

电机实验指导书

华中理工大学电机教研室

一九八八年九月

目 录

第一章 电机实验课概述

- 1—1 实验课的目的及进行方式
- 1—2 实验报告的编写
- 1—3 实验中注意事项

第二章 电机实验中几种基本量的测量

- 2—1 绝缘电阻的测定
- 2—2 绕组直流电阻的测量
- 2—3 温度的测量
- 2—4 功率的测量
- 2—5 转速及转差率的测量
- 2—6 转矩的测量

第三章 电机实验

- 3—1 直流电机认识实验
- 3—2 直流发电机
- 3—3 直流电动机
- 3—4 直流电机的损耗分析和效率的决定
- 3—5 他励直流电机在各种运转状态下机械特性的测定
- 3—6 单相变压器的特性
- 3—7 变压器连接组的测定
- 3—8 三相变压器不对称运行
- 3—9 单相变压器的并联运行
- 3—10 三相异步电动机
- 3—11 三相异步电动机起动、温升
- 3—12 三相同步发电机对称稳定运行特性测定
- 3—13 三相同步发电机与大电网并联运行
- 3—14 同步电动机和调相机的起动与运行
- 3—15 同步发电机参数测定

前 言

本实验指导书考虑到教学实验与生产试验既有密切联系，但又有其自身的任务和特点，我们一方面使教学实验的内容和方法紧密地与生产试验相结合；另一方面也注意到实验内容和方法的多样性以及与基本理论的紧密配合，着重于培养学生分析问题和解决问题的能力。在此次编写中，叙述了电机实验中几种基本量的测量和实验报告的编写方法及要求，目的在于加强对学生基本实验技能的训练和严肃认真、实事求是的科学作风的培养。

本实验指导书可供电机、电器、电力系统及其自动化、高压技术及设备、生产过程自动化、电磁测量及仪表、船舶工程、自动控制、工业电器自动化等专业进行《电机学》和《电机原理及其拖动》实验时采用。本书所列实验项目，可根据各自专业要求选用。

本实验指导书是在我室历年编写的实验指导书的基础上，结合近几年实验室的情况，由任应红同志重新编写，变压器部分由王世清修改，第二章第六节略有删除，全稿由李湘生付教授等同志修改。由于学识有限，本书缺点错误一定不少，欢迎读者批评指正。

1988年5月

第一章 电机实验课概述

任何自然科学理论离不开实践，科学实验是研究自然科学的基本手段之一。电机实验课的目的在于进一步培养学生掌握基本的实验方法与操作技能，又能学习实际知识，提高理性认识，逐步培养与提高分析问题和解决问题的能力。在整个实验过程中，学员必须严肃认真，集中精力，做好实验。

1—1 实验课的目的和进行方式

一、实验目的

- 1、培养实验研究各类电机的基本技能与实验方法。
- 2、巩固、加深并扩大所学的理论知识，培养运用基本理论分析、处理实际问题的方法。
- 3、培养实事求是、严肃认真、细致踏实的科学作风和良好的实验习惯。

二、实验课进行方式及基本要求

实验以小组为单位进行，每组由2—3人组成，推选组长一人负责组织全组的实验工作。实验课一般分课前预习，实验和分析讨论、书写实验报告三个阶段。各个阶段要求如下：

1. 课前预习

实验能否顺利进行，能否在实验过程中正确发挥主观能动性和收到预期的效果，很大程度上取决于预习准备得是否充分。因此，要求在预习时仔细阅读实验指导书，复习教课书或教学参考书中有关章节或参考有关资料，明确实验目的、任务、了解实验基本原理以及实验线路、方法、步骤；清楚实验中要观察哪些现象，记录哪些数据和注意哪些事项。

2. 实验

- (1)、教师在实验前讲授实验要求及注意事项
- (2)、熟悉被试电机的铭牌数据（如额定功率、额定电压、额定电流及额定转速等），了解其型式及结构，然后正确选用仪表量程和设备。
- (3)、分工接线；互相检查；讨论更正。经自查无误并请教师复查后才能合电源开机实验。如实验过程中改变线路，也必须经教师检查。
- (4)、在实验进行中，由于机组运转噪音较大、若调节参数需与其他同学配合时，均应采用一定的手势，不要高声叫喊。例如可采用下列手势：
 - a. 手心向上表示做手势者要求的参量需增加；
 - b. 手心向下表示做手势者要求参量需要减少；
 - c. 手掌直放不动表示稍待；
 - d. 手掌握拳不动表示已符合要求。
- (5)、实验按预定步骤进行，注意正确的操作方法，观察，分析现象，并由一人指挥分工同时读数。实验如发现异常现象或数据有问题时，应及时切断电源停止实验，

进行分析研究，不可盲动，以免发生事故。

(6)、记录数据填在预先画好表格里，记录所用仪表，机组编号，以便事后发现问题时查核。

(7)、结尾工作

完成全部规定的实验项目，先对实验数据进行初步检查分析，看有无漏误，然后交指导教师签字后方可拆线。最后将仪表开关和导线整理好，按规定位置放好，搞好清洁卫生工作后方可离开实验室。

