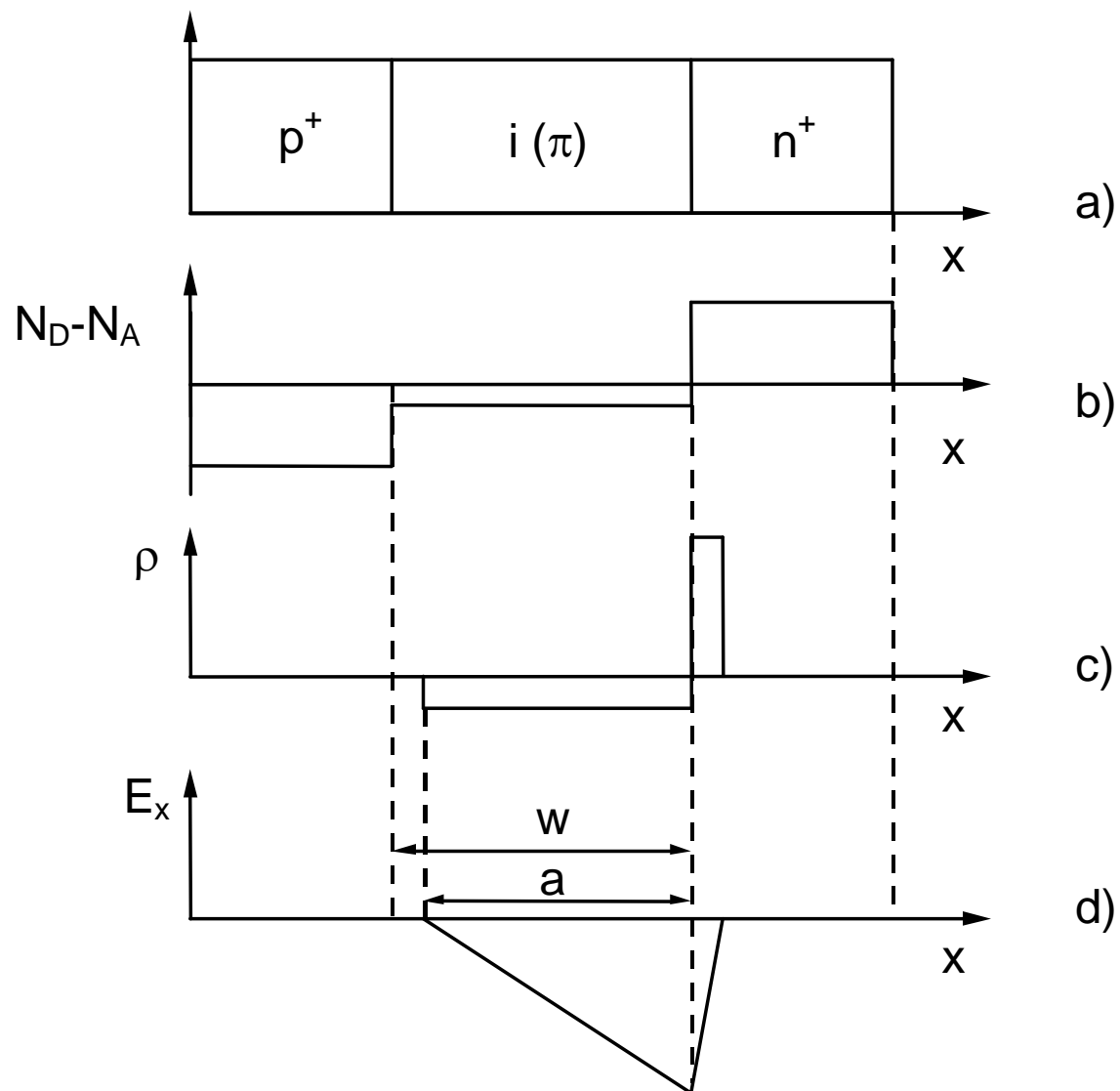
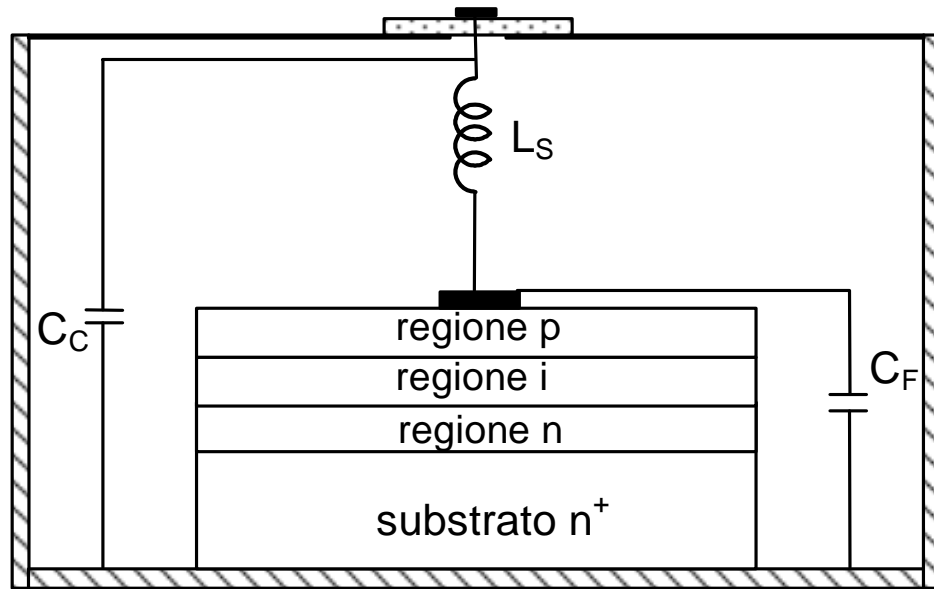


