

电气与控制实验科学技术

王科俊 主编

电机测试技术与实验

DIAN JI CE SHI JI SHU YU SHI YAN

刘宏达 张镠钟 编著

黑龙江人民出版社

· 电气与控制实验科学技术 · 王科俊 主编

电机测试技术与实验

刘宏达 张镠钟 编著

黑龙江人民出版社

图书在版编目(CIP)数据

电气与控制实验科学技术/王科俊 主编. —哈尔滨:黑龙江人民出版社,2008.7

ISBN 978 - 7 - 207 - 07885 - 8

I. 电… II. 王… III. 电气控制—实验—研究 IV. TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据字(2008)第 110906 号

责任编辑:李荣焕

装帧设计:李若聘

电机测试技术与实验

刘宏达 张缪钟 编著

出版发行 黑龙江人民出版社

通讯地址 哈尔滨市南岗区宣庆小区1号楼

邮 编 150008

网 址 www.longpress.com

电子邮箱 hljrmcbs@yeah.net

印 刷 哈尔滨太平洋彩印有限公司

开 本 16 开

印 张 135 印张

字 数 355 万字

印 数 2000 套

版 次 2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978 - 7 - 207 - 07885 - 8/TP · 14

定 价 350.00 元(全套 14 本)

(如发现本书有印制质量问题,印刷厂负责调换)

本社常年法律顾问:北京市大成律师事务所哈尔滨分所律师赵学利、赵景波

前 言

自动化技术和电力传动技术的发展,使得人们日益关心电机的使用与控制,而掌握电机的测试技术与实验技术则是高质量地使用与控制电机的前提。目前高校在电气工程、自动化及其他相关专业已经普遍开设《电机及拖动基础》和《电机学》课程,实验已成为这两门课程教学过程中不可缺少的环节,开设好相关实验,对提高学生的综合素质、加深对理论知识的理解和培养学生的实践能力有重要意义。

本书的写作目的有两个:一是满足《电机及拖动基础》和《电机学》两门课程的基本实验教学内容,二是进一步总结和提炼电机的测试与实验方法,将实用和新颖的实验方法与测试技术呈现给读者。所以本书编写过程中,注意引入现代电机测试技术的概念、理论和方法,在考虑电机测试技术的基本理论和测试方法的同时,力求向读者展现该领域的最新成果与发展动向,以启发读者在这一领域的研究与创新。

本书从结构上分为两篇——基础篇与实验篇。第一章和第二章作为基础篇,主要介绍了电机测试中的一些常用的仪表仪器的选择与使用、常用电量和非电量的测量方法。仪表仪器方面介绍了功率表、频率表、相位表、转速表、示波器、兆欧表、LCR 测试仪等常用仪表的选择与使用,还介绍了转矩测量装置、振动测量装置等专业测试仪器的原理与使用。电机基本量的测量主要介绍了电压电流的测量、功率的测量、频率和相位的测量、电机电阻和电感等基本电量的测量,在非电量测量中则介绍了转速、转矩、电机振动的测量方法与测量原理。实验篇分为教学基本实验、教学选做实验、电机参数测量实验 3 个层次来进行布局,分别安排在第三、四章。附录中补充了一些必要的电工知识和实验设备资料。编写中,对实验过程介绍尽可能做到详尽和通用,并给出了相关计算公式或经验公式,以便于学生和读者独立完成实验。

本书较全面地介绍了执行类电机的测试技术原理及测试方法,可作为高等学校自动化专业和电气工程及其自动化专业《电机及拖动基础》和《电机学》的实验用书,还可作为高年级学生及研究生的电机测试指导或参考书,也可供科研院所、厂矿企业中从事电器传动的科技工作者参考使用。

本书由刘宏达编写了第一章大部分内容、第二章、附录以及第三章的部分实验,其余由张镠钟编写。在第三章部分实验基本原理的编写过程中,得到了张敬南老师提供的素材,特此感谢。

在本书编写过程中,参阅了许多资料,并得到了哈尔滨工程大学电气工程实验教学中心的支持,以及自动化学院王科俊教授、罗耀华教授和彭秀艳教授的支持和帮助,在此一并表示感谢。

由于编者知识、经验、水平有限,编写时间紧迫等原因,书中难免存在疏漏和不足之处,恳请广大读者批评指正。

内 容 简 介

本书是根据新世纪高等学校素质教育的新要求,结合现代电机测试技术的新发展,从理论与实践紧密结合的角度出发,编写的一本电机测试与实验方面的教材。

全书分为上、下两篇。上篇结合科研和工作体会,主要介绍电机测试中的常用仪器的选择与使用方法、电机测试中通常的测试方法。下篇分为教学基本实验、教学选做实验 2 个部分,分别来满足教学、提高和科研测试的需要。编写中,对实验过程介绍尽可能做到详尽和通用,并给出了相关计算公式或经验公式,以便于学生和读者独立完成实验。

本书较全面地介绍了执行类电机的测试技术原理及测试方法,编写中注重应用、注重实效,力求将实用和新颖的实验方法与测试技术呈现给读者,以满足高等学校电气工程、自动化专业及相关专业的本科生教学实验需要,同时也可供研究生及相关专业工程技术人员参考使用。

