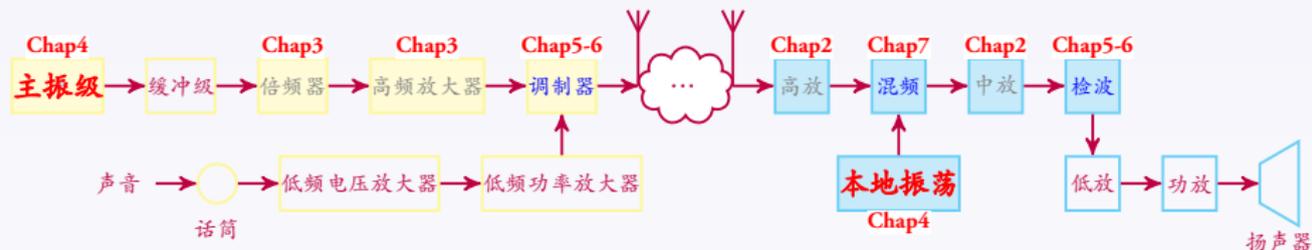


课程主要内容



- ① Chap2 谐振回路 高频电路基础
- ② Chap2 小信号调谐放大器 放大选频
- ③ Chap3 调谐功率放大器 功率效率谐波抑制制度
- ④ Chap3 倍频器
- ⑤ Chap4 正弦波振荡器
- ⑥ Chap5 振幅调制与解调
- ⑦ Chap6 角度调制与解调
- ⑧ Chap7 变频器
- ⑨ Chap8 锁相环

- ① 电阻、电容、电感等无源线性元件
- ② 二极管、三极管等有源非线性器件
- ③ LC 谐振回路、基本放大电路、振荡器电路等

着重讨论发送设备和接收设备各单元的工作原理和组成，以及构成发送、接收设备的各种单元电路的工作原理、典型电路和分析方法。

基本概念、基本原理、基本电路、基本分析方法

正弦波振荡器

郑海永

选课号：0202004 课程号：071502101211

上课时间地点：周 1/34 节/7108 周 4/12 节/7108

中国海洋大学 电子工程系

2012 年 11 月



本章主要内容

- ① 基本概念
- ② 反馈型正弦波自激振荡器基本原理
- ③ 三点式 LC 振荡器
- ④ 改进型电容三点式振荡器
- ⑤ 振荡器的频率稳定问题
- ⑥ 石英晶体谐振器
- ⑦ 石英晶体振荡器电路

目录

- 1 基本概念
 - 概述
- 2 反馈型正弦波自激振荡器基本原理
 - 从调谐放大到自激振荡
 - 自激振荡的平衡
 - 振荡的建立和振荡条件
 - 振荡器的稳定条件

内容提要

1 基本概念

- 概述

2 反馈型正弦波自激振荡器基本原理

- 从调谐放大到自激振荡
- 自激振荡的平衡
- 振荡的建立和振荡条件
- 振荡器的稳定条件

内容提要

1 基本概念

- 概述

2 反馈型正弦波自激振荡器基本原理

- 从调谐放大到自激振荡
- 自激振荡的平衡
- 振荡的建立和振荡条件
- 振荡器的稳定条件

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

正弦波振荡器

- ① 在信息传输系统的各种发射机中产生载波信号。
- ② 在超外差式的各种接收机中产生本地振荡信号。
- ③ 在研制、调测各类电子设备时的信号源和各种测量仪器中（高频信号发生器等）。
- ④ 在工业生产中的高频加热、超声焊接以及电子医疗器械中。

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

正弦波振荡器

- ① 在信息传输系统的各种发射机中产生载波信号。
- ② 在超外差式的各种接收机中产生本地振荡信号。
- ③ 在研制、调测各类电子设备时的信号源和各种测量仪器中（高频信号发生器等）。
- ④ 在工业生产中的高频加热、超声焊接以及电子医疗器械中。

种类

- 从所采用的分析方法和振荡器的特性可分为**反馈式振荡器**和**负阻式振荡器**。
- 根据振荡器所产生的波形可分为**正弦波振荡器**和**非正弦波振荡器**。

反馈振荡器

选频网络 决定振荡频率。RC 振荡器（低频）；LC 振荡器和晶体振荡器（高频）。

正反馈放大器 维持振荡。晶体管、场效应管等分立器件；集成电路。

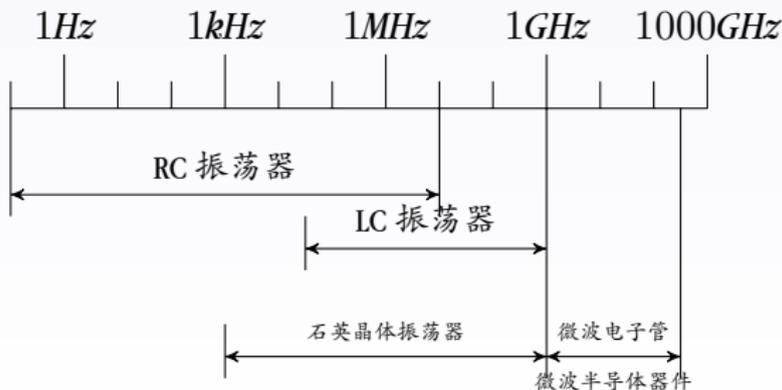
种类

- 从所采用的分析方法和振荡器的特性可分为**反馈式振荡器**和**负阻式振荡器**。
- 根据振荡器所产生的波形可分为**正弦波振荡器**和**非正弦波振荡器**。