**ATTENUATORI  
CON DIODI  
PIN**

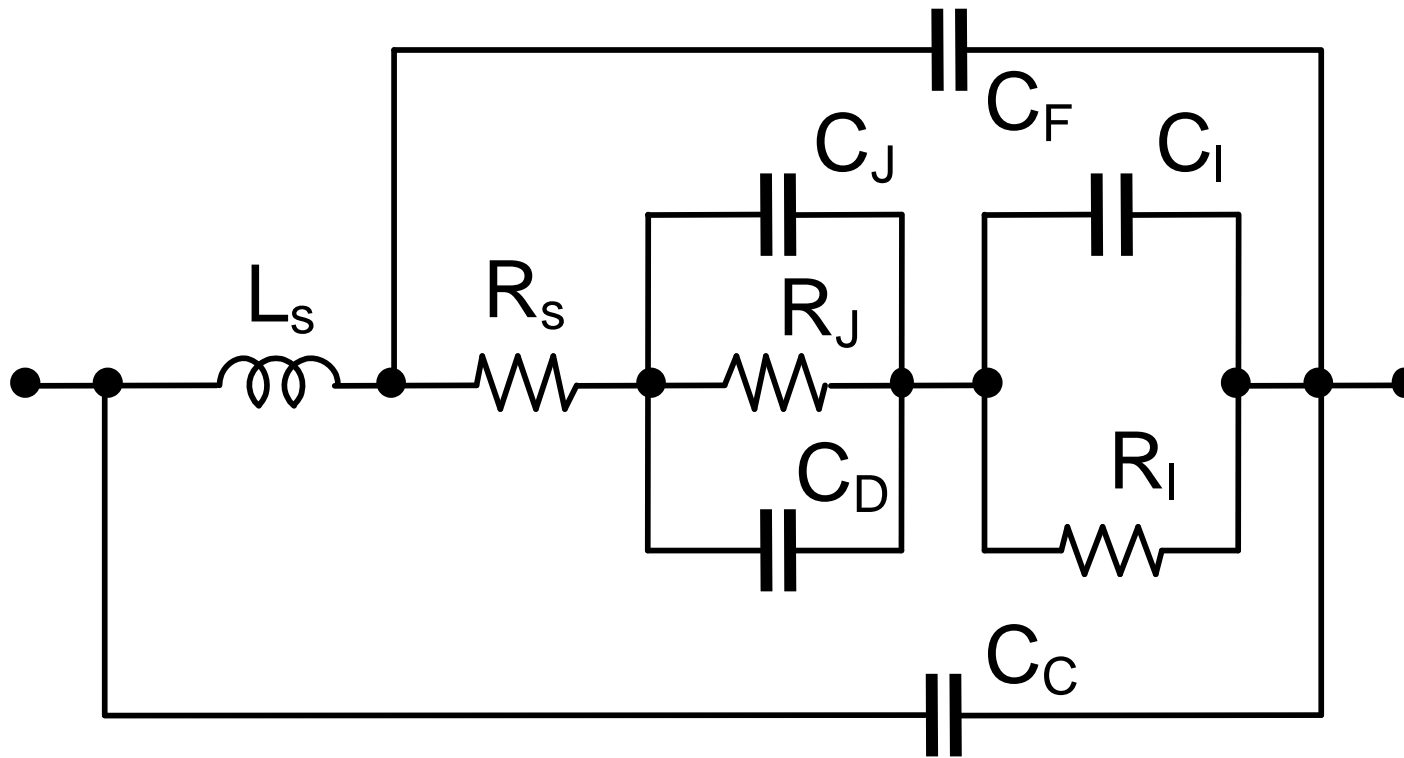
# GEOMETRIA



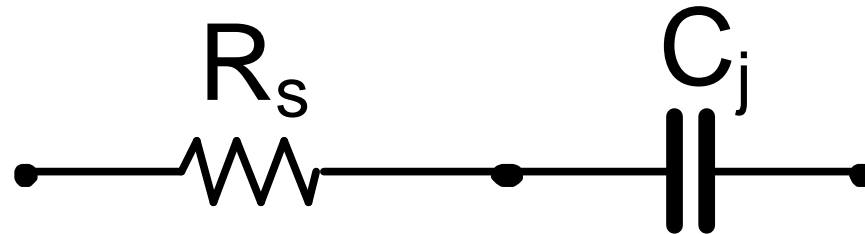
# CASE



# MODELLO



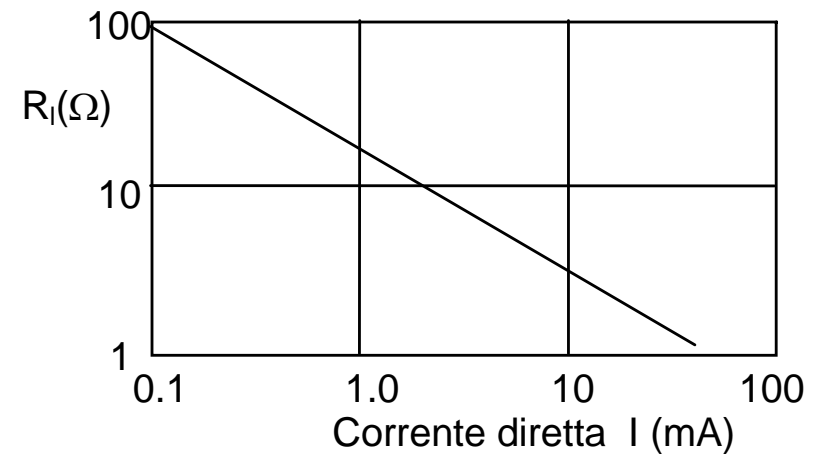
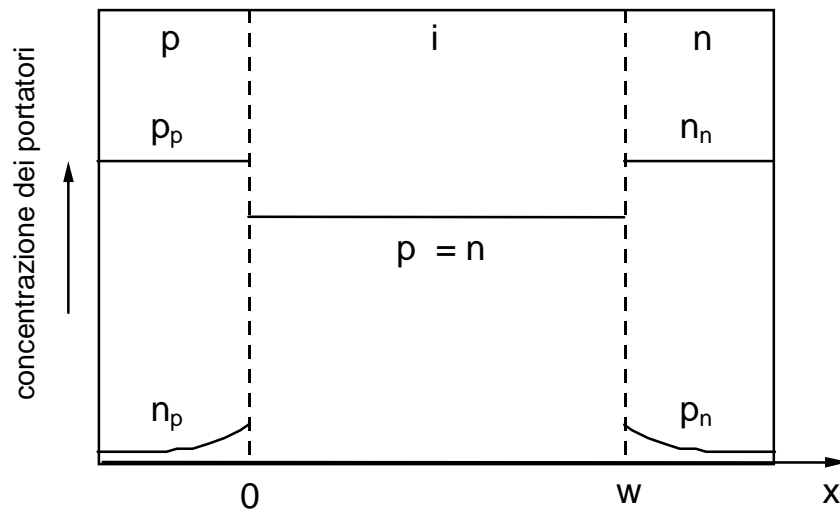
# POLARIZZAZIONE INVERSA SPINTA



Se si considera ad esempio la frequenza di 1 GHz con  $C = C_j = 0.2$  pF si ha  $X \approx 800 \Omega$ .

