

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.01.021

## 基于 MINAS 的跟踪雷达全数字交流伺服系统

李坚, 陈勇, 黄琦, 刘霞, 蔡东升

(电子科技大学 自动化工程学院, 四川 成都 610054)

**摘要:** 为提高跟踪雷达的响应速度、精确性、调速范围, 采用松下 MINAS 伺服驱动器及永磁交流同步伺服电机作为驱动和执行元件, 以 TI 公司的 TMS320F2812 DSP 为伺服控制板的控制器, 设计实现了跟踪雷达全数字交流伺服系统。同时, 采用矢量控制算法, 对跟踪雷达进行转矩、速度、位置控制。结果表明, 该系统能达到快速响应、高精度跟踪和宽调速范围的目标, 有效地保障了电机稳定运行及负载的安全。

**关键词:** 交流伺服; 跟踪雷达; 矢量控制

**中图分类号:** TN956; TP274<sup>+</sup>.5 **文献标识码:** B

## Tracking Radar Ali-Digital AC Servo System Based on MINAS

LI Jian, CHEN Yong, HUANG Qi, LIU Xia, CAI Dong-sheng

(School of Automation Engineering, University of Electronic Science &amp; Technology of China, Chengdu 610054, China)

**Abstract:** In order to improving response speed, accuracy, speed ranges of tracking radar, Panasonic MINAS Servo driver and permanent magnet AC synchronous servo electric motor are used as drive and implementation components, taking TI Co.'s TMS320F2812 DSP is applied as controller for the servo control board. The design has come true tracking radar all-digital AC servo system. Using vector control algorithm put up torque, speed and position control to tracking radar. Result shows that the system achieves the aim of rapid response, high precision tracking, and wide speed range, and it ensure the stability and security of electric motor and radar load effectively at the same time.

**Keywords:** AC servo; Tracking radar; Vector steering

### 0 引言

雷达伺服系统是跟踪雷达的重要组成部分, 它主要用来控制雷达的转动, 对于测量目标以及精确地跟踪目标起着重要的作用。伺服系统的精度直接影响跟踪雷达的跟踪精度, 所以, 设计高精度跟踪雷达伺服系统尤为重要。

在控制精度上, 国内相关领域的资料显示, 目前跟踪雷达伺服控制系统多为船载、车载及地面天线跟踪指向控制, 控制精度和控制的智能化普遍不高。而且国内一般开发的雷达跟踪系统的精度在  $0.1^\circ$ 。美国军方使用的 GPS 系统中的雷达天线其精度可以达到  $0.011^\circ$  之内, 而且使用的雷达天线的精度大都在分级之内<sup>[1]</sup>。

在控制算法上, 矢量控制技术是一种比较成熟的控制技术, 从目前的研究水平和硬件条件来看, 全数字交流伺服系统的控制方案选取矢量控制方案较优。而且国外现在永磁交流同步电机控制基本上都是采用矢量控制<sup>[2]</sup>。

在以往的雷达伺服系统中, 文献[3]的内环只考

虑了速度反馈, 却没有考虑电流环, 而速度环一般提供频带较窄的控制对象, 所以精度不高。文献[4]在文献[3]的基础上对各环路都进行了设计, 而且用非线性控制设计工具箱对系统进行了优化, 但其跟踪误差仍较大, 约为  $0.18^\circ$ <sup>[5]</sup>。在松下 MINAS 控制器的电流环、速度环、位置环的基础上, 采用 TI 公司的 TMS320F2812 DSP, 加入速度、位置、转矩控制。这样便可保证达到很好的跟踪性能。

课题的目的就是使雷达伺服系统有快速响应特性、高跟踪精度和宽调速范围的性能指标。控制雷达精密跟踪目标, 实时精确测量雷达机械轴的位置, 同时又能有效地保护雷达负载的安全, 保障电机安全稳定的运行。

此主要介绍松下 MINAS 控制器、硬件系统设计与实现、软件设计与实现, 以及结论。

### 1 松下 MINAS 系列全数字交流伺服系统

MINAS 系列全数字交流伺服系统是日本松下电器公司生产的全数字化的交流伺服系统。内部控制采用 32 位 DSP, 输出级采用 IGBT、PWM 控制

收稿日期: 2009-08-21; 修回日期: 2009-11-13

基金项目: 四川省青年基金人才培养计划 (09ZQ026-009); 四川省应用基础项目 (2009JY0008) 资助

作者简介: 李坚 (1984-), 男, 湖南人, 硕士研究生, 从事伺服系统控制技术、检测技术研究。

方式, 因此系统响应快、精度高, 该系列是世界上体积最小、重量最轻的全数字交流伺服系统。它采用松下公司独特的算法, 使速度频率响应提高 2 倍, 达到 500 Hz; 定位超调整定时间大大缩短。它具有以下特点<sup>[6]</sup>:

1) 控制和使用简便: 松下伺服系统是一种全数字化的操作系统, 各种实时参数和控制方式均可通过数字面板调整, 非常适合于现场整定。面板可以显示运行速度、位置脉冲、实际转矩、接线状态、参数设定和错误原因等大量信息。

2) 控制方式多样化: 有多种控制方式可供选择: (1) 速度控制方式; (2) 转矩控制方式; (3) 位置控制方式, 输入信号为脉冲, 有正/反转脉冲、A/B 相脉冲、脉冲/符号 3 种方式。以上 3 种方式均可以进行复合控制。这里, 速度控制方式和转矩控制方式的输入信号均为模拟电压。

3) 对实时控制作了特别的考虑: 速度环、位置环的调节器参数可以随整个系统特性而随时设定, 还可以采用前馈补偿达到极快速的响应。如果用户对参数设定没有经验, 可以采用“自动增益调整”功能, 自动进行参数设定。

4) 接线方便: 对系统的外部接线进行了优化, 使得接线十分方便、可靠。它还配有自动检查接线状态的功能, 可用此功能判断接线是否正确。

5) 保护措施齐全: 系统配有各种自诊断保护措施, 硬件软件双重保护, 并可 3 倍过载。一旦发生错误, 立即停机, 报警并告以故障原因, 在解除故障后方可重新工作, 因此可靠性极高。

## 2 硬件系统设计与实现

伺服系统采用 1 片 TMS320F2812 DSP 为控制核心。系统中, 速度、位置、转矩控制都由软件来实现, 大大提高了控制的灵活性, 同时还具有操作方便、控制精度高、易于实现复杂的控制功能等特点。系统的基本框图如图 1 所示。

系统由控制板、伺服驱动器和雷达座等部份组成。控制板通过接收监控系统送来的参数, 结合雷达座和伺服驱动器反馈回来的信号, 给伺服驱动器控制信号。伺服系统的交流伺服电机采用日本松下公司的 MINAS-A 系列交流伺服系统, 电机型号为 MDMA102A1A, 驱动器型号为 MDDA103A1A, 电机的额定功率是 1 kW, 额定转速 2 000 r/min, 最高转速 3 000 r/min。电机属于这一系列中的“中惯量”电机, 这是考虑到要和负载惯量相匹配的原则。配

置 2 套松下 MINAS 系列伺服驱动器和电机, 用于的雷达的俯仰和方位控制。雷达座内包括 2 台松下伺服电机、减速器、光电编码器、陀螺传感器等执行元件和位置检测元件。下面将介绍各部分的功能。

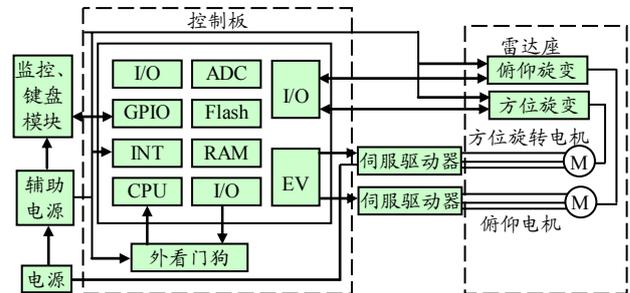


图 1 伺服系统框图

1) 控制板: 控制板是伺服系统的主控板, 雷达的运行及精确跟踪的实现均由控制板内的主控芯片 TMS320F2812 来控制。控制板接收监控系统送来的参数, 如跟踪目标的坐标、速度, 跟踪雷达伺服系统载体的坐标、运行速度等参数, 结合雷达座和伺服驱动器反馈回来的跟踪雷达角度码、速度、位置等信号, 经过处理后得出跟踪雷达位置误差, 送出不同的频率信号和脉冲数到伺服驱动器, 控制雷达转动。同时, 它还负责检测整个系统的故障, 包括接收伺服驱动器反馈回来的故障信息等, 把检测结果特伺服系统的工作状态回送到监控系统。

驱动控制板主要由 TMS320F2812 CPU、存储器、脉冲输出接口、控制接口、串行通信接口和本控键盘组成。

2) 伺服驱动器: 伺服驱动器包括方位驱动器和俯仰驱动器。它接收控制板发出的脉冲控制信号和转动方向控制信号, 再结合驱动器本身的控制策略, 驱动交流伺服电机做相应的转动, 达到跟踪的目的。如果驱动器有故障出现, 它将把自身的故障信息反馈回控制板。

3) 雷达座: 雷达座上 2 台交流伺服电机作为执行元件, 按控制板和驱动器的信号, 使雷达跟踪目标。为了提高位置控制的可靠性, 在每个减速器的输出轴上都安装有高精度光电编码器作为位置和速度测量传感器, 使系统有高精度的位置闭环控制。同时, 电机上的光电编码器检测电机的速度和转子位置, 反馈给驱动器和控制板。通过陀螺传感器, 能提供准确的方位、水平、位置、速度和加速度等信号, 能有效地隔离载体摇摆。

