

高等纺织院校教材

电力拖动自动控制系统

纺织工业出版社

TM921.5
Z65

352526

高等纺织院校教材

电力拖动自动控制系统

陈振翼 主编
伍恩华 主审

纺织工业出版社

(京)新登字037号

内 容 提 要

本书系统地阐述了目前工业生产中广泛采用的各类直流调速系统。包括单闭环有静差、无静差调速系统，多闭环调速系统，可逆调速系统。详细讨论了上述系统的组成、工作原理、特性及工程设计方法。尤其是在总结近几年来消化吸收引进设备的基础上，结合纺织染生产特点，详细分析了多单元同步传动系统和卷绕机构恒张力控制系统的组成、原理及设计方法。

本书可作高等院校工业电气自动化专业及其他相近专业的教材。也可供厂矿、科研设计单位电气技术人员参考。

DY85/03

特约编辑：杨惠昌

责任编辑：郑剑秋

高等纺织院校教材

电力拖动自动控制系统

陈振翼 主编 伍恩华 主审

纺织工业出版社出版

(北京东直门南大街4号)

纺织工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

787×1092毫米 1/16 印张：15 4/16 字数：363千字

1991年12月 第一版第一次印刷

印数：1—3,500 定价：4.00元

ISBN 7-5064-0661-6/TM·0002 (课)

前 言

本书是根据1986年纺织院校工业电气自动化专业教育委员会会议决定编写的工业电气自动化专业教材。

全书共分六章。第一、第二章主要阐述晶闸管自动调速系统的基本概念和各类不可逆直流调速系统的构成、原理及性能。第三章在分析自动调速系统动态性能的基础上,阐述了调速系统的工程设计方法。第四章讨论了可逆调速系统。第五章、第六章阐述了纺织染生产中广泛应用的多单元同步传动系统和卷绕机构恒张力控制系统的组成、原理与设计方法。

本书既叙述了各种自动调速系统的原理,又紧密联系生产实际,体现了纺织工业的特色。本书可作纺织院校工业电气自动化专业和其他相近专业的教材,也可作为工厂电气技术人员、研究设计人员的参考书。

本书由天津纺织工学院陈振翼任主编,西北纺织工学院伍恩华任主审。书稿第一、二、三章及第五章的第一、二、三、四、五节由陈振翼编写,第四章由铁莉玲编写,第五章的六、七、八节及第六章由杨公源、陈素波编写。

中国纺织大学舒国汀同志、上海工程技术大学纺织学院周时培同志、郑州纺织工学院田世昌同志、武汉纺织工学院袁建桥同志,对本书进行了认真仔细的审阅,提出了不少宝贵意见,在此谨致衷心谢意!

由于编者水平有限,错误或不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者
1990年

目 录

绪论	(1)
第一章 单闭环直流调速系统	(3)
第一节 调速系统的基本概念	(3)
一、调速方法	(3)
二、供电电源	(3)
三、开环KZ-D系统	(4)
四、控制方式	(6)
五、调速指标	(7)
第二节 单闭环有静差自动调速系统	(9)
一、系统组成、原理与机械特性	(9)
二、静特性方程	(10)
三、闭环调速系统的基本特性	(11)
四、放大器设计	(13)
五、转速负反馈系统的动态分析与校正	(16)
六、其他反馈环节在自动调速系统中的应用	(21)
第三节 单闭环无静差自动调速系统	(25)
一、采用积分调节器的无静差调速系统	(25)
二、采用PI调节器的无静差调速系统	(27)
第四节 调速系统的限流保护——电流截止负反馈	(31)
一、限流保护的意义	(31)
二、电流负反馈系统的限流特性	(31)
三、带电流截止环节的自动调速系统	(32)
四、调速系统中的其他限流保护方式	(35)
五、结论	(35)
第五节 恒功率负载下自动调速系统	(36)
一、卷绕类恒功率负载的特点	(36)
二、张力负反馈系统的工作原理	(37)
三、张力的扰动补偿控制系统	(38)
第六节 小容量有差调速系统实例	(40)
一、Z-321整经机传动控制系统	(40)
二、短环烘干热定型机传动系统	(44)
习题	(49)
第二章 多闭环自动调速系统	(51)