1—2 实验报告的编写

实验报告是实验工作的全面总结，是培养学生分析问题和解决问题能力的重要教学环节之一，也是培养学生严肃认真的科学作风的重要一环。要用简明的形式将实验结果完整和真实地表达出来。通过编写实验报告，将实验过程中得到的实际知识，经过系统地总结，分析提高到理性认识。实践表明，一份好的实验报告在以后的工作中会有一定的参考价值。报告要求文理通顺，简明扼要，字迹端正，图表清晰，结论正确，分析合理，讨论深入。

一、实验报告的内容

1、实验报告应包括姓名、专业班级、组别，同组同学姓名、实验日期、实验名称、实验目的、实验内容、实验线路、注意事项、数据表格及测量结果，曲线，计算举例及分析讨论。

2、列出被试电机的名牌数据及使用仪表、仪器型号、规格数量和编号。

二、编写实验报告的要求

1、各项数据如系计算所得，必须列出所用公式，并以一组数据为例进行计算，其它可直接列入表中。

2、图表，曲线的绘制，均按工程要求画。曲线一律画在坐标纸上，比例要适当；坐标轴上应注明物理量的符号和单位，标明比例和曲线的名称。作曲线要用曲线板绘制，力求曲线光滑，而不要画成折线。

3、对实验结果进行理论分析，比较各种不同实验方法所得结果并指出其优缺点。有些实验结果与书本上的理论分析有所出入，其原因需作必要的说明。写出实验收获和心得体会。对被试电机的性能作出评价。

实验报告应在实验完毕后及时编写，并在下一次实验前交。

1—3 实验中注意事项

一、人身安全

实验室的电源电压有110伏、220伏及380伏，均非安全电压，可以使人触电致死，同时转动部分多，容易引起事故。所以要求切实遵守实验室的各项安全操作规程，以确保实验过程中的安全。实验过程中应注意下列几点：

1、不擅自接通电源；

2、不触及带电部分，遵守“先接线后合电源，先断电源后拆线”的操作程序。

3、不得带电操作，以防发生触电事故。上实验课时不得赤脚或穿拖鞋，最好穿胶底鞋。

4、实验前应检查机组的防护罩是否放好，联轴器上螺栓是否已拧紧。

5、实验时应注意衣角，围巾，辫子等，防止被电机的转动部分卷入。停车时不要用手或脚去制动，以免发生危险。

二、线路的联接

1、联线前的准备工作：

(1)、合理选择仪表种类、量程、准确度等级。

(2)、合理布局。合理布局的原则是：电路最简明，便于调节，读数方便，安全合理。

2、正确接线。联接线路的原则是：

(1)、选择合理的接线步骤，一般是“先串后并”，“先主后辅”。

(2)、接线前先弄清楚电路图与实物接头的对应关系。

(3)、养成良好的接线习惯，走线要合理，大电流回路与小电流回路要分明，接线不宜过于集中某一点，接线松紧要适当。

三、操作、观察、读数和记录

注意同组人员之间的分工配合，操作前做到心中有数，目的明确。操作时要做到：手合电源，眼观全局，先看现象，再读数据。读数前要弄清仪表量程及刻度，读数时要注意姿势正确，要求“眼、针、影”成一线。记录要求完整清晰，力求表格化，一目了然。要合理取有效数字（最后一位为估计数字）。

四、爱护仪器设备

仪器设备是国家财产，应当加倍爱护。这样做既保证实验正常开出，也培养爱护公共财产的共产主义品德。在实验过程中应注意电机仪表的运行情况，如出现不正常情况应及时处理。如发生事故，如短路、飞速或合上电源开关电机不转动等，不要惊慌失措，而应立即拉断机组总开关，保持现场进行检查，确定事故原因后再进行实验。造成仪器设备损坏者，如实填写事故报告单，听候处理。

在实验室不得脚踏电机或坐在电机上，不得用粉笔在仪表和实验台上写字，不得将导线和工具乱抛，也不要擅自取用其他实验台上的仪器设备。

第二章 电机实验中几种基本量的测量

2-1 绝缘电阻的测定

绝缘电阻的测定是电机电器绝缘检验项目之一，通过绝缘电阻的测定可以检查绝缘是否受潮，有无局部缺陷等。为了确保电机安全运行，其绕组对机壳间及绕组相互间的绝缘电阻必须符合一定要求。因此在型式试验、检查试验和正常运行中，要对绝缘电阻进行测定。

一、绝缘电阻的大小

影响绝缘电阻大小的因素很多，如绝缘材料的质量，受潮程度及温度等等。根据国家标准规定，电机绕组的绝缘电阻在热态时，应不低于下式确定的数值。

$$R = \frac{U}{1000 + P_N / 100} \quad (\text{兆欧}) \quad (2-1)$$

式中：U——电机绕组的额定电压（伏）。

P_N ——电机的额定功率，对直流电机和交流电动机单位为千瓦；对交流发电机和同步补偿机单位为千伏安。

由上式可知，500伏以下的低压电机电器，热态时其绝缘电阻不低于0.5兆欧。如果低于这个数值，应分析原因，采取相应措施，以便提高绝缘电阻。否则，强行投入运行，可能会造成人身和设备事故。

二、测量方法

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

表 2-1

电机额定电压	兆欧表规格
500伏以上	500伏
500~3000伏	1000伏
3000伏以上	2500伏

2. 测量绝缘电阻时，如果交流电机的各相绕组或直流电机的各种绕组分别有出线端引出，则应分别测量各绕组对机壳及各绕组相互间的绝缘电阻。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. 常用的手摇兆欧表，表内有一手摇发电机，发电机发出的电压与速度有关，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兆欧表，待指针稳定后方可读数。

