

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

4.1 概述

本章主要介绍正弦波振荡器的振荡与稳频原理，并对几种典型振荡电路进行分析。

振荡器是指在**没有外加信号**作用下的一种自动将直流电源的能量变换为一定波形的交变振荡能量的装置。

4.1 概述

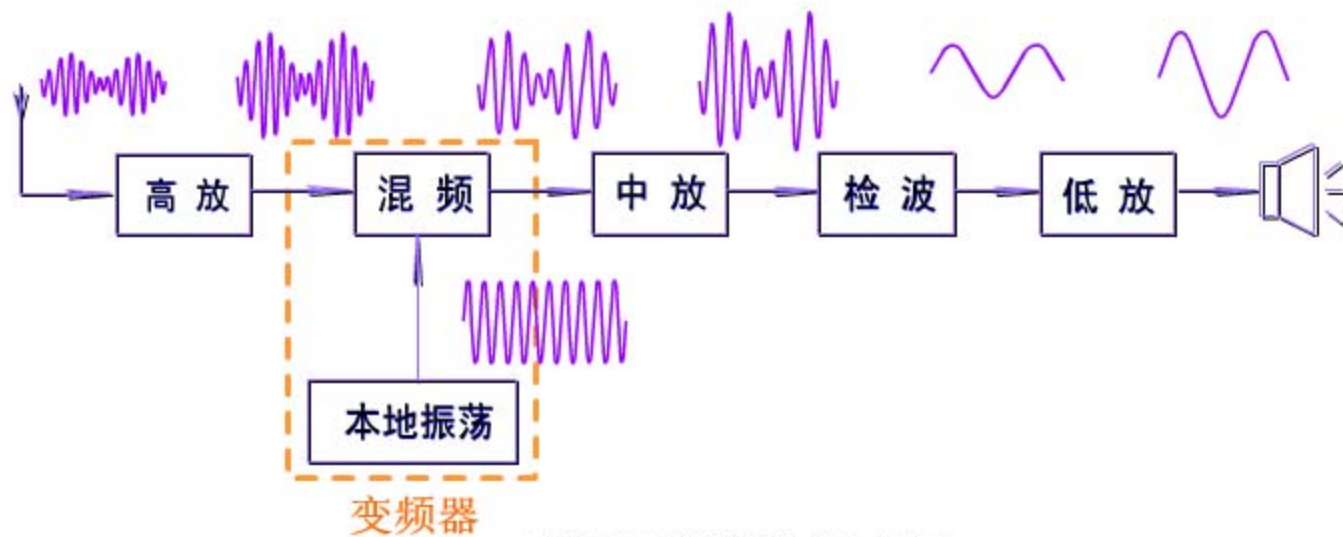
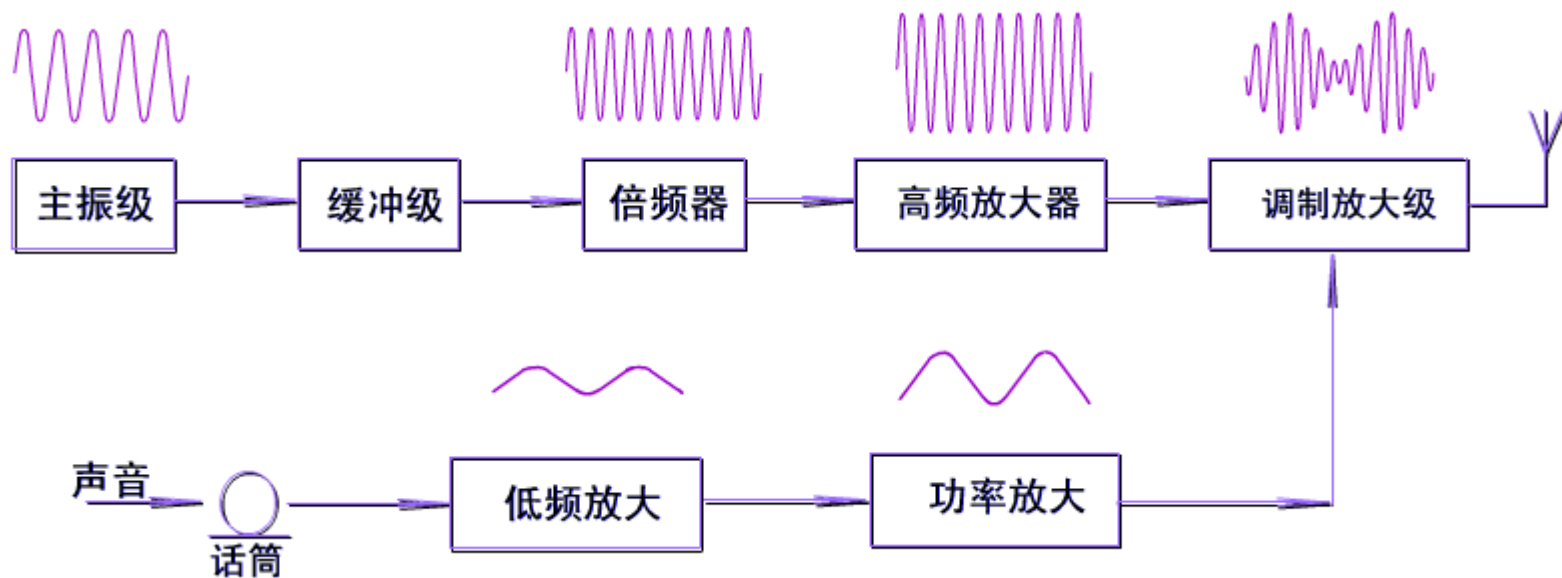
一、正弦波振荡器的应用

