

TELECOMUNICAZIONI

Generalità su Trasmissione (TX) e Ricezione (RX) dei segnali elettrici associati all'informazione.

Si definisce informazione ogni segnale elettrico che rappresenti: suoni, immagini o impulsi codificati (telegrafia, comandi a distanza)

Una delle caratteristiche dei vari tipi di informazione è la banda di frequenze in cui sono situati. Es: i suoni percepibili dall'uomo sono onde di pressione con $20 < f < 20.000$ [Hz] circa e così pure varia la frequenza dei segnali elettrici forniti dagli opportuni trasduttori (microfoni)

La banda di f definisce anche la qualità di un'informazione di tipo acustico e intelligibile anche se il segnale elettrico che la rappresenta viene limitato a $300 \div 3400$ [Hz], ma così facendo se ne altera il timbro, dato che si tagliano con dei filtri passa-banda le armoniche superiori e inferiori.

LARGHEZZA DI BANDA SEGNALE TRASMESSO

<u>Radio-tecnica</u>	: in AM (modulazione d'ampiezza)	→ fino a 4500 [Hz]
	in AM a alta fedeltà	→ " " 10.000 "
	in FM (mod. frequenza)	→ " " 15.000 "
<u>Televisione</u>	: Banda teorica	→ " " 12 [MHz]
	" effettiva	→ " " 7 [MHz]
<u>Telefonia</u>	: Banda lorda	→ $0 \div 4$ [KHz]
	" netta	→ $300 \div 3400$ [Hz]

Per trasmettere il segnale a distanza, attraverso un mezzo (linee metalliche, fibre ottiche, spazio aperto) si usa un segnale a frequenza più elevata, detto portante, su cui il segnale informativo, detto modulante, opera una trasformazione di un dato parametro (l'ampiezza nella AM, la frequenza nella FM, la fase nella PM), ^{questo} per quanto riguarda le modulazioni analogiche (sia la portante che la modulante sono segnali analogici). (Per quanto riguarda gli altri tipi di modulazione, vedremo più avanti.)

IL MEZZO DI TX

L'informazione, amplificata e modulata, si propaga nel mezzo sotto forma di onda elm. Cos'è un'onda elm?

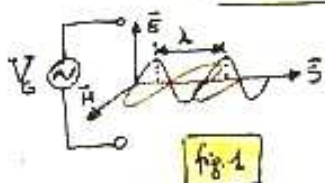


fig. 1

Si considerino due elementi conduttori, isolati tra loro (ad esempio dall'aria), ai quali si applica un segnale V_0 sinusoidale di una certa frequenza f . Tra i due conduttori nasce un campo elettrico \vec{E} , variabile

con la freq. del segnale V_g e rappresentabile da un vettore che giace nel piano cui appartengono i due conduttori. La d.d.p. applicata ai conduttori fa sì che il mezzo isolante che li separa sia percorso da una corrente, variabile anch'essa con freq. f ; (il sistema conduttori - isolante si comporta come un condensatore) la corrente che attraversa l'isolante origina un campo magnetico \vec{H} , di freq. f , che può essere rappresentato da un vettore giacente su un piano \perp a quello dei due conduttori (e di \vec{E}).

La simultanea presenza di un campo \vec{E} e di un campo \vec{H} , tra loro \perp , fa sì che la potenza del generatore si propaghi in direzione \perp al piano $\vec{E}\vec{H}$, cioè lungo l'asse \vec{S} , sotto forma di onde elm di freq. f , con densità di potenza

pari a $\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$ (prodotto vettoriale) $\vec{S} \hat{=}$ vettore di Poynting \rightarrow esprime, in ogni punto del mezzo, la densità di potenza istantanea della radiazione elm

Poiché $[\vec{E}] = [V/m]$ e $[\vec{H}] = [A/m]$ $\Rightarrow [\vec{S}] = [W/m^2]$

Il rapporto tra l'intensità del campo elettrico \vec{E} e quella del campo magnetico \vec{H} è espresso in $[\Omega]$ e rappresenta l'impedenza caratteristica del mezzo $\hat{=} \vec{Z}_0 = \frac{\vec{E}}{\vec{H}}$

(nel vuoto, $Z_0 = 377 [\Omega]$)

L'onda elm si propaga nello spazio con andamento sinusoidale e con una velocità che, nel vuoto, è pari a quella della luce $c \approx 3 \cdot 10^8 [m/s]$.

