

仲恺农业工程学院实验报告纸

自动化（院、系） 自动化 专业 214 班 组 课

学号 202121724208 姓名 吕凯锋 实验日期

教师评定

4.1 最小拍控制系统

4.1.1 实验目的

- 1.掌握最小拍有纹波控制系统的设计方法
- 2.掌握最小拍无纹波控制系统的设计方法。

4.1.2 实验设备

PC 机一台，TD-ACC 实验系统一套，SST51 系统板一块

4.1.3 实验原理及内容

典型的最小拍控制系统如图 4.1-1 所示，其中 $D(Z)$ 为数字调节器， $G(Z)$ 为包括零阶保持器在内的广义对象的 Z 传递函数， $\Phi(Z)$ 为闭环 Z 传递函数， $C(Z)$ 为输出信号的 Z 传递函数， $R(Z)$ 为输入信号的 Z 传递函数。

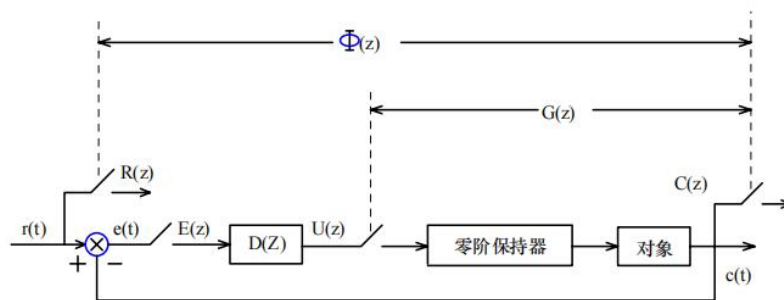


图 4.1-1

$$\text{闭环 } Z \text{ 传递函数 } \Phi(Z) = \frac{D(Z)G(Z)}{1 + D(Z)G(Z)}$$

$$\text{误差 } Z \text{ 传递函数 } Ge(Z) = \frac{E(Z)}{R(Z)} = 1 - \Phi(Z) = \frac{1}{1 + D(Z)G(Z)}$$

可得最小拍控制系统的数字调节器为：

$$D(z) = \frac{U(z)}{E(z)} = \frac{1 - Ge(Z)}{Ge(Z)G(Z)} = \frac{\Phi(Z)}{G(Z)[1 - \Phi(Z)]}$$

将 $D(Z)$ 表示成计算机可实现的有理多项式：

$$D(Z) = \frac{U(Z)}{E(Z)} = \frac{K_0 + K_1 Z^{-1} + K_2 Z^{-2} + K_3 Z^{-3}}{1 + P_1 Z^{-1} + P_2 Z^{-2} + P_3 Z^{-3}}$$

式中 $E(Z)$ 为误差输入， $U(Z)$ 为输出。

将 $D(Z)$ 式写成差分方程，则有：

$$U_k = K_0 E_k + K_1 E_{k-1} + K_2 E_{k-2} + K_3 E_{k-3} - P_1 U_{k-1} - P_2 U_{k-2} - P_3 U_{k-3}$$

式中 $E_k \sim E_{k-3}$ ，误差输入； $U_k \sim U_{k-3}$ ，计算机输出。

1. 最小拍有纹波系统设计

图 4.1-2 是一个典型的最小拍控制系统。

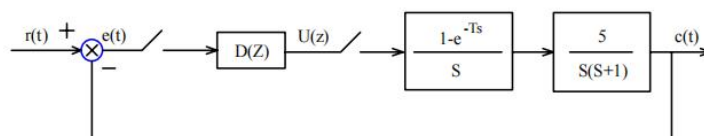


图 4.1-2

针对阶跃输入，其有纹波系统控制算法可设计为：
$$D(Z) = \frac{U(Z)}{E(Z)} = \frac{0.5435 - 0.2Z^{-1}}{1 + 0.717Z^{-1}}$$

$$\begin{cases} K_0 = 0.5435 \\ K_1 = -0.2 \\ K_2 = 0 \\ K_3 = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} P_1 = 0.717 \\ P_2 = 0 \\ P_3 = 0 \end{cases}$$

