Ασύρματες Ζεύξεις 1

$$a = 3,\ b = 0$$

Άσκηση 1

In [ ]:
```
%matplotlib inline
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import math
class color:
   BOLD = '\033[1m'
   END = '\033[0m'
```

$$f = 10^{a+2} = 10^{3+2} = 10^5\ (Hz) = 100\ (kHz)$$
$$E_x = 0.5(b+1) = 0.5(0+1) = 0.5\ (\frac{V}{m})$$

In [ ]:
```
c_0 = 299792458
μ_0 = 4*np.pi*10**(-7)
ε_0 = 8.854*10**(-12)
μ_r = 1
ε_r = 4
f = 10**5
E_x = 0.5
```

$$\alpha)\ \Phi\alpha\sigma\iota\kappa\acute{\eta}\ \tau\alpha\chi\acute{\upsilon}\tau\eta\tau\alpha\ (\frac{m}{s}):$$
$$v_p = \frac{\omega}{\beta} = \frac{\omega}{\omega\sqrt{\mu\varepsilon}} = \frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}}$$
$$\mu = \mu_r\mu_0,\ \varepsilon = \varepsilon_r\varepsilon_0$$
$$A\varphi o\acute{\upsilon}\ \tau o\ \kappa\acute{\upsilon}\mu\alpha\ \delta\iota\alpha\delta\acute{\iota}\delta\varepsilon\tau\alpha\iota\ \sigma\tau o\nu\ \varepsilon\lambda\acute{\varepsilon}\upsilon\theta\varepsilon\rho o\ \chi\acute{\omega}\rho o,\ \mu_r = 1\ \kappa\alpha\iota\ \varepsilon_r = 1:$$
$$v_p = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}} = \frac{1}{\sqrt{4\pi 10^{-7}\cdot 8,854\cdot 10^{-12}}} \approx c_0$$

In [ ]:
```
v_p1 = 1/np.sqrt(μ_0*ε_0)
print (color.BOLD + 'v_p1 =', '%.2f' % v_p1, 'm/s' + color.END)
```

v_p1 = 299795637.69 m/s

$v_p = 299795637.69\ \frac{m}{s}$

$$\Phi\alpha\sigma\iota\kappa\acute{\eta}\ \tau\alpha\chi\acute{\upsilon}\tau\eta\tau\alpha\ (\frac{m}{s}),$$
$$\gamma\iota\alpha\ \varepsilon_r = 4\ \kappa\alpha\iota\ \mu_r = 1:$$
$$v_p' = \frac{1}{\sqrt{\mu_r\mu_0\varepsilon_r\varepsilon_0}} = \frac{1}{\sqrt{1\cdot 4\pi 10^{-7}\cdot 4\cdot 8,854\cdot 10^{-12}}}$$

In [ ]:
```
v_p2 = 1/np.sqrt(μ_r*μ_0*ε_r*ε_0)
print (color.BOLD + 'v_p2 =', '%.2f' % v_p2, 'm/s' + color.END)
```

v_p2 = 149897818.85 m/s

$v_p' = 149897818.85\ \frac{m}{s}$

$$M\acute{\eta}\kappa o\varsigma\ \kappa\acute{\upsilon}\mu\alpha\tau o\varsigma\ (m):$$
$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} = \frac{2\pi}{\omega\sqrt{\mu\varepsilon}} = \frac{2\pi}{2\pi f\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}} = \frac{1}{f\sqrt{\mu\varepsilon}} = \frac{1}{f\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}} \approx \frac{c_0}{f}$$

In [ ]:
```
λ1 = 1/(f*np.sqrt(μ_0*ε_0))
print (color.BOLD + 'λ1 =', '%.2f' % λ1, 'm', '=', '%.3f' % (λ1/10**3), 'km' + color.END)
```

λ1 = 2997.96 m = 2.998 km

$\lambda = 2.998\ km$

$$M\acute{\eta}\kappa o\varsigma\ \kappa\acute{\upsilon}\mu\alpha\tau o\varsigma\ (m),$$
$$\gamma\iota\alpha\ \varepsilon_r = 4\ \kappa\alpha\iota\ \mu_r = 1:$$
$$\lambda' = \frac{1}{f\sqrt{\mu_r\mu_0\varepsilon_r\varepsilon_0}}$$

