5.3 振荡器的频率稳定度

5.3.1 频率稳定的表示方法

频率准确度又称频率精度：**它表示振荡频率f_{osc}偏离标称频率 f_o的程度。有：**

绝对频率准确度(绝对频率偏差) $\Delta f = \left| f_{osc} - f_o \right|$

相对频率准确度(相对频率偏差) $\Delta f / f_o = \left| f_{osc} - f_o \right| / f_o$

频率稳定度：在一定时间间隔内，频率准确度变化的程度，实际上是频率“不稳定度”。

通常根据指定的时间间隔不同，频率稳定度可分为：

- 长期稳定度：时间间隔为1天~12个月。主要取决于构成振荡器的有源、无源器件和石英晶体的老化特性。
- 短期稳定度：时间间隔为1天以内，用小时、分、秒计算。主要取决于振荡器的电源电压、电路参数或环境温度的稳定性。
- 瞬时稳定度：在秒或毫秒以内。主要是振荡器内部干扰和噪声作用引起的频率起伏，是频率的瞬间无规则变化。

通常所讲的频稳度一般指短期频稳度。若将规定时间划分为n个等间隔，各间隔内实测的振荡频率分别为 f_1、f_2、f_3、f_4、…、f_n，则当振荡频率规定为 f_0 (标称频率）时，短期频率稳定度的定义为:

$$\frac{\Delta f_0}{f_0} = \lim_{n\to\infty}\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}[\frac{(\Delta f_0)_i}{f_0} - \frac{\overline{\Delta f_0}}{f_0}]^2}$$

式中：$$\frac{\Delta f_0}{f_0}=\lim_{n\to\infty}\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{(\Delta f_0)_i}{f_0}-\frac{\overline{\Delta f_0}}{f_0}\right]^2}$$

$(\Delta f_0)_i = f_i - f_0$ 为第i个时间间隔内实测的绝对误差。

$\overline{\Delta f_0}=\lim_{n\to\infty}\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(f_i - f_0)$ 为绝对频差的平均值，称为绝对频率准确度。

显然，$\overline{\Delta f_0}$越小，频率准确度就越高。

对频稳度的要求视用途不同而异。

例如：中波广播电台发射机 10^{-5} 数量级；

电视发射机 10^{-7} 数量级；

普通信号发生器 $10^{-4}\sim10^{-5}$ 数量级；

高精度信号发生器 $10^{-7}\sim10^{-9}$ 数量级；

做频率标准用 10^{-11} 数量级以上。

5.3.2 振荡器的稳频原理

振荡频率是根据相位平衡条件来确定的。

$$\phi_{\bar{g}_m} + \phi_z + \phi_k = 0$$

振荡回路在 ω_{osc} 附近的相角 φ_z 可以表示为

$$\tan \phi_z \approx -\frac{2Q_e(\omega_{osc} - \omega_0)}{\omega_0}$$

因此相位平衡条件可以表示为

$$-\frac{2Q_e(\omega_{osc} - \omega_o)}{\omega_o} = \tan\left[-(\varphi_{\dot{\bar{g}}_m} + \varphi_k)\right]$$

即 $$\omega_{osc} = \omega_0 + \frac{\omega_0}{2Q_e}\tan(\varphi_{\dot{\bar{g}}_m} + \varphi_k)$$

信息科学与工程学院

山东大学

因而有

$$\Delta\omega_{osc}=\frac{\partial\omega_{osc}}{\partial\omega_0}\Delta\omega_0+\frac{\partial\omega_{osc}}{\partial Q_e}\Delta Q_e+\frac{\partial\omega_{osc}}{\partial(\varphi_{\dot{g}_m}+\varphi_k)}\Delta(\varphi_{\dot{g}_m}+\varphi_k)$$

考虑到 Q_e 值较高，即 $\partial\omega_{osc}/\partial\omega_o\approx1$

于是得到LC振荡器频率稳定度的一般表达式为

$$\Delta\omega_{osc}\approx\Delta\omega_0-\frac{\omega_0}{2Q_e^{\,2}}\tan(\varphi_{\dot{g}_m}+\varphi_k)\Delta Q_e$$

$$+\frac{\omega_0}{2Q_e\cos^2(\varphi_{\dot{g}_m}+\varphi_k)}\Delta(\varphi_{\dot{g}_m}+\varphi_k)$$

