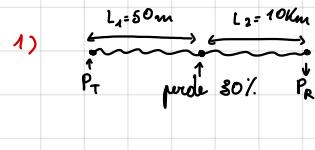


28/03/20



$$\alpha_1 = 0,1 \text{ Np/m}$$

$$\alpha_2 = 2 \text{ dB/Km}$$

$$P_{R,\min} = -65 \text{ dBm}$$

Quale è la minima P_T trasmessa se il ricevitore ha una sensibilità di -65 dBm

Caso 1: $\text{loss} = \alpha_1 L_1 = 5 \text{ Np} \rightarrow \text{loss}_{DB} = \text{loss} \cdot 2,686 = 43,4 \text{ dB}$

Caso 2: $\text{loss}_{DB} = \alpha_2 L_2 = 20 \text{ dB}$

Giunto: $\text{loss}_{DB} = -10 \log(0,7) = 1,55 \text{ dB}$

$$\text{loss}_{tot} = 43,4 + 20 + 1,55 = 65 \text{ dB}$$

$$P_{R,DB} = P_{T,DB} - \text{loss}_{tot} \rightarrow -65 = P_{T,DB} - 65 = 0 \text{ dBm} = 1 \text{ mW}$$

2)
$$H(f) = \frac{V_{out}(f)}{V_{in}(f)} = e^{-\alpha L} e^{-j\beta L}$$

$$\alpha = 0,015 \text{ Np/Km}$$

$$\beta = \frac{2\pi f}{c} n \text{ rad/m } (n = \sqrt{\epsilon_r} \geq 1)$$

↳ costante di fase

$$n = 1,45$$

- 1) Introduce una distorsione? \rightarrow No!
- 2) Calcola l'attenuazione totale.
- 3) Calcola il ritardo di gruppo.

3) $B_s = 1000 \text{ MHz}$
 $H(f) = A e^{-j\pi f \tau_A} + B e^{-j2\pi f \tau_B}$ } ritardo con cammini multipli
 $\tau_A = 1 \text{ ns}$ $A = B = 0,5$
 $\tau_B = 1,5 \text{ ns}$

Il ritardo di trasmissione introduce selttività in frequenza? Se sì, conviene trasmettere con portante 1 GHz o 2 GHz?
Dove se il ritardo introduce dispersione cronologica e calcolare il ritardo di gruppo

(calcoliamo) $|H(f)| = \sqrt{H(f)\bar{H}(f)} = \sqrt{(A e^{-j\pi f \tau_A} + B e^{-j2\pi f \tau_B})(A e^{j2\pi f \tau_A} + B e^{j\pi f \tau_B})} = \dots = |\cos[\pi f(\tau_A - \tau_B)]| \Rightarrow |H(f)| \text{ non è costante, quindi vi è selttività!}$

$$|H(1 \text{ GHz})| = |\cos[2\pi \cdot 10^9 \cdot 0,5 \cdot 10^{-9}]| = |\cos[\pi]| = 0$$

$$|H(2 \text{ GHz})| = |\cos[2\pi \cdot 2 \cdot 10^9 \cdot 0,5 \cdot 10^{-9}]| = |\cos[2\pi]| = 1 \rightarrow \text{Meglio 2 GHz}$$

$$H(f) = 0,5 e^{-j\pi f} + 0,5 e^{-j2\pi f} = 0,5 e^{-j\frac{\pi f + \phi_B}{2}} \underbrace{\left[e^{j\frac{\pi f - \phi_A}{2}} + e^{-j\frac{\pi f - \phi_B}{2}} \right]}_{2 \cos\left(\frac{\phi_A - \phi_B}{2}\right)} \Rightarrow \Delta H(f) = -\frac{\phi_A + \phi_B}{2} = -\frac{\pi f \tau_A + 2\pi f \tau_B}{2} = -\pi f (\tau_A + \tau_B)$$

↓
da fase è lineare quindi non c'è dispersione!

