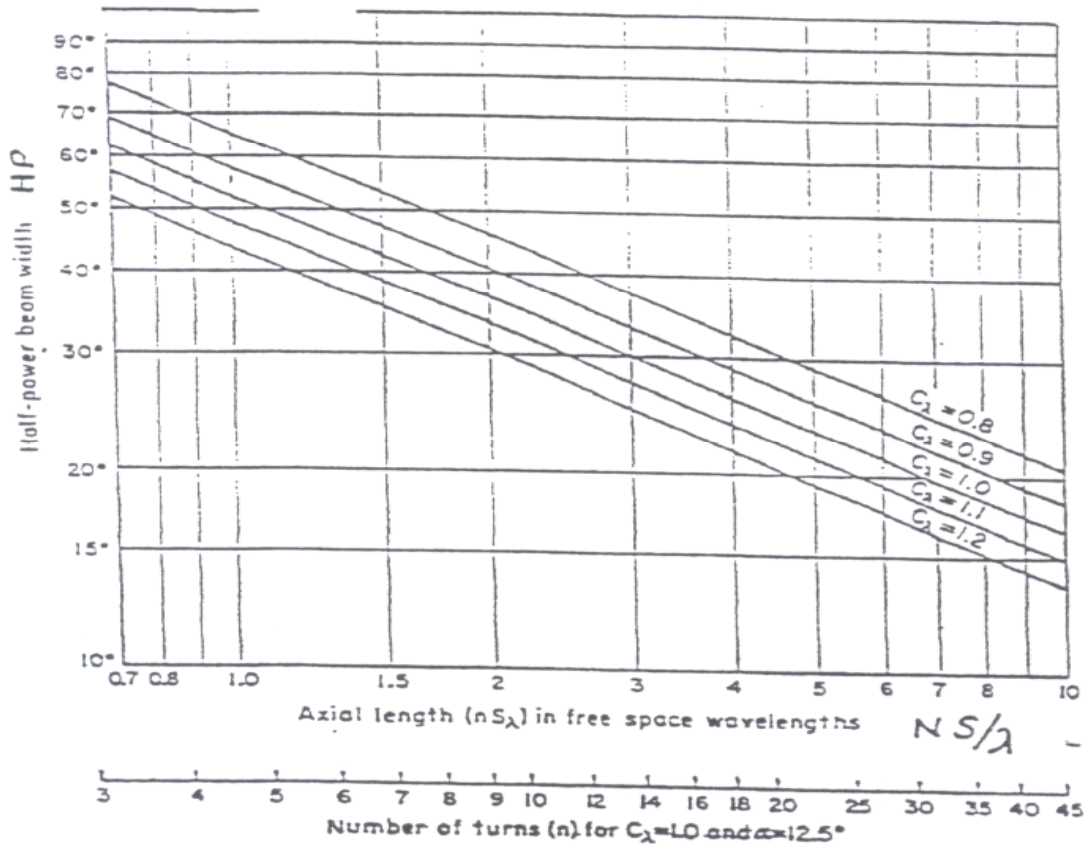
$$R_{in} = 140 \frac{C}{\lambda}$$

Η έκφραση αυτή είναι ακριβής $\pm 20\%$ με τις προϋποθέσεις που εκφράζονται για τη σχέση του HP.

Τέλος η τερματική αντίσταση της ελικοειδούς κεραίας όταν λειτουργεί στον αξονικό ρυθμό, είναι περίπου πραγματική.

Η επιλογή μιας κεραίας που να λειτουργεί σε αξονικό ρυθμό εξαρτάται από τη γωνία μισής ισχύος. Στο σχ.41 δίνεται η συσχέτιση της γωνίας ανοίγματος HP με το αξονικό μήκος της κεραίας και το μήκος C μιας σπείρας

όπου: $C_\lambda = \frac{C}{\lambda}$ και $S_\lambda = \frac{S}{\lambda}$.



Σχ. 58: Γωνία μισής ισχύος ελικοειδούς κεραίας στον αξονικό ρυθμό σε σχέση με το μήκος και την περιφέρεια της έλικας.

Παραδείγματα

1) Αν θέλουμε ελικοειδή κεραία με άνοιγμα 30° μπορούμε να έχουμε $\frac{C}{\lambda} = 1.2$ και $N \frac{S}{\lambda} = 2.2$ ή $\frac{C}{\lambda} = 1$ και

$N \frac{S}{\lambda} = 3$. Για $N=3$ σπείρες η πρώτη επιλογή δίνει γωνία:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{S}{C} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0.73}{1.2} \right) \Rightarrow \alpha = 31^\circ$$

και στη 2^η περίπτωση:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{S}{C} \right) = \tan^{-1} (1) \Rightarrow \alpha = 45^\circ$$

2) Για άνοιγμα 50° έχουμε:

α) $\frac{C}{\lambda} = 1.2$ και $N \frac{S}{\lambda} = 0.75$

β) $\frac{C}{\lambda} = 0.8$ και $N \frac{S}{\lambda} = 1.6$

3) Για $N=10$ σπείρες:

α) $\frac{C}{\lambda} = 1.2$ και $\frac{S}{\lambda} = \frac{0.75}{10} = 0.075$. Γωνία $\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{0.075}{1.2}\right) = 3.5^\circ$

β) $\frac{C}{\lambda} = 0.8$ και $\frac{S}{\lambda} = \frac{1.6}{10} = 0.16$. Γωνία $\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{0.16}{0.8}\right) = 11.3^\circ$.

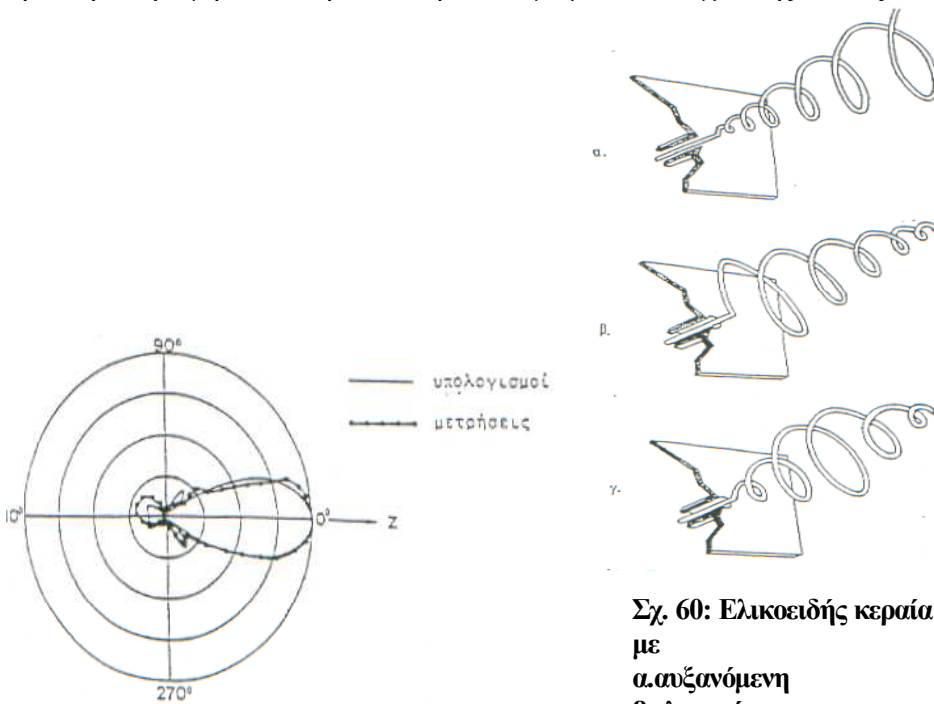
Κατασκευή ελικοειδούς κεραίας.

Στη πράξη οι κεραίες κατασκευάζονται από σωληνωτό αγωγό με διάμετρο $d=0.02\lambda$, απόσταση $S = \frac{\lambda}{4}$ και

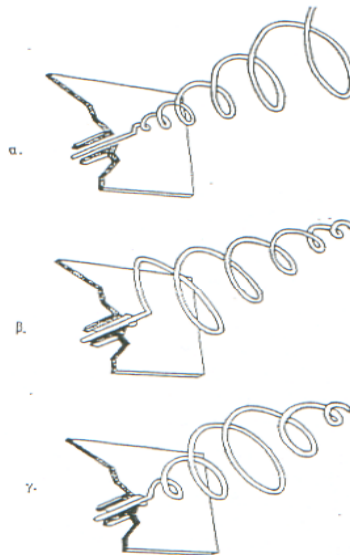
διάμετρο $D = \frac{\lambda}{4}$. Το επίπεδο γείωσης έχει διαστάσεις της τάξης του μήκους κύματος και η πρώτη σπείρα απέχει

απόσταση $\frac{\lambda}{8}$ απ' τη γείωση. Στο σχ.59 φαίνεται το διάγραμμα ακτινοβολίας μιας κεραίας με 10 σπείρες και

γίνεται σύγκριση των θεωρητικών και πειραματικών τιμών. Πολλές φορές αντί της ομοιόμορφης ελικοειδούς κεραίας χρησιμοποιούνται έλικες με αυξανόμενη, μειούμενη ή αυξομειούμενη διάμετρο. Τέτοιες κεραίες παρουσιάζουν μεγαλύτερο εύρος ζώνης συχνοτήτων και φαίνονται στο σχ.60. Τέλος αν θέλουμε ν' αυξήσουμε την κατευθυντικότητα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μια συστοιχία από ελικοειδής κεραίες σε κατάλληλη απόσταση και τροφοδοσία. Η ελικοειδής κεραία είναι πολύ απλή στη κατασκευή και έχει μερικές ενδιαφέρουσες ιδιότητες όπως μεγάλου εύρους και αντίσταση και ακτινοβολία κυκλικής πόλωσης. Χρειάζεται απλό κύκλωμα τροφοδοσίας και τα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας εύκολα υπολογίζονται. Έχει δεξιόστροφη ή αριστερόστροφη κυκλική πόλωση ανάλογα με το τύλιγμα της έλικας.



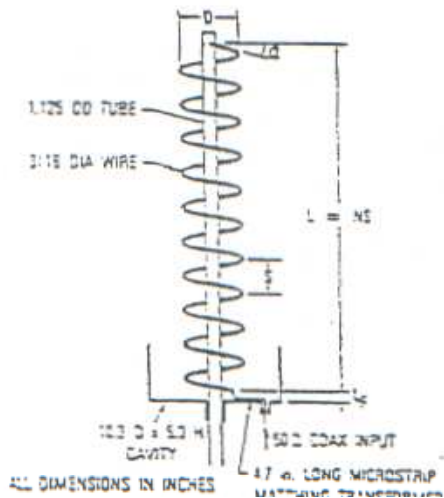
Σχ. 59



Σχ. 60: Ελικοειδής κεραία
με
α. αυξανόμενη
β. ελαττούμενη
γ. αυξοελαττούμενη

Συνήθως κατασκευάζονται από έλικα με ομοιόμορφη διάμετρο και λειτουργούν σε συνδυασμό με τεχνητό έδαφος ή αντηχείο. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως κεραίες με ομοιόμορφη διάμετρο έλικας

χρησιμοποιούνται για αύξηση του εύρους ζώνης και βελτίωση των χαρακτηριστικών ακτινοβολίας. Μια τυπική κατασκευή με ομοιόμορφη έλικα φαίνεται στο σχ.61.



— Σχ. 61: Μηχανική διάταξη μιας έλικας με αντηχείο για 600-1100 MHz

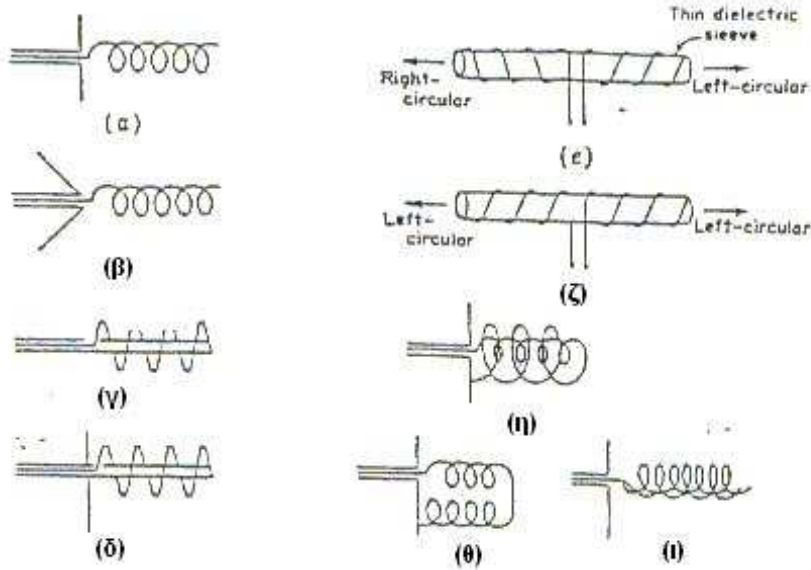
Η έλικα τερματίζεται σε κυκλικό αντηχείο αντί για το συνηθισμένο τεχνητό έδαφος, για να ελαττωθεί η ακτινοβολία προς τα πίσω και να βελτιωθεί η απολαβή της κεραίας. Η κεραία είναι σχεδιασμένη για να λειτουργεί στα UHF από 650-1100MHz. Οι διαστάσεις μπορεί να σχεδιαστούν και για άλλες συχνότητες. Η έλικα τροφοδοτείται με ομοαξονικό καλώδιο στο κάτω άκρο του αντηχείου. Ο αγωγός της έλικας κατασκευάζεται από σωληνωτό αγωγό ή επίπεδο αγωγό που στηρίζεται σε διηλεκτρικό κύλινδρο. Το κεντρικό μηχανικό στήριγμα μπορεί να είναι από μέταλλο ή διηλεκτρικό.

Διαφορετικοί τύποι αξονικού ρυθμού ελικοειδούς κεραίας

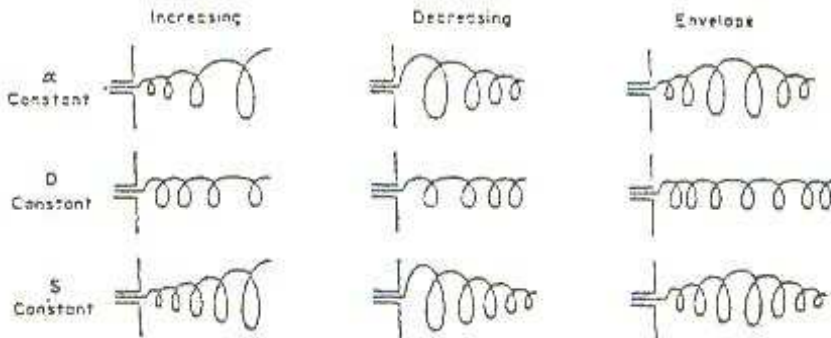
Περίληπτικά θα αναφερθούν μερικοί άλλοι τύποι ελικοειδούς κεραίας. Στο σχ.62(α) έχουμε τη συνηθισμένη έλικα με ομοιόμορφη διάμετρο και επίπεδη γείωση. Στο σχ.62 φαίνονται μερικοί άλλοι τρόποι τροφοδοσίας. Στο (β) η γείωση είναι αντί για επίπεδη κωνική. Οι τύποι (γ) και (δ) έχουν αγωγό που συμπίπτει με τον άξονα της έλικας. Η επίδραση του αγωγού αυτού δεν είναι μεγάλη επειδή η συνιστώσα του πεδίου κατά μήκος του άξονα είναι μικρή. Η ισοσταθμισμένη έλικα του (ε) δημιουργεί αντιθέτου τύπου κυκλική πόλωση από τα δύο άκρα της ενώ αυτή του (ζ) δημιουργεί του ίδιου τύπου και από τα δύο άκρα. Οι τύποι (η),(θ),(ι) είναι παραλλαγές με διάφορες έλικες με την ίδια ή διαφορετική διάμετρο. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία από ανομοιόμορφες έλικες ή αυξανόμενης ή ελαττούμενης διαμέτρου έλικες. Αυτές μπορούν να ομαδοποιηθούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

- 1)α σταθερό αλλά D και S μεταβαλλόμενα
- 2)D σταθερό αλλά α και S μεταβαλλόμενα
- 3)S σταθερό αλλά α και D μεταβαλλόμενα

Μπορεί να έχουμε βαθμιαία ελάττωση ή αυξοελαττούμενη διάμετρο. Υπάρχουν ακόμη μερικοί άλλοι τύποι ελίκων με ανομοιόμορφη διάμετρο που δείχνει το σχ.64. Στο (α) υπάρχει ομοιόμορφο τμήμα με τα δύο να έχουν ανομοιόμορφη διάμετρο. Στο (β) η έλικα έχει επίπεδο αγωγό ο οποίος βαθμιαία λεπτύνει προς το άκρο τροφοδοσίας και έχει σταθερό πάχος στο ανοικτό άκρο. Στο (γ) έχουμε βαθμιαία λεπτύνση του επίπεδου αγωγού με βαθμιαία αύξηση του D. Στο (δ) έχουμε βαθμιαία λεπτύνση της διαμέτρου του αγωγού και της έλικας. Στο (ε) λεπτύνση μόνο της διαμέτρου του αγωγού. Εφόσον τα χαρακτηριστικά του αξονικού ρυθμού της έλικας είναι σχετικά ανεπηρέαστα από μικρές αλλαγές στις διαστάσεις, τότε και η επίδραση των παραπάνω μικρών διαφορών από ομοιόμορφη έλικα δεν είναι μεγάλη.

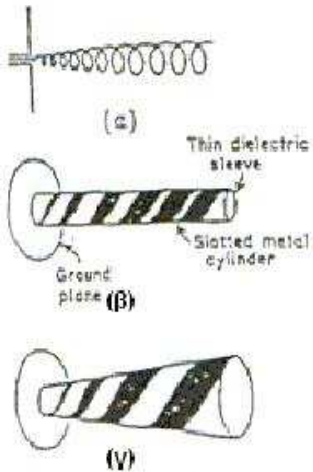


Σχ.62: Έλικες αξονικού ρυθμού με διάφορες κατασκευαστικές παραλλαγές και διατάξεις τροφοδοσίας

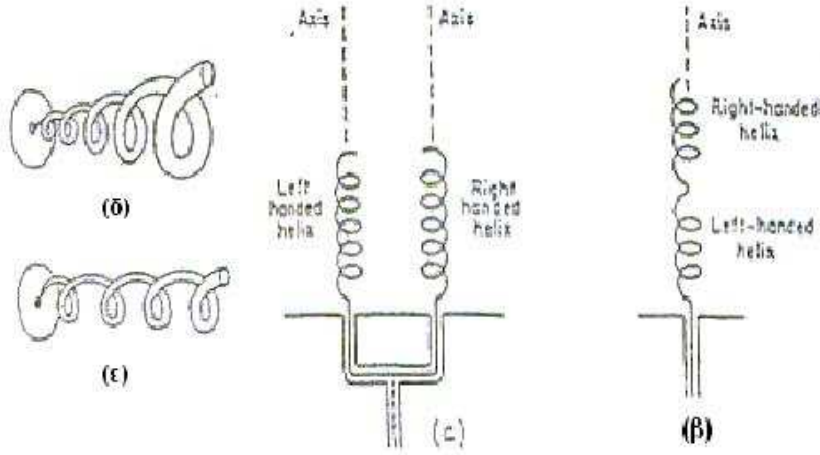


Σχ.63: Αξονικού ρυθμού έλικες με ανομοιόμορφη διάμετρο.

Μια ενδιαφέρουσα εφαρμογή του αξονικού ρυθμού της έλικας είναι η δημιουργία γραμμικής πόλωσης. Στο σχ.65(α) φαίνονται δυο όμοιες έλικες η μια με δεξιόστροφη κυκλική πόλωση και η άλλη με αριστερόστροφη κυκλική πόλωση που συνδυάζονται για να δώσουν στον άξονα γραμμική πόλωση. Αν το αποτέλεσμα είναι κύμα με κάθετη πόλωση τότε γυρνώντας την μια έλικα κατά 180° γύρω από τον άξονά της, το επίπεδο πόλωσης γίνεται οριζόντιο. Ακόμα μια μέθοδος για επίτευξη γραμμικής πόλωσης κατά τη διεύθυνση του άξονα είναι να συνδέσουμε σε σειρά μια δεξιόστροφη και μια αριστερόστροφη έλικα όπως στο σχ.65(β).



Σχ.64: Άλλες μορφές έλικας



Σχ. 65

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΣΠΙΤΙ

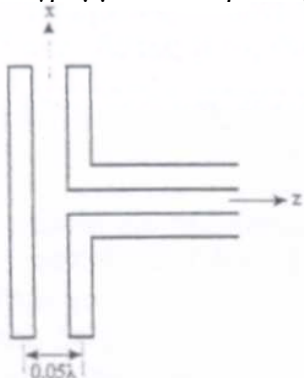
Πρόβλημα 24. Να κατασκευαστεί διάγραμμα της κατευθυντικότητας D ελικοειδούς κεραίας συναρτήσει του ολικού μήκους για τιμές $\frac{C}{\lambda} = 0.9, 1.1, 1.3$ και 1.5 . Υποτίθεται ότι $H_{RH} = H_{LE}$.

Πρόβλημα 25. Θέλουμε να κατασκευάσουμε ελικοειδή κεραία με άνοιγμα μισής ισχύος 40° . Αν η γωνία κλίσης είναι $\alpha = 12.6^\circ$ και η περιφέρεια μιας σπείρας είναι λ στη μέση συχνότητα των 476 MHz να υπολογιστούν:

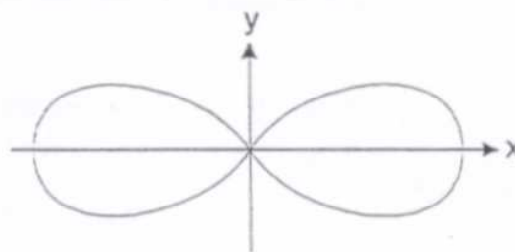
- α) Ο αριθμός των σπειρών
- β) Η κατευθυντικότητα
- γ) Το εύρος ζώνης
- δ) Η αντίσταση εισόδου για τη μεγαλύτερη συχνότητα.

Κεραίες Yagi-Uda

Για την αύξηση της κατευθυντικότητας, χρησιμοποιούμε στοιχειοκεραίες όπου τα στοιχεία τροφοδοτούνται άμεσα με κατάλληλα ρεύματα. Αν έχουμε μια γραμμική στοιχειοκεραία αποτελούμενη από παράλληλα δίπολα τα οποία δεν τροφοδοτούνται όλα άμεσα τότε η κεραία ονομάζεται παρασιτική. Τα δίπολα που δεν τροφοδοτούνται απευθείας είναι γνωστά σαν παρασιτικά. Αυτά τροφοδοτούνται επαγωγικά απ' τα δίπολα που τροφοδοτούνται άμεσα. Αν έχουμε π.χ ένα ενεργό άμεσα τροφοδοτούμενο δίπολο και ένα παρασιτικό το διάγραμμα ακτινοβολίας του θα είναι το εξής:



α. Μορφή της στοιχειοκεραίας



β. Διάγραμμα ακτινοβολίας στο H

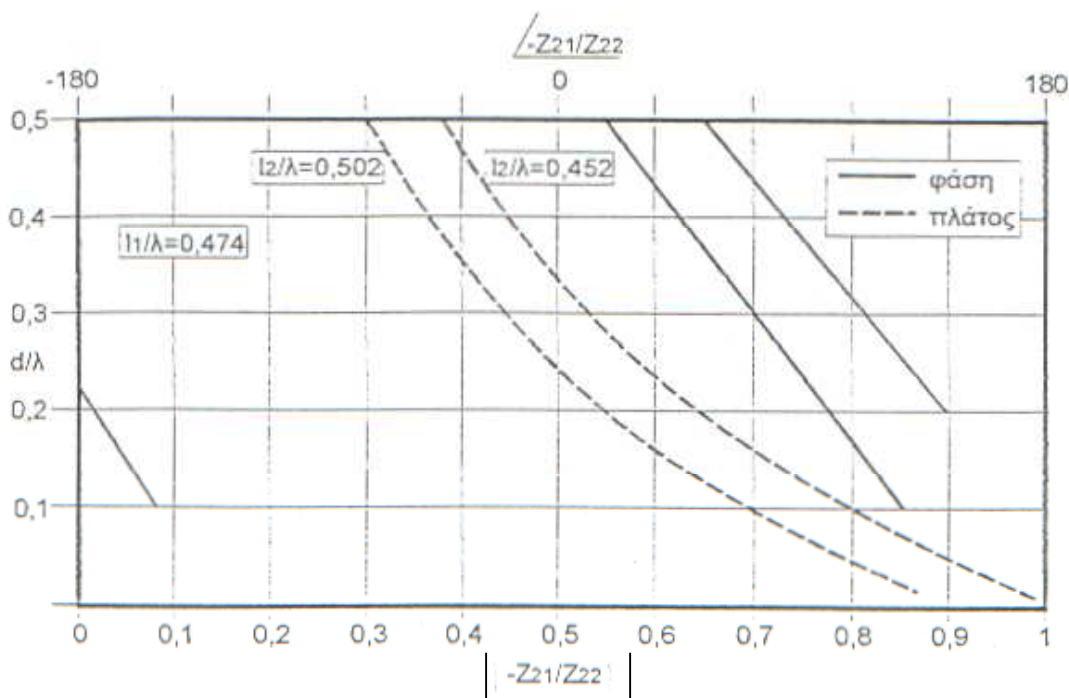
Σχ. 66: Μορφή διαγράμματος ακτινοβολίας στοιχειοκεραίας αποτελούμενης από ένα ενεργό και ένα παρασιτικό δίπολο.

Κατόπιν πράξεων προκύπτει ότι ο παράγοντας διάταξης της κεραίας $F(\theta)$ θα είναι:

$$F(\theta) = 1 - \left(\frac{Z_{21}}{Z_{22}} \right) e^{j\beta d \cos \theta} \quad (1)$$

Η σχέση (1) καθορίζει ότι ο παράγοντας διάταξης εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των δίπολων και απ' τις αντιστάσεις Z_{21} και Z_{22} . Οι αντιστάσεις αυτές είναι συνάρτηση της απόστασης d και του μήκους των δίπολων.

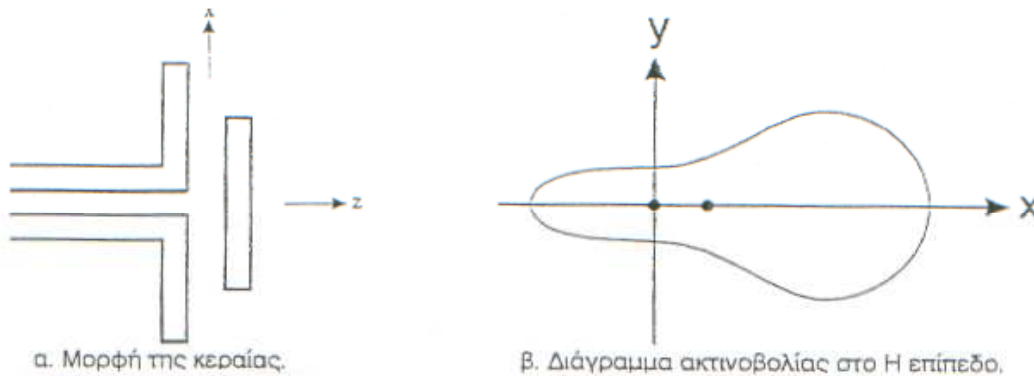
Το μήκος των δίπολων είναι μια κρίσιμη παράμετρος. Στο σχ.67 φαίνεται η τιμή του λόγου $\frac{Z_{21}}{Z_{22}}$ συναρτήσει του μήκους και της απόστασης.



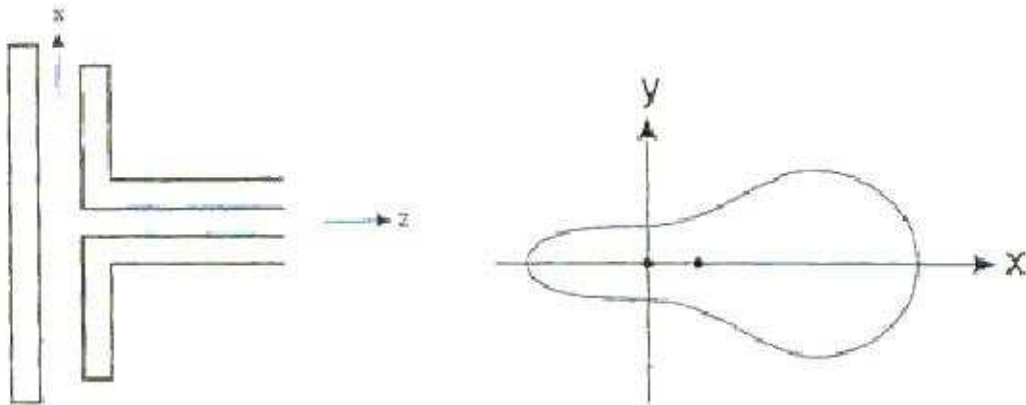
Σχ. 67: Διάγραμμα μεταβολής του λόγου $-Z_{21}/Z_{22}$ μιας κεραίας Yagi-Uda.

Είναι εύκολο να δούμε ότι το μήκος του ενός δίπολου μπορεί ν'αλλάξει εντελώς την μορφή του διαγράμματος ακτινοβολίας. Για παράδειγμα έστω ότι έχουμε κεραία με μήκος 1^{ου} δίπολου $\frac{I_1}{\lambda} = 0.474$. Όταν το μήκος του 2^{ου} δίπολου είναι $\frac{I_2}{\lambda} = 0.452$ και η απόσταση είναι $d = 0.15\lambda$ τότε έχουμε: $-\frac{Z_{21}}{Z_{22}} = 0.727 \angle -164^\circ$. Αντίθετα για

$\frac{I_2}{\lambda} = 0.502$ και την ίδια απόσταση έχουμε: $-\frac{Z_{21}}{Z_{22}} = 0.605 \angle 150^\circ$. Στην 1^η περίπτωση το διάγραμμα ακτινοβολίας έχει τη μορφή του σχήματος 68. Στη 2^η περίπτωση έχει τη μορφή του σχήματος 69.



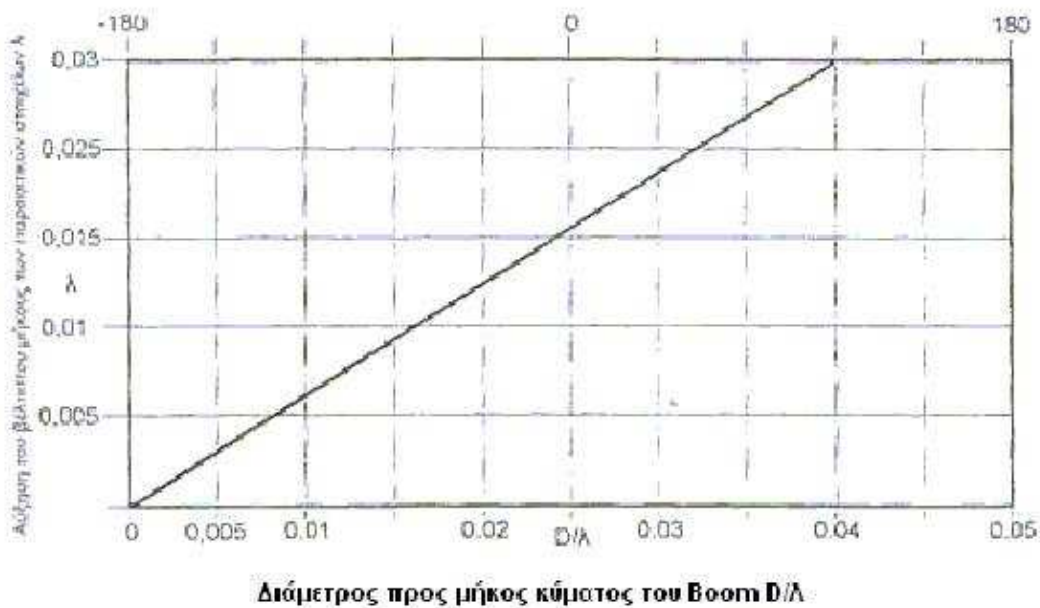
Σχ. 68: Κεραία Yagi-Uda με ένα κατευθυντήρα



α. Μορφή της κεραίας.

β. Διάγραμμα ακτινοβολίας στο Η επίπεδο

Σχ. 69:Κεραία Yagi-Uda αποτελούμενη από έναν ανακλαστήρα

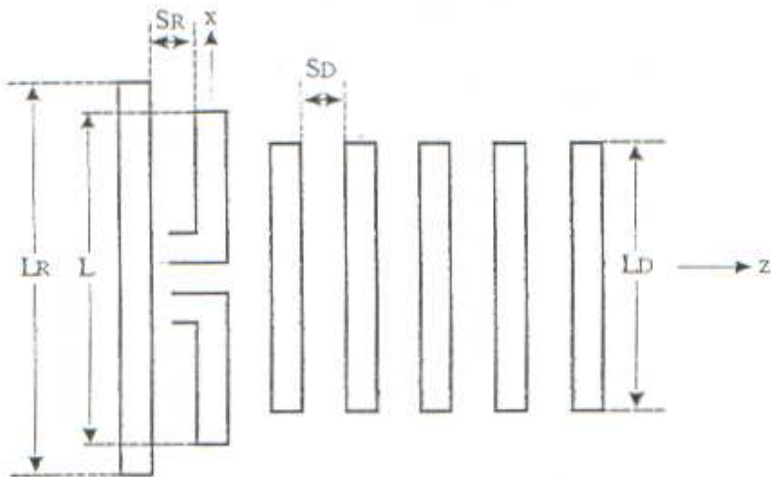
Διάμετρος προς μήκος κύματος του Βοοτη D/λ

Παρατηρούμε ότι αν το μήκος του παρασιτικού δίπολου είναι μεγαλύτερο ή μικρότερο του ενεργού, το παρασιτικό ονομάζεται ανακλαστήρας και ο κύριος λοβός εμφανίζεται προς την πλευρά του ενεργού δίπολου. Στην αντίθετη περίπτωση το παρασιτικό δίπολο λέγεται κατευθυντήρας και ο κύριος λοβός εμφανίζεται προς την πλευρά του. Με χρήση κατευθυντήρα και ανακλαστήρα όπως στην άσκηση που δίνεται, αυξάνουμε την κατευθυντικότητα της κεραίας ακόμα περισσότερο. Η μέγιστη τιμή κατευθυντικότητας μιας κεραίας Yagi-Uda με 3 δίπολα μπορεί να φτάσει την τιμή των 9db.

Η βέλτιστη απόσταση μεταξύ κατευθυντήρα-ενεργού και ενεργού-ανακλαστήρα κυμαίνεται μεταξύ 0.15λ και 0.25λ.

Ο ανακλαστήρας είναι 5% μεγαλύτερος και ο κατευθυντήρας 5% μικρότερος απ' το ενεργό δίπολο. Η παρουσία των δύο παρασιτικών δίπολων επηρεάζει το ενεργό δίπολο με αποτέλεσμα την μείωση της αντίστασης εισόδου του στα 26Ω.

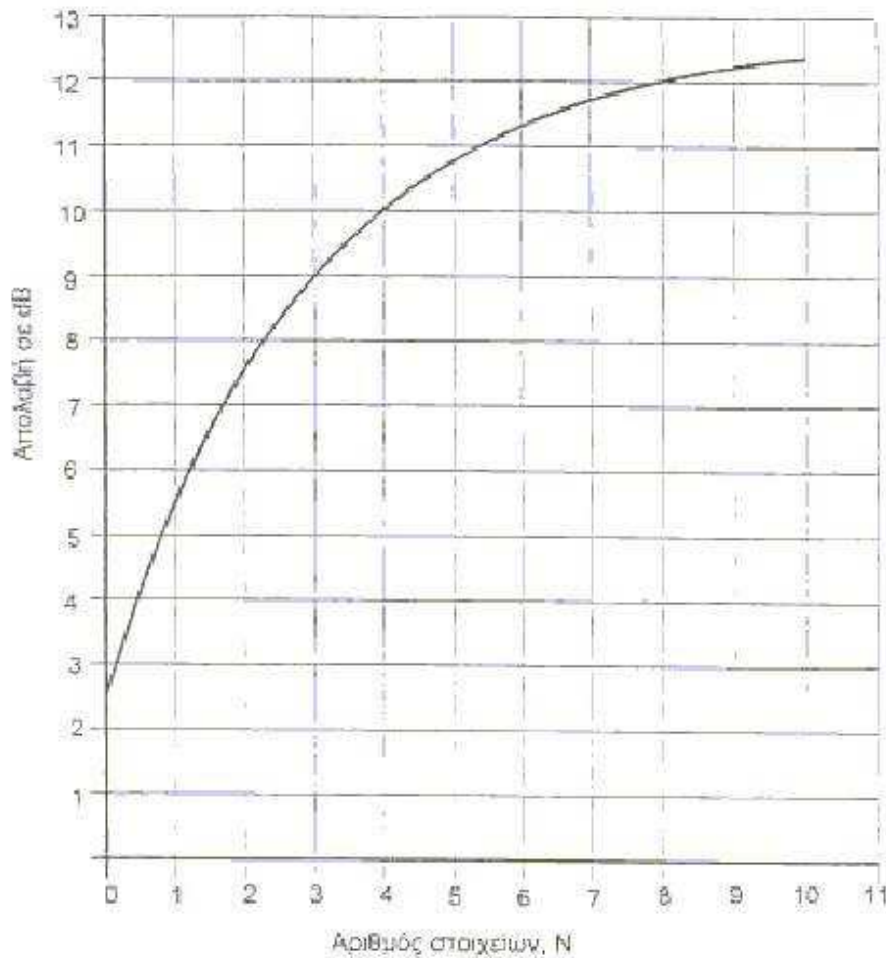
Οι κεραίες Yagi-Uda με ένα ενεργό δίπολο, ένα ανακλαστήρα και πολλούς κατευθυντήρες έχουν γίνει αντικείμενο μελέτης μέχρι σήμερα. Μια τέτοια κεραία φαίνεται στο σχ.70.



