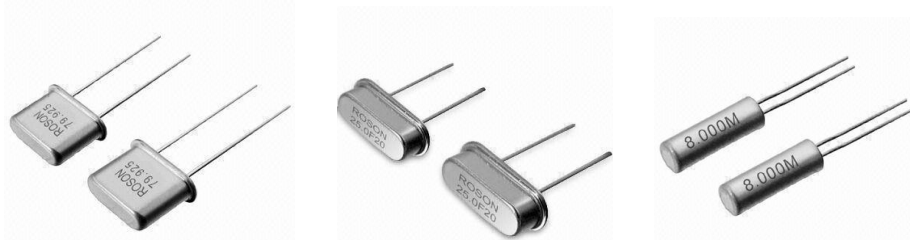
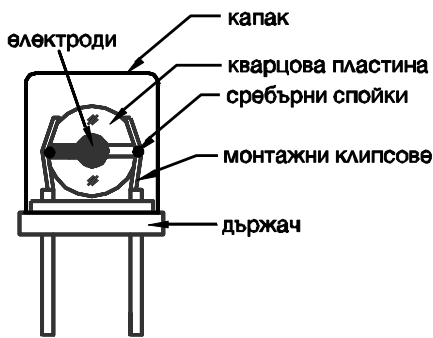


Кварцови генератори

1 Кварцови резонатори. Основни параметри

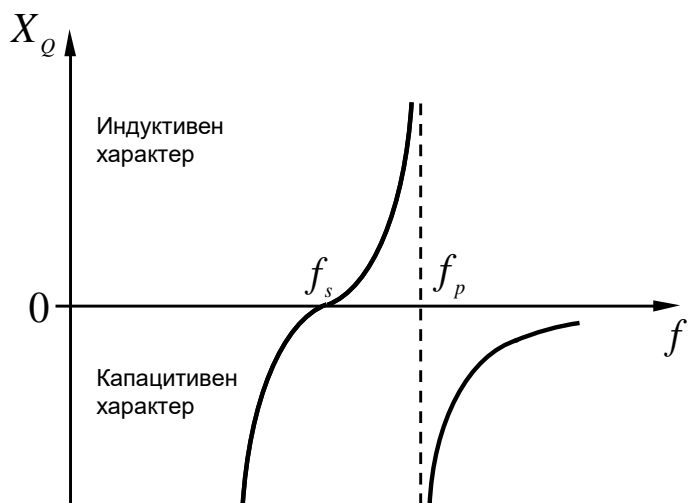
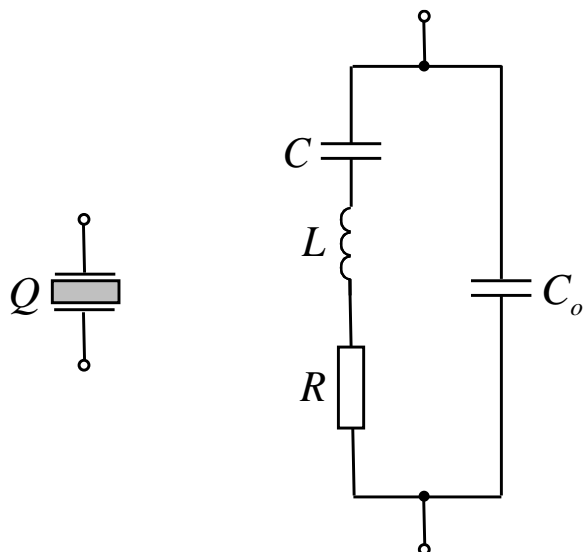
Стабилността на честотата на описаните в предишната тема LC генератори в много случаи е недостатъчна. Тя зависи от температурните коефициенти на капацитетите и индуктивностите. Значително повишаване на стабилността на честотата може да се постигне при използването на **кварцови резонатори**, в които енергията на електрическото поле се преобразува в енергия на механични колебания. По-общо всеки кварцов резонатор се състои от пиезоелемент (кварцова пластина, изрязана по подходящ начин от кварцов кристал – SiO_2), два електрода и държач.