Questa impedenza è maggiore dell'impedenza delle comuni linee di trasmissione ( $50 \Omega$ ) per cui in queste condizioni il PIN si comporta come un circuito aperto

# POLARIZZAZIONE DIRETTA

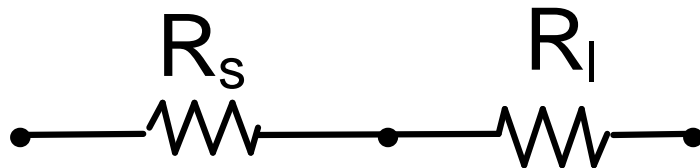


$$R_I I = 50 \text{ mV}$$

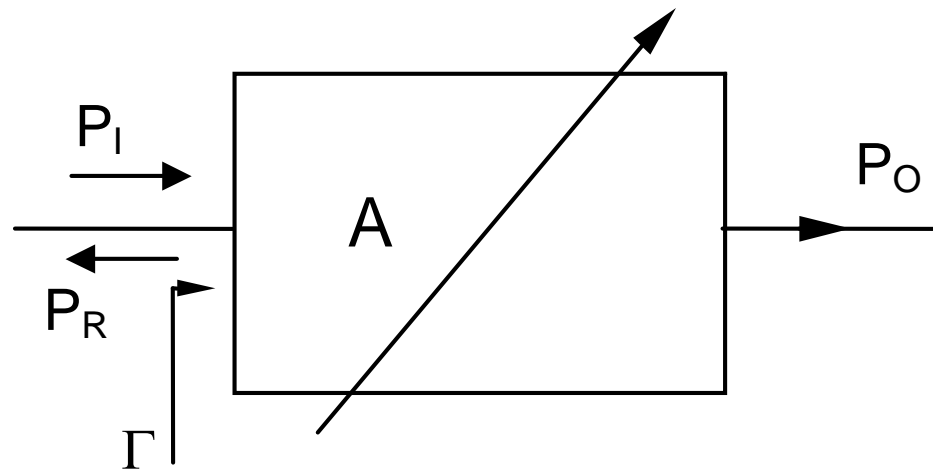
$$I = 10 \text{ mA} \rightarrow R_I = 5 \Omega$$

$$I = 1 \text{ mA} \rightarrow R_I = 50 \Omega$$

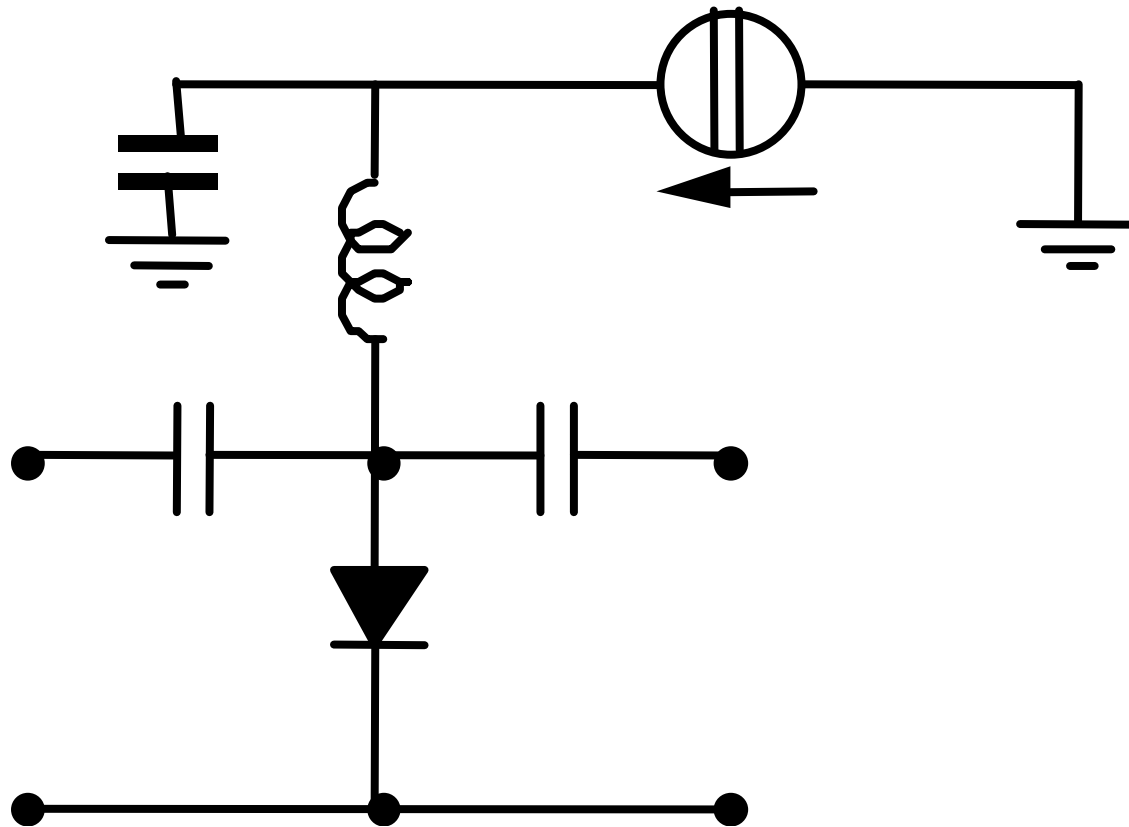
$$I = 0.1 \text{ mA} \rightarrow R_I = 500 \Omega$$



