

集成运放电路应用之正弦波振荡电路

正弦波振荡电路是一种信号发生电路，在通信、测量等领域得到广泛应用。正弦波振荡电路是指在不加任何输入信号，自身就能产生具有一定频率、一定幅度的正弦波信号的电路。它一般包括四个基本环节：放大电路、反馈网络、选频网络和稳幅环节。

1、正弦波振荡电路的振荡条件

正弦波振荡电路的方框图如图 1 所示。其中 \dot{A} 是放大器， \dot{F} 是反馈网络。

设放大器维持输出电压 \dot{U}_o 所需的输入信号电压为 \dot{U}_{id} ， \dot{U}_f 为反馈电压，当 $\dot{U}_f = \dot{U}_{id}$ 时电路就能维持稳定的输出电压。由于振荡电路不需外加信号就有稳定的输出信号，故又称为自激振荡电路。

放大器 \dot{A} 没有非线性失真，则其输出信号为

$$\dot{U}_o = \dot{A} \dot{U}_{id}$$

经 F 反馈回来的信号则为

$$\dot{U}_f = \dot{F} \dot{U}_o = \dot{F} \dot{A} \dot{U}_{id}$$

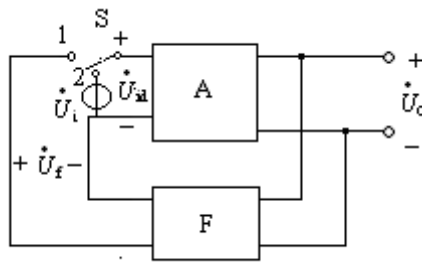


图 10 正弦波振荡电路图

如果要满足 $\dot{U}_f = \dot{U}_{id}$ ，则必须有

$$\dot{A} \dot{F} = 1 \quad (2.4-6)$$

式为振荡电路产生自激振荡的平衡条件

写成幅值与相角的形式，可得振荡电路产生自激振荡的平衡条件：

$$(1) \text{ 幅值平衡条件} \quad |\dot{A} \dot{F}| = 1 \quad (2.4-7)$$

$$(2) \text{ 相位平衡条件 } \varphi_a + \varphi_f = 2n\pi, n = 0, 1, 2, \dots \quad (2.4-8)$$

2、振荡电路的起振与稳幅

前面两式是维持振荡的平衡条件，为使电路在通电时能自动起振，电路必须满足起振条件：

$$|\dot{A}\dot{F}| > 1 \quad (2.4-9)$$

$$\varphi_a + \varphi_f = 2n\pi, n = 0, 1, 2, \dots \quad (2.4-10)$$

当振荡电路在刚通电（合上开关）时，电路中就会产生微小的电扰动，这就是起始信号。它含有丰富的、各种频率的谐波成分，其中必定有一种频率信号能满足相位平衡条件，

如果电路的幅度条件也能满足 $|\dot{A}\dot{F}| > 1$ ，那么微小的电信号通过正反馈不断地放大，输出信号很快就由小变大，使振荡电路起振。起振后，由于振荡幅度迅速增大，放大器进入非线性区工作，导致放大倍数下降，一直到 $|\dot{A}\dot{F}| = 1$ ，振荡电路进入稳幅振荡状态。

3、RC 正弦波振荡电路

常见的正弦波振荡电路有： RC 正弦波振荡电路、 LC 振荡电路和石英晶体振荡电路。在这里，我们只重点介绍 RC 正弦波振荡电路。

1. RC 串、并联选频网络的选频特性

RC 串、并联网络如图 11(a)所示。在频率很低时， $\frac{1}{\omega C_1} \gg R_1$ ， $\frac{1}{\omega C_2} \gg R_2$ ，使得串联中 R_1 的电压、并联中 C_2 的分流可以忽略不计，此时，选频网络可近似地用图 11(b)所示的 RC 高通电路表示。随着信号频率的减小，输出电压 $|\dot{U}_2|$ 也减小，但 \dot{U}_2 与 \dot{U}_1 的相移 φ_f 却愈大，当 ω 趋近于零时， $|\dot{U}_2|$ 趋近于零，相移 φ_f 趋近于 90° ；当信号频率很高时， $\frac{1}{\omega C_1} \ll R_1$ ， $\frac{1}{\omega C_2} \ll R_2$ ，使得串联中电容 C_1 的电压、并联中 R_2 的分流可以忽略不计，则选频网络可近似的用图 3-4-21(c)所示的 RC 低通电路来表示。随着信号频率增高，输出电压 $|\dot{U}_2|$ 仍将减小， \dot{U}_2 滞后于 \dot{U}_1 的相移 φ_f 愈大。同样，当信号频率趋于无穷大时， $|\dot{U}_2|$ 趋近于零，相移 φ_f 趋近于 -90° 。

