



普通高等教育实验实训规划教材

电气信息类

电机实验教程

徐政 主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



普通高等教育实验实训规划教材

电气信息类

电机实验教程

主编 徐政
编写 胡玉鑫
主审 李永刚



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育实验实训规划教材（电气信息类）。

全书共分五章，主要内容包括直流电机、变压器、异步电机、同步电机、微特电机。全书共有实验二十七个，包括一定比例的综合性、设计性实验。本书以浙江求是科教设备有限公司研发的 MEL 系列电机系统教学实验台为基础进行介绍，具有广泛的适用性。

本书可作为高等学校电气信息类专业及其他相关专业本科生的电机学和电机与拖动课程的实验教材，也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

电机实验教程/徐政主编. —北京：中国电力出版社，
2009

普通高等教育实验实训规划教材. 电气信息类
ISBN 978 - 7 - 5083 - 8700 - 0

I. 电… II. 徐… III. 电机—实验—高等学校—
教材 IV. TM306

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2009）第 054051 号

中国电力出版社出版、发行

（北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>）

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 5 月第一版 2009 年 5 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 6.25 印张 148 千字
定价 10.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

随着科学技术的飞速发展,电机的应用日益广泛,电气工程技术人员如果不懂电机将举步维艰。为适应社会需要,培养出既具有扎实的电机基础理论知识,又具有较强实践能力和创新能力的高素质人才,编者根据多年的教学研究与实践,编写了本书。

电机实验是电机学、电机与拖动及相关课程的实践教学环节,是整个教学环节中的重要组成部分。加强实践教学环节,充分发挥实验教学的作用,是培养应用型创新人才的根本和必要保障。通过实验,可以让学生深刻领会电机的基础理论,熟悉各类电机的基本特性,这种对知识理解掌握的效果单凭理论教学是无法达到的。更重要的是,通过实验,还可以激发学生们的学习兴趣,开拓他们的思维空间,培养他们发现问题、科学地分析问题和解决问题的能力,达到活学活用,为今后走向工作岗位解决遇到的工程问题做好准备,实现应用型人才的培养目标。

本书具有以下特点:

(1) 内容全面、实用性强。实验对象涉及直流电机、变压器、异步电机、同步电机和微特电机。实验内容包括电机参数的测定、电机起动方法与调速方法的研究、电机各种基本特性曲线的测绘及电机运行方式的研究等诸多方面,对于理论教学起到了强有力的辅助与促进作用。

(2) 注重能力培养。本书中第一章实验五、第二章实验六、第三章实验六为设计性实验,第四章实验二为综合性实验。综合设计性实验的开发将有利于培养学生应用知识的能力、工程实践能力和创新能力,符合应用型人才的培养目标。

(3) 注重学生科学素质的培养。实验内容编排有预习要求、实验报告要求和思考题等,有助于培养学生良好的学习习惯、严谨的科学态度和勤于思考的作风。

(4) 本书以浙江求是科教设备有限公司研发的 MEL 系列电机系统教学实验台为基础进行介绍,具有广泛的适用性。同时,考虑到方便学生进行实验接线,书中接线图的主要标注均与电机系统教学实验台的标注保持一致。

本书由胡玉鑫编写第一章和附录,徐政编写第二~五章。

华北电力大学李永刚教授担任本书主审,并提出了许多宝贵意见。在编写过程中得到了长春工程学院刘文洲教授的悉心指导,以及时凤菊等老师的帮助。在此一并表示衷心的感谢。由于编者水平有限,书中难免存在不妥和疏漏之处,恳请读者批评指正。

编 者

2009 年 3 月

目 录

前言

第一章 直流电机	1
实验一 认识实验	1
实验二 直流发电机	4
实验三 直流并励电动机	9
实验四 直流串励电动机	12
实验五 直流他励电动机的机械特性	15
第二章 变压器	17
实验一 单相变压器参数及运行特性的测定	17
实验二 三相变压器参数及运行特性的测定	20
实验三 三相变压器的联结组	25
实验四 单相变压器的并联运行	29
实验五 三相变压器的并联运行	31
实验六 三相变压器的不对称短路和三次谐波问题的研究	33
第三章 异步电机	35
实验一 三相鼠笼式异步电动机的工作特性	35
实验二 三相异步电动机的起动与调速	40
实验三 单相电容起动异步电动机	43
实验四 双速异步电动机	45
实验五 三相异步电动机机械特性曲线的测绘	47
实验六 三相异步电动机的制动	49
第四章 同步电机	52
实验一 三相同步发电机的运行特性	52
实验二 三相同步发电机的并联运行	57
实验三 三相同步电动机	61
实验四 三相同步发电机参数的测定	64
第五章 微特电机	68
实验一 直流伺服电动机	68
实验二 交流伺服电动机	71
实验三 步进电动机	75
实验四 正余弦旋转变压器	79
实验五 力矩式自整角机	82
实验六 控制式自整角机参数的测定	84
附录 MEL-Ⅱ型电机系统教学实验台的使用	87
参考文献	94