2-2 绕组直流电阻的测量

在电机试验中，有时需要测定绕组的直流电阻，用以校核设计值、计算效率、调整率以及确定绕组的温升等。绕组电阻大小是随温度变化的，为此，需要测定各种绕组在

实际冷状态下的直流电阻及相应的温度，以便将该电阻换算至基准工作温度时数值。

一、绕组在实际冷状态下温度的测定

1、用温度计测量电机绕组端部或铁芯或轴伸的表面温度，若此温度与周围空气温度相差不大于 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ，则上述温度计所量得的温度即为绕组在实际冷状态下的温度。

2、在测量绕组直流电阻以前，如果已将电机在空气中静置下列时间：额定功率在10瓩以下的电机不少于8小时，100瓩至1000瓩的电机不少于16小时，此时周围空气的温度即可作为电机绕组的温度。

二、测量方法

1、电桥法

采用电桥测量电阻，究竟选用单臂电桥还是双臂电桥，取决于被测绕组电阻大小和精度要求。测量小于1欧的电阻，必须采用双臂电桥，因为单臂电桥量得的数值中，包括了连接线的电阻和接线柱的接触电阻，给低电阻的测量带来较大的误差。

用电桥测电阻时，应先将刻度盘旋转到电桥大致平衡的位置，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。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。

电桥法测定绕组电阻准确度及灵敏度高，并有直接读数的优点。

2、电流表和电压表法

用电流表和电压表测量电阻时，应采用电池或其他电压稳定的直流电源为测量用电源。被测电阻应与变阻器和电流表串联，根据电阻大小选用如图2—1(a)、(b)所示中一种。

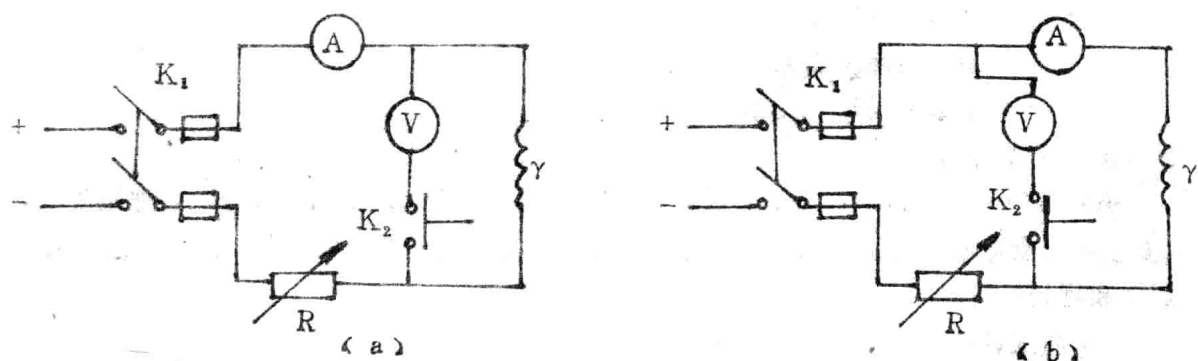


图2—1 电流表和电压表法测直流电阻

测量时被测绕组中的电流值不应大于绕组额定电流的25%，同时应尽快同时读数，避免因绕组发热影响测量的准确度。

测量小电阻，按图2—1(a)接线，考虑电压表(内阻为 γ_v)的分路电流，被测绕组的直流电阻为

$$\gamma = \frac{U}{I - \frac{U}{\gamma_v}} \quad (2-2)$$

若不考虑电压表分路电流， $\gamma = \frac{U}{I}$ ，计算值比实际电阻值偏小，电阻越小，分路电流越小，误差则越小，故此种接线适用于测量小电阻。

测量大电阻按图2—1 (b) 接线，考虑电流表内阻 γ_A 上的电压降，被测绕组的直流电阻为

$$\gamma = \frac{U - I \gamma_A}{I} \quad (2-3)$$

若不考虑电流表内阻的压降， $\gamma = \frac{U}{I}$ ，计算值中包括有电流表内阻，故此实际值偏大，绕组电阻越大，电流表内阻越小，误差越小，故此种接线适于测量大电阻。

相应于不同电流值测量三次，取三次测量的平均值作为绕组直流电阻。

计算绕组铜耗时，应采用相电阻的平均值。如果三相绕组在电机内部接成Y形，则相电阻按下式确定

$$\gamma_e = \frac{1}{2} \gamma_t \quad (2-4)$$

如果三相绕组在电机内部接成 Δ 形，则相电阻按下式确定

$$\gamma_e = \frac{3}{2} \gamma_t \quad (2-5)$$

式中： γ_t ——在出线端测得三个电阻值的算术平均值。

三、将实际冷状态电阻换算到基准工作温度

测得的冷态直流电阻按下式换算到基准工作温度时电阻

$$\gamma_w = \frac{K + \theta_w}{K + \theta} \gamma_e \quad (\text{欧}) \quad (2-6)$$

式中： θ_w ——基准工作温度A、E、B级绝缘为75℃；F、H级绝缘为115℃；

θ ——绕组实际冷态温度℃；

γ_e ——绕组实际冷态电阻(欧)；

K——常数，铜K=235，铝K=228。

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，为了保证电机安全、合理地使用，需要监视与测量电机绕组及其他各部分的温度。测量温度的方法有三种：温度计法，电阻法和埋置检温计法。

