
Συστήματα Μετάδοσης Πληροφορίας

Κεραίες

1

Εισαγωγή

■ Κεραία:

- Βασικό τμήμα κάθε ασύρματου τηλεπικοινωνιακού συστήματος
- Μετατροπέας μεταξύ του ηλεκτρικού κυκλώματος (πομπού ή δέκτη) και στο δίαυλο μετάδοσης (ατμόσφαιρα)
 - » Κεραία εκπομπής: Τα κατευθυνόμενα ΗΜ κύματα μέσα στη γραμμή μεταφοράς μετατρέπονται σε κύματα ελεύθερου χώρου
 - » Κεραία λήψης: Τα κύματα ελεύθερου χώρου μετατρέπονται σε κατευθυνόμενα ΗΜ κύματα μέσα στη γραμμή μεταφοράς

■ Αντικείμενο:

- Περιγραφή και μελέτη των ΗΜ πεδίων που δημιουργεί η κεραία
 - Ποιοτική αναφορά των χαρακτηριστικών της
 - Βασικοί τύποι κεραιών
 - » Hertz, Marconi, Διατάξεις κεραιών και τύποι μη συντονισμένων κεραιών
-

2

Κεραίες

Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία

3

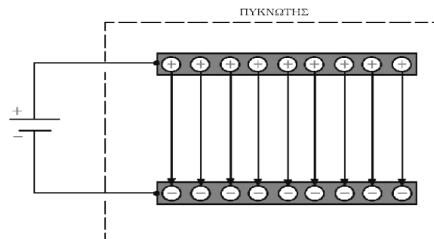
Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία

- **Πεδίο επαγωγής (ή αντιδραστικό πεδίο (reactive field))**
 - Σχετίζεται με την ενέργεια που βρίσκεται αποθηκευμένη μέσα στην ίδια την κεραία και δε λαμβάνει μέρος στη διαδικασία της μετάδοσης των ΗΜ κυμάτων
- **Πεδίο ακτινοβολίας (radiation field)**
 - Δημιουργείται από το πεδίο επαγωγής και χάρη σε αυτό επιτυγχάνεται η ασύρματη μετάδοση

4

Πεδίο Επαγωγής (1/7)

- Γύρω από κάθε ηλεκτρικά φορτισμένο αντικείμενο υπάρχει δυναμικό πεδίο, το οποίο μπορεί να προκαλέσει μετακίνηση ηλεκτρικών φορτίων
- Εμφάνιση διαφοράς δυναμικού μεταξύ του φορτισμένου αντικειμένου σε σχέση με ένα μη φορτισμένο αντικείμενο (συσχετισμός ηλεκτρικού πεδίου με τάση)
- Αναπαράσταση του δυναμικού πεδίου με γραμμές που δείχνουν τα μονοπάτια που επιδρά η δύναμη και προς την κατεύθυνση της κίνησης ενός θετικά φορτισμένου φορτίου

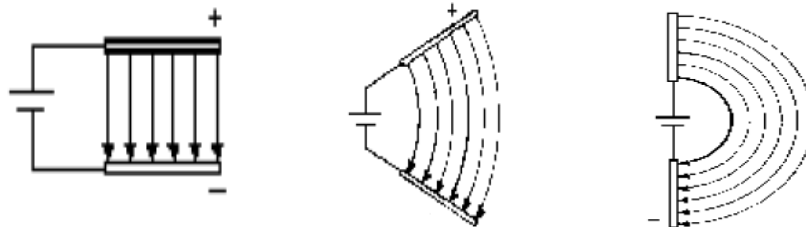


- Ο φορτισμένος πυκνωτής αποθηκεύει ενέργεια με τη μορφή ηλεκτρικού πεδίου

5

Πεδίο Επαγωγής (2/7)

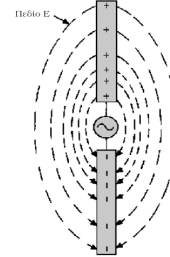
- Σχηματισμός βασικής κεραίας με την απομάκρυνση των δύο οπλισμών του πυκνωτή έτσι ώστε τα δύο στοιχεία να πάρουν τη μορφή μεταλλικών ράβδων ή συρμάτων
- Οι ευθείες γραμμές που αναπαριστούν το ηλεκτρικό πεδίο μετατρέπονται σε τόξα και προσεγγιστικά σε ημικύκλια



6

Πεδίο Επαγωγής (3/7)

- Με χρήση AC πηγής αντί της μπαταρίας (DC) παρατηρείται αντιστροφή του πεδίου σε κάθε εναλλαγή του AC σήματος (θετική ή αρνητική)
- Η πολικότητα των φορτίων και η κατεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου αντιστρέφεται περιοδικά αναλόγως της συχνότητας της τάσης της πηγής

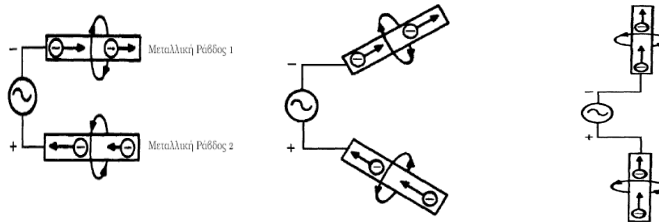


- Η αντιστροφή του πεδίου από μηδέν έως τη μέγιστη τιμή του και την επιστροφή του στο μηδέν συμβαίνει κατά τη διάρκεια μισού μόνο κύκλου της τάσης της πηγής
- Σημείο αναφοράς: **Κεραία ημίσεως διπόλου (half-wave dipole)** αποτελούμενη από 2 συνευθειακές και ανεξάρτητες ράβδους μήκους $\lambda/4$ η κάθε μία (λ : μήκος κύματος της AC πηγής)
- Η τάση κατά μήκος της κεραίας στερείται του ρεύματος κατά 90° : η κεραία δρα ως πυκνωτής

7

Πεδίο Επαγωγής (4/7)

- Όταν ένας αγωγός διαρρέεται από ρεύμα, δημιουργείται μαγνητικό πεδίο στην περιοχή γύρω από αυτόν
- Για την παράσταση του μαγνητικού πεδίου, χρησιμοποιούνται δυναμικές γραμμές και τις συμβολίζουμε με **H**



- Το γεγονός ότι η κάτω ράβδος διαπερνάται από ρεύμα που ρέει προς την πηγή ενώ η πάνω με ρεύμα που ρέει προς την πηγή, οδηγεί στην ακύρωση ενός μέρους η όλων των μαγνητικών πεδίων
- Όταν η ράβδοι τοποθετηθούν στη ίδια ευθεία, το ρεύμα ρέει προς την ίδια κατεύθυνση και επιτυγχάνεται μέγιστη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

8

Πεδίο Επαγωγής (5/7)

■ Συμπεράσματα:

- Η απλή κεραία προκύπτει από μια ανοιχτοκυκλωμένη γραμμή μεταφοράς μήκους $\lambda/4$
- Το ηλεκτρικό πεδίο σχετίζεται με την τάση ενώ το μαγνητικό με το ρεύμα που ρέει στην κεραία γραμμή
- Λόγω της πλήρους ανάκλασης το ρεύμα και η τάση θα βρίσκονται σε διαφορά φάσης 90°
- Η διαφορά φάσης αυτή μεταφέρεται ανάμεσα στο ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο που συνιστούν το **πεδίο επαγωγής**

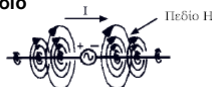
9

Πεδίο Επαγωγής (6/7)

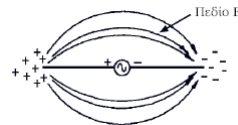
Αρχικά δεν υπάρχει πεδίο διότι η έξοδος της γεννήτριας είναι μηδενική



Η γεννήτρια παράγει ελάχιστο δυναμικό, η χωρητικότητα της κεραίας δρα ως βραχυκύκλωμα ενώ μεγάλο ρεύμα διαρρέει την κεραία παράγοντας μαγνητικό πεδίο



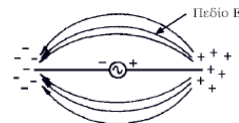
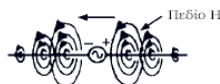
Με την πάροδο του χρόνου παράγεται ηλεκτροστατικό πεδίο στην κεραία από τα συγκεντρωμένα φορτία στα άκρα της κεραίας ενώ μηδενίζεται το μαγνητικό πεδίο



Κατά τη διάρκεια της αποφόρτισης, μειώνεται η τάση στα άκρα της κεραίας καθώς μειώνεται το δυναμικό της γεννήτριας



