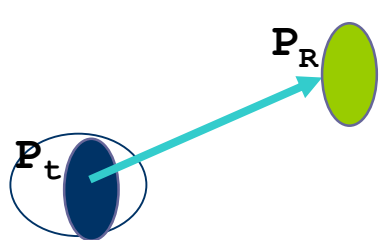


Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού

Απώλειες Ελευθέρου Χώρου

► Υπολογισμός απωλειών

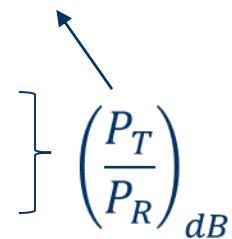


$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \frac{0.57 * 10^{-3}}{(df)^2} \quad \begin{array}{l} f \text{ is in MHz} \\ d \text{ is in Km} \end{array}$$

$$\left(\frac{P_R}{P_T} \right)_{dB} = (G_T)_{dB} + (G_R)_{dB} - (32.5 + 20 \log_{10} d + 20 \log_{10} f)$$

Απώλειες διαδρομής (Path Loss) είναι η απόσβεση του σήματος (μετρημένη σε dB) δηλαδή ο λόγος της εκπεμπόμενης ως προς την λαμβανομένη ισχύ (χωρίς να ληφθούν υπ' όψη τα κέρδη των κεραιών).