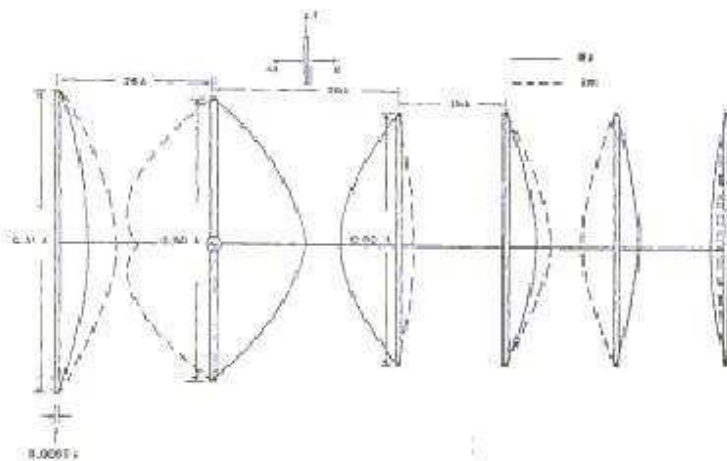
Σχ. 70: Γενική μορφή μιας κεραίας Yagi-Uda.

Όσο οι κατευθυντήρες απομακρύνονται από το ενεργό δίπολο τόσο μειώνεται το ρεύμα που εμφανίζουν. Η τοποθέτηση κατευθυντήρων βελτιώνει την κατευθυντικότητα της κεραίας, αλλά πέρα από έναν ορισμένο αριθμό η βελτίωση είναι πολύ μικρή. Στο διάγραμμα του σχ.71 φαίνεται ο συνολικός αριθμός των δίπολων μιας κεραίας Yagi-Uda συναρτήσει της επιδιωκόμενης απολαβής (gain). Επίσης παρατίθεται ένας πίνακας που δίνει τις αντιπροσωπευτικότερες τιμές με τις οποίες μπορούμε να κατασκευάσουμε μια κεραία Yagi-Uda. Όπως παρατηρούμε τα ρεύματα των παρασιτικών δίπολων μειώνονται όσο απομακρυνόμαστε από το ενεργό δίπολο. Στη πράξη η κεραία Yagi που θα κατασκευαστεί γίνεται από έναν άξονα αλουμινίου, όπου επάνω του τοποθετούνται τα δίπολα. Εκτός από το ενεργό δίπολο τα άλλα δεν είναι απαραίτητο να απομονωθούν από τον άξονα. Στις πιο πολλές περιπτώσεις το ενεργό δίπολο είναι πτυσσόμενο για λόγους αύξησης της αντίστασης εισόδου.

Το μικρό κόστος και η ευκολία κατασκευής έχουν καταστήσει τις κεραίες Yagi τις περισσότερο χρησιμοποιούμενες για τις περιοχές συχνοτήτων HF, VHF και UHF.



Σχ.71: Αποδοσία ισχύος κεραίας Yagi-Uda συναρτήσεως του αριθμού των στοιχείων της



Πρόβλημα 24: Να σχεδιασθεί κεραία που θα χρησιμοποιηθεί στα 70MHz με εξίσου καλή απόδοση προς την βόρεια και την νότια κατεύθυνση που ακτινοβολεί, όμως, πολύ λίγη ενέργεια προς τις κατευθύνσεις ανατολική και δυτική. Ο παράγοντας ταχύτητας είναι 0.8. Επίσης να σχεδιασθεί η ίδια κεραία να λειτουργεί στα 300MHz, ακτινοβολώντας μόνο κατά την βόρεια κατεύθυνση με τον παράγοντα ταχύτητας να είναι 0.75 για τα στοιχεία της κεραίας και 1 για τον χώρο μεταξύ των στοιχείων.

Λύση

Από την (1) έχουμε: $f\lambda = kc \Rightarrow 70 \cdot 10^6 \lambda = 0,8 \cdot 3 \cdot 10^8 \Rightarrow \lambda = 3,42m$.

Όμως έχουμε κεραία Hertz οπότε το μήκος της θα είναι:

$$\frac{\lambda}{2} = 1,71m .$$

Για την δεύτερη κεραία τώρα έχουμε πάλι από την (1) για τα στοιχεία της κεραίας:

$$300 \cdot 10^6 \lambda = 0,75 \cdot 3 \cdot 10^8 \Rightarrow \lambda = 0,75m .$$

Το μήκος του δίπολου θα είναι:

$$\frac{\lambda}{2} = 0,375m .$$

Το μήκος του ανακλαστήρα θα είναι:

$$L_R = \frac{\lambda}{2} + 0,05 \frac{\lambda}{2} = 0,375 + 0,0319 = 0,3937m$$

Το μήκος του κατευθυντήρα θα είναι:

$$L_D = \frac{\lambda}{2} - 0,05 \frac{\lambda}{2} = 0,3431m$$

Ακολουθεί ο υπολογισμός των αποστάσεων μεταξύ των παρασιτικών στοιχείων και του δίπολου. Αρχικά υπολογίζουμε από την (1) το νέο λ στον χώρο:

$$300 \cdot 10^6 \lambda = 1 \cdot 3 \cdot 10^8 \Rightarrow \lambda = 1m$$

Απόσταση οδηγούμενου στοιχείου με ανακλαστήρα:

$$0,15\lambda = 0,15 \cdot 1 = 0,15m$$

Απόσταση οδηγούμενου στοιχείου με κατευθυντήρα:

$$0,1\lambda = 0,1 \cdot 1 = 0,1m$$

Πρόβλημα 25: Κεραία Yagi με 5 κατευθυντήρες και ένα ανακλαστήρα διεγείρει την είσοδο ενός δέκτη T.V με σήμα στη συχνότητα $f=200\text{MHz}$. Το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο του πομπού στην περιοχή του δέκτη έχει ένταση $E=1\text{mV/m}$. Η αντίσταση εισόδου του δέκτη είναι $R_{\text{εισ}}=300\ \Omega$. Ζητείται να υπολογιστεί η ισχύς και η τάση, που δίνει η κεραία στο δέκτη.

Λύση:

Το κατευθυντικό κέρδος μιας κεραίας Yagi με 5 κατευθυντήρες είναι: $d=g=2,5v=2,5 \times 5=12,5=11\text{dB}$.

Το μήκος κύματος είναι: $\lambda=c/f=1,5\text{m}$. Η ενεργός επιφάνεια της κεραίας είναι:

$$A = \frac{d\lambda^2}{4\pi} = 2,24\text{m}^2 .$$

Η επιφανειακή πυκνότητα ισχύος του πεδίου που εκπέμπει ο πομπός, στην περιοχή του δέκτη είναι:

$$N_{\Pi} = \frac{E^2}{2Z_{\kappa}} = \frac{(10^{-3})^2}{2 \times 120\pi} = 1,3\text{nW/m}^2 .$$

Η ισχύς που δίνει η κεραία στο δέκτη της τηλεόρασης δίνεται από τη σχέση:

$$A = \frac{P_r}{N_{\Pi}} \Rightarrow P_r = 3\text{nW} .$$

Από την ισχύ που παίρνει ο δέκτης, υπολογίζεται ότι η τάση στην είσοδό του είναι:

$$V = \sqrt{P_r \cdot R_{\text{εισ}}} = 1\text{mV} .$$

Κατοπτρική κεραία

Όταν προσεγγίσουμε τα εκατοστομετρικά μήκη κύματος οι δυνατότητες σχεδίασης κεραίας αλλάζουν δραστικά. Σε προηγούμενες κεραίες έχει βρεθεί ότι όσο πιο μεγάλη είναι η στοιχειοκεραία σε σχέση με το μήκος κύματος τόσο πιο μικρό είναι το άνοιγμα της δέσμης. Σε χαμηλές συχνότητες π.χ δεν είναι δυνατή η κατασκευή στοιχειοκεραίας με διαστάσεις μεγαλύτερες από ένα ή δυο μήκη κύματος. Σε εκατοστομετρικά μήκη κύματος όμως είναι δυνατό να κατασκευαστούν κεραίες με μικρό άνοιγμα δέσμης-και συνεπώς μεγάλης

κατευθυντικότητας-που βρίσκουν εφαρμογή σε τηλεπικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων, ραντάρ ισχυρής διακριτικής ικανότητας και ραδιοζεύξη point to point. Οι απαιτήσεις μιας τέτοιας κεραίας για ραδιοζεύξη είναι γενικά απλές-μεγάλο κέρδος και μικρό άνοιγμα δέσμης στο οριζόντιο και κάθετο επίπεδο. Για ραντάρ οι απαιτήσεις ποικίλουν και είναι πολύ πιο αυστηρές. Ανάλογα με την εφαρμογή η δέσμη του ραντάρ μπορεί να έχει μικρό άνοιγμα δέσμης και στα δύο επίπεδα ή μόνο στο ένα από τα δύο ή να έχει κάποιο άλλο ειδικό σχήμα και σε όλες τις περιπτώσεις οι δευτερεύοντες λοβοί πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότεροι.

Έχει αποδειχθεί ότι αν μια διατομή έχει μέγιστη διάσταση D σε οποιοδήποτε επίπεδο, τότε η ελάχιστη γωνία Θ (ακτίνα) κατά την οποία η ακτινοβολία μπορεί να συγκεντρωθεί σ' αυτό το επίπεδο είναι κατά προσέγγιση

$$\Theta = \frac{\lambda}{D} \quad (1). \text{ Διατομή εδώ είναι η επίπεδη επιφάνεια μέσα από την οποία η ακτινοβολία της κεραίας εκπέμπεται.}$$

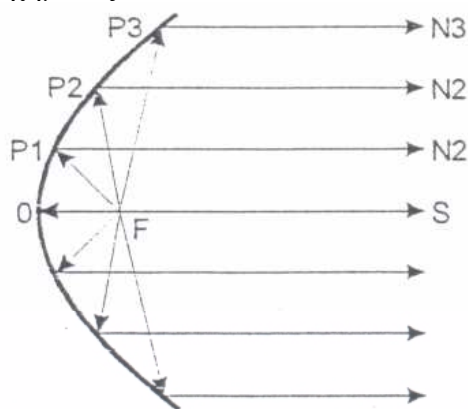
Οπότε είναι δυνατή η κατασκευή κεραίας μεγάλης κατευθυντικότητας που δεν είναι δυνατή για μεγάλα μήκη κύματος.

Ανακλαστήρες

Η απλούστερη κεραία ανακλαστήρα αποτελείται από δύο μέρη:

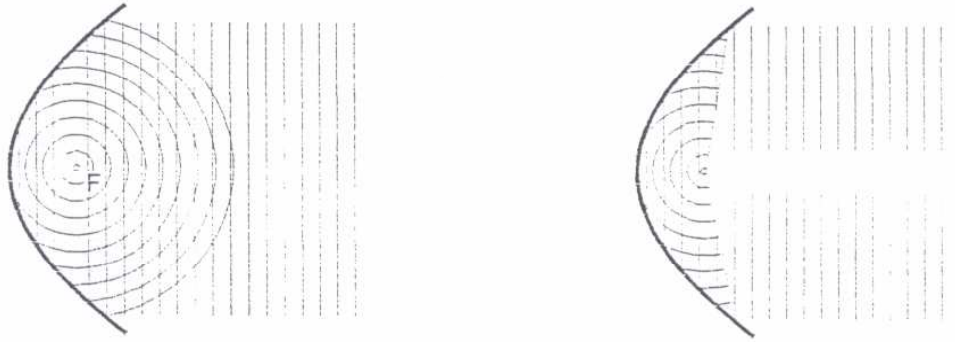
1. Την ανακλαστική επιφάνεια η οποία είναι πολύ μεγάλη σε σχέση με το μήκος κύματος και
2. Την κεραία διέγερσης ή τροφοδότησης, η οποία είναι μικρή.

Για διατομές μεγαλύτερες των δύο μηκών κύματος μικρότερη γωνία ανοίγματος δέσμης για δεδομένη διατομή μπορεί να επιτευχθεί με ανακλαστήρα παραβολικού σχήματος. Ένας τέτοιος ανακλαστήρας είναι αυτός του σχήματος 72.



Σχ. 72: Παραβολικός ανακλαστήρας

Το σημείο F είναι σταθερό σε σχέση με την παραβολή και ονομάζεται εστία. Η απόσταση OF είναι η εστιακή απόσταση. Όλες οι ακτίνες που προέρχονται από μια σημειακή πηγή στο σημείο F ανακλώνται από τον καθρέπτη σαν μια δέσμη παράλληλη του OS , του άξονα της παραβολής. Επίσης η διαδρομή όλων των ακτίνων είναι η ίδια. Για παράδειγμα στο σχήμα μας, $FP_1 + P_1N_1 = FP_2 + P_2N_2$. Οπότε ο σκοπός της παραβολής είναι να μετατρέψει το σφαιρικό μέτωπο που προέρχεται από το εστιακό σημείο σε επίπεδο μέτωπο στο στόμιο της παραβολής όπως φαίνεται στο σχ. 73. Το τμήμα της ακτινοβολίας από το εστιακό σημείο που δεν ανακλάται από τον καθρέπτη συνεχίζει σαν σφαιρικό μέτωπο το οποίο αποκλίνει από την κύρια ακτινοβολία. Αυτή η ισχύς είναι απώλεια. Μπορεί να αφαιρεθεί αν θωρακιστεί ένα μέρος της πηγής, χάνοντας όμως το κεντρικό τμήμα της κύριας ακτινοβολίας.



Σχ. 73: Ανάκλαση μετώπων από παραβολικό καθρέπτη: (αριστερά) με ιστροπική πηγή στην εστία, (δεξιά) με θωρακισμένο ένα μέρος της πηγής.

Παραβολικοί ανακλαστήρες

Αν περιστραφεί η παραβολή του σχ.72 γύρω από τον άξονα OS, θα σχηματισθεί μια επιφάνεια που ονομάζεται παραβολοειδής. Ο ανακλαστήρας που προκύπτει παράγει παράλληλη δέσμη με κυκλική διατομή. Αυτή η ιδιότητα χρησιμοποιείται και στα φανάρια των αυτοκινήτων. Σε μικροκυματικές συχνότητες το μήκος κύματος δεν είναι αμελητέο σε σχέση με τις διαστάσεις του στομίου και μια σημειακή πηγή δεν είναι στη πράξη πραγματοποιήσιμη. Κάτω από αυτές της συνθήκες ο παραβολικός ανακλαστήρας προσφέρει δέσμη η οποία είναι ως ένα βαθμό αποκλίνουσα και δεν μπορεί να υπολογιστεί με την γεωμετρική οπτική. Το διάγραμμα ακτινοβολίας της πηγής και ανακλαστήρα δίνει ένα στενό κύριο λοβό κατά τη διεύθυνση του άξονα του ανακλαστήρα. Επίσης το διάγραμμα ακτινοβολίας περιλαμβάνει και μικρούς δευτερεύοντες λοβούς. Με την προϋπόθεση ότι ο ανακλαστήρας ακτινοβολεί ομοιόμορφα, δηλαδή το πλάτος και η φάση του πεδίου είναι σταθερά σε όλη την επιφάνεια, μπορεί να αποδειχθεί ότι η απολαβή G για διάμετρο διατομής D σε σχέση με το δίπολο είναι:

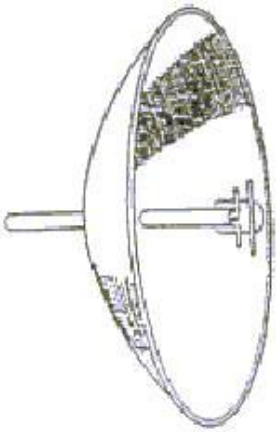
$$G = 6 \left(\frac{D}{\lambda} \right)^2 \quad (2)$$

Αυτό προϋποθέτει ότι η διάμετρος D είναι αρκετά μεγάλη σε σχέση με το μήκος κύματος λ . Για παράδειγμα αν ένα παραβολοειδές έχει διάμετρο $D=10\lambda$ θα έχει απολαβή $G=600 \cong 28\text{db}$ σε σχέση με το δίπολο. Το διάγραμμα ακτινοβολίας είναι επίσης συνάρτηση του λόγου $\frac{D}{\lambda}$. Η εξάρτησή του με τη γωνία ανοίγματος φαίνεται στο σχ.75 το οποίο δίνει θεωρητικά διαγράμματα ακτινοβολίας για ανακλαστήρα με διάμετρο $D=10\lambda$. Στα σχήματα φαίνονται και δευτερεύοντες λοβοί από τους οποίους ο μεγαλύτερος έχει θεωρητική τιμή 13% του κύριου λοβού ή $\text{SLL}=17,6\text{db}$.

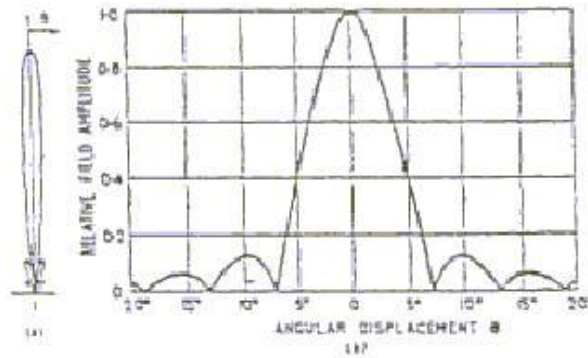
Στη πράξη η ακτινοβολία δεν είναι ομοιόμορφη αλλά ελαττώνεται προοδευτικά προς το στόμιο. Η κατανομή εξαρτάται από τη μέθοδο τροφοδοσίας του ανακλαστήρα. Μια τυπική μέθοδος φαίνεται στο σχ.74 και αποτελείται από μια διάταξη δίπολου με ανακλαστήρα όπου ο ανακλαστήρας είναι μπροστά από το ενεργό δίπολο για να εμποδίζει την κατευθείαν ακτινοβολία μπροστά από το δίπολο. Αυτός ο τρόπος τροφοδοσίας δίνει άνοιγμα δέσμης περίπου 25% μεγαλύτερο από τη θεωρητική τιμή του σχ.75 όπου η γωνία μισής ισχύος

είναι περίπου $\left(\frac{74\lambda}{D} \right)^0$ στο επίπεδο του δίπολου και $\left(\frac{66\lambda}{D} \right)^0$ στο κάθετο επίπεδο του δίπολου. Στη πράξη έχει

βρεθεί ότι το άνοιγμα δέσμης για τους περισσότερους τρόπους τροφοδοσίας κυμαίνεται μεταξύ $(1.2 \pm 0.2) \frac{\lambda}{D}$ ακτίνια. Όταν μεγαλώνει το άνοιγμα δέσμης ελαττώνεται η απολαβή,

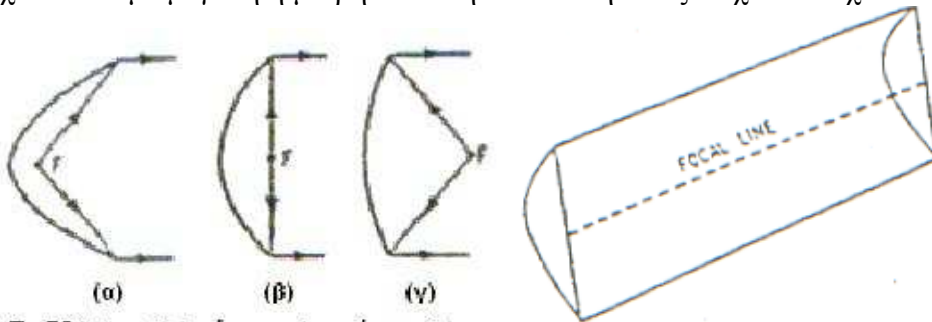


Σχ. 74: Παραβολοειδής ανακλαστήρας τροφοδοτούμενος από δίπολο.



Σχ.75 :Διάγραμμα ακτινοβολίας παραβολοειδούς διαμέτρου $D=10\lambda$: (α) Σε πολικές συντεταγμένες (β) Σε καρτεσιανές συντεταγμένες

συνήθως κατά 65% της τιμής που δίνει η εξίσωση (2). Η ελάττωση της ακτινοβολίας στο στόμιο έχει και ένα σημαντικό πλεονέκτημα. Ελαττώνει το πλάτος των δευτερευόντων λοβών. Πρακτικά αυτό μπορεί να γίνει τουλάχιστον μέχρι 20db κάτω του κύριου λοβού. Ένα παραβολοειδές με δεδομένη διατομή μπορεί να σχεδιαστεί με μεγάλη ή μικρή εστιακή απόσταση όπως δείχνει το σχ.76:



Σχ.76: Παραβολικός ανακλαστήρας: (α) Εστία μέσα από το επίπεδο ανοίγματος, (β) εστία στο επίπεδο ανοίγματος, (γ) εστία έξω από το επίπεδο ανοίγματος.

Σχ. 77: Παραβολικός κυλινδρικός ανακλαστήρας

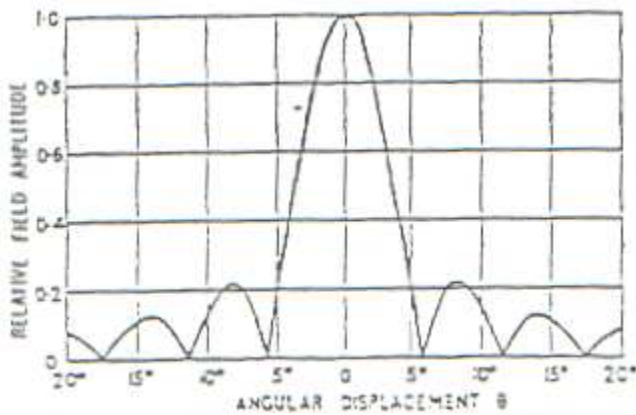
Αν η εστιακή απόσταση είναι μικρή ώστε η εστία να βρίσκεται μέσα από το επίπεδο του στομίου (σχ.76 (α)), τότε θα είναι δύσκολο να βρεθεί πηγή που να δίνει ομοιόμορφη ακτινοβολία σε τόσο μεγάλη γωνία. Από την άλλη όμως με μεγάλη εστιακή απόσταση όπως στο σχ.76(γ), ίσως καταστεί δύσκολη η εστίαση όλης της ακτινοβολίας από την πηγή στον καθρέπτη. Συνήθως η διάταξη που δίνει μέγιστη απολαβή είναι αυτή του σχ.76(β) η εστία της οποίας βρίσκεται στο επίπεδο του ανοίγματος του κατόπτρου. Η γεωμετρία της παραβολής μας δείχνει ότι όταν η εστία βρίσκεται στο επίπεδο του ανοίγματος, η εστιακή απόσταση είναι ίση με το $\frac{1}{4}$ της

διαμέτρου του ανοίγματος. Η δέσμη που δημιουργείται απ' το παραβολοειδές έχει περίπου το ίδιο πάχος στο επίπεδο του δίπολου, όσο και στο κάθετο στο δίπολο επίπεδο και το σχήμα της δέσμης είναι σαν μολύβι. Κάποιος βαθμός ρύθμισης του σχήματος της δέσμης είναι δυνατό να επιτευχθεί αφαιρώντας τμήματα από το παραβολοειδές. Έτσι όμως επιτυγχάνεται μικρή σχετικά ρύθμιση.

Παραβολικός κυλινδρικός ανακλαστήρας

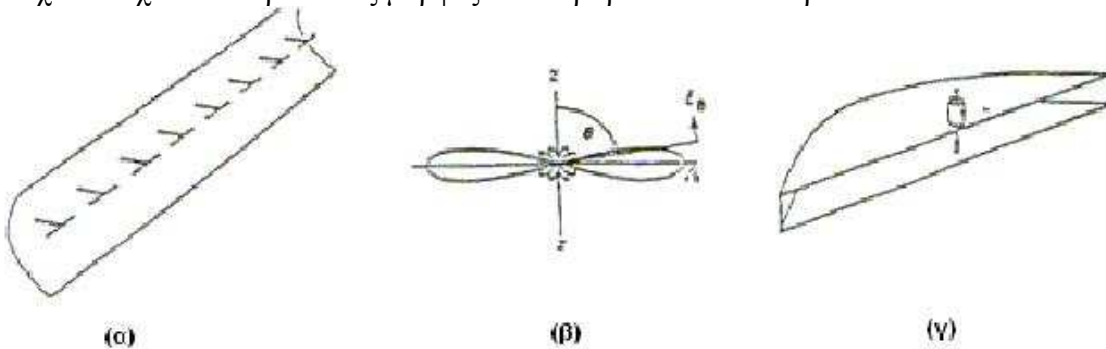
Το σχ.77 δείχνει ένα παραβολικό κυλινδρικό ανακλαστήρα. Αν μια γραμμική πηγή τοποθετηθεί κατά μήκος της εστιακής γραμμής (FOCAL LINE) ώστε ο ανακλαστήρας να ακτινοβολεί ομοιόμορφα τότε ο ανακλαστήρας θα εστιάσει τη δέσμη στο κάθετο επίπεδο.

Το θεωρητικό άνοιγμα δέσμης είναι λίγο πιο μικρό απ' αυτό του παραβολοειδούς και για διατομή ίση με 10λ αυτό δίνεται από το σχ.78:



Σχ. 78: Διάγραμμα ακτινοβολίας παραβολικού κυλίνδρου διατομής ίση με 10λ .

Το σχ.79 δείχνει δυο πρακτικές μορφές του παραβολικού κυλίνδρου:



Σχ.79 : (α) Παραβολικός κυλινδρικός ανακλαστήρας με γραμμική πηγή αποτελούμενη από 8 δίπολα , (β) διάγραμμα ακτινοβολίας του (α) , (γ) κεραία cheese με ηλεκτρόδιο τροφοδοτούμενο από ομοαξονικό καλώδιο.

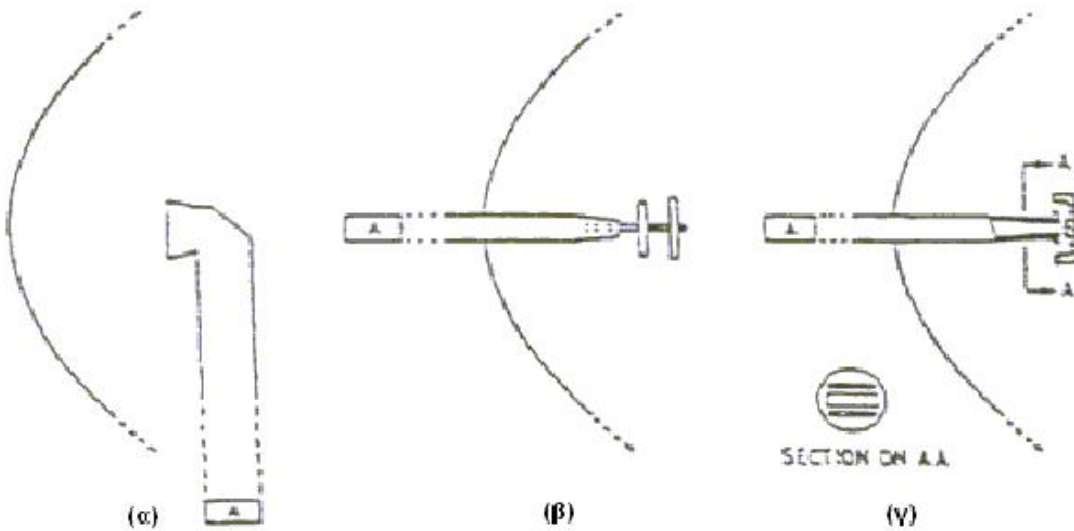
Το 79(α) χρησιμοποιεί σαν πηγή μια στοιχειοσειρά από δίπολα και το διάγραμμα ακτινοβολίας του φαίνεται στο σχ.79(β). Η απολαβή αυτής της κεραίας μπορεί να βρεθεί κατά προσέγγιση από τη σχέση:

$$G = 7.7 \frac{ab}{\lambda^2} \quad (3)$$

όπου a και b η μεγάλη και μικρή διάσταση του ανοίγματος αντίστοιχα. Στο σχ.79(γ) φαίνεται ένας μικρός παραβολικός κύλινδρος κλεισμένος μεταξύ δυο παράλληλων επίπεδων πλακών. Αυτός ο τύπος ανακλαστήρα ονομάζεται παραβολικός ανακλαστήρας τύπου "cheese". Η κεραία τροφοδοτείται από ένα ηλεκτρόδιο που συνδέεται στο άκρο μιας ομοαξονικής γραμμής. Αυτή η κεραία θα δώσει μια πολύ λεπτή δέσμη στο οριζόντιο επίπεδο και μεγάλο άνοιγμα στο κατακόρυφο. Αυτού του τύπου οι κεραίες χρησιμοποιούνται σε ραντάρ πλοίων.

Τροφοδοσία παραβολικού κατόπτρου

Υπάρχουν πολλοί τρόποι τροφοδοσίας του κατόπτρου. Ο πιο απλός είναι ένα δίπολο που τροφοδοτείται από ομοαξονικό καλώδιο και έχει ένα μικρό ανακλαστήρα μπροστά για να αποτρέπει την κατευθείαν ακτινοβολία, όπως φαίνεται στο σχ.74. Αυτός ονομάζεται δευτερεύον ανακλαστήρας ή υποανακλαστήρας. Μπορεί για το σκοπό αυτό να χρησιμοποιηθεί ένα παρασιτικό δίπολο που τοποθετείται σε απόσταση $\frac{\lambda}{8}$ μπροστά από το ενεργό δίπολο ή να χρησιμοποιηθεί επίπεδος ανακλαστήρας σε απόσταση περίπου 0.4λ . Το σχ.80 δείχνει τυπικές περιπτώσεις τροφοδότησης με κυματοδηγό.

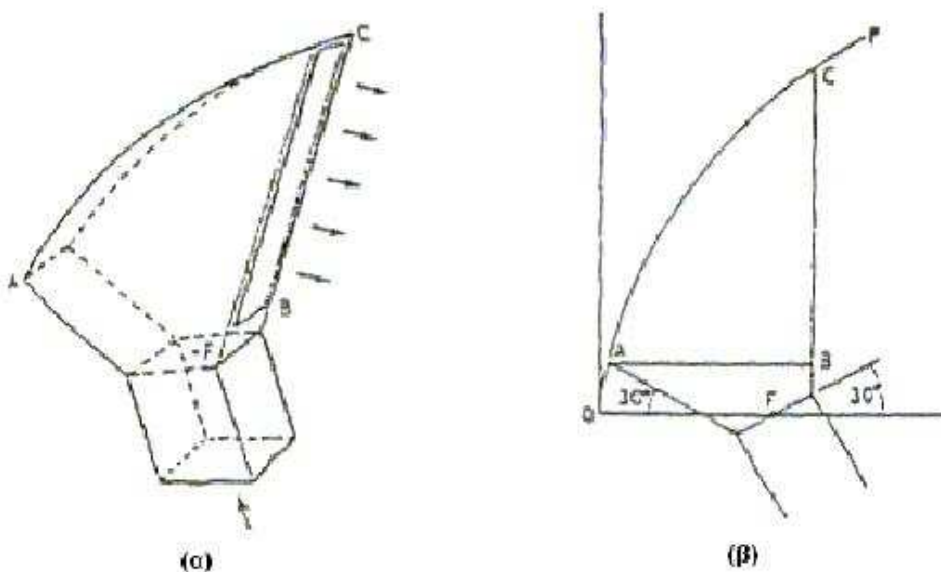


Σχ.80: Τροφοδότηση παραβολικού ανακλαστήρα: (α) Μπροστινή τροφοδότηση με κυματοδηγό, (β) οπίσθια τροφοδότηση με κυματοδηγό και δίπολο, (γ) οπίσθια τροφοδότηση με κυματοδηγό και σχισμή.

Στο 80(α) η ισχύς πηγαίνει μέσω κυματοδηγού και ακτινοβολείται από μια χοάνη. Στο 80(β) η ισχύς από κυματοδηγό τροφοδοτεί το πρώτο από τα δύο δίπολα το οποίο ακτινοβολεί την ενέργεια. Τα δίπολα στηρίζονται όπως φαίνεται σε αγωγίμη πλάκα η οποία είναι κάθετη του ηλεκτρικού πεδίου και δεν επηρεάζει την ακτινοβολία. Ο κυματοδηγός παίρνει το σχήμα που φαίνεται για καλύτερη προσαρμογή. Μια πιο απλή τροφοδοσία με ικανοποιητικά αποτελέσματα μπορεί να γίνει αν αντί του δίπολου χρησιμοποιηθεί ένας μικρός επίπεδος ανακλαστήρας όπως στο σχ.80(γ). Η τοποθέτηση του μικρού ανακλαστήρα ρυθμίζεται για να δώσει την επιθυμητή πόλωση. Στο σχ.63(α) έχουμε οριζόντια πόλωση ενώ στα (β) και (γ) έχουμε κάθετη πόλωση.

Τροφοδοσία παραβολικού κυλίνδρου

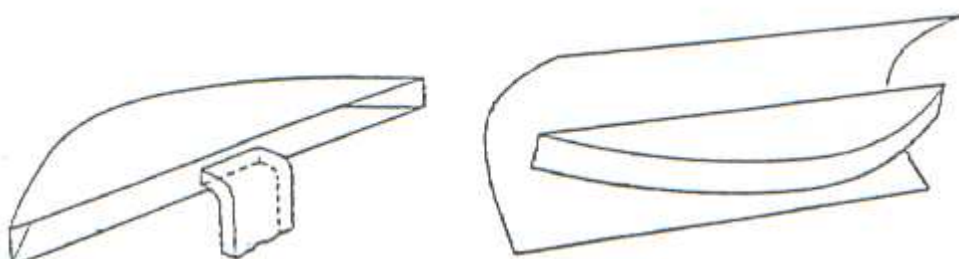
Η κεραία τύπου cheese του σχ.79(γ) έχει μεγάλη χρήση σε εφαρμογές όπου η δέσμη πρέπει να έχει μικρό άνοιγμα στο ένα επίπεδο και μεγάλο άνοιγμα στο άλλο. Μια συνηθισμένη τροφοδοσία γι' αυτές τις κεραίες είναι η "Hoghorn" του σχ.81, μια μορφή χοανοειδούς κεραίας. Ο κυματοδηγός ανοίγει στα άκρα σαν χοάνη κλειστή από μπροστά και με άνοιγμα στη πλευρά BC.



Σχ.81: (α) κεραία τροφοδοσίας Hoghorn, (β) γεωμετρική κατασκευή της Hoghorn

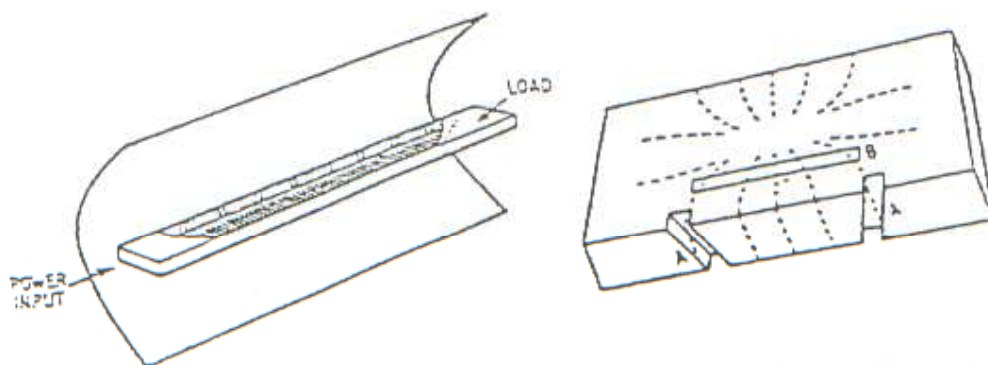
Η ακτινοβολία από τον κυματοδηγό ανακλάται στη παραβολική πλευρά AC της οποίας η εστία είναι το σημείο F και η δέσμη βγαίνει από την BC. Η Hoghorn σε συνδυασμό με την Cheese αποτελούν μια σταθερή και συμπαγή κεραία. Η Hoghorn μπορεί επίσης να τροφοδοτήσει και κομμένο παραβολοειδές. Μια cheese που τροφοδοτείται από μια hoghorn έχει παράλληλη πόλωση με τις επίπεδες πλευρές ενώ στη περίπτωση που η τροφοδοσία γίνεται με ηλεκτρόδιο όπως το σχ. 79(γ) η πόλωση είναι κάθετη των επίπεδων πλευρών. Ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος χρησιμοποιείται και η ανάλογη πόλωση. Όταν η πόλωση είναι παράλληλη με τις επίπεδες πλευρές ισχύουν οι περιορισμοί στις διαστάσεις όπως και για ορθογώνιους κυματοδηγούς σε ρυθμό TE₁₀, δηλαδή η απόσταση μεταξύ των δύο επίπεδων πλευρών της cheese πρέπει να είναι μεγαλύτερη από $\frac{\lambda}{2}$.

