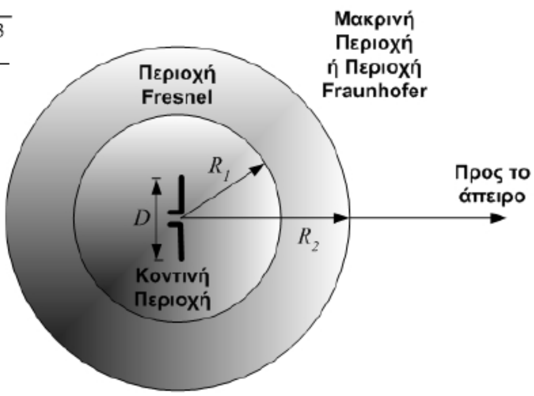
Κεραίες

Δημοσθένης Βουγιούκας
Αναπληρωτής Καθηγητής
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών & Επικοινωνιακών Συστημάτων

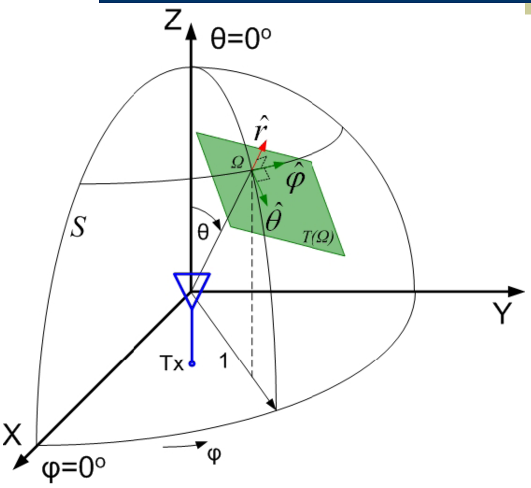
Περιοχές Ακτινοβολίας Κεραιών

$$R_1 = 0.62\sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$$



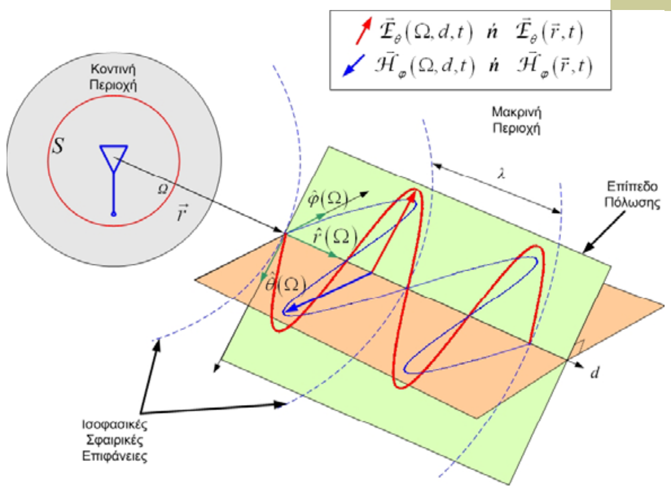
$$R_2 = \frac{2D^2}{\lambda}$$

Σημειακή Πηγή



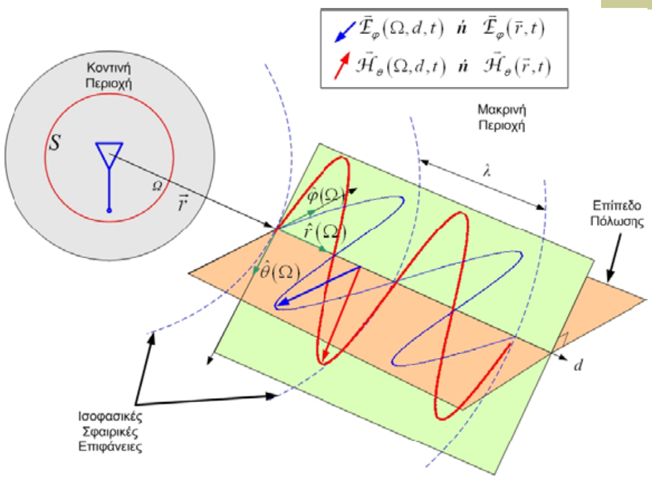
3

Κατακόρυφα Πολωμένο Κύμα



4

Οριζόντια Πολωμένο Κύμα



5

Πόλωση Η/Μ Κυμάτων

- Το ηλεκτρομαγνητικό (Η/Μ) κύμα αποτελείται από δύο πεδία (ηλεκτρικό και μαγνητικό) τα οποία είναι κάθετα μεταξύ τους, ενώ το επίπεδο στο οποίο βρίσκονται είναι κάθετο στη διεύθυνση διάδοσης τους.
- Ορίζεται από τη διεύθυνση του Ηλεκτρικού πεδίου το οποίο είναι κάθετο στην διάδοση του κύματος
- Η διεύθυνση είναι σταθερή
  - Γραμμική πόλωση
- Η διεύθυνση δεν είναι σταθερή (περιστρέφεται)
  - Ελλειπτική πόλωση
- Δύο κύματα είναι πολωμένα ορθογωνικά αν:
  - Έχουν ελλειπτικές πολώσεις με αντίστροφες φορές
  - Έχουν κάθετες μεταξύ τους γραμμικές πολώσεις