发射机中的载波信号源;

超外差式接收机中的“本地振荡”信号源;

各种测量仪器,如信号发生器、频率计等的核心部件大多包含有振荡器;

在工业生产中的高频加热、超声焊接以及电子医疗器械也都广泛应用振荡器。



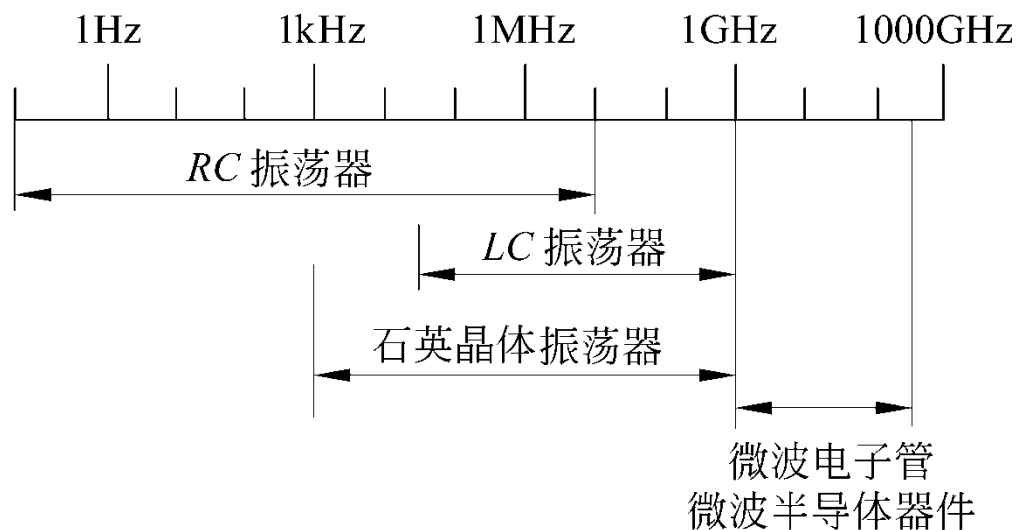
超外差接收机组成方框图

二、分类

按波形分：正弦波振荡器和非正弦波振荡器

按工作方式分：负阻型振荡器和反馈型振荡器

按选频网络所采用的原件分：LC振荡器、RC振荡器和晶体振荡器等类型



本章主要讨论反馈式正弦波振荡器

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