Принципът на действие на кварцовите резонатори се основава на **обратния пиезоэффект**. При подаване на променливо напрежение между електродите на резонатор в него възникват неголеми механични трептения, които са пропорционални на интензитета на приложеното електрическо поле.

Електрически всеки кварцов резонатор може да се разглежда като колебателен контур с висок качествен фактор. Освен това температурната нестабилност на резонансната честота е незначителна и има стойности:

$$\delta_f = \frac{\Delta f}{f} = 10^{-6} \dots 10^{-10} .$$



Еквивалентна схема и основни параметри на кварцовите резонатори

Елементи на еквивалентната схема:

- Динамична индуктивност L и капацитет C , определят механичните свойства на кварцовия резонатор.
- Омично съпротивление R , характеризиращо загубите в механичните колебания.
- Статичен капацитет C_o на резонатора, който има за диелектрик кварцовата пластина.

Типични стойности на параметрите на заместващата еквивалентна схема за кварцов резонатор за честота 4MHz са следните:

$$L = 100mH \qquad R = 100\Omega$$

$$C = 0,0015pF \qquad C_o = 5pF$$

$$Q = \frac{\rho}{R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \approx 26000, \text{ където } \rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Ако се пренебрегне омичното съпротивление R за пълния импеданс на кварцовия резонатор се получава:

$$Z_e = \left(j\omega L + \frac{1}{j\omega C} \right) \parallel \frac{1}{j\omega C_o} \quad \text{или}$$

$$Z_e = \frac{j}{\omega} \cdot \frac{\omega^2 LC - 1}{C_o + C - \omega^2 LCC_o}.$$

Еквивалентна схема и основни параметри на кварцовите резонатори

От формулата за пълното съпротивление следва, че съществува една честота, при която $Z_e = 0$, и друга честота при която $Z_e = \infty$. В такъв случай, всеки кварцов резонатор има две резонансни точки – точка с последователен резонанс и точка с паралелен резонанс. Тогава:

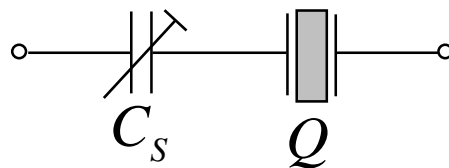
- При приравняване към нула на числителя на Z_e се определя честотата на последователния резонанс:

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} ;$$

- При приравняване към нула на знаменателя на Z_e се определя честотата на паралелния резонанс

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \sqrt{1 + \frac{C}{C_o}} .$$

Изменение на честотата на кварцовия резонатор Q , в неголеми граници, може да се постигне, ако последователно на Q се включи тример-кондензатор C_s , чиито капацитет е значително по-голям от C .



Тогава

$$Z'_e = \frac{1}{j\omega C_s} \cdot \frac{C + C_o + C_s - \omega^2 LC(C_o + C_s)}{C_o + C - \omega^2 LCC_o} .$$

Еквивалентна схема и основни параметри на кварцовите резонатори

При приравняване към нула на числителя на Z'_e се определя честотата на новия последователен резонанс.

$$f'_S = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \sqrt{1 + \frac{C}{C_o + C_S}} = f_S \sqrt{1 + \frac{C}{C_o + C_S}} ;$$

Ако се разложи с ред на Тейлор израза за f'_S , при условие че $C \ll C_o + C_S$ се получава:

$$f'_S \approx f_S \left[1 + \frac{C}{2(C_o + C_S)} \right].$$

Тогава относителното изменение на честотата има вида:

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{C}{2(C_o + C_S)}.$$

Извод: Честотата на паралелния резонанс при включване на C_S не се изменя, понеже знаменателят на израза за f'_S не зависи от големината C_S .

Сравнявайки формулите за f_P и f'_S при условие, че $C_S \rightarrow 0$ честотата на последователния резонанс максимално се доближава до честотата на паралелния резонанс на кварцовия резонатор.

