

电动机控制电路应用技术丛书

伺服电机应用技术

颜嘉男 编著

王自强 审校



-910

电动机控制电路应用技术丛书

伺服电机应用技术

颜嘉男 编著
王自强 审校



TM383.4
Y104
科学出版社
北京

图字: 01-2009-6284 号

内 容 简 介

本书系统地讲解了伺服电机系统的结构、原理、选型、硬件连接、控制程序编辑,内容涉及伺服控制器(PLC)、伺服驱动器、伺服电机、伺服电机与步进电机的选用方法,具有一定的前瞻性和相当高的实用价值。

全书共5章,主要内容包括:通用伺服驱动器的应用、伺服控制系统的连接、伺服控制器的应用、硬件接线及控制程序实验、伺服电机与步进电机的选用。针对关键技术要点,每章均设置了“本章重点”与“本章习题”,附录包括“习题解答”与“自动控制系统专业名词说明”。

本书可作为工科院校电气工程、自动化控制、机电工程等专业的教学用书,也可作为希望进入伺服电机应用相关领域读者的案头书。

图书在版编目(CIP)数据

伺服电机应用技术/颜嘉男编著. —北京:科学出版社,2010
(电动机控制电路应用技术丛书)

ISBN 978-7-03-026806-8

I. 伺… II. 颜… III. 伺服电机-基本知识 IV. TM383.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 027194 号

责任编辑:喻永光 杨 凯 / 责任制作:董立颖 魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:郝晓燕

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京天时彩色印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年4月第一版 开本:A5(890×1240)

2010年4月第一次印刷 印张:6 3/4

印数:1—5 000 字数:200 000

定 价: 25.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

本书编写的目的,是希望读者能通过本书的学习进入伺服电机应用的相关领域。因此,内容仅涉及用户应用部分,对于较专业的电机及控制器设计与制造技术、理论问题,不在本书讨论范围之内。当然,如果要设计、制造伺服电机相关系统,对应用也必须有所了解。因此本书适合在校学生学习,也适合在职的工程人员进修、自学。

编排内容方面,通用伺服电机系统按体系结构分章说明,依序了解各章节后,即可组织成一组通用伺服电机系统。为使初学者易于学习,控制器部分从较基础的控制模块讲起,介绍必要的基础知识,再介绍复杂功能的控制模块,让读者以后面对其他型号控制器也能快速入手。读者通过对本书的学习后,应对伺服电机的应用有所了解。

本书首先介绍伺服驱动器的工作概要,让读者知道需要调整的必要参数,以及调整后的效果。其次介绍驱动器与控制机器人工接线方法,让读者具备信号连接及调试能力。再介绍伺服控制器的基本功能及参数设置,使读者能应用伺服电机基本控制功能。最后介绍如何依据机构负载特性,计算并选用伺服电机及步进电机。

本书主要介绍伺服电机的基本应用,以后如有机会可再向读者介绍PLC控制程序设计的个人经验,并将设备控制与伺服控制一体化设计,希望能提供给读者新的思路。

笔者仅将过去的工作经验及从事自动化教育的心得整理成册,供有心学习伺服电机应用技术者参考,希望能事半功倍,从节省读者自我摸索的时间,快速进入相关应用领域。

笔者才疏学浅,书中难免有谬误之处,各位学界、业界同仁敬请不吝赐教、指正。

目 录

第 1 章 通用伺服驱动器的应用

1.1	伺服电机的结构	1
1.1.1	伺服电机驱动器	1
1.1.2	交流同步电机	2
1.1.3	编码器	2
1.1.4	伺服驱动器的电源线	3
1.1.5	驱动器的制动阻抗	4
1.2	伺服驱动器的工作原理	5
1.2.1	位置控制单元	6
1.2.2	速度控制单元	12
1.2.3	驱动单元	20
1.2.4	完整的伺服电机驱动器	21
1.3	驱动器增益参数调整	21
1.3.1	手动调整增益参数	21
1.3.2	自动调整增益参数	22
1.3.3	PI 与 PID 的差别	22
1.3.4	增益与时间的问题	22
1.3.5	比例控制模式	23
1.4	V command(速度伺服)的介绍	23
1.5	P command 与 V command 的比较	24
1.6	T command(转矩伺服)的介绍	25
1.7	T command 与 P command, V command 的比较	26
1.8	驱动器电子齿轮比设置	27
1.8.1	以电机最高转速为目的的设置	27
1.8.2	以机构分辨率为目的的电子齿轮比设置	28
1.8.3	电子齿轮比设置实例	29

