

MOTEC 伺服驱动器控制增益调试指南

Version 2.1

MOTEC(中国)营业体系
2017-12-19

目 录

1. MOTEC 伺服驱动器.....	3
2. MOTEC 伺服驱动器控制回路介绍.....	4
2.1 控制回路结构图.....	4
2.2 控制回路特点.....	4
2.3 不同控制模式参数选择.....	5
2.3.1 位置控制模式.....	6
2.3.2 速度控制模式.....	6
2.3.3 电流控制模式.....	6
3.控制回路增益说明.....	8
3.1 控制增益.....	8
3.2 控制增益切换策略.....	8
3.2.1 增益切换模式 1.....	9
3.2.2 增益切换模式 2.....	9
3.2.3 增益切换模式 3.....	10
3.3 其他和系统稳定性相关的参数.....	10
3.3.1 速度观测滤波系数及切换策略.....	10
3.3.2 脉冲模式输入脉冲滤波系数.....	11
3.3.3 模拟模式输入模拟量滤波系数.....	12
3.3.4 PWM 模式输入信号滤波系数.....	12
3.3.5 积分保持作用.....	12
3.3.6 加减速速度大小对系统稳定性影响.....	12
4.控制增益调试.....	13
4.1 电流环控制增益.....	13
4.2 速度环控制增益.....	15
4.3 位置环控制增益.....	18
4.5 其他需要注意的问题.....	21
5. 使用示波器进行在线调试.....	22
6. 联系方式.....	23

1. MOTEC 伺服驱动器

本文的MOTEC伺服驱动器包括了MOTEC直流伺服(标准直流系列、Ares系列、Cobra系列以及其他细分驱动器如闸机专用驱动器等)驱动器和交流伺服(β 系列)驱动器;

MOTEC 伺服驱动器是MOTEC(中国)营业体系自主知识产权的智能伺服驱动器, 适合驱动永磁直流/交流伺服电机。驱动器具有体积小、功率密度大、功能丰富等特点, 与国内外同类产品相比具有极高的性能价格比。

MOTEC 伺服驱动器可通过USB/RS232/RS485/CAN总线与PC机、触摸屏、PLC或其他控制器相连接。MotionStudio软件可运行于PC的Windows环境下, 通过USB/RS232/RS485总线对驱动器进行参数设置、实时控制以及独立可编程PLC程序的编写等操作。驱动器使用一个开放的指令集, 随产品提供的动态库MotionLib可帮助用户快速设计自己的应用程序。驱动器可以通过通讯接口或操作面板设置为各种操作模式, 如网络操作模式、模拟信号模式、脉冲/方向模式、独立可编程模式等。除网络模式外, 其他各种操作模式无需使用网络接口即可直接运行, 但在驱动器操作运行的同时, 网络也可以用于参数修改和驱动器状态的监控。

MOTEC 伺服驱动器通过 MotionStudio 进行参数和控制增益的调整。MOTEC 伺服驱动器提供三段系统增益调整功能, 可以在运动阶段、整定阶段和定位完成阶段设置不同的系统增益, 大大提升了系统的性能, 可在一定程度上减小负载变动引起的系统自激。驱动器内置滤波器, 可以去除电机运动过程中发生的震动, 抑制机械共振, 提高设备的可靠性和稳定性。

驱动器调试软件 MotionStudio 的示波器提供电流环、速度环和位置环的实时数值曲线显示功能, 最多支持 4 个通道的参数实时采集和显示。任意操作模式或控制模式都能使用驱动器的示波器功能实时观测驱动器的各种参数, 使驱动器参数调整 and 性能测试在图形界面中实时显示(如图 1.1 所示)。为驱动器控制性能的实时调试以及性能评估提供便利, 降低了传统伺服驱动器器繁琐的调整过程和调整时间。

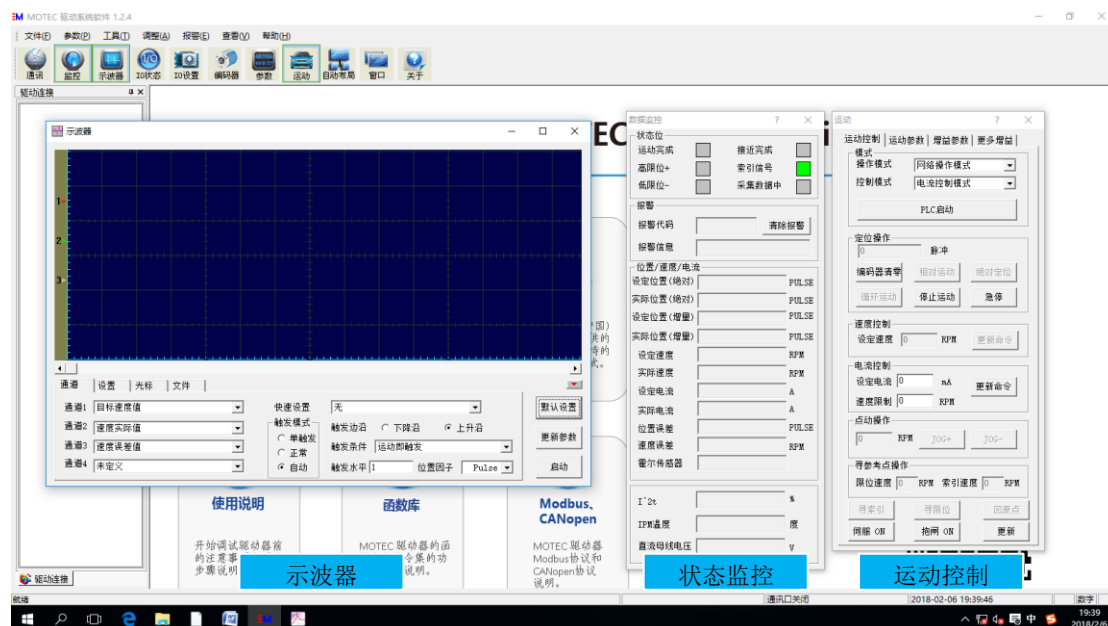


图 1.1 MOTEC 伺服调试软件 MotionStudio

2. MOTEC 伺服驱动器控制回路介绍

2.1 控制回路结构图

为了更好地进行驱动器控制参数的调节，在对驱动器进行参数调节之前，我们先来了解 MOTEC 伺服驱动器控制回路的组成情况。与传统的串级控制结构(如图 2.1 所示)不同，MOTEC 伺服驱动器采用了速度环和位置环并行的 PI 控制加前馈的控制模式，控制回路如图 2.2 所示。

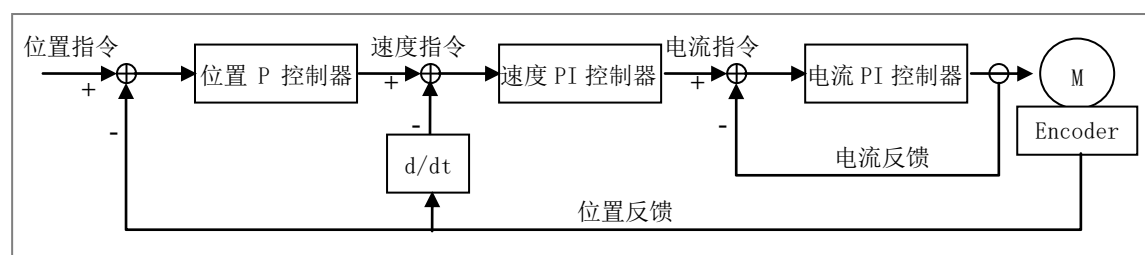


图 2.1 传统的 PID 串级控制回路

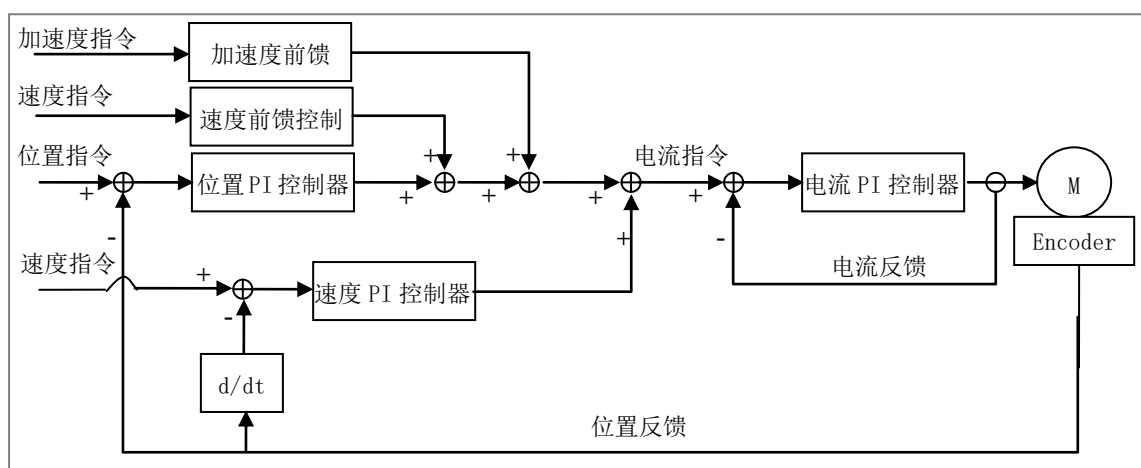


图 2.2 MOTEC 伺服驱动器的控制回路简图

传统的串级 PID 控制采用速度环嵌套在位置环内的控制结构。在这样的控制结构中，位置控制器通常采用比例控制，而速度控制器则采用比例和积分控制，电流环通常是 PI 控制。如图 2.2 所示，MOTEC 伺服驱动器控制回路采用位置环和速度环平行配置的方式，通过控制位置和速度两个状态变量，无论是位置控制还是速度控制都能提供较好的动态性能。加上速度前馈和加速度前馈控制功能，加快大惯量系统的动态响应特性。其结果是将位置误差和速度稳定时间控制在较优的水平。