6

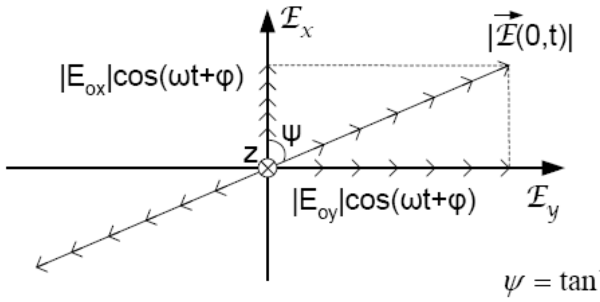
Πόλωση Η/Μ Κυμάτων

- Το διάνυσμα της έντασης, γενικά, δεν διατηρεί ούτε σταθερή διεύθυνση ούτε σταθερό μήκος. Δηλαδή, και το μέτρο και η διεύθυνση της πόλωσης μεταβάλλονται και το χρόνο και η πιο συνηθισμένη μορφή πόλωσης είναι η ελλειπτική πόλωση. Δύο άλλες μορφές πόλωσης είναι, ουσιαστικά, τα δύο όρια της έλλειψης. Δηλαδή:
  - Η κυκλική πόλωση (που αντιστοιχεί στο όριο που και οι δύο ακτίνες της έλλειψης έχουν το ίδιο μήκος) και
  - Η γραμμική πόλωση (που αντιστοιχεί στο όριο που η μεγάλη ακτίνα της έλλειψης έχει κάποιο συγκεκριμένο μήκος ενώ η μικρή έχει μηδενικό μήκος)

7

Γραμμική Πόλωση

- Δηλαδή ευθεία γραμμή που σχηματίζει γωνία ψ ως προς τον άξονα x, ίση με τη φάση του πεδίου.

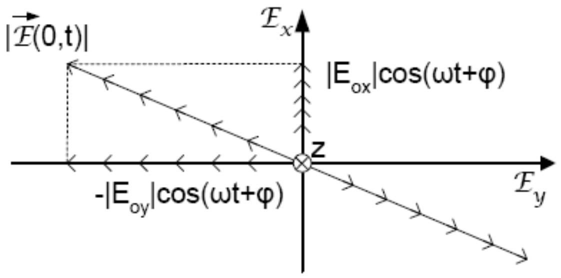


$$\psi = \tan^{-1}\left(\frac{|E_{oy}|}{|E_{ox}|}\right)$$

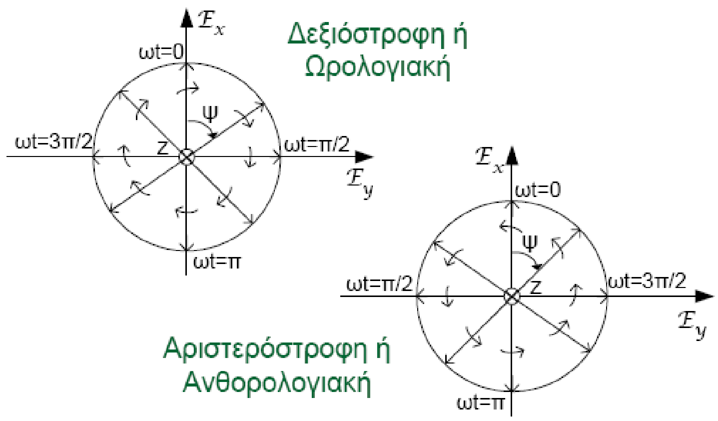
8

Γραμμική Πόλωση

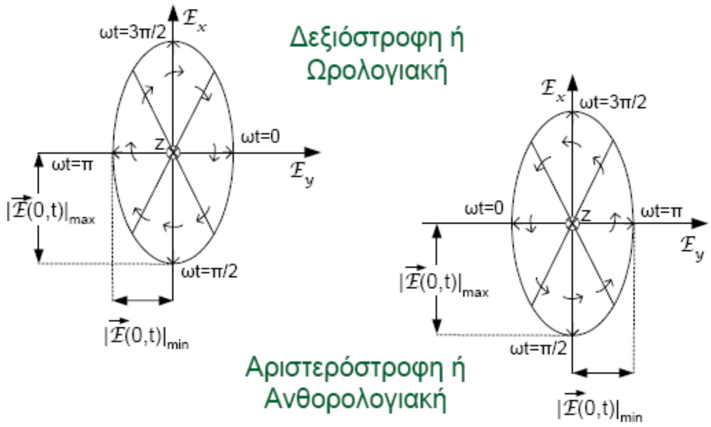
- Αν επιλέγαμε μηδενισμό της x, ή της y συνιστώσας τότε το ηλεκτρικό πεδίο θα είχε μόνο την συνιστώσα y ή x αντίστοιχα.