In [ ]:
```
λ2 = 1/(f*np.sqrt(μ_r*μ_0*ε_r*ε_0))
print (color.BOLD + 'λ2 =', '%.2f' % λ2, 'm', '=', '%.3f' % (λ2/10**3), 'km' + color.END)
```

λ2 = 1498.98 m = 1.499 km

$\lambda' = 1.499\ km$

$$\Sigma\tau\alpha\theta\varepsilon\rho\acute{\alpha}\ \delta\iota\acute{\alpha}\delta o\sigma\eta\varsigma\ (\frac{rad}{m}):$$
$$\beta = \omega\sqrt{\mu\varepsilon} = 2\pi f\sqrt{\mu\varepsilon} = 2\pi f\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}$$

In [ ]:
```
β1 = 2*np.pi*f*np.sqrt(μ_0*ε_0)
print (color.BOLD + 'β1 =', '%.6f' % β1, 'rad/m' + color.END)
```

β1 = 0.002096 rad/m

$\beta = 0.002096\ \frac{rad}{m}$

$$\Sigma\tau\alpha\theta\varepsilon\rho\acute{\alpha}\ \delta\iota\acute{\alpha}\delta o\sigma\eta\varsigma\ (\frac{rad}{m}),$$
$$\gamma\iota\alpha\ \varepsilon_r = 4\ \kappa\alpha\iota\ \mu_r = 1:$$
$$\beta' = 2\pi f\sqrt{\mu_r\mu_0\varepsilon_r\varepsilon_0}$$

In [ ]:
```
β2 = 2*np.pi*f*np.sqrt(μ_r*μ_0*ε_r*ε_0)
print (color.BOLD + 'β2 =', '%.6f' % β2, 'rad/m' + color.END)
```

β2 = 0.004192 rad/m

$\beta' = 0.004192\ \frac{rad}{m}$

$$\beta)\ \text{Χαρακτηριστική αντίσταση μέσου διάδοσης } (\Omega):$$
$$Z_w = \sqrt{\frac{i\omega\mu}{\sigma + i\omega\varepsilon}} = \sqrt{\frac{i\omega\mu}{i\omega\varepsilon}} = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = \eta_0$$

In [ ]:
```
Z_w1 = np.sqrt(μ_0/ε_0)
print (color.BOLD + 'Z_w1 =', '%.1f' % Z_w1, 'Ω' + color.END)
```

Z_w1 = 376.7 Ω

$Z_w = 376.7\,\Omega$

$$\text{Χαρακτηριστική αντίσταση μέσου διάδοσης } (\Omega),$$
$$\text{για } \varepsilon_r = 4 \text{ και } \mu_r = 1:$$
$$Z'_w = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} = \sqrt{\frac{\mu_r\mu_0}{\varepsilon_r\varepsilon_0}} = \eta$$

In [ ]:
```
Z_w2 = np.sqrt((μ_r*μ_0)/(ε_r*ε_0))
print (color.BOLD + 'Z_w2 =', '%.1f' % Z_w2, 'Ω' + color.END)
```

Z_w2 = 188.4 Ω

$Z'_w = 188.4\,\Omega$

$$\gamma)\ \text{Πλάτος μαγνητικού πεδίου } (\frac{A}{m}):$$
$$\tilde{E} = \mid E_x \mid e^{-i\beta z}\hat{x}, \text{ στο πεδίο των συχνοτήτων}$$
$$\nabla \times \tilde{\mathrm{E}} = -i\omega\mu\tilde{H} \ \Rightarrow\ \tilde{H} = -\frac{\nabla \times \tilde{\mathrm{E}}}{i\omega\mu}$$
$$\nabla \times \tilde{\mathrm{E}} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ \tilde{E}_x & \tilde{E}_y & \tilde{E}_z \end{vmatrix} = (\frac{\partial \tilde{E}_z}{\partial y} - \frac{\partial \tilde{E}_y}{\partial z}) \cdot \hat{x} - (\frac{\partial \tilde{E}_z}{\partial x} - \frac{\partial \tilde{E}_x}{\partial z}) \cdot \hat{y} + (\frac{\partial \tilde{E}_y}{\partial x} - \frac{\partial \tilde{E}_x}{\partial y}) \cdot \hat{z} =$$
$$-(-\frac{\partial \tilde{E}_x}{\partial z}) \cdot \hat{y} = -i\beta \mid E_x \mid e^{-i\beta z} \cdot \hat{y} \Rightarrow$$
$$\tilde{H} = -\frac{-i\beta \mid E_x \mid e^{-i\beta z}}{i\omega\mu} \cdot \hat{y} = \frac{i\omega\sqrt{\mu\varepsilon} \mid E_x \mid e^{-i\beta z}}{i\omega\mu} \cdot \hat{y} = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} \mid E_x \mid e^{-i\beta z} \cdot \hat{y} = \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}} \mid E_x \mid e^{-i\beta z} \cdot \hat{y}$$
$$\mid \tilde{H} \mid = \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}} \mid E_x \mid = \frac{|E_x|}{\eta_0}$$