2.2 控制回路特点

图 2.3 给出了更详细的驱动器控制回路结构说明。从图中可以更直观的看出平行配置的位置和速度回路、前馈控制的特点，以及限流环节和 I2t 功能的实施位置。从图中还可以看出控制回路中的三组速度观测器的系数可以根据当前速度的变化进行实时调整，以满足不同速度条件下系统的响应和运动平稳性。而三组不同的控制增益也可以根据不同的控制增益切

换策略进行实时切换。不同的运动状态使用不同的增益，这样既能保证系统静止稳定时的静态刚度，也能保证系统加减速时的响应和稳定运行时的动态误差和跟随精度。

位置控制回路中 K_p 参数分支是一个位置反馈比例回路，用来降低位置控制误差。 K_i 参数分支是一个位置反馈积分回路，用来降低位置控制误差的同时消除静止误差。 K_{pv} 为速度回路的比例控制，用于增加速度控制精度进而减少速度控制误差，在电机不产生振动(即此增益不设置成过大的值)的情况下，此控制项对位置控制时系统的刚度同样有较大的贡献。 K_{iv} 速度积分增益参数在速度控制时用于消除速度控制误差。在位置控制时除非特别需要，速度积分增益最好设置为 0。

系统前馈控制模块的作用是加快系统响应和缩短稳定时间，特别是对于较大惯量的系统。由于在运动过程中 K_{iv} (速度积分增益)和 K_i (位置积分增益)积分作用的能量积累，电流控制回路中电流设定值的绝大多数反馈响应来自于位置回路和速度回路的积分项。在加减速的过程中，速度和加速度前馈能快速削减累计的积分项之作用。因此。在运动结束的时候，前馈算法根据预测的路径加速修改积分项的内容，因此能获得较短的系统稳定时间的控制结果。同时前馈作用能在系统加减速时对电机电流的增加做一定的预判，这样对于加快系统的响应有一定的益处。

伺服控制增益调整时可以利用 MOTEC 提供的调试软件 MotionStudio 中的示波器实时显示位置、速度、电流以及其误差的功能，使得参数调整的过程更加直观。根据参数调整的实时效果，使得伺服控制参数进行逐步修改并选择获得最佳性能。参数调整的方法和步骤与传统的 PID 调整类似。每个可变增益逐渐增多直到出现震动行为，然后减少大约 10%-20%到一个安全值。

2.3 不同控制模式参数选择

在不同的控制模式下，为了达到最优的控制性能，需要使用不同的控制方式。表 2.1 给出了不同控制模式下控制参数的使用情况。

表 2.1 不同控制模式下控制参数的使用情况

	位置控制	速度控制	电流控制	电流控制(速度限制)	备注
位置比例	√	○	×	×	
位置积分	○ ⁽¹⁾	×	×	×	
速度比例	√	√	×	√	
速度积分	○ ⁽²⁾	○	×	√	
速度前馈	○	○	×	×	
加速度前馈	○	○	×	×	
电流比例	√	√	√	√	
电流积分	√	√	√	√	
说明: √表示必须有此项控制; ○表示此项控制为可以有也可以没有, 需要根据实际情况而定; ×表示此项控制不参与系统控制;					
注意(1): 在位置控制时, 位置积分项有利于减小位置控制误差和静态误差, 以及提高系统的刚度。但较大的位置积分增益也会造成系统的不稳定, 最主要的表现为电机以较高的频率振					

动；
注意(2):如非特殊情况(例如在速度比例增益已经调整得很大的情况下,系统还是会有震荡)下,在位置控制时速度积分项最好设置为0;

2.3.1 位置控制模式

当驱动器工作于位置模式时,位置环控制比例增益 K_p 和速度环比例增益 K_{pv} 都需要参与控制,作用于控制系统的响应和和稳定性及减少误差。而位置积分增益用于系统的静态位置误差的消除,在积分保持有效的情况下也可以减少电机运动过程中的位置误差。速度积分增益的使用能增加系统的稳定性,然而对控制过程位置和速度的误差有一定的影响,所以需要慎重使用。速度前馈和加速度前馈的使用有利于增加系统的响应,特别是对于大惯量系统,效果更明显。

2.3.2 速度控制模式

当驱动器工作于速度模式时,可以将位置环的比例和积分控制都设置为零,只有速度回路的比例和积分增益参与控制,这样的配置更有利于系统处于稳定状态。当然,速度工作模式也可以加入较小的位置回路比例增益,这样会有利于低速情况下的速度控制精度,但需要更加细致和精益的参数调整。

同时在速度控制模式时增加位置控制比例增益有利于系统减少系统的累积位置误差,特别是对于诸如 AGV 之类的应用。

2.3.3 电流控制模式

电流控制模式包括两种情况,分别是没有最高速度限制和有最高速度限制的模式。在没有最高速度限制的模式下,只有电流的比例和积分增益参与控制作用,因此不用调试除此之外的其它增益。而在具有最高速度限制控制时的电流控制模式,当电机的速度超过了所设置的最高速度,而此时实际电流还没有达到设定电流。在这种情况下驱动器会短时切换到速度控制模式,当实际电流达到或超过设定电流,或实际速度小于所设定的最高限制速度时,驱动器切换到电流控制模式。所以在由最高速度限制的电流控制模式下,需要考虑速度环的控制增益。

