

用 MATLAB 设计校正装置的程序及仿真

Program Design and Simulation of Compensator Using MATLAB

廖远江

摘要:本文讨论了如何利用 MATLAB 的控制系统工具箱设计串联超前-滞后校正装置,并对校正后的控制系统进行了仿真。

关键词: MATLAB 仿真 串联超前-滞后校正

中图分类号: TP391.7

Abstract: In this paper we will discuss how to use Control System Toolbox to design a cascade lead-lag compensator, to run and to simulate it's program under MATLAB.

Key words: MATLAB Simulation Cascade lead-lag compensation

1 引言

MATLAB 是 The MathWorks 公司开发的一套高性能的数值计算和可视化软件,是一套功能十分强大的计算机辅助设计及教学工具软件。在国外的许多高等院校里, MATLAB 已成为应用于自动控制理论、动态系统仿真等课程的基本教学工具;在研究单位、工业部门, MATLAB 也被广泛用于研究和解决数值分析、矩阵运算、信号处理和图形显示等各种工程问题。它包括了求解各类问题的 ToolBox(工具箱), 可用来求解特定学科的问题。其特点是:

- (1) 可扩展性: MATLAB 最重要的特点是易于扩展,它允许用户自行建立指定功能的 M 文件。
- (2) 易学易用性: MATLAB 不需要用户有高深的数学知识和程序设计能力,不需要用户深刻了解算法及编程技巧。
- (3) 高效性: MATLAB 语句功能十分强大,一条语句可完成十分复杂的任务。它大大加快了工程技术人员从事软件开发的效率。

在自动控制系统中,为了改善控制系统的稳态和动态性能,常常需要在系统中加入合适的校正装置。将串联超前校正和串联滞后校正的设计思想结合起来,就产生了超前-滞后校正。在超前-滞后网络中保持了串联超前校正和串联滞后校正的许多理想的特性。在串联超前-滞后校正中,我们可以在串联滞后校正中降低对数幅频特性曲线的幅值,改善系统的稳态性能;同时还在串联超前校正中提供附加的相位,增大系统的相角裕度。串联超前-滞后校正的优点在于:增大了系统的频带宽度,使过渡过程的时间缩短。在只用串联超前校正或串联滞后校正难以满足给出的要求时,即在要求的校正后的系统稳态和动态性能都较高的情况下,应考虑采用串联超前-滞后校正。

2 用频率响应法设计串联超前-滞后校正装置的一般步骤为

- (1) 根据稳态误差的要求,确定系统的开环放大系数。然后绘制未校正系统的 Bode 图,由 Bode 图确定未校正系统的零分贝频率(即截止频率) ω_c 、幅值裕度 h 和相角裕度 γ ;
- (2) 将未校正系统的相角裕度 γ 与性能指标要求的最小相角裕度 γ' 比较,如果 $\gamma > \gamma'$, 我们就不需要增加一个串联

超前-滞后校正网络,也就不必进行下面的工作,如果 γ 太小,则进入下一步;

(3) 确定系统需要增加的相位超前角 ϕ_m 。注意,校正后的系统的新的零分贝频率 ω'_c 的数值略小于未校正系统的零分贝频率 ω_c , 所以在新的频率 ω'_c 点上可能有比旧的频率点 ω_c 大一些的相位。

(4) 求出 ϕ_m 后,再计算出 α 值。

(5) 在未校正系统的对数幅频特性上查出的其幅值则等于 $(-10\lg \alpha)$ 所对应的频率就是校正后系统的新的零分贝频率 ω'_c ;再计算 $\omega_1 = \frac{1}{T_1}$ 的值。同时还可以得到 $\omega_2 = \omega'_c \sqrt{\alpha} = \frac{\alpha}{T_2}$ 由此可以写出超前校正部分的传递函数。

(6) 确定滞后校正部分的两个转折频率 ω_1 和 ω_2 :