Κυκλική Πόλωση



Ελλειπτική Πόλωση



11

Πόλωση Η/Μ Κυμάτων

- Χαρακτηριστικά μεγέθη πόλωσης:
  - Φορά περιστροφής κατά τη διάρκεια της διάδοσης. Μπορεί να είναι είτε δεξιόστροφη είτε αριστερόστροφη πόλωση.
  - Αξονικός λόγος (Axial Ratio, *AR*) που είναι ίσος με το λόγο του μεγάλου ημιάξονα της ελλειπτικής τροχιάς προς τον μικρό. Οπότε, οριακά, παίρνει την τιμή μονάδα (κυκλική πόλωση) ή την τιμή άπειρο (γραμμική πόλωση).
  - Κλίση της έλλειψης (τ), είναι η γωνία που σχηματίζει ο μεγάλος ημιάξονας της έλλειψης με το οριζόντιο επίπεδο.

12

Χρήση Πόλωσης

- Μια κεραία η οποία είναι σχεδιασμένη να εκπέμπει ή να λαμβάνει Η/Μ κύματα σε μια συγκεκριμένη πόλωση **δεν** μπορεί να εκπέμψει ή να λάβει την ορθογωνική πόλωση της πόλωσης λειτουργίας της.
- Η ιδιότητα αυτή επιτρέπει τη χρήση της τεχνικής επαναχρησιμοποίησης συχνότητας στην ίδια περιοχή και μεταξύ ίδιων σταθμών.
- Όμως για τη χρήση της τεχνικής επαναχρησιμοποίησης συχνότητας, χωρίς σφάλματα πρέπει τα Η/Μ κύματα που χρησιμοποιούνται να έχουν ακριβώς ορθογωνικές πολώσεις.
- Επειδή όμως και οι κεραίες δεν είναι ιδανικές και το μέσο αποπολώνει το κύμα δημιουργείται το φαινόμενο της αμοιβαίας παρεμβολής μεταξύ των ραδιοζεύξεων.

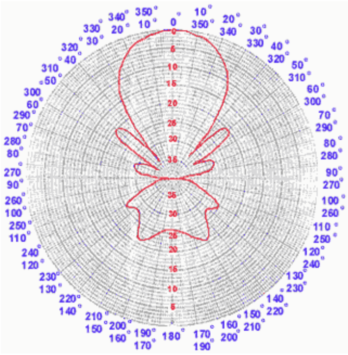
13

Διαγράμματα Ακτινοβολίας Κεραιών

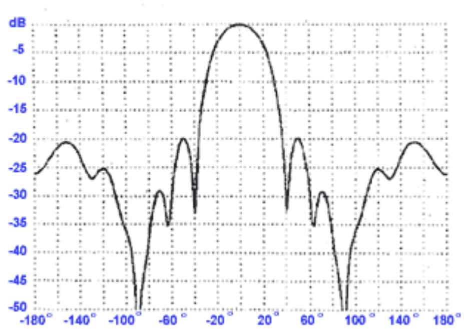
- Είναι η γραφική παράσταση του τρόπου ακτινοβολίας μιας κεραίας για διαφορετικά σημεία παρατήρησης ως προς τις συντεταγμένες θ (γωνία ανύψωσης) και φ (αζιμουθιακή γωνία).
- Υπάρχουν δύο ειδών διαγράμματα ακτινοβολίας, ανάλογα με το μέγεθος που αναπαρίσταται.
  - Διάγραμμα Πεδίου Κεραίας
  - Διάγραμμα Ισχύος Κεραίας
- Και στις δύο περιπτώσεις το μέγεθος εκφράζεται συναρτήσει των συντεταγμένων (θ,φ) του σφαιρικού συστήματος συντεταγμένων που έχει κέντρο το γεωμετρικό κέντρο της κεραίας.
- Συνήθως χρησιμοποιείται πολικό σύστημα συντεταγμένων.

