

高等教育工程技术系列规划教材

全数字控制直流驱动器 及通用变频器

金晓晨 齐珂 主编 周建洪 主审



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

高等教育工程技术系列规划教材

全数字控制直流驱动器 及通用变频器

金晓晨 齐珂 主 编
周建洪 主 审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书把电力拖动自动控制系统课程的主要内容与现场应用技术紧密结合起来,主要讲述目前工业企业广泛使用的全数字控制直流电动机驱动器和用于三相异步电动机调速的通用变频器的基本原理、控制功能和使用方法,并以西门子直流驱动器 6RA70 系列和通用变频器 6SE70 系列为实例,介绍其结构、功能模块、参数设定和应用。本书对培养学生具备从事工业企业电力传动系统的维护、应用和设计的实际工作能力有一定的帮助。

本书可作为高等职业技术学院、应用型本科院校工业自动化专业的教材,也可作为企业从事交直流驱动器应用的工程技术人员的培训教材或参考资料。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

全数字控制直流驱动器及通用变频器/金晓晨,齐珂主编. — 北京:电子工业出版社,2011.6

高等教育工程技术系列规划教材

ISBN 978-7-121-13753-2

I. ①全… II. ①金… ②齐… III. ①数字控制-直流电动机-控制器-高等学校-教材
②数字控制-三相异步电动机-变频器-高等学校-教材 IV. ①TM33 ②TM343

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 104568 号

策划编辑:王昭松

责任编辑:毕军志

印 刷: 北京京师印务有限公司

装 订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 10.5 字数: 268.8 千字

印 次: 2011 年 6 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 27.00 元

凡所购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

近 20 年来,全数字交、直流电动机驱动器已在工业中得到了广泛的应用,但在传统的《电力拖动自动控制系统》(或称《运动控制系统》)等一些控制系统参考书中还是以模拟系统为主,因此在此类图书中引入数字系统内容是十分必要的,本书正是为适应这一需要而编写的。

本书在编写过程中着重突出以下几个方面:

第一,理论深度以够用为度,力求基本概念清晰,简化公式推导,用实例强化概念的应用,注重应用能力的培养。

第二,本书共分两篇:第一篇(第 1~5 章)主要介绍全数字控制直流驱动器,以双闭环可逆调速系统为基础,扩展到转矩控制、位置控制、开卷/卷取控制等功能;第二篇(第 6~9 章)主要介绍了交-直-交电压源型通用变频器的结构、调速原理和应用技术, V/f 控制方式及功能模块。对通用变频器应用技术中占有重要地位的开环/闭环矢量控制,简化了复杂的数学推导,主要讲述基本原理、功能框图和应用场合。

第三,教材选择西门子直流驱动器 6RA70 系列和通用变频器 6SE70 系列为实例,并以较多的篇幅介绍其结构、功能模块、参数设定和应用。这样安排的原因是,这类装置在理论和应用技术上具有代表性,且厂家提供的资料比较详细,经过摘录和编写组成的应用实例,能起到强化理论和概念应用的作用。

