



高职高专电子类专业工学结合规划教材

交直流调速系统与应用

主 编 陈怀忠
副主编 姜 磊



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

交直流调速系统与应用

主 编 陈怀忠

副主编 姜 磊



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

内容提要

书中所涉及的知识点包括单环及多环直流调速、可逆直流调速、全数字直流调速、交流串级调速的原理与调试,交流变频调速的原理、功能、参数设定及应用,步进、伺服电机调速设计应用等。本教材由十四个任务单元构成,每个任务均提出任务目标、任务描述、任务实施、任务评价、知识链接、思考与练习等教学情境。

本教材根据当前交直流调速技术的发展趋势,注重反映工业中新的调速技术应用。教材内容面向工程实际,力求具有实用性、先进性和系统性。通过本书完整、系统的“教、学、做”一体化训练后,学生的技能操作水平与应用能力将得到提高,体现了高职教育特色。

本书可作为高职高专院校电气自动化、工业自动化、电子信息技术等电类专业的教材,也可供有关工程师和技术员参考。

图书在版编目(CIP)数据

交直流调速系统与应用 / 陈怀忠主编. —杭州:

浙江大学出版社, 2012.6

ISBN 978-7-308-10121-9

I .①交… II .①陈… III .①直流电机—调速—高等
职业教育—教材 ②交流电机—调速—高等职业教育—教材
IV .①TM330.12 ②TM340.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 130440 号

交直流调速系统与应用

陈怀忠 主编

责任编辑 樊晓燕

封面设计 俞亚彤

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州中大图文设计有限公司

印 刷 浙江良渚印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 14

字 数 341 千

版 次 2012 年 6 月第 1 版 2012 年 6 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-10121-9

定 价 29.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话 (0571)88925591

前言

目前,我国工业用电的60%以上电能都消耗在交直流电动机上,因此在高职高专院校开设以交直流调速技术原理与应用为主的“交直流调速系统应用”课程非常有必要。本书以高职教育理念为指导,注重学生关键能力的培养,以培养学生电气控制技术的职业能力为主线,以提高学生技能应用能力为主体,以此来设计、组织和编写这本《交直流调速系统与应用》的教材内容。本教材具有以下特色:

1.以岗位职业能力要求为内容选取依据

根据专业培养目标以及交直流设备生产企业及相关的职业岗位实际工作任务所需的知识和能力,选取最新的交直流调速设备及其相关新技术作为课程教学内容,为学生的职业生涯发展打下好的基础。课程内容以“项目—任务—案例”的形式安排,将自动化行业的“新设备、新知识、新工艺、新技术”融入其中。

2.采用“项目教学、任务驱动”的教学模式

以“工学结合、任务驱动”的教学理念来组织课程内容,加强学生工程设计能力的培养和训练。根据企业电气工程技术人員应具备一定的工程设计能力的要求,以企业典型电机调速控制系统案例为设计对象,完成典型任务的设计、调试安装等任务,培养学生的工程设计能力。

3.坚持“理实一体化”的编写原则

将交直流调速应用技术的核心知识点有机融入14个典型的工作任务中,在完成的过程中达成核心知识点的独立学习,实现理论与实践的统一、目标与能力的统一。

4.突出教学评价体系的构建

对专业能力有重点地进行训练与检测,突出构建职业能力培养及职业素养培养的评价标准,有机融入人力资源和社会保障部职业技能鉴定中心的职业核心能力评价体系,坚持“以生为本”,关注学生的可持续发展。

本书由陈怀忠任主编,姜磊任副主编,郑红峰负责审稿,金浙良参与了编写。全书由陈怀忠组织编写和负责统稿。在教材编写过程中得到了浙江天煌科技公司的大力支持与指导,在此表示衷心感谢。

本书在编写过程中参考了许多相关图书和论文资料,在此特向这些文献资料的作者致以真挚的谢意!

