

高等职业技术学校教材

交直流调速系统及原理

主编 钟志万



武汉工业大学出版社

高等职业技术学校教材

交直流调速系统及原理

主 编 钟志万

副主编 赵 欣

武汉工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

交直流调速系统及原理/钟志万主编. —武汉:武汉工业大学出版社, 2000. 12
ISBN 7-5629-1661-6

I. 交… I. 钟… II. 交直流-调速系统 IV. TM4

武汉工业大学出版社出版发行

(武昌珞狮路122号 邮编430070)

各地新华书店经销

湖北荆州鸿盛印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 11.75 字数: 293千字

2000年12月第1版 2000年12月第1次印刷

印数: 1—3000册 定价: 16.00元

(如有印装质量问题, 请与承印厂联系退换)

前 言

随着电子技术和控制技术的发展,交流调速系统在调速范围、调速精度、启制动等动态性能方面可与直流调速系统媲美,同时交流调速系统在价格、维护维修、保养、可靠性等方面比直流调速系统更加优越,所以目前交流调速系统已得到广泛使用。

在掌握直流调速系统知识的同时,掌握交流调速系统的知识是十分必要的。

本书由直流调速系统、交流调速系统、自动控制原理三部分组成。编写时注重职业技术教育的特点,内容力求精简,去掉了繁琐的公式推导。调速系统部分采用定性分析方法为主,主要讲述各种调速系统的组成、工作原理、静态特性。自动控制原理部分采用定性分析与定量分析相结合的方法,编写时对系统数学模型、频率特性、性能分析等内容进行了重新组合,如把典型环节的传递函数和频率特性组合为一体讲述,保证了内容的连贯衔接,有利于学习掌握,减少了重复内容的编写。

全书共分十章。第一章、第七章、第八章由钟志万同志编写;第二章、第三章、第九章、第十章由赵欣同志编写;第四章、第五章由刘知德同志编写;第六章由王念琪同志编写。全书由钟志万同志主编。

本书根据1998年全国建材大中专教学指导委员会教材编写组有关精神编写,可作为中等职业技术学校、高等职业技术学校机电类专业的教材,也可供短训班学生使用及有关工程技术人员参考。

限于编写水平,书中难免存在错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2000年12月

目 录

第一章 自动控制系统的概述	(1)
第一节 自动控制的基本概念	(1)
第二节 自动控制系统的性能指标	(4)
第三节 交直流调速系统的发展及特点	(7)
第四节 研究自动控制系统的方法	(8)
思考题与习题	(9)
第二章 单闭环直流调速系统	(10)
第一节 开环直流调速系统	(10)
第二节 转速负反馈有静差直流调速系统	(14)
第三节 电压负反馈和电流正反馈直流调速系统	(20)
第四节 小功率有静差直流调速系统实例分析	(25)
第五节 无静差直流调速系统	(28)
思考题与习题	(32)
第三章 双闭环直流调速系统	(33)
第一节 具有电流约束的理想启动过程	(33)
第二节 转速、电流双闭环系统的组成及其静特性	(34)
第三节 双闭环调速系统的启动特性	(38)
思考题与习题	(40)
读图练习	(40)
第四章 异步电动机调压调速系统	(43)
第一节 异步电动机调节定子电压的调速系统	(43)
第二节 电磁转差离合器调速系统	(48)
第三节 交流调压调速电路在水泥厂的应用	(54)
思考题与习题	(58)
第五章 绕线式异步电动机串级调速系统	(59)
第一节 串级调速原理与基本类型	(59)
第二节 串级调速系统的组成及机械特性	(63)
第三节 应用举例	(68)
思考题与习题	(72)
第六章 异步电动机变频调速系统	(73)
第一节 变频调速的原理及机械特性	(73)
第二节 变频器的工作原理	(76)
第三节 脉宽调制型变频器及调速系统	(84)
思考题与习题	(92)

第七章 自动控制系统的数学模型	(93)
第一节 系统的微分方程	(93)
第二节 传递函数	(97)
第三节 频率特性	(101)
第四节 典型环节的传递函数、功能框及频率特性	(104)
第五节 自动控制系统的结构图及传递函数	(113)
第六节 控制系统的开环对数频率特性的画法	(120)
思考题与习题	(124)
第八章 自动控制系统的性能分析	(128)
第一节 系统稳定性分析	(128)
第二节 系统稳态误差	(135)
第三节 系统动态性能分析	(141)
思考题与习题	(145)
第九章 自动控制系统的校正	(148)
第一节 校正的基本概念	(148)
第二节 串联校正	(152)
第三节 反馈校正	(159)
思考题与习题	(161)
第十章 双闭环直流调速系统的计算和调试	(163)
第一节 系统预期频率特性的建立和固有特性的近似处理	(163)
第二节 双闭环直流调速系统的参数确定	(169)
第三节 双闭环直流调速系统的计算实例	(172)
第四节 双闭环直流调速系统的调试方法	(176)
思考题与习题	(179)
附录一 常用函数拉氏变换对照表	(180)
附录二 拉氏变换的主要运算定理	(181)
参考文献	(182)