Relazione fondamentale: $\lambda = \frac{c}{f}$ (nel vuoto)

[Osservando la fig 1 si vede come, ogni $\lambda/2$, il campo \vec{E} e il campo \vec{H} si annullano]

PROPAGAZIONE NELLE LINEE

Linea: due conduttori elettrici paralleli, separati da un isolante (resina termoplastica)
L'onda elm si genera e si propaga nello spazio da essi delimitato, dal TX al RX.
Le linee possono essere viste come quadripoli passivi, che attenuano e sfasano il segnale che le percorre. (ONDE GUIDATE)

PARAMETRI DELLE LINEE

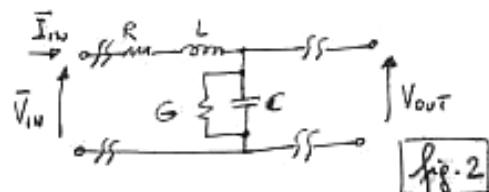
COSTANTI PRIMARIE: R, L, G, C

sono parametri distribuiti lungo la linea e perciò sono definiti per unità di lunghezza

R dipende dal materiale dei conduttori e si misura in $[\Omega/m]$
L " dal coeff. di autoinduzione della linea " " $[Henry/m]$

$$\vec{Z}_{RL} = R + j\omega L$$

$$\vec{Y}_{GC} = G + j\omega C$$



la potenza viene riflessa parzialmente o anche totalmente (onda riflessa). La presenza simultanea in linea di un'onda diretta e una riflessa, provoca un regime di onda stazionaria, così detto in quanto le due onde ^(progressiva e riflessa) di tensione e di corrente, componendosi vettorialmente (cioè in ampiezza e fase), determinano dei valori massimi (somma di grandezze in fase) e dei v. minimi (somme di grandezze in opposizione di fase), che si verificano in punti fissi della linea.

Precisamente, dove c'è un max (ventre) di tensione, c'è un min (nodo) di corrente e viceversa. Inoltre tra 2 nodi, o due ventri di V (o di I) c'è una distanza pari a $\lambda/2$.

In telecom. ad alta frequenza si possono trascurare le cost. primarie dissipative (R, G) rispetto a quelle reattive (C, L), cioè $\begin{cases} R \ll \omega L \\ G \ll \omega C \end{cases}$ per cui le espressioni

di γ e Z_0 si semplificano così: $\begin{cases} \gamma = \sqrt{j\omega L \cdot j\omega C} = \sqrt{-\omega^2 LC} = j\omega\sqrt{LC} = j\beta \\ \alpha = 0 \\ Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = R_0 ; X_0 = 0 \end{cases}$
 (γ param. immagin.)
 (Z_0 param. resistiva)

In questi condizioni, se il carico $Z_u \neq R_0$ si verifica il regime di onda stazionaria, in cui però il valore dei ventri è costante lungo tutta la linea (nel caso precedente, invece, i valori decrescono dal TX al RX) ^(indie V e I sono in fase)

Il regime stazionario è valutato tramite il R.O.S. \equiv rapporto d'onda stazionaria

$$R.O.S. = \left| \frac{V_{max}}{V_{min}} \right| = \left| \frac{I_{max}}{I_{min}} \right| \quad (\text{la distanza tra } V_{max} \text{ e } V_{min} = \lambda/4)$$

tale rapporto varia da 1 a ∞ .

- 1) $R_u = R_0$ (linea adattata), solo onda progressiva, $R.O.S. = 1$ se $\alpha = 0$,
linea senza
perdite
- 2) $R_u = 0$ (linea in corto circuito), solo onda regressiva, $R.O.S. = \infty$
(nodi di tensione e ventri di corrente)
- 3) $R_u = \infty$ (linea in circ. aperto), solo onda regress., $R.O.S. = \infty$ (ventri di tensione e nodi di corrente)

Quindi se la linea è disadattata e con perdite, ci sono onde stazionarie e i ventri ^{e i nodi} di tensione diminuiscono, come ampiezza, spostandosi dal TX al RX. Se invece $\alpha = 0$, i ventri e i nodi hanno ampiezza costante. Idem per la corrente.

