



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI



Instrumente Structurale  
2007-2013



# Platformă de e-learning și curriculum e-content pentru învățământul superior tehnic

## Elemente de Electronică Analogică

### 40. Oscilatoare cu cuarț

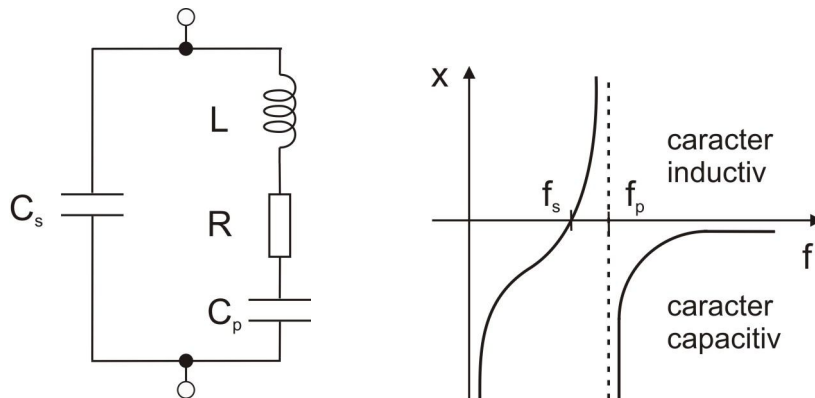
## OSCILATOARE CU CUARȚ

### REZONATORUL CU CUARȚ

Atunci când este necesară o stabilitate foarte bună a frecvenței, în locul circuitului rezonat clasic format din bobine și condensatori, se folosește un cristal de cuarț (din punct de vedere electric prezintă o impedanță cu proprietăți de circuit rezonant), a cărui funcționarea se bazează pe efectul piezoelectric. Unui cristal de cuarț i se poate asocia o schemă electrică echivalentă, simplificată (o schemă echivalentă mai elaborată pune în evidență posibilitatea rezonanței pe armonicile impare ale frecvenței fundamentale - overtone), care este prezentată în figura (2.21 - a).

Este vorba despre un circuit oscilant serie, valorile elementelor de circuit fiind determinate de proprietățile mecanice ale cristalului:

- inductanța  $L_q$  - inductanța echivalentă masei, ( $10^{-2} - 10^{-3}$ )H ;
- capacitatea  $C_q$  - capacitatea echivalentă elasticității cristalului,  $10^{-2}$ pF ;
- rezistența de pierderi  $R_q$  - rezistența de pierderi datorită frecărilor din cristal,  $\Omega$  - sute  $\Omega$  ;
- capacitatea  $C_0$  - reprezintă capacitatea dintre electrozii plani între care se află cristalul (100pF – nF), prin intermediul cărora acesta se poate conecta în circuitul electric.



**Fig. 2.21.** Cristalul de cuarț, a – schema electrică echivalentă,

b – variația reactanței în funcție de frecvență

Circuitul electric echivalent al rezonatorului cu cuarț poate fi privit ca înscrierea reactanței efective cu rezistența sa efectivă. Pentru un cristal de cuarț, analiza celor două componente conduce la definirea a șase frecvențe caracteristice:

- $f_r$  - *frecvența de rezonanță* - este frecvența la care rezonatorul prezintă impedanță rezistivă (reactanță nulă) minimă în condiția de fază zero;
- $f_a$  - *frecvența de antirezonanță* - este frecvența la care rezonatorul prezintă impedanță rezistivă (reactanță nulă) maximă în condiția de fază zero;
- $f_s$  - *frecvența de rezonanță serie* - este frecvența pentru care reactanța circuitului serie  $L_q, C_q, R_q$ , din circuitul echivalent al rezonatorului, se anulează:

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_q C_q}}; \quad (2.91)$$

- $f_p$  - *frecvența de rezonanță paralel* - este frecvența pentru care reactanța inductanței  $L_q$  devine egală cu reactanța capacității rezultate din înscrierea capacităților  $C_q$  și  $C_0$  (relația 2.92).

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_q \frac{C_0 C_q}{C_0 + C_q}}}; \quad (2.92)$$

- $f_m$  - frecvența la care impedanța rezonatorului cu cuarț este minimă;
- $f_n$  - frecvența la care impedanța rezonatorului cu cuarț este maximă.