Για πόλωση κάθετη των επίπεδων πλευρών δεν υπάρχει περιορισμός στην απόσταση μεταξύ των πλευρών. Το σχ. 82 δείχνει ένα είδος τροφοδοσίας με κυματοδηγό για κάθετη πόλωση. Μια λεπτή cheese μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ομοιόμορφη γραμμική πηγή τροφοδότησης ενός κυλινδρικού ανακλαστήρα, πράγμα που φαίνεται στο ίδιο σχήμα. Αυτός ο συνδυασμός χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου το απαιτούμενο άνοιγμα του κατόπτρου είναι της τάξης των 10λ.



Σχ. 82: (α) Τροφοδοτούμενη cheese, (β) Παραβολικός κύλινδρος από κυματοδηγό με cheese σαν γραμμική πηγή.

Για μεγαλύτερους σε μέγεθος παραβολικούς κύλινδρους χρησιμοποιούνται σχισμοκεραίες για τροφοδοσία. Στοιχειοκεραία σχισμών μπορεί να κατασκευαστεί κόβοντας κατάλληλες σχισμές κατά μήκος του κυματοδηγού που διοχετεύει ισχύ (σχ. 83). Οι σχισμές στα τοιχώματα του κυματοδηγού που διακόπτουν ρευματική ροή συμπεριφέρονται σαν μαγνητικά δίπολα και ακτινοβολούν ισχύ. Στο σχ. 83 φαίνονται δυο τύποι σχισμών που ακτινοβολούν. Ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής χρησιμοποιείται και ο κατάλληλος τύπος σχισμής, εφόσον ο ένας τύπος δίνει κύμα με οριζόντια πόλωση και ο άλλος με κάθετη πόλωση.



Σχ. 83: (α) Παραβολικός κύλινδρος με σχισμοκεραία σαν γραμμική πηγή, (β) Ακτινοβλούμενες σχισμές σε κυματοδηγό όπου κόβονται γραμμές ρευματικής ροής.

Πρωτεύοντες και δευτερεύοντες ανακλαστήρες

Για επιτυχή σχεδίαση ενός συστήματος κεραίας απαιτείται προσεκτική εργασία στη μέτρηση της κατανομής του πλάτους και της φάσης στον πρωτεύοντα και δευτερεύοντα ανακλαστήρα. Όταν χρησιμοποιείται κύρια πηγή για την τροφοδότηση του παραβολοειδούς η ισοφασική επιφάνεια στη περιοχή όπου θα τοποθετηθεί δευτερεύων ανακλαστήρας πρέπει να είναι σφαιρική. Διαφορετικά δεν θα επιτευχθεί ομοιόμορφη κατανομή φάσης στο στόμιο του ανακλαστήρα και αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα το άνοιγμα του διαγράμματος

ακτινοβολίας και την αύξηση του πλάτους των δευτερευόντων λοβών. Επίσης το διάγραμμα ακτινοβολίας του δευτερεύοντα ανακλαστήρα πρέπει να έχει το κατάλληλο πλάτος για να ακτινοβολεί σωστά των πρωτεύοντα ανακλαστήρα. Οι κάτωθεν γενικές αρχές σχετικά με την κατανομή του πλάτους στο στόμιο του κύριου ανακλαστήρα έχουν γενική εφαρμογή:

(α) Ομοιόμορφη κατανομή πλάτους δίνει μέγιστο κέρδος

(β) Όταν η κατανομή του πλάτους αρχίζει από μέγιστο στο κέντρο και καταλήγει σταδιακά σε ελάχιστο στο στόμιο αυτό δίνει χαμηλό κέρδος αλλά έχει επίσης πιο μικρούς δευτερεύοντες λοβούς.

(γ) Όταν η κατανομή έχει μέγιστο στα άκρα και καταλήγει σε ελάχιστο στο κέντρο, αυτό δίνει πιο οξύ κύριο λοβό αλλά και μεγαλύτερους δευτερεύοντες λοβούς και χαμηλό κέρδος.

Αν υπάρχουν σφάλματα στην κατασκευή των ανακλαστήρων ή δεν τοποθετηθούν σωστά τα στηρίγματα της τροφοδοσίας αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα μεγάλους δευτερεύοντες λοβούς. Για απλές κεραίες επιτρεπτή ανοχή παρέκκλισης των διαστάσεων του ανακλαστήρα από το θεωρητικό του σχήμα είναι αυτή που θα είχε σαν αποτέλεσμα την αλλαγή της διαδρομής της δέσμης κατά το πολύ $\frac{\lambda}{8}$.

Μια μικρή μετατόπιση τμήματος του κατόπτρου επιφέρει σφάλμα στο μέτωπο του κύματος περίπου με το διπλάσιο της μετατόπισης. Οπότε ο ανακλαστήρας δεν πρέπει να αποκλίνει από το θεωρητικό του σχήμα σε οποιοδήποτε σημείο περισσότερο από $\pm \frac{\lambda}{16}$. Σε ορισμένες περιπτώσεις αυτές οι προδιαγραφές μπορεί να είναι

αυστηρότερες.

Αν η τροφοδότηση από μπροστά γίνεται με κυματοδηγό, πρέπει ο κυματοδηγός να διασχίζει τον ανακλαστήρα παράλληλα με τη συνιστώσα του μαγνητικού πεδίου ακτινοβολίας. Αν τοποθετηθεί σε διαφορετική κατεύθυνση θα προκληθεί αρκετά μεγάλη διάχυση ισχύος. Το ίδιο ισχύει και για την περίπτωση που έχουμε μεταλλικά στηρίγματα. Αν χρειάζονται στηρίγματα παράλληλα του ηλεκτρικού πεδίου πρέπει να γίνονται από διηλεκτρικό υλικό. Ο ανακλαστήρας δεν είναι απαραίτητο να είναι κατασκευασμένος από συμπαγές μέταλλο. Για να ελαττωθεί το βάρος χωρίς επίπτωση στο διάγραμμα ακτινοβολίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σχάρα ή διάτρητο μέταλλο και ράβδοι. Διάτρητες επιφάνειες δεν επηρεάζουν την πόλωση. Οι οπές μπορούν να θεωρηθούν σαν μικροί κυματοδηγοί των οποίων η συχνότητα διάδοσης απέχει πολύ από τη συχνότητα αποκοπής. Για παράδειγμα σε έναν ανακλαστήρα- σχάρα με τετράγωνες οπές η πλευρά του τετραγώνου πρέπει να είναι πιο μικρή από $\frac{\lambda}{2}$.

Κατασκευές με ράβδους ή μεταλλικές ταινίες είναι ευαίσθητες στην πόλωση. Για να συμπεριφέρονται σαν ανακλαστήρες οι ταινίες πρέπει να είναι παράλληλες του ηλεκτρικού πεδίου στην επιφάνεια. Η διάταξη των λωρίδων πρέπει να συμπεριφέρεται σαν κυματοδηγός σε κατάσταση αποκοπής, οπότε η απόσταση μεταξύ των λωρίδων θα πρέπει να είναι μικρότερη του $\frac{\lambda}{2}$.

Πρόβλημα 26: Η κεραία μιας τηλεπικοινωνιακής ζεύξης σε συχνότητα $f=400$ MHz χρησιμοποιεί παραβολικό ανακλαστήρα με διάμετρο $d=5$ m. Ζητείται να υπολογιστούν: α) Το άνοιγμα του κύριου λοβού ακτινοβολίας της κεραίας, β) το κατευθυντικό κέρδος της κεραίας, γ) η ισχύς που μεταφέρει στον δέκτη η κεραία, όταν το πεδίο του πομπού έχει ένταση $E=1$ mV/m.

Λύση:

α) Το μήκος κύματος είναι: $\lambda=c/f=0,75$ m. Το άνοιγμα του κύριου λοβού της κεραίας είναι:

$$\Theta = \Phi = 1,3 \frac{\lambda}{d} = 0,2 \text{ rad} = 11,1^\circ.$$

β) Το κατευθυντικό κέρδος της κεραίας είναι:

$$\Phi_{(rad)} = 1,2 \frac{\lambda}{d} \Rightarrow d = \frac{4\pi}{\Theta\Phi} = 330 = 25 \text{ dB}.$$

γ) Η πυκνότητα ισχύος του πεδίου που εκπέμπει ο πομπός είναι:

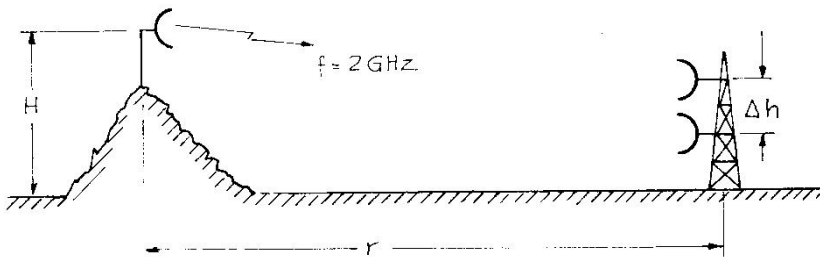
$$N_{\Pi} = \frac{E^2}{2Z_{\kappa}} = \frac{(10^{-3})^2}{2 \cdot 120\pi} = 1,3 \text{ nW/m}^2.$$

Η ενεργός επιφάνεια της παραβολικής κεραιάς είναι ίση με το 70% της φυσικής προβολής του ανακλαστήρα στην κατεύθυνση διαδόσεως των Η/Μ κυμάτων, δηλαδή:

$$A = \frac{0,7\pi D^2}{4} = 13,7 \text{ m}^2.$$

Οπότε η ισχύς που δίνει η κεραιά στον δέκτη προκύπτει ότι είναι:
 $P_r = A \cdot N_{\Pi} = 17,8 \text{ nW}.$

Πρόβλημα 27: Ο πομπός μιας μικροκυματικής τηλεπικοινωνιακής ζεύξης εκπέμπει σε ύψος $H=400\text{m}$ πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας με συχνότητα $f=2\text{GHz}$ και κατακόρυφη πόλωση. Στο δέκτη, σε απόσταση $r=50\text{km}$ χρησιμοποιείται σύστημα διαφορικής λήψεως χώρου, όπως φαίνεται στο σχήμα 84, για την άρση των διαλείψεων.



Σε τι απόσταση πρέπει να τοποθετηθούν μεταξύ τους τα δύο κάτοπτρα της διαφορικής λήψεως, ώστε το ένα να βρίσκεται μέσα σε μέγιστη πυκνότητα ισχύος του πομπού, όταν το δεύτερο βρίσκεται σε ελάχιστη.

Λύση:

Επειδή η απόσταση από τον πομπό στον δέκτη είναι πάρα πολύ μεγαλύτερη από το ύψος h του δέκτη, για την γωνία α που σχηματίζει η επιβατική ακτίνα με τον ορίζοντα ισχύει η σχέση:

$$\sin \alpha = \alpha = \tan \alpha = \frac{h}{r}.$$

Ο παράγοντας διάταξης που περιγράφει την επίδραση που έχει η παρουσία της γης, στην ακτινοβολία της κεραιάς του πομπού, δίνεται από την σχέση:

$$|\Pi(\alpha)| = 2|\cos(kH \sin \alpha)| = 2\left|\cos\left(\frac{kHh}{r}\right)\right|.$$

Αυτός ο παράγοντας γίνεται μέγιστος στην περιοχή του δέκτη, όταν το ύψος της κεραιάς του δέκτη είναι:

$$h = \frac{v\lambda r}{2H} \quad (\text{όπου } v \text{ ακέραιος})$$

Η διαφορά ύψους ανάμεσα σε δύο ζώνες όπου η ένταση του πεδίου είναι μέγιστη, είναι:

$$h_{v+1} - h_v = \frac{\lambda r}{2H}$$

Για να είναι η μια κεραιά της διαφορικής λήψεως σε θέση μέγιστης έντασης πεδίου όταν η άλλη είναι σε θέση ελάχιστης έντασης, πρέπει η διαφορά ύψους Δh , ανάμεσα στις δυο κεραιές να είναι η μισή από αυτήν που υπολογίστηκε προηγουμένως:

$$\Delta h = \frac{h_{v+1} - h_v}{2} = \frac{\lambda r}{4H} = 4,7 \text{ m}.$$

Πρόβλημα 28: Η κεραία μιας διατάξεως ραντάρ είναι παραβολικός ανακλαστήρας σε σχήμα μηνίσκου. Η οριζόντια διάστασή της είναι $a=1\text{m}$ και η κατακόρυφη $b=0,25\text{cm}$. Το ραντάρ εκπέμπει ραδιοσυχνότητα $f=9,4\text{GHz}$. Ζητείται να υπολογιστούν: α) Τα ανοίγματα του λοβού ακτινοβολίας στο οριζόντιο και στο κατακόρυφο επίπεδο, β) το κατευθυντικό κέρδος της κεραίας.

Λύση:

Το μήκος κύματος είναι: $\lambda=c/f=3,2\text{cm}$. Στο οριζόντιο επίπεδο το άνοιγμα είναι:

$$\Phi = 1,2 \frac{\lambda}{a} = 1,2 \frac{3,2}{100} = 0,04\text{rad} = 2,2^\circ .$$

Το άνοιγμα του λοβού ακτινοβολίας στο κατακόρυφο επίπεδο είναι:

$$\Theta = 1,2 \frac{\lambda}{b} = 0,16\text{rad} = 8,8^\circ .$$

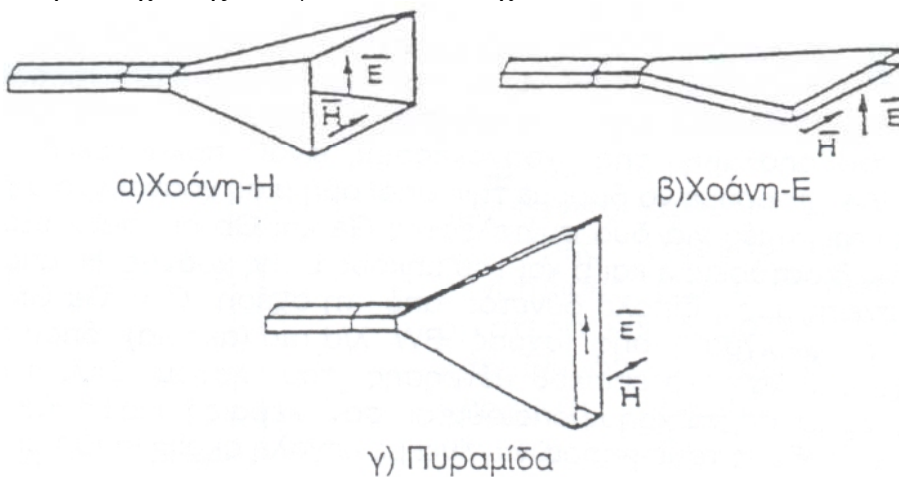
β) Το κατευθυντικό κέρδος είναι:

$$d = \frac{4\pi}{\Theta \cdot \Phi} = \frac{4\pi}{0,04 \cdot 0,16} = 1960 = 33\text{dB} .$$

Κεραίες χοάνης

Τύποι χοάνης

Οι κεραίες χοάνης είναι συνηθέστερες στη περιοχή των μικροκυμάτων από 1GHz. Οι χοάνες παρουσιάζουν μεγάλη απολαβή, χαμηλό VSWR, σχετικά μεγάλο εύρος συχνοτήτων και μικρό βάρος. Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι κεραίων χοάνης που φαίνονται στο σχ.85:



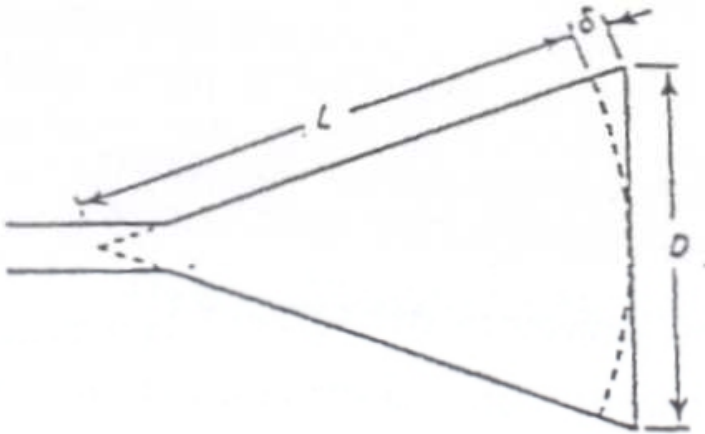
Σχ. 85: Κεραίες ορθογώνιας χοάνης

Αν η χοάνη διατηρεί τη μια διάστασή της ίδια με του κυματοδηγού ενώ την άλλη την αυξάνει όσο απομακρύνεται απ' αυτόν τότε ανάλογα με τη διάσταση έχουμε την H ή την E πλευρική χοάνη. Σε περίπτωση που και οι δυο διαστάσεις αυξάνονται έχουμε πυραμοειδή χοάνη. Η ορθογώνια κεραία ενεργεί σαν ένας ομαλός μεταφορέας του ρυθμού του κυματοδηγού στον ελεύθερο χώρο. Η ομαλή μεταφορά μειώνει την ανάκλαση και αυξάνει το διαδιδόμενο κύμα με τη μείωση του VSWR. Με άλλα λόγια γίνεται προσαρμογή της σύνθετης αντίστασης του κυματοδηγού με αυτή του ελεύθερου χώρου.

Χαρακτηριστικά χοάνης.

Το διάγραμμα ακτινοβολίας της χοάνης μπορεί να υπολογιστεί αν είναι γνωστές οι διαστάσεις της χοάνης και η κατανομή του πεδίου στο άνοιγμα της χοάνης. Το πεδίο είναι όπως αυτό του ρυθμού TE_{10} σε κυματοδηγό ίδιων διαστάσεων με το άνοιγμα της χοάνης. Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα θα ταξιδέψει πιο πολύ για να φτάσει στα άκρα της εξωτερικής διατομής της απ' ό,τι θα χρειαστεί για το κέντρο. Άρα θα υπάρχει μια διαφορά φάσης κατά τη διατομή της χοάνης. Μεγάλη διαφορά φάσης μας δίνει μεγάλους δευτερεύοντες λοβούς. Συμπερασματικά, για να έχουμε ομοιόμορφο φασικό μέτωπο χρειαζόμαστε χοάνη μεγάλου μήκους και μικρής γωνίας ανοίγματος.

Αυτό από πρακτική άποψη είναι άβολο και πρέπει να βρεθεί κάποιο μήκος “συμβιβασμού”. Το κριτήριο το οποίο συνήθως χρησιμοποιείται είναι η μεταβολή φάσης να μην ξεπερνά τις 90° . Για $\Delta\Phi=90^\circ \Rightarrow \delta = \frac{\lambda}{4}$, όπως φαίνεται στο σχ.86.



Σχ. 86: Γεωμετρία της χοάνης.

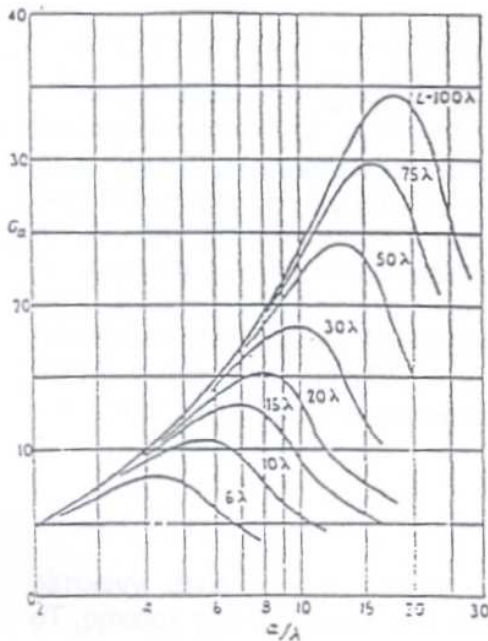
Από τη γεωμετρία της χοάνης έχουμε:

$$L = \frac{D^2}{2\lambda} \quad (1)$$

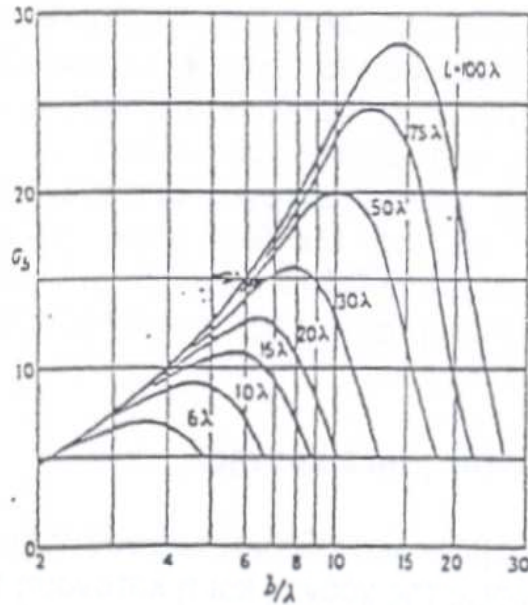
Αυτή η τιμή του L αντιπροσωπεύει την βέλτιστη τιμή του μήκους της χοάνης που έχει D τη μεγαλύτερη διάσταση της εξωτερικής διατομής. Μπορεί να αποδειχθεί ότι θεωρητικά η απολαβή μιας χοανοκεραίας βέλτιστου μήκους και με διαστάσεις εξωτερικής διατομής a,b δίνεται από τη σχέση:

$$G = 4,5 \frac{a \cdot b}{\lambda^2} \quad (2)$$

όπου a και b είναι οι διαστάσεις της κάθετης και της παράλληλης του ηλεκτρικού πεδίου αντίστοιχα. Από τα σχήματα 88 και 89 και με τη βοήθεια της σχέσης $G=G_a G_b$, μπορούμε να βρούμε την απολαβή μιας χοανοκεραίας σε σχέση με το δίπολο:



Σχ. 87: Συντελεστής G_a για πυραμοειδή χοάνη σαν συνάρτηση του μήκους L και της διάστασης a του ηλεκτρικού πεδίου.



Σχ. 89: Συντελεστής G_b για πυραμοειδή χοάνη σαν συνάρτηση του μήκους L και της διάστασης b του ηλεκτρικού πεδίου.

Επίσης προσεγγιστικά το άνοιγμα μισής ισχύος $BW \approx \frac{\lambda}{d}$ (rad), όπου d είναι η διάσταση της χοάνης κατά το επίπεδο μέτρησης του λοβού δηλ. a ή b . Οι κεραίες χοάνης συχνά χρησιμοποιούνται σαν κεραίες αναφοράς και αυτό γιατί ο υπολογισμός του κέρδους τους μπορεί να γίνει με πολύ μεγάλη ακρίβεια (0.1db).

Πρόβλημα 29: Χοανοκεραία εκπέμπει με συχνότητα $f=9,4$ GHz με κατευθυντικό κέρδος $D=20$ dB. Τα ανοίγματα του λοβού ακτινοβολίας στο οριζόντιο και στο κατακόρυφο επίπεδο έχουν την ίδια τιμή. Ο κυματοδηγός που διεγείρει την χοανοκεραία έχει διατομή $(2,3 \times 1)$ cm². Ζητείται να υπολογιστούν: α) Το άνοιγμα του λοβού ακτινοβολίας στα δύο επίπεδα, β) οι φυσικές διαστάσεις της χοανοκεραίας.

Λύση:

Το κατευθυντικό κέρδος της χοανοκεραίας είναι:

$$d = 10^{D/10} = 10^2 = 100.$$

Εφόσον τα ανοίγματα του λοβού ακτινοβολίας έχουν την ίδια τιμή στο οριζόντιο και στο κατακόρυφο επίπεδο, η τιμή αυτή μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση:

$$d = \frac{4\pi \cdot 0,7 \cdot ab}{\lambda^2} = \frac{4\pi}{\Theta \cdot \Phi} \Rightarrow \Theta = \sqrt{\frac{4\pi}{d}} = 0,35 \text{ rad}.$$

β) Το μήκος κύματος είναι: $\lambda = c/f = 3,2$ cm. Οι διαστάσεις a και b του στομίου της χοάνης υπολογίζεται ότι είναι:

$$a = b = \frac{1,2\lambda}{\Theta} = 11 \text{ cm}.$$

Το μήκος κύματος μέσα στον κυματοδηγό που διεγείρει την χοανοκεραία είναι:

$$\lambda_{10} = \frac{2\pi}{\beta} = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}} = \frac{3,2}{\sqrt{1 - \left(\frac{3,2}{2 \cdot 2,3}\right)^2}} = 4,45 \text{ cm}.$$

Η ελάχιστη τιμή του ύψους L , της πυραμίδας που σχηματίζει την χοανοκεραία είναι:

$$L = \frac{b^2 + a^2}{2\lambda_{10}} = 27 \text{ cm}.$$

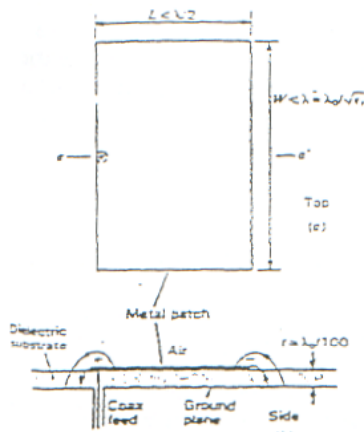
Μικροταινιακή κεραία (Patch or Microstrip).

Αυτές οι κεραίες είναι δημοφιλής για χαμηλού προφίλ εφαρμογές σε συχνότητες άνω των 100MHz ($\lambda_0 < 3m$). Συνήθως αποτελούνται από μια ορθογώνια μεταλλική πλάκα πάνω σε ένα διηλεκτρικό του οποίου η άλλη όψη είναι πάλι μεταλλική και αποτελεί τη γείωση όπως στα τυπωμένα κυκλώματα. Μια τέτοια κεραία φαίνεται στο σχ.71 με διηλεκτρικό υλικό που έχει τυπική τιμή σχετικής διηλεκτρικότητας $\epsilon_r \approx 2$ και πάχος $t \approx \frac{\lambda_0}{100}$:

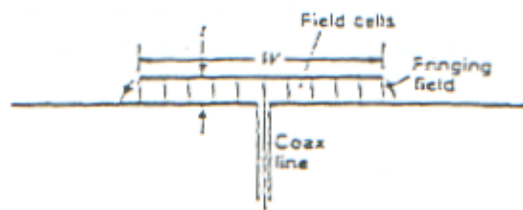
Τυπικές τιμές των διαστάσεων του μήκους L , πλάτους W και πάχους t φαίνονται στο σχ.90 με τη τροφοδοσία να γίνεται με ομοαξονικό καλώδιο απ' το κέντρο της αριστερής πλευράς (α). Οι οριζόντιες συνιστώσες του ηλεκτρικού πεδίου στο αριστερό και δεξιό άκρο είναι στην ίδια κατεύθυνση, πράγμα το οποίο δίνει συμφασικά και γραμμικά πολωμένη ακτινοβολία με μέγιστο κάθετο στη πλάκα. Η πλάκα συμπεριφέρεται σαν μια συντονισμένη $\frac{\lambda}{2}$ μικροταινιακή γραμμή παράλληλων αγωγών με χαρακτηριστική αντίσταση:

$$Z_c = Z_0 \frac{1}{n\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

όπου $n = \frac{W}{t}$ (2) και $Z_0 = 377 \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}}$. Για τον αέρα ισχύει: $\mu_r = \epsilon_r = 1$ και $Z_0 = 377\Omega$.



Σχ. 90: (α) Πάνω όψη και (β) πλάγια όψη μικροταινιακής ταινίας τροφοδοτούμενης με ομοαξονικό καλώδιο.



Σχ. 91: Όψη από τη πλευρά τροφοδότησης με ομοαξονικό καλώδιο της κεραίας του σχ. 71.

Για τη μικροταινιακή του σχ.91 έχουμε $\epsilon_r = 2$, $\frac{W}{t} = 10$ και:

$$Z_c = Z_0 \frac{1}{n\sqrt{\epsilon_r}} = 377 \frac{1}{10\sqrt{2}} \Rightarrow Z_c = 26,7\Omega$$

Στη γενική περίπτωση η χαρακτηριστική αντίσταση είναι:

$$Z_c = \frac{Z_0 t}{W \sqrt{\epsilon_r}} \quad (3)$$

Για $\frac{W}{t} < 10$ μπορούμε να έχουμε πιο ακριβή έκφραση για τη χαρακτηριστική αντίσταση:

$$Z_c = Z_0 \frac{1}{\left(\frac{W}{t} + 2\right) \sqrt{\epsilon_r}} \quad (4)$$

Το συντονισμένο μήκος L είναι κρίσιμο και έχει τυπική τιμή περίπου 2% μικρότερο του $\frac{\lambda}{2}$, όπου λ το μήκος

κύματος στο διηλεκτρικό $\left(\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \right)$. Η ακτινοβολία της κεραίας συμβαίνει σαν να προέρχεται από δύο πηγές

δεξιά και αριστερά της πλάκας (σχ.90). Το διάγραμμα ακτινοβολίας είναι αρκετά πλατύ δηλαδή η κεραία δεν είναι κατευθυντική. Το εύρος ζώνης της αντίστασης της κεραίας είναι συνήθως πολύ μικρότερο από το εύρος ζώνης του διαγράμματος ακτινοβολίας. Το εύρος ζώνης της αντίστασης είναι ανάλογο του πάχους t του διηλεκτρικού. Εφόσον το πάχος t είναι μικρό, τότε και το εύρος είναι μικρό. Μια χρήσιμη σχέση για τον προσδιορισμό του εύρους ζώνης του μικροταινιακού στοιχείου είναι:

$$BW = 128 f^2 \cdot t \quad (5)$$

όπου: BW =εύρος ζώνης σε MHz για $VSWR < 2:1$

f =συχνότητα λειτουργίας σε GHz και

t =πάχος σε ίντσες.

Το ενεργό ύψος δίνεται από τη σχέση:

$$h_e = \frac{\sqrt{2R_r A_e}}{Z_0} \quad (6)$$

όπου: R_r =αντίσταση ακτινοβολίας

A_e =ενεργός επιφάνεια σε λ^2 και

Z_0 =αντίσταση ελεύθερου χώρου.

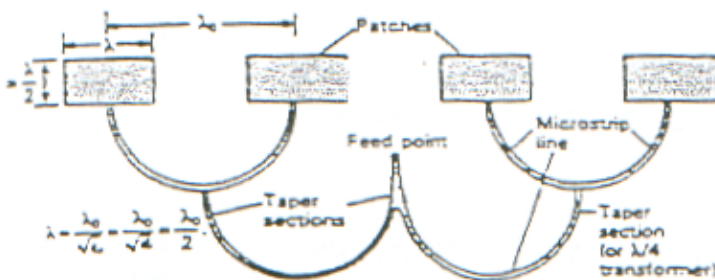
Έστω τυπικές τιμές $D=4$ (κατευθυντικότητα), $R_r=50\Omega$. Η ενεργός επιφάνεια δίνεται από τη σχέση :

$$A_e = \frac{D^2 \lambda_0^2}{4\pi} \quad (7)$$

Άρα $A_e = \frac{\lambda_0^2}{\pi}$ και $h_e \approx 0,3\lambda_0$. Το ενδιαφέρον είναι ότι μια κεραία που επεκτείνεται μόνο $\frac{\lambda_0}{100}$ πάνω από μια

επίπεδη γείωση έχει ενεργό ύψος 30 φορές μεγαλύτερο! Οι διαστάσεις της πλάκας εντωμεταξύ δεν είναι ηλεκτρικά μικρές...

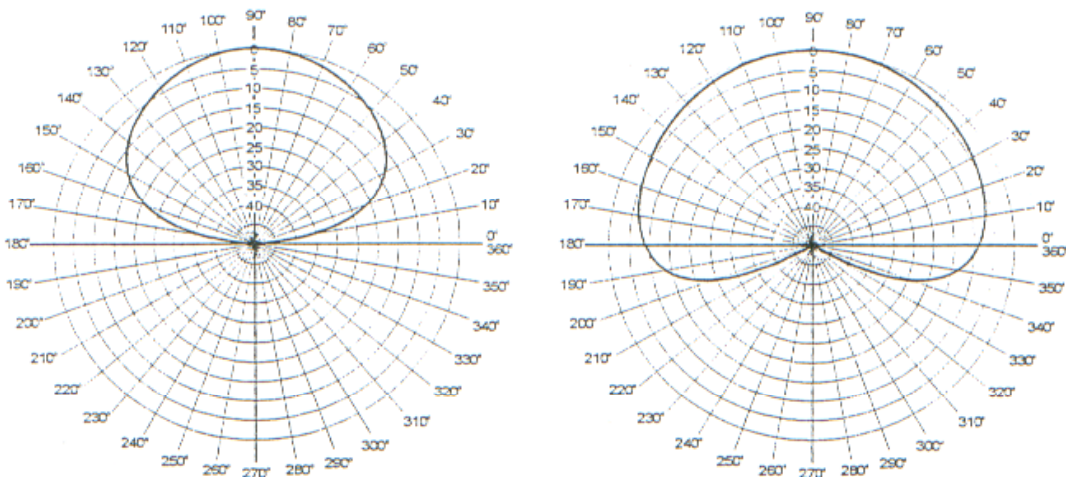
Οι κεραίες αυτές είναι δυνατόν να σχεδιαστούν και σε άλλα σχήματα. Για παράδειγμα το σημείο τροφοδοσίας μπορεί να μεταφερθεί από το άκρο σε άλλο σημείο για λόγους προσαρμογής. Επίσης οι πλάκες είναι εύκολο να σχεδιαστούν σε στοιχειοσειρές κεραίων τροφοδοτούμενες από μικροταινιακές γραμμές μεταφοράς. Στο σχ.92 φαίνεται στοιχειοκεραία από τέσσερις πλάκες με $\epsilon_r=4$.



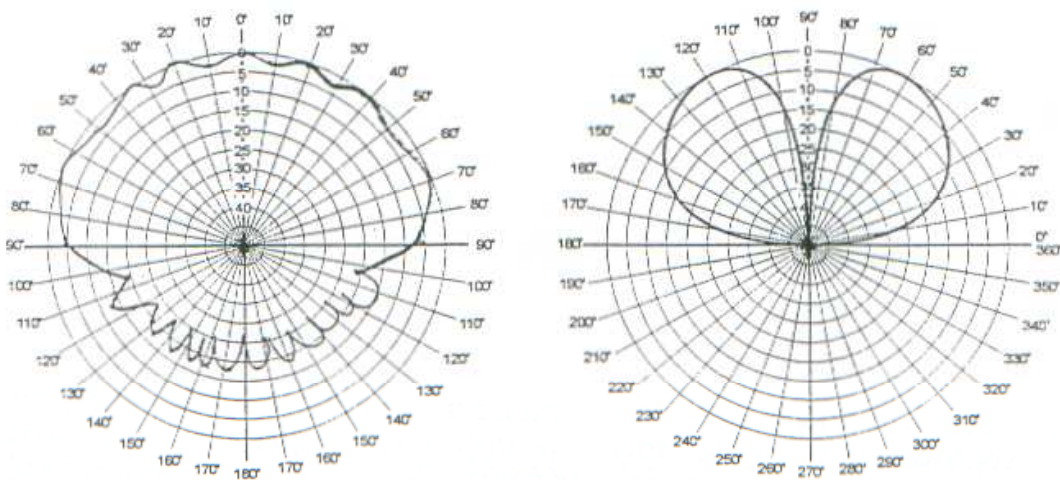
Σχ. 92: Μικροταινιακή στοιχειοκεραία 4 στοιχείων τροφοδοτούμενη από μικροταινιακή γραμμή μεταφοράς.

Απόδοση: Για ένα μικροταινιακό στοιχείο απόδοση είναι ο λόγος της ακτινοβολουμένης ισχύος προς την ισχύ που εισέρχεται στο στοιχείο. Παράγοντες που ελαττώνουν την απόδοση είναι οι απώλειες διηλεκτρικού, απώλειες αγωγού ανακλώμενης ισχύος (VSWR) και η ισχύς που καταναλώνεται στο φορτίο. Τα περισσότερα μικροταινιακά στοιχεία έχουν απόδοση μεταξύ 80% και 99%. Για πολύ λεπτά στοιχεία το Q είναι πολύ μεγάλο και υπάρχει μεγάλη απώλεια σε ρεύμα. Το πάχος είναι πολύ μικρό οπότε η αγωγιμότητα στα άκρα της

κοιλότητας δημιουργεί ηλεκτρικές απώλειες. Αυτό συμβαίνει όταν το πάχος μειωθεί κάτω από $\frac{\lambda_0}{100}$. Σ' αυτό το πάχος το συντονισμένο VSWR μπορεί να προσαρμοστεί σε 50Ω , αλλά το πολύ μικρό BW μπορεί να δημιουργήσει θερμικές αστάθειες π.χ μικρή αλλαγή θερμοκρασίας δημιουργεί απότομη αύξηση του VSWR και άρα της ανακλώμενης ακτινοβολίας το οποίο ελαττώνει την απόδοση. Οι διηλεκτρικές απώλειες δύναται να απαλειφθούν χρησιμοποιώντας αέρα σαν διηλεκτρικό. Συνήθως αυτά τα στοιχεία έχουν απόδοση 95%-99%.



Σχ. 93: (α) Θεωρητικό διάγραμμα ακτινοβολίας στοιχείου με $\epsilon_r=1$ στο E-επίπεδο , (β) θεωρητικό διάγραμμα ακτινοβολίας στοιχείου με $\epsilon_r=2,45$.



