

文章编号:1006-1630(2005)01-0039-04

车载卫星天线用交流伺服系统设计

夏 芳¹,谢红军²

(1. 上海交通大学 电子信息与电气工程学院, 上海 200030; 2. 上海航天技术研究院, 上海 200235)

摘要:为实现在运动车辆上收看卫星电视,设计了车载卫星天线用交流伺服系统。给出了方案的基本原理,并采用矢量控制对交流电机进行变频调速,以及位置、速度和电流反馈的三闭环调节器。确定了电流环、速度环和位置环的参数。仿真结果表明,所设计的交流伺服系统有良好的动态和抗干扰性能。

关键词:车载卫星天线;交流伺服系统;矢量控制;PID调节器

中图分类号:TN820.32 **文献标识码:**A

Design of AC Servo System of Satellite Antenna Used in Vehicle

XIA Fang¹, XIE Hong-jun²

(1. School of Electronic and Electric Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China; 2. SAST, Shanghai 200235, China)

Abstract:The AC servo system of mobile satellite antenna was designed for watching satellite TV program in a moving vehicle in this paper. The general principle of the scheme was given. The vector control for variable frequency changing of AC motor and three-loop controller of position, velocity and current feedback were adopted. The parameters of the current loop, velocity loop and position loop were determined. The simulation results showed that the AC servo system designed had good performance of dynamic and anti-interfere.

Keywords:Mobile satellite antenna; AC servo system; Vector control; PID controller

0 引言

为在运动车辆上收看卫星电视,需要有一种移动式卫星电视接收设备。该设备的核心是车载卫星跟踪系统,它利用自动控制和计算机技术设计天线控制器,通过控制伺服电机的转向和转动速度来控制接收天线向一定方向转动,改变天线的方位角和俯仰角以对准卫星。

车载卫星跟踪系统主要由单片机、伺服系统、传动机构及天馈子系统组成,如图1所示。其中,天馈子系统用于接收卫星信号,并经过A/D转换和放大后输入计算机,计算机根据极值控制原理输出控制指令,通过伺服系统和传动机构转动天线,使天线指向信号最强处;伺服系统主要由伺服控制器和伺服电机组成;传动机构采用方位和俯仰二轴座架,其优

点是结构简单、控制量少。系统采用两台伺服电机,分别控制天线的方位角和俯仰角。伺服系统是车载天线稳定系统的关键,影响整个系统的性能和精度。直流电动机存在电刷和换向器的限制,且直流伺服系统的生产和维护成本高。随着功率电子、微电子、计算机及控制技术的发展,以交流伺服电动机为执行电动机的交流伺服驱动具有了可与直流伺服驱动相比拟的性能,从而使交流伺服电动机固有的优势得到了充分的发挥。交流伺服驱动已成为现代伺服驱动发展的方向。

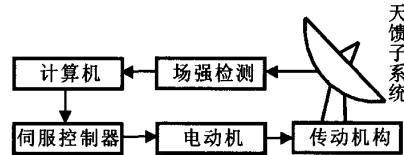


图1 天线姿态稳定系统组成

Fig.1 The construction of the attitude stabilization system for antenna

收稿日期:2004-04-08;修回日期:2004-08-24

作者简介:夏 芳(1975—),女,硕士生,主要研究方向为交流伺服系统控制。

为此,本文对一种车载卫星用交流伺服系统的
设计进行了研究。

1 系统设计

1.1 基本原理

交流感应电机伺服控制系统的基本原理如图2所示。系统通过给定的角位置命令信号与检测反馈电路测定的当前位置信号的比较,求得位置偏差信号,经位置校正环节处理后,作为速度回路的给定信号,再与实际速度相比获得速度偏差,用交流调速系
统控制交流电动机的转速。

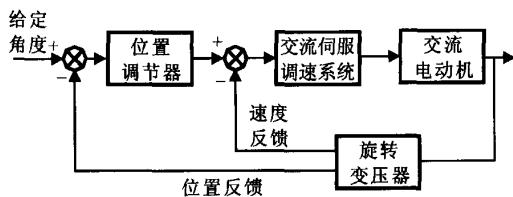


图2 车载卫星天线用交流电机伺服控制系统原理

Fig. 2 The principle of AC servo control system for mobile satellite antenna

高性能交流伺服系统通常具有位置反馈、速度反馈和电流反馈的三闭环结构形式。其中,电流环和速度环均为内环。电流环的主要作用是通过调节电枢电流控制电动机的转矩,改善电动机的工作特性和安全性;速度环可增强系统抗负载扰动的能力,抑制速度波动。位置环保证系统静态精度和动态跟踪的性能,直接与交流伺服系统的稳定和高性能运行相关,且作为反馈主通道。交流电机采用矢量控制原理进行变频调速,其基本原理是:以旋转空间矢

