

高等学校教材

电机实验

(第 2 版)

合肥工业大学 郑治同 主编

机械工业出版社

7113-35
二 41
(2)

355152

高等学校教材

电机实验

(第 2 版)

合肥工业大学 郑治同 主编



机械工业出版社

(京)新登字054号

《电机实验》(第2版)是根据1988年8月在合肥召开的全国《电机实验》教材修订会议制订的大纲编写的。内容包括:电机实验的基本要求和安全操作规程;电机实验中一些基本物理量的测量;普通电机教学实验(共提出直流电机、变压器、交流异步电机和同步电机教学实验21个);普通电机专题实验(9个);微控电机教学实验(8个);电机系统实验装置(5个)。这些实验应根据教学大纲和设备条件选做,一般每个实验可安排3学时。

本书供普通高等学校、联合大学、电大、职大、夜大等院校的电机、工业电气自动化、电力系统自动化、电子技术以及其他专业开设的《电机学》、《电机与拖动基础》、《控制电机》等课程作电机实验教学用书,亦可供研究生、工人和工程技术人员作电机试验时参考。

电 机 实 验

(第 2 版)

合肥工业大学 郑治同 主编

*

责任编辑:任悦贞 版式设计:王 颖

封面设计:郭景云 责任校对:熊天荣

责任印制:尹德伦

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ ·印张 $10 \frac{1}{2}$ ·字数 253 千字

1981年7月北京第1版

1992年5月北京第2版·1992年5月北京第12次印刷

印数 75,851—81,050·定价:3.20 元

*

ISBN 7-111-03114-8/TM·393 (课)



前 言

《电机实验》教材已试用10年，连续印刷了11次，出书7万多册，读者众多。根据电机专业全国教学指导委员会意见，为了实行教学改革，加强理论联系实际，提高学生的实际操作能力，改进《电机实验》课的教与学，有必要对初版进行修订。为此，1988年8月于合肥召开了《电机实验》教材修订会议，制订了修订编写大纲。《电机实验》（第2版）即根据此大纲编写而成。

参加《电机实验》教材修订大纲会议的学校和代表有浙江大学王毓东副教授、姚向毅同志，重庆大学余仲明副教授、兰世奎高级工程师，西安交通大学徐云官高级工程师，福州大学林文琳同志以及合肥工业大学代表多人。

《电机实验》（第2版）的特点是适用面较广，可供普通高等学校、联合大学、电大、职大、夜大等院校的电机、工业电气自动化、电力系统自动化、电子技术及其他专业开设《电机学》、《电机与拖动基础》、《控制电机》等课程的实验用，也可供研究生、工人和工程技术人员参考。

本书在修订过程中参考了各兄弟院校、有关科研单位及工厂新近提供的实验指导书、试试报告、学术论文及新产品简介等资料。书中采用国家标准规定的图形、符号和术语，并介绍了一些科研成果，对于生产和科研亦有参考价值。

本书仍由合肥工业大学郑治同副教授主编。书中§3-15和§4-6两节由郭年凯、宫必根同志提供初稿，主编编写其余新增章节和所有章节修订稿，并对全部书稿仔细地进行了修改。

