

电机 及控制系统实验

高秀珍 姚瞬才 王建萍 杨晓敏 编著



国防工业出版社

<http://www.ndip.cn>

电机及控制系统实验

高秀珍 姚瞬才 编著
王建萍 杨晓敏

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书由两大部分组成。按“电机及拖动基础”及“电力拖动自动控制系统”两门课程的最新教学大纲编写,是一本专用教学实验教材。实验仪器应用了浙江大学求是公司的专用设备。第1篇为电机实验,包括直流电机实验、变压器实验及异步电机实验。第2篇为电力拖动自动控制系统。

本书适于电气工程及其自动化专业作为教材使用,也适用于工科大专院校自动控制专业人员作为参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电机及控制系统实验/高秀珍等编著. —北京:国防工业出版社,2005.3

ISBN 7-118-03841-5

I. 电... II. 高... III. ①电机—实验②电机—自动控制系统—实验 IV. ①TM3—33②TM301.2—33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 019244 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

涿中印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 10 $\frac{3}{4}$ 243 千字

2005 年 3 月第 1 版 2005 年 3 月北京第 1 次印刷

印数:1—3500 册 定价:20.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

如今,市场上充斥着大量的与自动控制系统有关的基础理论教科书,但到目前为止,还没有配套的专业实验教材。针对这一点,特编写此书,希望能提高学生动手能力。该书内容有控制系统实验部分和设计部分。

本书适于电气工程及其自动化专业作为教材使用,也适于工科大专院校自动控制专业人员作为参考书。

本书由两部分组成,按“电机及拖动基础”及“电力拖动自动控制系统”两门课程的最新教学大纲编写,是一本专用教学实验教材,实验仪器应用了浙江大学求是公司的专用设备。第1篇为电机实验,包括直流电机实验,变压器实验以及异步电机实验。第2篇为电力拖动自动控制系统。

第2篇第1章为直流调速系统:晶闸管直流调速系统主要单元调试;不可逆单闭环直流调速系统静特性的研究;双闭环晶闸管不可逆直流调速系统实验;双闭环晶闸管不可逆直流调速系统设计;逻辑无环流可逆直流调速系统实验;逻辑无环流可逆直流调速系统设计;双闭环可逆直流脉宽调速系统实验;双闭环晶闸管不可逆直流调速系统实验;双闭环晶闸管不可逆直流调速系统设计;逻辑无环流可逆直流调速系统实验;逻辑无环流可逆直流调速系统设计;双闭环可逆直流脉宽调速系统实验。

第2篇第2章为交流调速系统:双闭环三相异步电动机串级调速系统实验;双闭环三相异步电动机串级调速系统实验;异步电动机 SPWM 与电压空间矢量变频调速系统设计实验;基于 DSP 矢量变换控制与直接转矩控制变频调速系统实验。

本书内容有基本验证性实验和重点设计性实验。

直流电机实验;变压器实验;交流电机实验。晶闸管直流电动机调速系统的组成及结构,各环节的测定方法;直流调速系统主要单元部件的工作原理及调速系统对其提出的要求。直流调速系统主要单元部件的调试步骤和方法;研究晶闸管直流电动机调速系统在反馈控制下的工作,研究直流调速系统中 ASR 的工作及其对系统静特性的影响;反馈控制系统的调试技术;双闭环晶闸管不可逆直流调速系统的原理、组成以及各控制单元的调试,测定电流反馈系统,开环机械特性及闭环静特性;逻辑无环流可逆直流调速系统的原理以及组成的各控制单元的调试,正反转机械特性测定,正反转闭环控制特性测定;双闭环可逆直流脉宽调速系统的原理、组成以及各控制单元的调试,参数整定;直流 PWM 专用集成电路 SG3525 的组成,功能与工作原理,H 型 PWM 变换器的各种控制方式的原理与特点。相位控制交流调压调速系统的原理以及组成;双闭环三相异步电动机的原理与特点,绕线式异步电动机转子串接电阻时,在调节定子电压调压调速时的机械特性,通过测定系统的静态特性和动态特性,进一步理解交流调压调速系统中电流环和转速环的作用;双闭环三相异步电动机串级调速系统的组成、原理和特点,各控制单元调试,参数整