In [ ]:
```
H_nab1 = np.sqrt(ε_0/μ_0)*E_x
print (color.BOLD + 'H_nab1 =', '%.5f' % H_nab1, 'A/m', '=', '%.2f' % (H_nab1*1000),'mA/m' + color.END)
```

H_nab1 = 0.00133 A/m = 1.33 mA/m

$|\tilde{H} \mid = 1.33\ \frac{mA}{m}$

$$\text{Πλάτος μαγνητικού πεδίου } (\frac{A}{m}),$$
$$\text{για } \varepsilon_r = 4 \text{ και } \mu_r = 1:$$
$$\mid \tilde{H}' \mid = \sqrt{\frac{\varepsilon_r\varepsilon_0}{\mu_r\mu_0}} \mid E_x \mid = \frac{|E_x|}{\eta}$$

In [ ]:
```
H_nab2 = np.sqrt((ε_r*ε_0)/(μ_r*μ_0))*E_x
print (color.BOLD + 'H_nab2 =', '%.5f' % H_nab2, 'A/m', '=', '%.2f' % (H_nab2*1000),'mA/m' + color.END)
```

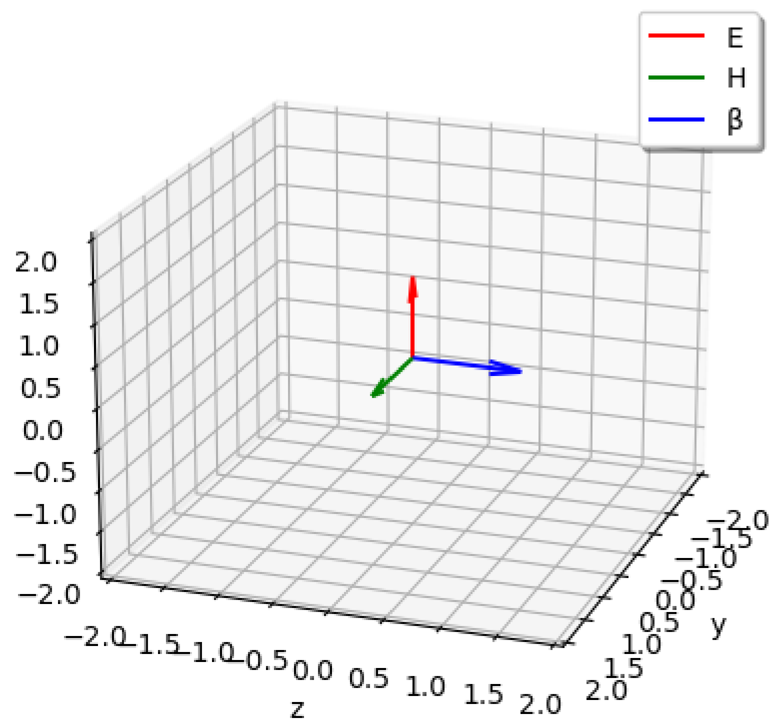
H_nab2 = 0.00265 A/m = 2.65 mA/m

$|\tilde{H}' \mid = 2.65\ mA/m$

$$\delta)\ \text{Πόλωση κύματος}:$$
$$\text{Η σταθερά διάδοσης } \vec{\beta} \text{ έχει κατεύθυνση τον άξονα } z\ (e^{-i\beta z}),$$
$$\text{η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου } \vec{\tilde{E}} \text{ έχει κατεύθυνση τον άξονα } x \text{ (από την εκφώνηση)}$$
$$\text{και η ένταση του μαγνητικού πεδίου } \vec{\tilde{H}} \text{ έχει κατεύθυνση τον άξονα } y.$$