本书仍由重庆大学余仲明副教授主审。兰世奎高级工程师、陆星云副教授、严欣平、黄兴捷、张治俊同志参加审稿工作。编者对他们认真地审阅并提出宝贵意见与建议深表感谢。

参加本书第1版编写及审稿工作的还有舒顺发、何慧若、薛祖汉、战福忠及靳洁心同志。

这里，谨向很多用过本书并提出宝贵意见的同志表示衷心地感谢。

编者

目 录

第一章 电机实验的基本要求和	
安全操作规程	1
§ 1-1 电机实验的基本要求	1
§ 1-2 电机实验安全操作规程	2
第二章 电机实验中一些基本物理量的测量	4
§ 2-1 绝缘电阻的测量	4
§ 2-2 绕组直流电阻的测量	5
§ 2-3 温度的测量	7
§ 2-4 转速和转差率的测量	8
§ 2-5 光电数模转换式测频测速仪	13
§ 2-6 转矩的测量	16
§ 2-7 功率的测量	21
§ 2-8 磁场的测量	24
§ 2-9 光线示波器	25
第三章 普通电机教学实验	27
§ 3-1 直流电机认识实验	27
§ 3-2 直流发电机实验	30
§ 3-3 直流并励电动机实验	34
§ 3-4 直流他励电动机的工作特性与调速性能的测定	37
§ 3-5 直流他励电动机机械特性的测定	40
§ 3-6 直流串励电动机实验*	42
§ 3-7 直流电机损耗与效率的测定*	45
§ 3-8 单相变压器实验	47
§ 3-9 三相变压器实验	53
§ 3-10 校验三相变压器的联接组和三相变压器不对称短路实验	59
§ 3-11 三相三绕组变压器实验*	67
§ 3-12 单相变压器的并联运行实验	70
§ 3-13 三相变压器的并联运行实验	71
§ 3-14 三相异步电动机工作特性的测定	73
§ 3-15 三相异步电动机机械特性的测定	77
§ 3-16 三相异步电动机的起动与调速实验	80
§ 3-17 三相异步电动机的温升实验	84
§ 3-18 三相同步发电机运行特性的测定	87
§ 3-19 三相同步发电机并联运行实验	90
§ 3-20 三相同步发电机参数的测定	93
§ 3-21 三相同步电动机实验	96
第四章 普通电机专题实验	99
§ 4-1 直流电机的换向	99
§ 4-2 三相异步电动机的圆图	102
§ 4-3 三相异步电动机杂散损耗的测定	105
§ 4-4 笼型三相异步电动机最小转矩的测定	111
§ 4-5 三相异步发电机的研究	115
§ 4-6 双频法测三相异步电动机温升	120
§ 4-7 三相同步发电机的温升实验	121
§ 4-8 自动恒压同步发电机实验	123
§ 4-9 三相同步发电机瞬变参数的动态测定	126
第五章 微特电机教学实验	131
§ 5-1 直流伺服电动机特性的测定	131
§ 5-2 交流伺服电动机特性的测定	133
§ 5-3 直流测速发电机实验	137
§ 5-4 交流测速发电机实验	140
§ 5-5 力矩式自整角机的研究	143
§ 5-6 控制式自整角机参数的测定	146
§ 5-7 正余弦旋转变压器实验	148
§ 5-8 步进电动机特性的测定*	150
第六章 电机系统实验装置	153
§ 6-1 单相电阻起动异步电动机实验	154
§ 6-2 单相电容起动异步电动机实验	156
§ 6-3 单相电容运转异步电动机实验	157
§ 6-4 三相双速异步电动机实验	159
§ 6-5 交流异步电动机的 $T-s$ 曲线自动测绘	161
参考文献	161

第一章 电机实验的基本要求 和安全操作规程

§ 1-1 电机实验的基本要求

电机实验课的目的在于培养学生掌握基本的实验方法与操作技能,培养学生学会根据实验目的拟定实验线路、选择所需仪表、确定实验步骤、测取所需数据、进行分析研究、得出必要结论,从而提出实验报告。在整个实验过程中,必须严肃认真,集中精力,及时做好实验。现按实验过程提出下列基本要求:

一、实验前的准备

实验前应复习电机学有关章节,认真研读实验指导书,了解实验目的、内容、方法与步骤,明确实验过程中应注意的问题(有些内容可到实验室对照实物预习,如抄录被测试电机铭牌,选择实验用的设备、仪表等),并按照实验项目准备记录表格等。

实验前应写好预习报告,经指导教师检查认为确实作好了实验前的准备,方可开始作实验。

认真作好实验前的准备工作,对于培养同学独立工作能力、提高实验质量和效率都是很重要的。

二、实验的进行

1. 建立小组,合理分工

每次实验以小组为单位进行,每组由3~4人组成,推选组长1人。组长负责组织实验的进行,诸如分配记录、接线、调节负载、测量转速等工作,务求在实验过程中全组人员操作协调,实验数据准确。

2. 抄录铭牌,选择仪表

实验前应首先熟悉被测试机组,记录电机及所用设备的铭牌和仪表量程,然后将仪表、设备布置整齐,便于测取数据。

3. 按图接线

根据实验线路图及所选仪表、设备、按图接线,线路力求简单明了。

接线原则是先串联主回路,再接并联支路。就是说,由电源开关后开始连接主要的串联电路(如电枢回路)。如系三相,则三根线一齐往下接;如系单相或直流,则从一极出发,经过主要线路之各段仪表、设备,最后返回到另一极。根据电流大小,主要线路用粗导线联接(包括电流表及瓦特表的电流线圈),并联支路用细导线联接(包括电压表及瓦特表的电压线圈)。

4. 起动电机,观察仪表

在正式实验开始之前,校准各仪表零位、熟悉刻度、并记下倍率,然后起动电机,观察所有仪表是否正常(如指针正、反向等)。如果出现异常,应立即切断电源、及时报告,查

清原因并排除故障；如果一切正常，即可正式开始实验。

5. 测取数据

预习时对实验内容与实验结果应事先作好理论分析，并预测实验结果的大致趋势，作到心中有数。正式实验时，根据预定计划测取数据。

6. 认真负责，实验有始有终

实验完毕，应将数据交指导教师审阅。经指导教师认可后，才允许拆线并整理好实验台、归还仪表、导线与工具等。

三、实验报告

实验报告是根据实验目的、实测数据及在实验中观察和发现的问题，经过分析研究而得出的结论或通过分析讨论写出的心得体会。

实验报告要简明扼要、字迹清楚、图表整洁、结论明确。实验报告内容包括：

- 1) 写明实验名称、专业班级、组别、姓名、同组同学姓名、实验日期、室温 $^{\circ}\text{C}$ 。
- 2) 列出被测试电机及使用的设备和仪表的编号、规格、铭牌数据（额定容量、额定电压、额定电流及额定转速等）。