反馈振荡器

选频网络 决定振荡频率。RC 振荡器（低频）；LC 振荡器和晶体振荡器（高频）。

正反馈放大器 维持振荡。晶体管、场效应管等分立器件；集成电路。



振荡器组成

放大电路 保证电路能够从起振到动态平衡的过程，使电路获得一定幅值的输出量，实现能量的控制。

选频网络 确定电路的振荡频率，使电路产生单一频率的振荡，即保证电路产生正弦波振荡。

正反馈网络 引入正反馈，使反馈信号等于放大电路输入信号。

稳幅环节 使输出信号幅值稳定（非线性环节）。

内容提要

1 基本概念

- 概述

2 反馈型正弦波自激振荡器基本原理

- 从调谐放大到自激振荡
- 自激振荡的平衡
- 振荡的建立和振荡条件
- 振荡器的稳定条件

互感反馈振荡器

- ① 反馈型正弦波自激振荡器的基本原理
- ② 振荡产生的条件
- ③ 振荡的建立
- ④ 振荡的稳定

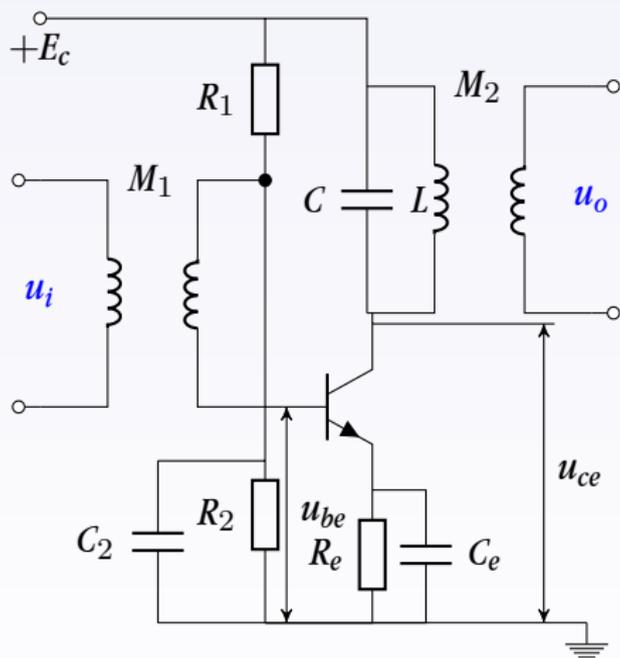
内容提要

1 基本概念

- 概述

2 反馈型正弦波自激振荡器基本原理

- 从调谐放大到自激振荡
- 自激振荡的平衡
- 振荡的建立和振荡条件
- 振荡器的稳定条件



内容提要

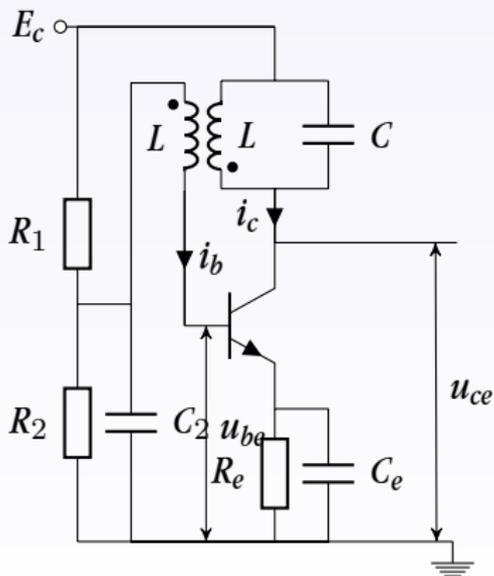
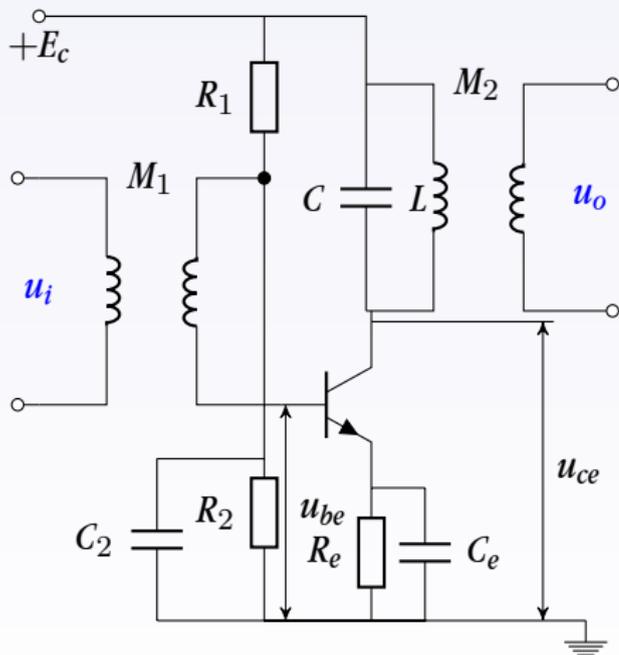
1 基本概念

