

文章编号: 1671-637X(2006)03-0075-03

速率陀螺稳定电视导引头平台数字控制器设计

姚秀娟, 张永科, 彭晓乐, 刘涛

(中国兵器工业第 209 研究所, 成都 610041)

摘要: 采用连续校正网络的等效数字控制器设计方法设计数字校正网络, 并选用高速数字信号处理器(DSP)构成稳定回路的数字控制系统。用 MATLAB 软件对系统进行计算机仿真, 仿真结果表明, 所设计的数字控制系统能够满足指标要求, 从而证明这种设计方法的可行性。

关键词: 电视导引头; 陀螺稳定平台; DSP; 数字控制器

中图分类号: V241.5

文献标识码: A

Design of a digital controller for ratio gyrostabilized TV seeker platform

YAO Xiu-juan, ZHANG Yong-ke, PENG Xiao-le, LIU Tao

(No. 209 Institute, Chinese Weapon Industry, Chengdu 610041, China)

Abstract: The authors designed a digital correcting net by using an equivalent digital controller design method for a continuous correcting net. They selected the digital control system with stable loop formed by high-speed digital signal processor (DSP). MATLAB was used for the computer simulation of the system. The simulation result shows that the designed digital control system can satisfy the required criterion, thus proves that the design method is feasible.

Key Words: TV seeker; gyrostabilized platform; DSP; digital controller

0 概述

随着光电转换器件和大规模高速实时图像处理技术的快速发展, 电视制导的核心部件—电视导引头在导弹等武器系统中的应用逐渐得到了重视, 并占据了重要位置。电视导引头主要由光学系统、电视跟踪处理器、陀螺稳定平台、伺服稳定跟踪控制系统及其相关单元构成, 其光学系统的性能、电视跟踪器的图像识别和处理能力, 以及伺服稳定跟踪控制系统的品质都将影响电视导引头系统的工作稳定性及跟踪精度^[1]。陀螺稳定平台是保证视轴稳定的主要装置, 用于隔离载体的振动, 并克服载体姿态变化对跟踪系统的影响, 同时要在控制指令的驱动下完成对目标的捕获和跟踪。

陀螺稳定平台的稳定精度和控制方式各不相同, 稳定方案也多种多样, 其中比较典型的有: 动力陀螺稳定方案, 积分陀螺稳定方案, 导弹陀螺稳定方案, 速率陀螺稳定方案^[2]。但随着高速可编程数字信号处理器的发展及数字控制器自身具有的优势(可以提高系统的自动化程度, 减少硬件设置, 增加调整功能, 提高灵活性等), 陀螺稳定平台的数字控制技术研究和应用得到重视^[3]。本文采用速率陀螺稳定方案, 并根据系统指标要求设计数字控制器。

1 数字控制系统的主要设计方法

数字控制系统的设计方法主要有两种: 一种是连续校正网络的等效数字控制器设计法, 这种设计方法的特点是直接引用连续系统有效的设计方法, 用根轨迹法或频率法设计出校正装置的传递函数, 然后离散化成数字控制器易于实现的控制算法, 这种设计方法所要求的采样频率较高; 另一种是直接

收稿日期: 2005-04-20 修定日期: 2005-05-17

作者简介: 姚秀娟(1980-), 女, 山东夏津人, 硕士生, 主要研究方向为光电精确制导与伺服控制研究。

没有涉及采样频率的离散化问题,因此采样频率比连续域所要求的低^[2]。

在离散域(Z 平面或 W 平面)的设计法是精确方法,等效数字控制器设计法只是一种近似方法,但它可以利用连续系统设计的成熟经验,并且随着微处理器运算速度的提高,采样频率可以选得很高,用该方法设计的数字控制器对连续校正网络的“逼真度”随之提高^[2]。本文采用工程上易于掌握和实现的连续校正网络的等效数字控制器设计法。

2 陀螺稳定平台的传递函数框图

陀螺稳定平台主要由校正环节、功率放大器、驱动元件(本设计中用直流力矩电机)和速率陀螺构成电视跟踪系统的角速度伺服回路,角速度伺服回路作为内回路主要起稳定跟踪角速度及保证跟踪精度的作用。其模拟传递函数框图如图 1 所示。

