

实验八 波形产生电路

1. 实验目的

- (1) 通过实验掌握由运放构成的正弦波振荡电路的原理与设计方法。
- (2) 通过实验掌握由运放构成的方波（矩形波）和三角波（锯齿波）振荡电路的原理与设计方法。

2. 实验电路与原理

(1) RC 桥式正弦振荡电路

RC 桥式正弦振荡电路如图 5.43 所示。其中 R_1 、 C_1 、 R_2 、 C_2 为串并联选频网络，接于运放的输出与同相输入端之间，构成正反馈，以产生正弦自激振荡。图中虚线框内的部分是带有负反馈的同相放大电路，其中 R_3 、 R_W 及 R_4 为负反馈网络，调节 R_W 即可改变负反馈的反馈系数，从而调节放大电路的电压增益，使之满足振荡的幅度条件。二极管 D_1 、 D_2 的作用是输出限幅，改善输出波形。

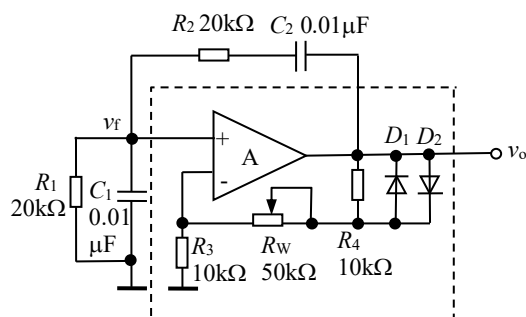


图 5.43 正弦振荡电路

① RC 串并联选频网络的选频特性

为了清晰，重画出 RC 串并联选频网络，如图 5.44 所示。一般取 $R_1=R_2=R$ ， $C_1=C_2=C$ ，令 R_1 、 C_1 并联的阻抗为 Z_1 ，

R_2 、 C_2 串联的阻抗为 Z_2 及 $\omega_0 = \frac{1}{RC}$ ，则 $Z_1 = \frac{R}{1 + j\omega RC}$ ，

$Z_2 = R + \frac{1}{j\omega C}$ 。不难推出正反馈的反馈系数为

$$\dot{F} = \frac{\dot{V}_f}{\dot{V}_o} = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} = \frac{1}{3 + j(\omega/\omega_0 - \omega_0/\omega)} \quad (5.21)$$

由此可得 RC 串并联选频网络的幅频特性与相频特性分别为

$$F = \frac{1}{\sqrt{3^2 + (\omega/\omega_0 - \omega_0/\omega)^2}} \quad (5.22)$$

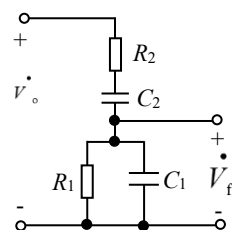


图 5.44 RC 串并联选频网络

$$\phi_F = -\arctg \frac{(\omega/\omega_0 - \omega_0/\omega)}{3} \quad (5.23)$$

由式(5.22)、式(5.23)可画出其幅频特性与相频特性的曲线,如图 5.45 所示。

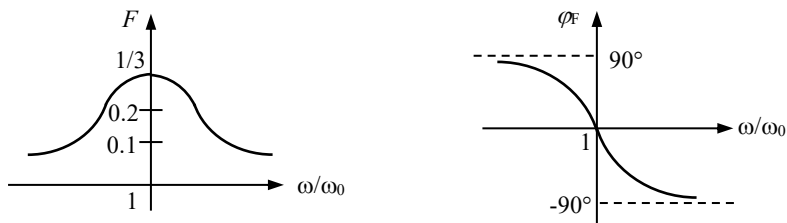


图 5.45 RC 串并联选频网络的频率特性

由式(5.22)、式(5.23)可知,当 $\omega = \omega_0 = 1/(RC)$ 时,反馈系数的幅值为最大,即 $F = \frac{1}{3}$,而相角 $\phi_F = 0$ 。

② 起振条件与振荡频率

由图 5.43 可知,在 $\omega = \omega_0 = 1/(RC)$ 时,经 RC 串并联选频网络反馈到运放的同相输入端的电压 \dot{V}_f 与输出电压 \dot{V}_o 同相,满足自激振荡的相位条件。如果此时负反馈放大电路的增益 $A_{vf} > 3$,则满足 $A_{vf}F > 1$ 的起振条件。电路起振之后,经过放大,选频网络反馈,再放大等过程,使输出电压幅度愈来愈大,最后受电路中器件的非线性限制,使振荡幅度自动地稳定下来,放大电路的增益由 $A_{vf} > 3$ 过渡到 $A_{vf} = 3$,即由 $A_{vf}F > 1$ 过渡到 $A_{vf}F = 1$,达到幅度平衡状态。

以上分析表明,只有当 $\omega = \omega_0 = 1/(RC)$ 时, $\phi_F = 0$,才能满足振荡的相位平衡条件,因此振荡频率由相位平衡条件决定,振荡频率为

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad (5.24)$$

电路的起振条件为 $A_{vf} > 3$,调节负反馈放大电路的反馈系数即可使 A_{vf} 略大于 3,满足起振的要求。由图 5.43 可知,调节 R_W 使 $(R_W + R_4)/R_3$ 略大于 2 即可。

