

控制系统典型环节的模拟实验报告

黄于翀 3210105423

一、实验目的

- 1)、熟悉超低频扫描示波器的使用方法
- 2)、掌握用运放组成控制系统典型环节的电子电路
- 3)、测量典型环节的阶跃响应曲线
- 4)、通过实验了解典型环节中参数的变化对输出动态性能的影响

二、实验仪器

- 1)、控制理论电子模拟试验箱一台
- 2)、超低频慢扫描示波器一台
- 3)、万用表一只

三、实验原理

以运算放大器为核心原件，由其不同的R-C输入网络和反馈网络组成的各种典型环节，如图 1-1 所示。图中 Z_1 和 Z_2 为复数阻抗，它们都是由R、C构成。

基于图中 A 点的点位为虚地，略去流入运放的电流，则由图 1-1 得：

$$G(s) = \frac{-u_0}{u_i} = \frac{Z_2}{Z_1} \tag{1}$$

由上式可求得由些列模拟电路组成的典型环节的传递函数及其单位阶跃响应。

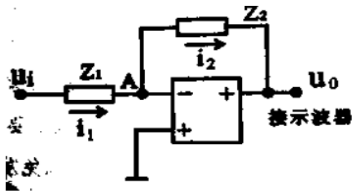


图 1-1 运放的反馈连接

四、实验内容

1. 比例环节

比例环节的模拟电路如图 1-2 所示：

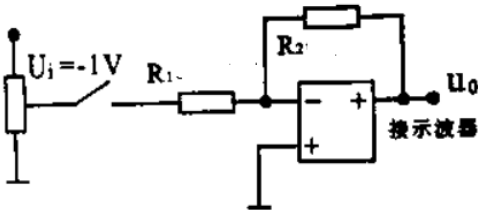
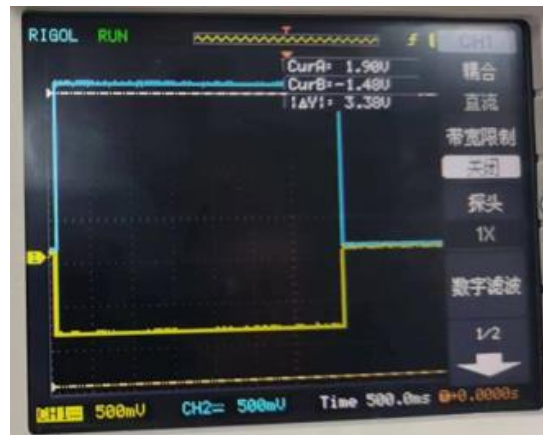