选择滞后校正网络的转折频率 $\omega_1 = (\frac{1}{5} \sim \frac{1}{10}) \omega'_c = \frac{1}{T_1}$,

则另一个转折频率 $\omega_2 = \frac{\omega_1}{\alpha} = \frac{1}{\alpha T_1}$ 。由此可以写出滞后校正部分的传递函数。

则相应的串联超前-滞后校正网络的传递函数也可以求得。

(7) 校验校正后的系统的性能指标是否满足要求。如果不能满足要求,则从第(3)步重做,重新选择 ϕ_m 值进行计算。如果能满足要求,则进入第(8)步;

(8) 确定校验网络的元件值。

3 设计串联超前-滞后校正装置一个实例

[例]已知一个控制系统如图 1 所示。其固有的传递函数为

$G(s) = \frac{1600}{s(s+2)(s+40)}$ 。设计要求该系统的相角裕度 $\gamma \geq 40^\circ$ 。求串联超前-滞后校正装置的传递函数 $G_c(s)$ 。

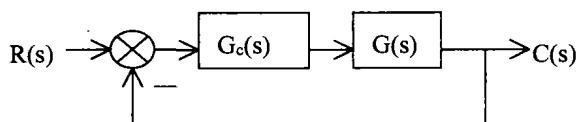


图 1 控制系统结构图

在设计校正装置之前先来分析未校正系统,确定未校正系统的零分贝频率 ω_c 、幅值裕 h 和相角裕度 γ 。在 MATLAB Command Window 中输入:

```
clear all;
clc;
num=1600;
den=conv([1,0],conv([1,2],[1,40]));
G=tf(num,den);
[Gm,Pm,Wcg,Wcp]=margin(G);
GmdB=20*log10(Gm);
GmdB,Pm,Wcg,Wcp,margin(G)
按“Enter”键后可得 MATLAB 计算的结果为:
GmdB =
6.4444
```

Pm =
9.3528
Wcg =
8.9443
Wcp =
6.1310

可见未校正系统的零分贝频率 $\omega_c=6.1310$ rad/sec, 幅值裕度 $h=6.4444$ dB, 相角裕度 $\gamma=9.3528^\circ$ 。

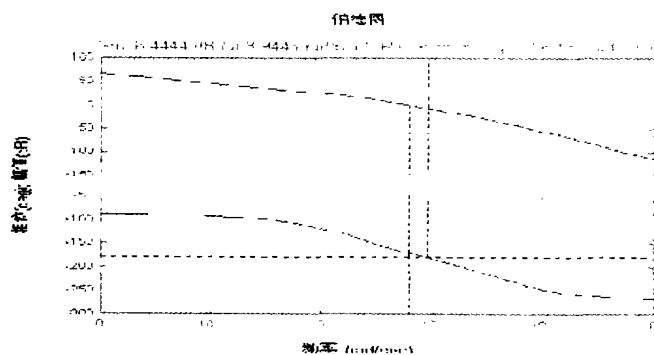


图2 未校正系统的 Bode 图

由于没有对校正后系统的零分贝频率 ω_c 提出要求, 因此我们利用公式 $\phi_m = \gamma - \gamma + \Delta$ 计算系统需要增加的相位超前角 ϕ_m : $\phi_m = \gamma - \gamma + \Delta = 40^\circ - 9.3527^\circ + 6^\circ = 36.6473^\circ$ 。