定,测定开环串级调速系统,静态特性及双闭环串级调速系统静态特性与动态特性;异步电动机变压变频调速系统的组成、原理、特点以及调试方法,加深理解用单片机通过软件生成 SPWM 波形的工作原理与特点,比较不同调制方式对系统性能的影响,电压空间矢量控制(磁链跟踪控制)的工作原理与特点;以 TMS320F240 为核心构成的全数字控制感应电机变频调速系统的配置与结构。

本书由高秀珍,姚舜才,杨晓敏,王建萍编写,姚舜才编写第 1 篇,王建萍编写第 2 篇英文部分,杨晓敏编写第 2 篇设计实验,刘长明参加了部分文稿的计算机录入工作,郭晋泰参加了第 2 篇计算机实验编写工作,高秀珍编写第 2 篇其余部分及全书统稿。

实验环节在教学中占据着十分重要的位置,对提高学生的实际工作能力起着重要的作用。实验课与理论课是相互促进的关系。“实践是检验真理的惟一标准”,可见实验的重要性;然而,实验又必须要在理论课的指导下进行,否则就是盲目乱干,我们应该通过实验检验理论,发现问题,解决问题,进一步发展理论。为达到此目的,学生在实验前应作好充分的准备,以便在实验过程中获取更多的知识,得到能力的提高。为了学生能顺利完成实验。特提出以下实验要求。

学生在做实验前,应首先阅读实验系统的使用说明书,了解系统的功能和使用方法,在做每一个实验前,要认真阅读实验指导书,复习与实验有关知识和内容,明确实验目的,了解实验内容和方法,做好预习报告。在实验过程中需要注意观察、记录有关数据和曲线。实验完成后要对所测数据,及波形曲线进行分析总结,根据所得数据、曲线推导出实验结论,认真完成正式实验报告,回答实验后的思考题。这样做实验才会有成效。

1. 实验前要弄清实验原理、实验线路、实验步骤等。
2. 实验中要特别注意,不可带电拔插板卡和元件,防止电源短路,防止将输出信号线短路等;为实验顺利进行,实验中还应注意接线要正确,连接线要插牢。
3. 预习实验报告。仔细阅读实验指导书,了解实验内容。按照实验内容的要求,画出在实验中用到的系统结构图以及计算出实验中的理论数据,并要设计好实验中用来记录数据及曲线的表格。
4. 实验报告。实验报告是依据实验所得的数据及曲线,验证现有的理论或推论出新的理论,以指导实际工作。完整的实验报告必须包含有以下内容。

- 1) 实验目的。
- 2) 实验内容。
- 3) 实验数据及波形。
- 4) 实验结果分析。
- 5) 思考题。
- 6) 体会与建议。

由于时间仓促,难免存在错误或不当之处,恳请广大读者指正,以便再版时修正。

编著者

目 录

电机及拖动基础教学实验大纲	1
---------------	---

第 1 篇 电机

第 1 章 直流电机	3
实验 1 认识实验	3
实验 2 直流他(并)励电动机	7
实验 3 直流他励电动机机械特性	11
第 2 章 变压器	16
实验 1 单相变压器	16
实验 2 三相变压器	21
实验 3 单相变压器的并联运行	28
第 3 章 异步电机	31
实验 1 三相鼠笼异步电动机的工作特性	31
实验 2 三相异步电动机的启动与调速	38
实验 3 单相电阻启动异步电动机	42
实验 4 三相异步电动机在各种运行状态下机械特性	45

第 2 篇 调速系统

第 4 章 直流调速	49
实验 1 晶闸管直流调速系统参数的测定	49
实验 2 晶闸管直流调速系统主要单元调试	55
实验 3 不可逆单闭环直流调速系统静特性的研究	69
实验 4 双闭环不可逆直流调速系统	73
实验 5 双闭环可逆直流脉宽调速系统	77
实验 6 逻辑无环流可逆直流调速系统	83
实验 7 逻辑无环流可逆调速系统设计	88
第 5 章 交流调速	102
实验 1 双闭环三相异步电动机串级调速系统	102
实验 2 异步电动机双闭环控制串级调速系统设计	106
实验 3 三相异步电动机调压调速系统	128
实验 4 双闭环三相异步电动机调压调速系统设计	132
实验 5 异步电动机 SPWM 与电压空间矢量变频调速系统	157
实验 6 基于 DSP 的矢量变换控制与直接转矩控制变频调速系统	160
参考文献	164

