

实验名称：采样控制系统研究

姓名：吴宇薇

同组者：李震朝

班级：电气 74

学号：2173621848

一、实验目的

1. 研究信号的采样和恢复与采样周期的关系；
2. 研究采样周期 T 的大小对系统性能的影响；
3. 培养学生研究采样系统的技能。

二、实验设备

1. THKKL-4 型自动控制理论教学实验箱
2. 泰克 TDS210 示波器

三、实验原理

图 1 为信号的采样的恢复的方块图。图中 $X(t)$ 是 t 的连续信号，经采样开关采样后，变为离散信号 $X^*(t)$ 。

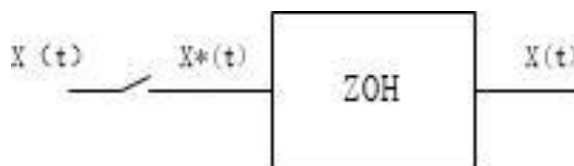


图 1 信号的采样的恢复的方块图

香农定理证明要使被采样后的离散信号 $X^*(t)$ 能不失真的恢复原有的连续信号，其充分条件为

$$\omega_s \geq 2\omega_{\max}$$

式中， ω_s 为采样的角频率， ω_{\max} 为连续信号的最高角频率。由于 $\omega_s = \frac{2\pi}{T}$ ，因而上式可以改写为

$$T \leq \frac{\pi}{\omega_{\max}}$$

T 为采样周期。

采样控制系统稳定的充要条件为其特征方程的根均位于 Z 平面上以坐标原点为圆心的单位圆内，且这种系列的动、静态性能均只与采样周期 T 有关。

四、实验电路

1、信号的采样和恢复

本实验采用“采样—保持器”组件 LF398，它具有将连续信号离散后的零阶保持器输出信号的功能。图 2 为采样保持电路。图中的 MC1555 为产生方波多谐振荡器的周期，即改变采样周期 T 。图 3 为 LF398 的接线图。