当阶跃输入信号幅值为 2.5V 时， $E(Z) = Ge(Z) \cdot R(Z) = (1-Z)^{-1} = 2.5/1-Z^{-1} = 2.5$

$$U(Z) = D(Z) \cdot E(Z) = 1.3590 - 1.4744Z^{-1} + 1.0571Z^{-2} - 0.7580Z^{-3}$$

2. 最小拍无纹波系统设计

有纹波系统虽然在采样点上的误差为零，但不能保证采样点之间的误差值也为零，因此存在纹波现象。无纹波系统设计只要使 $U(Z)$ 是 Z 的有限多项式，则可以保证系统输出无纹波。即：

$$U(Z) = \frac{\Phi(Z)}{G(Z)} = \Phi(Z) \frac{\prod_{i=1}^n (1 - P_i Z^{-1})}{Z^{-r} \prod_{i=1}^n (1 - Z_i Z^{-1})}$$

式中 P_i 、 Z_i 分别是 $G(Z)$ 的极点和零点。为了使 $U(Z)$ 为有限多项式，只要 $\Phi(Z)$ 的零点包含 $G(Z)$ 的全部零点即可，这也是最小拍无纹波设计和有纹波设计的唯一不同点。如图 4.1-2 所示，针对单位斜坡输入，无纹波系统控制算法可设计为：

$$D(Z) = \frac{U(Z)}{E(Z)} = \frac{0.7650 - 0.7302Z^{-1} + 0.1651Z^{-2}}{1 - 0.4080Z^{-1} - 0.5920Z^{-2}}$$

$$\begin{cases} K_0 = 0.7650 \\ K_1 = -0.7302 \\ K_2 = 0.1651 \\ K_3 = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} P_1 = -0.4080 \\ P_2 = -0.5920 \\ P_3 = 0 \end{cases}$$

3.实验线路图

图 4.1-2 所示的方框图，其硬件电路原理及接线图可设计如下，图中画“。”的线需用户在实验中自行接好，对象需用户在运放单元搭接。

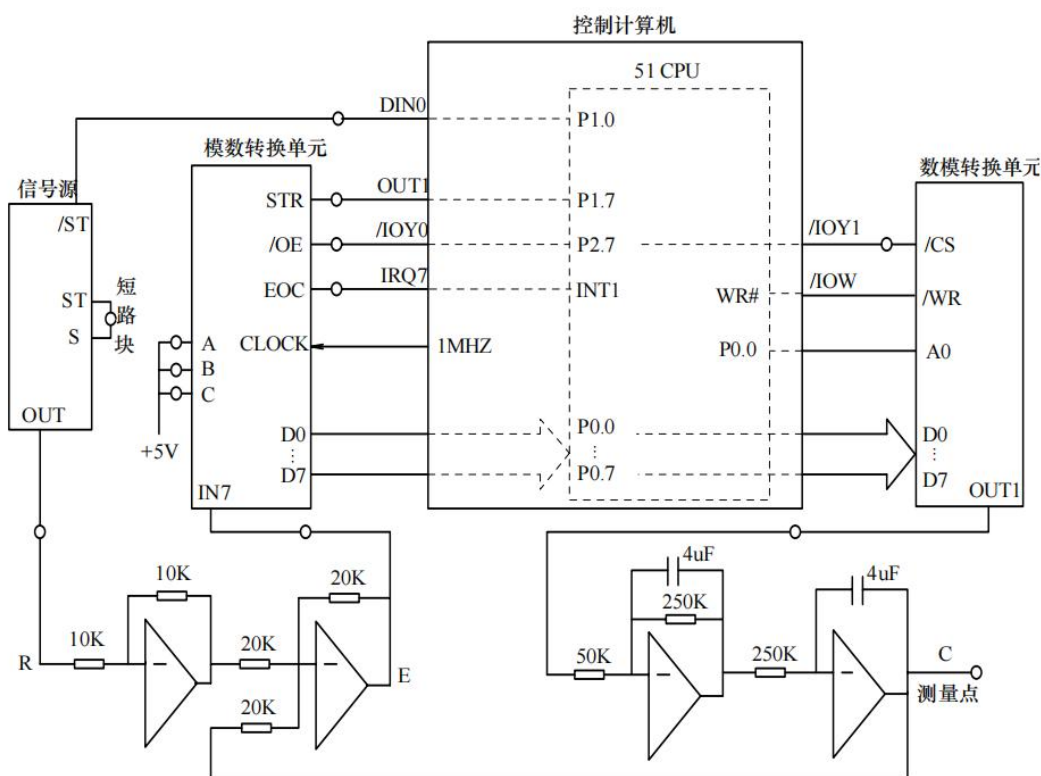


图 4.1-3

上图中，用 P1.7 来模拟 1#定时器的输出，通过 OUT1 排针引出，方波周期=定时器时常 x2，“IRQ7”表示 51 的外部中断 1，用作采样中断，“DIN0”表示 51 的 IO 管脚 P1.0，在这里作为输入管脚用来检测信号是否同步。这里，系统误差信号 E 通过模数转换单元“IN7”端输入，控制计算机的定时器作为基准时钟(初始化为 10ms)，定时采集“IN7”