电机及拖动基础教学实验大纲

本大纲是根据自动控制系自动化专业“电机及拖动基础”课程所需教学实验的要求,针对自动化专业高年级学生制定,“电机及拖动基础”课程教学实验是为了培养学生理论与实践相结合的学风和一定的动手能力而设置。

“电机及拖动基础”课程,要求学生掌握常用的交流电机、直流电机及电力变压器的基本工作特性,机械特性的测定及基本实验操作。在实验安排上分为:验证性必做实验、综合性必做实验、验证性选做实验和综合性选做实验。

1. 实验要求

学生在做实验之前,应首先仔细阅读实验指导书,了解系统的功能和使用方法,复习与实验内容有关的知识内容,明确实验目的和实验方法,做好实验预习报告。在实验过程中要注意安全,并严格按照实验室规章办事,注意观察和记录实验数据。在实验完成后要对所测数据进行分析,认真完成实验报告,回答实验思考题。有成效地完成实验任务。

2. 实验预习部分

要求学生在仔细通读实验指导书后,在每次进行实验之前写出预习报告。内容包括:实验目的、实验所需挂箱、实验的理论分析、实验结果预测等内容。在每次实验之前上交主管教师,在主管教师批阅认可后才可进行实验。

3. 实验学时及安排

第1章 直流电机实验(4学时)

实验1 认识实验(本实验为验证性必做实验)(1学时)

- 1) 学习电机实验的基本要求与安全操作注意事项。
- 2) 认识直流电机实验中所用的电机、仪表、变阻器等组件及使用方法。
- 3) 熟悉他励电动机(即并励电动机按他励方式)的接线、起动、改变电机方向与调速的方法。

实验2 直流他(并)励电动机(本实验为验证性必做实验)(1学时)

- 1) 掌握用实验方法测取直流他(并)励电动机的工作特性和机械特性。
- 2) 掌握直流他(并)励电动机的调整方法。

实验3 直流他励电动机机械特性(本实验为综合性必做实验)(2学时)

了解直流电动机的各种运转状态时的机械特性

第2章 变压器实验(2学时)

实验1 单相变压器(本实验为验证性必做实验)(2学时)

- 1) 通过空载和短路实验测定变压器的变化和参数。
- 2) 通过负载实验测取变压器的运行特性。

第3章 异步电机实验(4学时)

实验1 三相异步电动机的起动与调速(本实验为验证性必做实验)(2学时)

通过实验掌握异步电动机的起动和调速方法。

实验2 三相异步电动机在各种运行状态下的机械特性(本实验为综合性必做实验)(2学时)

了解三相绕线式异步电动机在各种运行状态下的机械特性。

4. 实验报告

学生每次实验结束后,需记录实验结果或曲线等,并经由主管教师签字后,才可进行实验报告的书写。实验报告应包括以下内容:实验目的、实验线路图、实验所需挂箱、实验理论分析、实验结果及曲线、实验结果与理论分析的吻合程度、误差分析、实验结论等。

实验报告在完成后,上交主管教师评分,并作为平时成绩的一部分参与期末总评。

* 选做实验

选做实验是为学有余力,及对本门课程有浓厚兴趣的学生开设,旨在提高他们的动手能力和创新意识。这部分实验可根据实验室情况开放进行。实验的学时数根据学生的具体情况制定。目前准备开设的有:

实验1 三相变压器(本实验为验证性选做实验)

- 1) 通过空载和短路实验,测定三相变压器的变化和参数。
- 2) 通过负载实验,测取三相变压器的运行特性。

实验2 单相变压器的并联运行(本实验为综合性选做实验)

- 1) 学习变压器投入并联运行的方法。
- 2) 研究阻抗电压对负载分配的影响。

实验3 三相鼠笼异步电动机的工作特性(本实验为验证性选做实验)

- 1) 掌握三相异步电机的空载、堵转和负载试验的方法。
- 2) 用直接负载法测取三相鼠笼异步电动机的工作特性。
- 3) 测定三相鼠笼异步电动机的参数。

实验4 单相电阻起动异步电动机(本实验为综合性选做实验)