图 1-2 比例环节

不难得到其传递函数为

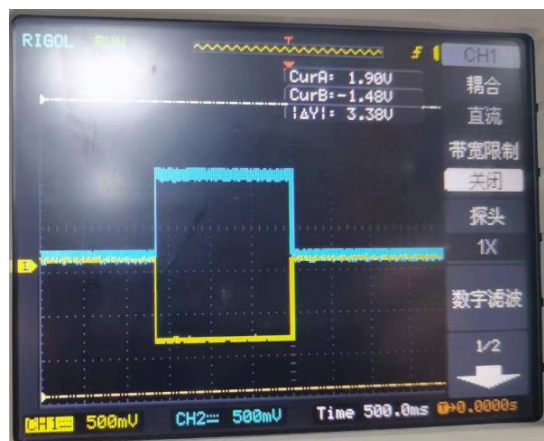
$$G(s) = \frac{R_2}{R_1}$$

当 $G(s) = 2$, 我们取 $R_2 = 820K\Omega$, $R_1 = 410K\Omega$, 得到如下单位阶跃响应波形



可见其输出为两倍反向的输入。

当 $G(s) = 1$, 我们取 $R_2 = 410K\Omega$, $R_1 = 410K\Omega$, 得到如下单位阶跃响应波形

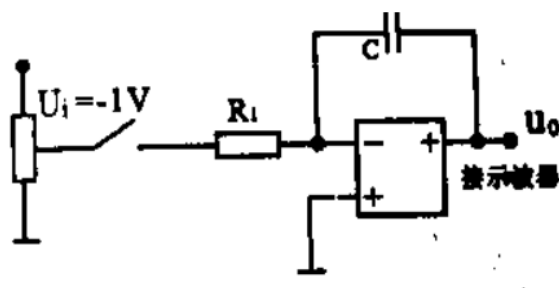


可见其输出大小与输入相等, 方向相反。

由此我们可以得出结论, 比例环节能将输入反向输出并放大或缩小一定的比例, 这个比例将由 R_2 和 R_1 的比值决定。

2. 积分环节

积分环节的模拟电路如下图所示:



传递函数如下:

$$\begin{aligned} G(s) &= \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{1/CS}{R} \\ &= \frac{1}{RCS} \\ &= \frac{1}{TS} \end{aligned}$$

式中积分时间常数 $T=RC$ 。

当 $G(s) = 1/S$, 我们取 $R_1 = 1M\Omega$, $C=1\mu F$, 得到如下单位阶跃响应波形



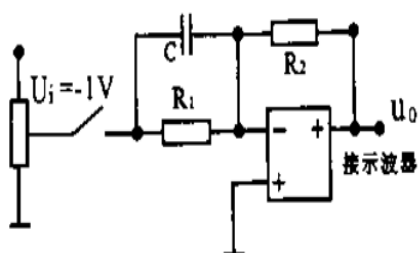
当 $G(s) = 1/0.5S$, 我们取 $R_1 = 500K\Omega$, $C=1\mu F$, 得到如下单位阶跃响应波形



由此我们可以得出结论, 积分环节接受阶跃信号输入后, 输出是一个状似斜坡的一次函数, 在电容充电完成后, 输出端电压保持不变。阻值与电容的乘积, 也即积分时间常数 T 越小, 斜坡斜率越大, 过渡过程时间越短。

3. 比例微分环节

比例微分环节的模拟电路如下图所示:



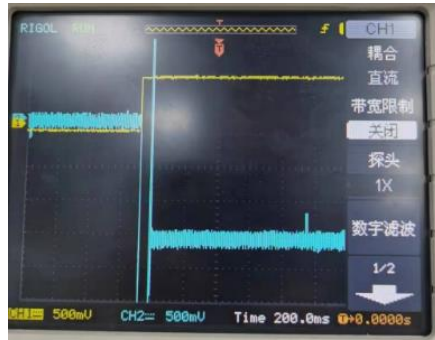
传递函数如下:

$$G(s) = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{R_2}{\frac{R_1}{CS}} = \frac{R_2}{R_1} \cdot (R_1 CS + 1) = K(T_D S + 1)$$

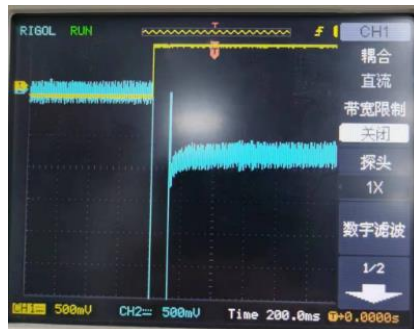
$$\frac{R_2}{R_1} \cdot (R_1 CS + 1) = K(T_D S + 1)$$

