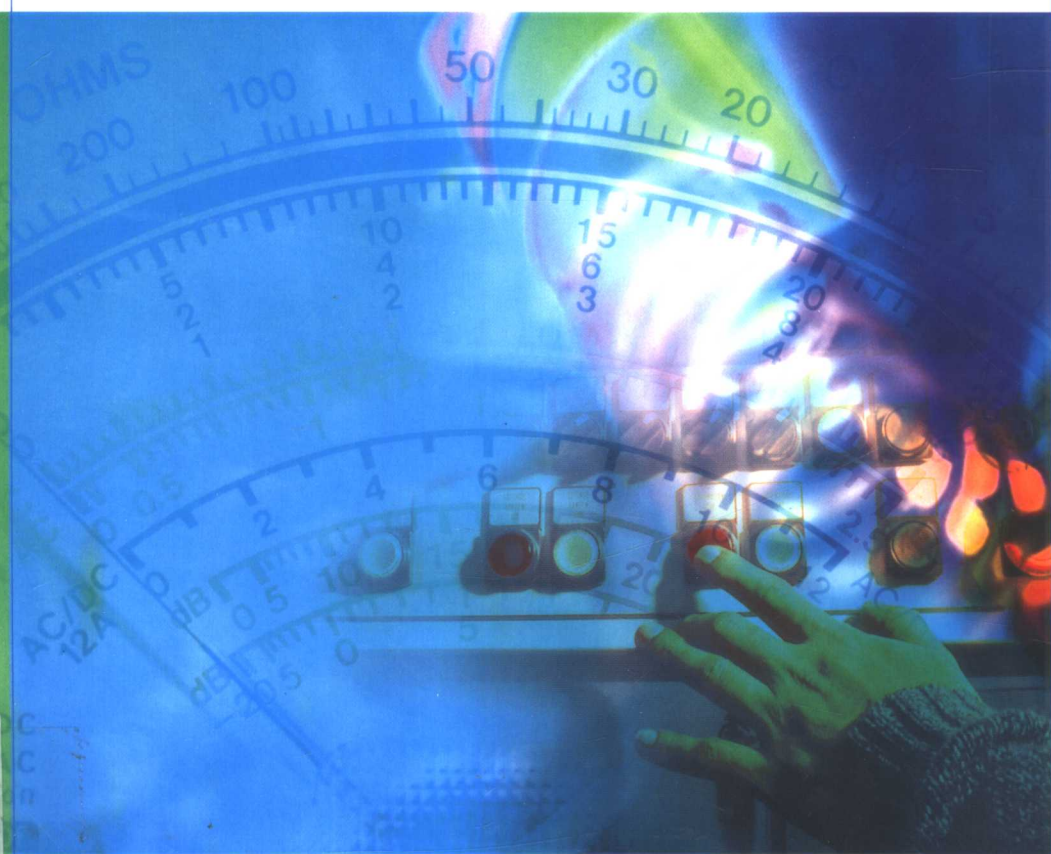




应用型本科人才培养创新教材出版工程

交直流传动技术 实训教材

张兴华 崔桂梅 王洪希 编著



科学出版社

www.sciencep.com

内 容 简 介

本实训教材主要介绍交直流传动的实用控制技术。从应用、实际操作的角度进行分析讲解,理论紧密结合实际,以实际应用为出发点,定性地进行理论分析。在内容安排上侧重于介绍实际应用与调试方法。

主要包括:直流电动机传动控制,数字调速器 E-590 的使用与调试等;交流电动机传动变频控制,其中包括变频器的基本原理、变频器的功能及参数预置、变频器的实际操作与运行调试、变频器与 PLC 组成的调速控制系统的应用等;交流电动机传动调压调速控制,电动机软起动器的基本原理、使用与调试等;交流电动机传动的串级调速控制。

本书可作为高等院校的自动化、电气工程及其自动化、机电一体化等专业,以及高等职业技术学院、高等专科学校、继续教育学院等专科层次学校的电气技术、工业电气自动化、机电应用技术等专业学生的教材或教学参考书;也可供技术培训及相关技术人员参考。

本书同时是信息产业部“CEAC 信息化培训认证管理办公室”电子工程师认证课程体系的指定教材。

图书在版编目(CIP)数据

交直流传动技术实训教材/张兴华等编著. —北京:科学出版社,2005
应用型本科人才培养创新教材出版工程
ISBN 7-03-014691-3

I. 交… II. 张… III. 交直流电传动-教材 IV. TM921
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 127080 号

责任编辑:许 远 刘宝莉 / 责任校对:李奕莹
责任印制:安春生 / 封面设计:王仕波

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>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年3月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2005年3月第一次印刷 印张:13