用实验方法测定单相电阻起动异步电动机的技术指标和参数

备注:本实验大纲可根据实验室的具体情况做适当的修正和补充。

第 1 篇 电 机

第 1 章 直 流 电 机

实验 1 认 识 实 验

(本实验为验证性必做实验)

一、实验目的

1. 学习电机实验的基本要求与安全操作注意事项。
2. 认识在直流电机实验中所用的电机、仪表、变阻器等组件及使用方法。
3. 熟悉他励电动机(即并励电动机按他励方式)的接线、启动、改变电机方向与调整的方法。

二、预习要点

1. 如何正确选择使用仪器仪表。特别是电压表、电流表的量程。
2. 直流他励电动机启动时,为什么在电枢回路中需要串联启动变阻器?不连接会产生什么严重后果?
3. 直流电动机启动时,励磁回路连接的磁场变阻器应调至什么位置?为什么?若励磁回路断开,造成失磁时,会产生什么严重后果?
4. 直流电动机调速及改变转向的方法。

三、实验项目

1. 了解 MEL 系列电机系统教学实验台中的直流稳压电源、涡流测功机、变阻器、多量程直流电压表、电流表、毫安表及直流电动机的使用方法。
2. 用伏安法测直流电动机和直流发电机的电枢绕组的冷态电阻。
3. 直流他励电动机的启动,调速及改变转向。

四、实验设备及仪器

1. MEL 系列电机系统教学实验台主控制屏(MEL-IIA、B)。
2. 电机导轨及测功机、转速转矩测量(MEL-13),直流并励电动机 M03。
3. 220V 直流可调稳压电源(位于实验台主控制屏的下部)。
4. 电机起动箱(MEL-09),直流电压表、毫安表和安培表(MEL-06)。

五、实验说明及操作步骤

1. 由实验指导人员讲解电机实验的基本要求,实验台各面板的布置及使用方法,注意事项。
2. 在控制屏上按次序悬挂 MEL-13、MEL-09 组件,并检查 MEL-13 和涡流测功

机的连接。

3. 用伏安法测电枢的直流电阻,接线原理图见图 1-1 所示。

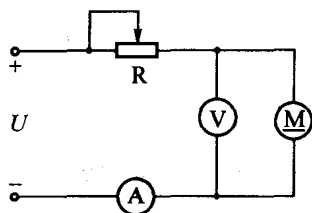


图 1-1 测电枢绕组直流电阻接线图

图中, U 为可调直流稳压电源; R : 3000Ω 磁场调节电阻 (MEL-09); V 为直流电压表 (MEL-06); A 为直流安培表 (MEL-06); M 为直流电机电枢。

(1) 经检查接线无误后, 逆时针调节磁场调节电阻 R 至最大。直流电压表量程选为 $300V$ 挡, 直流安培表量程选为 $2A$ 挡。

(2) 按顺序按下主控制屏绿色“闭合”按钮开关, 可调直流稳压电流的船形开关, 以及复位开关, 建立直流电源, 并调节直流电源至 $220V$ 输出。

调节 R 使电枢电流达到 $0.2A$ (如果电流太大, 可能由于剩磁的作用使电机旋转, 无法进行测量; 如果电流太小, 可能由于接触电阻产生较大的误差), 迅速测取电机电枢两端电压 U_M 和电流 I_a 。将电机转子分别旋转 $\frac{1}{3}$ 和 $\frac{2}{3}$ 周, 同样测取 U_M 、 I_a , 填入表 1-1。

表 1-1 冷态电阻 室温 _____ $^{\circ}C$

序号	U_M/V	I_a/A	R/Ω				R_s/Ω	R_{arct}/Ω
1			R_{a11}		R_{a1}			
			R_{a12}					
			R_{a13}					
2			R_{a21}		R_{a2}			
			R_{a22}					
			R_{a23}					
3			R_{a31}		R_{a3}			
			R_{a32}					
			R_{a33}					

表中 $R_{a1} = (R_{a11} + R_{a12} + R_{a13})/3$

$R_{a2} = (R_{a21} + R_{a22} + R_{a23})/3$

$R_{a3} = (R_{a31} + R_{a32} + R_{a33})/3$

(3) 增大 R (逆时针旋转) 使电流分别达到 $0.15A$ 和 $0.1A$, 用上述方法测取 6 组数据, 填入表 1-1。

取 3 次测量的平均值作为实际冷态电阻值 $R_a = \frac{R_{a1} + R_{a2} + R_{a3}}{3}$

(4) 计算基准工作温度时的电枢电阻

由实验测得电枢绕组电阻值,此值为实际冷态电阻值,冷态温度为室温。按下式换算到基准工作温度时的电枢绕组电阻值:

$$R_{\text{aref}} = R_a \frac{235 + \theta_{\text{ref}}}{235 + \theta_a}$$

式中 R_{aref} 为换算到基准工作温度时电枢绕组电阻(Ω);