目 录

基础篇

第1章 电机测试装置的选择与使用	1
1.1 电机测试概述	1
一、电机测试技术的作用	1
二、电机测试的特点	1
1.2 电机测量仪表基础知识	2
一、电机测量仪表的分类	2
二、仪表的几个关键指标	3
1.3 仪表的选择	6
一、模拟式与数字式的选择	6
二、指针式电工仪表的选择	6
三、数字式仪表的选择	7
1.4 常用仪表的使用	9
一、电压表和电流表	9
二、万用表	11
三、示波器	11
四、功率表和功率因数表	16
五、频率表	17
六、兆欧表	18
七、转速表	20
八、LCR 测试仪	23
1.5 其他专用设备	27
一、转矩测量装置	27
二、振动测量装置	31
1.6 电机综合测试系统	33
第2章 电机中基本物理量的测量	34
2.1 电压电流的测量	34
2.2 功率的测量	34
一、直流功率的测量	34
二、交流功率的测量	35
2.3 频率和相位的测量	36
2.4 电机绝缘电阻的测量	36
一、绝缘电阻的测量方法	37
二、电机绕组绝缘电阻的有关规定	37

2.5 电机绕组直流电阻的测量	37
一、电机绕组直流电阻的测量方法	38
二、实际冷态直流电阻与基准工作温度时直流电阻的换算	38
三、三相绕组直流电阻的测量	39
2.6 电机温度的测量	39
一、温度计法	40
二、电阻法	40
三、埋置检温计法	40
四、红外测量法	40
2.7 转速和转差率的测量	41
2.8 电机转矩的测量	44

实 验 篇

第3章 基础实验	45
实验一 直流发电机实验	45
实验二 直流他励电动机的工作特性及机械特性的测定	51
实验三 单相变压器实验	56
实验四 三相变压器实验	64
实验五 三相变压器极性、联接组的测定	69
实验六 三相异步电动机参数测定及工作特性实验	74
实验七 三相异步电动机的起动与调速	78
实验八 三相同步发电机的运行特性	84
实验九 三相同步电动机	88
实验十 直流他励电动机机械特性	93
实验十一 三相异步电动机在各种运行状态下的机械特性	96
第4章 选作实验	104
实验一 直流串励电动机	104
实验二 单相变压器的并联运行	106
实验三 三相三绕组变压器	108
实验四 三相变压器的并联运行	110
实验五 单相电阻起动异步电动机	112
实验六 单相电容起动异步电动机	114
实验七 单相电容运转异步电动机	116
实验八 双速异步电动机	118
实验九 异步电机的 M-S 曲线测绘	120
实验十 三相同步发电机的并联运行	122
实验十一 三相同步电机参数的测定	126
实验十二 用日光灯法测定转差率	129

附 录

附录 A 电机及电气技术实验装置.....	131
附录 B 电力传动实验常用电气简图的符号表.....	134
附录 C 数字万用表的使用	139
参考文献	143

基础篇

电机的分类方法有很多,可分为执行电机和控制电机,也可分为发电机和电动机,或按供电电源分为直流机和交流机。这里我们只介绍执行类电机的测试与实验,控制类电机的测试与实验将在《微型控制电机实验技术》中介绍。广义上的电机测试除了包括电机参数的测试、电机电磁性能的测试以外,还包括机械强度等方面的测试。这里,我们只关心电机参数和电机电磁性能方面的测试。另外,虽然在现代的生活中,不基于电磁感应定律和电磁力定律的电机已被生产、应用,但考虑到基于电磁感应和电磁力的电机仍占绝对主流,所以本书描述的仍是通常意义上的电磁变换类电机。

本篇为电机测试技术与实验的基础部分,将介绍电机测试中常用设备的使用方法、电机中电量和非电量的测试方法、测试中常用设备的选择以及测量值的准确提交等内容,为后面正确进行实验研究打下坚实的基础。

第1章 电机测试装置的选择与使用

测量离不开仪器,电机测试也是如此。本章主要介绍在电机测试中常用的仪表和仪器,力求完成对电机测试仪器的“识”、“选”、“用”。本章主要介绍功率表、频率表、相位表、转速表、示波器、摇表、LCR测试仪等常用仪表的选择与使用,还将介绍转矩测量装置、振动测量装置等测试仪器的原理与使用。

1.1 电机测试概述

一、电机测试技术的作用

电机作为一种能量转换或信号变换的能量变换装置,在国民经济各部门得到了广泛地应用。随着工农业生产的迅速发展、自动化程度的日益提高、家用电器的日趋普及,以及军事、航空、航天、航海等特殊领域现代化的要求,电机的品种和产量日益增加,对电机性能和质量等指标也提出了各种不同的要求。对电机性能和质量进行的评价,都要应用到电机测试技术。从专业角度来看,随着自动化技术和电力传动技术的发展,使得人们日益关心电机的使用与控制,而掌握电机的测试技术与实验技术则是高质量地使用与控制电机的前提。可见,电机测试技术在科研、生产和日常使用中都具有十分重要的地位。

近代电子技术和计算机技术为电机测试提供了许多先进的手段,为提高电机的测试精度和效率、进行动态性能测试提供了可能,对分析电机的性能提供了更多的便利。随着MCU、DSP、可编程控制器等在电机测试中的逐渐普及,目前电机测试已可以实现参数的自动测定、性能的自动测试、数据的快速采集和处理,一改长期以来依靠传统人工读数、人工记录、人工分析数据的低效率传统测试方法。

