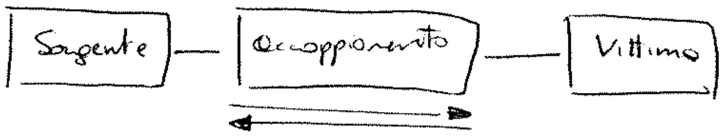
# COMPATIBILITA' ELETTROMAGNETICA

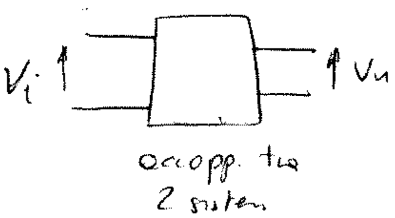
Si basa ~~al~~ sulla suscettibilità o sull'immunità di un elemento rispetto all'ambiente esterno.




Per ridurre i disturbi bisogna limitare la prod. di disturbi o rendere la vittima meno sensibile o peggiorare il più possibile l'accoppiamento.

L'accoppiamento può essere diviso in:

- accoppiamento per collegamento elettrico
- " " per irradiazione.




$\frac{V_i}{V_u}$ è importante. Più è grande meno sono accoppiati i sistemi.

esempio $\left.\begin{array}{l} V_u = 1\,mV \\ V_i = 1\,kV \end{array}\right\}$ $\frac{V_i}{V_u} = 10^6 \Rightarrow 120\ dB$

$10 \log_{10} \frac{|P_i|}{|P_u|}$ $\qquad 20 \log_{10} \frac{I_i}{I_u}$

$P_i = \frac{V_i^2}{R_i}$ $\qquad P_u = \frac{V_u^2}{R_u}$ $\qquad$ se $R_u \approx R_i$

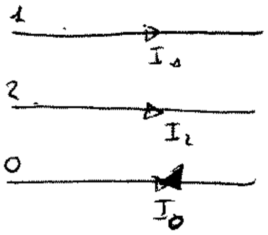
allora $10 \log_{10} \frac{V_i^2/R_i}{V_u^2/R_u} = 20 \log_{10} \left(\frac{V_i}{V_u}\right)$

Certe volte ~~si~~ usano i dB di grandezze dimensionali.

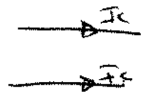
$V_i = 10^3\ V$

$20 \log_{10} \frac{V_i}{mV} = 20 \log_{10} \frac{10^3}{10^{-3}} = 120\ dB\ mV$ esprime $V_i$ in confronto ai mV.

Nota: $50\ dB\ m = 50\ dB\ mW = 10 \log_{10} \frac{P}{mW}$




$$I_1 + I_2 + \cancel{I_3} = I_0$$

Corrente di modo comune 

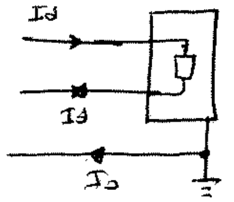

Corrente di modo differenziale 

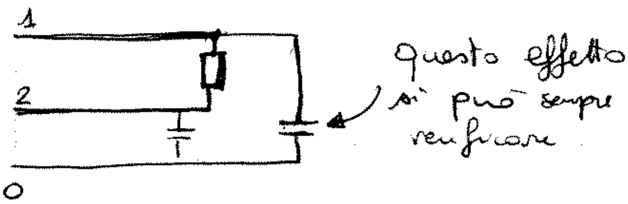

Decomponiamo $I_1$ e $I_2$ in due correnti di modo comune + modo differenziale

$$\begin{cases} \overline{I_1} = \overline{I_c} + \overline{I_d} \\ \overline{I_2} = \overline{I_c} - \overline{I_d} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_c = \dfrac{I_1 + I_2}{2} \\ I_d = \dfrac{I_1 - I_2}{2} \end{cases}$$

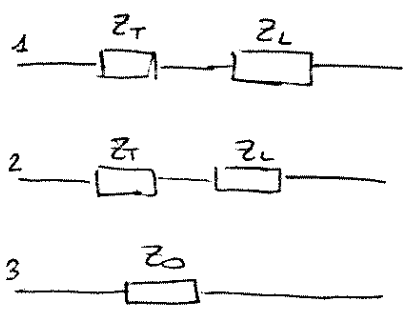
Ci complica la vita $I_0$ che permette il transito della corrente di modo comune.

$$I_0 = 2 I_c$$



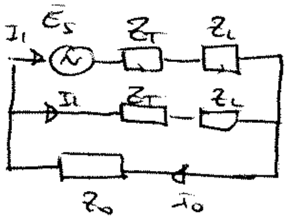




La presenza del 3° conduttore potrebbe non essere così palese. Quindi se si ha una terna di conduttori si possono avere le correnti di modo comune e di modo differenziale.




Situazioni plausibili

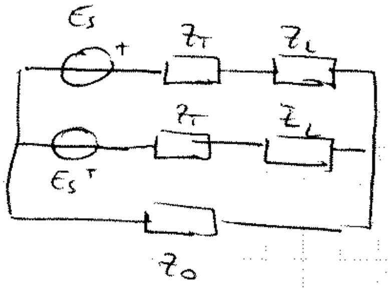
1




$$\begin{cases} E_S = (Z_T + Z_L) I_1 + Z_0 (I_1 + I_2) \\ 0 = (Z_T + Z_L) I_2 + Z_0 (I_1 + I_2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} E_S = (Z_T + Z_L)\,(I_1 - I_2) \\ E_S = (Z_T + Z_L)(I_1 + I_2) + 2\,Z_0\,(I_1 + I_2) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_d = \dfrac{E_S}{2(Z_T + Z_L)} \\ I_c = \dfrac{E_S}{2(Z_T + Z_L + 2Z_0)} \end{cases}$$