$$\tau_g(f) = -\frac{1}{2\pi} \frac{d\varphi(f)}{df} = \frac{\pi(\tau_A + \tau_B)}{2\pi} = \frac{\tau_A + \tau_B}{2}$$

$$\rightarrow 0,5 \left[\cos -\phi_A + \cos -\phi_B + i(\sin -\phi_A + \sin -\phi_B) \right] = 0,5 \left[\cos \frac{\phi_A + \phi_B}{2} \cos \frac{\phi_A - \phi_B}{2} + i \sin \frac{\phi_A + \phi_B}{2} \cos \frac{\phi_A - \phi_B}{2} \right] = \\ \omega \sin \frac{\phi_A - \phi_B}{2} \left[\cos \frac{\phi_A + \phi_B}{2} + i \sin \frac{\phi_A + \phi_B}{2} \right] = \underbrace{\cos \frac{\phi_A - \phi_B}{2}}_{|H(f)|} \cdot \underbrace{e^{-j\frac{\phi_A + \phi_B}{2}}}_{\Delta H(f)}$$

5/10/20

1) $H(f) = e^{-2\pi A(f-f_0)^2} e^{-j2\pi B(f-f_0)} e^{-j2\pi C(f-f_0)^2}$

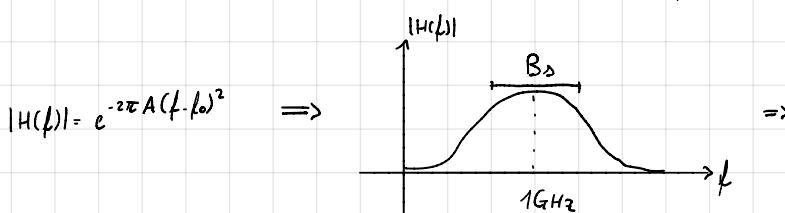
$$f_0 = 1 \text{ GHz}$$

$$B_s = 10 \text{ MHz} \rightarrow T = \frac{1}{B_s} = 100 \text{ ns}$$

$$A = 10^{-18} \text{ s}^2$$

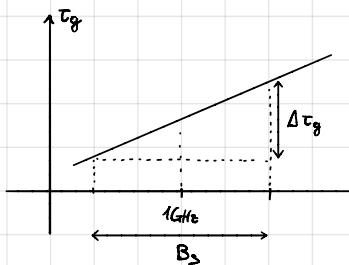
$$B = 10^{-7} \text{ s}$$

$$C = 10^{-12} \text{ s}^2$$



Calcoliamo la variazione della selttività:
 $\Delta |H(f)| = |H(f_0)| - |H(f_0 + 3 \text{ MHz})| = \dots = 0,8398$
↳ Il segnale non vede selttività

$$\Delta H(f) = -2\pi B(f-f_0) - 2\pi C(f-f_0)^2 \rightarrow \tau_g = \frac{1}{2\pi} \frac{dH(f)}{df} = B + 2C(f-f_0)$$



$$\Delta \tau_g = \tau_{g,\max} - \tau_{g,\min} = 2C(f_{\max} - f_{\min}) = 2 \cdot 10^{-12} \cdot 10^7 = 2 \cdot 10^{-10} = 0,2 \text{ ns}$$

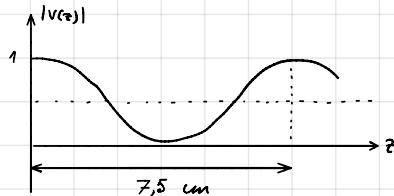
B_s

→ poiché $T \gg \Delta \tau_g$, il ritardo dovuto alla dispersione non è significativo

Il ritardo assoluto sarà $\frac{L}{c} = 333 \text{ ns}$, rendendo il nostro ritardo di 0,2 ns fisicamente impossibile.

12/10/20

$$1) V(z) = V_0^+ e^{-j\beta z} + V_0^- e^{j\beta z} \quad f = 1 \text{ GHz}$$



$$\text{Se } \Delta \phi = 2K\pi \text{ avremo un massimo in } |V(z)| \Rightarrow \Delta \phi = -2\beta z = 2K\pi$$

$$\text{L} \rightarrow \beta z = K\pi \rightarrow \frac{\lambda}{2} z = N \rightarrow z = N \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \text{massimo ogni } \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \lambda = 15 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{2\pi}{15 \cdot 10^9} = 41,88 \text{ rad/m} \rightarrow v_f = \lambda f = 1,5 \cdot 10^8 \text{ m/s} = \frac{c}{2}$$

14/10/20

1)

