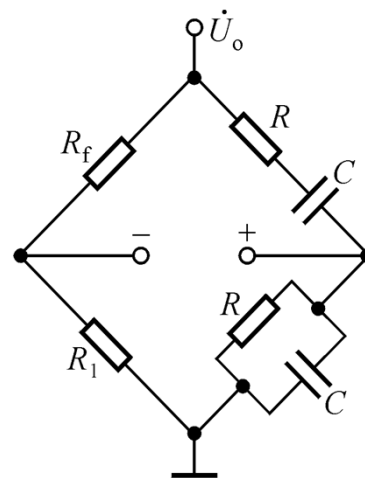
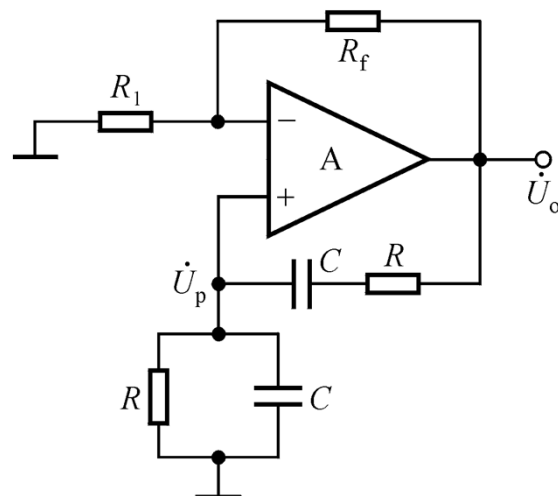
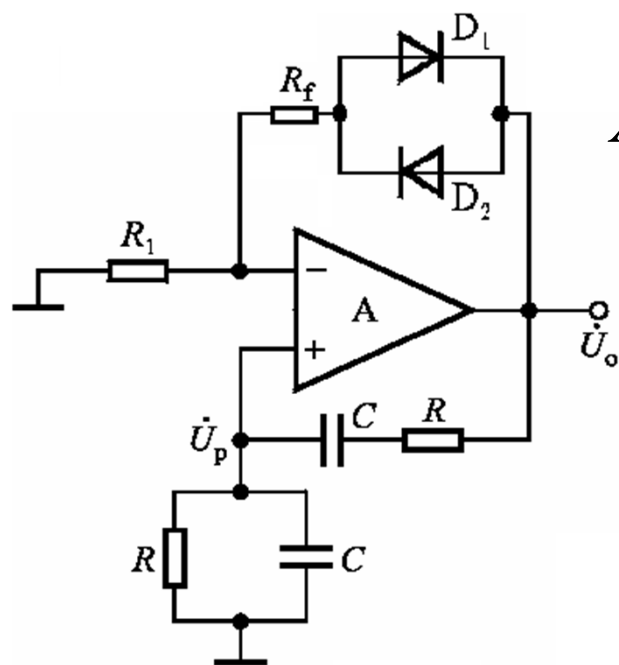


文氏桥振荡电路



文氏桥

- 稳幅环节 利用二极管动态电阻或热敏电阻的非线性



$$A_u = 1 + \frac{R_f + r_d}{R_1}$$

$$|u_o| \uparrow \rightarrow r_d \downarrow \rightarrow |A_u| \downarrow$$

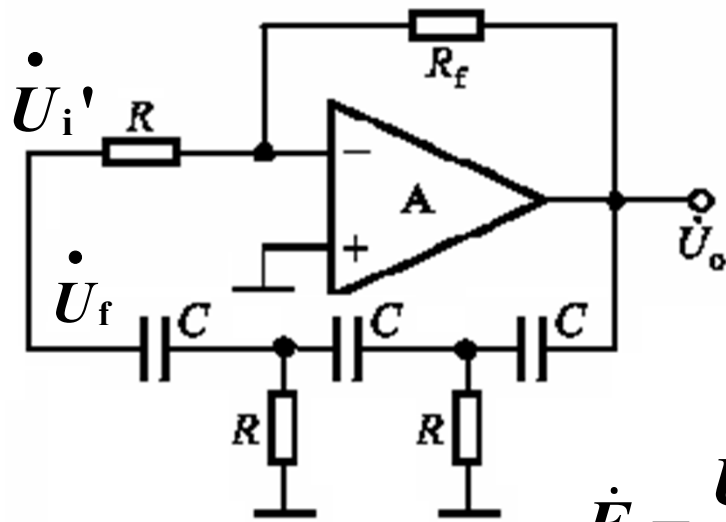
问题：

- 幅值条件是否为 R_f 略 $> 2R_1$?
- 已知 R_1 、 R_f ，如何计算振幅?