linea elettrica senza perdite

$$\alpha = 0 \quad Z_0 = R_0$$

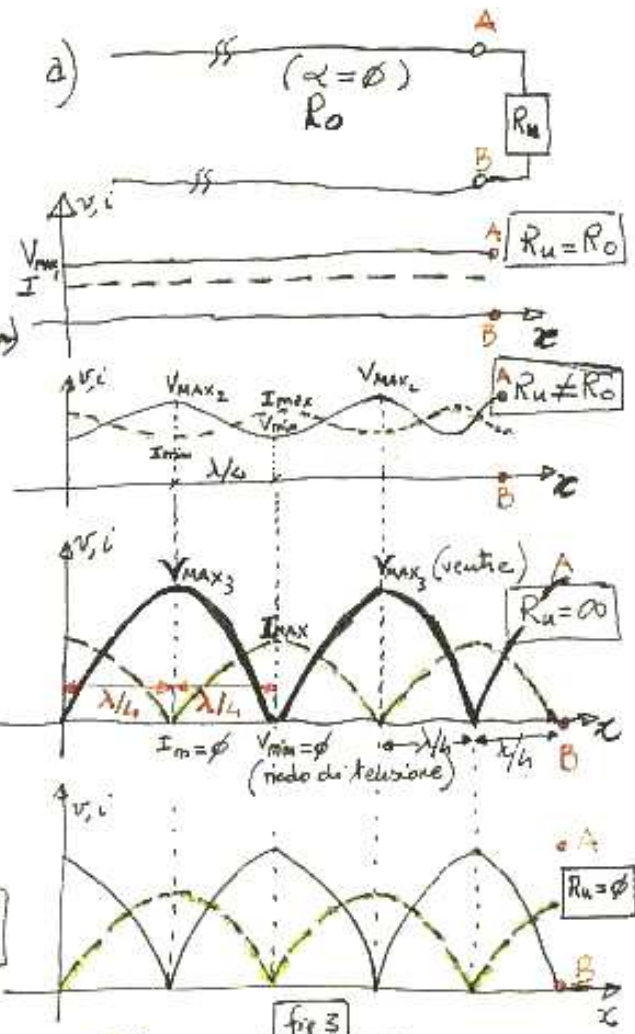
$$\beta = j\beta$$

b) linea adattata \rightarrow
 ($R_{OS} = 1$)
 (contee e tensione uguali in ogni punto della linea)

c) linea disadattata \rightarrow
 ($R_{OS} \neq 1$)
 (ventri e nodi di tens. e corrente)

d) linea in circ. aperto
 ($R_{OS} = \infty$)
 (nodi = ϕ di tensione e corrente)
 (sul carico ventri di tensione e nodo di corrente; $\lambda/4$ prima, situaz. invertita)

e) linea in corto circuito
 ($R_{OS} = 0$)
 (nodi = ϕ di tens. e con.)
 (sul carico nodo di tensione e ventri di corrente)



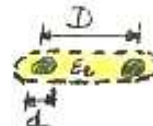
TIPI DI LINEE

1) Linee bifilari (piattine) = 2 conduttori separati da un isolante.

Uso: TELEFONIA

$$Z_0 = \frac{276}{\sqrt{\epsilon_r}} \log \frac{2D}{d}$$

D distanza tra i condutt.
 d diametro conduttori.



Svantaggio \Rightarrow la linea non e schermata, quindi capta dei disturbi lungo il percorso (rumore).
 i campi E ed H si estendono anche nello spazio esterno al dielettrico \Rightarrow perdite

2) Cavi coassiali:
 sono schermati

$$Z_0 = \frac{138}{\sqrt{\epsilon_r}} \log \frac{D}{d}$$

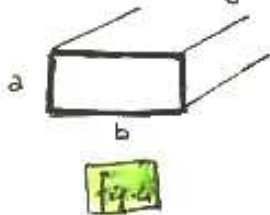
Uso: TELEFONIA (FDM)
 MULTIPLATA
 (BANDA = 60 MHz)
 VELOC. = 140 MBIT/S
 TV-SOUND INSTRUMENTS
 ALIMENTAZ. GUIDE D'ONDA



quindi non affetti dai disturbi esterni; il campo E e radiale (dal conduttore centrale verso la "calza" esterna); il campo H e concentrico al conduttore centrale. (vedi libro)

3) Guide d'onda: strutture tubolari a sezione rettangolare; l'onda e in s.
 propaga all'interno per riflessioni successive sulle pareti ed e pero piu lenta della luce nel vuoto, essendo il percorso allungato dalle riflessioni.

Per propagarsi bene, il segnale necessita di determinate dimensioni della guida d'onda: la larghezza b della guida dev'essere $> \lambda/2$, ma anche $< \lambda$



$$\frac{\lambda}{2} < b < \lambda$$

$$a = 0,5b$$

Si usano nel campo delle microonde, con λ centimetriche, cioè con

$$1 < f < 30 \text{ [GHz]}$$

$$0,3 < \lambda < 10^{-2} \text{ [m]}$$

$$0,15 \div 0,3 \text{ [m]} < b < 0,5 \div 1 \text{ [cm]}$$

L'immissione e il prelievo del segnale avviene tramite un cavo coassiale connesso da una parte al generatore e dall'altra al carico. La calza del cavo è connessa a uno dei lati della guida e il conduttore centrale entra per un tratto nella guida e vi descrive una spirale.

4) Linee aeree: un solo conduttore non isolato posato su sostegni con l'aiuto di isolatori. Il conduttore di ritorno è la terra. A volte ci sono 2 conduttori, posti a una certa distanza. Materiale metallico: bronzo. Sono in disuso, comunque solo per telegrafia. Limite di frequenza: 150 [kHz]. Affette da rumori.

EQUAZ. DI PROPAGAZIONE LUNGO UNA LINEA

$$V(x) = V_d \cdot e^{-\gamma x} + V_r \cdot e^{\gamma x}$$

$$I(x) = I_d \cdot e^{-\gamma x} + I_r \cdot e^{\gamma x}$$

sono le soluzioni dell'eq. di diff. omogenea del 2° ordine (γ è costante complessa)

(V_d, V_r, \dots dipendono da opportune condiz. iniziali)

$$\begin{cases} \frac{dV}{dx} = -(R + j\omega L) I \\ \frac{dI}{dx} = -(G + j\omega C) V \end{cases}$$

(con rif. fig. 2)

segno - perché V e I diminuiscono spostandosi dal generatore verso il carico

derivando la 1° rispetto a x e tenendo conto della 2° si ottiene

$$\frac{d^2 V}{dx^2} - \gamma^2 V = 0 \quad \text{oppure} \quad \frac{d^2 I}{dx^2} - \gamma^2 I = 0$$

C'è perciò un'onda diretta e un'onda riflessa, sia per $V(x)$ che per $I(x)$.