3) 扼要地写出实验目的。

4) 绘出实验时所用的线路图，并注明仪表量程。

5) 列出实验项目。

6) 数据的整理和计算。记录数据的表格上需说明实验是在什么条件下进行的。

例如，作发电机空载实验时， $I = 0$ ， $n = n_N$ ， $U_0 = f(I_f)$ 。

各项数据如系计算所得，应列出计算公式，并举一例说明。

7) 选择适当比例绘制曲线。用坐标纸画出曲线，图纸尺寸应不小于 $80\text{mm} \times 80\text{mm}$ 。曲线要用曲线尺或曲线板连成光滑曲线，不在曲线上的点仍按实际数据标出。

8) 写出结论。根据实验结果进行计算和分析，最后得出结论。这是由实践再上升到理论的提高过程，是实验报告中很重要的一部分。结论中可根据不同实验方法所得结果进行比较，讨论各种实验方法的优、缺点，说明实验结果与理论是否符合，根据国家标准来评定一台电机的性能是否合格，或对某些特殊问题进行探讨。实验报告应写在一定规格的报告纸上，保持整洁。

每次实验每人独立作一份报告，按时送交指导教师批阅。

§ 1-2 电机实验安全操作规程

为了按时完成电机实验，确保实验时人身安全与设备安全，要严格遵守实验室的安全操作规程。一般电机实验的安全操作规程如下：

1) 人体不可接触带电线路。

2) 电源必须经过开关（或接触器）、熔断器之后接入电机。接线或拆线都必需在切断电源（即拉开电源开关）的情况下进行。

3) 学生独立完成接线或改接线路后，必须经指导教师检查和允许，并招呼全组同学引起注意后，方可接通电源。实验中如发生事故，应立即切断电源、保护现场，并报告指导教师，待查清问题和妥善处理故障后，才能继续进行实验。

4) 实验时应注意衣服、围巾、发辫及实验接线用的导线等不得卷入电机的旋转部分，实验人员应穿工作服或紧袖口衣服，不得用手或脚去促使电机起动或停转，以免发生危险。

5) 操作开关应迅速、果断、快合、快断，以免产生电弧，烧坏闸刀开关。合闸时应使刀片投入片座，保持接触良好。

6) 电动机直接起动时，电流表应从线路中拆离，或经并联开关短路。

7) 电流互感器在使用时其二次侧不得开路，以免产生高电压损坏仪器和危及人身安全。对具有匝数很多的绕组的线路，要小心断路时产生高电压引起的危险。电容器用完后必须进行放电。

8) 总电源应由实验室工作人员掌管，其他人不得乱动。

第二章 电机实验中一些基本物理量的测量

§ 2-1 绝缘电阻的测量

绝缘电阻的测量是电机、电器绝缘检验项目之一。通过绝缘电阻的测量可以检查绝缘是否受潮，有无局部缺陷等。

一、绝缘电阻的测量方法

1. 兆欧表规格选用

绝缘电阻用兆欧表测量，所用兆欧表的规格，根据被测电机的额定电压，可按表 2-1 选用。

表 2-1

电机额定电压	兆欧表规格
低于 500 V	500 V
500~3000 V	1000 V
高于 3000 V	2500 V

测量电力变压器绝缘电阻时，须按变压器的种类选用不同规格的兆欧表，如 10000 V 电压以下的 I、II 类变压器选用 1000 V 的兆欧表。

2. 电机绕组绝缘电阻的测量项目

电机各相（或各种）绕组分别有出线端引出时，应分别测量各绕组对机壳（或铁心）及各绕组之间的绝缘电阻。若各绕组已在电机内部联接起来，允许仅测量所有相连绕组对机壳的绝缘电阻。

3. 兆欧表的使用方法

目前，常见的兆欧表为手摇兆欧表，表内有一手摇发电机，发电机发出的电压与转速有关。因此，为了维持施加在被测设备上的电压一定，测量时应以兆欧表规定的转速均匀地摇动手柄，待指针稳定后方可读数。

二、电机绕组绝缘电阻的有关规定

1. 国家标准对于电机绕组绝缘电阻的规定

国家标准规定，在热态时，电机绕组的绝缘电阻应不低于下式确定的数值

$$R = \frac{U_N}{1000 + \frac{P_N}{100}}$$

式中 R ——电机绕组的绝缘电阻，单位为 $M\Omega$ ；

U_N ——电机绕组的额定电压，单位为 V；

P_N ——电机的额定功率，对于直流电机和交流电动机，单位为 kW；对于交流发电机和同步补偿机，单位为 kVA。

由上式可知, 380V 以下的低压电机、电器, 热态时其绕组的绝缘电阻应不低于 $0.38\text{M}\Omega$ 。如果低于这个数值, 应分析原因, 采取相应措施, 以提高其绕组的绝缘电阻。