因此，可以确定，在信号频率为零和无穷大之间，必然存在某一频率 f_0 相移 $\varphi_f = 0$ ，且其输出电压幅度可能有一最大值。说明网络具有选频特性。

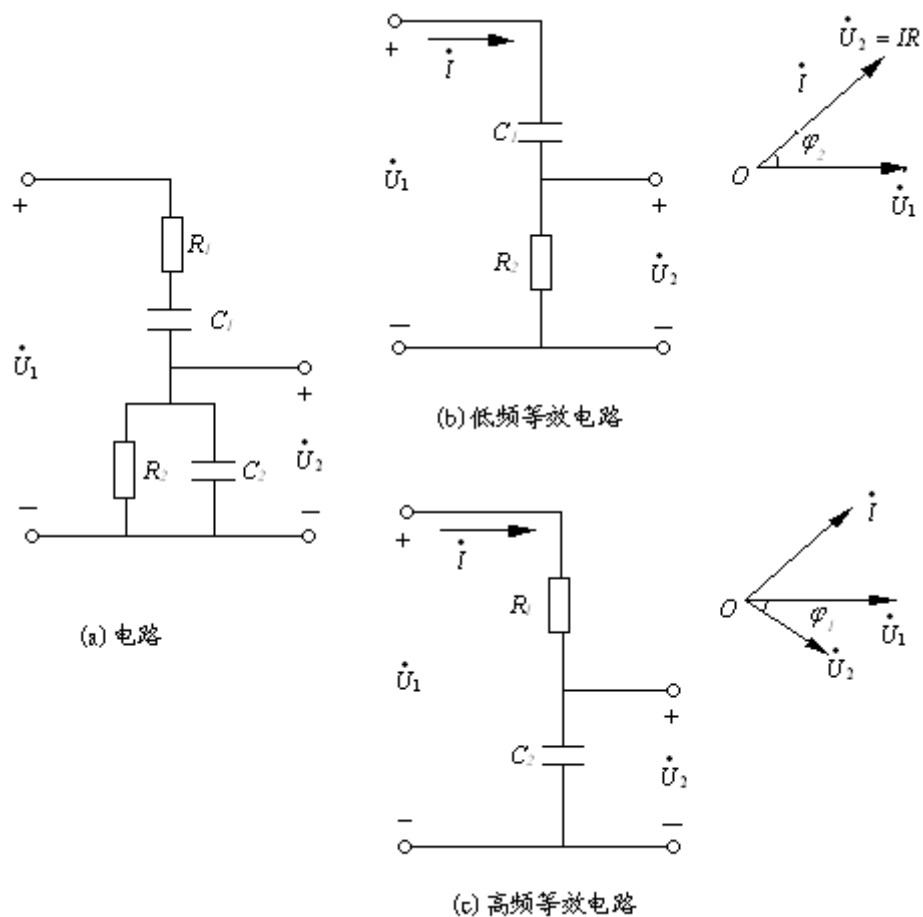


图 11 RC 串、并联选频网络

通常 $R_1 = R_2$ ， $C_1 = C_2$ ，此时反馈系数

$$F_u^* = \frac{U_2^*}{U_1^*} = \frac{j\omega RC}{(1 - \omega^2 R^2 C^2) + 3j\omega RC} = \frac{1}{3 + j(\omega RC - \frac{1}{\omega RC})} \quad (2.4-11)$$

当上式分母中虚部系数为零时，相角 φ_f 为零，满足这个条件的频率可由式 (2.4-11) 得出

$$\omega_0 = \frac{1}{RC}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.4-12)$$

将式(2.4-12)代入式 (2.4-11)得

$$F_u = \frac{1}{3 + j(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega})} \quad (2.4-13)$$

因此有

$$F_u = \frac{1}{\sqrt{3^2 + j(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega})^2}} \quad (2.4-14)$$

$$\varphi_f = -\arctan \frac{(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega})}{3} \quad (2.4-15)$$