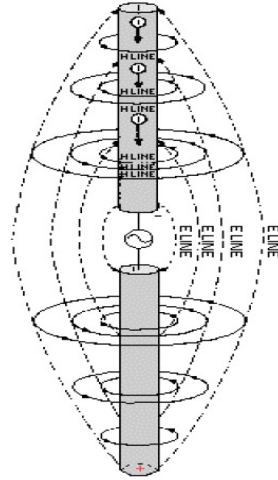
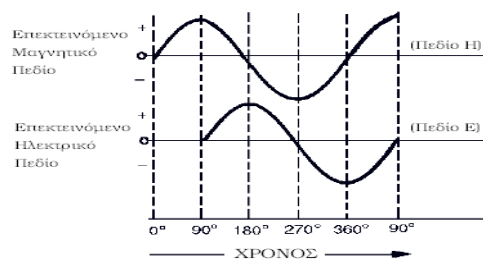
Στο επόμενο μισό του κύκλου της γεννήτριας AC, τα φαινόμενα αντιστρέφονται και η διαδικασία επαναλαμβάνεται



10

Πεδίο Επαγωγής (7/7)

- Το μαγνητικό πεδίο H εμφανίζεται σε επίπεδο κάθετο προς την κεραία ενώ το πεδίο E σε επίπεδο παράλληλο προς αυτή
- Όλη η παρεχόμενη στο επαγωγικό πεδίο ενέργεια επιστρέφει στην κεραία μέσω των πεδίων E και H
- Καμία ποσότητά του δεν ακτινοβολείται
- Το επαγωγικό πεδίο αναπαριστά μόνο την αποθηκευμένη ενέργεια στην κεραία και είναι υπεύθυνο για φαινόμενα συντονισμού



11

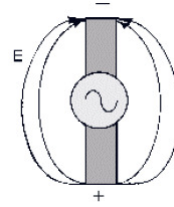
Πεδίο Ακτινοβολίας (1/4)

- Τα πεδία E και H που δημιουργούνται κατά τη μεταφορά ενέργειας στο χώρο καλούνται ως ένα ενιαίο πεδίο, το **πεδίο ακτινοβολίας (radiation field)** ή μη **αντιδραστικό πεδίο (non-reactive)**
- Είναι υπεύθυνο για την ΗΜ ακτινοβολία της κεραίας και εξασθενεί καθώς η απόσταση από αυτή αυξάνεται σύμφωνα με τον νόμο του αντιστρόφου τετραγώνου
- Σε μικρή απόσταση (μερικά λ) από μια κεραία ημίσειας μήκους κύματος υπάρχει πεδίο ακτινοβολίας, το οποίο απαρτίζεται από μια ηλεκτρική και μια μαγνητική συνιστώσα κάθετες μεταξύ τους
- Το επαγωγικό πεδίο προκύπτει αφού συνδέσουμε μια γεννήτρια υψηλών συχνοτήτων στην κεραία
- Όταν το δυναμικό αντιστρέφεται πριν το μηδενισμό του ηλεκτροστατικού πεδίου εναπομείναντα φορτία εξουδετερώνονται διατηρώντας ένα πεδίο E στο χώρο

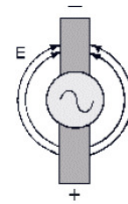
12

Πεδίο Ακτινοβολίας (2/4)

- Η τάση είναι μέγιστη => το ηλεκτρικό πεδίο έχει μέγιστη τιμή. Οι δυναμικές γραμμές ξεκινούν από το θετικά φορτισμένο άκρο της κεραίας και εκτείνονται προς το αρνητικό



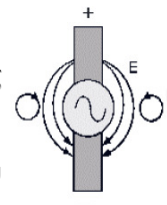
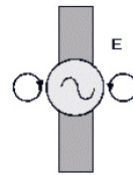
- Το πλάτος της τάσης μειώνεται => τα διαχωρισμένα φορτία συναντώνται και οι άκρες των γραμμών μετατοπίζονται προς το κέντρο της κεραίας
- Οι δυναμικές γραμμές της ίδιας κατεύθυνσης απωθούν η μία την άλλη ενώ τα κέντρα των γραμμών διατηρούνται προς τα έξω



13

Πεδίο Ακτινοβολίας (3/4)

- Καθώς η τάση τείνει στο μηδέν => μερικές δυναμικές γραμμές έρχονται πιο κοντά στην κεραία ενώ τα άκρα των υπολοίπων αρχίζουν να εφάπτονται σχηματίζοντας κύκλους
- Η τάση της κεραίας μηδενίζεται
- Καθώς το φορτίο αρχίζει να συσσωρεύεται στην αντίθετη κατεύθυνση => οι δυναμικές γραμμές ξεκινούν από το θετικά φορτισμένο άκρο και καταλήγουν στο αρνητικό
- Οι δυναμικές γραμμές απωθούν τους κλειστούς βρόχους όντας στην ίδια κατεύθυνση με αυτούς
- Οι κλειστοί βρόχοι απομακρύνονται με την ταχύτητα του φωτός παράγοντας ένα συμφασικό μαγνητικό πεδίο



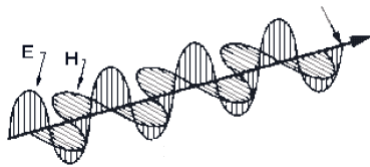
14

Πεδίο Ακτινοβολίας (4/4)

- Όταν ένα φορτίο κινείται η τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου σε κάποιο σταθερό σημείο του χώρου δεν παραμένει σταθερή. Η απομάκρυνση του φορτίου από το σημείο αυτό εξασθενεί το πεδίο. Αυτό δεν συμβαίνει ακαριαία
- Η διάδοση της αλλαγής γίνεται με ταχύτητα του φωτός
- Η διαδοχή της πολικότητας του $E \Rightarrow$ ταλαντευόμενο ηλεκτρικό πεδίο \Rightarrow μαγνητικό πεδίο εντάσεως H εξαρτημένης από την ένταση του E
- Οι διακυμάνσεις της έντασης H του μαγνητικού πεδίου \Rightarrow νέο πεδίο E
- Τα δύο μεταβαλλόμενα πεδία συντηρούν το ένα το άλλο και μεταδίδονται συμφασικά

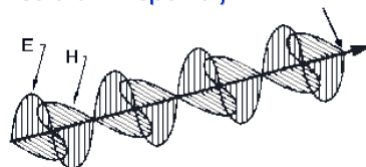
Επαγωγικό πεδίο

Κατεύθυνση Διάδοσης



Πεδίο ακτινοβολίας

Κατεύθυνση Διάδοσης



15

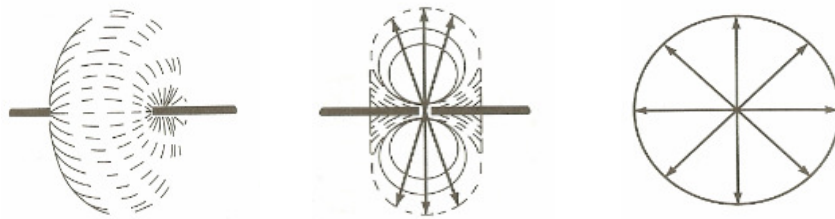
Κεραίες

Κατανομή Ρεύματος & Δυναμικού Σε Δίπολο

16

Κατανομή Ρεύματος & Δυναμικού Σε Δίπολο (1/7)

- Μια παράλληλη και ανοιχτοκυκλωμένη γραμμή μεταφοράς δημιουργεί μια απλή κεραία αν στρέψουμε τα ανοιχτά άκρα της προς τα έξω
 - **Ηλεκτρικό Δίπολο:** Το μήκος της γραμμής μεταφοράς είναι μικρότερου του μήκους κύματος λ
 - **Δίπολο ημίσεως κύματος:** Το μήκος της κεραίας ισούται με $\lambda/2$
- **Διάγραμμα ακτινοβολίας του διπόλου**
 - Η ακτινοβολία είναι μέγιστη στο κάθετο του άξονα επίπεδο
 - Δεν υπάρχει ακτινοβολία κατά μήκος του άξονα



17

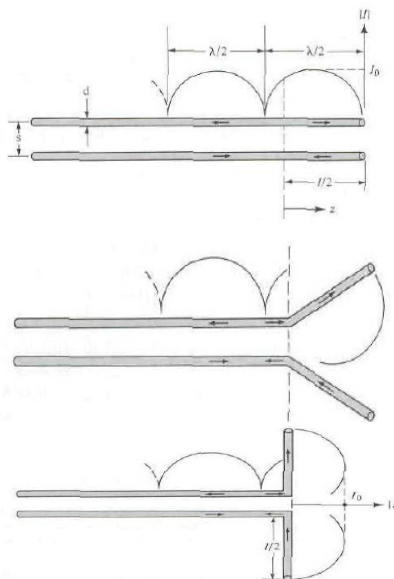
Κατανομή Ρεύματος & Δυναμικού Σε Δίπολο (2/7)