2. 冷态绝缘电阻合格值的估算

Y 系列电机绕组的绝缘电阻, 采用 500V 兆欧表进行测量。标准规定热状态下绕组的绝缘电阻值约为 $0.38\text{M}\Omega$ 。由于电机绕组的绝缘电阻随温度的变化而呈指数变化, 且一般是随温度的上升而下降, 因此室温下冷态绝缘电阻的合格值应按下式进行换算

$$R_0 = 0.38 \times 2^{\frac{75 - \theta}{10}}$$

式中 R_0 ——冷态绝缘电阻值, 单位为 $\text{M}\Omega$;

θ ——室温, 单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。

由此得出在各种室温下电机绕组冷态绝缘电阻的合格值如表 2-2 所示。

表 2-2

$\theta / ^{\circ}\text{C}$	0	5	10	15	20	25	30	35	40
$R_0 / \text{M}\Omega$	69	49	34	24	17	12	8.6	6	4.3

§ 2-2 绕组直流电阻的测量

在电机实验中, 有时需要测定绕组的直流电阻, 用以校核设计值、计算效率以及确定绕组的温升等。绕组电阻值是随温度变化的。在测定绕组实际冷态直流电阻时, 要同时测量绕组的温度, 以便将该电阻值换算至基准工作温度或所需工作温度下的数值。

一、绕组直流电阻的测量

测量绕组直流电阻可用电桥法或电压表和电流表法。

(一) 电桥法

采用电桥测量绕组直流电阻时, 是选用单臂电桥还是双臂电桥, 取决于被测绕组电阻的大小和对其测量精度的要求。当绕组电阻小于 1Ω 时, 必须采用双臂电桥, 不允许采用单臂电桥。因为单臂电桥测量得到的数值中, 包括了连接线的电阻和接线柱的接触电阻, 这就给低电阻的测量带来较大的误差。

用电桥测量电阻时, 应先将刻度盘旋到电桥能大致平衡的位置, 然后按下电池按钮接通电源, 待电桥中的电流达到稳定后, 方可按下检流计按钮接入检流计。测量完毕后, 应先断开检流计, 再断开电源, 以免检流计受到冲击。

用电桥法测定绕组直流电阻, 具有准确度及灵敏度高和直接读数的优点。

(二) 电压表和电流表法

用电压表和电流表法测量绕组直流电阻时, 应采用蓄电池或其他电压稳定的直流电源作为测量电源。按图 2-1 接线, 使被测绕组的电阻 r 与可变电阻 R 和电流表串联; 为了保护电压表, 可将一按钮开关 SB 接在电压表与被测绕组的出线端之间。

1. 测量程序

测量过程中, 应首先闭合电源开关 Q ; 当电流稳定之后, 再按下按钮开关 SB 接通电压表, 测量绕组两端电压; 测量后随即松开按钮 SB , 使电压表先行断开。否则, 绕组中电流剧

烈变动(例如,断开电源时绕组所产生的自感电动势)可能损坏电压表。

2. 测量中的注意事项

测量时,为了保证足够的灵敏度,电流要有一定数值,但不要超过绕组额定电流的20%;电流表与电压表应尽快同时读数,以免因绕组发热影响测量的准确度。

3. 测量的接线方法

(1) 测量小电阻 测量小电阻时,按图2-1 a 接线。当考虑电压表(内阻为 r_v)的分路电流时,被测绕组的直流电阻为

$$r = \frac{U}{I - \frac{U}{r_v}}$$

若不考虑电压表的分路电流,则 $r = \frac{U}{I}$,计算值比绕组实际电阻值偏小。绕组电阻越小,分路电流越小,误差则越小。故此种接线方式适用于测量小电阻。

(2) 测量大电阻 测量大电阻时,按图2-1 b 接线。当考虑电流表内阻 r_A 上的电压降时,被测绕组的直流电阻为

$$r = \frac{U - I r_A}{I}$$

若不考虑电流表内阻的压降,则 $r = \frac{U}{I}$,计算值中包括有电流表内阻,故比实际电阻偏大。绕组电阻越大,电流表内阻越小,误差则越小。故此种接线方式适用于测量大电阻。

测量时,要求对应于不同的电流值,测量3次电阻值,取3次测量的平均值作为绕组直流电阻。

若能选用合适的仪表,此方法也可获得较准确的结果。

另外,在测电阻的同时,还要用温度计测量绕组端部、铁心或轴伸部温度。若这些部位的温度与周围空气温度相差不大于 $\pm 3^\circ\text{C}$,则所测绕组电阻即为实际冷态直流电阻,温度计所测温度就作为绕组在实际冷态时的温度。

二、实际冷态直流电阻与基准工作温度时直流电阻的换算

测得的实际冷态直流电阻可按式换算为基准工作温度时直流电阻

$$r_{20} = \frac{K + \theta_{20}}{K + \theta} r$$

式中 θ_{20} ——基准工作温度, A、B、E 级绝缘为 75°C ; F、H 级绝缘为 115°C ;

θ ——绕组实际冷态温度,单位为 $^\circ\text{C}$;

r ——绕组实际冷态电阻,单位为 Ω ;