本书第 2、4、7、8、9 章由辽宁科技大学金晓晨编写,第 1、3、5、6 章由齐珂编写,周建洪审阅了全书,谢元旦对本书的编写给予了全面的指导。

本书编写过程中参考了西门子公司的技术资料,并得到了西门子(中国)有限公司任术才高级工程师的大力帮助,在此表示真诚的感谢。

本书存在许多不足和需要改进之处,希望各位同行和读者提出宝贵的建议和意见。

编 者
2011.4

目 录

第一篇 全数字控制直流电动机驱动器

第 1 章 直流调速系统基础	2
1.1 绪论	2
1.2 他励直流电动机等效传递函数	3
第 2 章 单闭环直流调速系统	6
2.1 直流电动机调速方法	6
2.2 转速控制的要求和调速指标	7
2.3 转速负反馈有静差调速系统	10
2.3.1 开环直流调速系统	10
2.3.2 单闭环直流调速系统	11
2.4 电压负反馈和电流正反馈调速系统	16
2.5 转速负反馈无静差调速系统	19
第 3 章 转速、电流双闭环直流调速系统	23
3.1 具有电流约束条件的理想启动过程	23
3.2 转速、电流双闭环调速系统组成及其静特性	25
3.3 双闭环调速系统的动态性能	27
3.4 双闭环调速系统工程设计方法	30
3.4.1 典型系统	31
3.4.2 双闭环调速系统调节器的设计	32
3.5 双闭环调速系统的自适应控制	36
3.5.1 电流自适应调节器	36
3.5.2 转速自适应调节器	37
3.6 带励磁控制的双闭环调速系统	39
3.7 可逆调速系统	41
3.7.1 晶闸管-电动机(V-M)可逆调速系统的基本结构	42
3.7.2 逻辑控制的无环流可逆调速系统	43
第 4 章 全数字控制直流电动机驱动器 SIMOREG DC MASTER 6RA70 系列	47
4.1 直流电动机驱动器简介	47
4.2 硬件组成	48
4.3 基本功能模块	52
4.4 安全停车、电动电位计、给定值处理	57

4.5	斜坡函数发生器	59
4.6	速度调节回路	61
4.6.1	速度调节器	62
4.6.2	转矩限幅器	67
4.6.3	速度限幅调节器	68
4.6.4	电流限幅器	70
4.7	电流调节回路	71
4.8	励磁回路	74
4.8.1	EMF(反电动势)调节功能模块	74
4.8.2	励磁电流闭环控制和励磁触发单元	77
第5章	直流电动机驱动器应用实例	79
5.1	同步、牵引、速比、主动/从动控制	79
5.2	冷连轧机主传动速度控制和张力控制	81
5.3	卷取、开卷机张力控制	83

第二篇 通用变频器

第6章	三相异步电动机的变频调速	88
6.1	变频技术	88
6.1.1	变频器技术的发展	88
6.1.2	变频器的基本类型	89
6.2	三相异步电动机变频调速的机械特性	94
6.2.1	三相异步电动机的机械特性	94
6.2.2	三相异步电动机的变频调速原理	95
6.2.3	三相异步电动机的制动原理	96
6.3	通用变频器的应用领域及意义	97
第7章	通用变频器的基本结构	98
7.1	通用变频器简介	98
7.2	整流电路	99
7.3	中间直流电路	101
7.3.1	制动单元和制动电阻	101
7.3.2	回馈制动	103
7.3.3	公用直流母线多电动机传动系统	105
7.4	逆变电路	106
7.4.1	绝缘栅双极型晶体管	106
7.4.2	脉宽调制技术	107
第8章	变频调速控制算法	111
8.1	变频调速控制算法简介	111

8.2	V/f 控制方法	112
8.2.1	V/f 控制	112
8.2.2	西门子 6SE70 系列变频器 V/f 控制算法	117
8.3	矢量控制	126
8.3.1	直流电动机和异步电动机的电磁转矩	126
8.3.2	转子磁场定向的异步电动机矢量控制基本原理	128
8.3.3	转子磁场定向闭环矢量控制系统	128
8.3.4	西门子 6SE70 系列变频器闭环矢量控制算法	130
8.3.5	西门子 6SE70 系列变频器转子磁场定向的开环矢量控制	132
8.4	启动、制动及掉电通过方式	133
8.4.1	减速	133
8.4.2	直流制动	134
8.4.3	掉电通过	135
8.4.4	瞬停再启动	136
第 9 章	系统设计及应用实例	138
9.1	通用变频器的选择	138
9.1.1	负载转矩特性	138
9.1.2	负载电流	142
9.1.3	通用变频器与电动机的匹配	143
9.2	通用变频器功率部分配置	144
9.3	通用变频器的干扰及对策	145
9.3.1	通用变频器的 EMC	146
9.3.2	电磁干扰抑制措施	147
9.4	通用变频器应用实例	149
9.4.1	实例 1: 西门子 6SE70 系列变频器控制部分接线	149
9.4.2	实例 2: 风机的变频调速系统	154
参考文献		159

第一篇 全数字控制 直流电动机驱动器

直流调速系统基础

1.1 绪 论

直流电动机在电力拖动系统中具有两个突出的优点。首先,直流电动机具有良好的启动、制动和调速性能,主要是低速时能够稳定运行和输出额定转矩,启动转矩高,在恒功率区有较大的调速范围,等等。例如,轧钢机、造纸机、龙门刨等对启动和调速性能要求较高的设备,很长一段时间都采用直流调速系统。另外,由于直流电动机的数学模型较为简单、准确,使得直流调速控制系统的分析、计算及设计也较为容易,直流调速控制系统的理论分析和实际运用都比较成熟、经典,而且从反馈闭环控制的角度来看,它又是交流调速系统的基础。

