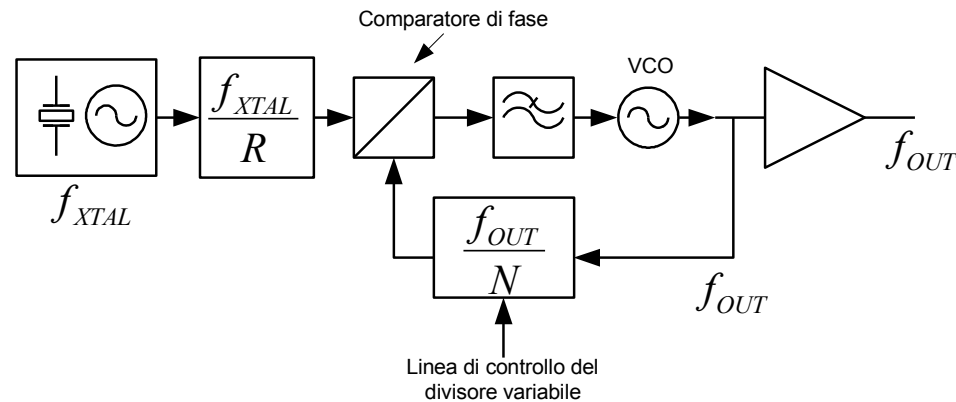
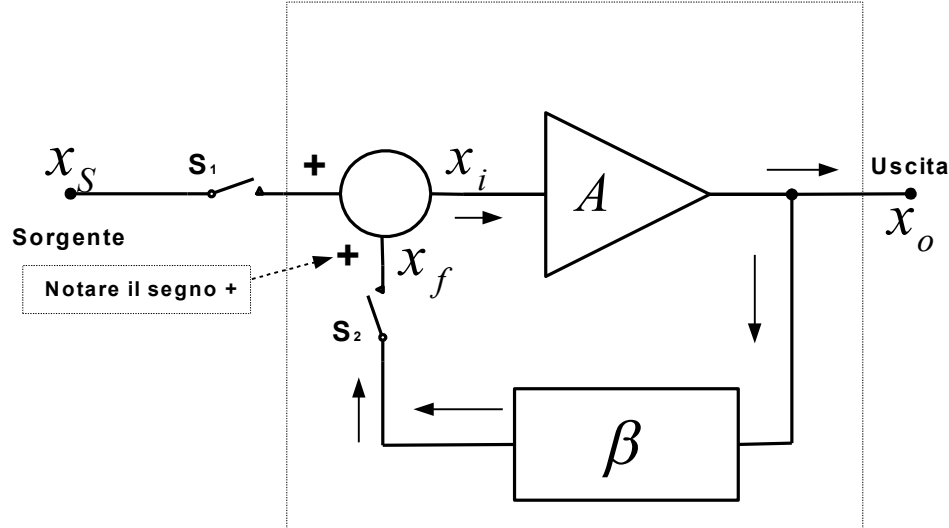


Elettronica per le telecomunicazioni A.A. 2014-15

L'oscillatore locale

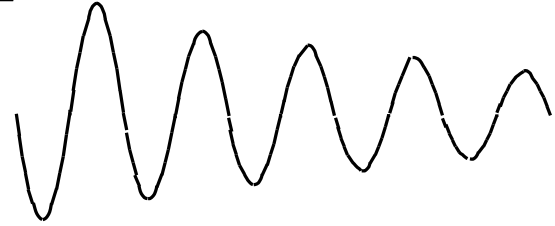


Dall'amplificatore reazionato all'oscillatore

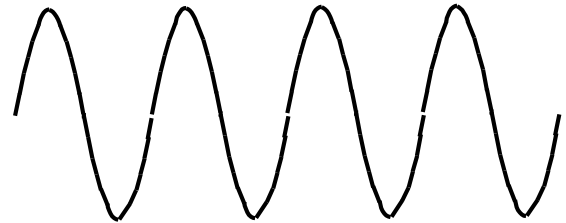


$$A_f = \frac{A}{1 - \beta A}$$

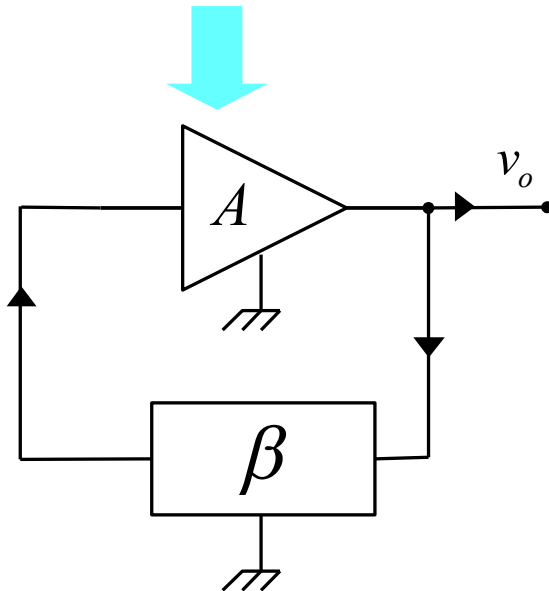
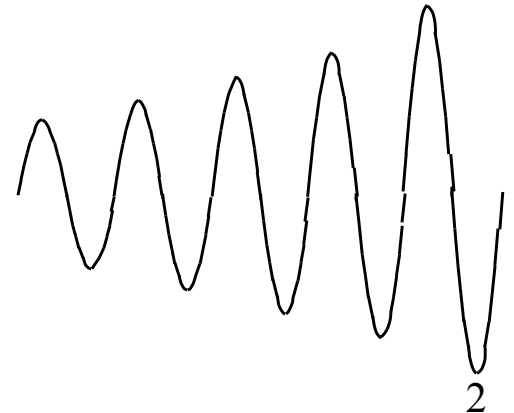
$$\frac{x_f}{x_i} = \beta A < 1$$



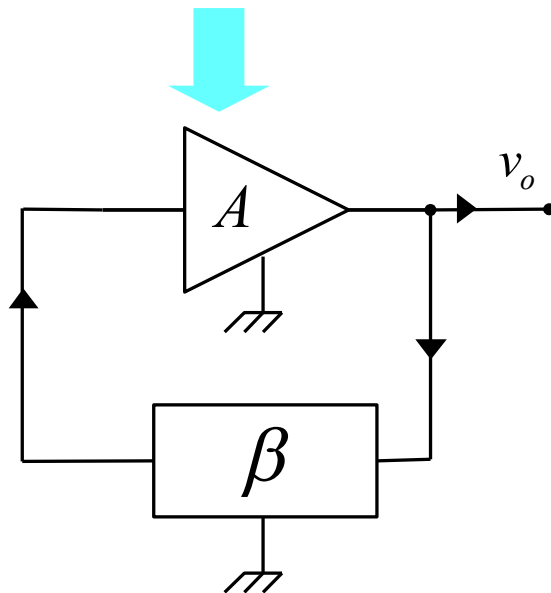
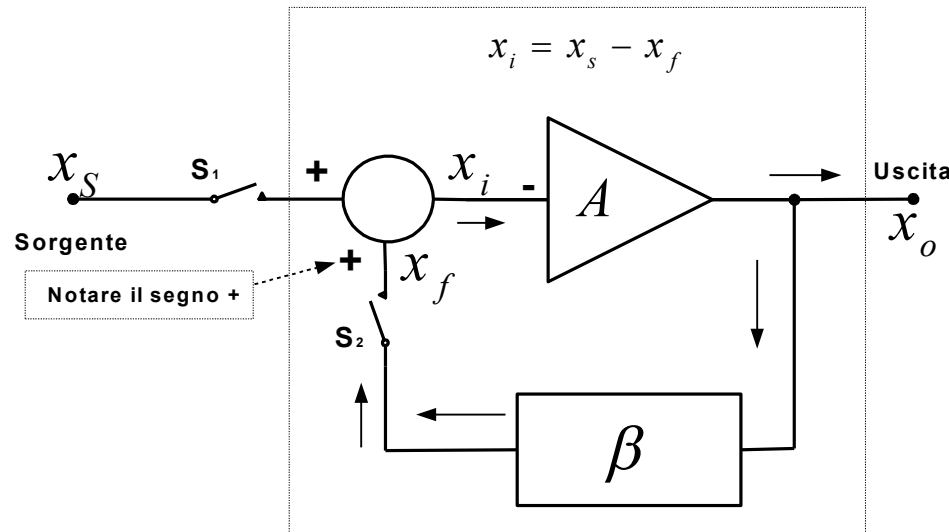
$$\frac{x_f}{x_i} = \beta A = 1$$



$$\frac{x_f}{x_i} = \beta A > 1$$



Condizioni di Barkhausen



Le condizioni affinché si verifichino le oscillazioni in un amplificatore con reazione positiva sono

$$\beta A = 1$$

Questa condizione viene detta **Condizione di BARKHAUSEN**, essa significa che per avere delle oscillazioni ad una sola frequenza, il guadagno ad anello aperto deve essere unitario.

Condizioni di Barkhausen

La necessità di soddisfare la condizione di Barkhausen per un **unico valore di frequenza f_0** , fa sì che la rete di reazione, β , sia composta da una combinazione di componenti, selettivi in frequenza:

- R & C, resistenza e capacità,
- R & L, resistenza e induttanza,
- L & C, induttanza e capacità assieme.

Ci sono diverse tecniche per la costruzione della rete di reazione:
reti **RC**, generalmente usate negli oscillatori per **bassa** frequenza
reti **LC**, generalmente usate negli oscillatori per **alta** frequenza.