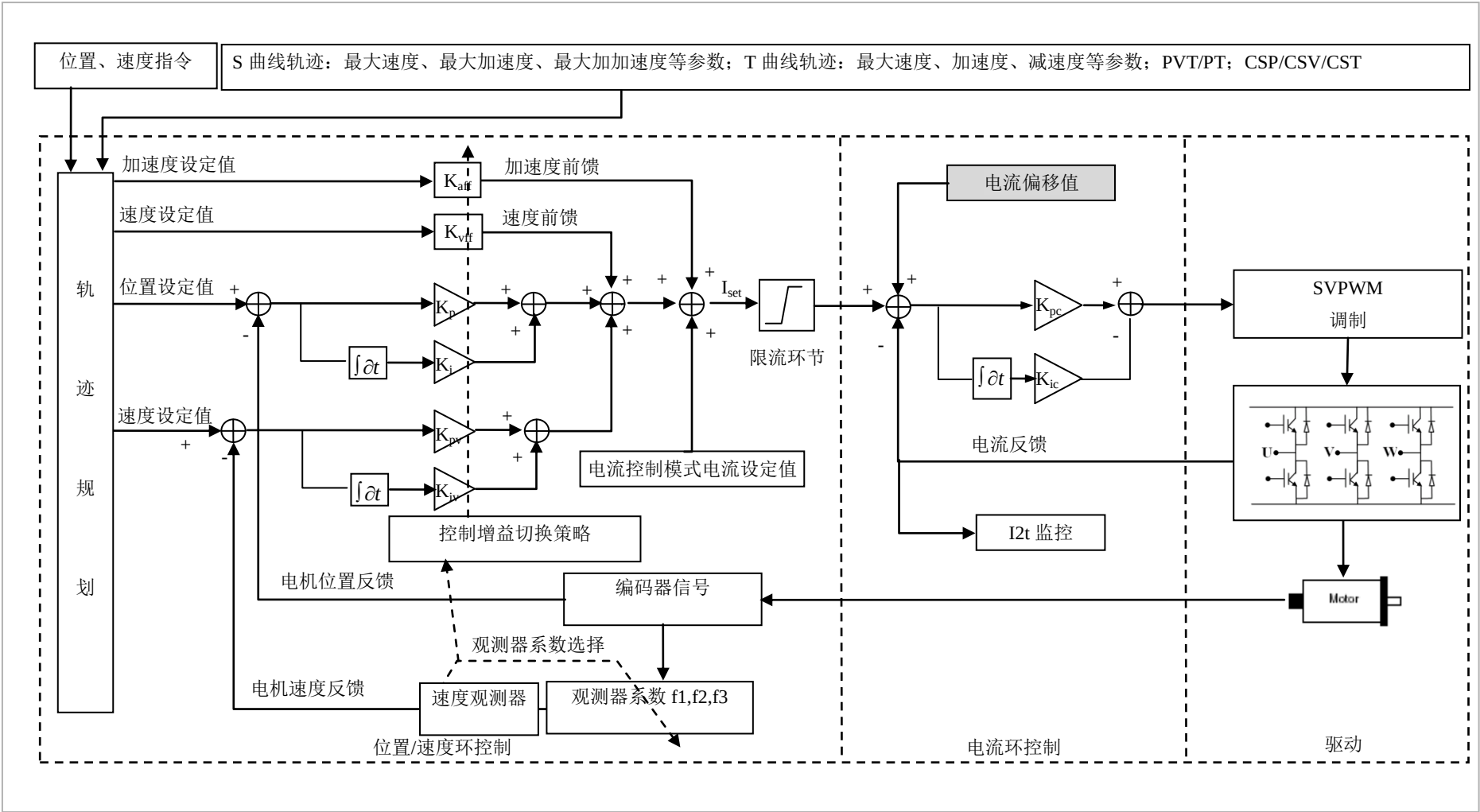


图 2.3 MOTEC 驱动器控制回路

3. 控制回路增益说明

3.1 控制增益

驱动器中位置/速度控制回路和电流控制回路的计算方程如公式(3.1)所示：

$$I_{set} = I_{offset} + K_p \cdot P_{error} + K_i \cdot \int P_{error} + K_{pv} \cdot V_{error} + K_{iv} \cdot \int V_{error} + K_{vff} \cdot V_{set} + K_{aff} \cdot A_{set}$$

$$PWM_{motor} = K_{pc} \cdot I_{error} + K_{ic} \cdot \int I_{error} \quad (3.1)$$

控制环回路和控制方程中各变量的意义如下表 3.1 所示：

表3.1：驱动器控制回路变量说明

变量名	意义
I_{set}	电机电流设定值
I_{offset}	电流偏置值，通常用于补偿垂直轴重力的影响
K_p	位置比例增益
K_i	位置积分增益
K_{pv}	速度比例增益
K_{iv}	速度积分增益
K_{vff}	速度前馈增益
K_{aff}	加速度前馈增益
P_{error}	位置误差
V_{error}	速度误差
PWM_{motor}	电机PWM占空比值
K_{pc}	电流环比例增益
K_{ic}	电流环积分增益

需要调试的控制回路主要控制参数如下：

K_p ：	位置比例增益
K_i ：	位置积分增益
K_{pv} ：	速度比例增益
K_{iv} ：	速度积分增益
K_{vff} ：	速度前馈增益
K_{aff} ：	加速度前馈增益
K_{pc} ：	电流环比例增益
K_{ic} ：	电流环积分增益

3.2 控制增益切换策略

MOTEC 伺服驱动器共有三组控制增益，这三组控制增益可以工作在三种模式下。不同的模式下实行不同的增益切换方式。

表 3.2 控制增益切换相关参数

参数号	参数内容	长度	属性	单位	数据范围	默认值
Pr. 118	控制增益切换模式	16bit	读/写	NA	1-3	1
Pr. 127	控制增益切换平滑滤波器	16bit	读/写	NA	1-999	880
Pr. 129	增益使用状态	16bit	读/写	NA	1-3	1
Pr. 146	抗抖动因子	16bit	读/写	NA	0-10	0
Pr. 147	抗抖动区域	16bit	读/写	NA	0-65535	0

- 控制增益切换模式**Pr.118**：共有3种切换模式，分别是模式1、模式2和模式3；
- 控制增益切换平滑滤波器**Pr.127**：用于在不同控制增益切换时从一组增益切换的另一组增益所用的平滑滤波器，取值在0到999之间，数值越大过渡过程越平滑，但时间延迟也会越大。反之数值越小，滤波作用越小，变化越快，但控制作用波动越大；
- 增益使用状态**Pr.129**：数值1到3分别表示当前所使用的增益的组别，数值1表示表示第一组增益、数值2表示第二组增益和数值3表示第三组增益；

3.2.1 增益切换模式 1

切换模式1：此时Pr.118的值为1。驱动器使用第1组控制增益，增益切换模式为根据抗扰动区域和抗扰动因子的设置进行切换。

图3.1给出了位置控制模式下抗扰动区域的示意图，其中 $P_{\text{destination}}$ 为目标位置值， P_{zone} 为抗扰动区域的值，即Pr. 147。

控制增益的变化策略为：

- 1) 当电机位置处于抗扰动区域时（即满足 $-\text{Pr.147} < \Delta P < \text{Pr.147}$ 的区域， ΔP 为电机目标位置和电机实际位置的差值），所有的控制增益除以Pr.146的抗扰动因子，即将控制增益变小，从而控制作用变弱。
- 2) 当电机位置在抗扰动区域外时，控制增益使用第一组增益。

切换模式1的控制策略是当电机在运动时，适度保持驱动器较大的控制增益值，从而减小运动过程中的跟踪误差。当电机处于稳定区域内并接近停止或处于静止状态时，将驱动器的控制增益变小，从而减弱控制作用，保证系统在稳定和静止时的稳定性。

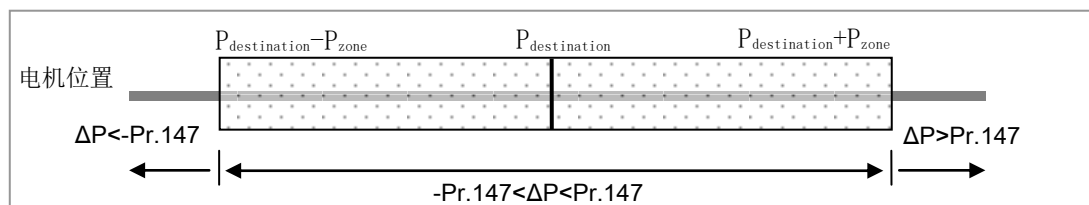


图3.1 抗扰动区域示意图

3.2.2 增益切换模式 2

切换模式2：模式2为驱动器根据不同的运动状况自动进行控制增益的切换工作模式。如图3.2所示，在电机静止、加减速和匀速运动时使用不同的增益组，I区即电机静止区域使用第三组增益，II区即电机进行加减速运动时速度0到零速度阈值之间的区域使用第二

组增益，Ⅲ区即电机速度大于零速度阈值时使用第一组增益。为了减少稳定时间的考虑，在Ⅱ区向Ⅰ区切换时，切换时间会向后延时10ms。而Ⅲ区和Ⅱ区的相互切换由Pr.289所设定的零速阈值决定。

切换模式2的控制策略是根据不同的运动状态使用不同的控制增益，运动状态分成三种，分别是电机处于静止状态，电机的转速小于零速度阈值(可以看成是电机从运动状态到静止状态的过度状态)，以及电机处于运动状态。当电机处于后两种状态时，可以适度保持驱动器较大的控制增益值，从而减小运动过程中的跟踪误差和控制稳定时间。当电机处于静止状态时，将驱动器的控制增益变小，从而减弱控制作用，保证系统的稳定性。

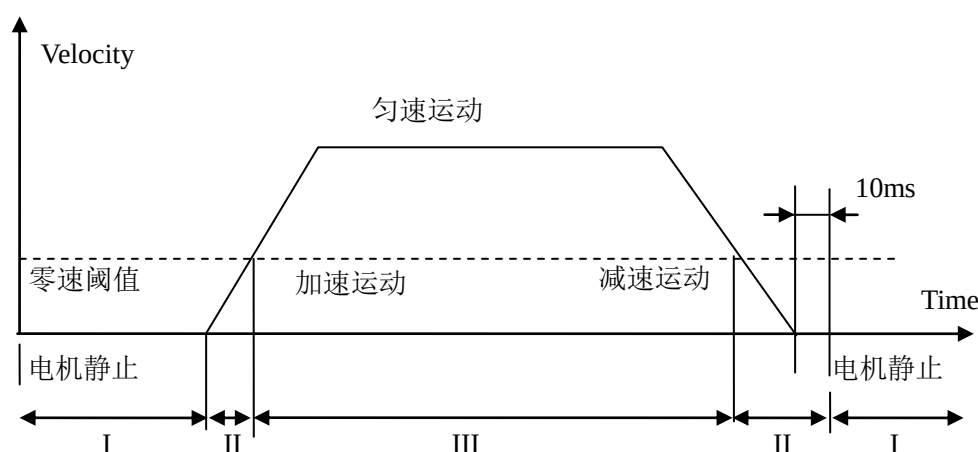


图3.2 不同运动状态下增益的切换

3.2.3 增益切换模式 3

切换模式3：控制增益的使用及切换由Pr.129的数值决定，并由使用者通过修改参数从而达到实时切换的目的。如果Pr.129=1则使用第一组增益，Pr.129=2则使用第二组增益，Pr.129=3则使用第三组增益。如果Pr.129的参数是1、2、3之外的数值，则使用默认的第一组增益。控制增益和使用组别可以实时由用户切换。