1.8.4 电子齿轮比设置讨论	32
本章重点	34
本章习题	35

第 2 章 伺服控制系统的连接

2.1 基本电学知识	37
2.1.1 基本电学的重要性	38
2.1.2 基本回路	38
2.2 基本回路应用于通信	39
2.2.1 通信的要素	40
2.2.2 通信要素的分辨	40
2.2.3 SERVO ON 的说明	43
2.2.4 脉冲指令	43
2.3 三菱 FX2N-1PG 硬件接线	44
2.3.1 正转脉冲及反转脉冲的信号接入	46
2.3.2 P command 指令信号	48
2.3.3 计数器 CLR 接线	49
2.3.4 零相脉冲接线	50
2.3.5 原点检测接线	51
2.3.6 驱动器其他必要引脚的连接	52
2.3.7 完整的接线	53
2.3.8 差动元件接线	53
2.3.9 信浓电机的伺服驱动器接线	55
2.3.10 PANASONIC 伺服驱动器接线	58
2.3.11 YASKAWA 伺服驱动器接线	59
2.4 OMRON NC213 伺服控制模块接线	60
2.5 步进电机接线	67
本章重点	70
本章习题	71

第 3 章 伺服控制器应用

3.1 三菱 FX2N-1PG 模块	74
3.1.1 JOG 运行	75
3.1.2 go home 机械原点复位运行	80

3.1.3	坐标单位参数设置	89
3.1.4	一速位置定位运行	92
3.1.5	二速位置定位运行	94
3.1.6	缓冲寄存器#3 寄存器其他设置	96
3.2	OMRON NC213 模块	96
3.2.1	NC213 模块硬件安装及参数设置	97
3.2.2	JOG 运行	116
3.2.3	go home 机械原点复位运行	117
3.2.4	定位运行	118
本章重点	140
本章习题	141

第 4 章 硬件接线及控制程序实验

4.1	FX2N-1PG 开路接线	143
4.2	寄存器定义	144
4.3	JOG 操作试验	146
4.4	脉冲接收试验	147
4.5	将 C235 仿真成位置计数器	149
4.6	仿真原点复位动作	150
4.7	绝对坐标一速定位	152
4.8	相对坐标一速定位	154
4.9	其他参数设置	155
4.10	复合单位运行	155
4.11	完整的实验程序	157
本章重点	159
本章习题	160

第 5 章 伺服电机与步进电机的选用

5.1	转动惯量的物理定义	161
5.2	转动惯量与转矩的关系	162
5.3	负载惯量的计算	162
5.3.1	圆筒状物体旋转, 旋转轴在圆筒中心	162
5.3.2	圆筒状物体旋转, 旋转轴不在圆筒中心	163
5.3.3	长方体物体旋转, 旋转轴不在长方体中心轴上	164

5.3.4	直线运动物体	164
5.3.5	悬吊物体	165
5.4	机构经加速或减速后负载惯量的计算	165
5.5	负载转矩的计算	166
5.5.1	直线运动负载转矩	166
5.5.2	旋转运动负载转矩	167
5.5.3	上下垂直运动负载转矩	168
5.5.4	加速转矩及减速转矩	168
5.5.5	运动转矩	170
5.5.6	瞬时负载转矩	171
5.6	伺服电机的选用	172
5.7	步进电机的选用	173
5.8	单位换算	174
5.8.1	转矩单位换算	174
5.8.2	惯量单位换算	174
5.9	电机选用实例	175
5.9.1	计算惯量	175
5.9.2	计算负载转矩	176
5.9.3	计算加速转矩	176
5.9.4	与选用电机转矩比较	176
5.9.5	计算连续瞬时转矩	176
5.9.6	选用结果	177
5.10	伺服电机与步进电机的差别	177
5.10.1	步进电机原点复位的讨论	177
5.10.2	步进电机的优点	178
5.10.3	伺服电机原点复位的讨论	178
5.10.4	步进电机一般为低速运行	178
5.10.5	步进电机结构简单	179
5.10.6	步进电机的选用原则	180
5.10.7	伺服电机的选用原则	180
	本章重点	181
	本章习题	181
	附录 A 习题解答	183
	附录 B 自动控制系统专业名词说明	201