上式反映了影响振荡器频率稳定性的主要因素。

5.3.3 提高频率稳定度的措施

1、减小外界因素变化的影响：

A、加恒温槽，稳压电源。

B、加减震装置，减少负载的变化（加缓冲）。

2、提高电路抗外界因素变化影响的能力。

A、提高回路的标准性。

B、选取合理的电路形式。

回路的标准性：因外界因素变化，回路元件保持回路固有频率不变的能力。

也就是说是，震荡回路的标准性是指回路电感和电容的标准性。

3、减少晶体管的影响

晶体管的极间电容将影响频率稳定度，在设计电路时应尽可能减少晶体管和回路之间的耦合。

4、提高回路的品质因数

根据 LC回路的特性知，回路的 Q 值越大，回路的相频特性斜率就越大，即相位越稳定。振荡频率也越稳定。

5.3.4 改进型电容反馈振荡器

一、克拉泼（Clapp）电路

电路条件是: $C_3 \ll C_1$ ， $C_3 \ll C_2$

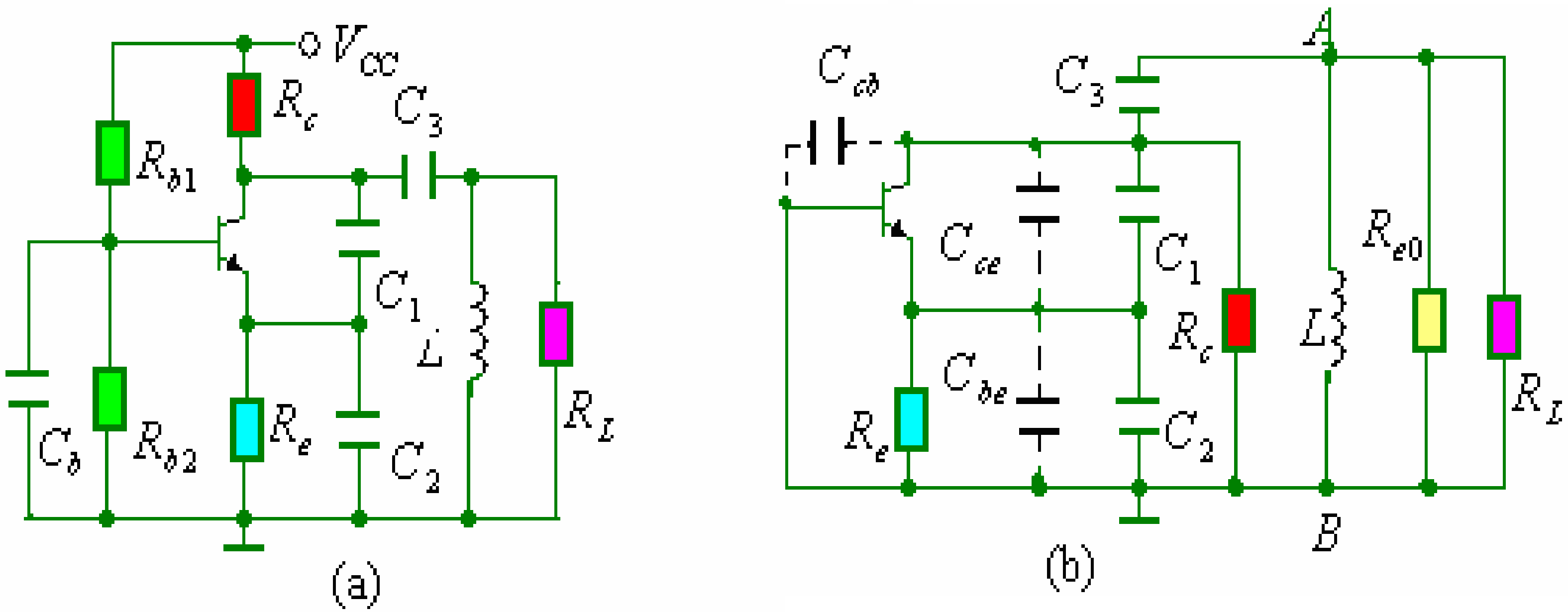
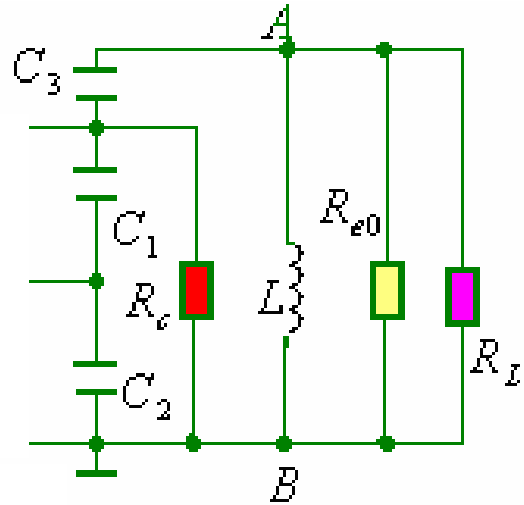