In [ ]:
```
β = [0, 0, 1]
E = [1, 0, 0]
H = [0, 1, 0]
```

In [ ]:
```
fig = plt.figure()
ax = plt.axes(projection = '3d')
ax.set_xlim([-2, 2])
ax.set_ylim([-2, 2])
ax.set_zlim([-2, 2])
start = [0, 0, 0]
ax.quiver(start[0], start[1], start[2], β[0], β[1], β[2], color = 'r', label = "E")
ax.quiver(start[0], start[1], start[2], E[0], E[1], E[2], color = 'g', label = "H")
ax.quiver(start[0], start[1], start[2], H[0], H[1], H[2], color = 'b', label = "β")
ax.set_xlabel('y')
ax.set_ylabel('z')
ax.set_zlabel('x')
ax.view_init(20, 20)
plt.legend(loc = "best", shadow = True)
#plt.axis('off')
plt.show()
```



$$\varepsilon) \text{ Μία κεραία πρέπει να έχει πόλωση ίδια με αυτή του εκάστοτε προς εξέταση Η/Μ κύματος,}$$
$$\text{ώστε να μπορεί να το ανιχνεύσει ή να το μεταδόσει.}$$
$$\text{Το μήκος της πρέπει επίσης να είναι ίδιο με το μήκος κύματος του σήματος}$$
$$\text{που επιθυμούμε να λάβει ή να αποστείλει.}$$

$$\sigma\tau) \text{ Με συχνότητα } f = 100kHz, \text{ το Η/Μ κύμα που εξετάζουμε βρίσκεται στην περιοχή των χαμηλών συχνοτήτων } (Low\ Frequency,\ LF),$$
$$\text{οπότε αναφερόμαστε σε κύμα επιφανειακής ή ιονοσφαιρικής μετάδοσης.}$$
$$\text{Θα το χρησιμοποιούσαμε για μεταδόσεις χαμηλών απαιτήσεων (σε σχέση με το εύρος ζώνης) σε πολύ μεγάλες αποστάσεις,}$$
$$\text{καθώς τα σήματα χαμηλών συχνοτήτων αλληλεπιδρούν πολύ λιγότερο με μέσο διάδοσής τους,}$$
$$\text{έχουν δηλαδή λιγότερες απώλειες, σε σχέση με σήματα υψηλότερων συχνοτήτων και}$$
$$\text{μπορούμε να τα τροφοδοτήσουμε με πολύ μεγάλη ισχύ.}$$
$$\text{Θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για παράδειγμα σε ραδιοφωνικές μεταδόσεις χαμηλής ποιότητας}$$
$$\text{πολύ μεγάλων αποστάσεων ή παλαιότερα σε επικοινωνίες και πλοήγηση πλοίων.}$$

Άσκηση 2

$$\text{Εγκάρσια διατομή δορυφόρου}: \ A_{R\delta} = (5+a) = (5+3) = 8\ (m^2)$$
$$\text{Κέρδος κεραίας εκπομπής}: G_T = 20b = 20 \cdot 0 = 0\ (dB)$$
$$\text{Κέρδος κεραίας λήψεως}: G_R = 2(a+1) = 2(3+1) = 2 \cdot 4 = 8\ (dB)$$
$$x_{dB} = 10log(x_W) \Rightarrow x_W = 10^{\frac{x_{dB}}{10}}$$
$$\text{Συχνότητα λειτουργίας}: f = 5\ (GHz)$$
$$\text{εταδιδόμενη ισχύς}: \ W_T = \frac{100}{b+1} = \frac{100}{0+1} = 100\ (kW)$$
$$\text{Θερμοκρασία κεραίας λήψεως}: \ T_R = 25\ (\mathrm{K})$$
$$\text{Απόσταση κεραίας εκπομπής από το δέκτη}: \ d_1 = 2000 + 10a = 2000 + 10 \cdot 3 = 2030\ (m)$$
$$\text{Απόσταση κεραίας λήψεως από το δέκτη}: \ d_2 = 200 + 1000b = 200 + 1000 \cdot 0 = 200\ (m)$$

