

一种变结构控制器的工程设计法

冯冬青 陈维英

(计算机与自动化系)

摘 要

为了使先进的变结构控制系统尽快应用于工程实践,本文应用变结构系统理论,采用变结构控制系统的频率域综合法,推出一种单输入单输出系统变结构控制器的工程设计法。该方法简单、有效,便于没有学过现代控制理论的工程技术人员使用,设计出的控制系统在快速性、鲁棒性方面远远优于目前工程界常用的PID线性调节器所设计的系统。该方法采用的变结构控制器算法简单,用微型机或单片机实现是很容易的。

关键词: 变结构系统, 变结构控制器, 工程设计法

一、前 言

自动控制系统的工程设计法中,经常采用PID调节器和PI调节器,从频率域中看,它们主要是通过改变系统幅频特性和相频特性曲线的形状,使系统具有一定的开环增益、截止频率和20分贝/10倍频程的特征斜率,并满足一定的增益裕量和相位裕量。当控制对象的参数基本不变、模型比较精确、外部扰动不大时,这是一种很好的设计方法。但是在工程实际中,控制对象多是变参数的、模型不精确的和存在外部扰动的,这往往使得所设计的系统性能下降,甚至导致系统不稳定。而近年来发展起来的变结构控制系统是实现参数变化和外部扰动的鲁棒性的有效方法^[1-4]。然而在工程界目前还没有一种象设计PID调节器一样简单的工程设计法。本文采用变结构控制系统的频率域综合法^[4],推出一种单输入单输出系统的变结构控制器工程设计法,供工程技术人员在实际工作中应用。

二、变结构控制器的特征

变结构控制系统由控制对象,检测元件和变结构控制器组成。变结构控制是指在控制过程中突然改变反馈的极性及其系数,使系统具有依从于所选择的转接策略及关于运动状态的实际信息的相应的结构。其目的在于将不同结构的有益特性揉合在一起,甚至有可能造出新的特性

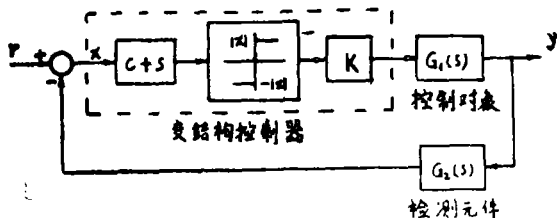


图1 变结构控制系统

来。经分析,变结构控制器可以当作特殊的继电器环节来理解和描述^[4],对于解决本文所提问题,变结构控制器可以取图1中形式。

对变结构控制器进行谐波线性化,可得到变结构控制器放大系数 $K=1$ 时的幅相特性^[4]。

本文1987年12月23日收到。

$$|N(j\omega)| = \frac{2}{\pi} \sqrt{\left(\frac{\pi}{2} - \arctg \frac{\omega}{c}\right)^2 + \sin^2(\arctg \frac{\omega}{c}) + \left(\frac{\pi}{2} - \arctg \frac{\omega}{c}\right) \sin 2(\arctg \frac{\omega}{c})} \quad (1)$$

$$\angle N(j\omega) = \arctg \frac{\sin^2(\arctg \frac{\omega}{c})}{\sin(\arctg \frac{\omega}{c}) \cos(\arctg \frac{\omega}{c}) + \left(\frac{\pi}{2} - \arctg \frac{\omega}{c}\right)} \quad (2)$$

分别取变结构控制器参数 c 的值为0.1, 1, 10, 100, 绘出其伯德图如图2中曲线①、②、③、④所示, 以找出 C 值改变时控制器幅相特性变化的规律。

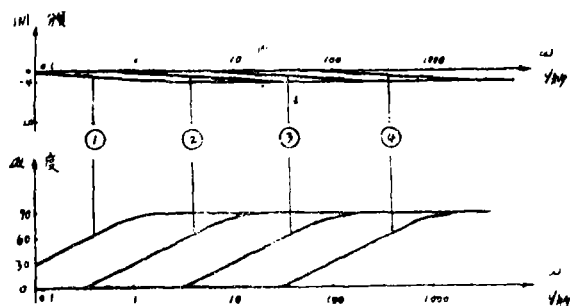


图2 变结构控制器的伯德图

曲线①—— $C=0.1$; ②—— $C=1$; ③—— $C=10$; ④—— $C=100$;