第一章 自动控制系统的概述

从本世纪初至今,先后出现的真空电子管、晶体管、小规模集成电路、超大规模集成电路等电子器件,使控制科学与控制技术得到了迅猛发展。这些发展极大地提高了劳动生产率和产品质量,推动了现代化工农业的巨大进步。在军事上控制技术能有效地提高武器的精度和威力。在工业、农业、航天等各个领域控制技术更是不可缺少的。

例如:要把重达数吨的人造卫星准确地送入位于数百公里高空的预先计算好的轨道和指定的位置,并一直保持它的姿势正确,使它的太阳能电池一直朝向太阳,无线电天线一直指向地球,还要保持卫星内的环境条件正常,使它所携带的各种仪器自动地准确地工作……所有这一切都是以高水平的控制技术为前提的。

又如玻璃窑炉,按照生产要求,其炉温通常应当维持一定的数值(例如几千度),而要在经常变化的热负荷下维持炉温为某个数值,只允许很小的误差(例如几度甚至更小),如果靠人凭经验调整燃料供给量,就很难保证,甚至会造成燃料的浪费,或直接影响产品质量。

控制技术的作用就是不需要人的直接参与,而控制某些物理量按照指定的规律变化。

下面就让我们学习自动控制的基本知识。

第一节 自动控制的基本概念

一、开环控制及闭环控制

按照控制系统有无反馈环节,控制系统可分为开环控制和闭环控制。不设反馈环节的,则为开环控制系统;设有反馈环节的,则为闭环控制系统。

1. 开环控制系统

若系统的输出量不被引回来对系统的控制部分产生影响,这样的系统称为开环控制系统。

图 1-1 所示为一个利用晶闸管可控整流装置供电的直流调速开环系统。

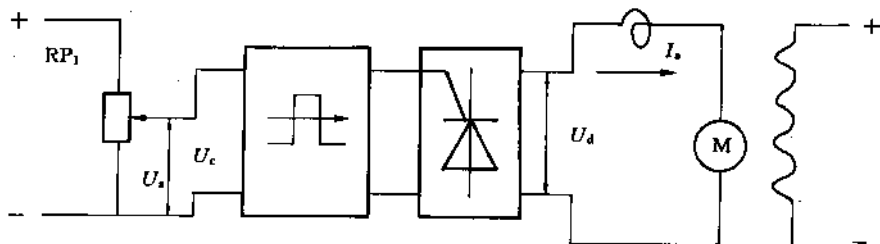


图 1-1 开环调速系统

输入给定电压 U 去控制触发脉冲相位,触发脉冲送到可控硅控制极触发可控硅导通,产生输出直流电压 U_d ,从而驱动直流电动机旋转。给定电压 U 越大,触发器产生的触发脉冲越早,晶闸管导通角越大,输出直流电压越大,直流电动机转速也就越高。改变输入控制电压即可

改变输出转速。此系统由于无反馈环节,故是一个开环系统。开环系统一般结构简单,系统稳定性好,成本低。因此,在输入量和输出量之间的关系固定,且内部参数或外部负载等扰动因素不大,或这些扰动因素可以预计确定并能进行补偿时,则应尽量采用开环控制系统。

开环控制的缺点是当控制过程受到各种扰动因素影响时,将会直接影响输出量,而系统不能自动进行补偿。如图 1-1 所示的晶闸管可控整流装置供电的直流调速开环系统中,由于晶闸管整流装置的等效内阻较大(特别是当电流断续时),因此,当负载转矩增加引起电流增加时,便会产生较大的转速降落,其调速特性很软,这种开环系统往往不能满足有较高技术要求的系统。在这种情况下,通常采用闭环控制。