第 1 章 通用伺服驱动器的应用

1.1 伺服电机的结构

使用伺服电机,当然要知道什么是伺服电机、其结构如何。伺服是跟随的意思,伺服电机就是希望电机依指令信号作位置、速度或转矩的跟随控制。

图 1.1 所示虚线内为伺服电机系统,分为伺服驱动器及伺服电机两部分。小型交流伺服电机一般采用永磁同步电机作为动力源。也有采用直流电机为动力源的伺服电机,但目前已较少应用。早期由于直流电机的转矩特性比交流电机的转矩特性好,因此采用直流电机。由于现代变频技术的发展,交流电机的转矩特性已接近直流电机的转矩特性,而直流电机又存在不易保养的特点,因此直流电机渐渐被交流电机所替代。

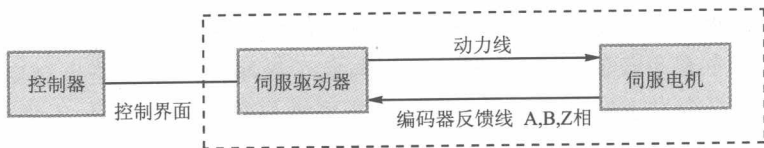


图 1.1 伺服电机的结构

1.1.1 伺服电机驱动器

伺服电机必须有驱动器才能旋转,因此市面上所称伺服电机包含伺服驱动器。一组伺服电机由电机与驱动器匹配组成,由制造厂家将电机与驱动器匹配到最佳状态,用户最好不要随意混合搭配。

通用交流伺服电机驱动器依据控制方法,一般分为三种控制信号模式:P command(位置伺服),V command(速度伺服),T command(转矩伺服)。较通用的控制方法为 P command 及 V command。

伺服驱动器与伺服电机之间只要型号匹配,用户就无需考虑其控制信号模式;相对的,伺服控制器必须配合伺服驱动器,一般小型 PLC 控制器较常采用 P command(位置伺服)控制模块,中大型 PLC 控制器或专用

控制器才有 V command(速度伺服)模块可选用。

另外,有些伺服电机专用控制器是针对伺服电机特殊应用而开发的,也可能专为某些产品而开发制造,采用哪种控制信号模式因设计师个人设计理念而定,或采用控制器与驱动器一体设计,或采用通信网络式远程控制,这些不是通用伺服电机讨论的范围,但工作理论及工作模式是相同的。T command 与 P command 及 V command 之间的用途差异较大,如应用于卷绕、检测等方面。

1.1.2 交流同步电机

所谓同步电机,即转子旋转速度与旋转磁场速度同步的电机,如图 1.2 所示。同步电机电枢绕组配置在定子上,转子磁极可使用直流电源激磁或使用永久磁铁。一般同步电机无法自行启动,必须加启动器或变频器作加速启动。如果直接加 60 Hz 的电源于电机上,因旋转磁场速度太快,而电机转子惯性太大,将无法自行启动旋转。

同步电机虽然以同步速度旋转,但事实上并非每一瞬间的转速都固定。因为转子转矩是转子磁场及定子磁场相互作用产生的,所以当负载大小突然变化时,就会导致转子与定子间角度发生变化,称为跟踪(hunting)。如果负载加得太大,转子磁场与定子磁场间的角度差也会变大,转子甚至会发生失步而停止旋转。同步电机与感应电机不同,不需要转子感应定子磁场产生激磁电流,因此不产生转差,也无法自行启动。所以,同步电机不是同步旋转就是失步停转。

1.1.3 编码器

为了达到伺服的目的,在电机输出轴同轴装上 encoder(编码器)。电机与编码器为同步旋转,电机转一圈编码器也转一圈;转动的同时将编码信号送回驱动器,驱动器根据编码信号判断伺服电机转向、转速、位置是否正确,据此调整驱动器输出电源频率及电流大小。也可采用被称为 resolver(角传感器)的元件,但其目的相同,对用户而言无甚差异。

encoder(编码器)所反馈的脉冲信号的 A 相与 B 相(参见图 2.21 及图 2.22)相位相差 90° ,分别代表正转及反转。每组脉冲可分解为 a, b 两个前缘和 c, d 两个后缘微分脉冲,合计为 4 倍的单相脉冲。如图 1.3 所示。我们看到的伺服电机转速或位置的分辨率,就是由 encoder(编码器)