一、温度计法

本方法所用的温度计是指膨胀式温度计(例如水银、酒精温度计等)，半导体温度计以及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：如定于铁芯、轴承及冷却介质等，可用温度计来测量。

测量方法：将温度计贴附在电机可接触的表面，以测出接触点表面的温度。为了减少误差，从被测点到温度计的热传导应尽可能良好，测量点与温度计的球部应用绝缘材料覆盖好。应当注意，在电机存在变化磁场的部位，如定子铁芯不应采用水银温度计，而应采用酒精温度计，以免影响测量结果的准确性。

二、电阻法

温度改变，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，应尽可能在电机运行时测量绕组的热态电阻，在设备条件许可时可采用高压或低压带电测温装置，利用该装置测得电机绕组冷态电阻 γ_e 及热态电阻 γ_f 。

绕组对于冷却介质的平均温升，可按下列公式计算：

$$\theta = \frac{\gamma_f - \gamma_e}{\gamma_e} (K + \theta_0) + \theta_0 - \theta_f \quad (2-7)$$

式中： γ_f ——试验结束时绕组的热态电阻（欧）；

γ_e ——试验开始时绕组的冷态电阻（欧）；

θ_f ——试验结束时冷却介质温度℃；

θ_0 ——试验开始时的绕组温度℃；

K——常数，对于铜 $K=235$ ，对于铝 $K=228$ 。

如果不能采用带电测量装置，而电机各部分的温度不能在停车后 15~20 秒钟内测出时，则所测得的温度应修正到停车（即断电）瞬间。

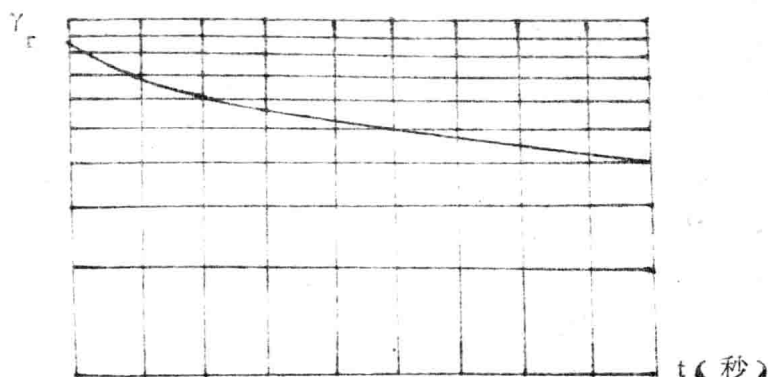


图 2—2 将温度校正到断电瞬间

校正方法如下：在电机切断电源后，立即测量距断电瞬间的时间 t （秒）及相应的电阻，按一定时间间隔测取数点，作冷却曲线 $\gamma = f(t)$ [或温度 $\theta = f(t)$]，绘制冷却曲线，建议采用半对数坐标纸（如图 2—2），在横轴（等分坐标）上取时间坐标，在纵轴（半对数坐标）上取电阻或温升坐标，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（或温升）。

如果没有半对数坐标纸，则可在等分坐标纸上绘制冷却曲线。

如果在停车以后，电机个别部分的温度先开始上升，然后再下降，则应取所量得温度中的最高数值作为电机停车瞬时的温度。

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（如槽内导体间和铁芯内），此法用于测量绕组或铁芯最热点处的温度，也可用以监视局部温升状况。

2-4 功率的测量

电功率由瓦特表进行测量，交、直流电功率的测量，一般多采用电动式瓦特表。此种瓦特表有一个电压线圈和电流线圈，它们的同名端均标有“·”或“±”号，电压线圈利用串联附加电阻做成多个电压量程，电流线圈也可串、并联接构成两种电流量程，另外，瓦特表上还装有一个改变指针偏转方向的“+”、“-”极性开关。

一、正确选用瓦特表

选用瓦特表时，要根据被测线路电压高低和电流大小来选择电压量程和电流量程，若被测交流线路的电压（电流）超过瓦特表的最大量程，应配用适当变比的互感器来扩大量程，使线路中电流和电压均在瓦特表的量程范围里，同时还要考虑被测电路的功率因数高低，选用普通的瓦特表（额定功率因数 $\cos \varphi_N = 1$ ，在表面上没有标出）或是低功率因数瓦特表（如 $\cos \varphi_N = 0.2$ 或 0.1 ）。瓦特表的功率常数 C_W 由下式求得：

$$C_W = U_N I_N \cos \varphi_N / \alpha_N \quad (\text{瓦/格}) \quad (2-8)$$

式中： U_N ——电压量程（伏）

I_N ——电流量程（安）

α_N ——瓦特表的满刻度格数

由上式可见瓦特表每格所代表的瓦特数与 $\cos \varphi_N$ 、 U_N 、 I_N 有关，所以应根据负载电压、电流大小及种类，来选择量程大小；选用 $\cos \varphi_N = 1$ 或 $\cos \varphi_N = 0.2$ 的瓦特表，以提高测量精度。

二、正确接线

- 1、瓦特表的电流线圈与被测负载串联，一端接至电源，另一端接负载端。
- 2、瓦特表的电压线圈并接在负载两端，它的同名端与电流线圈的同名端接在一起，它的另一端接到负载的另一端。