2. 闭环控制系统

若系统输出量通过反馈环节返回来作用于控制部分,形成闭合回路,这样的系统称为闭环控制系统,又称为反馈控制系统。

图 1-2 所示的是具有转速反馈的闭环控制系统。与图 1-1 相比,此系统增设了转速负反馈及比较放大环节。

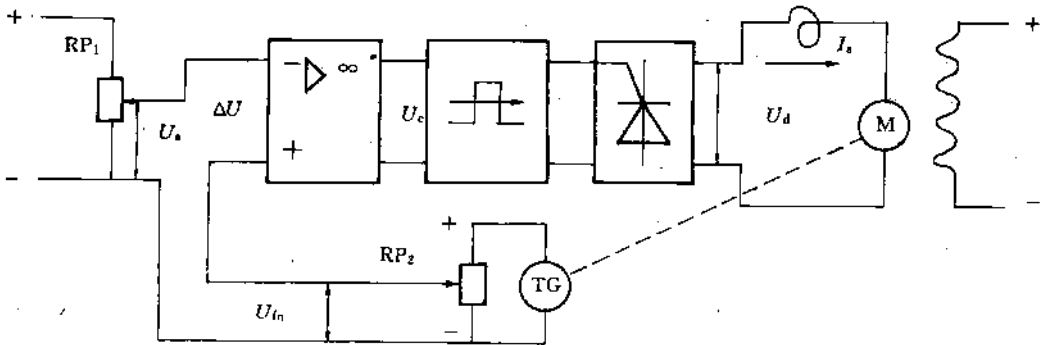


图 1-2 具有转速负反馈的自动调速系统

增设了转速负反馈环节及比较放大环节后,输入电压应是给定电压 U_s 与测速反馈电压 U_{fn} 的偏差电压,即 $\Delta U = U_s - U_{fn}$ 。当电动机的转速因某些因素(如负载转矩增加)而降低时,则测速发电机电压 U_{fn} 将降低(U_{fn} 与转速 n 成正比),偏差电压 ΔU 将升高,经放大后使晶闸管装置输出电压 U_d 增加,从而使转速回升。其自动调节过程见图 1-3。

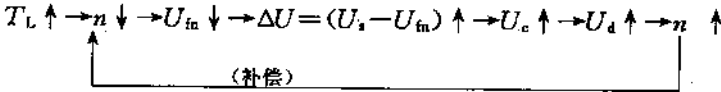


图 1-3 闭环调速系统自动调节过程

由以上的自动补偿调节过程可见,转速的变化将会大大减少,这是闭环控制的一个突出的优点。

二、反馈控制系统的组成

现以如图 1-2 所示的自动调速系统为例来说明自动控制系统的组成。

为了表明自动控制系统的组成以及信号的传递情况,通常把系统各个环节用方框图表示,并用箭头标明各作用量的传递情况。如图 1-4 便是图 1-2 所示系统的方框图。框图可以把系统的组成简单明了地表达出来,而不必画出具体的线路。

由图 1-4 可以看出,一般自动控制系统包括:

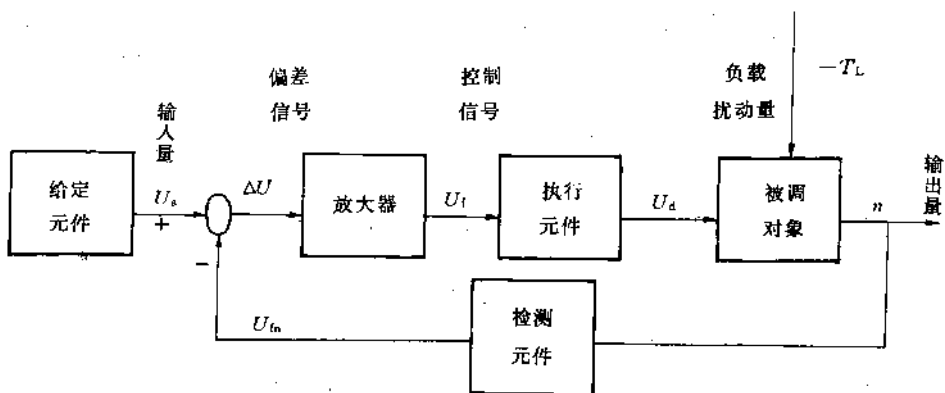


图 1-4 自动调速系统方框图

给定元件——由它调节给定信号(U_s)，以调节输出量的大小。此处为给定电位器。

检测元件——由它检测输出量(如转速 n)的大小，并反馈到输入端。此处为测速发电机。

比较环节——在此处反馈信号与给定信号进行叠加，信号的极性以“+”或“-”表示。若为负反馈，则两信号极性相反。

放大元件——由于偏差信号一般很小，所以要经过电压放大及功率放大，以驱动执行元件。此处为晶体管放大器或集成运算放大器。

执行元件——是驱动被控制对象的环节。此处为晶闸管整流装置。

被调对象——亦称被控制对象。在调速系统中即为电动机。

反馈环节——由它将输出量引出，再回送到控制部分。一般的闭环系统中，反馈环节包括检测、分压、滤波等单元。此处检测元件为测速发电机。反馈信号与输入信号极性相同则为正反馈，相反则为负反馈。

由图 1-4 可见，系统的各种作用量有：

输入量 U_s ——又称给定输入量。

输出量 n ——又称被控量或被调量，它是被控对象的输出，是自动控制的目标。

反馈量 U_m ——通过检测元件将输出量转变成与给定信号数量级相同的信号。

扰动量——又称干扰或“噪音”，它通常指引起输出量发生变化的各种因素。来自系统外部的称为外扰动，例如：电动机负载转矩的变化；电网电压的波动；环境温度的变化等。图 1-4 中的负载转矩 T_L 就可以看成是一种来自系统外部的扰动量。来自系统内部的扰动称为内扰动，如系统元件参数的变化；运算器的零点漂移等。

