

普通中等专业教育机电类规划教材

电机及拖动实验

芜 湖 机 械 学 校 姜孝定
上海电机技术高等专科学校 徐余法 编
浙 江 机 械 工 业 学 校 胡幸鸣

机 械 工 业 出 版 社

普通中等专业教育机电类规划教材

电机及拖动实验

芜 湖 机 械 学 校 姜孝定

上海电机技术高等专科学校 徐余法 编

浙江机械工业学校 胡幸鸣



机械工业出版社

前 言

《电机及拖动实验》是机械电子工业部列入“八五”教材规划的工业企业电气自动化专业的辅助教材，是根据机械电子工业部颁布的招收初中毕业生学制为四年的工业企业电气自动化专业的教学大纲，兼顾电机电器专业及其他电类专业的教学大纲而组织编写的。本书适用于中等专业学校工业企业电气自动化专业，也适用于电机电器专业和其他电类专业，并可供电气工程技术人員参考。

本书的内容包括：绪论、基本测量方法、直流电机及其拖动基础实验 7 个、变压器实验 3 个、感应式异步电机及其拖动基础实验 3 个、同步电机实验 4 个、控制电机实验 4 个、电机的工业试验简介及电机的自动检测技术等，附录中还对一些实验设备、实验方法及数据处理作了介绍。

考虑到实验教学改革的要求和教材理论的系统性、课题的典型性及方法的实用性，并体现中专操作型、应用型人才的特色，本书编写时着重考虑了以下几点：一是为了便于教学和学生自学，每个实验前都编写了与该实验有关的理论知识提要；二是课题编排适宜于单独设课，也可用于非单独设课。各学校、各专业可根据具体要求适当选择实验内容；三是参考了各兄弟学校、有关工厂和科研单位提供的实验指导书、测试报告、技术资料 and 最新国家标准等资料，实验方法尽可能与工厂、科研单位所采用的方法相一致，但又有教学上的要求和特点；四是强调了提高学生实验技能、数据和现象的处理及分析能力，在附录中介绍了用 BASIC 语言解算实验数据的应用程序；五是为了拓宽知识面和努力跟上新技术发展的步伐，本书还介绍了电机的工业试验和电机的微机测试技术；六是本书的图形文字符号均采用最新国家标准。

本书由芜湖机械学校姜孝定高级讲师、上海电机技术高等专科学校徐余法讲师、浙江机械工业学校胡幸鸣讲师等联合编写。其中：第二章、第四章及附录 B、C 由姜孝定编写；绪论、第一章、第三章、第五章、第六章及附录 A、D 由徐余法编写；第七章由胡幸鸣编写。

本书由广西机械工业学校张彤高级讲师主审。参加审稿会的还有上海电机技术高等专科学校海定广高级讲师、余剑雄高级讲师、温州机械工业学校徐虎高级讲师、重庆机器制造学校龙合思高级讲师、常州机械学校陈辉讲师等。主审及与会同志对本书进行了认真的审阅并提出了许多宝贵意见，在此谨向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，本书的缺点和错误在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

1992年3月

目 录

前言	
绪论	1
第一章 基本测量方法	6
第一节 仪器、仪表、电气设备的一般 选用原则	6
第二节 电阻的测量	7
第三节 转速及转差率的测量	9
第四节 转矩的测量	12
第五节 功率的测量	16
第六节 温度的测量	18
第二章 直流电机及拖动实验	20
实验一 并励直流电动机的起动、调速 和反转	20
实验二 并励直流发电机的自励及他励 直流发电机的空载特性	22
实验三 直流发电机的外特性和调整特 性	25
实验四 他励直流电动机的工作特性	29
实验五 他励直流电动机在各种运行状 态下的机械特性	31
实验六 直流发电机—电动机系统调速 特性	36
实验七 直流电动机系统飞轮转矩 GD^2 的测定	39
第三章 变压器实验	43
实验一 变压器空载、短路实验	43
实验二 三相变压器联结组别测定	46
实验三 单相变压器负载实验	50
第四章 异步电机及拖动实验	54
实验一 三相异步电动机的起动	54
实验二 三相异步电动机的工作特性	56
实验三 三相异步电动机在各种运行状 态下的机械特性	61
第五章 同步电机实验	65
实验一 同步发电机的基本特性及参数 测定	65
实验二 同步发电机的运行特性	68
实验三 同步发电机的并联运行	69
实验四 同步电动机实验	71
第六章 控制电机实验	74
实验一 交流伺服电动机特性的测定	74
实验二 直流伺服电动机特性的测定	77
实验三 交流测速发电机实验	79
实验四 自整角机实验	81
第七章 电机工业试验简介	85
第一节 概述	85
第二节 电机的工业试验项目	88
第三节 三相异步电动机的工业试验	91
第四节 电机的自动检测	102
附录	112
附录A 实验设备简介	112
附录B 他励直流电动机在各种运行状 态下机械特性的测定方法	117
附录C 三相异步电动机在各种运行状 态下机械特性的测定方法(本 附录仅适用于三相感应电动 机)	121
附录D 用BASIC程序处理实验数据	124
参考文献	130

绪 论

一、电机实验的目的和分类

电机质量是否合格，是以是否符合现行标准规定的技术要求为基准。因此必须对电机进行若干试验以检验其性能是否符合国家标准规定。电机试验按其目的可分为两种：

(一) 教学实验

电机的教学实验是学生在校内实验室中进行的实验。电机实验是一个重要的教学环节，其目的在于培养学生独立合理地进行实验，通过实验掌握电机的性能和使用方法，获得实际操作和测量技能，能够独立编写实验报告，分析实验结果；培养理论联系实际和分析解决问题的能力，为从事生产和科学实验打下初步的基础。