R_a 为电枢绕组的实际冷态电阻(Ω);

θ_{ref} 为基准工作温度,对于 E 级绝缘为 75°C ;

θ_a 为实验冷态时电枢绕组的温度($^\circ\text{C}$)。

4. 直流仪表、转速表和变阻器的选择

直流仪表、转速表量程是根据电机的额定值和实验中可能达到的最大值来选择,变阻器根据实验要求来选用,并按电流的大小选择串联、并联或串并联的接法。

(1) 电压量程的选择。如测量电动机两端为 220V 的直流电压,选用直流电压表为 300V 量程挡。

(2) 电流量程的选择。因为直流并励电动机的额定电流为 1.1A,测量电枢电流的电表可选用 2A 量程挡,额定励磁电流小于 0.16A,测量励磁电流的毫安表选用 200mA 量程挡。

(3) 电机额定转速为 1600r/min,若采用指针表和测速发电机,则选用 1800r/min 量程挡。若采用光电编码器,则不需要量程选择。

(4) 变阻器的选择。变阻器选用的原则是根据实验中所需的阻值,和流过变阻器最大的电流来确定。在本实验中,电枢回路调节电阻选用 MEL-09 组件的 $100\Omega/1.22\text{A}$ 电阻,磁场回路调节选用 MEL-09 的 $3000\Omega/200\text{mA}$ 可调电阻。

5. 直流电动机的启动

直流他励电动机接线图见图 1-2 所示。图中 R_1 为电枢调节电阻(MEL-09); R_f 为磁场调节电阻(MEL-09);M 为直流并励电动机 M03;G 为涡流测功机; I_s 为电流源(MEL-13),由“转矩设定”电位器进行调节。实验开始时,将 MEL-13“转速控制”和“转矩控制”选择开关扳向“转矩控制”,“转矩设定”电位器逆时针旋到底; U_1 为可调直流

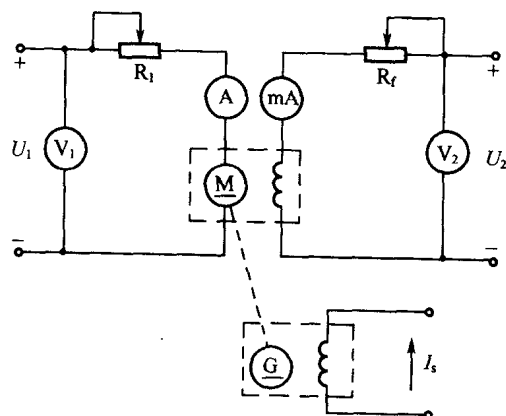


图 1-2 直流他励电动机接线图

稳压电源; U_2 为直流电机励磁电源; V_1 为可调直流稳压电源自带电压表。 V_2 为直流电压表, 量程为 300V 挡, 位于 MEL-06; A 为可调直流稳压电源自带电流表; mA 为毫安表, 位于直流电机励磁电源部。

(1) 按图 1-2 接线, 检查 M、G 之间是否用联轴器联接好, 电机导轨和 MEL-13 的连接线是否接好, 电动机励磁回路接线是否牢靠, 仪表的量程, 极性是否选择正确。

(2) 将电机电枢调节电阻 R_1 调至最大, 磁场调节电阻调至最小, 转矩设定电位器 (MEL-13) 逆时针调到底。

(3) 开启控制屏的总电源控制钥匙开关至“开”位置, 按次序按下绿色“闭合”按钮开关, 打开励磁电源船形开关和可调直流电源船形开关, 按下复位按钮, 此时, 直流电源工作, 绿色发光二极管亮, 指示直流电压已建立, 旋转电压调节电位器, 使可调直流稳压电源输出电压 220V。

