

# 第四章 正弦波振荡器

## 4. 1 概述

4. 2 反馈振荡原理

4. 3 LC振荡器

4. 4 晶体振荡器

4. 5 压控振荡器

## 4.1 概述

**正弦波振荡器：**能自动将直流电能转换成（具有一定频率和振幅的）正弦交流电能的电路。它与放大器的区别在于这种转换不需外部信号的控制。振荡器输出的信号频率、波形、幅度完全由电路自身的参数决定。

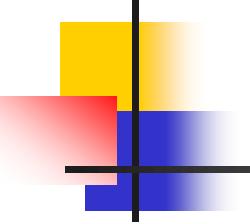
**应用：**作载波、本振信号；信号源及无线电测量仪表。

**产生方式：**反馈式振荡器和负阻式振荡器

**分类：**频率：低频、高频振荡器

**输出波形：**正弦振荡器(简谐)和非正弦振荡器(多谐)

**要求：**频率稳定性高



## 4.2 反馈振荡原理

---

4.2.1 基本组成

4.2.2 振荡的建立与振荡条件

4.2.3 反馈振荡电路判断

4.2.4 振荡器的频率稳定性

## 4.2.1 基本组成

反馈式振荡器：

利用正反馈产生自激振荡

$$\text{反馈系数: } F = \frac{U_f}{U_0} = |F| e^{j\varphi_F}$$

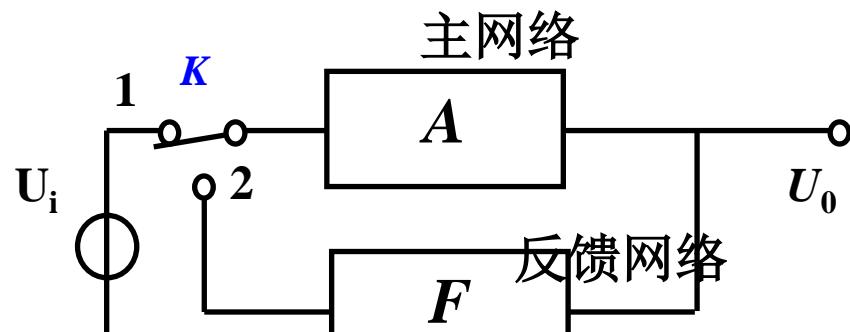
$$\text{开环增益: } A = \frac{U_0}{U_i} = |A| e^{j\varphi_A}$$

开关K接在1端， $U_o = AU_i$ 。这时将开关迅速地转换到接于2端，去掉外部输入，此时 $U_f = U_o F = U_o AF$

若 $AF=1$ ，则 $U_f = U_i$ ，没有输入也能维持输出，构成了振荡电路。

环路增益： $T = AF$

$T > 1$ : 增幅振荡； $T < 1$ : 减幅振荡



反馈式振荡器的方框图

## 4.2.2 振荡的建立与振荡条件

### 一、振荡的建立与稳定

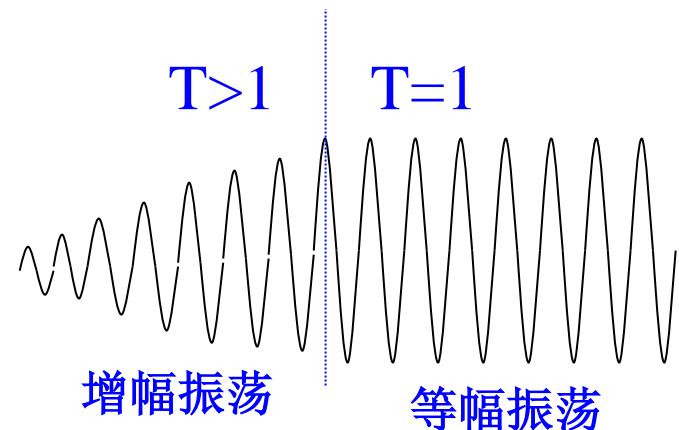
#### 1、基本原理

原始激励：电源接通瞬间，相当于接入脉冲跳变信号，此外，电路中还有噪声，它们包含有丰富地频率成分，但是幅度非常微弱。

对于某一频率 $\omega_0$ 的信号若满足： $T(\omega_0) > 1$ ，则每循环一次，幅度就增大一次，产生增幅振荡，如图所示。

振荡幅度增大，稳幅电路使 $T(\omega_0)$ 降低，最终使 $T(\omega_0) = 1$ ，振荡器进入稳幅振荡状态。

$\omega_0$ 称为振荡频率，或叫作振荡器的工作频率



起振和稳幅过程

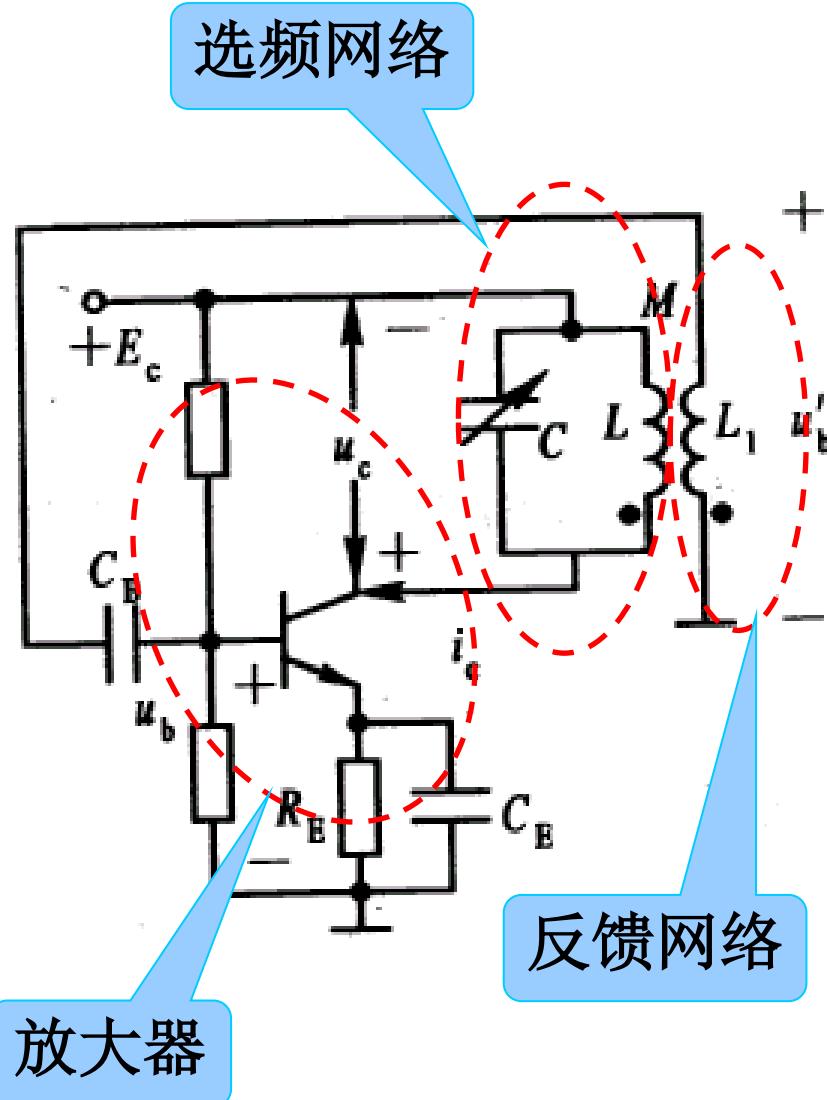
## 2、电路组成：

放大器—完成能量转换

选频网络—完成频率选择及滤波

反馈网络—完成正反馈

稳幅电路—决定振荡的稳态振幅



## 二、振荡条件

1、起振条件:

$$\dot{T}(\omega_0) > 1$$

振幅起振条件:

$$|T| = |A| \cdot |F| > 1$$

相位起振条件:

$$\Phi_T(\omega_0) = \Phi_A + \Phi_F = 2n\pi \quad (n=0,1,2,3\dots)$$

即正反馈条件

2、平衡条件:

$$\dot{T}(\omega_0) = 1$$

振幅平衡条件:

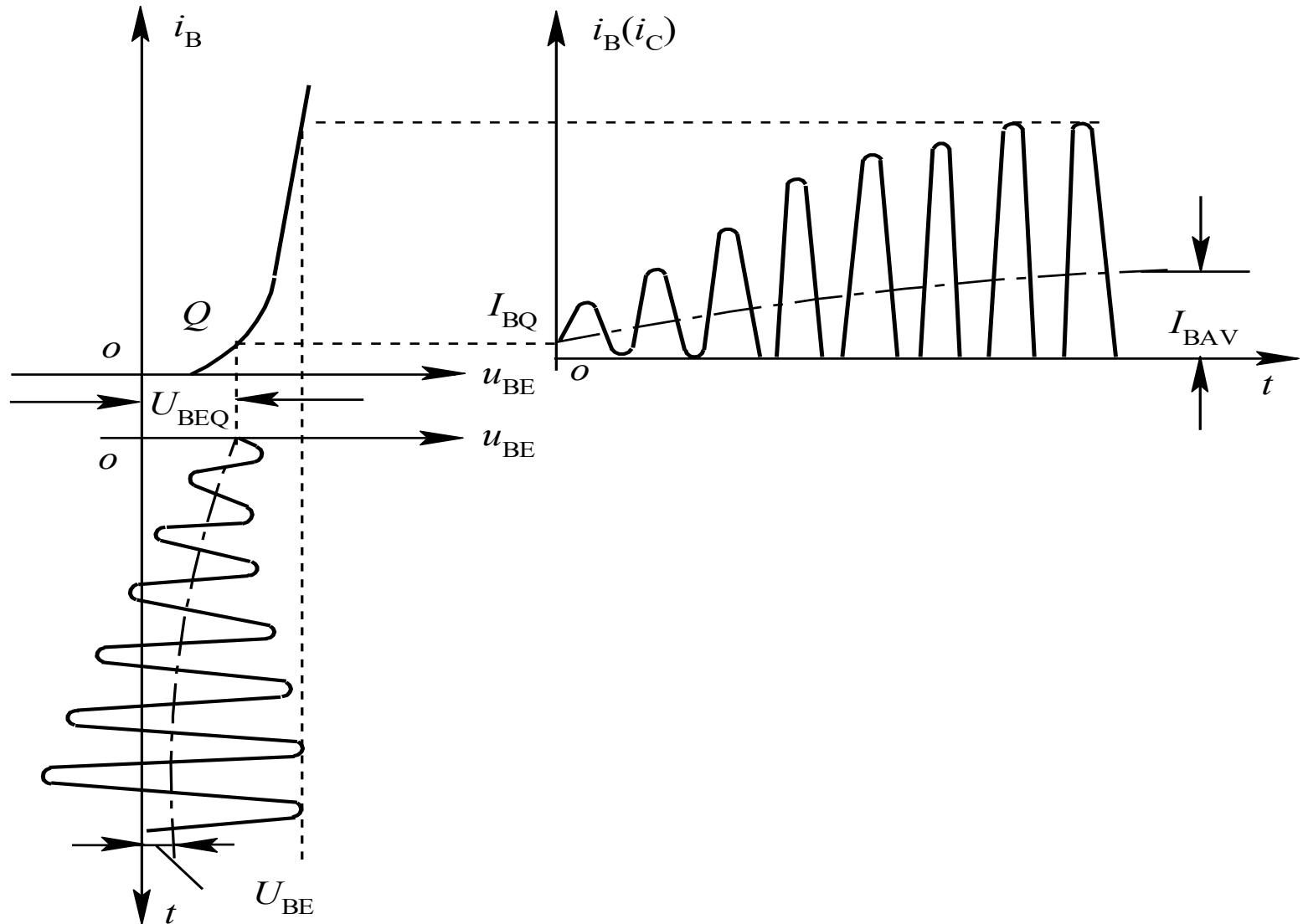
$$|T| = |A| \cdot |F| = 1$$

相位平衡条件:

$$\Phi_T(\omega_0) = \Phi_A + \Phi_F = 2n\pi \quad (n=0,1,2,3\dots)$$

相位平衡条件的含义----建立正反馈

满足振荡平衡条件时，经过稳幅过程实现等幅输出。

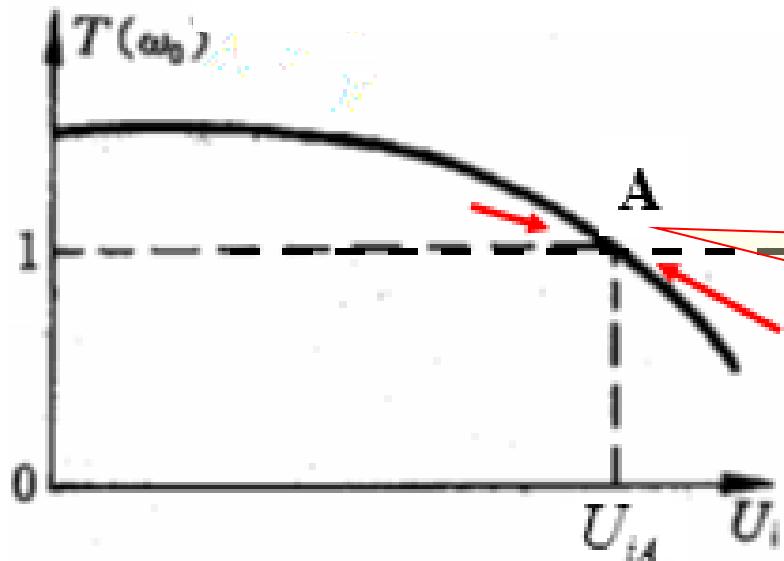


振荡电压的建立

### 3、振荡稳定条件

#### 1) 振幅稳定条件

指当外界因素造成振荡幅度变化后，振荡器能够自动恢复原来振荡幅度所需满足的条件。



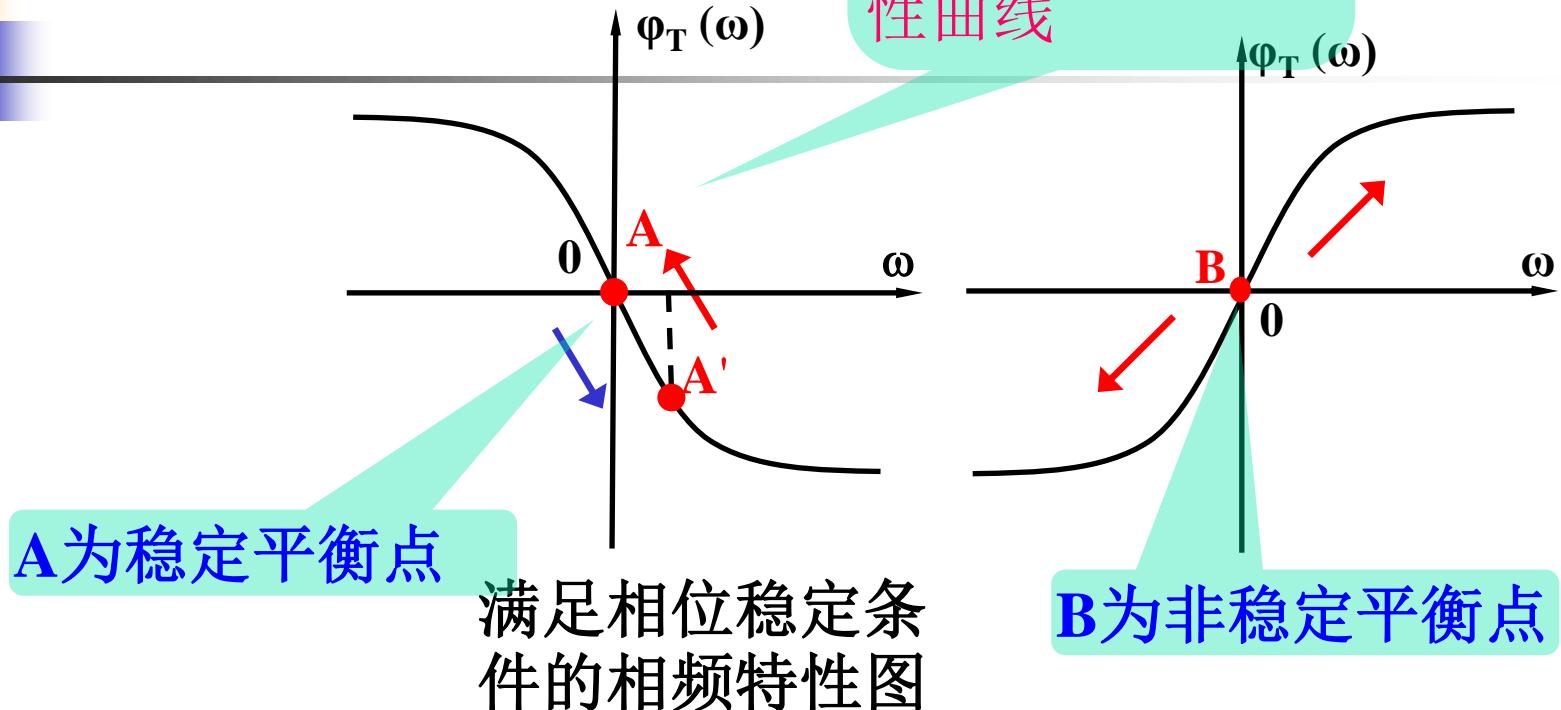
A为稳定平衡点，当某种扰动使电路离开A点 ( $T \neq 1$ )时，电路会自动回到A点；