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不当之处,敬请读者批评指正。

编 者

2012年6月



目 录

任务一 单闭环直流调速系统原理及调试	1
【任务目标】	1
【任务描述】	1
【任务实施】	2
【任务评价】	10
【知识链接】	10
一、直流调速系统概述	10
二、单闭环直流调速系统的组成	15
三、单闭环无静差直流调速系统	18
【思考与练习】	21
任务二 带电流截止负反馈的转速单闭环直流调速系统原理与调试	22
【任务目标】	22
【任务描述】	22
【任务实施】	23
【任务评价】	27
【知识链接】	28
一、电流截止负反馈概念	28
二、带电流截止保护无静差调速系统	31
三、带电流正反馈的电压负反馈调速系统	32
【思考与练习】	33
任务三 电压、电流双闭环不可逆直流调速原理与调试	34
【任务目标】	34
【任务描述】	34
【任务实施】	35
【任务评价】	39
【知识链接】	40
一、双闭环调速系统的组成及其特性	40
二、稳态结构框图和静特性	42
三、调节器的工程设计方法	44



【思考与练习】	45
任务四 欧陆 514C 型直流调速控制系统原理与运行	46
【任务目标】	46
【任务描述】	46
【任务实施】	47
【任务评价】	51
【知识链接】	52
一、数字直流调速系统简述	52
二、欧陆 514C 型调速器的原理	54
三、SIEMENS 数字直流调速器	60
四、逻辑无环流可逆系统	62
【思考与练习】	64
任务五 变频器接线、面板操作技能训练	65
【任务目标】	65
【任务描述】	65
【任务实施】	66
【任务评价】	67
【知识链接】	68
一、变频器简介	68
二、三相异步电动机的变频原理	69
三、变频器接线	71
【思考与练习】	77
任务六 变频器多速段操作训练	78
【任务目标】	78
【任务描述】	78
【任务实施】	79
【任务评价】	82
【知识链接】	83
一、变频器运行操作模式	83
二、变频器的常用功能解析	84
【思考与练习】	90
任务七 变频调速技术在纺纱电气控制中的应用	91
【任务目标】	91
【任务描述】	91
【任务实施】	92

【任务评价】	95
【知识链接】	96
一、变频器的基本结构原理	96
二、矢量控制的基本原理	99
三、霍尔传感器	100
【思考与练习】	101
任务八 变频器模拟量操作训练	102
【任务目标】	102
【任务描述】	102
【任务实施】	103
【任务评价】	108
【知识链接】	109
一、变频器模拟量给定	109
二、FX _{0N} -3A 特殊功能模块简介	112
三、其他 A/D、D/A 特殊功能模块	114
【思考与练习】	115
任务九 变频调速在龙门刨床控制的应用	116
【任务目标】	116
【任务描述】	116
【任务实施】	117
【任务评价】	121
【知识链接】	122
一、变频器的安装	122
二、变频器的调试	123
三、变频器的基本维护	124
四、分析较为复杂电气线路图方法	126
【思考与练习】	128
任务十 变频调速在桥式起重机控制中的应用	129
【任务目标】	129
【任务描述】	129
【任务实施】	130
【任务评价】	134
【知识链接】	135
一、变频器的选择	135
二、变频起重机系统中电机的选型	139
三、其他电气设备的选用	139



四、起重机工作状态	140
【思考与练习】.....	143
任务十一 变频调速在恒压供水控制中的应用.....	144
【任务目标】.....	144
【任务描述】.....	144
【任务实施】.....	145
【任务评价】.....	156
【知识链接】.....	157
一、变频器的节能应用	157
二、PID 控制	158
三、变频恒压供水原理	161
四、PID 指令应用	162
【思考与练习】.....	163
任务十二 线绕式异步电机串级调速原理与调试.....	165
【任务目标】.....	165
【任务描述】.....	165
【任务步骤】.....	166
【任务评价】.....	170
【知识链接】.....	171
一、交流电动机传动的串级调速控制	171
二、双闭环控制的串级调速系统	173
【思考与练习】.....	175
任务十三 步进电机调速在机械手控制的应用.....	176
【任务目标】.....	176
【任务描述】.....	176
【任务实施】.....	177
【任务评价】.....	181
【知识链接】.....	182
一、运动控制简介	182
二、步进电动机及步进控制器	182
三、步进电动机工作原理	183
四、本课题步进电机	189
【思考与练习】.....	192
任务十四 伺服电机调速在物料输送控制的应用.....	193
【任务目标】.....	193