14

Διαγράμματα Ακτινοβολίας Κεραιών

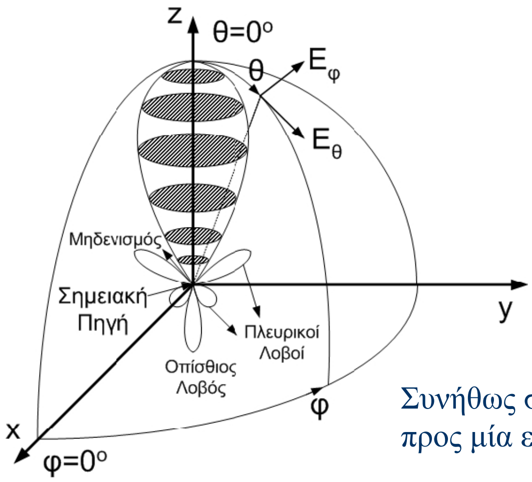


Polar



Rectangular

Διάγραμμα Πεδίου Κεραίας



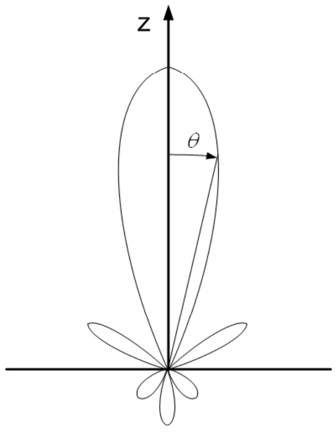
Συνήθως σχεδιάζεται ως προς μία επίπεδη γωνία φ

Διάγραμμα Πεδίου Κεραίας

- Λοβός ακτινοβολίας καλείται εκείνο το τμήμα του διαγράμματος ακτινοβολίας που οριοθετείται από περιοχές πολύ ασθενούς ή μηδενικής ακτινοβολίας.
- *Κύριος λοβός* είναι εκείνος που περιέχει τη διεύθυνση της μέγιστης ακτινοβολίας.
- Οι δευτερεύοντες λοβοί αντιπροσωπεύουν ακτινοβολία σε ανεπιθύμητες κατευθύνσεις και συνεπώς πρέπει να ελαχιστοποιούνται ή όπως λέγεται να "καταπιέζονται".
- Το πόσο ανεκτός είναι ένας δευτερεύων λοβός εξαρτάται από το λόγο της έντασης του πεδίου στην κατεύθυνση του μέγιστου, προς την αντίστοιχη ένταση που έχει ο κύριος λοβός. Ο λόγος αυτός ονομάζεται και *στάθμη του δευτερεύοντος λοβού*.

17

Διάγραμμα Πεδίου Κεραίας



Αν υπάρχει συμμετρία ως προς τον άξονα z, τότε αρκεί το διάγραμμα μόνο για τη μία γωνία, στην περίπτωσή μας τη θ

$$\vec{f}(\theta,\varphi)=\begin{bmatrix} f_\theta(\theta,\varphi) \\ f_\varphi(\theta,\varphi) \end{bmatrix}$$

Διάνυσμα Ακτινοβολίας $\vec{N}(\theta,\varphi)=\begin{bmatrix} N_\theta(\theta,\varphi) \\ N_\varphi(\theta,\varphi) \end{bmatrix}$

18

Διάγραμμα Ισχύος

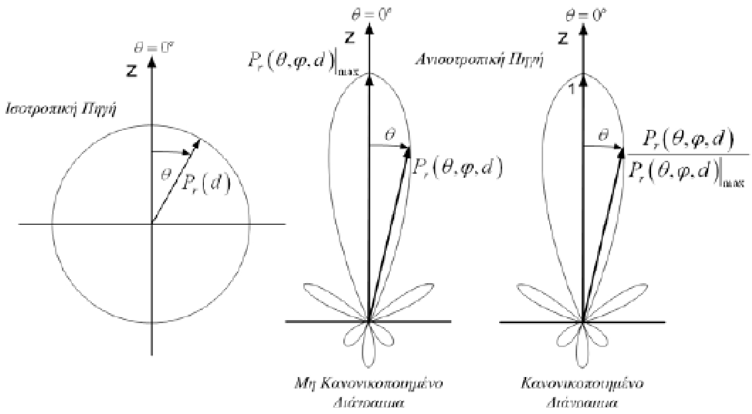
- Τα διαγράμματα ακτινοβολίας των κεραιών μπορούν να εκφραστούν και με την πυκνότητα ισχύος, δηλαδή ισχύ ανά μονάδα επιφάνειας, σε συγκεκριμένη απόσταση από την κεραία.
- Η πυκνότητα ισχύος, δίνεται από τη χρονική μέση τιμή του διανύσματος Poynting το οποίο για σημειακές πηγές έχει μόνο ακτινική συνιστώσα

$$P_r(\vec{r}) = \frac{\left|\vec{E}(\vec{r})\right|^2}{2Z_o} = \frac{\left|E_\theta(\vec{r})\right|^2 + \left|E_\varphi(\vec{r})\right|^2}{2Z_o}$$