2)

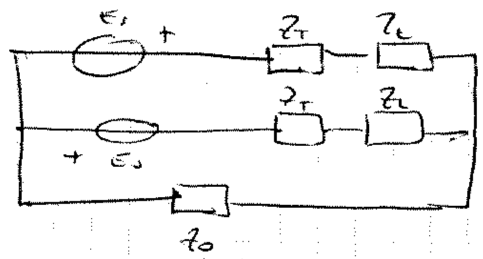



$$\begin{cases} E_S = (Z_T + Z_L)\,I_1 + Z_0\,(I_1 + I_2) \\ E_S = (Z_T + Z_L)\,I_2 + Z_0\,(I_1 + I_2) \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{cases} 2E_S = (Z_T + Z_L + 2Z_0)(I_1 + I_2) \\ 0 = (Z_T + Z_L)(I_1 - I_2) \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{cases} I_c = \dfrac{E_S}{Z_T + Z_L + 2Z_0} \\ I_d = 0 \end{cases}$$

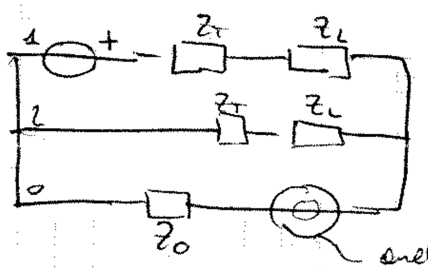
3)




$$\begin{cases} E_S = (Z_T + Z_L)\,I_1 + Z_0\,(I_1 + I_2) \\ -E_S = (Z_T + Z_L)\,I_2 + Z_0\,(I_1 + I_2) \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{cases} 0 = (Z_T + Z_L + 2Z_0)(I_1 + I_2) \\ 2E_S = (Z_T + Z_L)(I_1 - I_2) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_c = 0 \\ I_d = \dfrac{E_S}{Z_T + Z_L} \end{cases}$$

Si può provare a far crescere la $Z_0$ in modo artificiale.

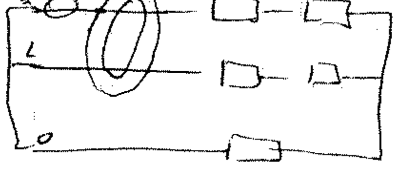



$$N = 1 \Rightarrow L = \frac{1}{R} = \frac{\mu_r \mu_0 S_{eq}}{l_{eq}}$$

Otteniamo induttanza in serie

Questo sistema non funziona molto in bassa frequenza.

Qualcosa di equivalente si ha così



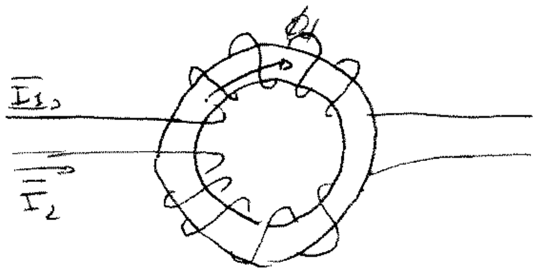

L'anello non crea problemi per la $I_d$, ma solo per la $I_c$ e ha lo stesso effetto dell'anello sul caso $\emptyset$

Il 3° conduttore (0) non si vede. Quindi è più pratico inserire l'anello tra i conduttori 1 e 2.

<u>In alternata</u>

$$\begin{cases} E_1 = j\omega\,(L_{11} I_1 + M I_2) \\ E_2 = j\omega\,(L_{22} I_2 + M I_1) \end{cases}$$

supponiamo $L_{11} = L_{22} = M$



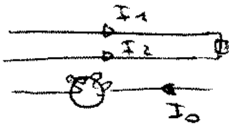

$$\frac{N_1^2}{R} = \frac{N_2^2}{R} = \frac{N_1 N_2}{R}$$

$$\begin{cases} E_1 = j\omega\,(M I_1 + M I_2) \\ E_2 = j\omega\,(M I_2 + M I_1) \end{cases}$$

$$\phi_d = (L I_d - M I_d) + (L I_d - M I_d)$$

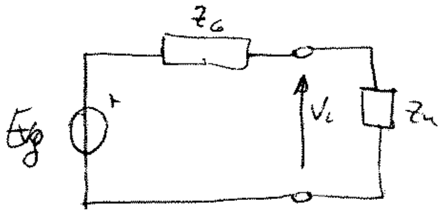
~~se~~

$$\phi_c = 2(L I_c + M I_c) \qquad X_{eq} = \omega\, 2(L+N) = \omega\, 2\frac{N^2}{R}$$

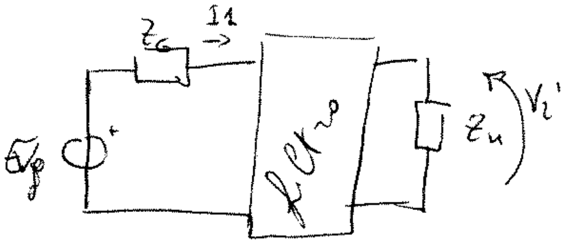



Conduttore 0

$$l'_{ep_0} = \frac{N^2}{R} \qquad l'_{eq_0} I_0 = \phi = l'_{eq_0}\, 2 I_c$$




$$V_2 = \frac{Z_u}{Z_u + Z_g} E_g$$




$$I_l = 20 \log\left(\frac{|V_2|}{|V_2'|}\right)$$

insertion loss

$$\begin{cases} V_1' = A V_2' + B I_2' = A \bar{V}_2' + \frac{B}{Z_u} \bar{V}_2' = \left(A + \frac{B}{Z_u}\right) \bar{V}_2' \\ I_1' = C V_2' + D I_2' = \qquad = \left(C + \frac{D}{Z_u}\right) \bar{V}_2' \end{cases}$$

