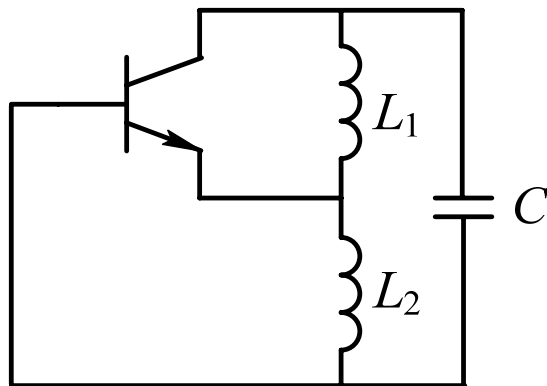
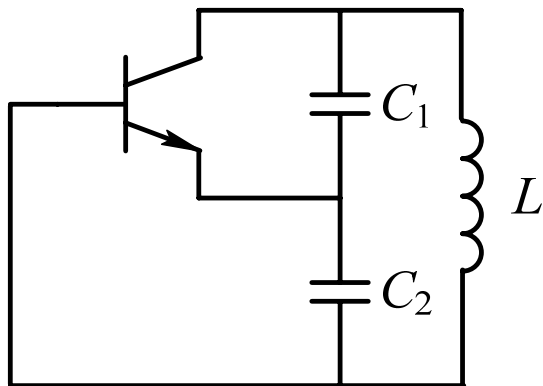


## 4.3 三点式LC振荡器

特点:

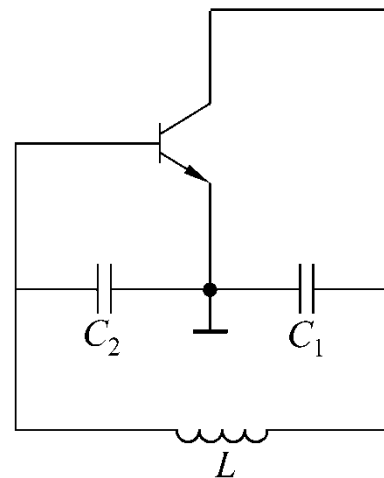
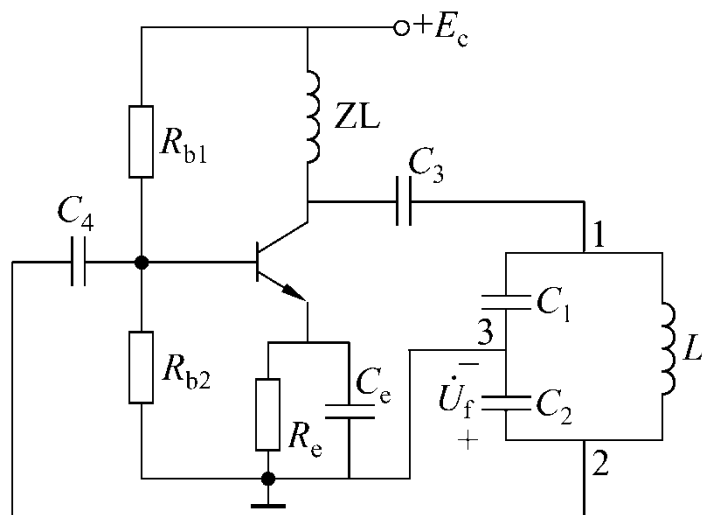
**射同集（基）反**——与射极相连的元件电抗性质相同，与集电极、基极相连的元件的电抗性质相反。