第一章 直 流 电 机

实验一 认 识 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) 了解用伏安法测直流电机电枢绕组直流电阻的方法。
- (4) 熟悉他励电动机（即并励电动机按他励方式）的接线、起动、改变电机转向与调速的方法。

二、实验设备

- (1) MEL 系列电机系统教学实验台主电源控制屏，参见附图 1 及其相关内容。
- (2) 电机导轨及测功机、转速转矩测量 (MEL-13)，参见附图 2 及其相关内容。
- (3) 直流并励电动机 (M03)。
- (4) 220V 直流可调稳压电源，参见附图 3 及其相关内容。
- (5) 电机起动箱 (MEL-09)。
- (6) 直流电压表、直流毫安表、直流电流表 (MEL-06)，详见附录。

三、预习要点

- (1) 预习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) 直流他励电动机起动时，为什么在电枢回路中需要串联起动变阻器？不连接会产生什么严重后果？
- (3) 直流电动机起动时，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。

四、实验原理

1. 伏安法测直流电机电枢的直流电阻

直流电机未励磁时，其内部不存在磁场（无剩磁时）。此时若将直流电机的电枢绕组接至直流电源，其内部便不会产生电磁感应关系，而只是以纯电阻的形式存在于这个直流电路中。因此，利用基于欧姆定律的伏安法便可测量出该直流电机电枢的直流电阻。

2. 他励电动机的起动、调速与转向的改变

电动机起动时，必须满足两项要求：

- (1) 具有足够的起动转矩。
- (2) 将起动电流限制在安全范围以内。

起动时将电枢回路电阻增大可限制起动电流，将励磁电流增大可提高起动转矩。

直流电动机的转速表达式为

$$n = (U - I_a R_a - 2\Delta U) / C_e \Phi$$

可见，直流电动机的调速方法有三种：

- (1) 调节励磁电流以改变每极磁通；
- (2) 调节外施电源电压；
- (3) 电枢回路串入可调电阻以增大电枢电阻。

直流电动机的电磁转矩表达式为

$$T_{em} = C_T \Phi I_a$$

可见，改变励磁电流的方向，即改变磁场的方向或是改变电枢电流的方向，都可以改变电枢所受电磁转矩的方向，达到改变电动机转向的目的。

五、实验内容

1. 要求及注意事项

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和注意事项。

2. 检查和连接

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是否正确。

3. 用伏安法测电枢绕组的直流电阻

(1) 按图 1-1 接线。图中 U 为可调直流稳压电源， R 为 3000Ω 磁场调节电阻 (MEL-09)，PV 为直流电压表 (MEL-06)，PA 为直流电流表 (MEL-06)，M 为直流电动机。

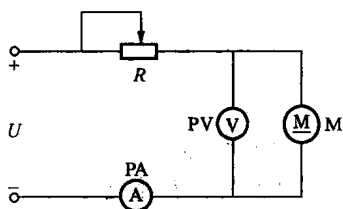


图 1-1 测量电枢绕组直流电阻接线图

(2) 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 $300V$ 档，直流电流表量程选为 $2A$ 档。

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

(4) 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动机旋转，测量无法进行；如果此时电流太小，可能由于接触电阻产生较大的误差)，迅速测取电动机电枢两端电压 U_a ，填入表 1-1 中。将电机转子分别旋转 $1/3$ 和 $2/3$ 周，同样测取 U_a ，填入表 1-1 中。

表 1-1

电枢绕组电阻实验数据

序号	$U_a (V)$	$I_a (A)$	$R (\Omega)$				$R_a^* (\Omega)$	$R_{aret}^{**} (\Omega)$
1		0.2	R_{a11}		R_{a1}			
			R_{a12}					
			R_{a13}					
2		0.5	R_{a21}		R_{a2}			
			R_{a22}					
			R_{a23}					
3		0.1	R_{a31}		R_{a3}			
			R_{a32}					
			R_{a33}					

* 电枢绕组的实际冷态电阻。

** 换算到基准工作温度时的电枢绕组电阻。

(5) 增大 R (逆时针旋转) 使电枢电流分别达到 0.15A 和 0.1A , 用上述方法测取 6 组数据, 填入表 1-1 中。取三次不同电枢电流下测量的电阻平均值作为实际冷态电阻值 R_a 。

(6) 计算基准工作温度时的电枢绕组电阻。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。将冷态电阻值换算到基准工作温度时的电枢绕组电阻值, 并记入表 1-1 中。

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动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, 则选用直流电压表的 300V 量程档。

(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 , 测量电枢电流的电流表可选用 2A 量程档。额定励磁电流小于 0.16A , 测量励磁电流的毫安表选用 200mA 量程档。