# ATTENUATORI VARIABILI

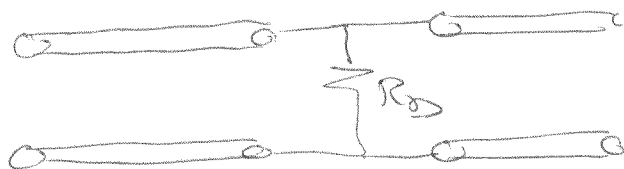


# ATTENUATORE A SINGOLO DIODO





# Modello RF attenuatore a singolo diodo



Calcolo del Return loss.



$$Z_{IN} = \frac{R_D \cdot Z_0}{R_D + Z_0}$$

$$\Gamma_{IN} = \frac{Z_{IN} - Z_0}{Z_{IN} + Z_0} = \frac{\frac{R_D Z_0}{R_D + Z_0} - Z_0}{\frac{R_D Z_0}{R_D + Z_0} + Z_0} = \frac{R_D Z_0 - R_D Z_0 - Z_0^2}{R_D Z_0 + R_D Z_0 + Z_0^2} = \frac{-Z_0^2}{2R_D Z_0 + Z_0^2}$$

$$L_r = 10 \log_{10} \frac{1}{|\Gamma_{IN}|^2} = 10 \log_{10} \left| \frac{2R_D Z_0 + Z_0^2}{Z_0^2} \right|^2$$

per  $R_D = \infty$   $L_r = \infty$

per  $R_D = 0$   $L_r = 0$

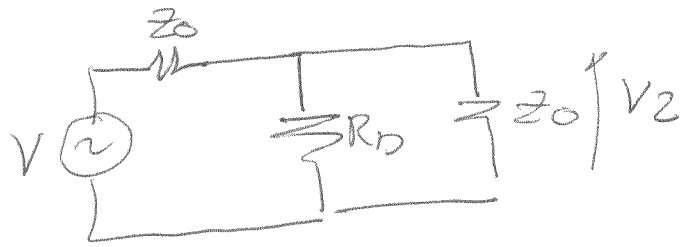
per  $R_D = 50 \Omega$   $L_r = 1.58$

per  $R_D = 500 \Omega$   $L_r = 9.54$

per  $R_D = 5000 \Omega$   $L_r = 26.44$

Adattato solo con  $R_D = \infty$   
 ok anche con  $R_D = 500 \Omega$   
 ma negl. i su cavi

# Calcolo Attenuazione



$$a_2 = \frac{V}{2}$$

$$b_2 = V_2$$

$$V_2 = V \cdot \frac{\frac{R_D \cdot z_0}{R_D + z_0}}{\frac{R_D \cdot z_0 + z_0^2}{R_D + z_0}} = V \cdot \frac{R_D \cdot z_0}{R_D \cdot z_0 + z_0 R_D + z_0^2} = V \cdot \frac{R_D \cdot z_0}{2 R_D z_0 + z_0^2}$$

$$S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_2=0} = \frac{2 R_D z_0}{2 R_D z_0 + z_0^2}$$

$$A_{dB} = 10 \log_{10} \frac{1}{|S_{21}|^2}$$

con  $R_D = \infty$   $A = 0 \text{ dB}$

con  $R_D = 0$   $A = \infty$

con  $R_D = 5 \Omega$   $A = 15.6 \text{ dB}$

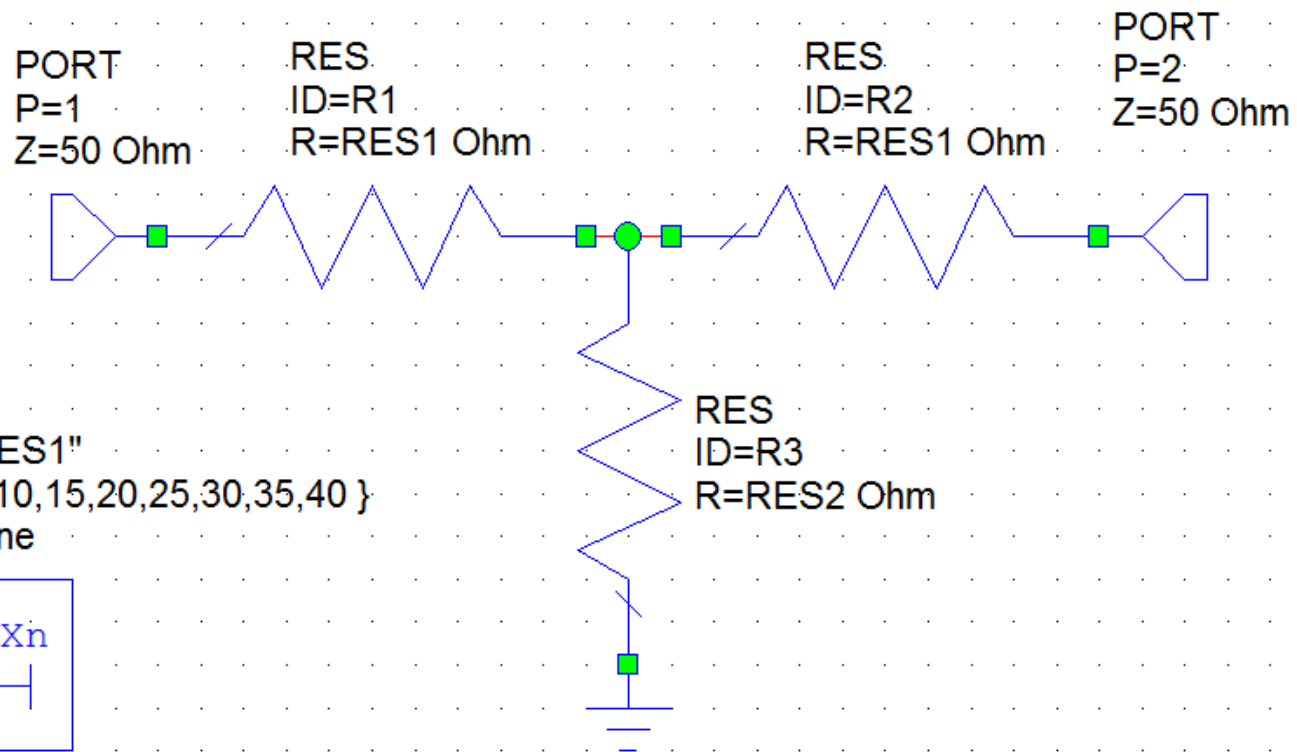
con  $R_D = 500 \Omega$   $A = 0.42 \text{ dB}$