第一节 转速-电流双闭环调速系统.....	(51)
一、理想起动过程与双闭环系统.....	(51)
二、双闭环调速系统静特性.....	(52)
三、双闭环调速系统动特性.....	(53)
四、小结.....	(57)
第二节 电势与电流双闭环调速系统.....	(57)
一、电势与电流双闭环系统的工作原理.....	(57)
二、电势调节器的动态结构图.....	(59)
三、典型双闭环调速系统实例.....	(62)
第三节 电枢电流断续时的电流自适应调节.....	(62)
一、电流断续对系统的影响与电流自适应调节的概念.....	(62)
二、电流自适应调节器的实现.....	(64)
第四节 三闭环调速系统及其在纺织生产中的应用.....	(65)
一、有张力调节器的三闭环调速系统.....	(66)
二、印染联合机中的三闭环调速系统.....	(67)
第五节 有激磁控制的多环调速系统及其应用.....	(68)
一、有激磁控制的调速系统.....	(69)
二、非独立激磁控制系统实例.....	(70)
习题.....	(72)
第三章 自动调速系统的工程设计.....	(74)
第一节 控制系统的性能指标与工程设计方法.....	(74)
一、动态性能指标.....	(74)
二、工程设计方法与典型系统的选择.....	(76)
第二节 典型系统的参数与跟随性能指标的关系.....	(77)
一、典型I型系统.....	(77)
二、典型II型系统.....	(80)
三、小结.....	(87)
第三节 非典型系统的调节器校正.....	(88)
一、校正成典型I型系统时调节器的选择.....	(88)
二、校正成典型II型系统时调节器的选择.....	(89)
三、被控对象的近似处理.....	(90)
第四节 双闭环调速系统的设计.....	(94)
一、电流环调节器设计.....	(94)
二、速度环调节器设计.....	(97)
第五节 双闭环调速系统的抗扰动性能分析.....	(100)
一、电流环抗扰动性能分析.....	(100)
二、速度环抗扰动性能分析.....	(104)
第六节 反馈校正及其在调速系统中的应用.....	(105)

一、反馈校正的一般方法	(106)
二、反馈校正正在调速系统中的作用	(107)
第七节 ST饱和及给定积分器对双闭环系统启动过程的影响	(110)
一、ST饱和对启动过程的影响	(110)
二、有给定积分器时双闭环系统的启动过程	(113)
三、设计举例	(116)
习题	(119)
第四章 可逆调速系统	(121)
第一节 晶闸管-电动机系统的可逆运行方案	(121)
一、可逆运行方案及回馈制动原理	(121)
二、可逆系统中的环流问题	(124)
第二节 配合控制有环流可逆调速系统	(127)
一、配合控制系统的组成及特点	(127)
二、配合控制有环流系统工作情况分析	(128)
第三节 逻辑无环流可逆调速系统	(131)
一、系统构成及工作原理	(131)
二、逻辑切换装置	(132)
第四节 可逆系统在纺织生产中的应用	(140)
一、主回路	(140)
二、环流问题	(140)
三、触发电路	(140)
习题	(144)
第五章 多电机同步传动系统	(146)
第一节 概述	(146)
第二节 印染联合机同步系统的构成与分类	(147)
一、印染工艺特点与同步系统的设计原则	(147)
二、印染联合机同步系统的分类	(151)
第三节 典型多单元同步系统实例	(154)
一、日本连续漂白机	(154)
二、德国丝光机	(156)
第四节 公共电源调磁同步系统设计	(157)
一、磁场开环的同步系统设计	(157)
二、磁场闭环的同步系统设计	(159)
第五节 分电源调压同步系统设计	(161)
一、按线速度跟随系统设计	(162)
二、按松紧架位置控制系统设计	(166)
第六节 锁相控制连续精练机传动系统分析	(167)
一、工艺简介	(167)

二、系统分析	(168)
第七节 连续精练机同步控制系统设计	(179)
一、松紧架同步控制系统设计	(180)
二、锁频、锁相同步控制系统设计	(181)
第八节 多单元同步控制系统的极点配置设计法	(183)
一、I型跟随系统的极点配置设计法	(183)
二、II型跟随系统的极点配置设计法	(185)
三、跟随系统希望极点的确定	(185)
四、多单元同步控制系统设计示例	(187)
习题	(189)
第六章 卷绕机构张力控制系统	(191)
第一节 概述	(191)
第二节 典型张力控制系统	(192)
一、锦纶帘子布浸胶机	(192)
二、浆丝机	(195)
三、涂布机	(200)
第三节 卷绕张力控制系统设计	(204)
一、直接张力控制系统设计	(204)
二、扰动补偿类张力控制系统设计	(212)
三、张力控制系统中电动机容量的选择	(221)
第四节 动态补偿	(222)
一、动态补偿原理	(222)
二、动态补偿方法	(224)
第五节 微机控制张力系统简介	(225)
一、微机控制张力系统之一	(226)
二、微机控制张力系统之二	(228)
三、微机控制张力系统之三	(229)
习题	(232)
参考文献	(234)

