

# 移相器原理

1、移相器：能够对波的相位进行调整的仪器

2、原理

接于电路中的电容和电感均有移相功能, 电容的端电压落后于电流 90 度, 电感的端电压超前于电流 90 度, 这就是电容电感移相的结果;

先说电容移相, 电容一通电, 电路就给电容充电, 一开始瞬间充电的电流为最大值, 电压趋于 0, 随着电容充电量增加, 电流渐而变小, 电压渐而增加, 至电容充电结束时, 电容充电电流趋于 0, 电容端电压为电路的最大值, 这样就完成了一个充电周期, 如果取电容的端电压作为输出, 即可得到一个滞后于电流 90 度的称移相电压;

电感因为有自感自动势总是阻碍电路中变量变化的特性, 移相情形正好与电容相反, 一接通电路, 一个周期开始时电感端电压最大, 电流最小, 一个周期结束时, 端电压最小, 电流量大, 得到的是一个电压超前 90 度的移相效果;

3、基本原理

(1) 积分电路可用作移相电路

$$U_i = U_m \sin \omega t$$

$$U_o = \frac{1}{RC} \int U_m \sin \omega t \, dt = \frac{U_m}{\omega RC} \cos \omega t$$

(2) RC 移相电路原理

$$\dot{U}_1 = U_i \angle 0^\circ$$

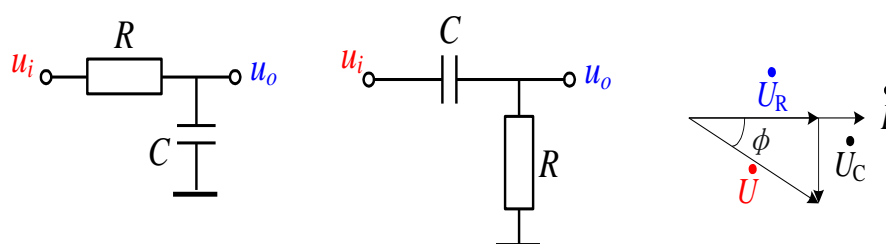


图 1 简单的 RC 移相

其中, 第一个图

$$\dot{U}_o = \frac{1/j\omega C}{R + 1/j\omega C} \dot{U}_1 = \frac{U_i}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} \angle -\tan^{-1} \omega RC$$

第二个图

$$\dot{U}_o = \frac{R}{R + 1/j\omega C} \dot{U}_i = \frac{U_i}{\sqrt{1 + \frac{1}{(\omega RC)^2}}} \angle \tan^{-1} \frac{1}{\omega RC}$$

而为了让输出电压有效值与输入电压有效值相等可以采取以下方式：

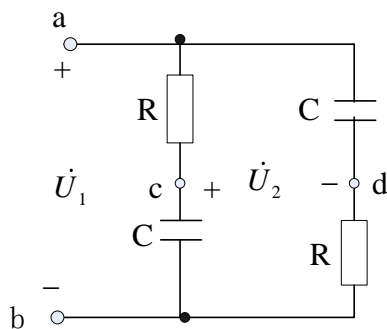


图2 幅值相等

$$\begin{aligned} \dot{U}_2 &= \dot{U}_{cb} - \dot{U}_{db} \\ &= \frac{1}{R + \frac{1}{j\omega C}} \dot{U}_1 - \frac{R}{R + \frac{1}{j\omega C}} \dot{U}_1 = \frac{1 - j\omega RC}{1 + j\omega RC} \dot{U}_1 \\ &= \frac{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} U_1 \angle -2 \arctan \omega RC \end{aligned}$$