印数:1—4 000

字数:244 000

定价:19.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

前 言

本实训教材是针对高等职业教育的教学需要及其技术培训而编写的。本着原理定性讲、操作现场讲的原则,从实用、实际操作的角度分析讲解。淡化理论推导,在具体培训内容上,强调实用能力的培养,以动手操作为主。通过本教材,使学生掌握交直流传动控制技术的基本原理、调速方式、控制方法及其装置正确的调试与使用。本教材具有语言描述浅显易懂、深入浅出、紧密结合实际等特点。

本教材主要介绍交直流传动的实用技术,在掌握原理的基础上,重在实际调试与应用。主要包括:直流电动机传动控制,如开环调速、单闭环、双闭环及可逆调速系统,数字调速器 E-590 的使用与调试等;交流电动机传动变频控制,如变频器的基本原理、变频器的功能及参数预置、变频器的实际操作与运行调试、变频器与 PLC 组成的调速控制系统及其应用等;交流电动机传动调压调速控制,电动机软起动器的基本原理、使用与调试等;交流电动机传动的串级调速控制。

本书由北华大学白晶和北京科技大学高海主审,他们对本教材提出了中肯和建设性的意见,在此表示诚挚的谢意。在编写过程中参阅和利用了部分兄弟院校的教材及有关文献资料,在此对原作者表示感谢。

由于编者水平有限和时间比较仓促,书中疏漏和不妥之处,敬请读者批评指正。

目 录

前言

第一章 直流电动机传动控制	1
1.1 控制系统的组成及系统的要求	1
1.1.1 自动控制和自动控制系统	1
1.1.2 开环控制系统	1
1.1.3 闭环控制系统	1
1.1.4 控制系统的技术指标	2
1.2 晶闸管调速系统参数的测定	5
1.3 晶闸管供电直流电动机传动开环调速控制.....	11
1.4 转速闭环直流电动机传动调速控制.....	13
1.5 开环系统、闭环系统（有差、无差）的调试.....	17
1.6 转速、电流双闭环直流电动机传动调速控制.....	25
1.7 双闭环无静差调速系统的调试.....	33
1.8 逻辑无环流直流电动机传动可逆调速控制系统.....	38
1.9 数字式直流调速系统.....	44
1.9.1 数字调速系统的特点	44
1.9.2 数字式直流调速系统的基本组成	45
1.9.3 数字直流调速器 E-590 概述	47
1.9.4 数字调速器的选择	50
1.9.5 调速器的基本安装及配线说明	50
1.9.6 调速器的调试	51
第二章 交流电动机传动变频控制	54
2.1 变频调速控制基本原理.....	54
2.2 变频器组成与分类.....	56

2.2.1 变频器的组成	56
2.2.2 变频器分类	58
2.3 $V/F=C$ 变频开环调速控制	60
2.4 转差闭环变频调速控制	62
2.4.1 控制方式及性能	62
2.4.2 实现原理	62
2.4.3 系统组成及工作原理	63
2.5 矢量控制变频调速系统	64
2.6 直接转矩控制	65
2.7 变频器的功能及设置	67
2.7.1 变频器的控制方式	67
2.7.2 变频器中频率的名称与功能	72
2.7.3 变频器频率的给定功能	76
2.7.4 变频器的基本控制功能	82
2.7.5 升速与启动功能	86
2.7.6 降速与制动功能	90
2.7.7 变频调速的程序控制功能	94
2.7.8 变频器的 PID 调节功能	96
2.7.9 变频器的保护功能	103
2.7.10 变频器几个重要参数设定	107
2.7.11 变频器的通讯功能	109
2.8 变频器的实际操作与运行调试	113
2.8.1 变频器的面板操作与运行	118
2.8.2 变频器的外部运行、组合运行	120
2.8.3 变频器常用参数的功能校验	122
2.8.4 程序运行方式	125
2.8.5 多挡转速的控制	129
2.9 通用变频器及其周边设备的选择	131
2.10 变频器的安装、调试及干扰的防范	143

2.10.1 变频器的安装及干扰	143
2.10.2 变频器的功率因数改善措施	147
2.10.3 变频器的抗干扰措施	148
2.10.4 变频调速系统的调试	151
2.11 变频器与 PLC 组成的调速控制系统	153
2.11.1 变频器与 PLC 组成的开环调速控制系统	153
2.11.2 变频器与 PLC 构成闭环调速控制系统	154
第三章 交流电动机传动调压调速控制	157
3.1 交流电动机传动开环调压调速控制	157
3.2 交流电动机传动转速闭环调压调速控制	160
3.3 双闭环交流电动机调压调速系统的调试	162
3.4 软起动器构造基本原理	166
3.5 软起动器应用实例	170
第四章 交流电动机传动的串级调速控制	180
4.1 串级调速基本原理	180
4.2 串级 ASR、ACR 双闭环调速控制	185
4.3 双闭环三相异步电动机串级调速系统的调试	188
附录 三菱 FR-A540 变频器简介	193
参考文献	199