$$\text{Εύρος ζώνης δέκτη}: BW_R = a + 1 = 3 + 1 = 4\ (kHz)$$

$$\alpha) \text{ Λόγος σήματος προς θόρυβο στην έξοδο της κεραίας δέκτη}: \ SNR_R = \frac{S}{N} = \frac{W_R}{N}$$
$$\text{Εξίσωση } Friis \text{ για κεραία εκπομπής και παθητικό δορυφόρο}: \ W_{R\delta} = A_{R\delta}\frac{W_T G_T}{4\pi {d_1}^2}$$
$$\text{Για παθητικό δορυφόρο και κεραία λήψης}: \ W_R = A_R \frac{W_{T\delta} G_{T\delta}}{4\pi {d_2}^2}$$
$$G_{T,R} = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{T,R} \Rightarrow G_{R\delta} = G_{T\delta} = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{R\delta} \Rightarrow A_{R\delta} = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_R$$
$$W_R = W_{T\delta}\frac{G_{T\delta}}{4\pi {d_2}^2} A_{R\delta} = \frac{W_T G_T}{4\pi {d_1}^2} A_{R\delta} \cdot \frac{\frac{4\pi}{\lambda^2} A_{R\delta}}{4\pi {d_2}^2} \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} G_R = \frac{W_T G_T G_R {A_{R\delta}}^2}{(4\pi)^2 (d_1 d_2)^2},$$
$$N = k_B T_R BW_R, \text{ σταθερά } Boltzmann: \ k_B = 1.380649 \cdot 10^{-23}\ (\frac{m^2 kg}{s^2 K})$$

In [ ]:
```
σ = A_Rδ = 8
# log(1) = 0
G_T_dB = 0
G_T = 10**((G_T_dB)/10)
# G_R_dB = 10log(G_R)
G_R_dB = 8
G_R = 10**((G_R_dB)/10)
# λ = 2π/β
f = 5*10**9
λ = 1/(np.sqrt(μ_0*ε_0)*f)
W_T = 100*10**3
T_R = 25
d_1 = 2030
d_2 = 200
BW_R = 4*10**3
k_B = 1.380649*10**(-23)
print (color.BOLD + 'G_R =', '%.2f' % (G_R) + color.END)
print (color.BOLD + 'G_T =', '%.0f' % (G_T) + color.END)
print (color.BOLD + 'λ =', '%.5f' % λ, 'm', '=', '%.2f' % (λ*10**3),'mm' + color.END)
```

G_R = 6.31
G_T = 1
λ = 0.05996 m = 59.96 mm

$G_R = 6.31$
$G_T = 1$
$\lambda = 59.96\ mm$

In [ ]:
```
W_R = (W_T*G_T*G_R*A_Rδ**2)/((4*np.pi)**2*(d_1*d_2)**2)
print (color.BOLD + 'W_R =', W_R, 'W', '=', '%.2f' % (W_R*10**6),'μW' + color.END)
W_R_dB = 10*math.log10(W_R)
print (color.BOLD + 'W_R_dB =', '%.2f' % W_R_dB, 'dB' + color.END)
```

W_R = 1.5513442444747373e-06 W = 1.55 μW
W_R_dB = -58.09 dB

$W_R = 1.55\ \mu W$
$W_{R_{dB}} = -58.09\ dB$

In [ ]:
```
N = k_B*T_R*BW_R
print (color.BOLD + 'N =', N, 'W', '=', '%.2f' % (N*10**18),'aW' + color.END)
N_dB = 10*math.log10(N)
print (color.BOLD + 'N_dB =', '%.2f' % N_dB, 'dB' + color.END)
```

N = 1.3806490000000001e-18 W = 1.38 aW
N_dB = -178.60 dB

$N = 1.38\ aW$
$N_{dB} = -178.60\ dB$

In [ ]:
```
SNR_R_dB = W_R_dB - N_dB
print (color.BOLD + 'SNR_R_dB =', '%.2f' % SNR_R_dB, 'dB' + color.END)
SNR_R = 10**((SNR_R_dB)/10)
print (color.BOLD + 'SNR_R =', '%.2f' % (SNR_R/10**12), 'e12' + color.END)
```