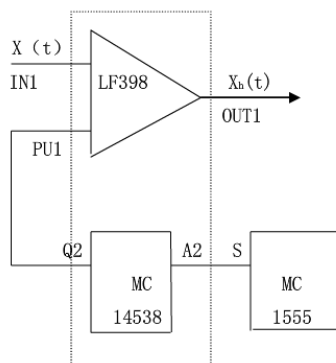


图 2 采样保持电路

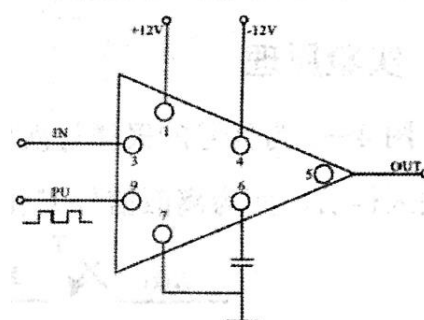


图 3 LF398 的接线图

2、闭环采样系统

图 4 为采样控制信号系统的方框图，图中 $\frac{1-e^{-Ts}}{s}$ 为零阶保持器 ZOH 的传递函数，图 5 为该系统的模拟电路。

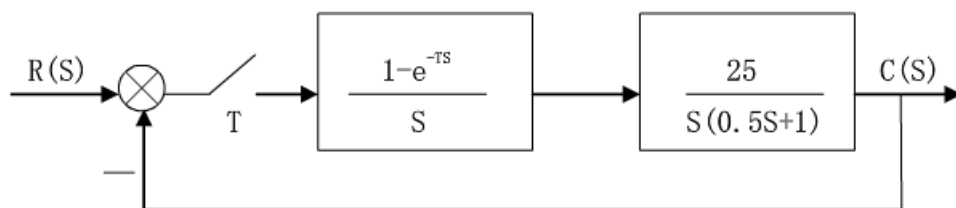


图 4 采样控制信号系统的方框图

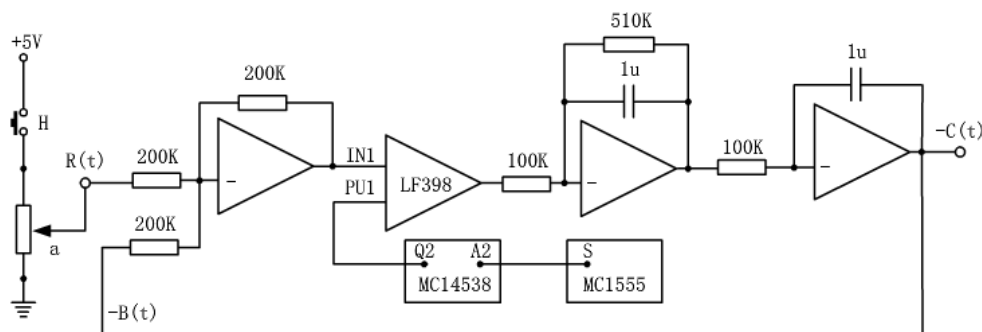


图 5 闭环采样系统的模拟电路图

图 4 所示系统的开环脉冲传递函数为：

$$\begin{aligned}
 G(z) &= Z \left[\frac{25(1-e^{-Ts})}{s^2(0.5s+1)} \right] = 25(1-z^{-1}) Z \left[\frac{2}{s^2(s+2)} \right] \\
 &= 25(1-z^{-1}) Z \left[\frac{1}{s^2} - \frac{0.5}{s} + \frac{0.5}{s+2} \right] = 25(1-z^{-1}) \left[\frac{Tz}{(z-1)^2} - \frac{0.5z}{z-1} + \frac{0.5z}{z-e^{-2T}} \right] \\
 &= \frac{12.5[(2T-1+e^{-2T})z + (1-e^{-2T}-2Te^{-2T})]}{(z-1)(z-e^{-2T})}
 \end{aligned}$$

闭环脉冲传递函数为：

$$\begin{aligned}
 \frac{C(z)}{R(z)} &= \frac{12.5[(2T-1+e^{-2T})z + (1-e^{-2T}-2Te^{-2T})]}{z^2 - (1+e^{-2T})z + e^{-2T} + 12.5[(2T-1+e^{-2T})z + (1-e^{-2T}-2Te^{-2T})]} \\
 \frac{C(z)}{R(z)} &= \frac{12.5[(2T-1+e^{-2T})z + (1-e^{-2T}-2Te^{-2T})]}{z^2 + (25T-13.5+11.5e^{-2T})z + (12.5-11.5e^{-2T}-25Te^{-2T})}
 \end{aligned}$$

闭环脉冲系统的特征方程式为：

$$z^2 + (25T-13.5+11.5e^{-2T})z + (12.5-11.5e^{-2T}-25Te^{-2T})=0$$

根据上式可知，特征方程的根与采样周期 T 有关。若特征根的模均小于 1，则系统稳定，若有一个特征根的模大于 1，则系统不稳定，因此系统的稳定性与采样周期 T 有关。

五、实验内容及步骤

准备：将信号发生器单元 U1 的 ST 端和 +5V 端用“短路块”短接

1. 信号的采样与恢复

研究信号的采样保持与采样周期的关系

1) 接线

- 2) 将 U2 信号发生器单元的输出频率调节为 2Hz,再将 2Hz 的正弦信号接至 LF398 的输入端
- 3) 分别使采样周期 $T=5\text{ms}$ 50ms 250ms $>250\text{ms}$,观测输入波形和输出波形。

2. 闭环采样系统的研究

研究闭环采样控制系统的稳定性及瞬态响应

1) 接线

- 2) 将 U1 信号发生器单元的波段开关 S12 分别置于“T1”“T2”档, 调节调频电位器 W11 分别使采样周期 $T=3\text{ms}$ 30ms 150ms , 系统加入阶跃信号 $R(t)$, 观察并记录系统的输出波形 $C(t)$,测量超调量。