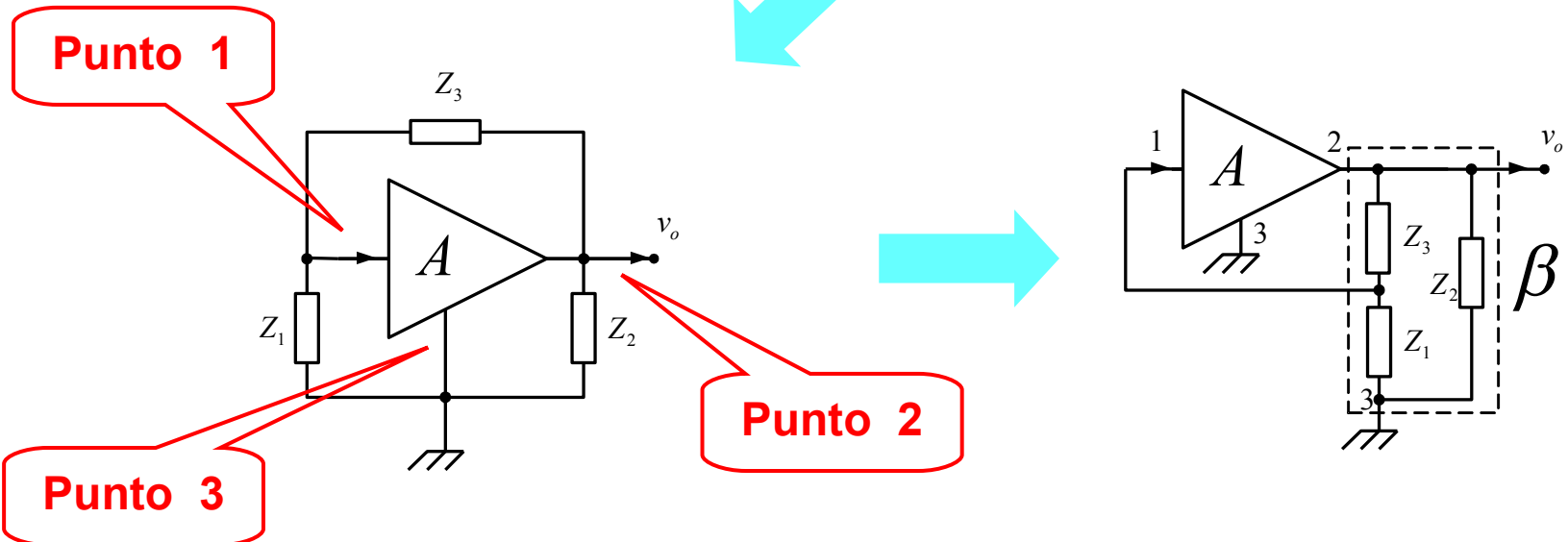
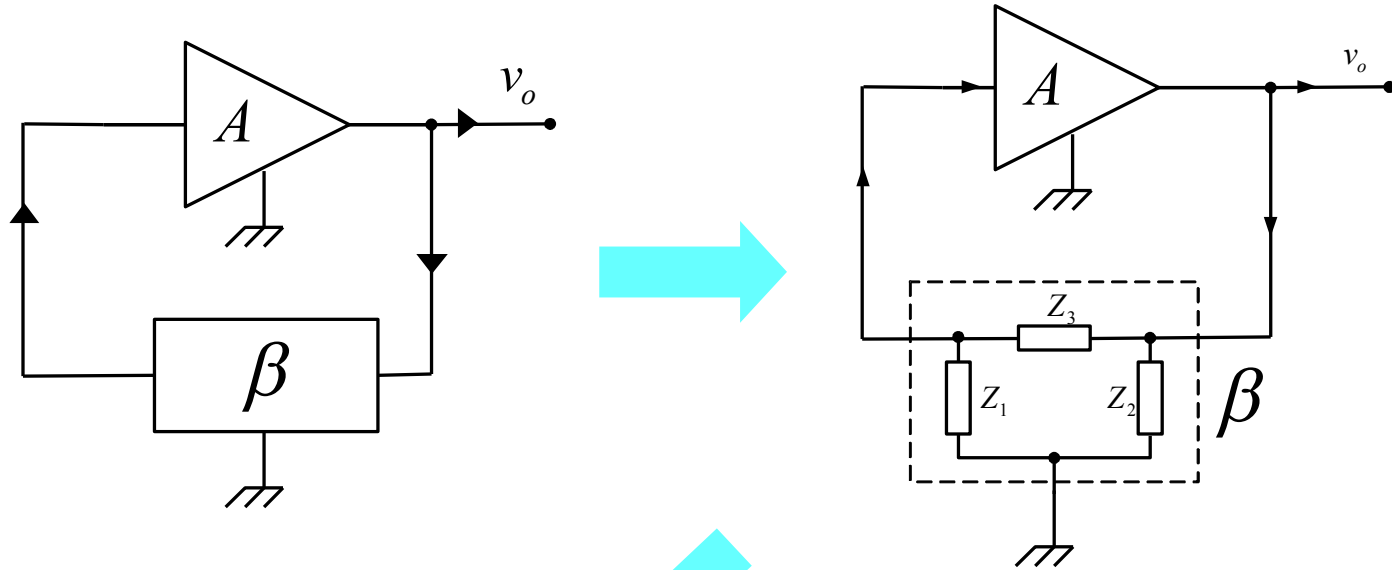
Oscillatori per alta frequenza

- La frequenza di oscillazione è generalmente determinata dal circuito LC inserito nella rete di reazione.
- La gamma di oscillazione si estende da qualche decina di kHz fino a diverse centinaia di MHz.
- Una buona selettività (alto Q) dei circuiti risonanti inseriti nella rete di reazione consente di ottenere una buona **stabilità di frequenza**.

Di questi oscillatori esistono diverse versioni circuitali, ma sono generalmente tutte riconducibili ad uno schema che prende il nome di oscillatore a tre punti:

- Punto 1 = ingresso dell'amplificatore
- Punto 2 = uscita dell'amplificatore,
- Punto 3 = punto comune (massa per le correnti alternate)

L'oscillatore a tre punti



La stabilità di frequenza

Uno degli attributi più importanti di un oscillatore è la sua capacità di conservare nel tempo il valore della frequenza di uscita indipendentemente dalle variazioni delle condizioni al contorno.

Si definisce come stabilità di frequenza il grado con cui le variazioni di frequenza di un oscillatore deviano dal valore medio di frequenza (nominale) in un dato periodo di tempo.

La stabilità di frequenza ed il tempo di misura

$$f(t) = \frac{d\phi(t)}{dt}$$

Frequenza istantanea

$$\frac{1}{t_0 - t_1} \int_{t_1}^{t_1 + t_0} f(t) dt$$

Valore medio della
frequenza

La stabilità di frequenza di un oscillatore viene studiata in due modi distinti che dipendono dalla durata di ***t₀***

Per ***t₀*** grande si considera la **stabilità a lungo termine**.

Per ***t₀*** piccolo si considera la **stabilità a breve termine**.

La stabilità a breve termine

La **stabilità a breve termine** si misura in intervalli di tempo di secondi o frazioni di secondo.

Il tempo di osservazione deve essere sufficientemente breve (ma non superiore ad un certo tempo) in modo che le variazioni di frequenza a lungo termine siano trascurabili.

Dipende dai componenti e dalla loro dipendenza dalle condizioni al contorno (tensione di alimentazione, variazione del carico, repentine variazioni ambientali, vibrazioni,) ma soprattutto da come è stato progettato l'oscillatore stesso.

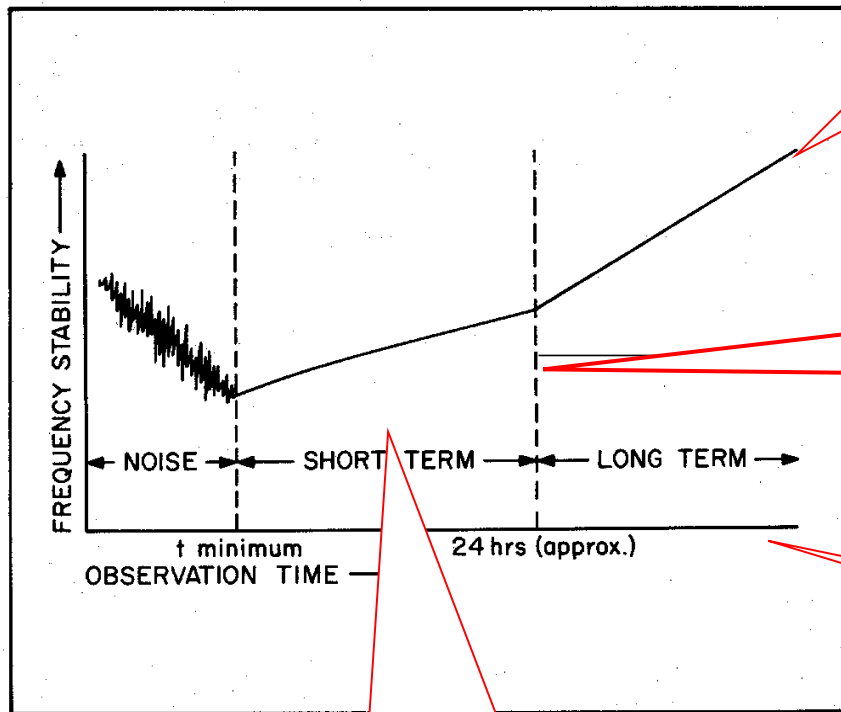
La stabilità a lungo termine

La **stabilità a lungo termine**, che tiene conto della variazione del valore medio della frequenza in un periodo di tempo considerevolmente lungo, minuti, ore, giorni, mesi, anni.

Dipende dalla qualità componenti che formano il circuito della rete di reazione e dell'oscillatore e dalla loro dipendenza dalle condizioni ambientali (temperatura, umidità,.....).

I componenti del circuito reazione modificano le loro caratteristiche nel tempo, in pratica invecchiano, anche a causa delle variazioni delle condizioni ambientali a cui sono sottoposti.