端的信号，通过采样中断读入信号 E 的数字量,并将采样值进行 $D(Z)$ 计算，得到相应的控制量，再把控制量送到数模转换单元，在“OUT1”端输出相应的模拟信号，来控制对象系统。

4.数字控制器的实现

图 4.1-4 是数字控制器实现的参考程序流程图。

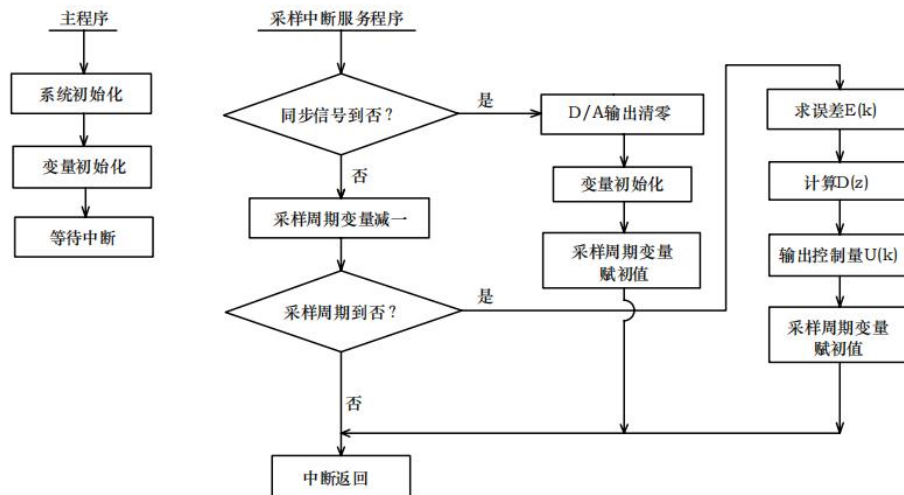
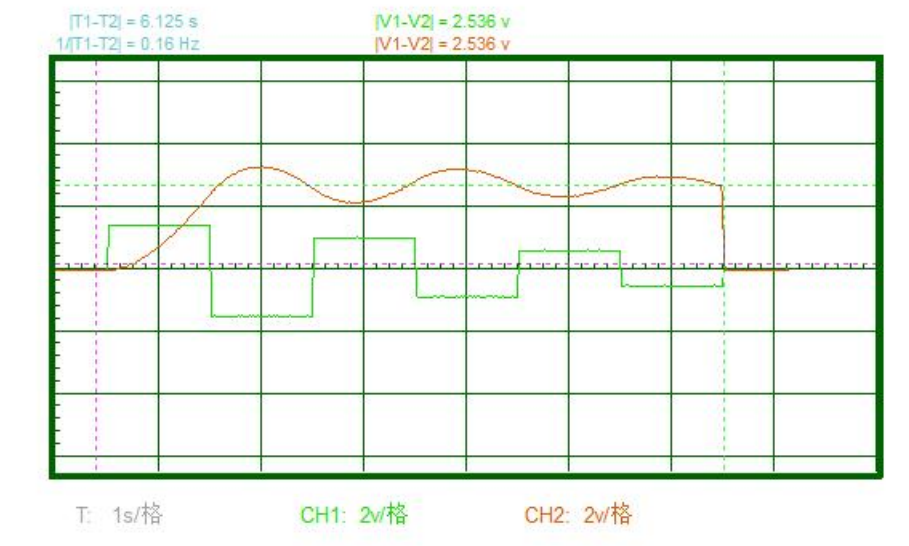
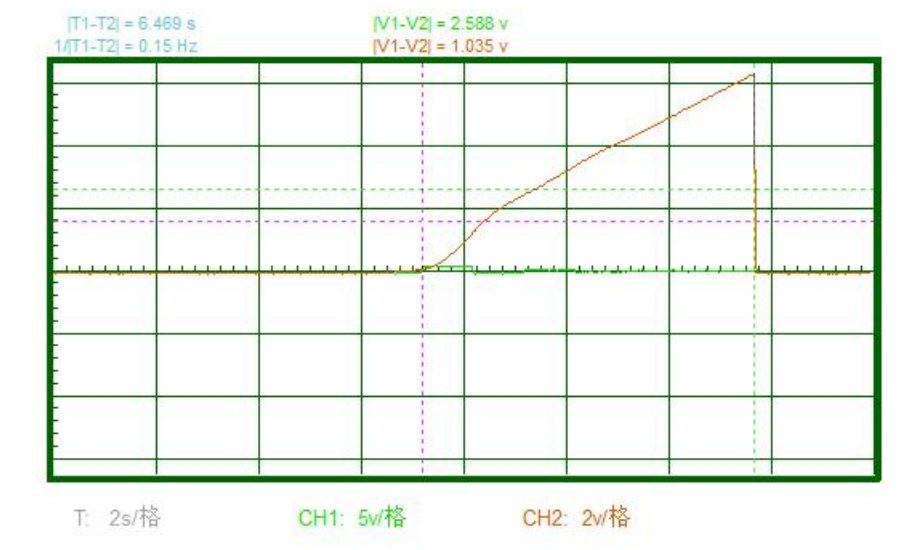