虽然,随着科技技术的发展,有些新型电机已不再是依靠电磁感应原理来工作了,例如超声波电机、生物电机等,但电机测试仍是其不可缺少的重要环节。

二、电机测试的特点

电机为了适应国民经济各部门的使用要求,在性能、结构形式、安装方法以及使用环境方面都有

许多不同,其种类和品种也非常繁多。例如,电机这种电磁机械装置既有静止的,又有旋转的;既有角位移形式的,又有直线运动形式的。与此相应,电机的技术指标也是多种多样的,要对这些技术指标进行测试,相应的就要有各种测试方法、试验设备以及电源装置。

虽然电机形式种类很多,但其工作原理基本都是基于电磁相互变换的。因此,电机构造的一般原则是用导电材料和导磁材料构成能互相进行电磁感应的磁路和电路,以产生电磁功率和电磁转矩,达到转换能量、变换信号的目的。由此可见,在电机测试过程中,既有电量的测量,又有磁量和非电量的测量。一般来说,电机测试除了要测量电压、电流、电阻、功率、功率因数等电学量以外,还要测量磁通、磁强、磁场方向等磁学量,以及转速、转矩、惯性时间常数、温度等非电磁量。

和其他测试一样,在电机测试中,通常也先将磁学量和非电量转换为电学量,然后再进行测量,所以电学量的测量是电机测试的基础。

在电机的电学量中,由于测量部位的不同、电机额定值的不同等原因,同一个电学量的值域范围可能会跨度很大。例如,电机绕组对机壳的绝缘电阻是5兆欧以上,而电枢绕组可能才100多毫欧;有些磁学量通过变换只得到几毫伏的电压或几毫安的电流,而电机的工作电压却有6000V或几千A。我们知道,当被测信号过小,引线电阻和寄生因素则会对测量结果有较大影响;当信号过大,漏电流和强电磁场对测量设备的干扰则可能会使测量者得到一个远离真值的测量结果。在电机测试中,电学量的值域范围经常出现在两个极端(毫级或兆级),这使得准确地完成电机测试变得比很多领域的测试要难很多。

另外,如前面所述,在自动化和电力传动领域,有些关于电机的测试,目的是为实时控制电机提供依据,所以高准确度、快速地量测成为电机的测试技术另一个重要特征。

综上所述,电机测试的特点可以总结为:被测量数量大范围广(既有电磁量又有非电磁量),被测量多是低值或高值,测量准确度要求高、测量速度要求快,测量过程比较简单,但有些量的精确测量较为困难。

1.2 电机测量仪表基础知识

所谓测量,就是通过物理实验的方法,把被测量与其同种类的、已知的标准量进行比较,以求得被测量的值,达到定量的认识过程。实际上,简单地说,测量就是将被测量直接或间接地与作为测量单位的同类量进行比较的过程。物理量的测量,主要包括以下三个方面:测量对象、测量方式和测量方法、测量设备(其中包括测量仪器仪表与电源(负载))。要想较好地完成对电机的物理量测试,除了要确定合理的试验方法之外,合理选择测量仪器仪表和设备也是必需的。例如,测量仪器仪表必须满足测量准确度和测量速度的要求。要想“选表(选仪器)”,首先就要“识表”,本节就将介绍“识表”的有关内容。

一、电机测量仪表的分类

电机测量中的电量主要有电压、电流、电功率、频率、相位、电路参数(电阻、电感和电容)和绝缘电阻等。测量这些电量的装置有很多,分类方法也各有不同。这里,我们将它们分为模拟式仪表、数字式仪表、比较式测量仪表、测量用变换器、记录仪表和示波器、自动化测试系统。

模拟式仪表是指利用电磁装置将电磁能转变为机械能的表计,并且在转换的过程中保持被测量与机械指示有确定的函数关系,其优点是能够及时简洁地反映被测量的大小,缺点是会因使用者经验不足或疏忽等原因,引起不应有的测量误差。电工测试和监控中,常见的各种带有指针的仪表几乎都属于模拟式仪表,故这类仪表也被称为指针式仪表。

数字式仪表利用集成芯片完成被测量的转换,并利用数码管、液晶显示屏或总线通讯数据来反映被测量的大小,其优点是精确度高,缺点是无法快速显示被测物理量的瞬时值,难以观测到被测量的

瞬态变化过程。

比较式测量仪表一般是指利用比较式测量法设计的测量仪器或仪表,如电桥、电位差计等。比较式测量仪表的测量精度一般要高于模拟式仪表,甚至高于一些数字式仪表。

测量用变换器则是指仪用电压互感器、仪用电流互感器、感应分压器、附加电阻、分流电阻等装置,它们起着变换量程的作用。在电机测试中,尤其是大容量电机测试中是不可或缺的测量设备。

记录仪表和示波器一般包括数据记录仪、电子示波器、光线示波器、数字示波器等。这类设备的共同特点在于:可以显示并记录被测电量随时间的变化过程。

二、仪表的几个关键指标

在测量工作过程中,需要对一些术语有所了解,常用的几个术语如下:

- 1) 分辨率:仪器仪表所能反映的被测量的最小变化值。
- 2) 精密度:在测量中所测数值重复一致的程度。它是测量重复性的量度。对于一般电工测试仪表,升降变差不应超过仪表的允许误差。
- 3) 灵敏度:仪器仪表读数的变化量与相应的被测量变化的比值。在只读仪表中,常用“V/格”,或“A/格”等表示。
- 4) 量程(量限):仪器仪表在规定的准确度下对应于某一测量范围内所能测量的最大值。
- 5) 精确度等级 α :反映仪表的准确度, $\alpha\% = \gamma_m$ (最大引用误差)。

