

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.10.018

自整角机系统精粗通道的软件合成算法

庞 博¹, 黄兴城^{2*}

(1. 海军驻杭州地区军代室, 浙江 杭州 310012; 2. 浙江工业大学 之江学院, 浙江 杭州 310024)

摘要: 针对某位置随动控制系统中位置角检测的问题,对位置检测通道中的主要元器件和精粗通道位置角度合成软件进行了研究和分析。在实际随动控制系统的位置反馈检测中,使用了SDC17xx自整角机转换器和型号为MSP320LF2407的DSP芯片,建立了DSP与自整角机转换器之间的电路接口关系;采用了精粗通道位置角合成方式,在对自整角机精粗通道传统理论公式进行分析总结基础上,提出了新的精粗通道位置角合成经验公式代替理论公式,消除了精粗通道位置角合成理论公式出现的误差。通过DSP对数据实时采集,并对采集的数字信号采用经验公式进行精粗合成,最终实现了位置信号的精确检测。研究表明,用简易的经验公式,采用软件计算代替复杂的硬件设计,节省了成本,提高了产品的可靠性。

关键词: 自整角机; 精粗合成; 位置角; 随动控制系统

中图分类号: TH73; TP27 文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2014)10-1316-05

Software synthesis algorithm of coarse and fine channels in the system of selsyn

PANG Bo¹, HUANG Xing-cheng²

(1. Military Affairs Office of Navy in Hangzhou Area, Hangzhou 310012, China;

2. Zhijiang College, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310024, China)

Abstract: Aiming at the problem of detection of angular position in one position servo control system, the key components in the channel of detecting angular position and the software of synthesis angular position of the coarse and fine channels were analyzed. The selsyn converter SDC 17xx and DSP type of TMS320LF2407 were used in the position feedback detection circuit of the practical servo control system to establish circuit interface relationship between DSP, the mode of synthesis of coarse and fine angles was adopted, based on analyzing and summarizing, a new practical formula was presented instead of theoretical one to eliminate the theoretical synthesis error. Through the collection of the coarse and fine positions timely and the coarse and fine position synthesis of the digital signals with practical formula by DSP, the exact detection of the angular position was achieved. The results indicate that reducing cost and improving reliability can be realized with simple software compute instead of complex hardware design.

Key words: selsyn; coarse and fine position synthesis; angular position; servo control system

0 引 言

位置角、位置角速度、角加速度的测量是各种导航系统、大型雷达设施以及一些位置随动控制系统^[1-2]感知自身状态的一种途径。在如今的位置控制系统中,位置角测量一般采用编码器、旋转变压器、自整角

机等位置传感器^[3-7],所使用的传感器适用的环境条件各有优、缺点,在一些特定的环境中必须使用自整角机为位置传感器,而自整角机作为角度传感器,其输出是三相与位置相关的模拟电压。通过专用的自整角机—数字转换器已经实现了位置角度的数字化^[8-9]。但在大多数高精度数字控制系统里,单个自整角机的模拟电压输出精度,以及单个自整角机—数字转换器均满

收稿日期: 2014-04-21

作者简介: 庞 博(1977-),男,陕西渭南人,工程师,主要从事位置随动控制系统方面的研究. E-mail: pangbo8889088@sohu.com

通信联系人: 黄兴城,男,高级工程师. E-mail: hz_hxclzl@163.com

足不了位置转换所需要的采样精度,因此,一般高精度控制系统中都是采用精粗自整角机配合的方式出现,精粗自整角机之间按照一定的传动比进行折算合成。

在实际精粗数据采集的过程中,精粗数据数字化之后必然存在一定的数据误差,且精通道与粗通道的正负误差可能是错位的,因此,本研究对精粗通道所采集的数据展开分析,并得出切实可行的精粗通道位置角度的合成方法,对高精度位置随动控制系统实现精确控制具有重要的现实意义。

1 自整角机转换器工作原理

自整角机转换器工作原理框图如图1所示。

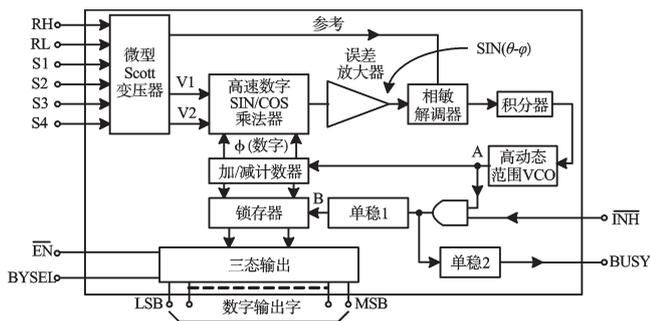


图1 自整角机转换器工作原理框图

转换器接收自整角机信号(或旋转变压器信号),经内部Scott变压器进行隔离、变压处理后,把输入信号转换成正、余弦信号:

$$V_1 = KE_0 \sin \omega t \sin \theta \quad (1)$$

$$V_2 = KE_0 \sin \omega t \cos \theta \quad (2)$$

式中: θ —信号输入角度。

这两个信号与内部可逆计数器的数字角 φ 在高速正余弦乘法器中相乘,即 V_1 乘以 $\cos \varphi$ 、 V_2 乘以 $\sin \varphi$ 得到:

$$V_1 \cos \varphi = KE_0 \sin \omega t \sin \theta \cos \varphi \quad (3)$$

$$V_2 \sin \varphi = KE_0 \sin \omega t \cos \theta \sin \varphi \quad (4)$$

式(3,4)信号经误差放大器相减得到:

$$KE_0 \sin \omega t (\sin \theta \cos \varphi - \cos \theta \sin \varphi) = KE_0 \sin \omega t \sin(\theta - \varphi) \quad (5)$$

经相敏解调器、积分器、压控振荡器(VCO)和可逆计数器等组成的一个闭环回路使 $\sin(\theta - \varphi)$ 趋近于零。当这一过程完成时,可逆计数器的字状态(φ)在转换器的额定精度范围内等于信号输入角度 θ 。

2 精粗通道数据分析

鉴于数字随动控制器对微控制芯片的要求以及电机控制类微控制芯片性能上的差异,数字随动控制

器的中央控制模块选择以TMS320LF2407芯片为核心加相应的控制、显示及保护电路构成,精粗自整角机转换线路框图如图2所示。DSP通过I/O口对精粗SDC模块进行片选、使能,分别读取精粗通道的位置数据,在样机系统中粗精通道的传动比是1:15,也就是说,实际位置角转一圈,粗通道转一圈,精通道转15圈。

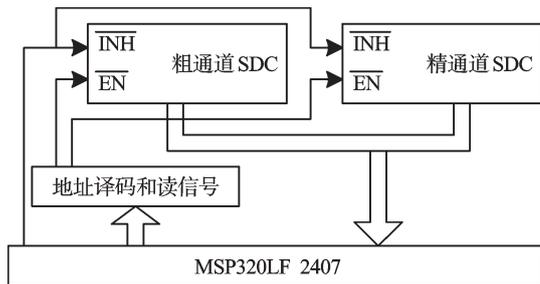


图2 精粗自整角机转换线路框图

2.1 粗通道数据分析

自整角机的激磁绕组接SDC模块的Rhi和Rlo,自整角机的激磁电源由110V/400Hz的中频电源模块提供。至此,DSP可以通过SDC模块读到自整角机的绝对位置值。DSP读到实际位置值与理论位置值的对比如表1所示。

表1 自整角机粗通道数据校核

实际位置 / (°)	理论粗通道位置 数据十进制	DSP读到粗通道 数据十进制	误差 十进制
0	0	0	0
30	1 365	1 376	11
60	2 731	2 736	5
90	4 096	4 112	16
120	5 461	5 472	11
150	6 826	6 832	6
180	8 192	8 176	-16
210	9 557	9 568	11
240	10 923	10 928	5
270	12 288	12 304	16
300	13 653	13 664	11
330	15 018	15 024	6
360	16 384	16 368	-16

在SDC转换模块中,粗通道选择了转换为10位精度的SDC1702芯片,即4~13位为有效数据位,采样结果中的后4位(0~3位)为无效位。

从表1不难看出,实际位置旋转360°,粗通道自整角机的输出电压变化一个周期,DSP采样到的数据变化一个周期,即实际位置角的0°~360°。对应采样数据的0 000 H~4 000 H,误差最大值为21,最小-16。

可见采样数据的最后2位不可信(采样数据的后4

位本为无效位)。

实际位置角与粗通道 DSP 采样值的关系曲线如图3所示。其中,横轴为实际位置角,纵轴为粗通道 DSP 采样位置值。

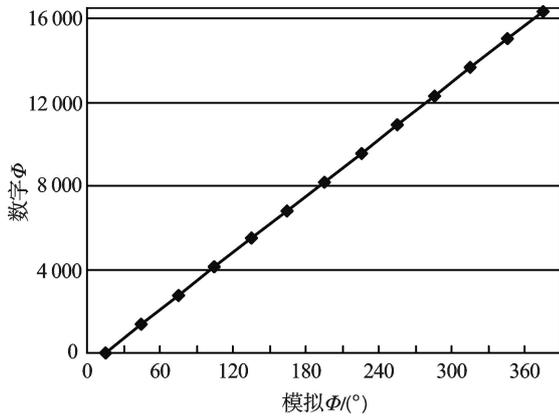


图3 实际位置角与粗通道 DSP 采样值的关系曲线

2.2 精通道数据分析

由于粗精通道的传动比是 1:15,实际位置角旋转 24°,精通道自整角机的输出电压变化一个周期,DSP 采样到的数据变化一个周期。对应采样数据的 0 000 H~4 000 H。DSP 读到精实际位置值与理论位置值的对比如表2所示。