图 4.1-4

4.1.4 实验结果





4.2 大林(Dahlin)算法

4.2.1 实验目的

- 1.掌握用大林算法实现对纯滞后系统的控制。
- 2.掌握振铃消除的方法。

4.2.2 实验设备

PC 机一台，TD-ACC 实验系统一套，SST51 系统板一块

4.2.3 实验原理及内容

1.大林算法设计

大多数工业对象具有较大的纯滞后时间，可以近似用一阶惯性加纯滞后环节来表示，其传递函数为：

$$G(s) = \frac{Ke^{-\tau s}}{\theta s + 1}, \quad \tau = NT$$

式中： T --对象纯滞后时间，当采样周期足够小时，可以设为采样周期的整数倍； θ --对象的时间常数； K --对象的增益；

大林算法的设计目标是使整个闭环系统所期望的传递函数 $\Phi(s)$ ，相当于一个纯滞后环节

$$\Phi(s) = \frac{e^{-\tau s}}{\omega s + 1}, \quad \tau = NT$$

环节和一个惯性环节相串联，即：

$$D(Z) = \frac{\Phi(Z)}{G(Z)[1 - \Phi(Z)]} = \frac{(1 - e^{-T/\theta} Z^{-1})(1 - e^{-T/\omega})}{K(1 - e^{-T/\theta})[1 - e^{-T/\omega} Z^{-1} - (1 - e^{-T/\omega})Z^{-N-1}]}$$

式中： T —采样周期； θ —被控对象的时间常数； ω —闭环系统的时间常数； K —被控对象的增益；

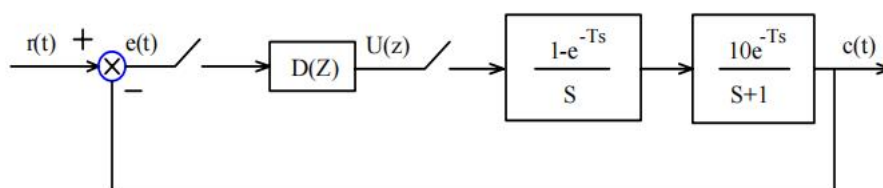


图 4.2-1

图 4.2-1 给出了一个典型的大林算法设计的闭环控制系统方框图。其中，被控对象时间常数 $\theta = 1\text{S}$ ，被控对象的增益 $K = 10$ ，闭环系统时间常数 $\omega = 0.1\text{S}$ 。取采样周期 $T = 0.2\text{S}$ ，根据大林算法的设计目标，数字控制器 $D(Z)$ 算式应为：

$$D(Z) = \frac{0.48 - 0.3936Z^{-1}}{(1 - 0.135Z^{-1} - 0.865Z^{-2})} \quad ; \quad \text{得} \quad \begin{cases} K_0 = 0.4800 \\ K_1 = -0.3936 \\ K_2 = 0 \\ K_3 = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} P_1 = -0.1350 \\ P_2 = -0.8650 \\ P_3 = 0 \end{cases}$$