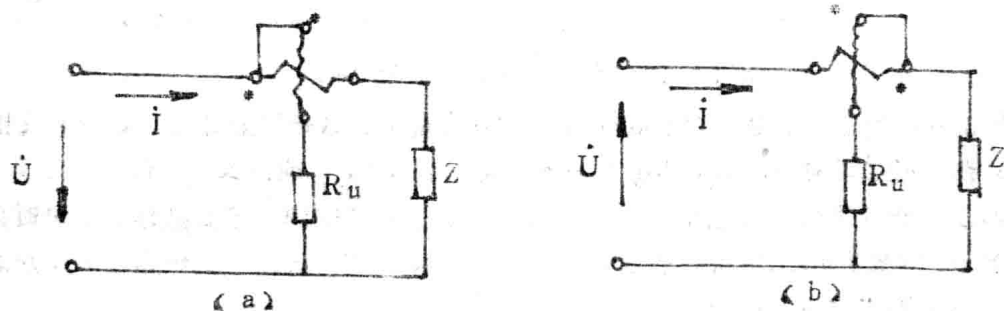


图2-3 单相瓦特表的接线方法

图2-3 a) 与 b) 所示的两种接线方法都是符合以上规则的，都是正确的，按该图接线，如果极性开关指“+”，瓦特表指针作正向偏转，则功率由电源输向负载；反之，指针反向偏转，表示功率反向输送，此时，可将极性开关拨向“-”或者将电流线圈端头调换一下，但决不能将电压线圈互换如图2-4所示。这里因为电压线圈的附加电阻 R_u 是串在非同名端，测试电压的大部分降落在该电阻上，使得电压线圈与电流线圈之间的电位差接近测试的全电压，有可能使线圈间的绝缘被击穿，还会引起测量误差。

图2—3 a) 所示联接法被广泛采用。瓦特表的读数中除包括负载功率外，还有消耗在电流线圈中的功率，当负载电压高，电流较小时，这项损耗很小，可以忽略。

图2—3 b) 所示联接适用于低电压大电流负载的功率测量，瓦特表的读数中除包括负载功率外，还有消耗在电压线圈及其串联电阻 R_u 中的功率。

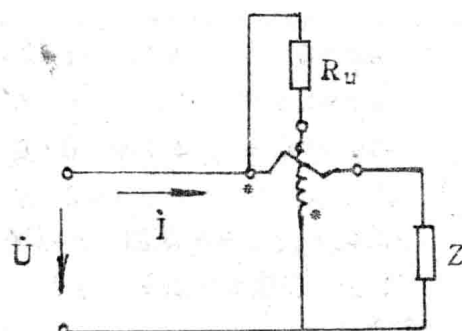


图2—4 瓦特表的错误接法

三、三相有功功率的测量

三相功率的测量，可以采用一瓦特表法和两瓦特表法。

一瓦特表法：三相对称电路只用一个单相瓦特表测量任一相的功率，三相功率等于一瓦特表读数的3倍。

二瓦特表法：需用两个单相瓦特表或用一个三相瓦特表（它相当于两个单相瓦特表的组合），适用于三相功率任意分布电路（除三相四线制外）。三相总功率等于两瓦特表读数的代数和。

用两瓦特表测量三相功率的接线图和相应的矢量图如图2—5 a) 和 b) 所示。

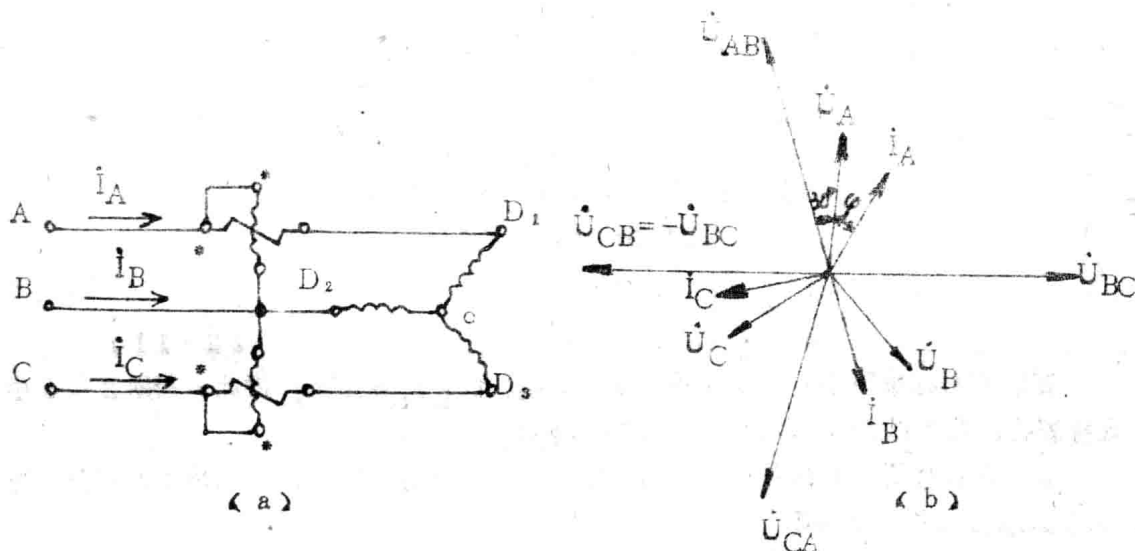


图2—5 三相功率表的接线图和相应矢量图

在三相电压、电流对称的情况下，两瓦特表的读数分别为

$$P_1 = U_L I_L \cos(30^\circ + \varphi)$$

$$P_2 = U_L I_L \cos(30^\circ - \varphi)$$

三相功率为

$$\begin{aligned} P_1 + P_2 &= U_L I_L [\cos(30^\circ + \varphi) + \cos(30^\circ - \varphi)] \\ &= \sqrt{3} U_L I_L \cos \varphi \end{aligned}$$

