

第八章 波形发生电路

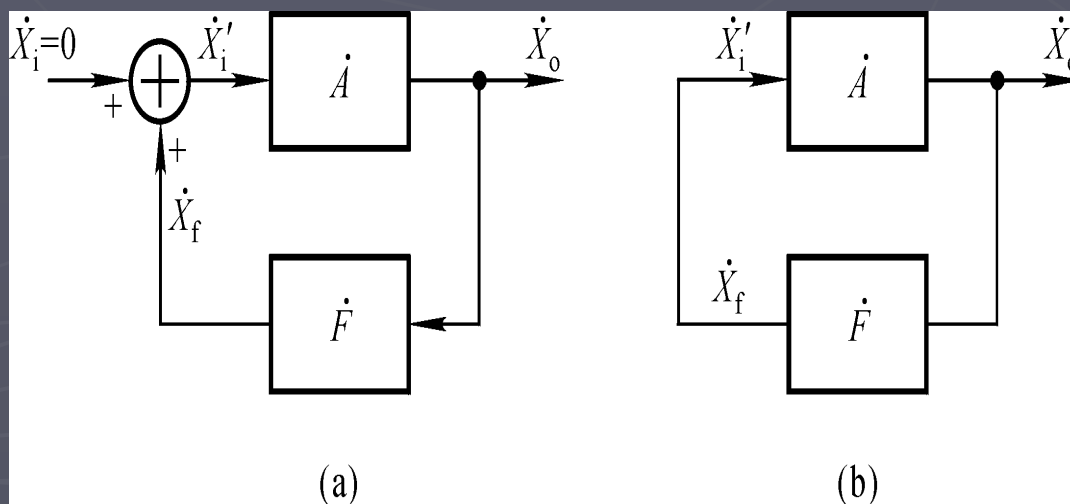
8.1 正弦波发生电路



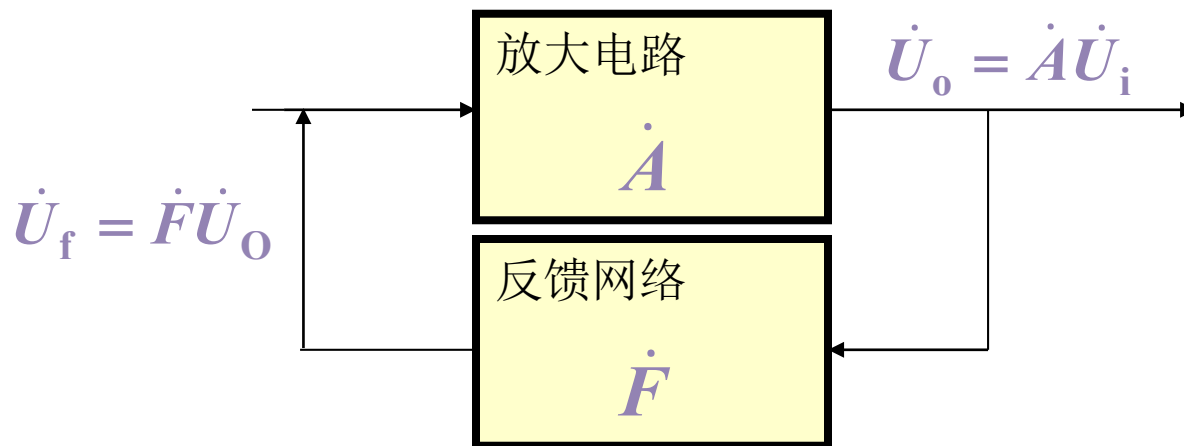
一、正弦波发生电路的一般问题

正弦波发生电路：不需要外接输入信号而能产生一定频率和一定幅值的正弦信号。

1. 产生正弦波振荡的条件



在电路中引入正反馈，有意识的利用自激振荡现象。



有 $\dot{U}_o = \dot{A}\dot{F}\dot{U}_o$

得到自激振荡的平衡条件： $\dot{A}\dot{F} = 1$

$\left\{ \begin{array}{l} |\dot{A}\dot{F}| = 1 \\ \varphi_a + \varphi_f = 2n\pi \end{array} \right. \quad n \text{ 为整数}$

振幅平衡条件

相位平衡条件

问题1: 振荡电路是单口网络，无须输入信号就能起振，起振的信号源来自何处？电干扰（如合闸通电）。

问题2: 电干扰不是单一频率信号，而电路输出的是单一频率的正弦波，如何实现？

振荡电路中的选频网络，只使噪声中某一频率 f_0 满足相位平衡条件，形成正反馈，成为振荡电路的输出信号；而其它频率的信号，则不满足相位平衡条件，逐渐被抑制掉。

问题3: 起振条件 $|\dot{A}\dot{F}| > 1$ 是否意味着输出电压将越来越大，趋于无穷？

振荡电路中的稳幅环节，将限制输出信号幅度无限增长，当输出信号达到一定值后，将使其稳定。一是可以另加稳幅电路；二是直接依靠放大电路中晶体管的非线性作用实现。

保证电路能够有起振到动态平衡的过程，使电路获得一定幅值的输出。

2. 正弦波振荡电路的组成

与分析步骤

组成部分

构成正反馈，保证电路能产生振荡。

▶ 放大电路（包括负反馈）

▶ 反馈网络

确定电路的振荡频率，保证振荡电路产生单一频率的正弦信号

▶ 选频网络（经常与反馈网络合二为一。）

▶ 稳幅环节

非线性环节，使输出信号幅值稳定。
在分立元件放大电路中常依靠放大电路中晶体管的非线性作用实现，而不另加稳幅电路

分析步骤:

一、判断能否产生正弦波振荡

1. 检查电路是否具备正弦波振荡的组成部分;
2. 检查放大电路是否能保证放大电路正常工作;
3. 分析电路是否满足自激振荡的相位平衡条件和振幅平衡条件。

判断相位平衡条件的方法是：瞬时极性法。

二、估算振荡频率和起振条件

3. 正弦波发生电路分类

根据正弦波发生电路中使用的选频网络：

RC正弦波发生电路；

LC正弦波发生电路；

石英晶体正弦波发生电路；

一、RC正弦波振荡电路

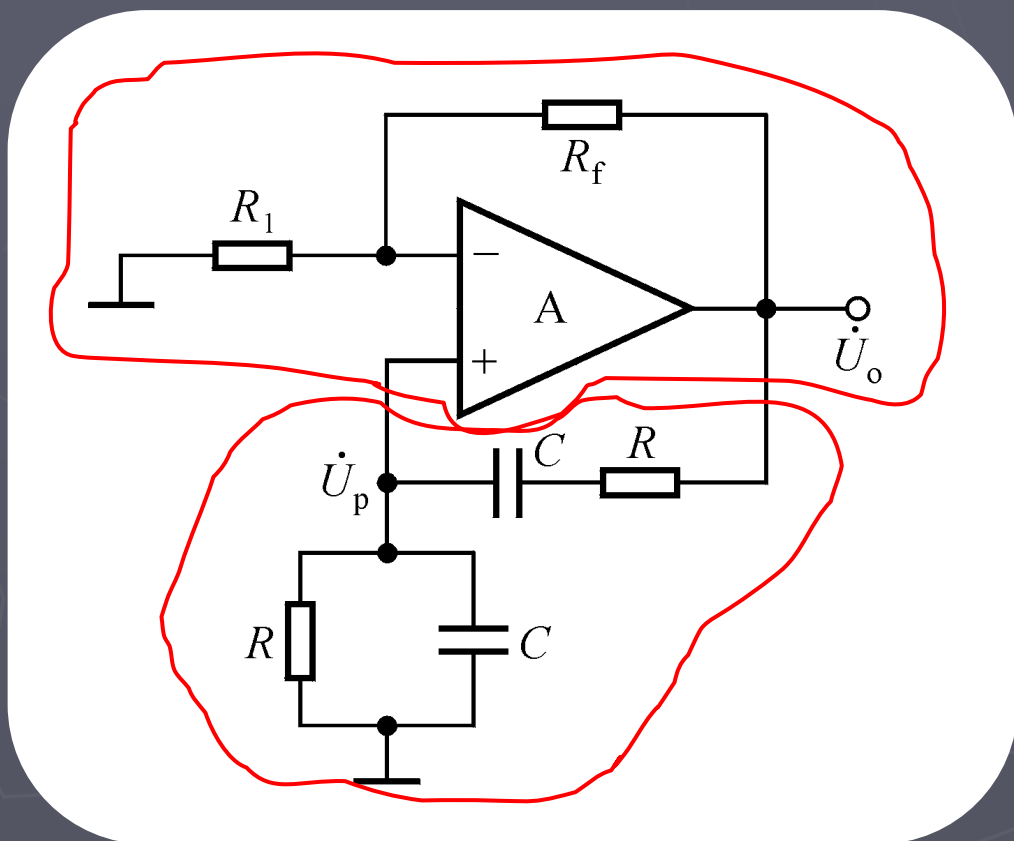
1. 电路组成

✓ 放大电路（是一引入负反馈的放大电路）

✓ 正反馈网络

✓ 兼做选频网络

✓ 稳幅环节

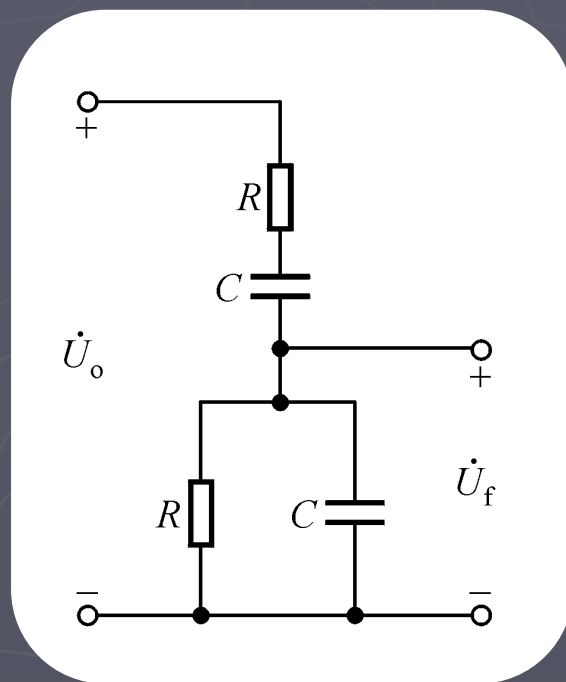


✓RC串并联选频网络的选频特性

反馈系数 $\dot{F} = \frac{\dot{U}_f}{\dot{U}_o} = \frac{R // \frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C} + R // \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{3 + j(\omega RC - \frac{1}{\omega RC})}$