第一章 直流电动机传动控制

1.1 控制系统的组成及系统的要求

1.1.1 自动控制和自动控制系统

自动控制是指在无人直接参与的情况下，利用自动装置使被控对象，如机器设备、生产过程中的位移、速度、温度、压力、电压、电流及某些化合物的成分等物理量自动地按照预定规律运行或变化。

例如，实现电网电压和频率自动维持恒定不变，实现电动机转速恒定不变，实现导弹自动瞄准目标，以便有效打击敌人，实现无人驾驶飞机自动按预定的轨道飞行等，都需要应用自动控制技术来完成。这种能对被控制对象的工作状态进行自动控制的系统称为自动控制系统。

自动控制系统可分为开环控制系统和闭环控制系统。

1.1.2 开环控制系统

开环控制系统是指根据给定的控制量进行控制，而被控制量在整个控制过程中对控制量不产生任何影响。对于被控制量相对于其预期值可能出现的偏差，本系统不具备修正能力。图 1.1 所示的晶闸管供电直流电动机拖动系统就是开环控制系统。其中参考输入量（控制量）是 U_{cl} ，输出量是转速 n 。在此系统中，对参考输入的每个值都对应有固定的工作状态和输出，改变参考输入时，可

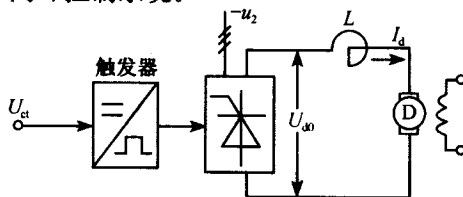


图 1.1 KZ-D 开环系统

改变系统的状态和输出。由图 1.1 可知，系统中只有输入量对输出量的控制作用，而没有输出量反向影响输入量的控制作用。图 1.2 是开环控制的职能方块图。

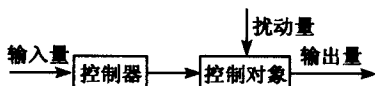


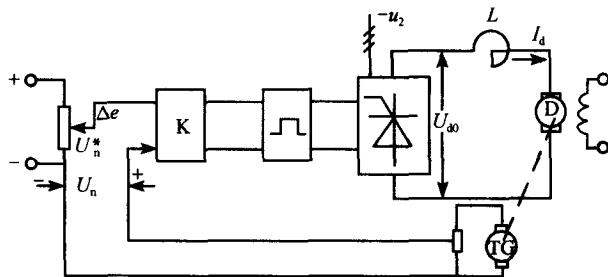
图 1.2 开环控制的职能方块图

1.1.3 闭环控制系统

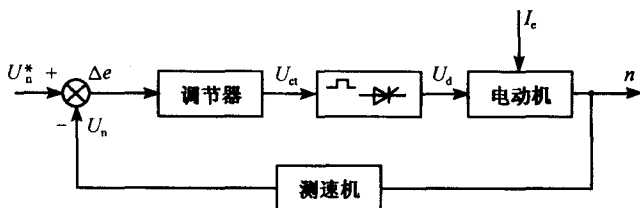
闭环控制系统是既有参考输入控制输出量的前向或称顺向控制作用，又有输出量引回到输入端的反向控制作用，形成一个闭环控制形式，如图 1.3 所示。

通常把输出量引回到输入端与参考输入量进行比较的过程称为反馈，所以闭

环控制系统又称反馈控制系统。如果反馈信号与参考输入信号符号相反，称为负反馈；符号相同称为正反馈。自动控制系统中多用负反馈，图 1.3 就是负反馈控制系统。



(a) SCR-D 闭环控制系统原理图



(b) SCR-D 闭环控制系统方块示意图

图 1.3 SCR-D 闭环控制系统

1.1.4 控制系统的技术指标

控制系统的技术指标不但用来评价系统的技术性能，而且是设计系统的主要依据，一般分为静态指标和动态指标两大类。

1. 静态指标

静态指标代表调速系统在稳定运行中的各种性能，主要指调速范围和静差率。

(1) 调速范围

生产机械要求电动机在额定负载时提供的最高转速 $n_{\max}$ 与最低转速 $n_{\min}$ 之比叫做调速范围，表示为

$$D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} \quad (1.1)$$

对于非弱磁的调速系统，电动机最高转速 $n_{\max}$ 就是额定转速 n_{nom} 。对于少数负载很轻的机械，如精密机床，也可以用实际负载的最高转速和最低转速求调速范围。