控制增益的切换通过Pr.127的平滑滤波器实现平滑切换，数值越大切换过程越短，反之则越长。

3.3 其他和系统稳定性相关的参数

3.3.1 速度观测滤波系数及切换策略

为了保证在不同的运动状态下电机的性能达到最佳状态，MOTEC 伺服驱动器设置了三组速度观测器系数，如表3.3和图3.3所示。这三组速度观测器系数分别作用在电机静止、加速运动和电机匀速运动时。

表 3.3 速度观测器参数

参数号	参数内容	长度	属性	单位	数据范围	默认值
Pr.62	加减速运动速度观测滤波器	16bit	读/写	NA	1-999	880
Pr.63	匀速运动时速度观测滤波器	16bit	读/写	NA	1-999	880

Pr.64	速度为 0 时速度观测滤波器	16bit	读/写	NA	1-999	880
-------	----------------	-------	-----	----	-------	-----

为了保证电机静止时的静态刚度和稳定性,以及电机运动时的动态响应,速度观测滤波器系数的所遵循的原则为: Pr.64速度为0时速度观测器系数 > Pr.63匀速运动时速度观测器系数 > Pr.62加减速运动速度观测器系数。

速度观测器用于从编码器位置值中计算出电机速度的当前值,取值范围为1~999.这个值越小,滤波作用越小,但是响应越快,速度越不稳定。相反值越大,滤波作用越大,响应变慢,但是速度越稳定。速度观测器相当于一个低通滤波器,其系数越大滤波作用越明显,但数值太大了也会影响到系统的快速响应和稳定性。当由于速度观测器系数太大导致电机震荡时,可以适当减少速度观测器系数的值。

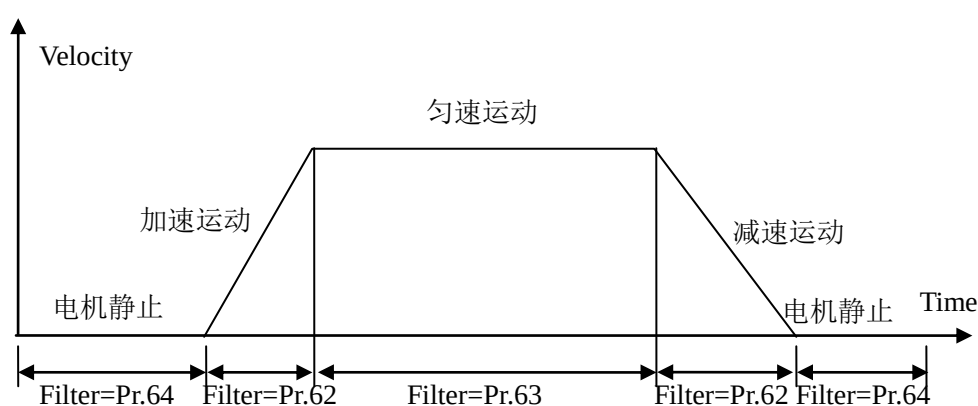


图 3.3 不同运动状态下速度观测器系数的作用情况

3.3.2 脉冲模式输入脉冲滤波系数

Pr.98 号参数是脉冲输入滤波器系数,主要用于脉冲模式下滤除脉冲输入的速度值跳变,使其变化更平稳,从而可以增加电机运动的平稳性。特别是电机启动和停止的时候的系统稳定性。数值取值范围为 1~1000,数值越小,平滑作用越弱;数值越大,平滑作用越强;

滤波器对输入脉冲进行平滑处理的时候,并不会影响到输入脉冲的个数,从而不会影响最终的位置定位精度,如图 3.4 所示。脉冲输入的滤波作用在起到平滑作用的同时,也会降低系统的响应特性。即,滤波系数越小,平滑作用越小,系统响应快;反之,滤波系数越大,平滑作用越强,系统响应越慢。

当由于电机快速停止而引起电机震荡而不能快速稳定的时候,可以考虑使用输入脉冲输入的滤波功能。恰当增加滤波作用能平滑电机速度的突变,使得电机停止时更加稳定。由于滤波器的作用,系统会有一定时间的延时(毫秒级的),根据滤波系数大小不同而不同。如果系统做往复运动,如有由于系统给的稳定时间较短而引起的脉冲不正确,解决方法有两个,一个是增加两段运动之间的停顿时间,另一个是减少滤波器系数。

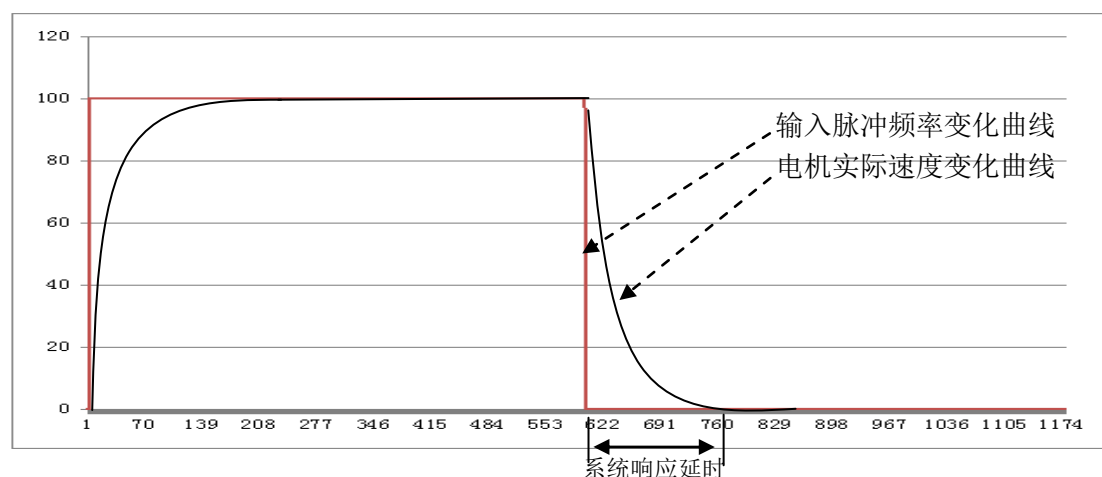


图 3.4 脉冲输入滤波器的作用

3.3.3 模拟模式输入模拟量滤波系数

Pr.105 是模拟输入平滑滤波器滤波器系数，主要用于对模拟输入信号进行平滑滤波，使其变化更平稳，从而可以增加系统运行的平稳性。数值取值范围为 1~1000，数值越小，平滑作用越弱；数值越大，平滑作用越强。其作用方式类似于脉冲输入平滑滤波器，具体详情请参考使用手册中的相关章节。

3.3.4 PWM 模式输入信号滤波系数

Pr.103 是 PWM 输入信号平滑滤波器滤波器系数，主要用于对 PWM 输入信号进行平滑滤波，使其变化更平稳，从而可以增加系统运行的平稳性。数值取值范围为 1~1000，数值越小，平滑作用越弱；数值越大，平滑作用越强。其作用方式类似于脉冲输入平滑滤波器，具体详情请参考使用手册中的相关章节。

3.3.5 积分保持作用

Pr.128 是积分保持作用使能寄存器，主要是对位置环的积分增益起作用，对速度环和电流环的积分增益不起作用。

- 1) 当 Pr.128=0 时，位置控制模式下，当速度设定值不为 0 时，积分增益不介入控制。
当速度设定值为 0 时，积分增益介入控制；
- 2) 当 Pr.128=1 时，位置控制模式下，在任何情况下，位置积分增益都介入控制；

3.3.6 加减速速度大小对系统稳定性影响

电机在运动过程中，特别是电机停止运动时使用较大的减速度会在一定程度上引起电机运行的不稳定(表现为电机震荡停止)。因此除非工艺特别要求电机需要有较快的停止减速度，我们建议减少电机的加减速速度值，以利于电机在加减速时的平稳运行。

同样的原理，S 曲线轨迹规划会比 T 曲线轨迹规划有更好的优势，表现为电机启动和停止更加平稳。

4. 控制增益调试

	警告：在进行系统控制参数的调试和优化之前，调试人员至少需要了解并且熟悉 PID 控制回路中各个控制参数的作用和控制原理。没有控制理论基础或经验的人员进行系统调试有可能引起系统震荡并有可能对机械设备造成损坏。
---	---

4.1 电流环控制增益

电流环是一个PI控制器，需要调试的参数有两个，分别是比例增益和积分增益。电流环比例增益用于加强电流环控制作用，加快控制回路的响应，减少电流环的控制误差。电流环比例增益越大，控制作用越强，响应速度越快，电流环控制误差越小。但是增大电流环比例增益不能消除误差到零，所以对于电流控制回路，其积分控制是必不可少的。电流环积分增益用于加强电流环的控制作用，消除电流环的控制误差。电流环积分增益越大，积分控制作用越强，电流控制误差越小。