$$\frac{\bar{V}_1'}{\bar{I}_1'} = Z_{ingresso} = \frac{A + \frac{B}{Z_u}}{C + \frac{D}{Z_u}}$$

$$\bar{I}' = \frac{\bar{V}_1'}{Z_{ingresso}} \qquad \bar{I}_1' = \bar{V}_1' \frac{C + \frac{D}{Z_u}}{\bar{A} + \frac{B}{Z_u}}$$

$$\frac{V_2}{V_1'} = \frac{\frac{Z_u}{Z_u + Z_g} E_g}{V_1' \frac{Z_u}{A Z_u + B}} = \frac{\frac{Z_u}{Z_u + Z_g} E_g}{\frac{Z_u}{A Z_u + B}} \left( \frac{1}{Z_G + } \right. =$$

$$E_g = (Z_G + Z_{ingresso}) \, I_1' \qquad I_1' = \frac{E_g}{Z_G + Z'_{ing1}}$$

Risultato:

$$\frac{V_2}{V_2'} = \frac{(A + Z_g C) Z_u + B + Z_g D}{Z_u + Z_G}$$

$$\cancel{E_g - Z_G I_1' = V_1' = \left(A + \frac{B}{Z_u}\right) V_2' \quad E_g - Z_G \left(C + \frac{D}{Z_u}\right) V_2'}$$

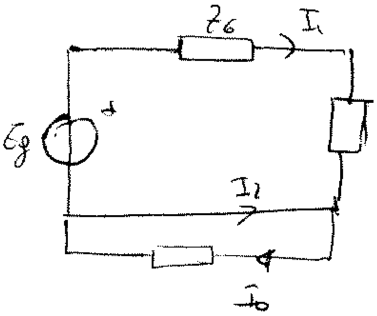
$$V_2' = \frac{V_1'}{A + \frac{B}{Z_u}} = \frac{E_G - Z_G I_1'}{A + \frac{B}{Z_u}} \qquad I_1' = \frac{E_G}{Z_G + Z_{ing1}} = \frac{E_g}{Z_g + \frac{A + B/Z_u}{C + \frac{D}{Z_u}}}$$

$$Z_{ing2} = \frac{A + \frac{B}{Z_u}}{C + \frac{D}{Z_u}}$$

$$\frac{V_2}{V_1'} = \frac{\frac{Z_u}{Z_u + Z_g} E_g}{\frac{E_G - \frac{Z_G E_G}{Z_g + \frac{A + B/Z_u}{C + D/Z_u}}}{A + \frac{B}{Z_u}}} = \frac{\frac{Z_u}{Z_u + Z_G}\left(A + \frac{B}{Z_u}\right)}{\frac{Z_g + \frac{A + \frac{B}{Z_u}}{C + \frac{D}{Z_u}} - Z_G}{Z_G + \frac{A + B/Z_u}{C + D/Z_u}}} =$$

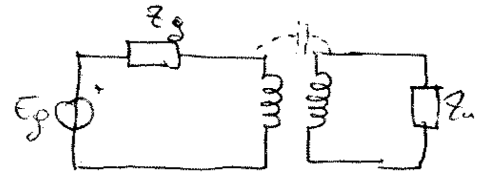
$$= \frac{\frac{Z_u}{Z_u + Z_G}\left(A + \frac{B}{Z_u}\right)\left(C + \frac{D}{Z_u}\right)\left(Z_G \left(C + \frac{D}{Z_u}\right) + A + \frac{B}{Z_u}\right)}{\left(A + \frac{B}{Z_u}\right)\left(C + \frac{D}{Z_u}\right)} =$$

$$= \frac{(A + C Z_g) Z_u + B + D Z_G}{Z_u + Z_G}$$



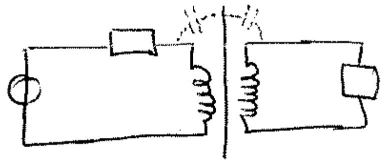

$$I_c = \frac{I_1 + I_2}{2}$$

posso inserire un trasformatore per ridurre $I_c$



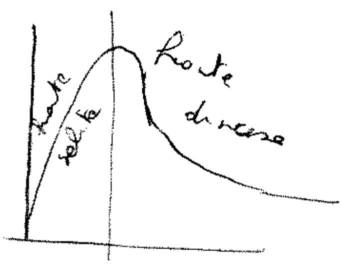

La corrente di modo comune non c'è ~~altro~~ a meno di capacità parassite.

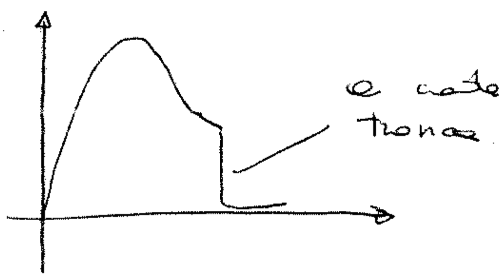
Si può usare anche uno schermo metallico tra gli avvolgimenti.

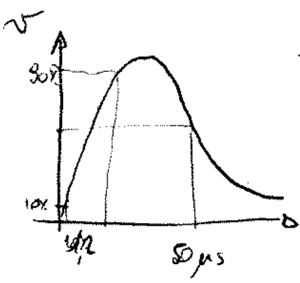


Funziona anche ad alte frequenze (il trafo deve essere costruito in modo appropriato).