分电容三点式和电感三点式两种。



## 4.3.2 电容三点式振荡器（考毕兹电路）

### 电路



□ 反馈信号从哪取得？

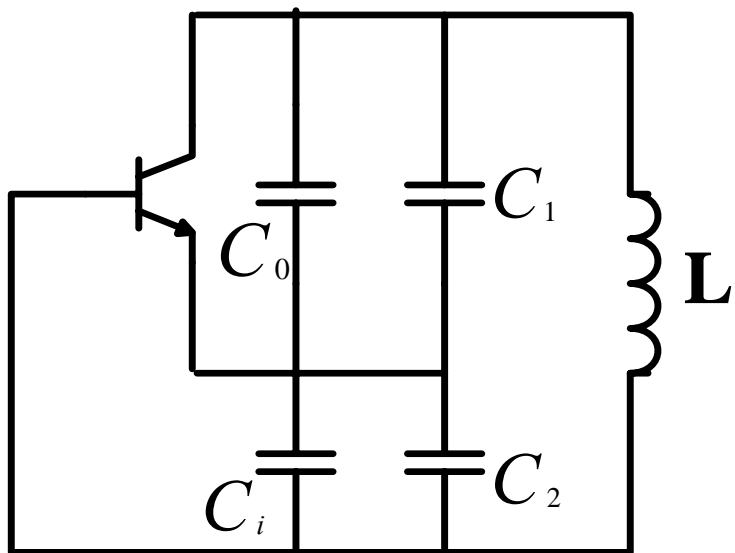
从电容 $C_2$ 两端取得，送回放大器输入端。

□ 能否满足自激振荡的相位平衡条件呢？

满足“射同集（基）反”