Se la linea è infinitezza lunga, c'è solo l'onda diretta: $V(x) = V_d e^{-\gamma x}$

In ogni punto, si definisce $Z_0 = \frac{V(x)}{I(x)}$: è indipendente dalla lunghezza, cioè è costante

γ indica quanto un segnale, all'uscita di una linea lunga x , è stato attenuato e sfasato.

CASO PARTICOLARE \equiv CONDIZIONE DI HEAVISIDE: $RC = GL \Rightarrow \alpha = \sqrt{RG}$ (attenuaz. costante)
 $\beta = \omega \sqrt{LC}$ (fase variabile linearmente con ω)
 (LINEA SENZA DISTORSIONE)
 [solitamente $RC \gg GL$ per cui si inseriscono, in linea, delle bobine] $Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$

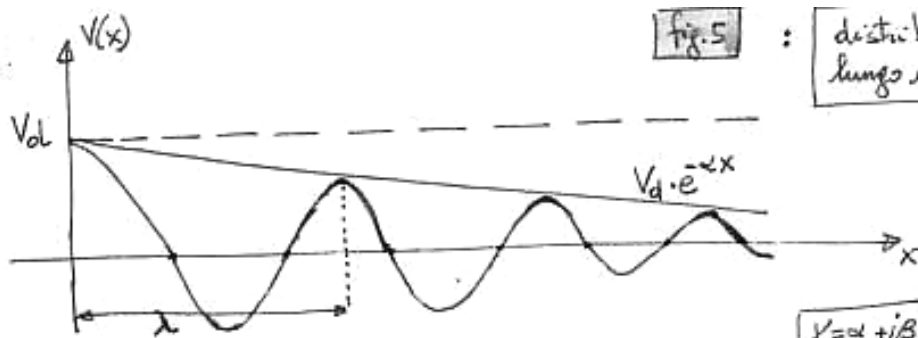


fig. 5 : distribuzione della tensione V_d lungo una linea, all'istante t_0 (compensata) (in adattamento)

(non varia il periodo)

$$\gamma = \alpha + j\beta$$

$$V(x) = V_d e^{-\gamma x} = V_d e^{-\alpha x} \cdot e^{-j\beta x} \quad \leftarrow \text{nell'ipotesi di linea adattata. } [Z_V = Z_0]$$

Se la linea non avesse perdite ($R=G=0 \Rightarrow \alpha=0$) la sinusoidale non si attenuerebbe.

Bisogna però tener conto del fatto che la tensione subisce anche uno sfasamento, procedendo lungo la linea (termine $e^{-j\beta x}$)

Come già detto, la tensione ogni λ metri subisce uno sfasamento di 2π radianti,

per cui $\lambda = \frac{2\pi}{\beta}$ e anche $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$ [rad/m]

Velocità di fase : $v_f \triangleq$ velocità con cui si propagano i max di tensione o di corrente di un'onda sinusoidale lungo la linea.

(per una certa frequenza) $v_f = \frac{\lambda}{T} = \frac{2\pi/\beta}{2\pi/\omega} = \frac{\omega}{\beta}$ lunghezza linea

ritardo di propagazione $\tau_f = \frac{l}{v_f} = \frac{l}{\omega/\beta} = \frac{l\beta}{\omega} = \frac{\varphi}{\omega}$ spost. di fase totale

Se ci sono più segnali di diversa frequenza cosa succede?

(Es: un segnale modulato costituito dalle somme di due armoniche $\begin{cases} f_1, V_1 \\ f_2, V_2 \end{cases}$ ampiezze)

Si forma un'onda con dei ventri e dei nodi (segnali in fase o in opposizione)

il max varrà $(V_1 + V_2)$, il min $(V_1 - V_2)$, la frequenza sarà $(f_1 - f_2)$ [con $f_1 > f_2$]

La velocità di propagazione di ventri e nodi sarà:

$$v_{\text{gruppo}} = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\beta_1 - \beta_2} = \frac{\Delta\omega}{\Delta\beta} \Rightarrow \frac{d\omega}{d\beta}$$

$$\tau_{\text{gruppo}} = \frac{l \Delta\beta}{\Delta\omega} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta\omega} \Rightarrow \frac{d\varphi}{d\omega} \leftarrow \text{tempo che l'inviluppo impiega a percorrere una linea}$$

Se il mezzo non è dispersivo (ideale) tutte le componenti di freq. viaggiano con la stessa velocità e $v_f = v_g$.

VARI CASI DI PROPAGAZIONE

1) LINEA ADATTATA, CIOE' CHIUSA SU Z_0 , O INFINITAMENTE LUNGA: SOLO ONDA DIRETTA

$$V(x) = V_d e^{-\gamma x}$$

$$I(x) = \frac{V_d}{Z_0} e^{-\gamma x}$$

in condizioni di Heaviside $Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$ (puramente resistiva), V e I si propagano in fase tra loro.