$$L = 32,5 + 20 \log d_{km} + 20 \log f_{MHz}$$

$$L = 22 - 20 \log \lambda_m + 20 \log d_m$$

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού

Απώλειες Ελευθέρου Χώρου

$$L=32,5 + 20 \log d_{km} + 20 \log f_{MHz}$$

$$L=22 - 20 \log \lambda_m + 20 \log d_m$$

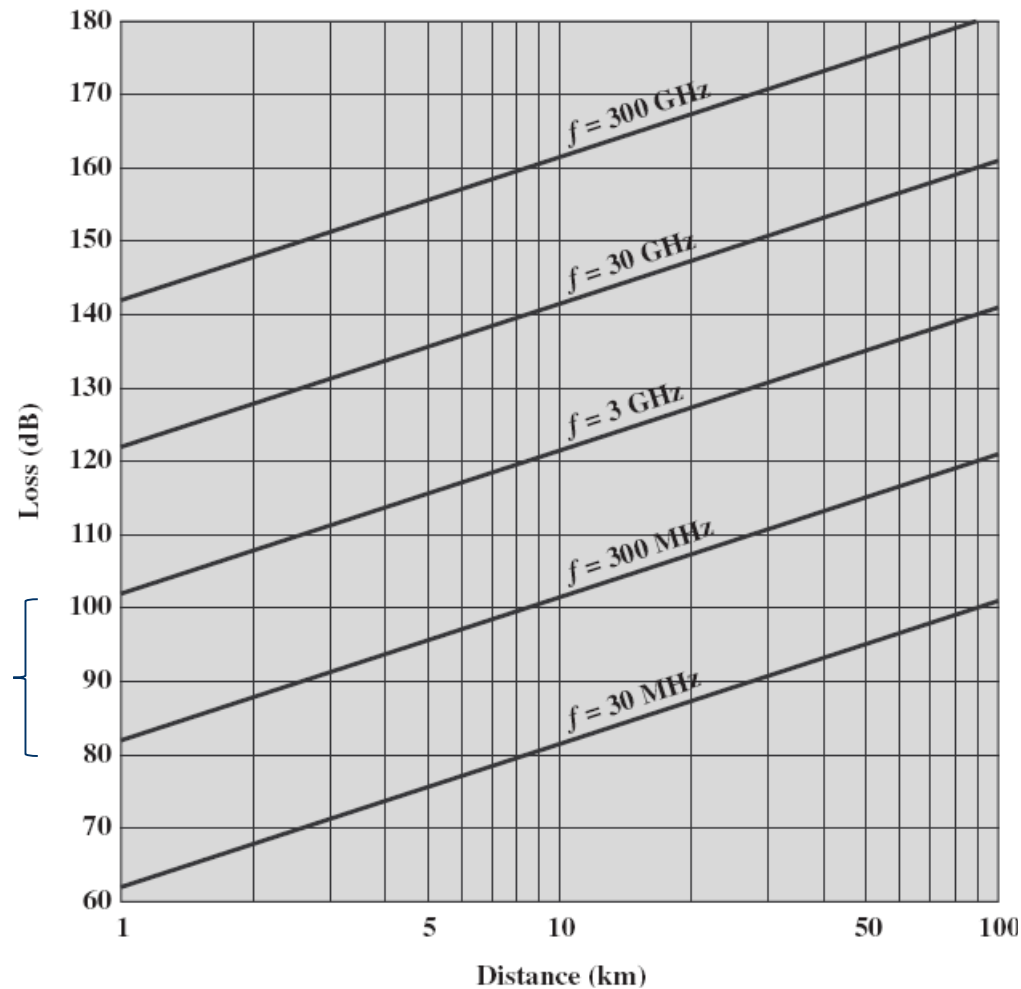
10πλασιασμός απόστασης = +20db απώλειες

2πλασιασμός απόστασης = +6db απώλειες

Ομοίως για συχνότητα

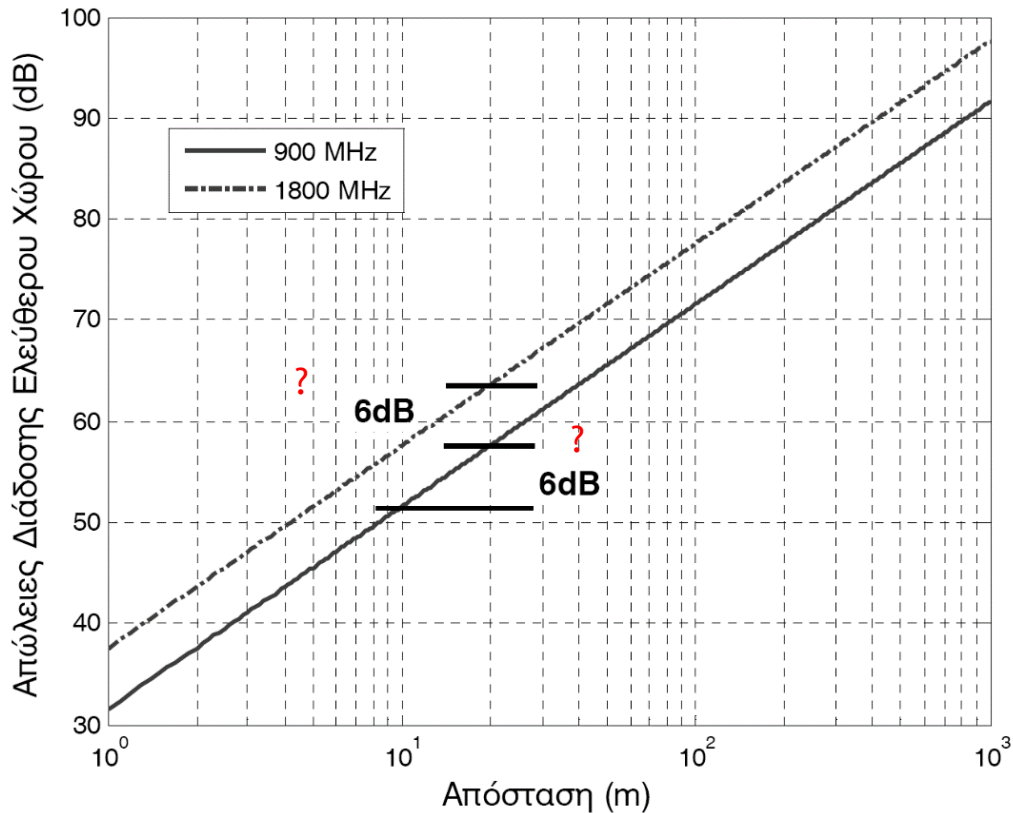
Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού

Απώλειες Ελευθέρου Χώρου



Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού

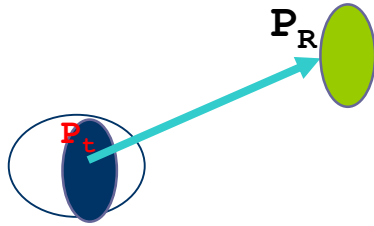
Απώλειες Ελευθέρου Χώρου



2 συχνότητες συστήματος GSM
Ομοίως για WiFi στα 2,4GHz και 5GHz

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού

Απώλειες Ελευθέρου Χώρου

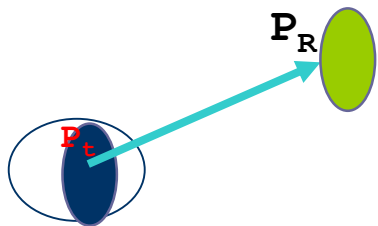


Οι κεραιές είναι ιστροπικές. Ποια είναι η λαμβανομένη ισχύς P_R (σε dBm) σε απόσταση **100m** από την κεραιά εκπομπής? Ποια είναι η P_R στα **10Km**?

$P_t=50 \text{ W} = 47 \text{ dBm}$ $f=900\text{MHz}$ (Αν έχουμε $f=1000\text{MHz}$?)

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού

Απώλειες Ελευθέρου Χώρου



Οι κεραίες είναι ιστροπικές. Ποια είναι η λαμβανομένη ισχύς P_R (σε dBm) σε απόσταση **100m** από την κεραία εκπομπής? Ποια είναι η P_R στα **10Km**?

$P_T = 50 \text{ W} = 47 \text{ dBm}$ $f = 900 \text{ MHz}$ (Αν έχουμε $f = 1000 \text{ MHz}$?)

$$\left(\frac{P_R}{P_T} \right)_{dB} = (G_T)_{dB} + (G_R)_{dB} - (32.5 + 20 \log_{10} d + 20 \log_{10} f)$$

$$\left(\frac{P_R}{P_T} \right)_{dB} = 0 + 0 - (32.5 + 20 \log_{10} d + 20 \log_{10} 900)$$

59

-20 (για $d = 0.1 \text{ Km}$) 20 (για $d = 10 \text{ Km}$)

$$\left(\frac{P_R}{P_T} \right)_{dB} = -71.5 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{P_R}{P_T} \right)_{dB} = -111.5 \text{ dB}$$

$$(P_R)_{dBm} = 47 \text{ dBm} - 71.5 \text{ dB} = -24.5 \text{ dBm}$$

$$(P_R)_{dBm} = 47 \text{ dBm} - 111.5 \text{ dB} = -64.5 \text{ dBm}$$

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού

Απώλειες Ελευθέρου Χώρου – εμβέλεια

Εμβέλεια συστήματος

Σταθμός Βάσης (ΣΒ) κινητής τηλεφωνίας εκπέμπει ραδιοκύματα συχνότητας 1800 MHz με ισχύ $P_{BS} = 1 \text{ W}$ και λαμβάνει με δέκτη που έχει ευαισθησία $P_{thBS} = -110 \text{ dBm}$. Οι κεραιές του έχουν απολαβή ισχύος $G_{BS} = 10 \text{ dBi}$. Οι κινητοί σταθμοί (ΚΣ) έχουν ισχύ εκπομπής $P_{MS} = 0,2 \text{ W}$, ευαισθησία $P_{thMS} = -104 \text{ dBm}$ και απολαβή ισχύος $G_{MS} = 0 \text{ dBi}$. Αν υποθεθεί ότι οι συνθήκες μετάδοσης προσομοιάζουν σε αυτές του ελευθέρου διαστήματος, να εκτιμηθούν α) οι μέγιστες αποδεκτές απώλειες και η εμβέλεια του συστήματος σε κάθε κατεύθυνση.

