

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2014.04.012

# 多机伺服驱动系统中以太网和 SERCOS 总线的实现

童存智, 马钧华

(浙江大学电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

**摘要:**目前现代大型卷筒式报业印刷机中多使用 SERCOS (Serial Real-time Communication Specification, 串行实时通信协议) 总线实现多轴同步运行, 为了给报机添加可实现与原系统高精度同步运行的第三方驱动, 基于浮点 DSP 和专用 SERCOS 接口协议芯片设计了具有内在高精度同步机制的伺服控制器, 同时加入了基于硬件协议栈的以太网接口芯片, 实现人机交互的功能。文中详细介绍了 SERCOS 接口和以太网接口的硬件配置和软件初始化, 重点阐述软件设计中 SERCOS 总线的同步机制和具体同步过程。

**关键词:**多机伺服; 以太网; SERCOS 总线; 同步运行; 人机交互

**中图分类号:** TP273      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1005-2895(2014)04-0047-06

## Implementation of Ethernet and SERCOS Bus in the Multi-Machine Servo Drive System

TONG Cunzhi, MA Junhua

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**Abstract:** SERCOS is widely applied in modern large-scale web press. In order to add the third party drive, a servo controller with internal high-precision synchronization mechanism was designed, which was based on a floating point DSP and a sophisticated SERCOS interface chip and could realize high-precision synchronous operation with the original press. An Ethernet interface chip of hardware protocol stack was also added for the human-computer interaction. Hardware configuration and software initialization of SERCOS and Ethernet interfaces were introduced in detail, and emphasis was placed on illustrating the synchronization mechanism and specific synchronization process of SERCOS bus in software programming.

**Key words:** multi-machine servo; ethernet; SERCOS bus; synchronous operation; human-computer interaction

现场总线的实用化已经历了近 30 年发展历程, 目前国际上有 40 多种现场总线, 虽然这些总线类型繁多, 但没有任何一种现场总线能覆盖所有的应用面<sup>[1-2]</sup>。

现有的大型报机多使用 SERCOS 实时总线将多轴伺服驱动器连接起来, 整台机器可有多至 50 台以上的电机实现高精度的同步运行。在这类系统中, 如果需要添加第三方的传动, 如增加张力控制和第三折报头, 就需要具备 SERCOS 接口的伺服驱动器, 才能参与其

中的同步运行。本文基于这种应用背景, 设计具有 SERCOS 接口的驱动器, 还加入以太网接口, 便于连接上位机实现人机交互。

### 1 SERCOS 接口简介

SERCOS 协议有 II 和 III 2 个版本, 本文研究的报业印刷机系统基于 SERCOS II 协议, 故本节主要研究基于 SERCOS II 协议的接口控制芯片和报文处理规则。SERCON816 是实现第 2 代 SERCOS 接口物理层和数据链路层协议的集成电路芯片, 它既可以用于

收稿日期: 2013-12-25; 修回日期: 2014-02-29

作者简介: 童存智(1989), 男, 浙江安吉人, 浙江大学电气工程学院硕士研究生, 主要研究方向为电机控制。E-mail: tcz88123@163.com

SERCOS 主站,也可以用于 SERCOS 从站。它具有 2048 \* 16bit 的双端口 RAM 区,最高数据传输速率 16 Mbit/s<sup>[3]</sup>。SERCOS II 环路中各节点之间采用光纤作为传输介质,使用环形拓扑结构。光纤具有极强的抗电磁干扰的能力<sup>[4]</sup>。

SERCOS 协议定义了 3 种电报类型:主站同步电报(Master Sync Telegram, MST)、主站数据电报(Master Data Telegram, MDT)、伺服电报(Drive Telegram, AT)。MST 用于同步主站和各个从站的通讯周期;MDT 用于同步控制器向伺服驱动器发送数据;AT 用于从站伺服驱动器向同步控制器传输运行状态数据<sup>[5]</sup>。SERCOS 报文在环路中传输的信号采用 NRZI(No Return to Zero Inverted,不归零反相)编码格式。图 1 是用逻辑分析仪截取的一段报文,利用 NRZI 编码原理可以得知该段报文的含义。