电流环的增益越大(比例、积分)，系统控制作用越强、刚性越好。但是较大的电流环控制增益会导致系统静态稳定时的振动较大，而更大的控制增益有时会使得电机运动是会有异样的噪声，此时需要减少控制增益。当电流环的比例增益太大导致系统振动较大时，可以恰当减少电流环的比例增益，但是比例增益的减少又会导致系统响应变慢。此时可以恰当增加电流环的积分增益，这样积分增益的增加可以在一定程度上弥补由于比例增益减少带来的对系统响应的影响。

在调节控制增益的时候，往往是先将积分增益设为0。先调节比例增益慢慢变大，当电流环的响应达到可以接受的程度再来增大积分增益，减少控制误差。在增加积分增益的同时，为了使得系统保持稳定，需要恰当减少电流比例增益。比例增益和积分增益的调节通常是一个反复的过程，需要经过多次调节才能使得电流环的响应达到最优。

图4.1显示了较弱的电流环控制作用，实际电流的响应很慢，需要增加比例增益和积分增益才会改善实际电流的响应。

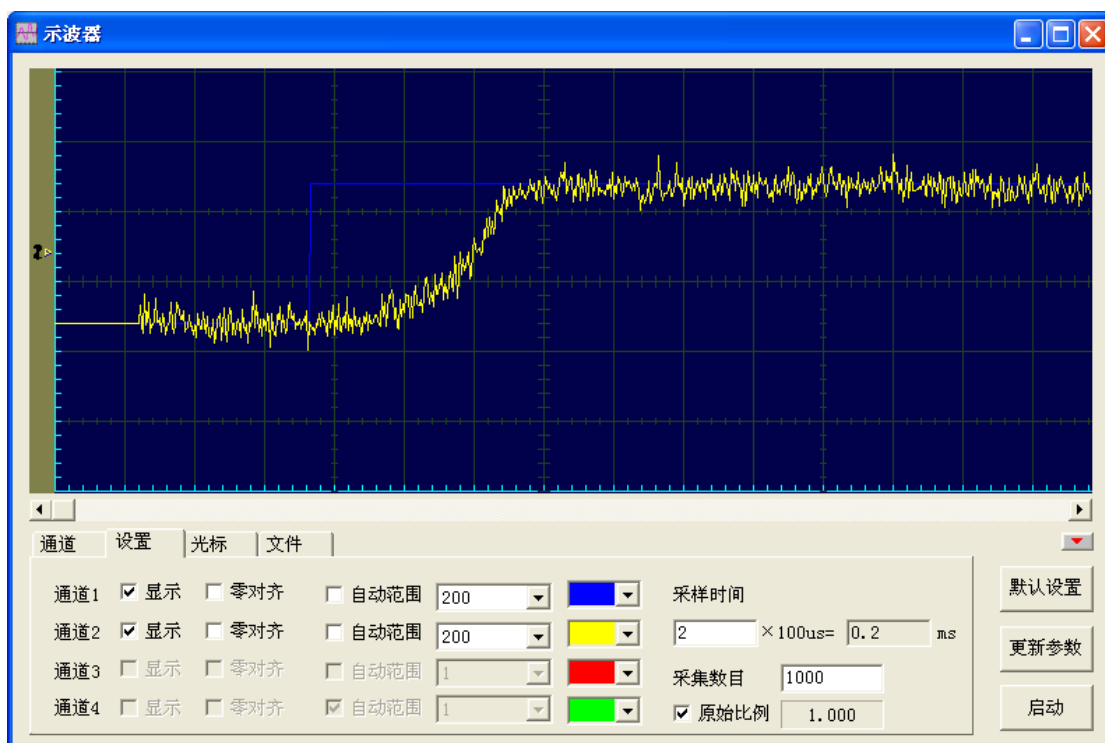


图4.1 电流环控制太弱

图4.2显示很强的电流环控制作用，单从电流环的控制效果来看，此时电流的控制效果很好。但此时如果进行位置闭环或速度闭环，由于控制作用太强，系统刚度太高，往往会引起电机的高频率振动，引发系统不稳定。所以需要恰当减少电流环的控制增益。

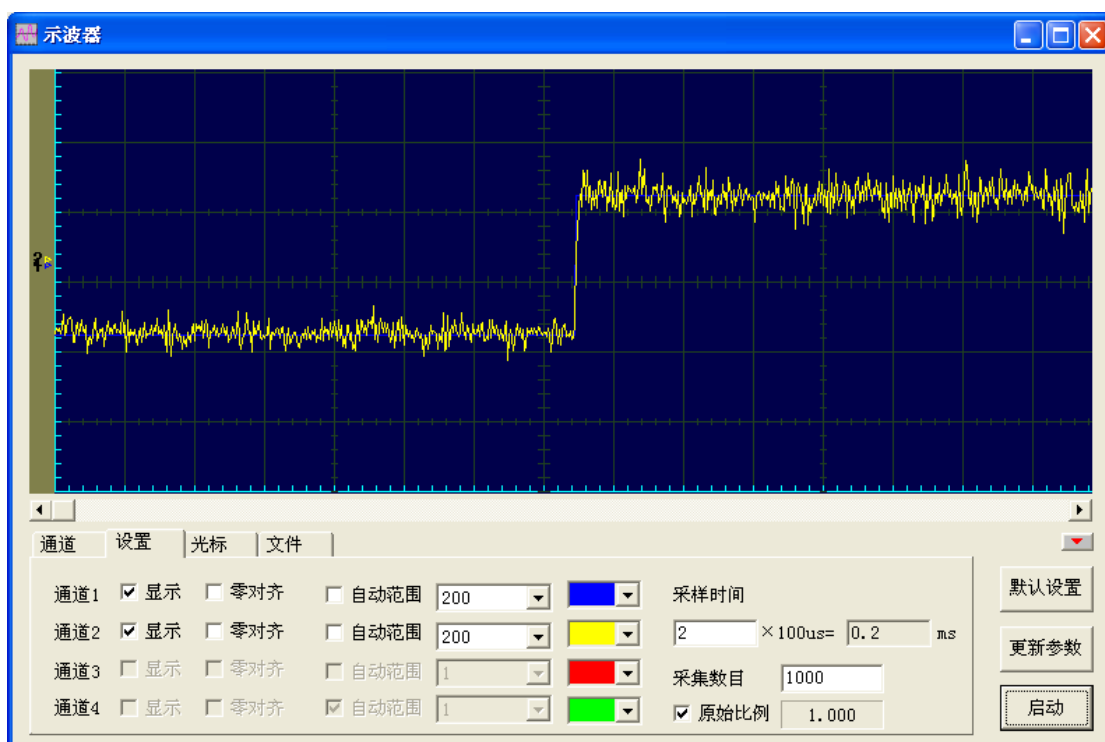


图4.2 电流环控制太强

图4.3给出了较理想的电流环控制作用，此时电流环的响应比较快，又不至于引起速度或位置闭环时引起电机的振动。

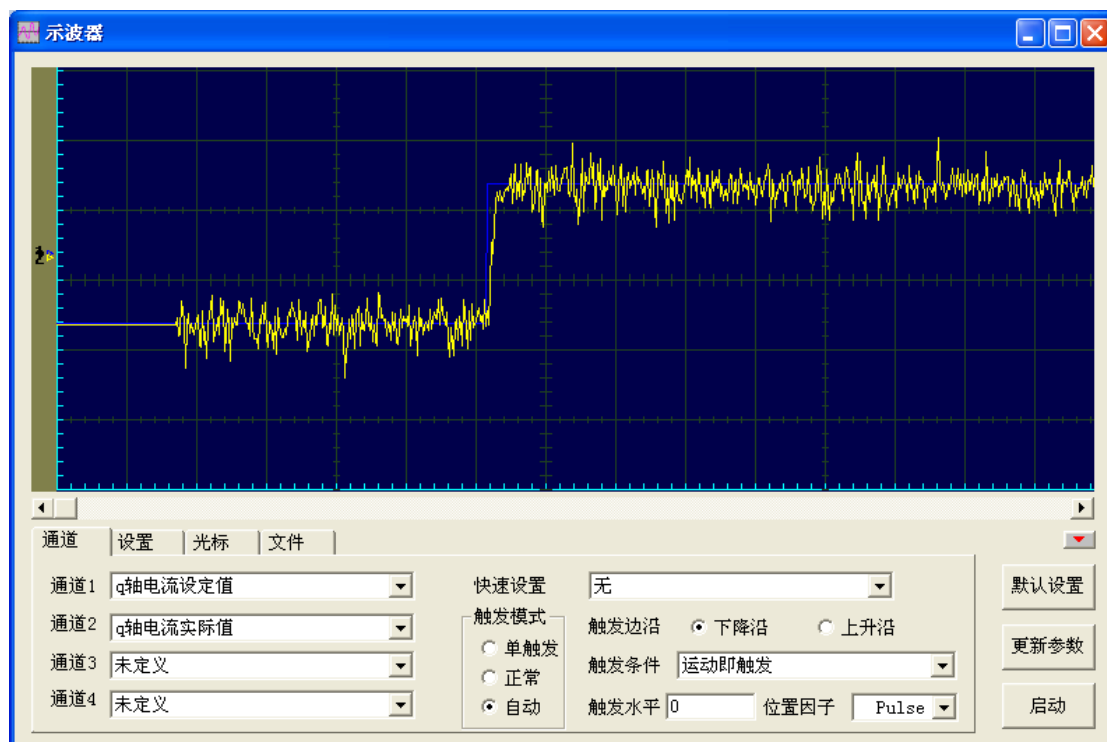


图4.3 较理想的电流环控制

注意：由于电流环控制作用对驱动器整体控制效果影响很大，驱动器在出厂时已经设定了较优的电流环控制参数，用户尽量不要修改电流环控制参数。如用户需要尝试通过修改电流环控制增益优化控制系统，请务必做好原始参数表的备份工作，以便供后期恢复参数表之用。