(2) 静差率

调速系统的静差率是指电动机稳定运行时, 负载由零增加到额定值时, 对应的静态转速降与理想空载转速之比称做静差率 S , 即

$$S = \frac{n_0 - n_{\text{nom}}}{n_0} = \frac{\Delta n_{\text{nom}}}{n_0} \quad (1.2)$$

或用分数表示:

$$S = \frac{\Delta n_{\text{nom}}}{n_0} \times 100\% \quad (1.3)$$

静差率实质上描述调速系统的转速随负载变化的程度, 它和机械特性的硬度有关, 特性越硬, 静差率越小, 转速的稳速性能就越好。

但是静差率和机械特性硬度又是有区别的。一般调速系统在不同转速下的机械特性是互相平行的, 如图 1.4 中的 a 和 b 硬度相同, 额定转速降 $\Delta n_{\text{nom}a} = \Delta n_{\text{nom}b}$, 但它们的静差率却不同。根据式 (1.3) 定义, 由于 $n_{0a} > n_{0b}$, 所以 $S_a < S_b$ 。这就是说对同样硬度的特性, 理想空载转速越低时, 静差率就越大。转速的相对稳速性能也就越差, 因此, 对一个系统提出静差率指标时一般指系统的最大静差率, 也就是对应于最低转速时的静差率。静差率可以表示为

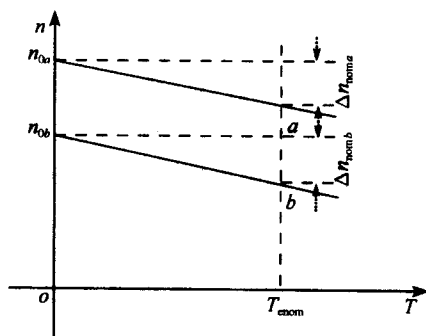


图 1.4 机械特性

$$S = \frac{\Delta n_{\text{nom}}}{n_{0\text{min}}} \quad (1.4)$$

显然静差率的大小直接影响调速范围。在考虑系统的静差指标时应同时考虑调速范围和静差率。

2. 动态指标

调速系统的动态指标是指系统在给定信号和扰动信号下系统的动态过程品质。系统对给定信号的响应能力也称做跟随指标, 对各种干扰信号的抵制能力称做抗扰动指标。

(1) 跟随指标

调速系统对给定信号的跟随性能一般用在阶跃给定信号下系统响应的最大超调量 $\delta(\%)$, 调节时间 t_s , 振荡次数 N 三个指标来衡量 (见图 1.5)。

1) 最大超调量 $\delta(\%)$ 。它是指输出响应与给定值的最大偏差量 $\Delta n_{\text{max}}(t)$ 与给定值 $n_{\text{ref}}(t)$ 之比, 即

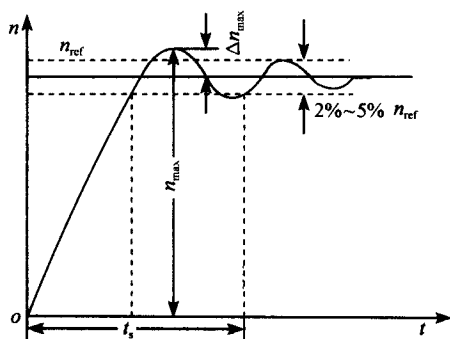


图 1.5 阶跃给定的动态响应曲线

$$\delta = \frac{\Delta n_{\max}}{n_{\text{ref}}} \times 100\%$$

或

$$\delta = \frac{n_{\max} - n_{\text{ref}}}{n_{\text{ref}}} \times 100\% \quad (1.5)$$

不同的调速系统对最大超调量的要求不同, 比如, 一般调速系统允许最大超调量 δ 为 10%~35%, 而卷取机张力控制系统 (如造纸机) 则不允许有超调量。

2) 调节时间 t_s 。输出响应曲线与稳态值之差达到允许范围内 (一般取稳态值的 $\pm 2\% \sim \pm 5\%$) 所需要的时间, 而且以后不再超出这个范围。

3) 振荡次数 N 。它是指在调整时间内, 被调量在稳态值上下摆动的次数 (一上一下为一次)。振荡次数反映了系统的稳定性, 一般调速系统允许振荡 2~3 次, 有的系统则不允许出现振荡。

(2) 抗扰动指标

对抗扰动作用时的动态响应性能称“抗扰”性能, 一般用最大动态速降 $\Delta n_{\max}$ 、恢复时间 t_f 和振荡次数 N 三个指标来衡量。任何系统都难于避免扰动量的影响。调速系统受突加负载扰动时的动态响应曲线如图 1.6 所示, 与其对应的抗扰性能指标定义如下:

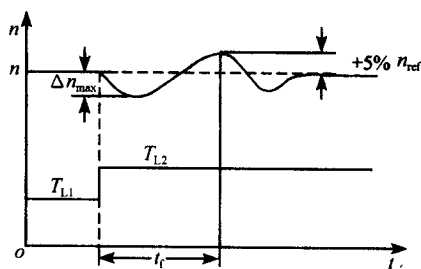


图 1.6 突加负载时的动态响应曲线

1) 动态速降 $\Delta n_{\max}$ 是指扰动引起的最大转速偏差, 见图 1.6。动态速降反映了系统抗扰动的能力。

2) 恢复时间 t_f 是指由扰动作用瞬间到输出量恢复到允许范围内 (一般取稳态值的 $\pm 2\% \sim \pm 5\%$) 所经历的时间。

3) 振荡次数 N 为在恢复时间内被调量在稳态值上下摆动的次数, 它代表系统的稳定性和抗扰能力的强弱。

上述的指标中, 最大超调量 (或动态速降) 和振荡次数反映了系统的稳定性, 调整时间 (或恢复时间) 反映了系统的快速性; 系统的过渡过程结束后, 被调量偏离给定量的差值反映了系统的准确性 (额定负载扰动而引起的偏差量的相对值就是静差率 S)。

从以上讨论的有关调速系统的静、动态期望指标可以看出, 对于生产机械电气传动控制一般要求调速范围宽些, 系统动态响应要快些, 输出响应平稳达到给

定值,但在同一个系统中这些指标往往是相互矛盾的。

1.2 晶闸管调速系统参数的测定

1. 测试参数的目的

- 1) 了解 DKSZ-1 型电机控制系统实验装置的结构及布线情况。
- 2) 熟悉晶闸管直流调速系统的组成及其基本结构。
- 3) 掌握晶闸管直流调速系统参数反馈环节测定方法。

2. 测试内容

- 1) 测定晶闸管直流调速系统主电路总电阻 R_{Σ} 。
- 2) 测定晶闸管直流系统主电路电感 L 。
- 3) 测定直流电动机-直流发电机-测速发电机组的飞轮惯量 GD^2 。
- 4) 测定晶闸管直流调速系统主电路电磁时间常数 T_d 。
- 5) 测定直流电动机电势常数 C_e 和转矩常数 C_m 。
- 6) 测定晶闸管直流调速系统机电时间常数 T_m 。
- 7) 测定晶闸管触发及整流装置特性 $U_d = f(U_{\alpha})$ 。
- 8) 测定测速发电机特性 $U_n = f(n)$ 。

3. 测试系统组成和工作原理

晶闸管直流调速系统由整流变压器、晶闸管整流调速装置、平波电抗器、电动机-发电机组等组成。

测试系统中,整流装置的主电路为可控硅三相桥式电路,控制回路可直接由给定电压 U_g 作为触发器的移相控制电压 U_{α} , 改变 U_g 的大小即可改变控制角 α , 从而获得可调的直流电压和转速,以满足本系统要求。

测试系统组成原理如图 1.7 所示。

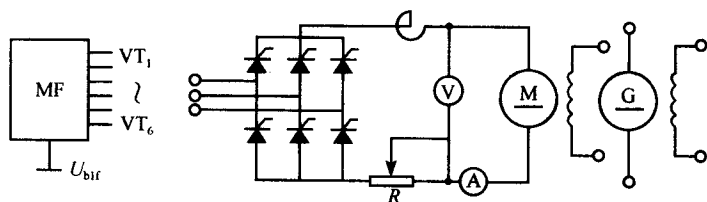


图 1.7 测试系统原理图

4. 测试系统需要设备及仪器

- 1) DKSZ-1 型实验装置主控制屏 DK01。
- 2) 直流电动机-直流发电机-测速发电机组。
- 3) DK02 挂箱。
- 4) 直流电压表、直流电流表。
- 5) 光线示波器。
- 6) 滑线电阻器。
- 7) 万用表、电桥等。

5. 测试方法

(1) 电枢回路电阻 R_{Σ} 的测定

电枢回路的总电阻 R_{Σ} 包括电机的电枢电阻 R_a ，平波电抗器的直流电阻 R_L 和整流装置内阻 R_n ，即

$$R_{\Sigma} = R_a + R_L + R_n \quad (1.6)$$

测量晶闸管整流装置的电源内阻，可采用伏安比较法测定，测试线路如图 1.8 所示。

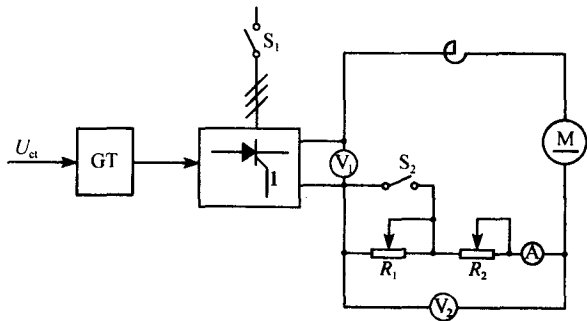


图 1.8 伏安比较法实验线路

将变阻器 R_1 、 R_2 接入被测系统的主电路，测试时电动机不加励磁，并使电机堵转。合上 S_1 、 S_2 ，调节 U_d 使整流装置输出电压 $U_d = (30\% \sim 70\%)U_{d0}$ ，然后调整 R_2 使电枢电流为 $(80\% \sim 90\%)I_{d0}$ ，读取电流表 A 和电压表 V_2 的数值 I_1 、 U_1 ，则此时整流装置的理想空载电压为