Sovratensioni dovute a scariche

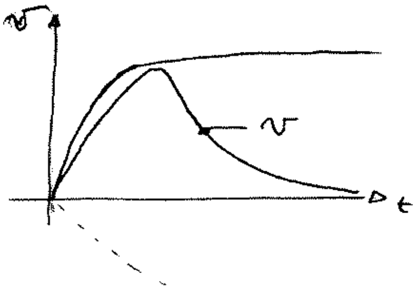


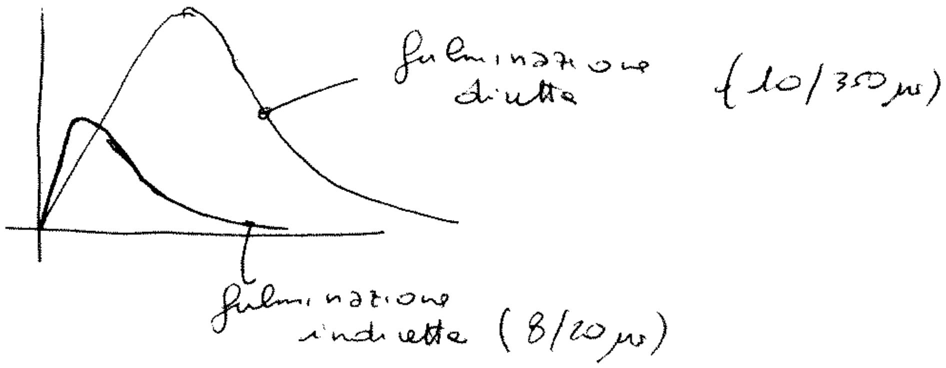




1,2 / 50 μs

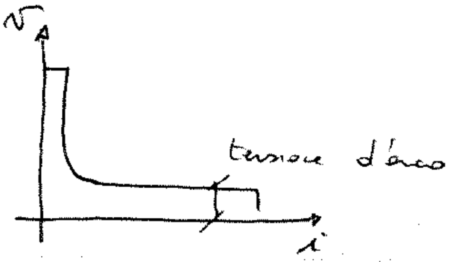
$$v = \cancel{A}\, A_0\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}}\right) - A_0\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_2}}\right)$$



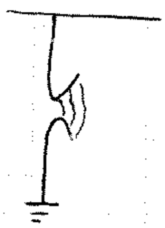



Scaricatori (SPD) — spinterometri

varistori

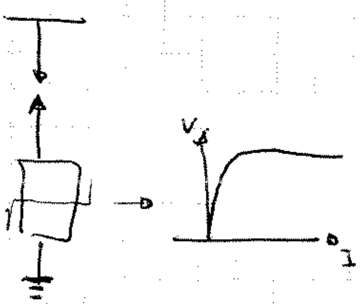



correnti molto elevate

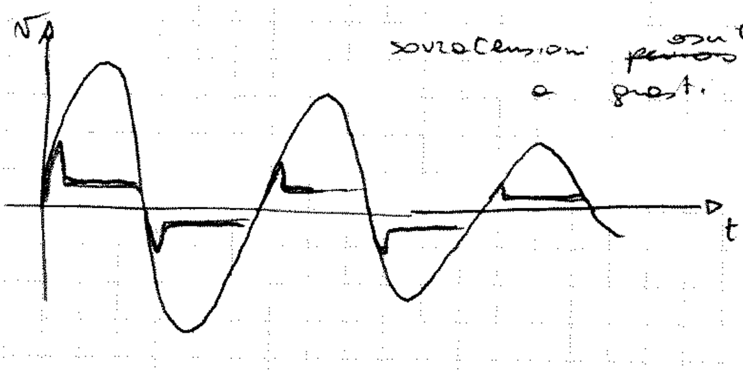


Lo spinterometro a corna fa aumentare la resistenza perché le correnti vengono spinte verso l'esterno e così ~~dimin~~ diminuisce la corrente.

Lo scaricatore deve essere in grado di interrompere le correnti di scarica.

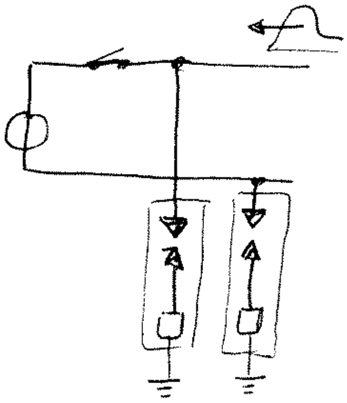



Per tensioni basse ~~il~~ varistore si comporta come c.c. per tensioni elevate aumenta la resistenza.




sovratensioni ~~perm~~ oscillanti (di solito dovute a guasti intermittenti a terra)

Se lo scaricatore non riesce a estinguere la corrente_

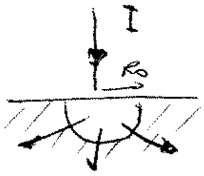


Il generatore è funzionante quindi se l'SPD rimane chiuso rischio di creare un corto circuito sull'impianto.

Il fornitore dice $I_{max}$

E' necessario inserire una protezione che non intervenga durante la sovracorrente, ma che intervenga contro il corto circuito.