下面,举一个例子来看一下。

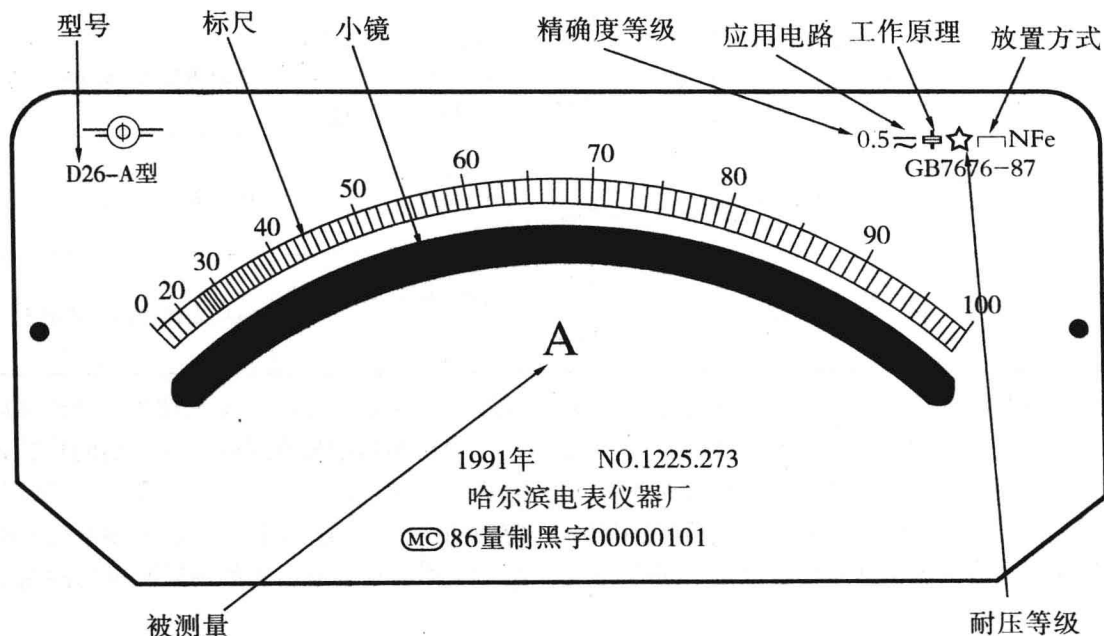


图 1.1 某指针式仪表表盘

通过这块表盘可以看出什么呢?通过被测量看出这是一块电流表,它的型号是 $D26-A$,最大量程为 $100A$,当然还可以看出生产厂家和生产编号。其实还可以知道该表的精确度等级是 0.5 级(最大引用误差为 0.5%),这块表是交直流两用表,属于电动系仪表,耐压为 $500V$,仪表使用时要求水平摆放。

模拟式仪表按工作原理分为磁电式、电磁式、电动式、感应式、静电式和整流式。模拟式仪表的精确度等级有 7 级,精度从高到低的排列为: 0.1 、 0.2 、 0.5 、 1.0 、 1.5 、 2.5 、 5.0 级,精度等级越小表示仪表的测量精度越高。

这里我们不过多地去谈模拟式仪表的结构和原理,只以列表的形式给出。目前使用最多的是磁电式仪表、电动式仪表和电磁式仪表。由于电磁式仪表抗外磁场能力较差,所以一般多作为电气柜的监视仪表,而较少用于电机测量。通过表 1.1 可以看出,指针式功率表、功率因数表从工作原理上来

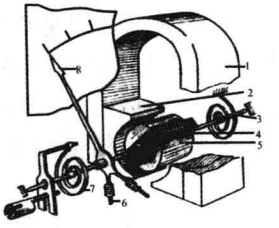
讲都是电动式,都是在 $\alpha = \frac{K}{W} I_1 I_2 \cos\phi$ 基础上通过电路改换得到的,它们的工作原理与电动式电流表相类似。通过表 1.1 可以看出除了静电式仪表,其他系仪表的基本测量量都是电流或与电流相关的函数,如果将分流器(分流电阻)串入电路中就可以实现对电压的测量,将被测量改造成基测量为电压或与电压相关的函数。通过表 1.1 还可以看出,目前可以作为直流电压或电流仪表使用的有磁电式仪表、电动式仪表和电磁式仪表,可以作为交流电压或电流仪表的有电磁式仪表、电动式仪表、整流式仪表、静电式仪表。

表 1.1 指针式仪表的对比

电表系列	标识符号	基本测量量	应用范围	电表读数(偏转角)	主要用途
磁电式		直流电流	直流 ----	$\alpha = \frac{K}{W} I$	电压表,电流表,电阻表,转速表,检流计,照度计,磁通计
电磁式		直流电流或交流电流有效值	交直流 	$\alpha = \frac{K}{W} I^2$	电压表,电流表,转速表
电动式		两直流电流或两交流电流及它们夹角余弦乘积	交直流 	$\alpha = \frac{K}{W} I_1 I_2 \cos\phi$	功率表,频率表,功率因数表,电压表,电流表
感应式		两交流磁通与它们夹角的正弦乘积	交流 	圆铝盘转数或脉冲发生数反映所测的有功或无功电能	有功电度表,无功电度表
静电式		直流或交流电压	交直流 	$\alpha = \frac{K}{W} U^2$	电压表
整流式		交流电流	交流 	0.45 或 0.9 倍有效值	电压表,电流表,频率表