όπου Zo η χαρακτηριστική αντίσταση του κενού

19

Διαγράμματα Ισχύος



Για κανονικοποιημένο Διάγραμμα ακτινοβολίας $F_n(\theta,\varphi) = F_n(\Omega) = \dfrac{P_r(\theta,\varphi,d)}{P_r(\theta,\varphi,d)\big|_{max}} = \dfrac{P_r(\Omega,d)}{P_r(\Omega,d)\big|_{max}}$

20

Ακτινοβολούμενη Ισχύς

- Για ισοτροπική πηγή

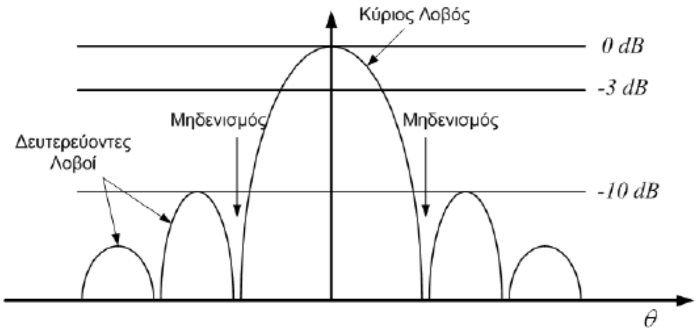
$$W_{rad} = \int_0^{2\pi}\int_0^{\pi} P_r(d)\, d^2 \sin(\theta)\, d\theta d\varphi$$

$$= P_r(d)\, d^2 \int_0^{2\pi} 2 d\varphi = 4\pi d^2 P_r(d)$$

$$\boxed{P_r(d) = \frac{W_{rad}}{4\pi d^2} \quad (Watt/m^2)}$$

Λογαριθμικό Διάγραμμα Ισχύος

$$F_{ndB}(\Omega) = 10\log_{10} F_n(\Omega)$$



Ένταση Ακτινοβολίας

- Ισχύς που ακτινοβολείται ανά μονάδα στερεάς γωνίας:

$$U(\theta,\varphi) = U(\Omega) = d^2 \left|\vec{P}_{av}(\vec{r})\right|$$

$$U(\theta,\varphi) = \frac{Z_o}{8\lambda^2}\left[\left|N_\theta(\theta,\varphi)\right|^2 + \left|N_\varphi(\theta,\varphi)\right|^2\right]$$

$$W_{rad} = \int_0^{2\pi}\int_0^{\pi} U(\theta,\varphi)\sin\theta d\theta d\varphi$$

23

Ένταση Ακτινοβολίας

$$F_n(\theta,\varphi) = \frac{P_r(\theta,\varphi,d)}{P_r(\theta,\varphi,d)\big|_{\max}} = \frac{U(\theta,\varphi)}{U(\theta,\varphi)\big|_{\max}}$$

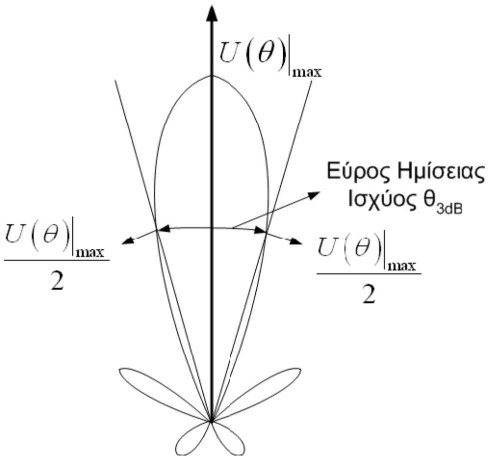
Για ισοτροπικό ακτινοβολητή

$$W_{rad} = U_o \int_0^{2\pi}\int_0^{\pi} \sin(\theta) d\theta d\varphi = U_o 2\pi \int_0^{\pi} \sin(\theta) d\theta d\varphi$$

$$= U_o 2\pi\left[-\cos(\theta)\right]_0^{\pi} = U_o 4\pi \Rightarrow U_o = \frac{W_{rad}}{4\pi}$$

24

Γωνιακό Εύρος Κύριου Λοβού



Η γωνία μεταξύ των διευθύνσεων μηδενισμών ή ελαχίστων μεταξύ των οποίων περιλαμβάνεται η κατεύθυνση της μέγιστης ακτινοβολίας.