- Εφόσον το δίπολο δημιουργείται από μια ανοιχτοκυκλωμένη γραμμή μεταφοράς, κατά τη σύνδεση του με AC γεννήτρια έχουμε την εμφάνιση ανακλάσεων και στάσιμων κυμάτων
 - Στα ελεύθερα άκρα του διπόλου μηδενίζεται το ρεύμα και μεγιστοποιείται η τάση (δυναμικό)
 - Σε απόσταση $\lambda/4$ από το κάθε άκρο μεγιστοποιείται το ρεύμα και μηδενίζεται το δυναμικό
 - Τα φαινόμενα επαναλαμβάνονται με περίοδο $\lambda/2$
- **Θεωρήσεις:** Οι κεραίες δεν παρουσιάζουν απώλειες, τα σύρματα είναι μικρής διατομής, η ακτινοβολία πραγματοποιείται στο κενό και η απόσταση των δύο συρμάτων είναι αμελητέα

18

Κατανομή Ρεύματος & Δυναμικού Σε Δίπολο (3/7)

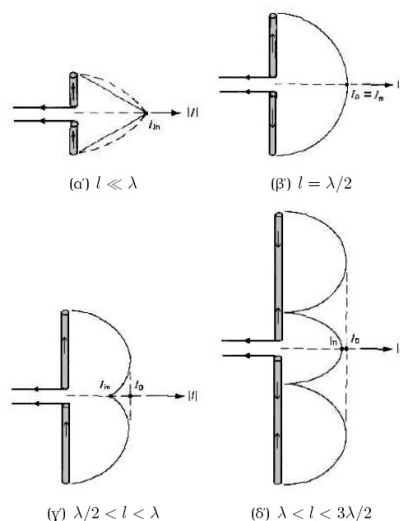
- Τα πεδία που προκαλούνται από το ρεύμα κάθε σύρματος ακυρώνονται. Ιδανική γραμμή μεταφοράς που δεν εκπέμπει ακτινοβολία
- Τα άκρα της γραμμής καμπυλώνονται, η κατανομή ρεύματος παραμένει η ίδια αλλά τώρα τα μαγνητικά πεδία των δύο αγωγών δεν αλληλοαναιρούνται πλήρως => μικρή ακτινοβολία
- Δημιουργείται δίπολο
- Αν $l < \lambda$, η φάση του στάσιμου κύματος ρεύματος είναι η ίδια σε όλο το μήκος του δίπολου
- Τα ακτινοβολουμένα πεδία από τα δύο σύρματα του δίπολου ενισχύουν το ένα το άλλο σχεδόν προς όλες τις κατευθύνσεις



19

Κατανομή Ρεύματος & Δυναμικού Σε Δίπολο (4/7)

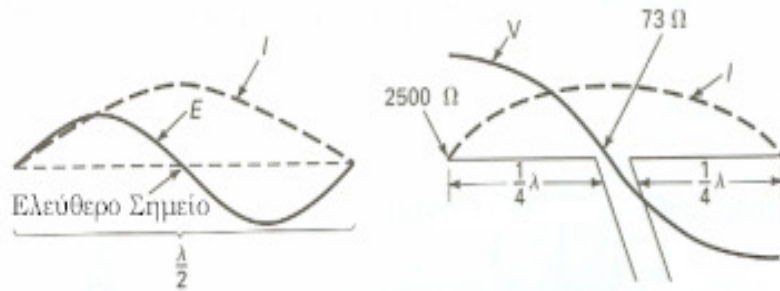
- Επίδραση του μήκους του διπόλου στην κατανομή του ρεύματος
 - $\lambda/50 < l < \lambda/10 \Rightarrow$ η κατανομή ρεύματος μπορεί να προσεγγιστεί ως τριγωνική
 - $l = \lambda/2 \Rightarrow$ ημιτονοειδή μορφή στάσιμου κύματος (φορά ρεύματος σταθερή)
 - $\lambda/2 < l < \lambda \Rightarrow$ ημιτονοειδή μορφή στάσιμου κύματος (διατήρηση του μηδενικού σημείου στα άκρα του διπόλου)
 - $\lambda < l < 3\lambda/2 \Rightarrow$ εμφάνιση σημείων με αντίθετη πολικότητα (ακύρωση του ΗΜ πεδίου προς συγκεκριμένες κατευθύνσεις και ενίσχυση σε άλλες)



20

Κατανομή Ρεύματος & Δυναμικού Σε Δίπολο (5/7)

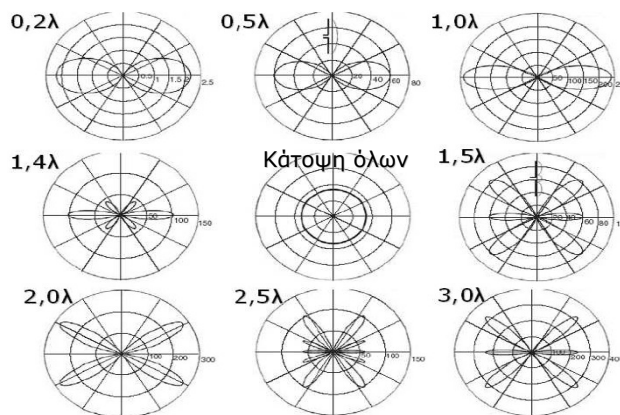
- Κατανομή ρεύματος και τάσης κατά μήκος του διπόλου ημίσεως τάσεως
 - Το μέσο της κεραίας είναι σημείο μηδενισμού τάσης, μέγιστου ρεύματος και ελαχίστης αντίστασης (καθαρά ωμική)
 - Στα άκρα της κεραίας μεγιστοποιείται η τάση, μηδενίζεται το ρεύμα και επιτυγχάνεται μεγάλη αντίσταση (καθαρά ωμική)



21

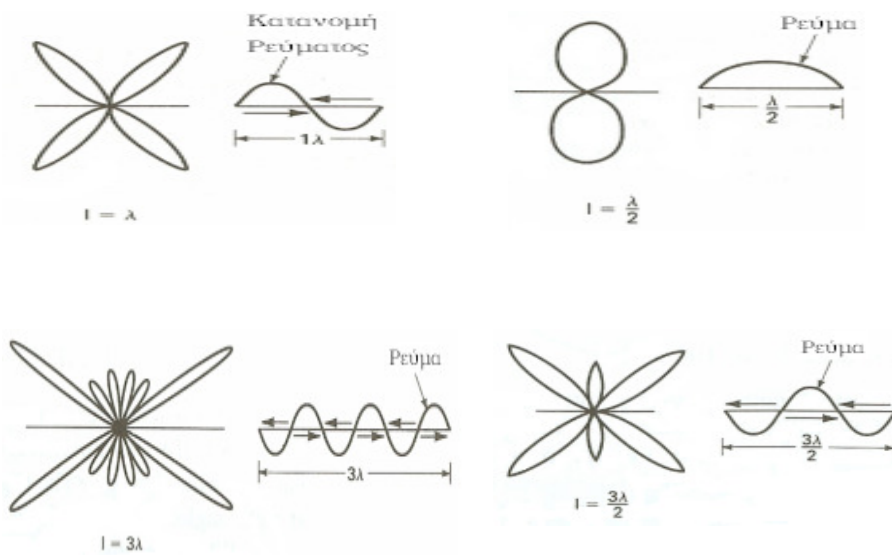
Κατανομή Ρεύματος & Δυναμικού Σε Δίπολο (6/7)

- Πλαϊνές όψεις των διαγραμμάτων ακτινοβολίας με εξαίρεση την κεντρική (κοινή κάτοψη των άλλων διαγραμμάτων ακτινοβολίας όπου δείχνεται η ιστροπική μετάδοση περιμετρικά του διπόλου)
- Εμφάνιση δευτερευόντων λοβών ακτινοβολίας για $l > \lambda$



22

Κατανομή Ρεύματος & Δυναμικού Σε Δίπολο (7/7)



23

Κεραίες

Χαρακτηριστικά των Κεραιών

24

Χαρακτηριστικά Κεραιών (1/7)

- **Αρχή της Αμοιβαιότητας:** κάθε κεραία έχει τα ίδια χαρακτηριστικά κατά τη μετάδοση και τη λήψη
 - Διάγραμμα ακτινοβολίας, αντίσταση, πόλωση
 - Διευκόλυνση στην ανάλυση
 - Η ίδια κεραία μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για εκπομπή και για λήψη στην ίδια συχνότητα
- **Τροφοδοσία:** Ο τρόπος σύνδεσης μιας κεραίας με τον πομπό (δέκτη) σχετίζεται άμεσα με την κατανομή του ρεύματος πάνω σε αυτή
 - Σύνδεση του ενός άκρου της κεραίας διαμέσου ενός πυκνωτή στο τελευταίο στάδιο του πομπού (μέθοδος *τροφοδοσίας άκρου* (*end-feed*) ή *τροφοδοσίας δυναμικού* (*voltage-feed*))
 - Διάρθρωση της κεραίας στη μέση και σύνδεση των δύο άκρων μιας παράλληλης γραμμής μεταφοράς με καθένα από αυτά (μέθοδος *κεντρικής τροφοδοσίας* (*center-feed*) ή *τροφοδοσίας ρεύματος* (*current-feed*))