量转子磁链为参考坐标,将定子电流分解为相互正交的两个分量,一个与磁链同向,表示定子电流励磁分量;另一个与磁链正交,表示电流转矩分量,然后分别进行独立控制^[1]。采用矢量控制的交流调速系统,其简化数学模型与直流电动机等效,因此系统的三闭环结构与直流三闭环调速系统相似^[2]。交流伺服系统的传递函数框图如图3所示。图中, θ_o 为电动机输出转角; U_v 为速度控制电压; M_d 为负载阻转矩与电动机摩擦阻转矩之和; T_a 为电动机电磁时间参数; R_a, I_a 分别为电动机电枢回路电阻和电流; J 为折合到电动机轴上的转动惯量; K_e 为电动机的反电势系数; K_t 为电动机电磁转矩系数; K_f 为速度负反馈系数; n 为减速比; θ_i 为系统输入转角; α 为电流反馈系数; G_p, G_v, G_i 分别为位置、速度和电流的传递系数; T_f 为速度反馈时间常数。 K_w 为电流反馈增益; T_w 为电流时间常数; s 为拉氏算子。

由于矢量控制实现了异步电动机模型的解耦,因此,其内环速度、电流和位置调节器均可采用直流调速系统的工程设计方法^[3]。

1.2 电流环

由于系统具有脉宽调制(PWM)电压逆变器的环节和电动机定子、转子电感的作用,电流存在一定的惯性。电流环的主要作用是保持电枢电流在动态中不超出最大限值,因而在突加负载时不希望有超调或超调尽可能小。为此,可将电流环校正为典型I型系统。电流控制器为比例-积分控制器,其传递函数 $G_i(s) = \frac{K_i(\tau_i s + 1)}{\tau_i s}$ (此处, K_i, τ_i 分别为调节器比例系数和时间常数)。如果 $\tau_i = T_a = L_a / R_a$

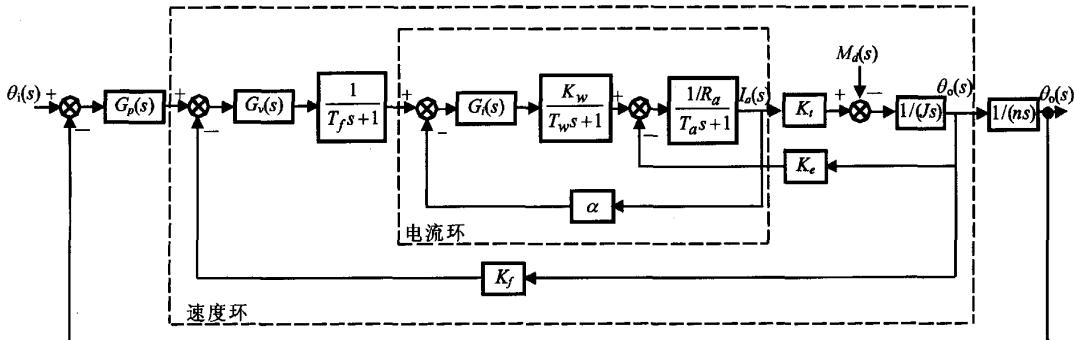


图3 交流伺服系统传递函数框图

Fig.3 The transfer-function diagram of AC servo system

(此处, L_a 为电动机电枢电感), 那么电流环的开环传递函数为 $\frac{\alpha K_i K_w / R_a}{\tau_i s (T_w s + 1)}$, 闭环传递函数为

$$\frac{K_i K_w / R_a}{T_w \tau_i s^2 + \tau_i s + \alpha K_i K_w / R_a} = \frac{\omega_{in}^2 / \alpha}{s^2 + 2\zeta\omega_{in}s + \omega_{in}^2},$$

式中: ω_{in} 为电流环自然频率, 且 $\omega_{in} = \sqrt{\frac{\alpha K_i K_w}{\tau_i R_a T_w}}$; ζ