(3) 电动机额定转速为 1600r/min , 若采用指针表和测速发电机, 则选用 1800r/min 量程档; 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, 磁场回路调节电阻选用 MEL-09 的 $3000\Omega/200\text{mA}$ 可调电阻。

5. 直流电动机的起动

(1) 按图 1-2 接线。 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, 位于 MEL-13, 由“转矩设定”电位器进行调节。 U_1 为可调直流稳压电源, U_2 为直流电机励磁电源。PV1 为可调直流稳压电源自带电压表。PV2 为直流电压表, 量程为 300V 档, 位于 MEL-06。PA1 为可调直流稳压电源自带电流表。PA2 为直流毫安表, 位于直流电动机励磁电源部。

(2) 检查 M、G 之间是否用联轴器连接好, 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。

(3) 将电动机电枢调节电阻 R_1 调至最大, 磁场调节电阻调至最小, 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。

(4) 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, 直流电源的绿色工作发光二极管亮, 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 220V 电压。

(5) 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 。

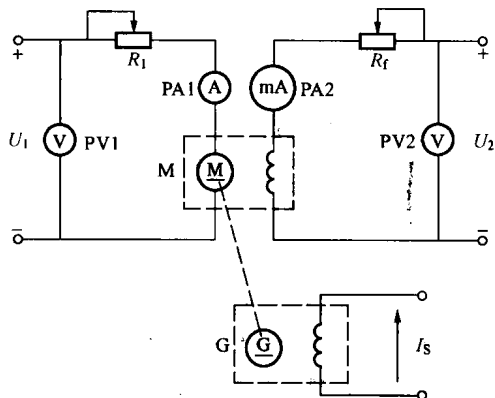


图 1-2 直流他励电动机实验接线图

(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

(1) 将电枢回路调节电阻 R_t 调至最大值, “转矩设定” 电位器逆时针调到零。

(2) 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。

(3) 将电枢或励磁回路的两端接线对调后, 再按前述起动电动机, 观察电动机的转向及转速表的读数。

六、实验注意事项

(1) 直流他励电动机起动时, 需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起动电阻 R_t 调至最大, 然后方可接通电源, 使电动机正常起动。起动后, 将起动电阻 R_t 调至最小, 使电机正常工作。

(2) 直流他励电动机停机时, 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_t 调回最大值, 励磁回路串联的电阻 R_f 调到最小值, 给下次起动做好准备。

(3) 测量前注意仪表的量程、极性及接法。

七、实验报告要求

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

(2) 根据实验数据, 完成表 1-1 中电枢绕组电阻值的换算。计算时应注意电阻值 R_{a1} 、 R_{a2} 、 R_{a3} 分别是各自三次测量数据的平均值, R_a 取 R_{a1} 、 R_{a2} 、 R_{a3} 的平均值。换算到基准工作温度时的电枢绕组电阻为

$$R_{a\text{ref}} = R_a(234.5 + \theta_{\text{ref}})/(234.5 + \theta)$$

式中: θ_{ref} 为基准工作温度, 对于 E 级绝缘为 75°C ; θ 为实际冷态时电枢绕组的温度 (即室温)。

(3) 回答思考题。

八、思考题

(1) 增大电枢回路的调节电阻, 电动机的转速如何变化? 增大励磁回路的调节电阻, 转速又如何变化?

(2) 用什么方法可以改变直流电动机的转向?

(3) 为什么要求直流并励电动机励磁回路的接线要牢靠?

实验二 直流发电机

一、实验目的

(1) 掌握用实验方法测定直流发电机的运行特性, 并根据所测得的运行特性评定该被试发电机的有关性能。

(2) 通过实验观察并励发电机的自励过程和自励条件。

二、实验设备

(1) MEL 系列电机教学实验台主电源控制屏。

(2) 电机导轨及测功机, 转矩转速测量组件 (MEL-13) 或电机导轨及转速表。

(3) 直流并励电动机 (M03)。

- (4) 直流复励发电机 (M01)。
- (5) 直流稳压电源 (位于主控制屏下部)。
- (6) 直流电压表、毫安表、电流表 (MEL-06)。
- (7) 波形测试及开关板 (MEL-05)。
- (8) 三相可调电阻 900Ω (MEL-03), 详见附录。
- (9) 三相可调电阻 90Ω (MEL-04), 详见附录。
- (10) 电机起动箱 (MEL-09)。

三、预习要点

- (1) 什么是发电机的运行特性? 对于不同的特性曲线, 在实验中哪些物理量应保持不变, 而哪些物理量应测取?
- (2) 做空载实验时, 励磁电流为什么必须单方向调节?
- (3) 并励发电机的自励条件有哪些? 当发电机不能自励时应如何处理?
- (4) 如何确定复励发电机是积复励还是差复励?