RC正弦波振荡电路的优缺点：

- 带负载能力强，失真小；
- 振荡频率稳定，但 $< 1\text{MHz}$ 。

3、RC移相式正弦波振荡电路



反相比例运算电路 + RC移相环节

稳定振荡条件和振荡频率分析：

$$\dot{A} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i'} = -\frac{R_f}{R}$$

$$\dot{F} = \frac{\dot{U}_f}{\dot{U}_o} = \frac{(j\omega RC)^3}{1 + 5j\omega RC + 6(j\omega RC)^2 + (j\omega RC)^3}$$

$$\dot{F} = \frac{\dot{U}_f}{\dot{U}_o} \approx \left(\frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC} \right)^3 \quad \frac{R_f}{R} \times \left(\frac{\omega RC}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} \right)^3 = 1$$

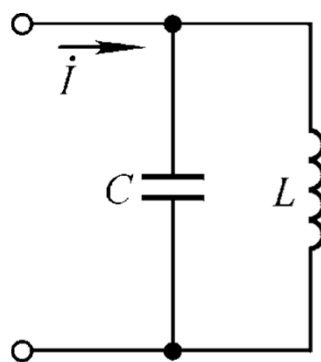
$$[90^\circ - \arctg(\omega RC)] \times 3 = 180^\circ$$

起振幅值条件： R_f 略 $> 8R$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{3}RC}$$

三、LC正弦波振荡电路

1. LC并联选频网络



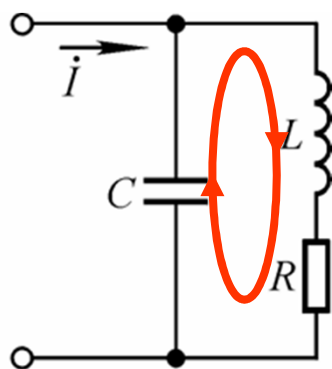
$$Z = j\omega L // \frac{1}{j\omega C} = \frac{j\omega L \cdot \frac{1}{j\omega C}}{j\omega L + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{j\omega L}{1 - \omega^2 LC}$$

理想情况下，当 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 时，LC回路产生并联谐振，
此时LC并联回路阻抗最大。

三、LC正弦波振荡电路

1. LC并联选频网络

实际的LC并联选频网络存在一定的损耗 R ，谐振时LC并联回路阻抗最大且呈纯阻性。



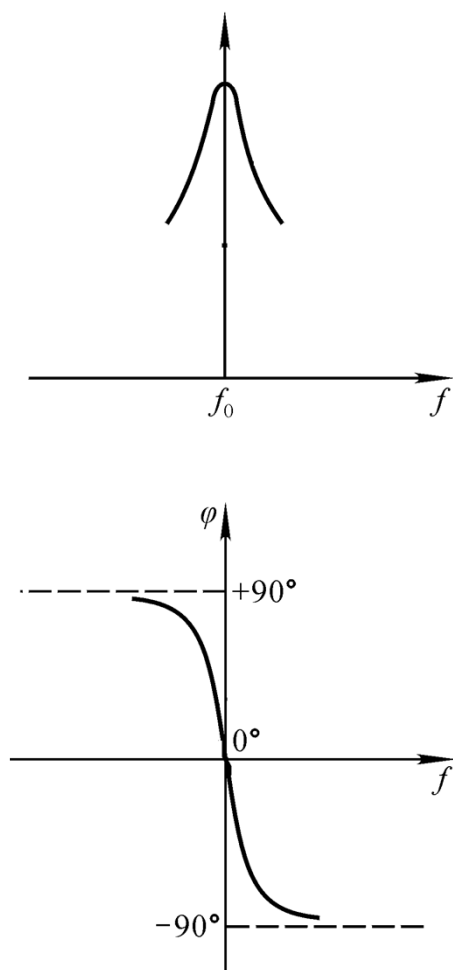
$$\begin{aligned}\dot{Y} &= j\omega C + \frac{1}{R + j\omega L} = j\omega C + \frac{R - j\omega L}{R^2 + (\omega L)^2} \\ &= \frac{R}{R^2 + (\omega L)^2} + j\left[\omega C - \frac{\omega L}{R^2 + (\omega L)^2}\right]\end{aligned}$$