中间变量——它是系统各环节之间的作用量。它是前一环节的输出量，也是后一环节的输入量。如图 1-4 中的 ΔU 、 U_i 、 U_d 等就是中间变量。

如图 1-4 可以看到，方框图可以直观地将系统的组成、各环节间的相互关系以及各种作用量简单明了地概括出来。

三、自动控制系统分类

自动控制系统可以从不同角度来进行分类。

1. 按照输入量变化规律分类

(1) 恒值控制系统

恒值控制系统的特点是:系统的输入量是恒量,并且要求系统的输出量相应地保持恒定。

恒值控制系统是最常见的一类自动控制系统,如自动调速系统、恒温控制系统、恒张力控制系统都是恒值控制系统。

如图 1-2 所示的自动调速系统是恒值系统。

(2) 随动控制系统

一个反馈控制系统,如其输入量变化规律为无法预先确定的时间函数,则其被控量能以一定的精度跟随输入量变化,这样的系统称为随动控制系统,简称随动系统或伺服系统。在随动系统中,被控量通常是机械位移、速度或加速度等。

随动系统在工业、国防交通、通信方面有着广泛的应用。如数控机床工作台定位系统、高炮自动瞄准系统、船舶方向舵位置随动系统、卫星地面站天线伺服系统等。

(3) 程序控制系统

这种控制系统输入量不是常值,但其变化规律是预先知道的和确定的,如热处理炉的温度调节,要求温度按一定的时间程序和规律变化(自动升温、保温及降温等)。

2. 按系统传输信号对时间的关系分类

(1) 连续控制系统

它亦称为模拟控制系统。系统中各个组成元件的输入量与输出量都是连续量。

(2) 断续控制系统

系统中包含有断续元件,其输入量是连续量,而输出量是断续量。目前有如下三种断续控制系统:

① 继电系统,它亦称开关控制系统。

② 脉冲系统又称采样控制系统。脉冲系统将输入的连续信号变成一串脉冲信号输出,脉冲的幅度、宽度及符号取决于采样时刻的输入量。

③ 数字控制系统。数字控制系统中,信号以数码形式传递。

3. 按系统的输出量和输入量之间的关系分类

(1) 线性系统

各组成元件或环节不包含非线性元件,即各元件的输入输出特性都是线性的。这样的系统称为线性控制系统,简称线性系统。线性系统的性能可用线性微分方程描述,在计算中可以使用叠加原理。

(2) 非线性系统

含有非线性特性元件的系统,称之为非线性控制系统,简称非线性系统。非线性系统不能采用叠加原理。

除了以上的分类方法外,还可以根据其他条件去进行分类。本书根据课程大纲要求,只讨论线性系统。

第二节 自动控制系统的性能指标

自动控制系统的性能通常是指系统的稳定性、稳态特性和动态特性。而自动控制系统性能的优劣是通过一些性能指标来量化的,现分别介绍如下。

一、系统的稳定性

当扰动或给定值发生变化时,输出量将会偏离原来的稳定值,这时,由于反馈环节的作用,通过系统内部的自动调节,系统可能回到(或接近)原来的稳定值或跟随给定值稳定下来,如图 1-5(a)所示,则这个系统是稳定的。但也可能由于内部的相互作用,使系统出现发散而处于不稳定状态,如图 1-5(b)所示,则这个系统就是不稳定的。显然,不稳定的系统是无法进行工作的。因此,稳定是任何自动控制系统能否正常运行的必要条件。

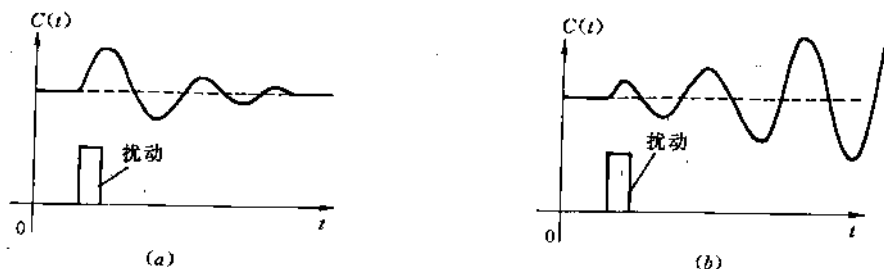


图 1-5 稳定系统和不稳定系统
(a)稳定系统;(b)不稳定系统

二、系统的动态性能指标

由于系统的控制对象和元件通常都具有一定的惯性(如机械惯性、电磁性、热惯性等),并且也由于能源功率的限制,系统中各种量值(如速度、位移、电流、温度等)的变化不可能是突变的。因此,系统从一个稳态过渡到新的稳态都需要经历一段时间,亦即需要经历一个过渡过程。表征这个过渡过程性能的指标称为动态指标。现在以系统对突加给定信号的动态响应来介绍动态指标。

动态指标通常用最大超调量(σ)、调整时间(t_s)和振荡次数(N)来衡量。现分别介绍如下。

1. 最大超调量(σ)

最大超调量是指输出量 $c(t)$ 与输出稳态值 $c(\infty)$ 之间的最大偏差 $\Delta c_{\max}$ 与稳态值 $c(\infty)$ 之比,即

$$\sigma = \frac{\Delta c_{\max}}{c(\infty)} \times 100\%$$

最大超调量反映了系统的动态精度或动态稳定性,超调量越小,则说明系统过渡过程进行得越平稳。不同的控制系统,对最大超调量的要求不同,例如,对一般调速系统, σ 可允许 10%~35%;轧钢机的初轧机要求 σ 小于 10%;对连轧机则要求 σ 小于 2%~5%;而张力控制的造纸机则不允许有超调量。