电报定界符	地址域	数据域(8位)	帧校验序列域(16位)	电报定界符
01111110	111110111 (255)	00000000	1110000100001111	01111110

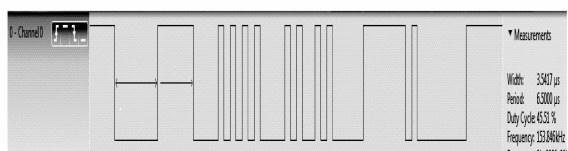


图 1 CPO 阶段 的 MST 报文

Figure 1 MST message in CPO phase

### 2 以太网接口简介

为了便于与上位机进行通信,在 DSP 控制板上还添加了应用非常广泛和便捷的以太网接口,考虑到传统以太网接口芯片编程的复杂性,选用内部集成了硬件协议的 W5100 芯片。W5100 内部集成有 10 M/100 M 以太网控制器以及全硬件的 TCP/IP 协议栈、以太网介质传输层(MAC)和物理层(PHY)。利用该芯片可以大大减小硬件接口设计和网络编程的工作量。

W5100 芯片提供 3 种与微机的接口:直接并行总线、间接并行总线和 SPI 总线。本系统中 DSP 与 W5100 的数据总线接口采用直接并行总线模式。实际使用中只需设置 W5100 芯片的寄存器和存储器即可进行以太网连接,但是当对寄存器和存储器进行数据读写时需要满足一定的时序要求<sup>[6]</sup>。

### 3 DSP 控制板硬件设计

系统的整体结构框图如图 2 所示,上位机通过以太网与 DSP 通信实现人机交互,同时 DSP 通过 SERCOS 总线连入多机伺服驱动的环形拓扑中,通过 SERCOS 总线与虚拟主轴实现同步,从而可以将第三

方传动添加到原有的多机同步伺服系统中,并实现同步运行。

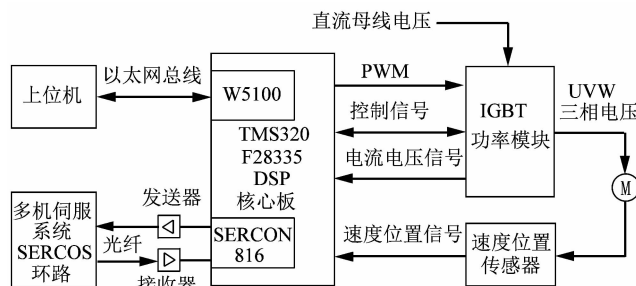


图 2 系统结构框图

Figure 2 Block diagram of the system

DSP 控制板的硬件接线图如图 3 所示,DSP 选用 TI 的 TMS320F28335 浮点 DSP,以太网接口芯片选用 W5100 芯片,SERCOS 接口芯片选用 SERCON816 芯片。2 个接口芯片通过数据总线、地址总线和控制总线连接 DSP。由于 SERCON816 的 I/O 口输出电压为 5 V,而 DSP 的 I/O 口所能承受的电压为 3.3 V,故需要在所有的 SERCON816 和 DSP 的信号连接中添加双向电平转换电路。实际电路中使用 74LV245 芯片进行电压转换。W5100 为 3.3 V 器件,无需转换。

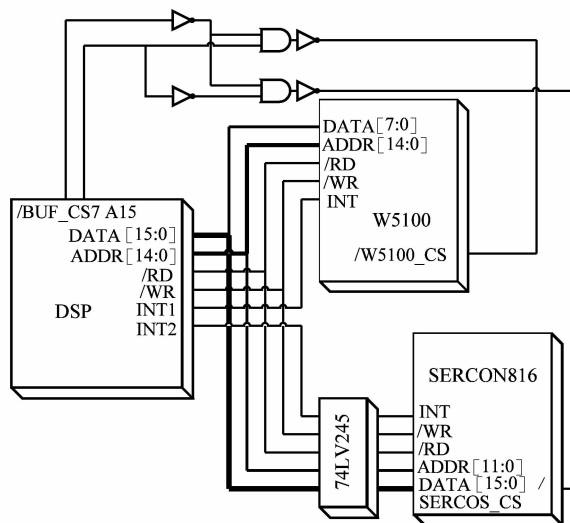


图 3 DSP 控制板硬件接线图

Figure 3 Hardware wiring diagram of DSP control panel

在硬件电路中,通过 A15 地址线信号和 DSP 的 ZONE7 区域信号线 BUF\_CS7 的组合来片选。当 A15 = 1 时,片选 W5100 芯片;当 A15 = 0 时,片选 SERCON816 芯片。而 SERCON816 的控制寄存器和双端口 RAM 区也复用地址总线和数据总线,通过 A11 地址线来选择。当 A11 = 0 时片选双端口 RAM 区,当 A11 = 1 时片选控制寄存器。

