

Realizzazione di componenti passivi



Francesco Biagini

Ph.D student

francesco.biagini@phd.unipi.it

Dipartimento di ingegneria
dell'informazione – Università di Pisa

Centro di ricerca Enrico Piaggio

Discreto VS Integrato

Discreto

- Alta qualità
- Basse tolleranze
- Area on board
- Manufacturing costs
- Effetti parassiti addizionali

Integrato

- Bassa qualità
- Alte tolleranze
- Large area on silicon
- No manufacturing costs
- No effetti parassiti addizionali

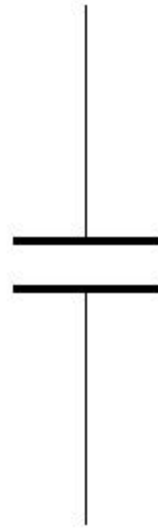
I componenti passivi

Resistenza



$$R = \frac{\rho l}{S}$$

Capacità



$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d}$$

Induttanza



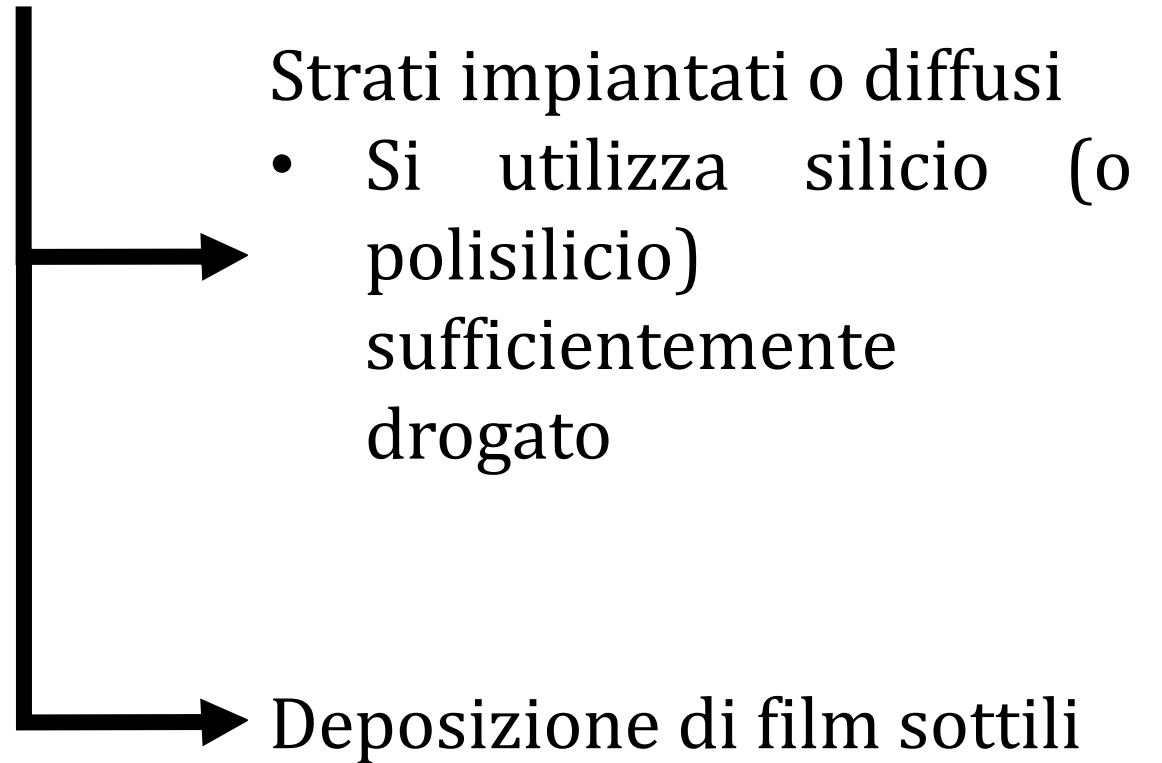
$$L = \frac{\mu_0 \mu_r N^2 A}{l}$$

I componenti passivi

Resistenza



Fabbricazione



I componenti passivi