其中：

$$U_2 = \frac{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} U_1 = U_1$$

$$\varphi_2 = -2 \arctan(\omega RC)$$

#### 4、改进后的移相电路

一般将  $RC$  与运放联系起来组成有源的移相电路。

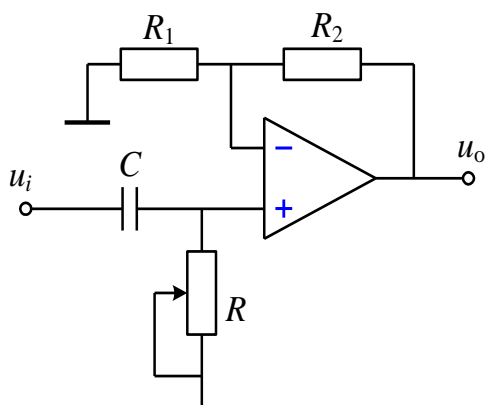


图 3 0~90°移相

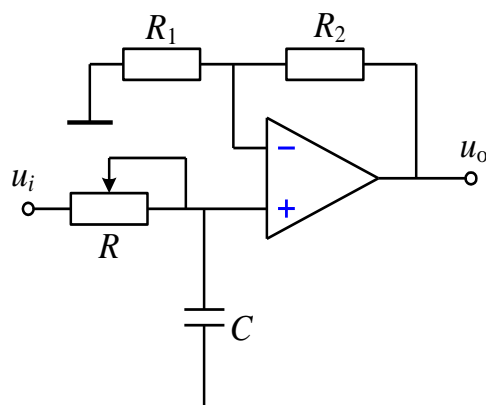


图 4 270°~360°移相

推导：

$$\dot{U}_+ = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC} \dot{U}_i$$

$$\dot{U}_- = k\dot{U}_o$$

$$\text{由 } \dot{U}_+ = \dot{U}_-$$

$$H(j\omega) = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{\omega^2 R^2 C^2 + j\omega RC}{k(1 + \omega^2 R^2 C^2)}$$

$$\tan \varphi = \frac{1}{\omega RC}$$

$$\dot{U}_+ = \frac{1}{1 + j\omega RC} \dot{U}_i$$

$$\dot{U}_- = k\dot{U}_o$$

$$\text{由 } \dot{U}_+ = \dot{U}_-$$

$$H(j\omega) = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{1 - j\omega RC}{k(1 + \omega^2 R^2 C^2)}$$

$$\tan \varphi = -\omega RC$$

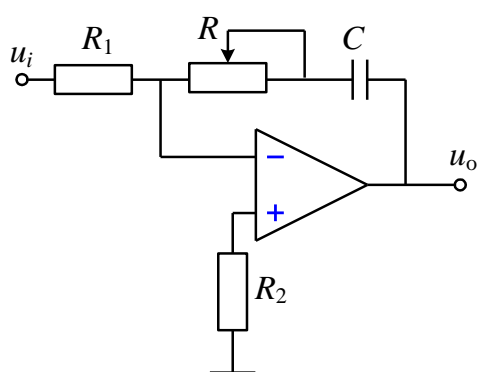


图 5 90°~180°移相

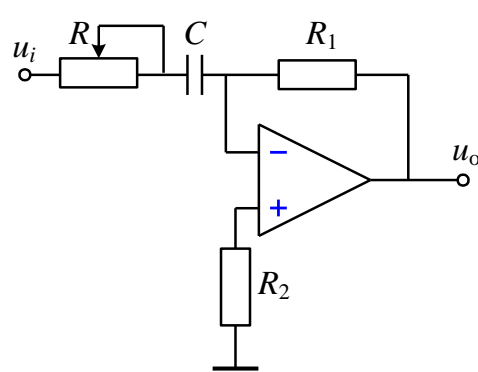


图 6 180°~270°移相

以上移相电路分别包括了整个  $360^\circ$  的四个象限，在应用时还要注意其应用频率和元件参数的关系，参数选得不同，移相的角度就会不同，一般说来，在靠近某移相电路的极限移相角度附近，其元器件的选择是十分困难的。