以下是 W5100 和 SERCON816 芯片在 DSP 内存中的映射地址。

W5100 内存空间为:

0x208 000 ~ 0x209FFF。

SERCON816 控制寄存器地址:

0x200 800 ~ 0x200842。

SERCON816 双端口 RAM 区地址

0x200 000 ~ 0x2007FF。

#### 4 DSP 控制板软件设计

DSP 控制板的 2 个总线接口在正常工作之前,需要对 2 种总线的控制芯片进行初始化。

##### 4.1 W5100 芯片初始化

W5100 芯片内部包含公共寄存器,端口寄存器,发送存储器和接收存储器。对 W5100 芯片的初始化首先需要设置模式寄存器(MR)、中断屏蔽寄存器(IMR)、重发时间寄存器(RTR)以及重发计数寄存器(RCR)的参数。然后根据网络环境来设置网关地址寄存器(GAR)、本机物理地址寄存器(SHAR)、子网掩码寄存器(SUBR)和本机 IP 地址寄存器(SIPR)。最后设置发送缓冲区和接收缓冲区大小以及重试时间和重试次数即可完成芯片初始化<sup>[7]</sup>。

以太网可以按照 UDP 和 TCP 以及客户端和服务端方式来通信。本文中 DSP 控制板作为 TCP 客户端模式的工作流程图如图 4 所示。

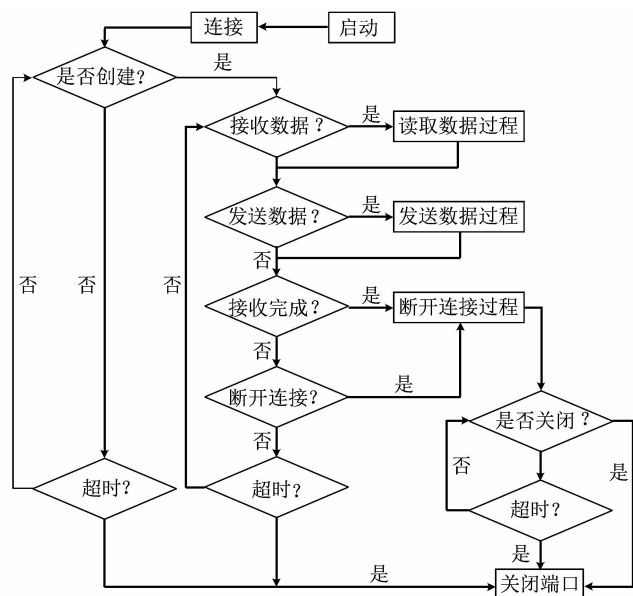


图 4 客户端模式下的工作流程图

Figure 4 Workflow flowchart in client mode

##### 4.2 SERCON816 芯片初始化

对 SERCON816 芯片的初始化包括控制寄存器初

始化,双端口 RAM 区初始化以及通信初始化。

控制寄存器初始化就是将已经确定好的参数写入相应的控制寄存器中;双端口 RAM 区初始化是指根据系统配置,计算 RAM 区中各数据段地址分布,包括固定段、ATM 段、MDTM 段、AT 段、MDT 段以及服务通道段,然后将确定好的参数填入相应的内存单元<sup>[8-9]</sup>。

在本设计中 SERCON816 芯片按从站方式来配置,从站系统的配置参数如下:

从站伺服地址为 2,使用服务通道 0;

工作时钟频率 16 MHz,数据传输速率 2 Mbit/s;

CP0 ~ CP4 阶段的通信周期都为 10 ms;