表2 自整角机粗通道数据校核

实际位置 / (°)	理论精通道位置 数据十进制	DSP 读到精通道 数据十进制	绝对误差 (十进制)
0	0	1	1
2	1 365	1 362	-3
4	2 731	2 729	-2
6	4 096	4 099	3
8	5 461	5 464	3
10	6 827	6 829	2
12	8 192	8 195	3
14	9 557	9 559	2
16	10 923	10 923	2
18	12 288	12 288	0
20	13 653	13 650	-3
22	15 019	15 019	0
24	16 384	16 383	-1

在 SDC 转换模块中,精通道选择了转换为 14 位精度的 SDC1704 芯片,即 0~13 位为有效数据位。

从表2还可以看出,精通道理论位置数据与 DSP 采样到的位置数据存在误差,误差最大值为 4,最小为-3。由此可见,精通道采样数据的最后 3 位不可信(由于设计的硬件电路采用的是试验板卡,实际可以制作 PCB 后可以达到 2 位不可信)。

实际位置角与精通道 DSP 采样值的关系曲线如

图4所示。其中,横轴为实际位置角,纵轴为精通道 DSP 采样位置值。

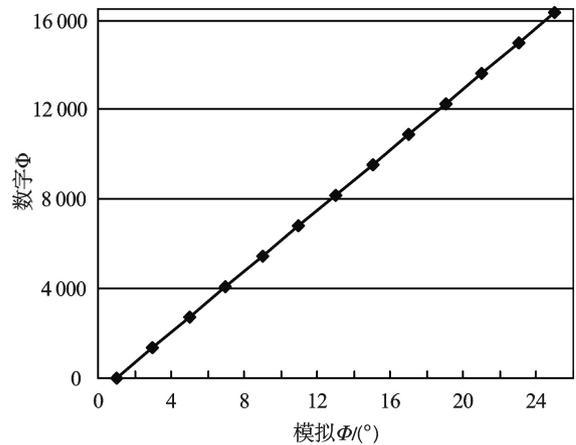


图4 实际位置角与精通道 DSP 采样值的关系曲线

2.3 精粗通道合成算法解析

从精粗通道的实际位置角与 DSP 采样值之间成严格的线性关系,两者一一对应。但由于转换精度及实际电路设计所限,均会存在一定的误差。理论算法如下式所示:

$$\theta_{合} = (\text{INT}(\theta_{粗}/24^\circ)) \times 24^\circ + \theta_{精} \quad (6)$$

式中: $\theta_{合}$, $\theta_{粗}$, $\theta_{精}$ 一合成后的角度、粗自整角机角度、精自整角机角度;INT—向下取整。

由于在自整角机系统中,DSP 所采集的粗通道和精通道均为数字量,最低位所表示的角度大小也不一致,粗通道最低位表示 $360^\circ/2^{10}$,精通道最低位表示 $24^\circ/2^{14}$,式(6)改成数字式之后如下式所示:

$$\theta_{合sc} = (\text{INT}(\theta_{粗sc} \times 15/2^{10})) \times 2^{14} + \theta_{精sc} \quad (7)$$

从上式可以看出,只要大于一个精通道周期角度合成正确,整个粗通道周期合成均能满足要求,因此,不失去一般性,笔者采用式(7)合成 $0^\circ \sim 30^\circ$ 精粗通道值,用于核算式(7)在实际存在误差时是否准确。自整角机合成数据校核如表3所示。由表3可看出,在 24° 时,合成结果且为 0° ,这显然是不正确的,原因是由于位置角度数字化时, $(360/2^{10}) \times 24$ 的值不是整数,导致向下取整出错。从表3可以看出,不管粗通道的值采样向下取整还是向上取整或四舍五入,在实际应用中均会出现合成出错的情况。因此必须将公式(7)改成实际可用的经验公式。

从表3可以看出,不管采用何种方法,合成出问题的总是在粗通道实际位置正好是精通道实际位置值的整数倍的区域,对于采用向下取整的方式,只要避开这一区域,则合成结果均正确。根据精粗通道的采样精度,通过精通道的位置角来辨别粗通道大致的位置,通过对粗通道数据进行。