每圈的 A 相或 B 相脉冲数量的 4 倍决定的。

encoder(编码器)所反馈的脉冲信号还有 Z 相,或称为 C 相、零相脉冲。电机每转 1 圈产生 1 个零相脉冲,主要用于伺服电机原点复位的参考定位。

所以当制造商标注电机的 encoder(编码器)分辨率时,必须分清是脉冲数还是乘上 4 倍后的分辨率。

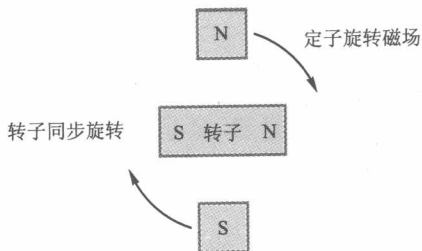


图 1.2

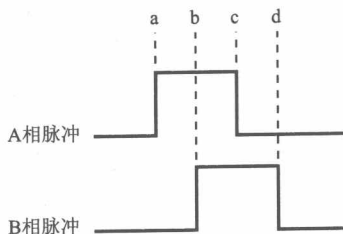


图 1.3

1.1.4 伺服驱动器的电源线

伺服驱动器的接线如图 1.4 所示,电源线规格必须与电机容量相匹配。较大功率电机的伺服驱动器输入电源(一次侧)为三相电源,小功率电机的伺服驱动器可接单相电源运行。

伺服驱动器输出端(二次侧)必定为多相输出,以便形成旋转磁场,所以必定为三相输出电压,再加上接地线。

接线时,输出电压的相序必须正确;否则,伺服电机旋转方向并不会

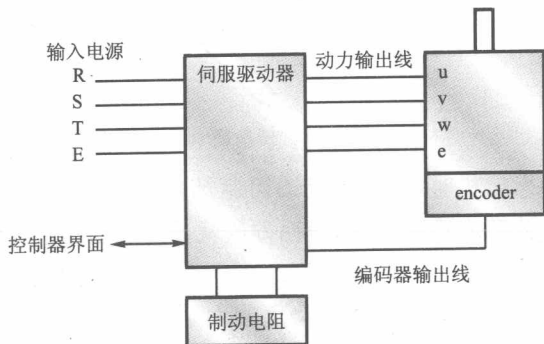


图 1.4 伺服驱动器接线示意图

反向旋转,而是根本无法旋转,因伺服驱动器输出相序与编码器旋转方向是匹配的,不可任意变动。绝对不可将市用电源直接接上电机,否则只会造成损坏。

伺服驱动器输出线通常由用户自行接线,供应商只提供正确的接线说明。encoder 编码器的接线较为专业,可由厂家接线测试无误后交货,避免不必要的故障发生。

1.1.5 驱动器的制动阻抗

同步电机可作为电动机旋转,也可作为发电机发电。伺服电机加速旋转时相当于电动机,但减速旋转时就转为发电机,这是旋转电机的特性。根据弗莱明左手定则及弗莱明右手定则、楞次定律可解释这种现象,如图 1.5、图 1.6 和图 1.7 所示。

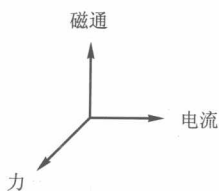


图 1.5 弗莱明左手定则



图 1.6 弗莱明右手定则

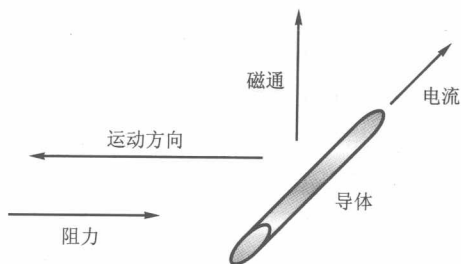


图 1.7 楞次定律

电机转为发电机时,电流将反馈回驱动器,电机轴产生阻力,驱动器必须将多余电流转成热能消耗,消耗方法就是加制动阻抗,将电流导入制动阻抗转成热能。

制动阻抗的容量随电机功率及负载大小不同,供应商一般提供相应的规格,以便选用。

小功率伺服电机驱动器内部一般配置容量足够的制动阻抗,大功率

伺服电机驱动器一般外加制动阻抗,与变频器使用的方法相同。

已配合制动时间选定的制动阻抗容量,不会因阻抗容量增加就改变制动效果;也不会因为有制动阻抗,伺服电机才有制动减速功能。用户不要混淆。

电机轴产生的制动阻力不单是旋转减速时发生,在电机电源引出线接上驱动器的情况下,人为转动电机轴,也将感觉有阻力出现;如果将电机电源引出线拆除,则阻力消失。这是楞次定律的表现,即导体于磁场中垂直方向移动将产生阻力。

