



Satellite Links

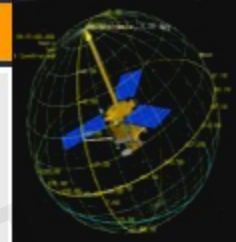
Design of the Satellite Link

Παράδειγμα 1:

Δυο κεραίες ίσης απολαβής 2.15dB , που έχουν ρυθμιστεί για βέλτιστη λήψη, βρίσκονται σε απόσταση 50km .

Ο πομπός τροφοδοτεί την κεραία εκπομπής με ισχύ 10Watt στα 144MHz . Υπολογίστε την ισχύ λήψης.

Λύση:



Satellite Links

Design of the Satellite Link

$$p_r = \frac{p_t g_t g_r c^2}{(4\pi)^2 R^2 f^2} \quad (\text{microwave radio link equation})$$

p_r is the power received by the receiving antenna;

p_t is the power applied to the transmitting antenna;

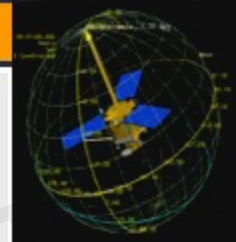
g_t is the gain of the transmitting antenna, as a true ratio;

g_r is the gain of the receiving antenna, as a true ratio;

c is the speed of light (300×10^6 m/s);

R is the range (path length) in meters; and

f is the frequency in hertz.



Satellite Links

Design of the Satellite Link

$$\text{Απολαβή κεραιών}=2.15\text{dB}\Rightarrow A_p^{(\text{dB})}=2.15\text{dB}$$

$$A_p^{(\text{dB})}=10\log A_p\Rightarrow$$

$$A_p=\log^{-1} A_p^{(\text{dB})}\Rightarrow$$

$$A_p=\log^{-1} 2.15\text{dB}\Rightarrow$$

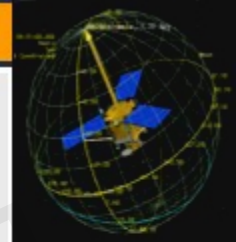
$$A_p=1.64$$

$$\text{Ισχύς εκπομπής } p_t=10 \text{ (Watt)}$$

$$\text{Απολαβή μετάδοσης και λήψης } g_t=g_r=1.64$$

$$\text{Απόσταση μεταξύ των κεραιών } R=50*10^3 \text{ m}$$

$$\text{Συχνότητα Σήματος } f=144\text{MHz}$$



Satellite Links

Design of the Satellite Link

$$P_r = \frac{P_t A_t A_r \lambda^2}{16 \pi^2 d^2} \Rightarrow$$

$$P_r = \frac{10W * 1.64 * 1.64 \left(\frac{3 * 10^8 m/s}{144 * 10^6 Hz} \right)^2}{16 \pi^2 (50 * 10^3 m)^2} \Rightarrow$$

$$P_r = 2.96 * 10^{-10} Watt$$



Satellite Links

Design of the Satellite Link

Παράδειγμα 2: Το uplink

Θεωρείστε την κεραία εκπομπής ενός επίγειου σταθμού, που είναι εξοπλισμένος με κεραία διαμέτρου $D = 4$ m. Αυτή η κεραία τροφοδοτείται με μια ισχύ $P_T = 100$ W, σε συχνότητα $f_{uplink} = 14$ GHz. Ακτινοβολεί αυτή την ισχύ προς ένα γεωστατικό δορυφόρο που βρίσκεται σε απόσταση 40000 km από το σταθμό, επί του άξονα της κεραίας. Η δέσμη της κεραίας λήψης του δορυφόρου έχει πλάτος $\theta_{3dB} = 2^\circ$. Υποτίθεται ότι ο επίγειος σταθμός βρίσκεται στο κέντρο της περιοχής που καλύπτεται από την κεραία του δορυφόρου, και συνεπώς εκμεταλλεύεται τη μέγιστη απολαβή της κεραίας αυτής. Η απόδοση της κεραίας του δορυφόρου υποτίθεται ότι είναι $\eta = 0.55$ και εκείνη της κεραίας του επίγειου σταθμού είναι $\eta = 0.6$.

Υπολογίστε

- (α) την πυκνότητα ροής ισχύος Φ στο δορυφόρο και την EIRP και
- (β) την ισχύ P_R η οποία λαμβάνεται από το δορυφόρο P_R .