$$L_{down} = P_{1dB} + G_{1dB} + G_{2dB} - P_{2dB}$$

$$L_{up} = P_{1dB} + G_{1dB} + G_{2dB} - P_{2thdB}$$

$$L_{down} = 10 \log 10^3 + 10 + 0 - (-104) = 144 \text{ dB} \quad \text{ΣΒ προς ΚΣ (κατερχόμενη ζεύξη)}$$

Εμβέλεια μέσω του τύπου:

$$L = 22 - 20 \log \lambda_m + 20 \log d_m$$

λύνοντας ως προς d

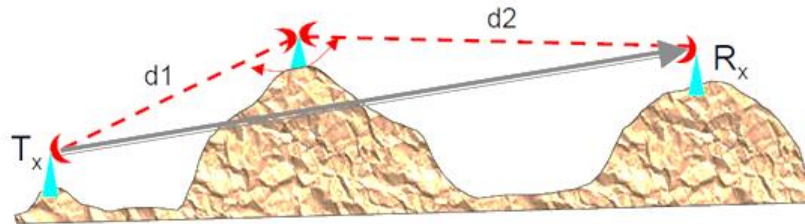
ανά κατεύθυνση

$$\text{Εμβέλεια } D = \min\{d_{down}, d_{up}\}$$

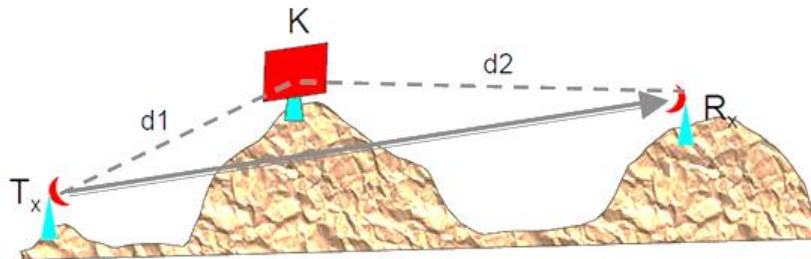
Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού Απώλειες Ελευθέρου Χώρου – Αναμεταδότες

Παθητικοί αναμεταδότες

Παραβολικές κεραιές Back2Back



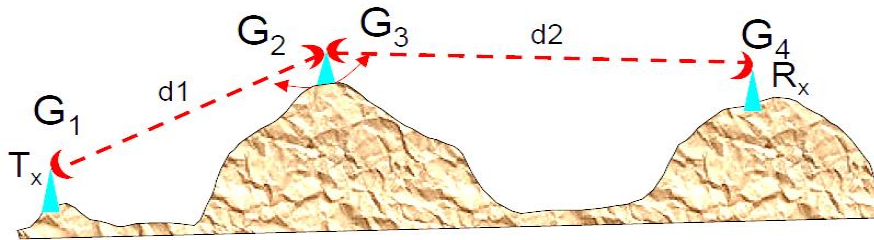
Παθητικά κάτοπτρα



Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού

Απώλειες Ελευθέρου Χώρου – Αναμεταδότες

Παθητικοί αναμεταδότες (B2B)



$$P_{rx2} = P_{tx1} - (32.4 + 20 \log d_1 + 20 \log f) + G_1 + G_2$$

Στην έξοδο της κεραίας 2

Στην είσοδο της κεραίας 3

$$P_{rx4} = P_{rx2} - L_w - (32.4 + 20 \log d_2 + 20 \log f) + G_3 + G_4$$

Απώλειες καλωδίων



Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού

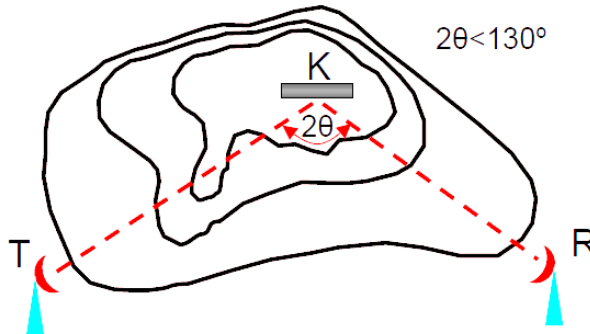
Απώλειες Ελευθέρου Χώρου – Αναμεταδότες

Παθητικοί αναμεταδότες (Κάτοπτρα)

$$\frac{1}{K} = \frac{\pi \cdot \lambda \cdot d}{4 \cdot A \cos \theta}$$

d : απόσταση κάτοπτρου-κεραίας
 A : επιφάνεια κατόπτρου σε m^2
 $A \cos(\theta)$: ενεργός επιφάνεια

Μακρινό πεδίο (*Far field* $1/K > 2.5$)



$$G_{PR} = 10 \cdot \log \left(\frac{4\pi \cdot A}{\lambda^2} \cos \theta \right)$$

ανά κατεύθυνση

$$G_{PR} = 20 \cdot \log \left(\frac{4\pi \cdot A}{\lambda^2} \cos \theta \right)$$

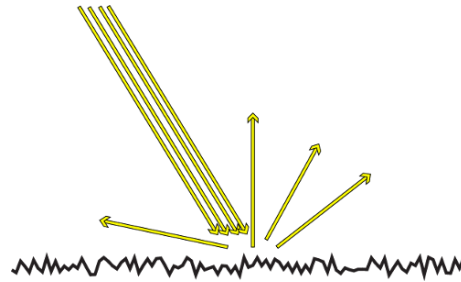
Για εκπομπή και λήψη μαζί

$$L = L_{TK} + L_{KR} - G_T - G_R - G_{PR}$$

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού

Απώλειες από σκέδαση

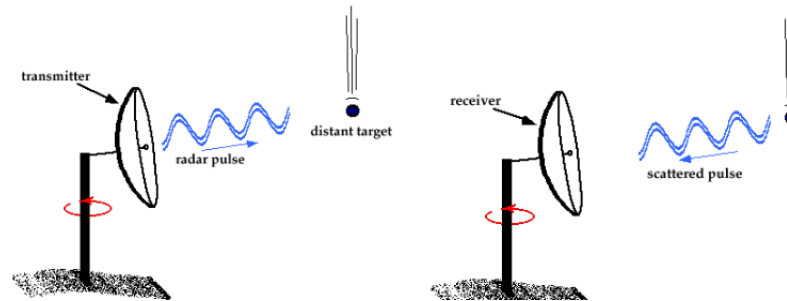
- Είναι το φαινόμενο το οποίο εμφανίζεται όταν το ηλεκτρομαγνητικό κύμα προσπίπτει σε αντικείμενα με ανώμαλες επιφάνειες. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το ηλεκτρομαγνητικό κύμα να διασκορπίζεται προς πολλές και διαφορετικές κατευθύνσεις, άσχετες μεταξύ τους.