Γωνιακό εύρος ημίσειας ισχύος, είναι η γωνία που σχηματίζουν οι διευθύνσεις εκατέρωθεν της κατεύθυνσης της μέγιστης ακτινοβολίας, για τις οποίες η ένταση ακτινοβολίας είναι η μισή της μέγιστης τιμής

25

Στερεός Λοβός Ακτινοβολίας

- Η στερεά γωνία Ω_A, μέσα από την οποία θα εκπέμπονταν όλη η ισχύς αν η κεραία εξέπεμπε σταθερή ένταση ακτινοβολίας προς κάθε κατεύθυνση στο εσωτερικό της και ίση με τη μέγιστη τιμής της.

$$\Omega_A = \frac{4\pi}{U(\theta,\varphi)\big|_{\max}}$$

$$\Omega_A = \int_0^{2\pi}\int_0^{\pi} F_n(\theta,\varphi)\sin\theta\, d\theta\, d\varphi \qquad \Omega_A \approx \theta_{3dB}\varphi_{3dB}$$

Για κεραίες με ένα κύριο λοβό και αμελητέους δευτερεύοντες,

26

Κατευθυντικό Κέρδος & Κατευθυντικότητα

- Κατευθυντικό Κέρδος: Ο λόγος της έντασης ακτινοβολίας προς την ένταση ακτινοβολίας του ισοτροπικού ακτινοβολητή που εκπέμπει την ίδια ισχύ ακτινοβολίας

$$D_g(\theta,\varphi) = \frac{U(\theta,\varphi)}{U_o} = 4\pi\frac{U(\theta,\varphi)}{W_{rad}}$$

- Κατευθυντικότητα: Η μέγιστη τιμή του Κατευθυντικού Κέρδους

$$D = D_g(\theta,\varphi)\Big|_{\max} = \frac{U(\theta,\varphi)\big|_{\max}}{U_o} = 4\pi\frac{U(\theta,\varphi)\big|_{\max}}{W_{rad}} = \frac{4\pi}{\Omega_A}$$

27

Κατευθυντικότητα

- Όσο πιο μικρή είναι η στερεά γωνία δέσμης τόσο πιο μεγάλη είναι η κατευθυντικότητα της κεραίας.
- Η κατευθυντικότητα της ισοτροπικής είναι η μικρότερη που μπορεί να επιτευχθεί.

$$D \geq 1 \qquad \Omega_A \leq 4\pi$$

$$D \approx \frac{4\pi}{\theta_{3dB}\varphi_{3dB}} \approx \frac{41000}{\theta^o_{3dB}\varphi^o_{3dB}}$$

28

Κατευθυντικότητα

- Παράδειγμα για $\theta^{o}_{3dB} = \varphi^{o}_{3dB} = 10^{o}$

$$D \approx \frac{41000}{100} = 410 = 26{,}1dBi$$

- Σχέση με πυκνότητα ισχύος

$$\boxed{\left|\vec{P}_{av}(\vec{r})\right| = \frac{W_{rad}}{4\pi d^{2}} D_{g}(\theta,\varphi)}$$

Κέρδος Ισχύος & Μέγιστο Κέρδος

- Συντελεστής απόδοσης ακτινοβολίας (περιγράφει τις ωμικές απώλειες της κεραίας)

$W_{rad} = nW_{A}$ $\quad (0 \le n \le 1)$ W_A: Ισχύς στην είσοδο της κεραίας

- Πόσο αποδοτικά ακτινοβολεί η κεραία???

$$G_{g}(\theta,\varphi) = 4\pi \frac{U(\theta,\varphi)}{W_{A}} = 4\pi \frac{U(\theta,\varphi)}{\frac{W_{rad}}{n}}$$

$$= n4\pi \frac{U(\theta,\varphi)}{W_{rad}} = nD_{g}(\theta,\varphi)$$

Ενεργός Επιφάνεια & Κατευθυντικότητα

$$A_e(\theta,\varphi)=\frac{\lambda^2}{4\pi}nD_g(\theta,\varphi)=\frac{\lambda^2}{4\pi}G_g(\theta,\varphi)$$

$$G_{\max}=nD=\frac{4\pi}{\lambda^2}A_e \qquad D=\frac{4\pi}{\lambda^2}A_{e\max}$$

Οι κεραίες χωρίζονται σε:
A) σταθερού κέρδους (ανεξάρτητου της συχνότητας)
π.χ. γραμμικές κεραίες
B) σταθερής επιφάνειας (ανεξάρτητης της συχνότητας)
π.χ. κεραίες κάτοπτρα (παραβολικές)

Συλλεκτική Ικανότητα

- Ορίζεται ως: $\boxed{\varepsilon=\frac{A_e}{A_p}}$

A_e: η ενεργός επιφάνεια της κεραίας
A_p: η επιφάνεια της διατομής της κεραίας

- Για κατοπτρική $A_e=\varepsilon A_p=\varepsilon\left(\pi r^2\right)=\varepsilon\left(\pi\frac{\Delta^2}{4}\right)$

$$G_{\max}=\frac{4\pi}{\lambda^2}A_e=\varepsilon\left(\frac{\pi\Delta}{\lambda}\right)^2=\varepsilon\left(\frac{\pi\Delta f}{c}\right)^2$$

$$\boxed{\Delta\uparrow \text{ ή } f\uparrow \;\Rightarrow\; G_{\max}\uparrow}$$

Διπλασιάζοντας τη διάμετρο τετραπλασιάζουμε το κέρδος (+6dB), ή για δεδομένο κέρδος μπορούμε να υπολογίσουμε τη διάμετρο για δεδομένη συχνότητα.