$\xrightarrow{V_S}$	$d=0$	$f = 100 \text{ MHz}$	$V_0^+(0) = 1 \text{ V}$	$Z_0? \lambda? v(0,t)? v(1,t)?$
	$R=G=0$	$v_f = 2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$		
	$C = 100 \text{ pF/m}$	lunghezza infinita e $V_0^- = 0$		

$$\text{a} \neq 0: \frac{V_L}{V_L^0} = \frac{1}{\sqrt{1+C}} \rightarrow L = \frac{1}{V_L^0 c} \Rightarrow Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{1}{V_L^0 c} = 50 \Omega$$

$$\lambda = \frac{v_f}{f} = 2 \text{ m}$$

$$V(z) = V_0^+ e^{-j\beta z} \xrightarrow{z=0} V(0) = V_0^+ \Rightarrow v(0,t) = \operatorname{Re} \{ V_0^+ e^{j\omega t} \} = V_0^+ \cos(\omega t) = \cos(\omega t) \quad [V]$$

$$\xrightarrow{z=1} V(1) = V_0^+ e^{-j\beta} = V_0^+ e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}} = V_0^+ e^{-j\pi} = -V_0^+ \Rightarrow v(1,t) = \operatorname{Re} \{ V_0^+ e^{j(\omega t-\pi)} \} = -V_0^+ \cos(\omega t-\pi) = -\cos(\omega t) \quad [V]$$

2)

$\xrightarrow{V_S}$	$\xrightarrow{V_0^+ = 2 \text{ V}}$	$a=0$	$V_0^+ = 3 \text{ V}$	$V_{\max}?$
		$R=G=0$	$f = 250 \text{ MHz}$	$Z_b \cdot V(z_b) \cdot V_{\max}?$
		$L = 500 \text{ nH/m}$	$z_A = 15 \text{ cm}$	$Z_L?$
		$C = 30 \text{ pF/m}$	$V(z_A)_{\min} = 1 \text{ V}$	

$$V_{\max}?$$

Se $Z_L = \infty$, come varia la posizione dei massimi.

Quando vario Z_L dovrò allontanare per avere un minimo in $z=0$

$$V_{\max} = |V_0^+| + |V_0^-| = |V_0^+| + |V_0^-| - V_{\min} = 5 \text{ V} \Rightarrow |V_0^-| = 2 \text{ V}$$

La distanza tra min e max è $\frac{\lambda}{4}$; $\lambda = \frac{2\pi}{\beta} = \frac{1}{f c} = 60 \text{ cm}$. Poiché $z_A = \frac{\lambda}{4}$, ottieno il massimo in $z_b = 0 \text{ cm}$

$$|\Gamma_L| = \left| \frac{V_0^-}{V_0^+} \right| = \frac{2}{3}. \text{ Poiché sul carico siamo su un massimo, possiamo dire che } \alpha \Gamma_L = 0 \Rightarrow \Gamma_L = |\Gamma_L| = \frac{2}{3}. \text{ Dato qui mi metto } Z_L:$$

$$\frac{2}{3} = \frac{Z_L + j4,5}{Z_L - j4,5} \rightarrow \dots \rightarrow Z_L = 372,5 \Omega$$

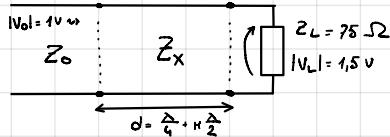
$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = 74,5 \Omega$$

Se mettiamo $Z_L = \infty$, i massimi non si spostano perché sul C.A. il massimo è in corrispondenza del C.A., come nel nostro vecchio carico

Tutti i carichi con $\Gamma_L = e^{j\pi}$ provano un minimo al carico: $0 < Z_L < Z_0$

26/10/20

1)



Se l'adattamento è stato effettuato bene: $\frac{|V_0|^2}{Z_0} = \frac{|V_L|^2}{Z_L} \rightarrow |V_L| = |V_0| \sqrt{\frac{Z_L}{Z_0}}$
Se $\sqrt{\frac{Z_L}{Z_0}} > 1$ allora $|V_L| > |V_0| \Rightarrow$ la potenza si conserva, ma i voltaggi non più forze devono coincidere!

Se ipotizziamo $Z_0 = 33 \Omega$, allora $Z_x = \sqrt{Z_0 Z_L} = 50 \Omega$ e $|V_L| = |V_0| \sqrt{\frac{Z_L}{Z_0}} = 1.5 \text{ V}$ e tutto torna.