Resistenza



Formule



Resistenza

$$R = \frac{\rho l}{S}$$

Resistenza di strato

$$R = \frac{\rho_{\blacksquare} l}{w}$$

I componenti passivi

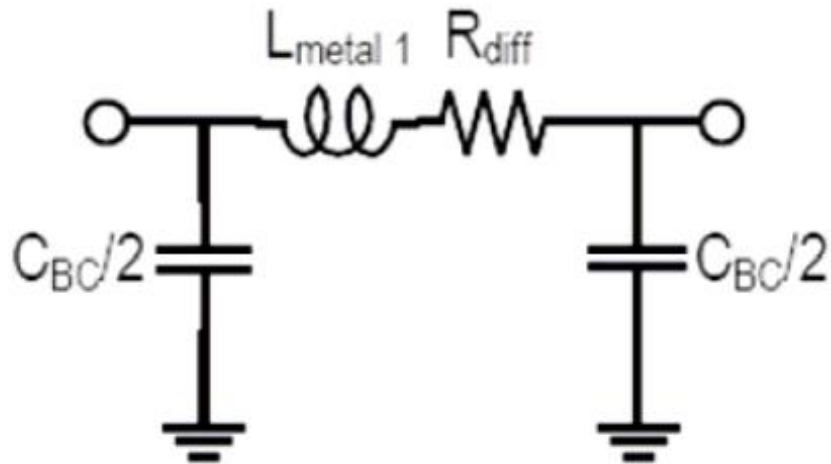
Resistenza



- Oltre alla resistenza è necessario conoscere anche il coefficiente di temperatura ovvero la dipendenza del resistore con la temperatura.

I componenti passivi

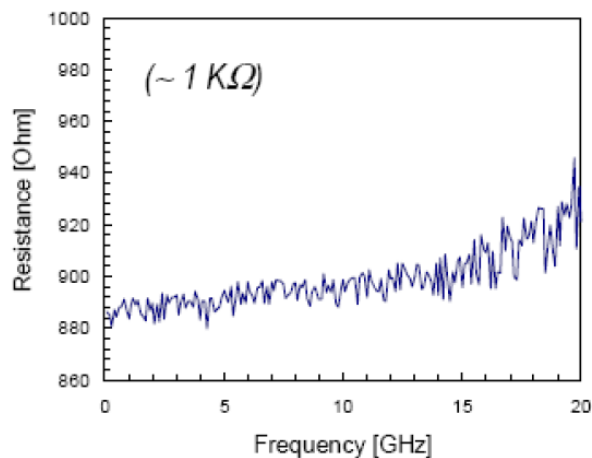
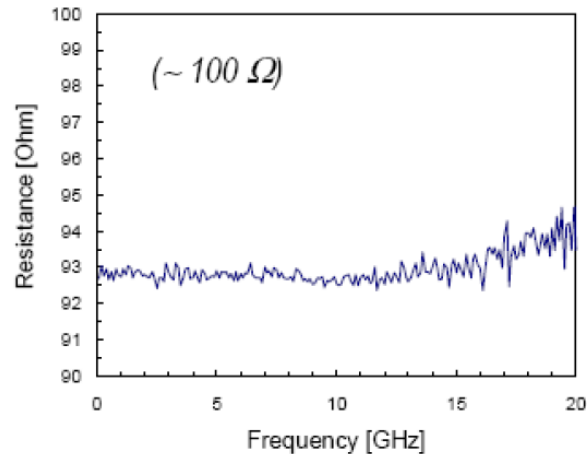
Resistenza



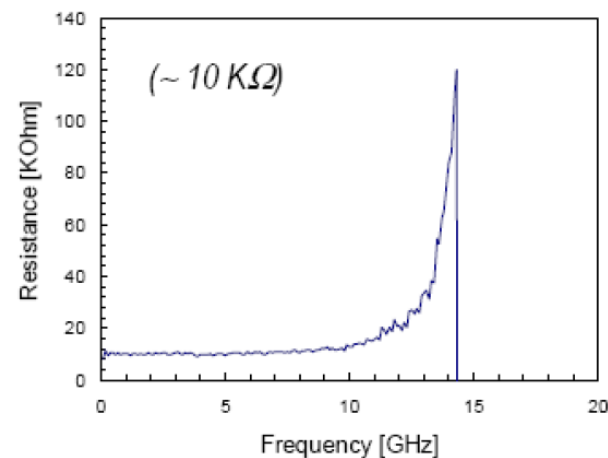
- Effetti parassiti
 - Capacità parassita tra la resistenza e il substrato
 - Effetto induttivo della resistenza in quanto è una sorta di microstriscia
- L'effetto induttivo è minimizzabile andando a squadrare la resistenza
- L'effetto della capacità parassita è legato principalmente all'area occupata dalla resistenza