(二) 工业试验

标准工业试验有两种：型式试验和出厂试验。

型式试验：制造厂对每一种新产品按标准所规定的全部项目进行试验，其目的是为了验证设计和工艺上的技术问题，确定这种型式的电机是否符合国家标准的要求，并确定其特性和参数。这种试验一般在下述情况下进行：新产品的的设计、试制及工艺上的重大变动及成批生产电机的抽查试验等。

出厂试验：制造厂对其生产的电机，逐台按标准规定的部分项目进行试验，其目的是检验所生产的电机质量是否合格。

当然，除了上述两种正规试验外，有时还根据用户的要求进行特殊的试验和研究性试验。

二、电机实验的基本要求

(一) 预习要求

认真做好实验前的预习工作，对培养学生独立工作能力，提高实验课的质量和效率都是很重要的。

1) 预先阅读实验指导书及与本实验有关的参考资料，了解实验目的、要求、内容、方法和步骤，明确实验中的注意事项等。

2) 写出实验预习报告，交实验指导教师检查，同意后方可进行实验。预习报告应简明扼要，通常包括以下几个部分：

- ①实验内容；
- ②实验线路图；
- ③仪表的选择：仪表名称、规格、数量及用途；
- ④主要操作步骤及注意事项；
- ⑤记录数据表格。

(二) 实验要求

1) 按预习报告中的仪表清单领取仪表，按照实验线路图，将使用的仪器仪表及设备放置在合理的位置，力求接线简单，读数和调节方便，并保证仪器、仪表、设备和人身安全。

2) 接线时, 先接串联的主回路, 再接并联支路。即由电源开关后开始, 连接主要的串联电路 (如电枢回路)。如为三相, 则三根线一齐往下接; 如为单相或直流, 则从一极出发, 经过主要线路的各个仪表、设备, 最后返回到另一极。根据电流的大小, 主回路用粗导线连接 (包括电流表、瓦特表的电流线圈); 并联支路用细导线连接 (包括电压表、瓦特表的电压线圈), 然后经指导教师检查许可, 方可开始通电。

3) 各组按照分工, 校准仪表的零位, 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), 如出现异常, 应及时切断电源, 并报告指导教师。如一切正常, 即可开始实验。

4) 按照实验要求测取数据, 对所测得的数据是否正确, 每个人应根据所学过的理论进行分析, 做到心中有数, 以免事后返工。

5) 在调节负载或改变电阻、电压、转速等量时, 必须考虑到与其他量的变化关系, 随时注意其他参数是否超过额定值。在操作过程中如发生故障, 同学应在教师帮助下, 学习分析判断事故原因和排除方法。

6) 实验完毕, 应将数据交指导教师审阅, 认可后方可拆除线路, 并整理好实验台, 经实验室工作人员检查后方可离开。

7) 实验过程中应随时注意人身及设备安全。

(三) 编写实验报告的要求

实验报告应根据实验目的、测取的数据和实验中发现的问题, 经分析研究后写出。报告的内容包括:

1) 实验名称、专业班级、组别、姓名、同组者姓名、实验台号、实验日期、交报告日期、室温 ($^{\circ}\text{C}$)、指导教师等。

2) 扼要写出实验目的。

3) 写出实验内容, 绘出相应的线路图, 列出被试电机及使用的仪器仪表、设备的名称、规格、数量、编号、铭牌数据等。简述实验步骤。

4) 整理数据并加以处理。将原始记录中要用到的数据整理后列表, 并注明实验条件。需要计算的加以计算后列入表中 (如三相值取平均值等), 并说明所用计算式。若数据是计算所得, 则以一点为例, 写出计算所用公式, 再代入数字, 其他各点可将结果直接填入表中。

5) 绘制特性曲线时应选适当的比例, 用坐标纸画出。需要进行比较的曲线应画在同一坐标纸上。各坐标轴应标明所代表物理量的名称、单位。实验所测取的点应明确标在纸上, 但连接的曲线应光滑, 不要连成“折线”, 曲线不一定经过所有的点。

6) 对实验结果和实验中的现象进行简练明确的分析并作出结论或评价。分析应着重于物理概念的探讨, 也可以利用数学公式、矢量图、曲线、技术标准等帮助说明问题, 写出心得体会。

总之, 实验报告内容应简明扼要, 字迹、图表要整齐清楚。曲线和线路图应用铅笔加绘, 仪器绘制, 不可徒手描写。

三、误差与实验数据的处理

(一) 误差的定义

在测量实践中, 无论使用多么准确的仪器或工具, 采用多么完善的测量方法, 测量者多

么认真细心，在同一条件下多次测量同一个被测量，其测量结果还是往往存在着差异，即每次测量结果只是被测量值的近似值。测量结果与被测量的真值之差称为测量误差。

(二) 误差的来源

按误差产生的原因可分为以下几类：

1. 装置误差 计量装置是指为确定被测量值所必须的计量器具和辅助设备的总和。在电机试验和测量中，装置误差表现为①仪器误差：这是由于所使用的测量仪器（包括测量工具、电工仪表、电桥、温度计、秒表等）存在设计、制造工艺、结构、材料等方面的某些缺陷而引起的误差。如指针式电表因表盘分度不准确所产生的误差；②装备及附件误差：这是由测量中除仪器及标准器以外的其他辅助设备和附件如电源的波形及频率不够标准、三相电源不对称以及测量用的连接线、开关、触点等所引起的误差。