Satellite Links

Design of the Satellite Link

ΛΥΣΗ

Πυκνότητα ροής ισχύος στο δορυφόρο:

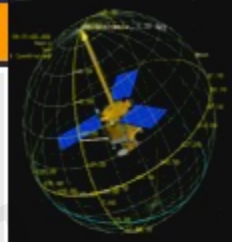
$$\Phi = P_T G_{Tmax} / 4\pi R^2 \text{ (W /m}^2\text{)}$$

G_T =Απολαβή Καθοδήγησης Κεραίας Εκπομπής

P_T =Ολική Ακτινοβολούμενη Ισχύς

Η κεραία τροφοδοτείται με μια ισχύ $P_T = 100 \text{ W}$. Άρα η Ολική Ακτινοβολούμενη Ισχύς:

$$P_T \text{ (dB)} = 10\log(P_T) = 10\log(100\text{Watt}) = 20 \text{ dBW.}$$



Satellite Links

Design of the Satellite Link

ΛΥΣΗ

Η Απολαβή της κεραίας του επίγειου σταθμού δίνεται από την Εξ.

$$G_{\max} = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{\text{eff}} = \dots = \eta \left(\frac{\pi D f}{c} \right)^2$$

Άρα:

$$G_{\max} = \eta \left(\frac{\pi D f}{c} \right)^2 \Rightarrow$$

$$G_{\max} = 0.6(\pi \cdot 4 \cdot 14 \cdot 10^9 / 3 \cdot 10^8)^2 \Rightarrow$$

$$G_{\max} = 206340 \Rightarrow$$

$$G_{\max} = 53.1 \text{ dBi}$$



Satellite Links

Design of the Satellite Link

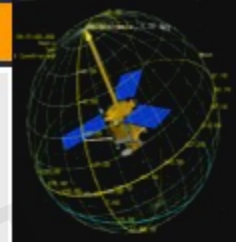
ΛΥΣΗ

Η ενεργός ιστροπική ακτινοβολούμενη ισχύς (EIRP) του επίγειου σταθμού δίνεται από τη σχέση:

$$EIRP = P_T G_{Tmax} \Rightarrow$$

$$EIRP = 20 \text{ dBW} + 53.1 \text{ dB} \Rightarrow$$

$$EIRP = 73.1 \text{ dBW}$$



Satellite Links

Design of the Satellite Link

ΛΥΣΗ

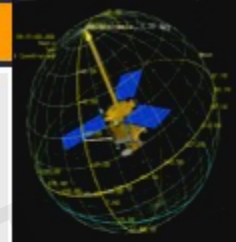
Η πυκνότητα ροής ισχύος Φ δίνεται από τη σχέση :

$$\Phi = P_T G_{Tmax} / 4\pi R^2 \text{ (W /m}^2\text{)} \Rightarrow$$

$$\Phi = 73.1 \text{ dBW} - 10\log(4\pi(4 \times 10^7)^2) \Rightarrow$$

$$\Phi = 73.1 - 163 \Rightarrow$$

$$\Phi = -89.9 \text{ (dBW/m}^2\text{)}$$



Satellite Links

Design of the Satellite Link

ΛΥΣΗ

(β) Η ισχύς η οποία λαμβάνεται από το δορυφόρο P_R :

$$P_R = \Phi A_{\text{Reff}} = \left(\frac{P_T G_T}{\pi R^2} \right) A_{\text{Reff}} = \left(\frac{P_T G_T}{\pi R^2} \right) \frac{G_R}{\left(\frac{4\pi}{\lambda^2} \right)} = \dots = P_T G_T \left(\frac{1}{L_{FS}} \right) G_R$$

Όπου:

G_T = Απολαβή Καθοδήγησης Κεραίας Εκπομπής

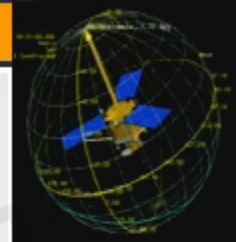
P_T = Ολική Ακτινοβολούμενη Ισχύς

G_R = Απολαβή Καθοδήγησης Κεραίας Λήψης

L_{FS} = Απώλεια Ελευθέρου Χώρου

$$L_{FS} = \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2$$

$$G_{R\text{max}} = \eta \left(\frac{\pi D f}{c} \right)^2$$



Satellite Links

Design of the Satellite Link

ΛΥΣΗ

Η Απολαβή Καθοδήγησης Κεραίας Λήψης G_T είναι:

$$G_{R\max} = \eta \left(\frac{\pi D f}{c} \right)^2$$

Όπου για Μη-Ομοιόμορφη Πρόσπτωση:

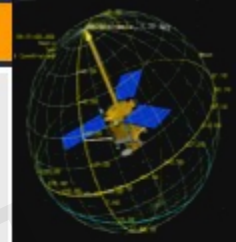
$$\theta_{3dB} = 70 \frac{\lambda}{D} = 70 \frac{c}{f \cdot D} \quad (\mu\text{οίρες}) \Rightarrow$$

$$\frac{D}{\lambda} = \frac{Df}{c} = \frac{70}{\theta_{3dB}}$$

Άρα:

$$G_{R\max} = \eta \left(\pi \frac{70}{\theta_{3dB}} \right)^2 \Rightarrow G_{R\max} = \eta \left(\pi \frac{70}{\theta_{3dB}} \right)^2 \Rightarrow G_{R\max} = 0.55 \left(\pi \frac{70}{2^\circ} \right)^2 \Rightarrow$$

$$G_{R\max} = 6650 \Rightarrow G_{R\max} = 38.2 \text{ dB}$$



Satellite Links

Design of the Satellite Link

ΛΥΣΗ

Η Απώλεια Ελευθέρου Χώρου L_{FS} είναι:

$$L_{FS} = \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2 \Rightarrow$$

$$L_{FS} = \left(\frac{4\pi R f_{uplink}}{c} \right)^2 \Rightarrow$$

$$L_{FS} = 207.4dB$$



Satellite Links

Design of the Satellite Link

ΛΥΣΗ

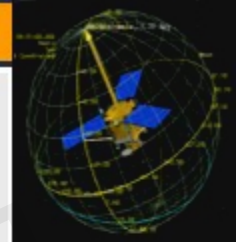
Άρα η ισχύς η οποία λαμβάνεται από το δορυφόρο P_R :

$$P_R = P_T G_T \left(\frac{1}{L_{FS}} \right) G_R \Rightarrow$$

$$P_R = EIRP \left(\frac{1}{L_{FS}} \right) G_R \Rightarrow$$

$$P_R = 73.1 - 207.4 + 38.2 \Rightarrow$$

$$P_R = -96.1 \text{ dBW}$$

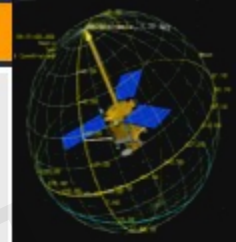


Satellite Links

Design of the Satellite Link

Παράδειγμα 3: To downlink

Θεωρείστε την κεραία εκπομπής ενός γεωστατικού δορυφόρου, η οποία τροφοδοτείται με μια ισχύ P_T ίση με 10 W , σε μια συχνότητα $f_D = 12$ GHz, και ακτινοβολεί αυτή την ισχύ σε μια δέσμη με εύρος $\theta_{3dB} = 2^\circ$. Ένας επίγειος σταθμός, που είναι εφοδιασμένος με κεραία διαμέτρου 4 m βρίσκεται επί του άξονα της κεραίας του δορυφόρου σε απόσταση 40000 km από το δορυφόρο. Η απόδοση της δορυφορικής κεραίας υποτίθεται ότι είναι $\eta = 0.55$ και εκείνη της κεραίας του επίγειου σταθμού είναι $\eta = 0.6$. Θα υπολογιστεί η πυκνότητα ροής ισχύος στον επίγειο σταθμό και η ισχύς η οποία λαμβάνεται από αυτόν.



Satellite Links

Design of the Satellite Link

Παράδειγμα 3: To downlink

Λύση:

Πυκνότητα ροής ισχύος στον επίγειο σταθμό:

$$\Phi = P_T G_{T_{\max}} / 4\pi R^2 \text{ (W /m}^2\text{)}$$

G_T =Απολαβή Καθοδήγησης Κεραίας Εκπομπής

P_T =Ολική Ακτινοβολούμενη Ισχύς

Η κεραία του δορυφόρου τροφοδοτείται με μια ισχύ $P_T = 10 \text{ W}$.

Άρα η Ολική Ακτινοβολούμενη Ισχύς:

$$P_T \text{ (dB)} = 10\log(P_T) = 10\log(10\text{Watt}) = 2 \text{ dBW.}$$



Satellite Links

Design of the Satellite Link

ΛΥΣΗ

Η Απολαβή Καθοδήγησης Κεραίας Λήψης G_R είναι ίση με την Απολαβή Καθοδήγησης Κεραίας εκπομπής G_T του δορυφόρου:

$$G_{T_{\max}} = \eta \left(\frac{\pi D f}{c} \right)^2$$

Όπου για Μη-Ομοιόμορφη Πρόσπτωση:

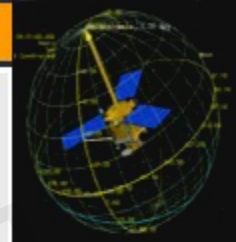
$$\theta_{3dB} = 70 \frac{\lambda}{D} = 70 \frac{c}{f \cdot D} \quad (\mu\text{οίρες}) \Rightarrow$$

$$\frac{D}{\lambda} = \frac{Df}{c} = \frac{70}{\theta_{3dB}}$$

Άρα:

$$G_{T_{\max}} = \eta \left(\pi \frac{70}{\theta_{3dB}} \right)^2 \Rightarrow G_{T_{\max}} = \eta \left(\pi \frac{70}{\theta_{3dB}} \right)^2 \Rightarrow G_{T_{\max}} = 0.55 \left(\pi \frac{70}{2^\circ} \right)^2 \Rightarrow$$