În deducerea relațiilor (2.91) și (2.92) s-a neglijat contribuția rezistenței de pierderi  $R_q$  deoarece valoarea ei este mult mai mică decât reactanța inductivă  $\omega L_q$ . Deoarece rezonatoarele cu cuarț prezintă valori ridicate ale factorului de calitate  $Q$

( $10^4 - 10^6$ ) și a raportului capacităților  $C_0 / C_q$  ( $10^3 - 10^5$ ), în practică se poate considera că:  $f_r = f_s = f_m$  și  $f_a = f_p = f_n$  (eroarea se încadrează în limita  $\pm 0,5 \cdot 10^{-6}$ ).

Variația reactanței cristalului de cuarț este prezentată în figura (2.21. - b), unde se pune în evidență faptul că pentru frecvențele cuprinse între  $f_s$  și  $f_p$  comportamentul cristalului este inductiv și în afara acestui domeniu el devine capacitiv. Cele două frecvențe sunt foarte apropiate, diferența dintre ele:

$$f_p - f_s = \frac{1}{2} f_s \frac{C_q}{C_0}, \quad (2.93)$$

fiind de cele mai multe ori mai mică decât 1%.

Pentru ajustarea frecvenței unui rezonator cu cuarț la o valoare specificată:  $f_s < f_{osc} < f_p$ , se folosește un condensator (condensator de sarcină:  $C_s$ ) conectat în serie sau în paralel cuarțului. Frecvența de rezonanță în sarcină va fi frecvența la care impedanța electrică a combinației *rezonator – condensator de sarcină* este rezistivă:

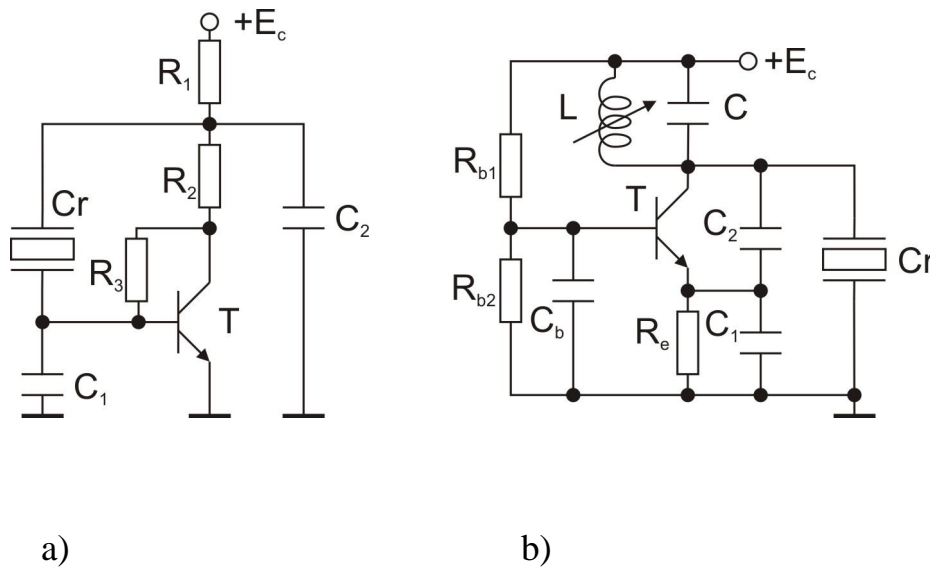
$$f_{osc} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_q \frac{(C_0 + C_s)C_q}{C_0 + C_s + C_q}}}$$

Valoarea capacității  $C_s$  se alege de 3 - 4 ori mai mare decât valoarea lui  $C_0$  pentru a asigura funcționarea stabilă a cristalului. Dacă rezonatorul este în rezonanță serie și se dorește creșterea frecvenței nominale capacitatea se cuplează în serie, respectiv dacă rezonatorul este în rezonanță paralel și se dorește scaderea frecvenței capacitatea se conectează în paralel cu rezonatorul.

Rezonatoarele cu cuarț având un factor de calitate ridicat asigură o stabilitate foarte bună a frecvenței de oscilație în raport cu variațiile de temperatură, atunci când este folosit ca circuit rezonant în oscilatoare.

## OSCILATOARE CU CUARȚ

Un oscilator la care cristalul de cuarț este montat între colector și bază este oscilatorul Pierce prezentat în figura (2.22.- a). Acest oscilator poate funcționa ca oscilator Colpitts sau ca oscilator Clapp.