2. 方法误差 这是由于所采用的测量方法不完善（理论根据有某些缺点或采用了某些近似公式）而引起的误差。例如用电压表、电流表法测量电阻时，测量电路如图0-1所示，若按 $R_x = U/I_x$ 计算 R_x 值，显然其中有方法误差。按图0-1a的线路所测得的电压 U 中包含了电流表的内阻压降 $I_x R_A$ ；而在图0-1b中电流表的读数 I_x 中包含了电压表中的电流 I_V ，所以必须结合不同的测量线路对上述计算公式作一定的修正，以消除其中的方法误差。此外，测量装置及线路中的热电势、漏电、引线及接触电阻压降等因素的影响，在计算测量结果的表达式中，一般均未能得到反映，这也会引起一些方法误差。

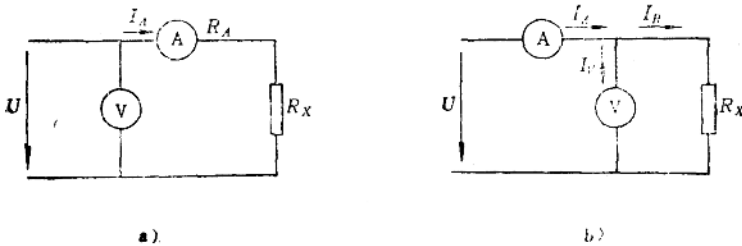


图0-1 测量电阻的两种线路

3. 人员误差 这是由于测量者感觉器官的生理变化、最小分辨力及反应速度快慢不同、各人固有的不同习惯及偏向等原因而引起的误差。这类误差往往因人而异，故常简称为人差。例如测取某一随时间变化的信号时，测量者有超前或滞后的趋向，这种误差常表现为观测误差、视差、后读误差和读数误差等等。

(三) 误差的分类

按照测量误差的性质来分，可用图0-2来表示。

(四) 误差的表示方法

误差的表示方法一般有两种：绝对误差和相对误差。

1. 绝对误差 测量值 x 与被测量真值 x_0 之差称为绝对误差 Δx ，即

$$\Delta x = x - x_0$$

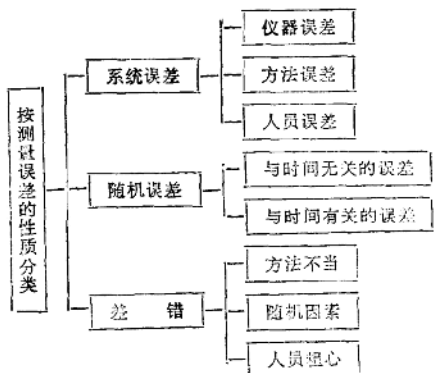


图0-2 按性质区分的误差分类表

绝对误差的单位与被测量的单位相同,且绝对误差的符号有正负之分,用其来表示误差的大小比较直观。

2. 相对误差 用绝对误差有时很难判断测量结果的准确程度,因而要用相对误差来反映。所谓相对误差,是指绝对误差 Δx 与被测真值 x_0 之比,即

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x_0} \times 100\%$$

由于测量值与真值相差不大,故可用 x 代替 x_0 ,则

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x} \times 100\%$$

(五) 误差的消除或削弱

要提高测量的准确度,必须做到:①测量时应力求不产生差错;②采取各种措施尽可能削弱或消除系统误差;③条件允许时,应进行多次重复测量以减小随机误差的影响。

在实验过程中,应根据实验的内容与测量要求,细致分析可能产生系统误差的各种因素,以便采取不同的方法来加以消除或削弱。对于装置与仪器误差,首先要选择规格和量程都合适的仪器仪表,并作必要的检定,确定其误差与修正值。注意各种仪表使用的技术条件和正确的使用方法。如测量时,很多仪器仪表的放置必须调到水平位置;使用前必须预热,进行零位调整;注意各种仪器仪表的布置是否合适,能否防止互相干扰;注意各种环境因素,如温度、湿度、大气压、电场、磁场等的影响,电源电压的波形、三相对称度、电压波动以及频率变化的影响等。对于人员误差,首先要努力提高测量人员的实验技术水平,要明确实验过程中的注意事项,如各个物理量之间合理的调节顺序、调节方向和恰当的调节速度,测量时应严格保持的状态等。对于方法误差,要选择比较完善的实验方法和测量方法。要注意抓住主要矛盾。如在某一实验中,为了测定某个物理量,需要测定几个直接测量的物理量。如其中某一个物理量的测量误差比其它几个的误差大很多时,根据误差理论可知,它是误差的主要来源,因此在该物理量的测量技术上要多下功夫,重点降低其测量误差。

(六) 实验数据的处理

电机实验所获得的测量结果多数是数据,而这些数据可能要计算,也可能要绘成图形,不管怎样,都要进行必要的处理。

1. 有效数字的处理 初学者在测量时,往往喜欢尽量地通过估计多取几位数字,希望提高准确性。其实不然,如测量仪器的误差为 $\pm 0.01\text{A}$,测取的数据为 5.5826A ,其结果应写作 5.58A ,小数点后末尾两位数字没有意义。应采取四舍五入原则进行删略。删略原则是:将要被舍数字如大于5,舍去进1。如小于5,舍去不进位。恰好等于5时,5后有数字则舍5进1,5后无数或0时,则5前为奇数舍5进1,5前为偶数舍5不进位。

在运算过程中,若有效数字的位数过多,计算是相当麻烦的。原则上多保留一位有效数字,对比较重要的数据,可多保留1~2位有效数字。

2. 图形处理 电机实验中,常常碰到将测量数据绘制成曲线或直线的情形。实验中测量的数据总是存在着一定的误差,且往往呈现出离散现象。在画曲线时一般是根据目测及经验,所画的曲线不一定通过每个实验数据点,主观随意性较大。这种方法虽然简单方便,但是对于要求较高的场合是不够的。因此要用下面方法修匀。