I componenti passivi

Resistenza



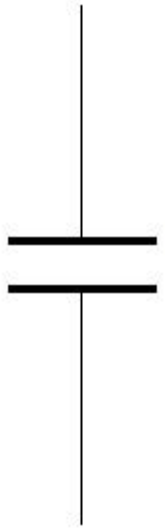
Parasitic effects



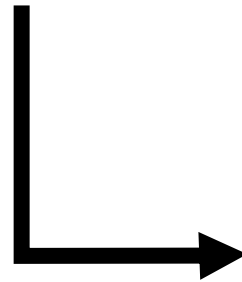
- N.B. La resistenza integrata ad alta frequenza può introdurre degli effetti parassiti determinanti (polo RC modifica la risposta)

I componenti passivi

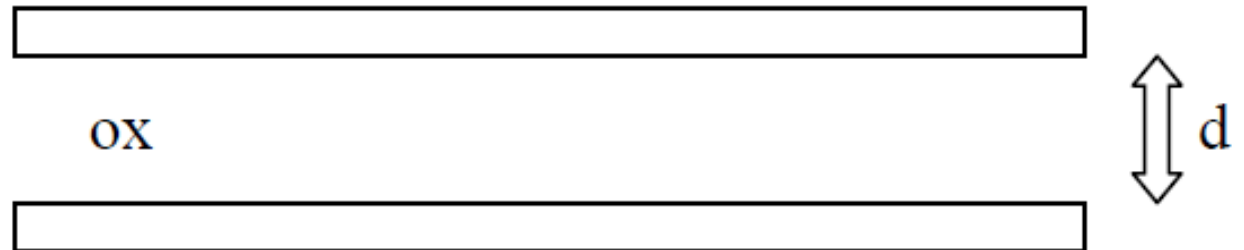
Capacità



Fabbricazione

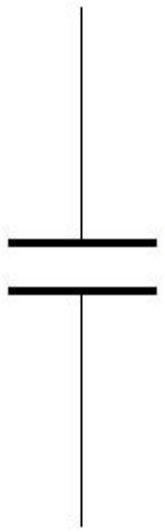


Sfruttare due strati di metallo con ossido in mezzo (MOM)



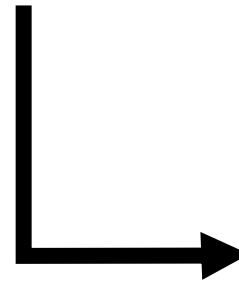
I componenti passivi

Capacità



$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d}$$

→ Fabbricazione



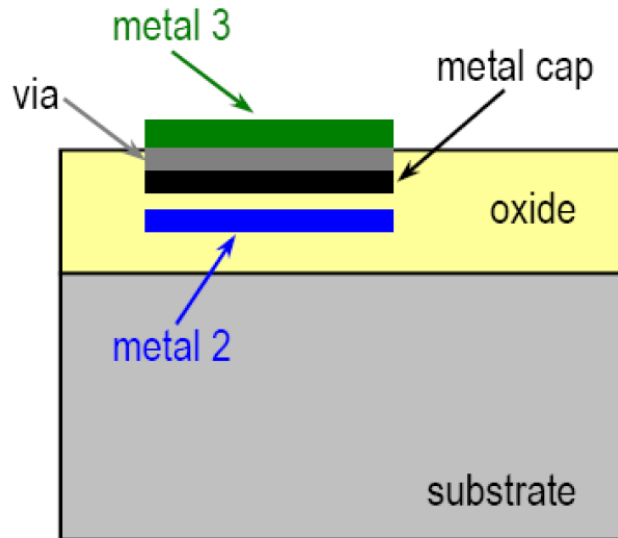
In questo modo si
ottengono capacità
molto basse

Osservando la formula, per ottenere capacità più grandi dobbiamo diminuire il lo spessore di ossido.