SNR_R_dB = 120.51 dB
SNR_R = 1.12 e12

$SNR_{R_{dB}} = 120.51\ dB$
$SNR_R = 1.12 \cdot 10^{12}$

$$??? \; W_R = W_T \frac{G_T G_R \sigma \lambda^2}{(4\pi)^2 {d_1}^2 {d_2}^2} \; ???$$

$$Ισχύει \; ο \; τύπος \; Radar \; που \; αντιστοιχεί \; σε \; τηλεπικοινωνιακό \; σύστημα \; στη \; συγκεκριμένη \; περίπτωση;$$

```
#W_R = (W_T*G_T*G_R*σ*λ**2)/((4*np.pi)**2*d_1**2*d_2**2)
#print (W_R)
#SNR_R = W_R/N
#print (SNR_R)
#SNR_R_dB = 10*math.log10(SNR_R)
#print ('SNR_R_dB =', '%.2f' % SNR_R_dB, 'dB')
```

$$β) \; Σε \; ποιά \; απόσταση \; d_2' \; πρέπει \; να \; τοποθετηθεί \; ο \; δέκτης \; ώστε \; να \; επιτευχθεί: \; SNR_R' = 2SNR_R \; ;$$

$$W_R' = \frac{W_T G_T G_R {A_{R\delta}}^2}{(4\pi)^2 (d_1 d_2')^2} \Rightarrow d_2' = \sqrt{\frac{W_T G_T G_R {A_{R\delta}}^2}{(4\pi)^2 {d_1}^2 W_R'}}$$

$$W_R' = SNR_R' \cdot N \Rightarrow d_2' = \sqrt{\frac{W_T G_T G_R {A_{R\delta}}^2}{(4\pi)^2 {d_1}^2 SNR_R' \cdot N}}$$

```
SNR_R_dB2 = 2*SNR_R_dB
SNR_R2 = 10**(SNR_R_dB2/10)
print (color.BOLD + 'SNR_R_dB2 =', '%.2f' % SNR_R_dB2, 'dB' + color.END)
print (color.BOLD + 'SNR_R2 =', '%.2f' % (SNR_R2/10**24), 'e24' + color.END)
```

SNR_R_dB2 = 241.01 dB
SNR_R2 = 1.26 e24

$SNR_{R_{dB}2} = 241.01 \; dB$

$SNR_{R2} = 1.26 \cdot 10^{24}$

```
d_22 = np.sqrt((W_T*G_T*G_R*A_Rδ**2)/(((4*np.pi)**2)*d_1**2*SNR_R2*N))
print (color.BOLD + 'd_22 =', '%.2f' % (d_22*10**6), 'μm' + color.END)
```

d_22 = 188.68 μm

$d_2' = 188.68 \; \mu m$

$$Η \; κεραία \; δέκτη \; πρέπει \; να \; τοποθετηθεί \; στα \; 188.68 \; \mu m.$$
$$Η \; απόσταση \; είναι \; τόσο \; μικρή, \; που \; θεωρούμε \; το \; αποτέλεσμα \; μη \; αποδεκτό.$$
$$Θα \; ήταν \; πιο \; συνετό \; να \; χρησιμοποιήσουμε \; ενσύρματη \; ζεύξη, \; παρά \; ασύρματη.$$

$$γ) \; Ποιά \; θα \; πρέπει \; να \; είναι \; η \; ελάχιστη \; εκπεμπόμενη \; ισχύς \; W_T' \; ώστε \; να \; λάβει \; ο \; δέκτης \; SNR_R'' = \frac{1}{2} \cdot SNR_R \; ;$$

$$W_R'' = \frac{W_T' G_T G_R {A_{R\delta}}^2}{(4\pi)^2 (d_1 d_2')^2} \Rightarrow W_{T'min}' = \frac{W_R'' (4\pi)^2 (d_1 d_2')^2}{G_T G_R {A_{R\delta}}^2}$$

$$W_R'' = SNR_R'' \cdot N \Rightarrow W_{T'min}' = \frac{SNR_R'' \cdot N (4\pi)^2 (d_1 d_2')^2}{G_T G_R {A_{R\delta}}^2}$$

```
SNR_R_dB3 = SNR_R_dB/2
SNR_R3 = 10**(SNR_R_dB3/10)
print (color.BOLD + 'SNR_R_dB3 =', '%.2f' % SNR_R_dB3, 'dB' + color.END)
print (color.BOLD + 'SNR_R3 =', '%.2f' % (SNR_R3/10**6), 'e6' + color.END)
```

SNR_R_dB3 = 60.25 dB
SNR_R3 = 1.06 e6

$SNR''_{R_{dB}} = 60.25 \; dB$

$SNR''_R = 1.06 \cdot 10^6$

```
W_T2min = (SNR_R3*N*(4*np.pi)**2*(d_1*d_22)**2)/(G_T*G_R*A_Rδ**2)
print (color.BOLD + 'W_T2min =', '%.2f' % (W_T2min*10**15), 'fW' + color.END)
W_T2min_dB = 10*math.log10(W_T2min)
print (color.BOLD + 'W_T2min_dB =', '%.2f' % W_T2min_dB, 'dB' + color.END)
```