Μέγιστο Κέρδος σε Λογαριθμική Κλίμακα

$$G_{\max,dBi} = 10\log_{10}\left[\varepsilon\left(\frac{\pi\Delta}{\lambda}\right)^2\right] = 10\log_{10}\left[\varepsilon\left(\frac{\pi\Delta f}{c}\right)^2\right]$$

$$= 20\log_{10}\left[\frac{\pi\Delta\sqrt{\varepsilon}}{\lambda}\right] = 20\log_{10}\left[\frac{\pi\Delta f\sqrt{\varepsilon}}{c}\right]$$

Το σύμβολο dBi αναφέρεται σε κέρδος ως προς την ισοτροπική κεραία.

33

Συντελεστής Απόδοσης Κεραίας

- Ο συντελεστής απόδοσης μιας κεραίας είναι το γινόμενο πολλών συντελεστών ως εξής:

$$\boxed{\varepsilon = \varepsilon_i \times \varepsilon_s \times \varepsilon_f \times \varepsilon_z \times \ldots}$$

όπου

ε_i : ο συντελεστής απόδοσης πρόσπτωσης της ακτινοβολίας, για καταπίεση πλευρικών λοβών (≈90%)

ε_s : ο συντελεστής απόδοσης διάχυσης (≈ 80%).

ε_f : ο συντελεστής απόδοσης επιφάνειας (≈ 85%).

ε_z : ο συντελεστής απόδοσης λόγω ωμικών απωλειών και λόγω κακής προσαρμογής.

- Συνήθως ε : ≈ 55%-75%, τυπική τιμή 60%.

34

Γωνιακό Εύρος Δέσμης 3dB - Κατοπτρικές

- Είναι η γωνία που ορίζεται από τις διευθύνσεις που αντιστοιχούν σε πτώση του κέρδους κατά 3dB ως προς τη μέγιστη τιμή.
- Σχετίζεται με το λόγο λ/Δ με ένα συντελεστή που εξαρτάται από την πρόσπτωση ακτινοβολίας. Για ομοιόμορφη πρόσπτωση ο συντελεστής γίνεται 58,5°. Επειδή όμως επιθυμούμε καταπιεσμένους πλευρικούς λοβούς, συνήθως χρησιμοποιούμε μη ομοιόμορφη πρόσπτωση (εξασθένιση στα άκρα του κατόπτρου), η οποία συνεπάγεται αύξηση του εύρους 3dB. Τυπικές εκφράσεις :

$$\boxed{\theta_{3dB} \approx 70(\text{ή } 65)\frac{\lambda}{\Delta} \approx 70(\text{ή } 65)\frac{c}{\Delta f} \qquad (\text{degs})}$$

35

Κέρδος Συναρτήσει θ_{3dB}

- Σε μια οποιαδήποτε μικρή γωνία θ ως προς την κατεύθυνση μέγιστου κέρδους, δηλαδή γωνία για την οποία ισχύει

$$0^o \leq \theta \leq \frac{\theta_{3dB}}{2}$$

το κέρδος προσεγγιστικά δίνεται από

$$\boxed{G(\theta)_{dBi} = G_{\max,dBi} - 12\left(\frac{\theta}{\theta_{3dB}}\right)^2}$$

$$\text{Απώλειες Σκόπευσης} = 12\left(\frac{\theta}{\theta_{3dB}}\right)^2$$

36

Μέγιστο Κέρδος Συναρτήσει θ_{3dB}

- Από τις προηγούμενες εξισώσεις προκύπτει μια έκφραση του μέγιστου κέρδους συναρτήσει της γωνίας θ_{3dB}, ανεξάρτητη φαινομενικά από τη συχνότητα

$$G_{\max} = \varepsilon \left(\frac{\pi \Delta f}{c} \right)^2 = \varepsilon \left(\frac{70\pi}{\theta_{3dB}} \right)^2$$

- Για *ε=0.6*

$$G_{\max} \approx \frac{29000}{(\theta_{3dB})^2} \qquad (\theta_{3dB} \;\; \sigma\varepsilon \;\; \mu o\iota\rho\varepsilon\varsigma)$$

$$G_{\max,dBi} \approx 44.6 - 20\log_{10}\theta_{3dB}$$

$$\theta_{3dB} = \frac{170}{10^{\frac{G_{\max,dBi}}{20}}}$$

37

Καθαρότητα Πόλωσης (Polarization Purity)