既然磁电系仪表、电动式仪表和电磁系仪表都可以测量直流电压,那么使用时是否可以任意选择其中的一种类型呢?结论是否定的。表 1.2 给出了电机测试中最常用的 4 种系列的指针式电表的机构、工作原理和技术性能。通过表 1.2 可以得出:磁电式的直流电压表由于内阻大、灵敏度高,应是最好的选择。指针式仪表都要从被测量中吸收一定的功率,仪表内阻越大,对的被测量的影响越小;另外仪表允许的测试信号频段也是不同的,表 1.3 给出了不同系别电压表的内阻和可行的测试信号频段。

表 1.2 四大系指针式电表的机构及原理

系列	结构示意图	工作原理	技术性能
磁电式	 1. 永久磁铁 2. 极掌 3. 轴 4. 可动线圈 5. 圆柱形铁心 6. 平衡锤 7. 游丝 8. 指针	通以直流电流的动圈处于永磁铁提供的磁场的气隙中,磁场呈辐射均匀分布,动圈受力带动指针偏转	灵敏度:高(电流计可达 $10^{-7} A$, 检流计可达 $10^{-11} A$) 准确度:高 频率范围:直流 功耗:小 刻度特性:均匀刻度 抗外磁场能力:强

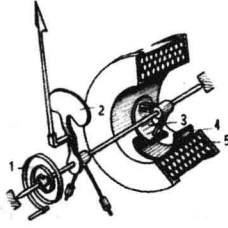
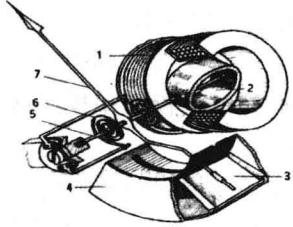
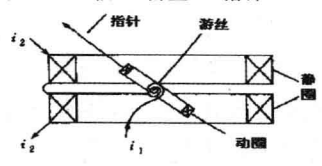
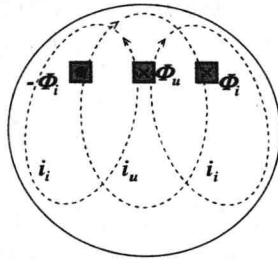
电 磁 式	 排斥式电磁系仪表的结构 1. 游丝 2. 阻尼翼片 3. 动铁心 4. 静铁心 5. 固定线圈	电流通过线圈产生磁场,使处于磁场中的静、动铁片同时被磁化,两者之间产生排斥力;固定在转轴上的动铁片带动指针偏转	灵敏度:低 准确度:低 功耗:大 刻度特性:不均匀 频率范围:直流、工频 ~ 几百 Hz 抗外磁场能力:弱
电 动 式	 电动系测量机构结构 1. 固定线圈 2. 可动线圈 3. 阻尼翼片 4. 5. 轴 6. 游丝 7. 指针 	通以电流 i_1 的动圈,在电流 i_2 产生的静圈磁场中受力,从而带动指针偏转	灵敏度:较高 准确度:较高,可达 0.1 级 频率范围:直流、工频 ~ 几千 Hz 功耗:大 刻度特性:对于功率测量,刻度均匀;对于电压、电流测量,刻度不均匀 抗外磁场能力:弱
感 应 式		交变磁通 Φ_u 和 Φ_i 在圆铝盘中分别感生出涡流 i_u' 和 i_i' 。 i_i' 与 Φ_u 作用以及 i_u' 和 Φ_i 作用,产生使铝盘旋转的力矩	

表 1.3 电压表的性能比较

电表种类		量 程					使用频率范围				内 阻			最高准确级	
		10 ⁻⁴	10 ⁻²	10 ⁰	10 ²	10 ⁴ V	直流	10 ¹	10 ³	10 ⁵ Hz	10 ¹	10 ³	10 ⁵ Ω/V		
模 拟 式	磁电系	_____					•	_____				_____			0.05
	电磁系	_____ *					•	_____				_____			0.1
	电动系	_____ *					•	_____				_____			0.05
	静电系	_____					•	_____				兆欧以上			0.5
	整流式	_____					_____				_____			0.5	
	晶体管式	_____					_____				兆欧级			约 1.0	
数 学 式	直流	_____					•	_____				兆欧级			
	交流	_____					_____				几百兆欧				

* 测高电压时须配合电压互感器使用

附录 B 给出了更多的电气简图常用符号,记住和识别这些常用图符将有助于进行电机的测试和实验工作。

1.3 仪表的选择

一、模拟式与数字式的选择

目前,电工已进入数字化时代,那么在电机测试中,到底选择模拟式仪表好呢?还是选择数字式仪表好呢?答案是:要按实际情况来定,模拟式和数字式各有其好处。

例如,数字表可以规避实验人员的读数误差,而模拟表的测量准确度受读数误差的影响则要大些。当电机中的被测电量数值范围较宽时,一般选择数字表比较方便。以电阻为例,直流电机的电枢电阻可能只是几百毫欧、励磁电阻则是接近百欧、电机的绝缘电阻则是兆欧级。若采用模拟式仪表测量,在测量电枢电阻时,偏差会很大,必须进行特殊处理才行,而采用数字仪表则会好些。因为,数字表尤其是带保护端的数字表,能很好地削弱混入干扰信号的影响、抑制共模和串模干扰,在存在各种电场、磁场和各种高频噪声干扰或进行远距离测量时效果尤为明显。