在 CP0 ~ CP2 阶段,输出信号 CON\_CLK 在每个通信周期开始后(MST 之后)的 200 ~ 490 μs 时间段内为高电平“1”,而在 CP3 ~ CP4 阶段,该时间段为 MST 之后的 1 000 ~ 2 500 μs。

通信初始化是指 SERCOS 从站响应来自主站的读写请求和过程命令,完成相应操作的过程,整个过程是一个循环结构,其程序流程图如图 5 所示,分为以下几个阶段:

1) 根据所接收到的 MST 中包含的阶段信息 PHASREC(Reg. 0x0b—bit7 ~ 0),判断通信处于哪个阶段,其中 CP0 ~ CP3 为接口初始化阶段,CP4 为正常运行阶段;

2) 在处理分支中,设置相应的传输块标志以及阶段切换寄存器的值,同时根据需要对控制寄存器 Reg. 0x25 进行必要的设置;

3) 检查服务通道中断标志 INT\_SC\_n(Reg. 0x05-bit7 ~ 0, n 为服务通道号,取 0 ~ 7 的整数)。如果某中断标志 INT\_SC\_n 被置“1”,则进入该服务通道,将中断标志清零并调用非周期性数据传输处理函数 open\_sl\_service()来实现与主站的非周期性数据传输,包括参数传输和过程命令传输。

#### 5 多机伺服系统中同步报文解析<sup>[10]</sup>

DSP 控制板连入 SERCOS 环路,经过 SERCOS 初始化步骤后进入正常通信阶段 CP4。在该阶段,控制板接收主站发来的同步报文,而不同厂家的伺服控制器有不同的报文结构。下面以一个特例来分析报文结构。

在 Uniset 型报业卷筒纸印刷机中,使用的是包米勒公司生产的带 SERCOS 接口的伺服驱动器。MDrive 是单轴伺服控制器,SDC(Sync Drive Controller)是实现多轴同步信号分配的同步控制器。SDC 与整机可编程逻辑控制器 PLC(Programmable Logic Controller)通信