令 $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$

则 $\dot{F} = \frac{1}{3 + j(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f})}$



幅频响应

$$|\dot{F}| = \frac{1}{\sqrt{3^2 + \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f}\right)^2}}$$

$$f_o = \frac{1}{2\pi RC},$$

即为振荡频率

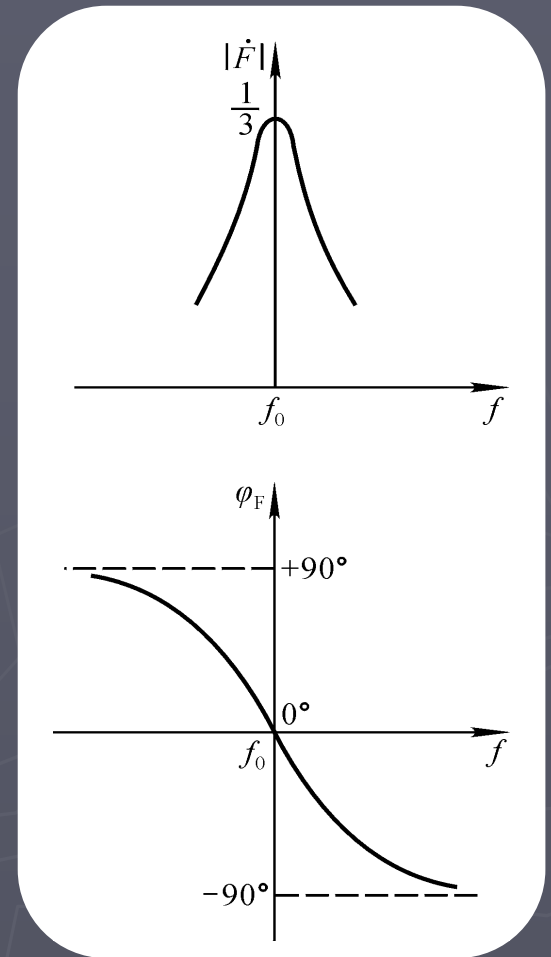
相频响应

$$\text{当 } f = f_o \text{ 时, } |\dot{F}| = \frac{1}{3}, \quad \varphi_F = 0$$

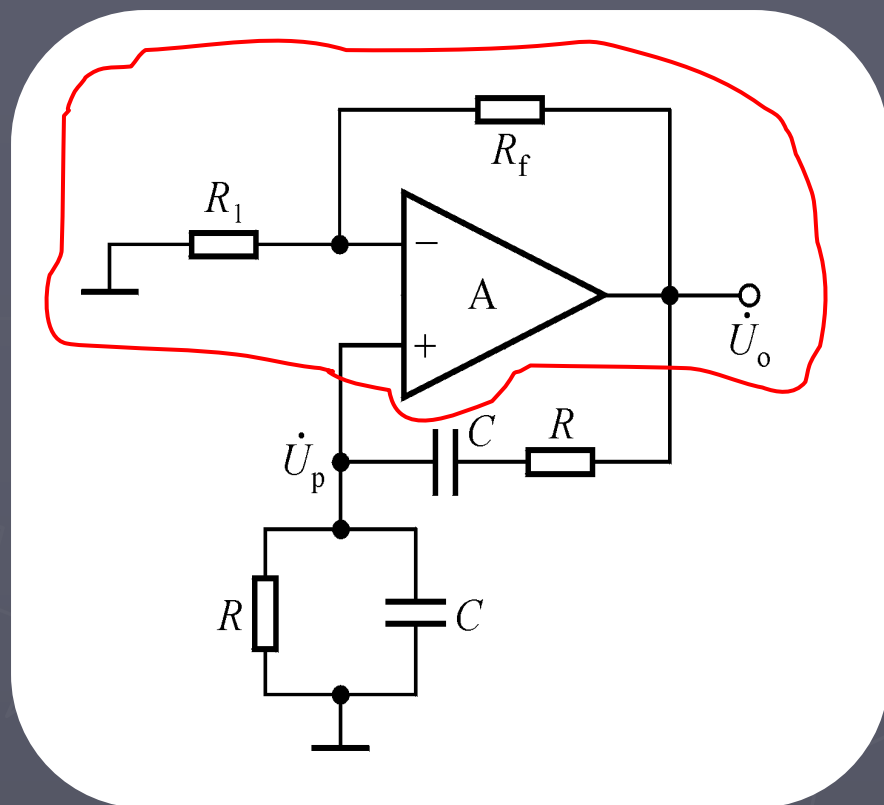
若 $|\dot{A}| = 3$, 则 $|\dot{A}\dot{F}| = 1, \quad \varphi_A = 0^\circ$