(4) 减小 R_1 电阻至最小。

6. 调节他励电动机的转速

(1) 分别改变串入电动机 M 电枢回路的调节电阻 R_1 和励磁回路的调节电阻 R_f 。

(2) 调节转矩设定电位器, 注意转矩不要超过 $1.1\text{N}\cdot\text{m}$, 以上两种情况可分别观察转速变化情况。

7. 改变电动机的转向

将电枢回路调节电阻 R_1 调至最大值, “转矩设定”电位器逆时针调到零, 先断开可调直流电源的船形开关, 再断开励磁电源的开关, 使他励电动机停机, 将电枢或励磁回路的两端接线对调后, 再按前述起动电机, 观察电动机的转向及转速表的读数。

六、注意事项

1. 直流他励电动机启动时, 须将励磁回路串联的电阻 R_f 调到最小, 先接通励磁电源, 使励磁电流最大, 同时必须将电枢串联启动电阻 R_1 调至最大, 然后才可接通电源, 使电动机正常启动, 启动后, 将启动电阻 R_1 调至最小, 使电机正常工作。

2. 直流他励电机停机时, 必须先切断电枢电源, 然后断开励磁电源。同时, 必须将电枢串联电阻 R_1 调回最大值, 励磁回路串联的电阻 R_f 调到最小值, 为下次启动做好准备。

3. 测量前注意仪表的量程、极性和接法。

七、实验报告

1. 画出直流并励电动机电枢串电阻起动的接线图。说明电动机启动时, 启动电阻 R_1 和磁场调节电阻 R_f 应调到什么位置? 为什么?

2. 增大电枢回路的调节电阻, 电机的转速如何变化? 增大励磁回路的调节电阻, 转速又如何变化?

3. 用什么方法可以改变直流电动机的转向?

实验2 直流他(并)励电动机

(本实验为验证性必做实验)

一、实验目的

1. 掌握用实验方法测取直流他(并)励电动机的工作特性和机械特性。
2. 掌握直流他(并)励电动机的调整方法。

二、预习要点

1. 什么是直流电动机的工作特性和机械特性?
2. 直流电动机调速原理是什么?

三、实验项目

1. 工作特性和机械特性

保持 $U = U_N$ 和 $I_f = I_{fN}$ 不变, 测取 n 、 T_2 、 $n = f(I_a)$ 及 $n = f(T_2)$ 。

2. 调速特性

(1) 改变电枢电压调速。

保持 $U = U_N$ 、 $I_f = I_{fN}$ = 常数, T_2 = 常数, 测取 $n = f(U_a)$ 。

(2) 改变励磁电流调速。

保持 $U = U_N$, T_2 = 常数, $R_1 = 0$, 测取 $n = f(I_f)$ 。

(3) 观察能耗制动过程。

四、实验设备及仪器

1. MEL 系列电机教学实验台的主控制屏(MEL - IIA、B)。
2. 电机导轨及涡流测功机、转矩转速测量(MEL - 13)或电机导轨及编码器、转速表。
3. 可调直流稳压电源(含直流电压、电流、毫安表)。
4. 直流电压表、毫安表、安培表(MEL - 06)。
5. 直流并励电动机。
6. 波形测试及开关板(MEL - 05)。
7. 三相可调电阻 900Ω (MEL - 03)。

五、实验方法

1. 并励电动机的工作特性和机械特性

实验线路如图 1-3 所示。图中 U_1 为可调直流稳压电源; R_1 、 R_f 为电枢调节电阻和磁场调节电阻, 位于 MEL - 09; mA、A、V₂ 为直流毫安表、电流表和电压表(MEL - 06); G 为涡流测功机; I_s 涡流测功机励磁电流调节, 位于 MEL - 13。

(1) 将 R_1 调至最大, R_f 调至最小, 毫安表量程为 200mA, 电流表量程为 2A 挡电压表量程为 300V 挡, 检查涡流测功机与 MEL - 13 是否相连, 将 MEL - 13 “转速控制”和“转矩控制”选择开关扳向“转矩控制”、“转矩设定”电位器逆时针旋到底, 打开向形开关, 按实验一的方法启动直流电源, 使电机旋转, 并调整电机的旋转方向, 使电机正转。