满足起振和平衡条件的环路增益特性

$$\text{振幅稳定条件: } \frac{\partial T}{\partial U_i} \Big|_{U_{iA}} < 0$$

## (2) 相位稳定条件

LC并联谐振回路  
(放大器的负载)  
的阻抗的相频特性曲线



负载回路相频特性： $\omega$ 增大， $\Phi_T$ 减小。即

相位稳定条件：
$$\left. \frac{\partial \Phi_T(\omega)}{\partial \omega} \right|_{\omega=\omega_A} < 0$$

### 4.2.3 反馈振荡电路判断

需考虑的因素：

(1).放大器 工作在放大状态

(2).满足起振条件：共射、共基

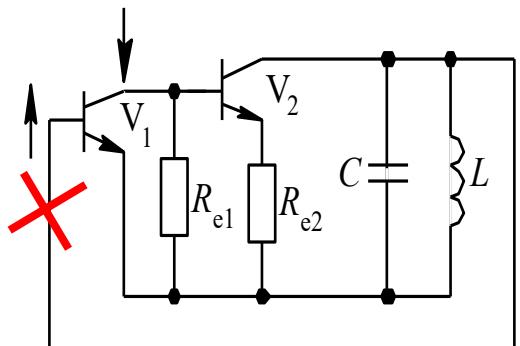
LC并联谐振回路的阻抗相频特性、

(3).满足正反馈

串联谐振回路的导纳相频特性

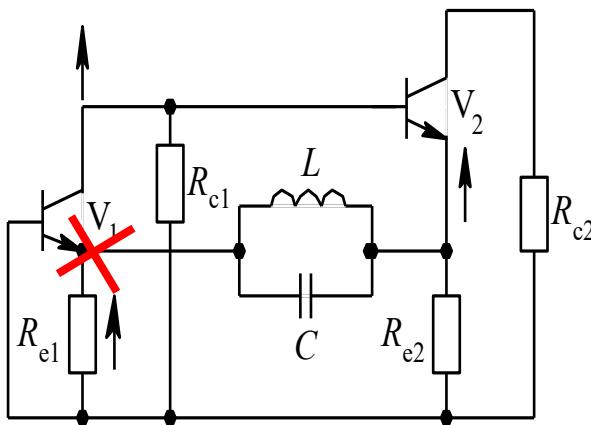
(4).选频网络应具有负斜率的相频特性

例4.1 判断图例4.1所示各反馈振荡电路能否正常工作。  
其中(a)、(b)是交流等效电路,(c)是实用电路。



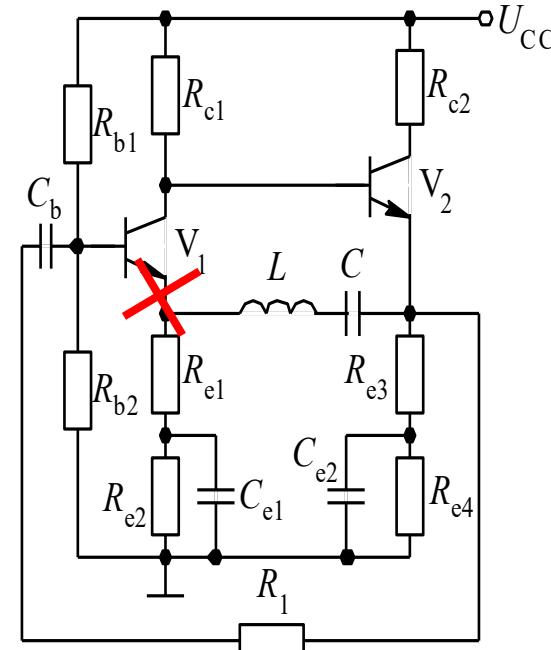
(a)

能



(b)

不能



(c) 能

图例4.1

## 4.2.4 振荡器的频率稳定度

1、定义：指当外界条件变化时，振荡器的实际工作频率与标称频率间的偏差程度。

设实际工作频率为 $f_1$ , 标称频率为 $f_0$

绝对频率偏差： $\Delta f = f_1 - f_0$

相对频率偏差： $\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{f_1 - f_0}{f_0}$

频率稳定度：在一定时间间隔内振荡频率的相对变化量，即

$$\delta = \frac{|f - f_0|}{f_0}$$

(时间间隔)

- 常用的是相对稳定度。
- 用 $10^{-n}$ 表示，n的值越大，稳定度越高。

## 2、提高LC振荡器频率稳定度的措施

### (1) 减小外界因素的变化

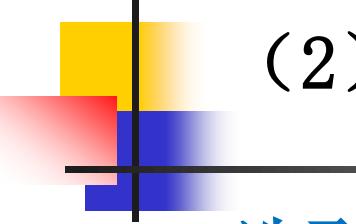
采用稳压或振荡器单独供电的方法来稳定电源电压；

采用恒温或温度补偿的方法来抵消温度变化的影响；

采用屏蔽、密封、抽真空措施减小磁场、湿度、压力变化等的影响；

加入减振装置减小机械振动的影响；

采用隔离电路减小负载变化的影响等。



## (2) 提高电路抗外界因素变化的能力

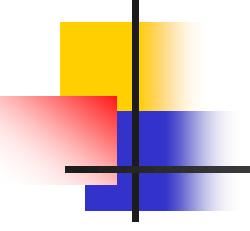
选取合理的电路形式, 提高振荡回路的标准性。

已知:  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ , 则 $\Delta\omega_0$ 与谐振回路元件参数 $L$ 、 $C$ 的关系为:

$$\Delta\omega_0 = \frac{\partial\omega_0}{\partial L} \Delta L + \frac{\partial\omega_0}{\partial C} \Delta C = -\frac{1}{2} \left( \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta C}{C} \right) \omega_0$$

选用参数高度稳定的 $L$ 、 $C$ 元件, 如用石英晶体替代谐振回路的 $L$ , 或者采用温度系数小或温度系数相反的电抗元件组成回路。

减弱三极管与回路之间的耦合, 实现元器件合理排队。即将三极管以部分接入方式接入回路, 也可以减小极间电容对谐振回路的影响。



## 4.3 LC正弦波振荡器

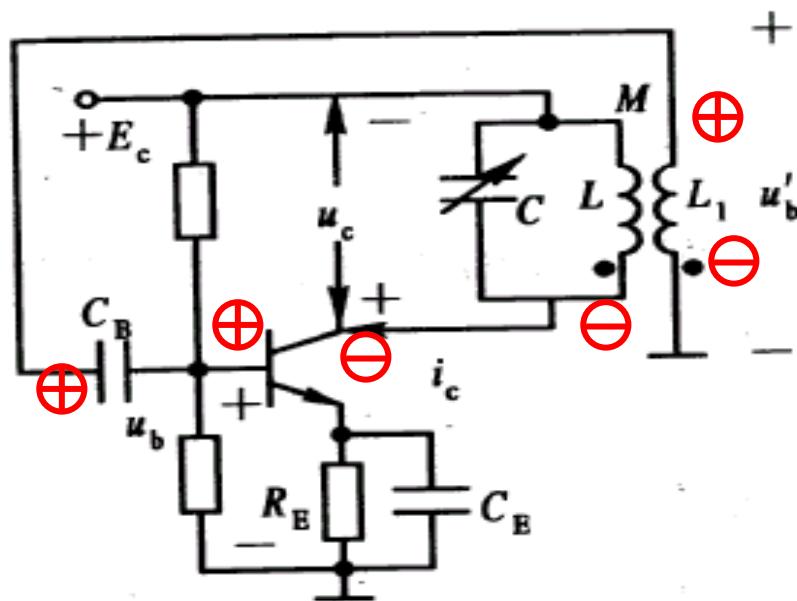
### 4.3.1 互感耦合振荡器

### 4.3.2 三点式振荡器 (自耦变压器耦合 / 电容耦合)

### 4.3.3 改进型电容三点式振荡器

### 4.3.1 互感耦合振荡器（调集型共射态）

#### 一. 基本电路（反馈网络由变压器来充当）



振荡频率近似等于  
LC回路的谐振频率

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{(L+M)C}}$$

互感耦合反馈式振荡电路

## 二、三个条件

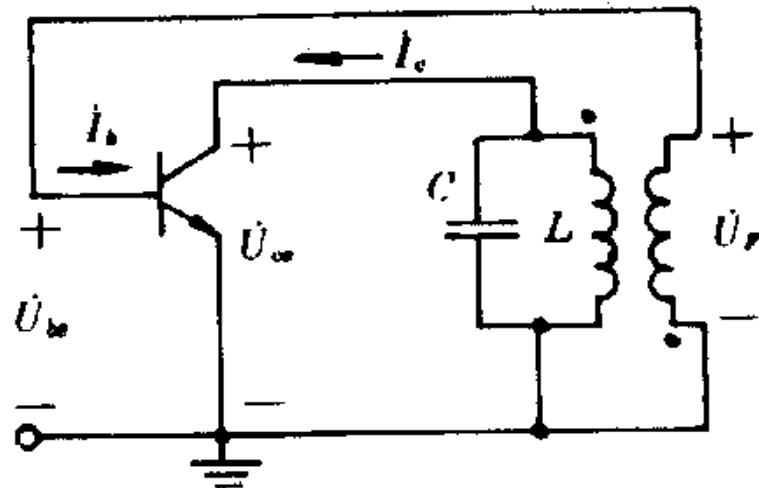
(1). 起振条件 ( $AF > 1$ )

(2). 平衡条件

相位平衡条件

(由互感线圈的同名端保证正反馈)

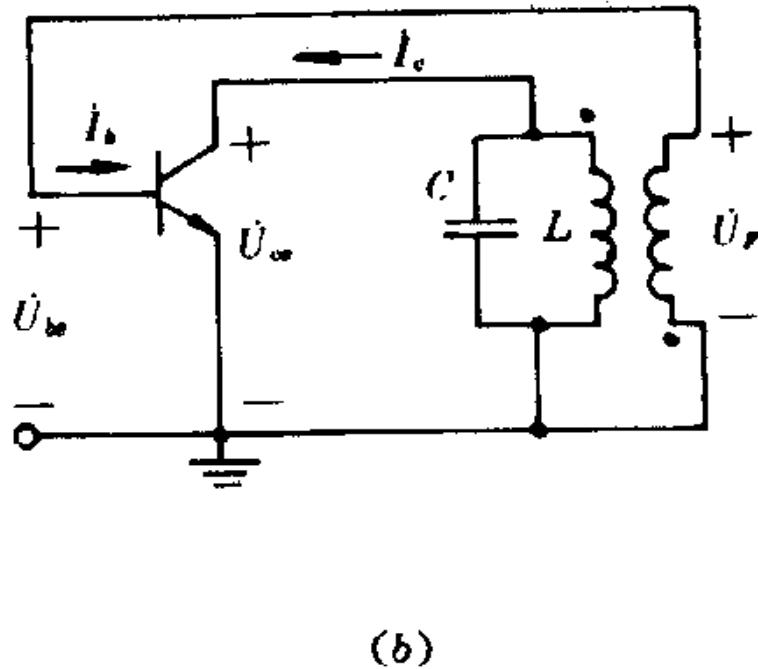
(3). 稳定条件

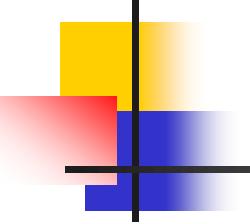


(b)

## 相位平衡条件

- 由互感线圈的同名端保证正反馈。
- 判断晶体管工作组态及线圈同名端的方法：
  - (1) LC调谐回路所接端——输出端
  - (2) 反馈线圈所接端——输入端
  - (3) 剩下的端口——公共组态
  - (4) 共e——输出、输入反相；  
共c、共b——输出、输入同相



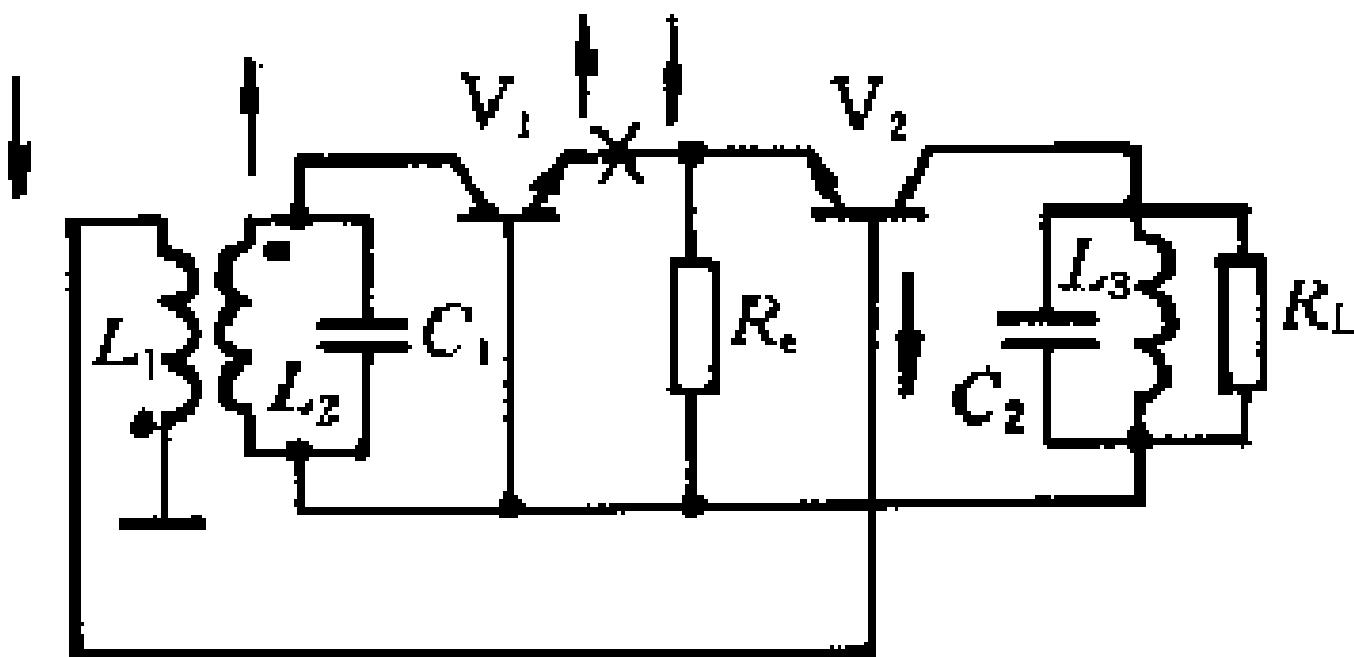


### 三、互感耦合振荡器优缺点

- 优点：易起振，输出电压较大，结构简单，调频方便，且调频时输出电压变化不大，常用于收音机中本振。
- 缺点：由于互感耦合元件分布电容的存在，限制了振荡频率的提高，只适用于较低频段（中、短波），且频率稳定性差。高次谐波感抗大，输出波形不理想。

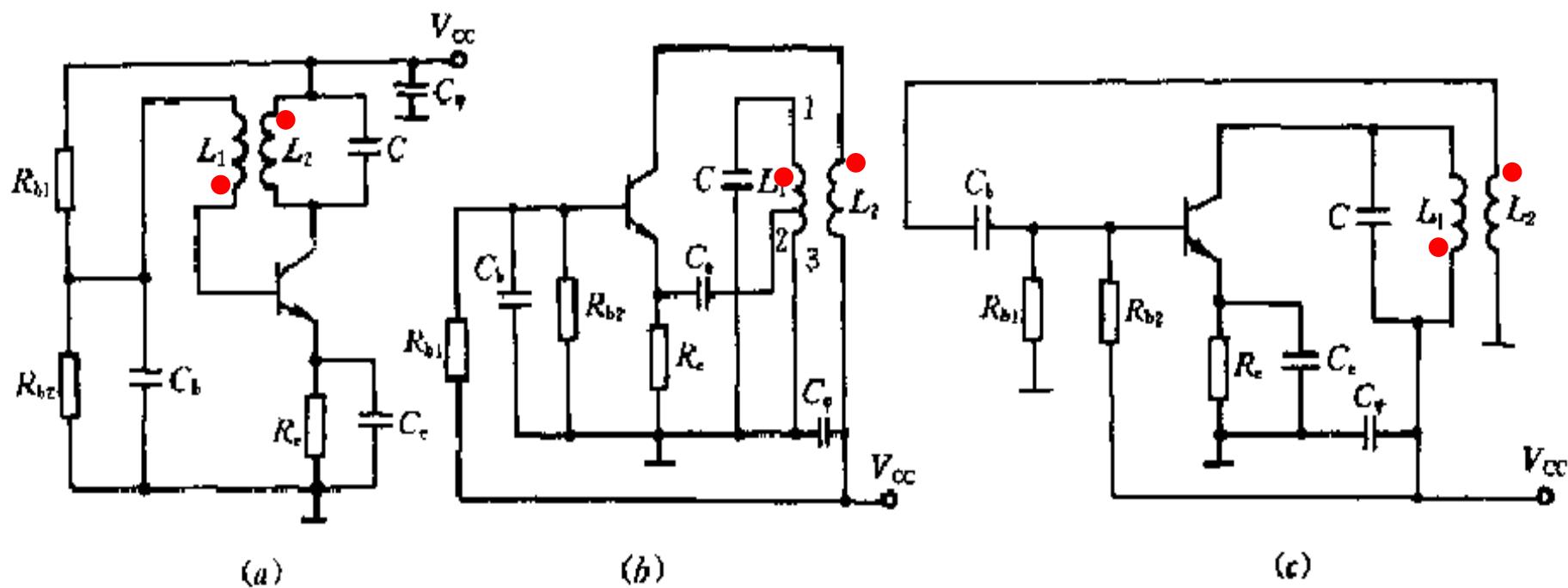
例1：

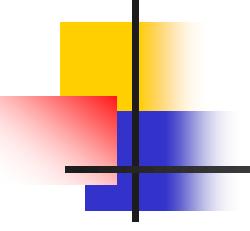
判断图示两级互感耦合振荡电路能否正常工作。



## 例2：习题4.1（P102）：

画出其高频等效电路，并注明电感线圈的同名端。





## 4.3.2 三点式振荡器(几百MHz)

- 一、构成三点式振荡器的基本原则
- 二、电容三点式
- 三、电感三点式
- 四、克拉泼电路
- 五、西勒电路

# 一、三点式振荡器构成原则

(1). 回路要谐振:

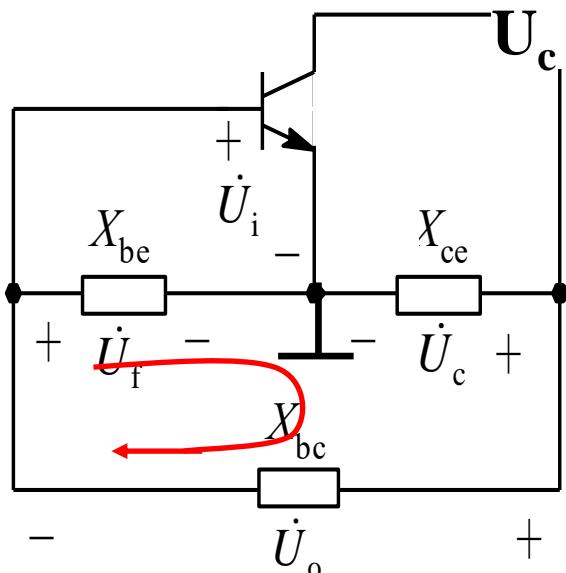
$$X_{be} + X_{bc} + X_{ce} = 0$$

(2). 要构成正反馈:

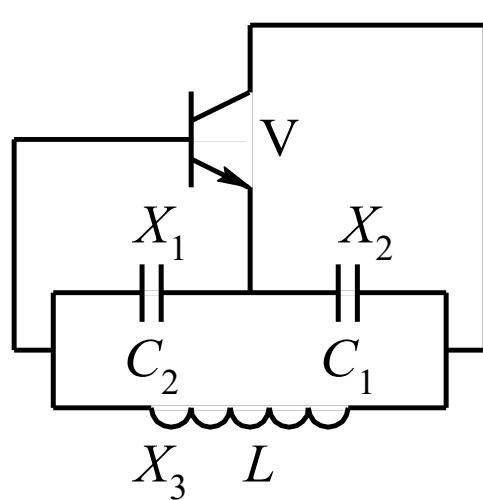
$$\varphi_T = \varphi_A + \varphi_F = 2n\pi$$

$$\dot{F} = \frac{\dot{U}_f}{\dot{U}_c} = \frac{jX_{be}\dot{I}}{-jX_{ce}\dot{I}} = -\frac{X_{be}}{X_{ce}}$$

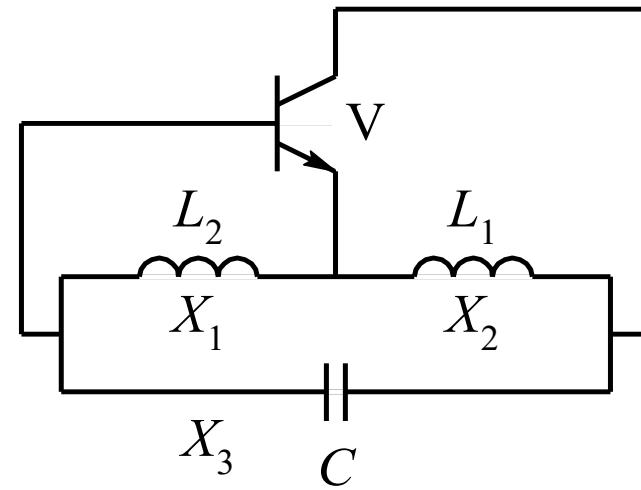
故需:  $X_{be}$  与  $X_{ce}$  同性质,  
 $X_{bc}$  与  $X_{be}$ 、 $X_{ce}$  异性质。  
——“射同余异”法则



**按照三点式振荡器的组成法则，有两种基本电路：**



(a)



(b)

**电容反馈振荡器**

**电容三点式**

**考毕兹Colpitts振荡器**

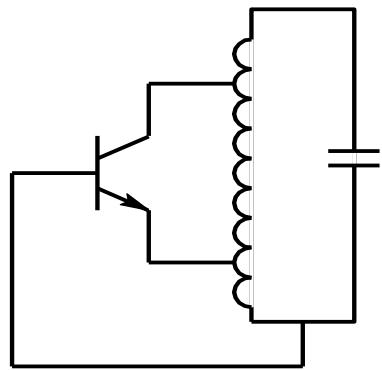
它的反馈电压取自 $C_1$ 和 $C_2$ 组成的分压器；

**电感反馈振荡器**

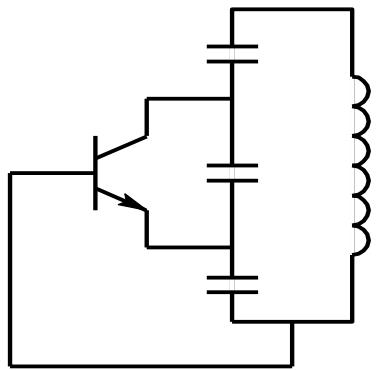
**电感三点式**

**哈特莱Hartley振荡器**

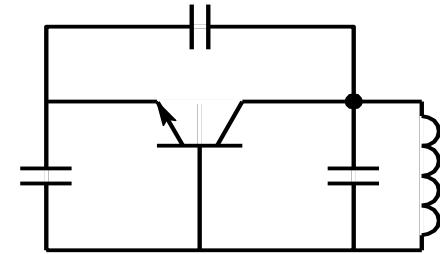
它的反馈电压取自 $L_1$ 和 $L_2$ 组成的分压器；



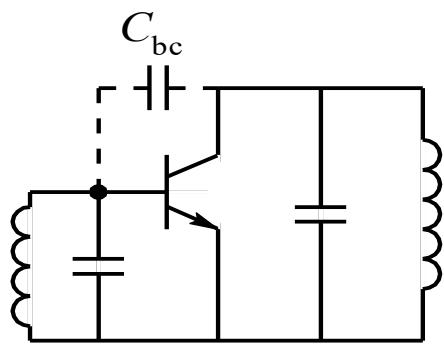
(a)



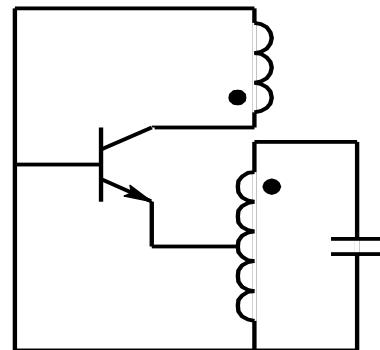
(b)



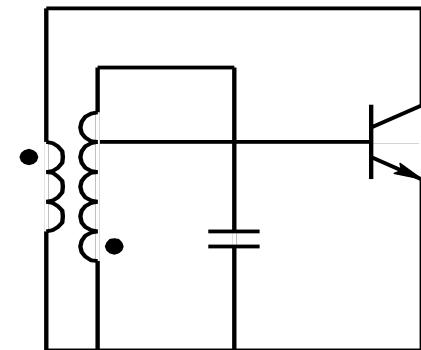
(c)



(d)



(e)

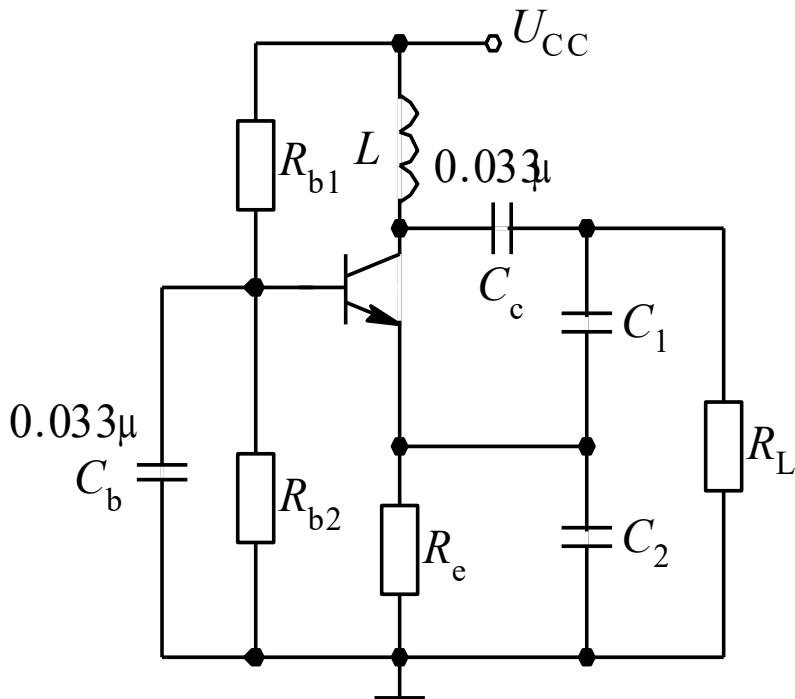


(f)

几种常见振荡器的高频电路

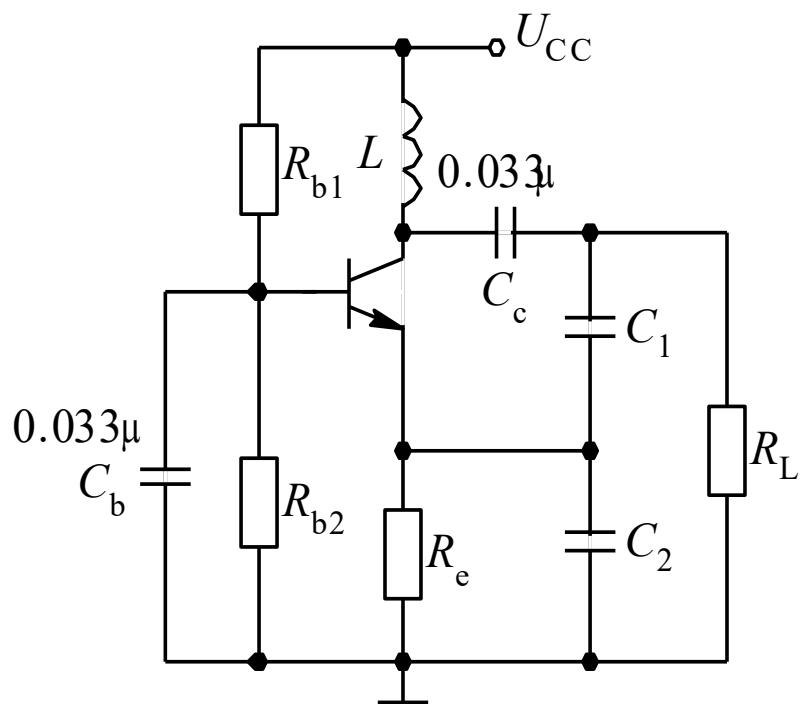
## 二. 电容三点式电路 (考毕兹(Coplitts) 电路)

### 1. 线路特点



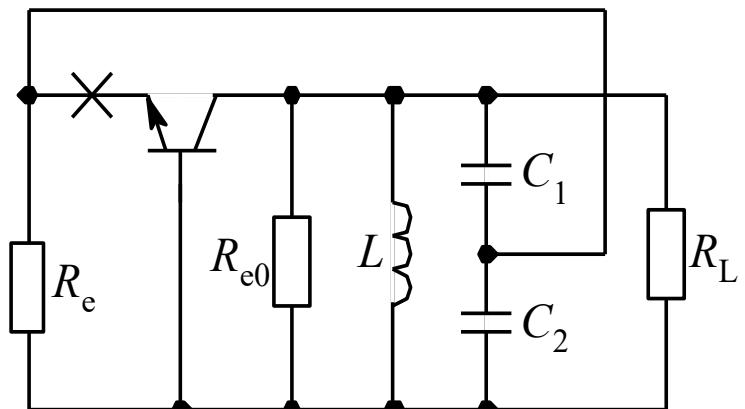
$R_{b1}$ 、 $R_{b2}$ 、 $R_e$  为直流偏置电阻；振荡产生后作为自偏压电阻，稳幅作用。  
 $C_c$  耦合电容、 $C_b$  隔直流电容

(a)



(a)

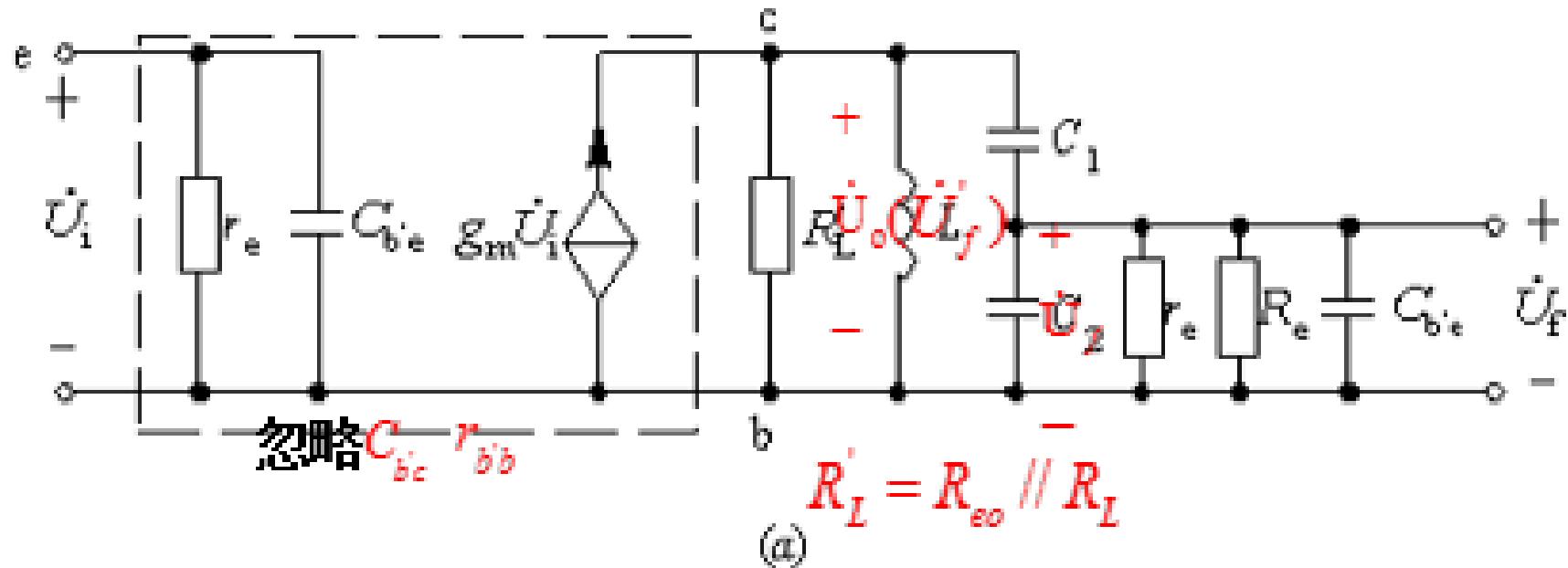
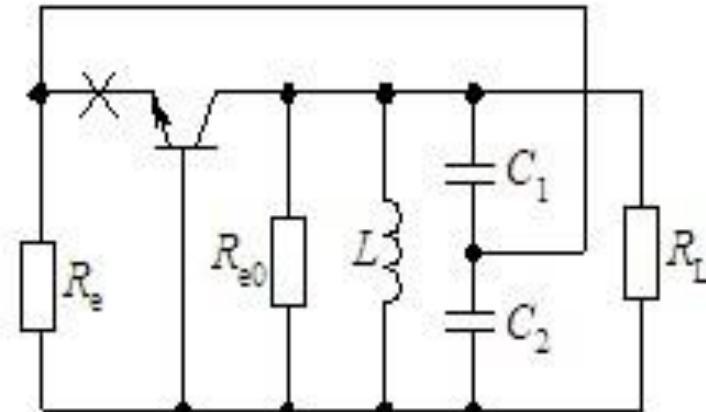
交流等效电路：



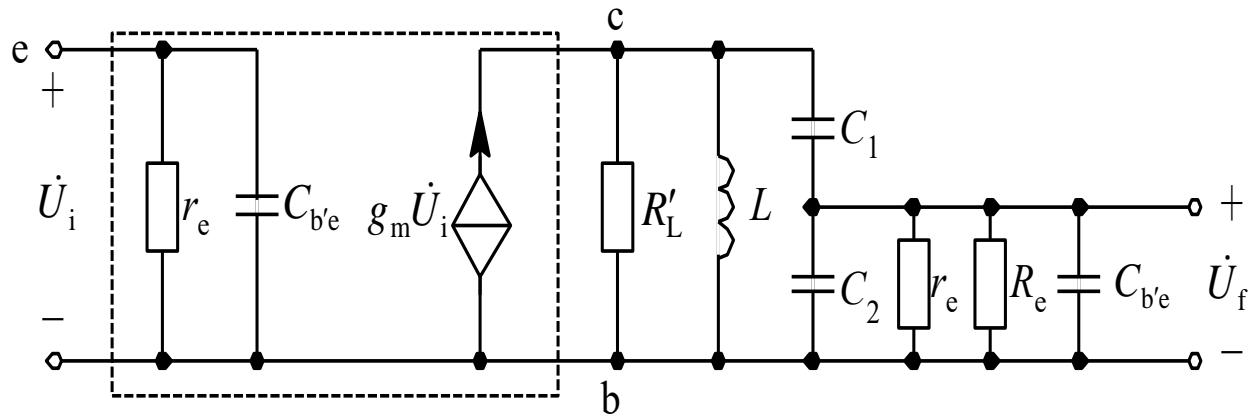
(三点式电路满足相位条件)

(b)

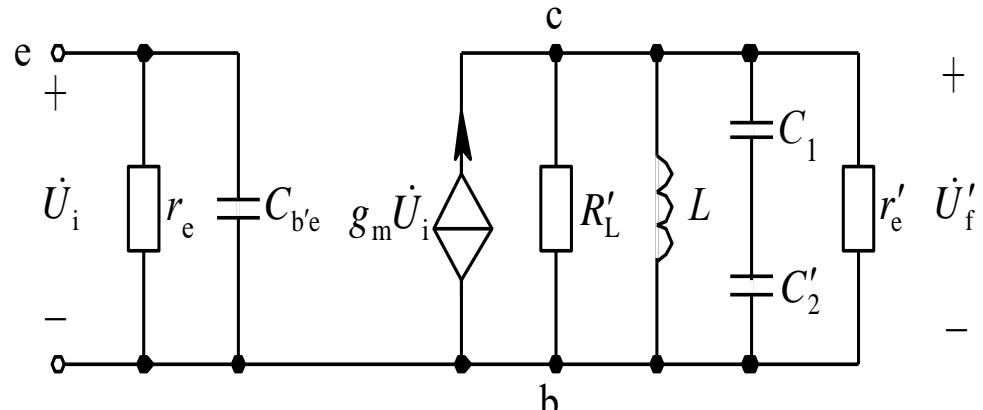
## 2. 起振条件 ( $AF=T>1$ )



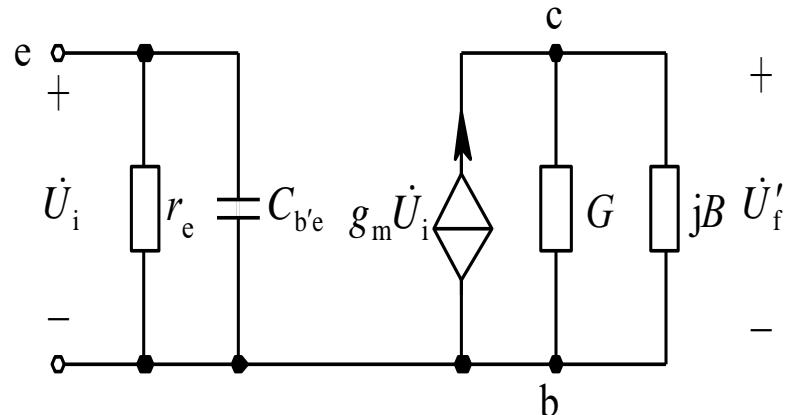
反馈系数:  $F = \frac{\dot{U}_f}{\dot{U}_o} = \frac{\dot{U}_f}{\dot{U}'_f} = n = \frac{C_1}{C_1 + (C_2 + C_{be})} \approx \frac{C_1}{C_1 + C_2}$



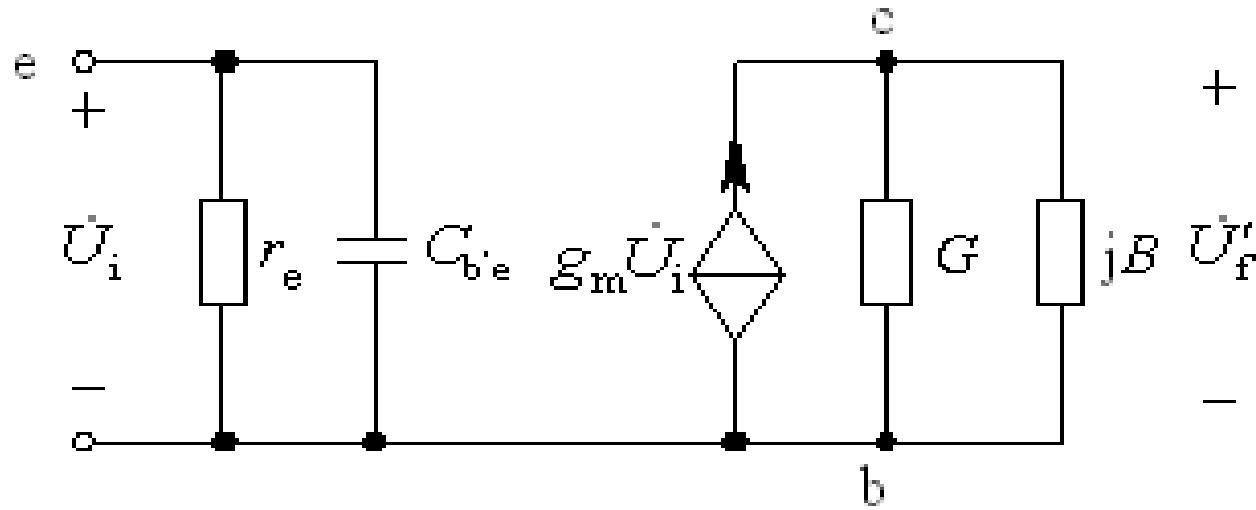
(a)



$$r'_e = \frac{1}{\mu^2} (r_e \parallel R_e) \approx \frac{1}{\mu^2} r_e$$



$$G = g_L + g_e = \frac{1}{R_L} + \frac{1}{r_e} \quad B = \omega C_L - \frac{1}{\omega L}$$



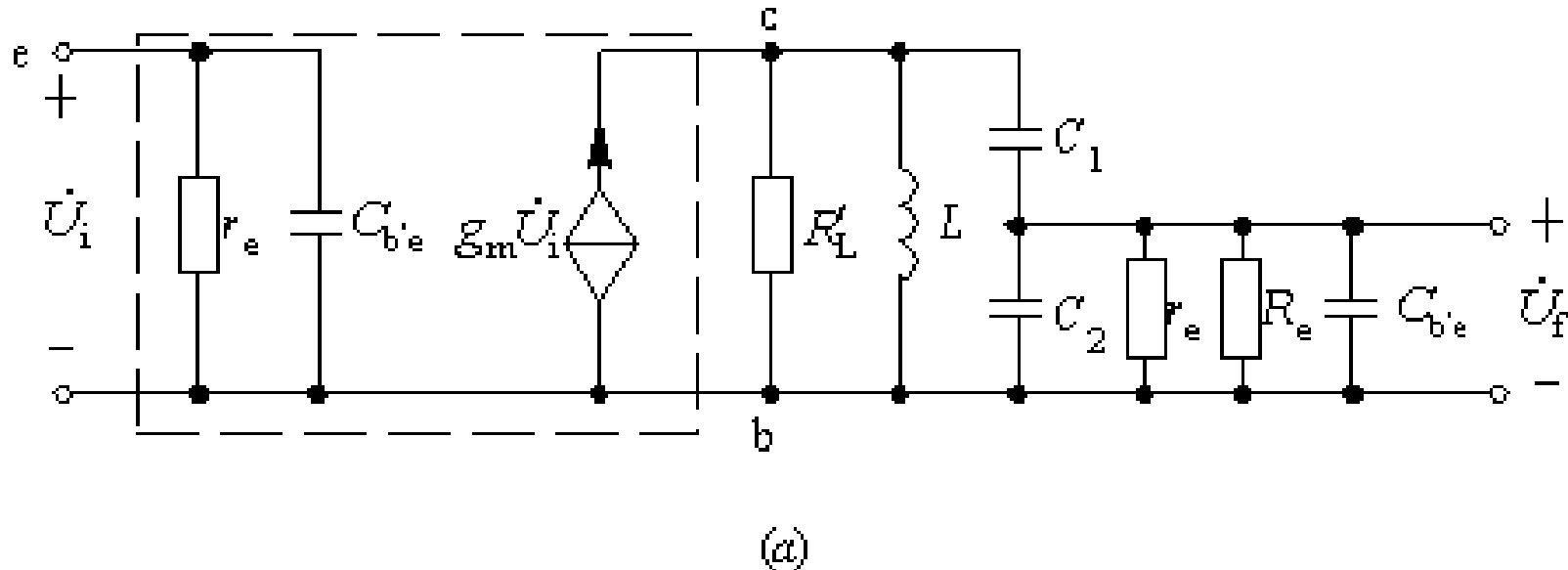
$$T = \frac{\dot{U}_f}{\dot{U}_i} = \frac{n\dot{U}'_f}{\dot{U}_i} = \frac{ng_m}{G + jB} = \frac{ng_m}{g'_L + g'_e + j(\omega C - \frac{1}{\omega L})}$$

$$T > 1 \Rightarrow \frac{ng_m}{g'_L + g'_e} > 1$$

$$\text{即 } g_m > \frac{1}{n} (g'_L + g'_e) = \frac{1}{n} \left( \frac{1}{R_L // R_{e0}} + n^2 \frac{1}{r_e} \right)$$

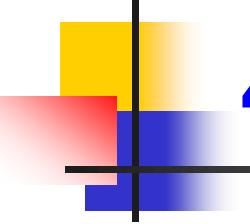
电路要易起振，  
需：  $g_m$  较大、  
 $r_{be}$  较大的晶体管，  
 $R_L$ 、 $R_{e0}$  也要大，  
 $n$  要合理选择

### 3. 振荡频率



$L$ 、 $C_1$ 、 $C_2$  构成谐振回路，决定振荡频率：

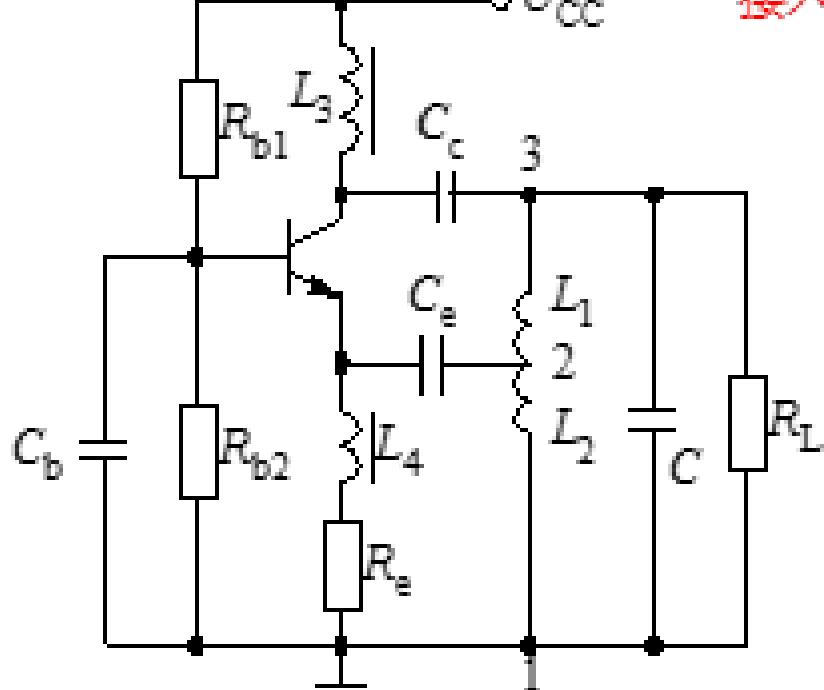
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC_{\Sigma}}} \quad C_{\Sigma} = \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)^{-1}$$



## 4. 电容三点式振荡器的特点

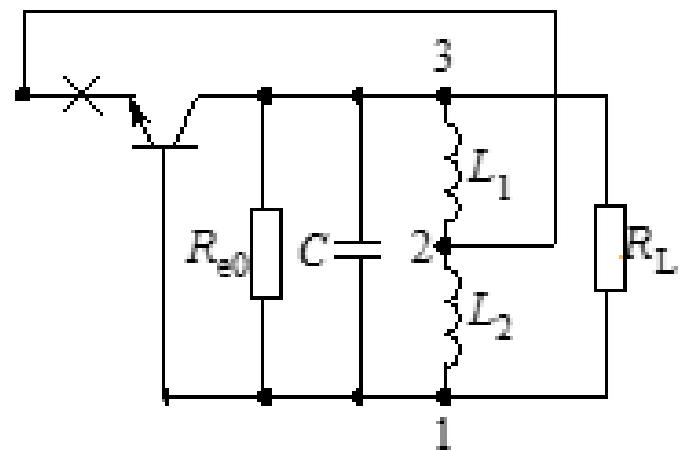
- 优点：电容作为输出、反馈元件，它对谐波呈现的阻抗小，能较好地滤除高次谐波。因此**输出波形好**，工作频率较高。
- 缺点：频率不易调整，改变回路电容会同时改变反馈系数，甚至可能造成回路停振。 $C_o$ 、 $C_i$ 影响频率稳定度。

### 三、电感三点式振荡电路 ——哈特莱(Hartley)振荡器

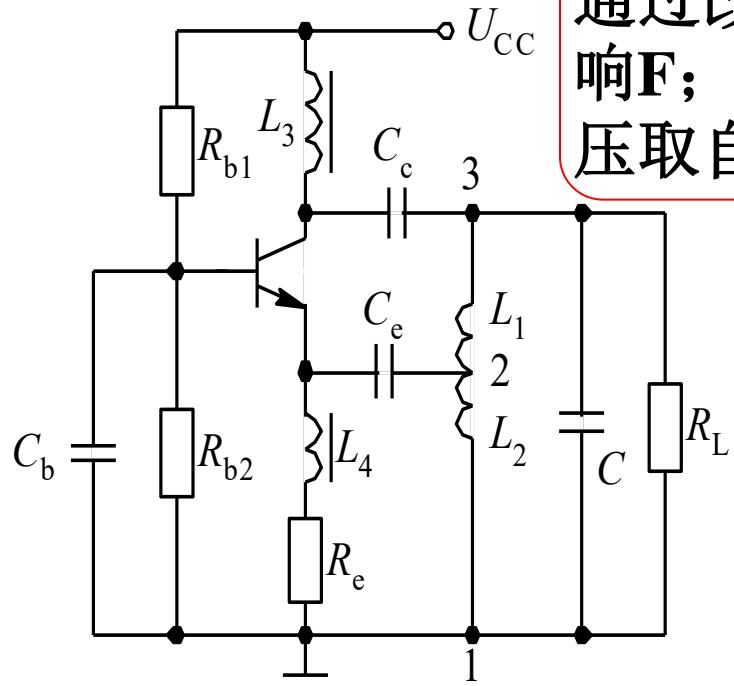


(a)

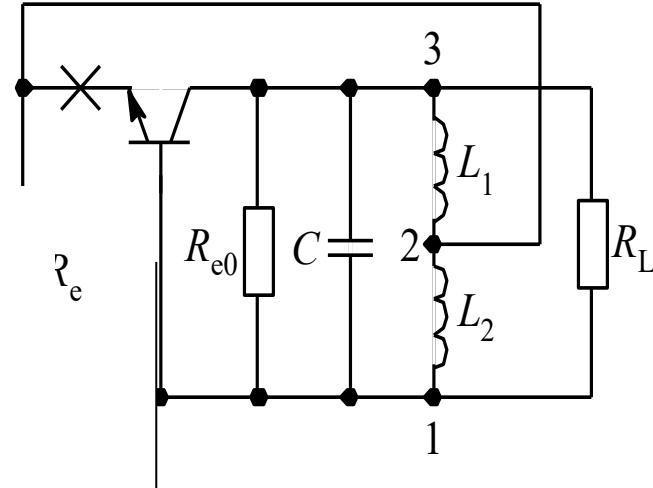
接入系数  $n = \frac{N_{12}}{N_{13}} = \frac{L_2 + M}{L_1 + L_2 + 2M} = F$   
( $M$ 为互感系数)



(b) 交流电路



(a)



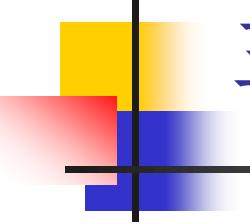
(b)

**反馈系数:**  $F = n = \frac{L_2 + M}{L_1 + L_2 + 2M}$  ( $1/10 \rightarrow 1/2$ )

$$\omega_0 \approx \frac{1}{\sqrt{LC}}, \text{ 其中 } L = L_1 + L_2 + 2M$$

**起振条件:**  $g_m > \frac{1}{n} g'_L + n g_e$ , 其中  $g'_L = \frac{1}{R'_L} = \frac{1}{R_L \parallel R_{e0}}$ ,  $g_e = \frac{1}{r_e}$

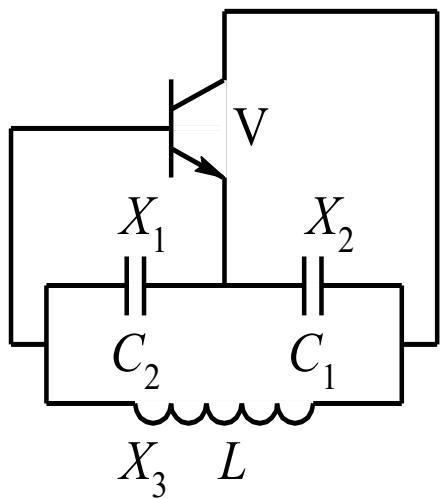
通过改变回路电容调整频率时，基本不影响F；但产生信号的频率较低；由于反馈电压取自L<sub>2</sub>，使输出含有较大的谐波电压。