2 Електронни схеми на кварцови генератори

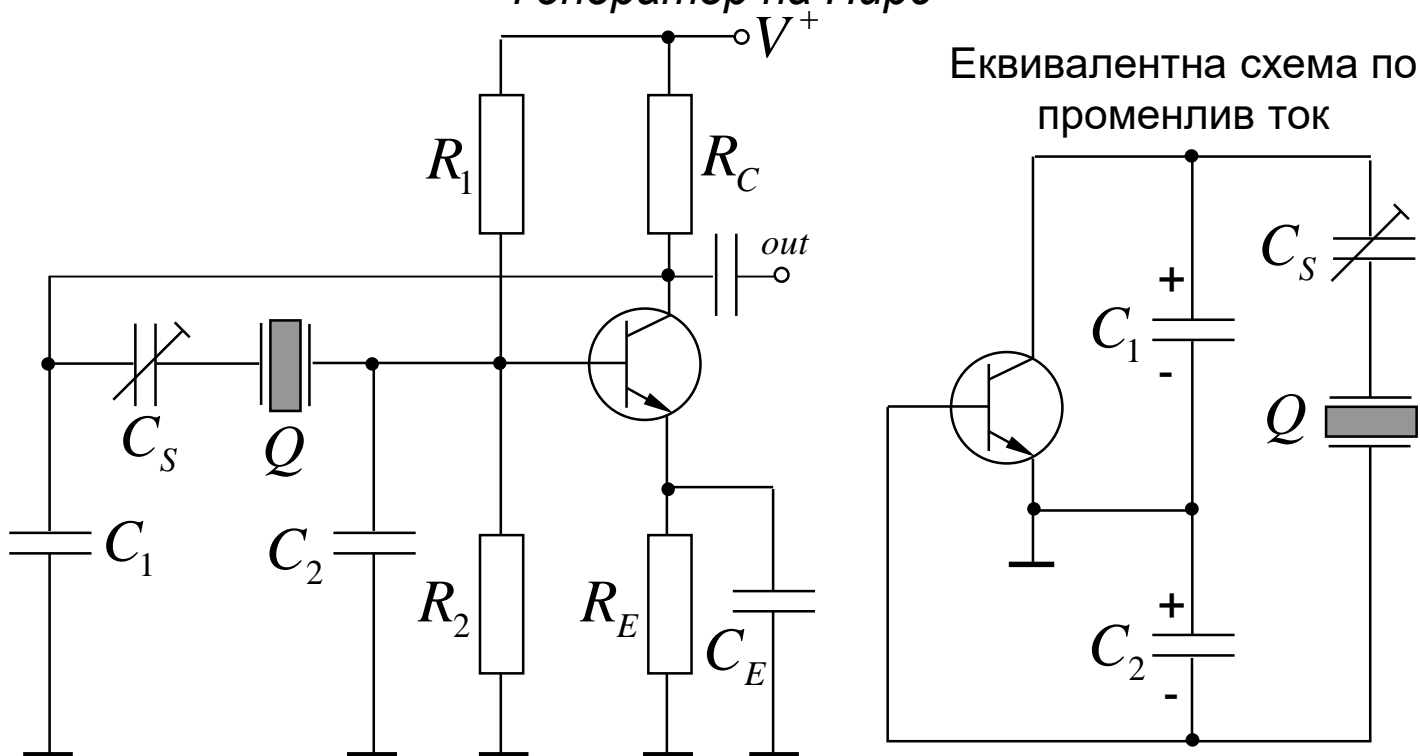
Видове схеми на генератори с кварцови резонатори:

- Генератори, при които честотата на генерираните трептения съвпада с последователната резонансна честота на резонатора (схеми за последователен резонанс);

- Генератори, при които честотата на генерираните трептения се намира между последователната f_s и паралелната f_p резонансни честоти. В този случай еквивалентната проводимост на резонатора има индуктивен характер (схеми с еквивалентна кварцова индуктивност).