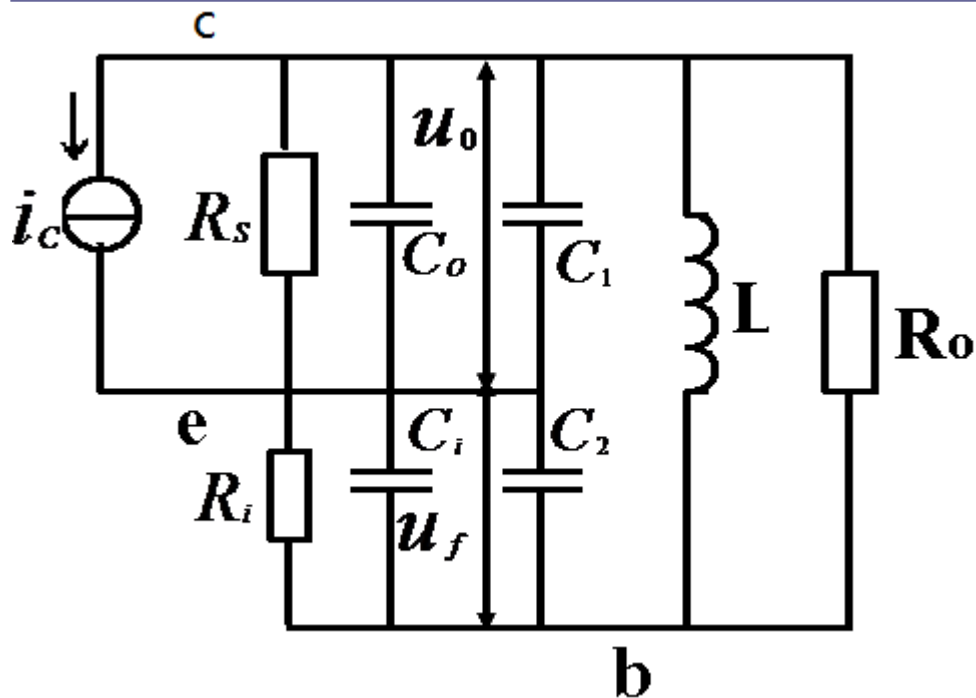
### 4.3.2 电容三点式振荡器（考毕兹电路）

□ 相位平衡条件已经满足，侧重于分析振幅起振条件。



$C_i$  —— 晶体管输入电容

$C_0$  —— 晶体管输出电容



$R_s$  ——— 晶体管输出阻抗

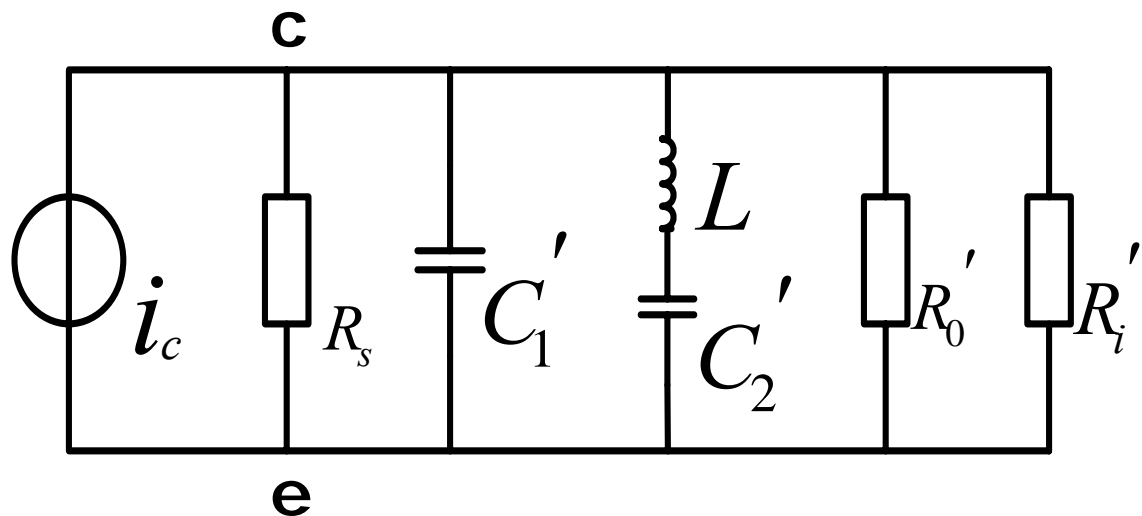
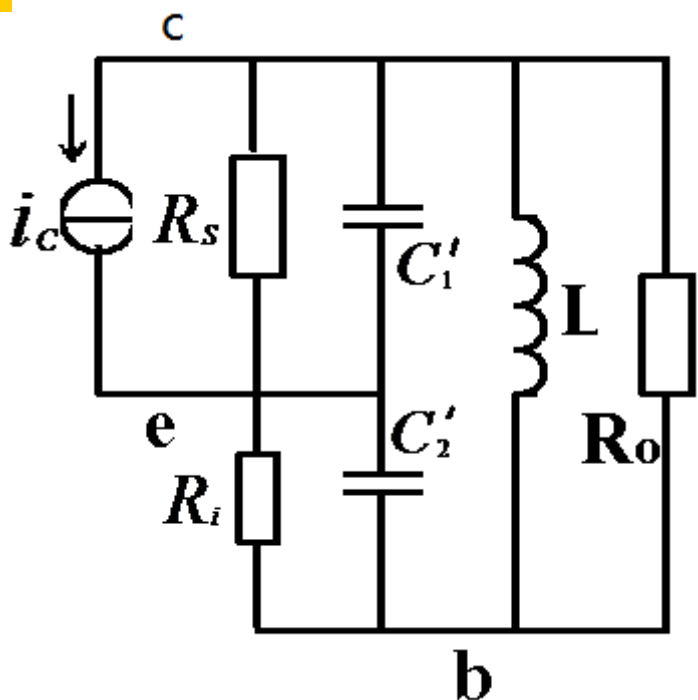
$R_i$  —— 晶体管输入阻抗

$R_o$  —— 回路谐振电阻

$$\text{令 } C_1 + C_o = C_1', C_2 + C_i = C_2'$$

$$\text{当 } R_s \gg \frac{1}{\omega C_1'}, R_i \gg \frac{1}{\omega C_2'}, F \approx \frac{\frac{1}{\omega C_2'}}{\frac{1}{\omega C_1'}} = \frac{C_1'}{C_2'}$$

把所有元件都折合成到  $c$ 、 $e$  端



$$n = \frac{C}{C'_1} = \frac{C'_2}{C'_1 + C'_2}$$

$$R'_0 = n^2 R_0$$

$$\text{又 } \frac{u_0^2}{2R'_i} = \frac{u_f^2}{2R_i} \Rightarrow R'_i = \left( \frac{u_0}{u_f} \right)^2 R_i = \frac{1}{F^2} R_i$$

∴ 输出回路总电阻  $\mathbf{R}_{\Sigma} = R_s // R'_0 // R'_i$

---

放大倍数  $\mathbf{K} = \frac{\beta R_{\Sigma}}{R_i} \Rightarrow \mathbf{KF} = \frac{\beta R_{\Sigma}}{R_i} F$

又起振条件为  $\mathbf{KF} > 1$  , 即  $\frac{\beta R_{\Sigma}}{R_i} F > 1$

$$\beta > \frac{1}{F} \frac{R_i}{R_{\Sigma}} = \frac{1}{F} R_i \left( \frac{1}{R_s} + \frac{1}{R'_0} + \frac{1}{R'_i} \right)$$

$$= \frac{1}{F} R_i \left( \frac{1}{R_s} + \frac{1}{n^2 R_0} + \frac{F^2}{R_i} \right)$$

$$\beta > \frac{1}{F} R_i \left( \frac{1}{R_s} + \frac{1}{n^2 R_0} + \frac{F^2}{R_i} \right)$$