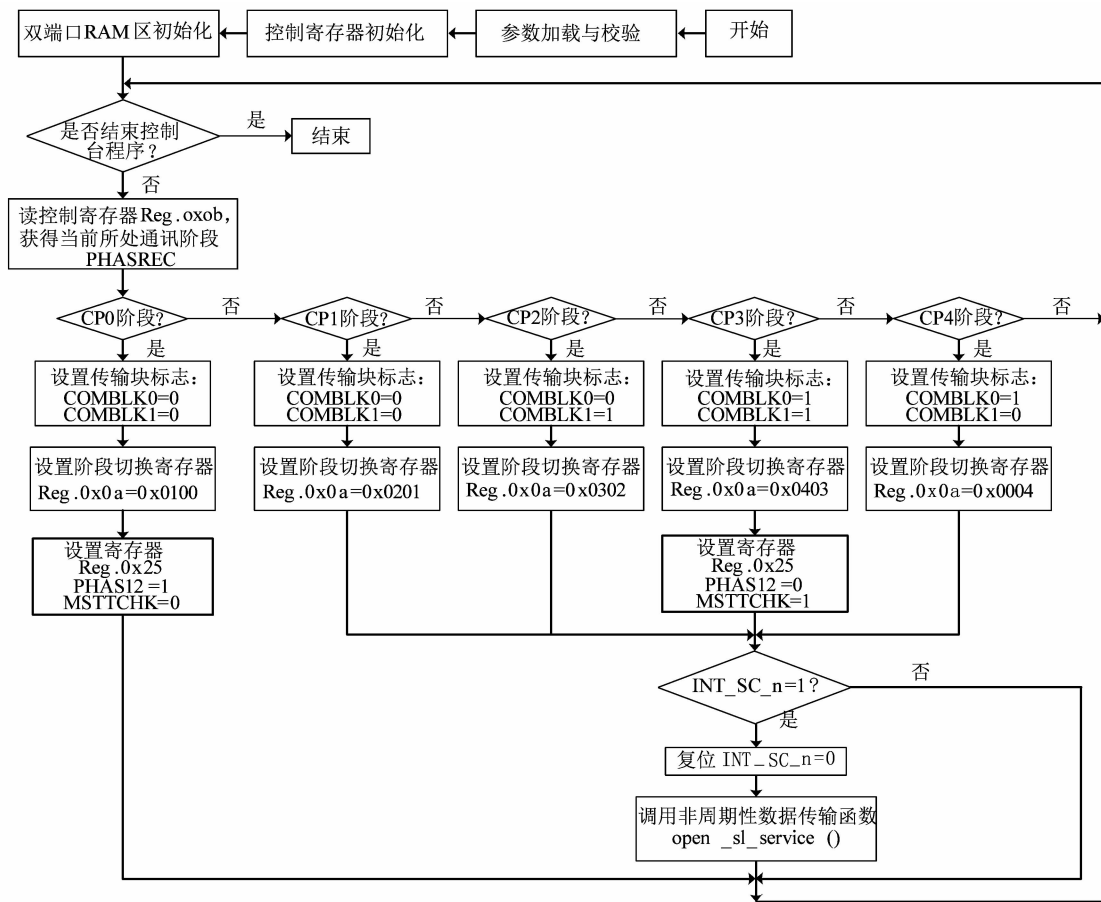


图 5 SERCOS 从站通讯初始化流程

Figure 5 Communication initialization flowchart of the Slave station

获得机器的运行指令, 分配给各个 MDrive, 最终利用 SERCOS 总线实现所有伺服轴与虚拟主轴的同步。

PLC 与 SDC 之间的报文结构如图 6 所示, 具有 8 个报文帧, 每个报文帧的长度是 16 个字。共计 39 个驱动信息子包, 每个驱动信息子包的宽度是 3 个字, 外加 1 个 4 字长的虚拟主轴信息子包。

报文帧	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
T1	CT1	CT2	CT3	CT4	VL0											
T2	CT5	CT6	CT7	CT8	CT33			Z1								
T3	CT9	CT10	CT11	CT12	CT34			Z2								
T4	CT13	CT14	CT15	CT16	CT35			Z3								
T5	CT17	CT18	CT19	CT20	CT36			-								
T6	CT21	CT22	CT23	CT24	CT37			-								
T7	CT25	CT26	CT27	CT28	CT38			-								
T8	CT29	CT30	CT31	CT32	CT39			-								

图 6 PLC 与 SDC 报文结构

Figure 6 Structure of the telegram between PLC and SDC

在 SDC 与 MDrive 之间的报文结构如图 7 所示, 具有 48 个报文帧, 每个报文帧的长度是 4 个字的信息子包。

报文帧	1	2	3	4
T1	CT1			
T2	CT2			
T3	CT3			
T4	CT4			
T5	CT5			
...	...			
T46	CT46			
T47	CT47			
T48	CT48			

图 7 SDC 与 MDrive 报文结构

Figure 7 Structure of the telegram between SDC and MDrive

每根轴的运行命令来自该轴信息子包或是虚拟主轴信息子包。信息子包都由控制字/状态字、信息字及设定值/实际值 3 个元素组成。这些元素可以分为 2 种数据类型: 控制字/状态字和设定值/实际值属于周期性数据类型; 信息字属于连续参数通道类型。在 PLC 与 SDC 之间的信息子包和 SDC 与 MDrive 之间的信息子包由于宽度不同, 它们的子包结构也有所不同, 具体区别见图 8。

在整个报业印刷机中, 可以设有多个虚拟主轴, 伺



图 8 信息子包结构

Figure 8 Structure of the container

伺服驱动器可以不挂靠在任意虚拟主轴上独立运行,也可以挂靠在系统内的任意虚拟主轴上。如图 9 所示,此时信息子包中的数据交换如下:1 号电机独立运行,SDC0 发送给 MDrive 的驱动信息子包 CT1 直接继承 PLC 发送给 SDC0 的指定 1 号电机的驱动信息子包 CT1;2 号、3 号电机挂靠在 SDC0 的虚拟主轴上同步运行,SDC0 发送给 MDrive 的驱动信息子包 CT2 需要继承 PLC 发送给 SDC0 的虚拟主轴信息子包 VL0。

