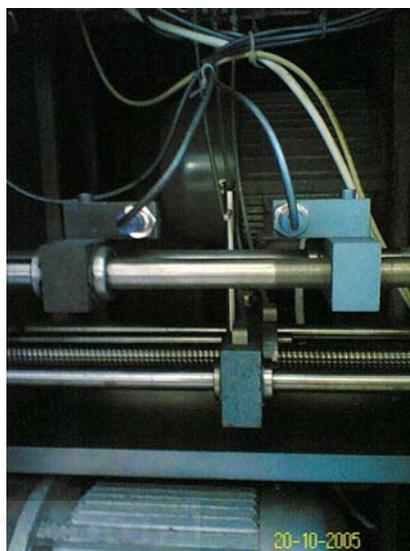


台达机电产品在微拉机上的成功应用

-----中达电通上海机电 FAE 李强

内容摘要: 本文主要介绍微拉机的控制原理及台达产品在改行业上的应用。**微拉机**属于**拉丝机**的一种, 拉丝机分为**大拉**、**中拉**、**小拉**和**微拉**。其中微拉机所拉出丝的线径是最细的。最小线径为 1 丝左右。常用的线径在 1.6~6.5 丝之间。拉出的成品丝主要应用于**防静电服**、**各种高档防静电类针织衣物**和各种丝制的**过滤网**等方面。需求量非常大。而且拉丝的难度也比较大, 因为线径太细, 张力瞬间有突变, 丝就有可能被拉断。正因为如此, 所以一台成功的微拉机不仅对机械加工方面有很高的要求, 而且在电气方面, 由于工艺要求的特殊性, 实现起来也有一定的难度, 难点主要在于: <1>**张力控制**。<2> **排线的控制**。<3>**斜排量的控制**。<4> **启动、停车、加速、减速时拉线和收线速度的控制**。为了能在拉丝机这个行业有所突破, 我根据从客户那里了解到的控制要求设计了整套电气原理图、接线图、端子图和所有低压电器的选型, 以及用我们台达的机电产品设计了整套控制方案。得到了客户的认可并将整套系统开发成功, 该系统共 5 套设备在最终用户处生产的过程中得到了很高的评价。整个系统具有很高的性价比, 并且在运行速度、张力控制、排线、斜排量等方面都远远高于同类设备。尤其以排线和张力控制方面的效果最佳。据客户讲在行业内属于高品质。国内还没有哪家设备的排线能做到同样的效果。