四、实验原理

1. 直流发电机的空载特性

保持 $n=n_N$, 使 $I=0$, 曲线 $U_0=f(I_f)$ 称为直流发电机的空载特性。因电刷电动势 $E_a=C_e n\Phi$, 所以在转速 n 一定的情况下, E_a (即空载电压 U_0) 与磁通 Φ 成正比, 这样空载特性与电机磁化曲线 $\Phi=f(I_f)$ 的变化规律相似。受电机铁芯磁饱和性和磁滞性的影响, 空载特性曲线为一磁滞回线的形状。

2. 直流发电机的外特性

保持转速 $n=n_N$, 使励磁电流 $I_f=I_N$, 反映输出电压与输出电流关系的曲线 $U=f(I)$ 称为直流发电机的外特性。直流发电机带负载运行时, 影响其端电压大小的因素将因电机励磁方式的不同而有所差别, 导致电机外特性出现差异。由于电流在电枢回路引起电压降落 (包括电枢电阻和电刷接触电阻两部分), 以及受饱和引起的电枢反应去磁作用的影响, 他励发电机外特性是略有下倾的。而对于并励发电机, 除了上述两个因素外, 还由于电压下降的同时使其励磁电流跟着下降, 导致电动势进一步下降, 因而, 其外特性下倾更为严重。对于串励发电机, 由于输出电流即为励磁电流, 所以随着输出电流的加大其磁场增强, 电动势增大, 足以抵消电枢回路压降及电枢反应的影响而具有上升的外特性。复励发电机的外特性介于并励与串励之间。

3. 直流发电机的调节特性

保持转速 $n=n_N$, 使输出电压 $U=U_N$, 反映励磁电流随输出电流变化的曲线 $I_f=f(I)$ 称为直流发电机的调节特性。根据他励与自励发电机外特性下倾的变化特点, 要维持恒定的电压就需加大激发磁场的励磁电流。

4. 并励发电机的自励

并励发电机自励建压的必要条件: ①具有剩磁; ②具有饱和现象。其充分条件: ①励磁电阻小于磁场临界电阻; ②由剩磁电压产生的励磁电流对剩磁是正反馈。

五、实验内容

1. 直流他励发电机

- (1) 按图 1-3 接线。G 为直流复励发电机 M01, 额定功率 100W, 额定电压 200V, 额

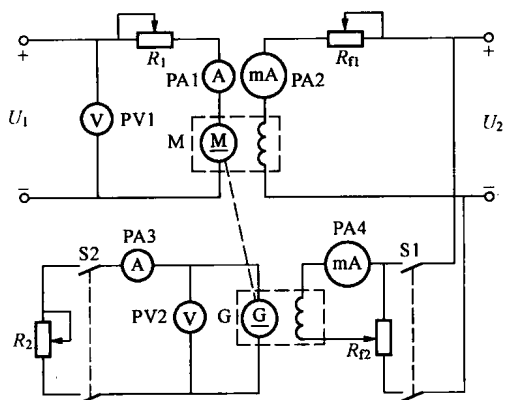


图 1-3 直流他励发电机实验接线图

定电流 0.5A, 额定转速 1600r/min。M 为直流并励电动机 M03, 按他励接法。S1、S2 为双刀双掷开关, 位于 MEL-05。 R_1 为电枢调节电阻 $100\Omega/1.22A$, 位于 MEL-09。 R_n 为磁场调节电阻 $3000\Omega/200mA$, 位于 MEL-09。 R_2 为磁场调节变阻器, 采用 MEL-03 最上端 900Ω 变阻器, 并采用分压器接法。 R_2 为发电机负载电阻, 采用 MEL-03 中间端和下端变阻器, 采用串并联接法, 阻值为 2250Ω (900Ω 与 900Ω 电阻串联加上 900Ω 与 900Ω 并联)。PA1、PA2 分别为直流电流表和毫安表, 位于直流电源上。 U_1 、 U_2 分别为可调直流稳压电源和电机励磁电源。PV1、PV2、PA3 和 PA4 分别为直流电压表 (量程为 300V 档)、直流电流表 (量程为 2A 档)、直流毫安表 (量程为 200mA 档)。

(2) 空载特性:

1) 打开发电机负载开关 S2, 合上励磁电源开关 S1, 接通直流电机励磁电源, 调节 R_2 , 使直流发电机励磁电压最小, PA4 读数最小。此时, 要注意选择各仪表的量程。

2) 调节电动机电枢调节电阻 R_1 至最大, 磁场调节电阻 R_n 至最小, 起动可调直流稳压电源 (先合上对应的船形开关, 再按下复位按钮, 此时, 绿色工作发光二极管亮, 表明直流电压已正常建立), 使电动机旋转。