Input T

报文帧	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
T1	CT1	CT2	CT3	CT4	CT5	CT6	CT7	CT8	CT9	CT10	CT11	CT12	CT13	CT14	CT15	CT16	CT17
T2	CT17	CT18	CT19	CT20	CT21	CT22	CT23	CT24	CT25	CT26	CT27	CT28	CT29	CT30	CT31	CT32	CT33
T3	CT33	CT34	CT35	CT36	CT37	CT38	CT39	CT40	CT41	CT42	CT43	CT44	CT45	CT46	CT47	CT48	CT49
T4	Z1	Z2	Z3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

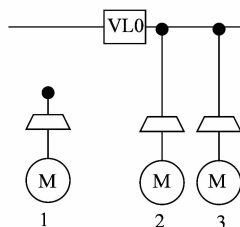


图 9 信息子包数据分配策略

Figure 9 Distribution of the container

## 6 DSP 控制板同步工作过程

### 6.1 SERCOS II 同步机制

每个周期开始时,SERCOS 主站会广播发送 MST 报文,各从站同时接收到 MST,并以此为基准,启动内部硬件定时器,开始同步过程。如图 10 所示,首先各从站会在预定时刻 T1..n 发送伺服电报 ATn 给主站,当主站接收到所有从站的伺服电报以后,SERCOS 接口芯片发出中断信号 CON\_CLK,并置标志 CON\_CLK 位为“1”。接着主站控制器响应中断,读取伺服电报中的实时反馈值并计算得出新的位置、速度指令值。主站控制器等待 SERCOS 接口芯片清除控制寄存器中

的 CON\_CLK 位后,将新的指令值写入接口芯片的 RAM 区中并通过 MDT 报文将新的指令发往从站。

各从站接口芯片在指定时刻 T2 处接收到主站发来的 MDT 报文,根据自己的伺服地址到 MDT 的指定位置读取各自的指令值。当硬件定时器累加到等于指令有效时间 T3 时,各从站接口芯片触发定时中断 TINT2,向从站控制器发送中断请求;从站控制器同步响应中断,执行从 MDT 中获取的指令。同样,当定时器的值等于反馈值采样时刻 T4 时,也会触发 1 个定时中断 TINT3,从而保证各从站同时采样反馈数据。

文中的 T1..n, T2, T3 和 T4 的数值都是在初始化 CP2 阶段由主站通过 IDN 参数发送给从站并保存在从站的伺服驱动器中,TINT2 和 TINT3 为 SERCOS 接口芯片的定时中断,属于 SERCOS 内部中断源,可以通过 SERCOS 接口芯片的中断输出引脚 INTO 或 INT1 输出到从站控制器上。主站在每个周期都会发送 MST 同步报文,这样可以保证所有从站命令执行和状态反馈的同步性。

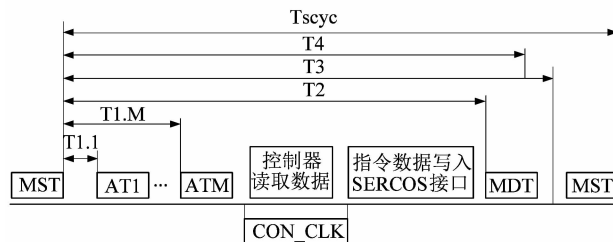


图 10 SERCOS II 同步机制示意图

Figure 10 Synchronous mechanism of SERCOS II

### 6.2 DSP 控制板实现同步的过程

本文设计的 DSP 控制板,作为第三方的伺服,需要并入 SERCOS 环路并与指定虚拟主轴同步运行。DSP 控制板与虚拟主轴的具体同步过程分为 2 个阶段。首先,各个轴需要调整到与虚拟主轴同一个起始位置;之后,各个轴按相同的指令运行。

PLC 发出启动命令,系统查询静止虚拟主轴的当前实际位置并发送给 SDC(报机中,一般将折报头的位置作为虚拟主轴的位置);接着 SDC 将虚拟主轴的位置信息发送给挂靠在下的各个伺服驱动器。如将 DSP 控制板挂靠在 SDC0 下,它就会接收到虚拟主轴 0 的位置信息。然后,各个伺服驱动器根据自己的实际位置,来计算和主轴的位置差,从而确定需要补偿的位置初始值,调整各伺服驱动器与虚拟主轴的位置保持一致。

(下转第 56 页)