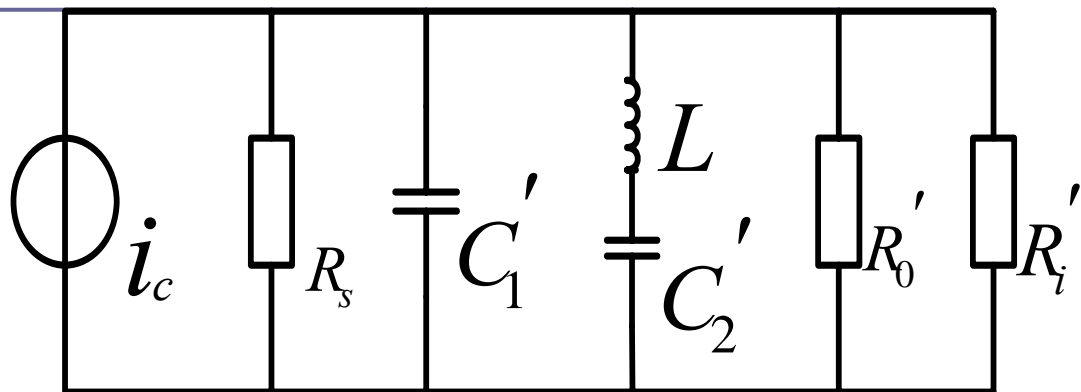
如果  $n^2 R_0 \gg R_s$ , 则忽略回路损耗,

$$\beta > \frac{1}{F} \frac{R_i}{R_s} + F$$

F一般较小, 0.01 ~ 0.05

$$\text{或者, } g_m > \frac{1}{F} \frac{1}{R_s} + F \frac{1}{R_i}$$

振荡器的振荡频率基本上等于谐振回路的谐振频率。  
(为了保证相位平衡)



$$\frac{1}{j\omega L + \frac{1}{j\omega C_2'}} + j\omega C_1' = 0$$

$$\omega L = \frac{1}{\omega \left( \frac{1}{C_1'} + \frac{1}{C_2'} \right)} \Rightarrow \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}, C = \frac{C_1' C_2'}{C_1' + C_2'}$$

**P<sub>97</sub> 例题**



结论:

---

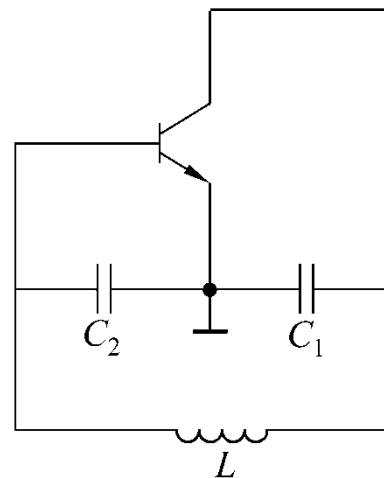
反馈系数

$$F \approx \frac{C_1'}{C_2'} \approx \frac{C_1}{C_2}$$

振荡频率

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

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$



# 优缺点

---

## □ 优点

①振荡波形好;

②电路的频率稳定度较高,适当加大回路的电容量,就可以减小不稳定因素对振荡频率的影响;

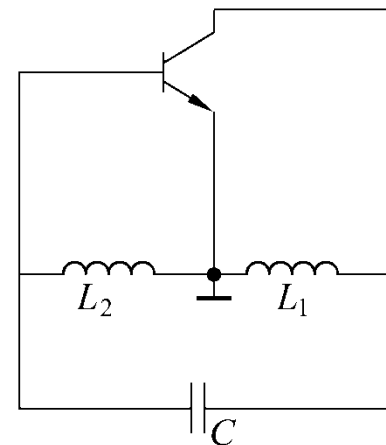
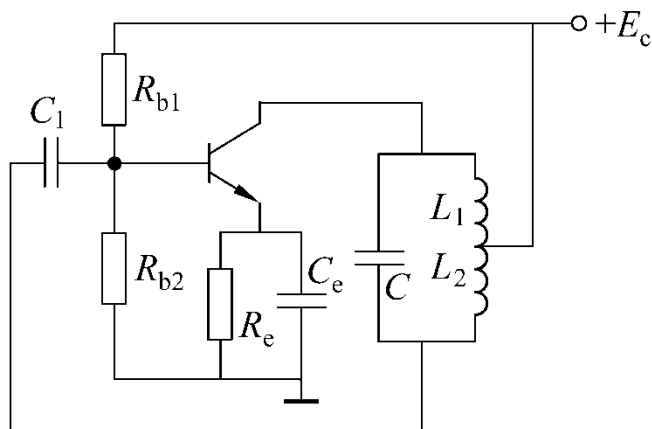
③工作频率可以做得较高,可直接利用晶体管的输出、输入电容作为回路的振荡电容。工作频率可做到几十MHz到几百MHz的甚高频波段范围。