图5.3.1　克拉泼振荡电路
（a）实用电路（b)高频等效电路

若不考虑晶体管输入、输出电容的影响。C_1、C_2、C_3

三个电容串联后的等效电容



$$C=\frac{C_1C_2C_3}{C_1C_2+C_2C_3+C_1C_3}=\frac{C_3}{1+\frac{C_3}{C_1}+\frac{C_3}{C_2}}\approx C_3$$

振荡角频率：$\omega_{osc}=\frac{1}{\sqrt{LC}}\approx\frac{1}{\sqrt{LC_3}}$

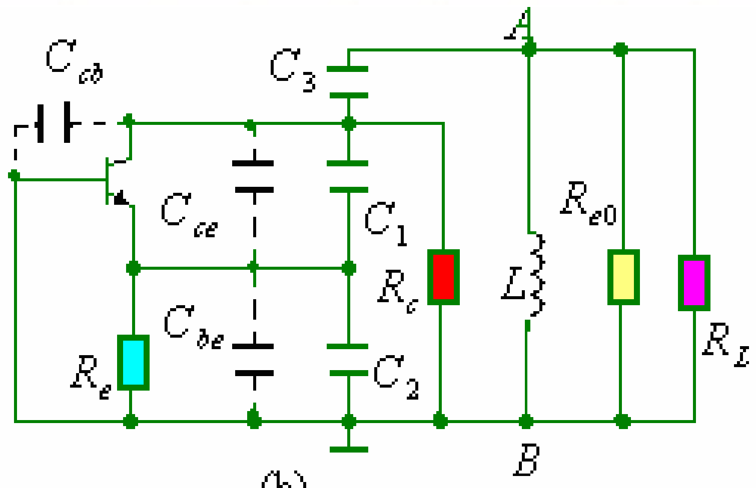
电路的振荡频率近似只与 C_3 、L 有关。而几乎与 C_1 C_2 无关。

电路特点：（1）晶体管结电容对振荡频率的影响小；

（2）电路不易起振。

电路不易起振分析：

（1）晶体管结电容对振荡频率的影响：



(b)

由图可以看到，C_{ce}与谐振回路的接入系数：

$$n' = \frac{C_2 串 C_3}{C_1 + (C_2 串 C_3)} = \frac{C_2}{\frac{C_1 C_2}{C_3} + C_1 + C_2} \approx n = C_2 \big/ (C_1 + C_2)$$

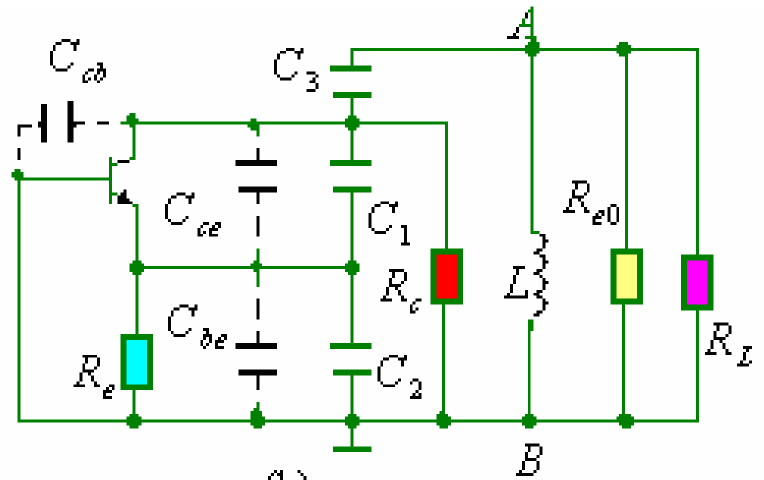
n 为基本电容三点式电路的接入系数。

所以 C_{ce} 对振荡频率的影响很小。

同理，C_{be} 对振荡频率的影响也极小。因此，克拉泼电路的频率稳定度比电容三点式电路要好。

在实际电路中，通常根据所需的振荡频率决定L、C_3 的值，然后取 C_1 、C_2 远大于 C_3 即可。但是 C_3 不能取得太小，否则将影响振荡器的起振。

由图可以看到，晶体管 c 、b 两端与回路 A、B 两端之间的接入系数



(b)