Ma sotto un certo valore non possiamo scendere!

I componenti passivi

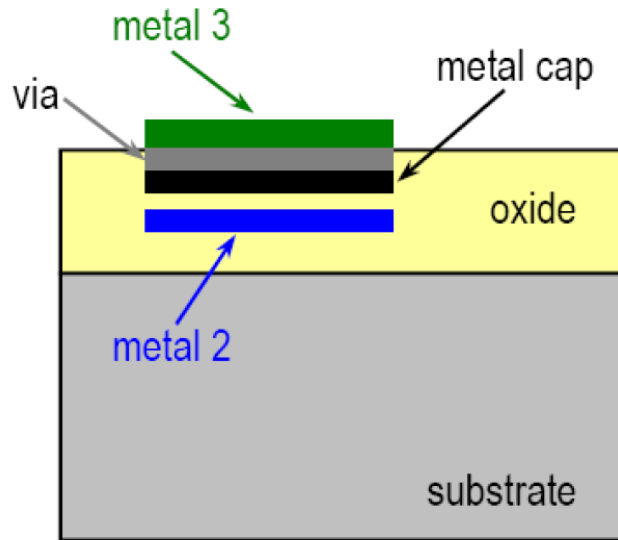
Capacità



- Si utilizza un livello di metallizzazione aggiuntivo: la metal cap.
 - Questo ha uno scopo di definire uno spessore dell'ossido molto piccolo essendo che questo livello è messo tra il livello superiore ed inferiore.
- La capacità che andiamo a considerare è tra la metal cap e il metallo sottostante
- Arriviamo a spessori di ossido di 0,085 micron
- È possibile inoltre utilizzare (attraverso metodi di deposizione) altri materiali dielettrici diversi dall'ossido

I componenti passivi

Capacità



- Anche la metal cap deve essere molto fine in quanto deve individuare uno strato di ossido molto fine
- È quindi problematico andare a tirar fuori un contatto
- La metal cap viene collegato al metal 3 creando un parallelo tra metal cap/via/metal3

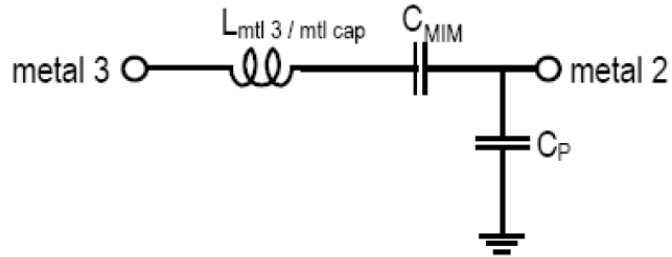
Queste capacità integrata si chiamano MIM (metal-insulator-metal)

I componenti passivi

Capacità

Effetti parassiti

- Capacità parassita del livello inferiore verso il substrato (questa capacità è più grande quanto è grande l'area del capacitore)
- Non c'è una capacità parassita dell'armatura superiore verso il substrato perché il metal3 è schermato rispetto al metal2
- Effetto induttivo perché il capacitore è un pezzo di metal ed ha una sua induttanza



I componenti passivi

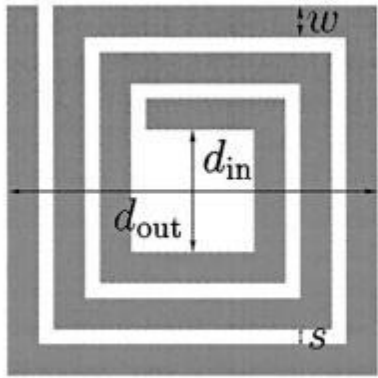
Induttore



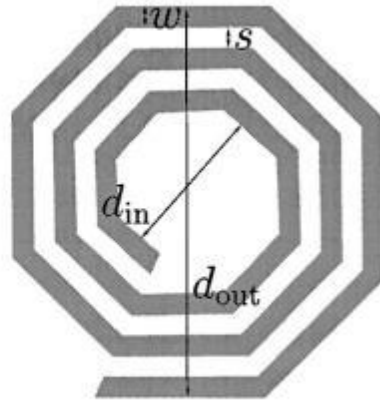
- Realizzati su struttura planare, cioè si sviluppano maggiormente in due dimensioni piuttosto che in tre
- La forma a spirale favorisce l'autoinduttanza