此时同时满足相位平衡条件和幅值平衡条件, 电路能够产生振荡。

起振条件: $|\dot{A}| > 3$



RC串并联选频网络的频率特性



✓放大电路部分

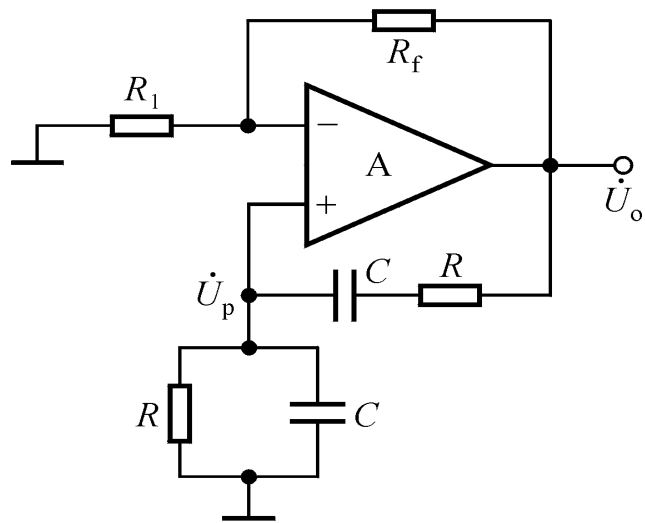
通常选用引入电压串联负反馈的放大电路。

输入电阻大, 减小放大电路对串并联网络性能的影响

输出电阻小, 提高电路的带负载能力。

根据起振条件： $|\dot{A}| > 3$ ，
则电路中 R_f 和 R_1 的取值有何限制？

$$\because |\dot{A}| = 1 + \frac{R_f}{R_1} > 3,$$
$$\therefore R_f > 2R_1$$



热敏电阻

3. 稳幅措施

在电路中加入非线性元件

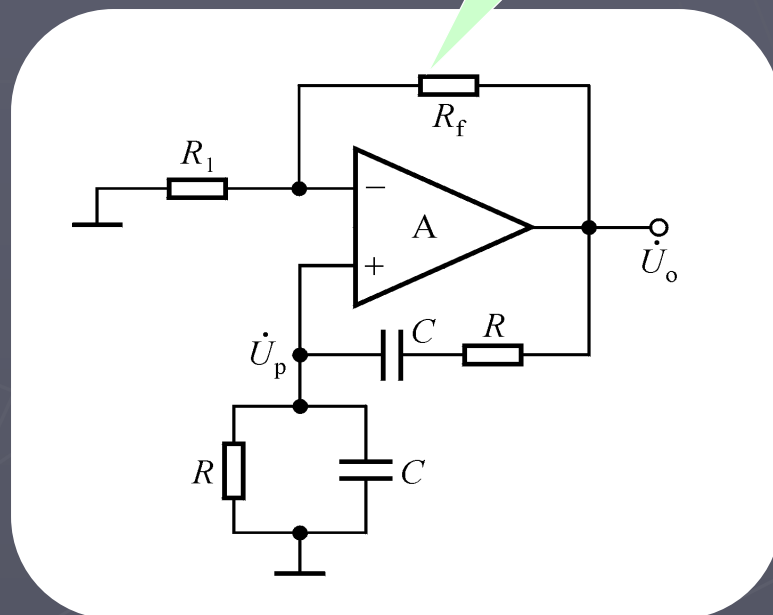
R_f 采用负温度系数的热敏电阻

$$\text{起振时, } \dot{A} = 1 + \frac{R_f}{R_1} > 3$$

$$\text{即 } \dot{A}\dot{F} > 1$$

$|\dot{U}_o| \uparrow \longrightarrow \text{流过 } R_f \text{ 电流} \uparrow \longrightarrow R_f \text{ 功耗} \uparrow \longrightarrow R_f \text{ 温度} \uparrow \longrightarrow R_f \text{ 阻值} \downarrow$

$|\dot{A}| \downarrow \longrightarrow |\dot{A}| = 3 \longrightarrow \dot{A}\dot{F} = 1 \text{ 稳幅}$