(1) 分组平均法修匀曲线 将横坐标分成若干组,如分成 m 组,每组包含2~4个点,

可不等。然后分别求出各组数据点的几何重心的坐标 $(\bar{x}_1, \bar{y}_1)$ 、 $(\bar{x}_2, \bar{y}_2)$ 、 $\cdots$ 、 $(\bar{x}_m, \bar{y}_m)$ 。实际上,这样做就是进行数据平均,在一定程度上削弱了测量中的随机误差的影响。连结各几何重心而绘成曲线,其离散性显著减小。必须指出,分组数目太多,平均效应不明显;相反,分组太少,作图也困难,还会掩盖原来的基本性能,所以要视具体情况而定。在曲线斜率变化大的或变化规律较重要的部分,分组应多些,曲线平坦部分分组可少些。

(2) 残差法修匀直线 由于随机误差的影响,就必然会造成测量数据的离散性,使直线的绘制产生困难。所绘制的直线,如为最佳的,则其残差的总和为零。如果不是最佳的,而发生偏离或倾斜,则残差总和不为零。残差修匀直线的方法如下:

- ①先列出各 x_i 、 y_i 值,正确选用坐标,并在坐标中画出各点。
- ②作一条尽可能“最佳”的直线,列出其方程式 $y = ax + b$ 。
- ③求出各 x_i 所对应的剩余误差(即残差) $V_i = y_i - (ax_i + b)$ 。
- ④作残差图,即 $V_i = f(x)$ 。
- ⑤在残差图上作一条尽可能反映残差平均效应的直线,并求出其直线方程 $V_i = a'x + b'$ 。
- ⑥显然,上式乘以-1便代替修正值直线方程,根据修正值定义,即可求得 $y = ax + b$ 式中的 a 和 b 的实际值

$$a_1 = a + a'$$

$$b_1 = b + b'$$

最后得 $y = a_1x + b_1$ 。

四、电机实验的安全用电与操作

为了更有效地进行工作和学习,保证人身和设备的安全以及良好的教学秩序,要严格遵守实验室安全操作规程。

①每次开始实验前,必须用兆欧表测量电机的带电部分对地的绝缘情况,一般应大于 $2M\Omega$ 。

②学生接好线路或改接线路后,必须经教师检查同意,并通知全组同学,才能接通电源做实验。

③严禁带电接线或拆线,严禁接触带电线路的裸露部分和机器的转动部分。做实验时不得穿大衣、裙子或带围巾,有辫子的女生必须带好工作帽。

④接线要牢靠,操作开关应迅速果断,保持开关接触良好,以免产生电弧烧伤开关或出现断相等现象。

⑤要正确使用仪器设备,未经特别许可,各种仪器设备不许过载运行或作其他非正常运行。

⑥机器在运转时,实验人员不得离开现场。

⑦实验过程中,若发现不安全迹象,任何人都应指出,劝其改正。情节严重者,教师有权停止其实验。责任事故造成的损失,当事人应负赔偿责任。

⑧若发生不正常声音或事故时,应立刻切断电源,保持现场并报告指导教师,待查清问题和妥善处理后才能继续实验。

⑨实验室内禁止吸烟、打闹、大声喧嚷、随地吐痰和吃东西。各种仪器设备、实验桌等上面均禁止蹬坐。

⑩实验完毕,应将所用仪器仪表等放回原处,各种导线分类放好,并清扫场地。

第一章 基本测量方法

第一节 仪器、仪表、电气设备的一般选用原则

一、仪器、仪表的选择

①实验用仪器、仪表的精度一般不应低于0.5级，但允许采用精度为1.0级的三相瓦特表及低功率因数瓦特表。传感器的准确度应不低于1%。数字式转速测量仪及转差率测量仪的准确度应不低于1%（实测效率时应不低于0.5%）。温度计的误差在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内。电桥、离心式转速表和磅秤的精度尽可能不低于1.0级。

②根据电机的额定电压，按表1-1选用兆欧表。

表1-1 兆欧表选用

被试绕组额定电压(V)	兆欧表电压值(V)	被试绕组额定电压(V)	兆欧表电压值(V)
≤ 36 ①	250	500~3300②	1000
36~500	500	>3300	2500

① 是指单相串励交直流两用电动机。

② 3300V是指同步电机，对三相感应电动机而言为3000V，3000V以上则需用2500V的兆欧表。

③扩大电压量程的电压互感器、附加电阻和扩大电流量程的电流互感器、分流器，其精度等级应高于仪表一级。

④测量直流电时最好采用磁电式直流仪表。

⑤变压器和交流电机空载试验时，应采用低功率因数瓦特表测量功率，低功率因数瓦特表有 $\cos\varphi=0.1$ 和 $\cos\varphi=0.2$ 两种。

⑥为了减小误差，测量仪器、仪表规格的选择应尽可能使所测数值在20%~95%仪表量程范围内。用两瓦特计法测量功率时，可不受上述要求限制，但应尽可能使所测的电流、电压数值不低于瓦特表的电压量程和电流量程的20%。

二、电气设备的选择

①所选择的可变电阻器、电抗器和频敏变阻器的电流额定值应大于所串联的电路中流过的电流值。如采用普通变阻器代替起动变阻器，则更要充分考虑电动机的起动电流大小。直流电机励磁回路所选用的变阻器除了考虑电流容量外，还要考虑其阻值变化规律。用于电动机励磁回路的变阻器其阻值变化应该从小到大，而用于发电机励磁回路中的变阻器其阻值变化应从小到小。