在 MATLAB Command Window 窗口中单击 图标 (新建一个 M 文件), 打开 MATLAB Editor/debugger 窗口, 在 MATLAB Editor/debugger 窗口中输入如下程序:

```
clear all;
clc;
num=1600;
den=conv([1,0],conv([1,2],[1,40]));
G=tf(num,den);
w=0.001:0.001:100;
[mag,phase]=bode(G,w);
for t=1:1:100000,
    if (mag(1,1,t)-1<=0.00001),break;
    end
    wct=t+1;
end
gamma=180+phase(1,1,wct);
for t=1:1:100000,
    if (phase(1,1,t)+180<=0.00001),break;
    end
    wgt=t+1;
end
h=-20*log10(mag(1,1,wgt));
wc=wct/1000;
wg=wgt/1000;
wc,wg,gamma,h,
gamma1=40;
delta=6;
phim=gamma1-gamma+delta;
alpha=(1+sin(phim*pi/180))/(1-sin(phim*pi/180));
magdb=20*log10(mag);
wc=0;
for w=1:1:100000,
    if (magdb(1,1,w)+10*log10(alpha)<=0.0001),break;
```

```
end
wc=w+1;
end
wcc=wc/1000;
w3=wcc/sqrt(alpha);
w4=sqrt(alpha)*wcc;
numc1=[1/w3,1];
denc1=[1/w4,1];
Gc1=tf(numc1,denc1);
w1=wcc/10;
w2=w1/alpha;
numc2=[1/w1,1];
denc2=[1/w2,1];
Gc2=tf(numc2,denc2);
Gc12=Gc1*Gc2;
GcG=Gc12*G;
[Gmc,Pmc,wgc,wpc]=margin(GcG);
GmcdB=20*log10(Gmc);
Gc1,Gc2,Gc12,GcG,GmcdB,Pmc,wgc,wpc,alpha,
bode(G,GcG)
```

输入完成后, 单击 图标 (保存该 M 文件), 在弹出的“保存为”窗口中输入 M 文件名 (cascade_lead_lag_compensation.m), 选择存放该 M 文件的路径, 就可以完成保存工作。

下一步工作, 单击“Tools”菜单中的“Run”, 可以得到以下结果:

```
wc =
    6.1310
wg =
    8.9450
gamma =
    9.3527
h =
    6.4458
Transfer function:
0.2286 s + 1
-----
0.0577 s + 1
Transfer function:
1.148 s + 1
-----
4.549 s + 1
Transfer function:
0.2625 s^2 + 1.377 s + 1
-----
0.2625 s^2 + 4.607 s + 1
Transfer function:
420 s^2 + 2203 s + 1600
-----
0.2625 s^5 + 15.63 s^4 + 215.5 s^3 + 410.5 s^2 + 80 s
GmcdB =
    25.3760
Pmc =
    41.7700
wgc =
    22.8372
wpc =
    3.3078
```

$\alpha =$

3.9614

最终可以得到超前校正部分的传递函数为 $G_{c1}(s) = \frac{0.2286s+1}{0.0577s+1}$

滞后校正部分的传递函数为 $G_{c2}(s) = \frac{1.148s+1}{4.549s+1}$, 串联超前--滞后

校正装置的传递函数为 $G_{c12}(s) = \frac{0.2625s^2+1.377s+1}{0.2625s^2+4.607s+1}$, 校正后整个

系统的传递函数为 $G_c(s) = \frac{420s^2+2203s+1600}{0.2625s^5+15.63s^4+215.5s^3+410.5s^2+80s}$

校正后系统的幅值裕度为 $G_{mc}dB=25.3760dB$, 对应的频率为 $\omega_{gc}=22.8372 \text{ rad/sec}$; 相角裕度为 $P_{mc}=41.7700^\circ$, 对应的频率为 $\omega_{pc}=3.3078 \text{ rad/sec}$ 。还得到未校正系统和校正后系统的 Bode 图, 图中蓝色线条 (曲线 1) 表示未校正系统的 Bode 图, 绿色线条 (曲线 2) 表示校正后系统的 Bode 图。