- 概述

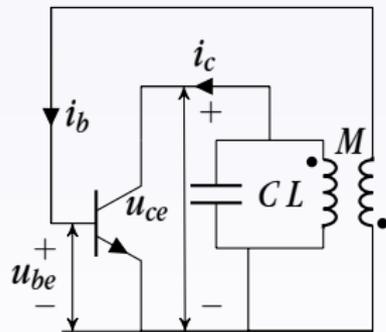
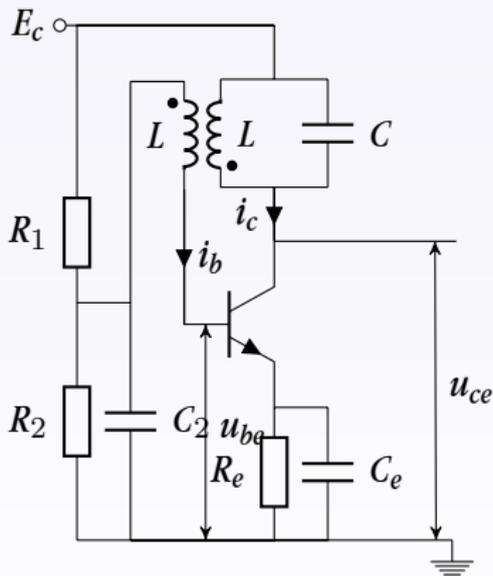
2 反馈型正弦波自激振荡器基本原理

- 从调谐放大到自激振荡
- 自激振荡的平衡
- 振荡的建立和振荡条件
- 振荡器的稳定条件

互感反馈自激振荡器

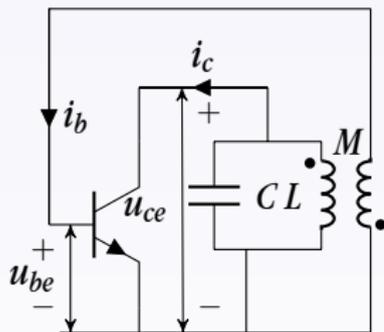
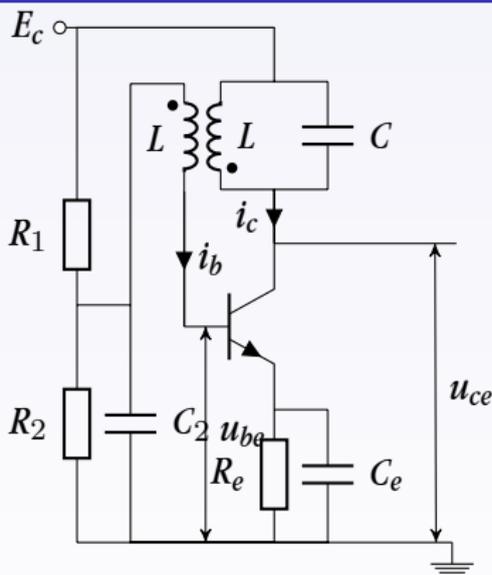


互感反馈自激振荡器



交流等效电路

互感反馈自激振荡器

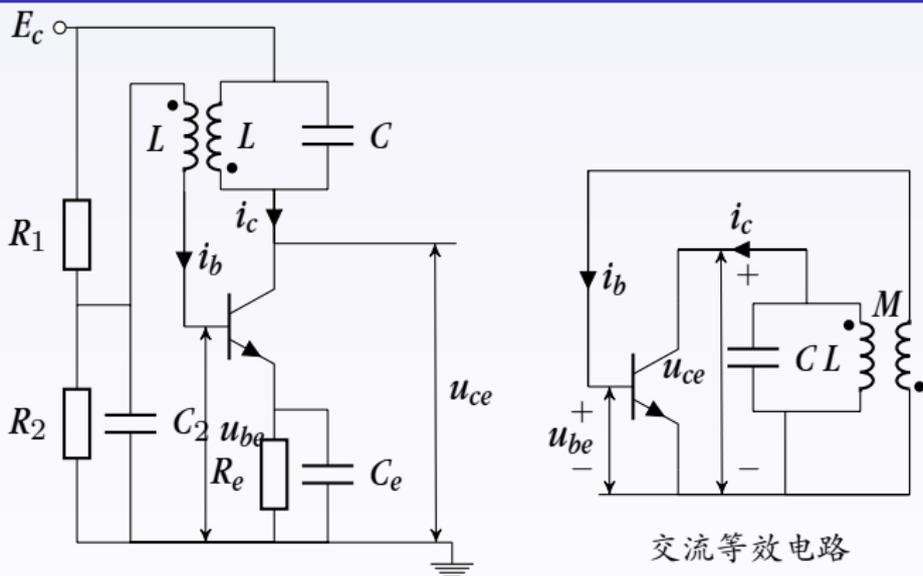


交流等效电路

维持自激振荡平衡必须具备两个条件：

- 1 反馈必须是正反馈。相位平衡条件： $\Sigma\varphi = \varphi_K + \varphi_F = n \times 360^\circ$
- 2 反馈信号必须足够大。振幅平衡条件： $KF=1$