Διαστάσεις ανάλογες του λ

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού

Απώλειες από σκέδαση



- Υπολογισμός λαμβανόμενης ισχύος από σκέδαση σε αντικείμενο

Η εξίσωση του Radar

$$P_{\Lambda} = P_E \frac{G^2 \lambda^2 \sigma}{64 \pi^3 R^4}$$

P_{Λ} είναι η λαμβανόμενη ισχύς

P_E είναι η εκπεμπόμενη ισχύς

G η απολαβή της κεραίας

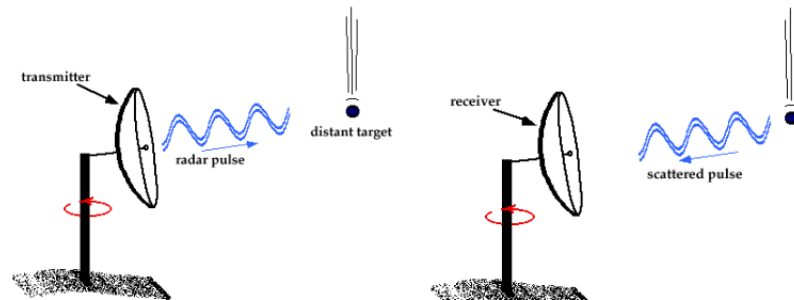
σ διατομή οπισθοσκέδασης

λ μήκος κύματος

R απόσταση

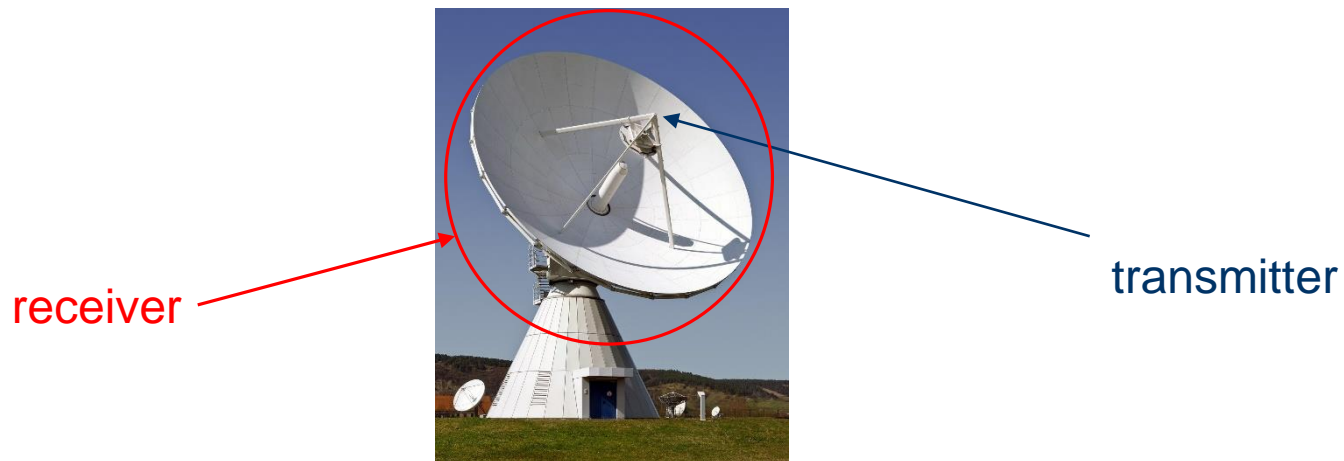
Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού

Απώλειες από σκέδαση



► Διατομή οπισθοσκέδασης (backscattering cross section)

Ισοδύναμη επιφάνεια που θα χρειαζόταν από ένα ισότροπο σκεδαστή για να επιστρέψει στον δέκτη την ισχύ που πράγματι λαμβάνεται.

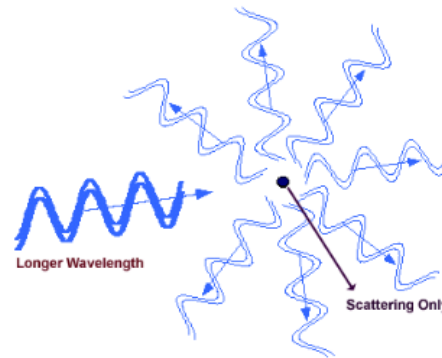
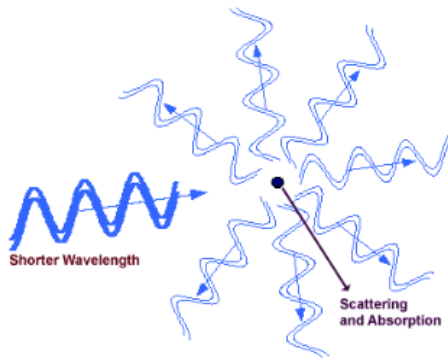


Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού

Απώλειες από σκέδαση

Εξασθένηση λόγω βροχής

πιο έντονη όσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος



ατμοσφαιρικά αέρια
οι μικρές σταγόνες βροχής
τα σταγονίδια νεφών

→ εξασθένηση λόγω απορρόφησης

μεγάλες σταγόνες βροχής
το χιόνι
το χαλάζι

→ εξασθένηση λόγω απορρόφησης
και σκέδασης

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού

Απώλειες από σκέδαση

Εξασθένηση λόγω βροχής

Για $\lambda < 10$ cm εξασθένηση από την βροχή και τα νέφη λαμβάνεται υπόψη, σημαντικότερη για $\lambda = 3-1$ cm.