## 主要优缺点

- **优点：易起振、输出电压幅度大，调节频率方便（在较宽的频段内）。**
- **缺点：电感作为输出、反馈元件，输出波形不理想、振荡频率不高。**

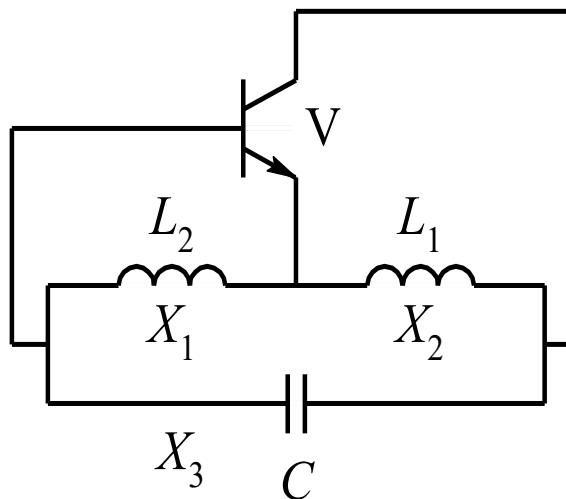
## 两种三点式的优缺点比较：



(a)

$$F = n = \frac{c_1}{c_1 + c_2}$$

波形好，但调 $f_o$ 不方便



(b)

$$F = n = \frac{L_2 + M}{L_1 + L_2 + 2M}$$

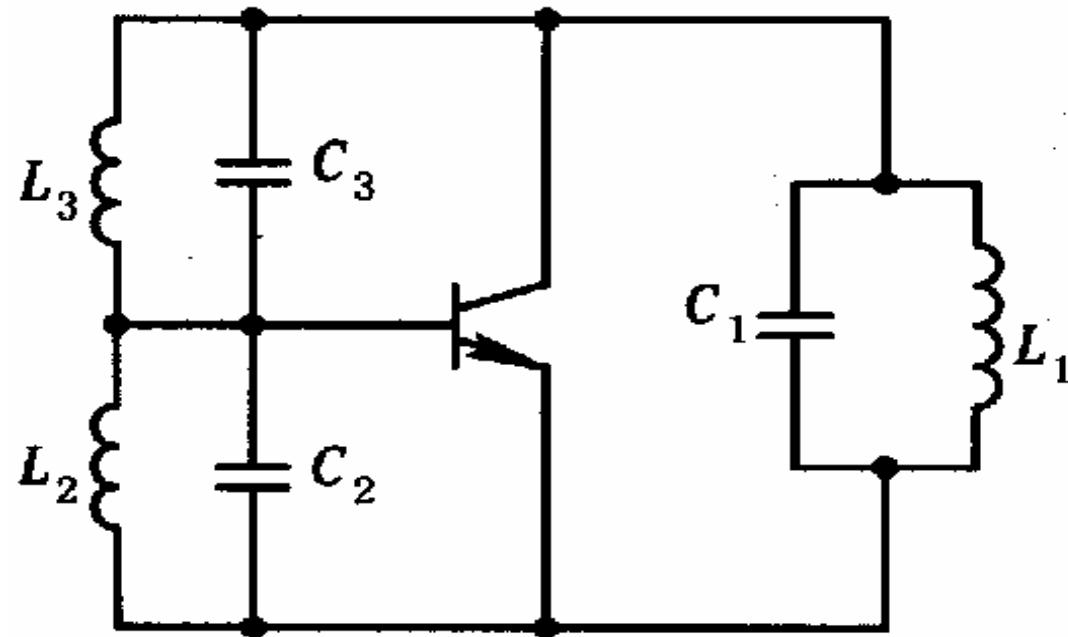
调 $f_o$ 方便，但波形不好

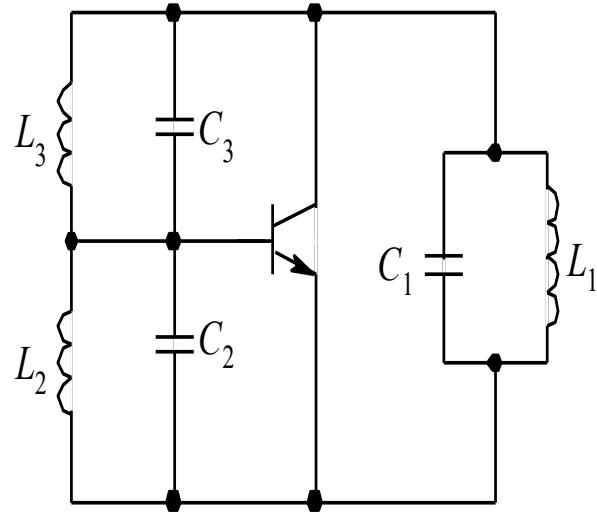
共同的缺点：频率稳定性不高( $10^{-3}$ )，受 $C_o$ ,  $C_i$ 影响。



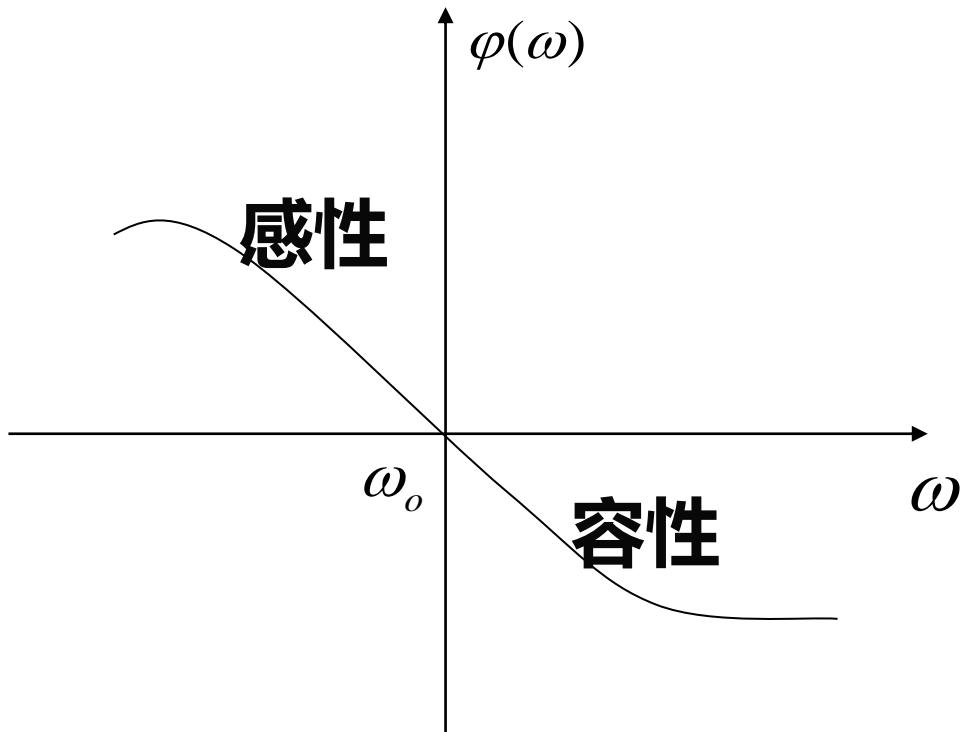
例题1、2、3、4自看

例1 图示振荡器交流等效电路中，三个L C 并联回路的谐振频率分别是： $f_1=1 / (\sqrt{L_1C_1})$ ， $f_2=1 / (\sqrt{L_2C_2})$ ， $f_3=1 / (\sqrt{L_3C_3})$ ，试问  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$ 满足什么条件时该振荡器能正常工作？且相应的振荡频率是多少？





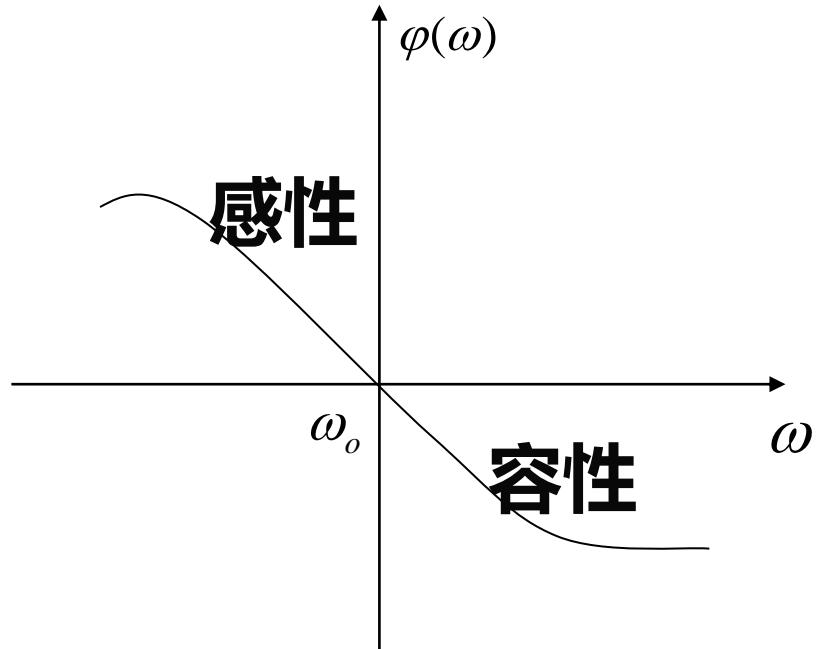
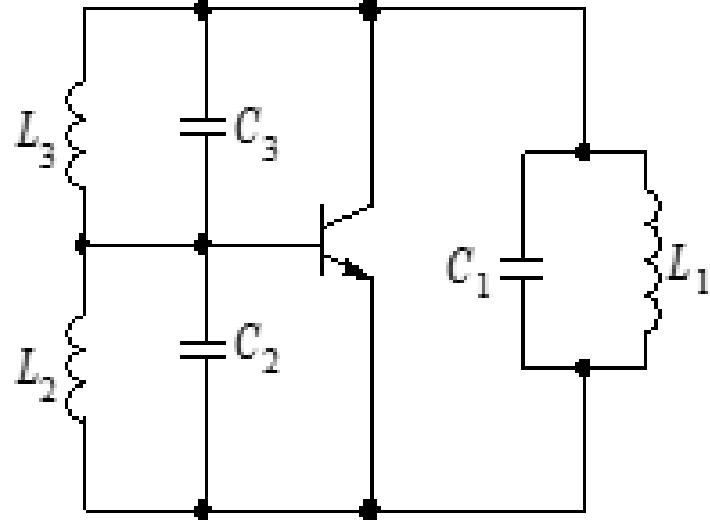
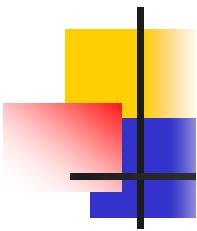
(a)



若要组成电容三点式：

则在振荡频率  $f_{01}$  处,  $L_1 C_1$  回路与  $L_2 C_2$  回路应呈现容性,  $L_3 C_3$  回路应呈现感性。

$$f_2, f_1 < f_{01} < f_3$$



(a)

若要组成电感三点式：

则在振荡频率  $f_{02}$  处,  $L_1C_1$  回路与  $L_2C_2$  回路应呈现感性,  $L_3C_3$  回路应呈现容性。

$$f_2, f_1 > f_{02} > f_3$$

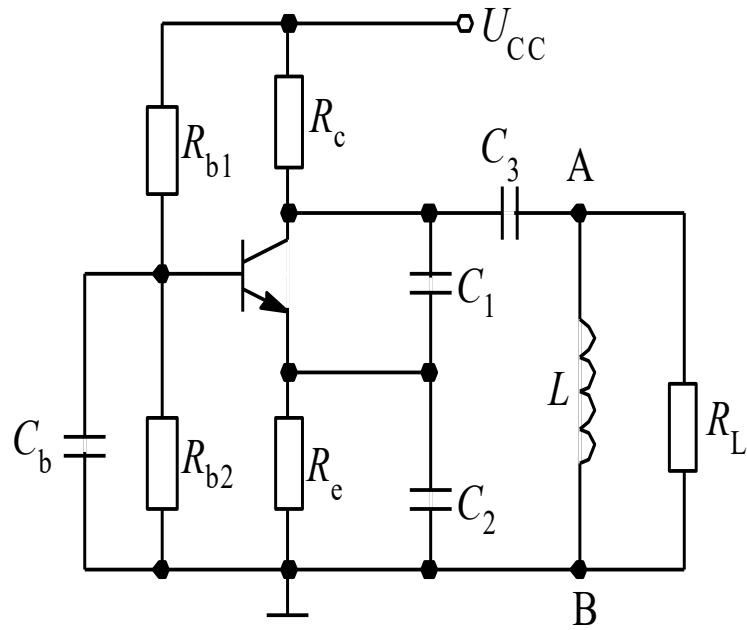
# 两种改进型电容反馈式振荡器

引入：晶体管各个电极与电抗元件并联，极间电容对振荡器的影响很大，为**提高频率稳定性**，要尽量减小晶体管与回路的耦合。

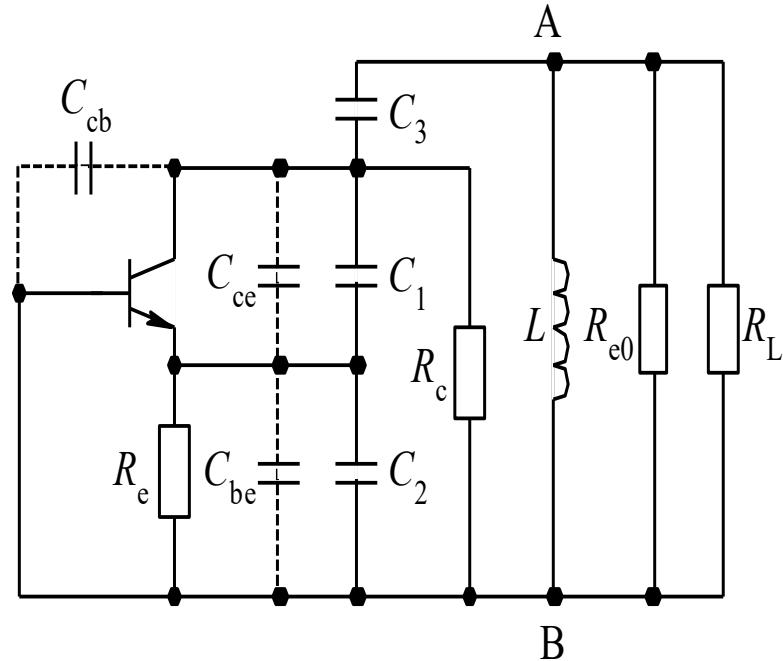
## 4. 串联改进型电容三点式电路 (克拉泼(Clapp) 电路)

$$C_3 \ll C_1, C_2$$

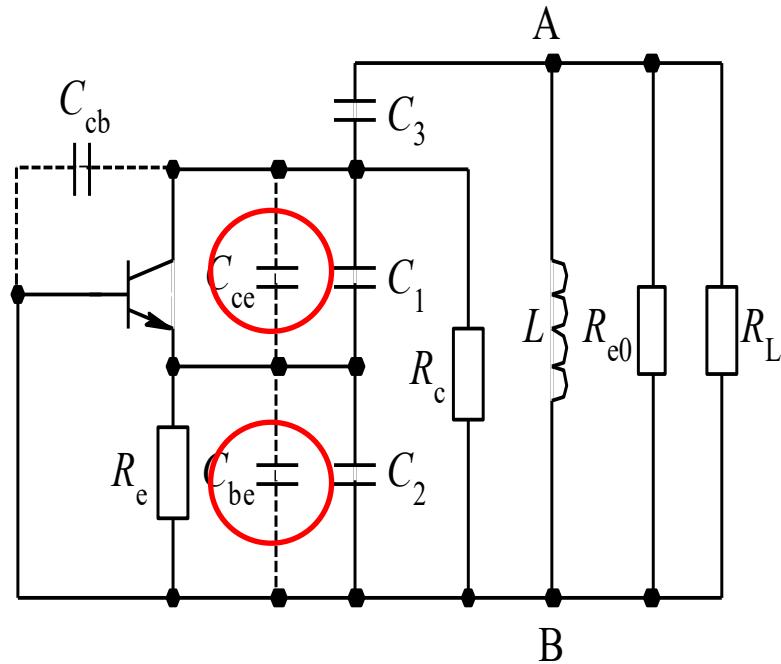
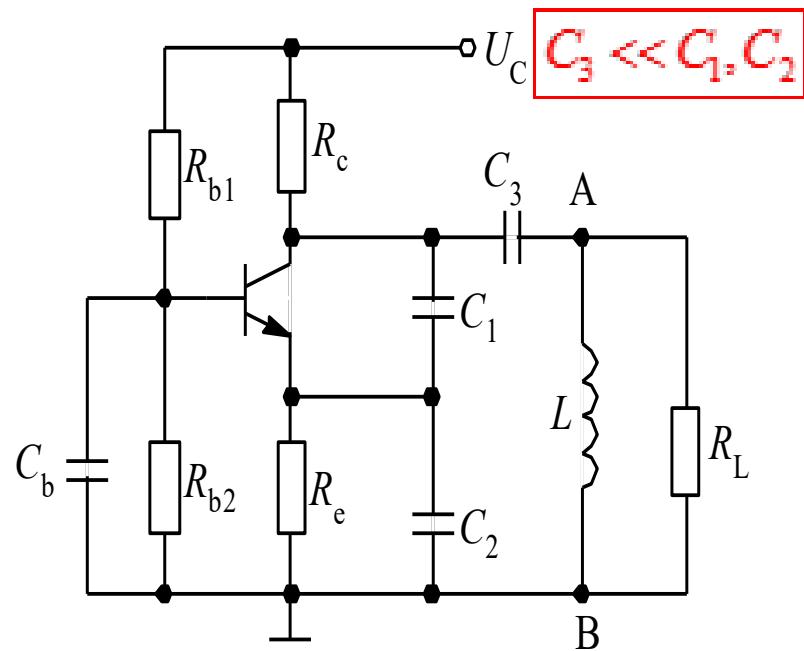
### (1) 线路特点