## □ 缺点

调 $C_1$ 或 $C_2$ 来改变振荡频率时,反馈系数也将改变。

## 4.3.2 电感三点式振荡器（哈特莱电路）

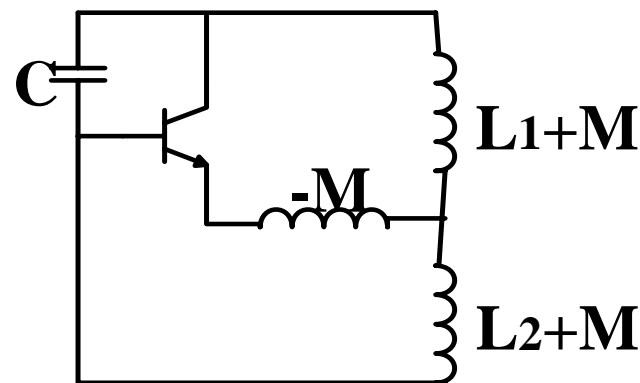
### 1. 电路



2. 反馈系数 
$$F = \frac{L_2 + M}{L_1 + M}$$

3. 振荡频率 
$$f_0 \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$L = L_1 + L_2 + 2M$$



若有耦合，且L1、L2  
绕向一致

## 4. 优缺点

---

### ■ 优点

- ①  $L_1$ 、 $L_2$ 之间有互感，反馈较强，容易起振；
- ② 振荡频率调节方便，只要调整电容C的大小即可；
- ③ C的改变基本上不影响电路的反馈系数。

### ■ 缺点

① 振荡波形不好，因为反馈电压是在电感上获得，而电感对高次谐波呈高阻抗，因此对高次谐波的反馈较强，使波形失真大；

② 振荡频率不能做得太高，这是因为当频率太高，极间电容影响加大，可能使支路电抗性质改变，从而不能满足相位平衡条件。

# 第4章 正弦波振荡器

---

4.1 概述

4.2 反馈型正弦波自激振荡器基本原理

4.3 三点式LC振荡器

4.4 改进型电容三点式振荡器

4.5 振荡器的频率稳定问题

4.6 石英晶体谐振器

4.7 石英晶体振荡器电路

## 4.4 改进型电容三点式电路

---

□ 解决问题：频率可调、频率稳定度高。

$$\omega \approx \frac{1}{\sqrt{\frac{L(C_1 + C_0)(C_2 + C_i)}{C_1 + C_0 + C_2 + C_i}}}$$

要减小 $C_0$ 、 $C_i$ 的影响

## 4.4 改进型电容三点式振荡器

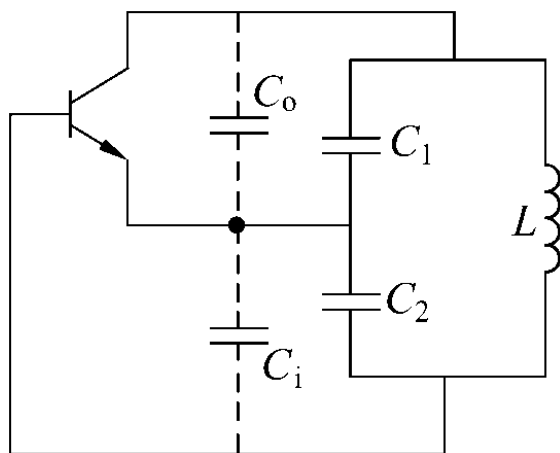
### 1. 电容三点式振荡电路的不足之处

影响反馈系数 $F$ 与振荡频率的因素都是 $C_1'$ 与 $C_2'$ 。

### 2. 改进办法

1) 把决定振荡频率的主要元件与决定反馈系数 $F$ 的主要元件分开。

2) 振荡频率不受晶体管的输出、输入电容影响。



$$\omega_0 \approx \frac{1}{\sqrt{L \frac{(C_1 + C_0)(C_2 + C_i)}{C_1 + C_2 + C_0 + C_i}}}$$