2. 调整时间 t_s

调整时间(t_s)是从给定量作用于系统开始到输出量进入偏离稳态值 $\pm 5\%$ (或 $\pm 2\%$) 区域的一段时间(见图 1-6)。它反映了系统的快速性。调整时间 t_s 越小,系统快速性越好。例如连轧机 t_s 为 0.2~0.5s;造纸机为 0.3s。

3. 振荡次数(N)

振荡次数是指在调整时间内,输出量在稳态值上下摆动的次数。如图 1-6 所示,振荡次数

为2次。振荡次数 N 越少,表明系统稳定性越好。例如普通机床一般可允许振荡2~3次;龙门刨床与轧钢机允许振荡1次;而造纸机传动则不允许有振荡。

三、系统的稳态性能指标

当系统从一个稳态过渡到新的稳态,或系统受振动作用又重新平衡后,系统会出现偏差,这种偏差称为稳态误差(e_{ss})。系统稳态误差的大小反映了系统稳态精度

(或静态精度),它表明了系统的准确程度。稳态误差 e_{ss} 越小,则系统的稳态精度越高。若 $e_{ss}=0$,则系统称为无静差系统。如图1-7(b)所示;反之,若 $e_{ss} \neq 0$,则称为有静差系统,如图1-7(a)所示。

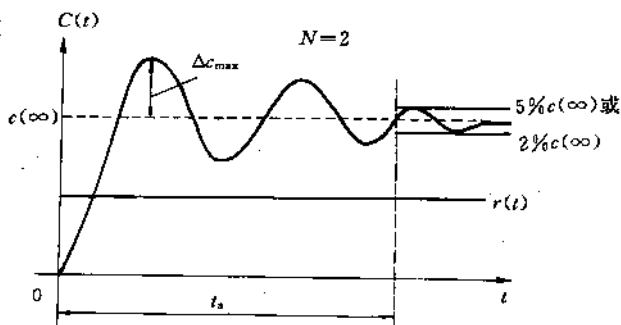


图 1-6 系统对突加给定信号的动态响应曲线

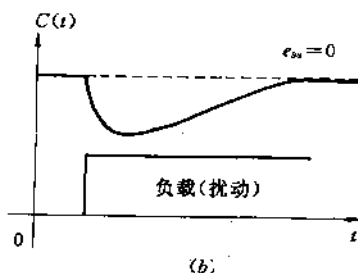
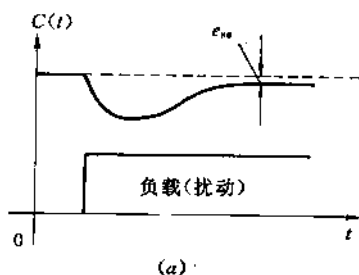


图 1-7 自动控制系统的稳态性能

(a)有静差系统;(b)无静差系统

在上述指标中,最大超调量和振荡次数反映了系统的稳定性。调整时间反映了系统的快速性。稳态误差反映了系统的准确度。一般说来,我们总是希望最大超调量小一点,振荡次数少一点,调整时间短一些,稳态误差小一点。总之,希望系统能达到稳、快、准。

对于调速系统,常见的性能指标还有:

(1)调速范围 D :是指在额定负载下,电动机能达到的最高转速 n_{max} 与最低转速 n_{min} 之比,

$$\text{即 } D = \frac{n_{max}}{n_{min}}$$

在调速系统中,最高转速 n_{max} 就是电动机的额定转速 n_N 。

(2)静差率 s (对直流调速系统):是指当电动机负载由理想空载增加到额定负载 I_N 时所产生的转速降 Δn_N 与理想空载转速 n_0 之比,即 $s = \frac{\Delta n_N}{n_0}$,常用百分数表示为

$$s\% = \frac{\Delta n_N}{n_0} \times 100\%$$

静差率 s 表征了直流调速系统的实际转速 n 相对于理想空载转速 n_0 的相对误差。即表示系统在负载扰动下被调量 n 偏离给定值的程度, s 越小,转速的相对波动量越小,稳速精度越高。

(3)调速范围与静差率的关系如下:

因为

$$n_{\min} = n_0 - \Delta n_N = \Delta n_N \left(\frac{n_0}{\Delta n_N} - 1 \right) = \Delta n_N \left(\frac{1}{s} - 1 \right)$$