为电流环阻尼比, 且 $\zeta = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\tau_i R_a}{\alpha K_i K_w T_w}}$ 。

若选阻尼比 $\zeta = \frac{\sqrt{2}}{2}$, 则 $\frac{1}{T_w} = \frac{2\alpha K_i K_w}{\tau_i R_a}$ 。由此可得 $\omega_{in} = \frac{1}{\sqrt{2} T_w}$ 。这样, 电流环的有关参数应设计

为: $\tau_i = T_a = L_a / R_a$; $\alpha \approx R_a$; 调整电流控制器增益 $K_i K_w$, 使电流环具有最佳阻尼比。

1.3 速度环

因存在电枢电流负反馈, 故电动机的反电势可忽略不计, 这主要是由测速发电机的谐波引起的。由于电流环的通频带很宽, 等效时间常数比 T_f 至少小一个量级, 因此可以将电流环传递函数简化为

$$\frac{1/R_a}{2T_w s + 1}。取速度环时间常数 $T_v = 2T_w + T_f$ 。$$

根据调速系统在稳态时无静差, 在动态时应有较好抗扰动性能的要求, 速度环可按典型 II 型系统校正, 速度调节器采用 PI 调节, 其传递函数 $G_v(s) = \frac{K_v(\tau_v s + 1)}{\tau_v s}$ (此处, K_v , τ_v 分别为速度调节器比例系数和时间常数), 由此可得速度环的开环传递函

$$\frac{K_v K_i K_t (\tau_v s + 1)}{\tau_v R_a J s^2 (T_v s + 1)}。$$

选择参数 $\tau_v = h T_v$ (此处, h 为系统的中频段宽度, 其值将直接影响系统的动态性能)。本文取 $h = 6$, 且 $K_v = \frac{h+1}{2h^2 T_v^2} \cdot \frac{\tau_v R_a J}{K_f K_i K_t}$ 。

1.4 位置环

将所设计的速度环作为位置环内的一个等效环节, 与系统前向通道中的积分环节串联, 构成了位置环的被控对象。

位置环的截止频率总是低于速度环截止频率, 因此速度环传递函数可近似等效为 $\frac{K_n}{T_n s + 1}$ (此处, K_n , T_n 分别为速度环开环增益和开环时间常数),

则位置环的开环传递函数为 $\frac{G_p(s) K_n}{T_n s + 1}$ (此处, G_p 为位置环的开环增益)。

由于位置伺服系统对精度要求较高, 位置环必须按 II 型系统校正。因此, 位置调节器采用 PI 控制器, 其传递函数 $G_p(s) = \frac{K_p(\tau_p s + 1)}{\tau_p s}$ (此处, K_p , τ_p 分别为位置调节器的比例系数和时间常数)。

位置环的开环传递函数为 $K_p \frac{\tau_p s + 1}{s^2 (T_n s + 1)}$ 。

设 $h = 10$, 按速度环的分析方法可确定参数。

2 仿真结果

给定电机 $R_a = 2.02 \Omega$, $L_a = 9.932 \text{ mH}$, $J = 25.2 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, $K_e = 1.598 \text{ V} \cdot \text{s}/\text{rad}$; $K_t = 1.598 \text{ N} \cdot \text{m}/\text{A}$, $T_a = 4.910 \text{ ms}$ 条件下, 用 Matlab 对设计的伺服系统进行仿真, 结果分别如图 4~8 所示。