直流电动机也具有它不可克服的缺点,即由换向器和电刷组成的机械换向装置,运行时会产生电火花和电磁干扰,电刷易磨损,需定期维护、更换。由于直流电动机在应用中存在着这样一些限制,使得直流调速系统的发展也相应受到限制。在许多工业应用中,直流调速系统正逐步被高性能的交流调速系统取代。但是目前工业生产中许多场合仍然沿用以往的直流电动机,因此,在今后相当长的一个时期内,直流调速系统和交流调速系统并存。稳定、可靠的直流调速系统仍是电力拖动领域的重要组成部分。以带钢冷连轧机架主动传动为例,它对调速系统的动态响应和控制精度要求很高,这两项指标直接影响到冷连轧机的生产效率和质量控制,也是对带钢厚度和轧钢张力进行精细控制不可或缺的手段。长期以来,冷连轧主传动一直被直流调速系统所占领。近年来,新建的冷连轧机都采用交流拖动,大功率的交—交变频系统已有 20 年的历史,现在用得更多的是交—直—交变频系统。

目前,工业用的直流电动机驱动器已是全数字化产品,具有使用方便、调速性能好、精度高、控制功能丰富、稳定、可靠等一系列优点。作为工业基础自动化系统的一个重要组成部分,直流电动机驱动器具有控制、监测、保护、通信等全部必备的功能。

市场上各种型号的直流电动机驱动器,尽管在功能和性能上有一定的差别,但其结构和使用方法基本相同。功率部分,单象限驱动器电枢由晶闸管三相全控桥供电,四象限驱动器电枢由两个晶闸管三相全控桥无环流反并联连接的电路供电,励磁供电采用 2 脉冲晶闸管单相半控桥电路。调速系统数字控制部分采用传统的由电流环和速度环组成的双闭环调速方案。驱动器还提供模拟量输入/输出、开关量输入/输出、PID 调节器、运算、逻辑和通信等功能模块,经组态扩展基本装置的功能,如构成张力控制系统、位置

控制系统等。在各种工艺软件的配合下,直流电动机驱动器可以满足各种应用场合对直流调速系统提出的要求。

全数字控制直流电动机驱动器发展至今,就像直流调速系统理论分析一样成熟、经典,已完全取代了模拟控制的直流电动机驱动器。从应用角度来考虑,本篇主要介绍全数字控制直流电动机驱动器的工作原理和应用技术。但是由于模拟系统物理概念清晰,为了便于读者理解和掌握,对建立转速、电流双闭环直流调速系统的基本概念和控制方法的过程仍按连续系统进行讲述。

1.2 他励直流电动机等效传递函数

额定励磁下他励直流电动机的等效电路如图 1-1 所示。

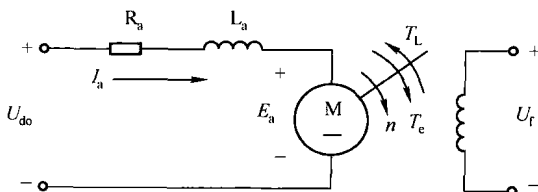


图 1-1 额定励磁下他励直流电动机的等效电路

由图 1-1 列出如下微分方程

$$U_{do} = R_a I_a + L_a \frac{dI_a}{dt} + E_a$$

$$E_a = C_e \Phi n$$

$$T_e - T_L = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt}$$

$$T_e = C_m \Phi I_a$$

$$T_L = C_m \Phi I_L$$

式中 R_a ——电动机电枢电阻 (Ω);

L_a ——电动机电枢电感 (H);

I_a ——电枢电流 (A);

U_{do} ——电枢电压 (V);

T_e ——额定励磁下电磁转矩 ($N \cdot m$);

T_L ——电动机轴的负载转矩 ($N \cdot m$);

n ——转速 (r/min);

E_a ——电枢反电动势 (V);

C_e ——电动势常数 ($V/(r/min)$);

C_m ——转矩常数 ($N \cdot m/A$);

I_L ——负载电流 (A);

GD^2 ——电力拖动系统运动部分折算到电动机轴上的总飞轮惯量 ($N \cdot m^2$, 有时也采

用单位 $\text{kg} \cdot \text{m}^2$);