而

$$D = \frac{n_N}{n_{\min}} \text{ (通常 } n_N = n_{\max} \text{)}$$

于是有

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

上式表达了调速范围、静差率和静态速降三者之间的关系。它表明:当系统的特性硬度一定时(Δn_N 一定),对静差率的要求越高(即 s 越小),允许的调速范围就越小。

(4)转差 S 及转差率 $S\%$ (对交流调速系统);转差是指交流电机同步转速 n_0 与额定转速 n_N 之差,即 $S = n_0 - n_N$ 。

转差率是指电机转差与交流电机同步转速之比,即

$$S\% = \frac{S}{n_0} \times 100\%$$

转差率与直流调速系统静差率的含义是相同的。

第三节 交直流调速系统的发展及特点

对于可调速的电力拖动系统,工程上往往把它分为直流调速系统和交流调速系统两类。

由于历史上最早出现蓄电池的直流电能和直流电动机,所以在19世纪80年代以前,直流电力拖动是唯一的一种电力拖动方式。到了19世纪末叶,由于出现了交流电,解决了三相交流电的输送与分配问题,同时又制成了经济实用的交流鼠笼异步电动机,这就使交流电力拖动在工业中逐步得到广泛应用。随着生产技术的发展,特别是精密机械加工与冶金工业生产过程的进步,对电力拖动在启制动、正反转及调速精度、调速范围等静态指标提出了更高的要求。而当时的交流拖动系统无法满足这些要求。所以本世纪60年代以前,在可逆调速与高精度的拖动技术领域,几乎是直流电力拖动一统天下。

然而,由于直流电动机具有电刷与整流子,因而就存在着必须对它们经常进行维修检查,电动机安装的环境受到限制(如不能在有易爆气体及尘埃多的场合使用),以及限制了电机向高转速、大容量发展等缺点。特别是随着工业生产、国防科学技术的飞速发展,这些问题显得更为突出,主要表现为以下几点:第一,直流电动机的单机容量一般为12~14MW,还常制成双电枢的形式,而交流同步电动机与异步电动机的单机容量却可数倍于它;第二,直流电动机由于受换向的限制,其电枢电压最高只能做到1千多伏,而交流电机可以做到6~10kV级;第三,直流电动机受换向器部分机械强度的约束,其额定转速随电机额定功率增加而减少,一般仅为每分钟数百转到1千多转,而交流电动机却可高达每分钟数千转;第四,直流电机的体积、质量比同等容量的交流电机为大,价格也贵得多。这些都是直流电力拖动的薄弱环节。

在60年代以后,随着电力电子学与电子技术的发展,使得采用半导体变流技术的交流调速系统得以实现。尤其是70年代以来,大规模集成电路和计算机控制技术的发展,以及现代控制理论的应用,为交流电力拖动的开发进一步创造了有利条件。诸如交流电动机的串级调速、各种类型的变频调速、无换向器电动机调速,特别是矢量控制技术的应用,使得交流电力拖动逐步具备了宽的调速范围、高的稳速精度、快的动态响应以及在四象限作可逆运行等良好的技

术性能。在调速性能方面已可与直流电力拖动媲美。

现在,性能优越、效率高(达85%以上)的数千千瓦大容量交流串级调速系统和数十万千瓦以上的中大容量的变频调速系统已得到广泛应用。

常见的直流调速系统方案和交流调速方案及特点见表1-1。

表 1-1 常见交直流调速方案及特点

调速方案	特 点	调速范围	精度	维护	价格	效率
	调速方式					
直流调速	改变电枢电压	宽	最高	复杂	贵	较高
	调励磁电流	窄	高	复杂	较贵	较高
交流定子调压	改变定子电压	窄	低	简单	便宜	低
滑差调速	采用电磁离合器	一般	一般	简单	一般	低
串级调速	改变转子电势	较宽	高	一般	一般	高
变频调速	改变定子频率	宽	高	一般	较贵	最高

第四节 研究自动控制系统的方法

分析研究自动控制系统,实际上就是要弄清楚自动控制系统中各个元件在系统中的地位和作用,以及它们之间的相互关系,并在此基础上搞清楚系统的工作原理,这就叫定性分析。除此之外,在定性分析的基础上,还需要按照生产工艺的要求,达到满足各种性能指标或最优,这就叫定量分析。对系统定性分析和定量分析包括对系统稳定性能、稳态性能和动态性能的分析。在分析的基础上就可以找到改善系统性能、提高系统技术指标的有效途径,并设计系统。

对自动控制系统的研究利用的是自动控制理论。自动控制理论是在自动控制系统的基础上产生的,它反过来又指导自动控制系统,为分析自动控制系统提供了理论基础。

根据自动控制理论的发展情况,自动控制理论分为经典控制理论(又称反馈控制理论或古典控制理论)和现代控制理论。经典控制理论一般指以单变量系统为主,用频率法研究控制系统性能的理论,它是建立在传递函数概念基础之上的,它的特点是以图表、特性曲线(Nyquist曲线、Bode图、Nichols曲线等)等为主要工具,对系统进行计算、分析、设计。现代控制理论是以时域法,特别是以状态空间方法为主,研究系统状态的运动规律,并按所要求的各种指标最优为目标来改变这种运动规律的理论。它的主要特点是用各种语言计算程序为主要设计手段,它的发展和计算机的应用是分不开的。

自动控制理论虽然为我们的研究提供了重要的方法,但实际系统往往比较复杂,有许多无法确定的因素,因而通过实验或现场实践进行研究,也是一条基本的途径。事实上,在进行设计时,也要依靠一些经验公式和经验数据,这也说明理论的分析必须和实践紧密结合起来,才能找到切实可行的有效的解决问题的途径。