以上每个电路调节的范围都局限在  $90^\circ$  以内，要使其调节的范围增大，可以采用图 7 和图 8 的电路。

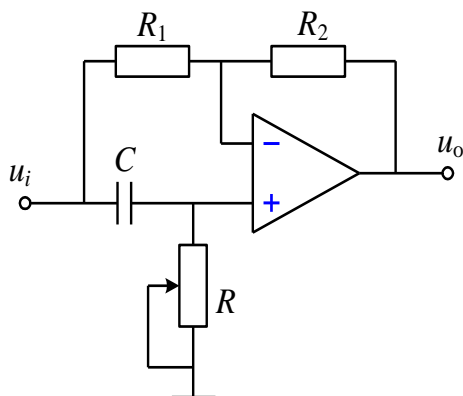


图 7  $0\sim 180^\circ$ 超前移相

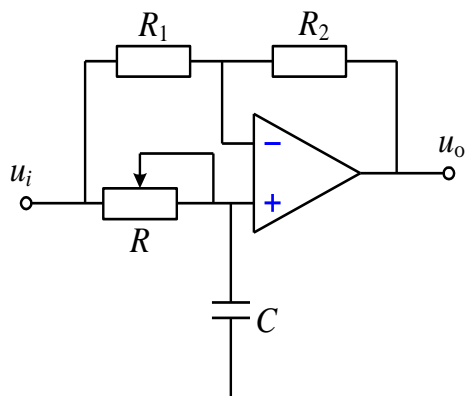


图 6  $0\sim 180^\circ$ 滞后移相

图 7 图 8 电路的传递方程推导都比较麻烦，我们仅对图 7 电路进行了推导，并将推导的主要结果列出如下：

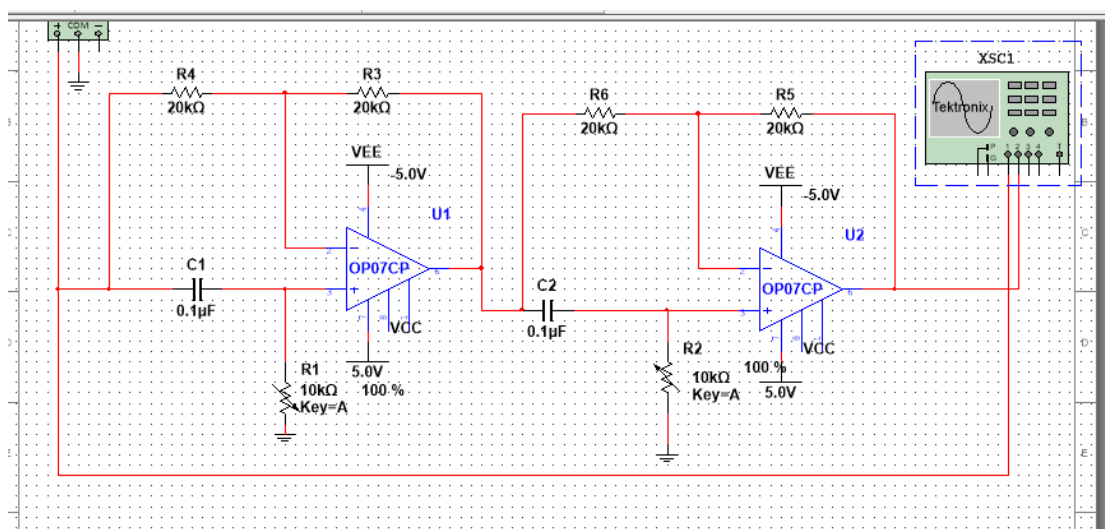
$$\dot{U}_+ = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC} \dot{U}_i$$

$$\dot{U}_- = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (\dot{U}_i - \dot{U}_o) = k(\dot{U}_i - \dot{U}_o)$$

$$\text{由 } \dot{U}_+ = \dot{U}_-$$

$$H(j\omega) = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{k(1 + \omega^2 R^2 C^2) - \omega^2 R^2 C^2 - j\omega RC}{k(1 + \omega^2 R^2 C^2)}$$