## Ionizzazione del terreno



I: corrente di guasto verso terra

$$J = \frac{I}{2\pi r^2} \qquad R_T = \frac{1}{2\pi\sigma r_0}$$

$$J = \sigma E \qquad E = \frac{I}{2\pi r^2 \sigma}$$

Quando $E > E_{rigidità}$ il terreno inizia a comportarsi come il dispersore, cioè

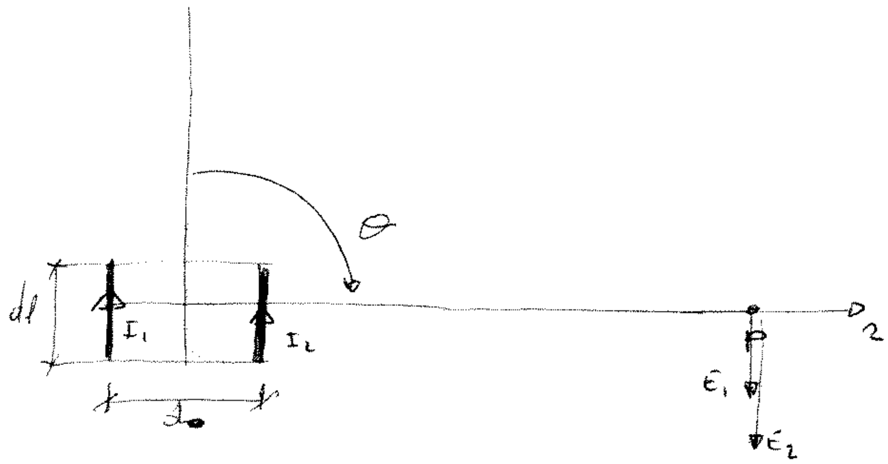
$\sigma \rightarrow \infty$

Si ha questo valore finché $E \geq E_{rig} \approx 4000 \frac{V}{cm}$

$$\frac{I}{2\pi\sigma r^2_{max}} = E_0$$

In tutto il tratto di terra $r_{max}$ si ha che il terreno è ~~un~~ materiale conduttore e cioè è come se si ~~ha~~ avesse una sfera conduttrice di $r^2$ molto maggiore di $r_0$.

Supponiamo che un campo elettromagnetico venga prodotto da 2 bipoli hertziani




$\theta = \frac{\pi}{2}$

definiamo $R_1 = r + d_0/2$

$R_2 = r - d/2$

Se noi immaginiamo $I_1$ e $I_2$ come le correnti di due conduttori in cui si può avere un 3° conduttore O si ha che

$$I_d = \frac{I_1 - I_2}{2} \qquad I_c = \frac{I_1 + I_2}{2} \Rightarrow \begin{cases} I_1 = I_d + I_c \\ I_2 = I_c - I_d \end{cases}$$

$$E_c = E_{c1} + E_{c2} = j \frac{I_c\, dl}{4\pi} \eta_0 K_0 \frac{e^{-jk_0 r_1}}{r_1} + j \frac{I_c\, dl}{4\pi} \eta_0 K_0 \frac{e^{-jk_0 r_2}}{r_2} =$$

$$= j \frac{dl\, I_c}{4\pi} \eta_0 K_0 \left[ \frac{e^{-jK(r+\frac{d}{2})}}{r+\frac{d}{2}} + \frac{e^{-jK_0(r-\frac{d}{2})}}{r-\frac{d}{2}} \right] =$$

Se $r_0 \gg d_0$ allora $\frac{1}{r_0 \pm \frac{d}{2}} \simeq \frac{1}{r_0}$

$$= j \frac{I_c\, dl}{4\pi} \eta_0 K_0 \underbrace{\left[ e^{-j\frac{K_0 d}{2}} + e^{j\frac{K_0 d}{2}} \right]}_{2\cos(K_0 \frac{d}{2})} \frac{e^{-jK_0 r}}{r}$$

$$E_c = j2 \frac{I_c\, dl}{4\pi} \eta_0 K_0 \frac{e^{-jK_0 r}}{r} \cos\left(K_0 \frac{d}{2}\right)$$

$$E_d = j \frac{I_d\, dl}{4\pi} \eta_0 K_0 \frac{e^{-jK_0 r_1}}{r_1} - j \frac{I_d\, dl}{4\pi} \eta_0 K_0 \frac{e^{-jK_0 r_2}}{r_2} =$$

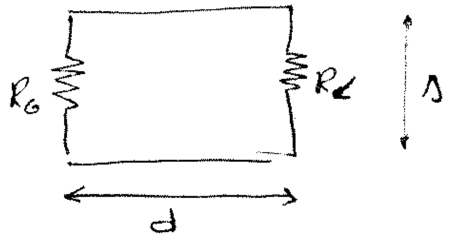
$$= j \frac{I_d\, dl}{4\pi} \eta_0 K_0 \frac{e^{-jKr}}{r} \underbrace{\left[ e^{-j\frac{d}{2}K_0} - e^{j\frac{d}{2}K_0} \right]}_{-2j \sin\left(\frac{K_0 d_0}{2}\right)} =$$

$|E_c| \propto \cos\left(\frac{k_0 d}{2}\right)$ mentre $|E_d| \propto \sin\left(\frac{k_0 d}{2}\right)$ Quindi

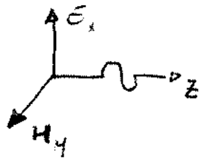
se $\frac{k_0 d}{2}$ è circa 0

$$\left|\frac{E_c}{E_d}\right| = \frac{\cos\left(\frac{k_0 d}{2}\right)}{\sin\left(\frac{k_0 d}{2}\right)} \simeq \frac{1}{k_0 \frac{d}{2}} = \frac{1}{\frac{2\pi}{\lambda}\frac{d}{2}} = \frac{\lambda}{\pi d}$$

Ora vediamo cosa può accadere su una linea che subisce il campo prodotto dal dipolo Hertziano.