Chechiammo i parametri dell'onda nel tratto Z_x : $\Gamma_x = \frac{Z_L - Z_x}{Z_L + Z_x} = 0.2 \Rightarrow$ del carico $|V_{x,0}|$ sarà massimo. Questo significa che $V(0) = V_{MAX} = |V_x^+| + |V_x^-| = 1.5 \text{ V}$, però $|V_x^-| = |\Gamma_x| |V_x^+| = 0.2 |V_x^+| \Rightarrow V(0) = |V_x^+| + 0.2 |V_x^+| = 1.5 \text{ V} \Rightarrow |V_x^+| = 1.25 \text{ V} \Rightarrow |V_x^-| = 0.25 \text{ V}$

Obliamo anche che $P_0^+ = P_L = P_x^+ - P_x^-$:

$$P_0^+ = \frac{1}{2} \frac{|V_0|^2}{Z_0} = 15 \text{ mW}$$

$$P_x^+ = \frac{1}{2} \frac{|V_0|^2}{Z_x} = 15.6 \text{ mW}$$

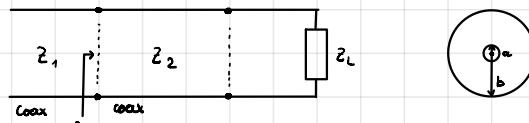
$$P_x^- = \frac{1}{2} \frac{|V_0|^2}{Z_x} = 0.6 \text{ mW}$$

2/11/20

1) $Z_1 = 50 \Omega \quad Z_2 \neq Z_1 \quad d=0$

$b = 7.2 \text{ m} \quad Z_2 = ? \quad ROS_1 = 1.77 \text{ dB}$

$a = 2 \text{ m} \quad Z_L = ?$



$$ROS_1 = \frac{V_{1,max}}{V_{2,min}} = \frac{1 + |\Gamma_{in}|}{1 - |\Gamma_{in}|} \quad \Gamma_{in} = \frac{Z_{in} - Z_1}{Z_{in} + Z_1} \cdot \frac{V_1^+}{V_1^-} \quad Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln\left(\frac{b}{a}\right) \cdot 50 \Omega \rightarrow \epsilon_r = 2.36$$

1) Se $Z_L \neq Z_2$, $Z_{in} = Z_2 \frac{Z_1 + Z_2 \tan(\beta L)}{Z_1 + Z_2 \tan(\beta L)}$. Se $Z_{in}(f)$, allora anche $\Gamma_{in}(f) \in ROS_1(f)$. Per ipotesi, però, ciò non accade, quindi $Z_L = Z_2$.

2) Se $L = \lambda/4$, andiamo contro la natura di ROS, ad ogni frequenza poiché varrà lungo $\lambda/4$ solo ad alcune frequenze. Quindi $L \neq \lambda/4$

3) Se $L = \lambda/2$, come in 2. Quindi $L \neq \lambda/2$

4) Supponiamo che sul secondo cavo ci sia una componente stazionaria. Questo non è possibile poiché in 1 abbiamo dimostrato che $Z_0 = Z_L$, quindi non ci sarà retroriflessione sul secondo cavo.

5) Se il cavo 1 fosse adattato, avremo $ROS_{1,1}$, ma questo è contrologico

6) Possiamo ricavare $|\Gamma_{in}| = \frac{ROS_{1,1}}{ROS_{1,1} - 1} = 0.28$. Possiamo scrivere $\Gamma_{in} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$; poiché $d=0$ $Z_2 \in \mathbb{R}$ e quindi $|\Gamma_{in}| = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} = \pm 0.28$.

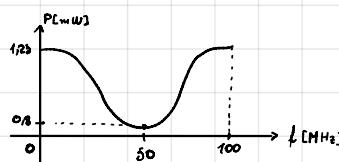
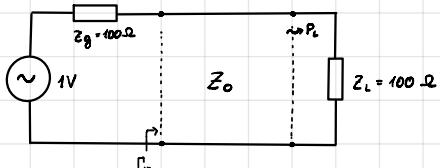
Separando i casi:

- $\Gamma_{in} = 0.28 \rightarrow Z_2 = 89 \Omega \Rightarrow Z_2 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln\left(\frac{b}{a}\right) \Rightarrow \epsilon_r = 0.74 \rightarrow$ impossibile!
- $\Gamma_{in} = -0.28 \rightarrow Z_2 = 28 \Omega \quad Z_2 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln\left(\frac{b}{a}\right) \Rightarrow \epsilon_r = 7.53$

Se $\Gamma_{in} = -0.28$, allora la fase di Γ_{in} varrà π , indicandoci che in entrata al cavo 2 ci sarà un minimo.