25

Χαρακτηριστικά Κεραιών (2/7)

- **Πόλωση:** κάθετη, οριζόντια, κυκλική ή ελλειπτική (λόγω περιστροφής των **H** και **M**)
- Σχετίζεται με το ηλεκτρικό πεδίο **E** (προσδιορίζεται από τις ηλεκτρικές γραμμές)
- Για βέλτιστη μετάδοση, οι κεραίες εκπομπής και λήψης πρέπει να έχουν την ίδια πόλωση
- **Μετάδοση κυμάτων επιφανείας:** Χρήση κάθετης πόλωσης
 - Χαμηλές συχνότητες και η γη δρα ως ένας καλός αγωγός
 - Οι οριζόντιες ηλεκτρικές γραμμές βραχυκυκλώνονται
- **Μετάδοση ουρανίων κυμάτων:** Χρήση κάθετης ή οριζόντιας πόλωσης
 - Υψηλές συχνότητες, τα ουράνια κύματα φτάνουν στην κεραία λήψης ελλειπτικά πολωμένα λόγω της πρόσκρουσης στην ιονόσφαιρα
- **Μετάδοση κυμάτων χώρου (VHF, UHF):** Χρήση κάθετης ή οριζόντιας πόλωσης
 - Δεν υφίσταται ανάκλαση στην ιονόσφαιρα



26

Χαρακτηριστικά Κεραιών (3/7)

- **Αντίσταση ακτινοβολίας:** Υποθετική ωμική αντίσταση που θα καταναλώνει ισοδύναμη ισχύς με αυτήν που εκπέμπεται πραγματικά από την κεραία
- Λόγος *ακτινοβολούμενης ισχύος* από την κεραία προς το τετράγωνο του ρεύματος στο σημείο τροφοδοσίας
 - Ύπαρξη απωλειών ισχύος λόγω του εδάφους, ατελούς διηλεκτρικού, ανάπτυξης επαγόμενων ρευμάτων σε γειτονικά μεταλλικά αντικείμενα, θερμικές απώλειες
- Ισοζύγιο ισχύος: $P_{in} = P_d + P_{rad}$
- P_{in} : Συνολική ισχύς στο σημείο τροφοδοσίας, P_d : Απολεσθείσα ενέργεια, P_{rad} : Συνολική ακτινοβολούμενη ενέργεια
- Συνολική αντίσταση στο σημείο τροφοδοσίας: $R_{in} = R_d + R_{rad}$
- Για $l < \lambda$ ισχύει $R_{rad} = \text{Real}(R_{in})$, για $l > \lambda$ ισχύει $R_{rad} < R_{in}$
- **Βαθμός απόδοσης:** $n = \frac{R_{rad}}{R_d + R_{rad}} \times 100\%$ R_d : Αντίσταση της κεραίας
- Οι κεραιές χαμηλών και μέσων συχνοτήτων επιτυγχάνουν απόδοση 75%-95%
- Οι κεραιές υψηλών συχνοτήτων προσεγγίζουν το 100%
- Οι τιμές της αντίστασης της ακτινοβολίας ποικίλουν από μερικά Ω σε εκατοντάδες Ω αναλόγως με το σημείο τροφοδοσίας

27

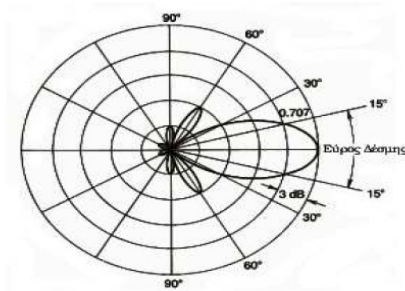
Χαρακτηριστικά Κεραιών (3/7)

- **Διάγραμμα ακτινοβολίας:** Τρισδιάστατη γραφική αναπαράσταση της ακτινοβολούμενης ενέργειας, η οποία μετριέται σε διαφορετικές γωνίες και σε σταθερή απόσταση από την κεραία
- **Ισοτροπική κεραία:** Η ακτινοβολία της είναι ομοιόμορφη προς όλες τις κατευθύνσεις μιας σφαίρας (πρακτικά μη επιτεύξιμες)
- **Ανισοτροπική κεραία:** Η ισχυρότερη ακτινοβολία εκπέμπεται προς συγκεκριμένες κατευθύνσεις
- **Πανκατευθυντική κεραία:** Ακτινοβολεί συμμετρικά σε ένα επίπεδο
- Οι κατευθύνσεις ισχυρής ακτινοβολίας ονομάζονται *λοβοί (lobes)* ενώ τα σημεία ελαχίστης ή μηδενικής ακτινοβολίας καλούνται *μηδενικά (nulls)*
- **Κατευθυντικό κέρδος:** Λόγος της πυκνότητας ισχύος στην κατεύθυνση του κύριου λοβού προς την πυκνότητα ισχύος που θα ακτινοβολούνταν από μια ισοτροπική κεραία (Κέρδος διπόλου Hertz: 1.76dB, Κέρδος κεραίας ημίσεως κύματος: 2.15dB)

28

Χαρακτηριστικά Κεραίων (4/7)

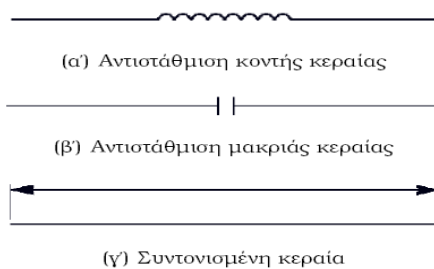
- **Εύρος ζώνης (bandwidth):** Εύρος συχνοτήτων που ακτινοβολεί αποδοτικά η κεραία (π.χ. η $\lambda/2$ κεραία λειτουργεί αποδοτικά για συχνότητα που αντιστοιχεί σε λ μήκος κύματος)
 - Ορίζεται ως το εύρος μεταξύ δύο συχνοτήτων όπου στη μια ακτινοβολούμενη ισχύς είναι μέγιστη (0dB) ενώ στην άλλη μειώνεται στο μισό (-3dB)
- **Εύρος δέσμης (beamwidth):** Το διάστημα των γωνιών που ορίζονται μεταξύ των σημείων 3dB πάνω στον κύριο λοβό ακτινοβολίας με το σημείο μέγιστης ακτινοβολίας



29

Χαρακτηριστικά Κεραίων (5/7)

- Η ίδια κεραία χρησιμοποιείται για την εκπομπή ή λήψη πολλών συχνοτήτων (π.χ. κεραία AM/FM)
 - Ανάγκη να επιμηκύνουμε ή να βραχύνουμε την κεραία φυσικά (μη πρακτικός τρόπος) ή ηλεκτρικά για να τη συντονίσουμε σε όλες τις συχνότητες
- Αλλαγή **ηλεκτρικού μήκους**: Σύνδεση με πηνίο ή πυκνωτή σε σειρά με την κεραία
 - Αν η κεραία είναι πολύ μικρή για το μήκος κύματος που απαιτείται αντισταθμίζουμε την χωρητική αντίσταση με την εισαγωγή επαγωγικής
 - Αν η κεραία είναι πολύ μεγάλη για το μήκος κύματος που απαιτείται αντισταθμίζουμε την επαγωγική αντίσταση με την εισαγωγή χωρητικής



30

Χαρακτηριστικά Κεραιών (6/7)

- **Ενεργό ηλεκτρικό μήκος (effective electrical length):** Σχετίζεται με το γεγονός ότι οι κεραιές συμπεριφέρονται σαν να είχαν μεγαλύτερο μήκος από το φυσικό τους
 - Λόγω της πεπερασμένης διατομής εμφανίζονται φαινόμενα άκρων
 - Λόγω τεχνικών τροποποίησης του ύψους μιας κεραιάς
- Η ταχύτητα διάδοσης στο εσωτερικό της κεραιάς είναι 2% - 8% μικρότερη από αυτή στο κενό => το μήκος κύματος εντός της κεραιάς 2% - 8% μικρότερο => Η κεραιά εμφανίζεται μεγαλύτερη σε σύγκριση με το μήκος κύματος που έχει υπολογιστεί στο κενό

31

Χαρακτηριστικά Κεραιών (7/7)

- **Σύζευξη (Coupling)**
 - Συζευκτής κεραιάς (antenna coupler): Κύκλωμα χωρητικών και επαγωγικών στοιχείων, συγκεντρωμένων ή κατανεμημένων
- Σκοπιμότητα:
 1. Ακύρωση άεργων φορτίων όταν το μήκος της κεραιάς είναι μικρότερο ή μεγαλύτερο από το μήκος συντονισμού
 2. Προσαρμογή εμπέδησης ανάμεσα στην κεραιά και τη γραμμή μεταφοράς ή πομπό/δέκτη (αποτελείται από μεταβλητές ωμικές αντιστάσεις)
 3. Φιλτράρισμα υψηλών και ανεπιθύμητων αρμονικών συχνοτήτων (λειτουργία ως βαθυπερατό φίλτρο)
 4. Αποκοπή συνιστώσας DC