1.2 伺服驱动器的工作原理

伺服驱动器的工作目的,主要是根据伺服控制器送出的指令(P, V, T)工作。同步电机并非完全同步于旋转磁场,驱动器必须进行修正工作,使电机工作稳定不失步。所以,驱动电机正确跟随控制指令工作是伺服驱动器的主要工作任务。

以下采用通用伺服电机系统 P command(位置伺服)为例,说明驱动器的基本原理及各项必要的调整参数。因为位置伺服驱动器具备完整的驱动器元件。

位置伺服驱动器系统方框图,如图 1.8 所示。

位置伺服驱动器内部包含:位置控制单元、速度控制单元和驱动单元。驱动器与伺服电机之间为闭环控制系统,驱动器由编码器送回数据进行控制修正工作。各厂家伺服电机驱动器的软硬件设计均有差异,例

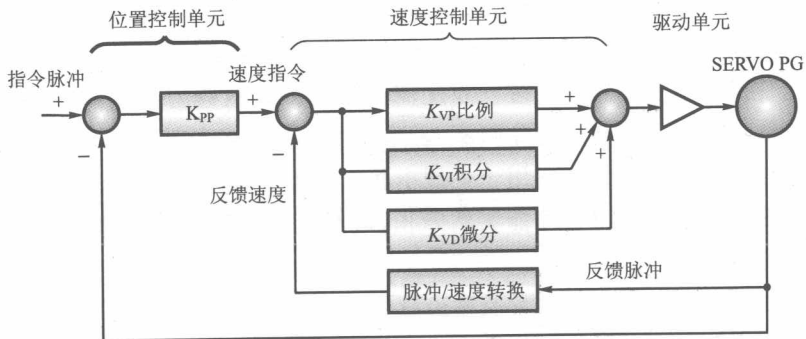


图 1.8 位置伺服驱动器系统方框图

如编码器为通称,也有使用角传感器的,但基本控制结构及原理是相同的。

指令脉冲经过伺服驱动器内电子齿轮增减频率,详细说明见 1.8 节。

1.2.1 位置控制单元

伺服电机驱动器必须设置位置增益参数(K_{PP}),伺服驱动器位置控制单元采用比例控制系统,所以应称为位置比例增益参数。调整位置比例增益参数又称为伺服电机刚性调整。

将指令脉冲数与编码器反馈脉冲数进行比较,称为偏差计数。位置控制单元将偏差量转换成修正位置的速度指令,由速度控制单元处理后送驱动单元进行电机驱动。因此,速度指令的幅度大小就可由 K_{PP} 位置比例增益参数来决定。 K_{PP} 参数设置越大,控制反应越迅速,称为刚性较硬;反之,称为刚性较软。将速度控制单元及驱动单元进行简化,如图 1.9 所示。

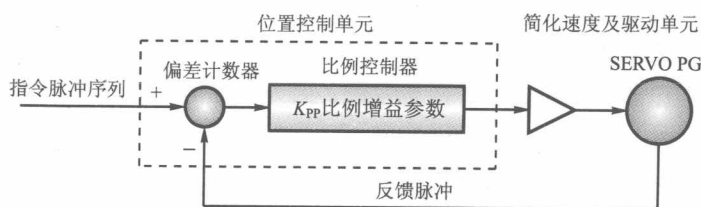


图 1.9 位置控制单元

因控制器输出的驱动信号与输入关系只是一个比例增益常量关系,所以称为比例控制器,而其输入信号是控制器指令脉冲与伺服电机编码器产生反馈脉冲的偏差量,偏差量经比例控制器乘上比例增益常量 K_{PP} 再送往下一级控制单元处理。在此需注意偏差计数器的功能,如果将偏差计数器输出于旋转中清除归零,表示速度指令下降为零,则伺服电机将突然停止。这种特性将应用于伺服电机原点复位运行模式,但也需要考虑在多大的速度下电机才能突然停止,即对电机及机构而言是否可承受此冲击载荷。