DINAMICA  
15 dB

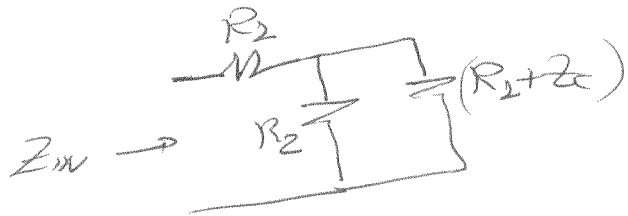
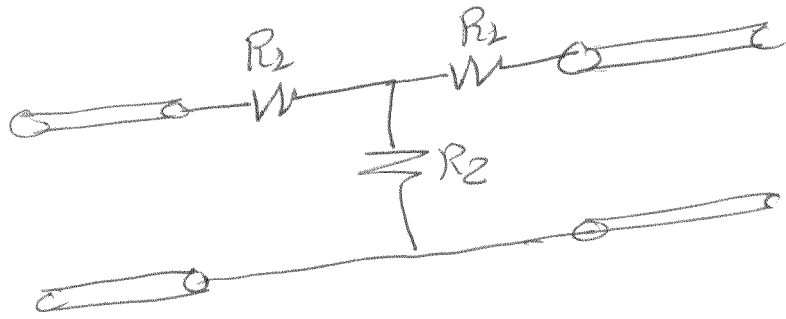
# ATTENUATORE A TRE DIODI

RES1=10

RES2= (50\*50-RES1^2)/(2\*RES1)



Attenuator con 5 vout



$$Z_{in} = R_1 + \frac{R_2(R_2 + Z_0)}{R_2 + R_2 + Z_0} = \frac{R_1^2 + R_1 R_2 + R_1 Z_0 + R_1 R_2 + Z_0 R_2}{R_2 + R_2 + Z_0} = Z_0$$

$$R_1 Z_0 + R_2 Z_0 + Z_0^2 = R_1^2 + 2R_1 R_2 + R_2 Z_0 + R_2 Z_0$$

$$Z_0^2 - R_1^2 = 2R_1 R_2$$

$$R_2 = \frac{Z_0^2 - R_1^2}{2R_1}$$

con  $R_1 = 50 \Omega$

$R_3 = 20 \Omega$

$R_3 = 30 \Omega$

$R_3 = 40 \Omega$

$R_3 = 50 \Omega$

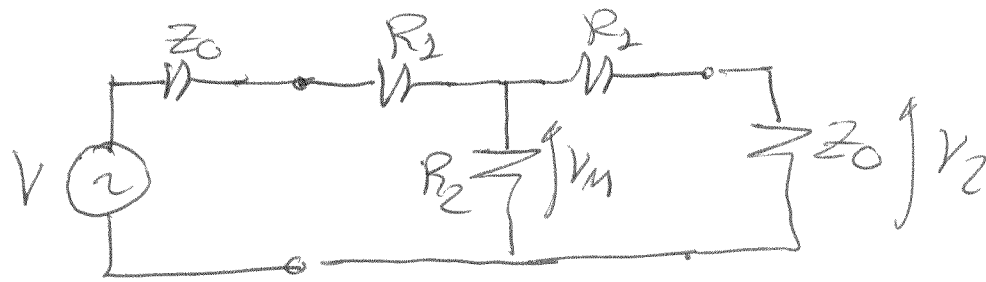
$R_2 = 27.7 \Omega$

$R_2 = 52.5 \Omega$

$R_2 = 26.6 \Omega$

$R_2 = 11.2 \Omega$

$R_2 = 0$



$$a_2 = \frac{V}{z}$$

$$b_2 = V_2$$

$$V_m = V \cdot \frac{(R_1 + z_0) \cdot R_2}{R_1 + z_0 + R_2} = V \frac{R_1 R_2 + z_0 R_2}{(R_1 + z_0) \cdot R_2 + z_0 + R_1}$$

$$= V \frac{R_1 R_2 + z_0 R_2}{(R_1 R_2 + z_0 R_2 + z_0 R_1 + R_1^2 + z_0^2 + z_0 R_1 + z_0 R_2 + R_1 R_2)}$$

$$= V \frac{R_1 R_2 + z_0 R_2}{(2 R_1 R_2 + 2 z_0 R_2 + 2 z_0 R_1 + R_1^2 + z_0^2)}$$

$$V_2 = V_m \cdot \frac{z_0}{R_2 + z_0} = V \frac{R_2 (R_1 + z_0) \cdot z_0}{(R_1 + z_0) ( )}$$