②调压器有单相和三相之分，选择调压器主要根据调压范围和额定容量。

③刀开关的选择主要考虑额定电压和额定电流值应大于电路中的电压和电流值。一般来说，低压开关能承受实验室电源的电压大小，因此主要考虑额定电流大小。

第二节 电阻的测量

在电机试验中,常需要测定绕组的直流电阻来校核设计值、计算效率以及确定绕组的温升等。测定各绕组之间、绕组对地之间的绝缘电阻,以检查电机的绝缘性能好坏等。因此在电机试验中电阻测量范围很大,可以从 1Ω 以下到几个 $M\Omega$ 以上。通常根据电阻大小分为小于 1Ω 的小电阻、 $1\Omega\sim 0.1M\Omega$ 的中电阻和大于 $0.1M\Omega$ 的大电阻的测量。

一、小于 1Ω 的电阻的测量

在测量电机和变压器的绕组电阻等小电阻时,连接导线的电阻和接头处的接触电阻是不可忽略的,必须采用双臂电桥进行测量。双臂电桥测量电阻的工作原理和测量方法已经在电工实验中介绍过,在此不再赘述。

二、 $1\Omega\sim 0.1M\Omega$ 电阻的测量

中值电阻的测量有三种方法:①单臂电桥法,其测量准确度高,但操作麻烦;②欧姆表(万用表)法,使用方便但误差大,一般在测量电机绕组电阻时不采用;③伏安法,能够测量工作状态下的电阻,但测量误差较大。

单臂电桥法和欧姆表法测电阻已在电工实验中介绍过,在此也不作介绍。

伏安法是指用电流表和电压表测量电阻,其接线如图1-1和图1-2所示。图1-1的接线方式适用于测量电压表内阻和被测电阻之比大于200时的绕组电阻。图1-2的接线方法适用于电压表内阻与被测电阻之比在200以下时的绕组电阻。用此法时,应采用电压稳定的直流电源。测量时又可以采用下述两种方法:

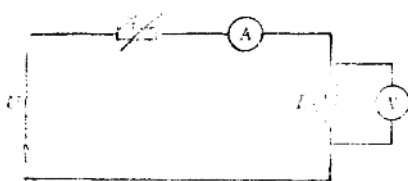


图1-1 伏安法测电阻(一)

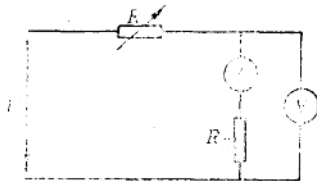


图1-2 伏安法测电阻(二)

1. 低电流法 接线原理如图1-1所示。试验时所加电流不应超过绕组额定电流的10%,通电时间不超过2min。测量时应同时读取电流及电压值,每一绕组电阻至少在三种不同电流值下进行测量,取其平均值。每个测量值与平均值相差不应大于0.5%。被测直流电阻可按式计算

$$R = \frac{U}{I}$$

如果需要精确计算,则

$$R = \frac{U}{I - U/R_v}$$

式中, R_v 为电压表回路的总电阻。

2. 全电流法 试验时,被测绕组通入额定电流,并保持不变,在3~5min内,均匀测5~7点绕组电阻。然后作电阻与时间关系曲线 $R=f(t)$,如图1-3所示,将曲线外推至 R_∞

点, 此点即为绕组实际冷态下直流电阻值。测量时, 电源开关合上到电流调节至额定值的时间不得超过30s。

三、大于 $0.1\text{M}\Omega$ 的大电阻(绝缘电阻)的测量

大于 $0.1\text{M}\Omega$ 的电阻测量通常采用兆欧表来测量。兆欧表的工作原理如图1-4所示。图中, G为手摇直流发电机, 1和2为磁电比率的两个可动线圈。可动线圈1是与 R_1 和 R_x 串联, 可动线圈2与 R_2 串联, 然后这两条支路并联接到手摇发电机G的两端。由此可见, 电流 I_1 的数值是随 R_x 的大小而变化的, 而电流 I_2 的数值是固定不变的。因为两个可动线圈是处于不均匀的永久磁场中, 所以当分别流过电流 I_1 和 I_2 时, 便会分别产生方向相反的转矩 T_1 和 T_2 。比率计的指针便在 $\Sigma T = T_1 - T_2$ 作用下偏转, 直到 $T_1 = T_2$, 其偏转的角度与 I_1/I_2 成正比。因此就可以根据指针的偏转角来确定绝缘电阻 R_x 的大小。当兆欧表开路时, $I_1 = 0$, $T_1 = 0$, 则指针在 T_2 作用下偏转, 指向刻度“ ∞ ”处。当兆欧表短路时, $R_x = 0$, I_1 最大, 则指针在 $T_1 - T_2$ 作用下向相反方向偏转, 指针指向刻度“0”处。

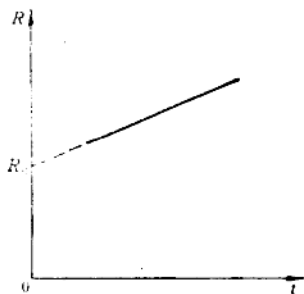


图1-3 外推法测冷态电阻

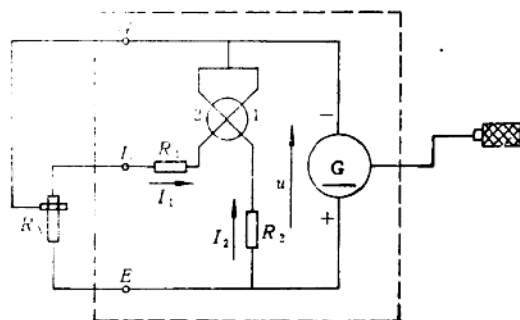


图1-4 兆欧表工作原理图

使用兆欧表时要注意:

①选择额定电压合适的兆欧表, 额定电压过高, 可能在测试时损坏被测设备的绝缘, 过低则所测结果不能反映工作电压作用下电气设备的绝缘电阻。

②被测设备必须断电并与其他设备隔离, 具有电容的高压设备还应充分放电, 之后再行测量。

③使用前应检查兆欧表是否安好。

④兆欧表接线端子的两根引线不可用双股绞线, 引线要分开。

⑤接线应正确, 即 R_x 应与兆欧表上的L、E端相接。在环境潮湿或绝缘材料表面受到腐蚀而不能擦拭干净的情况下, 为了测量结果准确起见, 要应用“G”端钮接线。

⑥兆欧表的手摇发电机的转速应保持接近额定转速。

⑦在测试中, 发生指针指向零, 说明绝缘有击穿现象, 应停止测试。

测量异步电动机定子绕组的绝缘电阻在热状态下应不低于 $0.32\text{M}\Omega$ 。测量直流电机绕组的绝缘电阻在热状态下应不低于所求得的数值

$$R = \frac{U}{1000 + P/100}$$

式中, R 为电机绕组的绝缘电阻($\text{M}\Omega$); U 为电机绕组的额定电压(V); P 为电机的额定功率(kW)。

而T系列小型同步发电机各绕组的绝缘电阻在热状态下,应不低于由下式求得的数值

$$R = \frac{U}{1000}$$

式中, R 、 U 的含义同上。

第三节 转速及转差率的测量

转速或转差率(对感应式异步电动机而言)是旋转电机运行中的一个主要非电物理量之一,其大小反映了电机运行时的特性与各种工作状态。测量转速的方法和设备很多,在电机实验中常接触到的测速设备有:离心式转速表、闪光测速仪、数字式测速仪、测速发电机等。

一、转速的测量

(一) 离心式转速表测转速

离心式转速表是由齿轮及离心机构等构成的,其型号有LZ-30、LZ-45等。其测速范围通常为60~20000r/min。使用时,应先估计被测转速的大小,然后将转速表端部刻度圈转动至合适的量程范围,在转速表轴头上装上橡皮端头,对准电机转轴的中心孔,用适当的压力压入。注意测量时应保证表轴与转轴同心,否则将产生很大的误差。当指针稳定后即可读取数值。之后应立即取下转速表,以减少齿轮磨损和发热,延长表的使用寿命。由于离心式转速表测取的是稳态转速,且准确度低,故在交流电机中较少采用,在微电机中也不采用。

(二) 测速发电机测速

为了测取电机各运行过程(起动、运行和制动等)中的速度变化情况,最佳方法是采用测速发电机。测速发电机有直流测速发电机和交流测速发电机两种。它们都是测量转速信号的元件,将转速信号转换成电压信号,且输出电压 U 与转速 n 成正比。因此可将测速发电机输出电压接到电压表上,而将电压表刻度换成相应的转速值后,即可直接读出转速值。也可将输出电压接到光线示波器上,即可摄取电机运行过程中的转速变化情况。

(三) 闪光测速仪测转速

将频率不同的脉冲电源施加于闪光灯上,并将其灯光照向被测电机的转轴上涂有标记的部分。调节脉冲频率,当闪光灯每秒钟闪亮的次数与电机每秒钟转数一致时,就会看到所做的标记似乎静止不动。此时读取显示器的读数即为电机的转速值。

这种测速的优点是无接触测速,对电机运行状态无影响,使用方便。

(四) 光电数字式测速仪测转速

通过光电式传感器,将被试电机的转速信号转变为电信号脉冲,在设定的“测量时间” t 内,由计数器对来自光电传感器的脉冲信号进行计数,从而测量转速。按其工作原理可分为测频法和测周法两种。

测频法测速是通过测量标准单位时间内与转速成正比的脉冲数来测定转速的。图1-5为转速表的原理框图。石英晶体振荡器产生标准时间信号,经过时基分频器分频后,得到各种标准时基信号,分别为0.1, 1, 2, ..., 30, 60s。这些信号经测量时间开关 ST_3 送到门控电路,经一定的编码逻辑得到相应的控制指令,以控制门电路的定时开闭。当门电路打开时,计数器对来自传感器经放大整形后的脉冲信号进行计数,当门电路关闭时,计数停止。计数

结果由数码管直接显示。其显示的数值 N 与被测电机的转速关系为

$$N = \frac{n}{60} Zt$$

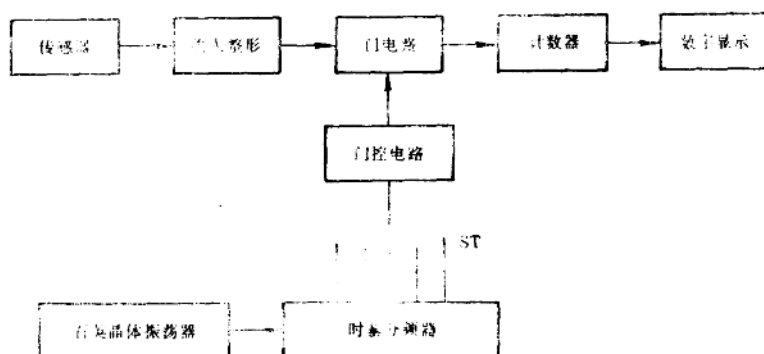


图1-5 测频法测速原理框图

式中， Z 为电机每转一圈传感器所发出的脉冲数； t 为门电路开门测量时间 (s)。

一般地， $Zt=60$ ，则显然有 $N=n$ ，即转速表显示的数值即为电机的转速。

测周法测速是通过测量电机转过一个给定的角位移所需的时间来测定转速。其工作原理框图如图1-6所示。转速传感器产生的转速脉冲，经过放大、整形成为矩形波脉冲，再经周期倍乘分频器送入门控电路，用以控制门电路的开关；另一路是石英晶体振荡器产生的标准时间脉冲，直接或经过分频后送至门电路。当门控电路输出的信号为高电平时，门电路打开，使标准时间脉冲在被测周期内进入计数器计数，经译码后数字显示。设显示器的读数为 N ，标准时间脉冲的周期为 T_0 ，则被测电机转过一定角位移的周期为