Σχ. 94: (α) Διάγραμμα ακτινοβολίας στοιχείου $\frac{\lambda_0}{4}$ σε γειωμένο επίπεδο $\epsilon_r=1$ (β) θεωρητικό διάγραμμα ακτινοβολίας στοιχείου λ_0 για $\epsilon_r=1$.

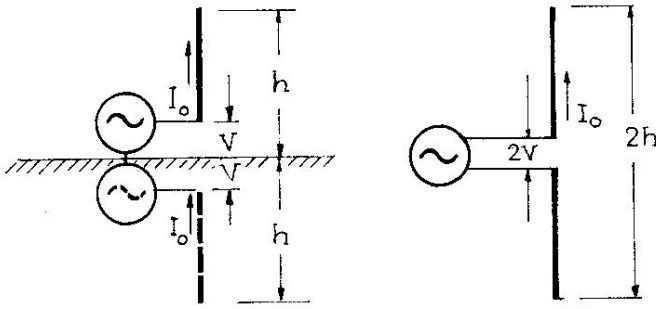
ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1) Δείξτε ότι η μιγαδική αντίσταση εισόδου μιας ευθύγραμμης κεραίας με μήκος $2h$, που ακτινοβολεί στο κενό και τροφοδοτείται στο μέσο της, είναι διπλάσια από την αντίσταση εισόδου ενός κατακόρυφου αγωγού με ύψος h , που ακτινοβολεί πάνω από την επίπεδη γη και τροφοδοτείται στη βάση του.

Λύση:

Γνωρίζουμε ότι το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που εκπέμπει μια κεραία με ύψος h , πάνω από τη γη και εκείνο που εκπέμπει ένα δίπολο με ύψος $2h$ στο κενό συμπίπτουν. Άρα η κεραία πάνω από τη γη που διαρρέεται από ρεύμα

I_0 , εκπέμπει ισχύ P_r ίση με το μισό της ισχύος P_Δ που ακτινοβολεί το αντίστοιχο δίπολο στο κενό, όταν διαρρέεται και αυτό από ρεύμα I_0 , όπως φαίνεται στο σχήμα 1.



Συνεπώς η πραγματική αντίσταση εισόδου της έπεται πως είναι μισή από την αντίστοιχη αντίσταση του δίπολου στο κενό.

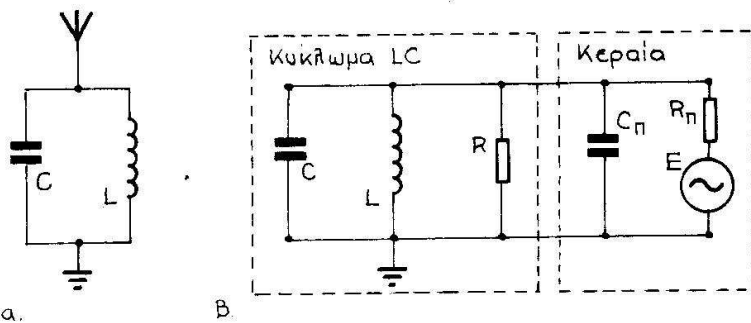
Ανάλογα, η ενέργεια ΔW , που ανισοκατανέμεται ανάμεσα στο ηλεκτρικό και στο μαγνητικό πεδίο είναι μισή για την κεραία πάνω από την επίπεδη γη παρά για το αντίστοιχο δίπολο στο κενό. Συνεπώς και η φανταστική αντίδρασή της είναι μισή από την αντίδραση του δίπολου.

Στο ίδιο συμπέρασμα μπορεί να καταλήξει κανείς και από τον ορισμό της αντιστάσεως εισόδου των δύο κεραιών. Η αντίσταση εισόδου Z_Δ του δίπολου στον κενό χώρο είναι:

$$Z_\Delta = \frac{2V}{I_0} = 2 Z_\kappa$$

Όπου Z_κ είναι η αντίσταση εισόδου της κεραίας πάνω από τη γη.

2) Κατακόρυφο μαστίγιο με ύψος $h=10\text{m}$ χρησιμοποιείται για τη λήψη με συχνότητα $f=1\text{MHz}$. Η κεραία διεγείρει στη βάση της κύκλωμα LC που συντονίζεται στο 1MHz, όταν η χωρητικότητά του έχει τιμή $C=300\text{pF}$, όπως φαίνεται στο σχήμα 2α.



Ζητείται να υπολογιστούν: α) Η αντίσταση εισόδου της κεραίας μαστίγιο, β) η αγωγιμότητα εισόδου της κεραίας μαστίγιο, γ) η τιμή της αυτεπαγωγής του συντονισμένου κυκλώματος, δ) η φαινόμενη αντίσταση συντονισμού του κυμαινόμενου κυκλώματος, αν ο συντελεστής ποιότητας αυτού είναι $Q=50$.

Λύση:

α) Το μήκος κύματος είναι: $\lambda=c/f=300\text{m}$. Η αντίσταση εισόδου της κεραίας μαστίγιο δίνεται από την σχέση:

$$Z_r = Z_{εισ} = 40 \tan^2\left(\frac{\pi h}{\lambda}\right) - j300\sigma\phi\left(\frac{2\pi h}{\lambda}\right) = 40 \tan^2\left(\frac{\pi 10}{300}\right) - j300\sigma\phi\left(\frac{2\pi \cdot 10}{300}\right) = (0,44 - j1432)\Omega.$$

β) Η αγωγιμότητα εισόδου του κατακόρυφου μαστίγιου είναι:

$$y_{\epsilon\sigma}^{\circ} = \frac{1}{Z_{\epsilon\sigma}^{\circ}} = \frac{1}{4,66 \cdot 10^6} + j(2\pi \cdot 10^6) \cdot 111 \cdot 10^{-12}$$

Η αγωγιμότητα εισόδου της κεραίας είναι ίση με την αγωγιμότητα της παράλληλης διατάξεως μιας αντίστασης R_{Π} και ενός πυκνωτή C_{Π} , που οι τιμές τους είναι:

$$R_{\Pi} = 4,66 \text{ M}\Omega$$

$$C_{\Pi} = 111 \text{ pF}$$

γ) Η αυτεπαγωγή L υπολογίζεται ώστε το ισοδύναμο κύκλωμα που φαίνεται στο σχήμα 2β να συντονίζεται στα $f = 1 \text{ MHz}$:

$$L = \frac{1}{(2\pi f)^2 (C + C_{\Pi})} = \frac{10^{12}}{(2\pi \cdot 10^6)^2 (300 + 111)} = 62 \mu\text{H}.$$

δ) Η φαινόμενη αντίσταση συντονισμού του κυμαινόμενου κυκλώματος είναι:

$$R = Q \sqrt{\frac{L}{C + C_{\Pi}}} = Q \cdot 2\pi f L = 50 \cdot 2\pi \cdot 10^6 \cdot 62 \cdot 10^{-6} = 24 \text{ k}\Omega.$$

3) Το πεδίο του πομπού στην περιοχή της κεραίας που περιγράφεται στο πρόβλημα (9) έχει ένταση $E = 1 \text{ mV/m}$. Να υπολογιστεί: α) Το ενεργό ύψος της κεραίας και β) η τάση που μεταφέρει η κεραία στον δέκτη (δηλ. στο συντονισμένο LC κύκλωμα που είναι η είσοδος του δέκτη).

Λύση:

α) Το ενεργό ύψος της κεραίας μαστίγιο δίνεται από την σχέση:

$$h_{ev} = \frac{1}{I_0} \int_0^h I(z') dz' = \frac{\lambda}{2\pi} \tan\left(\frac{\pi h}{\lambda}\right) = \frac{300}{2\pi} \tan\left(\frac{10\pi}{300}\right) = 5 \text{ m}.$$

β) Η ΗΕΔ της πηγής που διεγείρει το συντονισμένο κύκλωμα είναι:

$$U = E h_{ev} = 10^{-3} \cdot 5 = 5 \text{ mV}$$

Η τάση που διεγείρει η κεραία στο συντονισμένο κύκλωμα είναι:

$$V = U \frac{R}{R + R_{\Pi}} = 5 \cdot 10^{-3} \frac{24 \cdot 10^{-3}}{4,684 \cdot 10^3} = 25 \mu\text{V}.$$

4) Η κεραία ενός πομπού τηλεόρασης εκπέμπει σε συχνότητα $f = 200 \text{ MHz}$ με οριζόντια πόλωση σε ύψος $H = 500 \text{ m}$ πάνω από την επιφάνεια της γης. Ο δέκτης βρίσκεται σε απόσταση $r = 10 \text{ km}$ από τον πομπό. Σε ποιο ύψος h , από την γη πρέπει να τοποθετηθεί η κεραία του, ώστε να βρίσκεται σε μια περιοχή του χώρου, όπου η πυκνότητα ισχύος του πεδίου του πομπού, να είναι μέγιστη.

Λύση:

Η πυκνότητα ισχύος του πεδίου που εκπέμπει ο πομπός γίνεται μέγιστη στις περιοχές του χώρου όπου μεγιστοποιείται και ο παράγοντας $\Pi(\alpha)$. Ο παράγοντας αυτός περιγράφει την επίδραση που έχει η γη στην ακτινοβολία της κεραίας και τον τρόπο της συμβολής στο δέκτη του κύματος που φτάνει κατευθείαν από τον πομπό και εκείνου που φτάνει μετά από ανάκλαση στη γη. Αυτός ο παράγοντας είναι:

$$|\Pi(\alpha)| = 2 \left| \sin(kH \sin \alpha) \right| = 2 \left| \sin\left(\frac{2\pi H}{\lambda} \sin \alpha\right) \right|.$$

Η μικρότερη γωνία ανύψωσης α της επιβατικής ακτίνας r πάνω από την επιφάνεια της γης, για την οποία μεγιστοποιείται ο παράγοντας $\Pi(\alpha)$, είναι εκείνη που ικανοποιεί την σχέση:

$$\sin \alpha = \frac{\lambda}{4H} = \frac{c}{4Hf} = 0,75 \cdot 10^{-3}.$$

Για τόσο μικρές γωνίες μπορεί κατά προσέγγιση να γραφεί ότι:

$$\frac{h}{r} = \tan \alpha = \sin \alpha = 0,75 \cdot 10^{-3} \Rightarrow h = 7,5m .$$

5) Λογαριθμική περιοδική κεραία σχεδιάζεται για να καλύψει την περιοχή συχνοτήτων 470 ως 792 MHz. Ζητείται να υπολογιστούν κατά προσέγγιση: α) Το μήκος του μεγαλύτερου στοιχείου, l_{\max} , β) το μήκος του μικρότερου στοιχείου, l_{\min} , γ) ο αριθμός των στοιχείων, ν , που πρέπει να έχει η κεραία.

Λύση:

Το μήκος του μεγαλύτερου στοιχείου της λογαριθμικής περιοδικής κεραίας, υπολογίζεται από την σχέση:

$$f_{\min} = \frac{c}{2h_{\max}} \Rightarrow h_{\max} = 0,32m .$$

Το μήκος του μικρότερου στοιχείου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$f_{\max} = \frac{c}{8h_{\min}} \Rightarrow h_{\min} = 0,047m .$$

Ο αριθμός των στοιχείων της κεραίας είναι τέτοιος που τα μήκη των στοιχείων σχηματίζουν γεωμετρική πρόοδο με λόγο $\tau=1,2$, με πρώτο όρο $h_{\min}=4,7\text{cm}$ και τελευταίο όρο $h_{\max}=32\text{cm}$. Δηλαδή είναι:

$$4,7 \times 1,2^{\nu-1} = 32 \Rightarrow \nu = \frac{\log(32/4,7)}{\log 1,2} + 1 \approx 12 .$$

6) Το ραντάρ ενός εμπορικού πλοίου εκπέμπει σε συχνότητα $f=9,4\text{ GHz}$ με ισχύ $P_r=20\text{ kW}$. Η κεραία του είναι σχισμοκεραία με οριζόντια διάσταση $L=2\text{m}$, χωρίς κατευθυντήρες. Ζητείται να υπολογιστούν: α) Το άνοιγμα του λοβού της κεραίας στο κατακόρυφο και στο οριζόντιο επίπεδο, β) το κατευθυντικό κέρδος της κεραίας, γ) η επιφανειακή πυκνότητα ισχύος σε απόσταση $r=40\text{ km}$.

Λύση:

α) Το άνοιγμα του λοβού ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο είναι:

$$\Phi = \frac{\lambda}{L} = 0,016\text{rad} = 0,92^\circ .$$

Το άνοιγμα του λοβού στο κατακόρυφο επίπεδο είναι **πάντα** $\pi/2$.

β) Το κατευθυντικό κέρδος της κεραίας είναι:

$$d = \frac{4\pi}{\Theta\Phi} = \frac{4\pi}{\frac{\pi \lambda}{2L}} = \frac{8L}{\lambda} = 500 = 27\text{dB} .$$

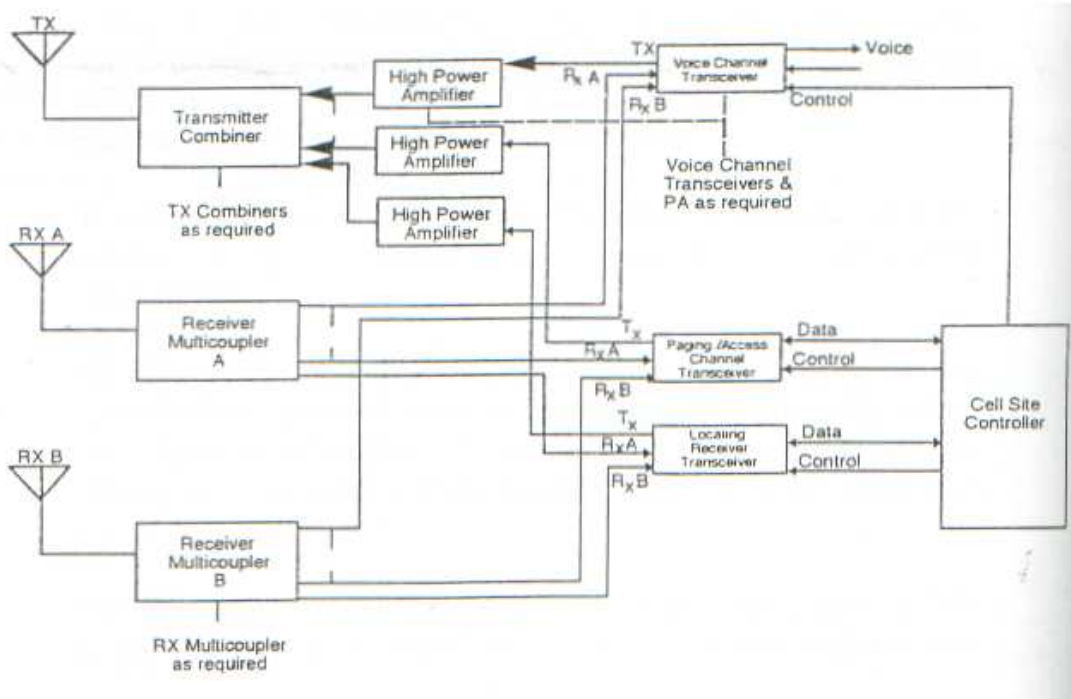
γ) Η επιφανειακή πυκνότητα ισχύος του πεδίου υπολογίζεται ότι είναι:

$$N_{\max} = \frac{P_r \cdot d}{4\pi r^2} = \frac{2 \cdot 10^4 \cdot 500}{4\pi(40000)^2} = 0,5\text{ mW}/\text{m}^2 .$$

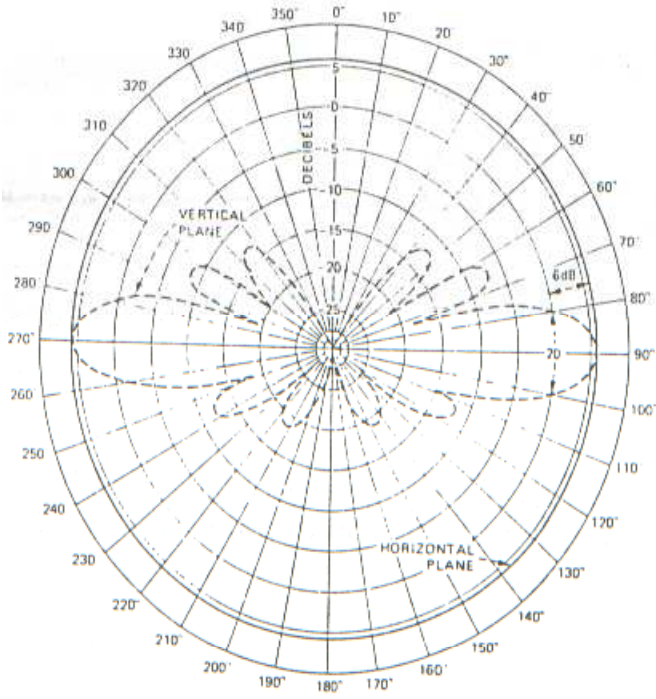
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΧΡΗΣΗ ΚΕΡΑΙΩΝ ΣΤΙΣ ΚΙΝΗΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

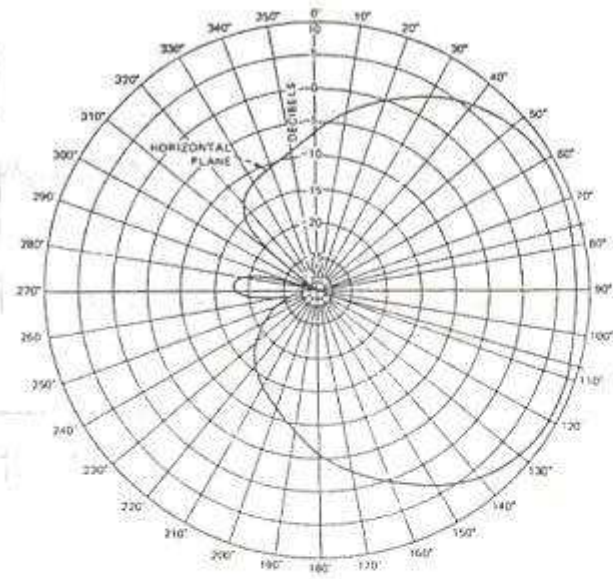
Στις κινητές επικοινωνίες και πιο συγκεκριμένα στα κυψελωτά συστήματα, εκτός από τους κλασικούς παράγοντες που εξαρτώνται από τον σχεδιαστή (τύπος κεραιών, ισχύς που θα τις οδηγήσει, χρησιμοποιούμενη πόλωση κ.λ.π.) πρέπει να ληφθούν υπόψη και παράγοντες που δεν εξαρτώνται απ' αυτόν αλλά επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση του κυψελωτού συστήματος επικοινωνίας του όπως η μορφολογία του εδάφους και η ταχύτητα και διεύθυνση κίνησης των κινητών σταθμών(ΚΣ). Παρακάτω παρατίθεται ένα παράδειγμα διάταξης εκπομπής και λήψης σε έναν σταθμό βάσης(ΣΒ):



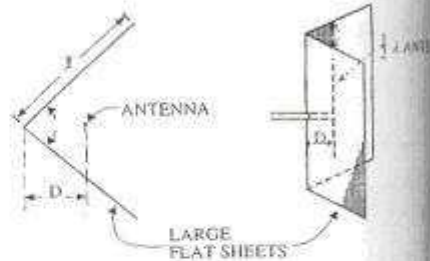
Οι κυριότεροι τύποι κεραιών που χρησιμοποιούνται σε ένα σταθμό βάσης είναι τύπου collinear, corner reflector και Yagi. Η κεραία τύπου collinear είναι ομοιοκατευθυντική (βλέπε σχ. 1), ενώ οι κεραιές τύπου corner reflector και Yagi είναι κατευθυντικές (βλέπε σχ. 2 και 3) και έχουν το πλεονέκτημα ελάττωσης της επίδρασης των διαλείψεων (fading) του σήματος.



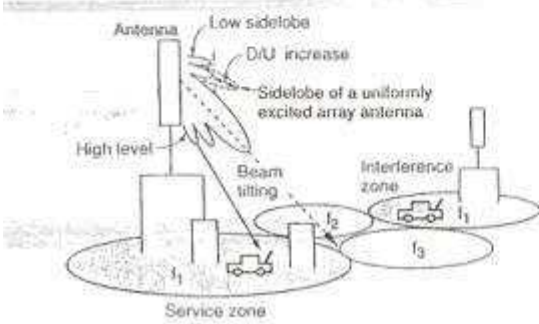
Σχ. 1



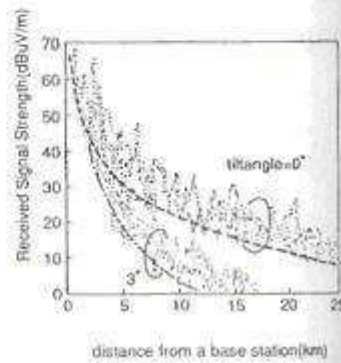
Σχ. 2



Σχ. 3



Σχ.4



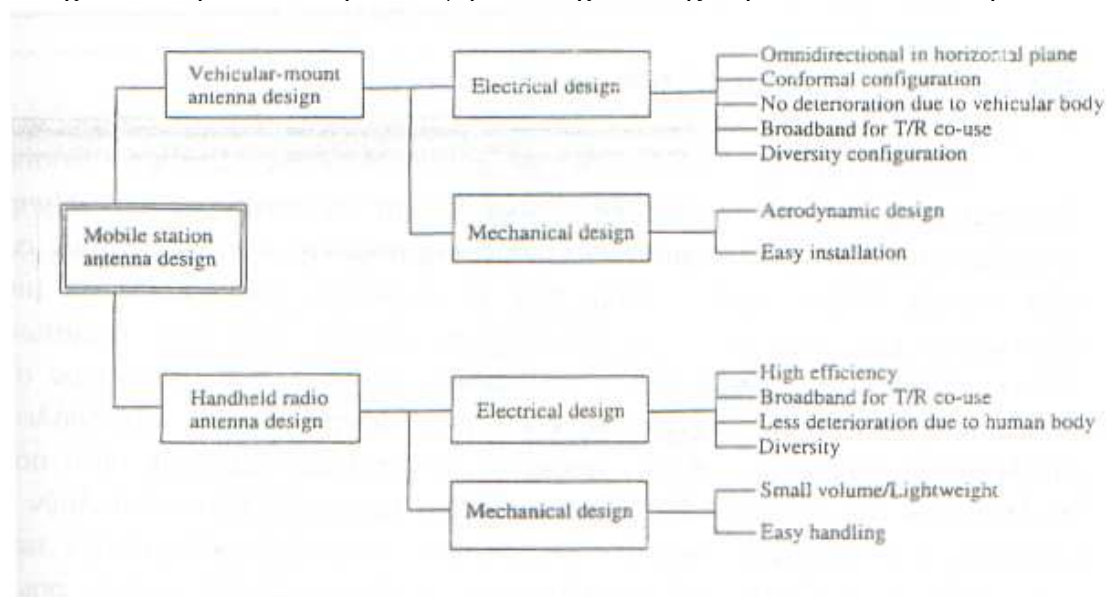
Σχ. 5

Κατά τον σχεδιασμό των κεραιών των ΣΒ ο τομέας στον οποίο δίνεται βαρύτητα είναι η επίτευξη υψηλών τιμών επιθυμητής προς ανεπιθύμητης λαμβανόμενης ισχύος (D/U ratio). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την επονομαζόμενη κλίση της κύριας δέσμης με ηλεκτρικό ή μηχανικό τρόπο. Αποτελέσματα δε μετρήσεων έδειξαν ότι το ποσό της ενδοκαναλικής παρεμβολής μπορεί να ελαττωθεί κατά 10dB (βλέπε σχήματα 4 και 5). Επιπλέον στο σχ.4 φαίνεται η περίπτωση της καταστολής των πλευρικών λοβών μέσω της κατάλληλης τροφοδοσίας του συστήματος της κεραιάς με αποτέλεσμα την ελάττωση της απόστασης επαναχρησιμοποίησης συχνότητας. Τέλος στον παρακάτω πίνακα δίδονται ορισμένα μεγέθη ορισμένων μοντέλων των συχνότερα χρησιμοποιούμενων τύπων κεραιών των ΣΒ:

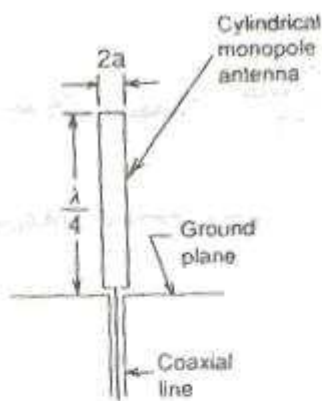
Power Rating of Different Cell-Site Antennas

Type	Model	Gain (dB)	Vertical Bandwidth (deg)	Frequency Bandwidth (MHz)	Power Rating (W)
Yagi	DB 492	6	—	64	100
	PD-1612	10	—	60	150
	SRL-406	10	40	60	40
Corner reflector	ASP-950	9	56	60	100
	DB494	9.0	60	64	150
	PD1124	9.0	54	60	100
Collinear	ASP-950	7.5	8.5	60	500
	DB480	7.5	14	64	500
	PD-10017	10	5.5	35	500

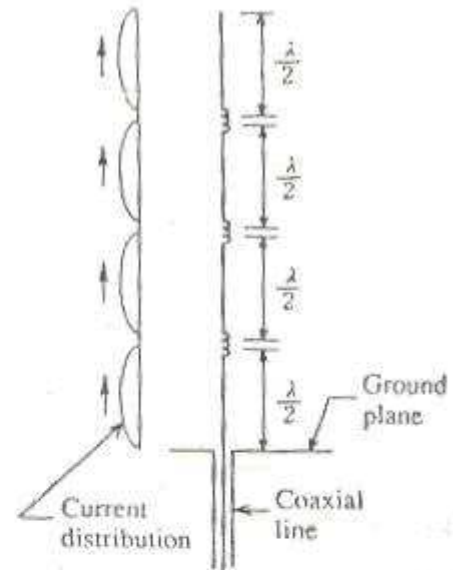
Όσον αφορά τις κεραίες των ΚΣ (τόσο για φορητούς όσο και γι' αυτούς που τοποθετούνται σε οχήματα), τα στοιχεία που πρέπει να λάβει υπόψη του ο σχεδιαστής παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:



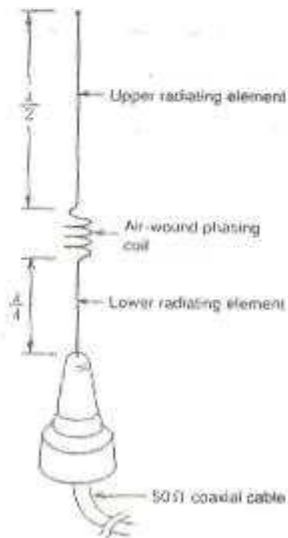
Οι κυριότεροι τύποι κεραιών για ΚΣ είναι αυτοί των $\lambda/4$ -διπόλων, τύπου collinear και τύπου μαστιγίου, ενώ μεγάλη ανάπτυξη αναμένεται να αναπτύξουν οι dual-frequency κεραίες. Όλες οι προαναφερόμενες κεραίες παρατίθενται στα σχήματα 6-9.



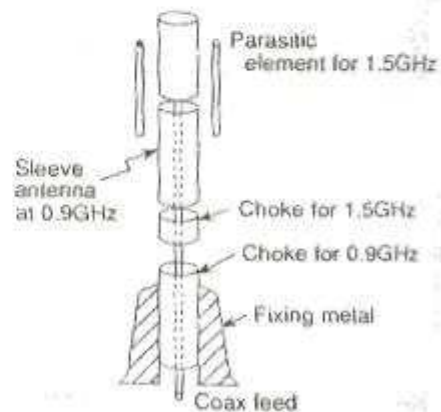
Σχ. 6



Σχ. 7



Σχ. 8



Σχ.9

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Ασφάλεια πάνω απ'όλα!

Παρακάτω θα δώσουμε κάποιες πρακτικές συμβουλές που έχουν να κάνουν με την ασφάλεια σας κατά την εγκατάσταση και εργασία εν γένει με κεραίες. Ανεξάρτητα με το αν αύριο-μεθαύριο γίνεται καλοί ή κακοί ηλεκτρονικοί, **μην τις αψηφήσετε και μην τις περάσετε στα "ψιλά"** γιατί από κάποια απ'αυτές μπορεί να **σώσετε τη ζωή σας!** Και αυτό είναι ασφαλώς πολύ σημαντικότερο από οποιοδήποτε επαγγελματικό δρόμο ακολουθήσετε ή επίτευγμα καταφέρετε στη δουλειά σας σαν ηλεκτρονικοί...

Αρχικά λοιπόν θα αναφερθούμε σε κάποια πράγματα όσον αφορά την εγκατάσταση απλών, καλωδιακών κεραιών. Το πρώτο πράγμα που θα πρέπει να προσέξετε όταν θα εγκαθιστάτε την κεραία είναι τα άκρα της να είναι αρκετά ψηλά και απρόσιτα σε οποιοδήποτε περαστικό. Ακόμα και όταν εκπέμπεται σε χαμηλή ισχύ μπορεί να υπάρχει αρκετή τάση στα άκρα της κεραίας σας ώστε να προκληθούν μερικά άσχημα "RF εγκαύματα". Αν

έχετε μια κάθετη κεραία με την βάση της στη γη, χτίστε ένα ξύλινο φράχτη ασφαλείας γύρω της σε απόσταση τουλάχιστον 4 ποδιών απ' αυτήν. Μη χρησιμοποιήσετε μεταλλικό φράχτη, γιατί θα επιδράσει στην ομαλή λειτουργία της κεραίας. Δώστε ιδιαίτερη προσοχή ώστε η κεραία σας να μην βρίσκεται κοντά σε αγωγούς ρεύματος αλλιώς θα αλληλεπιδράσει μ' αυτούς!

Η δουλειά με κεραιές συχνά απαιτεί από κάποιον να σκαρφαλώσει σε έναν πύργο, πάνω σ' ένα δέντρο ή στην στέγη ενός σπιτιού. **Ποτέ μην δουλεύετε μόνοι σας!** Να δουλεύετε αργά, σκεπτόμενοι κάθε κίνησή σας προτού την κάνετε. Το άτομο στην σκάλα, στον πύργο, στο δέντρο ή στην στέγη θα πρέπει να φοράει μια ζώνη ασφαλείας καλά δεμένη. Θα ήταν ωφέλιμο και ασφαλές να δέσετε όλα τα εργαλεία σας με σπάγκους και ελαφριά σχοινάκια στη ζώνη σας. Με αυτόν τον τρόπο θα γλιτώσετε κόπο και χρόνο σε περίπτωση που κάποιο απ' αυτά σας πέσει και θα αποφύγετε να τραυματίσετε κάποιον βοηθό σας κατά την πτώση του.

Ασφάλεια πύργου

Πάντα να χρησιμοποιείτε τα ποιοτικότερα υλικά στο σύστημά σας. Να τηρείτε τις προδιαγραφές του κατασκευαστή, δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στον στύλο της βάσης και σε λεπτομέρειες συγκράτησης. Μην παραφορτώνεται τον πύργο. Σημαντικό είναι επίσης όταν ξεκινάτε την εργασία σας να διαθέτετε τα κατάλληλα εργαλεία. Μην χρησιμοποιήσετε αυτοσχέδια εργαλεία. Παρακάτω αναφερόμαστε αναλυτικότερα στον εξοπλισμό που πρέπει να διαθέτετε.

Ρουχισμός

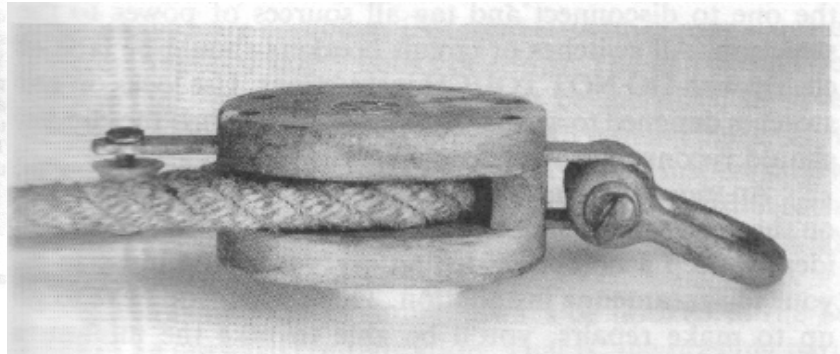
Τα ρούχα που θα φοράτε όταν δουλεύετε σε πύργους θα πρέπει να επιλεγούν με βάση την μέγιστη δυνατή άνεση και ασφάλεια. Να φοράτε ρούχα που θα σας κρατάνε ζεστούς, αλλά που θα σας δίνουν πλήρη ελευθερία κίνησης. Μακριά χοντρά βαμβακερά παντελόνια και μια μακρυμάνικη φανέλα θα σας προστατέψουν από γδαρσίματα και κοψίματα. Να φοράτε παπούτσια με βαριές σόλες, ή ακόμα καλύτερα, με ατσαλένια στελέχη (ατσάλι μέσα στις σόλες), για να δώσετε στα πόδια σας την κατάλληλη στήριξη σε στενά πατήματα. Γάντια είναι απαραίτητα και για τον αναρριχητή και για το προσωπικό εδάφους. Καλής ποιότητας δερμάτινα γάντια θα προστατέψουν τα χέρια από τραυματισμούς και θα τα κρατήσουν ζεστά. Προσφέρουν επίσης προστασία και καλύτερο πιάσιμο όταν χειρίζεστε σχοινιά. Σε πιο δροσερό καιρό, ένα ζευγάρι γάντια με ελαφριά μόνωση θα κρατήσει τα χέρια σας ζεστά. Η μόνωση παρόλ' αυτά δεν πρέπει να είναι τόσο ογκώδης που να εμποδίζει την κίνηση. Τα μέλη του πληρώματος εδάφους θα πρέπει να φοράνε σκληρά καπέλα για προστασία σε περίπτωση που κάτι πέσει από τον πύργο.

Ζώνη ασφαλείας και εξαρτήματα αναρρίχησης

Κάθε ερασιτέχνης με πύργο θα πρέπει να φοράει μια ζώνη ασφαλείας όπως αυτή του σχ. 1.



Σχ. 1: Ο Bill Lowry χρησιμοποιεί μια καλή ποιοτική ζώνη ασφαλείας. Η ζώνη θα πρέπει να περιέχει μεγάλους ατσάλινους βρόχους για το άρπαγμα του ιμάντα. Δερμάτινοι βρόχοι στη πίσω μεριά της ζώνης είναι πρακτικοί για το κράτημα εργαλείων.



Σχ. 2: Ένα καλό ποιοτικό σχοινί και μια τροχαλία είναι απαραίτητα για αυτούς που δουλεύουν σε πύργους κεραιών. Αυτή η τροχαλία είναι εσωκλειστή σε ξύλο ούτως ώστε να μην πηδάει το σχοινί έξω από τον τροχό της τροχαλίας και μαγκώνει.

Η ζώνη δεν προστατεύει απλά τον αναρριχητή αλλά του δίνει την δυνατότητα να χρησιμοποιεί και τα δυο του χέρια. Ακόμα του προσφέρει μια στερεή επιφάνεια να στηριχθεί για να φτάσει βίδες ή άλλες συνδέσεις και να ασκήσει περισσότερη δύναμη για ν' ανεβάσει κεραιές και να τις τοποθετήσει. Εξετάστε τη ζώνη σας για ελαττώματα πριν τη χρήση της. Μαζί με τη ζώνη ασφαλείας θα πρέπει να σκεφθείτε σοβαρά την απόκτηση μικρών σάκων για το κουβάλημα εργαλείων και υλικού πάνω στον πύργο. Δύο σάκοι, ένας μεγάλος για μεταφορά εργαλείων και ένας μικρότερος για μεταφορά υλικών θα έκαναν την εργασία σας ευκολότερη. Μερικοί έξτρα γάντζοι όπως αυτοί στις άκρες του αναδέτη σας είναι χρήσιμοι για να δέσετε σάκους εργαλείων και εξοπλισμό στον πύργο σε βολικά σημεία. Αυτοί οι γάντζοι είναι καλύτεροι από τη χρήση σχοινιών και κόμπων γιατί είναι εύκολο σε μερικές περιπτώσεις να γαντζωθούν και να ξεγαντζωθούν με το ένα χέρι.