La stabilità di frequenza ed il tempo di misura



Stabilità a lungo termine *to* è “grande”

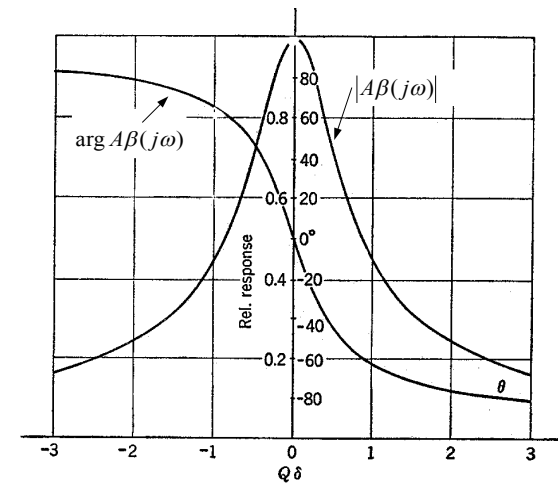
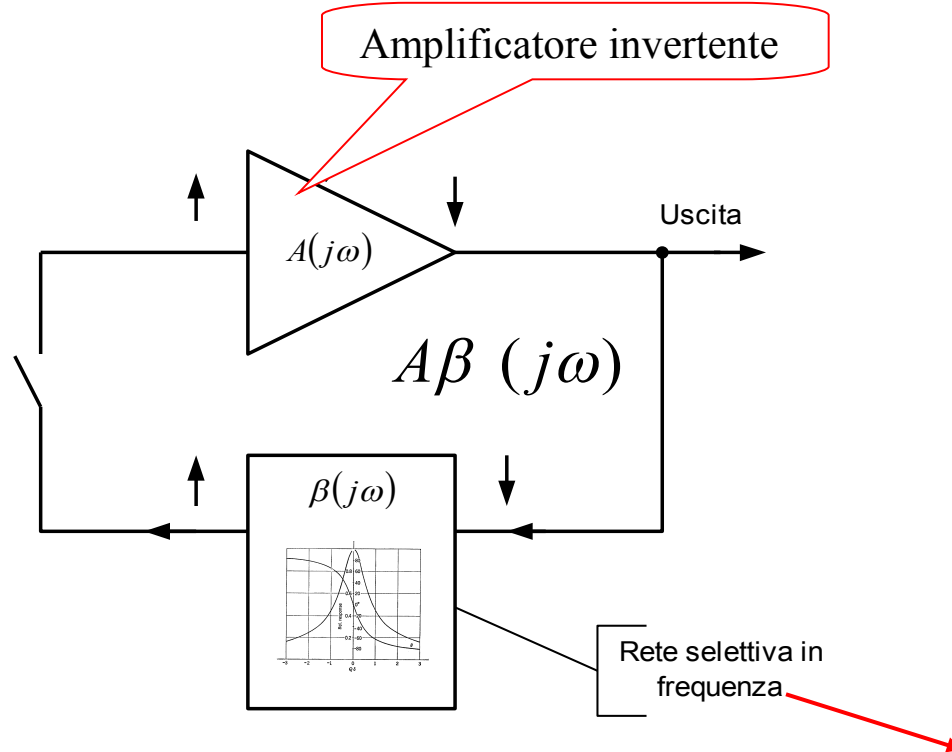
Il limite delle 24 ore è un esempio

Stabilità a breve termine *to* è “piccolo”

Tempo di osservazione *to*

Da chi dipende la stabilità in frequenza

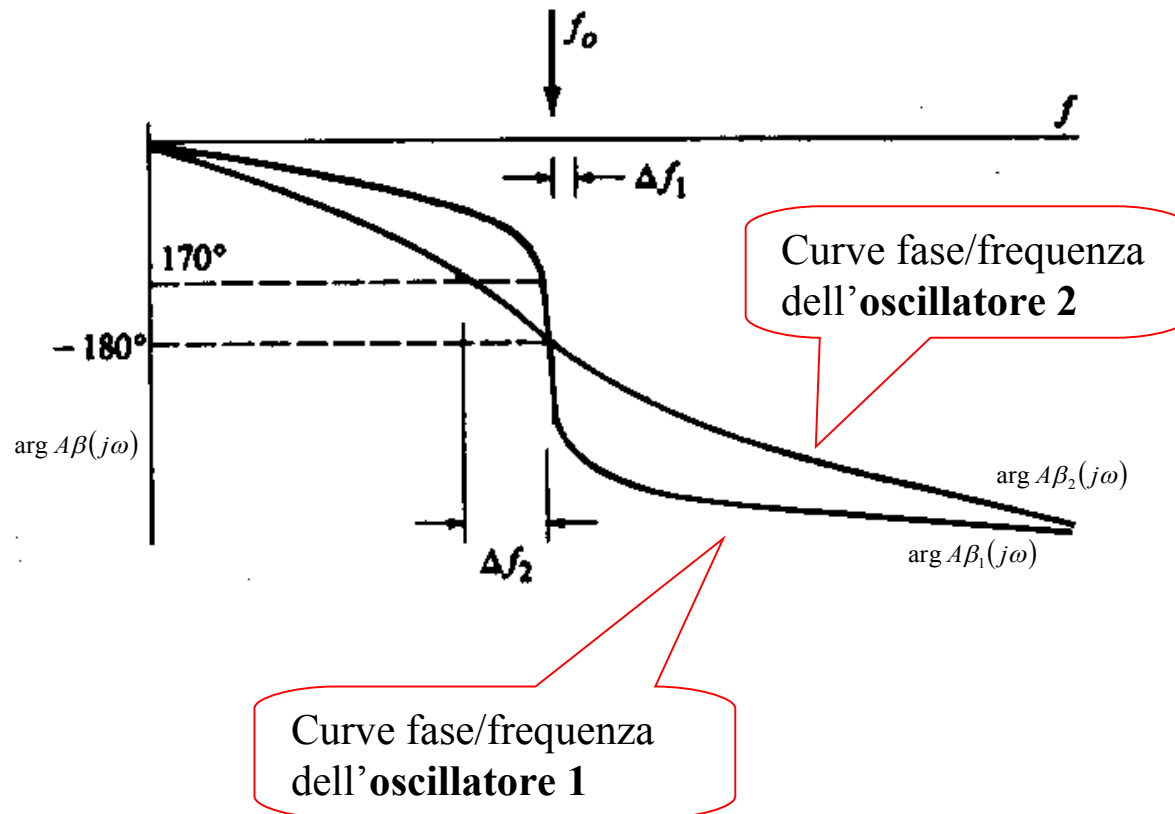
La frequenza di oscillazione coincide con quella frequenza per la quale lo sfasamento complessivo lungo l'anello di reazione è nullo.



Da chi dipende la stabilità in frequenza

La stabilità dipenderà dalla pendenza della curva fase-frequenza, cioè dipenderà

dalla derivata dell'angolo di fase rispetto ad ω , $\frac{d(\phi)}{d(\omega)}$



La dipendenza della frequenza dagli elementi circuitali che producono la variazione di fase è indicata da

$$\frac{\Delta\phi}{\Delta\omega}$$

La stabilità in frequenza a lungo termine

La variazione di frequenza nei confronti del valore medio di frequenza di lavoro o nominale viene usualmente espressa in parti per milione,

Δppm = parti per milione

$$\Delta f = f_0 \pm \left(\frac{\Delta ppm}{10^6} \cdot f_0 \right)$$

E' la gamma di variazione di frequenza
in un dato **periodo di tempo**

La stabilità in frequenza a lungo termine

La stabilità di frequenza a lungo termine - espressa in parti per milione - di uno stesso oscillatore, può essere specificata per diversi condizioni di lavoro,

$\Delta ppm = \pm 0,5 ppm$ nel campo di temperatura da $+15^{\circ}\text{C}$ a $+35^{\circ}\text{C}$,

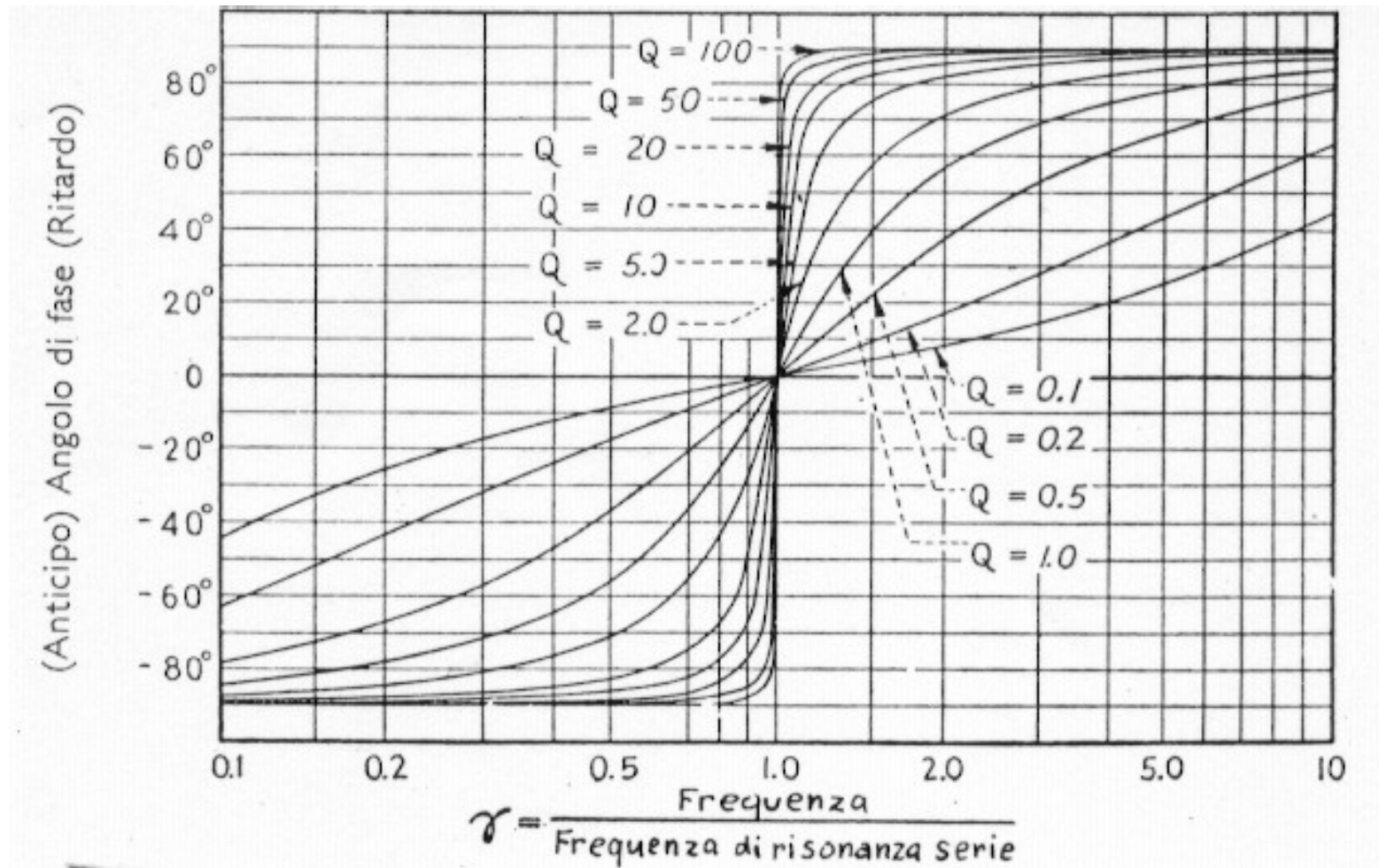
$\Delta ppm = \pm 2 ppm$ nel campo di temperatura da -15°C a $+60^{\circ}\text{C}$,

$\Delta ppm = \pm 0,05 ppm$ per una variazione della tensione di alimentazione $\pm 5\%$,

$\Delta ppm = \pm 1 ppm$ per un invecchiamento, tipicamente di un anno

La stabilità dell'oscillatore LC

Andamento della fase di un circuito serie LC per diversi valori del Q.