$$T_x = NT_0$$

若转速传感器每转一圈所产生的脉冲数为 Z ，则电机每转一圈所需时间为

$$T = ZT_x = ZNT_0$$

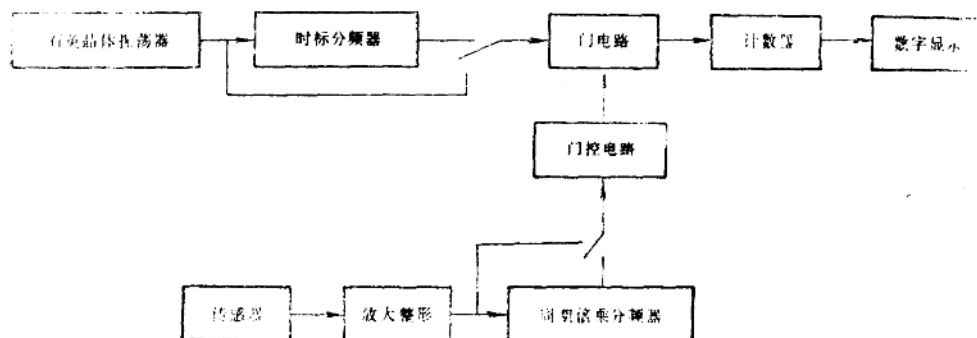


图1-6 测周法测速原理框图

测电机转速为

$$n = 60f = \frac{60}{T} = \frac{60}{ZNT_0} \text{ r/min}$$

例如, 传感器每转发出的脉冲数 Z 为 60, 计数后显示的读数为 $N = 1000$, $T_0 = 10^{-2} \text{ s}$, 则电机的转速为

$$n = \frac{60}{60 \times 1000 \times 10^{-2}} \text{ r/min} = 100 \text{ r/min}$$

二、转差率的测量

(一) 闪光测频法测转差率

在被测电机的转轴端面上, 根据电机极数画出相应数目的扇形片标记, 闪光灯用日光灯或者氙灯, 闪光灯通以电源, 其频率必须与被试电机的电源频率相同。将闪光灯照射电机转轴端面上的标记, 这时标记的影子是逆转方向缓慢移动的, 用秒表测量 t 时间内影子所转过的圈数 N , 设被试电机的极对数为 p , 则

$$sn_s = \frac{N}{t} \times 60$$

转差率为

$$s = \frac{N}{t} \times 60 \times \frac{p}{60f_1} = \frac{pN}{tf_1}$$

式中, f_1 为试验电源频率。

(二) 转子频率法测转差率

按转差率 s 的定义也可以用下式表示:

$$s = \frac{f_2}{f_1}$$

当被试电机为绕线转子异步电机时, 可在其任一相转子绕组的回路中串接一个直流表 (最好是中点指零), 其量程稍大于转子额定电流值, 或者在转子回路中串入一个电阻器, 在此电阻器两端接一个中点指零的直流毫伏表, 用秒表观察电表指针在 t 时间内来回摆动 N 次, 则 $f_2 = N/t$, 所以转差率为

$$s = \frac{N}{tf_1}$$

(三) 感应线圈法测转差率

对于笼型异步电动机, 无法采用上述方法, 则可用感应线圈法来测量 f_2 值。在被测电动机的轴伸端附近安装一个匝数很多 (如几千匝) 的铁心线圈, 转子电流的漏磁通在此线圈中会产生感应电动势, 其频率即为转子电流的频率 f_2 , 将此感应电动势加到检流计或示波器上, 用秒表观测 t (s) 内检流计摆动的次数 N , 或根据示波器的扫描频率及显示波形的周期, 可以求得 f_2 值。

(四) 转差率测量仪测转差率

在被试电机转轴上做一个白色标记或安装一个齿盘, 当电动机转动时, 由光电传感器将转速变换成电脉冲信号, 转差率测量仪将这一信号与电源频率信号进行比较、运算处理后, 可显示出被试电机的转差率。

第四节 转矩的测量

转矩是旋转电机重要特性参数之一,因此转矩的测量对电机性能分析、质量检验、生产过程的自动控制等极为重要。转矩的测量方法很多,下面将介绍涡流测功机法、电机测功机法、校准直流机法、转矩—转速仪法以及查效率曲线法等。

一、涡流测功机法

涡流测功机又称为涡流闸或涡流测转矩,其结构如图1-7所示。其工作原理简述如下。

当励磁绕组8中通以直流电流时便产生磁通,磁通从一个磁极9出发通过极靴7穿过气隙垂直进入圆钢盘6,并穿过气隙进入另一个极靴和另一个磁极,构成一闭合回路。当电机带动圆钢盘转动切割磁力线时,感应电动势产生涡流,此涡流与极靴的磁场相互作用产生电磁转矩,其方向与转向相反,为制动转矩。圆钢盘反作用于极靴使磁极顺转向转过一角度,当与平衡锤11平衡时,刻度盘3上指针4直接显示出制动转矩的大小。改变励磁电流大小,就会改变制动转矩大小,这也就相当于改变了被测电机的负载。由测得的转矩 T_2 和转速 n ,可按下式算出电机的输出功率 $P_2=0.105T_2n$ 。