Quanto vale V_d ? E' la tensione a inizio linea, perciò e' pari a

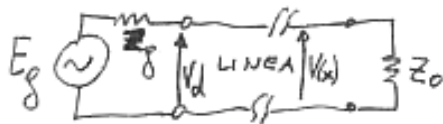


Fig. 6

$$V_d = \frac{E_g Z_0}{Z_0 + Z_g}$$

$$V(x) = \frac{E_g Z_0}{Z_0 + Z_g} e^{-\alpha x} e^{-j\beta x}$$

$$\left[\text{se } Z_g = Z_0 \Rightarrow V_d = \frac{E_g}{2} \right]$$

Se la linea ha perdite ($R \neq 0, G \neq 0, \alpha \neq 0$), V ed I diminuiscono con legge exp (e vengono sfasate, lungo la linea, dello stesso angolo)

Se la linea e' senza perdite ($R, G, \alpha = 0$), $V(x) = V_d$ lungo tutta la linea.

2) Linea disadattata: $V(x) = V_d e^{-\gamma x} + V_r e^{+\gamma x}$ (onda diretta e onda riflessa)

Bisogna fare una somma vettoriale dei contributi, in punto x della linea, delle onde dirette e riflesse, cioè tener conto di ampiezza e fase.

Si formano ventri e odi che non si propagano lungo la linea ma restano sempre fermi negli stessi punti mantenendo così costanti le distanze tra i punti corrispondenti ai max e ai min ($\lambda/4$).

In regime stazionario la potenza trasmessa in ogni punto e' costante per cui ai ventri di V corrispondono i nodi di I e viceversa.

Anche in questo caso ($Z_u \neq Z_0$) vediamo cosa succede se $\alpha = 0$ o no.

a) $\alpha = 0$ (linea corta o f. altissima): le onde dirette vengono totalmente riflesse dal carico (disadattato) e il segnale risultante ha questo andamento

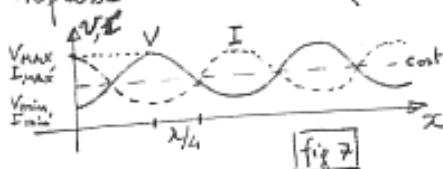


Fig. 7

I_{\max} e i_{\min} si mantengono costanti lungo la linea con amp. cost. = V_d .

b) $\alpha \neq 0$: il segnale e' riflesso in parte, i max e i min diminuiscono lungo la linea (dal gen. al carico) e dipendono dal coefficiente di riflessione

$$K_r = \frac{V_r}{V_d} \quad K_i = \frac{I_r}{I_d}$$

[il modulo di K indica l'entita' della riflessione, la fase indica lo sfasamento tra onde dirette e riflesse.]

$|K_v|$ dipende dal disadattamento $|K_v| = \frac{Z_u - Z_0}{Z_u + Z_0}$ $|K_v| = \frac{Z_0 - Z_u}{Z_0 + Z_u}$

$Z_u \uparrow$ carico $Z \uparrow$ linea

è legato al R.O.S. = $\frac{1+|K_v|}{1-|K_v|}$ $|K_v| = \frac{R.O.S. - 1}{R.O.S. + 1}$

TRE CASI CLASSICI:

a) Linea adattata ($Z_u = Z_0$) $K_v = K_i = 0$, R.O.S. = 1 (nessuna riflessione)

b) Linea in corto circuito ($Z_u = 0$) $\begin{cases} K_v = -1 \\ K_i = 1 \end{cases}$ R.O.S. = ∞ (rifl. totale)

[L'onda di tensione diretta e quella riflessa hanno ampiezza uguale e fase opposta \Rightarrow nodo di tensione] \leftarrow sul carico
 [L'onda diretta e quella riflessa di corrente sono uguali e in fase \Rightarrow ventre di I]

c) Linea aperta ($Z_u = \infty$) $\begin{cases} K_v = 1 \\ K_i = -1 \end{cases}$ R.O.S. = ∞ (rifl. totale)

(Ventre di tensione e nodo di corrente sul carico)

Perdite

La riflessione provoca perdite di potenza eco in linea.

P_d = potenza associata onda diretta
 P_r = potenza associata onda riflessa

Perdite $\Rightarrow p = 10 \log \left| \frac{P_d}{P_d - P_r} \right|$ [dB]

o anche $p = -10 \log(1 - K_v^2)$ [dB]

o anche $p = 20 \log \left| \frac{Z_u + Z_0}{2\sqrt{Z_u Z_0}} \right|$

Eco \Rightarrow se in punto della linea c'è disadattamento, da quel punto partono delle onde riflesse.

In telefonia succede che chi parla sente la propria voce, con un ritardo (eco). In Tx dati ciò provoca errori (l'1 può diventare uno zero o viceversa)

La potenza erogata al carico è $P_u = V_d I_d - V_r I_r$
 il II° termine si annulla se c'è adattamento.