位置控制单元的输入量及输出量是不同的,输入量为位置的偏差量,经控制器处理后的输出量转换为速度的量。因此,在进行位置控制,当前位置不等于设置位置时,需要输出与位置误差量相反方向的速度进行

修正；当前位置等于设置位置时，速度的输出必须为零。

偏差计数器不同于一般函数减法器，其进行的是两输入端脉冲数量互抵的动作，虽然最终必定互抵为零，但接收指令脉冲发送时，与反馈脉冲间存在延迟时间差，这就是偏差量成因之一。另一部分偏差量是因为外力产生的，当电机停止因负载变化形成位移时，就造成偏差量的产生，也反应了修正输出的必要性。而比例控制器要对修正输出的幅度作控制。

实际的驱动器硬件，位置控制单元对脉冲频率另有函数处理，在此不作讨论。

1. 位置比例增益参数 K_{PP} 的影响

将 K_{PP} 参数以阶跃输入对时间的暂态响应说明。比例控制器单位阶跃响应如图 1.10 所示，曲线最高点至设置点间的距离称为最大超调量，输出值 0.1~0.9 的时间称为上升时间，输出值由 0 进入 0.95~1.05 的时间称为稳定时间。

当 K_{PP} 值增大时，伺服电机对位置有较好的响应，一般称为刚性较硬；但也容易产生振动及噪音，也就是进入不稳定状态。

K_{PP} 值调整后，效果将反应在伺服电机定位及停止时。由阶跃响应图中观察， K_{PP} 值增大时，上升时间减短，可快速到达设置点，相对的最大超

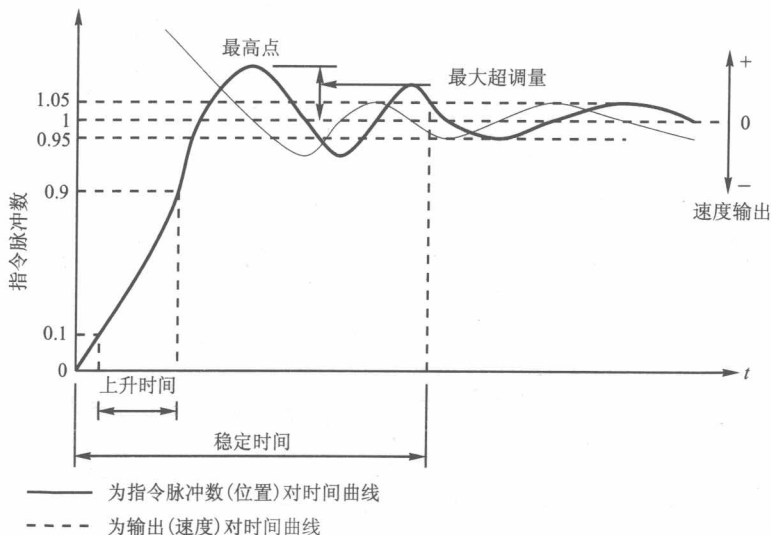


图 1.10 比例控制器单位阶跃响应

调量随之增加。因此,必须考虑以下因素。

① 机构是否能接受较大超调量。

② 较短的上升时间并不表示能缩短稳定时间。

③ K_{PP} 值减少时,上升时间延长,需要较长的时间才能到达设置点,最大超调量减少,但并不一定表示系统稳定时间将延长。

针对以上情况进行 K_{PP} 值的调整,求得的最短稳定时间即为最佳值。测量系统稳定时间需要适当的仪器,在无适当的仪器或工具进行辅助时,只能以人工进行调整及判断 K_{PP} 值是否适用。如图 1.11~图 1.13 所示。