I componenti passivi

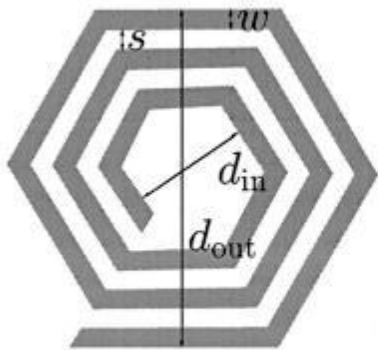
Induttore



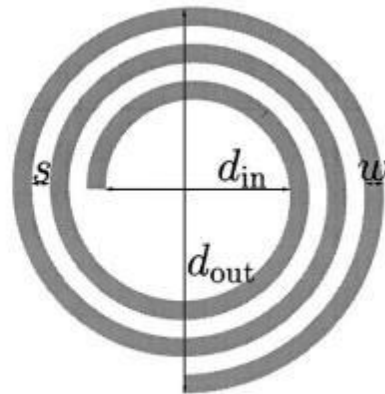
(a)



(b)



(c)



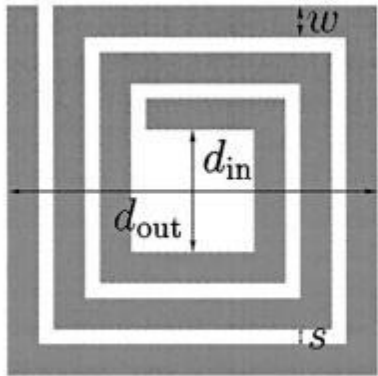
(d)

Caratteristiche geometriche:

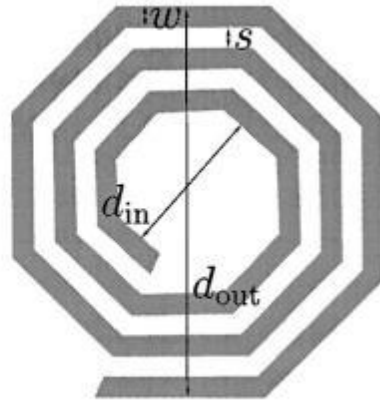
- Forma
- Numero di giri (n)
- Larghezza della pista (w)
- Distanza tra i metal (s)
- Diametro interno (d_{in})
- Diametro esterno (d_{out})
- Fattore di pienezza: $\frac{d_{out} - d_{in}}{d_{in} + d_{out}}$

I componenti passivi

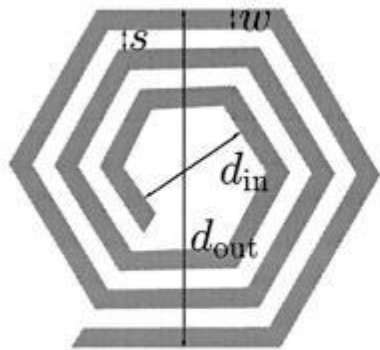
Induttore



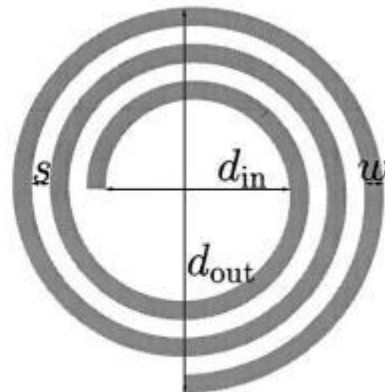
(a)



(b)



(c)



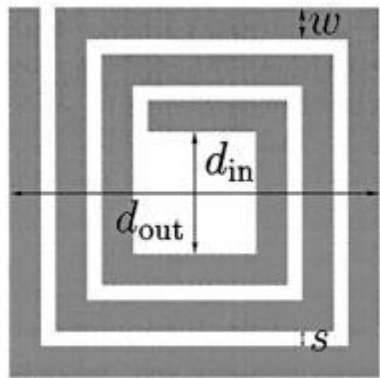
(d)

La geometria della spirale è importante perché da essa dipende il valore dell'induttanza a bassa frequenza.