Εξασθένηση ($\lambda = 3$ cm) = 6 x εξασθένηση ($\lambda = 5$ cm)
= 40 x εξασθένηση ($\lambda = 10$ cm)

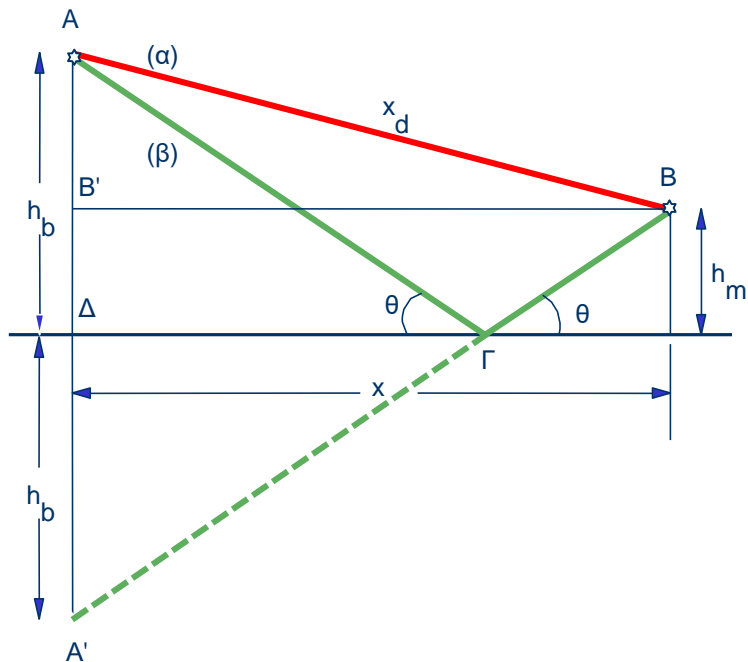
Ρυθμός Εξασθένησης Kr (dB/km)	Μήκος κύματος λ (cm)
$0.000343 R^{0.97}$	10
$0.0018R^{1.05}$	5
$0.01R^{1.21}$	3.2

R απόσταση

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού

Απώλειες επίπεδης γης

- Υπολογισμός ισχύος λήψης αναλύοντας γεωμετρικά το σχήμα

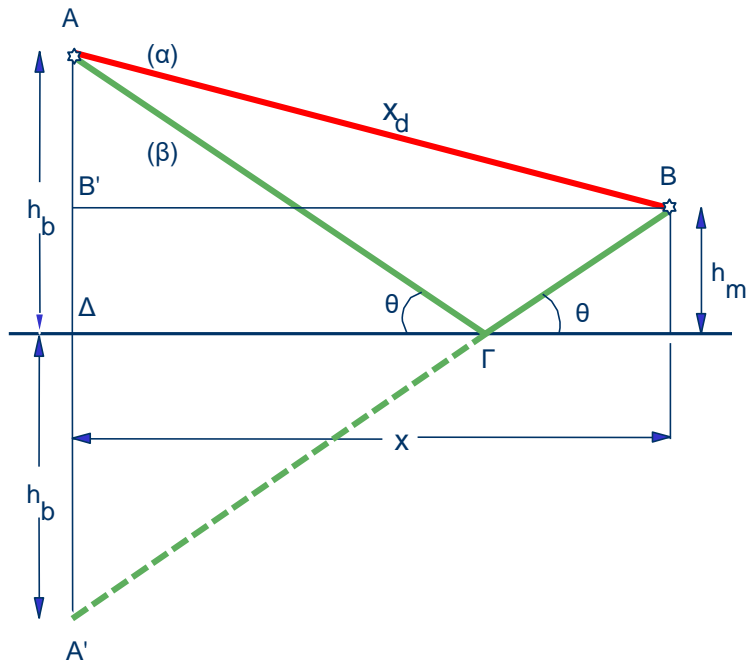


$$P_{rx} = 4P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi x} \right)^2 G_t G_r \sin^2 \left(\frac{2\pi h_b h_m}{\lambda x} \right)$$

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού

Απώλειες επίπεδης γης

- Υπολογισμός ισχύος λήψης αναλύοντας γεωμετρικά το σχήμα



$$P_{rx} = 4P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi x} \right)^2 G_t G_r \sin^2 \left(\frac{2\pi h_b h_m}{\lambda x} \right)$$