K ——常数,铜 $K_{Cu} = 235$,铝 $K_{Al} = 228$ 。

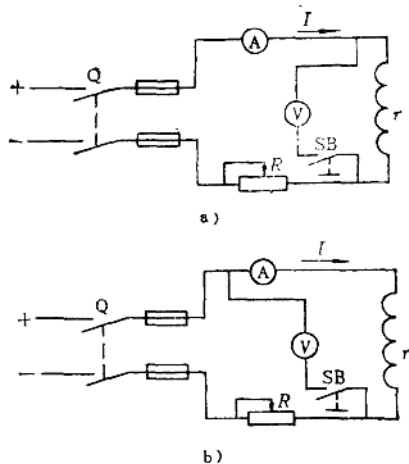


图2-1 电压表和电流表法
测定绕组的直流电阻

§ 2-3 温度的测量

电机中绝缘材料的寿命与运行时的温度密切相关。为保证安全、合理地使用电机，需要监视与测量电机绕组、铁心、轴承及冷却介质等的温度。测量温度的方法有三种，即温度计法、电阻法和埋置检温计法。

一、温度计法

1. 温度计的选择

本方法所用温度计是指膨胀式温度计（例如，水银、酒精温度计等），以及使用方法与普通膨胀式温度计相同的半导体温度计，非埋置的热电偶或电阻温度计。

本方法简单可靠，电机中不能用电阻法测量温度的部位，如定子铁心，轴承及冷却介质等，都可用温度计来测量。

2. 测定方法和测量中应注意的事项

测量时，将温度计贴附在电机被测部位的表面，以便测量接触点表面的温度。为了减小测量误差，从被测点到温度计的热传导应尽可能地良好，并将温度计球面部分用绝热材料覆盖，以免受周围冷却介质的影响。应当注意，在电机有变化磁场存在的部位（如交流电机定子铁心等）不能使用水银温度计，而应采用酒精温度计。

二、电阻法

1. 采用带电测温装置测量绕组温度

当温度改变时，绕组的直流电阻亦会改变。根据这个原理，利用电阻法来测量绕组的温度时，应尽可能地在电机运行时测量绕组的热态电阻。例如，采用电阻法测定三相交流电机绕组的直流电阻时，在设备条件许可的情况下，可采用高压或低压带电测温装置测得电机绕组冷态电阻 r 及热态电阻 r_h ，然后按下式计算绕组温度

$$\theta_h = \frac{r_h - r}{r} (K + \theta) + \theta$$

式中 r_h ——绕组的热态电阻，单位为 Ω ；

r ——绕组的实际冷态电阻，单位为 Ω ；

θ ——绕组的实际冷态温度，单位为 $^{\circ}\text{C}$ ；

K ——常数， $K_{Cu} = 235$ ， $K_{Al} = 228$ 。

2. 不能采用带电测温装置所测温度的校正

如果不能采用带电测温装置，电机各部位温度是在断开电源后测得的，则所测得的温度应校正到断电瞬间。校正方法为在电机切断电源后，立即测量距断电瞬间的时间 t （单位为 s ）及相应的电阻，并按一定时间间隔测取数点，绘制冷却曲线 $r = f(t)$ [或温度曲线 $\theta = f(t)$]。

绘制冷却曲线时，建议用半对数坐标纸，取横轴为时间坐标，取纵轴（对数坐标）为电阻（或温度）坐标，如图 2-2 所示。将冷却曲线延长到与纵轴相交，交点的纵坐标即为断电瞬间绕组的电阻（或温度）值。

若没有半对数坐标纸，也可在普通均匀等分坐标纸上绘制冷却曲线。取横轴为时间坐

标, 取纵轴为电阻 (或温度) 的对数值坐标, 冷却曲线的延长线与纵轴交点的纵坐标就是断电瞬间绕组电阻 (或温度) 的对数值。

如果断电后, 电机个别部位的电阻 (或温度) 是开始时先上升, 然后再行下降, 则应取所测得的电阻 (或温度) 的最高数值作为电机绕组断电瞬间的电阻 (或温度) 值。

三、埋置检温计法

在电机制造时, 就将电阻温度计或热电偶埋置于电机制造完成后所不能达到的部位 (如槽内导体间和铁心内)。此方法可测量绕组或铁心最热点处的温度, 还可以监视局部温升状况。

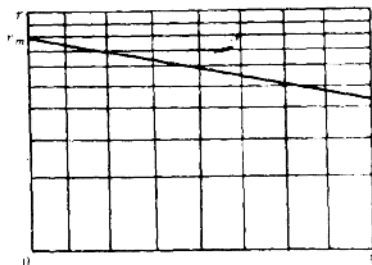


图2-2 冷却曲线

§ 2-4 转速和转差率的测量

转速是各类电机运行中的一个重要物理量。交流异步电机的转速也可以用转差率表示。如何较准确地测量电机转速或转差率颇为重要。随着科学技术的发展, 特别是电子工业的发展, 转速的测量方法不断地得到改进, 测量精度也不断地提高。这里介绍几种常用的测量方法。