3) 从数字转速表上观察电动机旋转方向, 若电动机反转, 可先停机, 将电枢或励磁两端接线对调, 重新起动, 则电动机转向应符合正向旋转的要求。

4) 调节电动机电枢电阻 R_1 至最小值, 可调直流稳压电源调至 220V; 再调节电动机磁场电阻 R_n , 使电动机 (发电机) 转速达到 1600r/min (额定值), 并在以后整个实验过程中始终保持此额定转速不变。

5) 调节发电机磁场电阻 R_2 , 使发电机空载电压达 $U_0 = 1.2U_N$ (240V) 为止。

6) 在保持电机额定转速 (1600r/min) 条件下, 从 $U_0 = 1.2U_N$ 开始, 单方向调节分压器电阻 R_2 , 使发电机励磁电流逐次减小, 直至 $I_{f2} = 0$ 。

测取发电机在不同空载电压 U_0 时的励磁电流 I_{f2} , 取 7~8 组数据, 填入表 1-2 中。其中 $U_0 = U_N$ 和 $I_{f2} = 0$ 两点必测, 在 $U_0 = U_N$ 附近测点应较密。

表 1-2

直流他励发电机空载特性实验数据

序 号	1	2	3	4	5	6	7	8
U_0 (V)								
I_{f2} (A)								

(3) 外特性:

1) 在空载实验后, 把发电机负载电阻 R_2 调到最大值 (把 MEL-03 中间和下端的变阻器逆时针旋转到底), 合上负载开关 S2。

2) 同时调节电动机磁场调节电阻 R_n 、发电机磁场调节电阻 R_2 和负载电阻 R_2 , 使发电机的 $n = n_N$ 、 $U = U_N$ (200V)、 $I = I_N$ (0.5A), 该点为发电机的额定运行点, 其励磁电流称为

额定励磁电流 I_{fN} 。

3) 在保持 $n=n_N$ 和 $I_f=I_{fN}$ 不变的条件下, 逐渐增加负载电阻, 即减少发电机负载电流, 从额定负载到空载运行范围内, 测取发电机的电压 U 和电流 I , 直到空载 (断开开关 S2), 共取 7~8 组数据, 填入表 1-3 中。其中额定和空载两点必测。

表 1-3 直流他励发电机外特性实验数据								
序 号	1	2	3	4	5	6	7	8
$U(V)$								
$I(A)$								

- (4) 调整特性:
- 1) 断开发电机负载开关 S2, 调节发电机磁场电阻 R_f , 使发电机空载电压达额定值 ($U_N=200V$)。
- 2) 在保持发电机 $n=n_N$ 条件下, 合上负载开关 S2, 调节负载电阻 R_L , 逐次增加发电机输出电流 I 。同时相应调节发电机励磁电流 I_f , 使发电机端电压保持额定值 $U=U_N$, 从发电机的空载至额定负载范围内, 测取发电机的输出电流 I 和励磁电流 I_f , 共取 7~8 组数据, 填入表 1-4 中。

表 1-4 直流他励发电机调整特性实验数据								
序 号	1	2	3	4	5	6	7	8
$I(A)$								
$I_f(A)$								

2. 直流并励发电机

- (1) 观察自励过程:
- 1) 按图 1-4 接线。 R_1 、 R_f 分别为电动机电枢调节电阻和磁场调节电阻, 位于 MEL-09。 PA1、PA2 分别为直流电流表和毫安表, 位于可调直流电源和励磁电源上。 PA3、PA4 分别为直流电流表和毫安表, 位于 MEL-06。 R_L 为 MEL-03 中两只 900 Ω 电阻相串联, 并调至最大。 R_2 采用 MEL-03 中间端和下端变阻器, 采用串并联接法, 阻值为 2250 Ω 。 S1、S2 位于 MEL-05。 PV1、PV2 为直流电压表, 其中 PV1 位于直流可调电源上, PV2 位于 MEL-06。

- 2) 断开主控制屏电源开关, 即按下红色按钮, 钥匙开关拨向“关”。
- 3) 断开 S1、S2, 按前述方法 (见直流他励发电机空载特性实验内容) 起动电动机, 调节电动机转速, 使发电机的转速 $n=n_N$ 。用直流电压表测量发电机是否有剩磁电压, 若无剩磁电压, 可将并励绕组改接他励进行充磁。
- 4) 合上开关 S1, 逐渐减少 R_2 , 观察电动机电枢两端电压, 若电压逐渐上升, 说明满足自励条件。如果不能自励建压, 将励磁回路的两个端头对调连接即可。