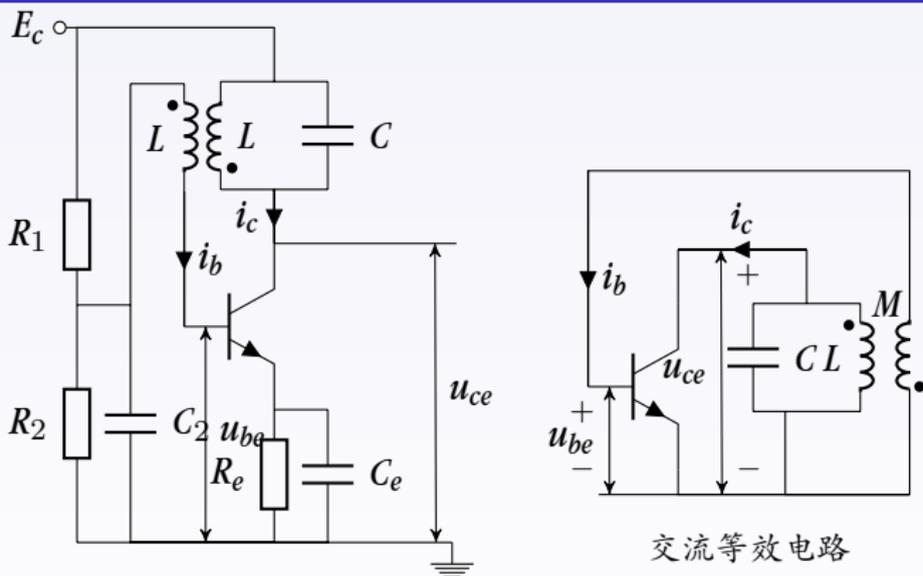
互感反馈自激振荡器



维持自激振荡平衡必须具备两个条件：

- ① 反馈必须是正反馈。相位平衡条件： $\Sigma\varphi = \varphi_K + \varphi_F = n \times 360^\circ$
- ② 反馈信号必须足够大。振幅平衡条件： $KF=1$

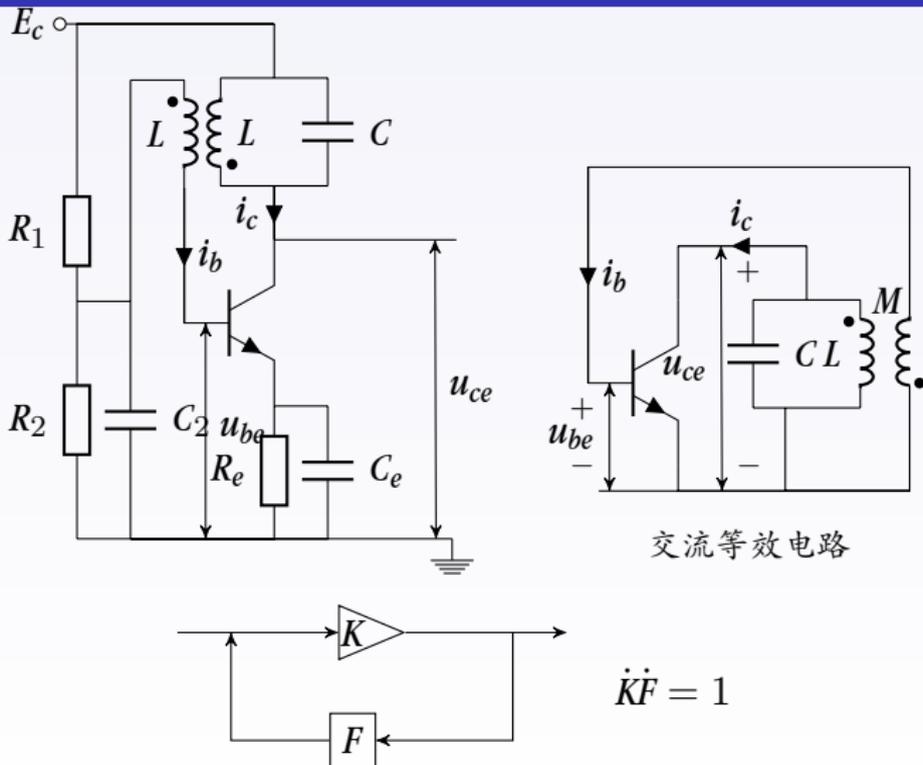
互感反馈自激振荡器



维持自激振荡平衡必须具备两个条件：

- ① 反馈必须是正反馈。相位平衡条件： $\Sigma\varphi = \varphi_K + \varphi_F = n \times 360^\circ$
- ② 反馈信号必须足够大。振幅平衡条件： $KF=1$

互感反馈自激振荡器



内容提要

1 基本概念

- 概述

2 反馈型正弦波自激振荡器基本原理

- 从调谐放大到自激振荡
- 自激振荡的平衡
- 振荡的建立和振荡条件
- 振荡器的稳定条件

刚一开机时振荡如何产生？

刚一开机时振荡如何产生？

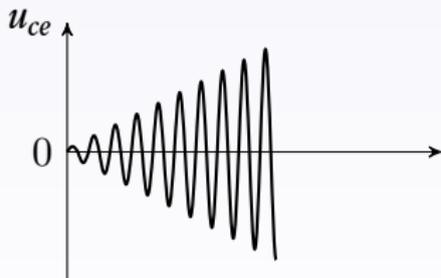
- ① **初始激励**：振荡器闭合电源后，各种电的扰动（如晶体管电流的突然增长、电路的热噪声）。
- ② **建立振荡**：谐振回路的选频、正反馈和放大的循环。
- ③ **起振条件**： $KF > 1$

刚一开机时振荡如何产生？

- ① **初始激励**：振荡器闭合电源后，各种电的扰动（如晶体管电流的突然增长、电路的热噪声）。
- ② **建立振荡**：谐振回路的选频、正反馈和放大的循环。
- ③ **起振条件**： $KF > 1$