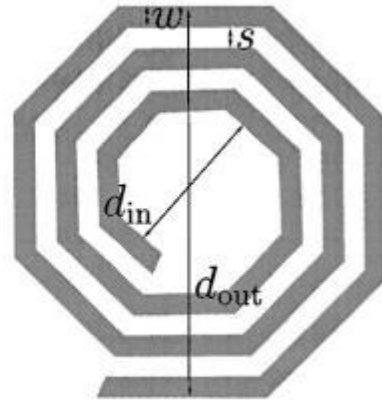
Quale forma è meglio fare???

I componenti passivi

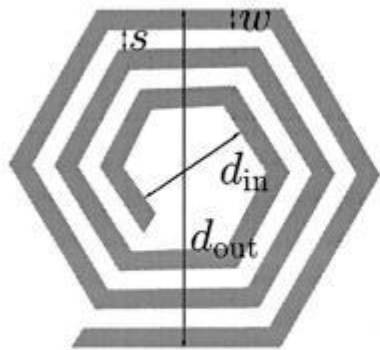
Induttore



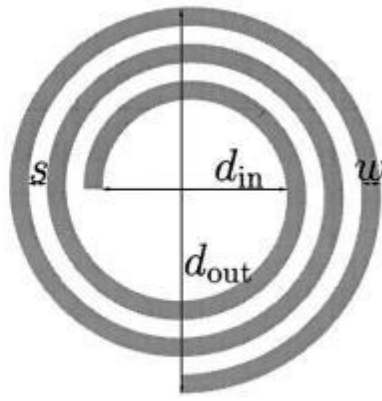
(a)



(b)



(c)



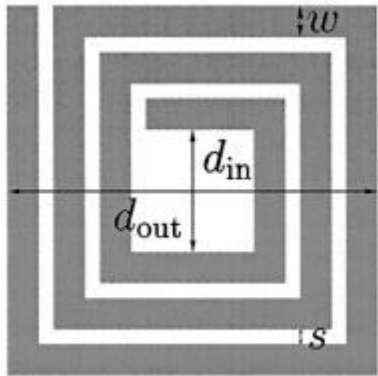
(d)

La ragione è legata ad un compromesso tra le caratteristiche ed il costo delle maschere e le prestazioni del componente.

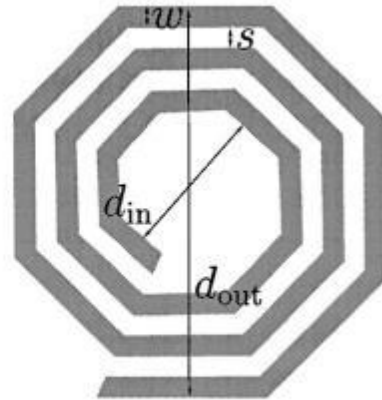
- Le prestazioni crescono quando si va verso forme circolari
- Ma abbiamo un aumento dei costi dovuto alle maschere fotolitografiche che devono avere una risoluzione molto spinta

I componenti passivi

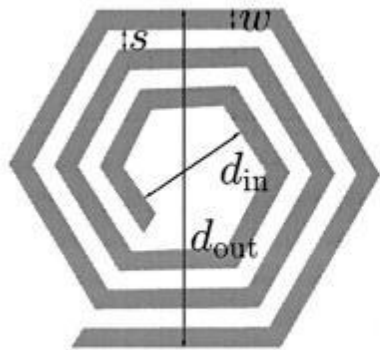
Induttore



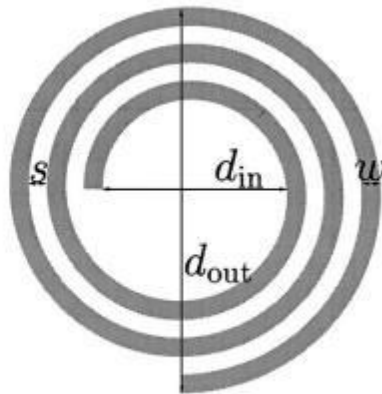
(a)