(a)



(b)



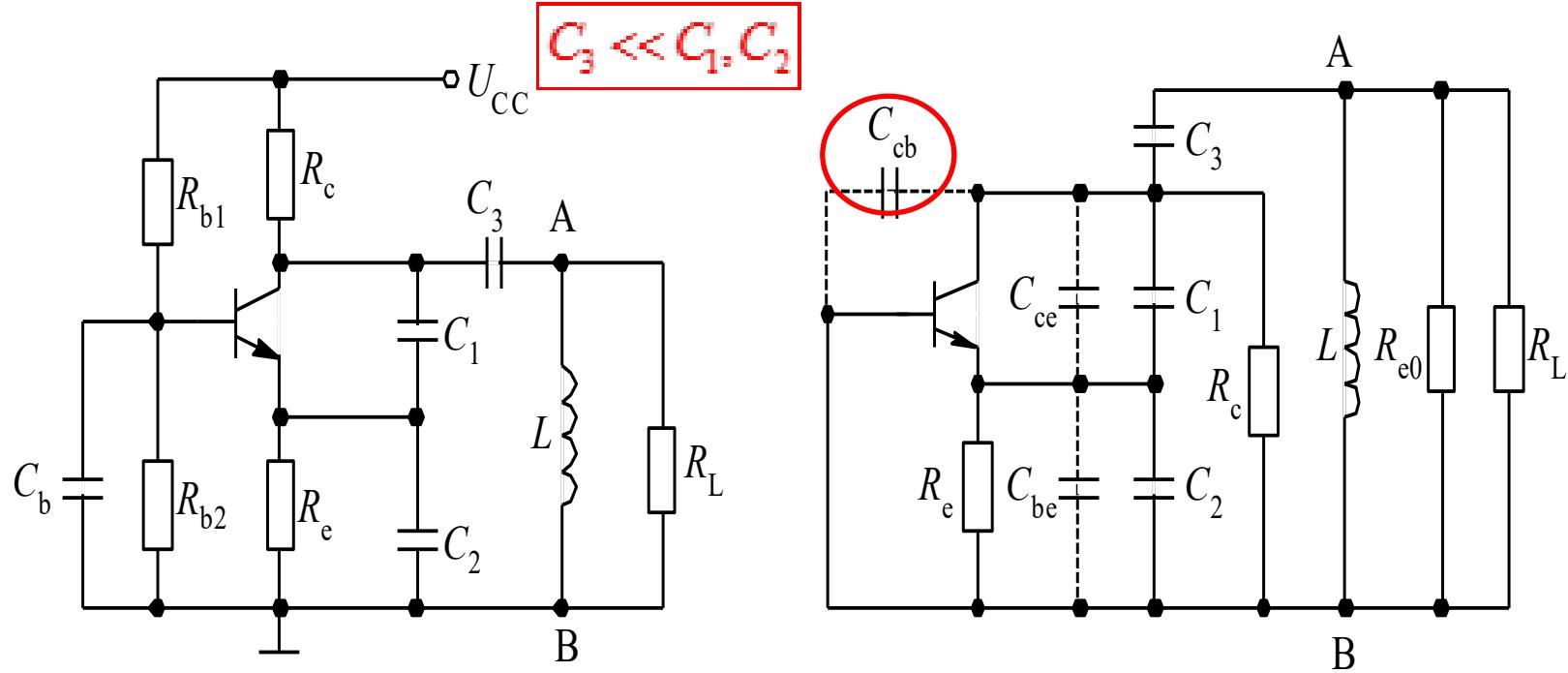
(a) 图 4.3.6 克拉泼振荡电路 (b)

$C_{ce}$ 、 $C_{be}$ 与谐振回路的接入系数:

$$n_{ce} = \frac{V_{ce}}{V_{AB}} = \frac{C_2 \text{串} C_3}{C_1 + (C_2 \text{串} C_3)} = \frac{C_2}{\frac{C_1 C_2}{C_3} + C_1 + C_2} < C_2 / (C_1 + C_2)$$

同理,  $n_{be} = \frac{V_{be}}{V_{AB}} < C_1 / (C_1 + C_2)$

接入系数减小, 等效电容值也减小, 对 $f_0$ 的影响也减小。



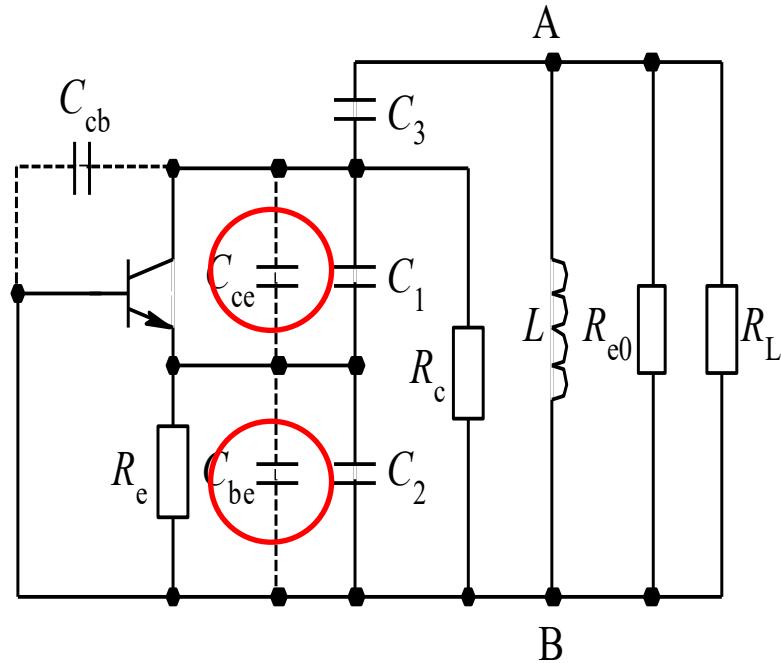
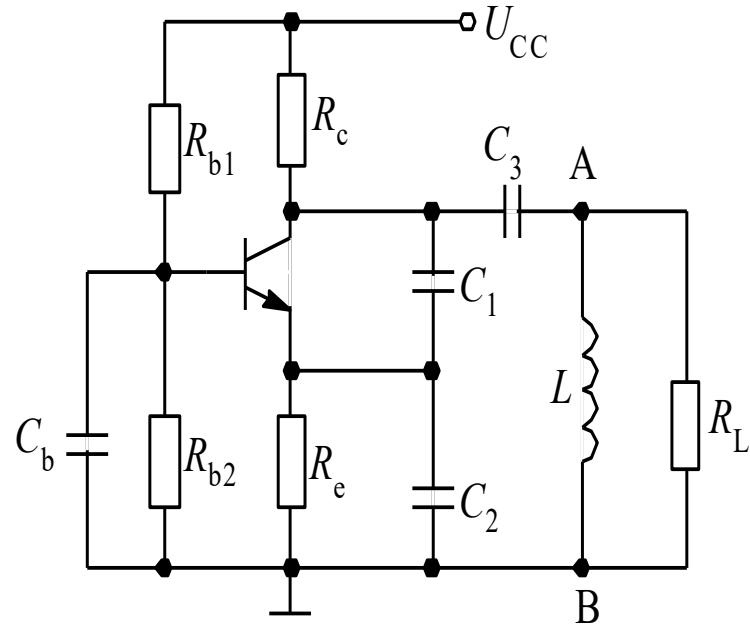
(a) 图 4.3.6 克拉泼振荡电路 (b)

$C_{bc}$ 与谐振回路AB的接入系数:  $n_1 = \frac{C_3}{C_3 + C_1 C_2 / (C_1 + C_2)} = \frac{1}{1 + C_1 C_2 / [C_3 (C_1 + C_2)]}$

起振条件:

谐振回路两端的 $R_L$ 折算到cb两端（集电极端）后为:

$$R_L'' = n_1^2 (R_{e0} // R_L) = n_1^2 R_L' < R_L' \quad \text{不利于起振}$$



(a) 图 4.3.6 克拉泼振荡电路 (b)

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

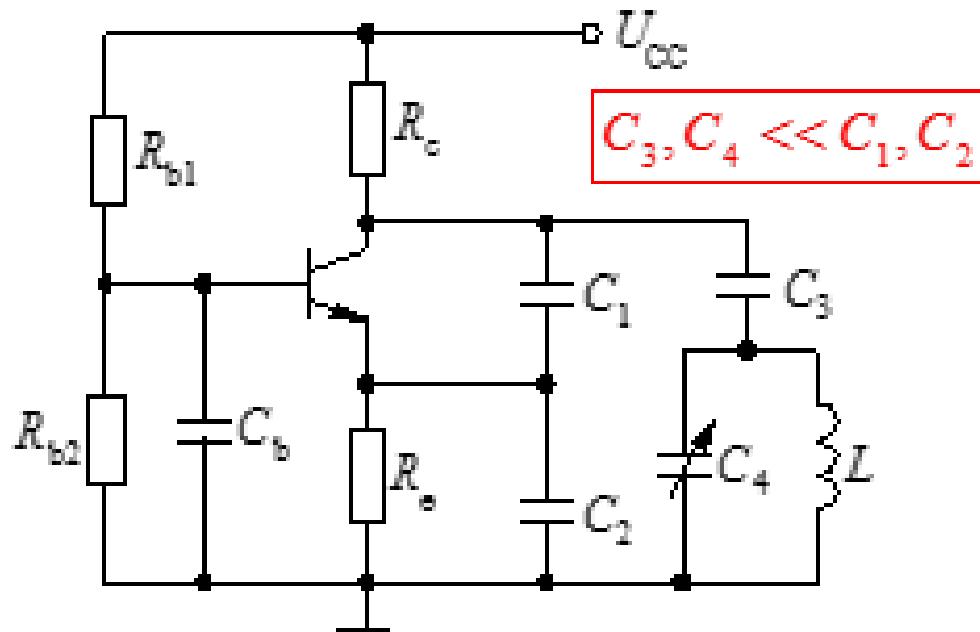
$$C = \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right)^{-1} \approx C_3$$

频率稳定性变好

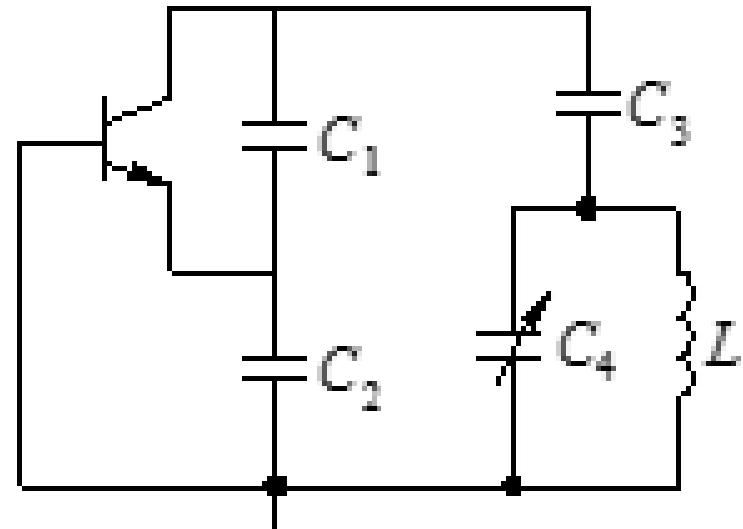
环路增益降低，换取回路标准性提高。  $C_3$ 不能取得太小，否则将影响振荡器的起振。

# 5 并联改进型电容反馈三点式电路 ——西勒(Seiler)电路

## (1) 线路特点

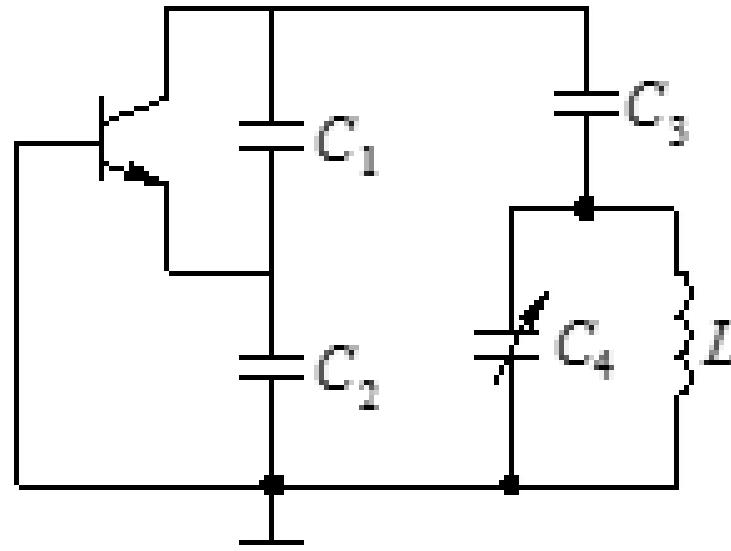


(a)



(b) 交流通路

## (2) 振荡频率

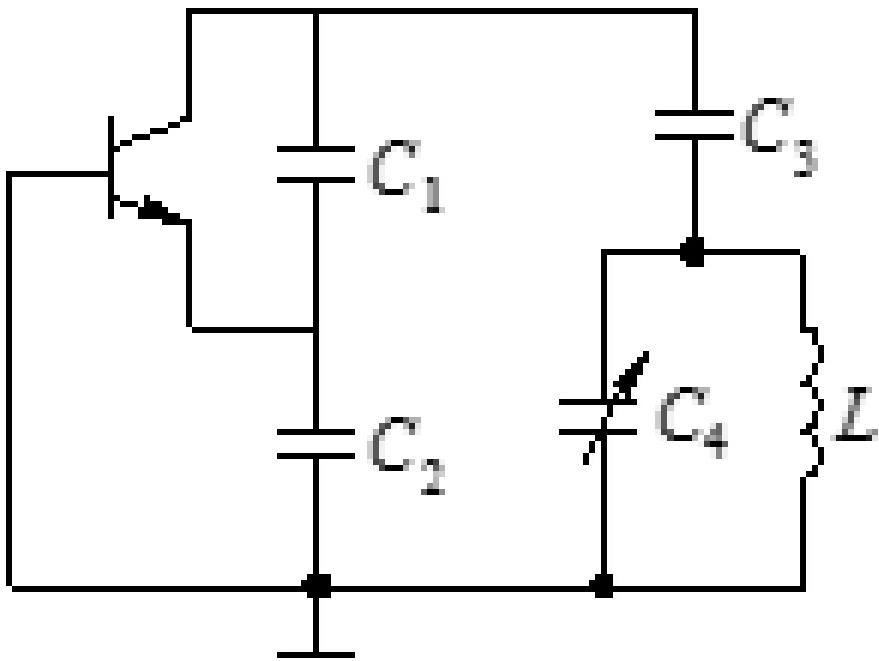


(b) 交流通路

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$C = \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right)^{-1} + C_4 \approx C_3 + C_4$$

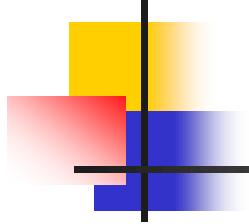
通过  $C_4$  可  
调整频率



接入系数与克拉泼电路相同，  
共基电路的等效负载

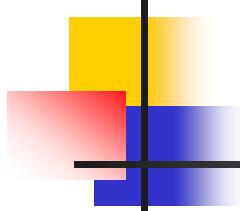
$$R_L'' = n_1^2 R_L' = \left[ \frac{1}{\frac{C_1 C_2}{C_3 (C_1 + C_2)} + 1} \right]^2 R_L' < R_L'$$

与克电路同。 $C_4$ 的变化对三极管对回路接入系数 $n_1$ 和 $F$ 都不改变，展宽了工作频带，常用于频率可调的振荡器。



### (3) 西勒电路的优点

**频率稳定性高，振荡频率高，输出振幅稳定均匀，适合作波段振荡器，其波段覆盖系数为1.6 ~ 1.8左右。**



(1).互感耦合振荡器

(2).电容三点式电路(考毕兹(Coplitts)电路)

(3).电感三点式电路(哈特莱(Hartley)电路)