Φ ——每极磁通 (Wb)。

由上述方程可得

$$U_{\text{do}} - E_a = R_a I_a + L_a \frac{dI_a}{dt} \quad (1-1)$$

$$I_a - I_L = \frac{GD^2}{375 C_m C_e \Phi^2} \cdot \frac{dE_a}{dt} \quad (1-2)$$

定义下列时间常数: $T_i = \frac{L_a}{R_a}$ 为电枢回路电磁时间常数 (s); $T_m = \frac{GD^2 \cdot R_a}{375 C_m C_e \Phi^2}$ 为电动机的机电时间常数 (s)。电动机的机械惯性主要反映在飞轮惯量 GD^2 上, 由于 T_m 正比于 GD^2 , 因此 T_m 是表征机械惯量的一个非常重要的物理量。

将上述时间常数代入微分方程 (1-1) 和 (1-2) 中, 在零初始条件下, 取微分方程两侧拉氏变换, 得电压与电流间的传递函数

$$\frac{I_a(s)}{U_{\text{do}}(s) - E_a(s)} = \frac{1/R_a}{T_i s + 1} \quad (1-3)$$

电流与电动势之间的传递函数为

$$\frac{E_a(s)}{I_a(s) - I_L(s)} = \frac{R_a}{T_m s} \quad (1-4)$$

式 (1-3) 和 (1-4) 的结构图分别画在图 1-2 (a) 和 (b) 中, 将它们合在一起, 并考虑到 $n = E_a / C_e \Phi$, 即得额定励磁下他励直流电动机的动态结构图, 如图 1-2 (c) 所示, 也可以用图 1-2 (d) 表示。

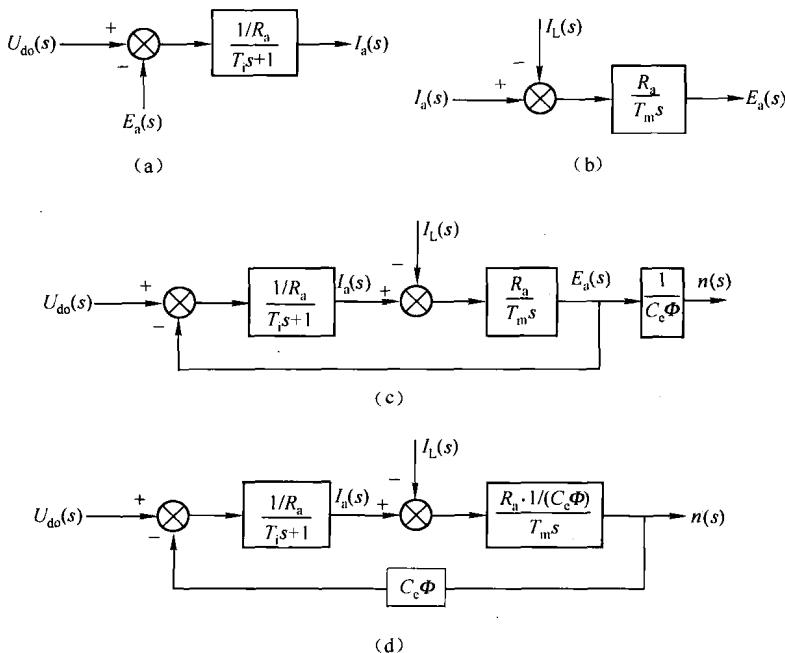


图 1-2 额定励磁下他励直流电动机的动态结构图

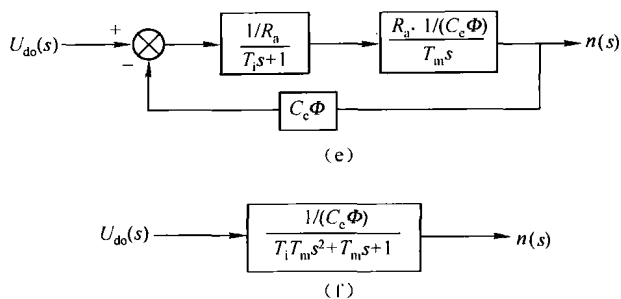


图 1-2 额定励磁下他励直流电动机的动态结构图 (续)