(b)



(c)



(d)

Dei parametri visti solo i primi 5 sono parametri indipendenti

Il fill ratio assume valori tra 0 e 1 (estremi esclusi): se si avvicina a 1 vuol dire che il buco interno è piccolo, viceversa se si avvicina a 0

I componenti passivi

Induttore

Definizione del fattore di qualità

$$Q = \frac{2\pi E_{STORE}}{E_{DISS}} = \frac{\omega(W_M + W_E)}{P_{DISS}}$$

Definizione generale

Il fattore di qualità di un induttore integrato è indice delle perdite per effetto Joule di cui è affetto l'induttore

$$Q = \frac{Im(Z_{in})}{Re(Z_{in})}$$

Definizione operative

$$Q = \frac{\omega_0}{\Delta\omega_{3dB}}$$

Definizione per oscillatori

$$Q = \frac{\omega_0}{2} \left. \frac{d\phi}{d\omega} \right|_{\omega_0}$$

Definizione per oscillatori

I componenti passivi

Induttore

Gli effetti che si manifestano quando si fanno delle piste metalliche vicine su un processo integrato possono essere distinti in due grandi categorie:

- **Perdite di tipo serie**
- **Perdite di tipo parallelo**

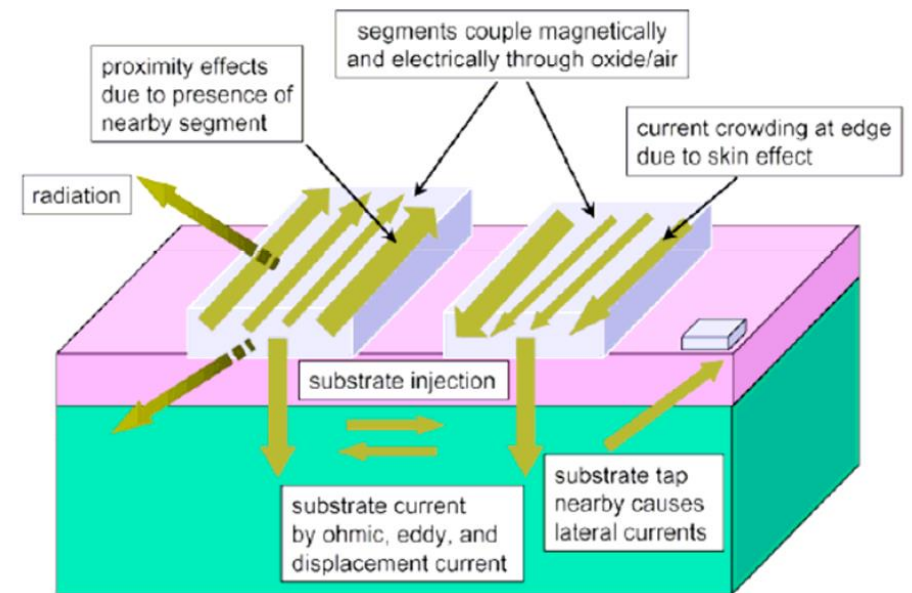
Queste comportano la degradazione delle performance del componente

I componenti passivi

Induttore

- Si manifestano a livello della metallizzazione
- Sono causate dal fatto che ci sono altre piste vicine
 - Effetto pelle (diversa densità di corrente sulla pista) -> Aumento della resistenza ad alte frequenze di lavoro
 - Vi è anche un effetto di prossimità che altera la distribuzione della corrente