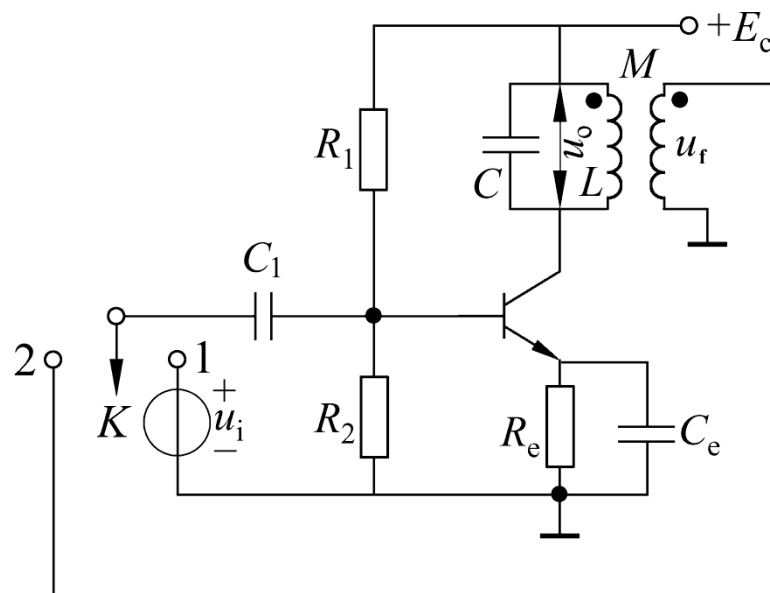
4.7 石英晶体振荡器电路

4.2 反馈型正弦波自激振荡器基本原理

4.2.1 从调谐放大到自激振荡

实际中的反馈振荡器是由
反馈放大器演变而来。

由放大器和反馈网络组成



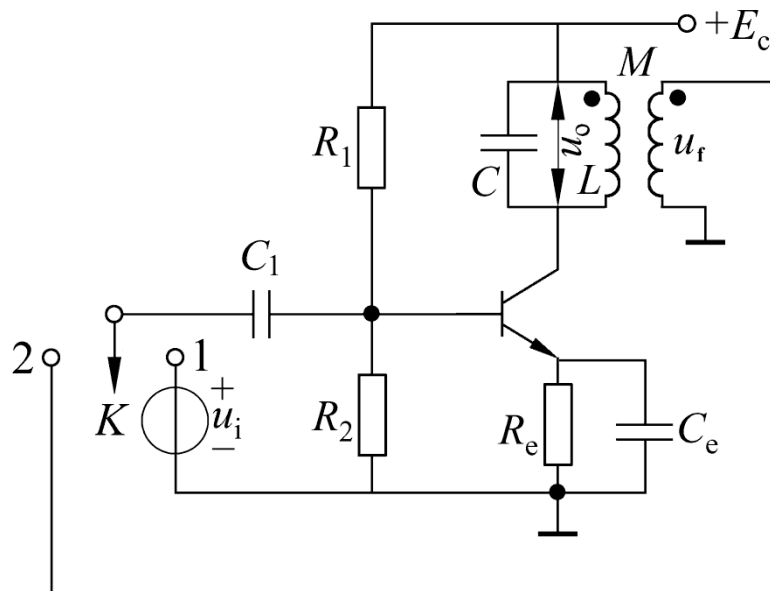
u_i ——放大器输入电压； u_o -----放大器输出电压；

u_f ——反馈网络输出的反馈电压

4.2 反馈型正弦波自激振荡器基本原理

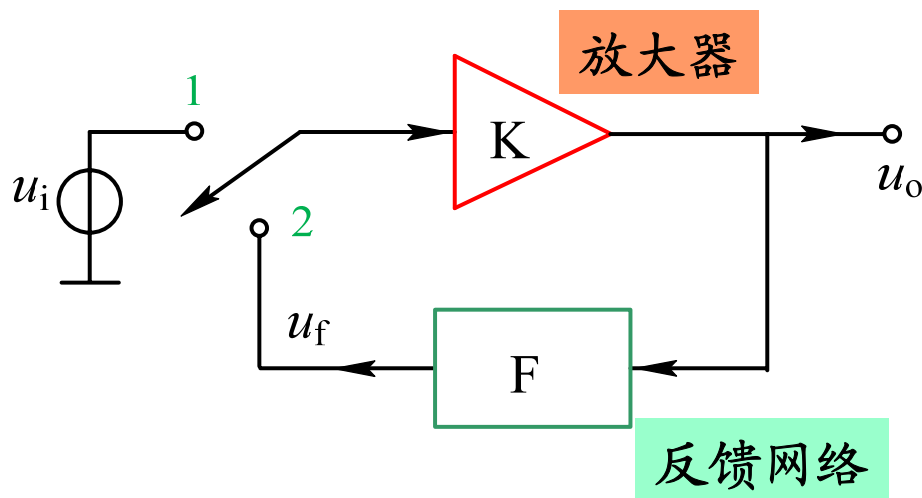
开关K拨向“1”时，电路为调谐放大器。

调整互感 M 、同名端及回路参数可以使 $u_f = u_i$ 。