4.2 速度环控制增益

在速度控制模式时，一般应用需要将位置控制的比例和积分增益以及速度和加速度前馈增益设置为0，这样更有利于系统的稳定。此时只有速度比例增益和速度积分增益参与控制。在初始调试时需要将速度积分增益设置为0，而速度比例增益从一个比较小的值开始(如500)。此时根据速度响应的结果增加比例增益的数值，当速度控制误差减少到一个较小的值时可以增加积分控制增益，增加积分控制增益是需要恰当减少速度比例增益的值，从而保证系统运行的稳定性。

当系统在进行速度控制时有速度控制精度不高并速度有较大波动的情况，此种情况往往是由于控制增益太大引起的。此时需要先将速度环积分增益减少(但无需变为零)，如果积分增益减至1仍然不能保证系统的稳定性，此时需要减少比例增益，直至系统稳定。

对于惯量较大的系统，为了增加系统的响应速度，速度控制时可以恰当增加速度前馈和加速度前馈控制。

在系统进行速度控制时，以下两种情况有必要考虑增加位置的比例增益，以增加系统的控制性能(在速度控制的情况下，不管位置积分增益的数值是多少，位置积分增益不参与系统控制)。

情况一：需要保证系统的低速控制精度，此时可以恰当增加位置控制比例增益，但数值不能太大，否则会过分强调位置精度而忽略速度控制精度。

情况二：当控制速度的同时需要保证一定的位置控制时，恰当增加位置控制比例增益有利于减少位置误差的累积，特别是需要速度同步控制并需要兼顾位置控制的应用(如双轮差速AGV驱动轮的应用，保证位置控制误差有利于减少AGV跑偏的现象)。

图4.4给出了较弱的速度控制作用，此时只有较弱的速度环比例增益，而速度积分增益和位置环比例和积分增益设置为0。从图中可以看出，此时实际速度响应比较慢，而且最终速度控制误差较大。为了改善实际速度响应，需要增加速度控制比例增益和速度控制积分增益。

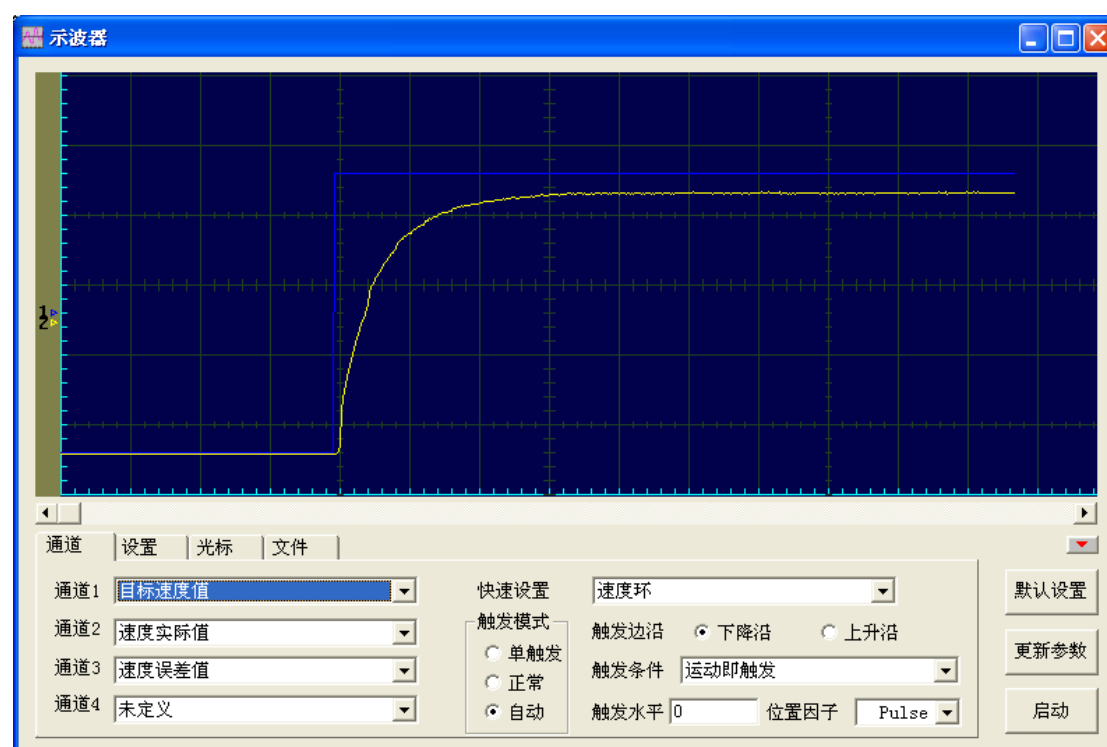


图4.4 速度控制作用太弱

图4.5给出了速度控制增益太大时的实际速度响应，此时控制作用太强导致了实际速度有超调的现象。而速度积分增益的加入减小了匀速阶段的速度误差，为了减少实际速度的超调量，需要减少速度比例增益和积分增益的数值。