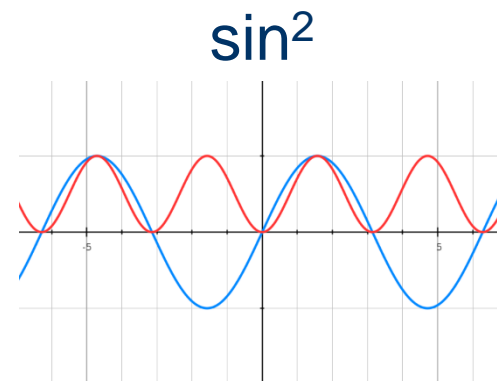
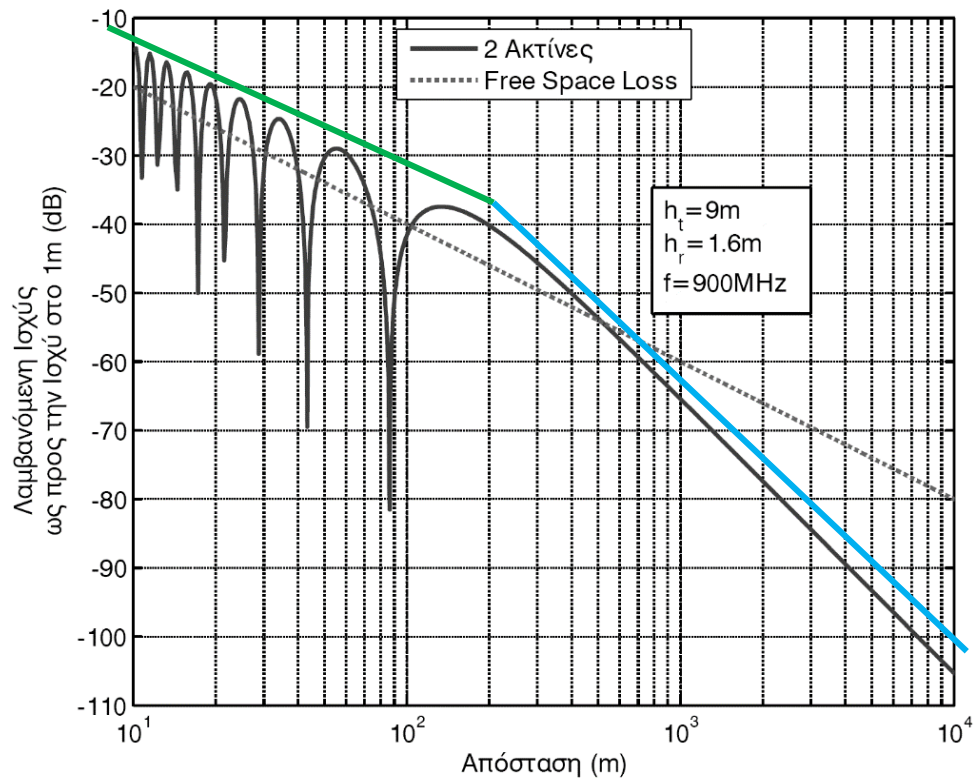
Εξίσωση ελευθέρου χώρου