Gli oscillatori a cristallo piezoelettrico

I limiti maggiori degli oscillatori LC a tre punti sono legati alla difficoltà di ottenere la frequenza di oscillazione sufficientemente stabile per alcune applicazioni.

Per questi oscillatori il coefficiente Sf , indice di stabilità di frequenza, risulta proporzionale al fattore di merito, Q , del circuito risonante che forma la rete di reazione, il cui valore varia da una decina a qualche centinaio.

Devono essere anche prese in considerazione le variazioni delle condizioni ambientali (principalmente la temperatura) che influenzano L e C provocando una deriva della frequenza.

In alcune applicazioni si devono ottenere dei valori di stabilità di frequenza non raggiungibili con gli oscillatori LC, è necessario ricorrere all'uso di circuiti risonanti con un valore di Q maggiore di quello dei circuiti con LC, questi risonatori sono di tipo elettromeccanico e sono principalmente costituiti da *cristalli piezoelettrici*.

I cristalli piezoelettrici

Alcuni materiali naturali ed anche sintetici, tra i quali il cristallo di quarzo (SiO_2) hanno proprietà piezoelettriche e se sottoposti a deformazione meccanica generano tra le loro facce una differenza di potenziale.

Viceversa l'applicazione tra le stesse facce di una differenza di potenziale termina una deformazione del cristallo.

Se il dispositivo è montato in modo opportuno e se opportunamente eccitato il sistema meccanico che ne risulta entra in vibrazione.

La frequenza di risonanza meccanica dipende dalle dimensioni del cristallo, dall'orientamento delle facce rispetto agli assi cristallini e dal montaggio meccanico.

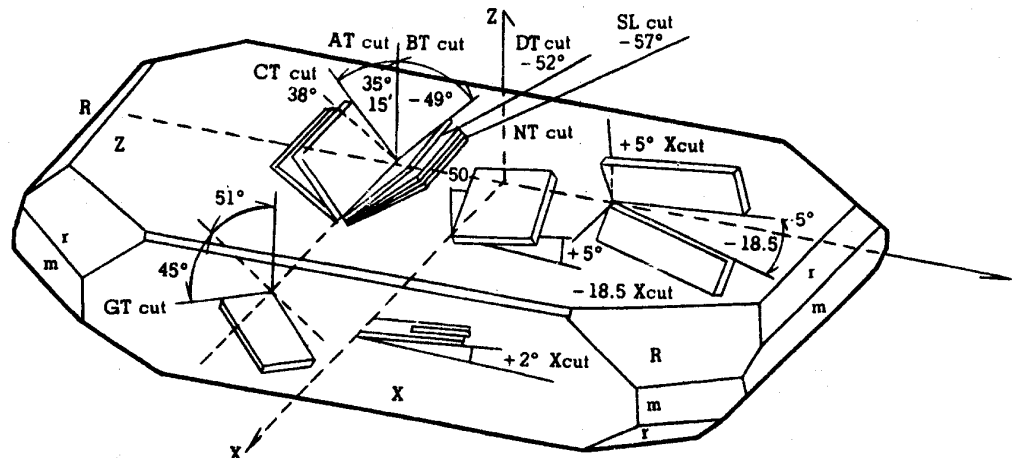


Fig. 1

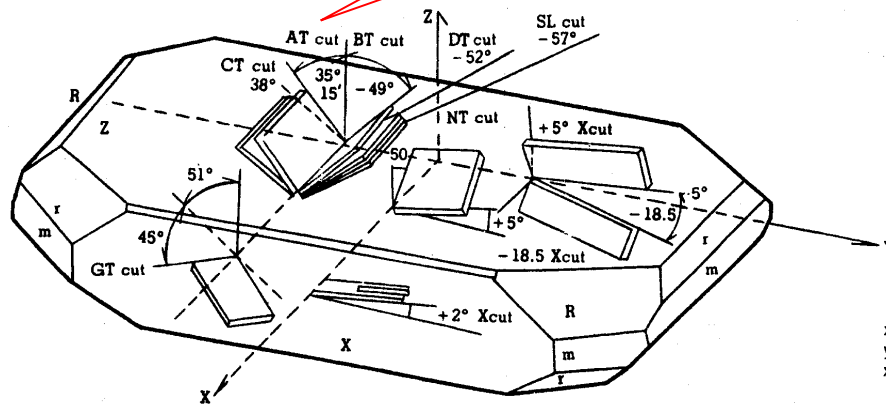
x = asse elettrico
y = asse meccanico
x = asse ottico

I cristalli piezoelettrici

L'orientamento delle facce rispetto agli assi cristallini viene ottenuto *tagliando* opportunamente la piastrina che costituirà l'elemento risonante

Tra i vari *tagli* possibili, quello **AT** è diventato il più classico nella produzione di quarzi per oscillatori.

Taglio AT

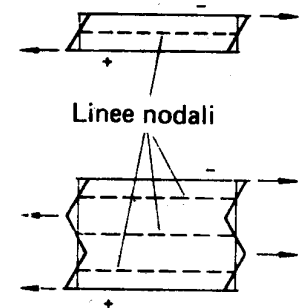


Nel taglio AT la deformazione meccanica avviene per scorrimento per spessore. La piastrina è generalmente un disco il cui spessore determina la frequenza di oscillazione.

Fig. 1

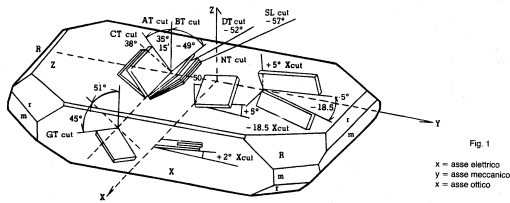
x = asse elettrico
y = asse meccanico
z = asse ottico

$$F = \frac{1.660 \text{ (KHz} \times \text{mm)}}{d \text{ (spessore in mm)}}$$

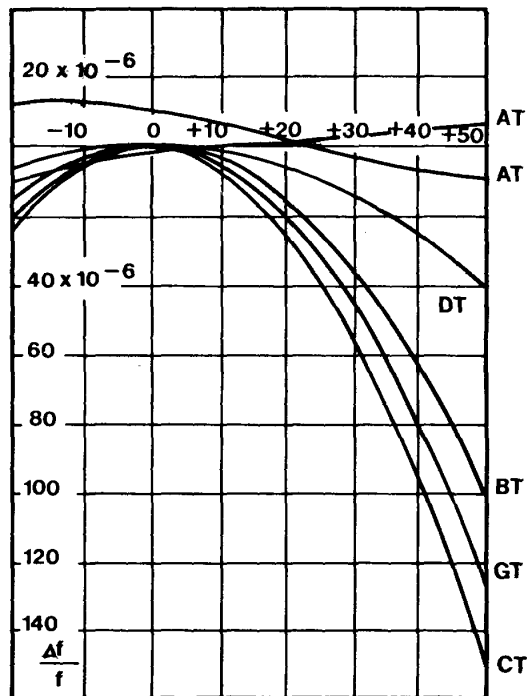


Due sottili elettrodi di metallo vengono depositati sotto vuoto sulle due facce del risonatore, per mezzo dei quali è possibile applicare un campo elettrico alternato che determina l'insorgere di una vibrazione meccanica.