若将开关K快速拨向“2”点，则集电极电路和基极电路都维持开关K接到“1”点时的状态。
调谐放大器就变为自激振荡器。

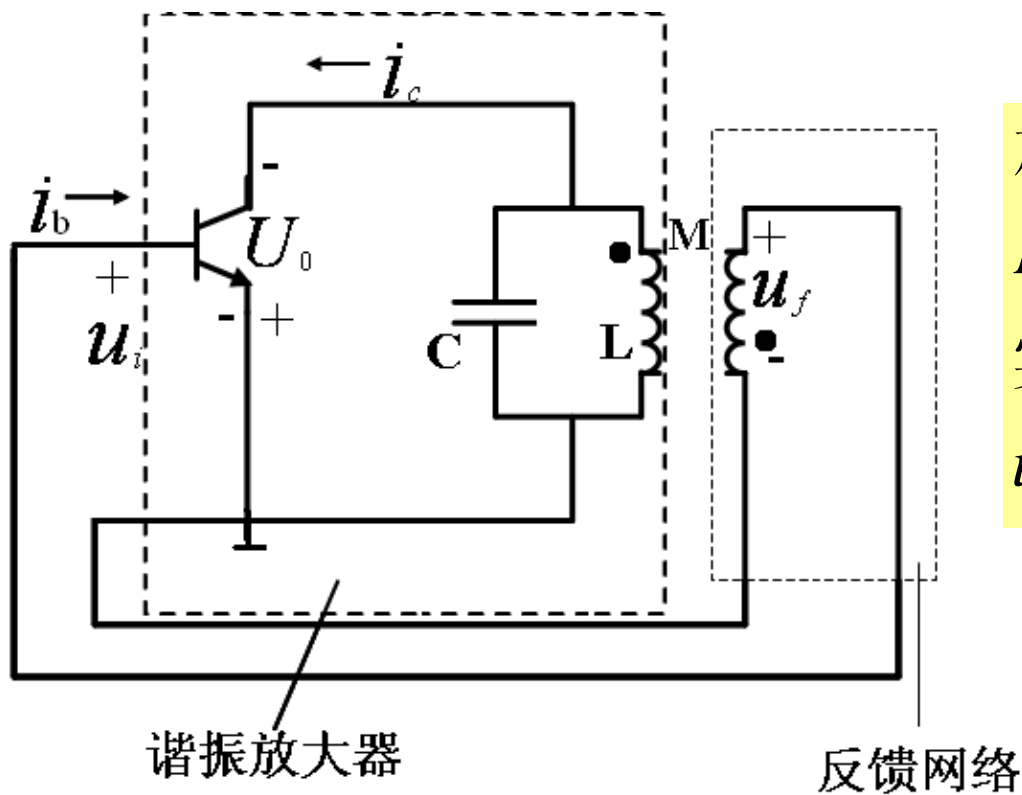
框图



若 $u_f = u_i$ ，放大电路依靠来源于输出端的反馈电压工作。此时即使没有输入信号，放大器仍有电压输出，放大器变为振荡器。

由于 $u_f = \dot{F} \cdot u_o = \dot{F} \cdot \dot{K} \cdot u_i$ ，因此 $\dot{K} \cdot \dot{F} = 1$ 。

u_i 与 u_f 同相 \rightarrow 正反馈 ($\varphi_K + \varphi_F = 2n\pi$)