绪 论

任何工厂都有大量生产机械，如一个10万纱锭的纺织厂，就有40多台粗纱机，240多台细纱机，3000多台布机；一个年产8000万米的印染厂至少有上百台各种类型的联合机。这些生产机台都必须依靠电力拖动（即电动机带动生产机械）才能运转起来，才能形成生产力。电力拖动在整个工业生产中占有极为重要的地位。维护所有生产机台的正常运行，不断研究性能更好的电力拖动系统，是电气自动化技术人员的重要职责之一。

随着生产过程向自动化连续化的发展，生产机械常常需要依靠电力拖动来完成各种复杂的运动，使生产机械能够按要求加速、减速、制动、反转；使被控制量保持恒定或按一定的规律变化，等等。例如一台印染联合机，通常要有几台，甚至十几台电动机联合传动。如图所示。

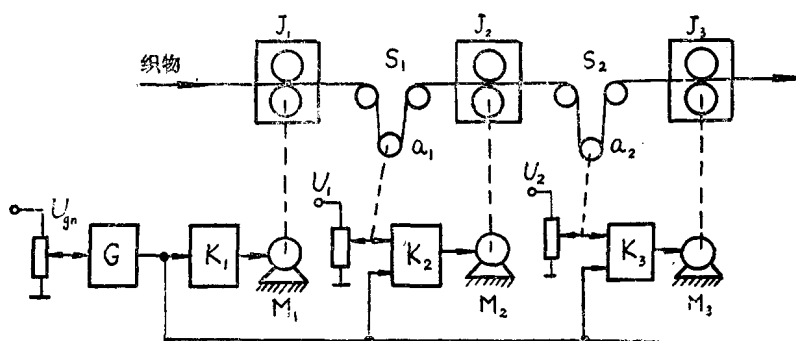


图0-1 印染联合机传动示意图

G—速度给定积分器 $J_1 \sim J_3$ —单元机加工机械
 $M_1 \sim M_3$ —各单元传动电动机 U_{gn} —总的速度控制信号
 $K_1 \sim K_3$ —各单元电动机控制电路 S_1, S_2 —松紧架装置

当两个相邻单元间线速度波动时，相应的调整辊 a_1, a_2 将上下移动，从而调节了 K_2, K_3 输入端的辅助控制电压 U_1, U_2 ，以调整后续单元的车速，与左边单元保持协调一致。

在实际生产中，由于加工对象和工艺要求的不同，印染联合机还可以按其他工艺要求进行设计。如要求织物在无张力下加工；或要求各单元机之间车速成一定比例，以使织物在规定张力下加工等。其次，由于纺织染生产中加工对象是纱线、织物，所以要求机台起制动尽可能协调、平稳，避免冲击。可见电动机并不只是简单地传动生产机械，而必须满足生产上提出的各种要求。而这些要求通常是由建立在反馈控制理论上的一套完善的控制电路来保证的。电力拖动加上相应的一套控制电路，就构成了电力拖动自动控制系统。当然，任何传动系统都还必须有一套相应的保护电路，以保证电气装置、设备和人身安全。

由于生产机械对电力拖动最主要、最普遍的要求是要有良好的调速性能和起制动性能，即要求机台起制动和运行状态既快又稳。所以电力拖动自动控制中研究最广泛的是自动调速

系统。

按拖动电动机的类型来分，自动调速系统有直流调速系统和交流调速系统两类。尽管交流电动机比直流电动机具有一系列优点，如结构简单、价格便宜、制造方便、维修容易等。但由于直流电动机具有良好的起制动性能，能方便地在大范围内平滑调速。所以直流电动机调速系统至今仍在纺织、印染、轧钢、造纸等工业的自动控制中广泛应用。可以肯定，在一定时期内，直流调速系统仍占统治地位。

当然，由于交流电动机具有一系列优点，近年来，交流调速系统的研究和应用都有了很大进展。有关交流调速的内容在《交流调速系统》课程中专门叙述。本书只讨论直流调速系统。

一般说来，任何自动控制系统的任务，都是为了保证被控制量尽可能精确地跟随给定量，并与给定量保持一致。电力拖动自动控制系统也不例外。所以按给定值的变化规律来分，自动调速系统可以分为：(1) 恒值系统。此类系统是指要求在运行过程中保持车速，或由车速决定的某一工艺参数（如张力、线速度）为恒定的传动系统；(2) 随动系统。它是指给定值不能预知或不必要预知的随机变化的控制系统。这类系统控制的任务是保证在各种情况下，系统被控量以一定的精度尽快跟随输入变化，所以也称同步跟踪系统；(3) 程序控制系统。适用于要求按事先确定的规律运行的生产机械。