$$\text{其中 } K = \frac{R_2}{R_1}, T_D = R_1 C$$

当 $G(s) = 2+S$, 我们取 $R_2 = 1M\Omega$, $R_1=500K\Omega$, $C=1\mu F$, 得到如下单位阶跃响应波形



当 $G(s) = 2/s$, 我们取 $R_2 = 1M\Omega$, $R_1=1M\Omega$, $C=2\mu F$, 得到如下单位阶跃响应波形

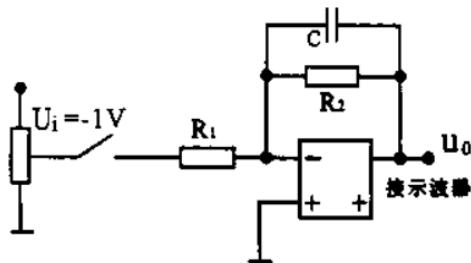


由此我们可以得出结论, 比例微分环节接受阶跃信号输入后, 先出现微分运算, 之后稳定在一个电压上。 T_D 越大, 微分运算越明显, K 越大, 最后稳定下来的电压绝对值越大。

4. 惯性环节

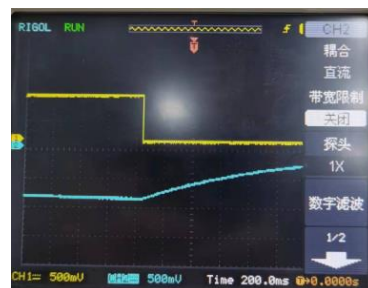
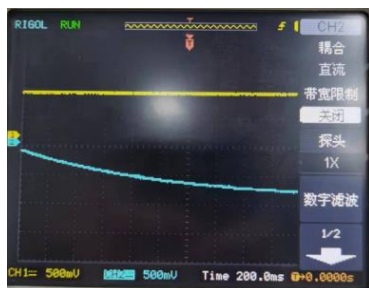
惯性环节的模拟电路如下图所示:

传递函数如下:

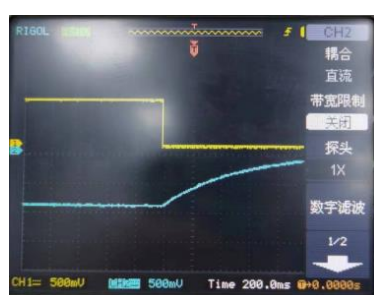
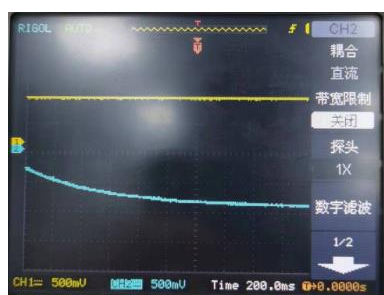


$$G(s) = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{\frac{R_2 / CS}{R_2 + 1/CS}}{R_1} = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{R_2 CS + 1} = \frac{K}{TS + 1}$$

当 $G(s) = 1/(s+1)$, 我们取 $R_2 = 1M\Omega$, $R_1=1M\Omega$, $C=1\mu F$, 得到如下单位阶跃响应波形



当 $G(s) = 1/(0.5s+1)$, 我们取 $R_2 = 1M\Omega$, $R_1=1M\Omega$, $C=0.5\mu F$, 得到如下单位阶跃响应波形

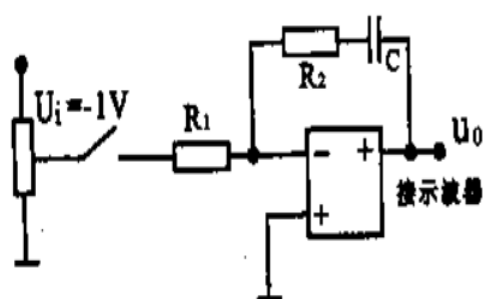


由此我们可以得出结论，惯性环节接受阶跃信号输入后，响应信号逐步上升最后趋于稳态值。阻值与电容的乘积，也即积分时间常数 T 越小，斜坡斜率越大，过度过程时间越短。K 值代表稳态值与输入的大小比值，不过在本次实验 K 值没有变化。