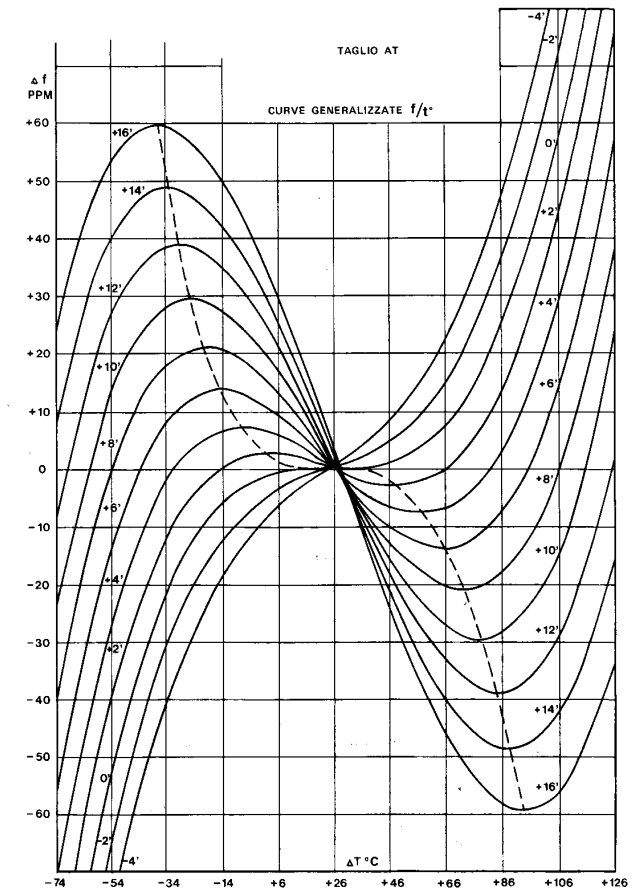
I cristalli piezoelettrici



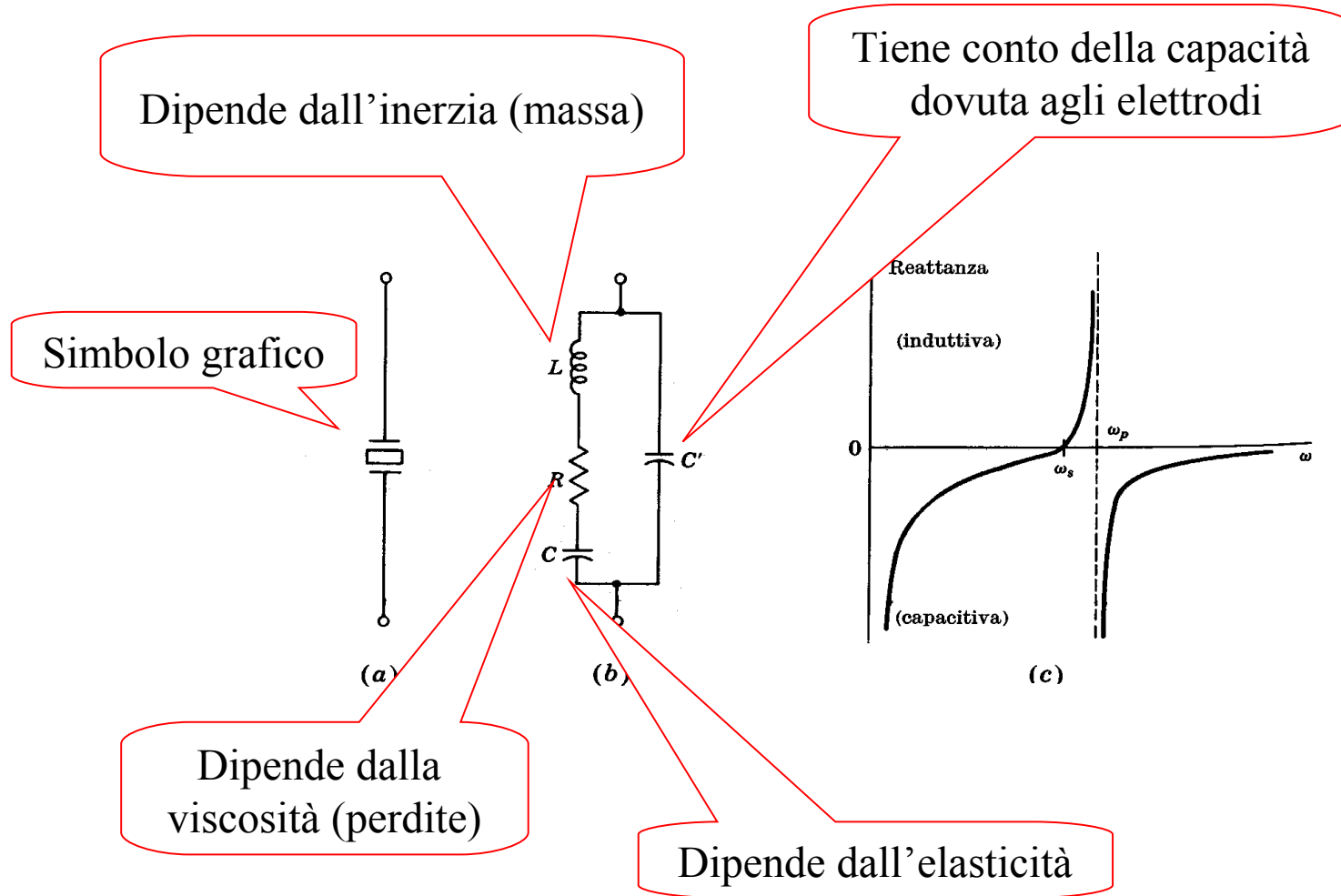
Caratteristica frequenza - temperatura per alcuni tipi di tagli



Caratteristiche frequenza - temperatura per il taglio AT



Il circuito equivalente di un cristallo piezoelettrico

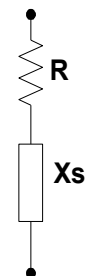
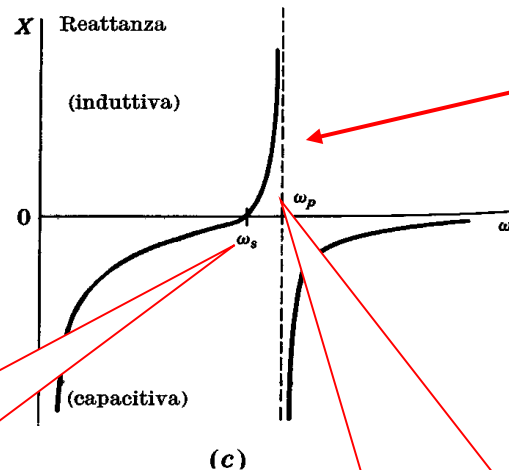
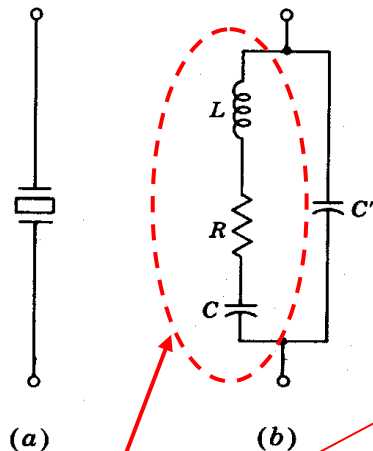


I valori tipici di R ,C', C, L e Q

<u>f (MHz)</u>	<u>Oscillazione</u>	<u>R(Ohm)</u>	<u>C'(pF)</u>	<u>C(fF)</u>	<u>L(H)</u>	<u>Q</u>
0,090	fondamentale	15 k	3,5	23	137	
1	fondamentale	250	4	9		65.000
2	fondamentale	70	3,5	10		110.000
10	fondamentale	12	6	24		50.000
20	fondamentale	12	6	24		25.000
45	terza armonica	25	5	1,5		90.000
100	quinta armonica	40	5	0,3		130.000

Il circuito equivalente di un cristallo piezoelettrico

Andamento della reattanza in funzione della pulsazione



Pulsazione di risonanza serie

$$\omega_s^2 = \frac{1}{LC}$$

Pulsazione di risonanza parallelo

$$\omega_p^2 = \frac{1}{L} \left(\frac{1}{C} + \frac{1}{C'} \right)$$

Le principali caratteristiche di un cristallo piezoelettrico

Frequenza nominale, in Hz

Tolleranza di frequenza, indica la massima deviazione dalla frequenza nominale, viene espressa in **ppm (parti per milione)**.

Coefficiente di temperatura, indica la variazione relativa di frequenza riferita ad una variazione di un grado positivo di temperatura. Viene espressa in **ppm/°C**. E' un parametro legato al taglio del quarzo.

Stabilità di frequenza nel tempo, i quarzi con l'invecchiamento variano la loro frequenza. La deriva può essere di qualche **ppm per anno**.

Parametri cinetici, il costruttore fornisce sempre la resistenza di perdita R e la capacità .

Capacità parallelo, viene precisato il valore della capacità parallelo C'

Capacità di carico, è la capacità che può essere connessa in serie o in parallelo al quarzo in relazione al circuito su cui deve essere inserito. Normalmente non supera i 30 pF. Viene usata per sintonizzare il quarzo in modo da recuperare la sua tolleranza di frequenza.

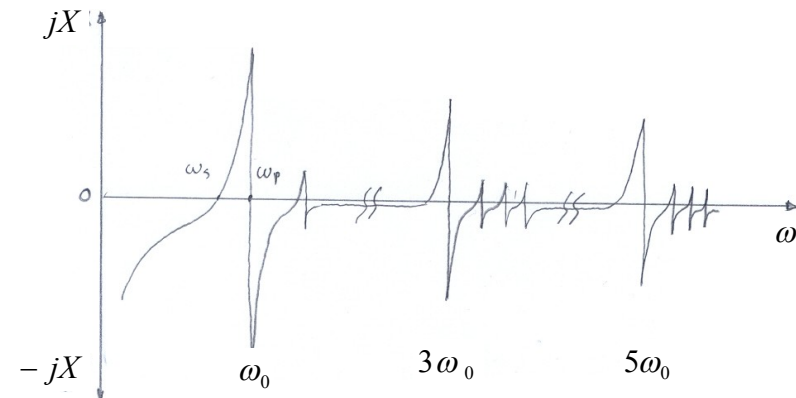
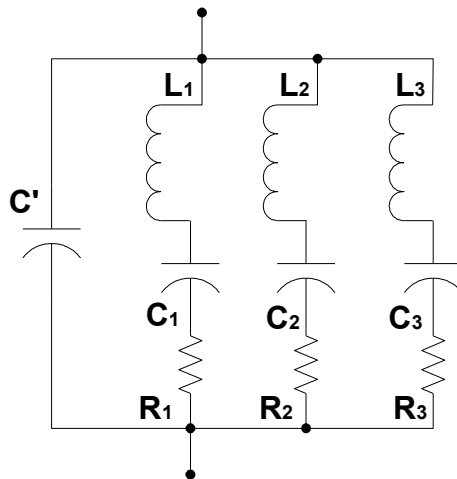
Livello di eccitazione, è la potenza di che il quarzo può dissipare, non supera qualche mW e per certi quarzi può esser anche di frazioni di mW