Deve esserci adattamento tra tutte le impedenze cioè $Z_g = Z_0 = Z_u$

Questa è la condizione per il MAX trasferimento di potenza sul carico, dal generatore e attraverso la linea.

Per ottenerla, si interpongono adattatori.

ANTENNE

L'antenna trasmittente si può considerare come un tratto di linea a vuoto con i conduttori posti a 180° . L'isolante è lo spazio circostante, in cui avviene la propagazione.

L'A. ricevente, che può essere uguale all'A. trasmittente, viene posta in un punto generico dello spazio in cui la Potenza dell'onda trasmessa, nonostante l'attenuazione subita, è ancora percepibile, e la trasmette al carico sotto forma di energia elettrica.

Dipolo hertziano: elemento conduttore (con al centro il generatore) avente lunghezza $l = K \frac{\lambda}{2}$

K dipende dal materiale ($\sim 0,93$ per il rame; $\sim 0,83$ per l'alluminio)



Si comporta come una linea aperta, perciò si instaurano onde stazionarie di V e I .

Viene irradiata nello spazio energia elm , secondo un particolare diagramma.

fig. 8

Svantaggi: 1) dev'essere posto nello spazio in modo che il generatore si trovi a metà dipolo; 2) la lunghezza diventa esagerata per trasmissioni in onde lunghe. Es: $f = 300 [kHz] \Rightarrow \lambda = 1000 [m]$! Il dipolo dovrebbe essere lungo $\sim 500 m$!

Dipolo Marconi:



fig. 9

c'è solo un tratto di conduttore lungo $\lambda/4$; l'altra metà è rappresentata dalla Terra. Il diagramma di irradiazione è pro molto diverso.

Potenza irradiata.

$$P_i = 730 \left(\frac{l}{\lambda} \right)^2 I_{eff}^2 [W]$$

l = lunghezza dipolo [m]
 λ in [m]
 I_{eff} = corrente di segnale (in corrispond. del ventre)

La corrente è nulla agli estremi del dipolo (linea aperta), max al centro ($\lambda/4$ dalle estremità)

Si può allora porre $R_r = 730 \left(\frac{l}{\lambda} \right)^2$ Resistenza di radiazione \triangleq resistenza che, inserita in serie

all'antenna, dissiperebbe, percorsa dalla corrente di segnale, una potenza pari a quella che, in realtà, l'antenna irradia nello spazio.

Le formule però sono state ricavate nell'ipotesi di irradiazione uniforme su tutta la lunghezza dell'antenna, il che non è vero in quanto la corrente I ha andamento sinusoidale lungo il dipolo.

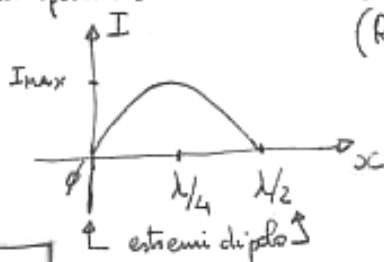


fig. 10

(Regime di onde stazionaria, linea aperta)

Si introduce allora un fattore di forma α , da moltiplicare per l .

Si ottiene la lunghezza effettiva radiante l_{eff}

Per i due dipoli risti $\alpha = \frac{2}{\pi} = 0,636$.

Si ottiene, per il d. Hertziano, $P_i \approx 80 I_{eff}^2 [W] \Rightarrow R_r \approx 80 [\Omega]$

" " Marconiano $P_i \approx 40 I_{eff}^2 [W] \Rightarrow R_r \approx 40 [\Omega]$

(metà potenza viene assorbita dalla terra)

Tenendo conto anche del fattore K (finora si era supposto $l = \lambda/2$ e $l = \lambda/4$) per i due dipoli

si ottiene infine $R_r = 75 [\Omega]$ dip. Hertziano

$R_r = 37 [\Omega]$ " Marconiano.

FREQUENZA D'ANTENNA

L'antenna è come un circuito risonante serie. Infatti i parametri distribuiti del tratto di linea che la costituisce possono essere schematizzati così:



Dip. Marconiano

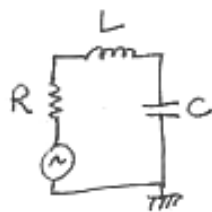


fig. 11

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \begin{matrix} f \text{ di risonanza} \\ \text{(la } f \text{ per cui)} \\ \omega L = \frac{1}{\omega C} \end{matrix}$$

Allo f_0 , l'impedenza del circuito è puram. resistiva, dato che $j\omega L = \frac{1}{j\omega C} = -j\frac{1}{\omega C}$

L = indutt. per unità di lunghezza della linea moltiplicata per la lung. linea stessa [che è $\lambda/4$ in questo caso] (antenna)

C = analogamente

$$\begin{cases} L = L/m \cdot l \\ C = C/m \cdot l \end{cases}$$

Essendo

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0} \Rightarrow c \cdot 2\pi\sqrt{LC} \approx 18,85 \cdot 10^8 \sqrt{LC} [m], \text{ si ricavano le lunghezze teoriche}$$

$\frac{\lambda_0}{2}$ e $\frac{\lambda_0}{4}$ per dip. Hertziano (da moltiplicare poi per K)
e Marconiano

Dall'analisi tra antenna e circ. risonante emerge che la condizione essenziale di funzionamento è che la frequenza propria dell'antenna (f_0) coincida con quella del segnale da trasmettere (in tale caso infatti l'antenna è puram. resistiva).