## 3 系统的软件实现

软件设计是整个跟踪雷达全数字交流伺服系统

设计的关键部分之一。系统软件在编程上采用以 C 语言为主体的编程方式，利用了 C 语言编写算法的方便性，保证整个软件系统的紧凑性。同时，在软件编写过程中，充分考虑了软件以后的可测试性、易修改性和可移植性；按照模块化设计思想，构建整个系统的软件，并在 TI 公司的 C2000 集成开发环境下进行程序调试。它主要包括以下功能：

- 1) 系统故障自检；
- 2) 接收监控系统送来的控制参数，完成对跟踪雷达的控制过程；
- 3) 送出雷达实时位置、转速(包括方位和俯仰)信号等功能。

启动过程主要是初始化设备和设备自检其流程

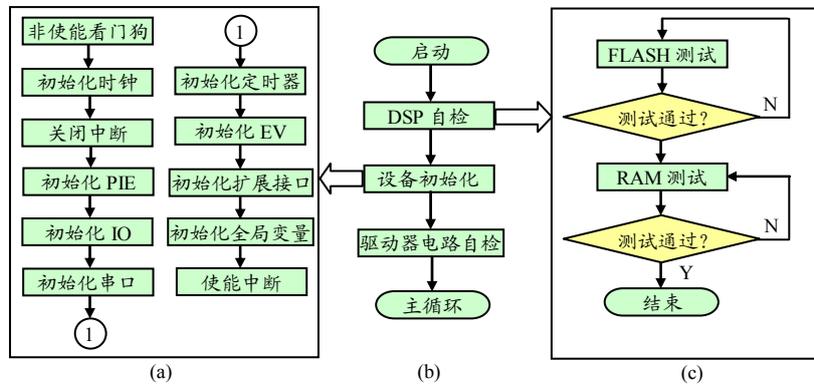


图 2 启动程序

主循环流程图如图 3。控制器对电流电压采样后，开启中断允许。具体状态执行都在中断中执行。监控系统传输的目标具体位置作为中断向量。

完整的磁场定向实时矢量控制算法在中断程序中实现。当程序接收到监控系统发出的目标位置，产生中断，在中断子程序中对电机输入的三相电流进行采样，接收天线座的位置、速度等参数与从监控系统得到的目标参数相比较，并刷新控制参数。从而得到交流永磁同步电机矢量变换定向角度的修正值。通过矢量控制和 PID 控制算法，输出相应的 PWM 波形给驱动电路，实现雷达高精度的跟踪目标。中断主程序如图 4。

中断完成后，系统将把检测到的雷达的位置、速度等信息传送到监控系统中。在雷达测试实验平台验证运用松下 MINAS 伺服驱动器及永磁交流同步伺服电机作为驱动和执行元件，并以 TI 公司的 TMS320F2812 DSP 为伺服控制板的控制器，采用矢量控制算法，在最大跟踪角速度、加速度、最大调转角速度、角加速度上，几乎提高了  $+3^{\circ}/s \sim +5^{\circ}/s$ 。在位置阶跃响应上，上升时间减少了 0.1 s，超调量从 20% 减少到 10%。这说明了对于跟踪雷达进行位

置、速度、转矩控制，该数字伺服系统性能达到快速响应、高精密度跟踪和宽调速范围的目标。

置、速度、转矩控制，该数字伺服系统性能达到快速响应、高精密度跟踪和宽调速范围的目标。

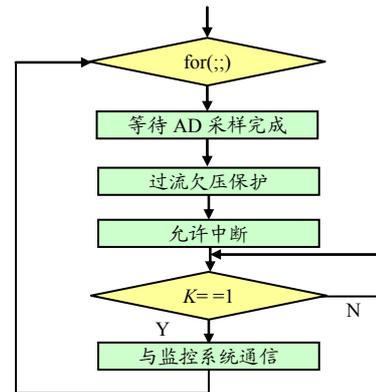


图 3 主循环

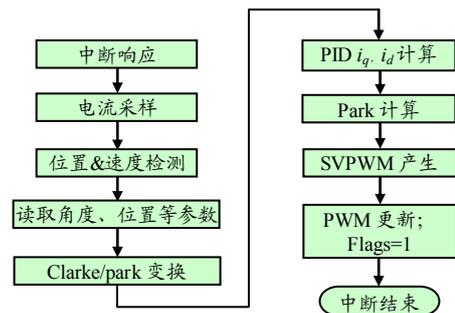


图 4 中断主程序

### 4 结语

此对跟踪雷达全数字交流伺服系统进行设计, 并详细介绍其实现。伺服系统基于松下 MINAS 伺服控制器和永磁交流同步伺服电机, 结合 TMS320F2812 DSP, 通过矢量控制算法, 实现了跟踪雷达快速响应、高精度跟踪和宽调速范围的性能指标。同时又有效地保护了雷达负载的安全, 保障电机安全稳定的运行。

### 参考文献:

[1] 骆群. 基于 Labview 的卫星通信天线伺服控制系统(硕士学位论文)[D]. 重庆: 重庆大学, 2007.