W_T2min = 83.96 fW
W_T2min_dB = -130.76 dB

$W'_{Tmin} = 83.96 \; fW$

$W'_{Tmin_{dB}} = -130.76 \; dB$

$$Ελάχιστη \; εκπεμπόμενη \; ισχύς \; 84 \; fW.$$

Άσκηση 3

$$Radar: \; f = 3GHz, \; W_T = 2.1kW, \; G_T = 35dB$$

$$Ποιά \; θα \; πρέπει \; να \; είναι \; η \; ευαισθησία \; του \; Radar \; ώστε \; να \; μπορεί \; να \; ανιχνεύει \; αεροσκάφη \; με \; ισοδύναμη \; επιφάνεια \; \sigma = 40,$$
$$σε \; απόσταση \; μέχρι \; και \; d_{max} = 60μίλια;$$

$$W_{Rαεροσκάφους} = \sigma \Phi(d_1) = \sigma \frac{W_{TRadar} G_{TRadar}}{4\pi {d_1}^2} = W_{TRadar} \frac{A_{TRadar}\sigma}{\lambda {d_1}^2}, \; G_{T,R} = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{T,R}$$

$$W_{RRadar} = \frac{W_{TRadar} G_{TRadar} \sigma}{(4\pi)^2 (d_1 d_2)^2} A_{RRadar} \Rightarrow W_{TRadar} \frac{G_{TRadar} G_{RRadar} \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 (d_1 d_2)^2} =$$

$$W_{TRadar} \frac{G^2 \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 d^4}, \; d_1 = d_2, \; G_{TRadar} = G_{RRadar}$$

$$W_{R,min} = W_T \frac{G^2 \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 {d_{max}}^4}$$

```
f = 3*10**9
λ = 1/(np.sqrt(μ_0*ε_0)*f)
print (color.BOLD + 'λ =', '%.2f' % (λ*10**3) , 'mm' + color.END)
W_T = 2.1*10**3
G_T_dB = 35
G_T = 10**(G_T_dB/10)
print (color.BOLD + 'G_T =', '%.3f' % G_T , 'W' + color.END)
σ = 40
d_max = 60*1.609344*10**3
print (color.BOLD + 'd_max =', '%.0f' % d_max, 'm' + color.END)
```

λ = 99.93 mm
G_T = 3162.278 W
d_max = 96561 m

$\lambda = 99.93\ mm$
$G_T = 3162.278\ W$
$d_{max} = 96561\ m$

In [ ]:
```
W_Rmin = (W_T*G_T**2*σ*λ**2)/((4*np.pi)**3*(d_max)**4)
print (color.BOLD + 'W_Rmin =', '%.2f' % (W_Rmin*10**15), 'fW' + color.END)
W_Rmin_dBm = 10*math.log10(1000*W_Rmin)
print (color.BOLD + 'W_Rmin_dBm =', '%.2f' % W_Rmin_dBm, 'dBm' + color.END)
```