刚一开机时振荡如何产生？

- ① **初始激励**：振荡器闭合电源后，各种电的扰动（如晶体管电流的突然增长、电路的热噪声）。
- ② **建立振荡**：谐振回路的选频、正反馈和放大的循环。
- ③ **起振条件**： $KF > 1$

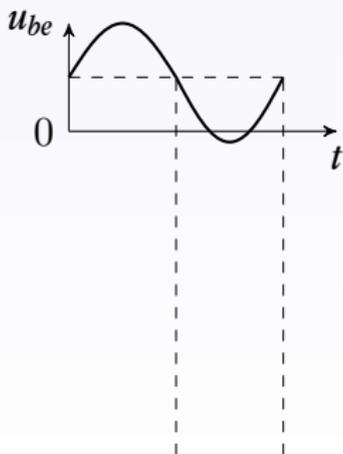


幅度会不会无止境的增长下去呢？

刚一开机时振荡如何产生？

- ① **初始激励**：振荡器闭合电源后，各种电的扰动（如晶体管电流的突然增长、电路的热噪声）。
- ② **建立振荡**：谐振回路的选频、正反馈和放大的循环。
- ③ **起振条件**： $KF > 1$

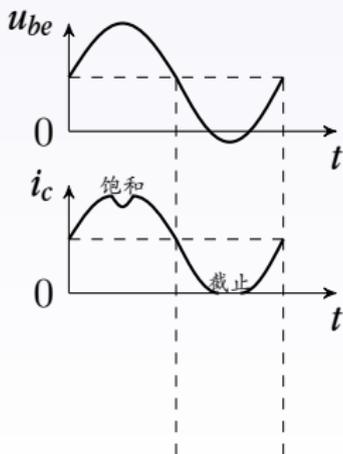
幅度会不会无止境的增长下去呢？



刚一开机时振荡如何产生？

- ① **初始激励**：振荡器闭合电源后，各种电的扰动（如晶体管电流的突然增长、电路的热噪声）。
- ② **建立振荡**：谐振回路的选频、正反馈和放大的循环。
- ③ **起振条件**： $KF > 1$

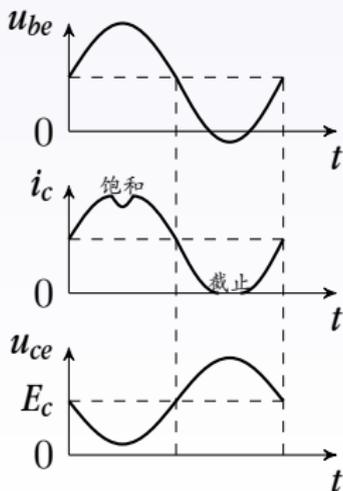
幅度会不会无止境的增长下去呢？



刚一开机时振荡如何产生？

- ① **初始激励**：振荡器闭合电源后，各种电的扰动（如晶体管电流的突然增长、电路的热噪声）。
- ② **建立振荡**：谐振回路的选频、正反馈和放大的循环。
- ③ **起振条件**： $KF > 1$

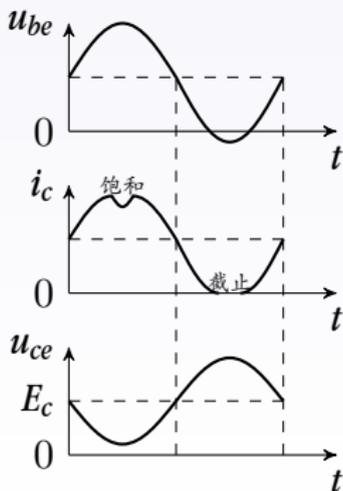
幅度会不会无止境的增长下去呢？



刚一开机时振荡如何产生？

- ① **初始激励**：振荡器闭合电源后，各种电的扰动（如晶体管电流的突然增长、电路的热噪声）。
- ② **建立振荡**：谐振回路的选频、正反馈和放大的循环。
- ③ **起振条件**： $KF > 1$

幅度会不会无止境的增长下去呢？

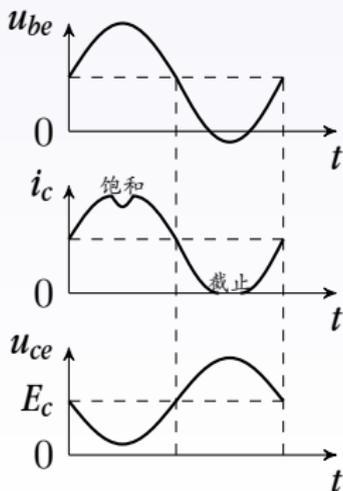


- 放大器具有非线性特性。
- 反馈电路是线性电路。

刚一开机时振荡如何产生？

- ① **初始激励**：振荡器闭合电源后，各种电的扰动（如晶体管电流的突然增长、电路的热噪声）。
- ② **建立振荡**：谐振回路的选频、正反馈和放大的循环。
- ③ **起振条件**： $KF > 1$