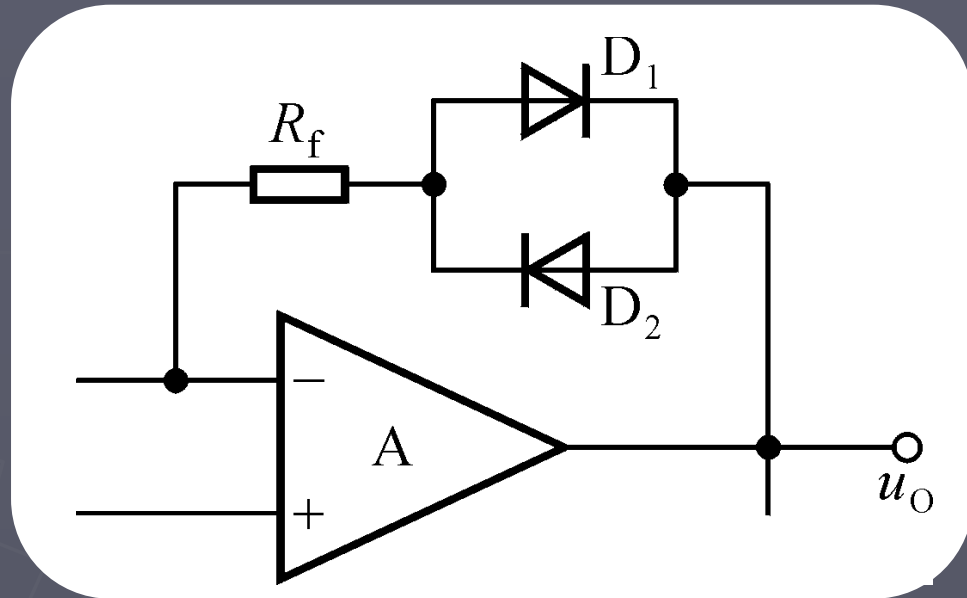
R_f 回路串联两个并联的二极管

利用电流增大时二极管动态电阻减小、电流减小时动态电阻增大的特点，加入非线性环节。

$$\dot{A}_u = 1 + \frac{R_f + r_d}{R_1}$$

$$|\dot{U}_o| \uparrow \rightarrow i_D \uparrow \rightarrow r_d \downarrow \rightarrow \dot{A}_u \downarrow$$

RC正弦波振荡电路其振荡频率与 R 、 C 成反比，要产生频率很高的正弦波，则要求 R 、 C 的值很小，这在制造上和电路实现上很困难，因此RC振荡电路一般用于产生几赫-几百千赫的信号。



三、 LC正弦波振荡电路

LC正弦波发生电路的电路组成原则在本质上与RC正弦波发生电路相同, 采用LC并联谐振回路作为选频网络。

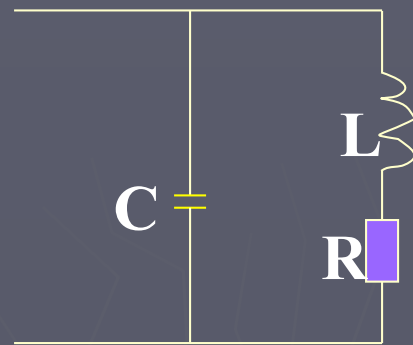
1. LC并联谐振回路的频率特性



LC并联网络

$$Y = j\omega C + \frac{1}{R + j\omega L}$$

$$= \frac{R}{R^2 + (\omega L)^2} + j[\omega C - \frac{\omega L}{R^2 + (\omega L)^2}]$$



LC并联网络

令虚部为零,得谐振角频率

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{R}{\omega_0 L}\right)^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{Q^2}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

式中 $Q = \frac{\omega_0 L}{R}$ 品质因数

$Q \gg 1$ 时 $\omega_0 \approx \frac{1}{\sqrt{LC}}$

此时 $Q = \frac{\omega_0 L}{R} \approx \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$

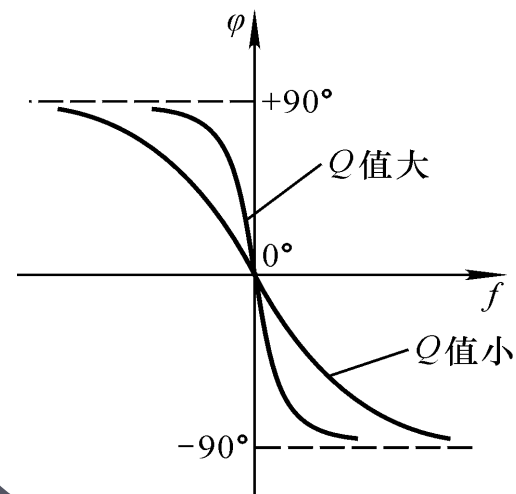
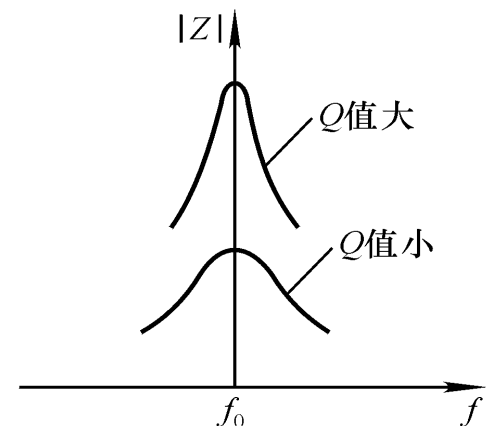
谐振频率为

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

选频网络损耗越小；谐振频率相同时，电容越小、电感越大，则品质因数越大，将使选频特性越好。

(1) 当 $f = f_0$ 时，电路为纯电阻性，且等效阻抗最大；当 $f < f_0$ 时，电路为感性；当 $f > f_0$ 时，电路为容性。所以 LC 并联电路具有选频特性。