放大器倒相 180° ;
 M 的同名端接线必须也要
 实现 180° 相移;
 u_f 与 u_i 才能同相

-
- 在放大器中，振荡是有害而不允许发生的现象，而反馈式振荡器却是利用正反馈原理形成所需要的信号。振荡器要满足的条件是什么？

 - 对反馈振荡器电路性能的要求可归纳为：
 - （1）保证振荡器接通电源后能够从无到有，输出具有某一固定频率的正弦波；
 - （2）振荡器在进入稳态后能维持一个等幅连续的振荡；
 - （3）当外界因素发生变化时，电路的稳定状态不受到破坏。

正弦波振荡器构成电路：放大、反馈、选频、稳幅

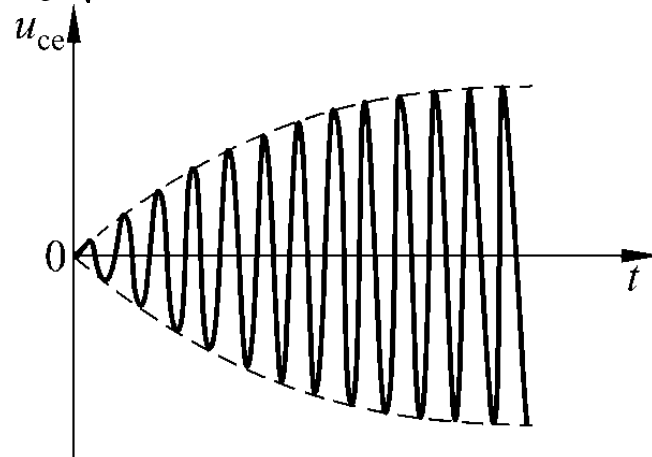
4.2.2 振荡的建立和起振条件

1. 振荡的建立过程

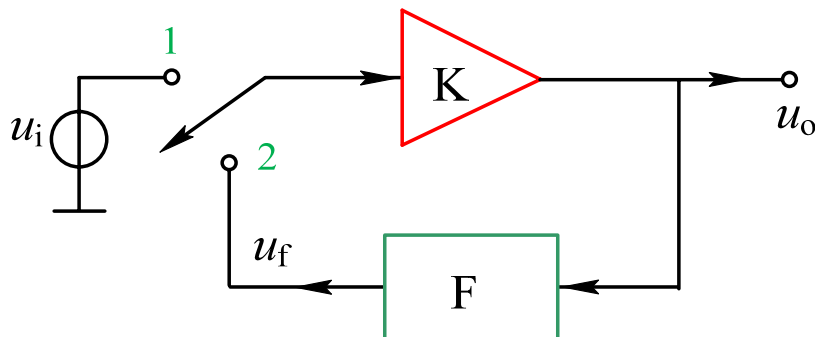
在电源开关闭合的瞬间，存在各种电的扰动。突变的电流包含着许多谐波成分，它们通过LC谐振回路，在它两端产生电压，并通过互感耦合变压器反馈到基级回路，这就是激励信号。

起始振荡信号十分微弱，但是由于不断对它进行放大—选频—反馈—再放大等多次循环，于是一个与振荡回路固有频率相同的自激振荡便由小到大地建立起来。

由于晶体管特性的非线性， u_{ce} 不会无限增长。当 u_{be} 增大到一定程度，晶体管会出现饱和或截止，振幅会自动稳定到一定的幅度。因此振荡的幅度不会无限增大。



2. 起振条件



起振时 $u_f > u_i$ ，因此，振荡器的起振条件为

$$\dot{KF} > 1 \quad \longrightarrow \quad \begin{cases} KF > 1 \\ \varphi_K + \varphi_F = 2n\pi \quad (n = 0, \pm 1, \dots) \end{cases}$$