(2) 直流电机正常启动后, 将电枢串联电阻 R_1 调至零, 调节直流可调稳压电源的输出至 220V, 再分别调节磁场调节电阻 R_f 和“转矩设定”电位器, 使电动机达到额定值: $U = U_N = 220V$, $I_a = I_N$, $n = n_N = 1600r/min$, 此时直流电机的励磁电流 $I_f = I_{fN}$ (额定励

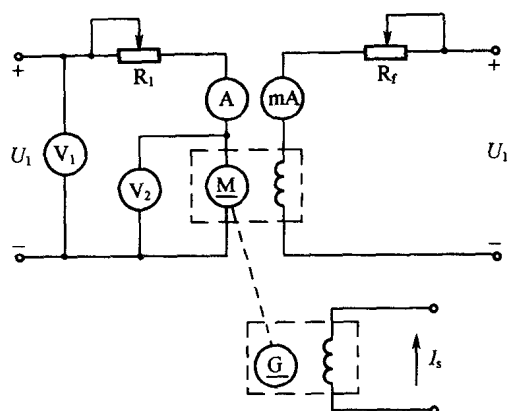


图 1-3 直流并励电动机接线图

磁电流)。

(3) 保持 $U = U_N$, $I_f = I_{fN}$ 不变的条件下, 逐次减小电动机的负载, 即逆时针调节“转矩设定”电位器, 测取电动机电枢电流 I_a 、转速 n 和转矩 T_2 , 共取数据 7 组填入表 1-2。

表 1-2 并励电动机的工作特性 $U = U_N = 220V$ $I_f = I_{fN} =$ A

实验数据	I_a/A								
	$n/r \cdot \min$								
	$T_2/N \cdot m$								
计算数据	P_2/w								
	P_1/w								
	$\eta/\%$								
	$\Delta n/\%$								

2. 调速特性

1) 改变电枢端电压的调速

(1) 按上述方法启动直流电机后, 将电阻 R_1 调至 0, 并同时调节负载, 电枢电压和磁场调节电阻 R_f , 使电机的 $U = U_N$, $I_a = 0.5I_{fN}$, $I_f = I_{fN}$, 记录此时的 $T_2 =$ N·m。

(2) 保持 T_2 不变, $I_f = I_{fN}$ 不变, 逐次增加 R_1 的阻值, 即降低电枢两端的电压 U_a , R_1 从 0 调至最大值, 每次测取电动机的端电压 U_a , 转速 n 和电枢电流 I_a , 共取 7 组数据填入表 1-3 中。

表 1-3 数据表

U_a/V									
$n/r \cdot \min$									
I_a/A									

2) 改变励磁电流的调整

(1) 直流电动机启动后, 将电枢调节电阻和磁场调节电阻 R_f 调至 0, 调节可调直流

电源的输出为 220V, 调节“转矩设定”电位器, 使电动机的 $U = U_N$, $I_a = 0.5I_N$, 记录此时的 $T_2 = \quad \text{N}\cdot\text{m}$ 。

(2) 保持 T_2 和 $U = U_N$ 不变, 逐次增加磁场电阻 R_f 阻值, 直至 $n = 1.3n_N$, 每次测取电动机的 n 、 I_f 和 I_a , 共取 7 组数据填入表 1-4 中。

表 1-4 改变励磁电流调速 $U = U_N = 220\text{V}$, $T_2 = \quad \text{N}\cdot\text{m}$

$n/\text{r}\cdot\text{min}$								
I_f/A								
I_a/A								

3) 能耗制动

按图 1-4 接线。图中 U_1 为可调直流稳压电源; R_1 、 R_f 为直流电机电枢调节电阻和磁场调节电阻(MEL-09); R_L 为采用 MEL-03 中两只 900Ω 电阻并联; S 为双刀双掷开关(MEL-05)。

(1) 将开关 S 合向“1”端, R_1 调至最大, R_f 调至最小, 启动直流电机。

(2) 运行正常后, 从电机电枢的一端拨出一根导线, 使电枢开路, 电机处于自由停机, 记录停机时间。

(3) 重复启动电动机, 待运转正常后, 把 S 合向“2”端记录停机时间。

(4) 选择不同 R_L 阻值, 观察对停机时间的影响。

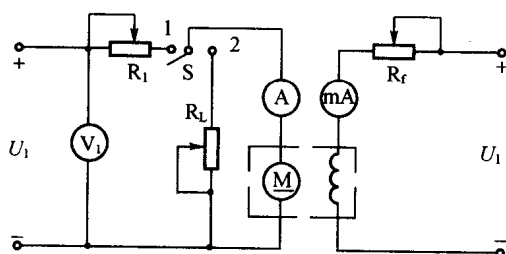


图 1-4 直流并励电动机能耗制动接线图

六、实验报告

1. 由上面测功率测转速得到的实验数据计算出 P_2 和 η , 并绘出 n 、 T_2 、 $\eta = f(I_a)$ 及 $n = f(T_2)$ 的特性曲线。