Διαφορά Φάσης στο τετράγωνο

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού

Απώλειες επίπεδης γης

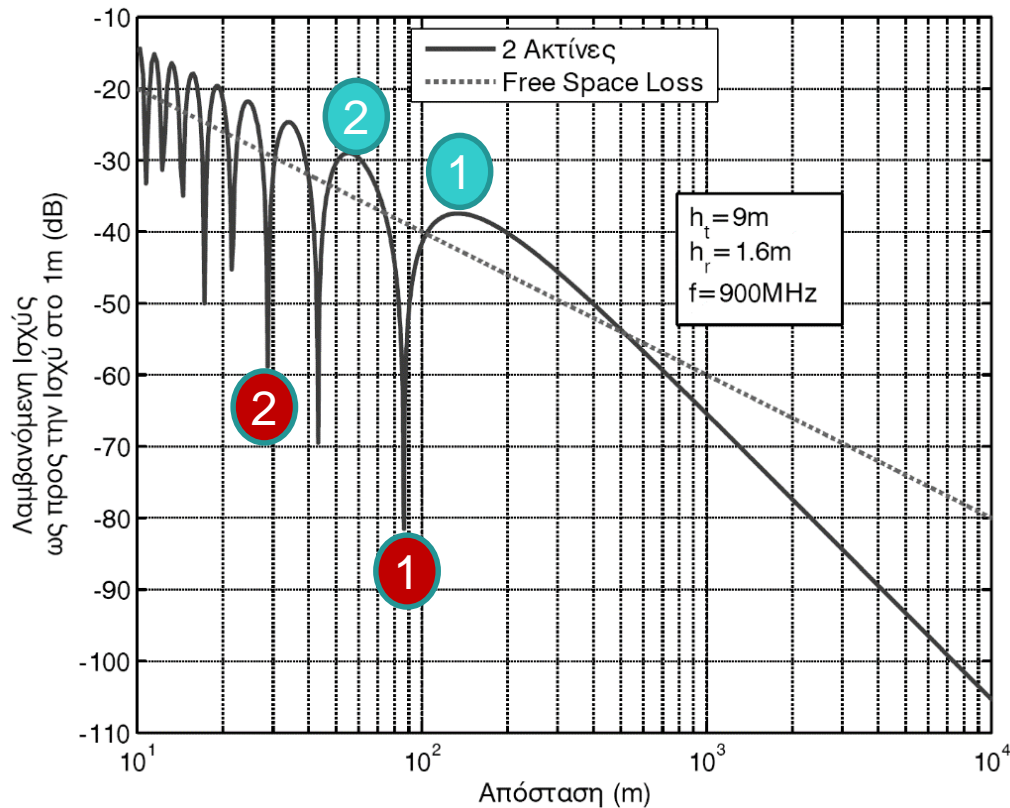
- Σχηματική απεικόνιση



Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού

Απώλειες επίπεδης γης

- Μεγίστα και ελάχιστα ως το σημείο αποκοπής



Διαφορά Φάσης

$$\frac{2\pi h_b h_m}{\lambda x} = k * \pi/2$$

$k=1,3,5\dots$

$k=2,4,6\dots$

$= k * \pi/2$

Μέγιστα

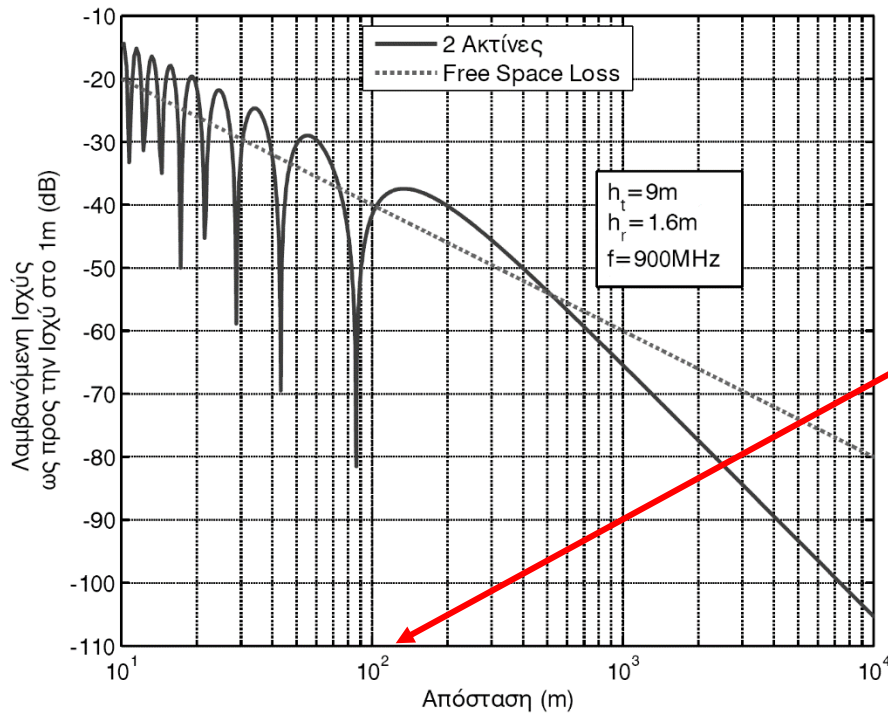
Ελάχιστα

Λύνω ως προς x για να βρω την απόσταση που συναντώ μέγιστα και ελάχιστα

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού

Απώλειες επίπεδης γης

➤ Σημείο αποκοπής - Breakpoint



Γιατί είναι αυτή η τιμή θα το εξηγήσουμε αφού δούμε τις Ζώνες Fresnel

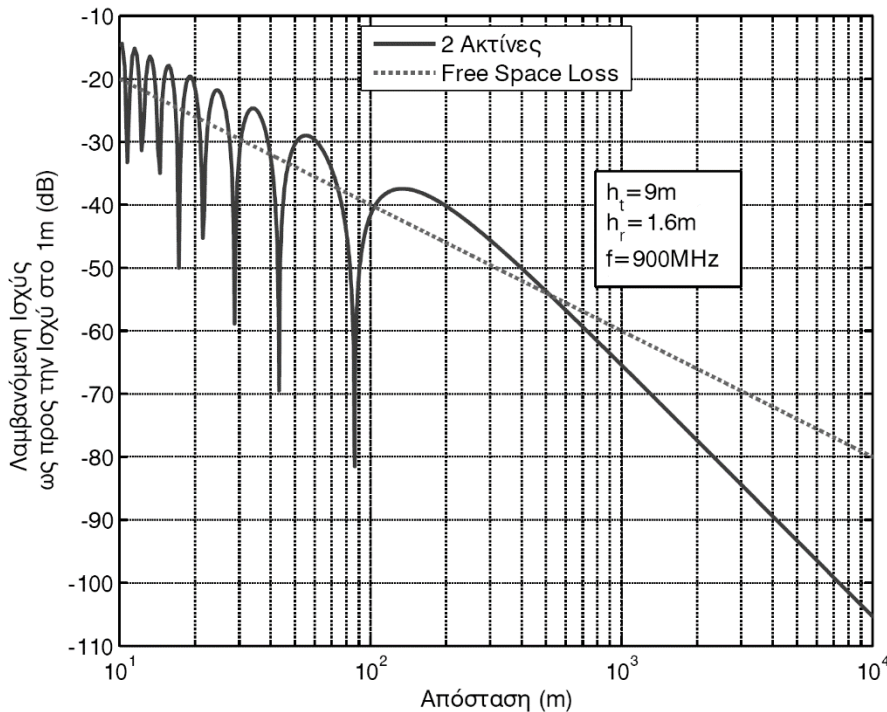
$$d = 4h_b h_m / \lambda$$

Σημείο αποκοπής

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού

Απώλειες επίπεδης γης

- Μη εξάρτηση από τη **συχνότητα** μετά το σημείο αποκοπής



$$P_{rx} = 4P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi x} \right)^2 G_t G_r \sin^2 \left(\frac{2\pi h_b h_m}{\lambda x} \right)$$

μετά το σημείο αποκοπής

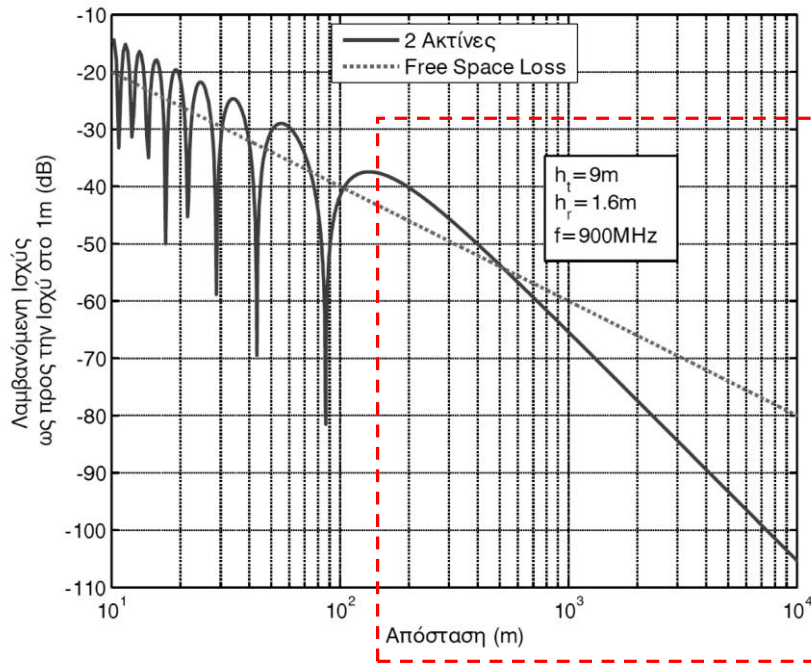


$$P_{rx} = P_t G_t G_r \left(\frac{h_b h_m}{x^2} \right)^2$$

Δεν υπάρχει εξάρτηση από τη συχνότητα μετά το σημείο αποκοπής (αν και το σημείο αποκοπής εξαρτάται από τη συχνότητα)

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού

Απώλειες επίπεδης γης



Η λαμβανόμενη ισχύς είναι αντιστρόφως ανάλογη της 4^{ης} δύναμης της απόστασης. Πιο ευαίσθητη σε σχέση με τον ελεύθερο χώρο.