А) Схеми на генератори с еквивалентна кварцова индуктивност

- Генератор на Пирс



Условие за определяне на честотата:

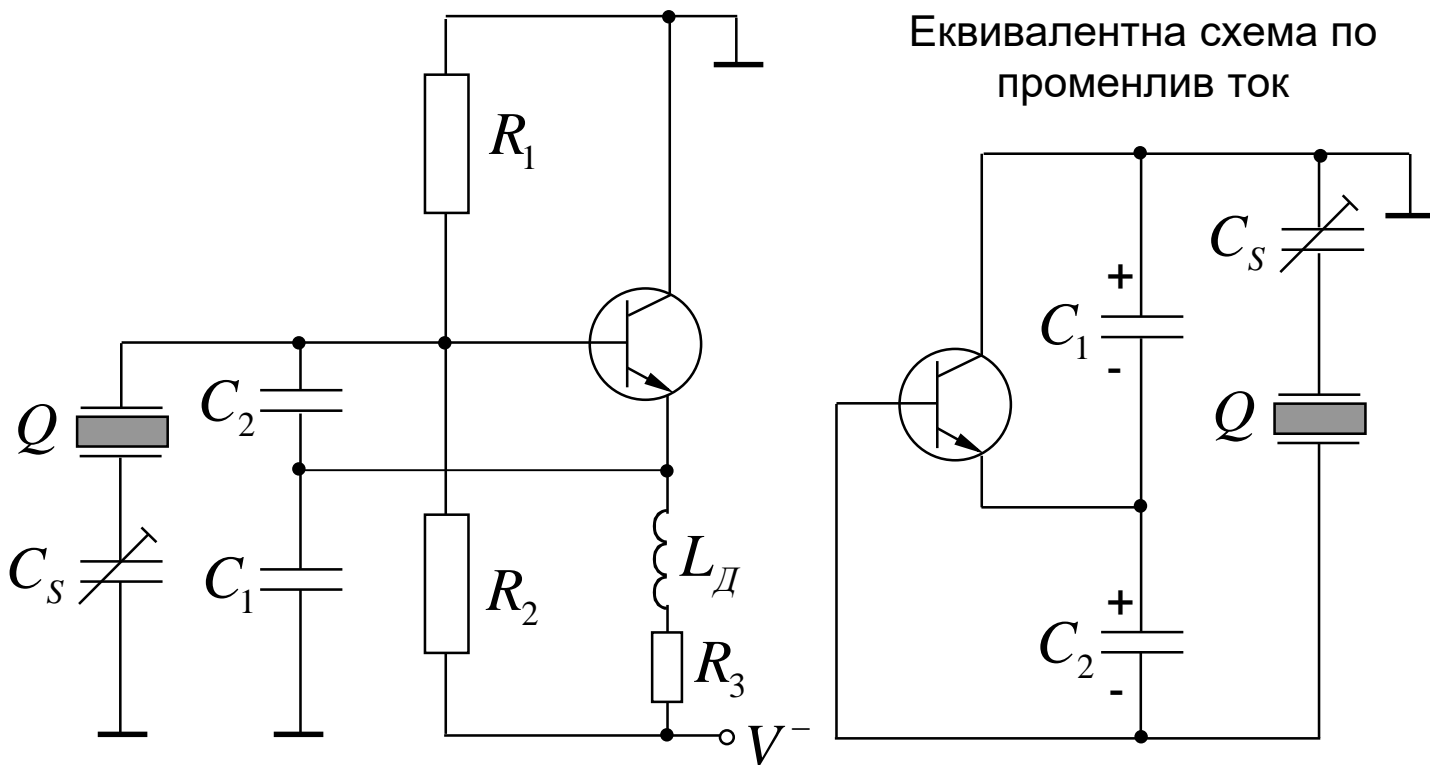
$$X_{C_1} + X_{C_S} + X_Q = 0; \quad f'_s \approx f_s \left[1 + \frac{C}{2(C_0 + C_S)} \right], \quad C_e = C_1 \parallel C_2$$

Условие за самовъзбуждане:

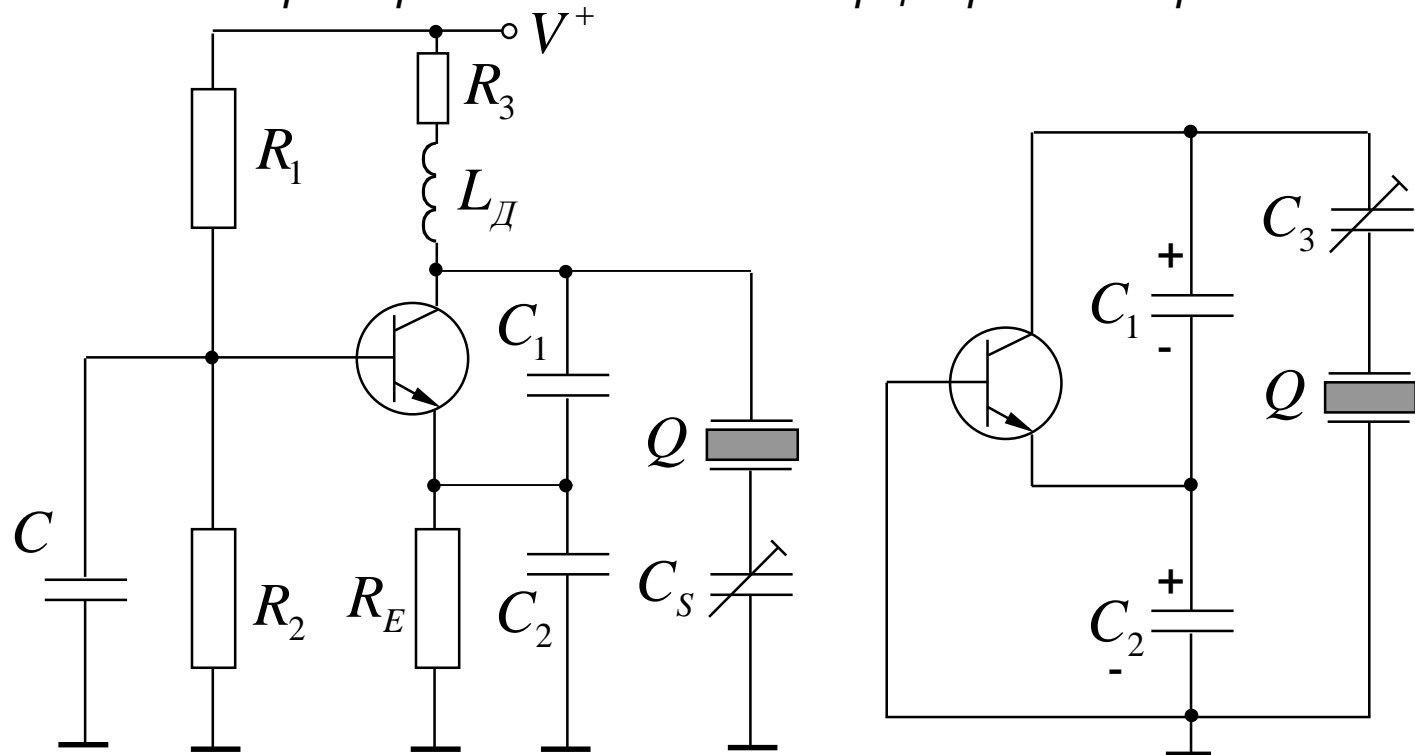
$$S \cdot R_{oeQ} \cdot \beta = 1; \quad \beta = \frac{C_1}{C_2}; \quad R_{oeQ} = \frac{\rho^2}{R_Q} = \frac{1}{\omega_s^2 (C_0 + C_e)^2 R_Q}$$