一、电机转差率的测定

(一) 日光灯法测定电机转差率

1. 日光灯法测定电机转差率的原理

交流异步电机的转差率可以用日光灯测定。日光灯是一种闪光灯。当将日光灯接于 50Hz 电源时, 灯光实际上每秒钟闪亮100次, 由于人的视觉暂留时间约为 $1/16\text{s}$, 故用肉眼观察时认为日光灯是一直发亮的。利用日光灯的这个特性, 可以测量电机的转差率。

2. 日光灯法测定电机同步转速, 即转差率为零的测量方法

日光灯法用于测定电机接近同步旋转时的转差率最为合适。只要选择与极数相应的图案贴于轴端, 用日光灯照射图案, 并将电机转速调到图案看起来好象不动时, 所对应的电机转速即为同步转速, 这时转差率 $s = 0$ 。

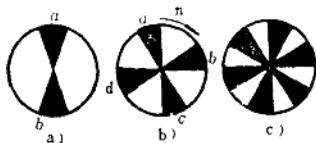


图2-3 轴端标记图案

具体方法是, 在电机轴端画上标记图案, 如图 2-3 所示。

1) 当极对数 $p = 1$, 即极数 $2p = 2$ 时, 同步转速为 $n_s = 3000\text{ r/min}$, 画两个黑色扇形, 如图 2-3 a 所示。如果转子以同步转速旋转, 由于 $n_s = 3000\text{ r/min} = 50\text{ r/s}$, 那么转差率 $s = 0$ 。故用日光灯照在此图案上, 肉眼看到的图案就好象静止不动。因为日光灯每秒钟闪亮 100 次, 电机每转过半圈日光灯就闪亮一次; 若当日光灯第一次闪亮时黑色扇形图案 a 在上面, 黑色扇形图案 b 在下面, 那么在日光灯第二次闪亮时, 电机已转过半圈, 则黑色扇形图案 a 在下面, 而黑色扇形图案 b 在上面。此时, a 、 b 位置虽已交换, 然而每次日光灯闪亮时黑色扇形图案仍处于同一位置, 所以肉眼看到的图案就好象静止不动。

2) 当极数 $2p = 4$ 时 同步转速 $n_s = 1500 \text{ r/min} = 25 \text{ r/s}$, 若转子以同步转速旋转, 那么转差率 $s = 0$ 。由于日光灯每闪亮一次, 电机转过 $1/4$ 圈, 故图案需换成 4 个黑色扇形图案, 如图 2-3 b 所示。同理, 电机极数越多, 黑色扇形数也越多, 如图 2-3 c 所示。

3. 日光灯法测定电机的较小转差率

日光灯还能测量电机的较小转差率。其原理是, 当电机转速稍低于同步转速时, 如日光灯第一次灯闪亮时, 图 2-3 a 中黑色扇形图案在垂直位置; 而日光灯第二次闪亮时, 电机转轴转动不到半圈, 故此瞬间两个黑色扇形图案逆电机旋转方向落后 α 角度。日光灯每闪亮一次, 图案都后移 α 角。因而, 用肉眼观察到的现象是, 图案逆电机转向缓慢转动。用秒表测定图案每分钟转过的圈数, 即为电机的转速差 Δn 。若图案顺电机转向转动, 则电机转速大于同步转速。

$$\text{电机的转差率 } s = \frac{n_s - n}{n_s} \times 100\% = \frac{\pm \Delta n}{n_s} \times 100\%。$$

当图案顺电机转向转动时, 则 Δn 取负号; 若图案逆电机转向转动, 则 Δn 取正号。

以上方法适用于大中型容量交流异步电机。因为大中型容量交流异步电机转速差 Δn 较小, 计图案转动圈数较容易; 而小容量交流异步电机转速差 Δn 较大, 计图案转动圈数有一定困难。

4. 用日光灯法测定电机转差率的其他方法

有时为了便于计数, 可设法将图案中黑色扇形部分减少一半。一种简便方法是, 在日光灯线路内串入整流二极管 VD 和接入线绕电阻 R, 如图 2-4 所示。电阻 R 阻值的选择以整流后电流仍不超过日光灯正常工作电流为原则。当日光灯发亮后, 在需要测速时, 将开关 S 打开, 使整流器串接在日光灯电路中。这样, 日光灯负半波电压被切除, 日光灯每秒闪亮 50 次。故当极数 $2p = 2$ 时, 轴端标记只需有一个黑色扇形图案, 如图 2-5 a 所示; 当极数 $2p = 4$ 时, 轴端标记只需有两个黑色扇形图案, 如图 2-5 b 所示, 余依次类推。