Διπλασιάζοντας το ύψος της κεραίας του σταθμού βάσης έχουμε μικρότερη εξασθένηση κατά 6dB

- Αποτύπωση εξίσωσης σε dB (μετά το σημείο αποκοπής)

$$P_{rx} = P_t G_t G_r \left(\frac{h_b h_m}{x^2} \right)^2$$

$$L = 40 \log x - 20 \log h_b - 20 \log h_m$$

Πως προκύπτει;

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού

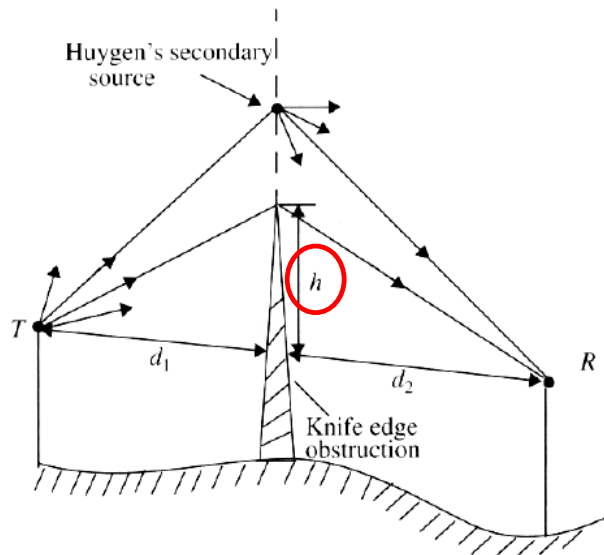
Απώλειες επίπεδης γης

$$L = 40 \log x - 20 \log h_b - 20 \log h_m$$

Απώλειες ελευθέρου χώρου

$$L = 32,5 + 20 \log d_{\text{km}} + 20 \log f_{\text{MHz}}$$

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης

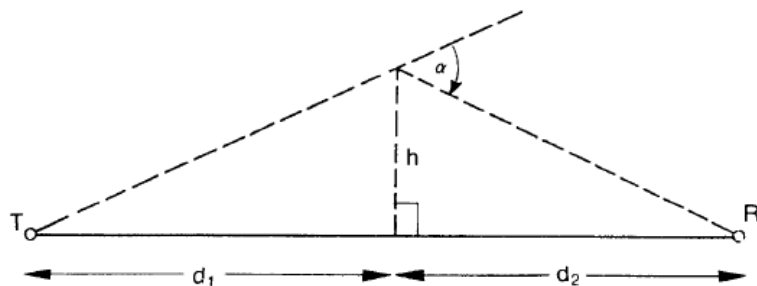


- Κάθε κύμα που μεταδίδεται από τον T στον R διανύει απόσταση μεγαλύτερη από το μήκος της ευθείας TR .
- Αποδεικνύεται ότι η επιπρόσθετη διαδρομή που διανύει το κύμα είναι (για $h \ll d_1, d_2$):

$$\Delta \approx \frac{h^2}{2} \frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2}$$

- Το κύμα υπόκειται σε **διαφορά φάσης** η οποία είναι

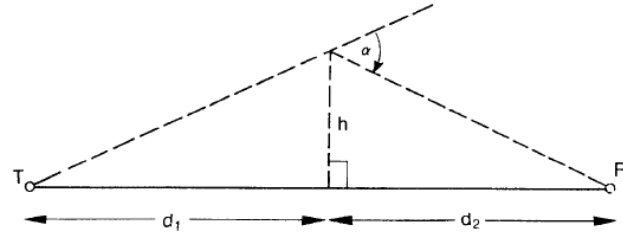
$$\phi = \frac{2\pi\Delta}{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{h^2}{2} \frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2}$$



Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης

- Ορίζουμε το **συντελεστή Fresnel-Kirchoff**

$$v = h \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}}$$



- Άρα

$$\phi = \frac{\pi}{2} v^2$$

$$\phi = \frac{\pi a^2}{\lambda} \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}$$

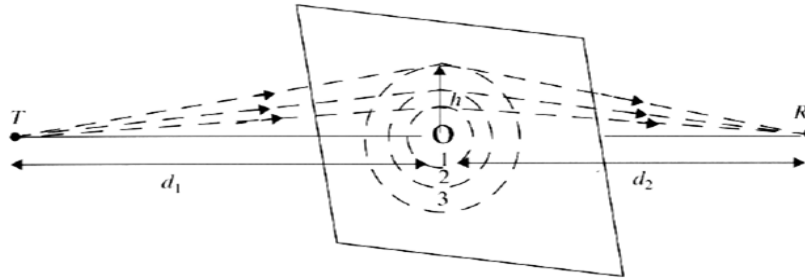
$$v = a \sqrt{\frac{2d_1 d_2}{\lambda(d_1 + d_2)}}$$

- Με βάση τον συντελεστή v παίρνω **πολλαπλάσια του $\pi/2$** άρα ξέρω την αλλαγή φάσης, άρα και τις απώλειες
- **Πλασματικό ύψος εμποδίου** αν πομπός και δέκτης είναι σε κάποιο ύψος από το έδαφος

$$h = h_{obs} - h_t \frac{d_1}{d_1 + d_2} - h_r \frac{d_2}{d_1 + d_2}$$

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης

- Υπολογισμός απωλειών



$$v = h \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}}$$

Τύπος του Lee

$$G_a(dB) \approx \begin{cases} 0, & v \leq -1 \\ 20 \log(0.5 - 0.62v), & -1 \leq v \leq 0 \\ 20 \log(0.5 \exp(-0.95v)), & 0 \leq v \leq 1 \\ 20 \log\left(0.4 - \sqrt{0.1184 - (0.38 - 0.1v)^2}\right), & 1 \leq v \leq 2.4 \\ 20 \log\left(\frac{0.225}{v}\right), & v > 2.4 \end{cases}$$

Αρνητικές τιμές v
 άρα αρνητικά ύψη h
 (θα το εξηγήσουμε
 αργότερα)