Perdite di tipo serie

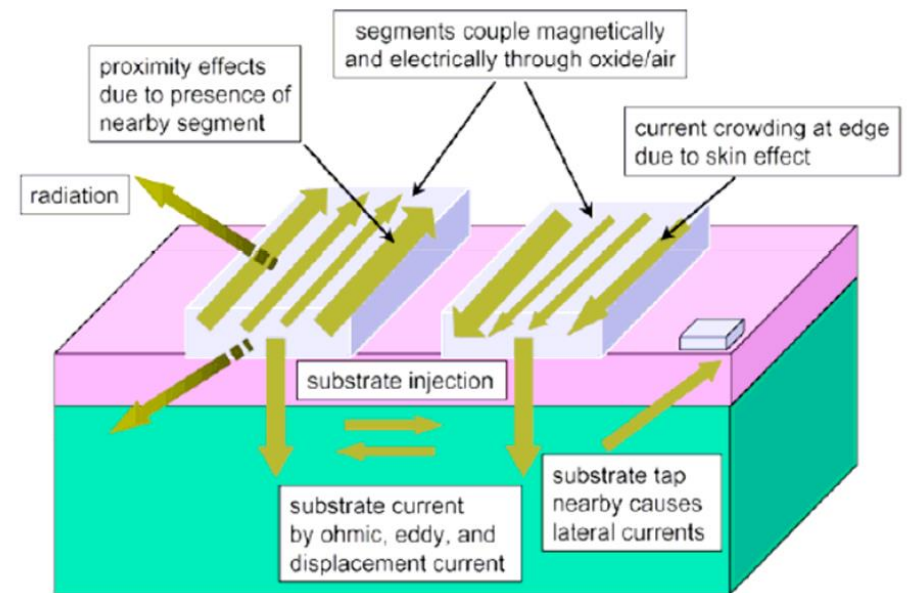


I componenti passivi

Induttore

- Inoltre queste piste si accoppiano in maniera elettromagnetica
 - Oltre che in maniera induttiva si accoppiano in maniera capacitiva (metallo ossido substrato oppure metallo aria metallo oppure metallo ossido metallo)

Perdite di tipo serie

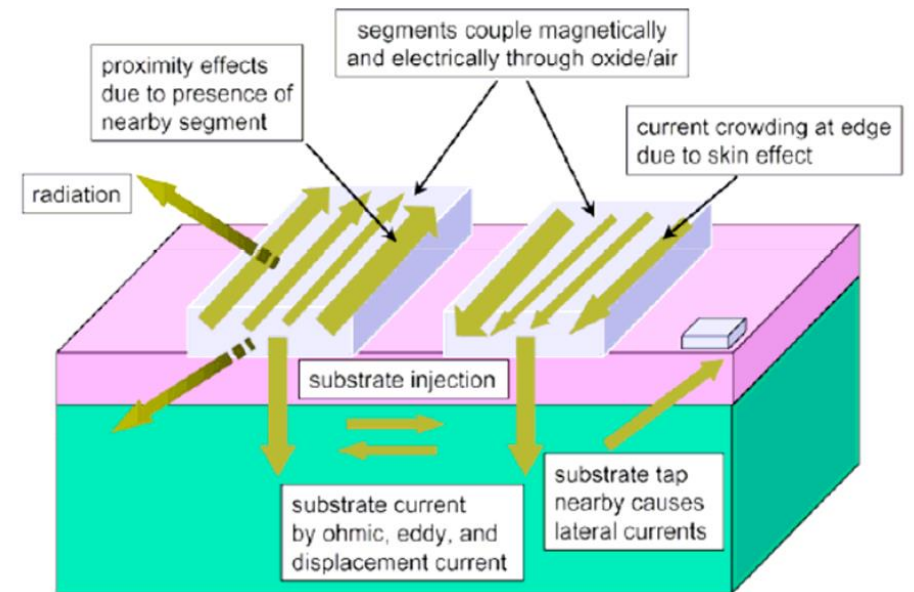


I componenti passivi

Induttore

- Sono principalmente capacità parassite che si formano tra la metallizzazione e il substrato
- Altri effetti possono essere accoppiamenti induttivi con il substrato (in quanto le correnti che scorrono sono variabili nel tempo)
- Effetto radiativo (nelle strutture che noi facciamo non è determinante)

Perdite di tipo parallelo



I componenti passivi

Induttore

Quindi, non sempre viene utilizzato un sistema a spirale:

