

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

4.5 振荡器的频率稳定问题

1. 振荡器的频率稳定度

在规定时间内，规定的温度、湿度、电源电压等变化范围内振荡频率的相对变化量。-----“不稳定度”

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{f - f_0}{f_0} \quad \text{越小，频率稳定度越高}$$

根据规定时间的长短不同，可分为长期、短期和瞬时频率稳定度。

2. 造成频率不稳定的因素

- (1) LC回路参数不稳定;
- (2) 晶体管参数不稳定。

3. 稳频措施

(1) 影响振荡频率的外界因素主要有：温度、电源、气压、振动等，减小外界因素的影响；

(2) 提高谐振回路的标准性，采用高质量的集总参数电感和电容；

(3) 为了减小寄生电容及其对回路的影响，器件和回路之间采用部分接入方式；

(4) 高稳定度LC振荡器：克拉泼电路，西勒电路
改进LC振荡器的频率稳定度最高为 $10^{-4} \sim 10^{-5}$

(5) 提高谐振回路的 Q 值

对一般LC谐振回路， Q 值提高有限，最高100，石英谐振器 Q 值可达几万或几百万。

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

4.6 石英晶体谐振器

一、石英晶体的电特性

石英片是从石英晶体柱中切割下来的一种弹性体，有一固有振动频率，其值与石英片的形状、尺寸、切型有关。

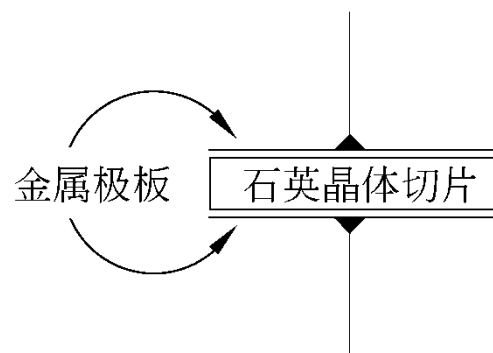
当外加交流电压的频率等于晶体固有频率时，晶体片的机械振动最大，晶体表面电荷量最多，外电路中的交流电流最强，于是产生了谐振。

1. 物理性能和化学性能十分稳定

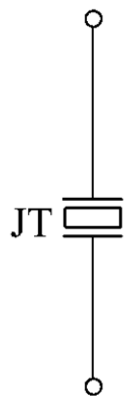
2. 振动具有多谐性

基频振动、泛音振动

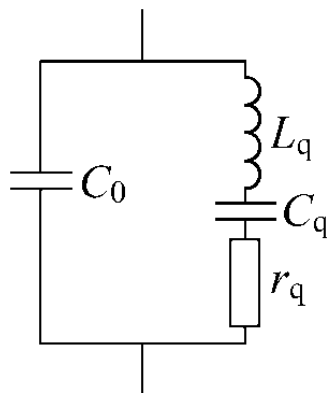
3. 具有正反压电效应——机和电的相互转换效应



二、符号和等效电路



符号



基频等效电路

C_0 ——石英谐振器的静电容，是以石英为介质在两极板间形成的电容

L_q ——相当于晶体质量

C_q ——相当于晶体的等效弹性模数

r_q ——相当于机械振动中的摩擦损耗

石英谐振器具有很大的 L_q （几十毫亨），很小的 C_q （ 10^{-2}pF 以下）和很高的 Q 。

其次 C_0 远大于 C_q ，因此接成晶体振荡电路时，外电路对晶体电特性的影响便显著减小。

三、石英晶体的阻抗特性

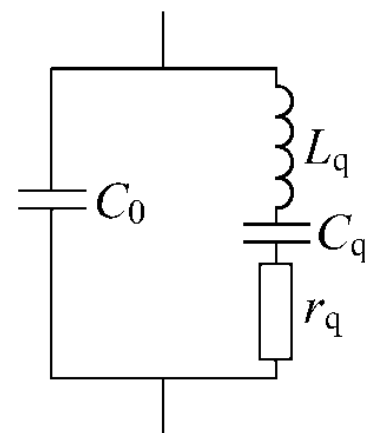
1. 串联谐振频率

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_q C_q}}$$

2. 并联谐振频率

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_q \frac{C_0 C_q}{C_0 + C_q}}} = f_s \sqrt{1 + \frac{C_q}{C_0}} \approx f_s \left(1 + \frac{1}{2} \frac{C_q}{C_0}\right)$$

f_s 、 f_p 相隔很近

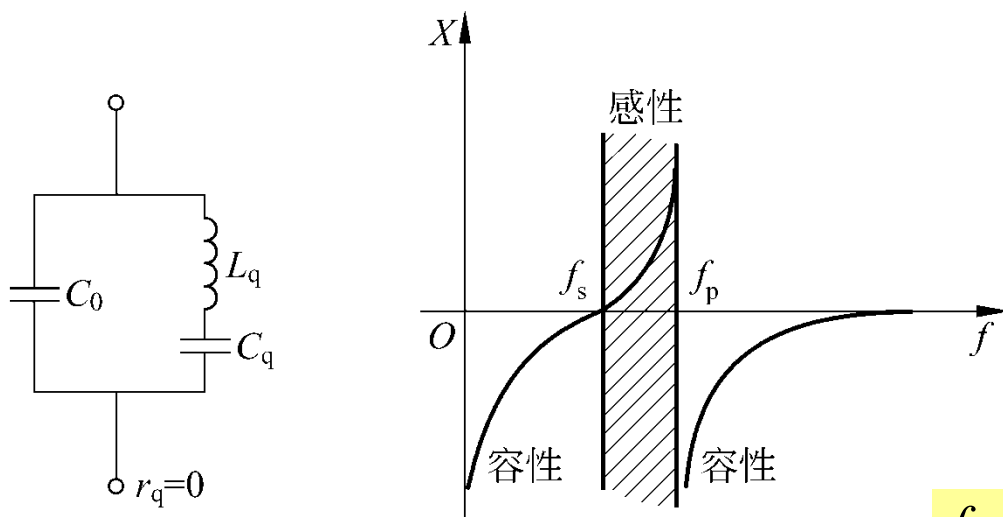


在实际振荡电路中，晶体两端往往并接有电容 C_L ，相应的并联谐振频率由 f_p 减小到 f_N ，其值为？

通常称 C_L 为晶体的负载电容，标在晶体外壳上的振荡频率（或称晶体标称频率）就是并接 C_L 后的 f_N 值。

3. 电抗-频率曲线 ($r_q=0$)

$$Z = \frac{j(\omega L_q - 1/\omega C_q)(-j/\omega C_0)}{j(\omega L_q - 1/\omega C_q - 1/\omega C_0)} = -j \frac{1}{\omega C_0} \cdot \left(1 - \frac{\omega_s^2}{\omega^2}\right) / \left(1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}\right)$$



$f < f_s, f > f_p \rightarrow$ 容性

$f_s < f < f_p \rightarrow$ 感性

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

4.7 石英晶体振荡器电路

并联型晶振电路——晶体工作于略高于串联谐振频率 f_s 呈感性的频段 ($f_s < f < f_p$) 内, 晶体等效为一个电感;

串联型晶振电路——晶体工作在串联谐振频率 f_s 上, 作为高选择性的短路元件。

晶体工作在上述两种方式, 可以保证频率稳定。

4.7.1 并联晶振电路

1. 皮尔斯 (Pierce) 振荡电路

1) 电路

晶体接在晶体管b、c极之间。由晶体与外接电容器构成并联谐振回路，按三点线路的连接原则，晶体等效为电感。

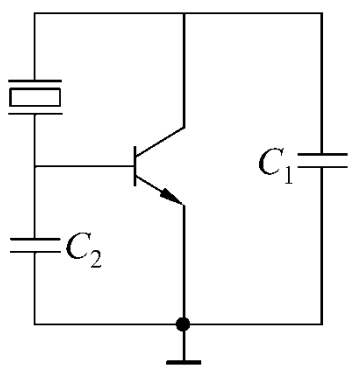


图4-25 原理电路图

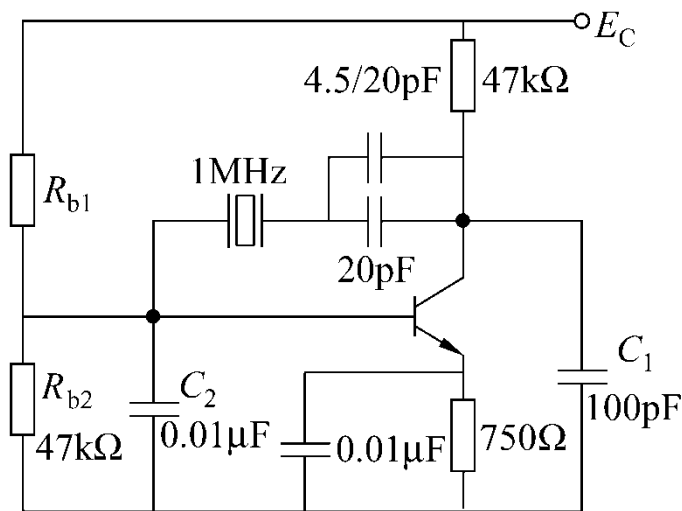
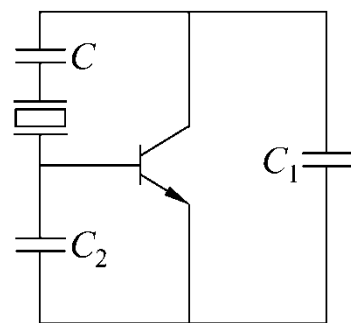
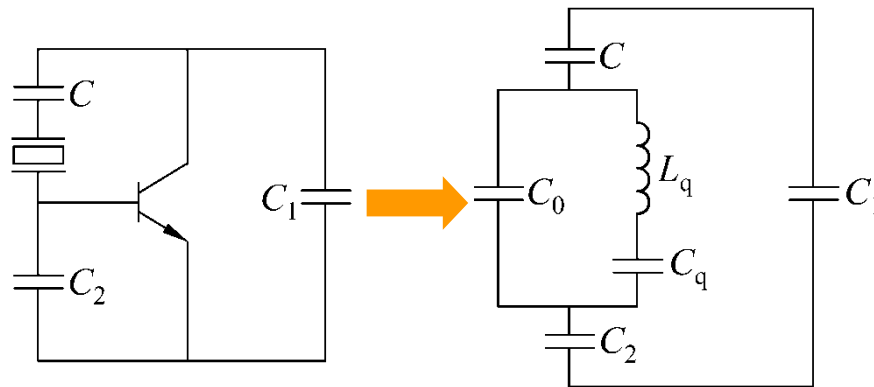


图4-26 并联晶体振荡器实例



2) 振荡频率 f_0 的确定

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



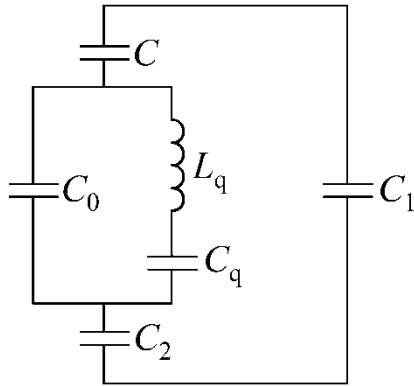
选择 $C \ll C_1$, $C \ll C_2$ 则

$$\frac{1}{C_{\Sigma}} \approx \frac{1}{C_q} + \frac{1}{C_0 + C} = \frac{C_q(C_0 + C)}{C_q + C_0 + C}$$

所以

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_q \cdot \frac{C_q(C_0 + C)}{C_q + C_0 + C}}}$$

3) f_0 总是处在 f_p 与 f_s 两频率之间



$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_q \cdot \frac{C_q(C_0 + C)}{C_q + C_0 + C}}}$$

若 C 很大, 可得 f_0 最小值为 $f_0 \approx \frac{1}{2\pi \sqrt{L_q C_q}} = f_s$

若 C 很小, 取 $C \approx 0$

$$f_0 \approx \frac{1}{2\pi \sqrt{L_q \frac{C_q C_0}{C_q + C_0}}} = f_p$$

4) 微调频率问题

实际中，由于生产工艺的不一致以及老化等原因，振荡器的振荡频率往往与晶体标称频率稍有偏差。因而，在振荡频率准确度要求很高的场合，振荡电路中必须设置频率微调元件。

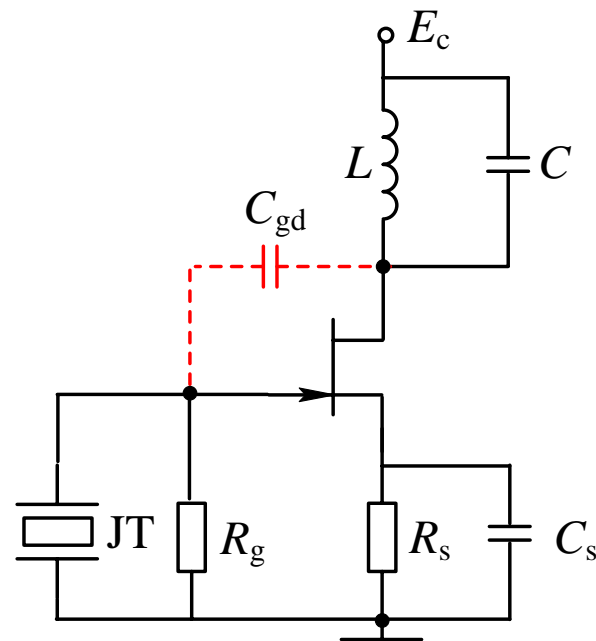
图4-26中，**C为微调电容**，用来改变并接在晶体上的负载电容，从而改变振荡器的振荡频率。

2. 密勒 (Miller) 振荡电路

晶体接在晶体管b、e极之间。

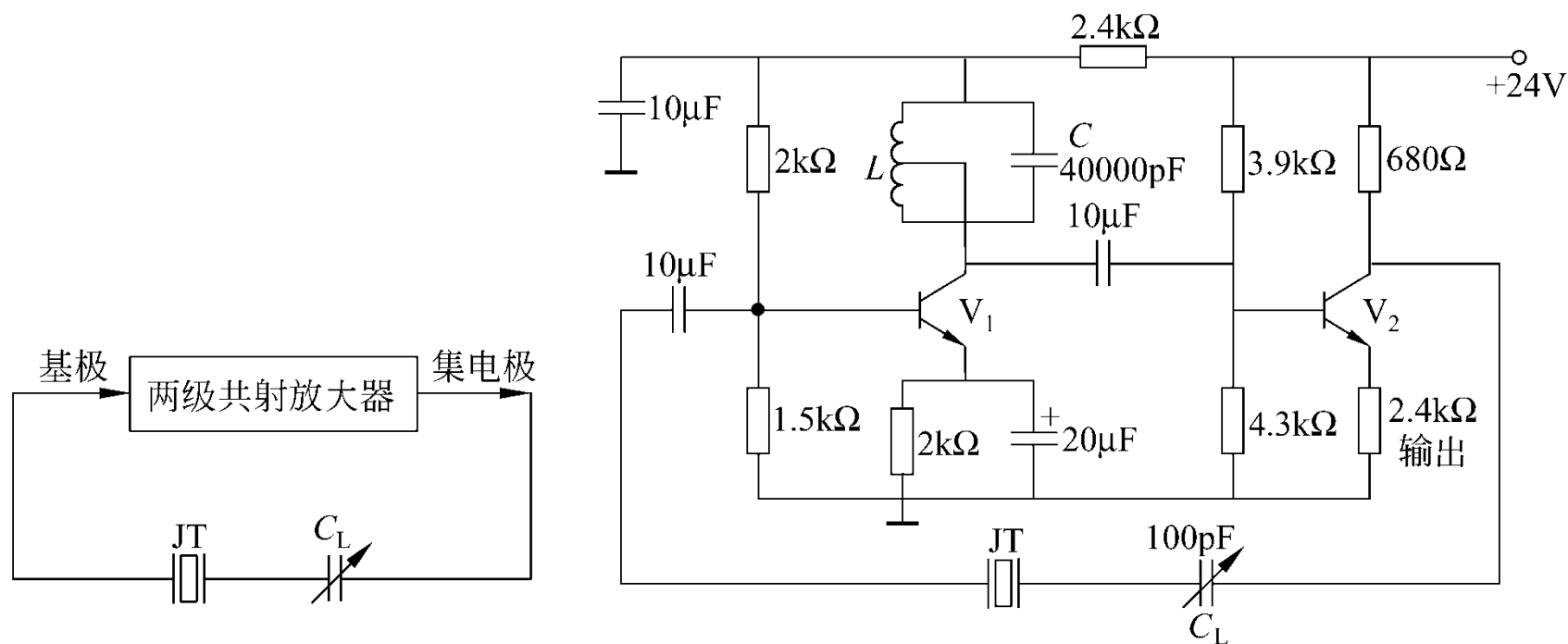
石英晶体作为电感元件连接在栅极和源极之间。LC并联回路在振荡频率上等效为电感，作为另一电感元件连接在漏极和源极之间，极间电容 C_{gd} 作为构成电感三点式电路中的电容元件。由于 C_{gd} 又称密勒电容，故此电路又称密勒振荡电路。

密勒振荡电路通常不采用晶体管，原因是正向偏置时晶体管发射结电阻太小，虽然晶振与发射结的耦合很弱，但也会在一定程度上降低回路的标准性和频率的稳定性，所以采用输入阻抗高的场效应管。



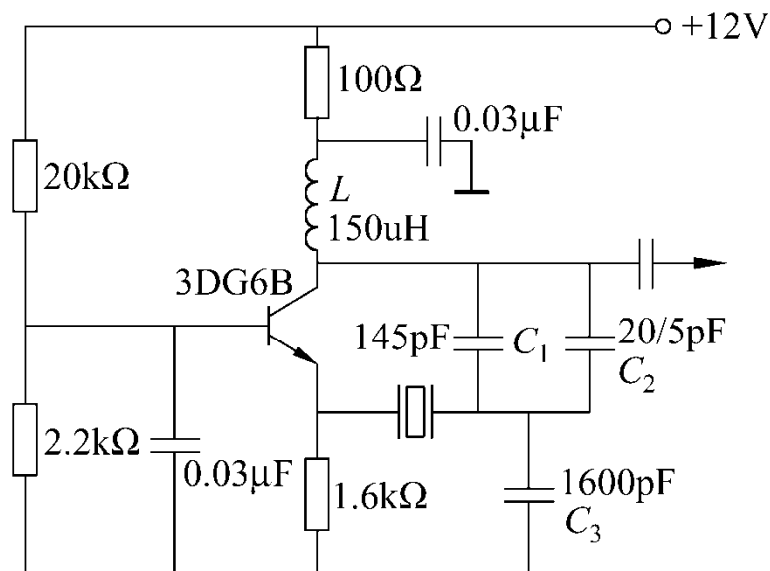
4.7.2 串联型晶振电路

串联型晶振电路是将石英晶振用于正反馈支路中，利用其串联谐振时等效为短路元件，电路反馈作用最强，满足振幅起振条件。

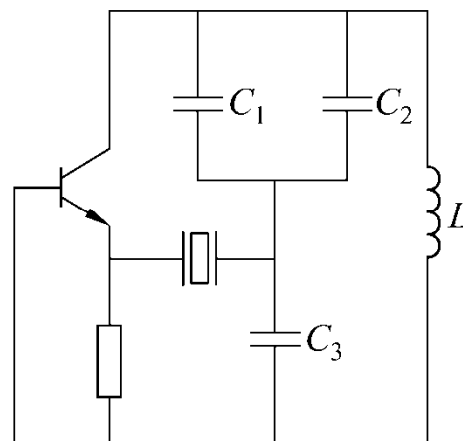


串联型晶体振荡器实例（一）

串联型晶体振荡器实例（二）



(a)



(b)

这种振荡器与三点式振荡器基本类似，只不过在正反馈支路上增加了一个晶振。

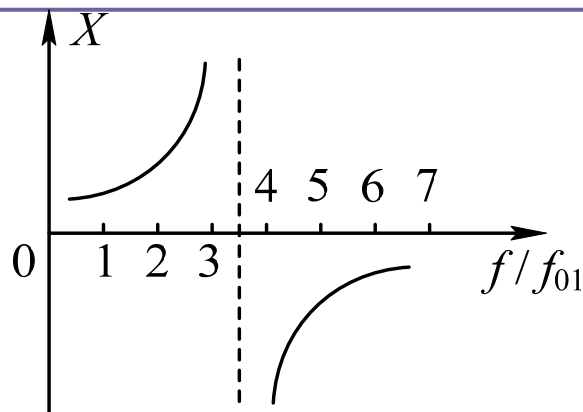
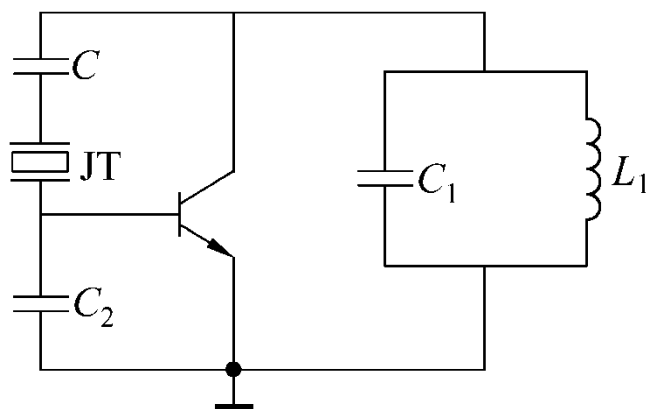
4.7.3 泛音晶振电路

所谓泛音，是指石英片振动的机械谐波。它与电气谐波的主要区别是，电气谐波与基频是整数倍的关系，且谐波和基波同时并存；而泛音是在基频奇数倍附近，且两者不能同时并存。

石英谐振器的频率越高，则要求晶片越薄，机械强度越差，用在电路中易于振碎。一般晶体频率不超过30MHz。

为了提高晶振电路的工作频率可使电路振荡频率工作在晶体的谐波（一般在三次到七次谐波）频率上，这是一种特制的晶体，叫做泛音晶体。

并联型泛音晶体振荡器



L_1C_1 回路的电抗特性

假如要求晶体工作在5次泛音

调谐好的 L_1C_1 回路对基频和3次泛音呈感性，不满足三点式电路的相位条件。对5次泛音， L_1C_1 回路相当于一电容，满足了起振的相位条件。若又满足振幅条件，电路可以振荡。

至于7次及以上的泛音， L_1C_1 回路虽呈容性，但其等效电容量过小，不满足振幅起振条件，因而也不能在这些频率上振荡。

本章小结

1. 反馈振荡器是由**放大器**和**反馈网络**组成的具有选频能力的正反馈系统。反馈振荡器必须满足**起振**、**平衡**、**稳幅**三条件。

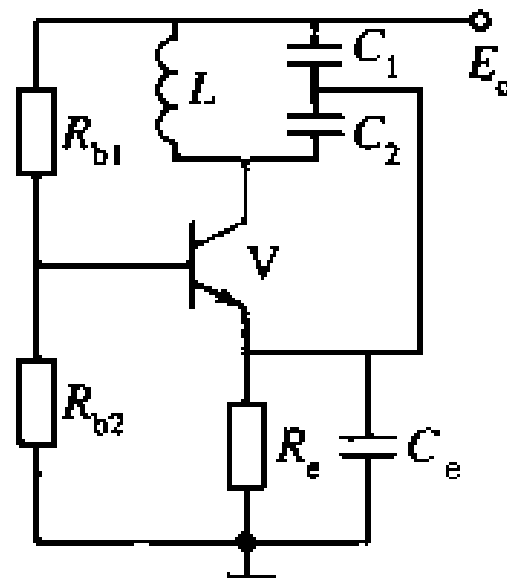
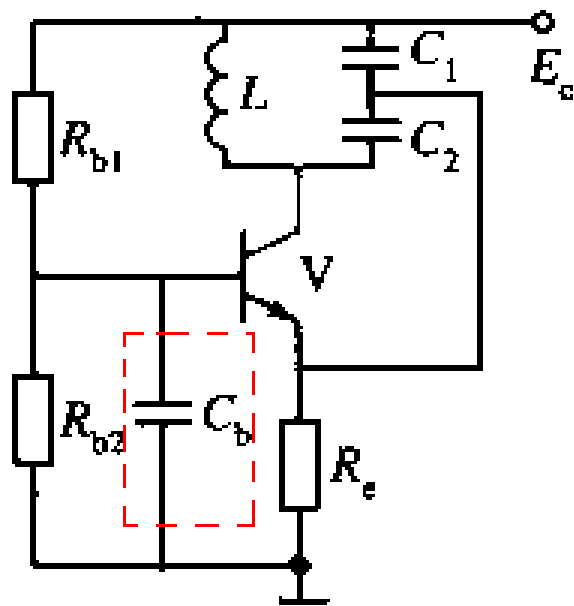
2. 三点式振荡器是LC正弦波振荡器的主要形式，要求**掌握三点式振荡器的组成原则**，**电容三点式**和**电感三点式**振荡器的常用电路、交流等效电路和优缺点等。

3. **频率稳定度**是振荡器的一个重要技术指标，提高频稳度的措施包括减小外界因素变化的影响和提高电路本身抗外界因素变化影响能力两个方面。

4. 为了提高频率稳定度，首先从减小寄生电容对回路的影响入手，提出了改善普通三点式振荡电路频率稳定性的两种改进电路：**克拉泼和西勒电路**。然后从提高回路有载 Q 值出发，设计出高稳定度的**石英晶体振荡器**。

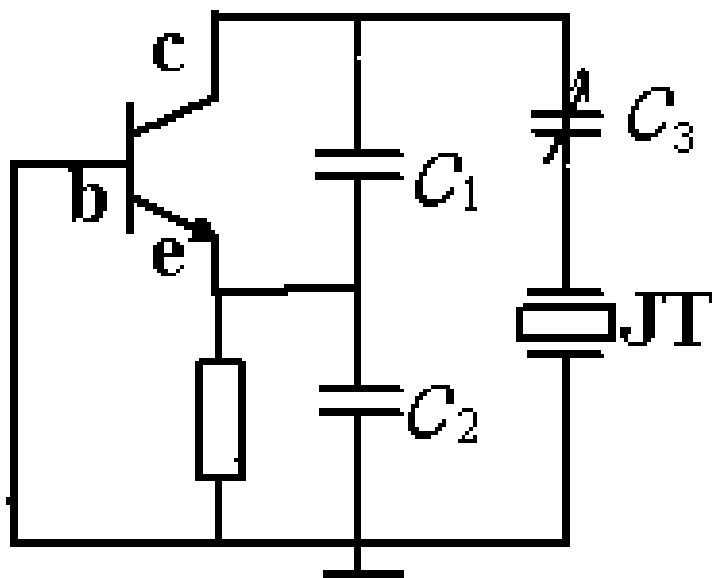
5. 晶体振荡器的频率稳定度高，但振荡频率的可调范围窄。晶体振荡电路可分为**并联型**和**串联型**两种形式。前一形式，晶体在振荡器中起**高 Q 电感器**作用；而后一电路，晶体起**高 Q 短路器**作用。第三类晶体振荡器是利用石英谐振器的泛音振动特性对频率实行控制的振荡器，称为**泛音晶体振荡器**。泛音晶振常用作产生**较高频率**的振动器，但需采取措施抑制低次谐波的产生。

1. 图示电路可否进行正弦振荡, 不能进行正弦振荡的说明原因, 并改正之。



应把电容**Ce**改与**Rb2**并联即可。

2. 下图电路中石英晶体所起的作用是什么？



石英晶体的作用：

晶体工作频率为 $\omega_s < \omega < \omega_p$,

等效为一个感性元件，

与 c_1, c_2 组成并联型晶体振荡器；

并能提高振荡器的频率稳定度。

（高 Q 电感器）