[2] Velimir Nedić, Thomas A. Lipo. Low-cost current-fed PMSM drive system with sinusoidal input currents[J].

IEEE Transaction on industry applications, 2006, 42(3): 753-762.

[3] Jeff Moscrop, Chris Cook, Peter Moll. Control of Servo Systems in the Presence of Motor-Load Inertia Mismatch[C]. The 27<sup>th</sup> Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2001: 351-356.

[4] Ishikawa, K. Ohmae, T. Reliable Control Using Equivalent Transfer Function for Position Servo System[C]. Power Electronics and Motion Control Conference, 2006. EPE-PEMC 2006. 12th International.

[5] Sadegh Vaez-Zadeh. Variable flux control of permanent magnet synchronous motor drives for constant torque operation[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2001, 16(4): 527-534.

[6] 刘伟星. 武器模拟平台控制系统的设计(硕士学位论文)[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006.

\*\*\*\*\*

(上接第 65 页)

### 4 结论

该硬件平台的构建, 为理论研究成果到工程应用的转化提供了试验平台, 解决了算法实时性、有效性及局限性的验证问题, 可比较各信号处理算法的有效性和局限性。同时, 通过 DSP 的软件编程, 完成了 LMS 自适应滤波算法的工程实现。测试表明, 得到了信噪比分别为 5 dB 和 0 dB 下的滤波结果, 随着信噪比的降低, 自适应滤波器的性能也随之下降, 当信噪比为 0 dB 时, LMS 自适应滤波算法不能完成滤波的功能, 可为工程实践提供参考。

### 参考文献:

[1] 覃景繁, 欧阳景正. 一种新的变步长 LMS 自适应滤波算法[J]. 数据采集与处理, 1997, 12(3): 171-174.

[2] 胡广书. 数字信号处理—理论、算法与实现[M]. 北京:

清华大学出版社, 2003.

[3] 张贤达. 现代信号处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 1995.

[4] T. Aboulnasr, K. Mayyas. Selective coefficient update of gradient-based adaptive algorithms[J]. Proc. ICASSP'97, 1997(3): 1929-1932.

[5] 龚耀寰. 自适应滤波器[M]. 北京: 北京电子工业出版社, 1989.

[6] 邓记才, 裴炳南. 一种求解 LMS 算法收敛步长阈值的新方法[J]. 信号处理, 1996, 12(2): 52-56.

[7] Widrow B. et al. Adaptive noise cancelling principles and application[J]. IEEE, 1975, 63(12): 1708.

[8] 叶华, 吴伯修. 变步长自适应滤波算法的研究[J]. 电子学报, 1990, 18(4): 63-69.

[9] Pi Shengchang, Alan N Willson. Analysis of conjugate gradient algorithms for adaptive filtering[J]. Trans. on SP, 2000, 48(2): 409-418.

[10] 高鹰, 谢胜利. 一种变步长 LMS 自适应滤波算法及分析[J]. 电子学报, 2001, 29(8): 1094-1097.

\*\*\*\*\*

(上接第 67 页)

其中, 图 4 为单神经元算法输出曲线; 实验时间为 4 h, 最终温度稳定范围在 48.78~51.25℃。图 5 为单神经元二次型性能指标学习算法输出曲线; 实验时间为 3 h, 最终温度稳定范围在 49.10~50.90℃。实验结果表明: 单神经元二次型性能指标学习算法比单神经元算法趋于目标值的时间短, 且单神经元二次型性能指标学习算法控制温度的稳定性较好, 超调量也较理想。

### 5 结论

实践表明, 单神经元二次型性能指标学习算法控制策略比单神经元算法具有更快的系统响应, 大

大提高了温控箱的实时响应速度, 有一定的推广应用价值。

### 参考文献:

[1] 徐中, 等. 单神经元自适应 PID 控制器的研究[J]. 大连理工大学学报, 1999, 39(5).

[2] 刘金琨. 先进 PID 控制 MATLAB 仿真(第 2 版)[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004: 9.

[3] 周立功, 等. ARM 嵌入式系统软件开发实例(一)[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004: 11.

[4] 周立功, 等. ARM 嵌入式系统基础教程[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005: 1.

[5] 李文伟. 陆军数字化旅指挥控制仿真系统[J]. 四川兵工学报, 2008(5): 87-88.