幅度会不会无止境的增长下去呢？



- 放大器具有非线性特性。
- 反馈电路是线性电路。

晶体管的非线性作用使 u_{ce} 的幅度不能增长， K 值逐渐下降，最后平衡，稳定在 $KF = 1$ 点。

内容提要

1 基本概念

- 概述

2 反馈型正弦波自激振荡器基本原理

- 从调谐放大到自激振荡
- 自激振荡的平衡
- 振荡的建立和振荡条件
- 振荡器的稳定条件

平衡条件与稳定条件

$$\varphi_K + \varphi_F = n \times 360^\circ$$

$$KF = 1$$

平衡条件与稳定条件

$$\varphi_K + \varphi_F = n \times 360^\circ$$

$$KF = 1$$

平衡条件是否稳定？

平衡条件与稳定条件

$$\varphi_K + \varphi_F = n \times 360^\circ$$

$$KF = 1$$

平衡条件是否稳定？

- **不稳定因素**：电源的波动、温度的变化和机械振动等会破坏原来的平衡条件。
- 当不稳定因素去掉后，振荡器能回到原来的平衡状态，则平衡状态稳定。否则不稳定平衡。

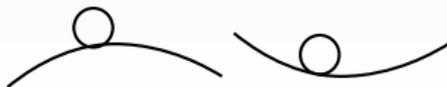
平衡条件与稳定条件

$$\varphi_K + \varphi_F = n \times 360^\circ$$

$$KF = 1$$

平衡条件是否稳定？

- **不稳定因素**：电源的波动、温度的变化和机械振动等会破坏原来的平衡条件。
- 当不稳定因素去掉后，振荡器能回到原来的平衡状态，则平衡状态稳定。否则不稳定平衡。



平衡条件与稳定条件

$$\varphi_K + \varphi_F = n \times 360^\circ$$

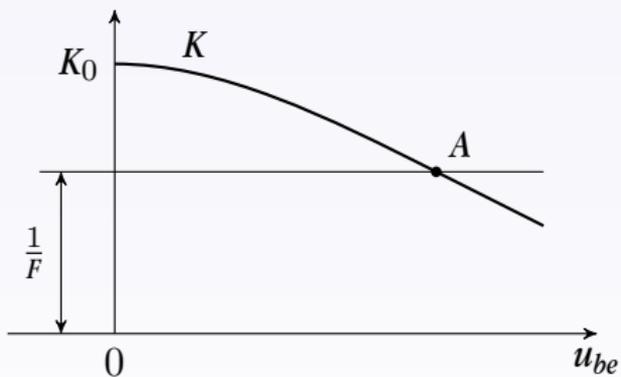
$$KF = 1$$

平衡条件是否稳定？

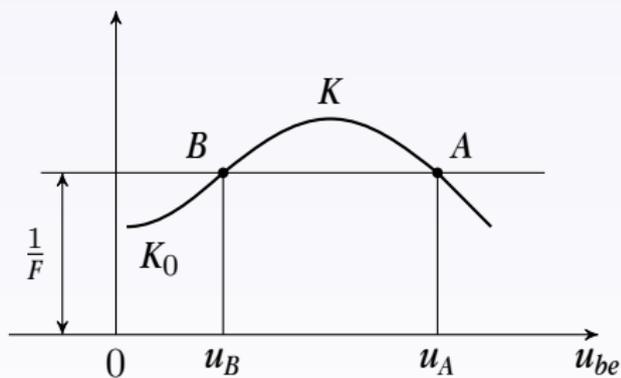
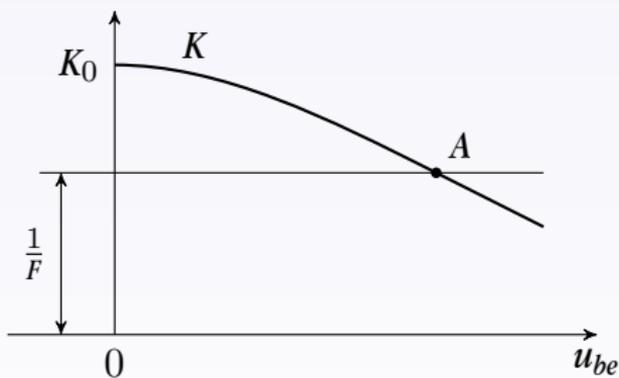
- **不稳定因素**：电源的波动、温度的变化和机械振动等会破坏原来的平衡条件。
- 当不稳定因素去掉后，振荡器能回到原来的平衡状态，则平衡状态稳定。否则不稳定平衡。