W_Rmin = 48.62 fW
W_Rmin_dBm = -103.13 dBm

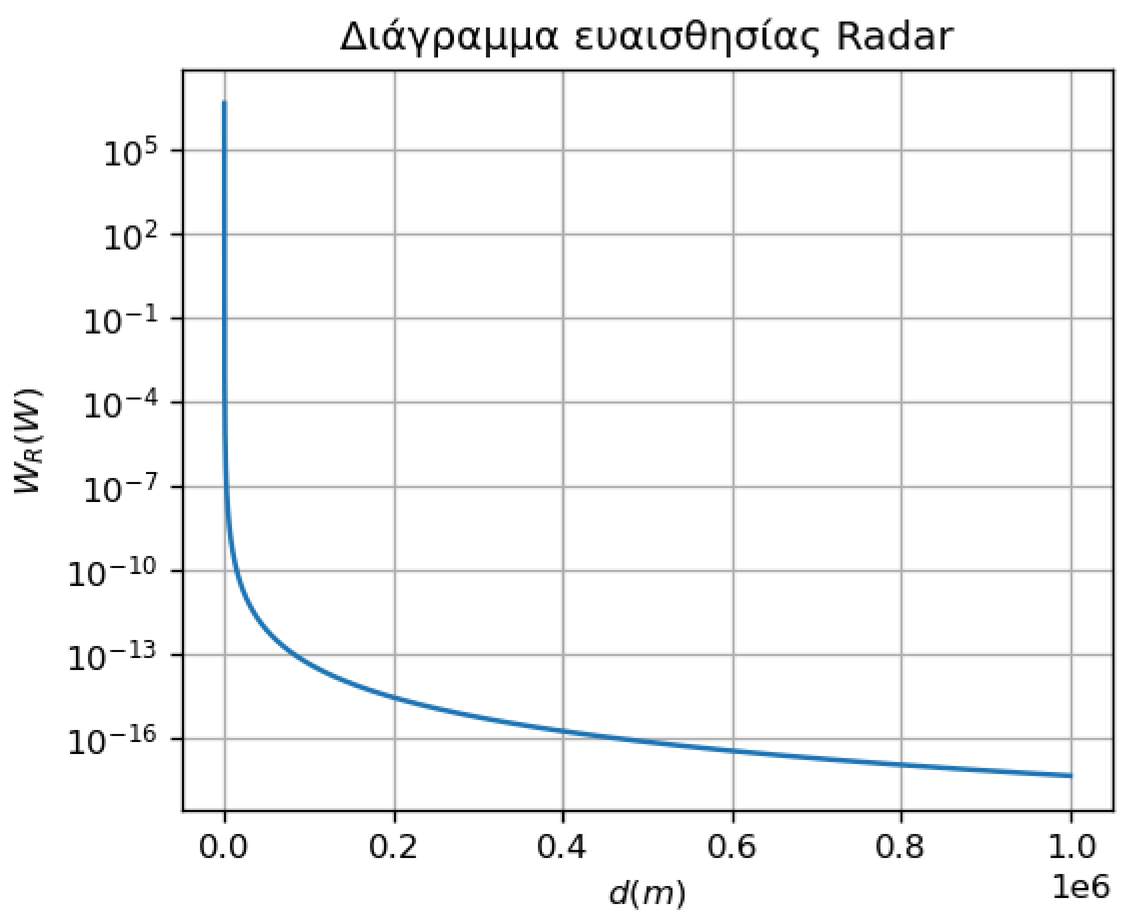
$W_{Rmin} = 48.62\ fW$
$W_{Rmin_{dBm}} = -103.13\ dBm$

In [ ]:
```
d = np.linspace (1, 10**6, 10**5)
W_R = (W_T*G_T**2*σ*λ**2)/((4*np.pi)**3*(d**4))
print (d)
print (W_R)
```

```
[1.000000e+00 1.100009e+01 2.100018e+01 ... 9.999800e+05 9.999900e+05
 1.000000e+06]
[4.22724874e+06 2.88717327e+02 2.17353047e+01 ... 4.22758694e-18
 4.22741783e-18 4.22724874e-18]
```

In [ ]:
```
fig = plt.figure(figsize=(5, 4), dpi=120)
plt.plot(d, np.full_like(d, W_R))
plt.yscale('log')
plt.grid()
plt.xlabel ('$d(m)$')
plt.ylabel ('$W_R(W)$')
plt.title ('Διάγραμμα ευαισθησίας Radar')
```

Out[ ]: Text(0.5, 1.0, 'Διάγραμμα ευαισθησίας Radar')



$$W_{R,min} = -100(dBm)$$

$$W_{R,min} = W_T \frac{G^2\sigma\lambda^2}{(4\pi)^3 {d_{max}}^4} \Rightarrow d_{max} = \sqrt[4]{\frac{W_T G^2 \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 W_{R,min}}}$$

In [ ]:
```
W_Rmin_dBm = -100
W_Rmin = 10**((W_Rmin_dBm-30)/10)
d_max = ((W_T*G_T**2*σ*λ**2)/((4*np.pi)**3*W_Rmin))**(1/4)
print (color.BOLD + 'W_Rmin =', W_Rmin, 'W', '=', W_Rmin*10**15, 'fW' + color.END)
print (color.BOLD + 'd_max =', '%.0f' % d_max, 'm' , '=', '%.2f' % (d_max/10**3), 'km' + color.END)
```

W_Rmin = 1e-13 W = 100.0 fW
d_max = 80633 m = 80.63 km

$W_{Rmin} = 100.0\ fW$
$d_{max} = 80.63\ km$