4/11/20

1)



1) $Z_0 = 100 \Omega$?

Se fosse così, P_L non dipendrebbe dalla frequenza, quindi è impossibile.

2) La linea Z_0 ha perdite significative?

La potenza massima raggiungibile è $P_d = \frac{V_0^2}{8Z_0} = 1.25 \text{ mW}$, che coincide con il picco di P_L , quindi la linea non ha perdite. Andiamo poniamo che in $f=0$; $f=100$ il cavo è adattato.

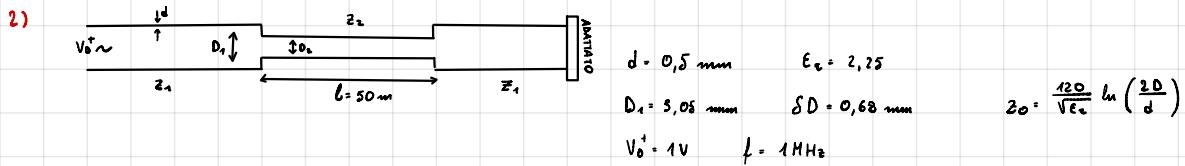
3) Se $\Delta\Gamma_{in}(50 \text{ MHz}) = \pi$, Z_0 quanto vale?

$$\Gamma_{in} = \frac{Z_0 - Z_2}{Z_0 + Z_2} = |\Gamma_{in}| e^{j\Delta\Gamma_{in}} \quad P_L(50 \text{ MHz}) = P^+ - P^- = P^+ (1 - |\Gamma_{in}|^2) = P_d (1 - |\Gamma_{in}|^2) = 0.8 \rightarrow \rightarrow |\Gamma_{in}| = 0.36 \Rightarrow \Gamma_{in}(50 \text{ MHz}) = -0.36$$

$$Z_{in} = \dots = 25 \Omega \Rightarrow Z_0 = \sqrt{Z_{in} Z_L} = 50 \Omega$$

4) Se la linea z_0 è un coassiale con $a = 2 \text{ mm}$ e $b = 7 \text{ mm}$, il cavo è lungo $0,5 \text{ m}$, 1 m o 2 m?

$$z_0 = \frac{\eta_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln\left(\frac{b}{a}\right) \Rightarrow \epsilon_r = 2,25; \quad \lambda(50 \text{ MHz}) = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_r}} = 4 \text{ m}. \quad \text{Quali d deve essere } \lambda_4, \quad d = 1 \text{ m}.$$

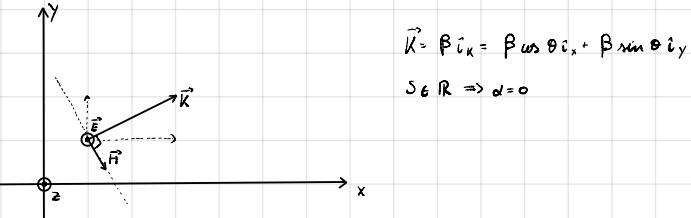


3) Cosa cambierebbe se $l = 100 \text{ m}$?

Non ci sarebbe un adattamento λ_4 ma λ_2 , ciò significa che non ci saranno retroreflessioni.

18/11/20

1) Abbiamo un'onda EM piana uniforme con $\vec{s} = s i_x$, $c_n = \frac{\sqrt{2}}{2} i_x + \frac{1}{2} i_y$, $s = 2,65 \text{ mW/m}^2$, $\vec{E} = E_0 i_z$, $E_0 = 1 \text{ V/m}$, $f = 1 \text{ GHz}$. Calcola l'impedenza intrinseca del mezzo, la costante di fase, la funzione d'onda $\vec{E}(x, y, z)$ nel dominio dei fosori, la funzione d'onda del campo magnetico.