其中程序控制系统主要在《工厂电气控制设备》课程中介绍。本书主要介绍恒值系统，也称稳速系统。关于随动系统，本书不作专门介绍，只在第五章应用实例中将涉及到这方面的概念。对于稳速系统，又有不可逆系统与可逆系统之分。不可逆系统适用于单方向运转的机台，可逆系统则适用于需要随时实现正向与反向运行切换的机台。

计算机技术的飞速发展，对电力拖动自动控制领域产生了巨大的影响，它作为一个能够完成各种复杂控制功能的控制部件，参与传动系统的运行控制。从而使传动系统能够实现各种最优控制、自适应控制，以至智能化控制等等。

本课程是工业电气自动化专业的专业课，是建立在《半导体变流技术》、《电机及拖动基础》、《自动控制原理》等先修课程基础上的。它运用以前所学的电机、半导体、电子电路等知识，在控制理论的指导下，根据生产工艺所提出的要求，去构成各种电力拖动自动控制系统。

另外，还组织编写了《计算机辅助教学系列软件》讲义，（以下简称“软件”）。作为本课程的一个教学工具。凡教材中涉及到的动态性能，都可通过《软件》讲义中提供的程序进行仿真，直接显示和打印出不同参数下过渡过程的曲线簇。由于在计算机上改变参数十分方便，只要给学生一个软盘，就可充分发挥每个学生的学习主动性、积极性，是教学、课程设计、毕业设计及科研的重要手段。

第一章 单闭环直流调速系统

第一节 调速系统的基本概念

一、调速方法

直流电动机的转速表达式为

$$n = \frac{U_a - I_a R}{C_e \Phi}$$

式中： U_a ——电枢电压；

I_a ——电枢回路电流；

R ——电枢回路总电阻；

Φ ——激磁磁通；

C_e ——电动机电势系数。

可见，它有三种调速方法，即改变电枢回路总电阻 R ；减弱激磁磁通 Φ ；调节电枢供电电压 U_a 。

其中以调压调速方式最好，调速范围广，调节平滑。但它只能从基速向下调节。在纺织生产中，常常利用减弱激磁向基速以上调节。这样，调磁与调压相结合，可以扩大调速范围，或在联合机同步运行中，利用磁场作辅助调节，起到协调车速的作用。

二、供电电源

采用调压调速，就必须有一个平滑可调的直流供电电源。50年代前，纺织生产中的直流调速系统，几乎全都采用旋转式变流机组供电，如图1-1所示。它由交流电动机 M_1 带动直流发电机 G_1 来获得直流电源。调节发电机激磁电流的大小，即可平滑地改变其输出电压，从而调节了电动机 M_2 的转速 n 。这样的调速系统简称F-D系统。 G_2 为直流激磁发电机，专门供给 G_1 、 M_2 的激磁电源。 U_L 为激磁电压。

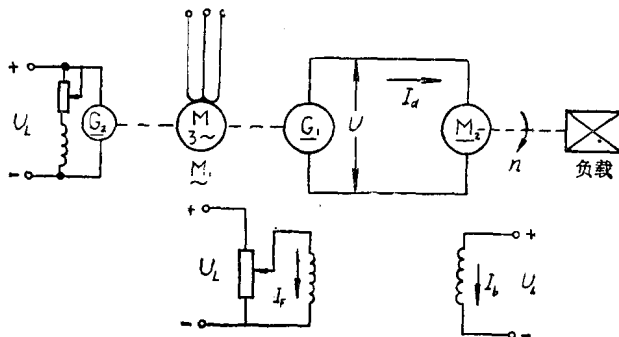


图1-1 F-D系统

60年代起，硅整流技术迅速发展，由于它是一种静止变流装置，所以调压器-硅整流供

电系统逐步代替了原来的F D系统。几乎与此同时，出现了更先进的晶闸管整流装置，它具有效率高、成本低、体积小、重量轻、无噪声、放大倍数高、反应灵敏等优点。从而很快取代了前两类供电系统。

现在各类晶闸管直流调速系统，都有系列产品供应。晶闸管与直流电动机几乎成为一个整体。为此，在本书中只介绍晶闸管—直流调速系统，简称KZ-D系统。KZ表示晶闸管整流装置。