(2) 品质因数 Q 值越大，曲线越陡，选频特性越好。

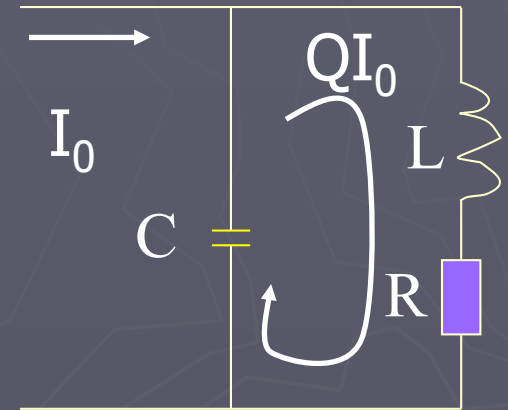


LC 并联网络电抗的频率特性

$f=f_0$ 时,

$$|Z_0| = \frac{1}{|Y_0|} = \frac{R^2 + (\omega_0 L)^2}{R} = R + Q^2 R$$

$$Q \gg 1 \text{ 时 } |Z_0| \approx Q^2 R \approx QX_L \approx QX_C$$



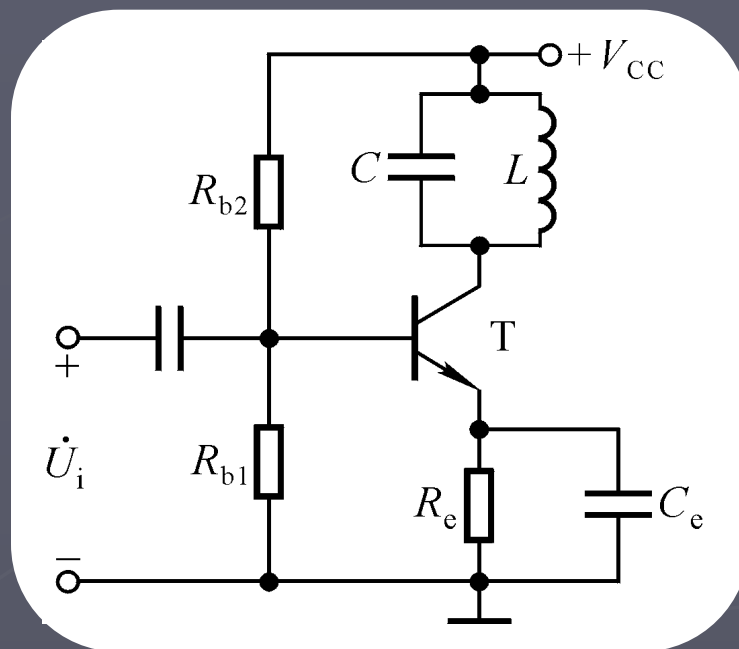
LC并联谐振回路在谐振时，回路电流远比流入或流出LC回路的电流大得多，这样使得放大电路对选频网络选频特性的影响变小。