$$|z_{in} R_2 = 5V| \quad A = 2.7 \text{ dB}$$

$$R_1 = 20 \Omega \quad A = 7.3 \text{ dB}$$

$$R_1 = 40 \Omega \quad A = 18 \text{ dB}$$

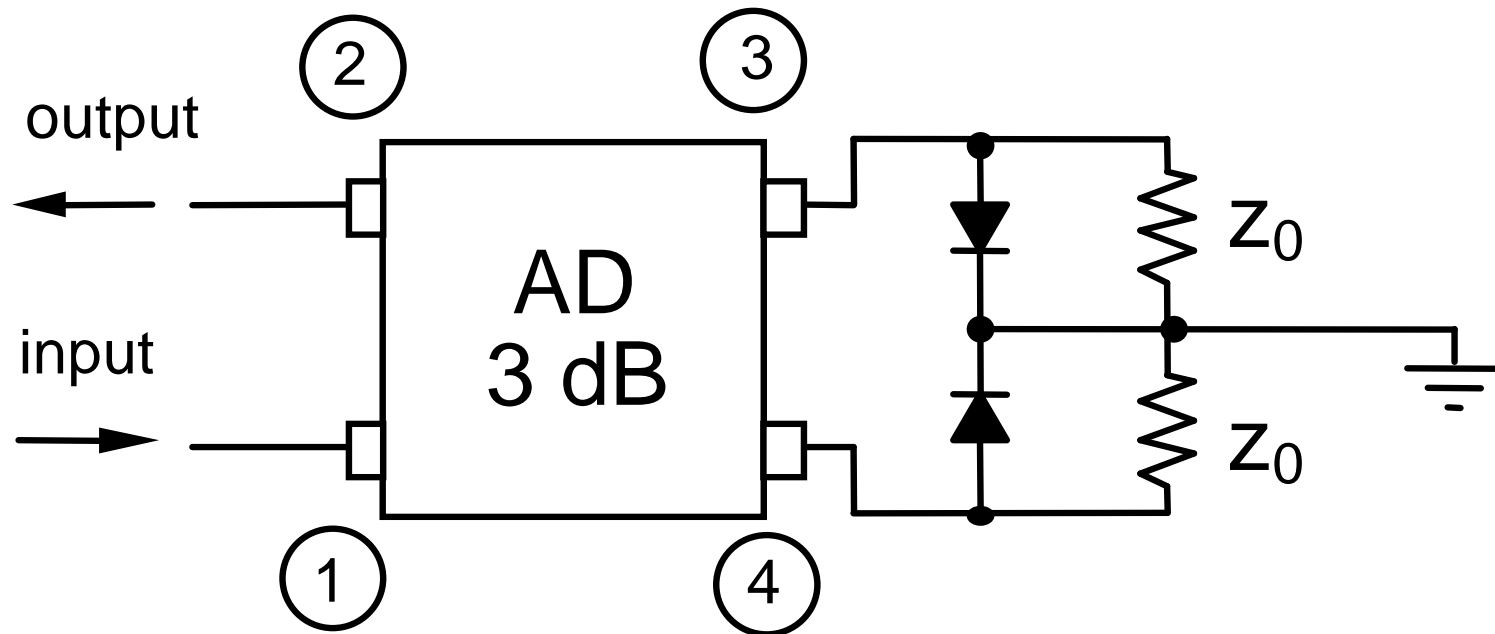
$$R_1 = 47 \Omega \quad A = 30 \text{ dB}$$

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} = \frac{2 R_2 z_0}{2 R_1 R_2 + 2 z_0 R_2 + 2 z_0 R_1 + R_1^2 + z_0^2}$$

$$A = 10 \log_{10} \frac{1}{|S_{21}|^2}$$

DYNAMICA  
30 dB

# ATTENUATORE CON AD a 90°

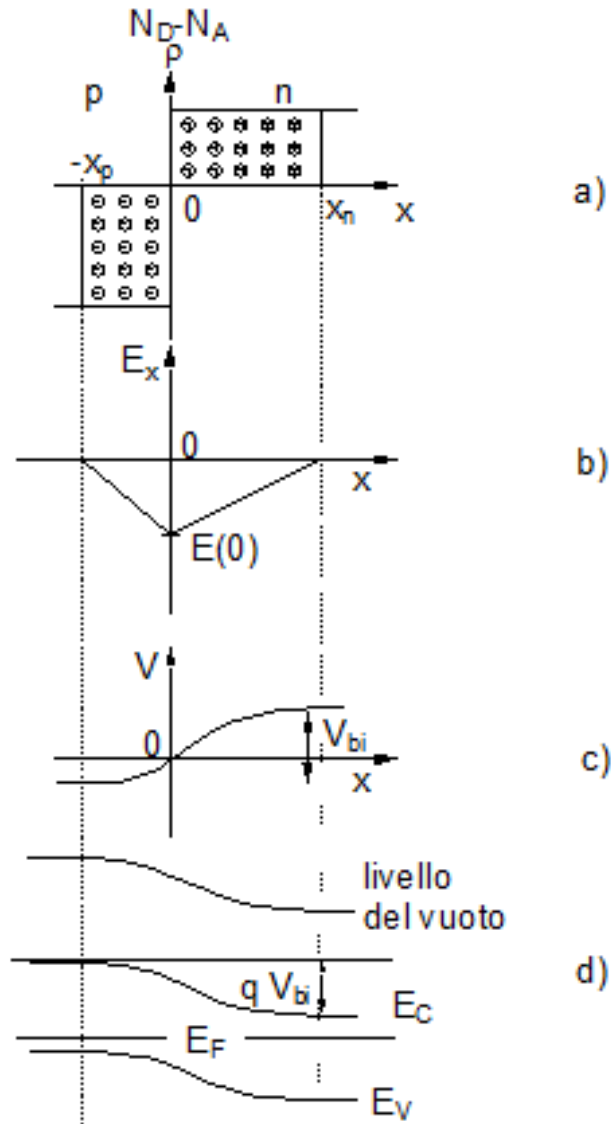


$$\mathbf{b}_2 = \frac{-j}{\sqrt{2}} \mathbf{a}_3 + \frac{-1}{\sqrt{2}} \mathbf{a}_4 = \frac{j}{\sqrt{2}} \Gamma_D (-\mathbf{b}_3 + j\mathbf{b}_4) = \frac{j}{\sqrt{2}} \Gamma_D \left( \frac{1}{\sqrt{2}} \mathbf{a}_1 + \frac{1}{\sqrt{2}} \mathbf{a}_1 \right) = j\Gamma_D \mathbf{a}_1$$

$$\mathbf{b}_1 = \frac{-1}{\sqrt{2}} \mathbf{a}_3 + \frac{-j}{\sqrt{2}} \mathbf{a}_4 = \frac{1}{\sqrt{2}} \Gamma_D (-\mathbf{b}_3 - j\mathbf{b}_4) = \frac{1}{\sqrt{2}} \Gamma_D \left( \frac{1}{\sqrt{2}} \mathbf{a}_1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \mathbf{a}_1 \right) = 0$$