由上式可见，两瓦特表读数的大小和正负都随被测功率的性质（ $\cos \varphi$ ）而变。归

纳起来，有如下几种情况：

当 $\varphi = 0$ $\cos \varphi = 1$ 时， $P_1 = P_2$

当 $\varphi = 60^\circ$ $\cos \varphi = 0.5$ 时， $P_1 = 0$ $P_2 > 0$

当 $\varphi > 60^\circ$ $\cos \varphi < 0.5$ 时， $P_1 < 0$ $P_2 > 0$

当 $\varphi < 60^\circ$ $\cos \varphi > 0.5$ 时， $P_1 > 0$ $P_2 > 0$

因此，用两瓦特表测三相功率时应注意下几点：

1)、接线要正确，两个瓦特表的同名端的接法要一致，否则，将不利于正确判断读数的正负。

2)、记录两瓦特表的读数时，必须同时记清楚读数的+、-，取其代数和为三相功率。

四、三相无功的测量

三相对称电路可以利用瓦特表测量无功功率，方法有两种

1、一瓦特表法：在三相对称电路中，可用一个单相瓦特表按图2—6接线来测量三相无功功率，由图2—5 b)上的矢量图可见 I_B 与 U_{CB} 间的相位差为 $90^\circ - \varphi$ ，因此瓦特表的读数为：

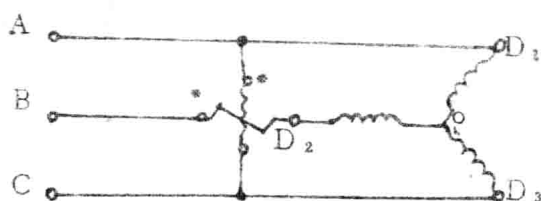


图2—6 一瓦特表测三相无功功率的接线图

$$\begin{aligned} P &= U_{CA} I_B \cos(90^\circ - \varphi) \\ &= U_L I_L \sin \varphi \end{aligned} \quad (2-11)$$

在三相对称电路中，三相无功功率为 $Q = \sqrt{3} U_L I_L \sin \varphi$ 。因此，将图2—6中瓦特表的读数乘以 $\sqrt{3}$ ，即得到三相无功功率 Q 。

2、两瓦特表法：在对称三相电路中，根据三相有功功率的两瓦特表的读数，可按下式求得三相无功功率：

$$\begin{aligned} Q &= \sqrt{3} (P_2 - P_1) \\ &= \sqrt{3} U_L I_L [\cos(30^\circ - \varphi) - \cos(30^\circ + \varphi)] \\ &= \sqrt{3} U_L I_L \sin \varphi \end{aligned} \quad (2-12)$$

2—5 转速及转差率的测量

一、转速的测定

电机转速（每分钟的转数）是各类电机运行中的一个重要物理量。对于确定电机性能的好坏，有重要意义。随着科学技术的发展，特别是电子工业的发展，转速的测量方法与精度不断得到改进与提高。

用以测量转速的仪器很多，如离心式转速表，光电液晶式转速表，闪光测速仪，测速发电机及数字测速仪表。

1、光电液晶式转速表

它是利用从光电测孔发射红色光照射到旋转体的反射胶带上，检测旋转体的旋转脉冲，准确地测出旋转脉冲转换成转速。它的准确度在 ± 1 位数。

测量方法：①将反射胶带贴在旋转体上，②打开转速表的电源开关，③将红色光对准反射胶带上。电机旋转即可测出电机转速。

2、数字测速仪测量转速

数字测速是目前先进的测速方法，具有精度高，测量速度快，便于自动检测与控制等优点。我们实验室购置的XJP—10和JSS—2型晶体管数字测速仪。这种仪器是通过适当的传感器，将转速信号转变为电信号，以测量转速。这种仪器是采用两种方法，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原理如图2—7所示。