由图 1-2 (c) 可以看出, 直流电动机有两个输入量, 一个是理想空载整流电压 U_{do} , 另一个是负载电流 I_L ; 前者是控制输入量, 后者是扰动输入量。如果是理想空载, 则 $I_L = 0$, 结构图简化成图 1-2 (e), 将前向通道中两个串联环节合并, 再将反馈环节等效变换即求得对象的等效传递函数 $n(s)/U_{do}(s)$, 如图 1-2 (f) 所示。

单闭环直流调速系统

本章将介绍单闭环直流调速系统的组成、工作原理和系统的静态特性、动态特性的分析计算。对于全数字控制直流驱动器，采用单闭环调速系统已无任何实际意义。但通过对单闭环直流调速系统的讨论，可以逐步建立直流调速系统的基本概念，为第3章转速、电流双闭环直流调速系统打好基础。

2.1 直流电动机调速方法

如图 2-1 所示为他励直流电动机的接线。

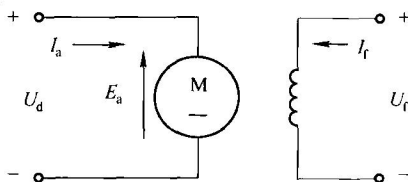


图 2-1 他励直流电动机的接线

直流电动机的转速与电动机其他量的关系为

$$n = \frac{U_d - I_a R_\Sigma}{C_e \Phi} \quad (2-1)$$

式中 R_Σ ——电枢回路总电阻 (Ω)。

根据式 (2-1)，全数字控制直流驱动器的调速方法如下：

- (1) 调节电枢电压 U_d ——额定转速以下调压调速。
- (2) 减弱励磁磁通 Φ ——额定转速以上弱磁升速，但只能在额定转速以上至弱磁最高转速的范围内调速。

表 2-1 是国产 Z4 系列，型号为 Z4—225—31 直流电动机的技术数据。以额定电压 400V 直流电动机为例，保持励磁电压 180V（满励磁），400V 以下调压调速，最高转速为 900r/min。额定转速 900r/min 以上，保持电枢电压 400V 不变，弱磁升速允许的最高转速为 2000r/min。除非特别说明，国产标准直流电动机的额定励磁电压是 180V。

表 2-1 Z4—225—31 直流电动机的技术数据

额定功率 (kW)	额定转速 (r/min)		弱磁转速 (r/min)	电枢电流 (A)	励磁功率 180V (W)	电枢回路 电阻 (Ω)	电枢回路 电感 (mH)	磁场电 感 (H)	效率 (%)	GD^2 ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)
	400V	400V								
81	900		2000	227	2580	0.093	3.4	5.3	86.9	6.2
90		1000							88	

2.2 转速控制的要求和调速指标

1. 转速控制要求

直流调速系统的转速控制要求主要指以下三方面。

(1) 调速：即在一定的转速范围内，有级或无级地调节转速。

(2) 稳速：以一定的精度在所需的转速上稳定运行，在各种扰动下不允许有过大的转速波动。

(3) 加、减速：经常频繁启动、制动的设备或正反转的设备要求速度变化尽量快，以满足系统快速性的要求。

能否满足以上三个方面的要求反映了调速系统性能的好坏。前两个要求是系统在稳态运行时的性能要求，可以用“调速范围”和“静差率”两个稳态性能指标来衡量；第三个要求是系统在动态调节过程中的要求，要用动态性能指标来衡量。

2. 稳态性能指标

1) 调速范围

生产机械要求电动机在额定负载下提供的最高转速 $n_{\max}$ 和最低转速 $n_{\min}$ 之比叫做调速范围，用 D 表示，即

$$D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} \quad (2-2)$$

其中，对于少数负载很轻的机械， $n_{\max}$ 和 $n_{\min}$ 也可用实际负载时的最高和最低转速来表示。

2) 静差率

当系统在某一转速下运行时，负载由理想空载增加到额定值时所对应的转速降落 Δn_N 与理想空载转速 n_0 之比，称做静差率 s ，即

$$s = \frac{\Delta n_N}{n_0} \quad (2-3)$$

或用百分数表示，即

$$s = \frac{\Delta n_N}{n_0} \times 100\% \quad (2-4)$$

显然，静差率用来衡量调速系统在负载变化时转速的稳定度，它与机械特性的硬度有关，在同一空载转速 n_0 下，机械特性的硬度越大，静差率越小，转速的稳定度就越高。

然而静差率和机械特性硬度又是有区别的。一般调压调速系统在不同转速下的机械特性是互相平行的，如图 2-2 中的特性 a 和 b ，两者的硬度相同，额定速降 $\Delta n_{Na} = \Delta n_{Nb}$ ；但它们的静差率