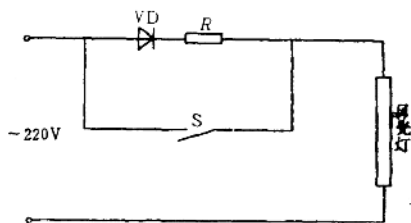


图2-4 二极管半波整流日光灯法线路图

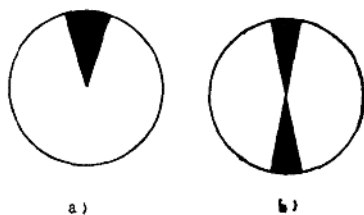


图2-5 半波整流日光灯法轴端标记

a) $2p = 2$ b) $2p = 4$

(二) 转子电流频率法测定电机转差率

转子电流频率法是通过直接测出转子电流频率, 再以此求出电机的转差率的方法。故此方法

仅适用于绕线转子异步电机。转子频率法的具体方法是, 在转子回路内任一相串入一个零位在中间的磁电式安培计, 其量程应稍大于转子电流额定值。当电机正常运转时, 转子电流频率很低, 一般约为 $1 \sim 5 \text{ Hz}$, 故可用秒表测得在时间 t (单位为 s) 内电流表摆动的次数 N 。

转子电流频率为

$$f_2 = \frac{N}{t}$$

转差率为

$$s = \frac{n_N - n}{n_N} 100\% = -\frac{f_2}{f_1} 100\% = \frac{N}{1/f_1} 100\%$$

式中 频率 f 的单位为 Hz。

二、电机转速的测定

(一) 离心式转速表测转速

离心式转速表是利用离心原理制成的测速仪表，可以直接读出转速。

1. 离心式转速表使用方法

使用离心式转速表时，将转速表的端头插入电机转轴的中心孔内，当指针稳定后即能将转速读出。

2. 使用离心式转速表的注意事项

(1) 选择合适的量程 转速表量程的最大读数应稍大于电机的最高转速。量程选择太大，则读数刻度太小，影响读数的准确度；量程选择太小，则读数将超出量程并容易损坏仪表。还需注意，在使用过程中不允许改变量程，以免将齿轮损坏。如需改变量程时，必须将转速表取出，停转后再更改量程。

(2) 保持转速表和电机轴同心 转速表插入中心孔前，应注意清除中心孔中的油污，转速表测速时应保持它的轴与电机轴同心，不可上下左右偏斜。否则，易将表轴扭坏，并影响读数的准确性。

(3) 应间歇地使用转速表 可以减少齿轮磨损与发热。

(4) 微电机不宜使用转速表测转速 用转速表测转速增加了电机的阻力转矩，故对微电机不适用。

(二) 闪光测速仪测转速

日光灯法测转速，虽然设备简单，使用方便，但由于只能测较小的转差，故有一定的局限性。为了能在较广的转速范围内测速，制成了闪光测速仪。

闪光测速仪具有可调脉冲频率的专用电源，此电源施加于闪光灯上。

1. 闪光测速仪使用方法

将闪光测速仪的灯光照于电机转动部分（如电机轴上的键或轴伸端）预先标好的标记上，调整脉冲频率使此标记静止不动时，从刻度盘或数码表上就可以直接读出此时电机的转速（一般数码表读数精确度较高）。

2. 使用闪光测速仪的注意事项

1) 当电机的转速 n 比电源脉冲频率 f 正好大整数 K 倍时，则 $n = 60kf$ ，即电机转 K 圈后灯才闪亮一次，用肉眼观察到的标记虽然静止不动，但这只是一种虚假现象。故在使用闪光测速仪时，注意电源频率应从低往高调节，以第一次出现标记不动为准。

2) 当电源脉冲频率比电机转速大整数 K 倍，即 $f = \frac{n}{60}K$ 时，电机转动一圈，灯将闪亮 K 次。由于每次均照于同一位置，故用肉眼观察到的是沿圆周出现 K 个标记，这时应将电源频率调低，直到只出现一个标记为止。如果电机转速过低，电源频率调不下去，则可将出现 K 个标记的转速读下，然后除以出现的标记数 K ，即得电机的实际转速。

(三) 测速发电机测转速

在被测电机轴端连接一测速发电机，通常采用永磁式测速发电机。由于测速发电机感应电动势为

$$E = C_e n \Phi$$

式中 C_e 为常数。

故在磁通量一定时，感应电动势将与转速成正比。

根据这个原理，可将测速发电机输出电压接入直流电压表，若把电压表刻度换算到以转速为单位后，即可直接读出转速。

(四) 数字测速仪测转速

随着电子技术的发展，已经制造出精确度较高的晶体管数字测速仪。这种仪器通过适当的传感器，将转速信号转变为电信号，以测量转速。通常，它采用两种方法，即测频法（测出转速信号的频率，得知转速）和测周法（测出转速信号的周期，得知转速）进行测量。下面以测频法测速为例，介绍其工作原理。图 2-6 所示为测频法测速工作原理方框图。