$$n_1=\frac{C_3}{\dfrac{C_1C_2}{C_1+C_2}+C_3}$$

$$=\frac{1}{\dfrac{C_1C_2}{C_3(C_1+C_2)}+1}$$

所以，A、 B 两端的等效电阻 $R_L' = R_L \| R_{e0}$ 折算到

c、b两端为：$R_L''=n_1^2R_L'=\left[\dfrac{1}{\dfrac{C_1C_2}{C_3(C_1+C_2)}+1}\right]^2 R_L' < R_L'$

而 R_L'' 就是共基电路的等效负载。R_L'' 越小，则共基电路的电压增益越小，从而环路增益越小，越不易起振。

当 C_3 决定后，C_1、C_2 取值越大，则 R_L'' 越小于 R_L'。

如果C_1,C_2给定，C_3越小，环路增益越小，因此克拉泼电路是以牺牲环路增益为代价换取回路标准性的提高。

克拉泼电路只适宜于作固定频率振荡器或波段覆盖系数较小的可变频率振荡器。一般克拉泼电路的波段覆盖系数为1.2~1.3。

波段覆盖系数：在一定波段范围内，连续正常工作的振荡器的最高工作频率与最低工作频率的比值。

二、西勒（Selier）电路

电路条件 $C_3 \ll C_1$ ，$C_3 \ll C_2$

回路等效电容

$$C = \frac{C_1C_2C_3}{C_1C_2 + C_2C_3 + C_1C_3} + C_4 \approx C_3 + C_4$$

振荡频率

$$f_{osc} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_3 + C_4)}}$$

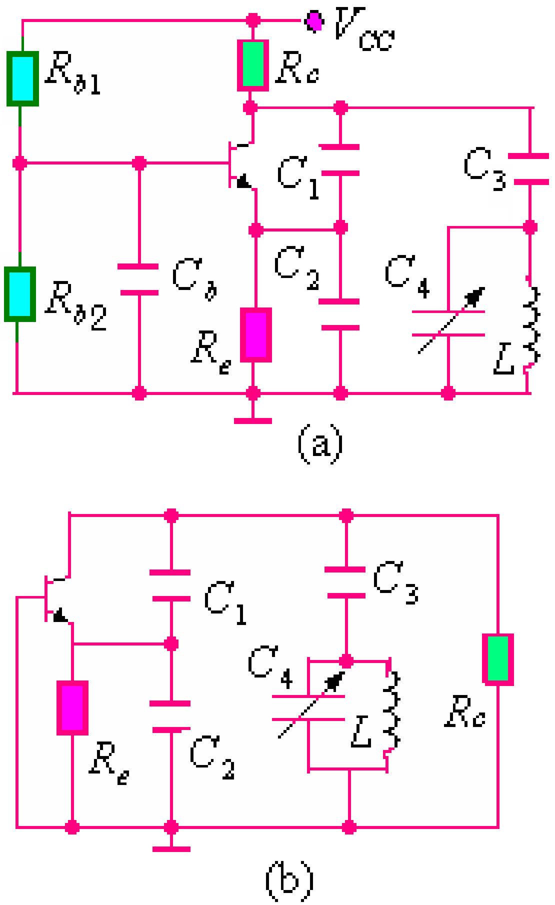


图5.3.2　西勒振荡电路

在西勒电路中，C_4 由于与 L 并联，所以C_4的大小不影响回路的接入系数，其他特点于克拉泼电路相同。

如果使 C_3 固定，通过变化 C_4 来改变振荡频率，则 R_L''在振荡频率变化时基本保持不变，从而使输出振幅稳定。因此，西勒电路可用作波段振荡器, 其波段覆盖系数为1.6~1.8左右。

5.4 LC振荡器的设计考虑（自学）

作业: 5.20　5.21　5.25　5.26