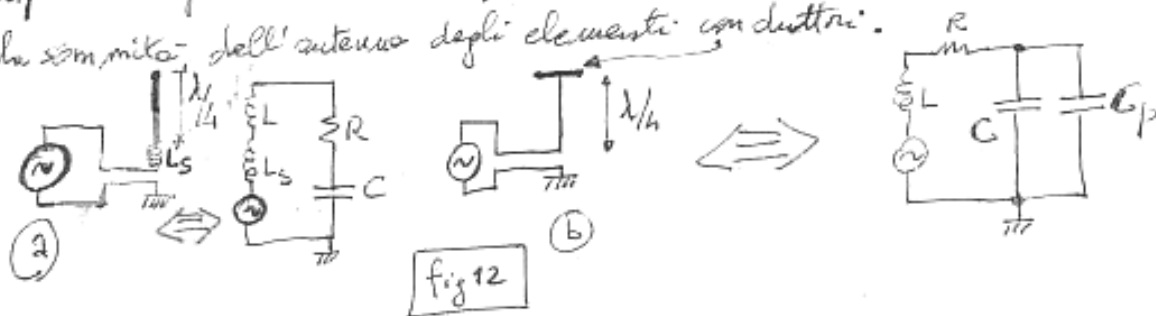
Ma se la lunghezza d'onda del segnale è elevata?

Bisogna cercare di ridurre le dimensioni fisiche dell'antenna senza perdere troppo in efficienza d'irradiazione.

Si vede dalla formula $\lambda_0 = c \cdot 2\pi \sqrt{LC}$ che è possibile aumentare λ_0 aumentando LC , ma non incrementando la lunghezza l della linea, bensì aggiungendo elementi reattivi di scatto (induttori e condensatori)

Da ciò segue che un'antenna di una certa lunghezza e materiale (e perciò con una data frequenza f_0) può essere fatta funzionare anche per frequenze di segnale più basse di quella ottima (cioè con segnali di $\lambda +$ lunga), aggiungendo in serie al generatore un induttore L_s in modo che risulti $\lambda'_0 \approx 18,85 \cdot 10^8 \sqrt{C(L+L_s)}$.

In tal modo si raggiunge la lunghezza d'onda del segnale che si vuole trasmettere. L'allungamento artificiale d'antenna si può ottenere anche ponendo in parallelo alla capacità d'antenna C una capacità aggiuntiva C_p (capacità in parallelo si sommano) - ciò si ottiene ad esempio ponendo sulla sommità dell'antenna degli elementi conduttori.



Rendimento d'antenna

La potenza di irradiazione non coincide con la potenza fornita dal segnale all'antenna, in quanto questa ne assorbe una certa quantità durante il funzionamento. Si tiene conto delle perdite tramite una resistenza equivalente R_{ep} , percorsa dalla corrente I di segnale; $P_p = R_{ep} I_{eff}^2$

Dato che la potenza irradiata è $P_{irr} = R_e \cdot I_{eff}^2$, la Potenza totale

fornita dal generatore è $P_{tot} = P_{irr} + P_p = (R_e + R_{eq}) I_{eff}^2$

il rendimento d'antenna sarà $\eta = \frac{P_{irr}}{P_{irr} + P_p} = \frac{R_e}{R_e + R_{eq}}$

È bene sottolineare che solo alla f_0 di risonanza un'antenna si comporta come una resistenza. Per frequenze $\neq f_0$, bisogna parlare di impedenza d'antenna essendo anche i componenti reattivi.

In ricezione, l'onda elm captata dall'antenna vi induce una tensione E che provoca la circolazione di una corrente $I = \frac{E}{R_e + R_{eq}}$ questa f.e.m. è considerata uniformemente distribuita sull'antenna, per cui si deve tener conto del fattore di forma α , il che determina una lunghezza efficace dell'antenna $<$ di quella reale.

Antenne direttive

Il dipolo Hertziano e Marconiano irradiano in una vasta zona di spazio intorno a se.

Per molte applicazioni bisogna concentrare l'irradiazione in una zona di spazio (LOB) ristretta. A tal fine si costruiscono antenne con il dipolo fondamentale (in genere Hertziano) connesso al TX o al RX e costituite anche da elementi passivi detti RIFLETTORI e DIRETTORI.

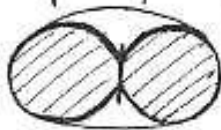
Le antenne direttive si usano nel campo delle onde corte ($100 \div 10$ [m]) e ultracorte ($10 \div 1$ [m]), per cui la lunghezza $\frac{\lambda}{2}$ è contenuta.