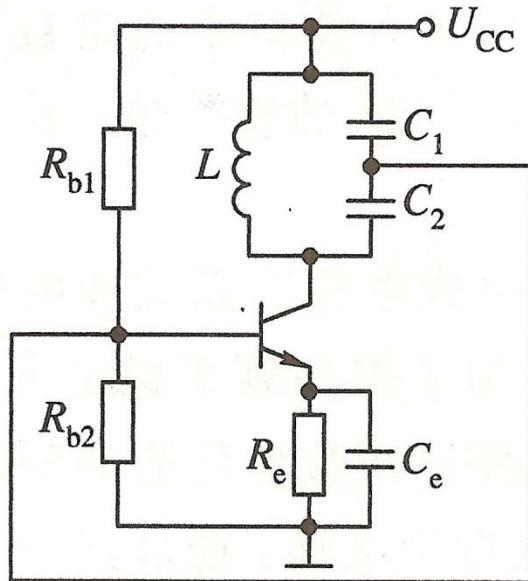
(4).克拉泼(Clapp)电路

(5).西勒(Seiller)电路

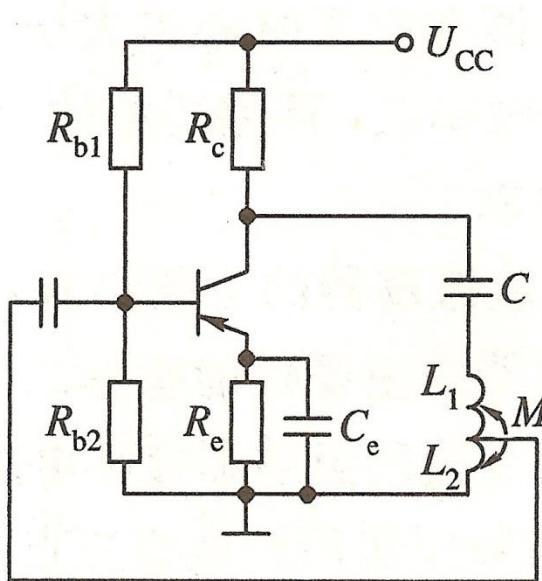
}  $10^{-3}$

}  $10^{-4} \sim 10^{-5}$

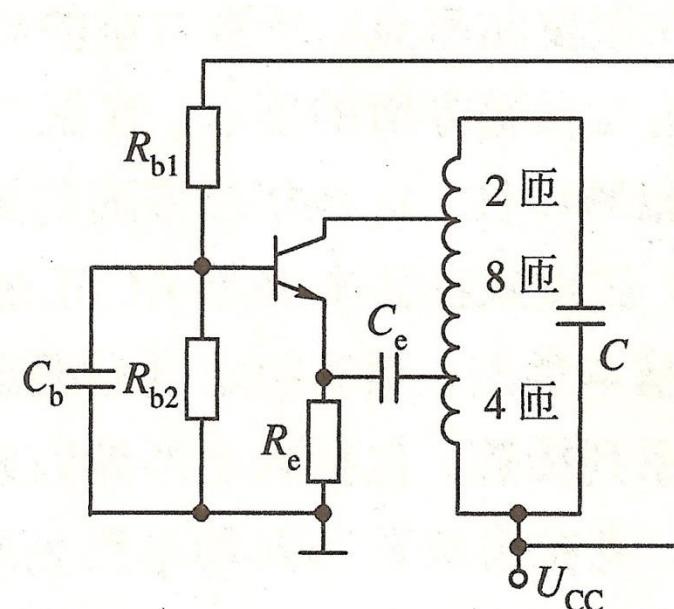
LC振荡器的频率稳定性不高。



(a) 不能



(b) 不能



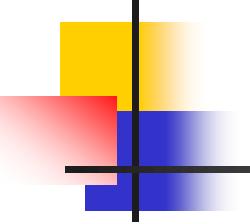
(c) 能

例 [习题4.2(P102)] :

图示各振荡电路中，

哪些能产生振荡？

哪些不能产生振荡？



## 4.4 晶体振荡器

**4.4.1** 石英晶体的结构和特性

**4.4.2** 石英谐振器的等效电路与电抗特性曲线

**4.4.3** 晶体振荡器电路

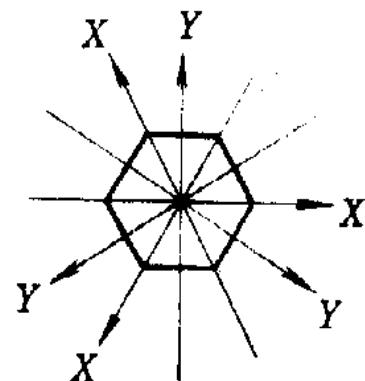
**4.4.4** 石英晶体振荡器的优缺点

## 4.4.1 石英晶体的结构和谐振特性

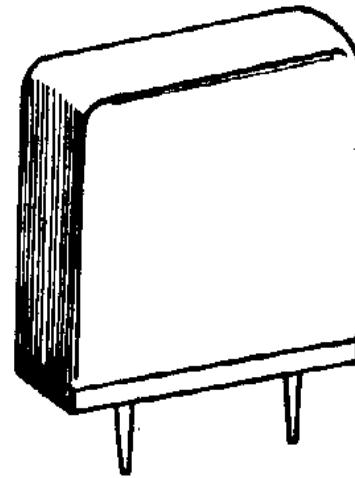
1. 结构（俗称水晶，是一种化学成分为 $\text{SiO}_2$ 两端呈角锥的六棱柱结晶体。



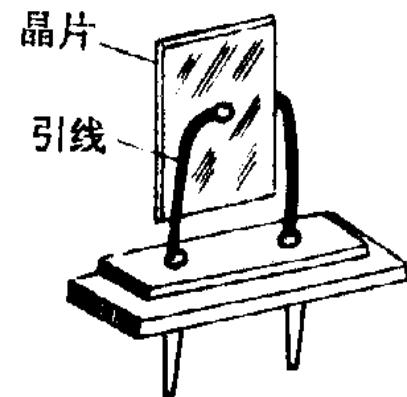
(a)



(b)

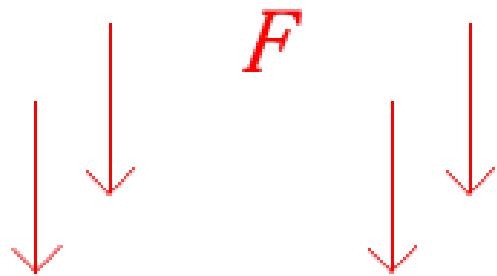


晶体外形

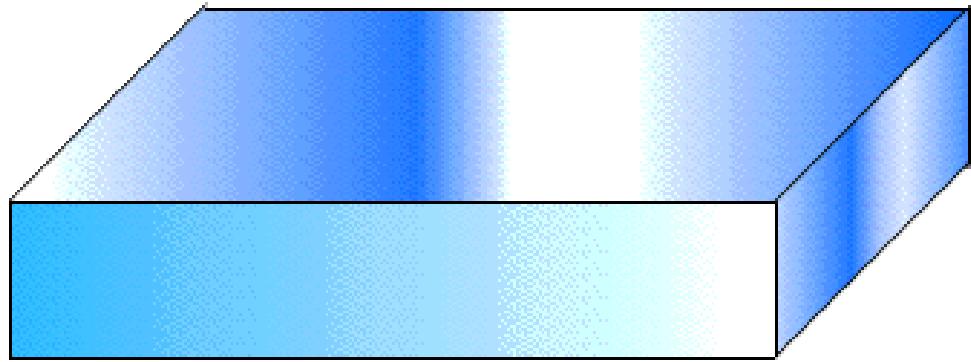


内部结构

## 2. 压电特性和反压电特性

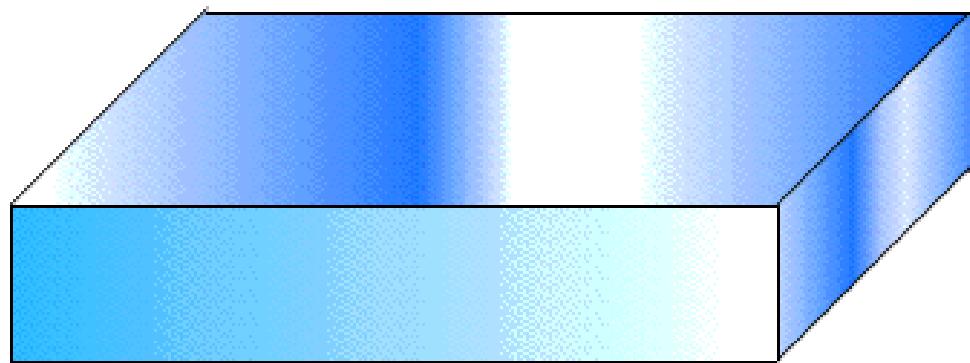
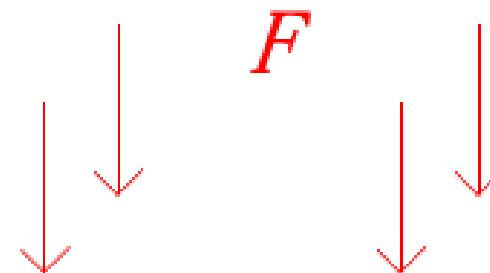


石英晶体的压电效应演示



若在晶片的两个极板间加一电场，会使晶体产生机械变形；反之，若在极板间施加机械力，又会在相应的方向上产生电场，这种现象称为压电效应。

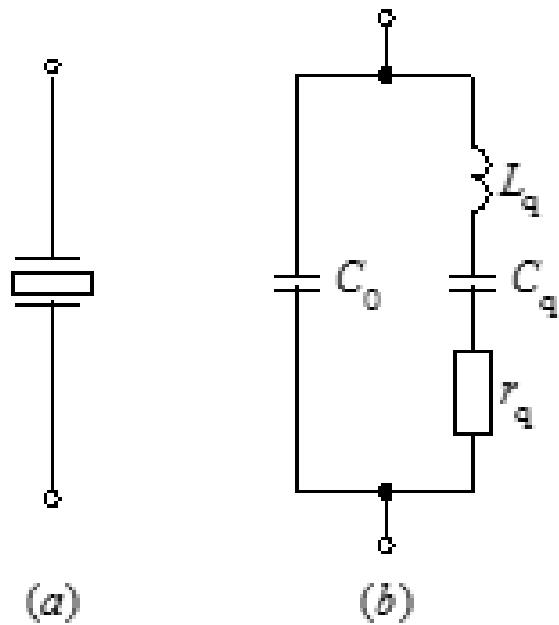
# 石英晶片可以做成谐振器



当外加交流电压的频率等于晶片固有的机械振动频率时,晶体片的机械振动最大, 晶片两面的电荷量最多, 在外电路中的交流电流也最大, 便产生了压电谐振。

## 4.4.2 石英谐振器的等效电路与电抗特性曲线

### 1. 符号与等效电路

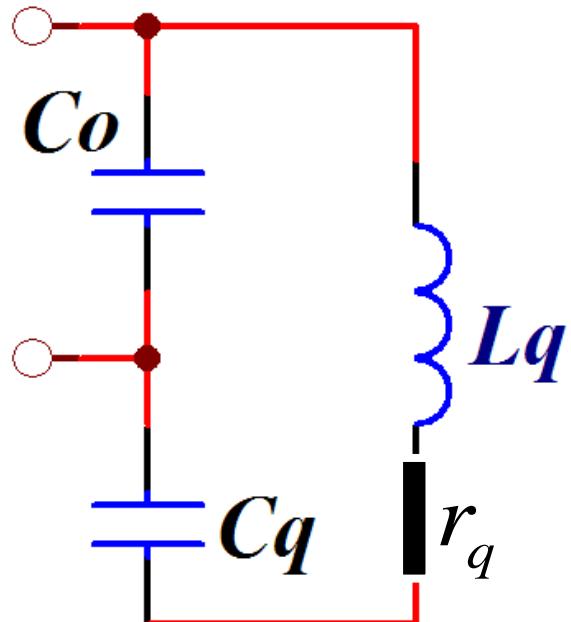


其中：

- $C_0$ —金属板及支架构成的电容，约 $1\sim 10\text{ pF}$   
 $C_q$ —压电谐振等效电容，约 $10^{-4}\sim 10^{-1}\text{ pF}$   
(晶片的弹性等效)  
 $L_q$ —压电谐振等效电感，约 $10^{-3}\sim 10^2\text{ H}$   
(机械振动的惯性等效)  
 $r_q$ —摩擦损耗电阻，约几十~几百欧姆  
$$C_{\Sigma} = C_0 C_q / (C_0 + C_q) \approx C_q$$

## 石英晶振的特性：

高Q值；接入系数小；频率稳定性高；



$$Q_q = \frac{\omega_o L}{r} = \frac{1}{r_q} \sqrt{\frac{L_q}{C_q}}$$

(可达几万-几百万)

$$n \approx \frac{C_q}{C_0 + C_q}$$

(n很小，故外接元器件参数对石英晶振的影响很小)

## 具有多谐性

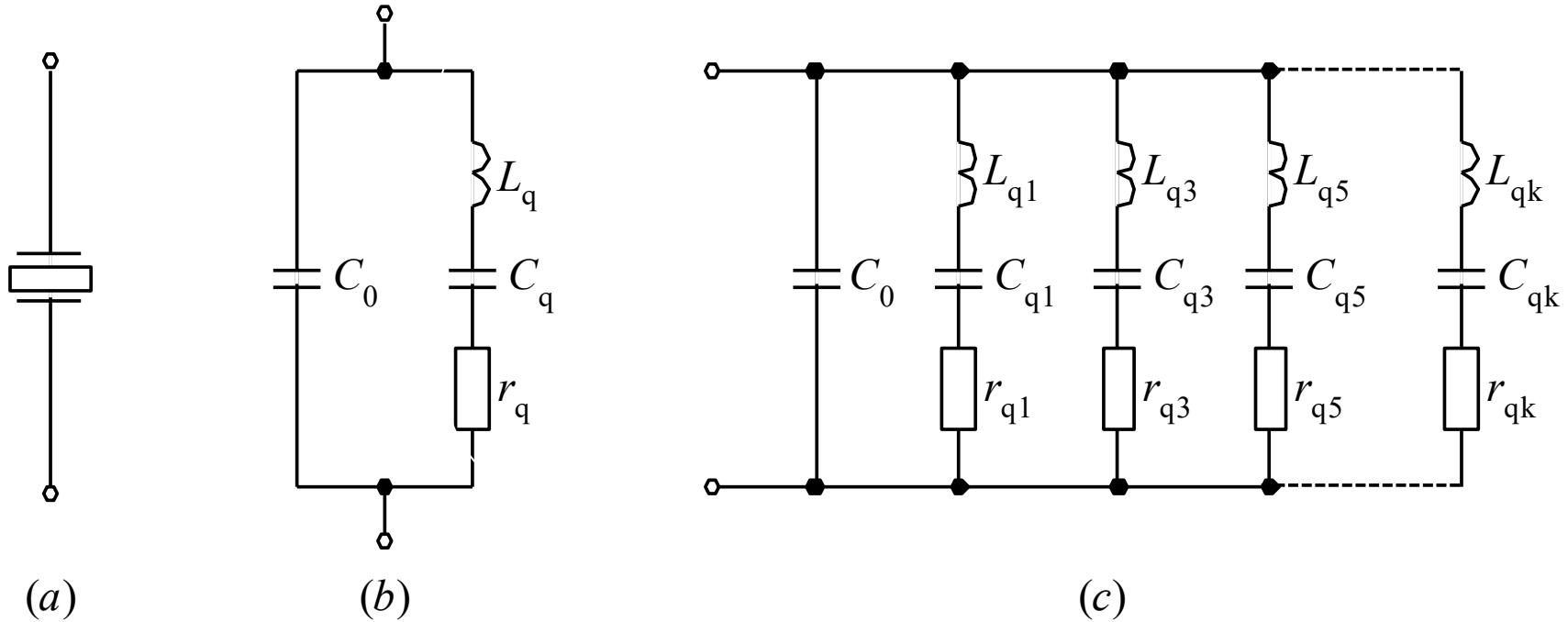
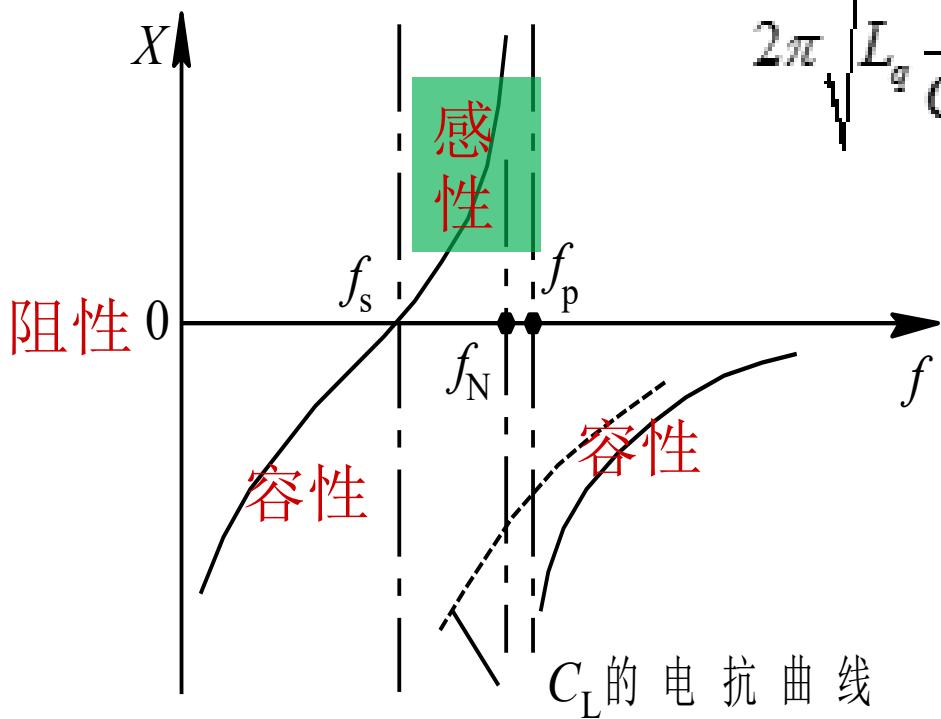
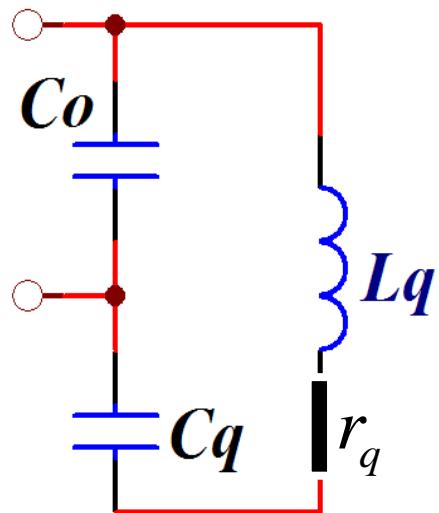