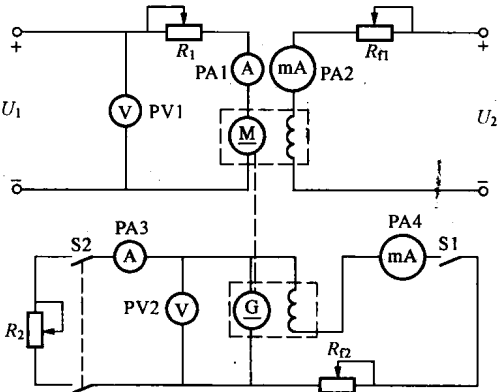


图 1-4 直流并励发电机实验接线图

(2) 测定直流并励发电机外特性：

1) 在并励发电机电压建立后，调节负载电阻 R_2 到最大，合上负载开关 S2，调节电动机的磁场调节电阻 R_{f1} 、发电机的磁场调节电阻 R_{f2} 和负载电阻 R_2 ，使发电机 $n=n_N$ 、 $U=U_N$ 、 $I=I_N$ 。

2) 保证此时 R_{f2} 的值和 $n=n_N$ 不变的条件下，逐步减小负载，直至 $I=0$ ，在额定负载到空载运行范围内，测取发电机的电压 U 和电流 I ，共取 7~8 组数据，填入表 1-5 中。其中额定和空载两点必测。

表 1-5 直流并励发电机外特性实验数据

序 号	1	2	3	4	5	6	7	8
$U(V)$								
$I(A)$								

3. 直流复励发电机

(1) 积复励和差复励的判别：

1) 按图 1-5 接线。 R_{f1} 、 R_{f2} 为电动机电枢调节电阻和磁场调节电阻，位于 MEL-09。PA1、PA2 分别为直流电流表和直流毫安表。PV1、PV2、PA3、PA4 为直流电压表、直流电流表、直流毫安表，采用 MEL-06 组件。 R_{f2} 采用 MEL-03 中两只 900Ω 电阻串联。 R_2 采用 MEL-03 中四只 900Ω 电阻串并联接法，最大值为 2250Ω。S1、S2 分别为单刀双掷和双刀双掷开关，位于 MEL-05 开关板上。

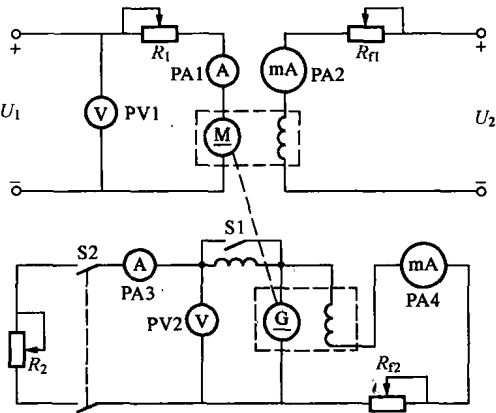


图 1-5 直流复励发电机实验接线图

2) 合上开关 S1、S2，将串励绕组短接，使发电机处于并励状态运行，按上述并励发电机外特性试验方法，调节发电机输出电流 $I=0.5I_N$ 、 $n=n_N$ 、 $U=U_N$ 。

3) 打开短路开关 S1，在保持发电机 n 、 R_{f2} 和 R_2 不变的条件下，观察发电机端电压的变化，若此电压升高即为积复励；若电压降低即为差复励。如要把差复励改为积复励，对调串励绕组接线即可。

(2) 测定直流积复励发电机的外特性。实验方法与测取并励发电机的外特性相同。将积复励发电机调到额定运行点，即 $n=n_N$ 、 $U=U_N$ 、 $I=I_N$ ，在保持此时的 R_{f2} 和 $n=n_N$ 不变的条件下，逐次减小发电机负载电流，直至 $I=0$ 。在额定负载到空载范围内，测取发电机的电压 U 和电流 I ，共取 7~8 组数据，记录于表 1-6 中。其中额定和空载两点必测。

表 1-6 直流积复励发电机外特性实验数据

序 号	1	2	3	4	5	6	7	8
$U(V)$								
$I(A)$								

六、实验注意事项

(1) 起动直流电动机时, 先把 R_1 调到最大, R_2 调到最小; 起动完毕后, 再把 R_1 调到最小。

(2) 测定外特性时, 需调节负载电阻 R_2 , 调节时应先调节串联部分, 当负载电流大于 0.4A 时再用并联部分, 并将串联部分阻值调到最小且用导线短接以避免烧毁熔断器。

七、实验报告要求

(1) 根据直流发电机空载实验数据, 作出空载特性曲线。由空载特性曲线计算出被试发电机的饱和系数和剩磁电压的百分数。

(2) 在同一张坐标纸上绘出直流他励、并励和复励发电机的三条外特性曲线, 分别算出三种励磁方式的电压变化率并分析差异的原因。

(3) 绘出直流他励发电机调整特性曲线。分析在发电机转速不变的条件下, 为什么负载增加时, 要保持端电压不变, 必须增加励磁电流的原因。

(4) 回答思考题。

八、思考题

(1) 直流并励发电机不能建立电压有哪些原因?