三、开环KZ-D系统

关于晶闸管技术，已在《半导体变流技术》课程中介绍。最简单的KZ-D系统如图1-2所示。这里 U_{gn} 是输入量，电动机M是被控对象，转速“n”是被调量，即输出量。由于输入输出之间的信息是开环传递的，所以称之为KZ-D开环调速系统。这里 U_{gn} 实际上就是触发电路CF的移相电压。

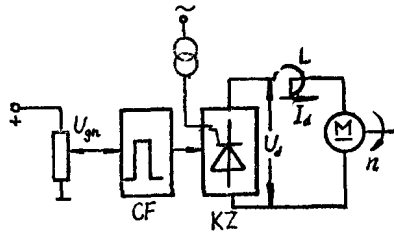


图1-2 KZ-D系统

电流连续情况下电枢回路的平均电压平衡方程式为

$$U_{d0} = E + I_a R_z$$

式中： U_{d0} ——理想空载整流电压；

R_z ——主回路等效总电阻；

$$R_z = R_b + R_{lx} + R_a$$

式中： R_b ——从变压器次级计算的变压器等效电阻；

R_{lx} ——变压器漏抗 X_b 引起的换向压降所对应的电阻；

R_a ——电动机电枢回路（包括平波电抗器）电阻。

在以后的分析中，用 $R_s = (R_b + R_{lx})$ 表示晶闸管整流装置的等效内阻。则总电阻 $R_z = R_s + R_a$ 。

由于 $E = C_e n$ ①，代入式(1-1)，得到转速表达式为

$$n = \frac{U_{d0}}{C_e} - \frac{I_a R_z}{C_e} = n_0 - \Delta n$$

式中： $n_0 = \frac{U_{d0}}{C_e}$ ——理想空载转速；

$\Delta n = \frac{I_a R_z}{C_e}$ ——对应于负载电流 $I_{Lz} = I_a$ 情况下的转速降。

① C_e 为 $C_e \Phi$ 的简写，除调磁调速系统外，均简写成 C_e 。

按图(1-2)，可以画出表示稳态信号传递关系的静态结构图(1-3)。

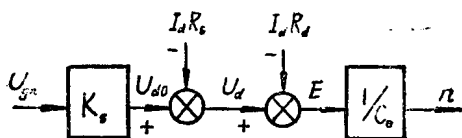


图1-3 开环系统静态结构图

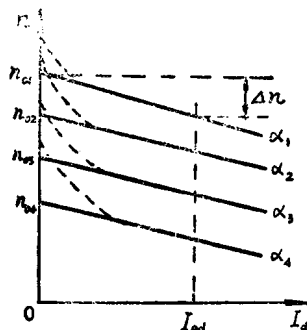


图1-4 开环机械特性

图中 K_s 表示晶闸管装置的电压放大倍数， $K_s = \frac{U_{d0}}{U_{g^n}}$ 。相应的转速表达式可以写为

$$n = \frac{U_{g^n} K_s}{C} - \frac{I_d R_2}{C} = n_0 - \Delta n \quad (1-2)$$

这就是电流连续情况下KZ-D开环系统机械特性。如图1-4实线部分所示。

结合图1-2可见，调节控制电压 U_{g^n} ，也就改变了晶闸管触发电路的移相角 α ，从而调节了晶闸管的空载整流电压 U_{d0} ，也就调节了理想空载转速 n_0 。又从式(1-2)可见， U_{g^n} 与 n_0 之间是线性对应关系。操作人员正是根据这种对应关系，就可以根据工艺要求预先给出定出所需的 U_{g^n} 值，以便确定所需的转速值，所以常常称 U_{g^n} 为转速给定值。

必须说明，由于晶闸管整流装置的输出电压是脉动的，相应的负载电流也是脉动的。这样，在电动机负载较轻，或主回路电感量不足的情况下，在 i_d 上升期间，电感中的储能较少，因此有可能在下一相还没有来得及触发之前，电磁能量就已经释放完，使该相晶闸管关断， $i_d = 0$ 。直到下一相触发后，才能再出现 i_d 。这就造成了电流断续。电枢电流断续后，电动机的反电势值受负载电流 I_d 的影响很大，随着负载电流的减小，反电势急剧升高。使理想空载转速比图1-4中的 n_0 高得多，如图中虚线示。一般当主回路中电感足够大，电机又有一定的空载电流时，近似认为电机工作在电流连续段内，并把特性曲线与纵轴的直线交点 n_0 作为理想空载转速。为分析方便，除特别说明外，以下都按电流连续情况来讨论。