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} \quad \omega_0^2 LC = \frac{(\omega_0 L)^2}{R^2 + (\omega_0 L)^2} \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{Q^2} + 1}}$$

$$\text{品质因数 } Q \approx \frac{1}{R} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}, \quad f_0 \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \quad Z_0 \approx Q^2 R$$

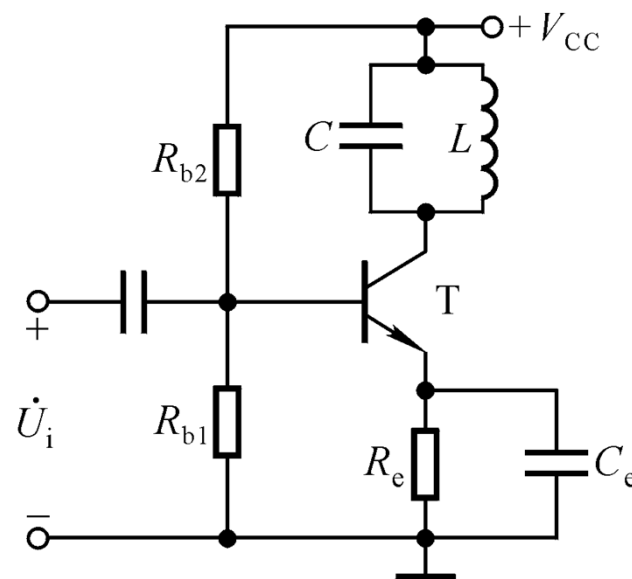
Q 的定义：谐振电路所储存的电磁场总能量与一个周期内电路消耗的能量之比称为品质因数 Q 。

LC 并联选频网络阻抗选频特性



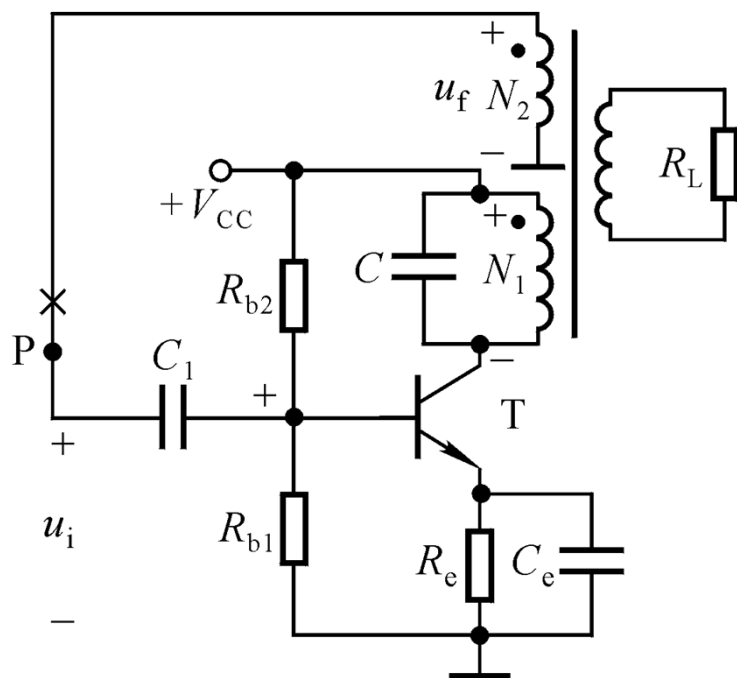
将 LC 并联选频网络作为共射放大电路的集电极负载

$$\dot{A}_u = -\beta \frac{Z}{r_{be}}$$



当 $f = f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 时, LC 阻抗 $|Z|$ 最大且为纯电阻, 没有附加相移; 此时电路 \dot{A}_u 最大。