(2) 在发电机—电动机组成的机组中, 当发电机负载增加时, 为什么机组的转速会降低? 为了保持发电机的转速 $n=n_N$, 应如何调节?

实验三 直流并励电动机

一、实验目的

(1) 掌握用实验方法测取直流并励电动机的工作特性和机械特性。

(2) 掌握直流并励电动机的调速方法。

(3) 了解直流电动机能耗制动的方法。

二、实验设备

(1) MEL 系列电机教学实验台的主电源控制屏。

(2) 电机导轨及涡流测功机、转矩转速测量 (MEL-13)。

(3) 可调直流稳压电源 (含直流电压表、电流表、毫安表)。

(4) 直流电压表、直流毫安表、直流电流表 (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)。

三、预习要点

(1) 直流电动机工作特性与机械特性曲线的变化走向及原因。

(2) 直流电动机的调速原理。

(3) 直流电动机制动的原理与方法。

四、实验原理

1. 工作特性和机械特性

保持 $U=U_N$ 和 $I_f=I_{fN}$ 不变, n 、 T_2 、 η 随 I_a 而变化的关系称为直流电动机的工作特性。保

持 $U=U_N$ 和 $I_f=I_{fN}$ 不变, n 随 T_2 而变化的关系称为直流电动机的机械特性。因 $T_{em}=T_2=C_T\Phi I_a$, 故而对并励电动机而言, 当 $I_f=I_{fN}$ 不变时 I_a 随 T_2 的增大而增大, 同时 I_a 增大又会带来电枢反应的去磁作用增强, 使主磁通 Φ 减小, 两者共同的变化使转速 n 变化不大只是略有下降, 因此, 并励电动机具有硬特性性质。

2. 调速特性

(1) 改变电枢电压调速。保持 $U=U_N$ 、 $I_f=I_{fN}$ 、 $T_2=$ 常数, 改变电枢回路外接电阻的大小, 便改变了与其串联的电枢绕组所受电压的大小, 从而实现调速的目的。

(2) 改变励磁电流调速。保持 $U=U_N$ 、 $T_2=$ 常数, 调节励磁回路的电阻可以改变励磁电流进而改变磁通的大小, 从而实现调速的目的。

3. 能耗制动

不切断并励电动机的电源, 将电枢电路从电源侧倒向电阻侧, 此时电动机便作为发电机运行, 电枢电流方向改变, 形成制动转矩, 从而加速电机停转。

五、实验内容

1. 直流并励电动机的工作特性和机械特性

实验接线如图 1-6 所示。 U_1 为可调直流稳压电源。 R_1 、 R_f 分别为电枢调节电阻和磁场调节电阻, 位于 MEL-09。 PA1、PA2 为直流安培表、直流毫安表, PV1、PV2 为直流电压表, 采用 MEL-06 组件。 G 为涡流测功机。 I_s 为测功机可调励磁电源, 位于 MEL-13。

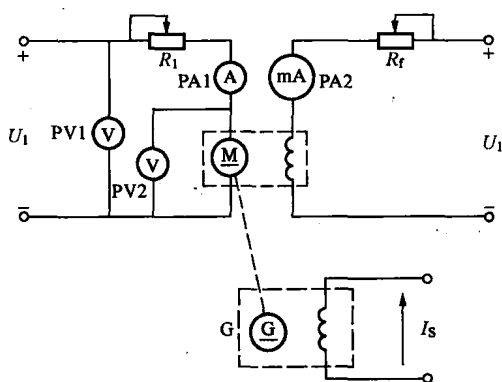


图 1-6 直流并励电动机实验接线图

(1) 将 R_1 调至最大, R_f 调至最小, PA1 量程为 2A 档, PA2 量程为 200mA, 电压表量程为 300V 档。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”选择开关板向“转矩控制”, “转矩设定”电位器逆时针旋到底, 打开船形开关, 按本章实验一中方法起动直流电源, 使电动机旋转, 并调整电动机的旋转方向, 使电动机正转。

(2) 直流电动机正常起动后, 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 (即调节电动机的负载), 使电动机达到额定值, 即 $U=U_N=220V$ 、 $I_a=I_N$ 、 $n=n_N=1600r/min$ 。此时直流电动机的励磁电流 I_f 等于额定励磁电流 I_{fN} , 测量并记录此值于表 1-7 的表头中。

(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 7~8 组填入表 1-7 中。

表 1-7 并励电动机工作特性与机械特性实验数据 ($U=U_N=220V$, $I_f=I_{fN}=$ A)

序 号		1	2	3	4	5	6	7	8
实验数据	$I_a(A)$								
	$n(r/min)$								
	$T_2(N \cdot m)$								

续表

序 号		1	2	3	4	5	6	7	8
计算数据	$P_2(W)$								
	$P_1(W)$								
	$\eta(\%)$								
	$\Delta n(\%)$								