5. 比例积分环节

比例积分环节的模拟电路如下图所示：

传递函数如下：



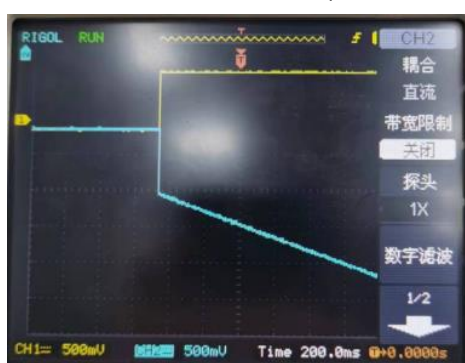
$$G(s) = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{R_1 + 1/CS}{R_1} = \frac{R_2CS + 1}{R_1CS}$$

$$= \frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{R_1CS} = \frac{R_2}{R_1} \cdot \left(1 + \frac{1}{R_2CS}\right)$$

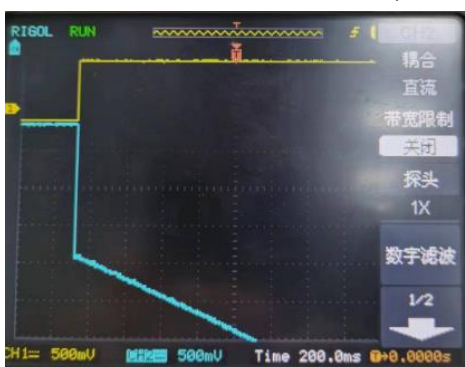
$$= K \left(1 + \frac{1}{T_2S}\right)$$

$$\text{式中 } K = \frac{R_2}{R_1}, \quad T_2 = R_2C$$

当 $G(s) = 1 + 1/S$ ，我们取 $R_2 = 1M\Omega$ ， $R_1 = 1M\Omega$ ， $C = 1\mu F$ ，得到如下单位阶跃响应波形



当 $G(s) = 2(1 + 1/2S)$ ，我们取 $R_2 = 1M\Omega$ ， $R_1 = 500K\Omega$ ， $C = 2\mu F$ ，得到如下单位阶跃响应波形



由此我们可以得出结论，比例积分环节接受阶跃信号输入后，响应信号先反向放

大或缩小一定比例，然后线性上升，最后到达稳态值。放大比例等于 R_2 和 R_1 的比值决定。 T 会影响过程过渡时间，不过在本次实验 T 值没有变化。

五、注意事项

- 1)、输入的单位阶跃信号取自实验箱中的函数信号发生器。
- 2)、电子电路中的电阻取千欧，电容为微法。

六、心得与体会

- 1.电路的组装需要格外细心，出错后再检查需要花费更大的精力；
- 2.需要时刻注意用电安全，否则实验室较为老旧的仪器非常容易就出现烧坏的情况；
- 3.实验仪器是实验过程十分重要的一部分，实验仪器的质量可能直接决定了实验过程是否顺利。

七、思考题

- 1)、用运放模拟典型环节时，其传递函数是在哪两个假设条件下近似导出的？
开环增益无限大，和输入端虚短接。

2)、积分环节和惯性环节主要差别是什么？在什么条件下，惯性环节可以近似地视为积分环节？在什么条件下，又可以视为比例环节？

i.在阶跃信号作为输入的条件下，积分环节按照积分（直线）的规律趋于终值，惯性环节，按照指数函数的形式趋于终值。

ii. 在 $t \rightarrow 0$ 时，惯性环节可以视作积分环节；

iii.在 $t \rightarrow \infty$ 时，惯性环节可以视作比例环节。

- 3)、如何根据阶跃响应的波形，确定积分环节和惯性环节的时间常数？

积分环节的时间常数为，输出信号从施加阶跃信号时开始，到输出信号增长到阶跃信号大小时所需要的时间，可以通过示波器读数来实现。

惯性环节的时间常数为，以刚施加阶跃信号时输出信号的变化速率进行增长，到达阶跃信号大小所需要的时间，在响应曲线起点作切线，与阶跃信号大小的水平线相交，得到交点，计算交点与起点的水平距离，便可以得到时间常数。