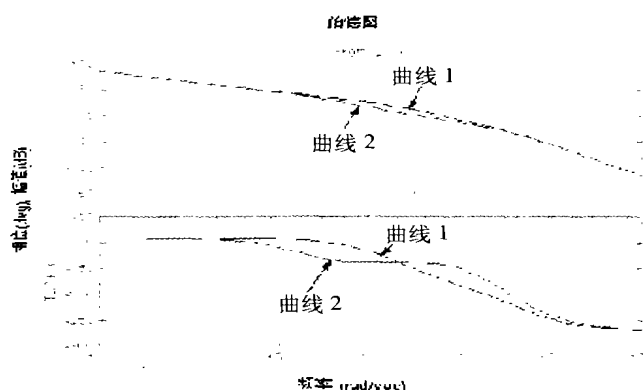


图 3 未校正系统和校正后系统的 Bode 图

可见, 设计结果完全可以满足系统的指标要求。现在根据超前--滞后网络的参数 $T_1=1.148$ 秒, $T_2=0.2286$ 秒, $\alpha=3.9614$, 确定超前--滞后网络的元件值:

现在取 $C_1=10 \mu F$, 则可得:

$$R_1 = \frac{1.148}{10 \times 10^{-6}} = 114.8 k \Omega,$$

$$C_2 = 28.125 \mu F$$

$$R_2 = 8.128 k \Omega.$$

最后还应该将计算得到的超前--滞后网络元件 C_2, R_1, R_2 的数值标称化。

针对不同的控制系统提出的不同的性能指标要求, 只需将上面的 M 文件 (cascade_lead_lag_compensation.m) 做一定的修改就可以应用了。大大方便了设计工作。另外, 在该 M 文件中已经包含了设计串联超前校正装置和串联滞后校正装置的程序。

参考文献

James R. Rowland, Linear Control System: Modeling, Analysis, and Design, New York: John Wiley & Sons, 1986

作者简介: 廖远江, 男, 1973 年生, 讲师, 昆明工学院自动化系毕业, 主要从事计算机应用和传感器技术的研究, 以及计算机辅助设计和自动检测技术的教学工作。电话: 0871-5125563, 电子邮件地址: ying7348@public.km.yn.cn

(650051 云南昆明 昆明理工大学信息工程与自动化学院自动化系) 廖远江

(收稿日期: 2002.3.11)

单片机与嵌入式系统应用

《单片机与嵌入式系统应用》是国内唯一的单片机嵌入系统应用的专业期刊, 由何立民教授主编, 其特色是: 专业期刊、专家办刊、着眼世界、面向国内、应用为主、读者第一。它全力报道国内外先进的单片机与嵌入式系统及其应用技术, 深入研讨热点问题, 报道国内外学术产业动态。

《单片机与嵌入式系统应用》为中央级科技期刊, 承办单位为北京航空航天大学出版社。北航出版社在全国单片机业界享有崇高的威望, 与中国计算机学会微机专业委员会、全国单片机学会和北京单片机联谊会联手组成强大的编刊队伍。本刊以国际标准 16 开本形式出版, 内容丰富, 其栏目设置如下:

专家论坛	创新观念, 技术评论, 学术争论以及方向性、技术性指导。
技术综述	国内外先进技术的宏观纵览, 全局资料分析、介绍、述评。
专题论述	单片机及嵌入式系统中技术热点的论述、指导、综合及分析。
应用天地	科技成果与典型应用的技术交流。
新器件新技术	应用系统的解决模式, 新器件新技术发布, 技术特点及典型应用。
编读往来	“问与答”, “经验谈”, 学术活动报道, 读者信箱等。
学术动态	学会科技活动报道及单片机产业动态。
产业信息	业界产品发布和业界最新消息、动态。

欢 迎 订 阅 !

www.dpj.com.cn www.microcontroller.com.cn

地 址: 北京市海淀区学院路 37 号
《单片机与嵌入式系统应用》杂志社
电 话: 010-82317029 82313656
传 真: 010-82317043 邮编: 100083
电子信箱: mcu@publica.bj.cninfo.net
mcupress@263.net.cn
出版日期: 每月 1 号
邮发代号: 2-765

每期定价: 8 元

全年定价: 96 元

通过全国各地邮局订阅!

电话: 010-62559461, 62545262 (Fax)

《嵌入式系统应用精选 200 例》

网络版: http://www.ccuagongkong.com.cn

邮局订号: 82-946 120 元/年 - 21 -