2. 变压器反馈式正弦波振荡电路

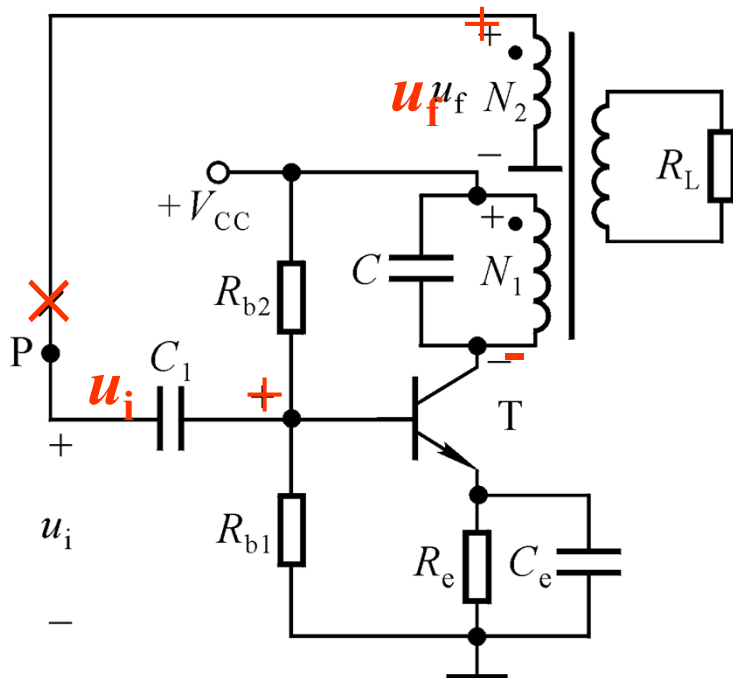


1) 工作原理

利用正弦波振荡电路分析方法分析**能否产生正弦波振荡**

a. 组成:

- 放大电路 单管共射放大电路
- 选频网络 LC 并联选频网络
- 正反馈网络 变压器交流正反馈
- 稳幅环节 晶体管T的非线性

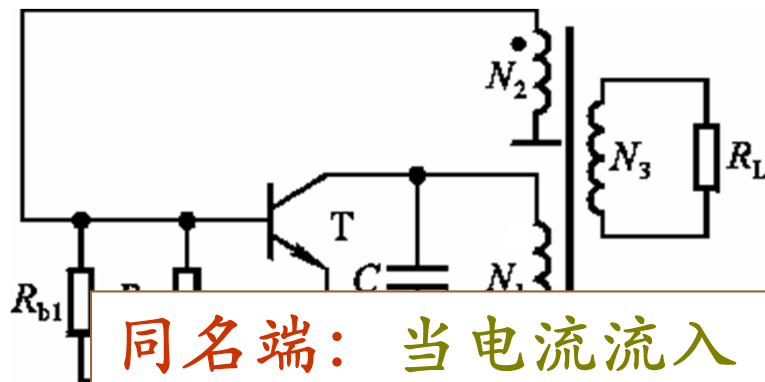


b. 放大电路能否正常放大

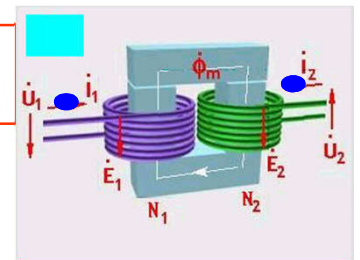
问题： 耦合电容 C_1 是否必需？
旁路电容 C_e 有何作用？

c. 瞬时极性法判断正反馈

- 断开反馈，加入频率为 f_0 的输入信号并规定极性为正；
- 依次判断输出和反馈信号的极性；
- 若反馈信号极性为正则为正反馈。

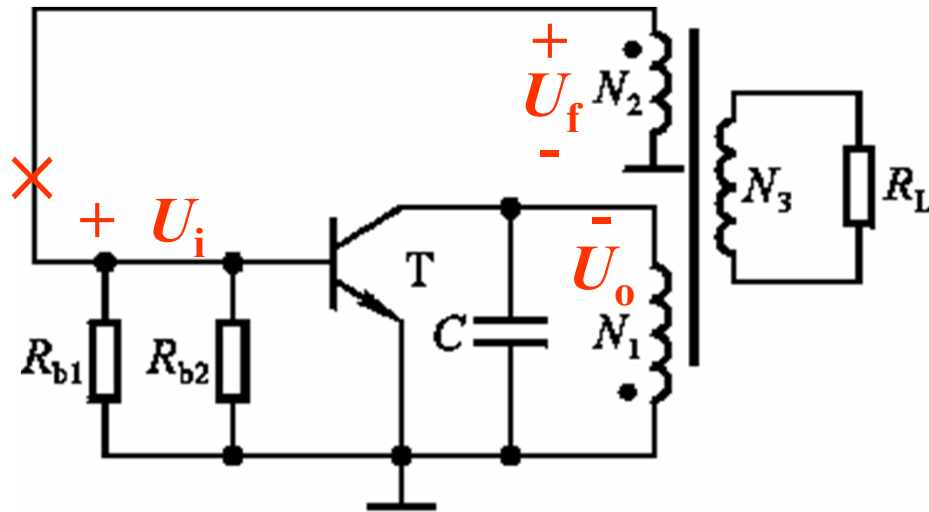


变压器同名端同极性



同名端： 当电流流入（或流出）两个端钮时，在耦合线圈中产生的磁场方向一致，即线圈的总磁链是增强的，则此两个端钮称为同名端。

d. 起振和稳定振荡的幅值条件、振荡频率



$$|\dot{A}\dot{F}| \geq 1, \quad \text{即} \left| \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \times \frac{\dot{U}_f}{\dot{U}_o} \right| \geq 1$$

幅值条件：

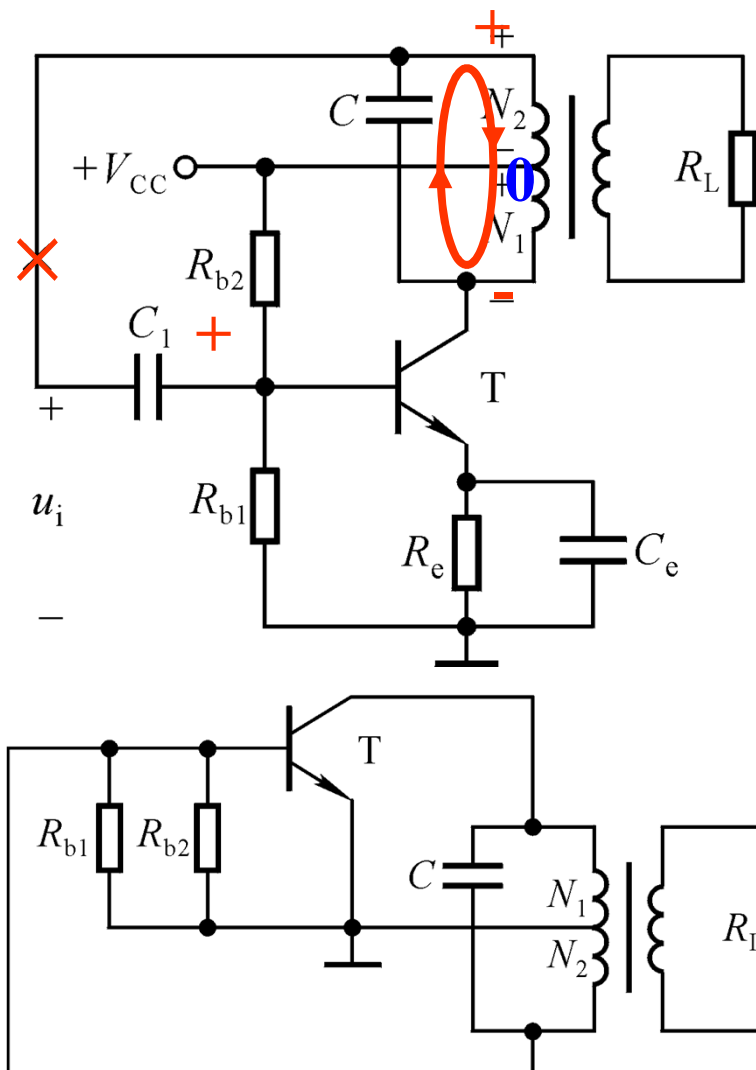
要求与 A_u 、 F 相关的参数合适，晶体管 β 、 r_{be} 、 R_i 、 L_1 、 C 、 L_2 、 Q 、互感 M 等参数合适。