【任务描述】	193
【任务实施】	194
【任务评价】	202
【知识链接】	203
一、伺服系统概述	203
二、直流伺服电机	205
三、交流伺服电机	206
四、与步进电机性能比较	211
【思考与练习】	213
参考文献	214

任务一 单闭环直流调速系统原理及调试

任务目标

1. 熟悉直流调速系统各主要单元部件的工作原理。
2. 掌握直流调速系统各主要单元部件的调试步骤和方法。
3. 掌握电压单闭环直流调速系统的原理、组成及各主要单元部件的功能。
4. 掌握晶闸管直流调速系统的一般调试过程、调试步骤、方法及参数的整定。

任务描述

在电压单闭环中,将反映电压变化的电压隔离器输出电压信号作为反馈信号加到“电压调节器”(用调节器Ⅱ作为电压调节器)的输入端,与“给定”的电压相比较,经放大后,得到移相控制电压 U_{ct} ,控制整流桥的“触发电路”,改变“三相全控整流”的电压输出,从而构成了电压负反馈闭环系统,如图 1-1 所示。电机的最高转速也由电压调节器的输出限幅所决定。调节器若采用 P(比例)调节,对阶跃输入有稳态误差,要消除该误差将调节器换成 PI(比例积分)调节。当“给定”恒定时,闭环系统对电枢电压变化起到了抑制作用。当电机负载或电源电压波动时,电机的电枢电压能稳定在一定的范围内变化。在本实训项目中, PMT-04 电机调速控制电路上的“调节器Ⅱ”作为“电压调节器”使用。

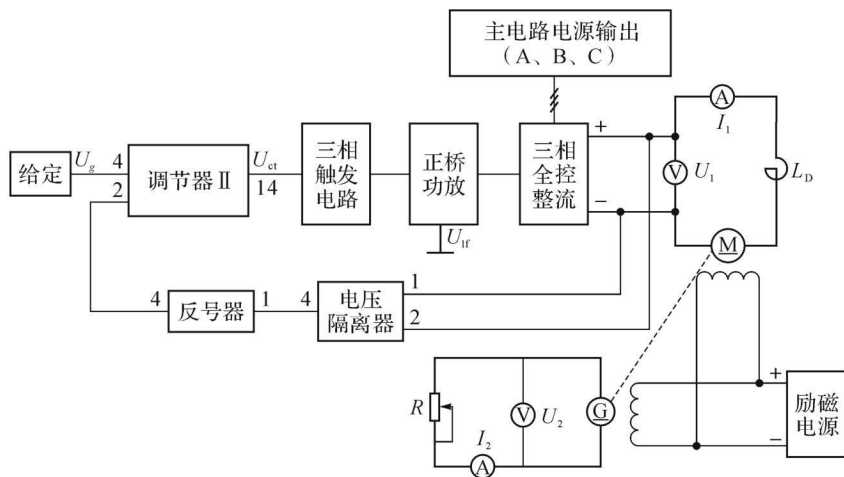


图 1-1 电压单闭环系统原理图 ($L_d = 200\text{mH}$, $R = 2250\Omega$)

1. 按上述原理图把相应模块连接好后,完成下列系统各基本单元的调试:
(1) 调节器Ⅱ的调试;



- (2)调节器Ⅱ的调试；
- (3)反号器的调试；
- (4)零电平检测的调试；
- (5)转矩极性鉴别的调试；
- (6)逻辑控制的调试。

2.完成上述各单元调试后,按如下任务要求对电压单闭环直流调速系统进行性能测定:

- (1) U_{ct} 不变时直流电动机开环特性的测定；
- (2) U_d 不变时直流电动机开环特性的测定；
- (3)电压单闭环直流调速系统的机械特性。

任务实施

一、预习内容

熟悉本任务中所用到的实训器材,仔细阅读知识链接有关单闭环直流调速系统工作原理。

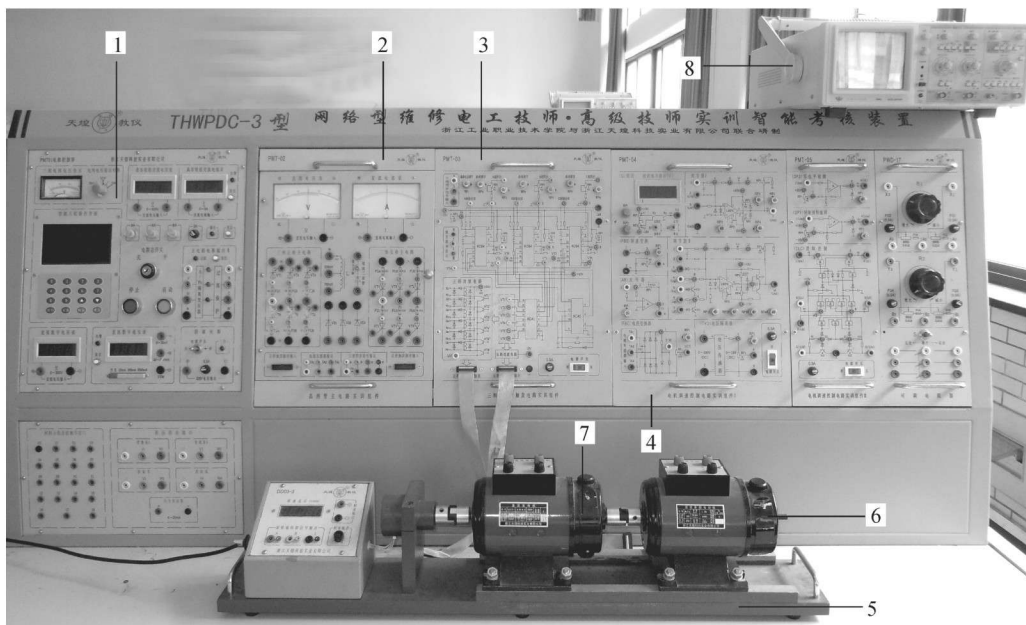
二、训练器材

本任务实训使用设备材料见表 1-1。

表 1-1 设备材料表

序号	型 号	数量
1	PMT01 电源控制屏	1
2	PMT-02 晶闸管主电路	1
3	PMT-03 三相晶闸管触发电路	1
4	PMT-04 电机调速控制电路	1
5	PMT-05 转矩极性鉴别及零电平电路	1
6	PWD-17 可调电阻器	1
7	DD03-3 电机导轨、光码测速系统及数显转速表	1
8	DJ13-1 直流发电机	1
9	DJ15 直流并励电动机	1
10	慢扫描示波器	1
11	万用表	1

直流调速系统实训装置如图 1-2 所示。



1—电源控制屏;2—晶闸管主电路;3—三相晶闸管触发电路;4—电机调速控制电路;5—电机导轨、光码测速系统;6—直流发电机;7—直流并励电动机;8—慢扫描示波器

图 1-2 直流调速实训装置

三、实施步骤

(一)基本单元的调试技能训练

1.“调节器Ⅰ”的调试

(1)调零

将 PMT-04 中“调节器Ⅰ”所有输入端接地,再将比例增益调节电位器 RP1 顺时针旋到底,用导线将“5”、“6”两端短接,使“调节器Ⅰ”成为 P(比例)调节器。调节面板上的调零电位器 RP2,用万用表的毫伏档测量调节器Ⅰ“7”端的输出,使调节器的输出电压尽可能接近于零。

(2)调整输出正、负限幅值

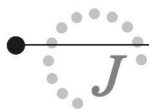
把“5”、“6”两端短接线去掉,此时调节器Ⅰ成为 PI(比例积分)调节器,然后将给定输出端接到调节器Ⅰ的“3”端,当加一定的正给定时,调整负限幅电位器 RP4,观察输出负电压的变化。当调节器输入端加负给定时,调整正限幅电位器 RP3,观察调节器输出正电压的变化。

(3)测定输入输出特性

将反馈网络中的电容短接(将“5”、“6”端短接),使调节器Ⅰ为 P(比例)调节器,在调节器的输入端分别逐渐加入正、负电压,测出相应的输出电压,直至输出限幅,并画出曲线。