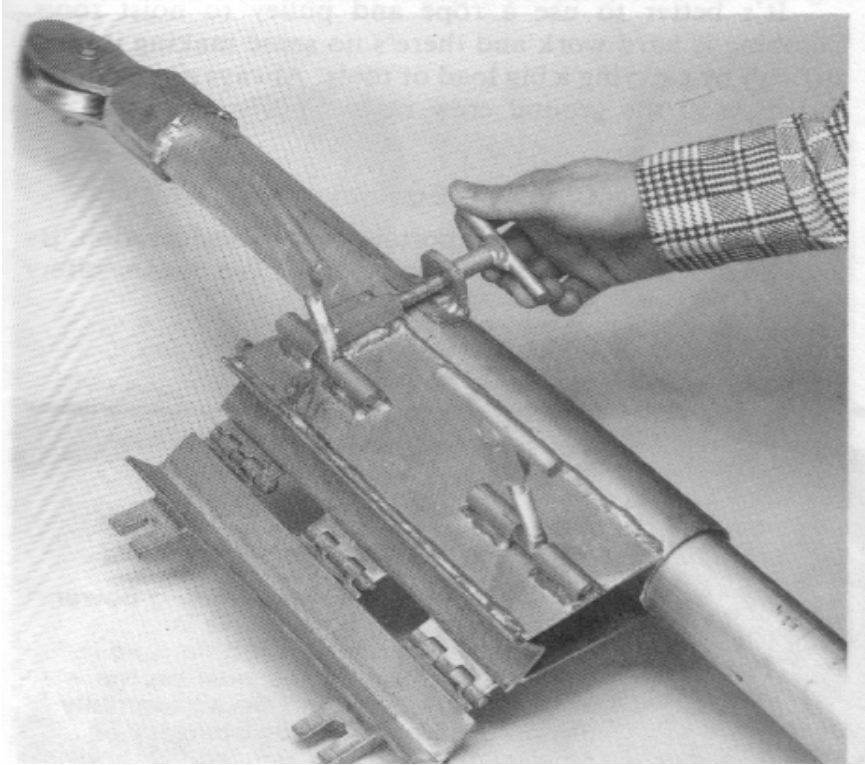
Σχοινί και τροχαλία

Κάθε ερασιτέχνης που έχει στην κατοχή του έναν πύργο πρέπει να έχει και ένα ποιοτικό σχοινί τουλάχιστον 2 φορές μακρύτερο από το ύψος του πύργου. Για τις περισσότερες εγκαταστάσεις ένα $\frac{1}{2}$ ίντσας διαμέτρου κανναβόσχοινο θα κάνει τη δουλειά του, παρόλο που ένα λεπτότερο σκοινί είναι δυνατότερο και ίσως ευκολότερο να χειριστεί. Μερικοί τύποι σχοινιών από πολυπροπυλένιο είναι επίσης αποδεκτοί. Σκοινιά από νάιλον δεν συνιστανται γιατί τείνουν να τεντωθούν και δεν μπορούν να δεθούν κόμπο εύκολα. Ελέγξτε το σκοινί σας προτού αναρριχηθείτε. Αν το σχοινί σας βραχεί αφήστε το να στεγνώσει καλά προτού το χρησιμοποιήσετε. Μια άλλη αξιόλογη αγορά θα ήταν η απόκτηση μιας τροχαλίας όπως αυτής του σχ.2. Χρησιμοποιήστε την σωστού μεγέθους τροχαλία ώστε για το σχοινί σας ώστε να μην μαγκώνει και να μην μπλέκει το σχοινί καθώς θα περνάει από μέσα της.

Στήριγμα σταθερής τροχαλίας

Ένα τέτοιο στήριγμα σαν αυτό που φαίνεται στο σχ.3, είναι μια χρήσιμη συσκευή για εργασία με τμήματα του πύργου και κατάρτια. Το στήριγμα είναι έτσι κατασκευασμένο ώστε να σφίγγει γύρω από το πόδι του πύργου. Η σωλήνωση που είναι γύρω στα 12 πόδια μακριά, έχει μια τροχαλία στο ένα της άκρο. Ένα σχοινί δρομολογείται μέσα από τη σωλήνωση και πάνω από την τροχαλία. Όταν το στήριγμα σταθερής τροχαλίας είναι συνδεδεμένο

στον πύργο και η σωλήνωση έχει εκταθεί το σχοινί μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ρυμουλκήσει τμήματα του πύργου ή το κατάρτι. Όταν χρησιμοποιείται στήριγμα σταθερής τροχαλίας προσπαθήστε να κρατήσετε το φορτίο όσο πιο κάθετα γίνεται. Παρόλο που τα στηρίγματα αυτά είναι δυνατά, πηγαίνετε γυρεύοντας αν εφαρμόσετε υπερβολική πλευρική δύναμη. Σαν εξάρτημα το στήριγμα σταθερής τροχαλίας είναι αρκετά ακριβό και καλό θα ήταν να το ενοικιάζατε αν πρόκειται να το χρησιμοποιήσετε μία μονάχα φορά.



Σχ. 3: Το στήριγμα σταθερής τροχαλίας είναι μια μηχανική κατασκευή που μπορεί να σφίξει στο πόδι ενός πύργου και να βοηθήσει στη συναρμολόγηση τμημάτων, όπως και στην εγκατάσταση του ιστού της κεραίας. Η αλουμινένια σωλήνωση εκτείνεται μέσα από τον σφιγκτήρα και μπορεί να ολισθήσει προτού ο σφιγκτήρας σφίξει. Ένα σκοινί στηριγμένο στη κορφή θα πρέπει να περάσει μέσα από το σωλήνα και πάνω από την τροχαλία.

Εγκαθιστώντας κεραίες στον πύργο

Εδώ θα πρέπει να συζητήσετε με την ομάδα σας τι εργαλεία θα χρειαστεί να πάρετε πάνω, προτού αναρριχηθείτε και πια μέθοδο θα ακολουθήσετε. Αν συντονιστείτε σωστά προτού αρχίσετε την αναρρίχσή σας θα γλιτώσετε κόπο και χρόνο αλλά και θα αποφύγετε αχρείαστους κινδύνους λόγω ασυνεννοησίας. Να διαθέτετε μαζί σας μια φορητή συσκευή επικοινωνίας για συνεννόηση με την ομάδα εδάφους και να έχετε πάντα πρόχειρα κάποια τηλέφωνα έκτακτης ανάγκης για την περίπτωση που κάτι πάει στραβά. Να θυμάστε ότι η αναρρίχηση με κρύα χέρια και πόδια είναι πάντοτε επικίνδυνη. Να ξεκουράζεστε κατά την άνοδό σας όσο χρόνο χρειάζεται αν κουραστείτε. Να ενημερώνεστε σε τακτά χρονικά διαστήματα για το δελτίο καιρού, ιδιαίτερα αν πρόκειται να εργασθείτε σε πολύ ψηλές κατασκευές. Ποτέ μην σκαρφαλώνετε σε έναν υγρό πύργο. Το άτομο που θα ανέβει στον πύργο θα πρέπει να είναι αυτό που θα αποσυνδέσει όλες τις πηγές ισχύος. Όλοι οι διακόπτες και οι ασφάλειες θα πρέπει να είναι επισημασμένες με οδηγίες ΜΗΝ ΑΓΓΙΖΕΤΕ. Χρησιμοποιήστε κλειδαριές σε κάθε διακόπτη που είναι σχεδιασμένος να τις δέχεται. Μόνο ο αναρριχητής θα πρέπει να επανασυνδέσει τις πηγές ισχύος.

Εξοπλισμός αναρρίχησης

Σε αυτόν εκτός από τα κατάλληλα εργαλεία, περιλαμβάνεται και ο εξοπλισμός ασφαλείας. Ο εξοπλισμός είναι ο εξής:

- 1) Μια αρίστης ποιότητας ζώνη ασφαλείας
- 2) Γυαλιά ασφαλείας
- 3) Σκληρό καπέλο (κράνος)

- 4)Μακρυμάνικα , πουλόβερ χωρίς κουμπιά ή ανοίγματα να σκαλώνουν(τα μακρυμάνικα είναι ιδιαίτερα σημαντικά σε αναρρίχηση σε ξύλινους πασσάλους)
- 5)Μακριά παντελόνια χωρίς μανσέτες,
- 6)Σταθερά , άνετα,με ατσάλινα στελέχη παπούτσια με αντιολισθητική σόλα και καλοσηματισμένες φτέρνες και
- 7)Γάντια που δεν θα περιορίζουν την κίνηση των δακτύλων(μονωμένα γάντια αν πρόκειται να δουλέψετε σε ψυχρό περιβάλλον).

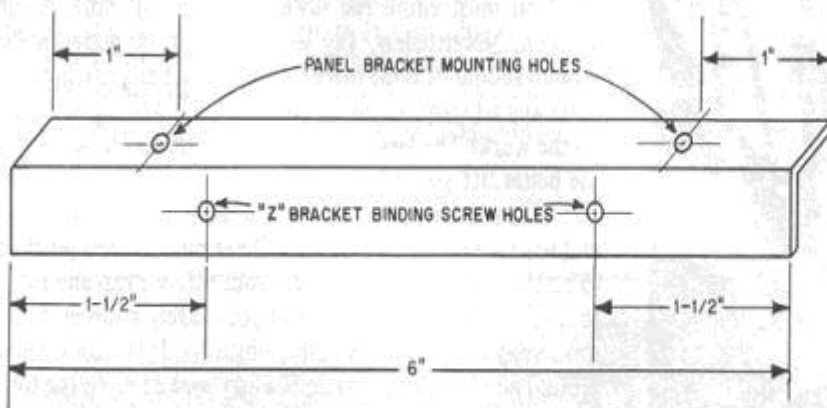
Θα πρέπει να επιθεωρήσετε προσεκτικά τη ζώνη σας και τους ιμάντες πρόσδεσης πριν από κάθε αναρρίχηση , δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στις ραφές , στα πριτσίνια και σε βαριά μηχανικά μέρη.

Οι γάντζοι στήριξης της ζώνης θα πρέπει να είναι πάντοτε γραπωμένοι στα D δακτυλίδια.Αυτό σημαίνει ότι η ανοιγμένη πλευρά του γάντζου θα πρέπει να βλέπει μακριά απ'τον πύργο όταν δεσμεύεται στα δακτυλίδια, όπως στο σχήμα 7.Ο έλεγχος αυτός θα πρέπει να γίνεται πάντοτε οπτικά.Ποτέ μην αρκείστε στον ήχο που θ'ακούσετε.Θυμηθείτε ότι τα D δακτυλίδια στηρίζουν μόνο τους γάντζους.Κανένα εργαλείο ή σκοινί δεν θα πρέπει να δένετε σε αυτούς τους γάντζους.Ιμάντες , αναδέτες και σχοινιά θα πρέπει να είναι όσο το δυνατό κοντύτερα.Να θυμάστε ότι οι κόμποι γενικά μειώνουν την αντοχή τραβήγματος φορτίου κατά 50% περίπου.Προτού ανεβείτε ελέγξτε οπτικά την κατασκευή και ψάξτε για τυχόν φυσικά εμπόδια(π.χ σφηκοφωλιές).Όταν θα ξεκουράζεστε μην βάζετε το χέρι σας ή το πόδι σας σε κάποιον σύνδεσμο.Να γραπώνετε απ'τον πύργο.Όσο θα είστε ακόμα πάνω να θυμάστε να κουνάτε περιοδικά τα δάχτυλά σας ούτως ώστε να μην μουδιάζουν τα πόδια σας και να διατηρείτε τις αισθήσεις σας.

Η θωράκιση του πύργου

Ένας πύργος από μόνος του μπορεί να αποτελέσει δέλεαρ για παρείσακτους και μικρά παιδιά προκειμένου να σκαρφαλώσουν πάνω του.Είσαστε νομικά υποχρεωμένοι να αποτρέψετε αυτό το ενδεχόμενο και αυτό το σκοπό εξυπηρετεί η θωράκιση του πύργου.Ας δούμε λοιπόν πως κατασκευάζεται μια τέτοια θωράκιση.

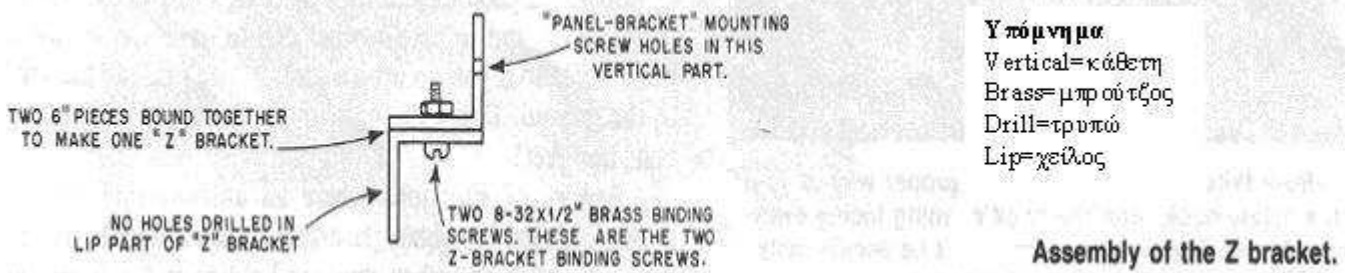
Η θωράκιση αποτελείται από απλά χωρίσματα που περικλείουν τον πύργο και καθιστούν την αναρρίχηση αδύνατη.Αυτά τα χωρίσματα έχουν 5 πόδια ύψος και είναι αρκετά πλατιά ώστε να χωρέσουν άνετα μεταξύ των ποδιών του πύργου και επίπεδα έναντι των σκαλοπατιών.Τα χωρίσματα κατασκευάζονται από 18άρι σε πάχος γαλβανισμένο φύλλο μετάλλου κομμένο στις κατάλληλες διαστάσεις από ένα τοπικό μεταλλουργείο.Τα τρία είδη μετάλλων που χρησιμοποιούνται από τα στοιχεία της ασπίδας είναι υποθετικά ανοξειδωτα και αδρανή.Τα χωρίσματα είναι γαλβανισμένο φύλλο μετάλλου , τα υποστηρίγματα αλουμίνιο και οι βίδες και τα παξιμάδια μπρούτζινα.Για έναν τριγωνικό πύργο , η θωράκιση αποτελείται από 3 χωρίσματα , μία για κάθε πλευρά , υποστηριζόμενα από 2 στηρίγματα.Κατασκευάστε αυτά τα στηρίγματα από κομμάτια λεπτό αλουμίνιο των 6 ιντσών.Βιδώστε 2 απ'τα κομμάτια μαζί για να σχηματίσετε ένα Z υποστήριγμα (βλ.σχήματα 4 , 5 και 6).Τα Z υποστηρίγματα βιδώνονται μαζί με συνδετικές βίδες με κεφαλές, μπρούτζινες, τόνου.



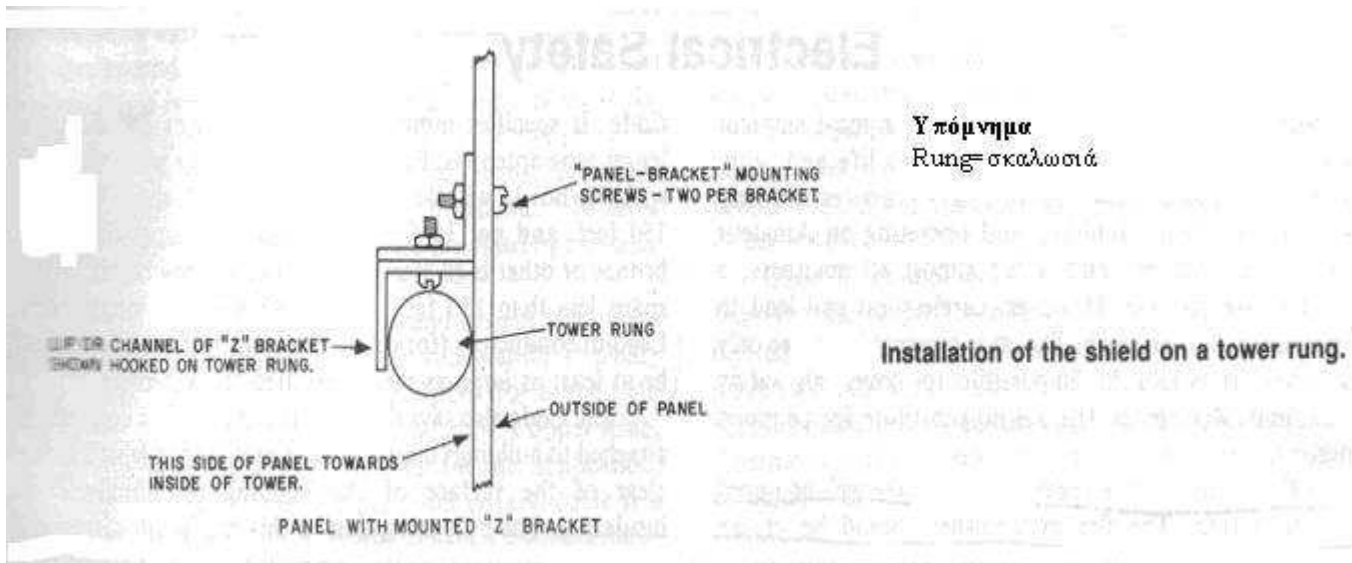
Υπόμνημα
 Panel=χωρίσμα
 Bracket=υποστήριγμα
 Bind=σύνδεσμος
 Screw=βίδα
 Mount=στήριγμα

Z-bracket component pieces.

Σχ. 4



Σχ. 5



Σχ. 6

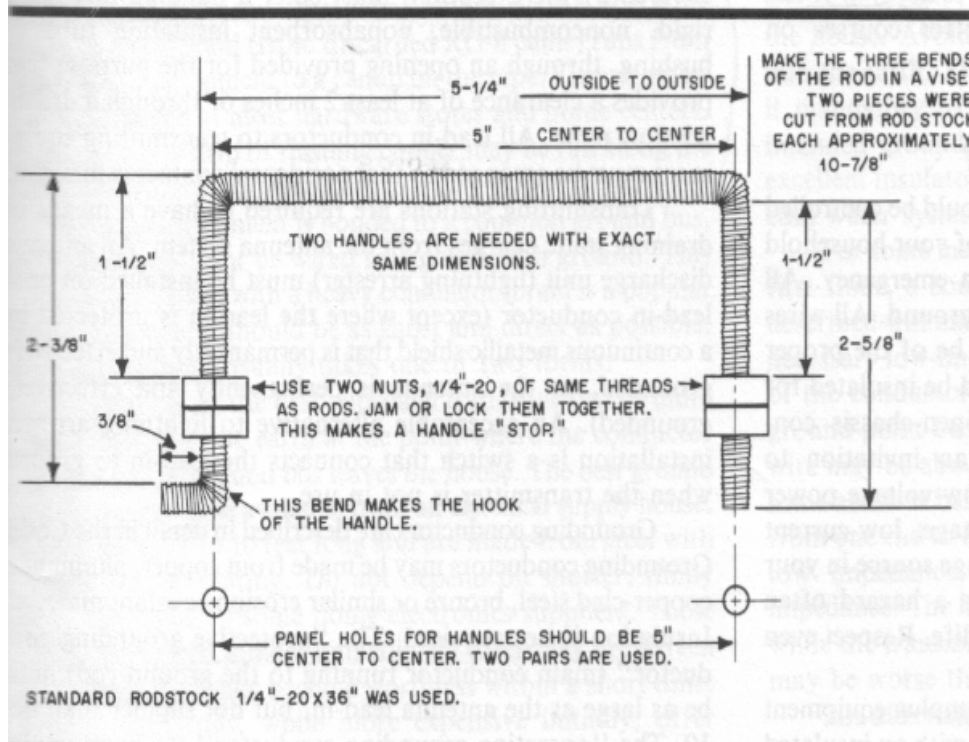
Τοποθετήστε τα χωρίσματα επίπεδα για μέτρημα, μαρκάρισμα και τρύπημα. Πρώτα μετρήστε την κορυφή της πάνω υποστηρικτικής βαθμίδας στον πύργο έως την κορυφή της κάτω βαθμίδας (οι υποστηρικτικές βαθμίδες επιλέγονται για να τοποθετήσουν το χωρίσμα πάνω στον πύργο). Μετά σημειώστε την απόσταση των χωρισμάτων. Χρησιμοποιήστε του ίδιου μεγέθους μπρούτζινες βίδες και παξιμάδια σε ολόκληρη την θωράκιση. Βιδώστε το κορυφαίο κάθετο τμήμα κάθε Z στηρίγματος στο χωρίσμα. Τρυπήστε τις τρύπες των βιδών στήριξης περίπου 1 ίντσα από την άκρη των Z υποστηριγμάτων έτσι ώστε να υπάρχει ένα ξεκάθαρο περιθώριο μεταξύ των τρυπών των βιδών ένωσης των Z-στηριγμάτων και των τρυπών των βιδών στήριξης των υποστηρικτικών χωρισμάτων. Τρυπήστε σε κάθε χωρίσμα ώστε να ταιριάζουν με τις τρύπες των Z-στηριγμάτων.

Τα χωρίσματα συγκρατούνται στον πύργο από το ίδιο τους το βάρος. Δεν είναι εύκολο να πιαστούν γιατί ταιριάζουν βολικά ανάμεσα στις σκαλωσιές του πύργου. Αν αισθανθείτε την ανάγκη για πρόσθετη ασφάλεια ενάντια στο ενδεχόμενο μετακίνησης των χωρισμάτων, αυτή μπορεί να επιτευχθεί μέσω του δεσίματος καλωδίων. Φτιάξτε μια μικρή τρύπα στο χωρίσμα ακριβώς πάνω, ακριβώς κάτω και στο κέντρο κάθε Z στηρίγματος. Περάστε ένα κομμάτι βαρύ γαλβανισμένο καλώδιο μέσα από την πάνω τρύπα, γύρω από το Z στηρίγμα και μετά ξανά μέσα από την τρύπα κάτω από το Z στηρίγμα. Στρίψτε μαζί τις δύο άκρες του καλωδίου. Ένα δεμένο καλώδιο αρκεί για κάθε χωρίσμα, αλλά χρησιμοποιείστε δύο αν το επιθυμείτε.

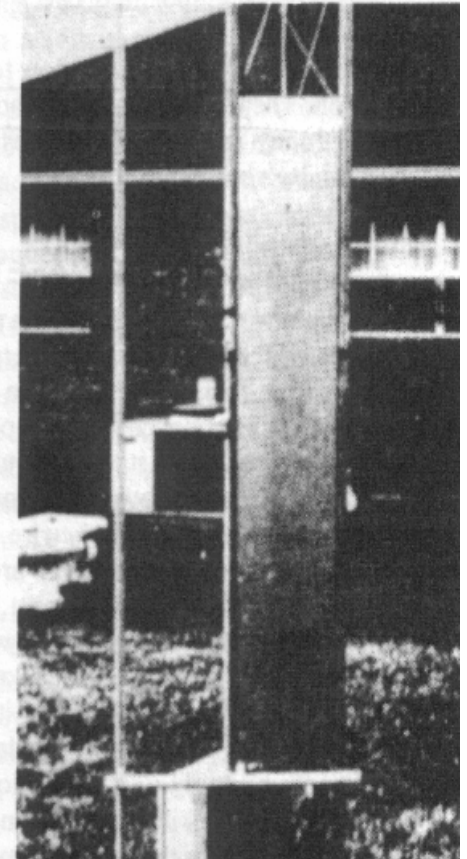
Τα ολοκληρωμένα χωρίσματα είναι μάλλον βαριά και ογκώδη και δύσκολα στο να τα μετακινήσει κάποιος. Ένα χαρακτηριστικό που είναι χρήσιμο είναι σε περίπτωση που τα χωρίσματα θα πρέπει να μετακινούνται συχνά για αναρρίχηση στον πύργο ή πρόσβαση ένα ζευγάρι αφαιρούμενα χερούλια. Τα αφαιρούμενα χερούλια μπορούν

να κατασκευασθούν από μια ράβδο με σπείρες και 8 παξιμάδια(βλ.σχ.7). Τρυπήστε 2 ζεύγη τρυπών για χερούλια στα χωρίσματα μερικές ίντσες κάτω από το κορυφαίο Z στήριγμα και αρκετές ίντσες πάνω από το κάτω Z στήριγμα. Για τοποθέτηση ή μετακίνηση του χωρίσματος μπορείτε να γαντζώσετε τα χερούλια σε αυτές τις τρύπες χωρίσματος. Ο γάντζος στο πάνω μέρος του χερουλιού ταιριάζει στην πάνω τρύπα κάθε ζεύγους των τρυπών των χερουλιών. Τα χερούλια είναι προαιρετικά , αλλά σίγουρα θα σας διευκολύνουν. Το σχ.8 δείχνει την θωράκιση εγκατεστημένη στον πύργο.

Υπόμνημα: bend=κυρτώσεις, λυγίσματα, rod=ράβδος, nut=παξιμάδια, jam=μάγκωμα, εμπλοκή



Σχ. 7: Κατασκευή μετακινούμενου χερουλιού



Σχ. 8: Εγκατεστημένη θωράκιση πύργου. Παρατηρείστε τις τρύπες για χρήση των χερουλιών.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑ

Ένας πυροσβεστήρας διοξειδίου του άνθρακα θα πρέπει να είναι πάντα διαθέσιμος για την περίπτωση πυρκαγιάς. Κάποιο από τα μέλη που θα εργάζονται στον σταθμό θα πρέπει να είναι σε θέση να εφαρμόσει τεχνητή αναπνοή σε περίπτωση που αυτό καταστεί απαραίτητο. Η κεντρική καλωδίωση τώρα ενός σταθμού θα πρέπει να ελέγχεται από έναν κεντρικό διακόπτη. Όλος ο εξοπλισμός θα πρέπει να είναι συνδεδεμένος σε μια καλή γείωση. Όλοι οι αγωγοί θα πρέπει να είναι σε θέση να αντέξουν τα ρεύματα που θα τους διαρρέουν. Να θυμάστε ότι υψηλά ρεύματα με χαμηλές τάσεις είναι το ίδιο επικίνδυνα με μικρά ρεύματα και υψηλές τάσεις. Εκφορτίστε τους πυκνωτές με ένα μονωμένο κατσαβίδι: μην θεωρείτε τις αντιστάσεις διαρροής αξιόπιστες. Σε έναν ενισχυτή ισχύος πάντα να οδηγείτε την χωρητικότητα μεταξύ των ηλεκτροδίων της ηλεκτρονικής λυχνίας στη γείωση απλά για να σιγουρευτείτε ότι το φορτίο έχει εκφορτισθεί. Αν πρέπει να δουλέψετε με ηλεκτρικά ενεργό εξοπλισμό , να κρατάτε το ένα χέρι στην τσέπη. Αποφύγετε σωματική επαφή με οποιοδήποτε γειωμένο αντικείμενο για να αποφύγετε το σώμα να γίνει ο δρόμος επιστροφής από μια πηγή

τάσεως στο έδαφος.Χρησιμοποιείτε μονωμένα αντικείμενα για να προσθέτετε ή να μετακινείτε κυκλωματικές διατάξεις.

Εθνικός Ηλεκτρικός Κώδικας

Σύμφωνα μ' αυτόν καθορίζονται ελάχιστα μεγέθη αγωγών για διαφορετικά μήκη κεραιών.Για δύσκαμπτους χάλκινους αγωγούς , ο κώδικας καθορίζει Νο 14 καλώδιο για ανοικτές(μη υποστηριζόμενες) αποστάσεις μικρότερες των 150 ποδιών και Νο 10 για μακρύτερες αποστάσεις.Ατσάλι καλυμμένο από χαλκό , μπρούτζος ή άλλοι μεγαλύτερης αντοχής αγωγοί μπορούν να είναι Νο 14 για αποστάσεις μικρότερες των 150 ποδιών και Νο 12 καλώδιο για μεγαλύτερες αποστάσεις.Οι αγωγοί που συνδέουν την κεραία με τον δέκτη ή τον πομπό (για γραμμές μεταφοράς που αποτελούνται από 2 ευθύγραμμους , παράλληλους αγωγούς συγκρατούμενες κατά ζεύγη από ράβδους μονωτικού υλικού μικρών απωλειών που τοποθετούνται κατά διαστήματα κατά μήκος των αγωγών),θα πρέπει να είναι τουλάχιστον τόσο μεγάλοι όσο οι καθορισμένοι για κεραίες.

Ο κώδικας επίσης λέει ότι οι κεραίες και οι αγωγοί που συνδέουν την κεραία με τον δέκτη ή τον πομπό και που είναι συνδεδεμένοι σε κτίρια γερά στηριγμένοι τουλάχιστον 3 ίντσες μακριά από την επιφάνεια του κτιρίου σε μη απορροφητικούς μονωτές.Η μόνη εξαίρεση σ' αυτήν την ελάχιστη απόσταση είναι όταν οι αγωγοί αυτοί είναι κλεισμένοι μέσα σε μια μόνιμα και αποτελεσματικά μονωμένη μεταλλική θωράκιση.Η εξαίρεση καλύπτει ομοαξονικά καλώδια.

Σύμφωνα με τον κώδικα αγωγοί που συνδέουν την κεραία με τον δέκτη ή τον πομπό (εκτός απ' αυτούς που καλύπτονται από την εξαίρεση) πρέπει να μπαίνουν σε κτίρια μέσω ενός άκαμπτου , μη εύφλεκτου , μη απορροφητικού μονωμένου σωλήνα ή , μέσω ενός ανοίγματος που διατίθεται για την περίπτωση που διαθέτει περιθώριο τουλάχιστον 2 ιντσών διαμέσου ενός διάτρητου τζαμιού.Όλοι οι αγωγοί αυτού του τύπου σε εξοπλισμό μετάδοσης πρέπει να είναι διαρρυθμισμένοι ώστε η τυχαία επαφή να είναι δύσκολη.

Οι σταθμοί εκπομπής οφείλουν να έχουν μέσα απορρόφησης στατικών φορτίων από συστήματα κεραιών.Μια μονάδα εκφόρτισης κεραίας(αλεξικέραυνο) πρέπει να εγκατασταθεί σε κάθε αγωγό που συνδέει την κεραία με τον δέκτη ή τον πομπό (εκτός από όταν ο αγωγός αυτός προστατεύεται από μια συνεχή μεταλλική θωράκιση που είναι μόνιμα και αποτελεσματικά γειωμένη , ή η κεραία είναι μόνιμα και αποτελεσματικά γειωμένη).Μια αποδεκτή εναλλακτική λύση σε ένα αλεξικέραυνο είναι ένας διακόπτης που συνδέει την είσοδο στη γείωση όταν ο πομπός δεν λειτουργεί.

Αγωγοί γείωσης μπορεί να είναι φτιαγμένοι από χαλκό , αλουμίνιο, επιχαλκωμένο ατσάλι , μπρούτζο ή παρόμοια αντιδιαβρωτικά υλικά.Μόνωση δεν απαιτείται.Ο προστατευτικός αγωγός γείωσης (κύριος αγωγός που κατευθύνεται στη ράβδο γείωσης) πρέπει να είναι τόσο μεγάλος όσο η είσοδος της κεραίας , αλλά όχι μικρότερο από Νο 10.Ο αγωγός γείωσης λειτουργίας (που συνδέει τον εξοπλισμό με το σασί) πρέπει να είναι τουλάχιστον Νο 14.

Ακόμα όλοι οι αγωγοί μέσα στο κτίριο πρέπει να είναι τουλάχιστον 4 ίντσες μακριά από αγωγούς οποιουδήποτε κυκλώματος σηματοδοσίας ή προστασίας από κεραυνούς εκτός από όταν χωρίζονται από άλλους αγωγούς από προφυλακτήρες καλωδίων ή μη αγώγιμο υλικό.Οι πομποί πρέπει να περικλείονται μέσα σε μεταλλικές θήκες οι οποίες πρέπει να γειώνονται.Όλα τα μεταλλικά πόμολα και κουμπιά ελέγχου προσβάσιμα από τον χειριστή πρέπει να γειώνονται.Όλες οι πόρτες πρόσβασης πρέπει να είναι εξοπλισμένες με ενδοασφάλειες που θα αποσυνδέουν όλα τα άνω των 350V δυναμικά όταν θα ανοίγουν. Τα όσα περιγράψαμε καθώς και πολλά ακόμα πράγματα μπορούν να παρθούν ως μέτρα ασφαλείας και δεν πρέπει ποτέ να αμελούνται.

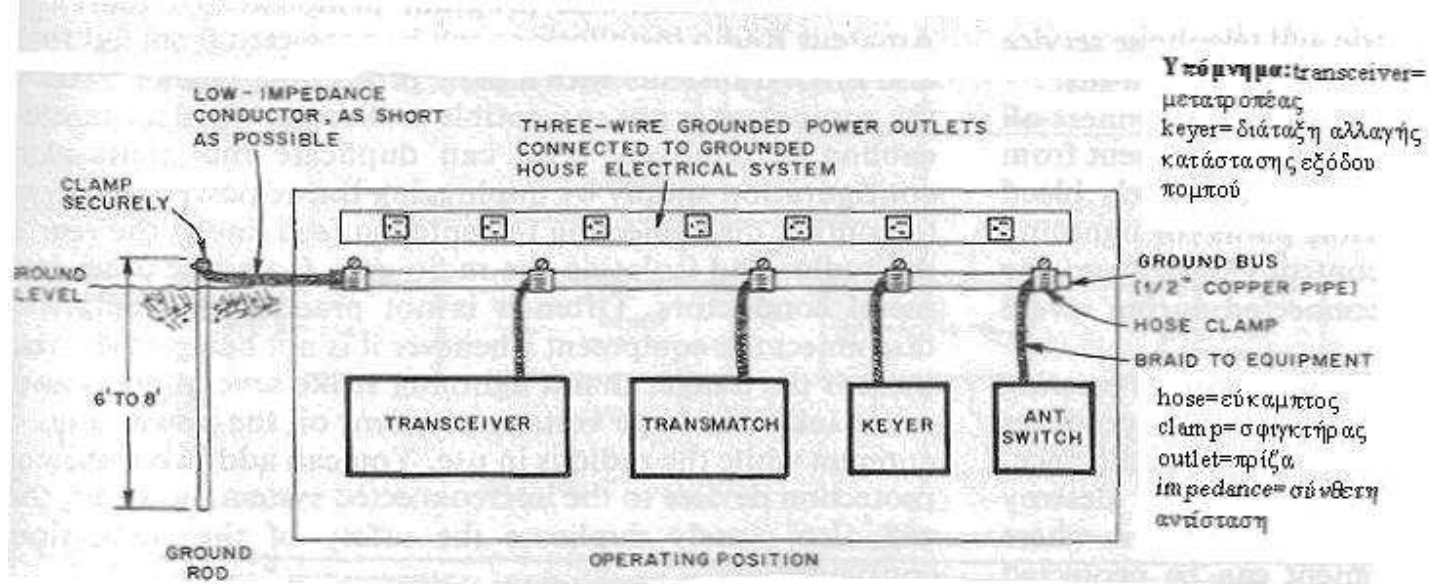
Γείωση

Ο ρόλος της γείωσης είναι διττός.Αφενός εξαλείφει κάθε περίπτωση ηλεκτροπληξίας.Αν συνδεθούν σωστά,3 καλωδίων ηλεκτρικά συστήματα μπορούν να γειώσουν το σασί.Ένα τέτοιο σύστημα αποτροπής κινδύνων απ' το ρεύμα ονομάζεται "dc γείωση".

Η δεύτερη λειτουργία που μια γείωση πρέπει να επιτελέσει είναι να παρέχει ένα χαμηλής σύνθετης αντίστασης δρόμο προς αυτήν για οποιοδήποτε σκεδασμένο RF ρεύμα μέσα στον σταθμό. Τα σκεδασμένα RF ρεύματα μπορούν να προκαλέσουν βλάβες στον εξοπλισμό και συμβάλλουν σε RFI προβλήματα. Αυτός ο χαμηλής σύνθετης αντίστασης δρόμος συχνά ονομάζεται “RF γείωση”. Στους περισσότερους σταθμούς και οι δυο γειώσεις παρέχονται από το ίδιο σύστημα.

Το πρώτο βήμα για να φτιάξετε μια σωστή γείωση είναι να ενώσετε όλα τα σασί του εξοπλισμού σας μαζί. Το συνηθισμένο καλώδιο δικτυακής σύνδεσης κάνει για μια dc γείωση, ωστόσο για μια καλή RF γείωση θα χρειαστείτε ένα χαμηλής σύνθετης αντίστασης αγωγό. Χάλκινη λωρίδα που πωλείται στην αγορά σαν “αναλαμπών χαλκός” είναι εξαιρετικός για αυτήν την εφαρμογή, αλλά ίσως αποδειχθεί δυσεύρετη. Braid από μοαζονικό καλώδιο είναι μια δημοφιλή επιλογή: Βρίσκεται εύκολα και είναι εύκαμπτο.

Λωρίδες γείωσης μπορούν να περνάνε από σασί σε σασί αλλά μια πιο βολική διεύθετη φαίνεται στο σχ.9. Σε αυτήν, ένας μισής ίντσας σε διάμετρο χάλκινος σωλήνας νερού διατρέχει όλο το μήκος του πάγκου. Μια λεπτή γανωμένη πλέξη συρμάτινης θωράκισης (από εκφορτισμένο RG-8 καλώδιο) κατευθύνεται από κάθε κομμάτι του εξοπλισμού σε έναν σφιγκτήρα στον σωλήνα.



Σχ. 9

Αφού ο εξοπλισμός συνδεθεί σε μια κοινή γείωση η γείωση θα πρέπει να συνδεθεί στη γη. Αυτή η δρομολόγηση θα πρέπει να γίνει με ένα βαρύ αγωγό (η λεπτή γανωμένη πλέξη συρμάτινης θωράκισης είναι και πάλι μια δημοφιλή επιλογή) και πρέπει να είναι όσο πιο κοντός και άμεσος γίνεται. Η γείωση στη γη συνήθως παίρνει δυο μορφές.