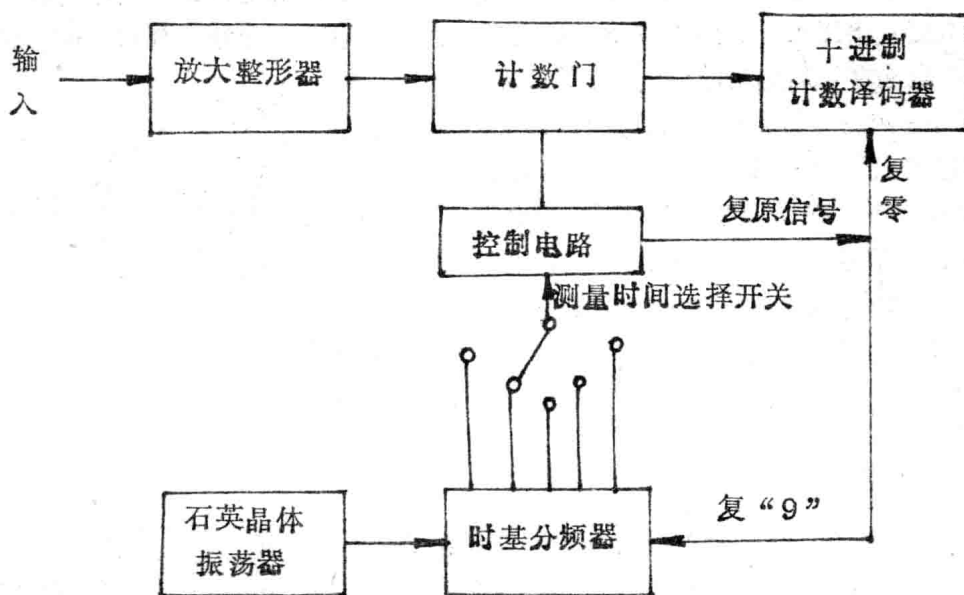


图2—7 测频法工作原理图

频率是单位时间内电信号变化的周波数，在测量频率的过程中，实质上就是在标准时间内如实地记录电信号变化的周波数。由图2—7可知，转速传感器，将转速信号转变成电脉冲信号，由输入端送入放大整形器，经过放大整形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（周波数）外，还必须有一个标准时间，它是由石英晶体振荡器产生，并经过多级分频得到的。例如XJP—10型，共分0.1S、1S、2S、3S、6S、10S、20S、30S、60S共9个标准时间基准信号（S代表秒），这一部分在图2—7中，以石英晶体振荡器及时基分频器两个方框表示。由石英晶体振荡器及时基分频器产生的“基时”信号脉冲经过测量时间选择开关加入控制器，得到相应

的控制指令，用以控制计数门的开闭，使被测转速脉冲在选定的“测量时间”内进入计数和显示，完成一次测量后，控制器发出复原信号，使分频器复“9”，使计数器复“0”，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 $F = N/t$ （周波数/秒），设电机每转一转，传感器产生的电信号的周波数为 B ，则电机的转速为

$$n = \frac{60N}{Bt} \quad (\text{转/分}) \quad (2-13)$$

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。

$$t = \frac{60}{B} \quad (2-14)$$

当 $Bt = 60$ 时，测速仪显示的读数 N 即为 t 秒内电机的平均转速（转/分）， B 越大，测量时间 t 就可选得越短，所测转速越接近瞬时速度。

转速传感器有光电式、磁电式等多种型式。图 2—8 是我室自制的一种光电式传感器结构示意图，由图可见其结构简单，仅由光源（聚光泡）、光栅圆盘和光电二极管组成。光栅圆盘装在被测电机的轴上，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，照到光电管上，时而被圆盘遮住，随着被光照射与否，光电管产生相应的电信号，光栅圆盘转过一孔，电信号变化一周，故电机转过一转，电信号变化的周波数 B 和光栅圆盘上的孔数相等。

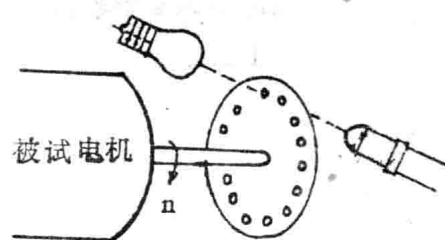


图 2—8 光电传感器结构示意图

XJP—10 型测速仪的外形结构和板面布置如图 2—9 所示。

测频法测速操作步骤：

- 接通“电源”开关：当交流电源合乎 $220\text{V} \pm 10\%$ 、 $50\text{Hz} \pm 1\text{Hz}$ 的要求时，可接通“电源”开关，此时各数码管应亮。
- 自校：将“测量选择”开关置于“自校”位置，“时标”开关置于 1ms ，“测量时间”开关置于 1S 。自校的显示结果为 1000 ，则表示仪表正常。
- 将被测转速信号接入仪器。
- 将“测量选择”开关置于“测频”档。
- 扳动“测量时间”开关，选择所需测量时间。（我室采用 60 孔透光光电式传感器，其倍频率 $B = 60$ ，即电机每转一转，它发出 60 个脉冲信号，按 2—14 式计算“测量时间”开关置 1 秒）。