Cosa succede alla linea se viene investita da un' ~~campo~~ onda piana uniforme (disturbo)




La linea giace nel piano $E_x - z$

Prendiamo in esame un tratto $dz$ di linea. L'area tra i due conduttori: $ds = s\,dz$ $\quad \vec{ds} = \vec{j}\,ds \parallel H_y$

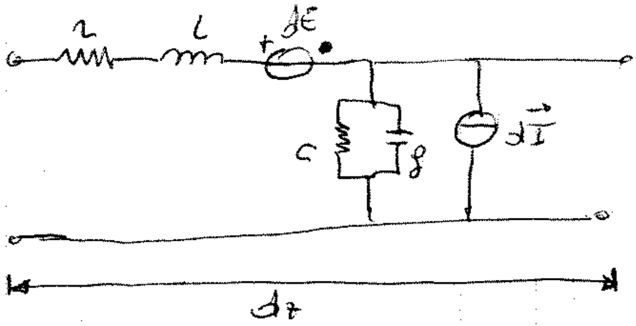
$$d\Phi = \mu_0 H_y\, s\, dz \rightarrow j\omega d\Phi = dE = j\omega \mu_0 H_y\, s\, dz$$

forza elettromotrice indotta

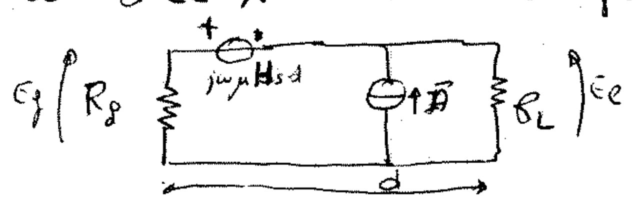
$$dI = j\omega\, dQ = j\omega\, C\, dz \cdot E \cdot s$$

campo elt.

Di conseguenza la linea nel tratto $dz$ è rappresentabile così




Se $d \ll \lambda$ la linea può essere semplificata così:




$A = j\omega\epsilon\, s\, d \cdot E$ componente normale al conduttore linea

H è la componente normale al piano della linea.

$$E_g' = \frac{j\omega\mu_0 H_0 s d}{R_L + R_G} R_G \qquad E_L' = -\frac{j\omega\mu_0 H s d}{R_L + R_G} R_L$$

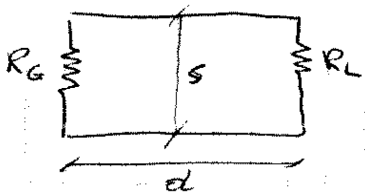
$$E_g'' = E_L'' = j\omega C s d E \frac{R_G R_L}{R_G + R_L} \quad , \quad C = \frac{\pi \varepsilon_0}{\ln \frac{s}{r_0}} \quad , \; r_0 \text{: raggio del conduttore}$$

$$E_g = E_g' + E_g'' \quad ; \quad E_L = E_L' + E_L''$$

<u>Esempio numerico:</u>

$d = 1\,m \qquad f = 100\ MHz \qquad \lambda = \frac{3 \cdot 10^8\ m/s}{10^8\ Hz} = 3\,m$

$R_G = 50\,\Omega \qquad R_L = 150\,\Omega \qquad s = 2\ cm$




$E_x = 10\ V/m \qquad \eta_0 = 120\pi = 377\,\Omega$

$H_y = \frac{E_x}{\eta_0} = 0{,}027\ A/m$

Facciamo i calcoli nell'ipotesi peggiore

$$fem_{indotta} = 2\pi 10^8 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 27 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot 1 = 4260\ 10^{-4}\ V = 0{,}426\ V$$

$$I_{indotta} = 2\pi \cdot 10^8 \cdot C \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot 10 = 2\pi \cdot 10^8 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot 10 \cdot \underbrace{\frac{\cancel{\pi}\frac{10^{-9}}{36\cancel{\pi}}}{\ln \frac{0{,}02}{0{,}50 \cdot 10^{-3}}}}_{7{,}78 \cdot 10^{-12}\ F/m} =$$

$$= 9{,}78 \cdot 10^{-4}\ A$$

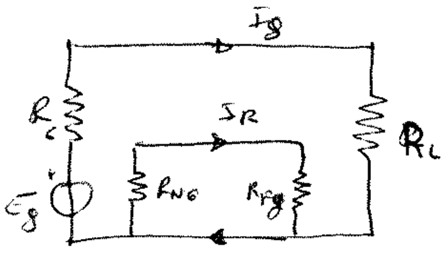
$V_{Rg}'' = V_{RL}'' = \frac{50 \cdot 150}{200} \cdot 1\,mA = 37{,}5\ mV$ generate da I indotta

$V_{Rg}' = \frac{50}{200} \cdot 0{,}426\ V = 0{,}106\ V$

$V_{RL}' = 0{,}32\ V$

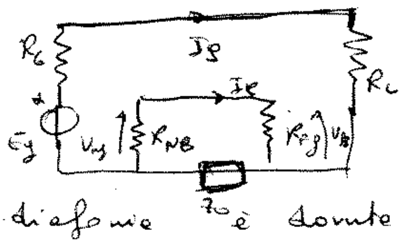
generate da fem indotta

# Diafonia (cross-talking)




$I_0 = I_g + I_R$

Tipi di approx: 1) possiamo studiare il circuito in questo modo:




la diafonia è dovuta all'impedenza del cond. 0

in questo caso le correnti di diafonia possono calcolare:

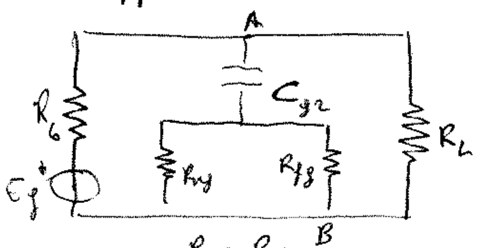
$$I_G = \frac{E_G}{R_G + R_L + \frac{(R_{ng}+R_{fg})\, Z_0}{R_N + R_G + Z_0}}$$

$$I_R = -\frac{Z_0}{Z_0 + R_{nG} + R_{fg}}\, I_g \leftarrow \text{corrente di diafonia}$$

$$\Downarrow$$

$$\begin{cases} V_{ng} = -R_{ng}\, I \\ V_{fg} = R_{fg}\, I \end{cases} \leftarrow \text{tensioni di diafonia.}$$