$$\dot{A}_u = -\beta \frac{Z}{r_{be}}$$

当 $f=f_0$ 时，电压放大倍数的数值最大，且无附加相移。

对于其它频率信号，电压放大倍数减小，且有附加相移。

因此电路具有选频特性



选频放大电路

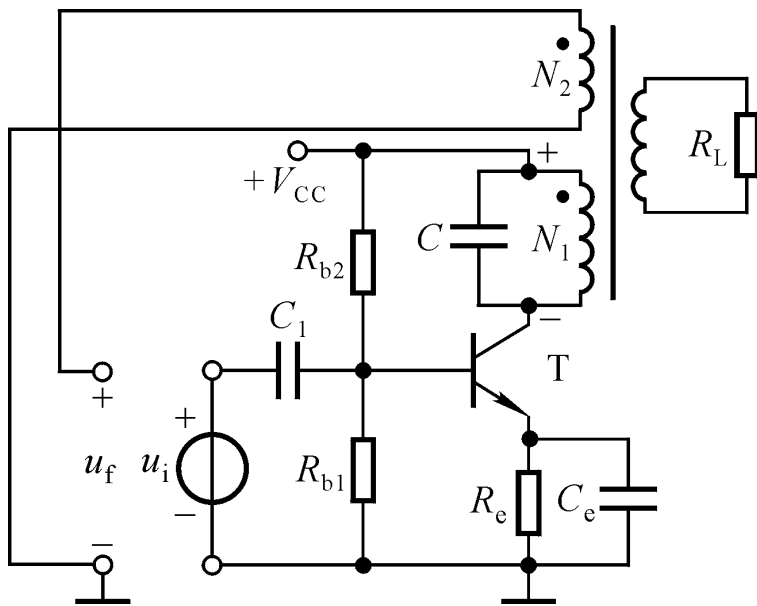
电路中引入正反馈，用反馈电压取代输入电压，则成为正弦波振荡电路

变压器反馈式、电感反馈式、电容反馈式

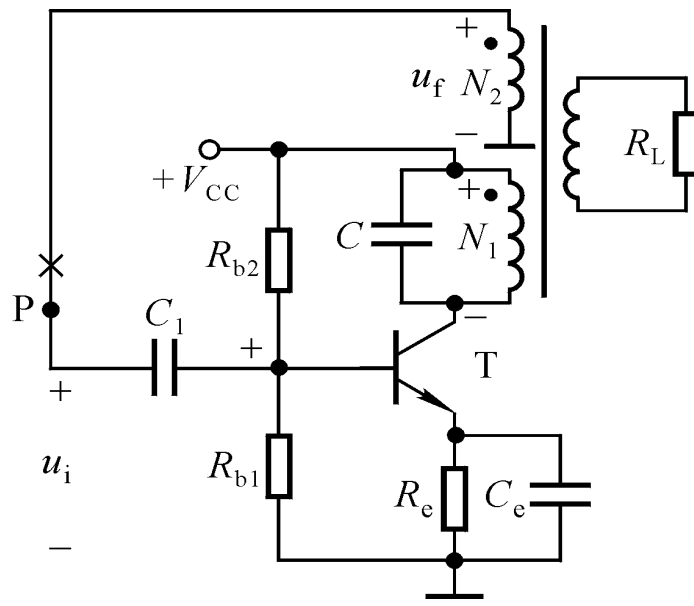
✓变压器反馈式振荡电路

是否满足相位平衡条件？

瞬时极性法判断，关键同名端的标法。



在选频放大电路中引正反馈

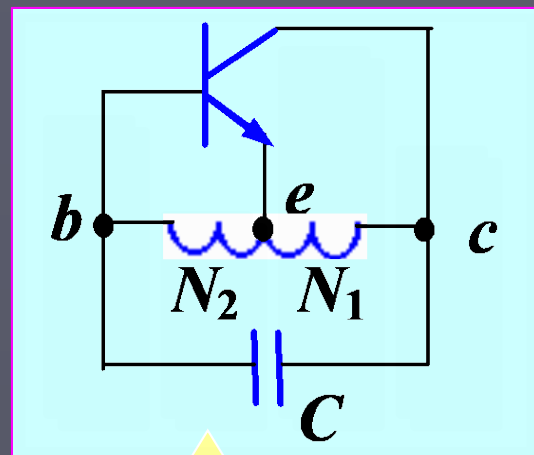
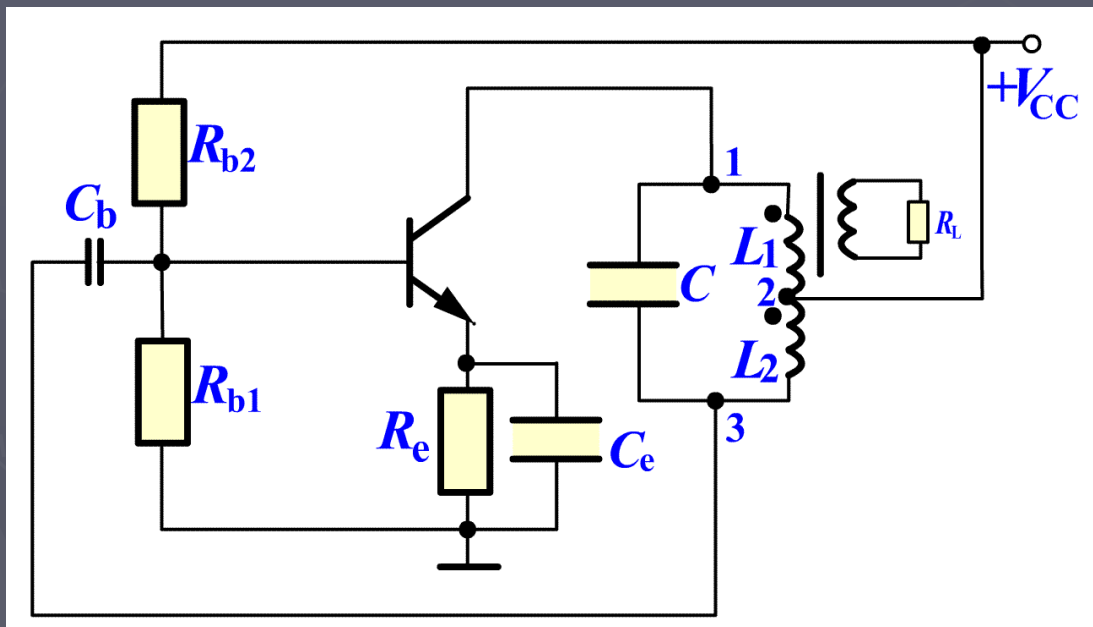