2. 调速特性

(1) 改变电枢电压调速：

- 1) 按上述方法起动直流电动机后，将电阻 R_1 调至零，并同时调节负载、电枢电压和磁场调节电阻 R_f ，使电动机的 $U=U_N$ 、 $I_a=0.5I_N$ 、 $I_f=I_N$ ，记录此时的 T_2 于表 1-8 中。
- 2) 保持 T_2 不变， $I_f=I_N$ 不变，逐次增加 R_1 的阻值，即降低电枢两端的电压 U_a 。将 R_1 从零调至最大值，测取电动机的端电压 U_a 、转速 n 和电枢电流 I_a ，共取 7~8 组数据，填入表 1-8 中。

表 1-8 并励电动机改变电枢电压调速实验数据 ($I_f=I_N=$ A, $T_2=$ N·m)

序 号	1	2	3	4	5	6	7	8
$U_a(V)$								
$n(r/min)$								
$I_a(A)$								

(2) 改变励磁电流调速：

- 1) 直流电动机起动后，将电枢调节电阻和磁场调节电阻 R_f 调至零，调节可调直流电源的输出为 220V，通过调节“转矩设定”电位器来调节电动机的负载，使电动机的 $U=U_N$ 、 $I_a=0.5I_N$ ，记录此时的 T_2 于表 1-9 中。
- 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 7~8 组数据，填入表 1-9 中。

表 1-9 并励电动机改变励磁电流调速实验数据 ($U=U_N=220V$, $T_2=$ N·m)

序 号	1	2	3	4	5	6	7	8
$n(r/min)$								
$I_f(A)$								
$I_a(A)$								

3. 能耗制动

- (1) 按图 1-7 接线。 U_1 为可调直流稳压电源。 R_1 、 R_f 分别为直流电机电枢调节电阻和磁场调节电阻 (MEL-09)。 R_L 采用 MEL-03 中两只 900Ω 电阻并联。 S 为双刀双掷开关 (MEL-05)。
- (2) 将开关 S 合向“1”端， R_1 调至最大，

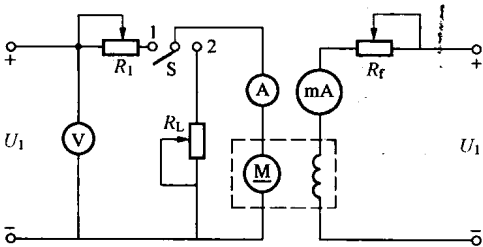


图 1-7 直流并励电动机能耗制动实验接线图

R_f 调至最小, 起动直流电动机。

- (3) 运行正常后, 将开关 S 断开, 电机处于自由停机, 记录停机时间。
- (4) 重复起动电动机, 待运转正常后, 把 S 合向“2”端记录停机时间。
- (5) 选择不同 R_L 阻值, 观察对停机时间的影响。

六、实验注意事项

- (1) 注意使用的是直流仪表, 同时量程选择合适。
- (2) 注意接线的极性。
- (3) 实验中应注意对电枢电阻、磁场调节电阻及转矩设定电位器的调节方法。

七、实验报告要求

(1) 由实验结果完成表 1-7 中数据的计算, 并绘出 n 、 T_2 、 η 与 I_a 及 n 与 T_2 的特性曲线。

步骤提示:

1) 电动机输出功率 $P_2 = T_2 \Omega = T_2 2\pi n / 60 = 0.105 n T_2$ 。其中, 输出转矩 T_2 的单位为 $N \cdot m$, 转速 n 的单位为 r/min 。

2) 电动机输入功率 $P_1 = UI$, 其中电动机输入电流 $I = I_a + I_N$ 。

3) 电动机效率 $\eta = (P_2 / P_1) \times 100\%$ 。

4) 由工作特性求出转速变化率 $\Delta n = [(n_0 - n_N) / n_N] \times 100\%$ 。

(2) 根据表 1-8 和表 1-9 中的实验数据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两种调速过程中电枢电流的变化规律及两种调速方法的优缺点。

(3) 利用实验数据说明能耗制动时间与制动电阻 R_L 的关系及原因。

(4) 回答思考题。

八、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) 当并励电动机的负载转矩和励磁电流不变时, 减小电枢电压, 为什么会引起电动机转速降低?

(3) 当并励电动机的负载转矩和电枢电压不变时, 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, 当励磁回路断线时是否一定会出现“飞车”? 为什么?

实验四 直流串励电动机

一、实验目的

- (1) 用实验方法测取直流串励电动机工作特性和机械特性。
- (2) 了解直流串励电动机起动、调速及改变转向的方法。

二、实验设备

- (1) MEL 系列电机教学实验台主电源控制屏。
- (2) 电机导轨及测功机、转矩转速测量 (MEL-13)。
- (3) 可调直流稳压电源 (含直流电压表、直流毫安表、直流电流表)。