表3 自整角机合成数据校核

自整角机数据 / (°)	粗通道理论位置	精通道理论位置	合成值 (下取整)	合置值 (上取整)	合置值 (四舍五入)	经验公式合成
0	0	0	0	0	0	0
2	5	1 365	1 365	17 749	1 365	1 365
4	11	2 731	2 731	19 115	2 731	2 731
6	17	4 096	4 096	20 480	4 096	4 096
8	22	5 461	5 461	21 845	5 461	5 461
10	28	6 827	6 827	23 211	6 827	6 827
12	34	8 192	8 192	24 576	8 192	8 192
14	39	9 557	9 557	25 941	9 557	9 557
16	45	10 923	10 923	27 307	10 923	10 923
18	51	12 288	12 288	28 672	12 288	12 288
20	56	13 653	13 653	30 037	13 653	13 653
22	62	15 019	15 019	31 403	15 019	15 019
24	68	0	0	16 384	16 384	16 384
26	73	1 365	17 749	34 133	17 749	17 749
28	79	2 731	19 115	35 499	19 115	19 115
30	85	4 096	20 480	36 864	20 480	20 480

在精通道实际位置角小于12°时,采用粗通道读数加6°的理论数字角度,然后向下取整运算,如下式所示:

$$\theta_{合sz} = \text{INT}((\theta_{粗sz} + 6 \times 2^{10}/360) \times 15/2^{10}) \times 2^{14} + \theta_{精sz} = \text{INT}((\theta_{粗sz} \times 15 + 256) / 2^{10}) \times 2^{14} + \theta_{精sz} \quad (8)$$

在精通道实际位置角大于等于12°时,采用粗通道读数减6°的理论数字角度,然后向下取整运算,如下式所示:

$$\theta_{合sz} = \text{INT}((\theta_{粗sz} - 6 \times 2^{10}/360) \times 15/2^{10}) \times 2^{14} + \theta_{精sz} = \text{INT}((\theta_{粗sz} \times 15 - 256) / 2^{10}) \times 2^{14} + \theta_{精sz} \quad (9)$$

采用式(8,9)之后,确保了由于粗通道的误差导致精粗通道合成公式中取整出错的现象。

3 自整角机位置信号合成算法的软件流程

自整角机位置信号合成算法的软件流程共分三部分:读取粗通道数据、读取精通道数据以及采用公式(8,9)合成位置角度数据。其工作流程为:主程序完成对DSP的初始化,检测自整角机转换器是否正常工作,分别读取精粗自整角机转换器的转换数据,辨

别精通道数据是否小于12°,分别按照公式(8,9)进行合成计算位置角度,保存合成值供其他软件处理程序使用。具体软件流程图如图5所示。

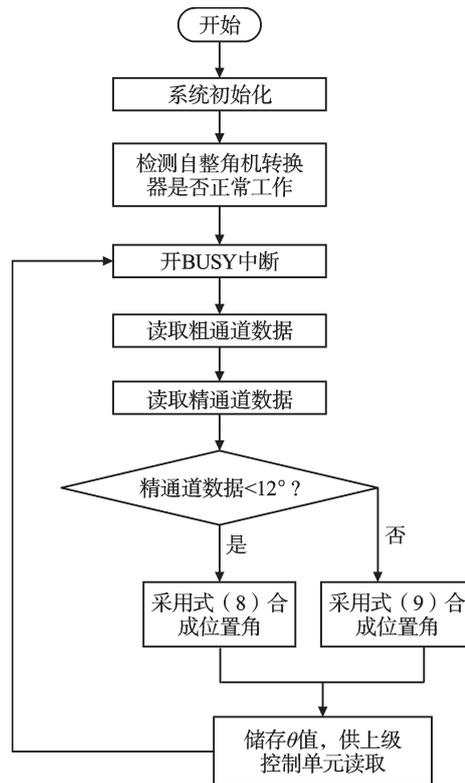


图5 主程序流程图

4 结束语

本研究通过对精粗自整角机数字化后所采集到的位置数据分析,识别出理论精粗合成公式在实际使用中由于所采集的数据误差导致精粗合成出错,得出采用精自整角机数据对粗自整角机数据进行校正的经验公式;实际设计的电路中采用MSP320LF2407为主控制芯片,通过相应的转换电路,采集精粗位置信息,采用经验公式,最终用软件的方法,实现了精粗自整角机数字信号的合成,大大提高了位置信号的采集精度。

研究表明,本研究为自整角机位置传感器的较高精度的位置采集设计提供了一条切实可行且成本低廉、可靠性较高的设计方法。同时本研究在工程应用上具有一定的指导意义,并在工程中得到了应用。

(下转第1332页)

本文引用格式:

庞 博,黄兴城. 自整角机系统精粗通道的软件合成算法[J]. 机电工程,2014,31(10):1316-1319,1332.

PANG Bo, HUANG Xing-cheng. Software synthesis algorithm of coarse and fine channels in the system of selsyn[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014, 31(10): 1316-1319, 1332. <http://www.meem.com.cn>