变压器反馈式振荡电路

耦合不紧密，损耗较大，振荡频率的稳定性不高。

✓电感反馈式振荡电路

相位条件的判断

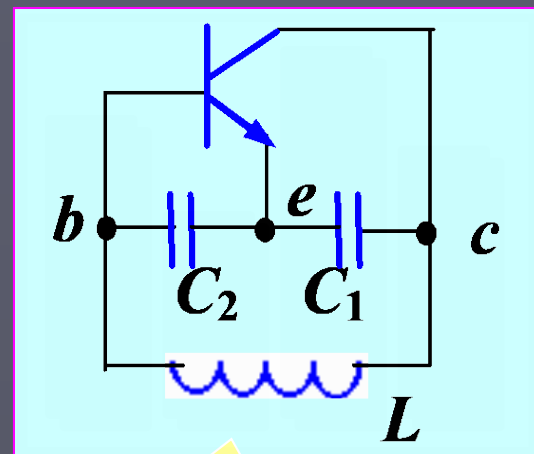
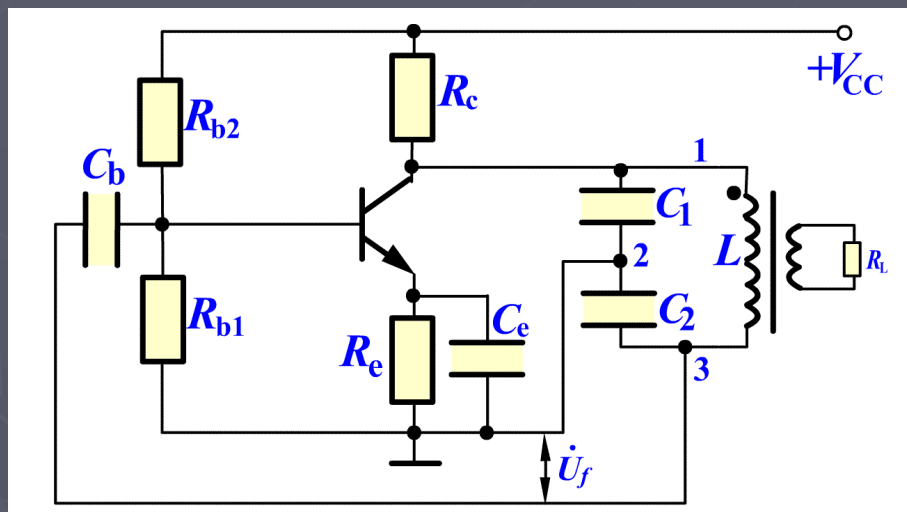


电感
三点式电路

耦合紧密，容易起振；反馈电压取自电感，电感对高次谐波的阻抗较大，不能将高次谐波短掉，因而输出波形不够好，含有高次谐波。

✓ 电容反馈式振荡电路

相位条件的判断



电容
三点式电路

反馈电压取自电容，电容对高次谐波的阻抗很小，故反馈电压中谐波分量很小，所以输出电压波形较好，调节振荡频率比较困难。

四、 石英晶体正弦波振荡电路

石英晶体振荡电路用石英晶体取代LC振荡电路中的L、C器件所组成的正弦波振荡电路，振荡频率决定于石英晶体的固有频率，可产生频率稳定性非常高的正弦波输出信号。

例：某电路如图所示,已知

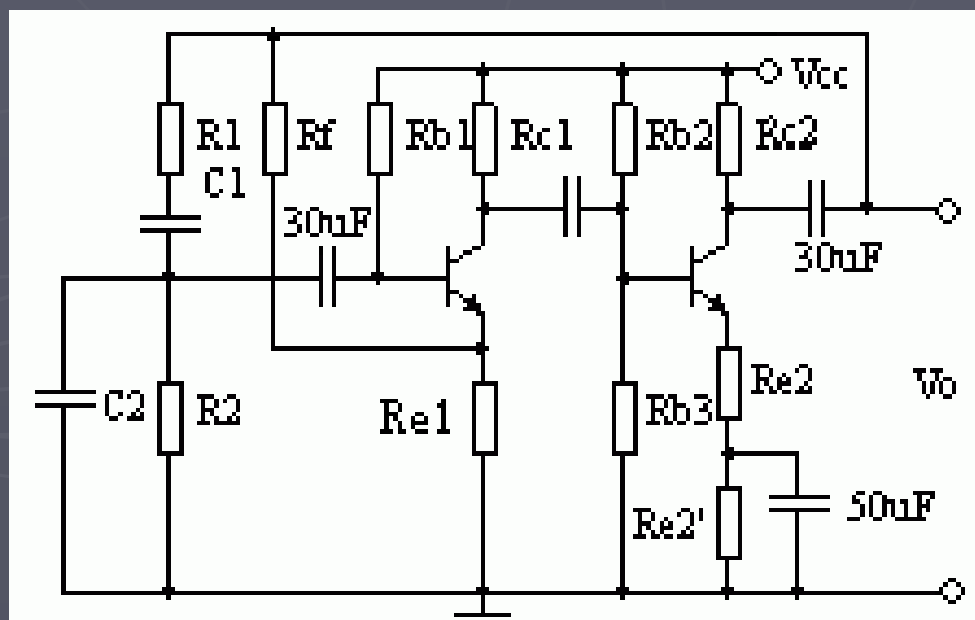
$R_1=R_2=R=10\text{K}\Omega, C_1=C_2=C=0.02\mu\text{F}$. 试回答:

(1)该电路是什么名称,输出什么波形的振荡电路?

(2)哪些元件组成选频网络?

(3)求振荡频率 f_0 ;

(4)为满足起振的幅值条件,电路中电阻应满足什么条件?



例：用相位平衡条件判断图示的电路能否产生正弦波振荡。