$$\text{振荡频率: } f_0 \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C}}$$

2) 优缺点

- 易于产生振荡，波形失真不大，应用广泛；
- 磁路耦合损耗大；
- 振荡频率稳定性不高。

3. 电感反馈式（电感三端式）正弦波振荡电路



1) 放大电路能否正常放大

选频网络特点：电感中间交流接地

2) 反馈极性判断

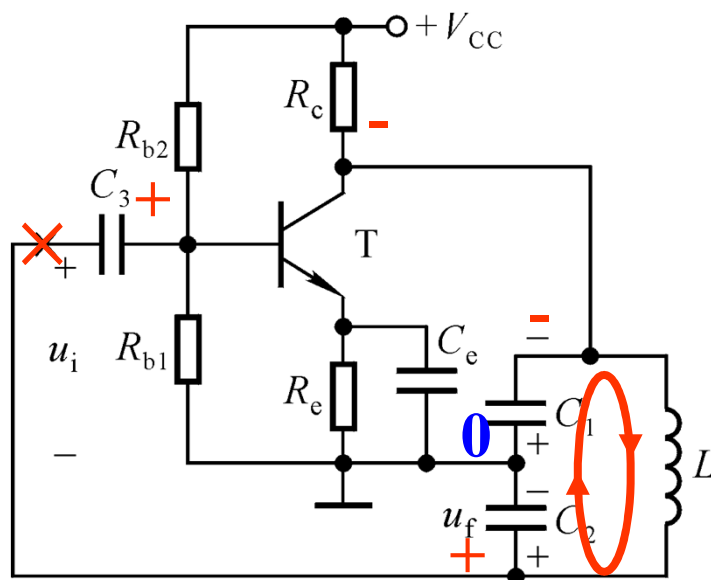
- 电感中直接地，首尾两端反相
- 首尾任一端接地，其余两端同相

3) 振荡频率 $f_0 \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_1 + L_2 + 2M)C}}$

4) 优缺点：

- 易于产生振荡，振幅大；
- 振荡频率较高，可达几十MHz；
- 输出波形中含有高次谐波。

4、电容反馈式（电容三端式）正弦波振荡电路



1) 放大电路能否正常放大

选频网络特点：电容中直接地

2) 极性判断

- 电容中直接地，首尾两端反相
- 首尾任一端接地，其余两端同相

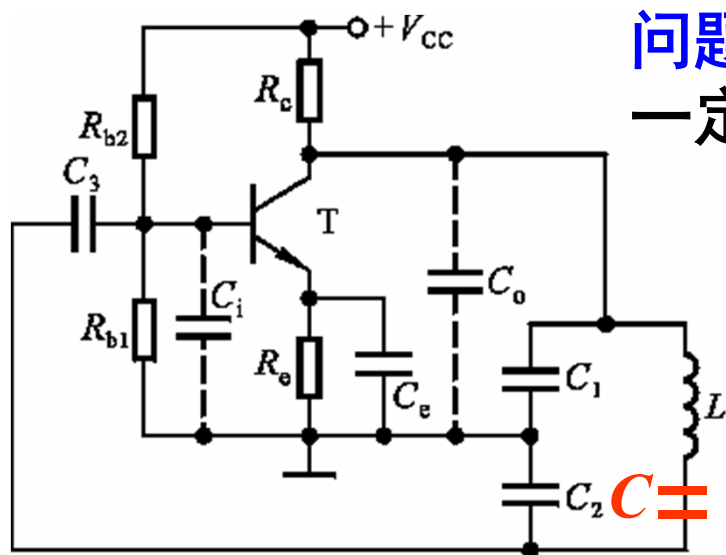
3) 振荡频率

$$f_0 \approx \frac{1}{2\pi \sqrt{L \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}}$$