由上式可知，当 $\omega = \omega_0$ 时， $F_{u,\max} = \frac{1}{3}$ ，且 $\varphi_f = 0$ 。

由式(2.4-14)和式(2.4-15)可画出串、并联选频网络的幅频特性和相频特性曲线，如图 12(a)、(b)所示。

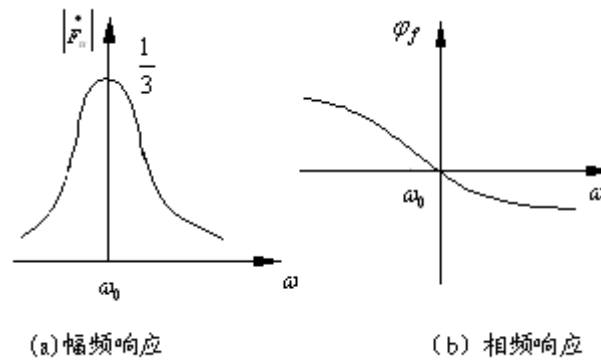


图 12 RC 串、并联网路的频率响应

RC 桥式正弦波振荡电路如图 13 所示，它是采用 RC 串并联网路和同相比值运算电路组成。

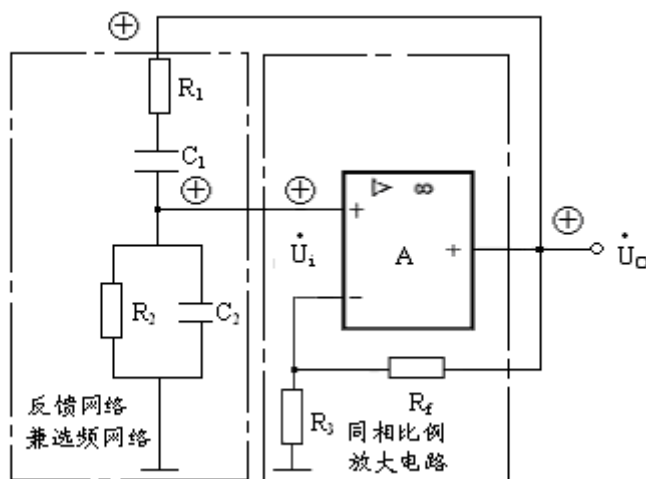


图 13 RC 桥式正弦波振荡电路

图中 RC 串并联网络包含选频和反馈网络，该电路为 RC 带通滤波电路，

(1) 当 $\omega = \omega_0 = \frac{1}{RC}$ 时，输入与输出同相， $\varphi_a + \varphi_f = 0$ ，相位条件满足。

(2) 当 $\omega = \omega_0 = \frac{1}{RC}$ ，反馈系数 $F = \frac{1}{3}$ ，同相比倒运算电路的反大倍数 $|A_{uf}| = 1 + \frac{R_f}{R_1}$

要满足 $|\dot{A}\dot{F}| > 1$ ，须 $|A_{uf}| = 1 + \frac{R_f}{R_1} > 3$ ，即 $R_f > 2R_1$ 时，电路很容易满足起振条件，

能顺利起振。

起振后，由于反馈元件或晶体管的非线性，放大倍数下降，最后到 $|\dot{A}\dot{F}| = 1$ ，振荡电路进入稳幅振荡状态，电路振荡平衡条件得到满足。

在实际中，为了更好地稳定输出电压的幅值，可采用负温度系数的热敏电阻来代替 R_f 。起振时，由于输出电压幅值较小，流过 R_f 的电流也较小，发热小，阻值较大，因而放大电路的电压放大倍数 A_u 较大，有利于起振；然后，输出电压幅值逐渐增大，流过 R_f 的电流也增大，电阻因温度升高而导致阻值下降，放大电路的电压放大倍数 A_u 也随之下降，从而实现了增益的自动调节，使电路输出幅值稳定。

RC 桥式正弦波振荡电路的振荡频率就是 RC 串并联电路的谐振频率 f_o

$$f_o = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.4-16)$$

由上式可知，调节 R 、 C 的值可改变振荡频率。

RC 振荡电路的振荡频率较低，一般在 1MHz 以下。对于 1MHz 以上的信号，应考虑采用 LC 振荡电路。