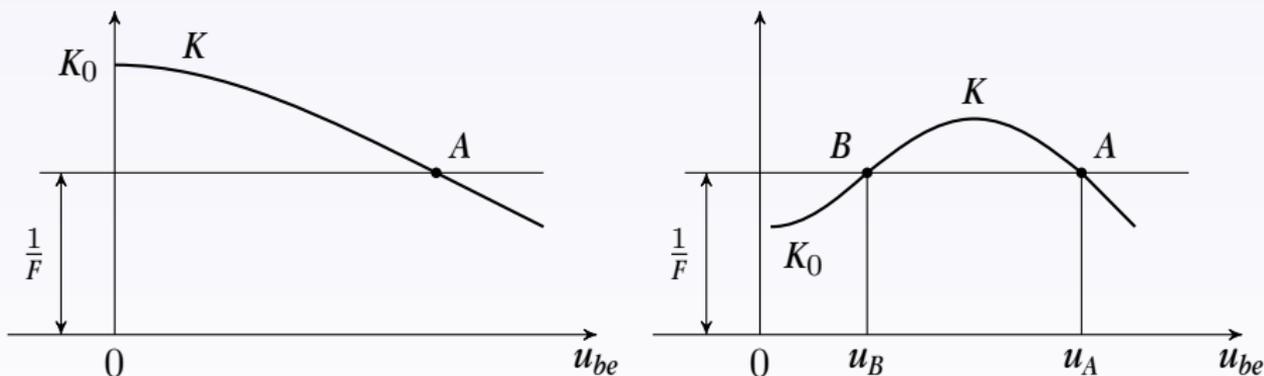
振幅稳定条件



振幅稳定条件



振幅稳定条件



在平衡点 $K-u$ 曲线斜率为负： $\left. \frac{dK}{du} \right|_{K=\frac{1}{F}} < 0$

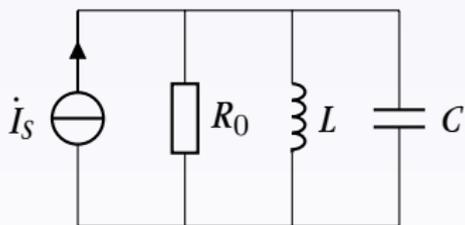
相位稳定条件

- 相位稳定条件等价于频率稳定条件： $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$
- 相位变化 $\Delta\varphi$ 对频率的影响？

相位稳定条件

- 相位稳定条件等价于频率稳定条件： $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$
- 相位变化 $\Delta\varphi$ 对频率的影响？

相位稳定条件



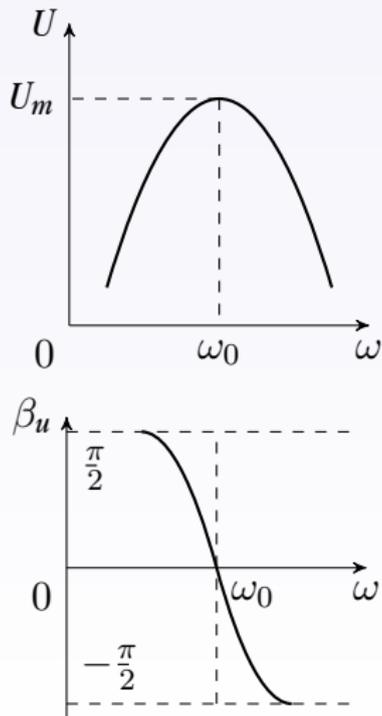
信号源为恒流源 \dot{I}_S ，响应为回路电压 \dot{U} ，则

$$\dot{U} = \dot{I}_S Z$$

$$U = I_S |Z| = \frac{U_m}{\sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)^2}}$$

$$\beta_u = -\arctan Q \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)$$

相位稳定条件



信号源为恒流源 \dot{I}_S ，响应为回路电压 \dot{U} ，则

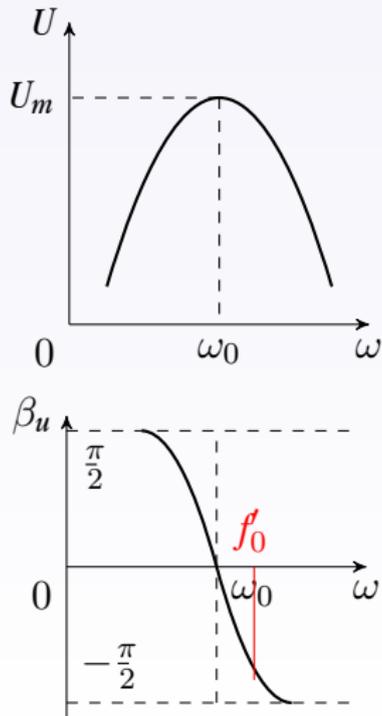
$$\dot{U} = \dot{I}_S Z$$

$$U = I_S |Z| = \frac{U_m}{\sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)^2}}$$

$$\beta_u = -\arctan Q \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)$$

- 在谐振点 $\omega = \omega_0$ 处，电压幅值最大，电压与电流同相位。
- 当 $\omega < \omega_0$ 时 (U 随 ω 增而递增， β_u 为正)，回路呈感性，电压超前电流一个相角。
- 当 $\omega > \omega_0$ 时 (U 随 ω 增而递减， β_u 为负)，回路呈容性，电压滞后电流一个相角。

相位稳定条件



信号源为恒流源 \dot{I}_S ，响应为回路电压 \dot{U} ，则

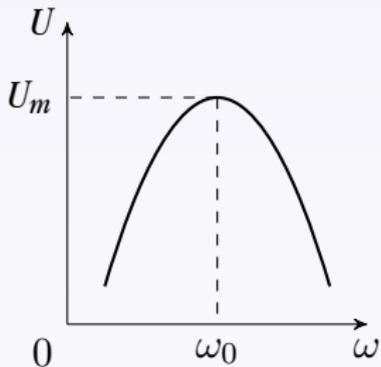
$$\dot{U} = \dot{I}_S Z$$

$$U = I_S |Z| = \frac{U_m}{\sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)^2}}$$

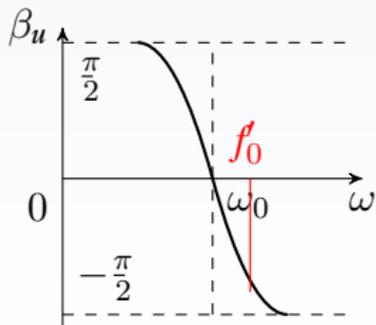
$$\beta_u = -\arctan Q \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)$$

- 在谐振点 $\omega = \omega_0$ 处，电压幅值最大，电压与电流同相位。
- 当 $\omega < \omega_0$ 时 (U 随 ω 增而递增， β_u 为正)，回路呈感性，电压超前电流一个相角。
- 当 $\omega > \omega_0$ 时 (U 随 ω 增而递减， β_u 为负)，回路呈容性，电压滞后电流一个相角。