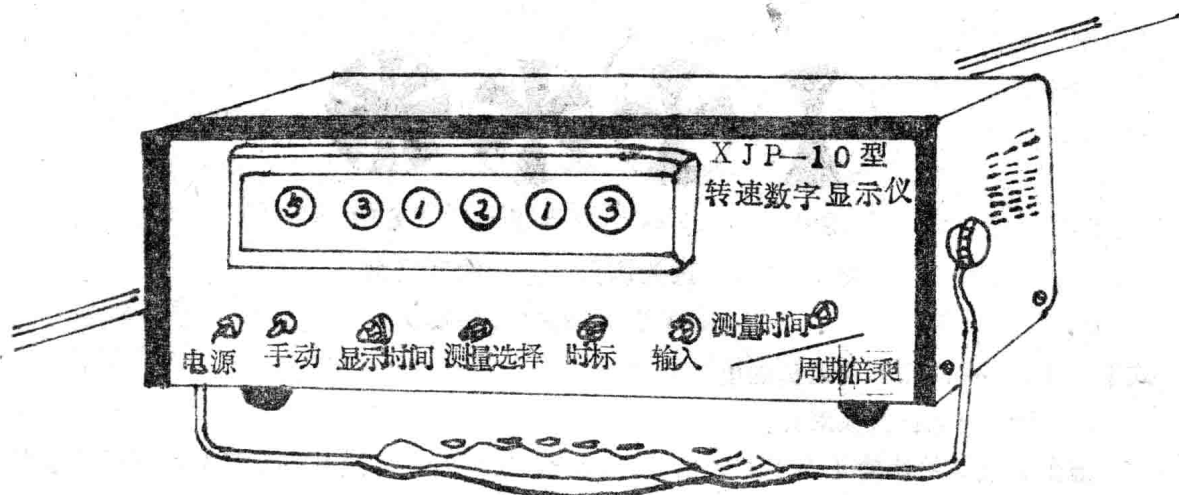


图 2—9 XJP—10 型测速仪的外形结构和板面布置图

二、转差率的测定

研究异步电机时，通常要测定其转差率：

$$S = \frac{n_1 - n}{n_1} 100\% \quad (2-15)$$

式中： n_1 ——定子磁场转速

n ——转子的转速

上述测量转速的各种方法，均可用来按公式 (2—15) 测定异步电机的转差率。除上述方法外还可以直接测定。下面介绍几种直接测定转差率的方法。

1、转子电流表法

对于绕线式异步电机，可在转子回路内任一相串入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。正常运行时，异步电动机转子电流的频率 f_2 是很低，一般约为 1—5 周/秒，所以电流表的指针将随转子电流的交变而左右摆动，数出指针在 t 秒时间内朝某一方向 (左或右) 偏转的次数 N ，则转子频率为 $f_2 = \frac{N}{t}$ ，而转差率

$$S = \frac{n_1 - n}{n_1} 100\% = \frac{f_2}{f_1} 100\% = \frac{N}{t f_1} 100\%.$$

二、日光灯法

交流电机的转差率可以用日光灯法测定，日光灯是一种闪光灯，当接于 50 周波电源时，灯光实际每秒钟闪亮 100 次，人的视觉暂留时间约为 $\frac{1}{16}$ 秒左右，故用肉眼观察日光灯是一直发亮的。我们就是利用日光灯的这个特性来测量电机的转差率。测量方法是在电机轴端圆盘上标以适当数量的扇形片。如图 2—10 所示。

日光灯与电机由同一频率电源供电时，当观察到扇形片不动时，电机的转速由下式确定：

$$n = \frac{60 f_1}{P} \quad (\text{转/分}) \quad (2-16)$$

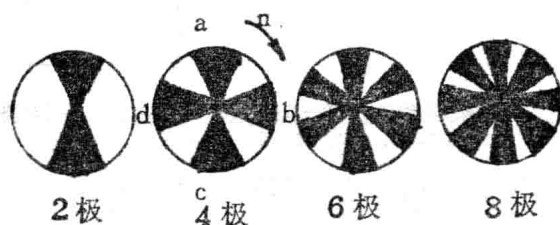


图2—10 闪光测频法用的测速圆盘
(50HZ/秒 供电)

式中： f_1 ——日光灯与电机的电源频率

P ——电机的极对数。

显然，上式给出的正是 P 对极电机的同步转速。为什么达到同步转速时扇形片就好似不动了。

四极电机的同步转速为：

$$n_1 = \frac{60 \times 50}{2} = 1500 \text{ 转/分} = 25 \text{ 转/秒}$$

达到同步转速时，扇形片 a 转到扇形片 b 的位置需要时间： $t = \frac{1}{4} \times \frac{1}{25} = \frac{1}{100}$ 秒。另一方面，日光灯在交流电的一个周期内亮两次，熄两次，当其由50赫的工频电源供电时，它每秒钟内亮100次，其两次发亮的时间间隔也为 $1/100$ 秒，这样，当电机运行于同步转速时，若日光灯第一次发亮时扇形片 a 的位置如图2—10所示，那么，第二次发亮时扇形片 a 就恰好转到扇形片 b 的位置，即 a 代替 b ， b 代替 c ， c 代替 d ， d 代替 a 等等，看上去四个扇形片好似静止不动。

若电机以低于同步转速的速度旋转，则扇形片 a 转到扇形片 b 的位置需要 $> 1/100$ 秒的时间，因此日光灯第二次发亮时，扇形片 a 尚未转到扇形片 b 的位置，同样，扇形片 b 也未转到扇形片 c 的位置，余此类推。这样，四个扇形片看上去是在反着电机旋转方向旋转。同理电机转速高于同步转速时，扇形片看上去将顺着电机旋转方向旋转。显然，扇形片倒转或顺转的速度愈快，说明转差越大，转差率由下式确定

$$S = \frac{PN}{tf_1} 100\% \quad (2-17)$$

式中： P ——被测电机极对数

N —— t 秒时间内扇形片转动的转数。

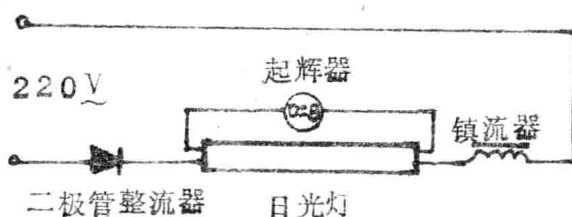


图2—11 日光灯由半波整流供电的接线图