$$U_{d0} = I_1 R_{\Sigma} + U_1 \quad (1.7)$$

调节 R_1 使之与 R_2 相近，断开开关 S_2 ，在保证 U_d 不变的条件下读取电流表 A 和电压表 V_2 的数值 I_2 、 U_2 ，则

$$U_{d0} = I_2 R_{\Sigma} + U_2 \quad (1.8)$$

求解式 (1.7) 和式 (1.8), 可得电枢回路总电阻

$$R_{\Sigma} = \frac{U_2 - U_1}{I_1 - I_2} \quad (1.9)$$

如把电机电枢两端短接, 重复上述测试, 可得

$$R_L + R_n = \frac{U'_2 - U'_1}{I'_1 - I'_2} \quad (1.10)$$

则电机的电枢电阻为

$$R_a = R_{\Sigma} - (R_L + R_n) \quad (1.11)$$

同样, 短接电抗器两端, 也可测得电抗器直流电阻。

(2) 电枢回路电感 L 的测定

电枢电路总电感包括电机的电枢电感 L_a 、平波电抗器电感 L_L 和整流变压器漏感 L_B , 由于 L_B 数值很小, 可忽略, 故电枢回路的等效总电感为

$$L = L_a + L_L \quad (1.12)$$

电感的数值可用交流伏安法测定。电动机应加额定励磁, 并使电机堵转, 测试线路如图 1.9 所示。

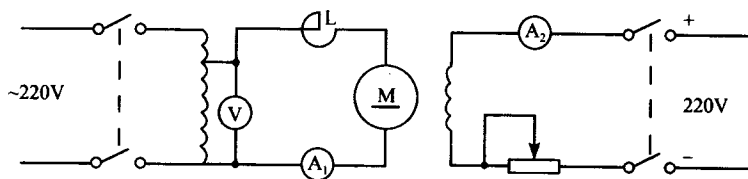


图 1.9 测量电枢回路电感的实验线路图

测试时交流电压的有效值应小于电机直流电压的额定值, 用电压表和电流表分别测出接入交流电压后电枢两端和电抗器上的电压值 U_a 和 U_L 及电流 I , 从而可得到交流阻抗 Z_a 和 Z_L , 计算出电感值 L_a 和 L_L 。

$$Z_a = \frac{U_a}{I} \quad (1.13)$$

$$Z_L = \frac{U_L}{I} \quad (1.14)$$

$$L_a = \frac{Z_a^2 - R_a^2}{2\pi f} \quad (1.15)$$

$$L_L = \frac{Z_L^2 - R_L^2}{2\pi f} \quad (1.16)$$

(3) 直流电动机-发电机-测速发电机的飞轮惯量 GD^2 的测定

电力拖动系统的运动方程式为

$$T - T_z = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} \quad (1.17)$$

式中: T —电动机的电磁转矩, Nm;

T_z —负载转矩, 空载时即为空载转矩 T_k , Nm;