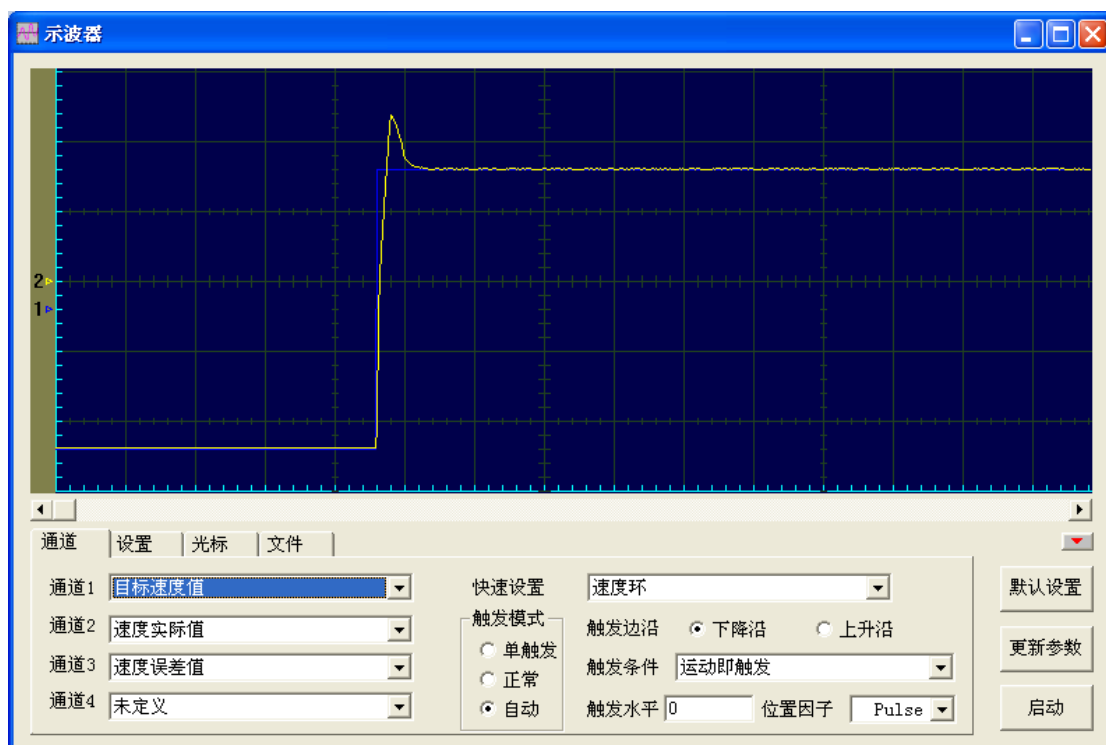


图4.5 速度控制作用太强

较理想的控制作用：

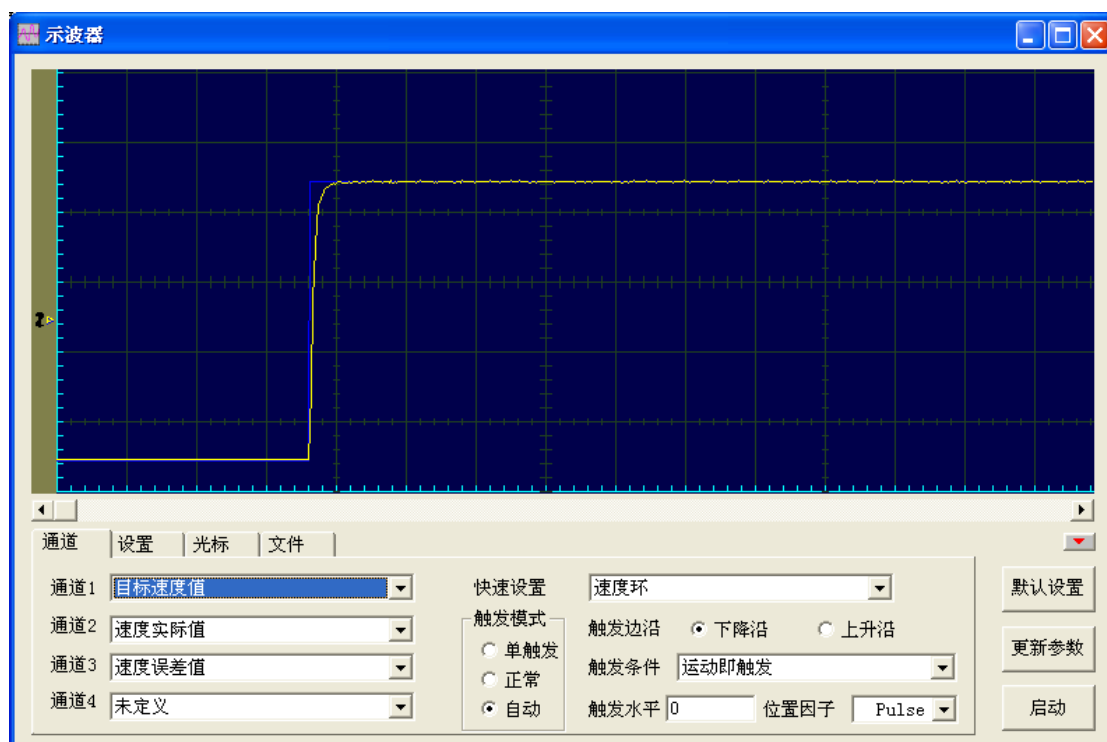


图4.6. 较理想的速度控制

注意：图中的控制增益仅供参考，具体的增益数值会根据不同的负载而有所不同。

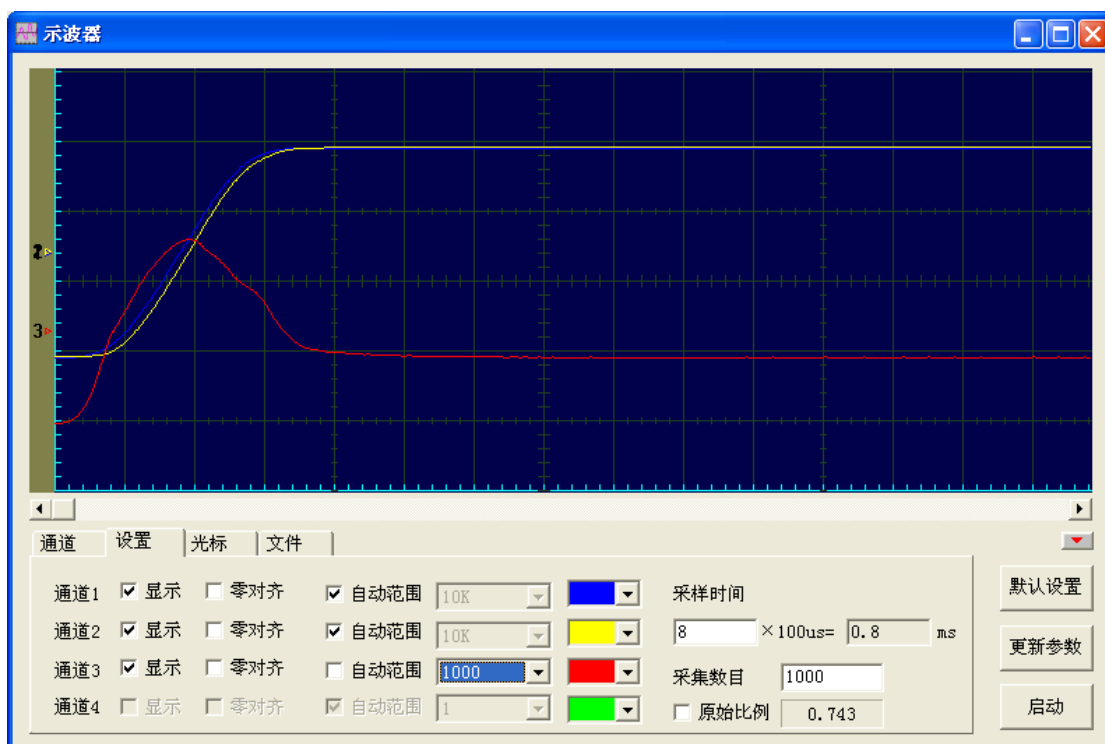
4.3 位置环控制增益

当驱动器工作于位置模式时，需要调试位置环控制比例增益 K_p 和速度环比例增益 K_{pv} ，以及位置环积分增益。位置环比例增益的增大有利于系统的响应以及减少控制误差，位置比例增益越大，系统响应越快，刚度越高，稳定时间越短，但更大的值会加剧系统的震荡，甚至导致系统的不稳定。而速度环的比例增益增有利于系统的稳定。速度比例增益越大，系统阻尼越大，较大的速度比例增益能增加系统的稳定性。但同样太大的值会引起系统有异响，当由于速度增益太大导致电机运动时有异响，此时需要恰当减少速度比例增益的值。

当位置环比例增益的增大已经无益于消除系统运动中的位置误差和静态位置误差时，需要增加位置环积分增益，以消除静态位置误差和减少运动过程中的动态位置误差。速度前馈和加速度前馈的使用有利于加快系统的响应，特别是对于大惯量系统，效果更明显。

在位置控制模式下初始调试参数时需要把位置积分和速度积分增益设置为 0，而将位置比例增益和速度比例增益设置为一个较小的值。如果此时系统保持稳定，则可以增加位置比例增益和速度比例增益(请记住速度比例增益的增加有利于系统的稳定，而位置比例增益的增加有利于减少位置的误差，所以通常位置比例增益增加的同时需要同步将速度比例增益变大)。当位置比例增益的增加无助于系统位置误差的减少时，此时需要增加位置积分增益用于消除系统的静态位置误差和运动过程中的动态位置误差(在增加位置积分增益的同时可以稍微减少位置比例增益，以确保系统的稳定性)。

图4.7，较弱的位置控制作用(需要恰当增加控制增益):



数据监控 ? ×

状态位

运动完成	☐	接近完成	☒
高限位+	☐	索引信号	☐
低限位-	☐	采集数据中	☐

报警

报警代码

报警信息

位置/速度/电流

设定位置	470886990	PULSE
实际位置	470887103	PULSE
设定速度	0.0	RPM
实际速度	0.0	RPM
设定电流	0.01	A
实际电流	-0.02	A
位置误差	-113	PULSE
速度误差	0.00	RPM
霍尔传感器	000	

I²t %

IPM温度 度

直流母线电压 V

图4.7 较弱的位置控制

图4.8，位置控制作用太强(需要减少控制增益):