当希望观察某个电量的瞬变范围时,例如,拟观测同步发电机励磁模块的励磁电压变化范围,在没有高速数字采集设备或记忆示波器的情况下,选择不带阻尼的指针式仪表就可以完成观测任务,而数字式仪表则难堪重任。因为数字式仪表是利用 A/D 转换得到被测量的量值,A/D 转换所需要的转换时间(目前数字表多是积分式 AD)和滤波器的延迟作用使得数字式仪表响应时间比较长,数值要等一段时间后才能稳定地显示出来。

在保证足够精度的条件下,因为指针式电工仪表有价格便宜、使用方便、利于观察、对使用人员相对要求不高等优点,目前在电机各种试验中,指针式电工仪表仍占很大比例。即使在工业发达国家,这种仪表也被大量地使用着,相信今后很长时期它也绝不会被数字式仪表完全取代。

另外,应留意自动测试系统的发展,例如 PXI 框架的测试系统。编者认为,目前制约自动测试系统在电机测试中广泛应用的最主要原因还是在易用性上,一旦解决了这一问题,电机测试将进入一个崭新的阶段。

二、指针式电工仪表的选择

在电机试验中选择指针式电工仪表的主要依据:首先是测试电机参数的种类和所要求的精度。这通常在试验大纲中应有明确的要求。例如在国家标准中规定,采用的电气测量仪表的准确度应不低于 0.5 级(绝缘电阻表除外);三相瓦特表的准确度应不低于 1.0 级;互感器的准确度应不低于 0.2 级;电量变送器的准确度应不低于 0.5% (检查试验时应不低于 1%);数字式转速测量仪及转差率测量仪的准确度应不低于 0.1% 读数 ± 1 个字;转矩测量仪及测功机的准确度应不低于 1% (实测效率时应不低于 0.5%);测力计的准确度应不低于 1.0 级;温度计的误差在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内。

仪表精度选择过高显然会造成浪费,反之,过低则测试数据误差较大,保证不了对参数测试精度的要求。其次,还要注意试验线路图的要求及试验现场的环境条件。例如外界磁场、电场干扰情况,有无大的机械振动,线路中有无过载要求,温、湿度条件及其变化情况。如果试验现场受外界电、磁场干扰和振动的影响,则可以考虑选择能防外界电、磁场干扰的耐振级高的电工仪表。如需精密测量及所测量值甚小时,可能还要考虑电工仪表的屏蔽保护。

选择仪表量限时,应使测量值位于 20% ~ 95% 仪表量程范围内。例如在用两瓦特表法测量三相功率时,应尽量使被测电压及电流值分别不低于瓦特表的电压量程及电流量程的 20%。还要说明的是,那种认为:要想使电机参数测量得精确,选用仪表的精度越高越好的想法是片面的。正确的选择方法是:在保证足够精度的条件下,仪表的读数应在刻度线的 $2/3$ 以上(对于欧姆表则最好在 $1/2$ 刻度处),此时测量的相对误差不会超过 1.5 倍的该仪表的最大引用误差。

下面举例子以说明。

【例】在交流电机参数测定时,要测量定子铁芯的铁损耗,这时就要选用瓦特表。假如首先选用一个0.5级150分度的普通瓦特表A,设测量时仪表指示在10分度处,

此时A表的测量的绝对误差为 $\Delta_1 = 150 \times 0.50\% = 0.75$ 格,

10分度处绝对误差亦为 0.75 格,

而测量点的相对误差应为 $\gamma_1 = \Delta_1 / X = 0.75 / 10 \times 100\% = 7.5\%$ 。

如改选用1.0级,75分度, $\cos\phi = 0.1$ 的低功率因数瓦特表B,测量同一量时,指针指示50分度处。

B表的绝对误差是 $75 \times 1.0\% = 0.75$ 格,

则测量点的相对误差为 $\gamma_2 = 0.75 / 50 \times 100\% = 1.5\%$ 。

由此可见,在测量同一量时,由于1.0级低功率因数瓦特表读数在刻度线的2/3处,其测量的相对误差仅为1.5%,而0.5级仪表虽然精确,但由于读数远低于刻度线的2/3,同一点的相对误差却高达7.5%,竟高出1.0级仪表的5倍。由此不难看出在电机试验中正确选用仪表的重要性了。

下面,总结一下指针式仪表的选择和使用注意事项:

(1)被选仪表的精度应略高于测量对象的允许误差,但不要片面追求使用精度等级过高的仪表;

(2)直流电流、电压的测量最好选用磁电系直流电流表或电压表,因其刻度均匀、易读数、且受外界电、磁场和温度的影响小及耐振等,而不选用电磁系、电动系交直流两用电压表和电压表,因这两类仪表没有上述优点;

(3)对测量精度要求较高时,最好选用带游标刻度的0.2级以上的电工仪表,以最大限度地消除视差;

(4)测量交流量时,需注意仪表的使用频率应在仪表规定的频率范围之内,否则将会增加附加误差;