### 3.如何减小 $C_0$ 、 $C_i$ 的影响，以提高频率稳定度

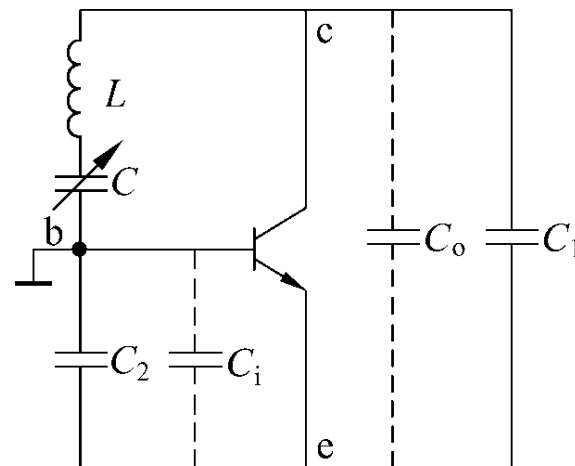
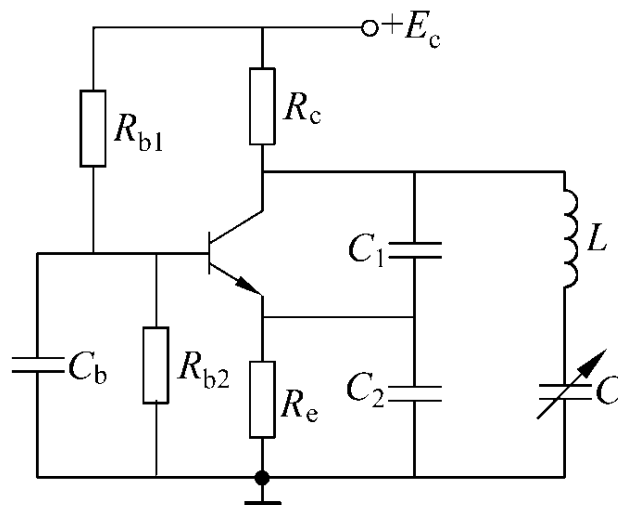
---

表面看来，加大回路电容 $C_1$ 与 $C_2$ 的电容量，可以减弱由于 $C_0$ 、 $C_i$ 的变化对振荡频率的影响。但是这只适用于频率不太高， $C_1$ 和 $C_2$ 较大的情况。

当频率较高时，过分增加 $C_1$ 和 $C_2$ ，必然减小 $L$ 的值（维持振荡频率不变），这就导致回路的 $Q$ 值下降，振荡幅度下降，甚至会使振荡器停振。这就有待于改进。



## 4.4.1 串联改进型电容三点式振荡器（克拉泼电路）



### 1. 电路特点

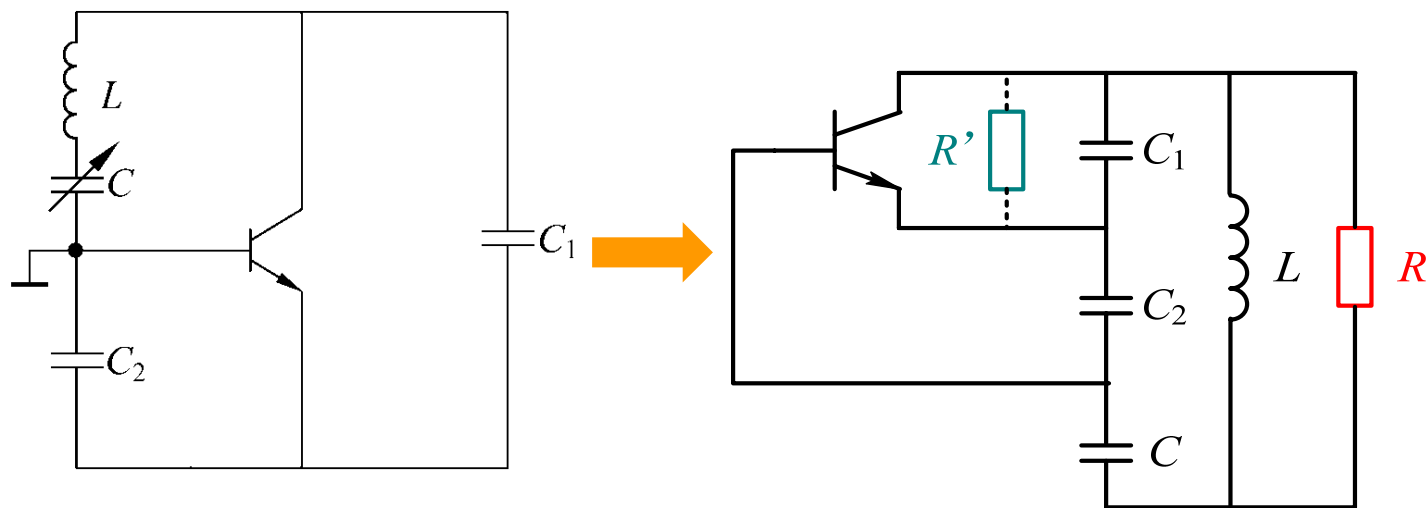
把基本型的电容三点式振荡器**集电极-基极支路的电感**改用 **$L$ - $C$ 串联回路**代替。