Le antenne direttive sfruttano questo principio: se un dipolo passivo è accoppiato per induzione elm con un dipolo attivo, può anch'esso irradiare. L'ampiezza e la fase dell'onda irradiata dal d. passivo sono funzione dell'accoppiamento, cioè della distanza dal dipolo attivo, e delle sue dimensioni.

I riflettori hanno lunghezza leggermente maggiore del dipolo attivo. Se questo è lungo l , il riflettore è $\approx 1,05 l$. $\Rightarrow f_0 \text{ riflettore} < f_0 \text{ dipolo attivo}$
Invece i direttori sono lunghi $\approx 0,95 l$. $\Rightarrow f_0 \text{ direttore} > f_0 \text{ "}$

SOLIDO DI RADIAZIONE

Rappresentazione spaziale delimitata da una superficie, luogo geometrico degli estremi dei vettori del campo elm di radiazione, con origine il dipolo radiante, avente lunghezza proporzionale all'intensità del campo. Sezionando il solido con un piano contenente il dipolo, o ad esso \perp , si ottengono i diagrammi di radiazione. Ad esempio, nel caso teorico di antenna puntiforme, il solido di radiazione è una sfera.



DIPOLO HERTZIANO



DIPOLO MARCONIANO

SOLIDI DI RADIAZIONE

ANTENNA YAGI direttiva a 6 elementi:

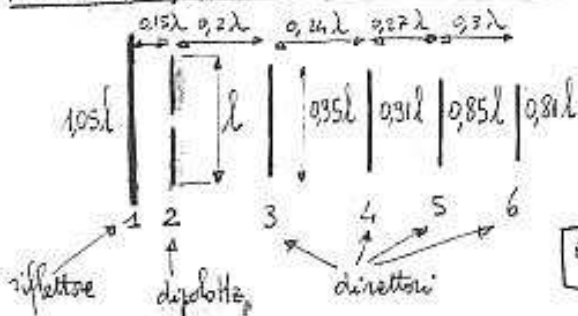
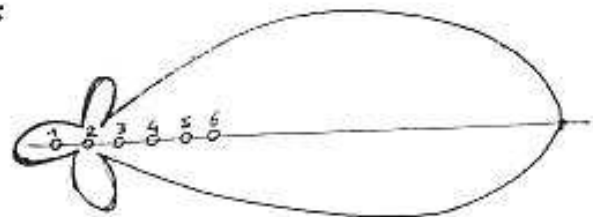


FIG 13



SOLIDO DI RADIAZIONE

Il riflettore impedisce la propagazione del campo elm in una direzione, mentre i direttori stabiliscono un lobo nella direzione opposta, preferenziale.

Concentrando la potenza in una sola direzione, si ottiene che in un punto lontano il segnale ricevuto abbia una potenza molto maggiore rispetto a quella che avrebbe se l'antenna fosse il semplice dipolo Hertziano.

Se a un dipolo Hz viene aggiunto un riflettore si ottiene un guadagno di potenza di $3 \div 5$ dB (posto ϕ dB il guadagno del semplice dipolo)

Con un direttore, si guadagnano $2 \div 3$ dB. Ogni altro elemento direttore porta un incremento di guadagno di $\approx 1,2$ dB.

Perciò, con 1 riflettore e 4 direttori si ottiene un guadagno totale di ≈ 19 dB nella direzione di propagazione. Questo guadagno dipende dalle distanze degli elementi passivi dal dipolo attivo e tra loro.

Impedenza d'antenna

Spesso l'antenna è distante dal Tx o dal Rx, per cui il collegamento viene fatto tramite linee (cavi coax o guide d'onda). Per avere il max trasferimento di potenza bisogna che linea e antenna siano adattate, cioè la R_c dell'antenna dev'essere uguale alla Z_0 della linea (in caso contrario, riflessione di segnale, onde stazionarie). Vi sono vari modi per modificare la resistenza di radiazione. Es: dipolo ripiegato, fatto con conduttori di diametro diverso; in base al rapporto tra i diametri, varia la R_r (si può arrivare anche oltre il K Ω)

Antenne PARABOLICHE

Si usano nel campo delle microonde, cioè altissima frequenza (UHF-SHF-EHF) $1 \div 300$ [GHz] (subito prima dell'infrarosso) e per le frequenze superiori (I.R., ottiche, UV, X, γ).

Le onde in fatti si comportano come le onde luminose.

L'onda elm da trasmettere viene posta nel fuoco della parabola mediante una guida d'onda o un cavo coax, terminanti con un dipolo (feeder), da cui si propaga secondo le leggi dell'ottica. Ricordiamo che, per le proprietà della parabola, tutti i raggi luminosi provenienti da molto lontano e quindi pressoché paralleli vengono riflessi nello stesso punto detto Fuoco (dove la densità di potenza è però elevatissima). In tal modo, in Rx, si concentra l'energia di segnali deboli.

In Tx, invece, l'onda elm uscendo dal Fuoco viene riflessa dalla parabola e si propaga poi come un'onda piana.