**Fig. 2.22.** Oscilatoare cu cuarț de tip Pierce în montaj:

a – emitor comun; b – bază comună

Când montajul lucrează ca oscilator Clapp este necesar ca:  $C_1, C_2 \gg C_q$  și pentru o stabilitate maximă a frecvenței se alege  $C_1 = C_2$ . În această situație condiția de amorsare a oscilațiilor se determină cu relația:

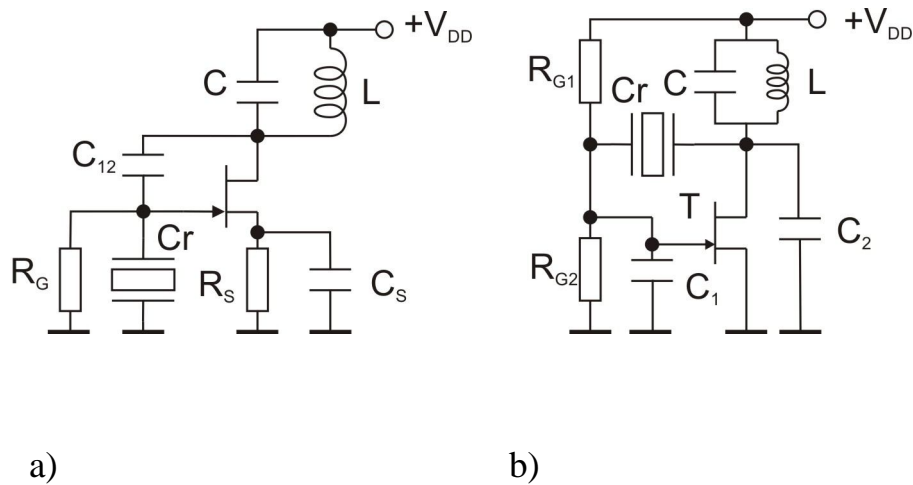
$$C_s \leq \frac{1}{2\pi f_s} \sqrt{\frac{S}{R_q}} \quad (2.94)$$

unde:  $C_s = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$  este capacitatea de sarcină a cristalului,  $S$  este panta tranzistorului, iar  $R_q$  este rezistența serie a cristalului de cuarț.

Frecvența de oscilație poate fi ajustată în limite mici dacă se montează un condensator variabil (trimer), în serie cu cuarțul.

Un oscilator Pierce (derivat din varianta Colpitts) poate fi realizat și într-un montaj bază comună, ca în figura (2.22. - b). Cristalul de cuarț este folosit ca inductanță. Pentru a se obține un semnal cu un conținut mic de armonici în colectorul tranzistorului este prevăzut un circuit oscilant LC, acordat pe o frecvență mai mică decât frecvența de oscilație (< 20 %). Circuitul acordat permite o ușoară corecție a frecvenței de oscilație. Oscilatorul poate fi acordat și pe o armonică superioară frecvenței fundamentale a cuarțului.

Oscilatoarele cu rezonator cu cuarț pot fi realizate și cu tranzistoare cu efect de câmp (figura 2.22).



**Fig. 2.23.** Oscilatoare cu tranzistor cu efect de câmp de tip Miller (a) și de tip Pierce (b)

Oscilatorul de tip Miller (figura 2.23 -a) este de fapt un oscilator de tip Hartley la care reacția este realizată prin capacitatea drenă – sursă a tranzistorului și capacitatea  $C_{12}$ . Circuitul oscilant LC din drenă trebuie să fie acordat pe o frecvență mai mare cu 20% decât frecvența de oscilație pentru a reprezenta o reactanță inductivă. Cristalul de cuarț prezintă și el o reactanță inductivă întrucât lucrează pe o frecvență cuprinsă între frecvența de rezonanță serie și cea derivație.

Schema de oscilator de tip Pierce din figura (2.22 -b) derivă din schema de oscilator de tip Colpitts.

Oscilatorul de tip Miller are o stabilitate a frecvenței mai mică față de oscilatorul Pierce însă prezintă avantajul că poate să oscileze pe frecvențe *overtone* (frecvențe ale armonicilor impare).

Stabilitatea frecvenței oscilatoarelor cu cuarț este de ordinul:  $10^{-6} - 10^{-7}$  și poate atinge valoarea de  $10^{-9}$  dacă se termostatează cuarțul.