一. 前言

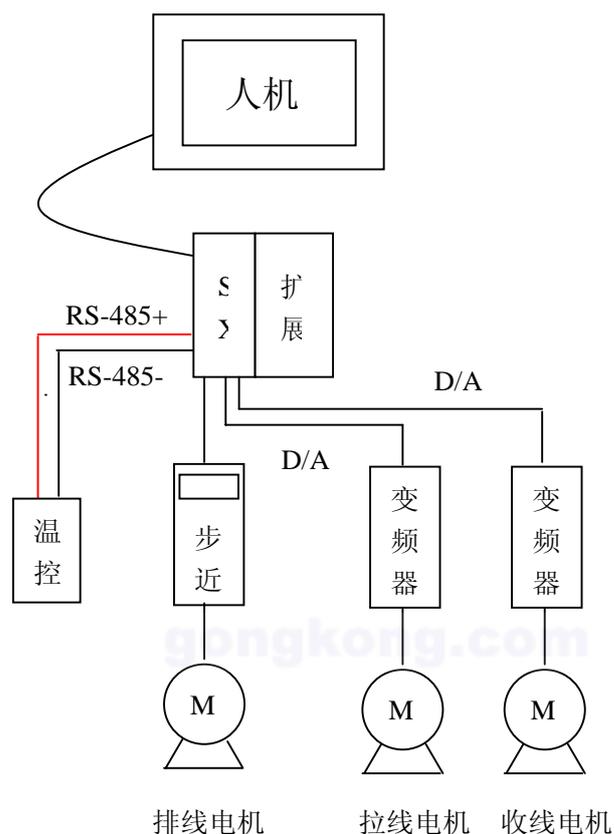


拉丝机尤其是微拉机控制的难点在于: **1. 张力控制的平稳**, 即如图所示的摆杆在运行当中要很平稳. 在整个微拉这个行业, 原有设备摆杆的控制是通过两个接近开关: 一个是收线加速的信号、一个是收线减速的信号. 依靠这两个接近开关对收线电机进行加减速控制。但是这样控制的效果并不理想, 可想而知在摆杆偏离平衡位置的过程中只有碰到接近开关后, 才能判断收线电机的转速是快了还是慢了; 偏离平衡位置的趋势是大了还是小了, 无法判断同时摆杆从平衡位置变化的中间过程无法知道. 因为无法知道摆杆偏离平衡位置的中间过程, 从而不可避免会造成调整收线电机速度时出现滞后和超调, 摆杆在平衡位置振荡. 调节的滞

后导致摆杆回到平衡位置的时间太长. 超调导致摆杆摆幅过大, 最终不可避免的断丝. 通过分析, 最终说服客户放弃原有的控制方式, 采用我建议的方式. 而且成本并不增加, 但效果完全不能相提并论. 在摆杆处将两个加减速接近开关改成同轴安装的电位器(单圈). 这样**平衡位置**(实际是在平衡位置上下的一个较小的范围, 该范围依据调试效果而定) 确定了下来, 摆杆只要偏离了平衡位置, PLC 通过 A/D 采样模拟量的值, 可以判断出收线电机是该加速, 还是该减速. 并且摆杆偏离平衡位置的幅度也能实时判断出来. **2. 排线要均匀**, 排线电机的速度, 可以根据收线电机的速度, 排线的**节距**和**线径**进行控制. 要求排线均匀. 因为线轴的两端有一定的角度, 一般在微拉机中常用的线轴斜排量为 26° 和 45° . 要求排线有斜排量, **斜排量**的含义就是空芯线轴进行排线时, 第一层排到左端限位时, 排线电机反向. 当排到右端限位时, 要依靠斜排量的设定继续运行一定长度后再反向, 当再次运行到左极限时, 继续运行一定的长度. 依此类推. 排线的难度在于排线电机的速度要严格的与收线电机的速度配合好, 并且在线轴的两端要平整, 不能中间高, 两头低或者中间低, 两头高.

二. 系统构架

1. 系统框图



2. 系统构成

DOP-A57GSTD+DVP-10SX11T+DVP-16SP11R +VFD-022M43A+VFD-015M43B+DTA4848



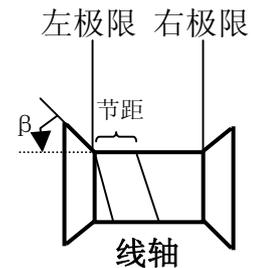
三.控制工艺及原理

1. 控制工艺

<1>. 专业术语

a. 节距——排线时每两根丝之间的距离, 单位: 丝

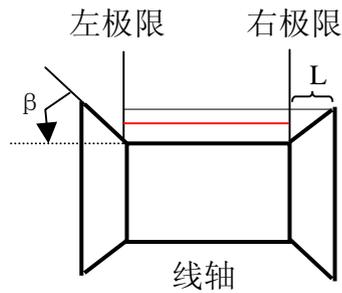
b. 斜排量——如图所示的 β 即为斜排量, 单位: 度



c. 步距角——步进电机每接收一个脉冲所转动的角度. 本系统所选 KINCO 的步进, 步距角为 1.8° , 选择 4 细分. 因此步进转动一圈需要 800 个脉冲. 因为步进通过丝杆连接排线装置. 丝杆的导程为 $4\text{mm}=400$ 丝, \rightarrow **1 丝=2 脉冲**