振铃现象的消除：振铃现象是指数字调节器的输出以 $2T$ 的周期上下振荡，由于 $D(Z)$ 中含有左半平面内的极点，极点越接近 -1 ，振荡越严重。振铃现象不是大林算法特有的现象，它与最小拍控制中的纹波现象本质上是一样的，振铃也会引起采样点之间系统输出波纹，并使执行机构磨损甚至会影响系统的稳定性，因此必须消除振铃。

大林提出消除振铃的方法是：找出 $D(Z)$ 算式中造成振铃的极点因子，令其中 $Z = -1$ 。根据终值定理，这样既消除了振铃，也不会影响 $D(Z)$ 的稳定性。在上面的 $D(Z)$ 算式中：

$$D(Z) = \frac{0.48 - 0.3936Z^{-1}}{(1 - 0.135Z^{-1} - 0.865Z^{-2})} = \frac{0.48 - 0.3936Z^{-1}}{(1 - Z^{-1})(1 + 0.865Z^{-1})}, \quad \text{将振铃因子}(1 + 0.865Z^{-1})\text{中 } Z = -1 \text{ 则}$$

$$D(Z) = \frac{0.2574 - 0.211Z^{-1}}{1 - Z^{-1}}, \quad \text{得} \quad \begin{cases} K_0 = 0.2574 \\ K_1 = -0.2110 \\ K_2 = 0 \\ K_3 = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} P_1 = -0.9999 \\ P_2 = 0 \\ P_3 = 0 \end{cases}$$

由于改变了 $D(Z)$ 导致了系统闭环传函 $\Phi(Z)$ 的变化，因此要验证修改后 $\Phi(Z)$ 的稳定性。
 $\Phi(Z) = 0.4631Z^{-1} - 0.4626Z^{-2} + 0.2385Z^{-3} + 0.01662Z^{-4} - \dots$ 式中可以看出 $\Phi(Z)$ 是收敛的，稳定的。

图 4.2-1 所示的方框图, 其硬件电路原理及接线图可设计如图 4.2-2 所示。图中画“o”的线需用用户在实验中自行接好, 对象需用用户在运放单元搭接,



这里，系统误差信号 E 通过模数转换单元“IN7”端输入，控制计算机的定时器作为基准时钟(初始化为 10ms)，定时采集“IN7”端的信号，通过采样中断读入信号 E 的数字量，并将采样值进行 D(Z) 计算，得到相应的控制量，再把控制量送到数模转换单元，在“OUT1”端输出相应的模拟信号，控制对象系统。值得说明的是，在本实验中，纯滞后环节是通过程序控制采样保持器 (PU1) 的输出滞后 D/A 输出一拍来模拟实现的。

图 4.2-3 是数字控制器实现的参考程序流程图

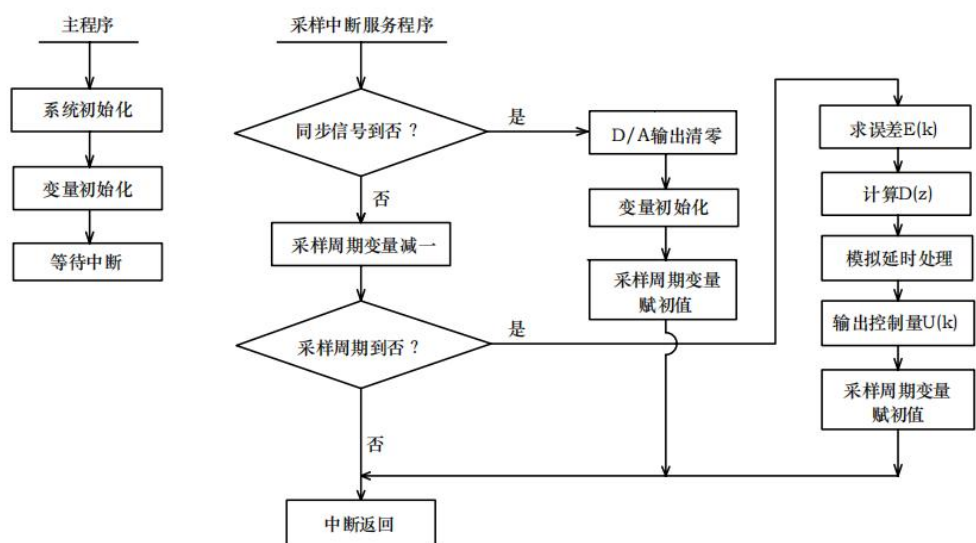
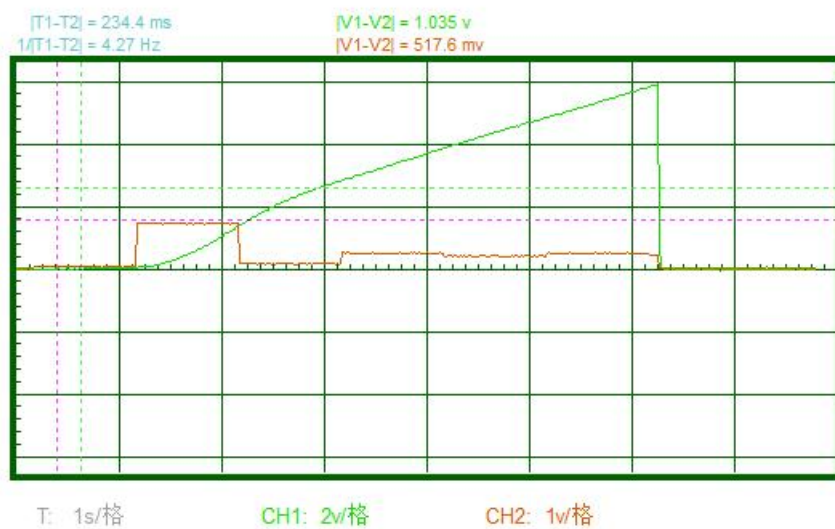