(5)要求不消耗或少消耗线路电能的电压测量,应选用静电系仪表,因这种类型仪表本身基本上不消耗电能;

(6)测量电机空载、负载损耗时,不应选用普通瓦特表,既使其精度较高也不行,一定要选用低功率因数瓦特表($\cos\phi = 0.1$ 或 0.2);

(7)零位在中间的双向双刻度电工仪表,其精度等级是以两边测量最大刻度之和的百分值表示的。在只按单向用表时,其相对测量误差则加大,所以在无特殊双向测量要求的条件下,不应选用这类电工仪表;

(8)当利用带45mV或75mV接线端的电压表,外接分流器,测量大电流时,必须用仪表所带的补偿导线连接分流器与仪表。否则,用普通导线将增加附加误差,从而降低精度。这时的测量精度降为: $\sqrt{(\text{仪表精度})^2 + (\text{分流器精度})^2}$

(9)同理,利用电流或电压互感器进行扩大量程测量时,其测量精度的降低也按上式计算;

(10)在应用相位表、欧姆表、频率表时,其电压的变化范围不能超过仪表的允许值,否则会加大测量误差;

(11)使用瓦特表时,要注意瓦特表的电压、电流的额定值,不应为使瓦特表指示到某一刻度,而只靠调整电流或电压来达到,甚至调到超过额定值;

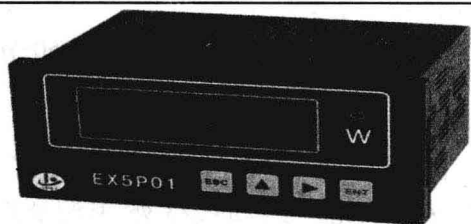
(12)在电机研究试验中,如若测量磁量,可设计特殊电路,再配用平均值电压表(国外也称为磁通伏特计),可测磁通密度的值;如选配合适的互感线圈,用两台平均值电压表还可测量铁芯材料的交流磁化曲线;

(13)测量交流功率时,要注意功率因数的影响,并注意接线柱的*或±符号。标有此符号的接线柱叫发电机接线柱,一般它应接电源,而不接负载,并且电流、电压带符号的接线柱还应接在一起。

三、数字式仪表的选择

数字仪表具有体积小,重量轻,耗电少、串模抑制比和共模抑制比高的特点,目前已经广泛用于工

业现场。数字仪表的技术指标一般包括:输入信号类型、信号频率范围、输入量程、过载能力、测量显示速率、测量精度、显示方式、有无控制输出能力、有无标准信号变送输出能力、有无通讯接口以及通讯方式和通讯规约、工作电源要求、工作环境等。下面,以力创公司的 EX5P01 数字式功率表为例,来进行数字式仪表的选择说明。



EX系列4位LED显示数字功率表

主要技术参数:

1. 输入信号 交流 ~500V 电压;交流 0 ~10A 电流,信号频率:50Hz $\pm$ 10%;
输入量程:(相电压)60V、100V、250V、380V、500V 可选;5A、10A 可选;
过载能力:电压信号 1.2 倍量程/正确测量;1.5 倍量程/连续;3 倍量程/1S;
电流信号 1.2 倍量程可正确测量;过载 5 倍量程输入(10 周波)200ms 不损坏。
2. 测量显示速率:2 次/秒。
3. 测量精度:0.5% FS $\pm$ 1 字。
4. 显示方式:4 位 0.36/0.56/0.8 英寸高亮度 LED 数码管显示;
5. 显示倍率:电压 1 ~1000;电流 1 ~2000;可设定;
6. 控制输出:控制/报警输出,可选择输出继电器上下限控制/报警输出,输出触点容量:AC 250V/5A;DC 30V/5A;
7. 变送输出:DC 4 ~20mA(负载电阻 $\leq$ 300 Ω);
8. 通讯接口:标准双向串行通讯:RS232/RS485(可选);标准 MODBUS - RTU 通讯规约;
9. 工作电源:DC +12V、AC220V/110V 可选;功耗 $\leq$ 2W(线性电源); $\leq$ 1.5W(开关电源);
10. 工作环境:工作温度:0 $^{\circ}$ C ~50 $^{\circ}$ C;贮藏温度:-40 $^{\circ}$ C ~70 $^{\circ}$ C;湿度:20% ~90% I(无凝露)。

在我们接触数字仪表的时候,首先会碰到诸如 $3\frac{1}{2}$ 位、 $3\frac{3}{4}$ 位、4 位、 $5\frac{1}{2}$ 位等这样的参数,这就是数字仪表的位数。它是判断一款数字仪表性能好坏的一个重要因数,通过它我们可以算出仪表的计数能力,位数越高表示仪表越精确。那么我们怎么样判断仪表的位数呢? EX5P01 是一款 4 位数字功率表,这表示它的示数可以从 0000 - 9999(通常也说成 10000 计数),对于我们常用的 $3\frac{1}{2}$ 位数字式万用表,则表示除去最高位,其他 3 位均可以显示出 0 - 9,而最高位只能为 0,1 两个数字,但在正常情况下,最高位的 0 是不予以显示的,也就是说在 0 作为最高位的情况下是无显示的,所以能够真实显示出来的就只有数字 1。这时候我们就称之为 $1\frac{1}{2}$ 位。同样的道理,对于一款 $3\frac{3}{4}$ 位的仪表,它可以全显示的有三位,而最高能显示四个数字,但只有三个数值是有效的,那么这款仪表应为 4,000 计数。换句话说,位数是由能够全显示位数的个数,和以最高位显示的数字为分母、有效显示的数字为分子的分数,共同组成数字仪表的主要参数——位数。