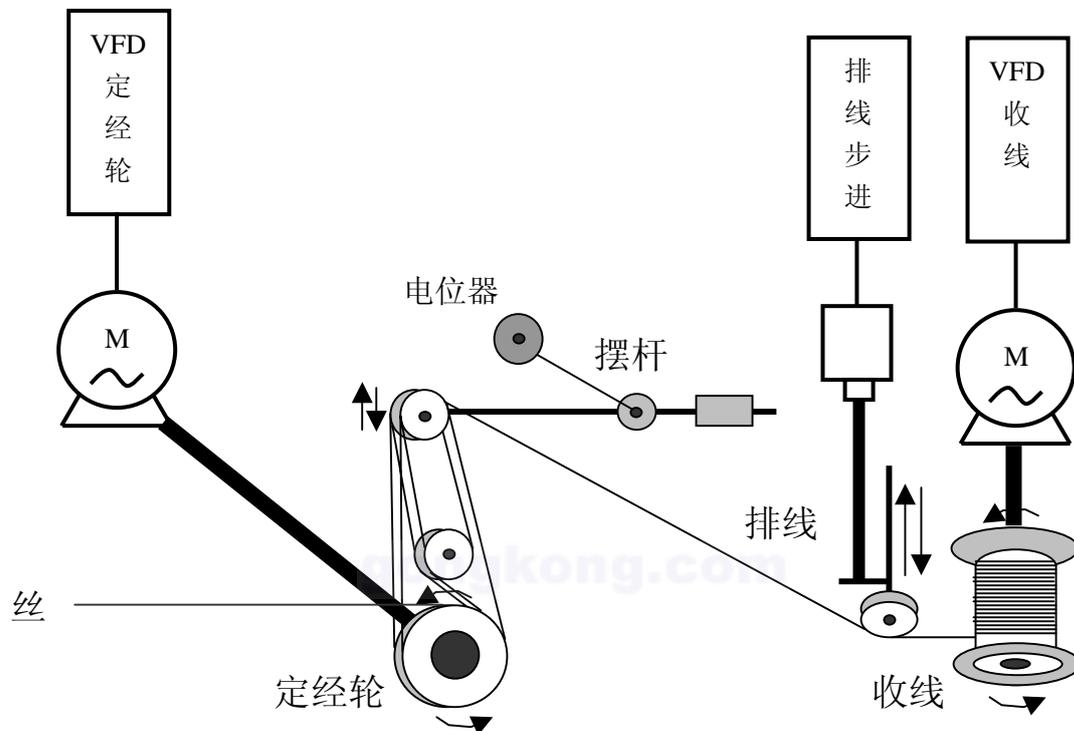
<2>. 控制工艺及要求

- 拉丝速度最高达到 15m/s 以上, 拉丝丝径: $1.03\text{--}6$ 丝.
- 张力控制稳定, 即摆杆摆动要小, 尽量保持在平衡位置.
- 启动、停车要平稳, 摆杆摆幅要小, 不能断丝.
- 加速、减速摆杆运行平稳. 不能使摆杆产生振荡.
- 排线要均匀. 不能中间高两头低或中间低两头高.
- 斜排量要精确, 如下图所示: 启动时排线从右极限开始向左极限运行, 排线的第一层即红线所示, 当运行至左极限, 排线电机立即反向向右极限运行, 当到达右极限, 再运行 L 长度. L 与斜排量的设定和丝的线径有关系. 排线的第二层如黑线所示, $L=2*\text{丝径}*\text{ctg}\beta$. 依此类推. 每层斜排量递增 L 长度.



- g. 油温自动控制系统.为保证油温在夏季不至于过高,保护模具方便操作人员穿丝.通过温控与 PLC 通讯,实时读取当前的油温.当实际油温大于在人机上设定油温的 5℃时,启动空调制冷系统;当实际油温低于设定油温 5℃时,自动关断空调制冷系统.
- h. 润滑自动控制及手动控制系统.在自动运行状态下,润滑泵自动启动.运行至在人机上设定的运行时间后,润滑泵自动关断;关断相同的时间后,自动启动,循环运行.同时在停止状态下,润滑泵可以通过脚踩开关点动运行.
- i. 自动停车的功能,当实际收线的重量大于等于在人机上设定的重量后,自动停车,同时保证定经轮和收线电机同步减速停止.保证张力的恒定,不能断丝.
- j. 有断丝保护的功能.当摆杆摆幅过大,系统检测到断线信号后,自动停车,同时报警提示操作人员出现故障.
- k. 能实时根据材料密度,收线速度,运行时间计算出当前收线的重量,在人机上显示.