另外，可将各移相电路级联，组成  $0\sim 360$  度移相电路。





唐伯虎点蚊香 · -- LV5 老粉

这个移相器对方波进行移相应该会使方波失真的，有没有解决方案呢

2023-07-22 10:00 👍 1 🗨️ 回复



悍之心 LV5 UP 后面接比较器

2023-07-22 10:09 👍 🗨️ 回复



唐伯虎点蚊香 · -- LV5 回复 @无W铭 :与非门<sup>o</sup>和比较器<sup>o</sup>都试过了，占空比会发生变化

2023-07-22 12:24 👍 🗨️ 回复



悍之心 LV5 UP 回复 @唐伯虎点蚊香 · -- :你的输入信号频率是多少，如果开始为正弦波<sup>o</sup>，先移相<sup>o</sup>再接比较器

2023-07-22 13:27 👍 1 🗨️ 回复



唐伯虎点蚊香 · -- LV5 回复 @无W铭 :就是直接接入方波<sup>o</sup>，失真<sup>o</sup>的厉害

2023-07-22 20:13 👍 🗨️ 回复



励志买汤臣一品的小样 LV5 回复 @唐伯虎点蚊香 · -- :方波谐波<sup>o</sup>太多，不能用这个

2023-07-26 12:39 👍 🗨️ 回复



捏不碎的碳酸钙 LV5 肯定的呀，你想想方波是由于什么组成的呢，这个传递函数<sup>o</sup>还跟频率有关，可以先把方波基频<sup>o</sup>滤出来+比较器就可以了

2024-10-02 19:56 👍 🗨️ 回复



车车哩琉璃 LV5

后边那个模块，把底下的电阻R2拉到零的时候，仿真上波会成三角波<sup>o</sup>，博主实测过0~360么，你仿真可以出来？

2024-05-28 23:34 👍 🗨️ 回复



悍之心 LV5 UP 实测大于180°，到不了360

2024-05-29 01:47 👍 🗨️ 回复



是司马青衫 LV5

请问这个最大支持多大的频率呢

2023-07-15 18:46 👍 🗨️ 回复



悍之心 LV5 UP 100K

2023-07-15 19:33 👍 🗨️ 回复



是司马青衫 LV5 回复 @无W铭 :学长，这个移相器和程控移相器有什么区别吗，我最近在做17年的自适应滤波<sup>o</sup>器，市面上买的也不行，照着他的原理图画了一块，也用不了，快被那个程控移相器搞麻了。

2023-07-23 16:42 👍 🗨️ 回复



悍之心 LV5 UP 回复 @是司马青衫 :17年的用这个就可以

2023-07-23 18:28 👍 🗨️ 回复



是司马青衫 LV5 回复 @无W铭 :赛题好像是要求程控的频率要连续可调，学长这个也行嘛？

2023-07-23 20:11 👍 🗨️ 回复



第二根肋骨 LV5 回复 @是司马青衫 :我也是！我照着那个原理图画了一块，第一块改了些参数后手动的调出来了，但是后面修改完画了第二块第二块就用不了了

2023-07-27 09:26 👍 🗨️ 回复



天上飞的木杉仔 LV5

实测过了（直接买的up的模块），具体移相得看频率，只能说是在0~360度范围内可调，不会是完整的相位可调<sup>o</sup>，貌似对输入电压信号也有要求<sup>o</sup>

2024-07-31 09:39 👍 4 🗨️ 回复



Arrebol-Aurora LV5

up主 如果要实现10多兆正弦波信号<sup>o</sup>的移相 有什么推荐吗

2024-01-13 16:20 👍 🗨️ 回复



幽幽仔子 LV5 同问

2024-04-28 09:15 👍 🗨️ 回复



捏不碎的碳酸钙 LV5 回复 @幽幽仔子 :这个破移相电路<sup>o</sup>可用性不高，低频还好点，稍微上个100K就不好用了，毕竟传递函数跟RC<sup>o</sup>和频率有关，一是要根据不同频率选择合适的RC，用贴片的电阻电容不实际，只能电容固定+电位器

2024-10-02 19:54 👍 🗨️ 回复