### 2. 振荡频率

选择  $C_1 \gg C$ ,  $C_2 \gg C$  时,  $C_\Sigma \approx C$ , 振荡频率  $\omega_0 \approx \frac{1}{\sqrt{LC}}$

$$\frac{1}{C_\Sigma} = \frac{1}{C} + \frac{1}{C_1 + C_0} + \frac{1}{C_2 + C_i} \approx \frac{1}{C}$$

### 3. 电容C对振荡电路的影响



$$n = \frac{C_2 \text{串} C}{C_1 + C_2 \text{串} C} \approx \frac{C}{C_1 + C} \approx \frac{C}{C_1} \approx \frac{1}{\omega_0^2 L C_1}$$

**R-回路谐振电阻**

$$R' = n^2 R, \text{ 再利用 } R = Q \omega_0 L, \text{ 可得 } R' = \frac{1}{\omega_0^3} \cdot \frac{Q}{L C_1^2}$$

可见，减小C来提高回路标准性以牺牲环路增益为代价

## 4. 不足之处

---

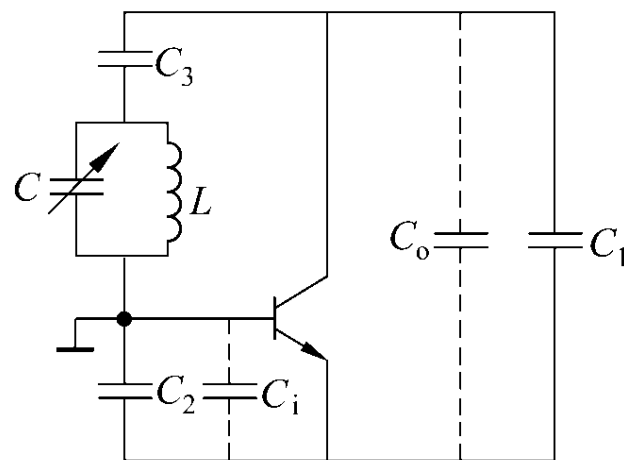
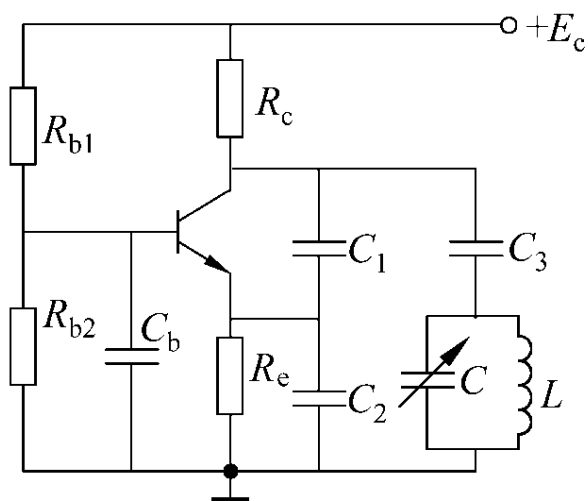
1)  $C_1$ 、 $C_2$  如过大, 则振荡幅度就太低。