2. 控制原理



<1>. 摆杆的控制

如上图所示,启动后定经轮先启动,延时一秒钟后,收线电机启动.速度给定

通过两路模拟量输出,一路控制定经轮,一路控制收线电机. SX 四入两出的模拟量, 12bit, 精度能够满足控制要求. 摆杆电位器阻值 5KΩ, 0-10V 的电源, 通过模拟量输入接入 SX 的 V0+. 升降速通过加减速按钮进行点动升降速. 定经轮和收线电机升降速的大小通过两个变量依据启动后升降速的效果分别调整到最佳值. 因为定经轮和收线电机所带负载大小的不同, 定经轮拉丝, 丝经过各个模具, 有比较大的阻力, 所以负载较重, 启动时所需的转矩较大. 而收线电机的负载比较轻. 所以要使之同步, 势必要调整定经轮变频器的 V/F 曲线, 提高最低频率、最低频率对应的电压、中间频率、中间频率对应的电压. 提高定经轮电机的启动转矩. 同时配合加速时间、减速时间的调整, 实际调试当中, 定经轮最低频率 3Hz, 最低频率对应电压 45-53V, 中间频率、中间频率对应电压同最低频率和最低频率对应的电压. 定经轮由于负载重, 虽然提升了启动转矩, 但还是要求定经轮能够快速启动, 以避免异步电机低频特性较差的特点. 同时为保证停车不断丝, 定经轮电机应比收线电机减速慢. 定经轮电机先停, 收线电机后停. 避免丝被拉断. 经调试得出经轮加减速时间为: 加速 1-2s, 减速 6-10s; 收线电机 V/F 曲线不需调整, 只需加减速时间配合定经轮即可. 经调试得出: 加速时间: 1-4s. 减速时间: 1-2s. 同时定经轮停车方式选择自由停车, 收线电机的停车方式选择减速停车.

将电位器可靠的与摆杆同轴连接. 一定要很可靠的固定. 记录摆杆在平衡位置时的 A/D 值. 该值就是摆杆的平衡位置. 可以通过 PID 对定经轮和收线的速度进行调整. 我自己总结了一个非常有效的经验公式. 类似于我们台达的同步控制器在纺织和印染行业经常用到同步的控制原理, 方便调试, 效果极佳:

$$N_{\text{收线}} = K_d * N_{\text{定经轮}} + K_f * \Delta S + X$$

$N_{\text{收线}}$ ——收线的转速

$N_{\text{定经轮}}$ ——定经轮的转速

K_d ——定经轮和收线电机的速度比例系数(常数)

K_f ——反馈比例系数

ΔS ——摆杆偏离平衡位置的 A/D 值, 即摆杆当前位置与平衡位置的差值

X ——收线速度动态微调变量

因为变频器在 50Hz 以下运行, 恒转矩. 转速与运行频率成正比, 所以有如下公式:

$$F_{\text{线}} = K_d * F_{\text{定经轮}} + K_f * \Delta S + X$$

$F_{\text{线}}$ ——收线的频率

$F_{\text{经轮}}$ ——定经轮的频率

K_d ——定经轮和收线电机的速度比例系数(常数)

K_f ——反馈比例系数

Δs ——摆杆偏离平衡位置的 A/D 值, 即摆杆当前位置与平衡位置的差值

X ——收线速度动态微调变量

这样我建立了一个简单的数学模型. 可以看出: 收线电机的速度由两步分组成:

$K_d * N$ 定经轮: 说明在理想状态下定经轮和收线电机在速度上存在一定的比例关系, 但由于打滑现象的存在, 所以不能完全依靠该比例系数来调整收线的速度. 只能大致保证定经轮和收线的速度同步. 该系数基本上趋进于 1.

$K_f * \Delta s$: 因为 Δs 是摆杆偏离平衡位置电位器的当前值与摆杆在平衡位置时的

A/D 差值即反馈值. 所以通过 Δs 不但能够知道摆杆偏离平衡位置的幅度; 而且能够实时的采样摆杆当前的位置. 这一项在整个系统启动以后是始终有效的. 保证系统始终处在动态的闭环平衡调整当中. 可以说, 对于微拉机而言, 在控制上的难点——张力控制其实质实际上是速度控制的同步性, 还有就是排线的控制. 而同步控制, 针对微拉机而言, 最难的地方在于启动和停止的过程. 如果对于启动和停止只是用开环控制, 肯定是不行的. 因为两台电机所带负载的轻重不同, 转差率也不同, 开环是无法做到同步的. 而有了这一项, 系统在启动、停止、正常运行的整个过程都是闭环控制. 可以看到 K_f 是个变量, 称为反馈系数, 在程序中我对它的调整是动态的, 它的大小决定了摆杆偏离平衡位置后回到平衡位置的速度. 启动的瞬间我将 K_f 赋一基础值, 实时采样电位器的反馈值, 判断摆杆偏离平衡位置的