32

Κεραίες

Τύποι Κεραιών

33

Τύποι Κεραιών

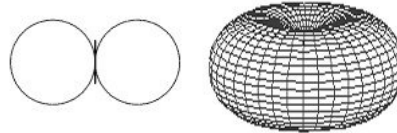
- Μεγάλη ποικιλία κεραιών ως προς τη μορφή και τα χαρακτηριστικά η επιλογή τους βασίζεται:
 - συχνότητα λειτουργίας της εφαρμογής, εύρος ζώνης, ισχύς εκπομπής/λήψης, πόλωση, διαστάσεις, κατευθυντικότητα, κόστος κατασκευής
- Ενδεικτικά αναφέρουμε:
 1. Ηλεκτρικό δίπολο (κεραία Hertz) και δίπολο $\lambda/2$
 2. Μαγνητικό δίπολο (κεραία βρόγχου)
 3. Τροποποιήσεις των παραπάνω
 4. Αναδιπλωμένο δίπολο
 5. Κεραία Marconi ($\lambda/4$) και γειωμένες κεραίες
 6. Μη-συντονισμένες κεραίες
 7. Συστοιχίες κεραιών (π.χ. Yagi-Uda)
 8. Ρομβοειδής κεραία
 9. Παραβολοειδείς ανακλαστές
 10. Κωνικές κεραίες
 11. Ελικοειδείς κεραίες
 12. Ολοκληρωμένα κυκλώματα (microstrip antennas)

34

Κεραία Hertz (1/2)

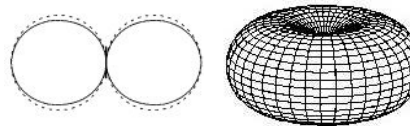
■ Δίπολο Hertz $l \ll \lambda$

- Απομακρύνοντας τα δύο άκρα μιας ανοιχτοκυκλωμένης γραμμής μεταφοράς δημιουργούμε ένα ηλεκτρικό δίπολο



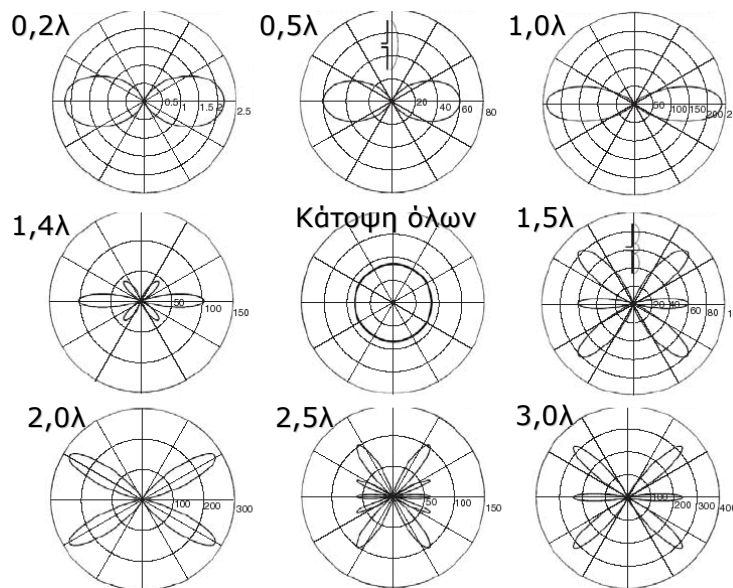
- Το δίπολο Hertz και η κεραία ημίσεως κύματος αποτελούν σημείο αναφοράς για πολλές άλλες κεραίες

■ Δίπολο $\lambda/2$



35

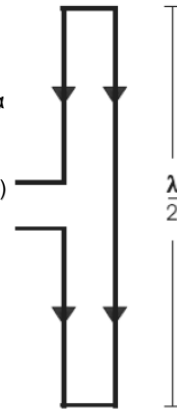
Κεραία Hertz (2/2)



36

Αναδιπλωμένο Δίπολο

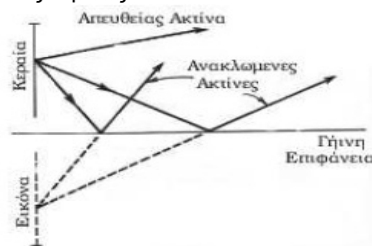
- Η τοποθέτηση μερικών ηλεκτρικών διπόλων το ένα δίπλα στο άλλο οδηγεί σε αύξηση της ακτινοβολούμενης ισχύος
 - Η ακτινοβολούμενη ισχύς αυξάνει κατά έναν παράγοντα N^2 όταν N δίπολα τοποθετούνται το ένα μέσα στο επαγωγικό πεδίο του άλλου
- Το αναδιπλωμένο δίπολο προκύπτει μετά από κατάλληλη συμπίεση μιας βραχυκυκλωμένης γραμμής μεταφοράς
 - Σε χαμηλές συχνότητες δεν ακτινοβολεί αποδοτικά
 - Στο συντονισμό λειτουργεί ως δύο δίπολο τοποθετημένα δίπλα-δίπλα
 - Οι αντιστάσεις εισόδου και ακτινοβολίας είναι N^2 φορές μεγαλύτερες του απλού διπόλου
 - Ακτινοβολεί αποδοτικότερα από το απλό δίπολο (υψηλές συχνότητες)
 - Λόγω της μεγάλης αντίστασης εισόδου μπορεί να συνδεθεί ευκολότερα στις γραμμές μεταφοράς
 - Η χωρητική αντίσταση μεταβάλλεται πολύ πιο αργά όσο απομακρυνόμαστε από τη συχνότητα συντονισμού=>μεγαλύτερο εύρος ζώνης
 - Φθηνή και εύκολη κατασκευή (VHF κεραία)



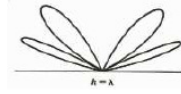
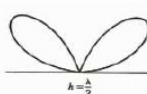
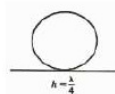
37

Μη Γειωμένες Κεραίες

- Η επιφάνεια της γης μπορεί να λειτουργήσει ως ανακλαστής
- Όταν μια κεραία είναι τοποθετημένη κοντά σε ανακλαστική επιφάνεια, το λαμβανόμενο σήμα σε οποιοδήποτε σημείο του περιβάλλοντα χώρου αποτελείται από το διανυσματικό άθροισμα του απευθείας κύματος και των ανακλάσεών του



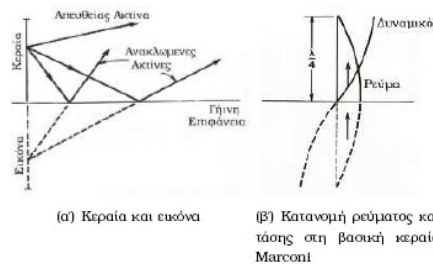
- Η πόλωση ενός ανακλώμενου κύματος αλλάζει κατά 180°
- Στα σημεία όπου το απευθείας και το ανακλώμενο κύμα έχουν το ίδιο πλάτος και την ίδια φάση, το διανυσματικό άθροισμά τους είναι μηδέν => Δημιουργία κροσσών συμβολής (π.χ. ηλεκτρικό δίπολο $\lambda/2$ σε ύψος h)



38

Γειωμένες Κεραίες και Κεραία Marconi (1/2)

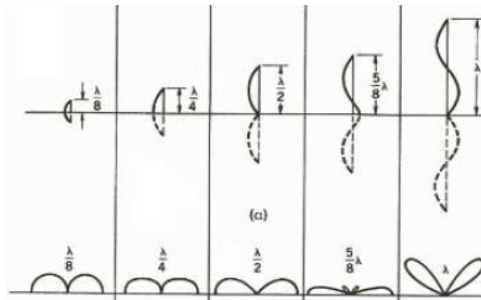
- Η επιφάνεια της γης λειτουργεί ως ανακλαστής
- Το κάτω άκρο της γειωμένης κεραίας συνδέεται με το άνω άκρο της εικόνας της, δρα ως κεραία διπλάσιου μεγέθους και ονομάζεται ηλεκτρικό μονόπολο ή κεραία Marconi
- Η γειωμένη κεραία $\lambda/4$ συμπεριφέρεται σαν κεραία $\lambda/2$
- Ένα ηλεκτρικό μονόπολο συμπεριφέρεται σαν ένα δίπολο Hertz διπλάσιου μήκους. Οι κατανομές ρεύματος και τάσης της γειωμένης κεραίας $\lambda/4$ είναι όμοιες με της κεραίας ημίσεως κύματος



39

Γειωμένες Κεραίες και Κεραία Marconi (2/2)