物理意义：振幅起振条件要求反馈电压幅度要一次比一次大，而相位起振条件则要求环路保持正反馈。

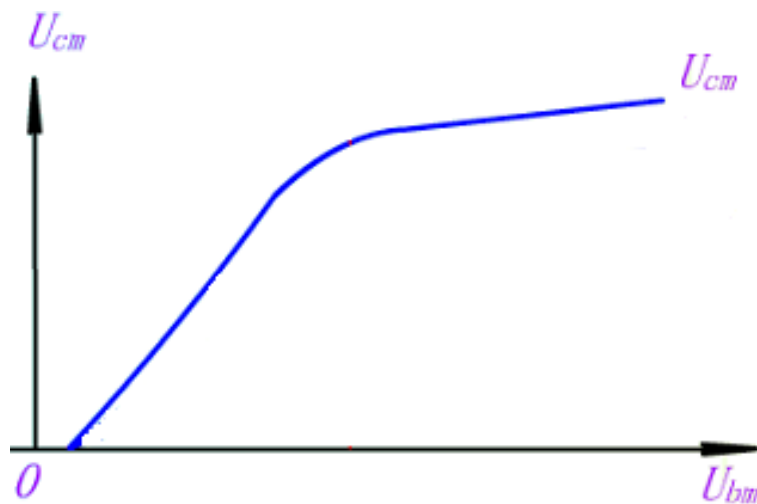
4.2.3 振荡器的平衡条件

所谓平衡条件是指振荡已经建立，为了维持自激振荡必须满足的幅度与相位关系。

一般情况下，放大器具有非线性特性，反馈电路是线性电路。振荡器起振以后，随着振荡幅度的不断增长，放大器便由甲类工作情况进入到乙类甚至丙类。

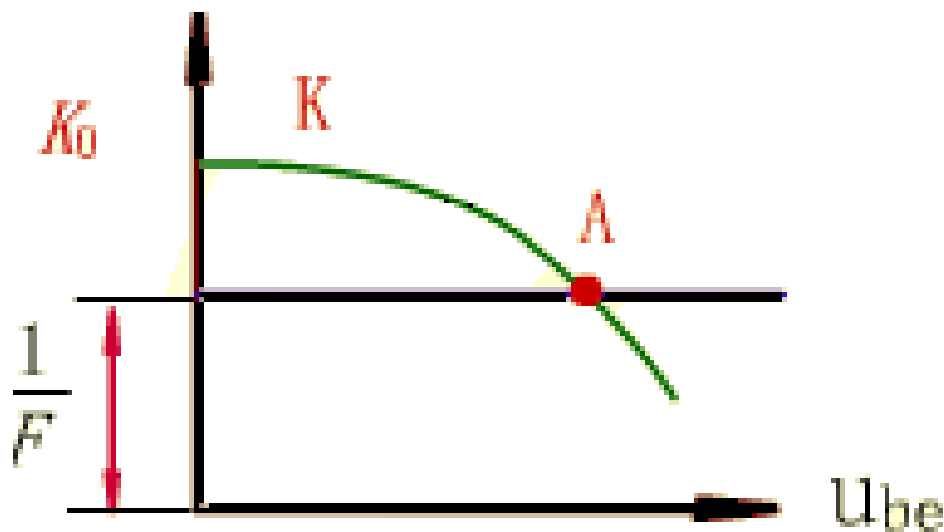
由第三章的知识，丙类谐振功率放大器的工作特性：

放大倍数 $K = U_{cm}/U_{bm}$ 逐渐下降



□ F 由无源线性网络决定，与振荡幅度无关，设计时可稍大

$K \downarrow, KF$ 下降，直到 $KF = 1$ ，进入平衡状态。



4. 2. 3振荡器的平衡条件

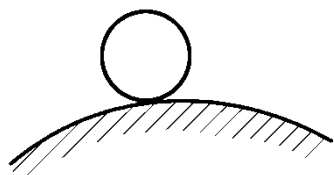
振荡器的平衡条件为

$$\dot{K}\dot{F} = 1 \longrightarrow \begin{cases} KF = 1 & \text{振幅平衡条件} \\ \varphi_K + \varphi_F = 2n\pi & (n = 0, \pm 1, \dots) \text{相位平衡条件} \end{cases}$$