2) 当减小  $C$  来提高  $f_0$  时, 振荡幅度显著下降; 当  $C$  减小到一定程度时, 可能停振。因此限制了  $f_0$  的提高。

3) 波段范围不宽, 频率覆盖系数小, 一般约为 1.2 ~ 1.3, 另外波段内输出幅度不均匀, 不易起振。

$$\frac{f_{\max}}{f_{\min}} \approx 1.2 \sim 1.3$$

## 4.4.2 并联改进型电容三点式振荡器（西勒电路）



### 1. 电路特点

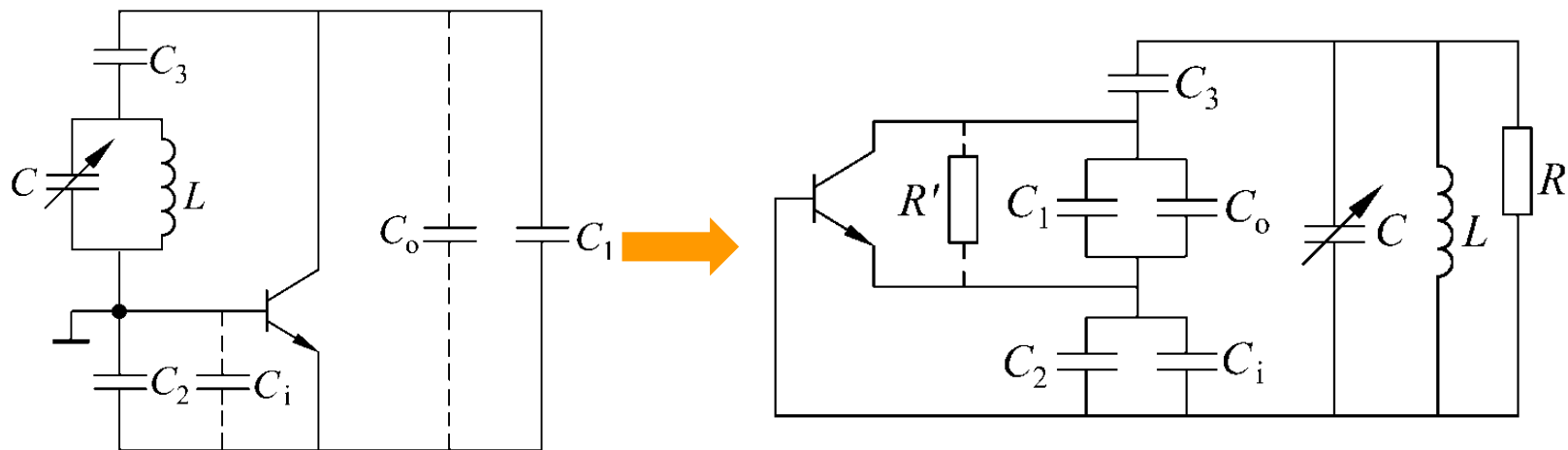
除了采用两个容量较大的  $C_1$ 、 $C_2$  外，主要是把集电极-基极支路改用  $LC$  并联回路再与  $C_3$  串联。

### 2. 振荡频率

$$\omega_0 \approx \frac{1}{\sqrt{LC_\Sigma}} \quad C_\Sigma = C + \frac{1}{\frac{1}{C_1 + C_0} + \frac{1}{C_2 + C_i} + \frac{1}{C_3}}$$

$$C_1 \gg C_3, C_2 \gg C_3, C_\Sigma \approx C + C_3$$

### 3. 电容C对振荡电路的影响



$$n = \frac{C_3 C'_2}{C_3 + C'_2} \bigg/ \left( C'_1 + \frac{C_3 C'_2}{C_3 + C'_2} \right)$$

$n$  和  $C$  无关，当调节  $C$  来改变振荡频率时， $n$  不变。

$R' = n^2 R$ ，再利用  $R = Q \omega_0 L$ ，可得  $R' = n^2 Q \omega_0 L$

可见，当改变  $C$  时， $n$ 、 $L$ 、 $Q$  都是常数， $R'$  仅随  $\omega_0$  一次方增长，易于起振。

## 4. 优点

---

波段内振幅比较稳定，且调谐范围比较宽，实际中常用于宽波段工作系统中。

$$\frac{f_{\max}}{f_{\min}} \approx 1.6 \sim 1.8$$

### 4.4.3 几种三点式振荡器的比较（教材P<sub>103</sub>表4-2）

仿真：比较考毕兹电路、克拉泼电路、西勒电路的性能