由式(1-2)可知，当电动机轴上加机械负载时，电枢回路就要产生相应的电流 I_d 。

(实际上由于电动机本身具有空载力矩，理想空载是不存在的)。此时即产生 $\Delta n = \frac{I_d R_2}{C}$

的转速降。 Δn 的大小反映了机械特性的硬度， Δn 越小，硬度越高。

显然，由于系统是开环运行，除人工去直接调节 U_{g^n} 的值外， Δn 的大小完全取决于电枢回路电阻 R_2 及所加负载的大小。即造成转速降落的原因是电路内存在电阻压降。

在自动调速系统中，把负载电流变化引起转速的波动，称为负载扰动；负载电流引起的转速偏离理想空载转速 n_0 的下降量 Δn ，称为静态偏差。

须知， Δn 的大小对实际生产机械常具有十分重要的意义。例如，对于前述绪论中图所示的印染联合机，调试时常常先在不穿布的情况下逐个单元调整，使各个单元机在空载下的

稳态转速基本一致。然后再带上织物联合运行。如果各单元机系统的 Δn 差异较大,则虽然空载时车速是协调一致的,带载后也会不一致,严重时无法开车。或者,即使在某一状态下已调整到一致,但当某一单元负载发生波动时,其协调状态也要受到破坏。因此在调速系统设计中,首先要设法使 Δn 尽可能小,以至使 $\Delta n = 0$ 。

在转速自控系统中,无论怎样调节, Δn 都无法消除的系统,称为有差系统。凡是通过适当调节而可以使 $\Delta n = 0$ 的系统,称为无差系统。显然两者的机械特性是不同的。图1-5中曲线①为有差系统机械特性;曲线②为理想情况下无差系统机械特性。本章主要解决如何减小、消除静差的问题。

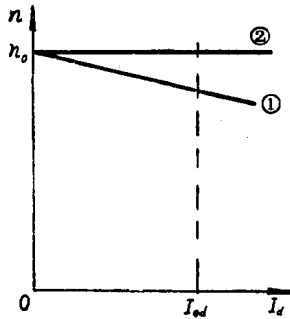


图1-5 两种机械特性

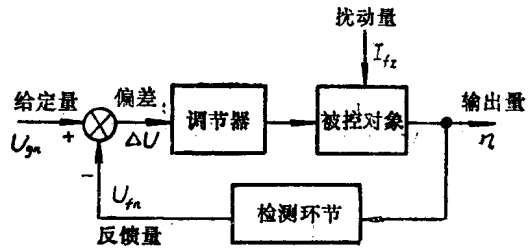


图1-6 反馈控制原理图

四、控制方式

前述已知,从控制理论的角度看,上面讨论的尽可能减小甚至消除静态偏差 Δn ,以使转速稳定在给定值上,是恒值系统的主要静态性能要求,所以这种自动调速系统也称稳速系统。

对恒值系统,常用的有两种控制方式,一种是按反馈原理组成被调量的直接负反馈系统,如图1-6所示。它是由检测装置测量被调量 n 的极性和大小,并转换成相应的电量 U_{fn} ,再把它与给定量 U_{gn} 相比较,从而得到被调量与给定量之间的偏差值。系统正是利用此偏差信号,通过调节器所确定的调节规律,对KZ-D系统进行自动调节,使输出量尽可能稳定在给定值上。所以反馈控制也称按偏差控制。反馈控制是各类自动控制中最基本的控制方式。

除此以外,也常采用按扰动调节的方式来实现恒值控制。在调速系统中,引起转速波动的因素很多,除了上述提到的由于负载加大引起转速降外,交流电源电压的波动,电动机激磁电流的波动,温升引起的主回路电阻的增大等,都将引起转速波动。在自控系统中,把给定值不变时引起被调量波动的因素,称为对系统的扰动作用。

如果某种扰动因素已知,并被检测出来,就可利用扰动信号来产生一种与扰动效果相反的补偿作用,从而使被调量尽可能维持在给定值上。这种控制称为按扰动控制。

如图1-2所示的开环调速系统,当负载电流加大时,其转速降 $\Delta n = \frac{I_a R}{C_e}$ 也加大。如果

把电流信号 I_a 检测出来,转换成与 I_a 成正比的电压信号 U_i , $U_i = I_a \beta$ 。系数 β 称为电流反馈系数。并把它与转速给定信号 U_{gn} 相加,作为晶闸管装置的移相信号。如图1-7所示。 $U_s = U_{gn} + U_i$ 。显然,与图1-6不同,当负载电流 I_a 加大时, U_i 也成比例加大,从而使加到触发电