Contenitori, ci sono moltissimi tipi di contenitori sia di tipo standard che no

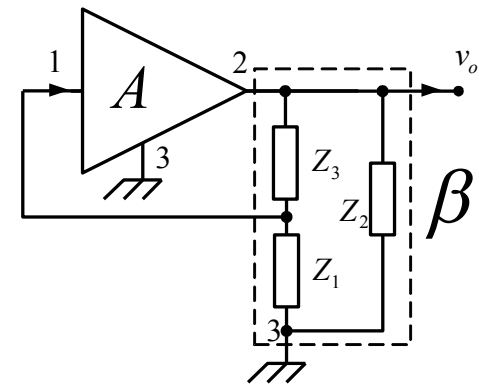
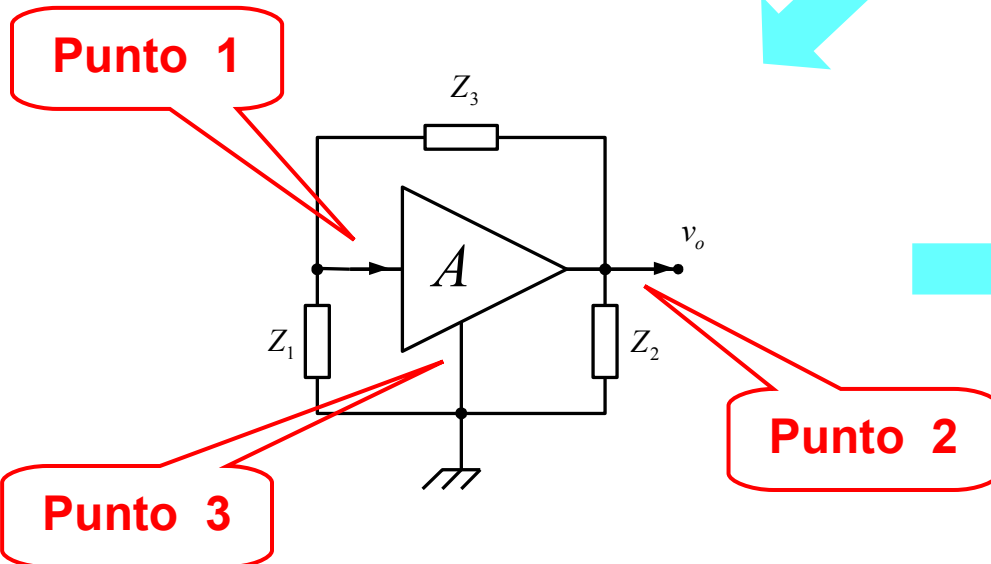
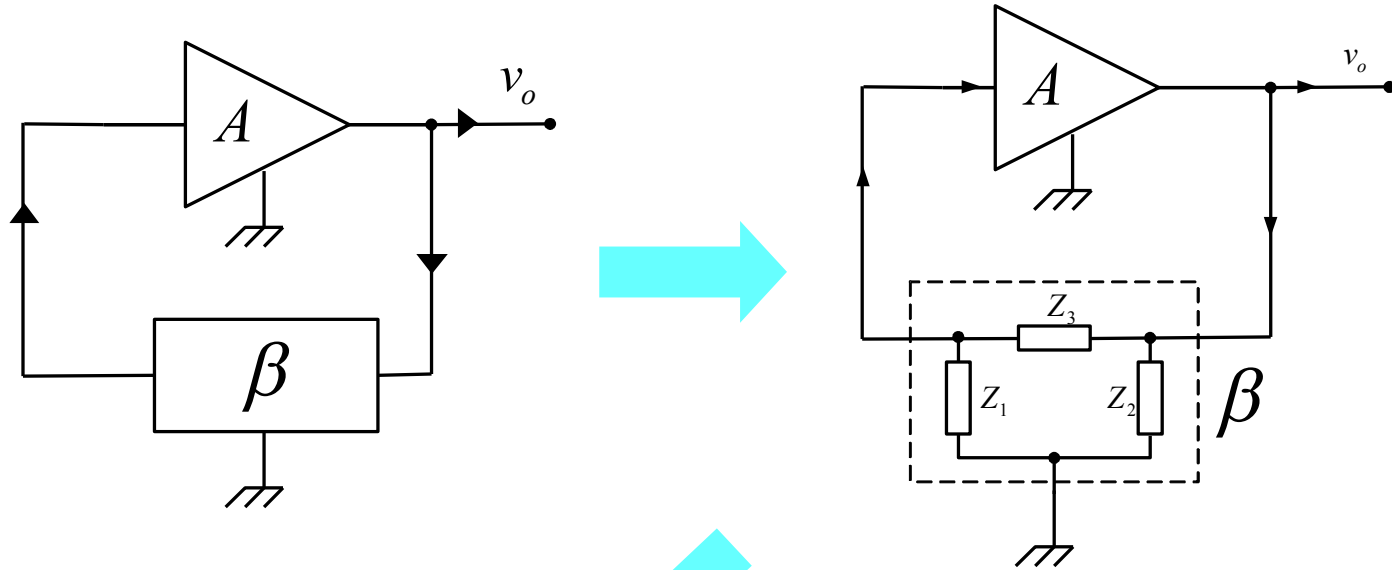
Le risonanze sulle frequenze armoniche

I quarzi piezoelettrici possono risuonare meccanicamente sia sulla frequenza **fondamentale** che sulle **frequenze armoniche**, cioè su frequenze multiple (**dispari**) della frequenza fondamentale.

Per questa ragione il circuito equivalente del cristallo va rivisto in modo più completo rispetto a prima.



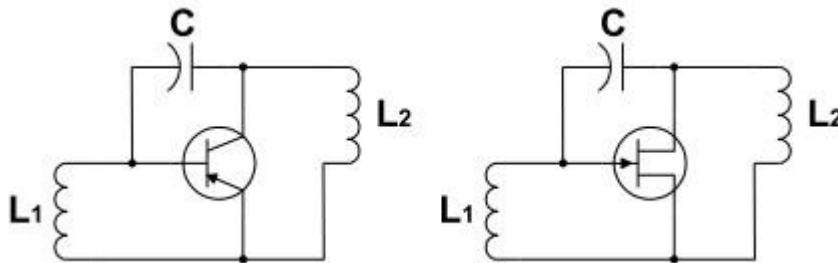
L'oscillatore a tre punti



La reattanza X_3 deve essere i segno opposto alle reattanze X_1 ed X_2 .

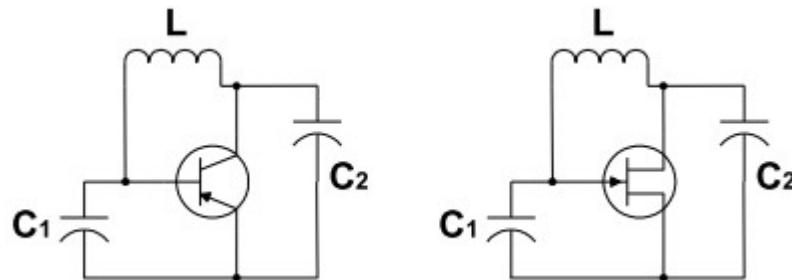
Se X_1 ed X_2 sono induttive e X_3 capacitiva l'oscillatore viene chiamato

Oscillatore di Hartley



Se X_1 ed X_2 sono capacitive ed X_3 induttiva l'oscillatore viene chiamato

Oscillatore di Colpitts

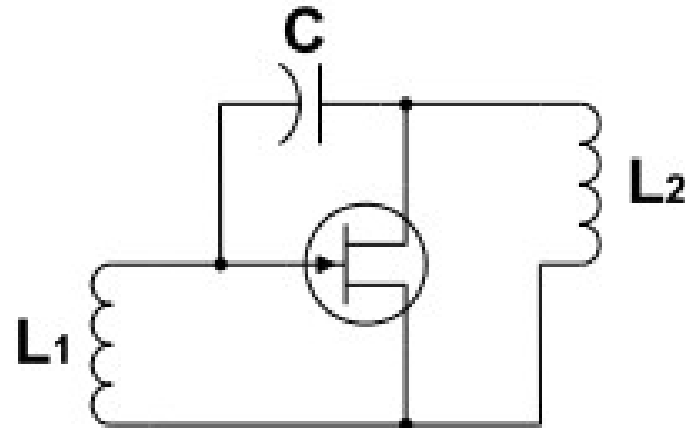


Differenza BJT e JFET: valore dell'impedenza in ingresso / uscita.

$$Z_1 = jX_1$$

$$Z_2 = R_2 // jX_2$$

$$Z_3 = jX_3$$



La frequenza di **risonanza** è **data** dalla $X_1 + X_2 + X_3 = 0$

$$\omega L_1 + \omega L_2 - \frac{1}{\omega C} = 0 \quad \omega(L_1 + L_2) - \frac{1}{\omega C} = 0$$

$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0 \quad L = L_1 + L_2 \text{ è la serie di } L_1 \text{ e } L_2$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{CL}$$

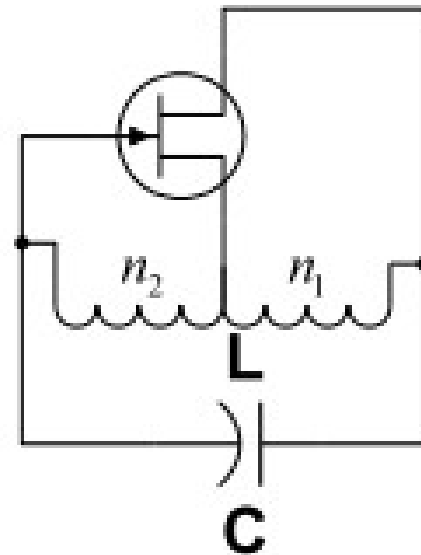
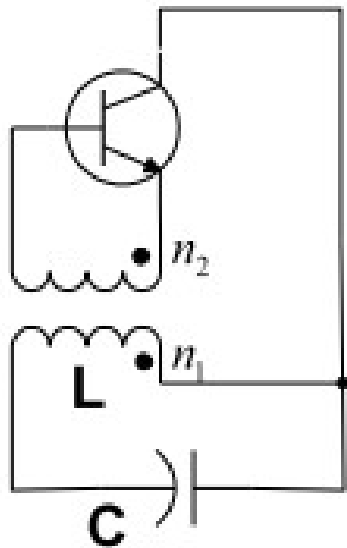
Considerando un circuito con JFET potremmo porre $R_2 = r_d$ nella $g_m R_2 = \frac{X_2}{X_1}$ ed essendo

$$g_m r_d = \mu \text{ si ha} \quad \mu = \frac{L_2}{L_1} \text{ essendo } \mu \gg 1 \text{ si avrà } L_2 \gg L_1$$

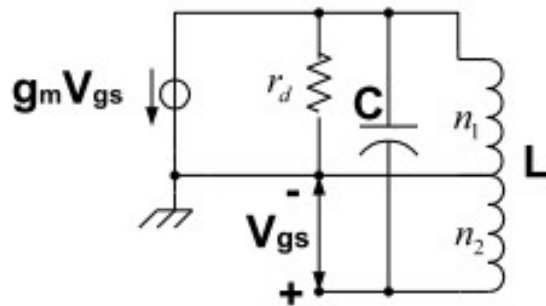
pertanto la frequenza di risonanza dipende quasi esclusivamente da L_2 .

Caso con l'accoppiamento tra ingresso ed uscita misto.

L'oscillatore ha una configurazione simile a quella dell'oscillatore Hartley, la differenza è che le due induttanze sono costruite in modo da formare un autotrasformatore e quindi contribuiscono a riportare il segnale in ingresso.