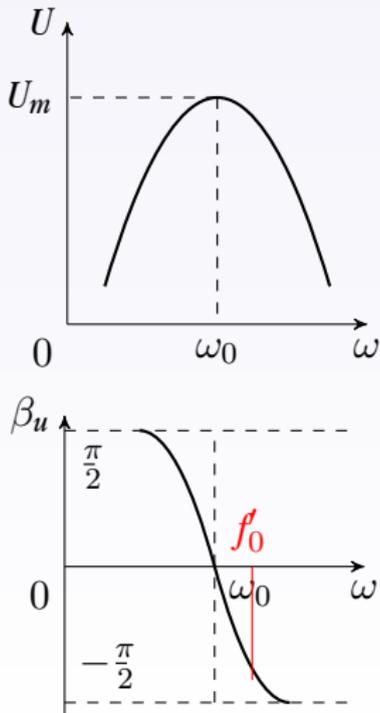
相位稳定条件



LC 谐振回路有补偿相位变化的作用



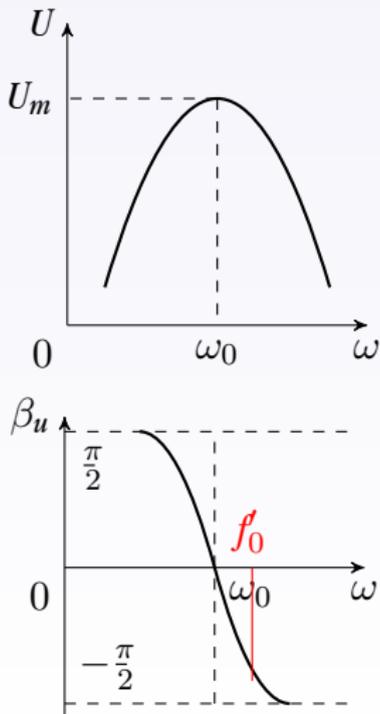
相位稳定条件



LC 谐振回路有补偿相位变化的作用

- 外界干扰 $\Delta\varphi$ 引起的频率变动 Δf_0 是同符号的： $\frac{\Delta\varphi}{\Delta f_0} > 0$ ；
- 而谐振回路变动 Δf_0 所引起的相位变化 $\Delta\varphi_0$ 是异符号的： $\frac{\Delta\varphi_0}{\Delta f_0} < 0$ 。

相位稳定条件



LC 谐振回路有补偿相位变化的作用

- 外界干扰 $\Delta\varphi$ 引起的频率变动 Δf_0 是同符号的： $\frac{\Delta\varphi}{\Delta f_0} > 0$ ；
- 而谐振回路变动 Δf_0 所引起的相位变化 $\Delta\varphi_0$ 是异符号的： $\frac{\Delta\varphi_0}{\Delta f_0} < 0$ 。

在平衡点 $\varphi - f$ 曲线斜率为负：

$$\left. \frac{d\varphi}{df} \right|_{f=f_0} < 0$$

振荡条件

平衡条件	$\dot{K}F = 1$	振幅平衡条件 $KF = 1$
		相位平衡条件 $\Sigma\varphi = n \times 360^\circ$
起振条件	$KF > 1$	
稳定条件	振幅稳定条件	在平衡点 $K - u$ 曲线斜率为负 $\left. \frac{dK}{du} \right _{K=\frac{1}{F}} < 0$
	相位稳定条件	在平衡点 $\varphi - f$ 曲线斜率为负 $\left. \frac{d\varphi}{df} \right _{f=f_0} < 0$

振荡条件

平衡条件	$K\dot{F} = 1$	振幅平衡条件 $KF = 1$
		相位平衡条件 $\Sigma\varphi = n \times 360^\circ$
起振条件		$KF > 1$
稳定条件	振幅稳定条件	在平衡点 $K - u$ 曲线斜率为负 $\left. \frac{dK}{du} \right _{K=\frac{1}{F}} < 0$
	相位稳定条件	在平衡点 $\varphi - f$ 曲线斜率为负 $\left. \frac{d\varphi}{df} \right _{f=f_0} < 0$

- 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；稳定条件则隐含在电路结构中。
- 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。

振荡条件

平衡条件	$K\dot{F} = 1$	振幅平衡条件 $KF = 1$
		相位平衡条件 $\Sigma\varphi = n \times 360^\circ$
起振条件		$KF > 1$
稳定条件	振幅稳定条件	在平衡点 $K - u$ 曲线斜率为负 $\left. \frac{dK}{du} \right _{K=\frac{1}{F}} < 0$
	相位稳定条件	在平衡点 $\varphi - f$ 曲线斜率为负 $\left. \frac{d\varphi}{df} \right _{f=f_0} < 0$

- 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；稳定条件则隐含在电路结构中。
- 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。
- 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等。
- 定量分析**仅需分析电路是否满足起振条件，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方法进行分析。

习题：反馈型正弦波自激振荡器

4-2 为什么兆赫级以上的振荡器很少用 RC 振荡电路？

4-1 为什么晶体管振荡器大都采用固定偏置与自偏置的混合偏置电路？

4-3 反馈型 LC 自激振荡器在起振后，往往出现反向偏压，试从理论上予以解释。

4-5 为什么 LC 振荡器中的谐振放大器一般是工作在失谐状态？