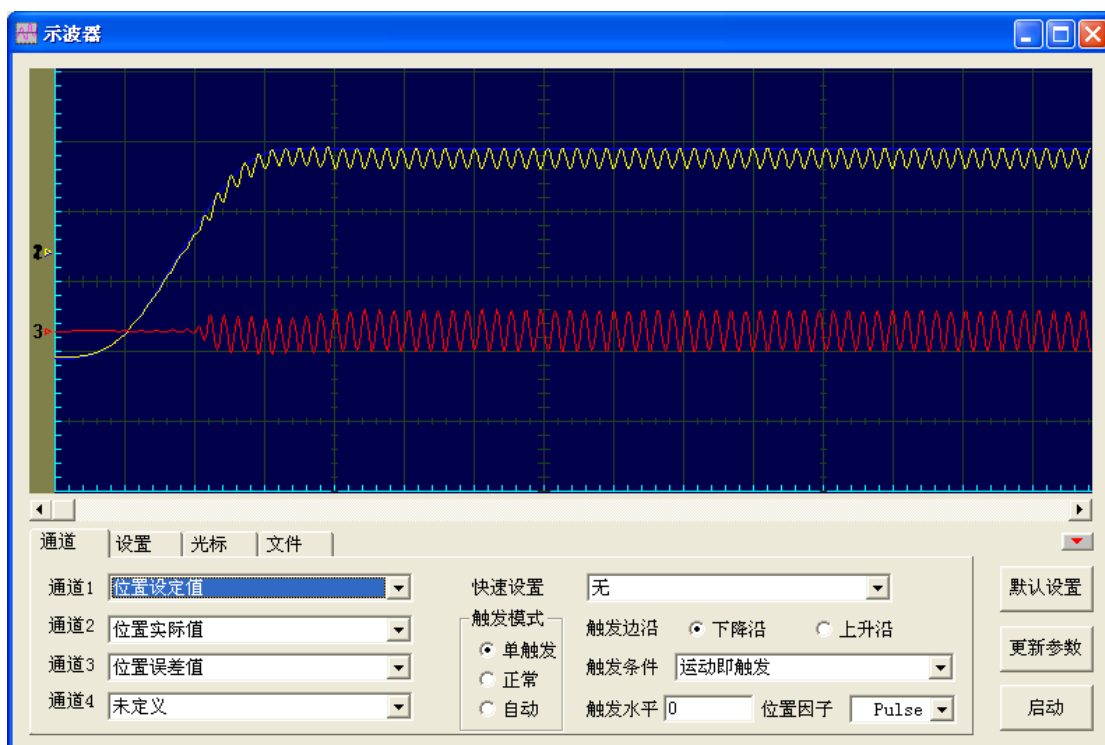
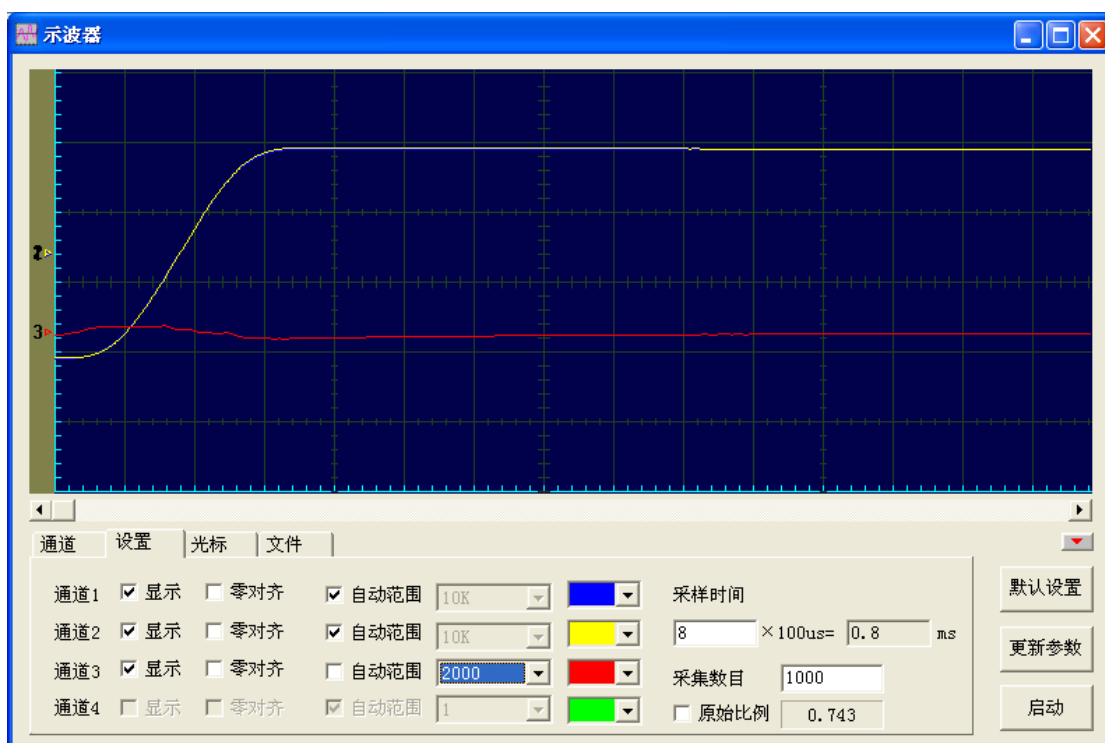


图4.8 较强的位置控制

图4.9，较理想的位置控制作用：



数据监控			
状态位			
运动完成	☒	接近完成	☒
高限位+	☐	索引信号	☐
低限位-	☐	采集数据中	☐
报警			
报警代码	00000000	清除报警	
报警信息			
位置/速度/电流			
设定位置	470946990	PULSE	
实际位置	470946990	PULSE	
设定速度	0.0	RPM	
实际速度	0.0	RPM	
设定电流	-0.00	A	
实际电流	-0.01	A	
位置误差	0	PULSE	
速度误差	0.00	RPM	
霍尔传感器	000		
I ² t			
	0.00	%	
IPM温度			
	28	度	
直流母线电压			
	78	V	

图4.9 较理想的位置控制

注意：图中的控制增益仅供参考，具体的增益数值会根据不同的负载而有所不同。

4.5 其他需要注意的问题

1). 电机异响：

电机在运动过程中或者是静止的时候有异响，往往是由于控制增益太大引起的现象。而最有可能的是由于速度环的比例增益和电流环的比例增益太大引起的(当然也不能排除位置回路的比例增益)，此时需要减少速度环的比例增益和电流环的比例增益。

2). 加减速过程中跟随特性不好:

电机在加减速过程中跟随性不好的现象,最大的可能性是电流回路的跟随特性不好导致的,此时可恰当增加电流环的比例增益和积分增益。

3). 电机停止时稳定时间较长:

当电机从高速运动到停止时其整定时间较长的情况,如是半闭环(即电机后轴安装有编码器)系统,往往是由于速度回路的比例增益值比较小造成的,此时可以增加速度回路的比例值。同时调整电路回路的跟随特性。

但是对于电机端没有编码器(编码器安装于机械端)或者是全闭环的系统,此时整定时间过程往往是位置增益太小,而速度增益太大造成的。几个系统的调试思路完全不一样,需要特别注意。

5. 使用示波器进行在线调试

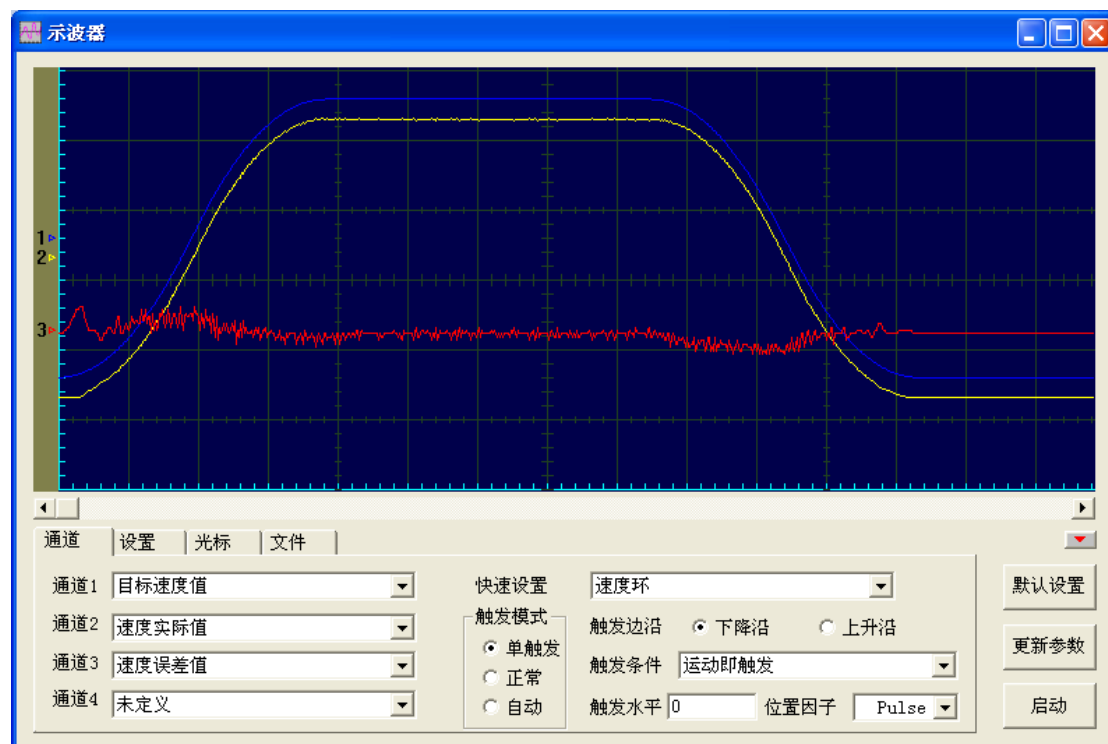


图 5.1. 示波器显示界面

驱动器示波器提供电流环、速度环和位置环的实时数值曲线显示功能,最多支持 4 个通道的参数实时采集和显示(如图 5.1 所示)。任意操作模式或控制模式都能使用驱动器的示波器功能实时观测驱动器的各种参数,使驱动器参数调整 and 性能测试在图形界面中实时显示。更便于观测参数调试时不同的控制增益对电机控制效果的影响,增加系统调试的便利性。关于示波器的详细使用方法,请参考使用手册的相关章节。

6. 联系方式

MOTEC(中国)营业体系

北京诺信泰伺服科技有限公司

Website: <http://www.motec365.com.cn>;

<http://www.nortiontech.com>;

地址: 北京市通州区环科中路 17 号 11B;

服务热线: 010-56298855-666;

Email: motecSupport@sina.com;