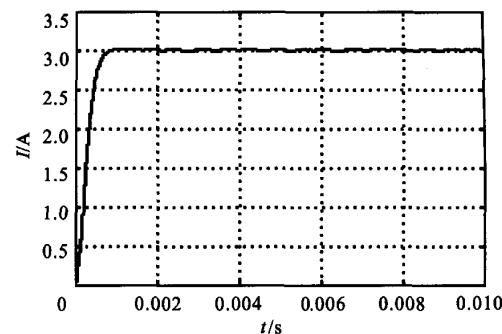


图 4 电流响应曲线

Fig.4 The current response

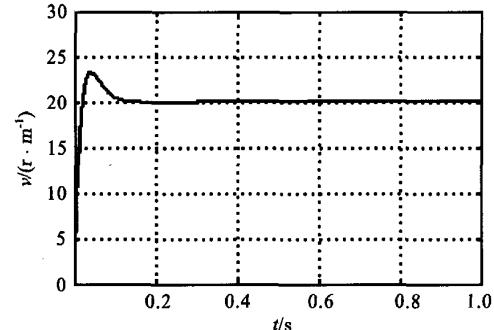


图 5 速度响应曲线

Fig.5 The velocity response

3 结束语

本文设计了一种用于车载卫星天线交流伺服系

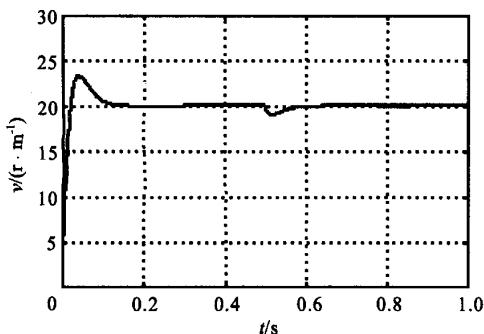
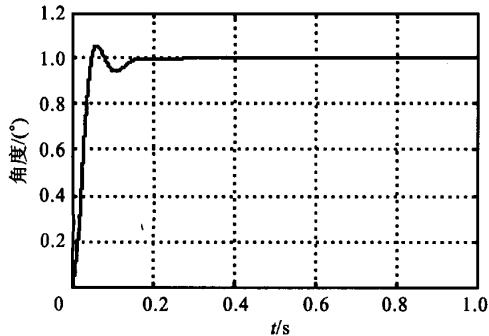
图 6 $t = 0.5$ s 时突加负载转矩时的速度响应曲线Fig. 6 The velocity response with the load rotation torque applied when t is 0.5 s

图 7 位置环阶跃响应

Fig. 7 The position step response

统的控制系统。采用矢量控制实现交流异步电机解耦,其数学模型与直流电动机等效;用 PID 控制对内环电流环、速度环和外环位置环进行校正。由仿真结果可知,该控制系统具有良好的动态和抗干扰性能。

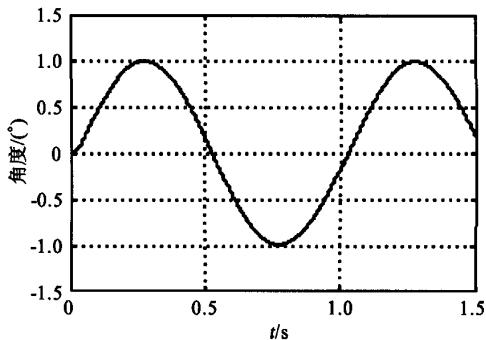


图 8 位置环正弦响应

Fig. 8 The sine response of position loop

参考文献

- [1] 高钟毓. 机电控制工程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.
- [2] 李清新. 伺服系统与机床电器控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- [3] 吴麒. 自动控制原理(上册)[M]. 北京: 清华大学出版社, 1990.

标准-3 导弹战斗部固体转向与高度控制系统

美阿连特技术系统公司开发的固体转向与高度控制系统(SDACS)技术将用于标准-3 导弹(SM-3)Mk142 动能战斗部的偏航、俯仰和滚转控制。

2004 年 11 月 30 日,SM-3 导弹改进型 SDACS 热点火试验的成功,标志着 SDACS 系统改进过程中的一个重要里程碑。改进的 SDACS 改善了性能并提高了工作可靠性。SDACS 试验项目包括系统多次产生点火脉冲,控制 Mk142 动能战斗部在飞行过程中的机动,从而维持它的动能和毁伤能力。有关试验结果显示,所有试验目的均已达到。

SM-3 导弹是美导弹防御局和海军对付外层空间导弹威胁的宙斯盾弹道导弹防御系统的一部分。此次试验中展示的技术将推动宙斯盾弹道导弹防御系统的发展,而发展改进依赖于经飞行试验验证的设计和程序。

在极短的拦截过程中,动能战斗部弹射出 SM-3 导弹,利用红外导引头跟踪目标,随后战斗部直接命中目标,以动能摧毁之。使用先前设计的 SDACS,宙斯盾弹道导弹防御系统在飞行试验中已成功拦截了 4 枚白羊座靶弹。地面试验演示验证了改进的 SDACS 性能,并定于在 2005 年进行设计验证和合格鉴定试验,随后在宙斯盾弹道导弹防御系统的飞行演示中进行验证试验。

(张晓岚)

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养, 更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果, 又能免除您舟车劳顿的辛苦, 学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲, 结合实际工程案例, 直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>