却不同,因为理想空载转速不一样。根据式(2-4)的定义,由于 $n_{0a} > n_{0b}$,所以 $s_a < s_b$ 。这就是说,对于同样硬度的特性,理想空载转速越低时,静差率越大,转速的相对稳定度也就越差。

3) 直流变压调速系统中调速范围、静差率和额定速降之间的关系

由上述分析可见,调速范围和静差率这两项指标并不是彼此孤立的,必须同时存在才有意义。在调速过程中,若额定速降相同,则转速越低时,静差率越大。如果低速时的静差率能满足设计要求,则高速时的静差率就更满足要求了。因此,调速系统的静差率指标应以最低速时所能达到的数值为准。

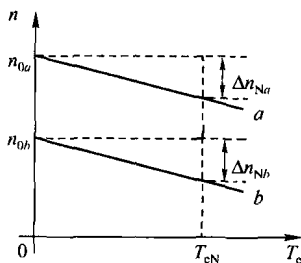


图 2-2 不同转速下的静差率

在直流电动机变压调速系统中,一般以电动机的额定转速 n_N 作为最高转速,若额定负载下的转速降落为 Δn_N ,则按照上面分析的结果,该系统的静差率应该是最低速时的静差率,即

$$s = \frac{\Delta n_N}{n_{0\min}} = \frac{\Delta n_N}{n_{\min} + \Delta n_N} \quad (2-5)$$

于是,最低转速为

$$n_{\min} = \frac{\Delta n_N}{s} - \Delta n_N = \frac{(1-s) \Delta n_N}{s} \quad (2-6)$$

根据式(2-2)可知调速范围为

$$D = \frac{n_N}{n_{\min}}$$

将式(2-6)代入,得

$$D = \frac{n_N s}{\Delta n_N (1-s)} \quad (2-7)$$

式(2-7)表示变压调速系统的调速范围、静差率和额定速降之间所应满足的关系。

对于同一个调速系统, Δn_N 值一定,由式(2-7)可见,如果对静差率要求越严,即要求 s 值越小时,系统能够允许的调速范围越小。一个调速系统的调速范围,是指在最低速时还能满足所需静差率的转速可调范围。

3. 动态性能指标

稳定的调速系统在运行中,如果输入信号发生变化或系统受到扰动,经历一段动态过程后,能达到新的稳态,除了稳态误差以外,在动态过程中输出量变化有多少?在多长时间内容能恢复稳定运行?这些要用动态性能指标来衡量,具体指标有以下几方面。

1) 跟随性能指标

在给定信号或参考输入信号的作用下,系统输出量 $C(t)$ 的变化情况可用跟随性能指标

来描述。给定信号变化方式不同,输出相应也不一样。通常以输出量的初始值为零时给定信号阶跃变化下的过渡过程作为典型的跟随过程,这时的输出量动态响应称做阶跃响应。如图2-3所示,表示阶跃响应的跟随过程。

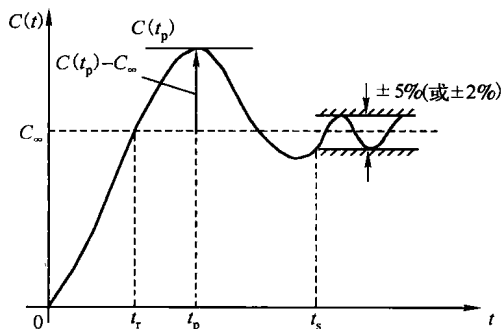


图2-3 典型的阶跃信号和跟随性指标

(1) 上升时间 t_r 。在典型的阶跃响应跟随过程中,输出量从零起第一次上升到稳态值所需要的时间。它表示动态响应的快速性。

(2) 超调量 M_p 。在典型的阶跃响应跟随过程中,输出量超出稳态值的最大偏离量与稳态值之比,反映系统的相对稳定性,超调量越小,则相对稳定性越好。可以用下面的公式表示,即

$$M_p = \frac{C(t_p) - C_\infty}{C_\infty} \quad (2-8)$$

式中 $C(t_p)$ ——峰值时间系统输出量;