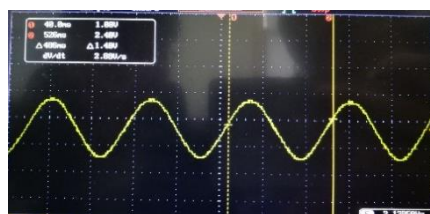
六、实验结果及分析

1. 信号的采样与恢复实验结果分析

输入、输出波形如下图所示：



输入波形



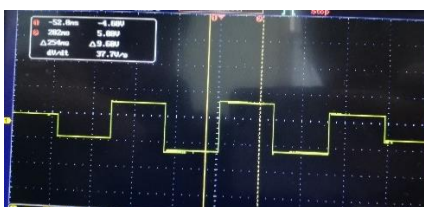
$T=5\text{ms}$ 时的输出波形



$T=50\text{ms}$ 时输出波形



$T=250\text{ms}$ 时输出波形

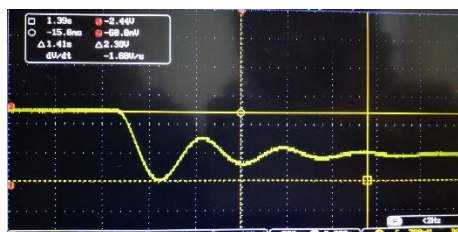


$T>250\text{ms}(570\text{ms})$ 时输出波形

从图中可以看出, 采样周期的不同, 信号复现的能力也不同, 采样时间越短, 信号复现的程度越高, 误差越小; 采样时间越长, 信号复现的误差越大, 当采样频率不满足香农定理时, 信号将无法正确复现。

2. 闭环采样系统的分析

采样周期取值不同时, 输出波形如下图所示：



$T=2.82\text{ms}$



$T=30\text{ms}$



$T=150\text{ms}$

从图中可以看出, 采样时间对采样系统的稳定性以及动态特性都有影响, 合理地设置采样时间非常关键。采样周期越长, 则系统的调节时间越长, 超调量也越大。采样周期大于一定值后, 系统将不稳定。

超调量的计算结果：

$$\textcircled{1} T=2.82\text{ms} \text{ 时, } \sigma = (2.38 - 1.44) / 1.44 \times 100\% = 65.3\%$$

$$\textcircled{2} T=30\text{ms} \text{ 时, } \sigma = (2.56 - 1.51) / 1.51 \times 100\% = 69.5\%$$

$\textcircled{3} T=150\text{ms}$ 时, 发生自激振荡, 系统不稳定

3. 理论分析图 4 所示闭环采样系统的稳定性

系统的特征方程为

$$z^2 + (25T - 13.5 + 11.5e^{-2T})z + (12.5 - 11.5e^{-2T} - 25Te^{-2T}) = 0$$

$\textcircled{1} T=2.82\text{ms}$ 时, 特征根为 $0.997 \pm 0.0197i$, 模为 $0.997 < 1$, 系统稳定;

$\textcircled{2} T=30\text{ms}$ 时, 特征根为 $0.9599 \pm 0.2052i$, 模为 $0.9816 < 1$, 系统稳定;

$\textcircled{3} T=150\text{ms}$ 时, 特征根为 $0.6153 \pm 0.9077i$, 模为 $1.0966 > 1$, 系统不稳定。

实验结果与理论一直。

七、思考题

1.信号经采样后需要恢复，采样频率的选取需要满足什么？

答：采样频率需要大于两倍的信号最大频率。

2.采样周期对采样系统性能的影响怎样？

答：当开环增益一定时，采样周期越长，丢失的信息越多，对离散系统的稳定性及动态性能均不利，当采样时间过大时，系统甚至可能失去稳定性。

3.与图 4 相应的连续系统会产生不稳定现象吗？

答：根据图四的传递函数，得到连续系统闭环传递函数为 $G(s) = \frac{25}{0.5s^2 + s + 25}$ ，由劳斯判据可知，系统稳定。

4.采样系统可按连续系统来分析和设计吗？

答：不可以。因为采样保持器和采样周期会对系统造成影响。