本课程是运用经典控制理论所提供的概念和方法,先简单地介绍几种交直流控制系统,再把具体的系统抽象成数学模型,然后运用控制理论的工具,如传递函数、频率特性等等,来研究系统的特性,从而达到能简单地、定量地分析解决工程设计系统的目的。

思考题与习题

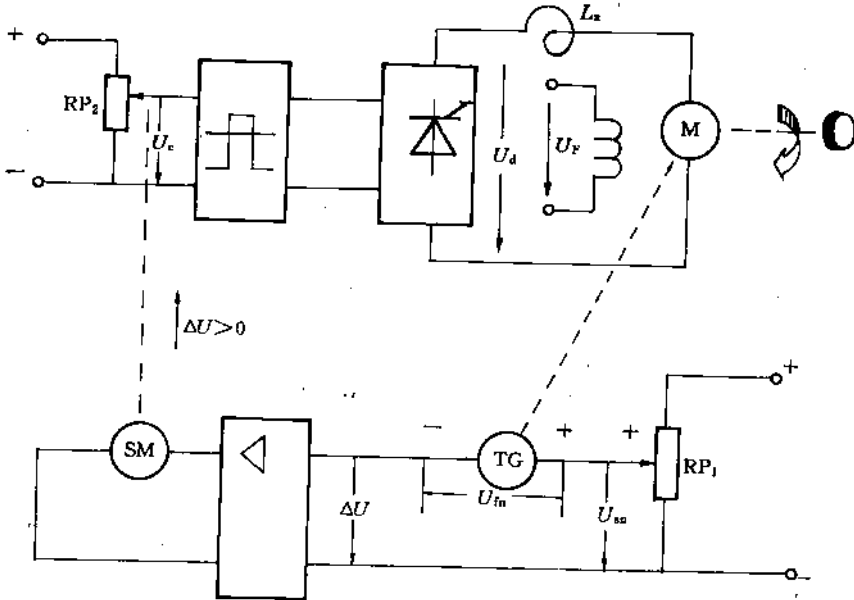
1-1 分析比较开环控制与闭环控制的特征、优缺点和应用场合。

1-2 指出下列系统中哪些属开环控制,哪些属闭环控制。

- (1)家用电冰箱;(2)家用空调器;(3)家用洗衣机;(4)抽水马桶;(5)普通车床;
(6)电饭煲;(7)多速电风扇;(8)高楼水箱;(9)调光台灯;(10)自动报时电子钟。

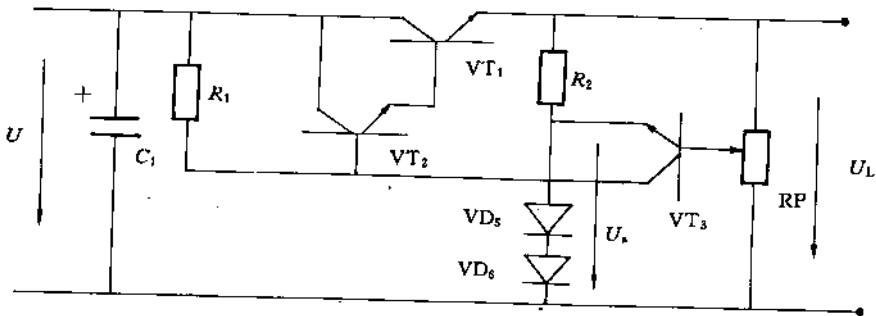
1-3 什么是负反馈、正反馈? 将图 1-2 的控制系统改为正反馈,会出现什么后果?

1-4 题图 1-4 为一直流调速系统。图中 TG 为测速发电机, M 为工作电动机, SM 为伺服电动机, 伺服电动机将驱动电位器 RP_2 的滑杆上下移动。试画出系统的框图, 写出该系统的自动调节过程(设转速 n 因负载转矩 T_L 增大而下降)。



题图 1-4 直流调速系统

1-5 一晶体管稳压电源电路如题图 1-5 所示, 试指出图中的给定量、被控量、反馈量、扰动量, 并画出框图。



题图 1-5 晶体管稳压电路

第二章 单闭环直流调速系统

直流调速系统主要包括电机放大器调速系统、磁放大器调速系统和晶闸管调速系统。随着电子技术和晶闸管技术的发展,晶闸管直流调速系统在经济和技术性能方面都比前者更具有优越性,因此得到越来越广泛的应用,并已逐渐取代电机放大器及磁放大器系统。

为了提高系统的性能指标,绝大多数直流调速系统采用闭环系统。按反馈回路的数量,直流调速系统可分为单闭环系统和多闭环系统。在调速指标要求不高的小功率直流调速系统中通常用单闭环系统,而中、大功率调速系统,往往要求调速指标也比较高,因而通常采用比较复杂的多闭环系统。按所取不同的反馈量,直流调速系统中的反馈又可分为转速负反馈、电压负反馈、电流正反馈和电流负反馈等。