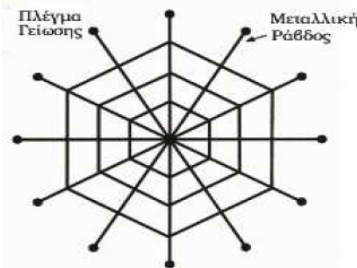
- Το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας Marconi έχει την ίδια μορφή με το άνω μισό τμήμα του διαγράμματος ακτινοβολίας του αντίστοιχου δίπολου
- Το μονόπολο $5\lambda/8$ χρησιμοποιείται σε εφαρμογές οριζόντιας κατευθυντικότητας
- Η κεραία Marconi επιτυγχάνει το ίδιο διάγραμμα ακτινοβολίας με μια κεραία Hertz διπλάσιου μήκους. Υιοθετείται στην υλοποίηση κεραίων κάθετης πόλωσης για εφαρμογές χαμηλών συχνοτήτων
- Το ηλεκτρικό μονόπολο είναι λιγότερο αποδοτικό από το δίπολο (π.χ. η αντίσταση ακτινοβολίας ενός μονόπολου $\lambda/4$ είναι η μισή της αντίστασης του δίπολου $\lambda/2$, $R_{rad}=73/2=36.5\Omega$)
- τροφοδοτείται στη βάση του (current-fed) και είναι προέκταση του κεντρικού αγωγού μιας γραμμής



40

Συστήματα Γείωσης

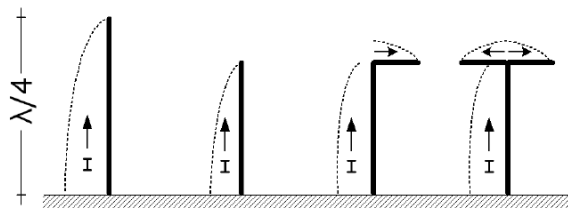
- Για να ακτινοβολήσει ένα ηλεκτρικό μονόπολο ως δίπολο θα πρέπει να βρίσκεται σε μικρή ηλεκτρική απόσταση από το έδαφος, το οποίο πρέπει να είναι καλός αγωγός
- Εξασφάλιση καλής ποιότητας μονοπόλου
 - Τοποθέτηση μεταλλικής πλάκας ή πλέγματος στη βάση του και σύνδεση της γείωσης με αυτό
 - Χρήση διάταξης εξισορρόπησης ως τεχνητή γείωση που αποτελείται από ένα σύστημα ηλεκτρικά μακριών συρμάτων που εκτείνονται ακτινικά γύρω από τη βάση της κεραίας
 - Τοποθέτηση ακτινών μήκους $\lambda/4$ που δείχνουν προς τα κάτω σε γωνία 45° αυξάνοντας την αντίσταση ακτινοβολίας στα 50Ω (καλή προσαρμογή με ομοαξονικό καλώδιο)



41

Top Loading

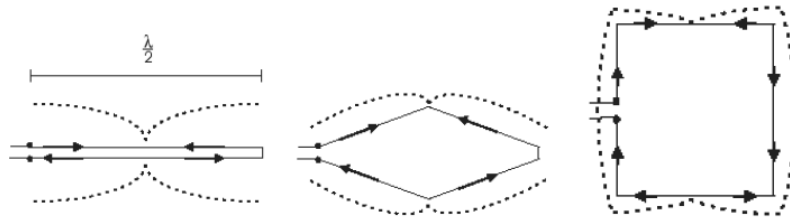
- Στις χαμηλές και στις μεσαίες συχνότητες δεν είναι πρακτική η χρήση κεραίας φυσικού μήκους ($\lambda/4$)
- Οι κατακόρυφες κεραίες έχουν μικρό ηλεκτρικό μήκος αλλά παρουσιάζουν χαμηλή αντίσταση εισόδου (μικρή ωμική + μεγάλη χωρητική) και χαμηλή απόδοση. Η κεραία Marconi $\lambda/8$ έχει αντίσταση εισόδου $8-j500\ \Omega$
- Πρόβλημα στην προσαρμογή κατά τη σύνδεση με κεραία μεταφοράς
- Αντιμετώπιση:
 - Εν σειρά ενσωμάτωση επαγωγικής αντίστασης
 - Τοποθέτηση ενός οριζοντίου τμήματος στην κορυφή της κεραίας (top loading) σχηματίζοντας είτε τις inverted-L και T κεραίες είτε τις κεραίες top-hat (αύξηση του ρεύματος στη βάση της κεραίας και τη μεγαλύτερη ομοιομορφία στην κατανομή του). Προστίθεται χωρητικότητα σε σειρά => μείωση της συνολικής χωρητικότητας. Ίδιο διάγραμμα ακτινοβολίας με τις κεραίες Marconi



42

Μαγνητικό Δίπολο (Κεραία Βρόγχου) (1/3)

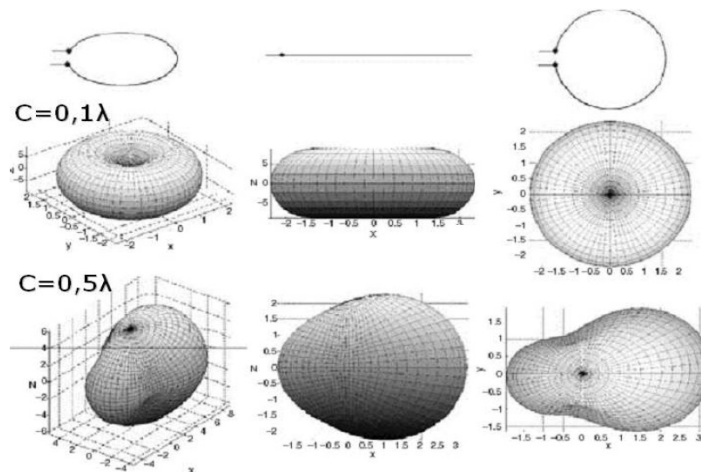
- Είναι αντίστοιχο του ηλεκτρικού δίπολου
- Παράγεται απομακρύνοντας τους παράλληλους αγωγούς μιας βραχυκυκλωμένης γραμμής μεταφοράς και δημιουργώντας μέγιστη επιφάνεια μεταξύ τους (βρόγχο)
- Τα ρεύματα βρόγχου δεν ακυρώνουν το ένα το άλλο καθώς ακολουθούν κυκλική κίνηση
- Αν η περιφέρεια του βρόγχου είναι $< \lambda$ (π.χ. $\lambda/10$) \Rightarrow το ρεύμα έχει την ίδια πολικότητα κατά μήκος του βρόγχου όπως και στο δίπολο Hertz \Rightarrow παραγωγή μαγνητικού πεδίου κάθετο στο επίπεδο του βρόχου εμφανίζοντας δύο μαγνητικούς πόλους



43

Μαγνητικό Δίπολο (Κεραία Βρόγχου) (2/3)

- Διάγραμμα ακτινοβολίας μαγνητικού δίπολου σε προοπτική, πλάγια όψη και κάτοψη



44

Μαγνητικό Δίπολο (Κεραία Βρόγχου) (3/3)

- Το διάγραμμα ακτινοβολίας μαγνητικού δίπολου εξαρτάται από το ηλεκτρικό μήκος του
- Η ενέργεια ακτινοβολείται ομοιόμορφα από το κέντρο του βρόγχου προς την περιφέρεια ενώ η ακτινοβολία κατά μήκος του άξονα συμμετρίας είναι μηδενική για μικρά ηλεκτρικά μήκη
- Με την αύξηση του μήκους του μαγνητικού δίπολου εμφανίζονται στάσιμα κύματα ρεύματος στην περιφέρειά του οδηγώντας σε μη συμμετρικά διαγράμματα ακτινοβολίας ενώ παράγεται ακτινοβολία κατά μήκος του άξονα συμμετρίας
- Όταν έχει μικρό ηλεκτρικό μήκος εμφανίζει επαγωγική εμπέδηση εισόδου. Στο μήκος συντονισμού ($C=\lambda/2$) παρουσιάζει τυπικά $205K\Omega$ ωμική αντίσταση ενώ πάνω από το συντονισμό εμφανίζει χωρητική αντίσταση
- Η ισχύς ακτινοβολίας αυξάνεται κατά N^2 αν N σπείρες τυλίγονται μαζί
- Χρησιμοποιείται σε εφαρμογές εύρεσης κατεύθυνσης και σε εφαρμογές χαμηλών συχνοτήτων (π.χ. AM)

45

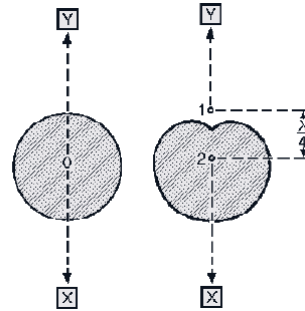
Συστοιχίες Κεραιών (Γενικά) (1/2)