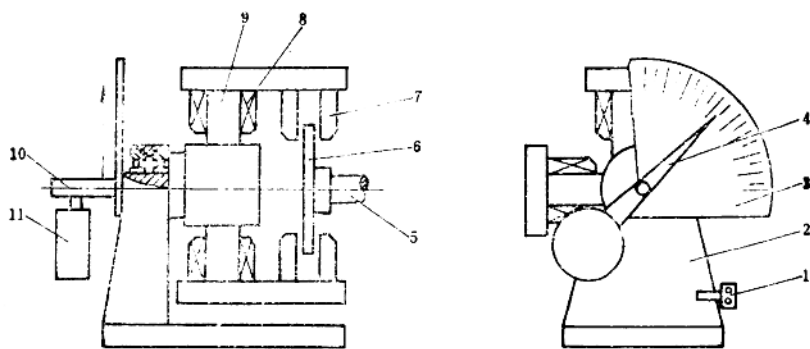


图1-7 涡流测功机结构图

1—接线板 2—轴承支架 3—刻度盘 4—指针 5—电动机轴伸 6—圆钢盘 7—极靴 8—直流励磁绕组
9—可偏转的磁极 10—轴 11—平衡锤

涡流测功机结构简单,调节方便,准确度也较高。平衡锤重心与摆动中心线不重合,空气及轴承摩擦所造成的摩擦转矩是引起测量误差的重要因素。

二、电机测功机法

电机测功机实际上是一台机座可在轴承支架内转动的直流电机,其结构如图1-8所示。电机测功机的转轴与被测电机连接。若被测电机为电动机时,电机测功机作为发电机运行,励磁绕组由独立的直流电源供电。电枢绕组接至负载(电阻)或向直流电网送出电流,此时电磁转矩是制动性质的,与 n 反向,同时定子受到一个大小与此相等而方向相反的转矩的作用,即与 n 同向。应用简单的杠杆装置,对测功机的定子施加平衡转矩,当定子不再回转时,平衡转矩即与电机测功机中的电磁转矩相等,可用磅秤、砝码及杠杆的长度进行计算或

者利用平衡锤平衡后用指针直接在刻度盘上显示。

测功机本身具有空载摩擦转矩 T_0 ，将对测量结果带来误差，应加以修正。且由于在不同的主磁通和转速下其空载摩擦转矩 T_0 不同，故需测出在不同的主磁通和转速下的空载摩擦转矩 T_0 。如果被测电机为电动机，测功机为发电机运行状态，则修正值为

$$T_M = FL + T_0$$

式中， T_M 为被测电动机的输出转矩，单位为 $N \cdot m$ ； F 、 L 分别为测力计测取的力和力臂，单位分别为 N 和 m ； T_0 的单位为 $N \cdot m$ 。

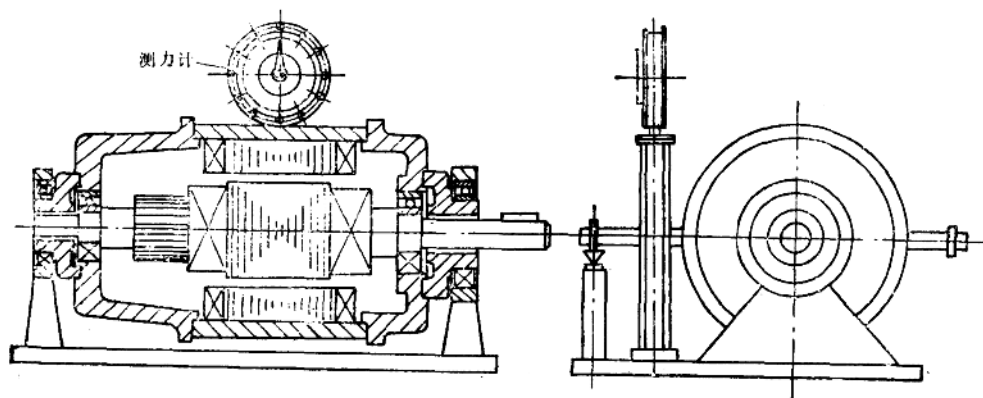


图1-8 电机测功机结构图

如果被测电机为发电机，则测功机就运行于电动机状态，其修正值为

$$T_0 = FL - T_0$$

电机测功机操作方便，测量准确度高，也能将电能反馈给电网，节约能源。

三、校正直流电机法

先将一台直流发电机进行校正，用测功机或计算法测出直流发电机在保持恒定的励磁电流情况下不同转速时的输入转矩 T 与电枢电流 I_a 之间的关系 $T = f(I_a)$ ，称为校正曲线。如图1-9所示。

然后将已校正过的直流发电机作为被测电动机的负载，保持发电机的 I_a 为常数，改变其负载，记下直流发电机电枢电流 I_a 与机组的转速 n ，则被测电机的输出转矩可以从曲线 $T = f(I_a)$ 上查出。

在采用此法时，在相应的转速下被试电机的功率应不小于校正过的直流电机功率的1/3，以保证达到足够的测量精度。

四、转矩—转速测量仪法

转矩—转速测量仪是通过转矩传感器测量各种动力机械转矩和转速的精密仪器。由于传感器本身只能传递被测转矩而不能吸收功率，因此使用时必须与一定的负载相结合，其安装方式如图1-10所示。

转矩传感器的工作原理图如图1-11所示。这是利用磁

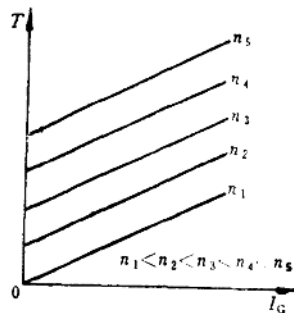


图1-9 直流发电机的校正曲线