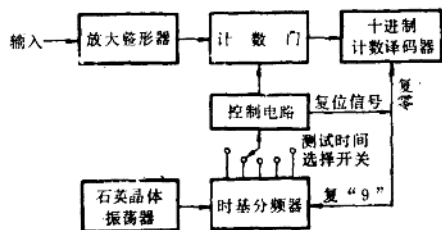


图 2-6 测频法工作原理图

1. 测频法测速工作原理

频率是单位时间内电信号变化的次数，测量频率，实质上就是在标准时间内如实地记录电信号变化的次数。由图 2-6 可知，转速传感器将转速信号转变成电脉冲信号，将其从输入端送入放大整形器，经过放大整形后再送至计数门的输入端。同时，为了测量频率，除了输入转速信号（次数）外，还必须有一个标准时间信号，它是由石英晶体振荡器产生，并经过多级分频器分频得到的。例如，JSNS-2 型振荡器，共分为 0.1 s、1 s、2 s、3 s、6 s、10 s、20 s、30 s、60 s 共 9 个标准时间基准信号（“s”代表秒）。在图 2-6 中，标准时间信号是石英晶体振荡器和时基分频器产生的。“时基”信号脉冲经测量时间选择开关送到控制电路，它作为控制指令，控制计数门的开、闭，使被测转速脉冲在选定的“测量时间”内进入计数器，进行计数和显示。在完成一次测量后，控制器发出复位信号，使分频器复位为“9”，使计数器复位为“0”，然后接着进行下一次测量。

在计数门开启时间 t （所选定的“测量时间”）内通过计数门的速度脉冲个数 N 由数码管显示。该电信号的频率则为

$$f = N / t$$

式中 f 的单位为 Hz。

设电机每转过一转，传感器产生的电信号数为 N_r ，则电机的转速为

$$n = \frac{60 N}{N_r t}$$

式中 n 的单位为 r/min。

2. 测频法测速的方法

为了使测频法测速时数码管显示数 N 即为电机转速，应取测量时间 t 为

$$t = \frac{60}{N_r}$$

式中 t 的单位为 s 。

因为当 $N_T t = 60$ 时, 测速仪显示的读数 N 即为时间 t 内电机的平均转速 n 。因此, N_T 越大, 测量时间 t 就可选得越短, 所测转速也越接近瞬时速度。

3. 转速传感器

转速传感器是数字测速仪中不可缺少的重要部件。转速传感器有光电式、磁电式等多种型式。图 2-7 介绍了一种光电式转速传感器的结构示意图。

由图可见其结构很简单, 仅由光源 (聚光灯)、光栅圆盘和光电三极管组成 (可参看下节有关内容)。

光栅圆盘装在被测试电机的转轴上, 沿着它的圆周均匀分布一定数量的小孔。电机旋转时, 光线时而穿过光栅圆盘上的小孔, 照射到光电三极管上, 时而被圆盘遮住, 照射不到光电三极管上。随着光电三极管被光照射与否, 光电三极管将产生相应变化的电信号, 光栅圆盘每转过一个孔, 电信号变化一周, 故电机转过一转, 电信号变化的次数 N_T 和光栅圆盘上的孔数相等。

根据测量方法 (如测频法、测周法) 不同, 选取不同的光栅孔数。例如, 在测频法中, 为了使测速仪显示的读数 N 即为 t 时间内电机的平均转速 n , 光栅圆盘上的孔数 N_T 应满足下列关系

$$N_T t = 60$$

即孔数 N_T 与 “测量时间” t 之乘积等于 60。

(五) 智能测速仪

目前大量生产和使用的转速仪, 大都属于频率计式转速仪。即在规定的 $1 s$ 时间内, 测出转速脉冲的个数。转速仪和频率仪之间的不同, 仅在于前者要求先将转速脉冲作 60 倍的倍频。其倍频方式大致为机械式和光栅式几种。

近年来, 国内研制的 PNZ 型智能转速仪是由 Z 80 微型机芯片所组成的高精度、宽量程、便携式转速仪, 它使转速的测量向智能化、微机化方向前进一步。

此类智能转速仪充分利用微机功能, 克服上述各种转速仪之不足, 可测转速、转差率、升速率或电厂频率及其相对偏差率等, 它还具有自动寻求平均测量次数、自动改变量程等功能。它的量程宽, 达 $0.03 \sim 65500 r/min$ 。在 $1 \sim 65000 r/min$ 的量程范围内, 测量精度优于 0.1% ; 而在小于 $1 r/min$ 的量程范围内, 测量精度仅受到显示位数的限制。其输入倍率可在 $1 \sim 127$ 的范围内任意选择。该仪器配有 “对光” 极为方便的光电传感器, 其输入信号的适应性极强, 可接受任何形式传感器的信号, 且信号幅度在 $500 mV \sim 30 V$ 之间变化时, 均无需调整。这种智能转速仪可对各种旋转机械的平均转速作高精度的测量, 且对各种电机转速的测量尤为精确、方便。

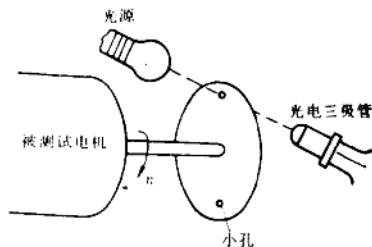


图 2-7 光电传感器结构示意图