C_∞ ——稳态时系统输出量。

(3) 调整时间 t_s 。从加输入量的时刻起,到输出量进入偏离稳态值 $\pm\Delta$ 的误差范围 (Δ 一般取5%或2%),并从此不再超越这个范围的时间称为系统的调整时间。它用来衡量系统整个调节过程的快慢。调整时间越小,表示系统动态调整过程的时间越短。

2) 抗扰性能指标

控制系统稳定运行中,突加一个使输出量降低的扰动量 F 以后,输出量降低到恢复的过渡过程是系统典型的抗扰过程,如图2-4所示。

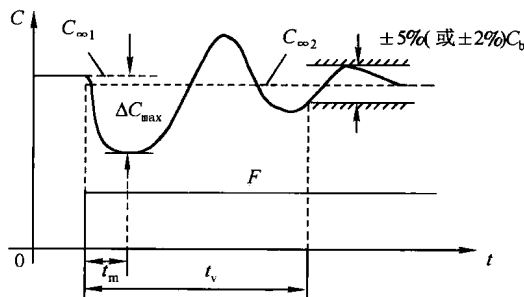


图2-4 突加扰动的动态过程和抗扰性能指标

(1) 动态速降 $\Delta C_{\max}$ 。系统在稳定运行时, 突加一个负扰动量 (一般使用阶跃信号), 所引起的输出的最大变化值 $\Delta C_{\max}$ 称做动态速降。一般用公式 $\Delta C_{\max} \% = \frac{\Delta C_{\max}}{C_{\infty 1}} \times 100\%$ 来表示。输出量在动态速降后逐渐恢复, 达到新的稳态值 $C_{\infty 2}$, $(C_{\infty 1} - C_{\infty 2})$ 是系统在该扰动作用下的稳态误差。 t_m 为输出量的最大动态降落对应的时间。

(2) 恢复时间 t_v 。从阶跃扰动作用开始, 到输出量进入新稳态值的误差带并不再超出所需的最短时间。误差带的计算为基准值 C_b 的 $\pm 5\%$ (或取 $\pm 2\%$)。其中 C_b 为抗扰指标中输出量的基准值, 视具体情况选定。

热连轧机主传动调速系统一般要求动态速降小于 $1\% \sim 3\%$, 恢复时间小于 $200 \sim 300\text{ms}$, 静差率小于 $0.2\% \sim 0.5\%$, 如果超过这些指标就会造成两个机架之间的堆钢或拉钢现象, 影响产品质量, 严重时还会造成事故。7 机架 1780mm 热连轧机主传动采用同步电动机交流调速系统, 可达到动态速降 0.25% , 恢复时间小于 120ms 的动态性能。

2.3 转速负反馈有静差调速系统

2.3.1 开环直流调速系统

开环调速系统是一种最简单的调速系统, 具有结构简单, 稳定性好的特点, 但开环控制的精度和动态性能很差。因此, 直流电动机调速系统一般都采用闭环控制方法。下面作为闭环控制系统的基础, 先介绍开环控制。

如图 2-5 所示为晶闸管-直流电动机开环调速系统的示意图。

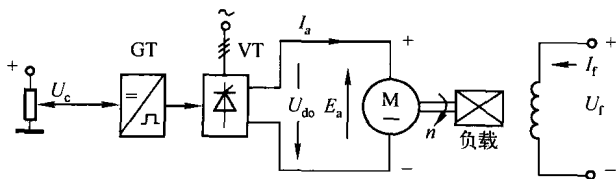


图 2-5 晶闸管-直流电动机开环调速系统的示意图

控制电压 U_c 由电位器给定, 同步移相触发电路 GT 和晶闸管可控整流电路 VT 组成的功率驱动环节输出可调电枢电压 U_{d0} , 电动机就以一定的速度旋转。改变控制电压就改变触发角 α 及电枢电压 U_{d0} , 相应地改变电动机的转速, 达到调速的目的。此时电动机的机械特性可表示为

$$n = \frac{U_c K_s - I_a R_\Sigma}{C_e \Phi} = U_c \frac{K_s}{C_e \Phi} - I_a \frac{R_\Sigma}{C_e \Phi} = n_0 - \Delta n_0 \quad (2-9)$$

式中 K_s ——触发器及整流器组成的功率驱动环节的放大系数;

n_0 ——开环系统理想空载转速;

Δn_0 ——开环系统稳态速降。