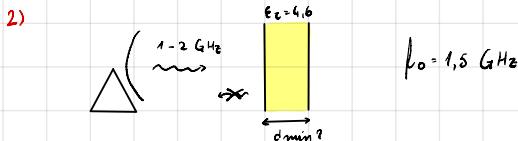


$$1) \quad \eta = \frac{1}{2} \frac{|E_0|^2}{s} \approx 188,5 \Omega \approx 60\pi \Omega$$

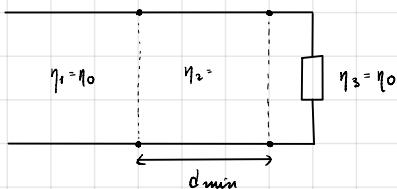
$$2) \quad \alpha = 0 \Rightarrow \eta = \frac{\eta_0}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{20\pi}{\sqrt{\epsilon_r}} \Rightarrow \epsilon_r = 4 \Rightarrow \beta = w \sqrt{\mu_0 \epsilon_r} = w \sqrt{\mu_0 \epsilon_r} = \frac{w}{c} \sqrt{\epsilon_r} = 41,3 \text{ rad/m}$$

$$3) \quad \vec{E} = \vec{E}_0 e^{-j\vec{k} \cdot \vec{r}} = \vec{E}_0 e^{-j(\beta x + \beta y)} = \vec{E}_0 e^{-j(\beta \cos 30x + \beta \sin 30y)} = i_z E_0 e^{-j(86,27x + 20,55y)} \text{ V/m}$$

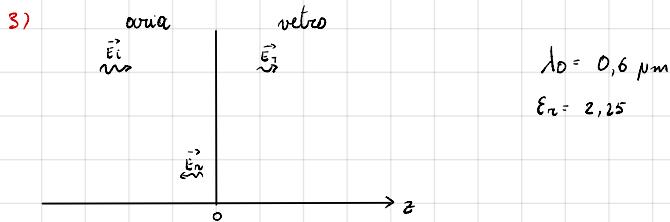
$$4) \quad \vec{H} = \vec{H}_0 e^{-j\vec{k} \cdot \vec{r}} = \frac{i_k \times \vec{E}_0}{\eta} e^{-j\vec{k} \cdot \vec{r}} = \frac{1}{\eta} \left[\left(\frac{\sqrt{2}}{2} i_x + \frac{1}{2} i_y \right) \times i_z \right] E_0 e^{-j\vec{k} \cdot \vec{r}} = \frac{E_0}{\eta} \left[\frac{\sqrt{2}}{2} (-i_y) + \frac{1}{2} (i_x) \right] e^{-j\vec{k} \cdot \vec{r}} = \frac{1}{60\pi} \left[-\frac{\sqrt{2}}{2} i_y + \frac{1}{2} i_x \right] e^{-j(86,27x + 20,55y)} \text{ A/m}$$



Per l'equivalenza tra onde EM e linee di trasmissione possiamo tradurre il seguente problema in:



risolvendo il problema ad uno di adattamento del cavo: $d_{min} = M \frac{\lambda_0}{2} = M \frac{\lambda_0}{2\sqrt{\epsilon_r}} = M \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_r}} = M \cdot 4,66 \text{ cm}$



1) Dove ci sono i massimi del campo elettrico totale in area?

$$\eta_0 = 120\pi \quad \eta_i = \frac{\eta_0}{\sqrt{\epsilon_r}} = 60\pi \text{ S}$$

$$r_i = \frac{\eta_i - \eta_0}{\eta_i + \eta_0} = -0,2 \rightarrow \text{fase } \pi \rightarrow \text{in } z=0 \text{ abbiamo un minimo}$$

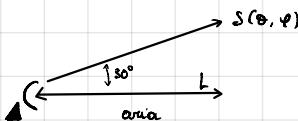
Il massimo sarà a $\bar{z} = -\frac{\lambda}{4} = -0,150 \mu\text{m}$ e moltiplici di spazi

2) Quanto vale il ROS? $\text{ROS} = \frac{|E_{\text{max}}|}{|E_{\text{min}}|} = \frac{|E_i| + |E_r|}{|E_i| - |E_r|} = \frac{1 + |r_i|}{1 - |r_i|} = 1,5$

3) Quanta potenza viene trasferita? $\frac{S_t}{S_i} = 1 - |r_i|^2 = 96\%$

30/11/20

1) $D = 21 \text{ dB}$ $P_{\text{rad}} = 100 \text{ mW}$
 $f = 1 \text{ GHz}$

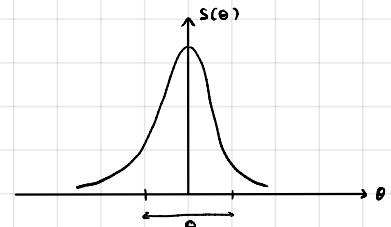
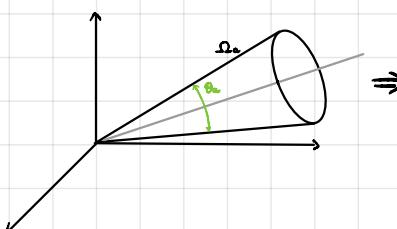