图 4.4.1 石英晶体谐振器

(a) 符号; (b) 基频等效电路; (c) 完整等效电路(泛音晶体)

## 2. 电抗曲线



- 串联谐振频率  $f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_q C_q}}$
- 并联谐振频率 
$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_q \frac{C_0 C_q}{C_0 + C_q}}} = \frac{f_s}{\sqrt{\frac{C_0}{C_0 + C_q}}} = f_{sA} \sqrt{1 + \frac{C_q}{C_0}} > f_s$$

只在  $f_s \sim f_p$  很窄的范围内，石英谐振器等效为一特殊电感，其余频率均等效为电容。

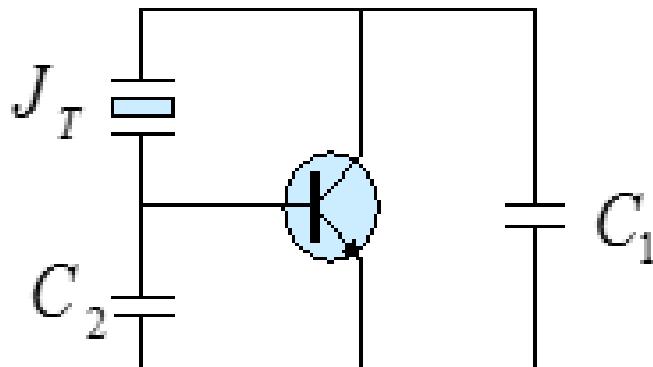
## 4.4.3 晶体振荡器电路

分为两类：

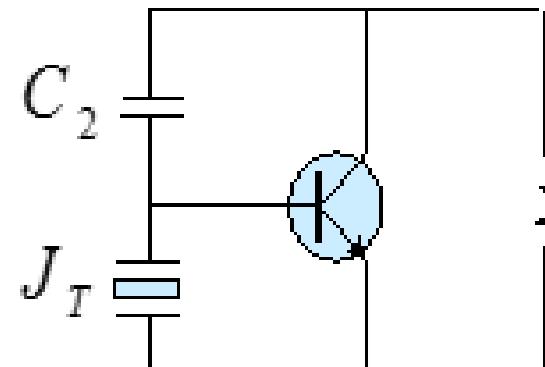
- |     |   |   |           |
|-----|---|---|-----------|
| 并联型 | <p>皮尔斯(Picrce)振荡器</p> <p>密勒(Miller)振荡器</p> <p>并联泛音晶体振荡器</p> | } | 石英谐振器作为电感 |
| 串联型 | <p>基音串联谐振型晶体振荡器</p> <p>串联泛音晶体振荡器</p>                        |   |           |

# 1. 并联型晶体振荡器

- 将晶体作为等效电感元件用在三点式电路中，工作在感性区，称为并联型晶体振荡器。



(a) 皮尔斯 (Pierce) 电路

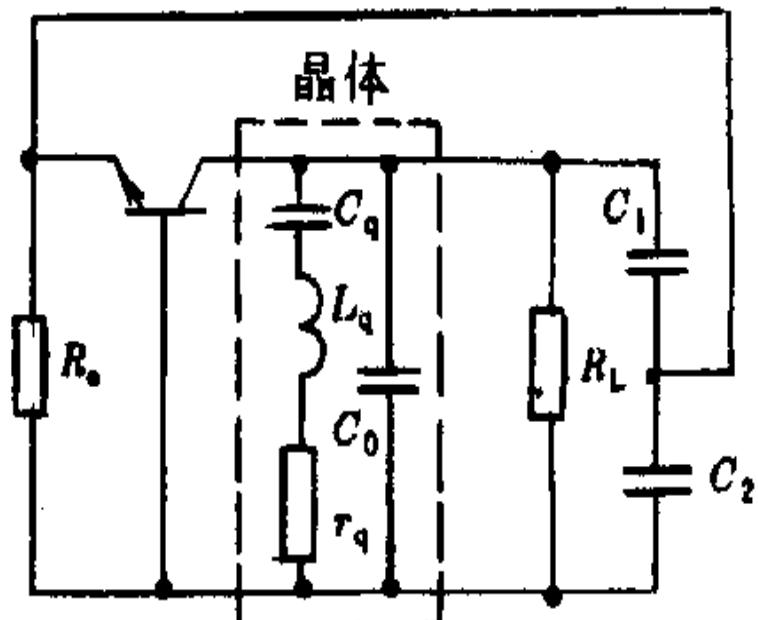
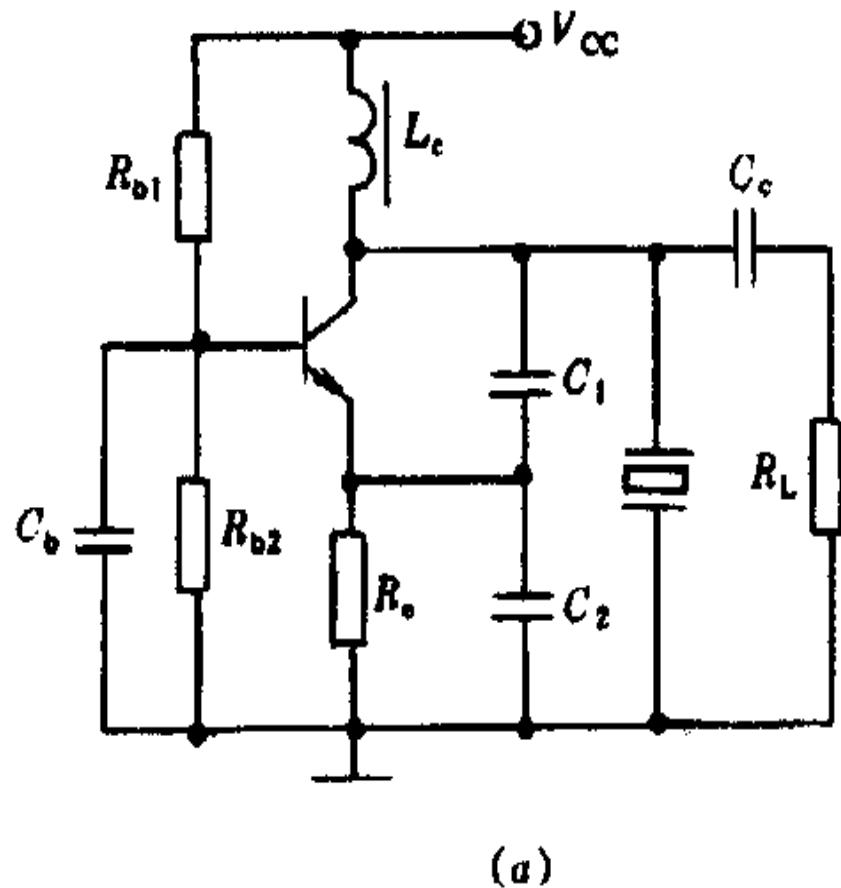


(b) 密勒 (Miller) 电路

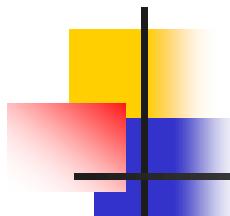
(并联型晶体振荡器的交流等效电路)

## 皮尔斯电路

振荡器的振荡频率在晶体的串联谐振与并联谐振频率之间，晶体等效为一个非线性电感。



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



## 皮尔斯电路的特点

a. 振荡频率几乎由晶振参数决定，具有高度稳定性。

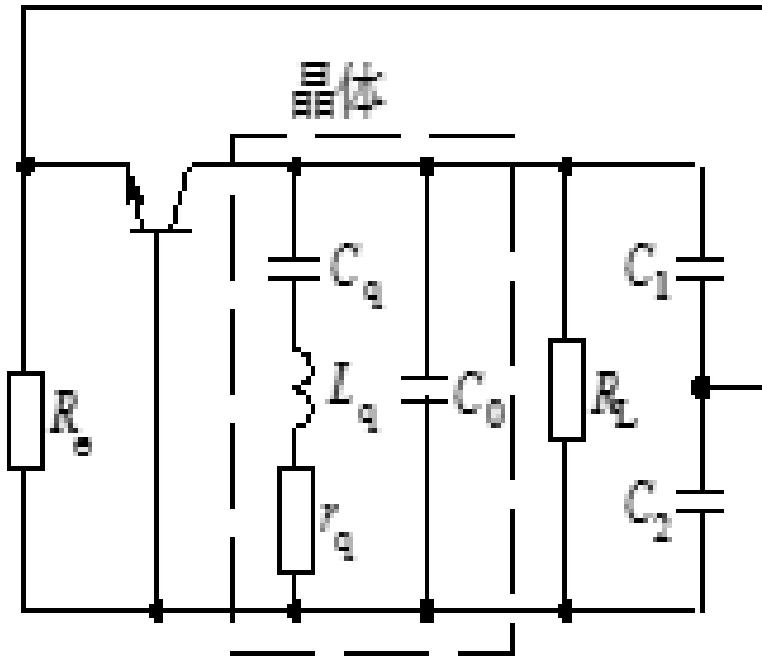
$$f_o = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_q \frac{C_q(C_o + C_L)}{C_q + C_o + C_L}}} = f_s \sqrt{1 + \frac{C_q}{C_o + C_L}} \quad f_s < f_o < f_p$$

(类似考比兹)

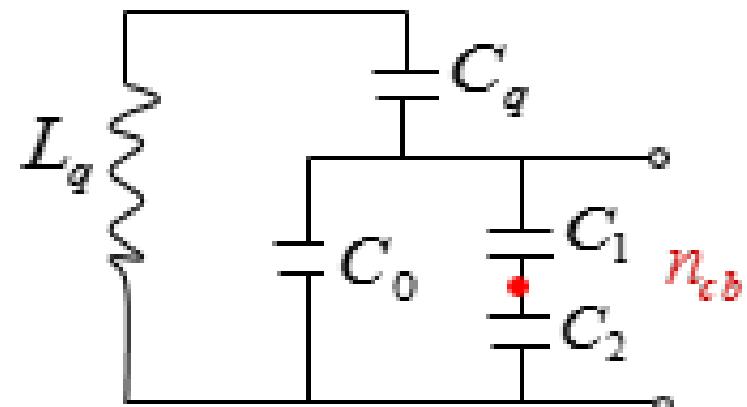
其中， $C_L$ 是和晶振两端并联的外电路各电容的等效值，即产品要求的负载电容。

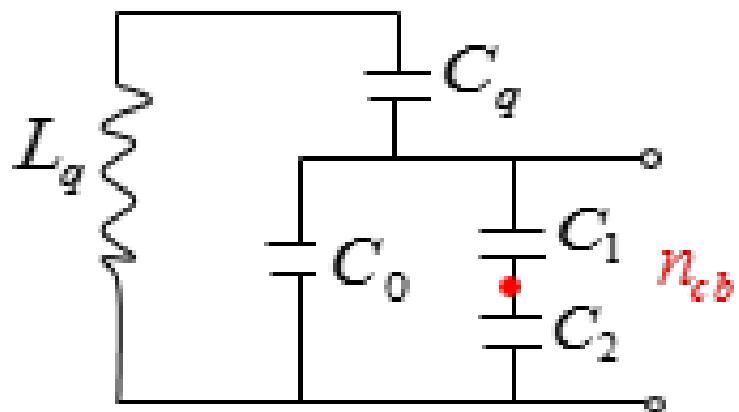
## 皮尔斯电路的特点

b. 振荡回路与晶体管、负载之间的耦合很弱，回路标准性提高。



(b)





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

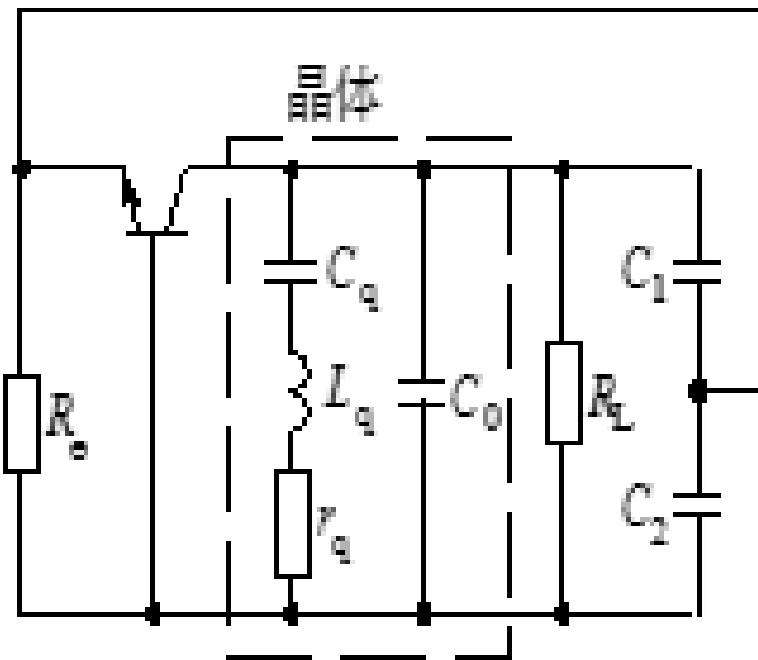
$$n_{cb} = \frac{C_q}{C_q + (C_0 + C_L)}$$

$$n_{ce} = \frac{C_2}{C_1 + C_2} \cdot n_{cb}$$

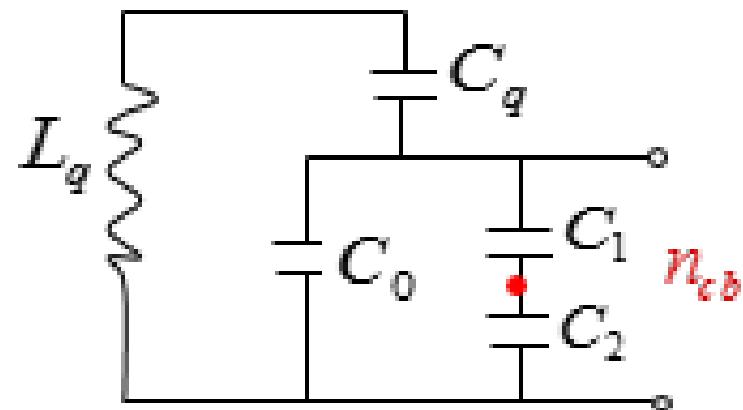
$$n_{eb} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \cdot n_{cb}$$

# 皮尔斯电路的特点

c. 晶振的谐振电阻高(达 $10^{10}\Omega$ )，即使外电路接入系数 $n_{cb}$ 很小，其等效到输出端的输出阻抗仍很大，振幅起振条件易满足。

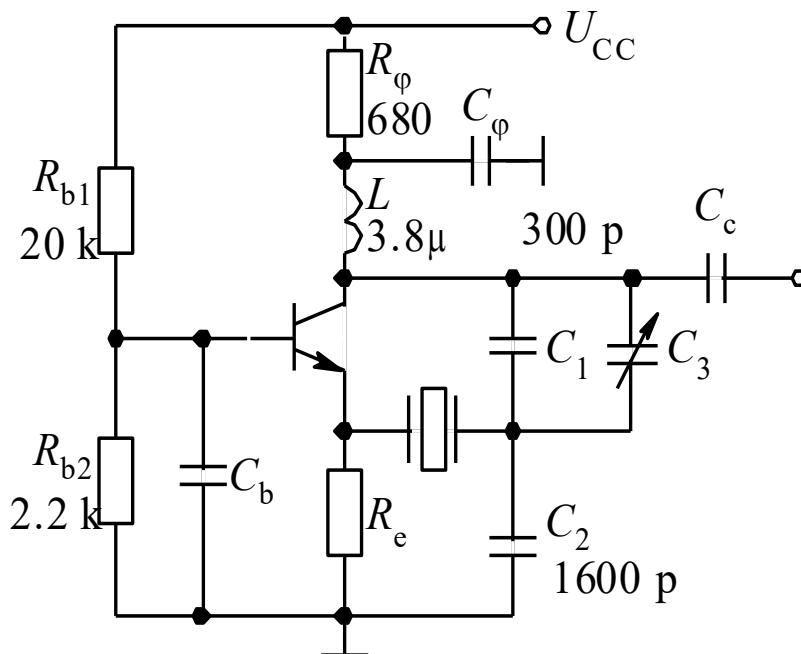


(b)

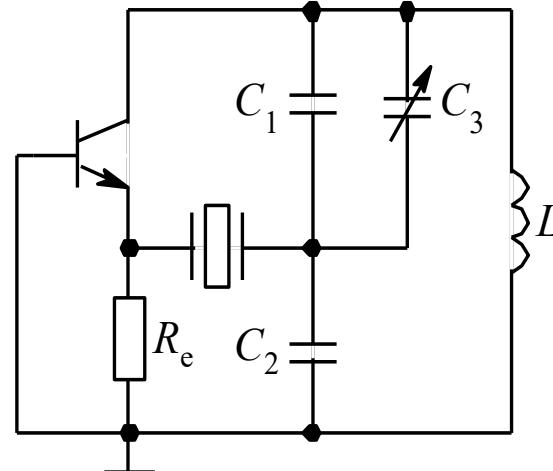


## 2. 串联型晶体振荡器

将晶体作为一个短路元件串接在正反馈支路中，工作在晶体的串联谐振频率上。

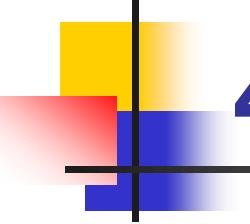


(a) 串联型晶体振荡电路



(b) 高频等效电路

$$f_o = f_s \text{ 等效为一个小电阻}$$



## 4.4.4 石英晶体振荡器的优缺点

优点：频率稳定性高。

缺点：单频工作