2) accoppiamento ~~induttivo~~ capacitivo:

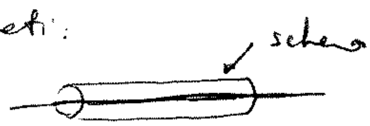


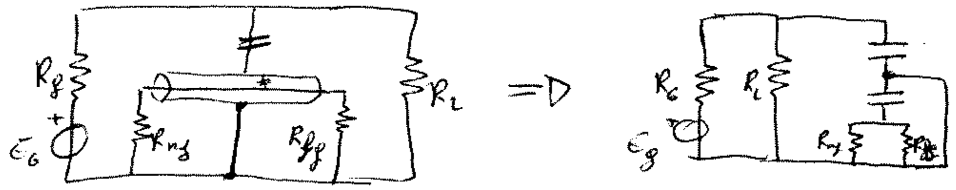

In questo caso le tensioni di diafonia sono uguali.

$$V_{diaf} = V_{AB} = \frac{\frac{R_{ng} R_{FG}}{R_{NG}+R_{FG}}}{\frac{1}{j\omega C} + \frac{R_{NG} \cdot R_{FG}}{R_{NG}+R_{FG}}}$$

ci dice che $V_{diaf}$ dipende dalla freq. a freq. 0 $V_{diaf} = 0$. $V_{diaf}$ è tanto maggiore tanto più è grande la frequenza.

Le soluzioni all'accoppiamento capacitivo sono i cavi schermati:

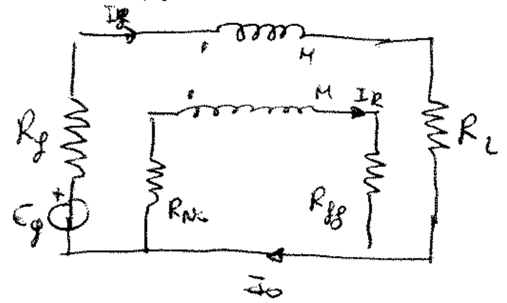




In $R_{ng}$ e $R_{gg}$ non passa corrente quindi

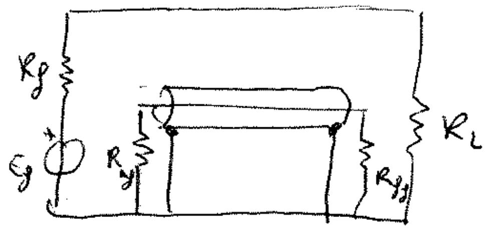
$V_{def.} = 0$

3) Accoppiamento induttivo.



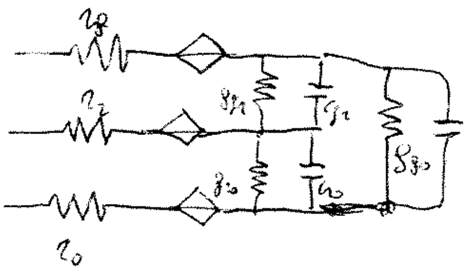
$$\begin{cases} E_g = I_g[R_g + R_L] + j\omega M I_R \\ j\omega M I_g = (R_{ng} + R_{gg}) I_R \end{cases}$$

In questo caso l'utilizzo dello schermo ha senso se si collega lo schermo alle 2 estremità al conduttore $I_0$.



Si genera una ~~spira~~ corrente indotta nella spira (schermo - cond. 0) che riduce l'accoppiamento induttivo.

È cosa buona collegare lo schermo a terra ad entrambe le estremità.



$$V_g + \frac{dV_g}{dx}dx$$

$$V_2 + \frac{dV_2}{dx}dx$$

$$-\frac{dV_g}{dx} = r_g i_g + r_0 (i_g + i_2) + j\omega\left[l_{gg} i_g + l_{g2} i_2 + l_{g0}(I_g + I_2)\right] - j\omega\left[+L_{00}(i_g + i_2) + l_{0g}(i_g) + L_{02} i_2\right]$$

$$-\frac{dV_2}{dx} = r_2 i_2 + r_0 (i_g + i_2) + j\omega\left[l_{22} i_2 + L_{2g} i_g + l_{20}(i_g + i_2)\right] - j\omega\left[L_{00}(i_g + i_2) + l_{02} i_2 + l_{0g} i_g\right]$$

$$-\frac{dI_g}{dx} = (V_G - V_2) g_{g2} + (V_G - V_0) g_{g0} + j\omega\left[C_{g2}(V_g - V_2) + C_{g0} V_G\right]$$

$$-\frac{dI_2}{dx} = V_2 g_{20} + (V_2 - V_g) g_{g2} - j\omega \left[ C_{20} V_2 + C_{2g} (V_2 - V_g) \right]$$

da cui si ottiene

$$-\frac{dI_g}{dx} = V_g (g_{g2} + g_{g0}) - V_2 g_{g2} + j\omega \left[ (C_{g2} + C_{g0}) V_g - C_{g2} V_2 \right]$$

$$-\frac{dI_2}{dx} = V_2 (g_{20} + g_{g2}) - V_g g_{g2} + j\omega \left[ V_2 (C_{20} + C_{2g}) - V_g C_{g2} \right]$$