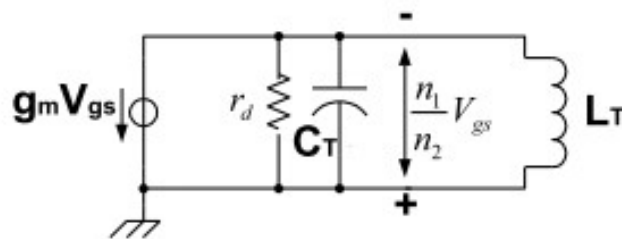
Trascurando le componenti reattive del JFET il circuito equivalente diventa



$$C_T = C \left(\frac{n_1 + n_2}{n_1} \right)^2$$

$$L_T = L \left(\frac{n_1}{n_1 + n_2} \right)^2$$

Pertanto il circuito equivalente si può ridisegnare così



$$g_m V_{gs} = V_{gs} \frac{n_1}{n_2} \left(\frac{1}{r_d} + \frac{1}{j\omega L_T} + j\omega C_T \right)$$

$$g_m \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{r_d} + \frac{1}{j\omega L_T} + j\omega C_T$$

Ponendo la parte immaginaria uguale a zero

$$\frac{1}{j\omega L_T} + j\omega C_T = 0$$

$$\frac{1}{\omega L_T} = \omega C_T \text{ da cui la pulsazione di oscillazione è data da}$$

$$\omega^2 = \frac{1}{L_T C_T} = \frac{1}{LC} \text{ a questa frequenza la } g_m \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{r_d} + \frac{1}{j\omega L_T} + j\omega C_T \text{ diventa}$$

$$g_m \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{r_d} \text{ che definisce la condizione di oscillazione ed essendo } g_m r_d = \mu \text{ si ha}$$

$$\mu = \frac{n_1}{n_2}$$

Drain comune

Il drain è il punto 3, punto freddo o punto comune.

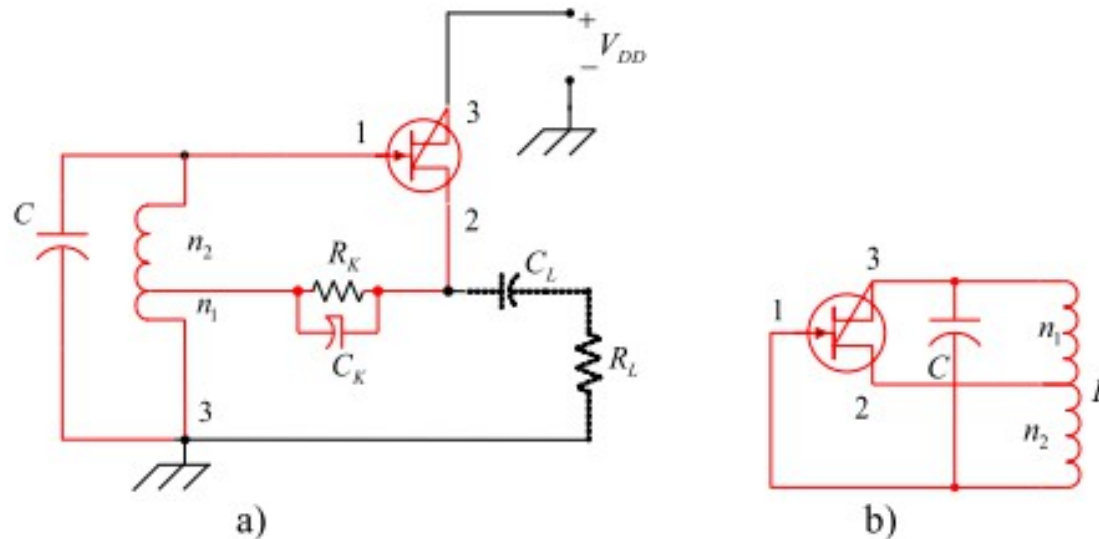


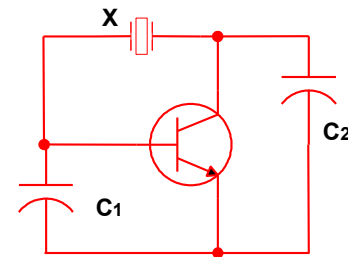
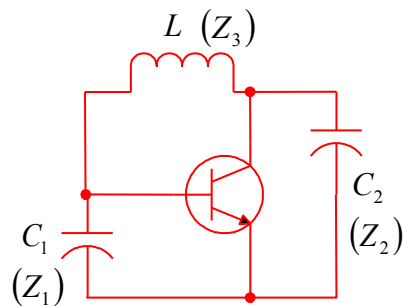
Figura 22

I componenti aggiunti, rispetto al circuito dinamico di figura 19, sono (figura 22 a):

- R_k , resistenza di polarizzazione del source,
- C_k , condensatore di fuga, serve ad annullare, alla frequenza di oscillazione, la resistenza R_k , in pratica il gruppo $R_k // C_k$ è un corto circuito per le correnti alternate alla frequenza di lavoro.
- Il circuito di alimentazione rappresentato dalla sorgente in corrente continua V_{DD} .

Il circuito dell'oscillatore a cristallo

Un esempio con l'oscillatore Colpitts, il cristallo può esser connesso al posto della induttanza, vedi esempio a emettitore comune.



Gli oscillatori controllati in tensione

Un oscillatore è normalmente progettato per generare un segnale che varia in frequenza entro una certa banda.

La variazione di frequenza negli oscillatori LC viene generalmente ottenuta variando il valore di uno di questi due componenti:
un' **induttanza variabile** o un **condensatore variabile**.

Ambedue sono state usate in passato nei cosiddetti VFO (Variable Frequency Oscillator) e lo sono ancora là dove la stabilità di frequenza richiesta non è molto alta, come ad esempio nei ricevitori commerciali di modesta qualità.

Oggi è possibile ottenere dei generatori di segnali molto stabili in frequenza realizzando quei sistemi denominati *sintetizzatori di frequenza*, questi sono dei blocchi funzionali di notevole complessità, che oggi, grazie al progresso nell'integrazione del silicio, sono di dimensioni e costi contenuti.

Gli oscillatori controllati in tensione

Una tecnica per realizzare i sintetizzatori è quella dell'anello di aggancio in fase (PLL, Phased Locked Loop), l'oscillatore variabile in frequenza è un importante sotto insieme del PLL.

In questo tipo di oscillatore il controllo della frequenza avviene di solito tramite una tensione continua. Questo oscillatore viene chiamato **VCO (Voltage Controlled Oscillator)**.

Questi oscillatori usano come elemento di controllo in funzione della tensione la capacità, C .

La capacità viene resa variabile grazie all'impiego di un diodo al silicio di tipo particolare, diodo che viene chiamato con nomi diversi:

- - varicap,
- - varacator,
- - voltage variable capacitance diode,

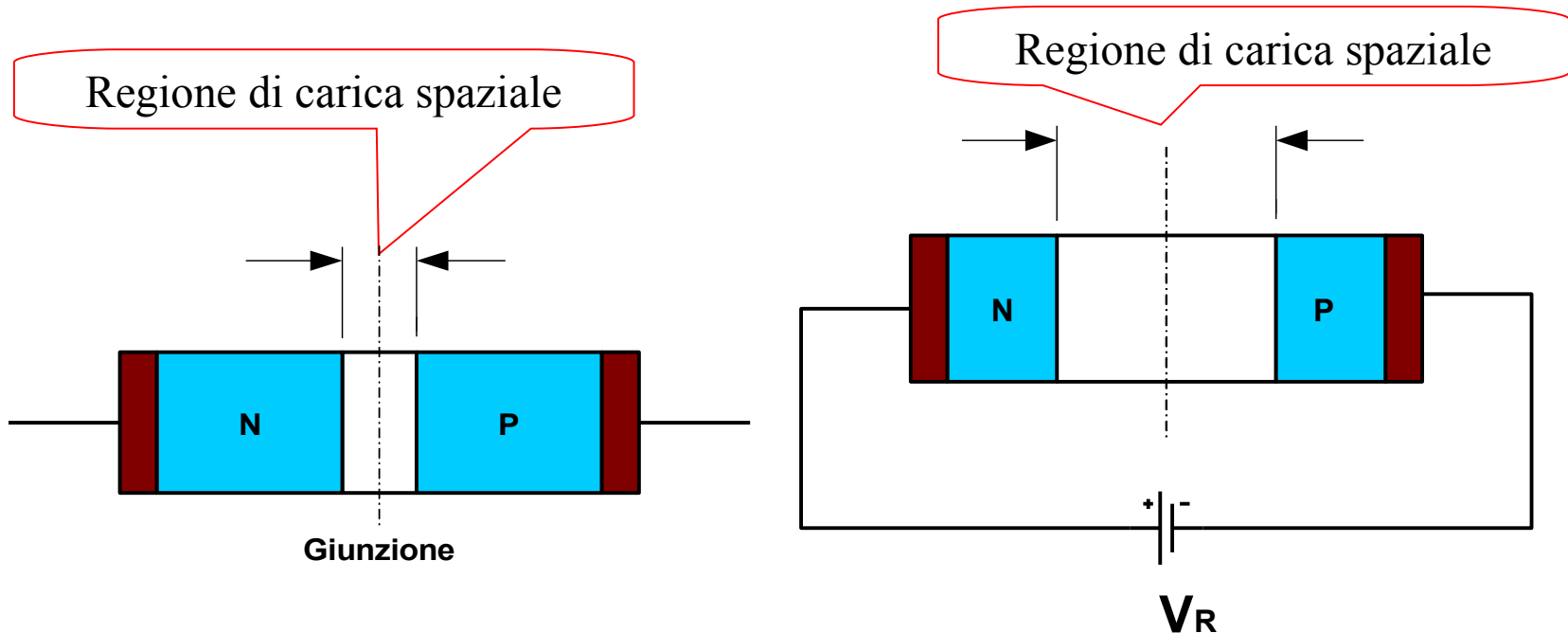
in questo contesto useremo il termine *varicap*.

Il diodo Varicap

In una giunzione PN la polarizzazione inversa fa sì che i portatori di maggioranza si allontanino dalla giunzione, producendo un aumento di carica spaziale, cioè lo spessore dello strato di carica spaziale alla giunzione aumenta con l'aumentare della tensione inversa.