- Σε εφαρμογές υψηλών συχνοτήτων
 - Μετάδοση σημείο-προς-σημείο υψηλής κατευθυντικότητας
 - Μικρό μήκος κύματος που επιτρέπει πιο σύνθετες και υλοποιήσιμες κατασκευές
- Ειδική διεύθυνση στο χώρο πόλων στοιχείων χρησιμοποιώντας ως βάση το δίπολο $\lambda/2$
- **Ενεργό στοιχείο:** Λαμβάνει άμεσα την ισχύ από τον πομπό/δέκτη (δίπολο & γραμμή μεταφοράς)
- **Παρασιτικό στοιχείο:** Βρίσκεται κοντά σε ένα ενεργό στοιχείο και λαμβάνει την ισχύ από αυτό μέσω σύζευξης
- Κάθε ενεργό στοιχείο ακτινοβολεί παράγοντας ένα ξεχωριστό ΗΜ κύμα ενώ τα κύματα από τα παρασιτικά στοιχεία αθροίζονται διανυσματικά σε κάθε σημείο του χώρου δημιουργώντας κροσσούς συμβολής (ενίσχυση ή εξασθένιση)
- Οι κατευθύνσεις της ενισχυμένης ακτινοβολίας καθορίζονται από τη διαφορά φάσης μεταξύ των στοιχείων, η οποία δημιουργείται είτε φυσικά (απόσταση μεταξύ στοιχείων) είτε ηλεκτρονικά (διαφορετική καθυστέρηση)

46

Συστοιχίες Κεραιών (Γενικά) (2/2)

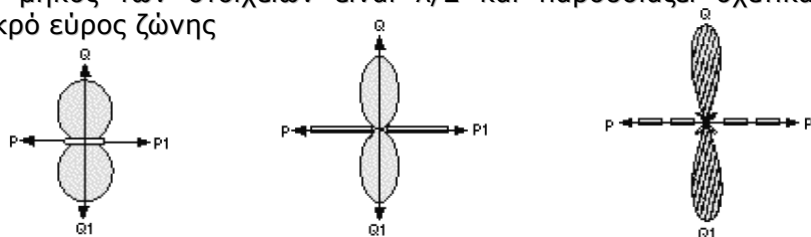
- Όταν υπάρχουν δύο δίπολα (σημεία 1 και 2) σε απόσταση $\lambda/4$ μεταξύ τους, τα οποία τροφοδοτούνται από τον πομπό με ρεύμα έτσι ώστε να υπάρχει διαφορά φάσης 90° μεταξύ τους, παρατηρείται μη ομοιομορφία στο διάγραμμα ακτινοβολίας
- Η ακτινοβολουμένη από την κεραία 1 ενέργεια προς το σημείο λήψης X φτάνει στην κεραία 2 μετά από $1/4$ του κύκλου λειτουργίας => ενίσχυση
- Η ακτινοβολουμένη από την κεραία 2 ενέργεια προς το σημείο λήψης Y φτάνει στην κεραία 1 μετά από $1/4$ του κύκλου λειτουργίας => ακύρωση της ακτινοβολίας προς στο σημείο Y λόγω της διαφοράς φάσης κατά 180°
- Στα σημεία λήψης που βρίσκονται μακριά από τη γραμμή ακτινοβολίας συμβαίνουν διαφορές φάσης από $0^\circ - 180^\circ$ παράγοντας μεταβαλλόμενα ποσά ενέργειας προς αυτήν την κατεύθυνση



47

Ομοαξονική Συστοιχία (Collinear Array)

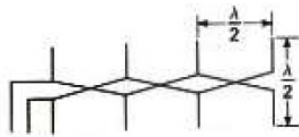
- Προκύπτει από την τοποθέτηση δύο ή περισσότερων διπόλων έτσι ώστε οι άξονές τους να είναι στην ίδια ευθεία
- Η προσθήκη επιπλέον στοιχείων οδηγεί στην ενίσχυση του διαγράμματος ακτινοβολίας και την εμφάνιση δευτερευόντων λοβών
- Στις εφαρμογές χρησιμοποιούνται μέχρι 4 στοιχεία για λόγους οικονομίας χώρου
- Ο διπλασιασμός των στοιχείων αυξάνει την κατευθυντικότητα κατά 3 dB
- Το μήκος των στοιχείων είναι $\lambda/2$ και παρουσιάζει σχετικά μικρό εύρος ζώνης



48

Ευρύπλευρη Συστοιχία (Broadcast Array)

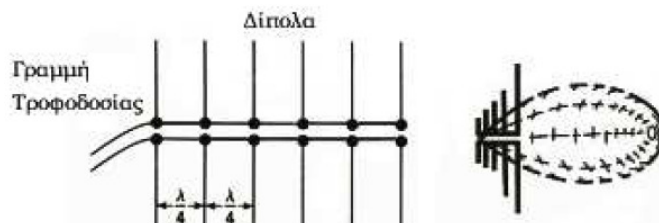
- Απαρτίζεται από δίοπολα ίσου μεγέθους, τοποθετημένα σε ίσα διαστήματα πάνω σε μια ευθεία γραμμή
- Όλα τα δίοπολα τροφοδοτούνται από την ίδια πηγή με την ίδια φάση
- Η ευρύπλευρη συστοιχία είναι ισχυρά κατευθυντική σε ορθές γωνίες ως προς το επίπεδό της
- Στην κατεύθυνση του άξονά της έχει μηδενική ακτινοβολία λόγω των αλληλοαναιρέσεων
- Παρουσιάζουν μεγάλο κατευθυντικό κέρδος και περιορισμένο εύρος ζώνης
- Συνήθως περιλαμβάνουν μια δεκάδα στοιχείων που απέχουν $\lambda/2$ ή λ μεταξύ τους



49

Ακροπυροδοτική Συστοιχία (end-fire array)

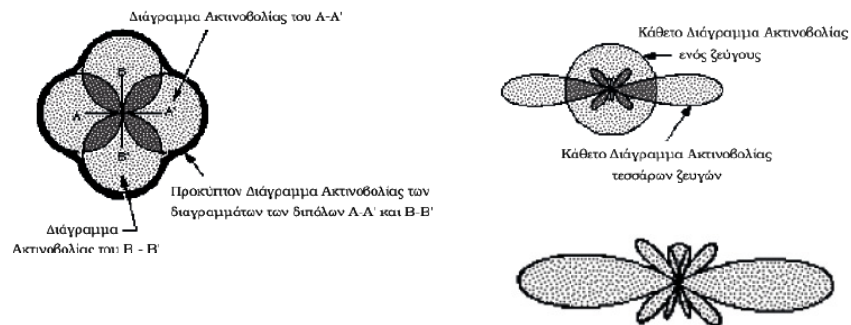
- Η διαφορά της με την ευρύπλευρη έγκειται στο γεγονός υπάρχει διαφορά φάσης 90° μεταξύ των ρευμάτων
- Τα στοιχεία τοποθετούνται εγγύτερα το ένα στο άλλο => πιο συμπαγείς κατασκευές
- Η μέγιστη ακτινοβολία επιτυγχάνεται στο επίπεδο της συστοιχίας και όχι κάθετα => μονοκατευθυντική κεραία
- Η προσθήκη επιπλέον στοιχείων αυξάνει την κατευθυντικότητα και το πλήθος των δευτερευόντων λοβών



50

Κεραία Turnstile (1/2)

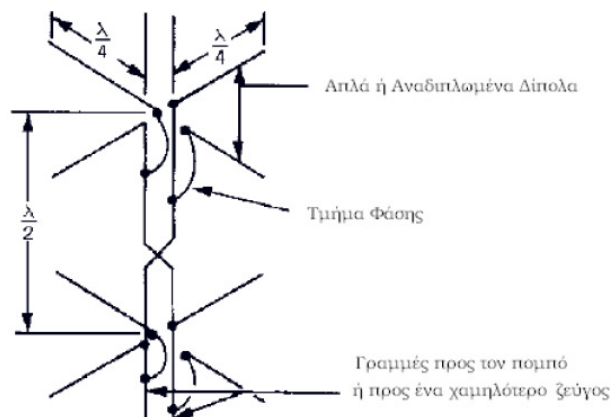
- Χρησιμοποιείται για πανκατευθυντικές επικοινωνίες VHF στον οριζόντιο άξονα και αποτελείται από δύο οριζόντιες κεραιές ημίσεως κύματος, που ενώνονται σε ορθές γωνίες στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο
- Τα διαγράμματα ακτινοβολίας των δύο κεραιών συγχωνεύονται όταν αυτές διεγείρονται με ρεύματα ίσου πλάτους και διαφορά φάσης 90°
- Τοποθετώντας σε σωρό έναν αριθμό ζευγών \Rightarrow αλλαγή του κατακόρυφου διαγράμματος ακτινοβολίας προκαλώντας σημαντικό κέρδος προς μια οριζόντια κατεύθυνση