$$\begin{bmatrix} -\frac{dV_g}{dx} \\ -\frac{dV_2}{dx} \\ -\frac{dI_g}{dx} \\ -\frac{dI_2}{dx} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_g + r_0 + j\omega(l_{gg} + l_{g0} - l_{00} - l_{0g}) & & 0 & \\ & & & \\ & & g_{g2} + g_{g0} + j\omega(C_{g2} + C_{g0}) & -g_{g2} - j\omega C_{g2} \\ 0 & & -g_{g2} - j\omega C_{g2} & g_{20} + g_{g2} + j\omega(C_{20} + C_{2g}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_g \\ I_2 \\ V_g \\ V_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} -\frac{dV_g}{dx} \\ -\frac{dV_2}{dx} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} r_g + r_0 + j\omega(l_{gg} + l_{g0} - l_{00} - l_{0g}) & r_0 + j\omega(l_{g2} + l_{g0} - l_{00} - l_{02}) \\ r_0 + j\omega(l_{2g} + l_{20} - l_{00} - l_{0g}) & r_2 + r_0 + j\omega(l_{22} + l_{20} - l_{00} - l_{02}) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} I_g \\ I_2 \end{Bmatrix}$$

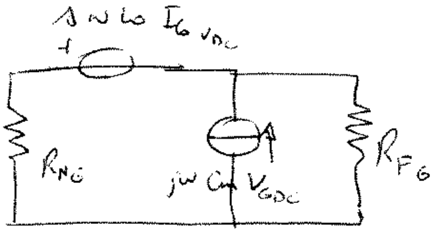
$$\cancel{\begin{matrix} -\frac{dV_g}{dx} \\ -\frac{dV_2}{dx} \end{matrix} \quad \begin{bmatrix} r_g + r_0 & \\ & r_0 \end{bmatrix} + j\omega \begin{bmatrix} l_{gg} + l_{g0} - l_{00} - l_{0g} \\ l_{2g} + l_{20} - l_{00} - l_{0g} \end{bmatrix}}$$

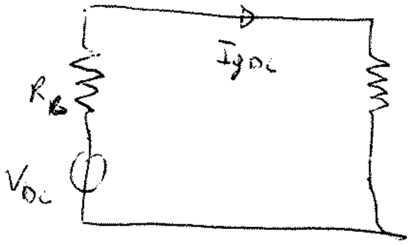
Matrice compattata

$$-\frac{dV_g}{dx} = r_g I_g + r_0 \left( I_g + I_2 \right) + j\omega\left[ \left( l'_{g0} I_G \right) + l'_{g2} I_L \right]$$

$$-\frac{dV_2}{dx} = r_2 I_2 + r_0 \left( I_g + I_L \right) + j\omega\left[ l'_{g2} I_g + l'_{20} I_R \right]$$

Semplifichiamo il modello (se la linea è suff. corta)




$$\begin{cases} I_{gDC} = \dfrac{V_G}{R_G + R_L} \\[2ex] V_{GDC} = V_G \dfrac{R_L}{R_G + R_L} \end{cases}$$

$$\begin{cases} l_m = \dfrac{\mu_0}{2\pi} \ln \dfrac{d_{GR}}{r_0} \\[2ex] C_m = \dfrac{\varepsilon_0}{2\pi \ln \dfrac{d_{GR}}{r_0}} \end{cases}$$

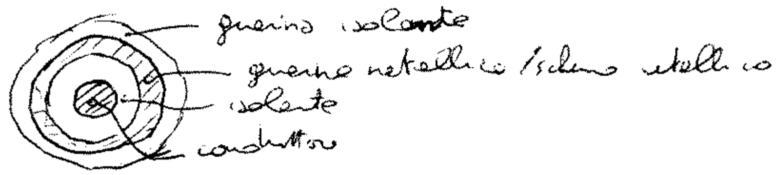
$r_0$: raggio del conduttore

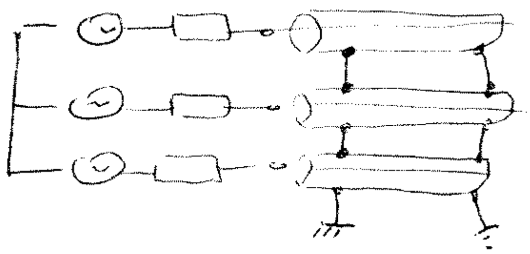
$d_{GR}$: distanza tra G e R

# TENSIONI INDOTTE NELLE GUAINE dei CAVI di POTENZA

Come si gestiscono le guaine metalliche dei cavi.

Cavi HT ($V_{nom} > 3\,kV$)

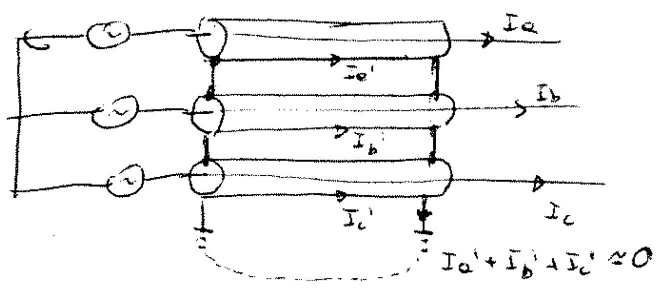


Bisogna collegare le guaine a terra ~~a~~ in almeno un punto

le guaine collegate a terra in un solo punto possono essere sede di tensioni indotte. Se le tensioni indotte ~~non~~ sono pericolose ~~Il collegamento a terra~~ è necessario che la guaina metallica sia isolata.

Se colleghiamo il cavo a terra in 2 punti ci aspettiamo che passi una corrente negli schermi.




$$I_a + I_b + I_c = 0$$

In questo caso le correnti nelle guaine non devono essere elevate a tal punto da rovinare la guaina.

Il caso più pericoloso è un guasto $3\phi$.