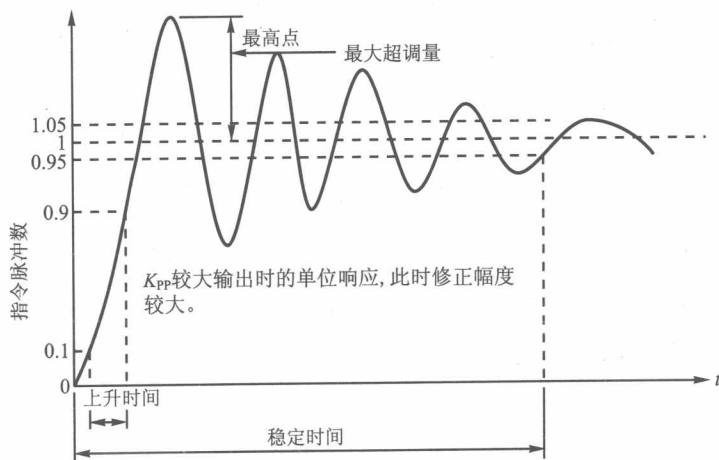
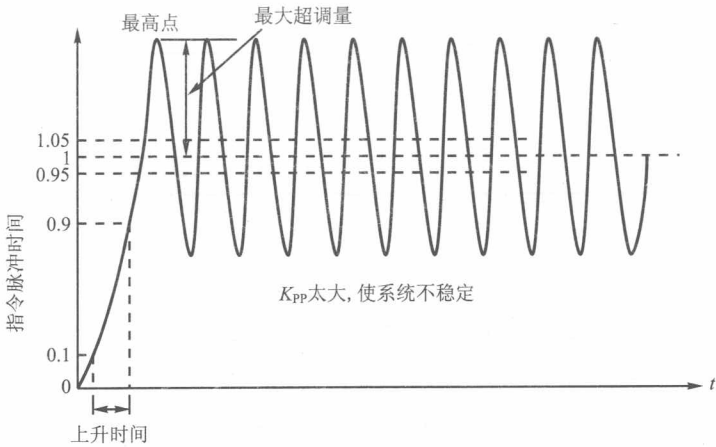
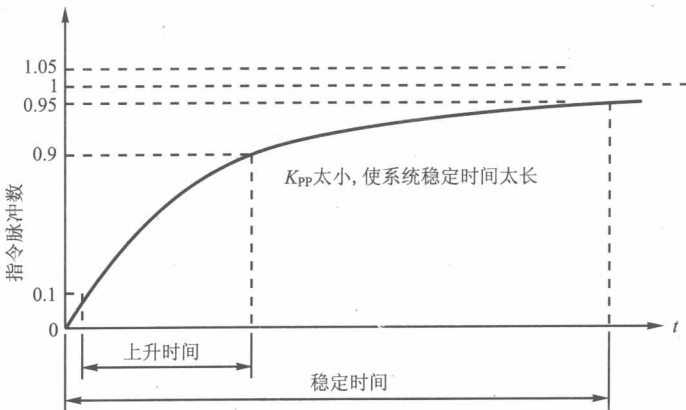


图 1.11 K_{PP} 较大时的单位响应

2. K_{PP} 值调整判断标准

K_{PP} 值的调整,实际上是介于快速与稳定性之间的取舍。为求快速而将 K_{PP} 值调大,则上升时间缩短、超调量增加、系统不稳定性增加,最终将导致系统振荡而无法使用。以图 1.14 为例,说明如下。

假设车子在直线道路上行走,规定车子必须停于 $1000 \pm 5\text{m}$ 范围内。如果以 50%油门加速,到达目标位置时车子速度为 100km/h ,则制动距离为 100m ,即超过目标位置 100m 。驾驶员为到达目的地,将车子调头并以 50%油门加速,若到达目标位置时车子速度为 50km/h ,则制动距离为 50m 。这时,再将车子调头并以 50%油门加速,到达目标位置时车子速度为 30km/h ,则制动距离为 10m ……如此往复,车子终将停在目的地 $\pm 5\text{m}$ 范围内。

图 1.12 K_{PP} 太大时的单位响应图 1.13 K_{PP} 太小时的单位响应

如果将油门增加至 90% 行驶, 情况可能完全不同。车子以 90% 油门加速, 到达目标位置时速度为 140km/h, 制动距离为 150m, 即超过目标位置 150m。驾驶员为到达目的地, 将车子调头并以 90% 油门加速, 到达目标位置时速度为 140km/h, 制动距离为 150m。于是驾驶员再将车子回头再以 90% 油门加速, 到达目标位置时速度为 140km/h, 制动距离为 150m……如此往复, 由于车子每次制动距离均为 150m, 每次到达目标位置时速度均为 140km/h, 因此车子将永远无法到达目标位置 $\pm 5\text{m}$ 范围内。这相当于系统进入不稳定状态。