(4)观察 PI 特性

拆除“5”、“6”两端短接线,突加给定电压,用慢扫描示波器观察输出电压的变化规律。改变调节器的放大倍数(调节 RP1),观察输出电压的变化。



2. “调节器Ⅱ”的调试

(1) 调零

将 PMT-04 中“调节器Ⅱ”所有输入端接地,再将 RP1 电位器顺时针旋到底,用导线将“11”、“12”两端短接,使“调节器Ⅱ”成为 P(比例)调节器。调节面板上的调零电位器 RP2,用万用表的毫伏档测量调节器Ⅱ“14”端的输出,使调节器输出电压尽可能接近于零。

(2) 调整输出正、负限幅值

把“11”、“12”两端短接线去掉,此时调节器Ⅱ成为 PI(比例积分)调节器,然后将给定输出端接到调节器Ⅱ的“4”端,当加一定的正给定时,调整负限幅电位器 RP4,观察输出负电压的变化,当调节器输入端加负给定时,调整正限幅电位器 RP3,观察调节器输出正电压的变化。

(3) 测定输入输出特性

将反馈网络中的电容短接(将“11”、“12”端短接),使调节器Ⅱ成为 P 调节器,在调节器的输入端分别逐渐加入正负电压,测出相应的输出电压,直至输出限幅,并画出曲线。

(4) 观察 PI 特性

拆除“11”、“12”两端短接线,突加给定电压,用慢扫描示波器观察输出电压的变化规律。改变调节器的放大倍数(调节 RP1),观察输出电压的变化。

3. “(AR)反号器”的调试

测定输入输出比例,输入端加入+5V 电压,调节 RP1,使输出端为-5V。

4. “转矩极性鉴别”的调试

PMT-05 转矩极性鉴别及零电平电路如图 1-3 所示。可调电阻器模块如图 1-4 所示。

转矩极性鉴别的输出有下列要求:电机正转,输出 U_M 为“1”态;电机反转,输出 U_M 为“0”态。

将给定输出端接至“转矩极性鉴别”的输入端,同时在输入端接上万用表以监视输入电压的大小,示波器探头接至“转矩极性鉴别”的输出端,观察其输出高、低电平的变化。“转矩极性鉴别”的输入输出特性应满足图 1-5(a)所示要求,其中 $U_{sr1} = -0.25V$, $U_{sr2} = +0.25V$ 。

5. “零电平检测”的调试

“零电平检测”输出应有下列要求:当主回路电流接近零时,输出 U_I 为“1”态;当主回路有电流时,输出 U_I 为“0”态。

其调整方法与“转矩极性鉴别”的调整方法相同,输入输出特性应满足图 1-5(b)所示要求,其中 $U_{sr1} = 0.2V$, $U_{sr2} = 0.6V$ 。