**MOLTIPLICATORI  
CON VARIATORI O  
SRD**

# Varactor



$$E_x(x) = \int \frac{\rho(x)}{\epsilon} dx + \text{const}$$

$$V(x) = -\int E_x(x) dx + \text{const}$$



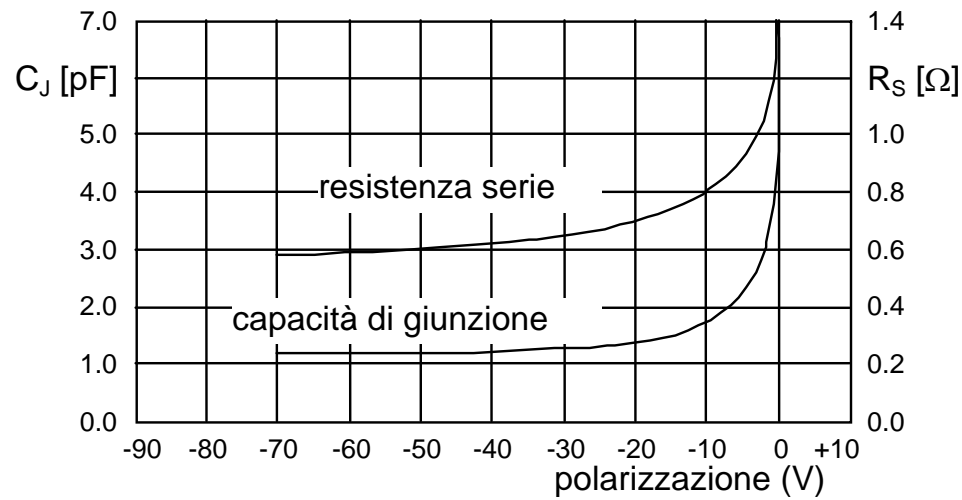
profilo di drogaggio

$$N_D(x) = ax^b \quad \gamma = 1/(b+2),$$

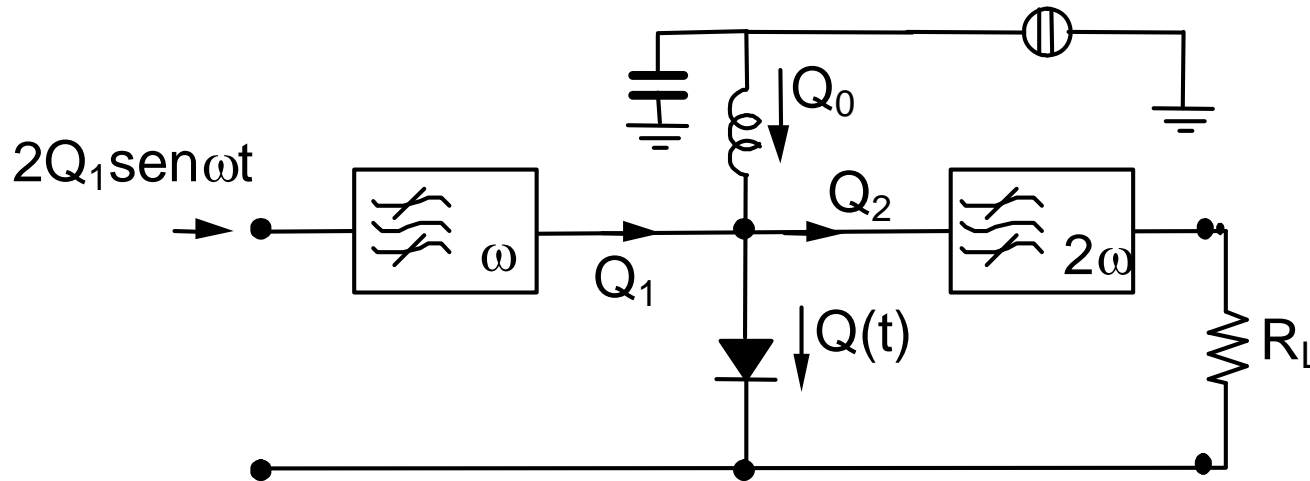
capacità di  
transizione

$$C_J(V) = \frac{dQ}{dV}$$

$$C_J(V) = \frac{C_0}{\left(1 - \frac{V}{V_{bi}}\right)^\gamma}$$



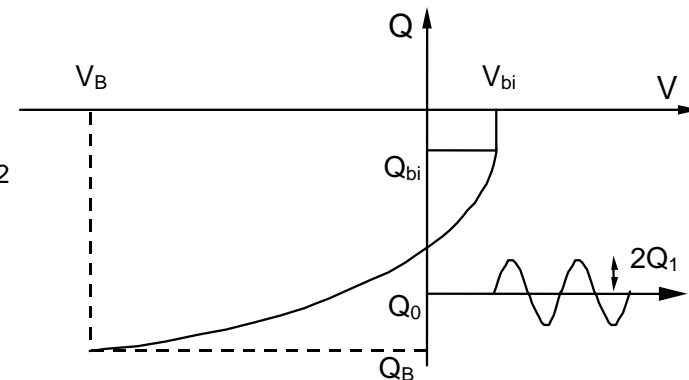
## Schema circuitale di un duplicatore di frequenza con varactor



$$V(t) = V_{bi} - \frac{V_{bi} - V_B}{(Q_{bi} - Q_B)^2} [Q_{bi} - Q(t)]^2 = V_{bi} - A [Q_{bi} - Q(t)]^2$$