电动机输出功率

$$P_2 = 0.105nT_2$$

式中输出转矩 T_2 的单位为 $\text{N}\cdot\text{m}$, 转速 n 的单位为 r/min 。

电动机输入功率

$$P_1 = UI$$

电动机效率

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\%$$

电动机输入电流

$$I = I_a + I_N$$

由工作特性求出转速变化率。

2. 绘出并励电动机调速特性曲线 $n = f(U_a)$ 和 $n = f(I_f)$ 。分析在恒转矩负载时 2

种调速的电枢电流变化规律以及 2 种调速方法的优缺点。

3. 能耗制动时间与制动电阻 R_L 的阻值有什么关系? 为什么? 该制动方法有什么缺点?

七、思考题

1. 并励电动机的速率特性 $n = f(I_a)$ 为什么是略微下降? 是否会出现上翘现象? 为什么? 上翘的速率特性对电动机运行有何影响?

2. 当电动机的负载转矩和励磁电流不变时, 减小电枢端压, 为什么会引起电动机转速降低?

3. 当电动机的负载转矩和电枢端电压不变时, 减小励磁电流会引起转速的升高, 为什么?

4. 并励电动机在负载运行中, 当磁场回路断线时, 是否一定会出现“飞速”? 为什么?

实验3 直流他励电动机机械特性

(本实验为综合性必做实验)

一、实验目的

了解直流电动机在各种运转状态时的机械特性。

二、预习要点

1. 改变他励直流电动机机械特性有哪些方法?
2. 他励直流电动机在什么情况下,从电动机运行状态进入回馈制动状态? 他励直流电动机回馈制动时,能量传递关系,电动势平衡方程式及机械特性又是什么?
3. 了解当他励直流电动机反接制动时,能量传递关系,电动势平衡方程式及机械特性。

三、实验项目

1. 电动及回馈制动特性。
2. 电动及反接制动特性。
3. 能耗制动特性。

四、实验设备及仪器

1. MEL 系列电机系统教学实验台主控制屏,电机导轨及转速表(MEL-13、MEL-14)。
2. 三相可调电阻 900Ω (MEL-03)。三相可调电阻 90Ω (MEL-04)。
3. 波形测试及开关板(MEL-05),直流电压表、电流表、毫安表(MEL-06)。
4. 电机启动箱(MEL-09)。

五、实验方法及步骤

1. 电动及回馈制动特性

接线图如图 1-5 所示。

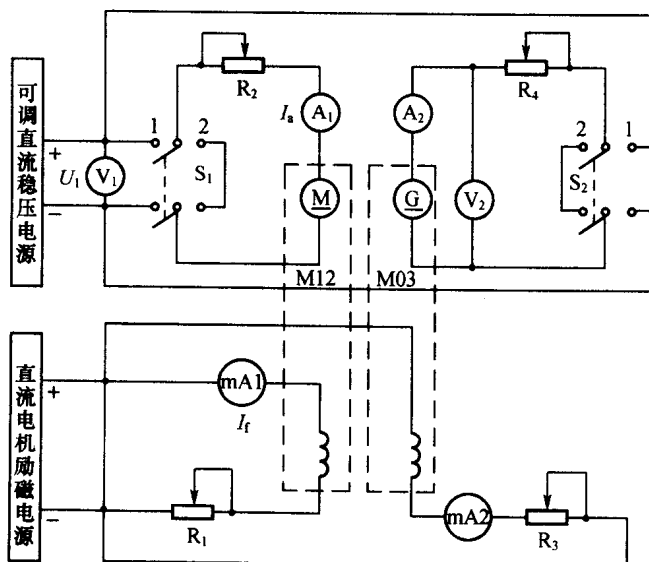


图 1-5 直流他励电动机机械特性测定接线图