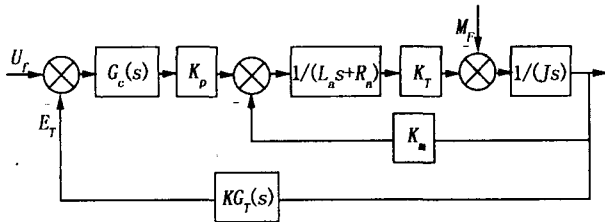


图 1 平台传递函数框图

注:图中参数 U_f 为主令输入; $G_c(s)$ 为校正传递函数; K_p 为功放倍数; L_a 为电机电枢电感; R_a 为电机电枢电阻; K_T 为电机力矩系数; M_f 为外干扰力矩; J 为折算到电机转轴上的转动惯量; E_T 为陀螺输出; K_m 为电机反电势常数; K 为陀螺传递系数; $G_T(s)$ 为陀螺传递函数; $G_c(s)$ 是要设计的连续传递函数,其它参数已知。

3 陀螺稳定平台数字控制器的设计与仿真

3.1 连续校正网络 $G_c(s)$ 的设计

从图 1 可以看出系统采用串联校正装置,串联校正装置包括:串联超前校正、串联滞后校正和串联滞后一超前校正。当系统在所要求的增益下不稳定,或虽稳定但瞬态响应特性较差(如超调量过大、调整时间过长)时,可采用串联超前校正;当系统具有满意的动态特性,但其稳态性能不能令人满意时,校正的目的主要是为了增大开环增益,且不应使系统动态特性有明显变化,常采用串联滞后校正;当系统的动态和稳态特性均较差时,通常采用滞后一超

前校正^[4]。

进行串联校正的方法有根轨迹法和频率法,当系统的性能指标以时域指标给出时,如给定超调量、上升时间、调整时间、稳态误差等时域指标,则采用根轨迹法进行设计和校正是很有效的,这种方法的实质是:对原系统根轨迹加以修正,使闭环极点位于根平面上希望的位置;用频率法进行校正时,系统的性能指标以频域形式给出,如:相角裕度、幅值裕度和开环截止频率等,若给出时域性能指标时,则应换算成开环频域指标^[4]。本设计中系统性能指标以时域形式给出,故采用根轨迹法对连续校正网络进行设计。将已知参数和固定环节的数学模型代入图 1,得到原系统的开环传递函数为

$$G(s) = \frac{2.4 \times 10^9}{s^4 + 1.7 \times 10^3 s^3 + 9 \times 10^5 s^2 + 2 \times 10^8 s + 2.7 \times 10^8} \quad (1)$$

经过对原系统根轨迹及阶跃响应分析后知,系统在要求的增益下不稳定,故采用串联超前校正。为提高稳态精度,降低扰动信号引起的稳态误差,再串联一个比例微分环节。根据时域指标要求求得校正函数为

$$G_c(s) = \frac{10s^2 + 1222s + 1725}{7s^2 + 1190s} \quad (2)$$

加入校正网络后连续系统的开环传递函数为

$$G(s) = \frac{k \times (s^2 + 122.2s + 172.5)}{s^6 + 1870s^5 + 1.19 \times 10^6 s^4 + 3.53 \times 10^8 s^3 + 3.43 \times 10^{10} s^2 + 4.6 \times 10^{10} s} \quad (3)$$

其中, $k = 3.3 \times 10^9$ 。

加入校正网络后系统的根轨迹图如图 2。

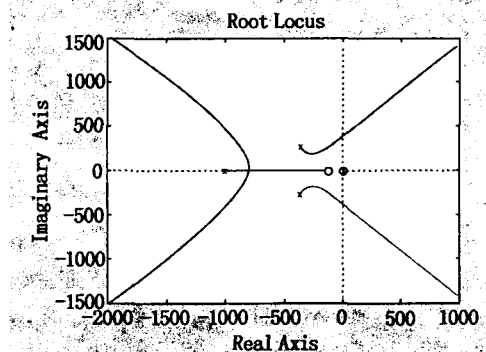


图 2 校正后系统的根轨迹

$k = 3.3 \times 10^9$ 时,系统的闭环极点均在 s 平面的左半平面,故加入连续校正网络后,系统由不稳定变得稳定。

3.2 数字控制器 $G_c(Z)$ 的确定

模拟校正网络等效成数字控制器的离散化方法有很多种,常用的 Z 变换方法主要有:脉冲响应不变法,零阶保持器变换法,双线性变换法等。本文采用零阶保持器变换法,用 MATLAB 软件中的 $c2dm()$ 函数实现, $c2dm()$ 函数的一般格式为: $c2dm(\text{num}, \text{den}, T, 'zoh')$, num 为传递函数分子多项式系数, den 为传递函数分母多项式系数, T 为采样周期, zoh 表示采用零阶保持^[4]。其中采样周期 T 是计算机控制系统中的重要参数, T 选得越小,离散化后的数字控制器的精度和逼真度就越高,对系统的动态性能越有利,但 T 过小会加重计算机的负担; T 选得过大,对系统的动态性能不利,甚至会导致系统不稳定。根据香农采样定理,采样频率应为连续信号频率的二倍。本设计采用 TI 公司的 TMS320LF2407 信号处理器,其运算速度高达每秒 3 000 万条指令^[5],文中 $T=0.001\text{ s}$,代入函数 $c2dm(\text{num}, \text{den}, T, 'zoh')$ 中,得到:

$$G_c(z) = \frac{1.429 - 2.697z^{-1} + 1.268z^{-2}}{1 - 1.844z^{-1} + 0.844z^{-2}} \quad (4)$$

3.3 控制系统的仿真

加入校正网络 $G_c(S)$ 系统仿真结果如图 3,加入校正网络 $G_c(Z)$ 系统仿真结果如图 4。

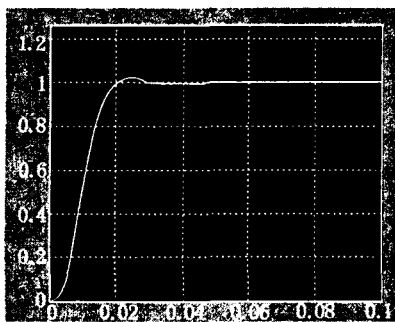


图 3 加入连续校正网络后的阶跃响应

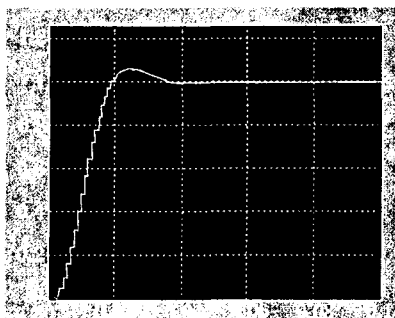


图 4 数字系统阶跃响应

仿真结果表明,数字控制系统的超调量小于 10%,上升时间为 0.02 s,调整时间为 0.04 s,满足系统动态指标要求。

3.4 数字控制系统的实现

数字控制系统的实现结构图如图 5 所示:

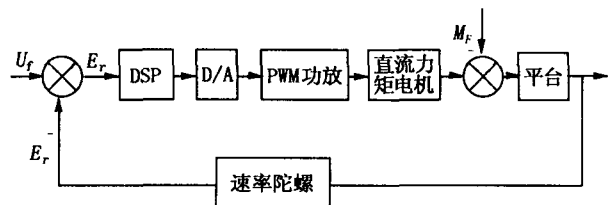


图 5 数字控制系统实现结构图

DSP 使用的是 TI 公司的 TMS320LF2407,内部的 A/D 转换电路将输入信号 U_f 与反馈信号 E_f 的差 E_r 转化成数字量,经过校正处理后,通过 D/A 转换器给出调宽脉冲,最后由 PWM 功放电路驱动直流力矩电机,通过速率陀螺构成闭环反馈。同时,该数字控制系统对干扰信号也能进行有效的抑制。为了应用 DSP 的软件实现数字校正网络,必须把校正函数写成差分方程的形式。将式(3)写成差分方程的形式如下:

$$u(n) = 1.844u(n-1) - 0.844u(n-2) + 1.429e(n) - 2.697e(n-1) + 1.268e(n-2) \quad (5)$$

式(4)即为数字信号处理器(DSP)实现的控制算法。

4 结论

从仿真结果可以看出,采用等效数字控制器设计方法设计的数字控制器的控制效果虽然不如模拟控制器,但能满足系统的指标要求,效果很理想。并且这种设计方法简单实用、容易掌握。与目前使用的模拟系统相比,少了电流环这一闭环电路,使系统简化。从而证明了等效数字控制器设计方法的有效性。

参考文献:

- [1] 吴金中. 电视导引系统的视轴稳定跟踪技术[J]. 战术导弹技术, 2002, (1): 34-38.
- [2] 吴鹏. 精确制导光电导引头稳定平台数字控制技术[J]. 火箭与制导学报, 2002, 22(3): 2-3.
- [3] 林凡, 莫波. 控制器模拟电路数字化[J]. 兵工自动化, 2001, 20(2): 1-2.
- [4] 谢克明. 自动控制原理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [5] 江思敏. TMS320LF240X DSP 硬件开发教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.