Στις περισσότερες περιπτώσεις η καλύτερη προσέγγιση είναι να οδηγήσουμε μια ή περισσότερες ράβδους γείωσης μέσα στη γη στο σημείο όπου ο αγωγός από την γείωση του σταθμού αφήνει το σπίτι. Οι καλύτερες ράβδοι γείωσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι αυτές που είναι διαθέσιμες από το σύστημα παροχής ηλεκτρικού ρεύματος του σπιτιού. Αυτές οι ράβδοι έχουν μήκος 8 με 10 πόδια και είναι φτιαγμένες από ατσάλι με βαριά χάλκινη επίστρωση.

Αν το έδαφος είναι μαλακό και έχει μερικά βράχια, μια λύση είναι ένας χάλκινος σωλήνας νερού διαμέτρου μισής ίντσας. 6-8 πόδια μήκος αυτού του υλικού προσφέρει μια καλή γείωση αλλά ίσως κυρτώσει καθώς θα οδηγείται μέσα στη γη. Μερικοί προτείνουν να κάνετε μια σύνδεση με την παροχή νερού και να δρομολογήσετε το νερό μέσα από τον χάλκινο σωλήνα έτσι ώστε να κάνει τη δική του τρύπα μέσα στη γη. Όταν όμως το

έδαφος στεγνώσει , ίσως υποχωρήσει από τον σωλήνα και δεν κάνει την κατάλληλη επαφή με την ράβδο γείωσης. Έτσι θα είχαμε μάλλον φτωχή γείωση.

Όταν η ράβδος γείωσης εγκατασταθεί σφίξτε τον αγωγό από την γείωση του σταθμού σ' αυτήν με έναν σφιγκτήρα που θα μπορεί να σφίξει ασφαλώς και δεν θα σκουριάσει. Ενδεδυμένοι με χαλκό σφιγκτήρες ειδικά για αυτό το σκοπό είναι διαθέσιμοι στην αγορά , αλλά ένας σφιγκτήρας hose από ανοξείδωτο ατσάλι θα δουλέψει επίσης. Εναλλακτικά κάντε αρκετές τρύπες στο σωλήνα και βιδώστε τον αγωγό στη σωστή θέση. Αν ένας torch είναι διαθέσιμος συγκολλήστε την σύνδεση.

Μια άλλη δημοφιλής γείωση σταθμού προέρχεται από έναν σωλήνα κρύου νερού. Αποφύγετε τους σωλήνες ζεστού νερού γιατί δεν πηγαίνουν κατευθείαν στη γη. Για να την φτιάξετε δρομολογήστε έναν αγωγό χαμηλής εμπέδησης σε έναν τέτοιο σωλήνα κατά προτίμηση κοντά στο σημείο όπου εισέρχεται η κύρια παροχή νερού. Αν η σωλήνες είναι από PVC που αποτελεί τέλειο μονωτή θα πρέπει να επιθεωρήσετε μόνοι σας τον σωλήνα και να σιγουρευτείτε ότι είναι κρύου νερού.

Για ορισμένες εγκαταστάσεις , ειδικά όσες είναι πάνω από τον πρώτο όροφο οι προαναφερθείσες μέθοδοι θα δώσουν μια καλή dc γείωση , όχι όμως και μια καλή RF γείωση. Ο λόγος είναι ότι το μήκος του αγωγού μεταξύ του δρόμου της γείωσης και του τελευταίου σημείου γείωσης γίνεται πρόβλημα. Αν π.χ. το καλώδιο γείωσης είναι περίπου μήκους $\lambda/4$ (ή κάποιο παράξενο πολλαπλάσιό του) θα δράσει σαν ένας αναστροφέας εμπέδησης (αγωγιμότητα) από το ένα άκρο στο άλλο. Αφού το γειωμένο τέλος είναι σε πολύ χαμηλή σύνθετη αντίσταση , το άκρο του εξοπλισμού θα είναι σε πολύ υψηλή σύνθετη αντίσταση. Το αποτέλεσμα θα είναι "ζεστά" RF σημεία γύρω από τον σταθμό όταν αυτός θα μεταδίδει.

Μια εναλλακτική RF γείωση φαίνεται στο σχήμα 14. Συνδέστε ένα σύστημα από $\lambda/4$ στοιχειοκεραίες στον δρόμο γείωσης του σταθμού. Εγκαταστήστε τουλάχιστον μια στοιχειοκεραία για κάθε χρησιμοποιούμενη πάντα συχνοτήτων. Θα πρέπει να κάνετε και μια σύνδεση με τη γη για την ac καλωδίωση.

Θόρυβος από τη γη

Ο θόρυβος στα συστήματα γείωσης μπορεί να επηρεάσει τον ευαίσθητο ραδιοφωνικό εξοπλισμό. Προέρχεται κυρίως από τρεις αιτίες:

- 1) Ανεπαρκές μέγεθος αγωγού γείωσης
- 2) Χαλαρές συνδέσεις γείωσης
- 3) Ανακυκλώσεις γείωσης.

Γι' αυτό:

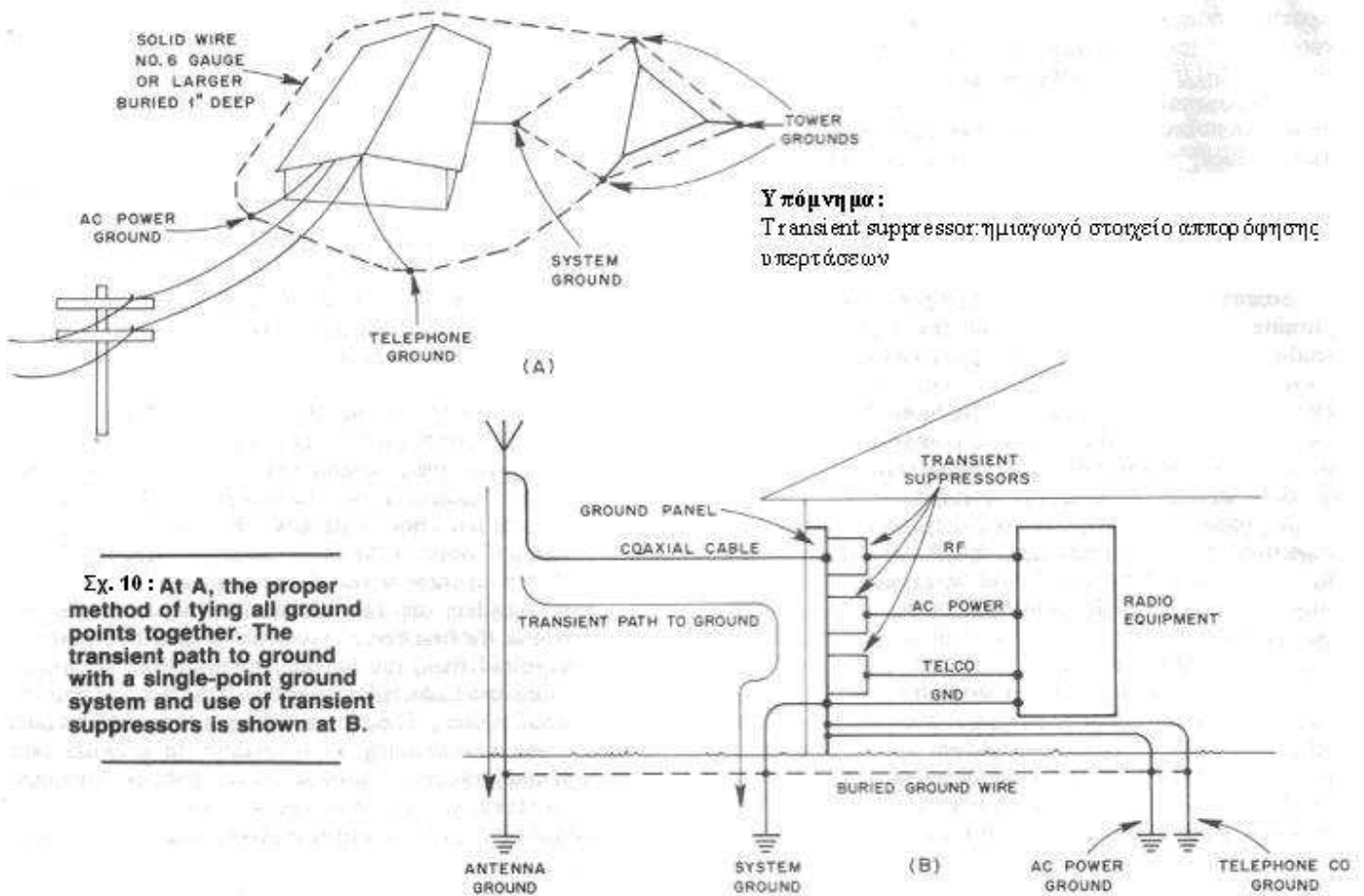
Ο αγωγός γείωσης θα πρέπει να είναι τόσο μεγάλος όσο και ο μεγαλύτερος αγωγός στο πρωτεύον κύκλωμα ισχύος. Η χρήση lock washers και star washers συνίσταται. Ο τρόπος για να αποφεύγονται οι ανακυκλώσεις είναι να γειώνεται ο εξοπλισμός με το να φέρουμε όλους τους αγωγούς γείωσης έξω ακτινικά από ένα κοινό σημείο στη γη ή σε ένα σύστημα κρύου νερού.

Προστασία από κεραυνούς και EMP προστασία

Σύμφωνα με τη νομοθεσία μεταλλικοί πυλώνες ραδιοφώνου και τηλεόρασης που βρίσκονται σε ένα προστατευμένο κτίριο , πρέπει να συνδεθούν σε ένα σύστημα προστασίας από κεραυνούς με έναν κύριο αγωγό και εξαρτήματα. Αλεξικέραυνα , προστατευτικά μέσα μονάδων εκφόρτισης κεραιών θα πρέπει να συνδεθούν σε εισόδους ηλεκτρικών ή τηλεφωνικών υπηρεσιών και σε εισόδους τηλεοπτικών και ραδιοφωνικών κεραιών. Η καλύτερη προστασία από κεραυνό είναι η αποσύνδεση όλων των κεραιών από τον εξοπλισμό και του εξοπλισμού από τις γραμμές μεταφοράς ισχύος. Μια κεραία γείωσης τροφοδοτεί τις γραμμές για να τις αποφορτίσει από ξαφνική συσσώρευση φορτίου. Καλώδια του περιστροφέα και άλλα καλώδια ελέγχου θα

πρέπει επίσης να αποσυνδεθούν από την κεραία. Εξαιτίας του απρόβλεπτου ενεργειακού περιεχομένου ενός κοντινού κεραυνού ή άλλου μεγάλου μεταβατικού ρεύματος, είναι πιθανό για ένα βαρίστορ οξειδίου-μετάλλου (MOV) να εκτεθεί σε μια υπερβολική απότομη ροή ενέργειας για τις αντοχές του. Αυτό μπορεί να καταστρέψει όχι μόνο το βαρίστορ αλλά με τα θραύσματά του να προκαλέσει πυρκαγιά αν υπάρχουν κοντά εύφλεκτα υλικά. Γι' αυτό και το MOV θα πρέπει να θωρακιστεί φυσικά.

Ένα κατάλληλο σύστημα γείωσης είναι το κλειδί για προστασία EMP και προστασία από κεραυνούς. Ένα χαμηλής εμπέδησης σύστημα γείωσης θα πρέπει να εγκατασταθεί προκειμένου να εξαλείψει τις διόδους για μεταβατικά ρεύματα διαμέσου του εξοπλισμού και να προσφέρει μια καλή φυσική γείωση για συσκευές καταστολής κεραυνών. Ένα ενός σημείου σύστημα γείωσης προτείνεται (βλέπε σχ. 10).



Μέσα στον σταθμό γείωση ενός σημείου μπορεί να επιτευχθεί με την εγκατάσταση ενός χωρίσματος γείωσης ή κύριου στερεού μεταλλικού αγωγού. Όλοι οι εξωτερικοί αγωγοί που φεύγουν και έρχονται στον ραδιοφωνικό εξοπλισμό θα πρέπει να περνάνε μέσα από αυτό το χωρίσμα. Εγκαταστήστε όλες τις συσκευές καταστολής μεταβατικών ρευμάτων απευθείας στο χωρίσμα. Χρησιμοποιήστε το μικρότερο δυνατό μήκος No 6 στερεού καλωδίου για να συνδέσετε τις θήκες του ραδιοφωνικού εξοπλισμού στον αγωγό γείωσης.

Προστασία από a.c

Δοκιμές έχουν αποδείξει ότι η οικιακή ηλεκτρική καλωδίωση εκ κατασκευής περιορίζει το μέγιστο μεταβατικό ρεύμα που θα περάσει στα 120A. Γι' αυτό ένας επί παραδείγματι ερασιτεχνικός ραδιοφωνικός σταθμός θα πρέπει αν είναι δυνατόν να εγκατασταθεί μακριά από το ταμπλό ac του σπιτιού και τον πίνακα διακοπών για να εκμεταλλευθεί αυτό το φαινόμενο.

Ac προστασία μπορεί να επιτευχθεί με εύκολα στην εγκατάσταση βυσματούμενα κυκλώματα προστασίας από αιφνίδιες μεταβολές τάσης. Οι βυσματούμενες με ταινίες μονάδες είναι οι καλύτερες για τυπικούς

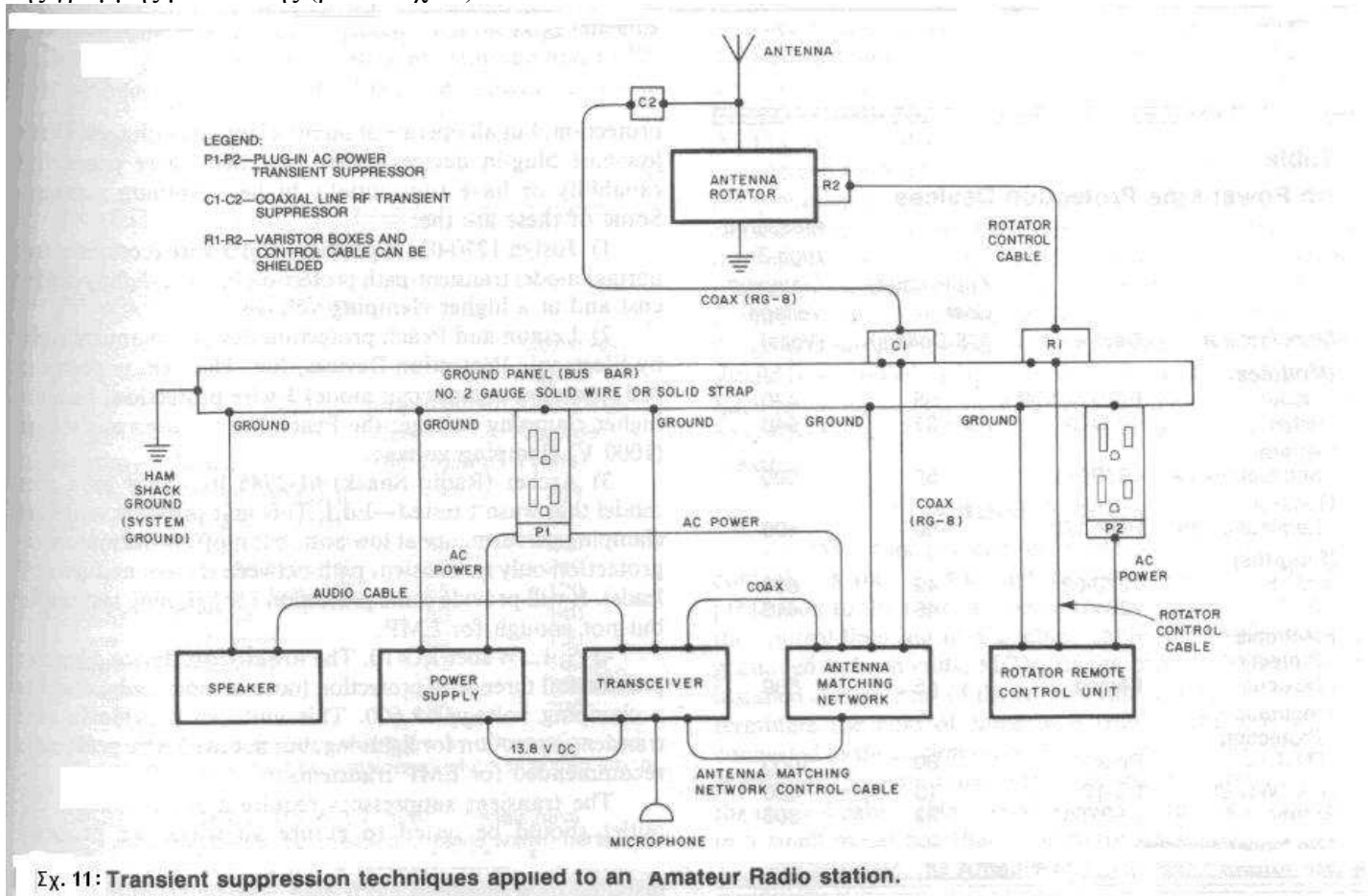
ερασιτεχνικούς σταθμούς. Παρέχουν την απαιτούμενη προστασία και μπορούν εύκολα να μεταφερθούν οπουδήποτε μαζί με τον εξοπλισμό.

Γεννήτριες έκτακτης ανάγκης

Έχουν δύο πλεονεκτήματα όσον αφορά την προστασία από μεταβατικά ρεύματα. Καταρχήν ο σταθμός αποσυνδέεται από το δίκτυο της ΔΕΗ και απομονώνεται ο εξοπλισμός από μια σημαντική πηγή μεταβατικών ρευμάτων. Επίσης δοκιμές έχουν δείξει ότι οι γεννήτριες αυτές δεν είναι ευαίσθητες σε EMP μεταβατικά φαινόμενα.

Προστασία τροφοδοσίας

Ομοαξονικά καλώδια συνιστανται για χρήση ως γραμμές μεταφοράς γιατί προσφέρουν κάποια προστασία από απότομες ροές μεταβατικών ρευμάτων στον συνδεδεμένο εξοπλισμό. Ο εξωτερικός αγωγός θωρακίζει τον κεντρικό από το μεταβατικό πεδίο. Επίσης, το καλώδιο περιορίζει τη μέγιστη επαγόμενη μεταβατική τάση στο κέντρο με το να δημιουργεί με τόξο διαφορά δυναμικού από τον κεντρικό αγωγό στην θωράκιση του γειωμένου καλωδίου. Μία μόνο συσκευή προστασίας εγκατεστημένη σε έναν ακροδέκτη της κεραίας του ραδιοφώνου θα προστατέψει το ραδιόφωνο αλλά όχι την γραμμή μετάδοσης. Για να προστατευθεί και αυτή, ένα ακόμα κύκλωμα προστασίας από αιφνίδιες μεταβολές της τάσης θα πρέπει να εγκατασταθεί μεταξύ της κεραίας και της γραμμής μετάδοσης (βλέπε σχ.11).



Σχ. 11: Transient suppression techniques applied to an Amateur Radio station.

Όταν σχεδιάζεται το διάγραμμα ακτινοβολίας μιας κατακόρυφης κεραίας πάνω από πραγματικό έδαφος, το ανακλώμενο κύμα από ένα τμήμα της κεραίας πολλαπλασιάζεται με έναν παράγοντα που ονομάζεται σταθερά κάθετης ανάκλασης και αυτός ο παράγοντας προστίθεται στη συνέχεια διανυσματικά στο απευθείας κύμα για να πάρουμε το αποτέλεσμα. Η σταθερά αντανάκλασης αποτελείται από έναν παράγοντα εξασθένισης, A και μια

γωνία φάσης, ϕ , εκφραζόμενο στην μορφή $A \angle \phi$ (η ϕ είναι πάντα μια αρνητική γωνία, γιατί το έδαφος δρα σαν ένας πυκνωτής με απώλειες σε αυτή την περίπτωση). Η ακόλουθη εξίσωση χρησιμοποιείται για προσδιορισμό του A για κάθετα πολωμένα κύματα, για έδαφος δοσμένης αγωγιμότητας και διηλεκτρικής σταθεράς σε κάθε συχνότητα και γωνία ανύψωσης (που ονομάζεται και γωνία κύματος σε πολλά κείμενα):

$$A_{\text{vert}} \angle \phi = \frac{k' \sin \Psi - \sqrt{k'' - \cos^2 \Psi}}{k' \sin \Psi + \sqrt{k'' - \cos^2 \Psi}} \quad (1)$$

όπου

$A_{\text{vert}} \angle \phi$ = Σταθερά κάθετης ανάκλασης

Ψ = γωνία ανύψωσης

$$k' = k - j \left(\frac{1.8 \times 10^4 \times G}{f} \right)$$

όπου:

k = διηλεκτρική σταθερά της γης (για τον αέρα $k=1$)

G = αγωγιμότητα της γης σε $\frac{S}{m}$

f = συχνότητα σε MHz

j = μιγαδικός συντελεστής ($\sqrt{-1}$)

επιλύοντας αυτές τις εξισώσεις για αρκετά σημεία βλέπουμε την επίδραση του εδάφους σε κατακόρυφα πολωμένα σήματα σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία για ένα δοσμένο εύρος ζώνης. Το σχήμα 7 δείχνει τον συντελεστή ανάκλασης συναρτήση της γωνίας ανύψωσης στα 21MHz πάνω από κανονικό έδαφος ($G=0.005$ S/m, $k=13$). Προσέξτε ότι καθώς η καμπύλη της φάσης, ψ , περνάει από τις 90° , η καμπύλη της εξασθένισης, A , περνάει από ένα ελάχιστο στην ίδια γωνία κύματος, ψ . Αυτή είναι η PBA (Pseudo-Brewster Angle-συντελεστής ανάκλασης σε κατακόρυφα πολωμένο κύμα). Σε αυτή τη γωνία, το ανακλώμενο κύμα δεν είναι μόνο σε μια γωνία φάσης 90° σε σχέση με το απευθείας κύμα, αλλά είναι τόσο χαμηλό σε ενίσχυση που δεν ενισχύει το απευθείας κύμα σημαντικά. Στο παράδειγμά μας η γωνία αυτή είναι 15° .

Επειδή η εύρεση της PBA από την εξίσωση (1) δεν είναι εύκολη χρησιμοποιείται περισσότερο η εξής εξίσωση:

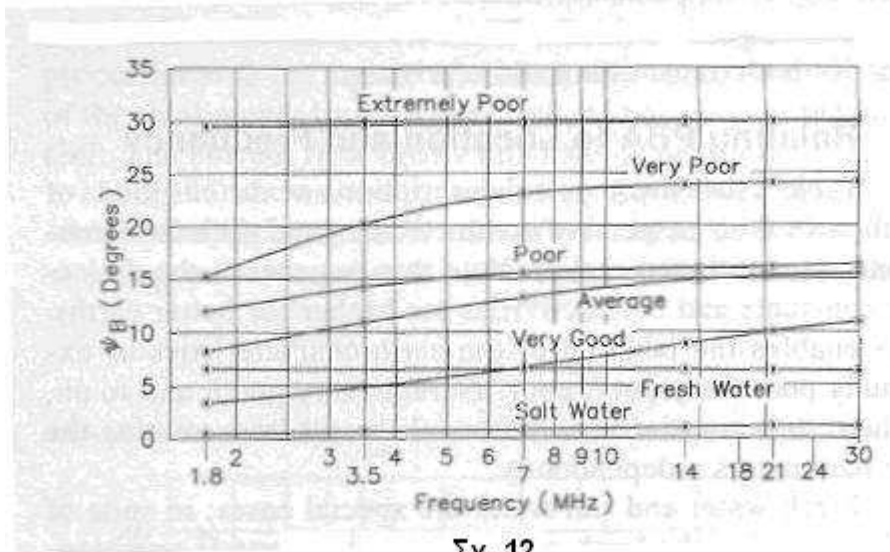
$$\psi_B = \sqrt{\frac{k-1 + \sqrt{(x^2 + k^2)^2 (k-1)^2 + x^2 [(x^2 + k^2)^2 - 1]}}{(x^2 + k^2)^2 - 1}} \quad (2)$$

όπου:

$$x = \frac{1.8 \times 10^4 \times G}{f}$$

και τα k, G και f υπολογίζονται από την εξίσωση (1).

Το σχ. 12 δείχνει καμπύλες υπολογισμένες χρησιμοποιώντας την εξίσωση (2) για διαφορετικές περιπτώσεις εδάφους, σε συχνότητες μεταξύ 1.8 και 30MHz. Να σημειωθεί ότι η κλίμακα της συχνότητας είναι λογαριθμική.

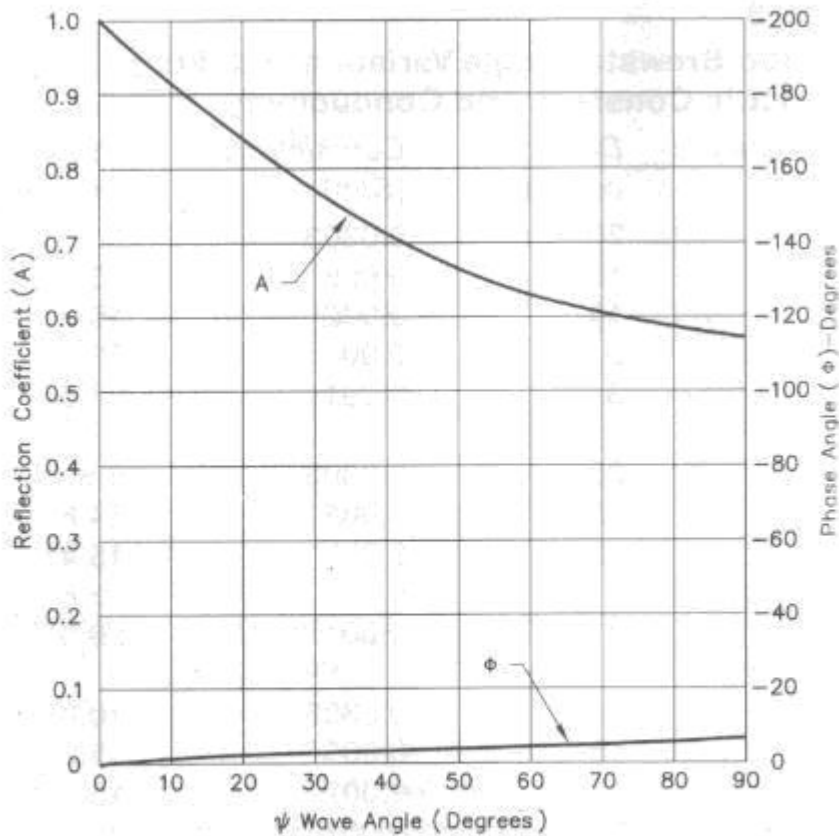


Σχ. 12

Όπως αναμενόταν, φτωχότερα εδάφη αποδίδουν υψηλότερες PBA's. Δυστυχώς στις υψηλότερες συχνότητες όπου (όπου η χαμηλής γωνίας ακτινοβολία είναι σημαντικότερη για εργασία DX), τα PBA's είναι υψηλότερα. Η PBA είναι ίδια και για εκπομπή και για λήψη. Θα πρέπει να σημειωθεί εδώ τι ισχύει σε ορισμένα συχνά συναντημένα περιβάλλοντα. Στο φρέσκο νερό παρά τη μεγάλη του αντίσταση έχουμε PBA 6.4^0 και είναι σχεδόν ανεξάρτητη κάτω από τα 30MHz. Το θαλασσινό νερό εξαιτίας της μεγάλης του αγωγιμότητας, έχει μια PBA που ποτέ δεν υπερβαίνει την 1^0 σε αυτό το εύρος συχνοτήτων.

Ανακλάσεις επίπεδου εδάφους και οριζόντια πολωμένα κύματα

Η κατάσταση για τις οριζόντιες κεραίες διαφέρει από αυτήν για τις κατακόρυφες. Το σχ.13 δείχνει τον συντελεστή ανάκλασης για οριζόντια πολωμένα κύματα πάνω από κανονικό έδαφος στα 21MHz.



Σχ. 13 : Reflection coefficient for horizontally polarized waves (magnitude A at angle ϕ), at 21 MHz over average earth ($k = 13$, $G = 0.005$ S/m).

Παρατηρείστε ότι σε αυτή την περίπτωση, η γωνία φάσης που ξεκινάει από τις 0° ποτέ δεν γίνεται πολύ μεγάλη και ο παράγοντας εξασθένισης που προκαλεί τις περισσότερες απώλειες για μεγάλης γωνίας σήματα προσεγγίζει την μονάδα για μικρές γωνίες. Η εξασθένιση αυξάνει προοδευτικά με φτωχότερα τύποι εδαφών.

Στον υπολογισμό ευρείας ζώνης διαγράμματος ακτινοβολίας ενός $\lambda/2$ δίπολου, το τέλειο είδωλο του ρεύματος του εδάφους, ίσο με το πραγματικό ρεύμα της κεραίας αλλά 180° εκτός φάσης με αυτό, πολλαπλασιάζετε από τον οριζόντιο συντελεστή ανάκλασης που δίνεται από την κάτωθι εξίσωση (3). Το αποτέλεσμα μετά προστίθεται διανυσματικά στο απευθείας κύμα για να πάρουμε το αποτέλεσμα σε αυτή τη γωνία ανύψωσης. Η εξίσωση για οριζόντια πολωμένα κύματα είναι:

$$A_{\text{Horiz}} \angle \phi = \frac{\sqrt{k' - \cos^2 \psi} - \sin \psi}{\sqrt{k' - \cos^2 \psi} + \sin \psi} \quad (3)$$

όπου:

$A_{\text{Horiz}} \angle \phi$ = οριζόντιος συντελεστής ανάκλασης

ψ = γωνία ανύψωσης

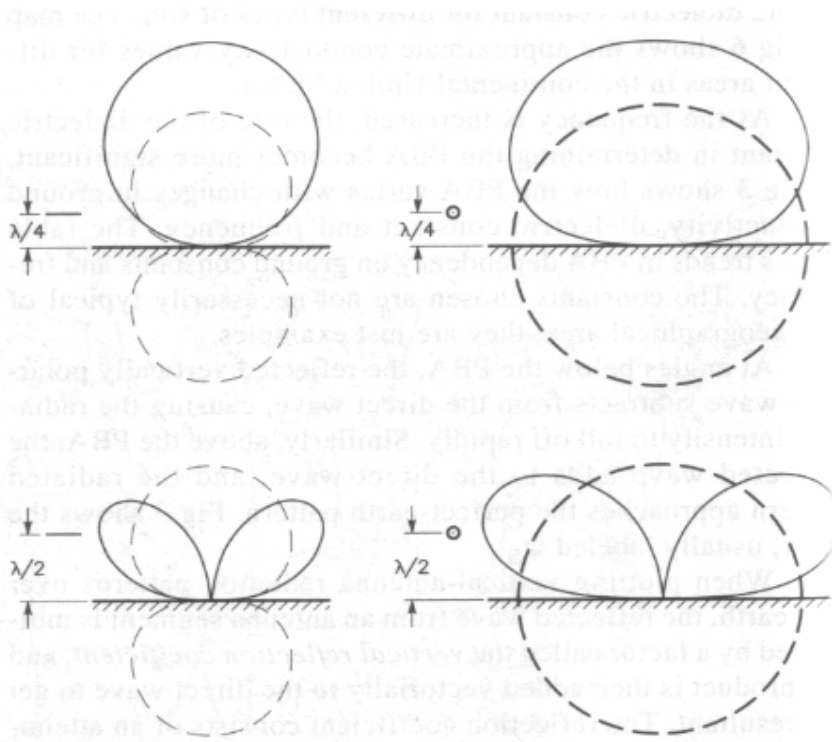
$$k' = k - j \left(\frac{1.8 \times 10^4 \times G}{f} \right)$$

k = διηλεκτρική σταθερά της γης

G = αγωγιμότητα της γης σε S/m

f = συχνότητα σε MHz

Για μια οριζόντια κεραία κοντά στη γη, το προκύπτων διάγραμμα είναι μια τροποποίηση του διαγράμματος ελεύθερου χώρου της κεραίας. Το σχ.14 δείχνει πως αυτή η τροποποίηση λαμβάνει χώρα για μια οριζόντια $\lambda/2$ κεραία πάνω από μια τελείως αγώγιμη επίπεδη επιφάνεια.



Σχ. 14: Επίδραση του εδάφους στην ακτινοβολία από μια οριζόντια μισού μήκους κύματος κεραία, για ύψη ενός τετάρτου και μισού μήκους κύματος. Οι διακεκομμένες γραμμές δείχνουν πως το διάγραμμα ακτινοβολίας θα ήταν αν δεν υπήρχε καμιά ανάκλαση από το έδαφος (ελεύθερος χώρος).

Τα διαγράμματα στα αριστερά δείχνουν την σχετική ακτινοβολία όταν κάποιος κοιτάει την κεραία από τα πλάγια. Αυτά στα δεξιά δείχνουν το διάγραμμα ακτινοβολίας κοιτώντας στα άκρα της κεραίας. Αλλάζοντας το ύψος πάνω από το έδαφος από $\lambda/4$ σε $\lambda/2$ δημιουργείται μια σημαντική διαφορά στην ακτινοβολία μεγάλης γωνίας, μετακινώντας τον κύριο λοβό χαμηλότερα.

Προσέξτε ότι για ύψος κεραίας $\lambda/2$ (κάτω μέρος, σχ.14), η εκτός φάσης ανάκλαση από μια τέλεια αγώγιμη επιφάνεια δημιουργεί ένα τοπικό ελάχιστο στο διάγραμμα, στο ζενίθ (γωνία ανύψωσης 90°). Πάνω από πραγματικό έδαφος παρόλα αυτά, ένα “γέμισμα προς τα μέσα” αυτού του τοπικού ελαχίστου συμβαίνει εξαιτίας των απωλειών εδάφους που εμποδίζουν πλήρη ανάκλαση της ακτινοβολίας μεγάλης γωνίας.

Βάθος διείσδυσης RF ρεύματος

Όταν εξετάζουμε τα γήινα χαρακτηριστικά, ερωτήματα σχετικά με το βάθος διείσδυσης του RF ρεύματος συχνά ανακύπτουν. Για παράδειγμα αν μια δοσμένη τοποθεσία αποτελείται από 6ft στρώμα χώμα που καλύπτει ένα βραχώδες στρώμα υψηλής αντίστασης, ποιο υλικό κυριαρχεί; Η απάντηση εξαρτάται από την συχνότητα, τα διηλεκτρικά χαρακτηριστικά του χώματος και του βράχου και τις σχετικές αγωγιμότητές τους. Η παρακάτω εξίσωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογισθεί η ένταση του ρεύματος σε οποιοδήποτε βάθος:

$$e^{-pD} = \text{ένταση ρεύματος σε βάθος } D / \text{ένταση ρεύματος στην επιφάνεια}$$

όπου:

$$p = \left[\frac{X \times B}{2} \times \left(\sqrt{1 + \frac{G^2 \times 10^{-4}}{B^2}} - 1 \right) \right]^{1/2} \quad (4)$$

όπου:

d=βάθος διείσδυσης σε cm

$X=0.008 \times \pi^2 \times f$

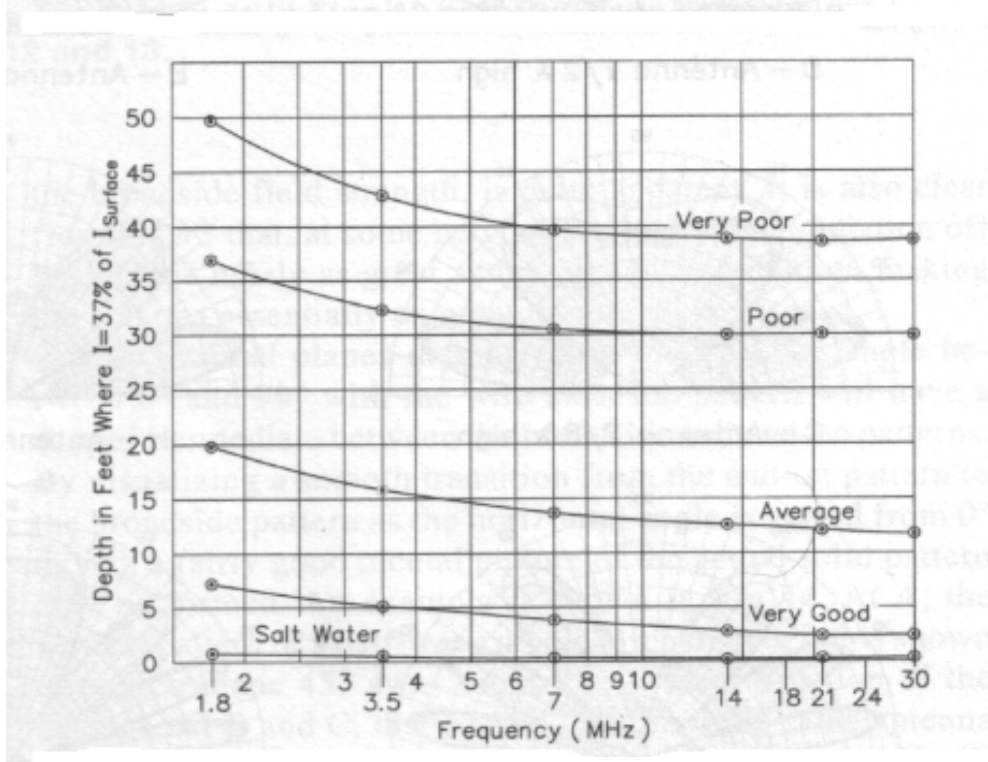
$B=5.56 \times 10^{-7} \times k \times f$

k=διηλεκτρική σταθερά της γης

G=αγωγιμότητα της γης σε S/m

Το βάθος στο οποίο η ένταση του ρεύματος είναι 37% (1/e) αυτής της επιφάνειας (συχνά αναφερόμενη σαν επιδερμικό βάθος) είναι το βάθος στο οποίο η ένταση του ρεύματος θα ήταν μηδέν αν ήταν κατανομημένη ομοιόμορφα αντί για εκθετικά. Σε αυτό το βάθος, αφού οι απώλειες ισχύος είναι ανάλογες με το τετράγωνο του ρεύματος, περίπου 91% της συνολικής απώλειας ισχύος έλαβε χώρα, όπως έκανε και η περισσότερη από τη μετατόπιση φάσης και η ροή του ρεύματος κάτω από αυτό το επίπεδο είναι αμελητέα.