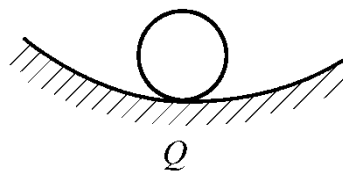
4.2.4 振荡器的稳定条件

□ 稳定平衡和不稳定平衡

平衡条件只是建立振荡的必要条件，但不是充分条件。已经建立的振荡能否维持，还必须看平衡状态是否稳定。



(a) 不稳定平衡



(b) 稳定平衡

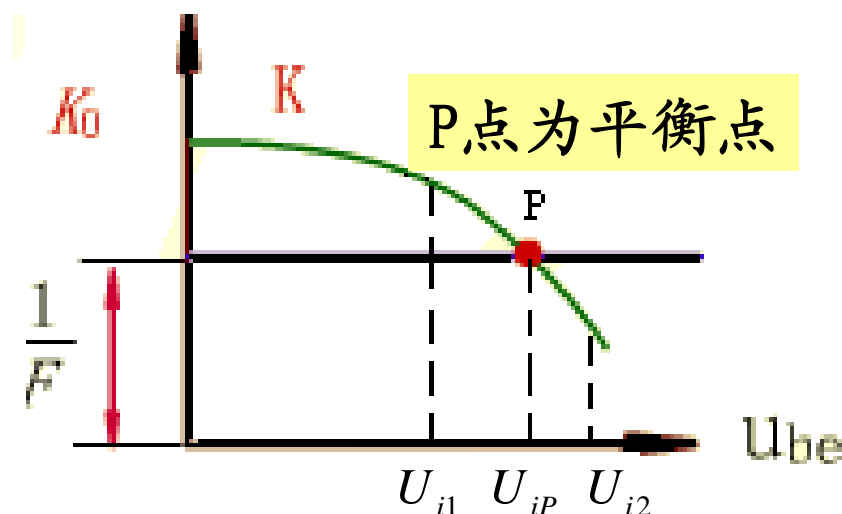
- 所谓振荡器的稳定平衡，指在外因作用下，振荡器偏离原平衡状态，一旦外因消失，它能自动恢复到原来的平衡状态。
- 外因指的是温度变化、电压波动、噪声、外界干扰。

4.2.4 振荡器的稳定条件

□ 振幅稳定条件:

在平衡点附近，放大倍数随振幅的变化特性具有负的斜率。

$$\left. \frac{\partial K}{\partial u_i} \right|_P < 0$$



如果 u_{ip} 略有减小 $\rightarrow u_{i1}$, 这时 $KF > 1$ 作增幅振荡,

幅度不断增长, 又自动回到 P 点, 重新达到平衡;

同样 u_{ip} 略有增加 $\rightarrow u_{i2}$, $KF < 1$, 振荡器作减幅振

荡, 重新回 P 点, 所以 P 点是一个稳定的平衡

4.2.4 振荡器的稳定条件

□ 相位稳定条件

相位稳定条件指相位平衡条件遭到破坏时，线路本身能重新稳定在原有频率上的条件。相位稳定条件是：相位特性曲线在工作频率附近的斜率是负的。

例如：LC并联谐振电路中

$$\varphi_{\Sigma} = \varphi_K + \varphi_F$$

$\varphi_F \rightarrow$ 与频率近似无关

$\varphi_K \rightarrow$ 取决于并联谐振回路相频特性

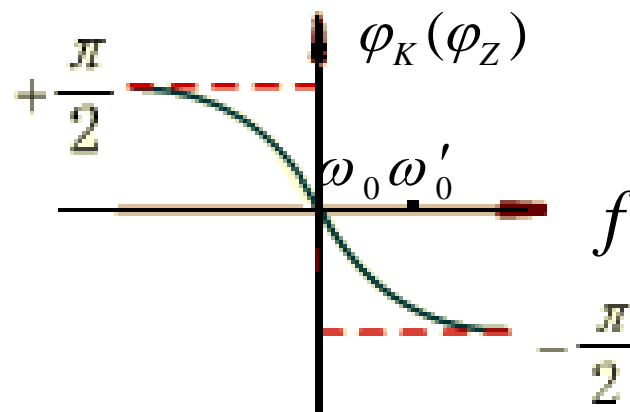
$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$$

当外界干扰使 $\varphi_{\Sigma} \uparrow$ ，引入相位增量 $\Delta\varphi$ ，频率 $\omega_0 \rightarrow \omega'_0$

LC回路相位的减少补偿了原来由外界因素引起的相位的增加，所以LC谐振回路有补偿相位变化的作用。

相位稳定条件：

$$\left. \frac{\partial \varphi_{\Sigma}}{\partial \omega} \right|_{\omega=\omega_0} < 0$$