另一个需要关注的量被称为解析度。所谓解析度就是我们在测量一个数值时,仪表在某一挡位能够显示的最小精确单位。比方我们使用某数字电压表测量一个 5V 电压时,将挡位设置在 12V,显示出来的是 5.0000V,最小能显示的是 100 μ V,那此时解析度就是 100 μ V。而最小解析度的概念则是万用表在它的最低挡位所能显示出来的最小精确单位。例如,某数字电压表的最低电压挡位是 120mV,那么在这个挡位下它能够显示出来的最小精确单位是 1 μ V,所以此表的最小解析度是 1 μ V。

测量精度是表示了使用此表的最大误差,要注意,我们衡量一次测量好坏的标准只有一个——相对误差。测量的相对误差越小,表示此次测试越好。还有,对于某些电机测试内容,还要关心数字仪表的响应时间、测量速度、频率响应。响应时间越短越好,但有一些表的响应时间比较长,要等一段时

间后读数才能稳定下来;测量速度应根据是否与系统测试联用,如联用时,速度就很重要,必须和整个系统匹配;频率响应,则根据所测量的信号合理选择。

仪表是否与外界有交互能力(如通讯接口、变送输出能力、控制输出能力)对一般测试意义不大,但在实时监测时,应尽量选择有交互能力的仪表。通讯方式和通讯规约这里就不介绍了,有兴趣的读者可以参看相关书籍或资料。工作环境和供电电源一般工业和实验环境都可以满足,一般不必理会。

[例]设欲利用 EX5P01 数字式功率表监测容量为 26KVA/400V 的同步发电机的功率,应选择相电压为 250V 的电压模组,通过计算额定电流为 37.5A,此时可以选择 50/5A 电流互感器和 5A 的电流输入模组。

1.4 常用仪表的使用

一、电压表和电流表

电压是基本的电参数,其他许多电参数都可看作电压的派生量,由于电压测量方便,因此电压测量成为电子测量中最基本的测量。电压表按其工作原理和读数方式分为模拟式电压表和数字式电压表两大类。

(1) 模拟式电压表

模拟式电压表又叫指针式电压表,一般都采用磁电式直流电流表头作为被测电压的指示器。测量直流电压时,可直接或经放大(或经衰减)后变成一定量的直流电流驱动直流表头的指针偏转指示。测量交流电压时,必须经过交流一直流变换器即检波器,将被测交流电压先转换成与之成比例的直流电压后,再进行直流电压的测量。

(2) 数字式电压表

数字式电压表实际上就是一种用 A/D 变换器作测量机构,用数字显示器显示测量结果的电压表。测量交流电压及其他电参量的数字式电压表多在 A/D 变换器之前对被测电参量进行转换处理,将被测电参量变换成直流电压。A/D 变换器是数字式电压表的核心部分,它的变换精度、分辨力、抗干扰能力直接影响数字式电压表的测量精度、灵敏度和抗干扰能力。数字电压表一般按功能分为直流数字电压表和交流数字电压表。直流数字电压表按 A/D(模拟/数字)转换器方式分为比较型、积分型和复合型。交流数字电压表按检波器 AC/DC(交流/直流)变换原理分为峰值型、平均值型和有效值型交流数字电压表。A/D 转换器最基本的两种类型是积分型和比较型。前者抗干扰能力强,测量精度高,但测量速率低;后者测量速度快,但抗干扰能力差。总的来说,积分型特别是双斜积分式 DVM 性能较优,应用较广泛。

(3) 波形因数 K_F 和波峰因数 K_P

一个交流电压可用峰值 U_P 、平均值 $\bar{U}$ 和有效值 U 表征其大小,三者之间的关系用波形因数 K_F 和波峰因数 K_P 联系。交流电压表一般都以正弦交流电压有效值标度。测量非正弦波时,应根据电压表 AC/DC 转换器(检波器)类型及波形的 K_F 和 K_P 值进行波形换算,否则将带来较大的波形误差。

考虑到正弦波是最基本的和应用最普通的波形以及有效值的实际意义,几乎所有的交流表都是按照正弦波有效值标度的。显然,如果检波器不是有效值响应,则标称值(即示值 U_α)与实际响应值之间存在一个系数,此系数即为定度系数,记作 K_α 。

对于均值响应检波器,在额定频率下加正弦波电压时的示值为 $U_\alpha = K_\alpha \bar{U}$,所以 $K_\alpha = U_\alpha / \bar{U} = K_F = 1.11$ 。由此可知,如果用均值电压表测量纯正弦波电压,示值 U_α 就是被测电压正弦波的有效值。如果被测电压是非正弦波电压时,其示值并无直接的物理意义,只有把示值经过换算后,才能得到被测电压的有效值。首先按“平均值相等示值也相等”的原则将示值 U_α 折算成被测电压的平均值: $\bar{U} = U_\alpha / K_\alpha \approx 0.9 U_\alpha$;再用波形因数 K_F (如果被测电压的波形已知)求出被测电压的有效值: $U_x = K_F \bar{U}$ 。

综上所述,波形换算的方法是:当测量任意波形电压时,将测量结果(即表盘上的示值)先除以定