$$G_{T_{\max}} = 6650 \Rightarrow G_{T_{\max}} = 38.2 \text{ dB}$$



Satellite Links

Design of the Satellite Link

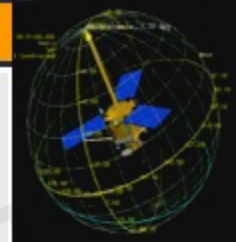
ΛΥΣΗ

Η ενεργός ιστροπική ακτινοβολούμενη ισχύς (EIRP) του **δορυφορικού σταθμού** δίνεται από τη σχέση:

$$EIRP = P_T G_{Tmax} \Rightarrow$$

$$EIRP = 10 \text{ dBW} + 38.2 \text{ dBi} \Rightarrow$$

$$EIRP = 48.2 \text{ dBW}$$



Satellite Links

Design of the Satellite Link

ΛΥΣΗ

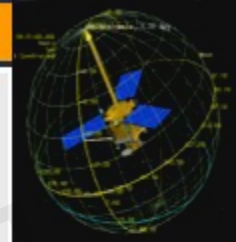
Η πυκνότητα ροής ισχύος Φ δίνεται από τη σχέση :

$$\Phi = P_T G_{T_{\max}} / 4\pi R^2 \text{ (W /m}^2\text{)} \Rightarrow$$

$$\Phi = 48.2 \text{ dBW} - 10\log(4\pi(4 \times 10^7)^2) \Rightarrow$$

$$\Phi = 48.2 - 163 \Rightarrow$$

$$\Phi = -114.8 \text{ (dBW/m}^2\text{)}$$



Satellite Links

Design of the Satellite Link

ΛΥΣΗ

(β) Η ισχύς η οποία λαμβάνεται από την κεραία του επίγειου σταθμού P_R :

$$P_R = \Phi A_{\text{Reff}} = \left(\frac{P_T G_T}{\pi R^2} \right) A_{\text{Reff}} = \left(\frac{P_T G_T}{\pi R^2} \right) \left(\frac{G_R}{\left(\frac{4\pi}{\lambda^2} \right)} \right) = \dots = P_T G_T \left(\frac{1}{L_{FS}} \right) G_R$$

Όπου:

G_T = Απολαβή Καθοδήγησης Κεραίας Εκπομπής

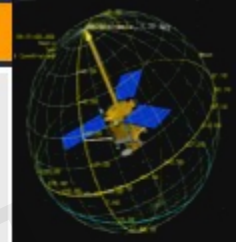
P_T = Ολική Ακτινοβολούμενη Ισχύς

G_R = Απολαβή Καθοδήγησης Κεραίας Λήψης

L_{FS} = Απώλεια Ελευθέρου Χώρου

$$L_{FS} = \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2$$

$$G_{R\text{max}} = \eta \left(\frac{\pi D f}{c} \right)^2$$



Satellite Links

Design of the Satellite Link

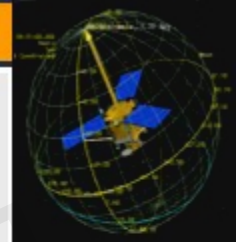
ΛΥΣΗ

Η Απώλεια Ελευθέρου Χώρου L_{FS} είναι:

$$L_{FS} = \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2 \Rightarrow$$

$$L_{FS} = \left(\frac{4\pi R f_{downlink}}{c} \right)^2 \Rightarrow$$

$$L_{FS} = 206.1 dB$$



Satellite Links

Design of the Satellite Link

ΛΥΣΗ

Η Απολαβή της κεραίας του επίγειου σταθμού δίνεται από την Εξ.

$$G_{\max} = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{\text{eff}} = \dots = \eta \left(\frac{\pi D f}{c} \right)^2$$

Άρα:

$$G_{R\max} = \eta \left(\frac{\pi D f}{c} \right)^2 \Rightarrow$$

$$G_{R\max} = 0.6(\pi \cdot 4 \cdot 12 \cdot 10^9 / 3 \cdot 10^8)^2 \Rightarrow$$

$$G_{R\max} = \dots \Rightarrow$$

$$G_{R\max} = 51.8 \text{ dBi}$$



Satellite Links

Design of the Satellite Link

ΛΥΣΗ

Άρα η ισχύς η οποία λαμβάνεται από τον επίγειο σταθμό P_R :

$$P_R = P_T G_T \left(\frac{1}{L_{FS}} \right) G_R \Rightarrow$$

$$P_R = EIRP \left(\frac{1}{L_{FS}} \right) G_R \Rightarrow$$

$$P_R = 48.2 - 206.1 + 51.8 \Rightarrow$$

$$P_R = -106.1 \text{ dBW}$$