4.2.5对振荡三条件的讨论

1.起振、平衡、稳定三个条件都必须满足，缺一不可。
在实际振荡电路中，必须满足起振和平衡条件，而稳定条件则是隐含在电路结构中。

2.如果电路结构合理，只要满足起振条件，就能自动进入平衡状态，产生持续振荡。

3.振荡器的分析可分为定性和定量两个方面。

定性分析判断电路结构是否合理，包括电路中是否有选频网络，选频网络的相频特性是否为负斜率，电路中是否具有正反馈。

定量分析仅需分析电路是否满足起振条件，由于起振时，振荡管处于线性放大状态，且输入信号很微弱，可以采用微变等效电路的方法进行分析。

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

4.3 三点式LC振荡器

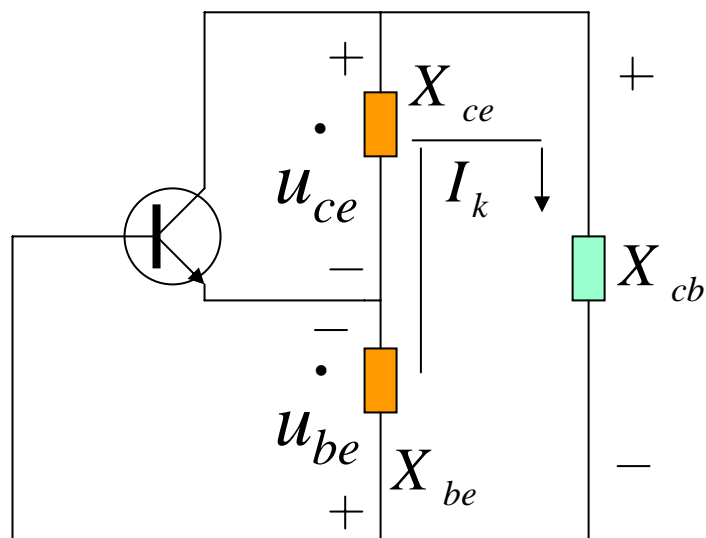
4.3.1 三点式LC振荡器组成法则（相位平衡条件）

1. 电路

LC回路引出三个端点，分别同晶体管的三个电极相连

由相位平衡条件判断 X_{be} 、 X_{ce} 、 X_{cb} 的性质

若回路元件的电阻很小，忽略不计，元件可看成纯电抗



2. 证明

忽略三极管输入和输出阻抗，且回路品质因数足够高，
则当回路谐振， $X_{be} + X_{ce} + X_{cb} = 0$

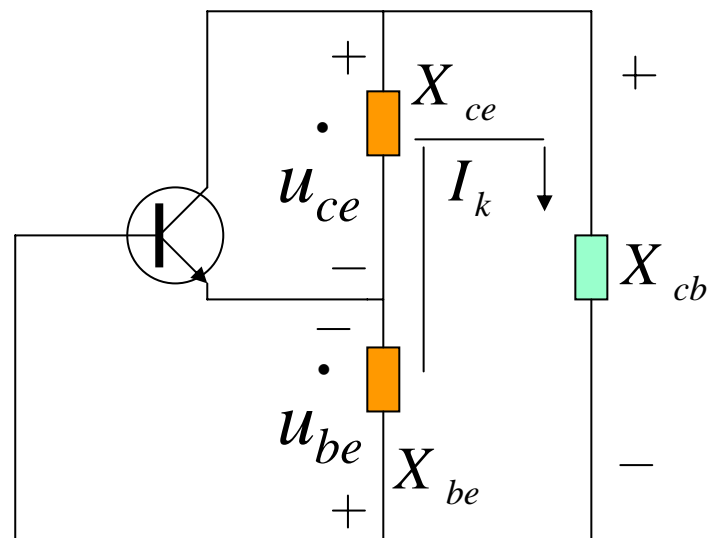
$$U_f = \frac{jX_{be}}{j(X_{be} + X_{bc})} \cdot U_{ce} = -\frac{X_{be}}{X_{ce}} U_{ce}$$

为了满足相位平衡条件， X_{be} 与 X_{ce} 必须为同性质电抗。

$$\varphi_K = \pi \quad \varphi_F = \pi$$

$$X_{cb} = -(X_{be} + X_{ce})$$

X_{cb} 性质相反



4.3 三点式LC振荡器

3. 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。