从图2中看到, 采用变结构控制器可以获得超前的相位, 最大可达 90° , 而这时幅频特性与线性情况相反, 不仅不提升反而下降, 这正是变结构控制器的突出优点之一。还可看到, 随着 C 值的增大, 其相位超前和幅值下降的起始频率也增高, 这样, 就可以根据其变化规律, 调整 C 值和放大系数 K 值, 以调整变结构控制器的幅相特性来适应不同系统的需要。

三、设计的方法和步骤

(1) 求出系统固有部分频率特性 $G(j\omega) = G_1(j\omega) G_2(j\omega)$, 并画出其伯德图;

(2) 根据系统静差指标和系统固有开环增益初定控制器放大系数 K 值, 使整个系统的开环增益满足要求;

(3) 检查此时系统开环截止频率是否够高, 如果不够则增大 K 值, 以提高开环截止频率, 达到要求后确定 K 值;

(4) 根据系统固有部分相频特性并参照变结构控制器相频特性和 C 值的关系(图2)选择 C 值, 使系统具有尽可能大的相位裕量, 同时使截止频率附近的相频曲线尽量平坦;

(5) 检查整个系统校正后的幅相特性, 如: 开环增益、截止频率、增益裕量、相位裕量, 若符合要求则设计完毕, 否则, 适当调整 K 值、 C 值、甚至系统的其它可调参数(如反馈滤波时间常数)使其符合要求。

四、设计举例

例1、某双闭环直流调速系统电流环的设计〔5〕:

(1) 求出系统固有部分频率特性为:

$$G_{1k}(j\omega) = \frac{4}{(1 + 0.03j\omega)(1 + 0.027j\omega)} \quad (3)$$

绘出其伯德图如图 3 中曲线

①、②所示；

(2)为使系统静差为给定值的 1%，开环增益为 100，初定控制器参数 $K = 25$ ，绘出校正后系统开环幅频特性如图 3 中曲线③；

(3)此时开环截止频率已达 1000 1/秒，满足要求；

(4)根据固有部分相频特性图 3 中曲线②，参照图 2，选择控制器参数 $C = 50$ ，绘出校正后系统开环相频特性如图 3 中曲线④；

(5)从图 3 中看到，系统校正后开环增益为 100，截止频率为 1000 1/秒，增益裕量几乎无穷大，相位裕量为 110 度。符合要求，设计完毕。

若认为系统开环截止频率太高，可以在静差允许的情况下减小 K 值，也可以采用增大电流反馈滤波常数的办法，这既可以使电流反馈信号更加平稳，又可以使开环截止频率降低。

例 2、某双闭环调速系统转速环的设计：

(1)系统电流环校正后，其闭环作为转速环中的一个小惯性环节，则转速环的固有部分频率特性为：

$$G_{NK}(j\omega) = \frac{2.9}{j\omega(1 + 0.016j\omega)} \quad (4)$$

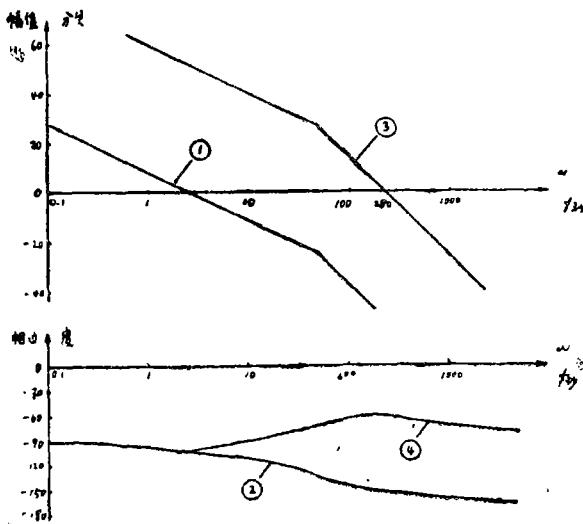


图 4 转速环校正前后伯德图

绘出其伯德图如图 4 中曲线

①、②所示；

(2)因转速环是外环，为使系统基本无静差，取开环增益为 1000，我们初定变结构控制器参数 $K = 345$ ，绘出校正后系统开环幅频特性如图 4 中曲线③；

(3)此时系统开环截止频率为 280 s^{-1} ，满足要求；

(4)根据图 4 中曲线②并参照图 2，选择控制器参数 $C = 10$ ，绘出校正后系统相频特性如图 4 中曲线④；

(5)系统校正后开环增益为

1000，截止频率为 280 s^{-1} ，增益裕量几乎无穷大，相位裕量为 130 度。符合要求，设计完毕。

五、实例仿真结果

前文设计举例中, 实际上是一个双闭环直流调速系统的电流控制器和转速控制器的设计, 整个系统的结构图如图5所示。

我们得到计算机仿真结果如下:

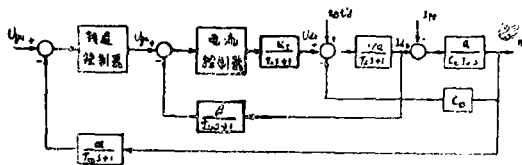


图5 双闭环直流调速系统

转速稳态误差: 空载时为零, 满载时为给定值的0.1%;

阶跃响应: 低速给定, 转速控制器输出未饱和时, 起动无超调, 过渡过程时间为0.03秒; 额定转速给定, 转速控制器输出饱和时, 起

动无超调, 过渡过程时间空载时为0.5秒, 满载时为1.1秒;

抗外部扰动: 空载时突加满载, 转速降低0.7%, 恢复时间为0.01秒;

抗参数变化: 机电时间常数 T_m 变化 $\pm 50\%$ 时, 转速动静态性能均无明显变化;

稳态电流波形: 以0.01秒为周期上下波动5%;

稳态转速波形: 以0.01秒为周期上下波动0.1%;

六、结 论

- 1、该设计方法简单实用, 没有学过现代控制理论的工程技术人员也能使用。
- 2、该方法设计的控制系统快速性、鲁棒性好, 从图3和图4中看到, 可使系统具有相当高的截止频率、每10倍频程40分贝的特征斜率, 且仍有相当大的增益裕量和相位裕量, 这是线性系统所无法达到的。这样当系统开环增益变化时所引起的截止频率变化只是特征斜率为每10倍频程20分贝时的二分之一, 加之相位裕量比较大、相频曲线在截止频率附近比较平坦, 所以系统相位受其影响也很小, 这正是系统鲁棒性在频率域中的一种表现。
- 3、该方法设计的控制器算法简单, 便于用微型计算机或单片微机实现。
- 4、从仿真结果看, 由于控制器中引入了继电器特性, 系统输出稳态时也有一些振颤, 这是变结构系统的缺点, 但总可以使其振幅调整到允许范围内, 完全能够满足一般的工程要求。

参 考 文 献

- [1] Utkin V.I., Variable Structure Systems with Sliding Modes, IEEE Trans, on Automatic Control, Vol.AC-22, No.2, April 1977.
- [2] (英)C.J.哈里斯, S.A.比林斯, 自校正和自适应控制《理论与应用》, 科学出版社, 1986.
- [3] 单云生, 变结构控制系统概述, 《系统工程与电子技术》, 1983.第9期.
- [4] 单云生, 变结构控制系统的频率域综合, 《航天控制》, 1986, 第2期.
- [5] 陈伯时, 《自动控制系统》.机械工业出版社, 1981.

A DESIGN PROCEDURE OF VARIABLE STRUCTURE CONTROLLER

Feng Dongqing Chen weiyang

(Computer and automation engineering department)

Abstract

Based on the theory of variable structure systems, this paper proposes a design procedure of variable structure controller. The design procedure is simple, effective and easy to apply for engineers. The systems using variable structure controller is superior to the systems using PID linear regulator. The controller designed with this procedure is easy to realize with microprocessor.

Key words: variable structure system, variable structure controller, design procedure.