Το σχ.15 δείχνει τις λύσεις της εξίσωσης (4) πάνω από τα 1.8MHz έως τα 30MHz εύρους ζώνης για διάφορα είδη εδάφους.



Σχ. 15: Βάθη στα οποία η ένταση του ρεύματος είναι στο 37% αυτής της επιφάνειας για διαφορετικές ποιότητες εδάφους σε εύρος ζώνης 1.8-30 MHz. Το βάθος για το φρέσκο νερό, που δεν απεικονίζεται, είναι 156 πόδια και σχεδόν ανεξάρτητο της συχνότητας κάτω από τα 30 MHz.

Το βάθος των καμπυλών διείσδυσης στο σχ.15 αναδεικνύουν ένα αξιοπρόσεκτο φαινόμενο. Ενώ το επιδερμικό φαινόμενο περιορίζει την RF ροή ρεύματος κοντά στην επιφάνεια ενός αγωγού, η γη έχει τόσες απώλειες που το RF ρεύμα διεισδύει σε πολύ μεγαλύτερα βάθη από οποιοδήποτε άλλο μέσο. Το βάθος διείσδυσης του RF ρεύματος είναι μια συνάρτηση της συχνότητας και του είδους εδάφους. Έτσι οι μόνες περιπτώσεις που το μεγαλύτερο τμήμα του ρεύματος ρέει κοντά στην επιφάνεια είναι με πολύ υψηλά αγωγιμικά μέσα (όπως το θαλασινό νερό) και σε συχνότητες κάτω από τα 30MHz.

Οι εξισώσεις τώρα , για την εύρεση της επαγωγικής αντίστασης που δίνονται στα περισσότερα βιβλία υποθέτουν ότι το πηνίο είναι μακρύτερο από τη διάμετρό του. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν εξισώσεις για αυτεπαγωγές κοινών σχημάτων διατομών και μικρών λόγων μήκος προς διάμετρο και δίνονται στον πίνακα 1.

Η τιμή ενός συντονισμένου πυκνωτή για έναν βρόχο εύκολα υπολογίζεται από τις απλές εξισώσεις συντονισμού. Το μόνο πράγμα που πρέπει να ληφθεί υπόψη πιο πριν είναι της κατανεμημένης χωρητικότητας του τυλίγματος του βρόχου. Αυτή η χωρητικότητα εμφανίζεται μεταξύ των γειτονικών τυλιγμάτων του πηνίου εξαιτίας των μικρών διαφορών στο δυναμικό. Αυτό κάνει το κάθε τύλιγμα να εμφανίζεται σαν ένας φορτισμένος οπλισμός. Όπως και όλες οι άλλες χωρητικότητες έτσι και αυτή , εξαρτάται από τις φυσικές διαστάσεις του πηνίου. Μια απλή προσέγγιση δίνεται από τον Medhurst και την σχέση:

$$C=HD \quad (4)$$

Όπου:
 C =κατανεμημένη χωρητικότητα σε pF
 H =μια σταθερά σχετιζόμενη με τον λόγο μήκος προς διάμετρο του πηνίου (ο πίνακας 2 δίνει τέτοιες τιμές για το H)
 D =διάμετρος του τυλίγματος σε cm
 Η εργασία του Medhurst ήταν με round cross τμήματα. Για βρόχους με square cross τμήματα η κατανεμημένη χωρητικότητα δίνεται από τον Bramslev:

$$C=60S \quad (5)$$

Όπου:
 C =η κατανεμημένη χωρητικότητα σε pF
 S =το μήκος της πλευράς σε m.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

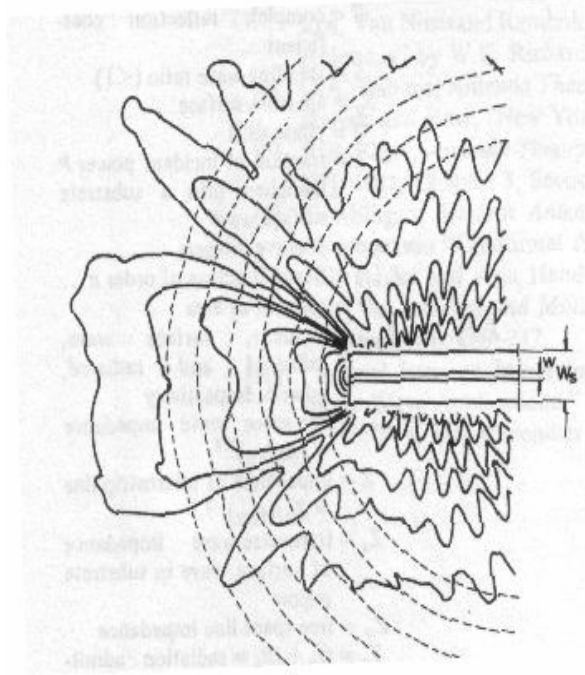
Το γωνιόμετρο

Οι περισσότεροι σταθμοί RDF για την κυβέρνηση αλλά και για εμπορικούς σκοπούς χρησιμοποιούν διατάξεις κεραιών σταθερών στοιχείων αντί για μηχανικά περιστρεφόμενες διατάξεις. Το τελευταίο διάστημα χρησιμοποιούνται συσκευές που επιτρέπουν την εύρεση κατευθύνσεων χωρίς να μετακινηθούν τα στοιχεία και ονομάζονται ραδιογωνιόμετρα ή γωνιόμετρα. Ο τελευταίος τύπος τέτοιας συσκευής που έχει μπει σε χρήση είναι μια ειδική μορφή RF μετασχηματιστή όπως φαίνεται στο σχήμα 10. Αποτελείται από δύο σταθερά πηνία κάθετα τοποθετημένα μεταξύ τους. Ανάμεσα στα δύο πηνία υπάρχει ένα κινητό πηνίο , το οποίο δεν φαίνεται στο σχήμα 10. Τα ζευγάρια των συνδέσεων που είναι σημειωμένα σαν A και B συνδέονται αντίστοιχα με δυο στοιχεία σε μια διάταξη κεραιών και η έξοδος στον φωρατή ή δέκτη παίρνεται από το κινητό πηνίο. Καθώς το εσωτερικό πηνίο περιστρέφεται , η σύζευξη προς το ένα σταθερό πηνίο αυξάνει ενώ προς το άλλο μειώνεται. Μαζί το πλάτος και η φάση του συζευγμένου σήματος στο τυλίγμα λήψης αλλάζουν με τέτοιο τρόπο που να ανταποκρίνονται στην περιστροφή της ίδιας της διάταξης. Έτσι η περιστροφή του εσωτερικού πηνίου μπορεί να ρυθμιστεί με τέτοιο τρόπο ώστε οι μοίρες να αντιστοιχούν σε γωνίες περιστροφής από την περιοχή του σταθμού. Αυτό το γωνιόμετρο χρησιμοποιείται συχνά με Adcock διατάξεις. Μια βελτίωση του υπάρχοντος συστήματος περιλαμβάνει τέσσερα Adcock στοιχεία , δυο διατάξεις σε γωνίες κάθετες μεταξύ τους. Έχουν αναπτυχθεί και συστήματα με δύο ζευγάρια πηνίων που δεν αποδίδουν όμως το ίδιο καλά λόγο αμοιβαίας σύζευξης. Διάφοροι άλλοι τύποι γωνιομέτρων έχουν αναπτυχθεί που περιλαμβάνουν μεταγωγή σε άλλα στοιχεία της διάταξης. Μια τελευταία εξέλιξη περιλαμβάνει την εναλλαγή με διόδους σε πυκνωτές που παρέχει μια μέθοδο μεταγωγής.

Μικροταινιακή κεραία: Μια αναλυτικότερη ματιά.

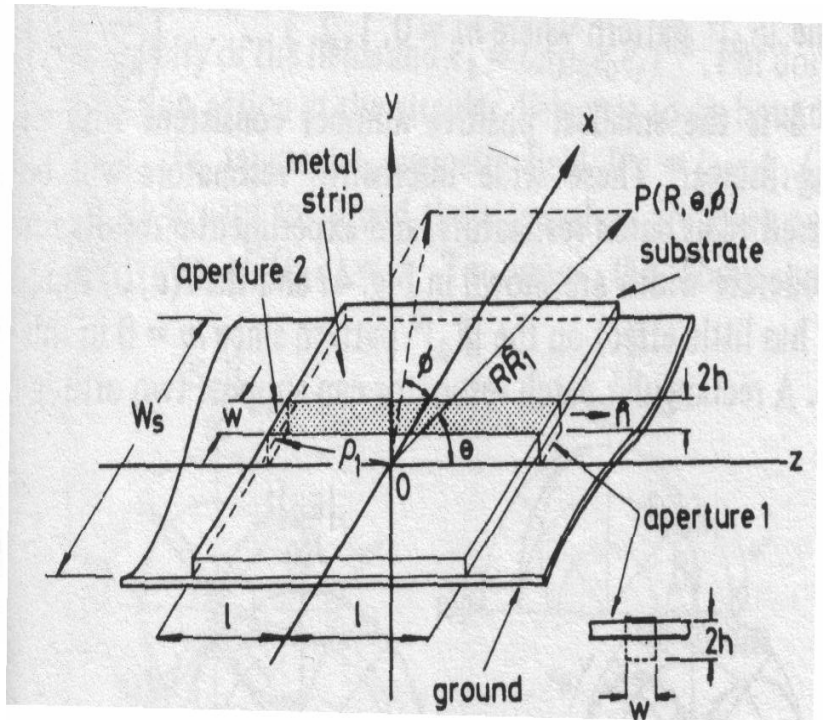
Οι γραφικές αναπαραστάσεις του πεδίου και πειράματα επιβεβαίωσαν ότι ένας ανοικτού-κυκλώματος μικροταινιακός τερματισμός λειτουργεί με τρόπο παρόμοιο με αυτόν μιας ανοικτής στο τέρμα διηλεκτρικής-rod

κεραίας σε εκείνη την ακτινοβολία που πηγάζει από την περιοχή της ασυνέχειας του τερματισμού όπως φαίνεται στο διάγραμμα πεδίου του σχ.1.



Σχ.1: Διάγραμμα κοντινού πεδίου μικροταινιακού ανοιχτοκυκλωμένου τερματισμού μετρημένου στα 10,5 GHz

— $|E_\phi|^2$ σε διαστήματα των 3dB
 - - - φάση του E_ϕ σε διαστήματα των 2π
 $w=5\text{ mm}$ $w_s=40\text{ mm}$ $\lambda_g=20\text{ mm}$



Σχ.2: Σχέδιο μικροταινιακής γραμμής που δείχνει το σύστημα συντεταγμένων και τα ορθογώνια ακτινοβολούντα ανοίγματα για $0 \leq x \leq w, 0 \leq y \leq 2h$ και $z = \pm 1$

Κάποια ακτινοβολία θα διαρρεύσει προς τα έξω κατά μήκος ολόκληρου του μήκους της μικροταινίας εξαιτίας των ατελειών της επιφάνειας και της ανομοιογένειας του υλικού, αλλά αυτή η συμβολή στο πεδίο ακτινοβολίας θα είναι αμελητέα στη πράξη. Ένα σπουδαίο συμπέρασμα που μπορεί να εξαχθεί είναι ότι ένας ανοιχτοκυκλωμένος μικροταινιακός τερματισμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν το βασικό στοιχείο ακτινοβολίας σε μια διάταξη κεραιών και το διάγραμμα ακτινοβολίας αυτού του στοιχείου μπορεί να υπολογισθεί χρησιμοποιώντας έναν υπολογισμό “ανοίγματος” όπως στην διηλεκτρική-rod κεραία.

Μια ολοκληρωμένη ανάλυση των επιδράσεων των φυσικών ασυνεχειών σε μια μικροταινιακή γραμμή περιλαμβάνει μαζί τον διακριτό και συνεχή eigenvalue φάσμα που δεν έχει ακόμα μοντελοποιηθεί εξαιτίας των δυσκολιών στο να εκφραστούν οι μικροταινιακές ιδιοσυναρτήσεις σε κατάλληλες μαθηματικές μορφές.

Διάγραμμα ακτινοβολίας ενός ανοιχτοκυκλωμένου μικροταινιακού τερματισμού

Μια συμβατική μικροταινιακή γραμμή μήκους $2l$, με μήκος ταινίας αγωγού w , πάχος υποστρώματος h , σχετική διηλεκτρικότητα υποστρώματος και διαπερατότητα $\epsilon_r > 1$ και $\mu_r = 1$, αντίστοιχα, βρίσκεται στο xz -επίπεδο όπως φαίνεται στο σχ.2. Για να απλοποιήσουμε τον υπολογισμό η μικροταινία είναι offset στη μια πλευρά της αρχής συντεταγμένων, 0 έτσι ώστε η αγωγίμη ταινία, αμελητέου πάχους, να βρίσκεται στο xz -επίπεδο στο $y=2h$: όμοια, το αγωγίμο επίπεδο εδάφους και το είδωλο της αγωγίμης ταινίας στο επίπεδο του εδάφους βρίσκεται στο xz -επίπεδο αλλά σε $y=h$ και 0 αντίστοιχα. Το επίπεδο του εδάφους και το υπόστρωμα εκτείνονται κατά την $\pm x$ -διεύθυνση και έχουν ένα συνολικό μήκος w_s , όμως στο $z = \pm l$ η μικροταινιακή δομή είναι ανοικτό κύκλωμα και τα ανοίγματα ακτινοβολίας 1 και 2 βρίσκονται στο xy -επίπεδο στο $z = \pm l$ όπου το υπόστρωμα τερματίζει. Μια καλή προσέγγιση στα οδηγούμενα κύματα από την μικροταινία είναι το μεταβατικό ηλεκτρομαγνητικό κύμα

(TEM) που θεωρείται ότι είναι συγκεντρωμένο κάτω από την ταινία και προσπίπτει σε κάθε άνοιγμα όπου κάποια ισχύ ακτινοβολείτε και το υπόλοιπο ανακλάτε σαν οδηγούμενο κύμα. Υπο αυτές τις απλοποιήσεις, το μεταβατικό πεδίο (E,H) στο άνοιγμα 1, που είναι τώρα περιορισμένο στην ορθογώνια περιοχή την οριοθετημένη από την αγωγίμη ταινία σε $y=2h$ και το είδωλό της στην επέκταση στο επίπεδο του εδάφους στο $y=0$, δίνεται από τη σχέση:

$$E = E_y \bar{y} \exp(-j\beta l)(1 + \Gamma)$$

$$H = -H_x \bar{x} \exp(-j\beta l)(1 - \Gamma)$$

$$E_y = ZH_x, Z = Z_0 k/\beta \text{ με } \beta = k(\epsilon_{eff})^{1/2} = 2\pi/\lambda_g \quad (1)$$

όπου ϵ_{eff} είναι η ενεργή διηλεκτρικότητα του υποστρώματος της μικροταινίας και μια αρμονική μεταβλητή $\exp(+j\omega t)$ θεωρείται δεδομένη και παραλείπεται. Η πολύπλοκη σταθερά ανάκλασης $\Gamma = |\Gamma| \exp(-j2\beta l')$ όπου l' είναι το φαινόμενο τέλους¹, είναι ένα χωρητικό φορτίο στο τέρμα του ανοιχτού κυκλώματος: ϵ_{eff} είναι μια συνάρτηση της συχνότητας και όλες οι τιμές του ϵ_{eff} που περιλαμβάνονται στη παρούσα μελέτη είναι διορθωμένες για φαινόμενα διασποράς.

Το μακρινό πεδίο E_{rad} που αντιστοιχεί σε μια συμβολή πεδίου (E,H) σε ένα άνοιγμα S_a δίνεται από τον τύπο της μορφής του μακρινού πεδίου με τη φόρμουλα του διανύσματος Kirchoff:

$$E_{rad} = K \bar{R}_1 \times \int_{S_a} [(\bar{n} \times E) - Z_{of} \bar{R}_1 \times (\bar{n} \times H)] \exp(jk \rho_1 \cdot \bar{R}_1) d\alpha \quad (2)$$

όπου οι διανυσματικές ποσότητες ακολουθούν τον συμβολισμό του Silver και καθορίζονται στο σχ.101 μαζί με το σύστημα συντεταγμένων και $K = -jk \exp(-jkR)/4\pi R$. Αντικαθιστώντας για τα (E,H) στην εξ.2 από την εξ.1 και κάνοντας τους κατάλληλους μετασχηματισμούς μονάδων αφού η εξ.2 ισχύει μόνο σε καρτεσιανή μορφή, η ακτινοβολία μακρινού πεδίου είναι:

$$E_{rad} = K \bar{R}_1 \times \int_{S_a} -E_y \exp(-j\beta l) \left[\bar{x} \left\{ (1 + \Gamma) + \kappa(\epsilon_{eff})^{1/2} \cos \theta (1 - \Gamma) \right\} - \bar{z} \cos \phi \sin \theta \kappa(\epsilon_{eff})^{1/2} (1 - \Gamma) \right] \exp(jk \rho_1 \cdot \bar{R}_1) d\alpha$$

(3)

Τώρα $\rho_1 = x' \bar{x} + y' \bar{y} + z' \bar{z}$ είναι ένα διάνυσμα με αρχή το 0 ως ένα σημείο (x', y', z') στο άνοιγμα και

$\bar{R}_1 = \cos \phi \sin \theta \bar{x} + \sin \phi \sin \theta \bar{y} + \cos \theta \bar{z}$. Έτσι η εξίσωση 3 απλοποιείται σε:

$$E_{rad} = \exp(jk \cos \theta - \beta l) \bar{R}_1 \times \left[\bar{x} \left\{ (1 + \Gamma) + \kappa(\epsilon_{eff})^{1/2} \cos \theta (1 - \Gamma) \right\} - \bar{z} \cos \phi \sin \theta \kappa(\epsilon_{eff})^{1/2} (1 - \Gamma) \right] \Psi(\theta, \phi)$$

με

$$I(\theta, \phi) = -E_y K \int_{x'=0}^w \int_{y'=0}^{2h} \exp(jk(x' \cos \phi \sin \theta + y' \sin \phi \sin \theta)) dx' dy' = -E_y K 2hw \frac{\sin\left(\frac{kw}{2} \cdot \cos \phi \sin \theta\right)}{\frac{kw}{2} \cdot \cos \phi \sin \theta} \frac{\sin(kh \sin \phi \sin \theta)}{kh \sin \phi \sin \theta} \Psi$$

(4)

όπου $\Psi = \exp\left\{jk \sin \theta \left(\frac{w}{2} \cos \phi + h \sin \phi\right)\right\}$ είναι ένας φασικός όρος που δημιουργήθηκε από την ασύμμετρη

επιλογή της αρχής των συντεταγμένων και δεν επηρεάζει τα διαγράμματα ακτινοβολίας. Μετασχηματίζοντας τις καρτεσιανές συντεταγμένες οι παράγοντες της ακτινοβολίας μακρινού πεδίου που αντιστοιχούν στο άνοιγμα 1 είναι:

$$E_{\theta} = I(\theta, \phi) \left\{ (1 + \kappa(\epsilon_{eff})^{1/2} \cos \theta) \exp(j\zeta) + |\Gamma| (1 - \kappa(\epsilon_{eff})^{1/2} \cos \theta) \exp(j\xi) \right\} \sin \phi$$

$$E_{\phi} = I(\theta, \phi) \left\{ (\cos \theta + \kappa(\epsilon_{eff})^{1/2}) \exp(j\zeta) + |\Gamma| (\cos \theta - \kappa(\epsilon_{eff})^{1/2}) \exp(j\xi) \right\} \cos \phi$$

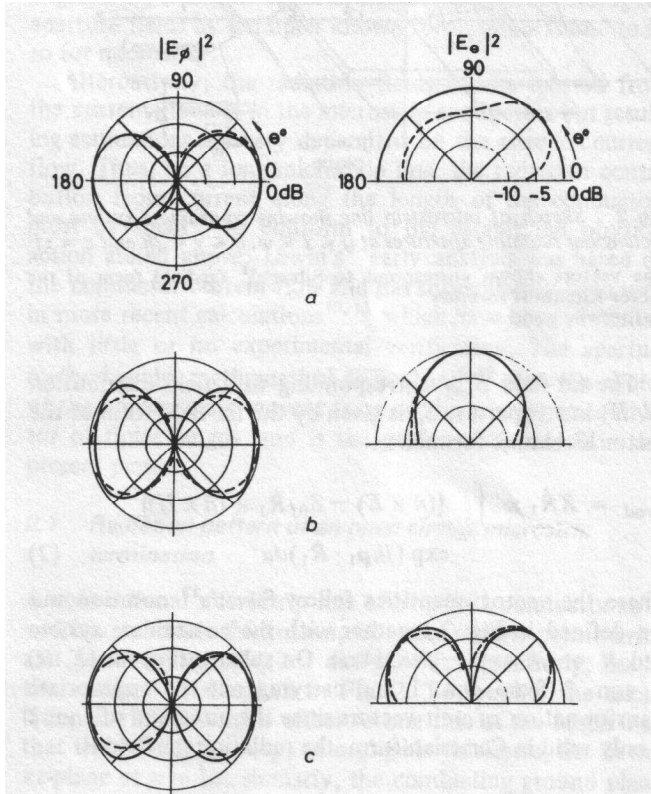
¹ Πρόκειται για μια ενεργός χωρητικότητα στο άκρο μιας κεραίας που προκαλεί φαινόμενα εκφόρτισης στον αέρα. Αυτό μειώνει την συχνότητα συντονισμού κάτω από την θεωρητική της τιμή. Το φαινόμενο αυτό επαυξάνει με το πλησίασμα αντικειμένων όπως δέντρα ή κτίρια ή όταν η κεραία τοποθετείται πλησίον του εδάφους.

$$\begin{aligned}\zeta &= k(\cos \theta - (\varepsilon_{eff})^{1/2})l \\ \xi &= k(\cos \theta - (\varepsilon_{eff})^{1/2})l - 2\beta l' \\ (5)\end{aligned}$$

Για σχετικά στενές αγωγίμες ταινίες σε συμβατικά υποστρώματα, το w και το h είναι $\ll \lambda_0$ και έτσι οι product συναρτήσεις του $I(\theta, \varphi)$ στην εξ.4 είναι κοντά στη μονάδα για όλες τις τιμές του θ και του φ . Επιπλέον το $|\Gamma|$ είναι κοντά στη μονάδα. Με αυτές τις προσεγγίσεις, τα διαγράμματα ακτινοβολίας του ανοίγματος 1 απλοποιούνται σε:

$$\begin{aligned}|\mathbf{E}_\theta|^2 &\approx 1 & \varphi = \pi/2 \\ (6) \\ |\mathbf{E}_\varphi|^2 &\approx \cos^2 \theta & \varphi = 0\end{aligned}$$

που αντιστοιχούν σε ένα μαγνητικό δίπολο Hertz ευθυγραμμισμένο παράλληλα στην x-κατεύθυνση στο xz-επίπεδο στο τέλος της μικροταινιακής γραμμής. Αν γίνει τώρα allowance στην εξ.1 για την ακριβή υβριδικής μορφής φύση του πεδίου πάνω από ολόκληρη την διατομή της μικροταινίας τότε τα διαγράμματα ακτινοβολίας έχουν και πάλι τα διπολικά χαρακτηριστικά της εξ.6 για τυπικές γεωμετρίες που μας ενδιαφέρουν. Εδώ επίσης ισχύει ο περιορισμός: $0 \leq x \leq w, 0 \leq y \leq 2h$. Αυτός ο τύπος ανοίγματος έχει αξιοσημείωτη κατευθυντικότητα. Τα διαγράμματα ακτινοβολίας ενός ανοίγματος μικροταινίας είναι δύσκολο να ξεχωριστούν από την ακτινοβολία λόγω τροφοδοσίας αλλά η χρήση απορροφητικών υλικών έκανε δυνατή την απομόνωση των διπολικών χαρακτηριστικών όπως φαίνεται στο σχ.3α.



Σχ.3:Μετρήσεις διαγραμμάτων ακτινοβολίας

$|E_{\theta}|^2$ είναι το E-επίπεδο και $|E_{\phi}|^2$ είναι το H-επίπεδο.Όπως παρουσιάζονται τα $|E_{\theta}|^2$ και $|E_{\phi}|^2$ δεν αντιστοιχούν στο πλάτος στο $\theta=0^{\circ}$.
 $w=4.7 \text{ mm}, h=1.58 \text{ mm}, \epsilon_r=2.31$

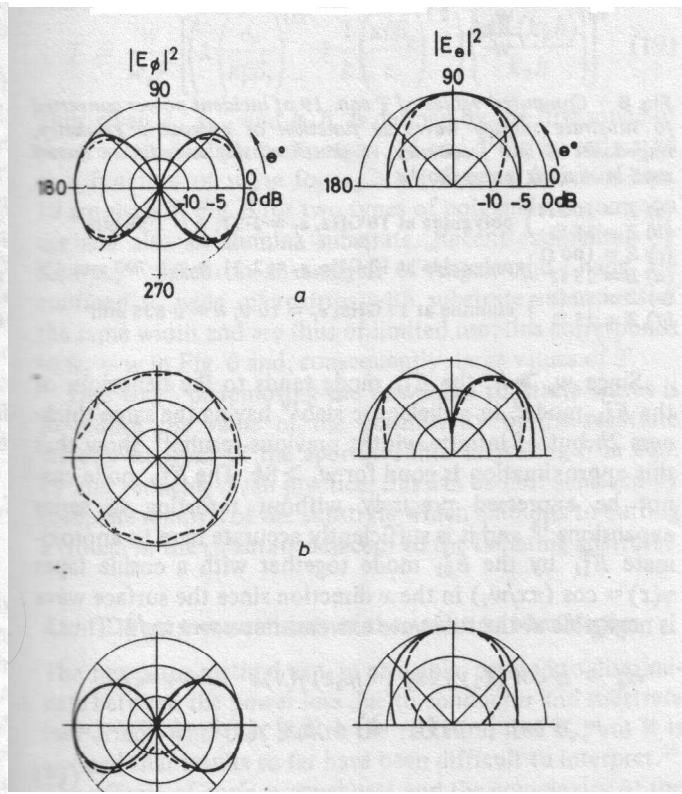
_____ θεωρητικά

-----πειραματικά

a απομονωμένος ανοιχτοκυκλωμένος μικροταινιακός τερματισμός στα 1.087 GHz

b $l=\lambda_g/4$ μικροταινιακός συντονιστής στα 1.2 GHz:capacitively end fed

c $l=\lambda_g/2$ μικροταινιακός συντονιστής στα 2.407 GHz:capacitively center fed



Σχ.4 Μετρήσεις διαγραμμάτων ακτινοβολίας

$h=1.58 \text{ mm}, \epsilon_r=2.31$

_____ θεωρητικά

-----πειραματικά

a $l=\lambda_g/4$ μικροταινιακός patch συντονιστής στα 2.37 GHz. $l=20 \text{ mm}, w=30 \text{ mm}$,θεωρητικό l αμελώντας το

φαινόμενο τέλους= 20.8 mm .Capacitively end fed

b Κεντρικά διεγερόμενος κυκλικός μικροταινιακός patch συντονιστής στα 5.395 GHz, $a=20 \text{ mm}$,θεωρητική τιμή του

a αμελώντας το φαινόμενο τέλους = 22.3 mm .Σε αυτή τη

περίπτωση,απευθείας probe coupling χαμήλωσε την

συχνότητα συντονισμού

c Capacitively edge διεγερόμενος κυκλικός μικροταινιακός patch συντονιστής στα 2.75 GHz, $a=20 \text{ mm}$:θεωρητική τιμή

του a ,αμελώντας το φαινόμενο τέλους = 21 mm

Η μικρή επέκταση στο επίπεδο του εδάφους που χρησιμοποιείτε (περίπου 1cm) και η παρουσία του απορροφητικού υλικού γύρω από την μετάβαση από τον χαλκό στην μικροταινία μετράνε για την παρεμβολή στο $|E_{\theta}|^2$ διάγραμμα.Για φαρδύτερες ταινίες το $I(\theta, \phi)$ θα πρέπει να ληφθεί υπόψη από την εξ.5 αφού παρατηρείται κάποια αύξηση στα αποτελέσματα κατευθυντικότητας αλλά ακόμα και έτσι τα διαγράμματα έχουν διπολικά χαρακτηριστικά.Ομοίως, το φαινόμενο τέλους που περιλαμβάνεται στο Γ είναι μικρό, στη πράξη και παράγει μόνο δευτέρας τάξης φαινόμενα στα διαγράμματα ακτινοβολίας.

Διάγραμμα ακτινοβολίας ενός ανοιχτοκυκλωμένου συντονιστή μικροταινίας

Δείτε το άνοιγμα 2 στο σχ.2 που βρίσκεται στο $z=l$:το πεδίο του ανοίγματος που αντιστοιχεί στην εξ.1,υπό τις ίδιες προϋποθέσεις είναι:

$$E = E_y \bar{y} \exp(j\beta l)(1 + \Gamma), H = H_x \bar{x} \exp(j\beta l)(1 - \Gamma) \quad (7)$$

και επαναλαμβάνοντας τον υπολογισμό της εξ.5,βασιζόμενοι στην εξ.2 με $\bar{n} = -\bar{z}$,η ακτινοβολία μακρινού πεδίου του ανοίγματος 2 είναι:

$$E_{\theta I} = -I(\theta, \phi) \left\{ (1 - \kappa(\epsilon_{eff})^{1/2} \cos \theta) \exp(-j\zeta) + |\Gamma| (1 + \kappa(\epsilon_{eff})^{1/2} \cos \theta) \exp(-j\xi) \right\} \sin \phi \quad (8)$$

$$E_{\theta II} = -I(\theta, \phi) \left\{ (\cos \theta - \kappa(\epsilon_{eff})^{1/2}) \exp(-j\zeta) + |\Gamma| (\cos \theta + \kappa(\epsilon_{eff})^{1/2}) \exp(-j\xi) \right\} \cos \phi$$

Με τα $I(\theta, \phi)$, ζ και ξ όπως ορίστηκαν στην εξ.5. Η υποτιθέμενη δράση συντονιστή είναι ότι το ανακλώμενο από το άνοιγμα 1 κύμα είναι το προσπίπτον κύμα που πλησιάζει το άνοιγμα 2 και αντίστροφα, με ενεργειακές απώλειες εξαιτίας της ακτινοβολίας του ανοίγματος που συμβαίνει διαρκώς από τον τροφοδότη που είναι τοποθετημένος σε κάποιο σημείο στον συντονιστή με ιδιότητες εμπέδησης συμβατές με το σύστημα τροφοδοσίας. Υπό αυτές τις προϋποθέσεις και παραλείποντας τις απώλειες ακτινοβολίας από το σημείο τροφοδοσίας, οι απώλειες στο υπόστρωμα και στην ακτινοβολία εξαιτίας ανωμαλιών στην επιφάνεια και ανομοιογένειας του υλικού κατά το μήκος του συντονιστή, τα συνδυασμένα πεδία ακτινοβολίας μακρινού πεδίου των ανοιγμάτων 1 και 2 δίνονται από την πρόσθεση των εξισώσεων 5 και 8. Έτσι:

$$E_{\theta+II} = 2I(\theta, \phi) \left\{ \kappa(\epsilon_{eff})^{1/2} \cos \theta (\cos \zeta - |\Gamma| \cos \xi) + j(\sin \zeta + |\Gamma| \sin \xi) \right\} \sin \phi \quad (9)$$

$$E_{\phi+II} = 2I(\theta, \phi) \left\{ \kappa(\epsilon_{eff})^{1/2} (\cos \zeta - |\Gamma| \cos \xi) + j \cos \theta (\sin \zeta + |\Gamma| \sin \xi) \right\} \cos \phi$$

Επικαλούμενοι τις στενής-ταινίας συνθήκες της εξ.6 και θέτοντας το $|\Gamma|$ ίσο με τη μονάδα, τα διαγράμματα ακτινοβολίας είναι:

$$|E_{\theta+II}|^2 \approx \sin^2(\alpha(\theta)) \quad \text{για } \phi = \pi/2$$

$$|E_{\phi+II}|^2 \approx \cos^2 \theta \sin^2(\alpha(\theta)) \quad \text{για } \phi = 0 \quad (10)$$

και

$$\alpha(\theta) = \frac{2\pi l}{\lambda_g} \left(\frac{\cos \theta}{(\epsilon_{eff})^{1/2}} - 1 \right) \quad \text{για } 0 \leq \theta \leq \pi/2$$

όπου το $\alpha(\theta)$ είναι ένας όρος που περιλαμβάνει τα φαινόμενα παρεμβολής των δύο ανοιγμάτων. Για έναν μισού μήκους κύματος συντονιστή $l = \left(\frac{\lambda_g}{4} - l' \right)$ αφού, για την ακριβή συνθήκη συντονισμού, allowance πρέπει να

γίνει για το φαινόμενο τέλους l' , όπου, όπως ορίστηκε, είναι γενικά αρνητικό και ελαφρώς κονταίνει τον συντονιστή. Αν $\cos \theta \ll (\epsilon_{eff})^{1/2}$ για $0 \leq \theta \leq \pi/2$ τότε $\sin(\alpha(\theta)) \sim 1$ και ο μισού μήκους κύματος συντονιστής συμπεριφέρεται σαν ένα μαγνητικό δίπολο Hertz τοποθετημένο στην αρχή του συστήματος συντεταγμένων

κατά την x-κατεύθυνση. Για ένα πλήρους μήκους κύματος συντονιστή $l = \left(\frac{\lambda_g}{2} - l' \right)$ και το $\alpha(\theta)$ πλησιάζει το π

καθώς το θ πλησιάζει το $\pi/2$ δημιουργώντας έτσι μια δομή διπλού-λοβού στο $|E_{\theta}|^2$ διάγραμμα. Οι μετρήσεις στα διαγράμματα ακτινοβολίας, σχ.3b και c, σε μικροκυματικούς συντονιστές που έχουν σχετικά κοντές αγωγίμες ταινίες αποδεικνύουν ότι τα διαγράμματα καθορίζονται από τις παραπάνω εξισώσεις (εξ.10) και η συμφωνία με τους υπολογισμούς της εξ.9 είναι αρκετά καλή. Σε αυτά τα πειράματα, ο τροφοδότης ήταν χωρητικά συζευγμένος σε ένα υψηλής εμπέδησης σημείο και η ακτινοβολία του τροφοδότη θεωρήθηκε αμελητέα. Η γενικοποίηση αυτών των αποτελεσμάτων σε στενής-ταινίας συντονιστές που είναι αρκετά ημιμήκη κύματος μακριοί γίνεται εύκολα από τις εξισώσεις 9 και 10 με το να εισάγουμε την κατάλληλη τιμή για το l .

Διάγραμμα ακτινοβολίας για ανοιχτοκυκλωμένους ορθογώνιους patch συντονιστές

Όταν το πλάτος των μικροταινιακών ορθογώνιων συντονιστών δεν είναι στενό, η συνάρτηση $I(\theta, \phi)$ εξ.9 δεν μπορεί να θεωρηθεί μονάδα και τα απλοποιημένα διαγράμματα των εξ.10 γίνονται:

$$|E_{\theta+\pi}|^2 \approx \sin^2(\alpha(\theta)) \text{ για } \varphi=\pi/2 \quad (11)$$

$$|E_{\theta+\pi}|^2 \approx \left\{ \frac{\sin \frac{kw \sin \theta}{2}}{kw \sin \theta/2} \right\}^2 \cos^2 \theta \sin^2(\alpha(\theta)) \text{ για } \varphi=0$$

Η $\sin x/x$ συνάρτηση μπορεί να δημιουργήσει πρόσθετους 4m μηδενισμούς στο $|E_\phi|^2$ διάγραμμα όπου $m=0,1,2,3,\dots \left(\frac{w}{\lambda_0} - \delta \right)$ και το δ είναι ο μικρότερος θετικός αριθμός ώστε το m να είναι ακέραιος. Αυτοί οι φαρδιοί μικροταινιακοί συντονιστές θα αναφέρονται σαν patch συντονιστές και πειραματικά αποτελέσματα για συνήθη πλάτη φαίνονται στο σχ.4α και η $I(\theta,0)$ συνάρτηση έχει μικρή επίδραση στο $|E_\phi|^2$ διάγραμμα αφού $m=0$ σε αυτή την περίπτωση. Ένας ορθογώνιος patch συντονιστής μπορεί να υποστηρίξει δύο ορθογώνιους τρόπους διάδοσης σε διαφορετικές συχνότητες και μπορεί να φανεί χρήσιμος σε διπλής-συχνότητας μετάδοσης/λήψης εφαρμογές κεραιών. Όταν το patch είναι τετράγωνο οι τρόποι διάδοσης εκφυλίζονται και με κατάλληλη διέγερση η κεραία μπορεί να ρυθμισθεί να είναι κυκλικά πολωμένη. Από τα παραπάνω, προκύπτει ότι τα κυρίαρχα πολωτικά χαρακτηριστικά είναι $E_\theta = j \sin \phi$, $E_\phi = \sin \theta + j \cos \theta \cos \phi$. Το πιο πλατύ άνοιγμα που συνδέεται με τους ορθογώνιους και κυλινδρικούς patch συντονιστές μαζί απαιτεί μια πιο εκτεταμένη επέκταση στο επίπεδο του εδάφους για να εγκατασταθεί το image άνοιγμα. Για τις περιπτώσεις στα σχ.4α-γ η επέκταση ήταν περίπου 1cm και ταυτόχρονα το $|E_\theta|^2$ είχε ελαττωθεί στην $\theta=0^\circ$ κατεύθυνση εξαιτίας κάποιας μικρής διαρροής ρεύματος στην πίσω επιφάνεια του επιπέδου του εδάφους.