4) 起振条件

$$|\dot{F}| = \left| \frac{\dot{U}_f}{\dot{U}_o} \right| = \left| \frac{\dot{I}_{C2} / j\omega C_2}{\dot{I}_{C1} / j\omega C_1} \right| \approx \frac{C_1}{C_2}$$

5) 问题1：调节振荡频率将影响起振条件



问题2：为提高振荡频率而减小 C_1 、 C_2 到一定程度时， C_i 、 C_o 将影响振荡频率。

解决办法：在 L 支路中加入小电容 C

$$\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C} \approx \frac{1}{C}$$

$$f_0 \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

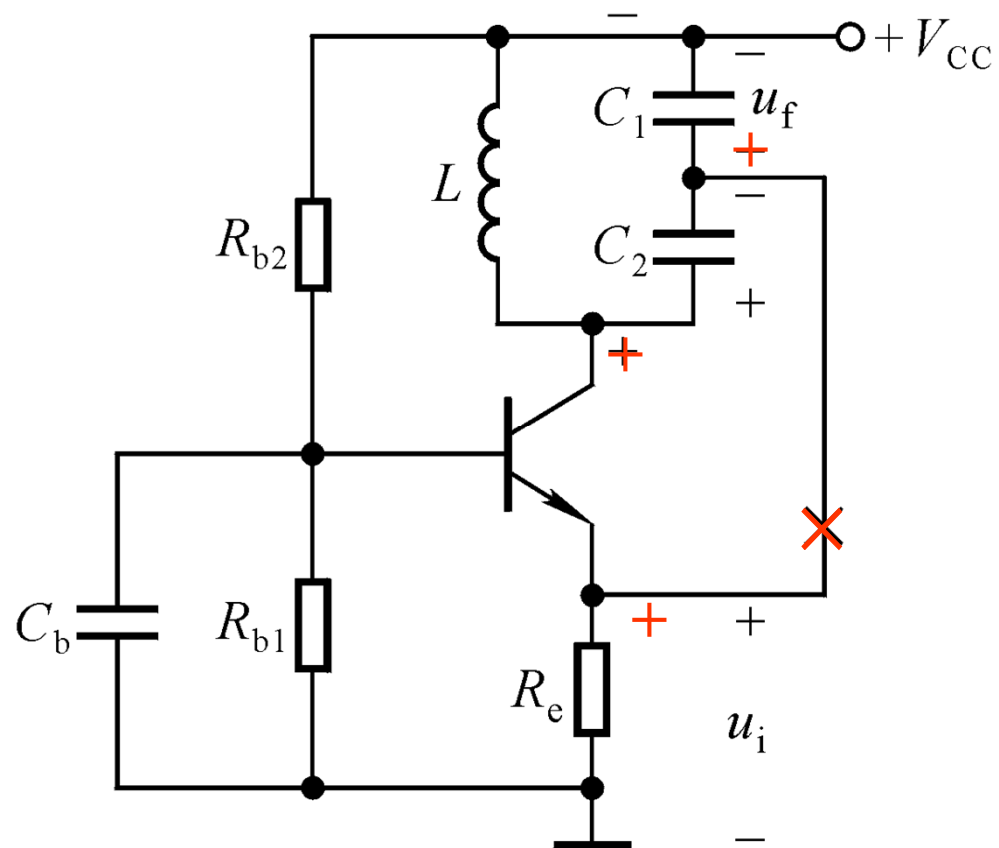
用于振荡频率
固定的场合

6) 优缺点

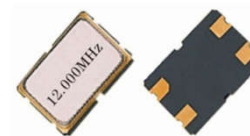
- 输出电压波形好；
- 振荡频率较高；
- 振荡频率范围调节较小，一般用于固定振荡频率的场合。

讨论2:

当要求振荡频率高于100MHz时，应考虑采用共基放大电路

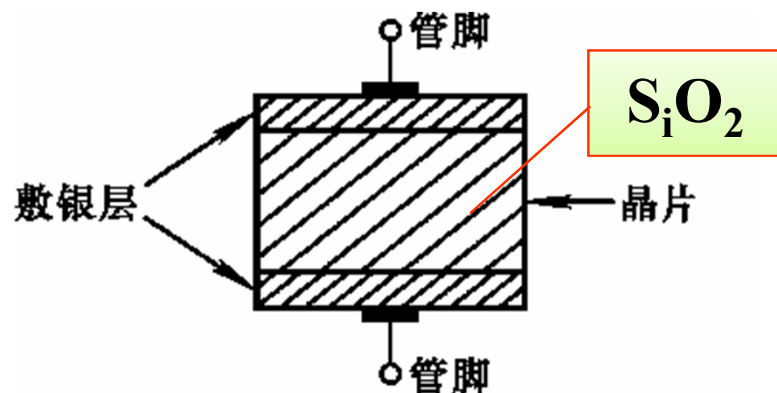


四、石英晶体(Quartz crystal)正弦波振荡电路



1. 石英晶体的特点

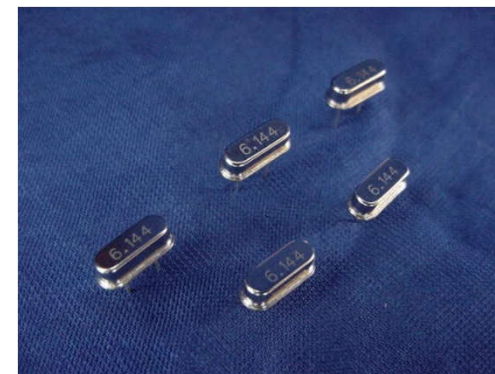
石英晶体又称为石英晶体谐振器



结构示意图



符号



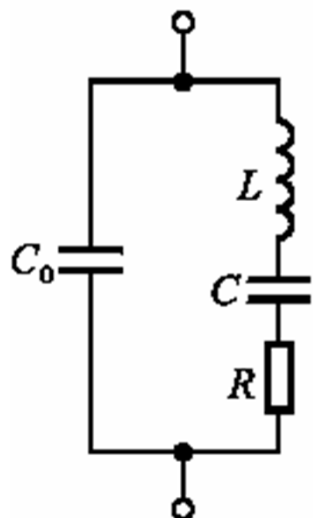
• 压电效应和压电振荡

压电效应：交变电场→一定频率的机械振动→交变电场

压电振荡：当交变电场的频率为某一特定值时，将产生共振，该频率即为石英晶体的谐振频率。

固有频率只决定于其几何尺寸，故非常稳定。

• 等效电路和振荡频率



$C_0 \gg C$

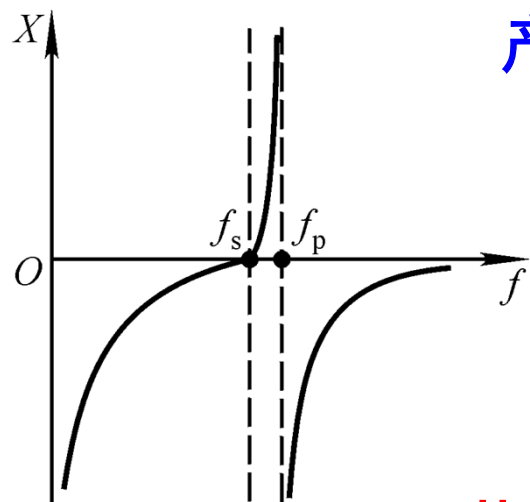
a. L 、 C 、 R 支路产生串联谐振

$$Z = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$

当 $f = f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 时, LCR 支路产生串联谐振

石英晶体近似等效为电阻 R , 阻抗最小

b. 当 $f > f_s$ 时, LCR 支路呈感性, 将与 C_0 产生并联谐振, 石英晶体呈纯阻性, 阻抗最大。



$R=0$

$$f_p \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{L\frac{CC_0}{C+C_0}}} = f_s\sqrt{1+\frac{C}{C_0}} \quad f_p \approx f_s$$

$$Q \approx \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$$

石英晶体的品质因数很高, 故振荡频率非常稳定