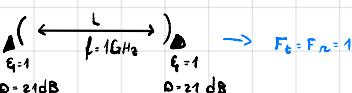
1) $|E| = ?$ $L = 1 \text{ Km}$ $F_t(\theta, \phi) = 1$

$$S_{\text{MAX}}(\theta, \phi) = S_0 F(\theta, \phi) = S_0 = \frac{P_{\text{RAD}}}{4\pi L^2} D = \frac{100 \text{ mW}}{4\pi (1 \text{ Km})^2} \cdot 10^{\frac{21}{10}} = 1 \text{ nW/m}^2$$

$$S_0 = \frac{1}{2} \frac{|E|^2}{\eta_0} \Rightarrow |E| = \sqrt{2 \eta_0 S_0} = 27,5 \text{ mV/m}$$

2) $S(\theta, \phi) = ?$ $F(\theta, \phi)$
 $\theta = 30^\circ$



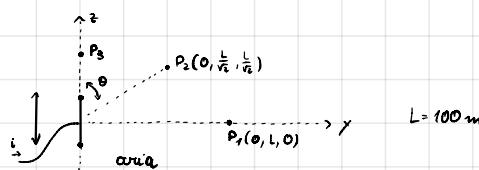
3) $P_{\text{rad}} = 100 \text{ mW}$ 

$$P_n = P_t G_t F_t \left(\frac{\lambda}{4\pi L} \right)^2 G_n F_n = P_{\text{rad}} D_t \left(\frac{c}{4\pi f} \right)^2 D_n \approx 0,8 \text{ nW}$$

2) $h = 1 \text{ cm}$

$$i(t) = I_0 \cos(\omega t + \phi_0)$$

$$I_0 = 10 \text{ mA} \quad \omega = 2\pi f \quad f = 300 \text{ MHz}$$



1) dipolo corto? $\frac{h}{\lambda} = \dots = 10^{-2} \ll 1 \checkmark$
campo lontano? $\frac{L}{\lambda} = \dots = 100 \gg 1 \checkmark$

$$\vec{E} = E_0 \hat{i}_\theta = \Im \frac{\eta_0 K}{4\pi} \frac{I_0 h}{L} \sin \theta e^{-j k L} \hat{i}_\theta \rightarrow \vec{E}(P_1) = 0$$

$$\rightarrow |\vec{E}(P_2)| = \dots = 183,5 \text{ nV/m}$$

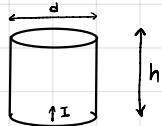
2) Confronta il dipolo circolare con un'antenna isotropa a $L=100$ dm circa nella la stessa potenza del dipolo

$$P_{\text{rad}} = \frac{\mu_0 \pi I_0^2}{8} \left(\frac{h}{\lambda} \right)^2 = 3,85 \mu W$$

$$S_i(L) = \frac{P_{\text{rad}}}{c \pi L^2} = 31,4 \text{ } \mu W/m^2 \rightarrow S_i = \frac{1}{2} \frac{|E|^2}{\eta_0} \rightarrow |E| = \sqrt{2 \eta_0 S_i} = 154 \text{ } \mu V/m$$

3) $\sigma = 5,8 \cdot 10^7 \text{ } S/m \quad P_t = ?$

$d = 1 \text{ mm}$



$$\epsilon_r = \frac{R_{\text{rad}}}{R_{\text{rad}} + R_p} \approx 0,85 \rightarrow P_t = \frac{P_{\text{rad}}}{\epsilon_r} \approx 4,67 \mu W$$

$$\hookrightarrow R_{\text{rad}} = \frac{2}{3} \frac{\mu_0 \pi h^2}{\lambda^2} = \dots = 0,079 \Omega$$

$$\hookrightarrow R_p = \sigma \frac{1}{\pi (d/2)^2} = \dots = 0,015 \Omega$$

!! da considerare l'effetto pelle !! $\rightarrow \delta = \sqrt{\frac{1}{\mu_0 \pi \sigma f}} = 3,81 \text{ } \mu m$