大小, 当偏离平衡位置的幅度不大, 基本属于平衡范围时我动态的调整 X , 相比较这一项对收线电机的速度影响的效果较小, 所以不会引起收线电机速度的超调和振荡. 只是通过时间在积分, 缓慢的将摆杆控制在平衡范围内. 而当摆杆偏离平衡位置比较大时, 在一定的范围内我动态的调整 K_f 的值, 在摆杆偏离平衡位置较大时, 通过调整 K_f 值, 能够保证摆杆快速平稳的回到平衡位置附近, 当接近平衡位置时, 停止调整 K_f , 转而开始动态的调整 X . 这样即保证了系统自动调节的及时性同时避免了控制的超调.

通过这样的处理, 不仅简化了程序, 而且巧妙的将所有与收线电机有关联的量用一个简明的数学公式联系起来. 控制效果非常明显而且好用, 并且比 PID 容易调整, 能够更加便利的找到最佳参数.

<2>. 排线的控制

排线的控制主要是要清楚排线速度与哪些因素有关系. 下面对排线的速度进

行详细的分析:

- A. 与收线电机的转速成正比
- B. 与线径成正比
- C. 与节距成正比

所以通过以上的分析可以归纳出一个简单的数学公式, 如下所示:

$$N \text{ 排线} = K_d * F \text{ 收线} * D \text{ 线径} * \tau \text{ 节距}$$

K_d ——排线速度系数. 经过调试后可以确定下来. 根据调试效果而定.

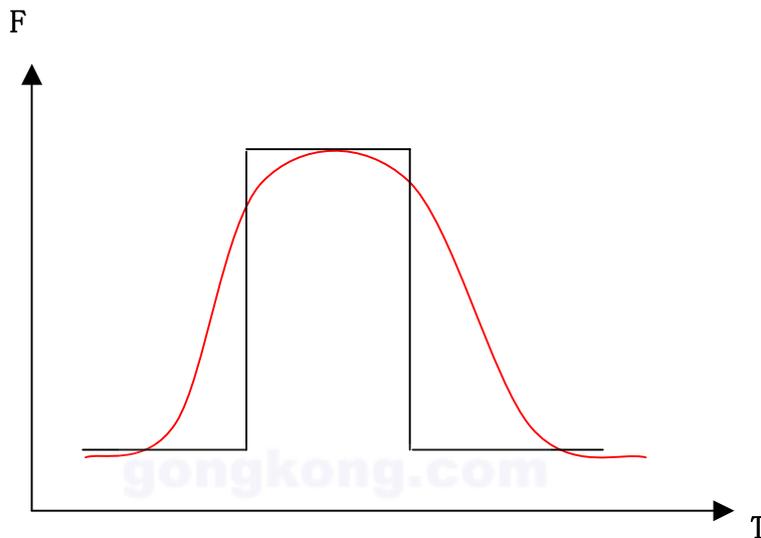
F 收线——收线电机的运行频率

D 线径——丝的直径, 单位: 丝

τ 节距——线轴上丝与丝之间的距离, 单位: 丝

K_d 的调整方法, 将 F 收线, D 线径, τ 节距都换算成标准单位, 因为收线的频率给定是通过模拟量给定, 在做运算时, 5000 对应 50Hz. D 线径换算成长度单位:

丝; τ 节距换算成标准的长度单位: 丝. 通过乘以 $K_d (0 < K_d \leq 100)$, 除以 100 得到最佳值. 在计算排线速度的时候, 要考虑 PLC 允许发送脉冲的最高频率. 同时排线是通过步进电机控制的. 充分考虑步进电机的特性. 高速时容易失步或者堵转, 输出转矩小. 因此在速度给定时如果频率较高, 需要通过程序的方式对步进电机进行加减速的处理. 即设定启动频率, 最高运行频率, 加减速时间等参数. 使得步进电机从启动频率到最高频率加速平滑, 减速同样. 类似我们伺服的平滑指令的功能. 如下图中红色曲线所示而不能象黑线所示的曲线:

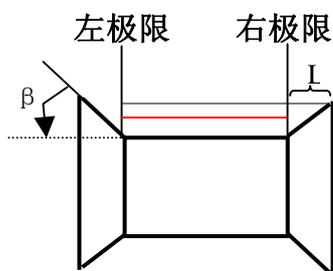


那么排线步进最高频率怎么计算?下面介绍:

当收线速度达到最大值, 线径最大, 节距最大, 同时线轴是空芯卷径时排线的速度

是最高的. 排线前进后退通过上文已经知道, $1 \text{ 丝} = 2 \text{ 脉冲}$, 因此可以计算出排线电机的最高脉冲频率 $<10\text{K}$, PLC 足够满足要求. 而且 KINCO 的步进性能还是相当不错的, 在脉冲频率在 2K 左右时, 对速度命令的加减速处理的相当平滑, 基本上不会出现失步现象. 同时因为整个系统的启动过程如下所述: 启动后, 加减速是通过点动按钮进行加减速, 加减速的过程比较慢, 比较平缓. 所以通过上述公式算出来的 N 排线本身就是由小到大变化的, 随着收线电机频率的升高而逐渐增大. 很巧妙的避开了步进电机升降速需要平滑的问题. 因此不需要在程序中对排线电机进行加减速的处理. 使得程序大大简化. 只要将 K_d 调整好, 就能保证排线电机的速度严格的按照收线电机的速度由小到大或由大到小的变化.

<3>. 斜排量的控制



由上图所示: β 为斜排量. L 为每层按照斜排量的设定, 排线电机到极限时多走得距离. 按照工艺的要求, 排线电机从复位的位置启动后, 先向左边排线. 到达左极限后, 排线电机立即反向运行, 到达右极限后, 立即开始计算行程, 当行程等于 L 时, 排线电机立即反向, 向左边运行. 到达左极限后, 又开始计算行程, 当行程等于 $2L$ 时, 排线反向运行. 周而复始. 反复运行.

斜排量要精确, 如上图所示: 启动时排线从右极限开始向左极限运行, 排线的第一层即红线所示, 当运行至左极限, 排线电机立即反向向右极限运行, 当到达右极限, 再运行 L 长度. L 与斜排量的设定和丝的线径有关系, $L = 2 * \text{丝径} * \text{ctg } \beta$. 排线的第二层如黑线所示. 依此类推. 如何能控制步进在运行到极限位置时, 再运行相应的行程? 通过将控制步进的脉冲输出接到 PLC 的输入点, 进行高速计数. 当排线步进运行到极限位置时, 开始高速计数. 当高速计数值到达后, 排线反向运行. 同时, 高速计数的设定值加上一个常数. 该常数即为 $2L$. ($1 \text{ 丝} = 2 \text{ 脉冲}$). 这样处理后, 可以消除斜排量的累计误差. 因为每次排线总是先到极限位置后, 然后才按照高速计数的设定值再运行相应的行程. 不存在累计误差, 同时为了用户能对斜排量进行手动微调, 在上述的基础上加上一个变量. 该变量可正可负. 对算出来的斜排量(以脉冲为单位)加一点或减一点. 这样就能满足客户的要求了. 使得斜排量非常准确

4. 硬件配置说明

a. 人机—DOP-A57CSTD



- ※ 支持双通讯口联机功能，内建 2 组通讯口，可同时连接 2 种不同通讯格式的控制器，组成多机联机功能。
- ※ 在线/离线仿真功能。提供仿真功能，方便设计者在程序开发阶段进行程序编辑与除错，以避免程序运行时错误。
- ※ 支持 SMC Card 存取人机资料。利用 SMC Card 存取人机内部数据，不需使用计算器执行程序上下载，就可对人机直接执行程序的复制功能。
- ※ USB 快速上下下载数据。可选择 COM 口或 USB 口执行程序上下载，USB 可在人机运行中直接执行程序传输，提高操作方便性及数据传输速度。
- ※ 显示器种类为：STN LCD
- ※ 显示器颜色：256 色
- ※ 显示器分辨率：320*240
- ※ 内建万年历，支持 5 个外部可编程功能键。

b. PLC—DVP-10SX11T



- ※ 主机集成 4 入 2 出的模拟量. 精度 12 位.
- ※ 程序容量 8K
- ※ 公用 SS, SA 系列扩展模块
- ※ 内建多组外部中断功能
- ※ 内建 RS-232/RS-485 通讯口

c. 温控器—DTA4848

- ※ 提供 PID 及 ON-OFF 功能
- ※ 自动调谐 PID 参数
- ※ 可接多种热电偶及白金测温电阻输入
- ※ 二组警报开关，各提供十种警报模式
- ※ 华氏、摄氏单位显示
- ※ 按键锁定功能
- ※ 四种面板尺寸可供选择