Διάγραμμα ακτινοβολίας ανοικτοκυκλωμένων κυκλικών μικροταινιακών patch συντονιστών

Σε κυκλικούς μικροταινιακούς patch συντονιστές, ο κυρίαρχος τρόπος διάδοσης ενδιαφέροντος είναι τέτοιος ώστε $E_z = k^2 J_n(k_1 \rho) \cos n\psi$ να είναι το μόνο μη μηδενικό ηλεκτρικό πεδίο: ο άξονας του κυκλικού patch ακτίνας α βρίσκεται στην z-διεύθυνση, ρ και ψ είναι κυλινδρικές συντεταγμένες, $n=0,1,2,3,\dots$ ανάλογα της γωνιακής περιοδικότητας των πεδίων και $k_1 = \omega(\mu_0 \epsilon_0 \epsilon_r)^{1/2}$. Για την κυρίαρχη ανάκλαση στο κυκλικό διηλεκτρικό σε αέρα όριο στο $\rho = \alpha$, το εφαπτόμενο μαγνητικό πεδίο $H_\psi = j\omega \epsilon_r k_1 J'_n(k_1 \rho) \cos n\psi$ είναι πολύ μικρό και οι ιδιοτιμές δίνονται περίπου από την $J'_n(k_1 \alpha) = 0$. Για να υιοθετήσουμε την παραπάνω προσέγγιση ανοίγματος το ακτινοβολών άνοιγμα παίρνεται στο κυκλικό μαγνητικό τοίχο $\rho = \alpha$, για $0 \leq z \leq h$ και το είδωλο του latter είναι το επίπεδο του εδάφους: h είναι το πάχος του υποστρώματος. Εφαρμόζοντας την εξ.2 στα πεδία του ανοίγματος, μόνο για το E_z σε αυτήν την περίπτωση, τα διαγράμματα ακτινοβολίας για $n \neq 0$ είναι:

$$|E_\theta|^2 \approx [J'_n(k\alpha \sin \theta) I_1(\theta) \cos n\phi]^2$$

$$|E_\phi|^2 \approx \left[n \cos \theta \frac{J_n(k\alpha \sin \theta)}{k\alpha \sin \theta} I_1(\theta) \sin n\phi \right]^2 \quad (12)$$

$$I_1(\theta) = \frac{\sin(k \cos \theta h)}{k \cos \theta h}$$

όπου $0 \leq \theta \leq \pi/2$ είναι η γωνία ανύψωσης με $\theta=0$ να καθορίζει τον z-άξονα και ϕ το αζιμούθιο στο (ρ, ψ) επίπεδο: η εξάρτηση από το ϕ δημιουργεί λοβούς στα $|E_\theta|^2$ και $|E_\phi|^2$ διαγράμματα για $\varphi = \pi r/n$ και $\varphi = \pi(2r+1)/2n$, αντίστοιχα, όπου r είναι οποιοσδήποτε από τους ακέραιους $0,1,2,3,\dots(2n+1)$. Όταν $n=0$ το

διάγραμμα είναι απλά $|E_\theta|^2 \approx [J_1(k\alpha \sin \theta)I_1(\theta)]^2$ για όλα τα θ . Όπως και στην ορθογώνια περίπτωση συντονιστή είναι σύνηθες για $h \ll \lambda_0$ και έτσι $I_1(\theta)$ είναι περίπου ίσο με τη μονάδα για όλα τα θ .

Το διάγραμμα του πρώτου $n=0$ τρόπου αντιστοιχεί σε πλήρους κύματος συντονιστή διάγραμμα στην ορθογώνια γεωμετρία (σχ.3c) αφού υπάρχει μηδενικό πεδίο που ακτινοβολεί κανονικά στην patch μέτρηση σε ένα κεντρικά διεγερόμενο κυκλικό patch διεγερόμενο στον πρώτο $n=0$ τρόπο με $k_1\alpha=3.832$, όπως φαίνεται στο σχ.4b. Οι υψηλότεροι $n=0$ τρόποι είναι $k_1\alpha=7.016, 10.173, \dots$ και αυτοί παράγουν πολλαπλών λοβών διαγράμματα με μηδενική ακτινοβολία στην διεύθυνση την κανονική στο patch, αντιστοιχώντας έτσι σε πολλαπλά μήκη κύματος ορθογώνια διαγράμματα συντονιστών. Η πρώτη ρίζα του $n=1$ τρόπου είναι $k_1\alpha=1.841$ και το διάγραμμα ακτινοβολίας έχει διπολικά χαρακτηριστικά αντιστοιχώντας σε αυτό του μισού μήκους κύματος ορθογώνιου ακτινοβολητή περίπτωση σχ.3b: κάποιες πειραματικές λεπτομέρειες φαίνονται στο σχ.4c. Υψηλότεροι $n=1$ τρόποι με $k_1\alpha=5.331, 8.536, \dots$ αντιστοιχούν σε δράση πολλαπλών μισού μήκους κύματος ορθογώνιους συντονιστές όσον αφορά τα διαγράμματα ακτινοβολίας. Μετρήσεις των ιδιοτήτων των τρόπων διάδοσης ελλειπτικών patch συντονιστών έχουν αναφερθεί και η προσέγγιση ανοίγματος μπορεί εύκολα να εφαρμοσθεί για να εξαχθούν τα διαγράμματα ακτινοβολίας: Ελλειπτικοί συντονιστές με μεγάλη ελλειπτικότητα ενδιαφέρουν αφού προσφέρουν μία μέθοδο υπολογισμού ορθογώνιων συντονιστών με στρογγυλεμένες και κωνικές κορυφές. Πειράματα δείχνουν ότι τα διαγράμματα ακτινοβολίας της latter modified δομής συμπεριφέρονται παρόμοια με την unmodified ορθογώνια περίπτωση αλλά η συχνότητα συντονισμού είναι φυσικά διαταραγμένη.

Στοιχειοσειρές μικροταινιακών συντονιστών

Μία μέθοδος προσέγγισης χρησιμοποιεί σύζευξη κατά προσέγγιση. Με αυτόν τον τρόπο τα στοιχεία τοποθετούνται κοντά σε μια μακριά ανοιχτοκυκλωμένη γραμμή τροφοδοσίας. Ένα παράδειγμα μιας γραμμικής 9-στοιχείων συντονισμένης στοιχειοσειράς φαίνεται στο σχ.5 μαζί με το μετρημένο και υπολογισμένο διάγραμμα στο E-επίπεδο: το latter είναι μια υπέρθεση εννέα συμφασικών E_θ μισού μήκους κύματος στοιχειωδών διαγραμμάτων του τύπου που φαίνεται στο σχ.3b. Η συμφωνία μεταξύ των υπολογισμένων και των μετρούμενων διαγραμμάτων είναι καλή για τους κοντινούς πλευρικούς λοβούς: άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τους μακρινούς πλευρικούς λοβούς συζητούνται σε άλλο κεφάλαιο. Η σύζευξη μεταξύ των στοιχείων εξαιτίας της ακτινοβολίας των πεδίων τους θεωρείται αμελητέα σε αυτό το παράδειγμα.

Παραγωγή επιφανειακών κυμάτων υποστρώματος

Η σταθερά ανάκλασης (εξ.1) είναι μια συνάρτηση της σύνθετης αγωγιμότητας ακτινοβολίας $Y_T = G_T + jB_T$, όπου G_T η αγωγιμότητα ακτινοβολίας και B_T η μαγνητική επιδεκτικότητα του κοντινού πεδίου του ανοίγματος: B_T συνήθως μεταφράζεται σε ισοδύναμα μήκη γραμμής και αναφερόμαστε σε αυτό όπως στο προαναφερόμενο φαινόμενο τέλους l' . Από κατασκευαστικής πλευράς, είναι ωφέλιμο να επεκταθεί το διηλεκτρικό υπόστρωμα πέρα του τέλους ενός ανοιχτοκυκλωμένου μικροταινιακού τερματισμού, αλλά οι James και Ladbroke έδειξαν ότι τα επιφανειακά κύματα μπορούν να διοχετευθούν στο τριγύρω υπόστρωμα: Το Γ είναι τότε μια συνάρτηση του $Y_T + Y_s$ όπου $Y_s = G_s + jB_s$ αντιπροσωπεύει τη φόρτιση εξαιτίας της παραγωγής των επιφανειακών κυμάτων. Η γεωμετρία του υποστρώματος και της τυπωμένης διάταξης των υπολοίπων εξαρτημάτων καθορίζει τα G_s και B_s αφού τα επιφανειακά κύματα υφίστανται ανάκλαση, ακτινοβολία και εκπομπή στα σύνορα του υποστρώματος ή σε άλλες περιοχές περιέχει εμπόδια ή τυπωμένα στοιχεία. Είναι επόμενο ότι τα επιφανειακά κύματα μπορεί να αποτελούν μια ανεπιθύμητη πηγή σύζευξης μεταξύ απομακρυσμένων μερών ενός μικροταινιακού κυκλώματος και επίσης μια κακή πηγή ακτινοβολίας.

Εκτίμηση της εκπεμπόμενης στο υπόστρωμα ισχύος

Για γενικές γεωμετρίες υποστρώματος το φαινόμενο των επιφανειακών κυμάτων είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί, αλλά μια χρήσιμη εκτίμηση μπορεί να γίνει με ανάλυση της παραμετροποίησης του inset στην εξ.6 όπου το πλάτος του υποστρώματος w_s συνεχίζει πέρα από τον ανοιχτοκυκλωμένο τερματισμό του

αγωγού που βρίσκεται στο $z=0$. Η επέκταση του υποστρώματος και το είδωλό του στο επίπεδο του εδάφους λειτουργεί σαν έναν διηλεκτρικό ορθογώνιο rod κυματοδηγό και ο E_{11}^y τρόπος διάδοσης του latter είναι συμβατός με τον περιορισμό του ειδώλου και την πολικότητα του πεδίου διέγερσης στο άνοιγμα: π.χ το πεδίο E του επιφανειακού κύματος απλώνεται κυρίως στην y -διεύθυνση. Ο E_{11}^y τρόπος διάδοσης δεν έχει συχνότητα αποκοπής και μπορεί πάντα να χρησιμοποιείται μέσα στο υπόστρωμα σε κάποιο βαθμό. Το T της προσπίπτουσας ισχύος στην μικροταινιακή γραμμή που διαδίδεται στην επέκταση του υποστρώματος μπορεί να εκτιμηθεί από τη σχέση:

$$T = \frac{1}{16P_s P} \left| \int_{S_\alpha} (E_s \times H - E \times H_s) \cdot \hat{n} d\alpha \right|^2 \quad (13)$$

όπου $\hat{n} = \hat{z}$ ένα εξωτερικό διάνυσμα κανονικοποιημένο στο άνοιγμα S_α : σε αυτόν τον υπολογισμό (E_s, H_s) είναι το πεδίο του τρόπου διάδοσης E_{11}^y κατευθυνόμενο στην $-\hat{z}$ διεύθυνση προς το άνοιγμα, ενώ (E, H) είναι το απλοποιημένο πεδίο TEM κάτω από την αγωγίμη ταινία, εξ. 1 με το S_α περιορισμένο σε $-\frac{w}{2} \leq x \leq \frac{w}{2}, 0 \leq y \leq h$ στο $z=0$: P_s και P είναι οι ροές ισχύος οι συνδεδεμένες με τα επιφανειακά κύματα και τα πεδία TEM, αντίστοιχα. Τα πεδία ακτινοβολίας είναι ορθογώνια στο (E_s, H_s) και γι' αυτό εξαιρούνται.

Αφού $w_s \gg h$, ο E_{11}^y τρόπος τείνει στην συμπεριφορά του E_{01}^y τρόπου σε ένα διηλεκτρικό υλικό έχοντας το ίδιο πάχος, $2h$, αλλά άπειρο πλάτος: προηγούμενα αποτελέσματα δείχνουν ότι η προσέγγιση είναι καλή για $w_s > 8h$. Ο E_{11}^y τρόπος δεν μπορεί να εκφρασθεί ακριβώς χωρίς να προσφύγουμε σε μια σειρά επεκτάσεων και είναι επαρκώς ακριβές εδώ να προσεγγίσουμε τον E_{11}^y τρόπο με τον E_{01}^y μαζί με μια μείωση συνημίτονου $\gamma(x) = \cos(\pi x/w_s)$ στην x διεύθυνση αφού το επιφανειακό κύμα είναι αμελητέο στα άκρα του υποστρώματος $x = \pm w_s/2$. Έτσι,

$$H_s = B \cos(k_2 y) \exp(+j\beta_s z) \gamma(x) \hat{x} \quad \text{για } 0 \leq y \leq h$$

$$= A \exp[-p_1(y-h) + j\beta_s z] \gamma(x) \hat{x} \quad \text{για } h \leq y \leq \infty \quad (14)$$

όπου $\beta_s^2 = \epsilon_r k^2 - k_2^2 = k^2 + p_1^2 = \left(\frac{2\pi}{\lambda_{gs}}\right)^2$ και $A = B \cos(k_2 h)$. Η υπερβατική εξίσωση που καθορίζει αυτούς τους

ίσους εγκάρσιους τρόπους είναι:

$$\epsilon_r p_1 h = k_2 h \tan(k_2 h) \quad (15)$$

$$(p_1 h)^2 + (k_2 h)^2 = (\epsilon_r - 1)(k h)^2$$

Το αντιστοιχούμενο πεδίο- E είναι

$$E_s = \frac{\beta_s}{\omega \epsilon_0 \epsilon_r} B \cos(k_2 y) \exp(+j\beta_s z) \gamma(x) \hat{y} \quad \text{για } 0 \leq y \leq h$$

$$= \frac{\beta_s}{\omega \epsilon_0} A \exp[-p_1(y-h) + j\beta_s z] \gamma(x) \hat{y} \quad \text{για } h \leq y \leq \infty \quad (16)$$

για ένα επιφανειακό κύμα που ταξιδεύει στην $-\hat{z}$ διεύθυνση. Αντικαθιστώντας εξ. 14 και 16, μαζί με την εξ. 1, στην εξ. 13 έχουμε:

$$P = \frac{1}{2} Z H^2_x h w, \quad P_s = Z_s w_s h B^2 F / 8$$

(17)

$$Z_s = \frac{\beta_s}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_r}, \quad F = \left\{ 1 + \frac{\sin(2k_2 h)}{2k_2 h} [1 + \varepsilon^2 \varepsilon_r \cos^2(k_2 h)] \right\}$$

Αφού $w_s \gg h$ τότε $w_s \gg w$ για τυπικές περιπτώσεις και το $\gamma(x)$ μπορεί να τεθεί ίσο με τη μονάδα στις εξισώσεις 14 και 16 όταν εκτιμούμε τον διαφορικό όρο στην εξ.13:ο τελευταίος όρος γίνεται:

$$\left[wh H_x B(Z + Z_s) \left(\frac{\sin(k_2 h)}{k_2 h} \right) \right]^2 \quad (18)$$

Μαζεύοντας όρους από τις εξισώσεις 17 και 18,η εξ.13 γίνεται:

$$T = \frac{w}{w_s F} \left[\left[k \left(\frac{\varepsilon_r}{\kappa \beta \beta_s} \right)^{1/2} + \frac{1}{k} \left(\frac{\kappa \beta \beta_s}{\varepsilon_r} \right)^{1/2} \right] \left\{ \frac{\sin(k_2 h)}{k_2 h} \right\} \right]^2 \quad (19)$$

Έτσι δοσμένων των $\varepsilon_r, \varepsilon_{\text{eff}}$ τα h, β_s καθορίζονται από τον πρώτο τρόπο της υπερβατικής εξ.15 και το T μπορεί να εκτιμηθεί σαν συνάρτηση του w_s/w για $w_s > 8h$. Οι υπολογισμοί της εξ.19 δίνονται στο σχ.6 για δύο τύπους πολυοδηγούμενου σε κοινή χρήση και επίσης ένα αλουμινένιο υπόστρωμα. Πρόσφατες εκτιμήσεις από τον Kompa, βασισμένες στις αναλύσεις των Angulo και Chang, είναι περιορισμένα σε πλατιές μικροταινίες με επεκτάσεις υποστρώματος του ίδιου πλάτους και είναι έτσι περιορισμένης χρήσης: αυτό αντιστοιχεί σε $w_s = w$ στο σχ.6 και συνεπώς, σε μεγάλες τιμές του T .

Ένας τρόπος για να μετακινήσουμε τα ανεπιθύμητα κύματα υποστρώματος είναι να μειώσουμε την τιμή της διαπερατότητας του υποστρώματος απευθείας μπροστά από το άνοιγμα, αυξάνοντας έτσι το F στην εξ.19 και ελαττώνοντας το T . Στην πράξη, αυτό μπορεί καλύτερα να επιτευχθεί με την ολοκληρωτική μετακίνηση του υποστρώματος που αντιστοιχεί στο να κοπεί μια κοιλότητα στο υπόστρωμα γειτονική στο ακτινοβολών άνοιγμα.

Απευθείας μετρήσεις της σύνθετης αγωγιμότητας ακτινοβολίας

Η μέθοδος συντονιστή μπορεί, επί της αρχής, να χρησιμοποιηθεί για να γίνει διαχωρισμός μεταξύ των απωλειών ισχύος εξαιτίας του αγωγού και των φαινομένων απωλειών του υποστρώματος και αυτών εξαιτίας των απωλειών ακτινοβολίας G_r , αλλά έχει ειπωθεί ότι τα αποτελέσματα είναι μέχρι στιγμής δύσκολο να ερμηνευθούν. Τα φαινόμενα της τραχύτητας της επιφάνειας και η πολυπλοκότητα του μηχανισμού ακτινοβολίας έχουν θεωρηθεί συμβαλλόμενοι ως προς αυτό παράγοντες. Πιο συγκεκριμένα, η παρουσία επιφανειακών στο υπόστρωμα κυμάτων και η σύζευξη των δύο ανοιγμάτων σε κάθε άκρη του συντονιστή διαμέσου των πεδίων ακτινοβολίας τους είναι δύσκολα στο να απομονωθούν φαινόμενα στην μέθοδο μέτρησης του συντονιστή. Για σκοπούς σχεδίασης κεραίας το G_r είναι ζωτική παράμετρος και η προσέγγιση στο παρόν βιβλίο είναι να εξαχθεί το Y_r με απευθείας μέτρηση των στασίμων κυμάτων σε μια ανοιχτοκυκλωμένη μικροταινιακή γραμμή.

Τα μικροταινιακά πεδία δεν έχουν μια μοναδική χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση εξαιτίας των εγκαρσίων ρευμάτων του αγωγού. Έτσι όλες οι σύνθετες αντιστάσεις αναφέρονται στον άξονα της αγωγίμης ταινίας που βρίσκεται στο zy-επίπεδο του σχήματος inset στο σχ.6: με αυτούς τους περιορισμούς, οι συμβατικές τεχνικές μέτρησης μπορούν να υιοθετηθούν όπου το πεδίο κάτω από τον μικροταινιακό αγωγό δειγματοληπτείτε από ένα μικρό μονωμένο χάλκινο ακροδέκτη ενσωματωμένο σε ένα μπρούτζινο επίπεδο εδάφους και όντας ισεπίπεδος με την επιφάνεια του latter. Το μήκος της μικροταινίας που πρόκειται να μετρηθεί έχει 2 mm πλάτος ταινίας του επιπέδου του εδάφους χαραγμένη έτσι ώστε ο ακροδέκτης να γλιστράει κατά μήκος ενός επαρκούς μήκους της μικροταινιακής γραμμής κρατούμενη σε συμπίεση στο μπρούτζινο επίπεδο εδάφους. Με κατάλληλη ρύθμιση, ο ακροδέκτης που είναι μικρότερος από 0.7 mm σε διάμετρο, δεν παρενοχλεί α δειγματοληπτούμενα πεδία. Η ακτινοβολία από τον ανοιχτοκυκλωμένο τερματισμό απορροφάται από απορροφητικά υλικά τοποθετημένα ακριβώς έξω από το κοντινό πεδίο του ανοίγματος.

$$G_r = \frac{S}{Z(\cos^2 \Phi + S^2 \sin^2 \Phi)} \quad (20)$$

$$B_r = \frac{(1-S^2)\sin \Phi \cos \Phi}{Z(\cos^2 \Phi + S^2 \sin^2 \Phi)}$$

όπου $S=0$ λόγος τάσης του στάσιμου κύματος και $\Phi = \beta l'$:η γωνιακή μετατόπιση στη θέση μηδενισμού από μια ιδανική συνθήκη για ανοιχτό κύκλωμα $2\beta l'$ ακτίνια προς τον τερματισμό. Όταν $|\Gamma| \sim 1$ οι τάσεις μηδενισμού ήταν πολύ μικρές και ένας ευαίσθητος ενισχυτής απαιτούνταν πριν την ανίχνευση. Έτσι η μέθοδος του Owen χρησιμοποιήθηκε για να υπολογισθούν οι S τιμές. Οι θέσεις μηδενισμού ήταν πιο καθαρά καθορισμένες και χρησιμοποιημένες σε συνδυασμό με προηγούμενα ευρεθείσες τιμές του λ_g για να υπολογισθεί το Φ . Καθόλου δεδομένα συγκριτικών μετρήσεων για το G_r δεν φαίνονται, αλλά τα αποτελέσματα του σχ.7 δείχνουν ότι οι εκτιμήσεις πρώτης τάξης του Sobol που είναι ένας παράγοντας του 10 είναι πολύ χαμηλές. Ο Komra επίσης συμπεράνει ότι οι εκτιμήσεις του Lewin και ιδιαίτερα του Sobol για το G_r είναι πολύ χαμηλές. Η εμπειρική φόρμουλα του Hammerstad για το B_r βασισμένες στην στατιστική ανάλυση του Silvester και του Benedek είναι επίσης δοσμένες για σύγκριση στο σχ.7 και η απόκριση είναι μικρότερη σε υψηλότερες συχνότητες, όπως αναμένεται. Μετρήσεις συντονιστών σε ζαφειρένια υποστρώματα επιβεβαιώνουν ότι η στατική ανάλυση δίνει πιο ρεαλιστικές B_r τιμές από έναν υπολογισμό βασισμένο σε θωρακισμένους συντονιστές. Όταν το υπόστρωμα επεκτάθηκε πέρα από τον τερματισμό του αγωγού, η παρουσία των επιφανειακών κυμάτων υποστρώματος ήταν εμφανής από την αλλαγή στο S και στο Φ (εξ.20). Οι αλλαγές ήταν γενικά μικρές, υπονοώντας ότι $|Y_s| \ll |Y_r|$ και η δυσκολία στην μέτρηση τέτοιων μικρών αλλαγών απέτρεψε τον διαχωρισμό του Y_s από το Y_r με ανεκτή ακρίβεια.

Σχεδιαστικές επιπλοκές

Οι G_r τιμές (σχ.7) αντιπροσωπεύουν χρήσιμα δεδομένα σχεδίασης κεραίας δεδομένης της απουσίας ακριβών θεωρητικών υπολογισμών: Για ένα δεδομένο πλάτος λωρίδας με $w \ll \lambda_g$ η κυρίαρχη συμπεριφορά του G_r όπως φαίνεται από τις συνεχείς γραμμές στο σχ.7 μπορεί να αντιπροσωπευθεί σαν

$$G_r \sim G_w \left(w / \lambda_g \right)^2 \Big|_{w=\text{const}} \quad (21)$$

Διαισθητικά, αυτό ίσως να αναμένεται από την αρχή του Babinet αφού το άνοιγμα της μικροταινίας μπορεί να θεωρηθεί σαν μια ακτινοβολούσα σχισμή που είναι η διπλή ενός γραμμικού στοιχείου ρεύματος: Η αντίσταση ακτινοβολίας του τελευταίου είναι ανάλογη του $(\text{μήκους}/\lambda_0)^2$ για κοντούς ακτινοβολητές. Για δοσμένη συχνότητα και μεταβλητό πλάτος

$$G_r \approx G_f \left(w / \lambda_g \right)^q \Big|_{\text{freq}=\text{const}} \quad (22)$$

όπου $q \neq 2$: Αυτή η παρέκκλιση από τον νόμο του τετραγώνου είναι πιθανή λόγω της αλλαγής στο λόγο w/h , αλλά το q είναι ξεκάθαρα μια παράμετρος που είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στις ανοχές λάθους. Για την κλίμακα των τιμών στο σχ.7, $G_w = 60,75$ και 180mS για $w = 10,6$ και 3mm , αντίστοιχα: $G_r = 11,28$ και 45mS και $q = 1,24, 1,07$ και 1 αναφερόμενοι σε συχνότητες των $2,10$ και 18GHz , αντίστοιχα: Η ανοχή στις q τιμές υπολογίζεται στο $\pm 20\%$. Η εξ.22 δείχνει ότι η εκπεμπόμενη ισχύς από έναν ανοιχτοκυκλωμένο τερματισμό μπορεί να καθοριστεί από το πλάτος της ταινίας αν η τάση του τερματισμού είναι σταθερή: Αυτό παρέχει ένα μέσο καθορισμού της κατανομής του ανοίγματος μιας συστοιχίας στοιχείων. Οι σχετικές επιπτώσεις της ακτινοβολίας του ανοίγματος και των επιφανειακών κυμάτων υποστρώματος πάνω από ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων φαίνεται στο σχ.8 και στον πίνακα 1: $|\Gamma|$ και ως εκ τούτου το P_{rad}/P , βασίζεται στα μετρούμενα αποτελέσματα του σχ.7 για ένα σμικρυσμένο υπόστρωμα στο επίπεδο του ανοίγματος. Όταν το υπόστρωμα εκτείνεται πέρα από το άνοιγμα, η επίδραση στο $|\Gamma|$ είναι δευτέρου βαθμού, όπως φαίνεται παραπάνω και το T λαμβάνεται από την εξ.19. Για δοσμένη επέκταση υποστρώματος πλάτους w_s , το T αυξάνει με την συχνότητα αλλά το ίδιο συμβαίνει με το P_{rad}/P . Γι' αυτό ο λόγος P_{rad}/P δεν είναι μια ευαίσθητη στη συχνότητα συνάρτηση και τυπικά κυμαίνεται μεταξύ

των -16 και -19 dB πάνω από το εύρος συχνοτήτων. Παρόμοιοι λόγοι υπολογίζονται για άλλες γραμμές εμπέδησης και $w_s/w=20$. Αφού το P_s αντιπροσωπεύει μια μη ελεγχόμενη πηγή ακτινοβολίας, μια συστοιχία συντιθέμενη από τέτοια στοιχεία μπορεί να εμφανίσει ανεπιθύμητους πλευρικούς λοβούς περίπου στα -20 dB από τον κύριο λοβό. Για την συστοιχία του σχ.5, τα κύματα υποστρώματος μπορεί να δώσουν αύξηση στην δράση του συντονιστή στο διάστημα μεταξύ των στοιχείων και είναι δύσκολο να υπολογισθεί ποιος w_s/w λόγος θα ήταν εφαρμόσιμος σε μια τόσο περίπλοκη κατάσταση. Για να δοκιμασθεί η ύπαρξη των κυμάτων υποστρώματος, κοίλα κύματα φτιάχτηκαν για να αποτρέψουν την παραγωγή του latter και το επίπεδο του πλευρικού λοβού μετά μειώθηκε κοντά στο θεωρητικό διάγραμμα του σχ.5: Η μείωση είναι περισσότερο αξιοπρόσεκτη σε μικρή ανύψωση όπου το θεωρητικό επίπεδο πλευρικού λοβού είναι κάτω από τα -20 dB. Στην σχεδίαση φίλτρων, η ακτινοβολία από ανοιχτοκυκλωμένα στελέχη απορροφάται συχνά από υλικό που προκαλεί απώλειες ενέργειας αλλά το κύμα υποστρώματος παραμένει εκτός και αν ο απορροφητής πιεστεί πάνω στο υπόστρωμα ή μεταλλικές ακίδες εισαχθούν. Το P_s/P_{ref} είναι τώρα η σημαντική παράμετρος αντιπροσωπεύοντας την μέγιστη απομόνωση μεταξύ του στελέχους και άλλων απομακρυσμένων κυκλωμάτων ή στοιχείων κεραιών αλλού πάνω στο υπόστρωμα, υποθέτοντας ότι το latter απορροφάει εντελώς το προσπίπτων επιφανειακό κύμα: Ξεκάθαρα, μόνο ένα κλάσμα του επιφανειακού κύματος θα απορροφηθεί αλλά ακόμα και έτσι ο λόγος στα 17 GHz είναι εξαιρετικά υψηλός και εξηγεί τα προβλήματα απομόνωσης που παρουσιάζονται με μικροταινιακά φίλτρα που χρησιμοποιούν polyguide υποστρώματα σε υψηλές συχνότητες.

Συμπεράσματα

Μια ανοιχτοκυκλωμένη μικροταινιακή γραμμή ακτινοβολεί από την περιοχή τερματισμού και απλοποιημένοι υπολογισμοί βασισμένοι σε αυτήν την φυσική δραστηριότητα προβλέπουν τα διαγράμματα ακτινοβολίας μιας ποικιλίας ορθογωνικών και κυλινδρικών συντονιστών. Τα διαγράμματα διέπονται από μαγνητικά-όμοια με δίπολο χαρακτηριστικά συγγενή με σχισμοκεραίες και αυτό είναι σύμφωνο με την παραπάνω φυσική δραστηριότητα. Τα διαγράμματα ακτινοβολίας στοιχείου δεν δημιουργούν ιδιαίτερα προβλήματα όταν αναπτύσσονται για μια συστοιχία και το διάγραμμά της θα υπαγορευθεί από τον συντελεστή διαγράμματος: Δεν υπάρχει κανένας λόγος να υποθέσουμε η μεταξύ των στοιχείων σύζευξη θα είναι πιο σημαντική απ' ότι στα συμβατικά στοιχεία συστοιχιών. Ένα σημαντικό συμπέρασμα είναι ότι ένας ανοιχτοκυκλωμένος τερματισμός από μόνος του μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν στοιχείο στοιχειοσειράς, προϋποθέτοντας ότι ένα κατάλληλο σύστημα τροφοδοσίας μπορεί να κατασκευασθεί και έτσι δεν χρειάζεται να περιορισθεί η επιλογή των στοιχείων στους συντονιστές.

Η αγωγιμότητα ακτινοβολίας ενός ανοιχτοκυκλωμένου τερματισμού έχει υπολογισθεί από νέες στάσιμου-κύματος μετρήσεις: Αυτές οι μετρήσεις αρκούν για σχεδιαστικές εκτιμήσεις αλλά πιο ακριβείς τιμές για το G_T είναι επιθυμητές. Είναι προφανές ότι το πλάτος της ταινίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ελεγχθεί το ποσό της ακτινοβολουμένης ισχύος και έτσι να δώσει μια μέτρηση του ελέγχου της κατανομής του ανοίγματος της στοιχειοσειράς όταν πολλοί ανοιχτοκυκλωμένοι τερματισμοί χρησιμοποιούνται σε στοιχειοσειρά. Το κατασκευαστικό πλεονέκτημα εδώ είναι ότι οι ανοιχτοκυκλωμένες γραμμές μπορούν να συνδεθούν απευθείας στην κυρίως γραμμή τροφοδοσίας πράγμα που απλοποιεί το σύστημα τροφοδοσίας. Το εύρος ζώνης των στοιχείων δεν μελετήθηκε, αλλά από απλές υποθέσεις προκύπτει ότι όσο στενότερο το πλάτος ταινίας τόσο μικρότερο το άνοιγμα και έτσι το εύρος ζώνης.

Η εκπομπή των επιφανειακών κυμάτων στο υπόστρωμα που κυκλώνει τα στοιχεία κεραιών έχει αποδειχθεί σε μια περίπτωση, πως προκαλεί ανεπιθύμητη, άλλης συχνότητας ακτινοβολία στα -20 dB από την κυρίως δέσμη. Πρακτικά η γεωμετρία του γύρω υποστρώματος μπορεί να είναι ακανόνιστη και η εκτίμηση της επίδρασης των επιφανειακών κυμάτων γίνεται πολύ περίπλοκη: Πειράματα μιας 9-ομοίων στοιχείων στοιχειοσειράς επιβεβαιώνουν την ύπαρξη των παραπάνω επιδράσεων και υποδεικνύει τη χρήση κοίλων κύματος στο υπόστρωμα για να κατασταλούν τα επιφανειακά κύματα. Έχει δείχθει ότι για ένα ιδιαίτερο πάχος polyguide υποστρώματος ο λόγος του επιφανειακού κύματος προς την εκπεμπόμενη ισχύ δεν είναι μια ευαίσθητη συνάρτηση της συχνότητας παρόλο που και οι δυο ποσότητες αυξάνουν με την

συχνότητα. Πρόσφατες μετρήσεις λεπτότερων polyguide υποστρωμάτων δείχνουν ότι για την ίδια τάξη εμπέδηση γραμμής και συχνότητα, λιγότερη ισχύς χάνεται στα επιφανειακά κύματα και στην ακτινοβολία παρόλο που ο λόγος των τελευταίων ποσοτήτων είναι για την ίδια τάξη. Το συμπέρασμα εδώ είναι ότι η επιλογή του πάχους του υποστρώματος δεν έχει καταφανή επίδραση στο επίπεδο πιθανής ανεπιθύμητης ακτινοβολίας συνδεδεμένης με τα επιφανειακά κύματα. Μέχρι στιγμής, τα αποτελέσματα για υποστρώματα από αλουμίνα δεν έδειξαν καμιά διαφορά αν και επίπεδα ακτινοβολίας και ισχύος επιφανειακών κυμάτων είχαν μειωθεί αρκετά πράγμα σημαντικό για τη γενικότερη σχεδίαση του κυκλώματος.

Προσαρμοσμένες μικροταινιακές κεραίες και μικροταινιακές συμφασικές στοιχειοσειρές

Περίληψη: Μια νέα γενιά κεραιών χρησιμοποιεί μικροταινίες για να δημιουργήσει δίκτυα τροφοδοσίας και ακτινοβολητές. Αυτές οι κεραίες έχουν 3 πλεονεκτήματα: 1) Κόστος, 2) απόδοση, 3) ευκολία εγκατάστασης. Η εφαρμογή αυτών των κεραιών είναι περιορισμένη σε στενά εύρη συχνοτήτων.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Υψηλής ταχύτητας αεροσκάφη, πύραυλοι και ρουκέτες απαιτούν προσαρμοσμένες λεπτές κεραίες. Ιδεατά μια κεραία λεπτή όσο το χαρτί θα ταίριαζε καλύτερα στην αεροδυναμική και μηχανική κατασκευή τέτοιων κατασκευών. Αυτή η κεραία δεν θα εμπόδιζε την αεροδυναμική ροή, ούτε θα εξείχε εσωτερικά καταστρέφοντας την μηχανική κατασκευή.

Με μια μικροταινιακή τυπωμένη πλακέτα μιας όψης, οι δύο προαναφερόμενοι στόχοι πραγματοποιούνται. Επιπροσθέτως η επιθυμία για χαμηλού κόστους κεραία μπορεί να επιτευχθεί γιατί η μιας όψης πλακέτα-κεραία κατασκευάζεται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο που φτιάχνονται τα τυπικά τυπωμένα κυκλώματα.

Η μικροταινιακή στοιχειοσειρά που θα συζητηθεί είναι μια κεραία που ενσωματώνει το βασικό ακτινοβολών άνοιγμα με το παρελκόμενο σύστημα τροφοδοσίας του, όλα **τυπωμένα** σε μια πλακέτα. Είναι μια νέα μικροταινιακή συσκευή που περιλαμβάνει ένα αποτελεσματικό μικροταινιακό ακτινοβολητή και ολοκληρωμένο δίκτυο τροφοδοσίας, δίκτυο προσαρμογής, δίκτυο μεταγωγής και δίκτυο φίλτρων, αν απαιτηθεί.

Επίσης διάφορα στοιχεία μπορούν να προστεθούν όπως ταλαντωτές, ενισχυτές, μετατοπιστές φάσης, διακόπτες και δέκτες. Θα φαινόταν ότι οι γραμμές τροφοδοσίας θα παρεμβαλλόταν στην ακτινοβολία αλλά αυτό δεν συμβαίνει γιατί είναι ηλεκτρικά κοντά στη γείωση που είναι το πίσω μέρος της κεραίας και επειδή οι γραμμές τροφοδοσίας είναι κάθετες στο εκπεμπόμενο ηλεκτρικό πεδίο.