本章着重介绍单闭环调速系统的组成、工作原理及对系统的静、动态特性分析。

第一节 开环直流调速系统

一、系统的组成

由第一章图 1-1 可知,采用晶闸管控制的开环直流调速系统主要由给定电位器、触发电路、整流电路和直流电动机四大部分组成。

该系统的控制对象是直流电动机 M,被调量是电动机的转速 n ,晶闸管触发电路 GT 和整流电路 VT 作为控制器和执行元件,电位器 RP_1 为给定元件。下面分别介绍这些部件的特点与作用。

1. 直流电动机

直流电动机的等效电路如图 2-1 所示,各物理量间的关系如下:

$$\left. \begin{aligned} u_a &= i_a R_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e \\ T &= C_T \Phi i_a \\ T - T_L &= J_G \frac{dn}{dt} \\ e &= C_e \Phi n \end{aligned} \right\} \quad (2-1)$$

其中 u_a ——电枢电压;

e ——电枢电动势;

i_a ——电枢电流;

L_a ——电枢漏磁电感;

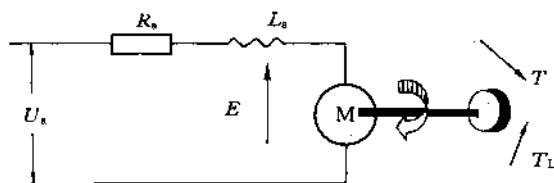


图 2-1 直流电动机电路图

T ——电磁转矩；

Φ ——励磁磁通；

C_e ——电势常量；

C_T ——转矩常量；

n ——电动机转速；

T_L ——摩擦和负载阻力矩；

J_G ——转速惯量, $J_G = \frac{2\pi GD^2}{60 \cdot 4g} = \frac{GD^2}{375}$, GD^2 是电动机轴上的总飞轮矩；

U_i, I_i ——励磁电压、励磁电流。

当电动机处于稳态运行时, $di_a/dt = 0, dn/dt = 0$, 各变量稳态时均用大写, 则式(2-1)可写成

$$\left. \begin{aligned} U_a &= I_a R_a + E \text{ 或 } I_a = \frac{U_a - E}{R_a} \\ T &= C_T \Phi I_a \\ T &= T_L \\ E &= C_e \Phi n \text{ 或 } n = \frac{E}{C_e \Phi} = \frac{U_a - I_a R_a}{C_e \Phi} \end{aligned} \right\} \quad (2-2)$$

当电动机负载转矩 T_L 发生变化时, 直流电动机内部将会进行一个自动调节过程, 以达到新的平衡状态。以 T_L 增加为例, 其自动调节过程如图 2-2 所示。

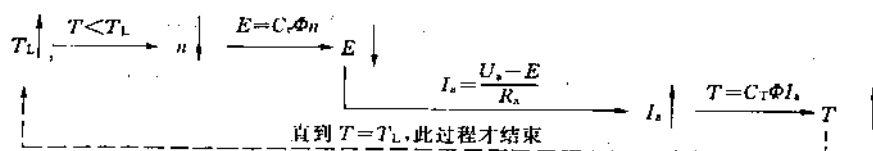


图 2-2 当负载转矩增加时, 电动机内部的调节过程

从以上的调节过程可以看出, 在电动机的内部, 因负载变化所造成的转速降, 会通过电动机的反电势的变化得到补偿, 使转速不至于一直下滑, 这个过程一直要持续到 $T = T_L$, 电动机重新处于新的平衡状态才结束。这说明电动机本身就是一个反馈系统。这个过程主要是通过电动机内部电动势 E 的变化来进行调节的。

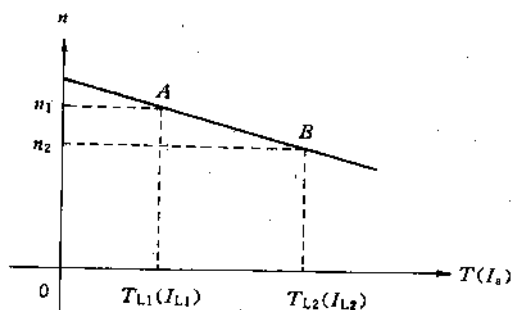


图 2-3 直流电动机负载变化的机械特性

如图 2-3 所示, 负载从 T_{L1} 增大到 T_{L2} 时, 转速便从 n_1 下降到 n_2 , 电动机从 A 稳定工作点到了 B 稳定工作点, 显然 n_2 低于原转速 n_1 , 很明显上述调节过程是以转速改变为前提的。

由式(2-2)整理得:

$$n = \frac{U_a - I_a R_a}{C_e \Phi} = \frac{U_a}{C_e \Phi} - \frac{I_a R_a}{C_e \Phi} = \frac{U_a}{C_e \Phi} - \frac{R_a}{C_e C_T \Phi^2} T_L = n_0 - \Delta n \quad (2-3)$$

从式(2-3)可知, 在平衡状态, 当电动机的励磁电压 U_i 不变时, 其 Φ 是一定的, 这时空载转