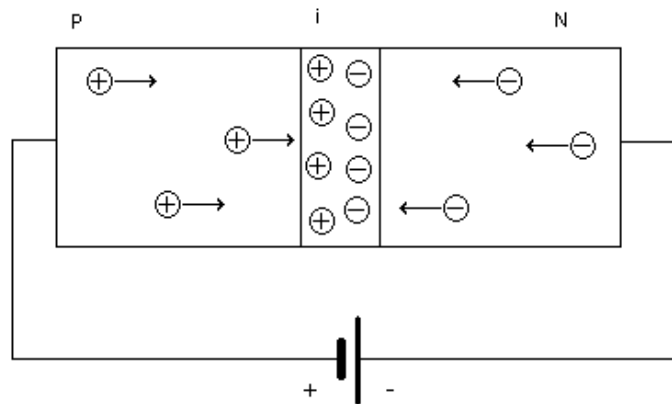
$$Q(t) = Q_0 + 2Q_1 \sin \omega t$$

$$V(t) = 2AQ_1^2 \cos 2\omega t \quad \text{uscita a frequenza doppia}$$

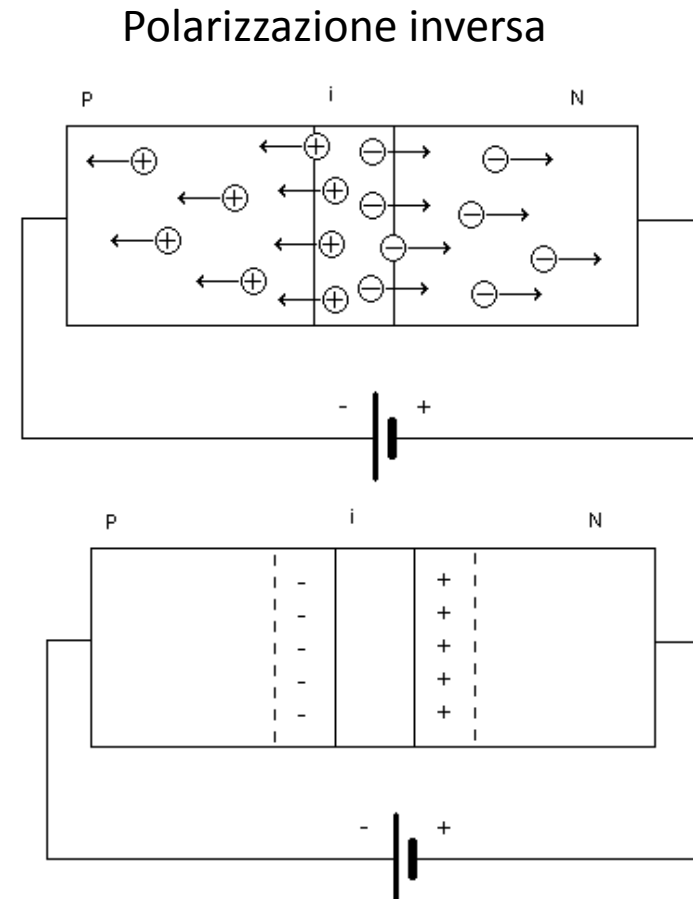


# Step Recovery Diode

I **diodi step recovery** sono diodi di tipo p-i-n, dove la regione intrinseca è realizzata in modo da avere un tempo di vita media delle cariche prima della ricombinazione il più lungo possibile.



Polarizzazione diretta



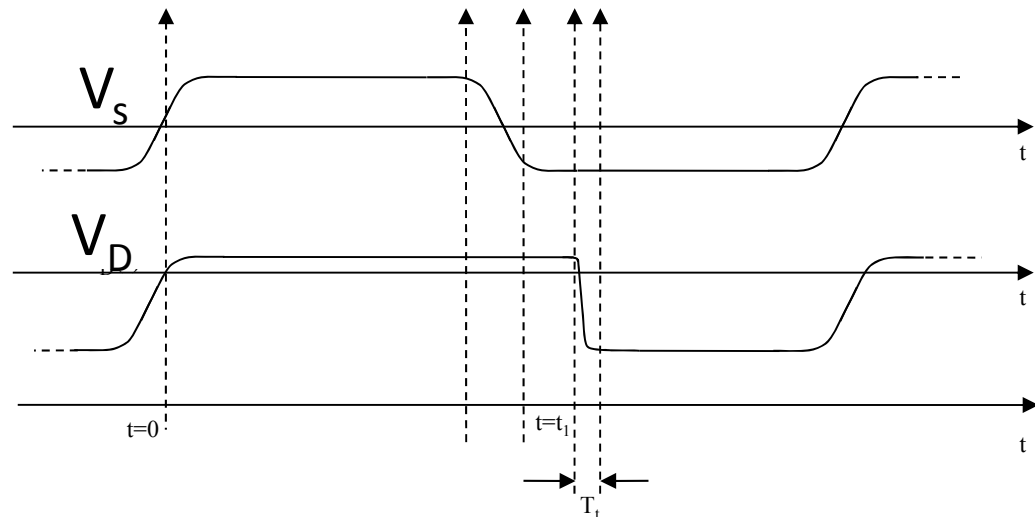
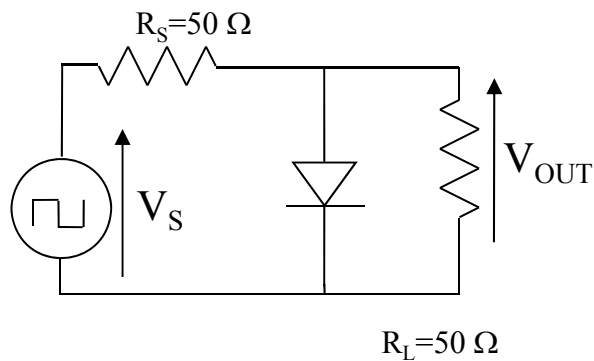
# Diodi Step Recovery

Quando il diodo è polarizzato in diretta elettroni e lacune entrano nella regione intrinseca (accumulo) si ha quindi una corrente diretta nel diodo.

Quando si inverte la tensione esterna, si inverte anche la corrente. La regione intrinseca inizia a svuotarsi (svuotamento) ma, per la presenza delle cariche accumulate, la tensione ai capi del diodo inizialmente rimane al valore che aveva in diretta.

Quando tutte le cariche presenti nella regione intrinseca sono state eliminate la tensione ai capi del diodo si inverte bruscamente e il diodo si ritrova in polarizzazione inversa (transizione ed inversione).

Poiché la velocità di commutazione è piuttosto alta, il diodo è in grado di generare un fronte di tensione piuttosto ripido, ovvero un segnale con una elevata occupazione di banda.



# Tempi di transizione

Il tempo di transizione, ovvero il tempo necessario all'inversione della tensione ai capi del diodo, è legato alla banda di frequenza del diodo.

Considerando solo il diodo, limitazioni alla velocità di risposta sono legate agli elementi parassiti del diodo, ovvero alla capacità di giunzione e alla resistenza del semiconduttore.

Pertanto, rappresentando il diodo mediante una capacità e una resistenza, la costante di tempo introdotta è data da

$$\tau = RC < 1 \text{ ps}$$

E il diodo può essere usato per frequenze minori di

$$f \leq \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{1}{2\pi RC}$$

Al diodo rimangono associate frequenze di cut-off dell'ordine di 300 - 350 GHz.

Direct Output Power - 1GHz Comb Spacing