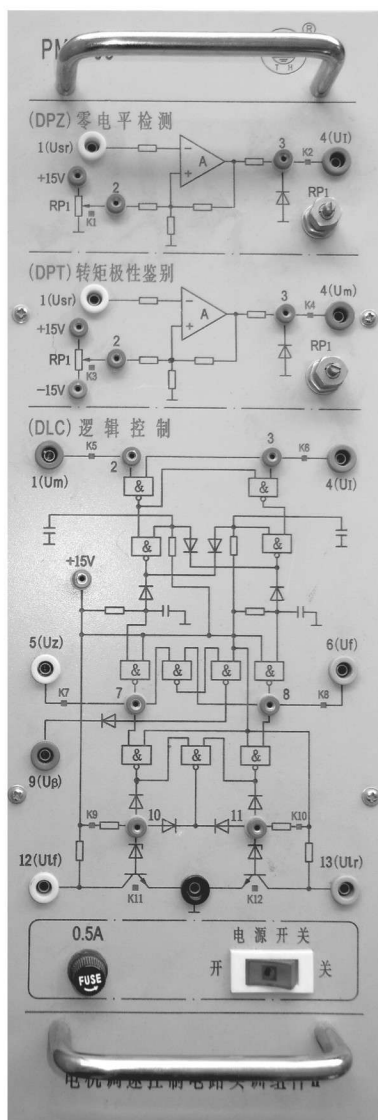


图 1-3 转矩极性鉴别及零电平调试模块

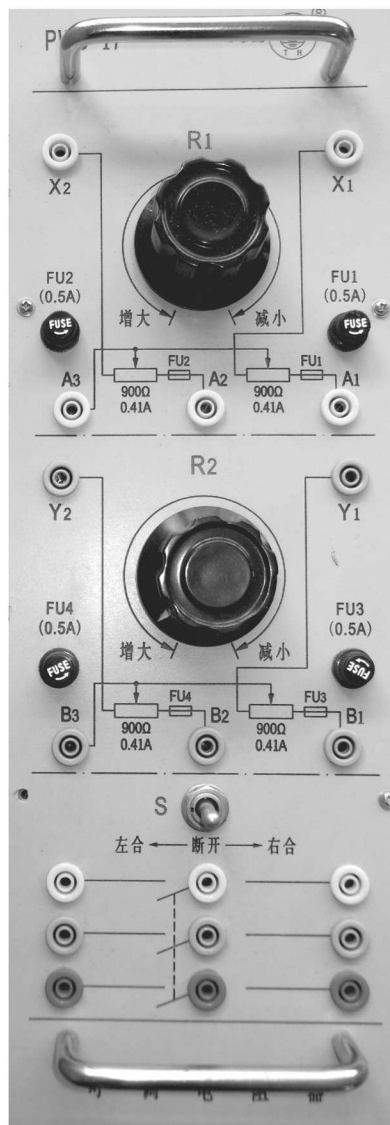


图 1-4 可调电阻器模块

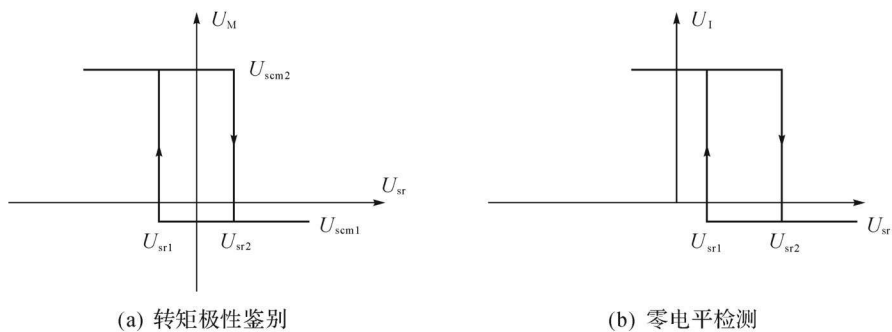


图 1-5 转矩极性鉴别及零电平检测输入输出特性



6.“逻辑控制”的调试

测试逻辑功能,列出真值表,真值表应符合表 1-2。

表 1-2 逻辑控制真值表

输入	U_M	1	1	0	0	0	1
	U_I	1	0	0	1	0	0
输出	$U_Z(U_{if})$	0	0	0	1	1	1
	$U_F(U_{ir})$	1	1	1	0	0	0

调试方法:

①首先将“零电平检测”、“转矩极性鉴别”调节到位,符合其特性曲线。给定接“转矩极性鉴别”的输入端,输出端接“逻辑控制”的 U_M 。“零电平检测”的输出端接“逻辑控制”的 U_I ,输入端接地。

②将 PMT-04 给定的 RP1、RP2 电位器顺时针转到底,将 S_2 打到运行侧。

③将 S_1 打到正给定侧,用万用表测量“逻辑控制”的“5”、“12”和“6”、“13”端,“5”、“12”端输出应为高电平,“6”、“13”端输出应为低电平,此时将 PMT-04 中给定部分 S_1 开关从正给定打到负给定侧,则“5”、“12”端输出从高电平跳变为低电平,“6”、“13”端输出也从低电平跳变为高电平。在跳变的过程中用示波器观测“9”端输出的脉冲信号。