- Λόγω κατασκευαστικών ατελειών μια κεραία εκπέμπει εκτός της επιθυμητής (co-polarized) συνιστώσας και μια ανεπιθύμητη συνιστώσα (crosspolarized ή X-polar).
- Μια κεραία χαρακτηρίζεται από τα διαγράμματα ακτινοβολίας των δύο αυτών συνιστωσών.
- Η X-polar συνιστώσα είναι συνήθως μηδενική στην κατεύθυνση του μέγιστου κέρδους και το διάγραμμά της παρουσιάζει τον πρώτο λοβό μέγιστου κέρδους -20dB ως προς την κατεύθυνση μέγιστου κέρδους.
- Η απομόνωση (XPI) σε συγκεκριμένη κατεύθυνση ορίζεται ως ο λόγος της co-polar προς την X-polar συνιστώσα πεδίου.

38

Καθαρότητα Πόλωσης (Polarization Purity)

$$XPI(dB) = 20\log_{10}\left(\frac{E_{co}}{E_X}\right)$$

$$XPI(dB) = 10\log_{10} G_{co}(\theta) - 10\log_{10} G_X(\theta)$$

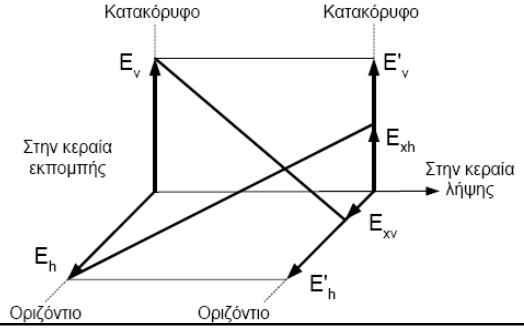
- Συνήθως απαιτείται

$$XPI \geq 30dB$$

στο 1dB beamwidth

Απομόνωση & Διαχωρισμός Ορθογωνικής Πόλωσης

- Για λόγους επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κεραίες κατάλληλες για λειτουργία σε δύο ορθογωνικές πολώσεις.
- Πρόβλημα λόγω αποπόλωσης από το μέσο μετάδοσης, αλλά και ατέλειες κεραιών.



Απομόνωση & Διαχωρισμός Ορθογωνικής Πόλωσης

- Απομόνωση λόγω Ορθογωνικής Πόλωσης

$$XPI = \frac{E_v^{'}}{E_{xh}} = \frac{E_h^{'}}{E_{xv}}$$

$$XPI_{dB} = 20\log_{10}\left(\frac{E_v^{'}}{E_{xh}}\right) = 20\log_{10}\left(\frac{E_h^{'}}{E_{xv}}\right)$$

- Διαχωρισμός λόγω Ορθογωνικής Πόλωσης

$$XPD = \frac{E_v^{'}}{E_{xv}} \qquad XPD_{dB} = 20\log_{10}\left(\frac{E_v^{'}}{E_{xv}}\right)$$

41

Αμοιβαία Παρεμβολή μεταξύ Ραδιοζεύξεων λόγω Αποπόλωσης

<u>Διαχωρισμός λόγω Ορθογωνικής Πόλωσης (XPD)</u>

- Για ελλειπτική πόλωση η οποία χαρακτηρίζεται από την τιμή του αξονικού λόγου ***AR*** ο διαχωρισμός λόγω ορθογωνικής πόλωσης δίνεται από τη σχέση:

$$XPD(dB) = 20\log\left(\frac{AR+1}{AR-1}\right)$$

Και ως συνάρτηση του XPD το AR έχει τη μορφή:

$$AR = \frac{10^{XPD/20}+1}{10^{XPD/20}-1}$$

42

EIRP & ERP

- *Ισοδύναμη Ισοτροπικά Ακτινοβολούμενη Ισχύς (Equivalent Isotropically Radiated Power, EIRP)*

$$\boxed{EIRP(\theta,\varphi) = W_A G_g(\theta,\varphi)} \qquad \boxed{EIRP = W_A G_{\max}}$$

- *Ενεργός Ακτινοβολούμενη Ισχύς (Effective Radiated Power, ERP)*

$$\boxed{ERP(\theta,\varphi) = W_A G_{gdipole}(\theta,\varphi)} \qquad \boxed{ERP = W_A G_{\max\, dipole}}$$

$$G_g(\theta,\varphi)(dBi) = G_{gdipole}(\theta,\varphi)(dBd) + 2.15(dBi)$$

$$EIRP(dBW) = ERP(dBW) + 2.15$$

43