Questo aumento di cariche con la tensione può essere considerato come un effetto capacitivo.

Più grande è la tensione inversa, più grande è la larghezza della regione di carica spaziale e quindi minore è la capacità.



Il diodo Varicap

Si dimostra teoricamente e sperimentalmente che la capacità della giunzione di un diodo polarizzato inversamente segue questa relazione:

Capacità della giunzione

$$C = \frac{K}{(V_R + V_0)^n}$$

Dipendono dalla tecnologia con cui è costruito il diodo

Tensione di polarizzazione inversa

La variazione di capacità

Il campo di variazione della capacità è definito dalla:

$$\frac{C_{\max}}{C_{\min}} = \frac{C_{\text{tot}}(V_{R\min})}{C_{\text{tot}}(V_{R\max})}$$

Capacità complessiva alla
tensione di polarizzazione
inversa minima

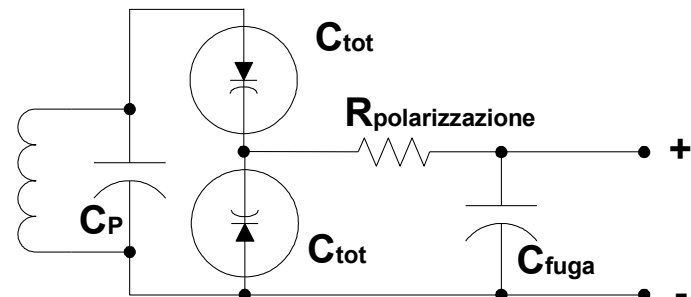
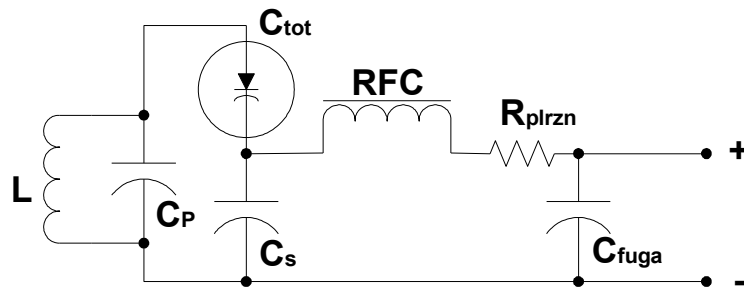
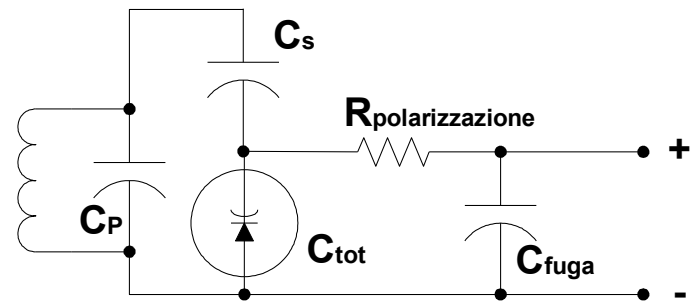
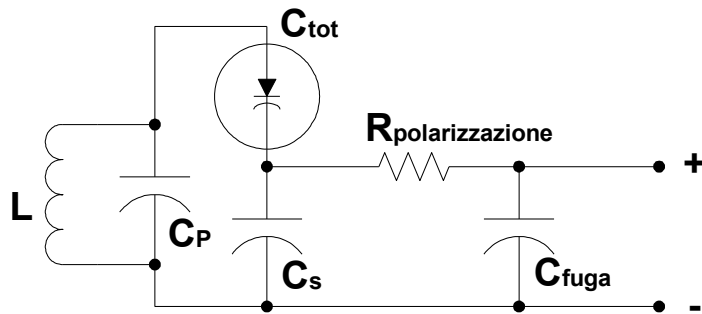
Capacità complessiva alla
tensione di polarizzazione
inversa massima

Il campo di variazione è limitato dal fatto che il diodo non può lavorare con polarizzazione diretta e nella zona di breakdown.

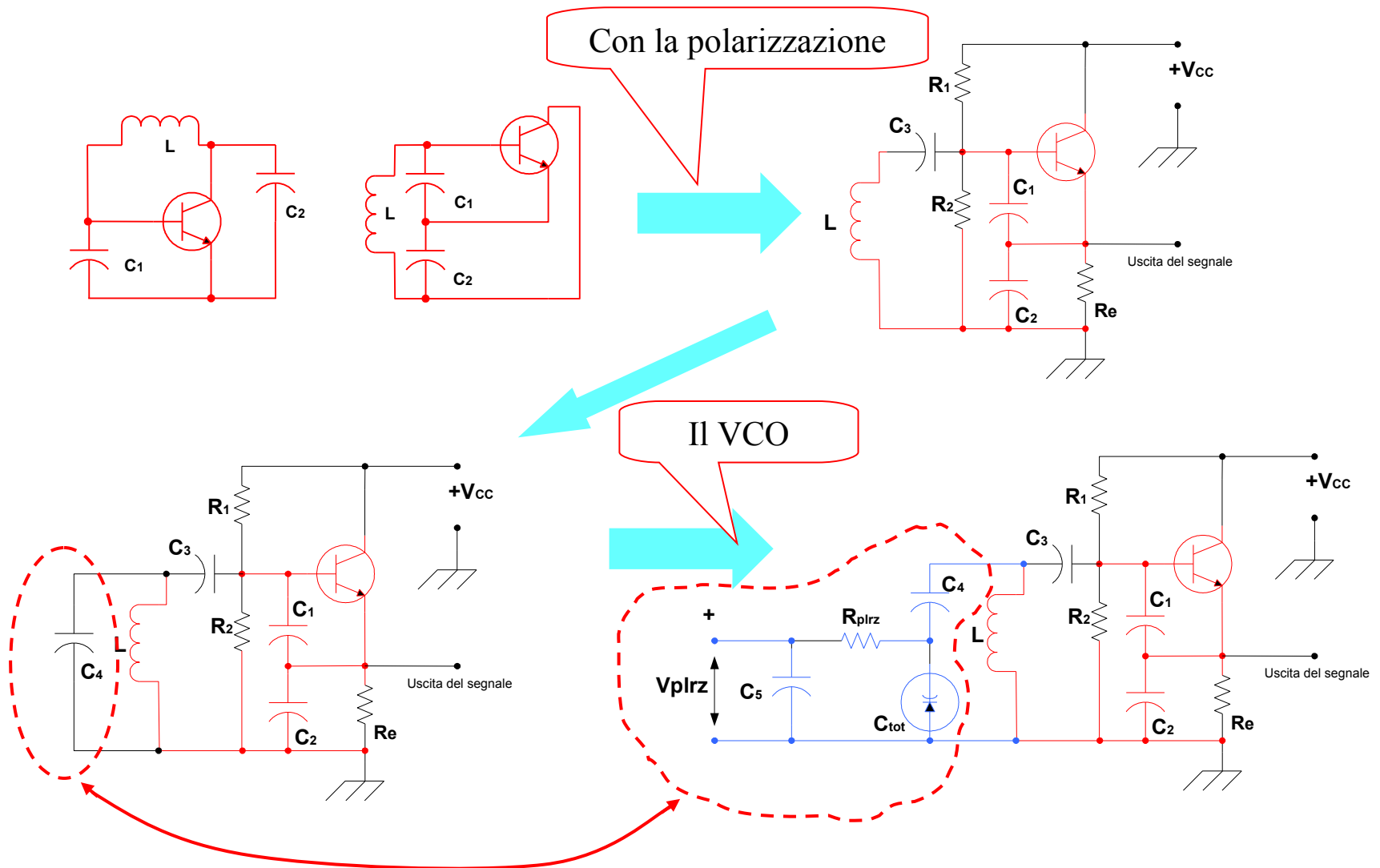
<u>Capacità</u>	<u>MV209</u>	<u>BB105</u>	<u>MVAM125</u>
Per VR = 1 V	40 pF	18 pF	500pF
Per VR = 25 V	6 pF	2 pF	33 pF
Rapporto di capacità usabile	6	9	15

Il diodo a variazione di capacità nei circuiti

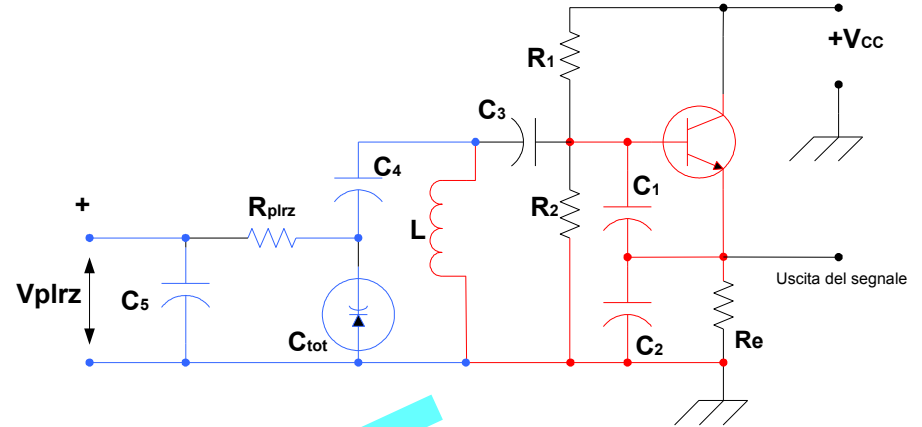
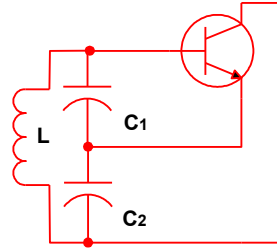
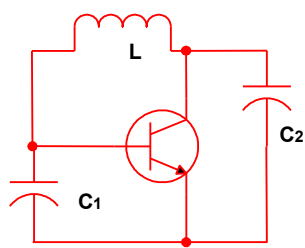
I diodi a capacità variabile si possono inserire nei circuiti risonanti come un qualsiasi condensatore, si deve però tenere in considerazione gli aspetti di polarizzazione del diodo e dell'impatto del circuito di polarizzazione sul circuito risonante stesso.



Il diodo a variazione di capacità nell'oscillatore



Il diodo a capacità variabile nell'oscillatore



Nuovo circuito dinamico