④将“零电平检测”的输入端接高电平,此时将 PMT-04 中给定部分的 S_1 开关来回扳动,“逻辑控制”的输出应无变化。

(二)电压单闭环直流调速系统性能测定训练

1. PMT-02 和 PMT-03 上的“触发电路”

(1)按下 PMT-01 的“启动”按钮,观察 a、b、c 三相同步正弦波信号,并调节三相同步正弦波信号幅值调节电位器,使三相同步信号幅值尽可能一致;观察 A、B、C 三相的锯齿波,并调节 A、B、C 三相锯齿波斜率调节电位器,使三相锯齿波斜率、高度尽可能一致。

(2)将 PMT-04 上的“给定”输出 U_g 与 PMT-03 的移相控制电压 U_{ct} 相接,将给定开关 S_2 拨到停止位置(即 $U_{ct}=0$),调节 PMT-03 上的偏移电压电位器,用双踪示波器观察 A 相同步电压信号和“双脉冲观察孔”VT1 的输出波形,使 $\alpha=180^\circ$ 。

(3)将 S_1 拨到正给定, S_2 拨到运行,适当增加给定 U_g 的正电压输出,观测 PMT-03 上“VT1~VT6”的波形。

(4)将 PMT-03 面板上的 U_{if} 端接地,用 20 芯的扁平电缆将 PMT-03 的“正桥触发脉冲输出”端和 PMT-02 “触发脉冲输入”端相连,观察 VT1~VT6 晶闸管门极和阴极之间的触发脉冲是否正常,此步骤结束后按下 MEC01 的“停止”按钮。

2. U_{ct} 不变时的直流电机开环外特性的测定

(1)按图 1-1 接线(电压调节器先不接, U_g 直接接 U_{ct}),PMT-03 上的移相控制电压 U_{ct} 由 PMT-04 上的“给定”输出 U_g 直接接入,直流发电机接负载电阻 R ,PWD-17 可调电阻器模块如图 1-4 所示。将正给定的输出调到零。

(2)先闭合励磁电源开关,按下 PMT-01 上的启动按钮,使主电路输出三相交流电源

(线电压为 220V),然后从零开始逐渐增加“给定”电压 U_g ,使电动机慢慢启动,并使转速 n 达到 1200r/min。

(3)改变负载电阻 R 的阻值,使电动机的电枢电流从空载直至额定电流 I_{ed} ,即可测出在 U_{ct} 不变时的直流电动机开环外特性 $n=f(I_d)$,测量并记录数据于表 1-3, U_{ct} 不变时直流电机开环外特性绘入图 1-6 中。

表 1-3 U_{ct} 不变时的直流电机开环外特性

$n(\text{r/min})$					
$I_d(\text{A})$					

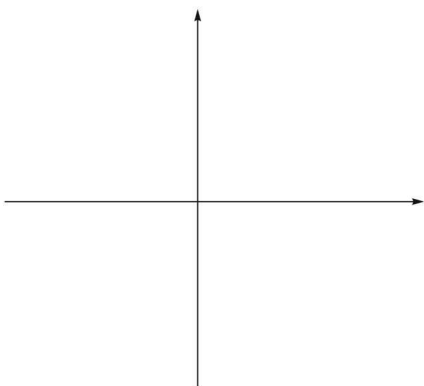


图 1-6 U_{ct} 不变时直流电机开环外特性

3. U_d 不变时直流电机开环外特性的测定

(1)控制电压 U_{ct} 由 PMT-04 的“给定” U_g 直接接入,直流发电机接负载电阻 R ,将正给定的输出调到零。

(2)按下 PMT-01 控制屏启动按钮,然后从零开始逐渐增加给定电压 U_g ,使电动机启动并达到 1200r/min。

(3)改变负载电阻 R ,使电动机的电枢电流从空载直至 I_{ed} 。用电压表监视三相全控整流输出的直流电压 U_d ,在实验中始终保持 U_d 不变(通过不断调节 PMT-04 上的“给定”电压 U_g 来实现),测出在 U_d 不变时直流电动机的开环外特性 $n=f(I_d)$,并记录于表 1-4 中, U_d 不变时直流电机开环外特性绘入图 1-7。

表 1-4 U_d 不变时直流电机开环外特性的测定

$n(\text{r/min})$					
$I_d(\text{A})$					