※ 含 RS-485 通讯界面



d. 变频器



- ※采用 16 位微处理器, 正弦波 PWM 控制
- ※自动转矩提升与自动滑差补偿功能
- ※输出频率 0.1~400Hz
- ※四种加减速时间选择与可独立调整加减速时间的 S 曲线
- ※国际化的通讯格式 MODBUS (RS485 波特率可达 38400)
- ※可设定的 V/F 曲线与自动稳压调节输出

四. 調試過程

为了保证定经轮的速度和收线电机的速度能够很好的配合,因此对于定经轮变频器和收线变频器的参数调整有严格的要求.

定经轮:

P00-1
P01-0
P02-1
P03-50
P04-50
P05-380
P06-3
P07-45~55
P08-3
P09-45~55
P10-1~2

收线:

P00-1
P01-1
P02-0
P03-50
P04-50
P05-380
P06-1.2~1.5
P07-20~25
P08-1.2~1.5
P09-20~25
P10-1~10

P11-1~5	P11-1
P36-50	P36-50
P37-0	P37-0
P71-5	P71-5
P128-0	P128-0
P129-10	P129-10

变频器的参数要配合好,启动瞬间可以观察摆杆的摆动趋势.如果摆杆朝下摆说明收线电机的速度快了;如果摆杆朝上摆,说明收线速度慢了.因为在启动的瞬间,异步电机的低频特性比较差,再加上两台电机所代负载的不同,造成启动所需要的转矩大小是不一样的.这就造成启动后还处在低频区时,很难通过开环控制达到两台电机的同步,所以还需要通过反馈量来进行动态调整.但是为克服启动转矩不足导致定经轮无法快速运转的现象,需要将 V/F 曲线调整的非常合理,以保证定经轮能快速启动,配合收线电机同时进行加减速.

摆杆的调节要保证在系统顺利启动后(不断丝,此时摆杆的摆幅可能比较大),通过电位器的反馈值,判断出收线应该加速还是应该减速,同时判断出摆杆偏离平衡位置的大小.如果偏离平衡位置较大,则在一定的范围内自动将 K_f 的值增大,不能超过 K_f 的范围.保证摆杆能快速的向平衡位置运动;同时当摆杆接近平衡位置时,停止调整 K_f 的值,因为 K_f 的大小,对收线速度的影响较大,效果明显,所以在一定的范围内对其调整是有效的,但接近平衡位置时,继续调整 K_f 会造成超调,导致摆杆振荡.所以在接近平衡位置时,停止调整 K_f ,转而调整 X . X 对整个收线速度的影响较小,适合做轻微的调整.保证摆杆在平衡位置左右轻微振荡.定经轮和收线速度的同步控制始终是闭环调整.

排线对步进电机有比较高的要求,而且最好是步进电机轴通过丝杆连接排线装置.这样精度有保证.

五. 結論

中達電通主要為中國最具成長潛力的通信及自動化市場提供設備和服務。其主要產品和服務包括視訊設備、動力系統、寬帶數據和機電自動化四個方面。

中達電通的母公司為世界著名的電子製造跨國企業——台達電子集團,台達集團在江蘇吳江建有規模龐大的生產基地,是全球第一大電源管理系統供應商和台達變頻器、編碼器、人機界面、PLC、伺服、溫控器等機電產品的製造廠商。作為工控行業內的知名廠商,尤其是在國內唯一一家能將機電產品做的如此全面的製造廠家,我們通過應用自己的產品能夠為各行各業的客戶提供全面的解決方案。

最佳的產品性价比、周到完善的全國乃至全球聯保服務能夠保證客戶利益。中達電通的服務體系遍佈全國。



國家領導的關注