51

Κεραία Turnstile (2/2)

- Επίσης δύο ζεύγη (τοποθετημένα σε σωρό και σε απόσταση $\lambda/2$) μπορούν να διεγερθούν συμφασικά \Rightarrow ακυρώνεται μέρος της κατακόρυφης ακτινοβολίας από την ακτινοβολία του άλλου ζεύγους \Rightarrow μείωση της ακτινοβολουμένης ενέργειας σε υψηλά κατακόρυφες γωνίες και την αύξησή της στον οριζόντιο άξονα

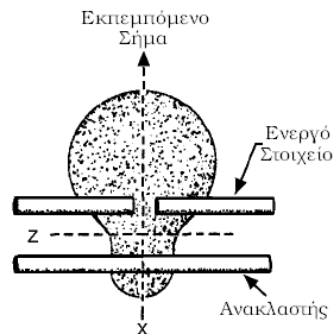


52

Παρασιτικές Συστοιχίες & Κεραία Yagi – Uda (1/2)

- Στοχεύουν στην αύξηση του κέρδους με χρήση παράλληλα τοποθετημένων παρασιτικών στοιχείων
 - Μειονέκτημα: Περιορισμένο εύρος ζώνης και προβλήματα στην προσαρμογή
- Όταν ένα παρασιτικό στοιχείο τοποθετείται έτσι ώστε να ακτινοβολεί μακριά από το ενεργό στοιχείο καλείται **κατευθυντήρας (director)**
- Όταν ένα παρασιτικό στοιχείο τοποθετείται έτσι ώστε να ακτινοβολεί προς την κατεύθυνση που βρίσκεται το ενεργό στοιχείο καλείται **ανακλαστήρας (reflector)**

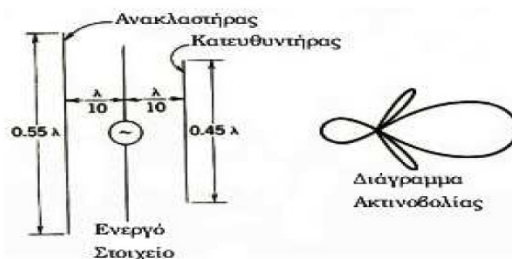
- Η συστοιχία αποτελείται από ένα ενεργό και ένα παρασιτικό στοιχείο (ανακλαστήρας)
- Συνδυάζοντας έναν ανακλαστήρα και ένα κατευθυντήρα με ένα ενεργό στοιχείο => μείωση της προς τα πίσω ακτινοβολουμένης ισχύος ακτινοβολίας και αύξηση της κατευθυντικότητας



53

Παρασιτικές Συστοιχίες & Κεραία Yagi – Uda (2/2)

- Η μορφή του διαγράμματος ακτινοβολίας εξαρτάται:
 - Το συντονισμό που καθορίζεται από το μήκος των παρασιτικών στοιχείων
 - Την απόσταση ανάμεσα στα παρασιτικά και ενεργά στοιχεία
 - Τη διάμετρο των παρασιτικών στοιχείων (σε μικρότερο βαθμό)
- Πειραματικά καθορίζεται η απόσταση και των μήκος των παρασιτικών στοιχείων
- Συνήθως χρησιμοποιείται ένα αναδιπλωμένο δίπολο ως ενεργό στοιχείο (αύξηση αντίστασης ακτινοβολίας και εύρους ζώνης)
- Κεραία Yagi-Uda αποτελείται από ένα ενεργό στοιχείο και ένα η περισσότερα παρασιτικά τοποθετημένα παράλληλα
 - Σχετικά μονοκατευθυντική με μέτριο κέρδος 7dB



54

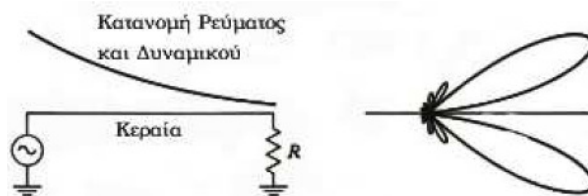
Μη Συντονισμένες Κεραίες

- Χρήση μη συντονισμένων κεραιών (non-resonant) για τη επίτευξη μεγάλου εύρους ζώνης σε σχέση με τις προηγούμενες κατηγορίες
- Σύρμα Μεγάλου Μήκους
- Κεραία V
- Ρομβοειδής Κεραία

55

Σύρμα Μεγάλου Μήκους

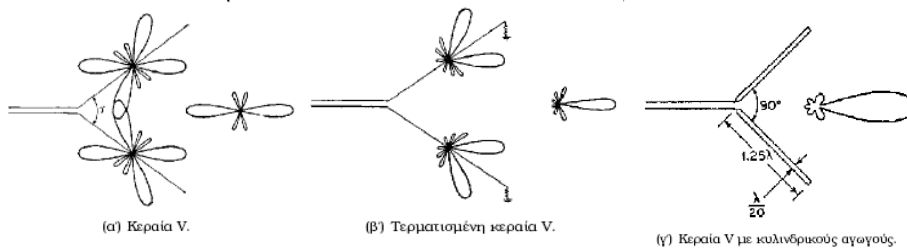
- Αποτελείται από ένα σύρμα με μήκος ίσο ή μεγαλύτερο του λ που τερματίζεται σε ωμική αντίσταση ίση με τη χαρακτηριστική του
- Εύκολη κατασκευή (σύρμα μεγάλου μήκους)
- Καλό κέρδος και κατευθυντικότητα για ένα εύρος συχνοτήτων έως και διπλάσιο από την τιμή για το οποίο έχει κατασκευαστεί
- Διάγραμμα ακτινοβολίας
 - Αιχμηρό τόσο στον οριζοντα όσο και στο κάθετο επίπεδο
 - Μονοκατευθυντικό λόγω του τερματισμού σε αντίθεση με το δίπολο
 - Ο κύριος λοβός τείνει να εντοπίζεται στις μικρές γωνίες λόγω του μεγάλου μήκους



56

Κεραία V

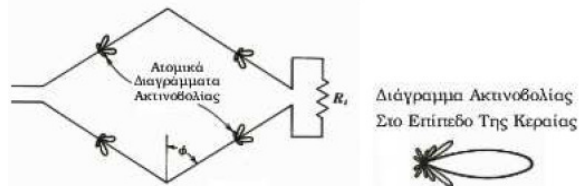
- Δικατευθυντική κεραία που χρησιμοποιείται κυρίως σε στρατιωτικές και εμπορικές επικοινωνίες και αποτελείται από δύο αγωγούς έτσι ώστε να σχηματίζουν ένα V και να τροφοδοτούνται με ρεύμα αντίθετης πολικότητας
- Η διαφορά φάσης 180° έχει ως αποτέλεσμα οι λοβοί να ενισχύονται κατά μήκος της διχοτόμου και να ακυρώνονται σε άλλες κατευθύνσεις
- Όταν επιλεγεί η σωστή γωνία \Rightarrow οι οριζόντιοι λοβοί έχουν την ίδια διεύθυνση, συνδυάζονται ανά δύο και δημιουργούν δύο ισχυρότερους οριζόντιους λοβούς ενώ ακυρώνονται οι κατακόρυφοι
- Αν τα δύο τμήματα τερματιστούν στη χαρακτηριστική τους αντίσταση \Rightarrow δεν παράγονται στάσιμα κύματα και το διάγραμμα είναι μονοκατευθυντικό
- Ίδιο αποτέλεσμα όταν χρησιμοποιηθούν κυλινδρικοί αγωγοί μεγάλου πάχους διότι το ανακλώμενο κύμα απορροφάται και εξαφανίζεται



57

Ρομβοειδής Κεραία

- Αποτελείται από 4 αγωγούς συνδεδεμένους σε σχήμα διαμαντιού και τερματίζεται σε μια μη επαγωγική αντίσταση ώστε να παράγει μονοκατευθυντικό διάγραμμα ακτινοβολίας
- Μπορεί να προκύψουν 2 αμβλυγώνιες κεραίες τύπου V τοποθετημένες η μια δίπλα στην άλλη, ανυψωμένες στο οριζόντιο επίπεδο και τερματισμένες έτσι ώστε αυτή να είναι μη συντονισμένη μονοκατευθυντική
- Χρησιμοποιείται για μετάδοση και λήψη υψηλών συχνοτήτων σε μεγάλες αποστάσεις
 - Κεραία σταθερής βάσης (επικοινωνίες point-to-point)
 - Μεγάλο εύρος ζώνης
 - Μεγάλη περιοχή ανέγερσης
 - Τα οριζόντια και κάθετα διαγράμματα εξαρτώνται μεταξύ τους
- Η αντίσταση τερματισμού χρησιμοποιείται για να δώσει μονοκατευθυντικό διάγραμμα ακτινοβολίας μεγάλου κέρδους καταναλώνοντας σημαντικό ποσοστό ενέργειας



58