路的移相电压 U_k 加大, 则 U_i 加大, 使转速产生一个与 U_i 对应的上升量。如果 U_i 的值取得适当, 可使 U_i 所产生的附加速升等于 $I_a \cdot R_B$ 产生的转速降, 就可以消除负载对转速的扰动作用。当然这里只是为了说明扰动补偿控制原理, 实际使用还要考虑其他方面的问题。

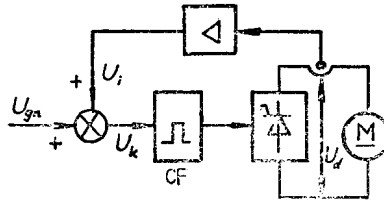


图1-7 扰动补偿控制原理

按扰动组成的自调系统与按偏差控制的自调系统不同, 前者只能补偿某一种预定的扰动所产生的偏差。而反馈控制可以抑制反馈环内主通道上一切扰动造成的偏差。可见按偏差控制的自动调节系统比按扰动补偿的调节系统优越。如果把这两种方法同时使用到一个系统中, 则称为复合控制系统。

五、调速指标

一个调速系统性能好坏, 可以用静态、动态两方面的性能指标来描述。必须说明, 对不同类型的系统, 由于工作特点不同, 其性能指标的规定也不同。这里主要叙述电力拖动中调速系统的性能指标。

笼统地说, 一个好的调速系统, 应该既能在较宽的范围内平滑地调速, 又要求一旦把转速调整到某一数值后, 尽可能不受外部或内部干扰的影响。同时还要求系统具有良好的起制动性能。

为了准确地评价一个调速系统的好坏, 把上述要求归结为如下指标。

1. 静态指标

(1) 调速范围 D : 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。

即

$$D = \frac{n_{max}}{n_{min}} \quad (1-3)$$

在调速系统设计中, 一般以电动机额定转速 n_{ed} 作为 n_{max} 。

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

$$s \% = \frac{\Delta n_{ed}}{n_0} \times 100 \% \quad (1-4)$$

静差率 s 表征了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。

由式(1-4)可知, 静差率不仅与转速降有关, 还与理想空载转速的大小有关。如图1-

8 中所示。特性①与②硬度一样，两者在额定负载下的转速降相等，即 $\Delta n_{ed1} = \Delta n_{ed2}$ 。但由于理想空载转速不同， $n_{01} > n_{02}$ ，所以两者的静差率不同：

$$s_1\% = \frac{\Delta n_{ed1}}{n_{01}} \times 100\% < s_2\% = \frac{\Delta n_{ed2}}{n_{02}} \times 100\%$$

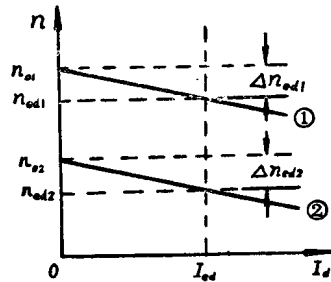


图1-8 不同理想空载转速时特性的静差率

即随着理想空载转速的降低，相对转速降增大。所以实际应用中，生产机械对电力拖动系统所提出的静差率要求，是指最低速而言的。低速时能满足要求，高速时也就一定能满足要求。于是就存在这样一个问题：一个调速系统，其调速范围 D 越大，最低理想空载转速也就降得越低，则这个系统的静差率 s 也就越大。可见，调速范围 D 、静差率 s 、额定转速降 Δn_{ed} 这三者是互相关联、互相制约的。

下面推导它们之间的数量关系。

由图1-8可知

$$D = \frac{n_{ed1}}{n_{ed2}} = \frac{n_{01}}{n_{02} - \Delta n_{ed}}$$

由低速时静差率 $s = \frac{\Delta n_{ed}}{n_{02}}$ 得 $n_{02} = \frac{\Delta n_{ed}}{s}$ 。

代入前式，得

$$D = \frac{n_{ed1}}{\frac{\Delta n_{ed}}{s} - \Delta n_{ed}} = \frac{n_{ed1} \cdot s}{\Delta n_{ed}(1-s)} = \frac{n_{ed} \cdot s}{\Delta n_{ed}(1-s)} \quad (1-5)$$