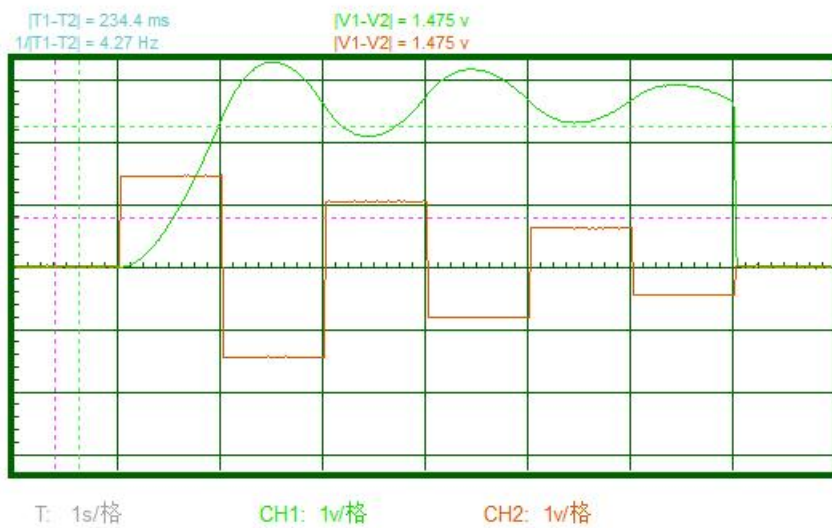
图 4.2-3

4.2.4 实验结果

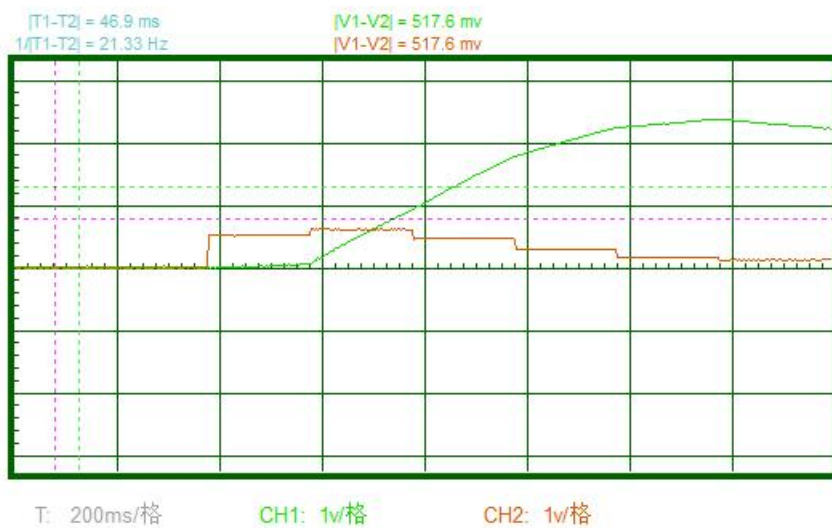
无纹波:



有纹波:



无振铃:



有振铃;