n —电动机转速, r/min。

电机空载自由停车时, $T=0$, $T_z=T_k$, 运动方程式为

$$T_z = (-GD^2/375) \times \frac{dn}{dt}$$

或

$$GD^2 = \frac{375 T_k}{\frac{dn}{dt}} \quad (1.18)$$

式中 GD^2 的单位为 Nm^2 。

T_k 可由空载功率 P_k (单位为 kW) 求出。

$$P_k = U_a I_k - I_k^2 R \quad (1.19)$$

$$T_k = \frac{9.55 P_k}{n} \quad (1.20)$$

式中 n 可由自由停车时所得曲线 $n=f(t)$ 求得, 其测试线路如图 1.10 所示。

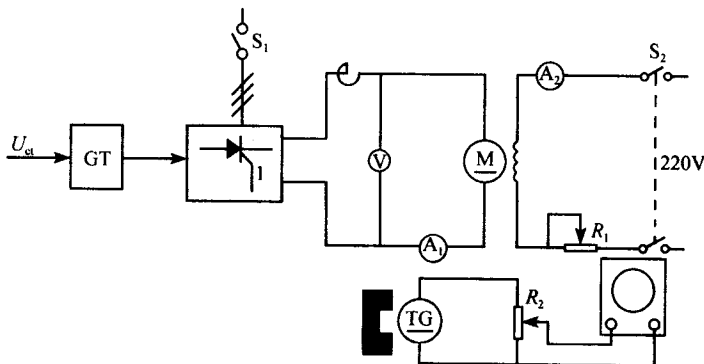


图 1.10 测定 GD^2 时的实验线路

电动机加额定励磁, 将电机空载起动至稳定转速后测取电枢电压 U_d 和电流 I_k , 然后断开 U_{ct} , 用光线示波器拍摄 $n=f(t)$ 曲线, 即可求取某一转速时的 T_k 和 $\frac{dn}{dt}$ 。由于空载转矩不是常数, 可以转速 n 为基准选择若干个点, 测出相应的 T_k 和 $\frac{dn}{dt}$, 以求取 GD^2 的平均值。

(4) 电枢回路电磁时间常数 T_d 的测定

采用电流波形法测定回路电磁时间常数 T_d , 电枢回路突加给定电压时, 电流 i_d 按指数规律上升:

$$i_d = I_d(1 - e^{-t/T_d}) \quad (1.21)$$

其电流变化曲线如图 1.11 所示。当 $t = T_d$ 时, 有

$$i_d = I_d(1 - e^{-1}) = 0.632 I_d \quad (1.22)$$

测试线路如图 1.12 所示。电机不加励磁, 调节 U_α 使电机电枢电流为 $(50\% \sim 90\%)I_{ed}$ 。然后保持 U_α 不变, 断开 S 后再突然合上主电路开关 S, 用光线示波器拍摄 $i_d = f(t)$ 的波形, 由波形图上测量出当电流上升至 63.2% 稳定值时的时间, 即为电枢回路的电磁时间常数 T_d 。

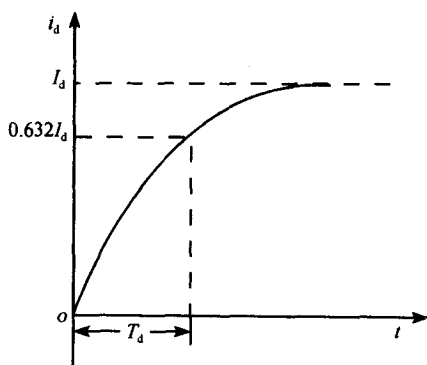


图 1.11 电流上升曲线

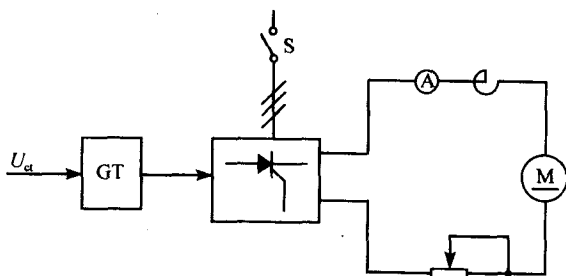


图 1.12 测定 T_d 的实验线路

(5) 电动机电势常数 C_e 和转矩常数 C_m 的测定

将电动机加额定励磁, 使之空载运行, 改变电枢电压 U_d 测得相应的 n , 即可由式 (1.23) 算出 C_e 。

$$C_e = K_e \phi = \frac{U_{d2} - U_{d1}}{n_2 - n_1} \quad (1.23)$$

式中 C_e 的单位为 $V/(r/min)$, K_e 为电机的结构常数, 分别取几点, 求取 C_e 的平均值。

转矩常数 (磁通为额定值时) C_m 单位为 Nm/A , 可由 C_e 求出:

$$C_m = 9.55 C_e \quad (1.24)$$

(6) 系统机电时间常数 T_m 的测定

系统的机电时间常数可由式 (1.25) 计算。

$$T_m = \frac{GD^2 \times R}{375} C_e C_m \quad (1.25)$$

由于 $T_m \gg T_d$, 也可以近似地把系统看成是一阶惯性环节, 即

$$n = \frac{K}{1 + T_m s} U \quad (1.26)$$

当电枢突加给定电压时, 转速 n 将按指数规律上升, 当 n 到达 63.2% 稳态值时, 所经过的时间即为拖动系统的机电时间常数。

测试电枢回路中附加电阻应全部切除, 突然给电枢加电压, 用光线示波器拍摄过渡过程曲线 $n=f(t)$, 即可由此确定机电时间常数。

(7) 晶闸管触发及整流装置特性 $U_d=f(U_{ct})$ 和测速发电机特性 $U_n=f(n)$ 的测定

测试线路如图 1.13 所示。

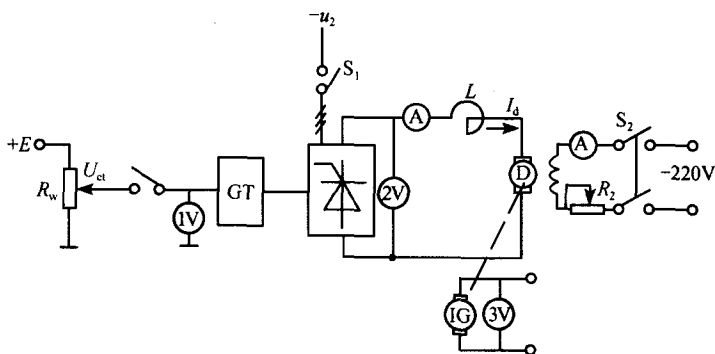


图 1.13 测定 $U_d=f(U_{ct})$ 和 $U_n=f(n)$ 的测试线路

电动机加额定励磁, 逐渐增加触发电路控制电压 U_{ct} , 分别读取对应的 U_{ct} 、 U_n 、 U_d 、 n 的数值若干组, 即可描绘出特性曲线 $U_d=f(U_{ct})$ 和 $U_n=f(n)$ 。

由 $U_d=f(U_{ct})$ 曲线可求取晶闸管整流装置的放大倍数曲线 $K_s=f(U_{ct})$ 。

$$K_s = \frac{\Delta U_d}{\Delta U_{ct}} \quad (1.27)$$

6. 测试报告要求

- 1) 作出测试所得的各种曲线, 计算有关参数。
- 2) 由 $K_s=f(U_{ct})$ 特性, 分析晶闸管装置的非线性现象。

7. 注意事项

- 1) 测试时由于晶闸管整流装置开环工作, 电压和电流可能有些波动, 读数可取上限、下限或平均值, 但每次取法须一致。
- 2) 测试中应使 U_d 、 I_d 波形连续, 避免进入不连续区。
- 3) 为防止电枢电流过大, 电流冲击, 每次增加 U_n 须缓慢, 且每次启动电动机前, 给定电位器应调回到零位, 以防止过流。
- 4) 电机堵转时, 大电流测量的时间要短, 以防止电机过热。

5) 在测试中各变阻器电阻应先放在最大值, 然后按需要逐步减小阻值, 以防止过流。在用伏安比较法测电阻时, 应先把开关 S 短接, 然后使 $I = (80\% \sim 90\%) I_{ed}$, 若先把 S 断开而使 $I = (80\% \sim 90\%) I_{ed}$, 则 S 短接时会造成电枢电流超过额定值, 不利于设备安全。

1.3 晶闸管供电直流电动机传动开环调速控制

由晶闸管整流器和电动机组成的调速系统 (简称 V-M 系统) 如图 1.14 所示。

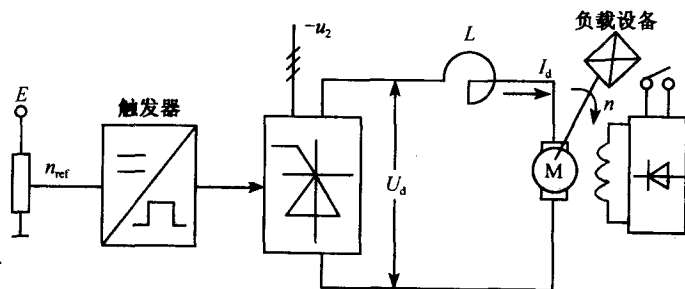


图 1.14 V-M 系统原理图

当改变速度给定值 n_{ref} 时, 触发器输出脉冲相位 α 就得到改变, 从而调节了整流器输出电压 U_d , 实现了调节电动机转速的目的。

系统稳定时, V-M 系统的等值电路如图 1.15 所示。

图 1.15 中:

U_{d0} ——整流器在理想空载下的输出电压;

$$U_{d0} = K_d U_2 \cos \alpha$$

K_d ——整流器系数, 见表 1.1;

U_2 ——交流电源相电压。

R_Σ ——电枢回路总电阻。

$$R_\Sigma = R_x + R_a$$

式中: R_a ——电动机电枢电阻;

R_x ——整流器内阻和平波电抗器电阻之和。

$$R_x = \frac{K_b X_b}{2\pi} + R_b + R_p$$

式中: X_b ——变压器漏抗 (折算到副边);

R_b ——变压器绕组折合到副边的等效电阻;

R_p ——平波电抗器电阻;

K_b ——波形系数, 见表 1.1。

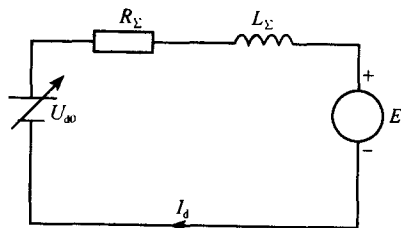


图 1.15 V-M 系统等值电路