式中： n_{ed1} ——电动机额定转速 ($n_{ed1} = n_{ed}$)；

s ——额定负载下最低速时的静差率；

Δn_{ed} ——额定负载下电动机转速降。

式 (1-5) 的物理意义是很清楚的，当 n_{ed} 、 Δn_{ed} 一定时，对静差率要求越高，即 s 越小，则允许的调速范围 D 就越小。所以若要同时满足工艺上对静差率和调速范围的要求，就必须把转速降 Δn_{ed} 限制在一定的范围内。即 $\Delta n_{ed} = \frac{n_{ed}s}{D(1-s)}$ 。

例 某生产机械,其传动电动机额定转速 $n_{ed} = 1430\text{r/min}$,额定转速降 $\Delta n_{ed} = 115\text{r/min}$ 。若要求调速范围 $D = 5$,静差率 $s = 0.1$,问此系统能否满足要求?

解: 根据式(1-5)。要满足静态指标 $D = 5$ 、 $s = 0.1$,则相应允许的转速降

$$\Delta n_{ed} = \frac{n_{ed} \cdot s}{D(1-s)} = \frac{1430 \times 0.1}{5(1-0.1)} \approx 31.8$$

很明显,系统实际转速降远大于 $\Delta n_{ed}'$,不能满足要求。

上例若保持静差率 $s = 0.1$,转速降 $\Delta n_{ed} = 115\text{r/min}$,则系统可达到的调速范围由式(1-5)求得: $D = \frac{n_{ed} \cdot s}{\Delta n_{ed}(1-s)} = \frac{1430 \times 0.1}{115(1-0.1)} = 1.38$,远小于原规定的值。

必须注意,静态指标 D 、 s 是生产工艺为保证加工质量所要求的,是不能随便改变的,例如印染纺织类生产机械,其调速范围一般为 $D = 3 \sim 10$,其静差率为 $s = 0.3 \sim 0.5$ 。某些加工精度较高的印染机台,要求 $s = 0.1 \sim 0.2$,实现这一指标唯一的办法是减小 Δn_{ed} 。这对开环系统是无能为力的,因为在额定负载下 $\Delta n_{ed} = \frac{I_{ed} R_r}{C}$ 是一个固定值。通常的方法是采用

被调量的直接负反馈,组成闭环系统,从而减小静态误差。

2. 动态指标 一个自控系统通常受到给定和扰动两个输入作用。因此系统的动态指标也包括两个方面:对给定输入应该尽快地、不失真地跟踪,其相应的动态指标称为跟随性指标;对干扰输入,系统应尽量不受影响,一旦受到影响,应尽快通过自动调节而加以消除,其相应动态指标称为抗扰动性能指标。总之,要求系统的动态过程既快又稳。

这里只粗略地介绍动态指标的概念,具体动态指标的定义,将在第三章中详细介绍。

第二节 单闭环有静差自动调速系统

一、系统组成、原理与机械特性

若在图1-2所示开环系统的触发器CF前加上放大器FD,其放大倍数为 K_p 。并用一台与主传动电动机硬轴联接的测速发电机TG作为转速 n 的检测元件,它的输出电压 $U_{ro} = K_n n$ 正比于转速 n ,经电位器 R_p 分压,取出一部分 $U_{rn} = K U_{ro} = \alpha n$,加到放大器FD输入端与给定电压 U_{gn} 比较后,得到偏差电压 $\Delta U = U_{gn} - U_{rn}$,该偏差信号经放大器放大后,便成为晶闸管触发装置的控制电压 U 。这样就构成了一个转速负反馈自动调速系统。如图1-9所示。

这时系统工作情况与开环时有着本质的不同,设图1-10中一组平行的斜线表示原开环系统的机械特性。现组成闭环系统后,设当给定电压为 U_{n1} 时,相应控制电压为 U_{c1} ,电动机端电压为 U_{d1} 。在负载电流为 I_{d1} 时,电动机运行在 U_{d1} 决定的开环特性的 a 点上,此时电动机转速为 n_1 ,且有: $U_{d1} = \alpha \cdot n_1$;

$$(U_{n1} - U_{d1})K_p = \Delta U_1 \cdot K_p = U_{c1}$$

然后将电动机轴上负载加大到 I_{d2} ,如果是开环情况,转速最后将稳定到 a' 点上。但闭环情况则不同,此时随着转速 n 的下降,将引起 U_{ro} 的下降,从而使 ΔU 加大,相应 U_{c1} 加大到 U_{c2} ,整流电压增加到 U_{d2} ,转速最后将稳定到由 U_{d2} 所决定的特性上的 b 点。同理,如果