需要说明,如果放大电路的电压增益 A_{vf} 大于 3,则因振荡幅度的增长,使放大电路工作到非线性区域,输出波形会产生较严重的失真。

③ 稳幅措施

为了稳定振荡幅度,并避免放大器进入非线性区域,通常是在放大电路的负反馈回路里加入非线性元件来自动调整负反馈放大电路的增益,从而维持输出电压幅度的稳定。图 5.43 中的两个二极管 D_1 、 D_2 便是稳幅元件。当输出电压的幅度较小时,电阻 R_4 两端的电压小,

二极管 D_1 、 D_2 截止，负反馈系数由 R_3 、 R_W 及 R_4 决定。当输出电压的幅度增加到一定程度时，二极管 D_1 、 D_2 导通，其动态电阻与 R_4 并联，使负反馈系数加大，电压增益下降。输出电压的幅度越大，二极管的动态电阻越小，电压增益也越小，使输出电压的幅度保持基本稳定。

(2) 多谐振荡电路

实验电路如图 5.46 所示。运放 A_1 和电阻 R_1 、 R_2 等组成同相输入的滞回比较器，电阻 R_3 、稳压二极管 D_{Z1} 和 D_{Z2} 构成输出限幅电路，使得滞回比较器的输出取值为 $+V_Z$ 或 $-V_Z$ 。运放 A_2 和 R_4 、 C 构成积分电路。其输出电压 v_{O2} 反馈至施密特触发器的输入端，形成闭环，使电路产生自激振荡。施密特触发器的输出 v_{O1} 为方波，积分电路的输出 v_{O2} 为三角波。

不难推导出，电路的振荡频率、输出电压 v_{O1} 、 v_{O2} 的幅度分别为

$$f_0 = \frac{R_1}{4R_2R_4C} \quad (5.25)$$

$$V_{om1} = 2V_Z \quad (5.26)$$

$$V_{om2} = \frac{2R_2}{R_1} V_Z \quad (5.27)$$

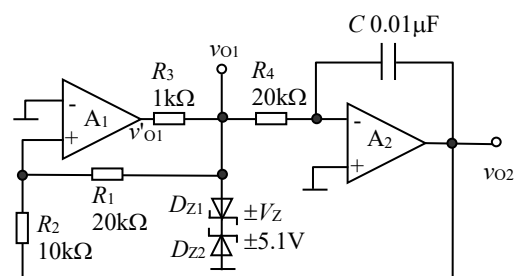


图 5.46 多谐振荡电路

3. 实验内容

(1) RC 桥氏正弦振荡电路

实验电路如图 5.43 所示，电源电压为 $\pm 10V \sim \pm 12V$ 。

① 缓慢调节电位器 R_W ，观察电路输出波形的变化，解释所观察到的现象，分析电路的振荡条件。

② 调节电位器 R_W 为 $12k\Omega$ （也可以用 $10k$ 和 $2k$ 两个电阻串联代替 R_W ），电路应当可以输出较好的正弦波形，测出振荡频率和幅度。

③ 在步骤②的基础上将两个二极管断开，观察输出波形有什么变化，并分析原因。

(2) 多谐振荡电路

① 按图 5.46 安装实验电路（电源电压为 $\pm 10V \sim \pm 12V$ ）。观测 v_{O1} 、 v_{O2} 波形的幅度、周期（频率）以及 v_{O1} 的上升时间 t_r 和下降时间 t_f 等参数。

② 对图 5.46 电路略加修改，使之变成矩形波和锯齿波振荡电路，即 v_{O1} 为矩形波， v_{O2} 为锯齿波。要求锯齿波的逆程（电压下降段）时间大约是正程（电压上升段）时间的 20% 左右。观测 v_{O1} 、 v_{O2} 的波形，记录它们的幅度、周期（频率）等参数。

4. 注意事项

- (1) 图 5.46 电路在接线时, 注意不要漏接图中的 R_3 电阻, 以免损坏运放。
- (2) 运放电路所接负载电阻不得过小。
- (3) 运放的正负电源的极性和大小要正确。

5. 预习内容

- (1) 复习运算放大器(上学期实验四)全部内容、RC 电路实验中 RC 带通滤波器部分内容(本学期实验五), 整理实验结论备用。
- (2) 分析图 5.43 电路的工作原理, 根据图中的元件参数, 计算符合振荡条件的 R_W 值以及振荡频率 f_0 。
- (3) 深入分析图 5.46 所示电路的工作原理, 画出 v_{O1} 、 v_{O2} 的波形, 推导 v_{O1} 、 v_{O2} 波形的周期(频率)和幅度的计算公式。按图 5.46 中给出的元件参数计算 v_{O1} 、 v_{O2} 波形的周期(频率)、幅度, 以备与实验实测值进行比较。
- (4) 按“实验内容(2)②”的要求, 画出修改后的电路图, 标出元件参数, 供实验用。

6. 实验报告要求

- (1) 将预习中的计算结果和实验测试结果相比较, 并进行分析讨论。
- (2) 结合实验结果回答思考题。

7. 思考题

- (1) 设图 5.43 中的两个并联二极管的导通电压约为 0.6V, 其它元件参数如图所示, 请估算在刚进入稳定振荡时输出电压的幅度是多少?
- (2) 如何使图 5.43 中的振荡器的振荡频率连续可调? 如何减小正弦波输出的失真?
- (3) 在图 5.46 所示的电路中, 如将运放 A_2 的输出改接至运放 A_1 的反相输入端(电阻 R_2 下端接地), 电路能否正常工作? 为什么?