А) Схеми на генератори с еквивалентна кварцова индуктивност

- Генератор по схема Колпитц с кварцов резонатор



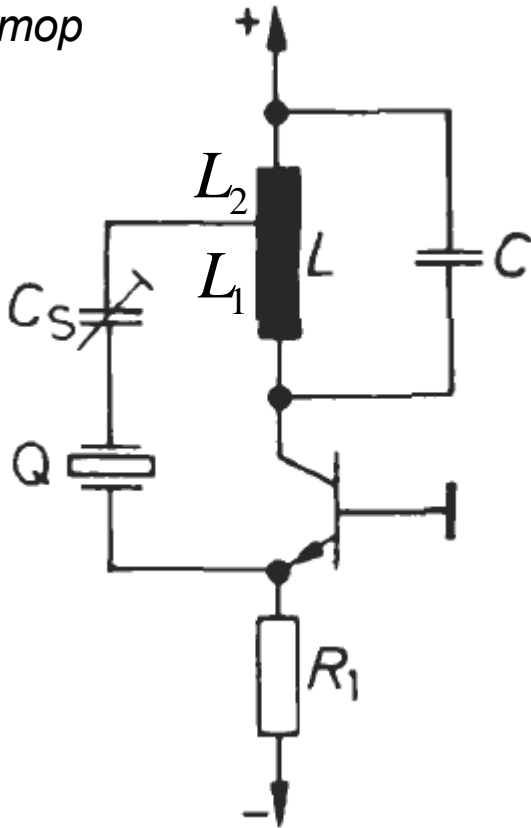
- Генератор по схема Клап с кварцов резонатор



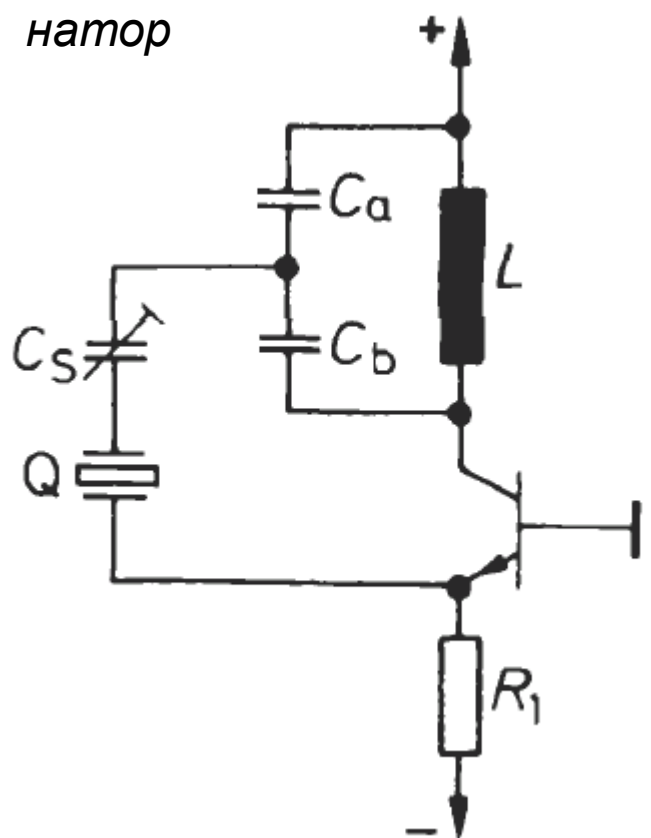
За възникването на хармонични трептения е необходимо избирателният кръг да бъде настроен на честота f_o , която се намира между последователната f_s и паралелната f_p резонансни честоти на кварцовия резонатор.

Б) Схеми за последователен резонанс

- Генератор по схема Хартли с кварцов резонатор



- Генератор по схема Колпитц с кварцов резонатор



За възникването на хармонични трептения е необходимо избирателният LC кръг да бъде настроен на честотата f_S на кварцовия резонатор.

3 Кварцови генератори в модулно изпълнение

Разновидности кварцови генератори:

- Кварцови генератори с фиксирана честота (Clock Crystal Oscillator – CXO);
- Кварцови генератори, управлявани с напрежение (Voltage-Controlled Crystal Oscillator – VCXO);
- Температурно-компенсирани кварцови генератори (Temperature-Compensated Crystal Oscillator – TCXO) - Ви\сокопрецизни кварцови генератори се получават чрез поставянето им в миниатюрни термостати, при което температурата на кварца се изменя в граници, по-малки от $\pm 2^\circ\text{C}$.