

电测量仪表.....

DIANCELIANG YIBIAO
SHIYONG RUMEN

使用入门

● 刘润民 刘亚涛 编著



中国计量出版社
CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

电测量仪表使用入门

刘润民 刘亚涛 编著

中国计量出版社

图书在版编目(CIP)数据

电测量仪表使用入门/刘润民, 刘亚涛编著. —北京: 中国计量出版社, 2010. 12

ISBN 978-7-5026-3370-7

I. ①电… II. ①刘… ②刘… III. ①电子测量设备—使用
IV. ①TM930.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 216663 号

内 容 提 要

本书从实用角度介绍了电测量仪表的基本知识, 主要包括: 变送器、电测量指示仪表、兆欧表、电桥、数字式仪表、互感器、电能测量、电能表检定装置、电能计量装置、电学量具及仪表测量实例等。

本书适合电气专业技术人员阅读, 也可作为有关技术工人的培训教材及参考资料。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话 (010) 64275360

<http://www.zgjl.com.cn>

北京市媛明印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

850 mm×1168 mm 32 开本 印张 5.875 字数 150 千字

2011 年 1 月第 1 版 2011 年 1 月第 1 次印刷

*

印数 1—2 000 定价: 16.00 元

前 言

近年来，随着电子技术的不断发展，相应的电测量仪器及设备也在不断地更新换代。例如，机械式指示仪表被数字式指示仪表所代替；感应式电能表被电子式电能表所代替；电工式电能表检定装置被电子式电能表检定装置所代替，等等。为了适应时代的发展，电测量技术人员要不断刻苦钻研，特别是那些初学者，更需要用新技术、新知识来武装自己。

本书以电测量仪表（如电压表、电流表、功率表、万用表、电桥等），电能计量设备（如感应式电能表、电子式电能表、电能表检定装置等）为主，对它们的原理、特点以及使用方法和注意事项等进行了阐述。本书内容通俗易懂，采用实物图、原理框图等形式，讲述和分析了常见的仪器和设备。知识面广，但并不复杂，很适合电测计量人员以及对仪表感兴趣的读者阅读。

本书由河北省电力研究院刘润民和石家庄供电公司调度所刘亚涛编著。编写过程中，广泛参考和引用了众多专家、学者的文章、著作以及相关技术文献，在此一并表示衷心的感谢。由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

2010 年 11 月

目 录

1 基本知识	(1)
1.1 测量的分类	(1)
1.2 测量误差	(3)
2 变送器	(6)
2.1 概述	(6)
2.2 电测量变送器	(7)
2.3 电压变送器	(8)
2.4 电流变送器	(9)
2.5 三相三线有功功率变送器	(10)
2.6 频率变送器	(11)
2.7 相位角变送器	(12)
3 电测量指示仪表	(14)
3.1 概述	(14)
3.2 磁电系仪表	(15)
3.3 电动系仪表	(26)
4 兆欧表	(36)
4.1 磁电系指针式兆欧表	(36)
4.2 数字式兆欧表	(39)
5 电桥	(42)
5.1 概述	(42)
5.2 直流单臂电桥	(43)
5.3 直流双臂电桥	(47)
5.4 交流电桥	(49)

6	数字式仪表	(56)
6.1	数字功率表	(56)
6.2	数字电压表	(57)
6.3	积分型数字电压表	(58)
6.4	单片机控制随机数字电压表	(59)
6.5	数字万用表	(61)
6.6	常见转换器简介	(66)
7	互感器	(70)
7.1	常用互感器	(70)
7.2	光电互感器	(80)
8	电能测量	(83)
8.1	感应式电能表	(83)
8.2	复费率分时电能表	(101)
8.3	电子式多功能电能表	(104)
8.4	电子式有功电能表	(106)
8.5	预付费电能表	(108)
8.6	标准电能表	(109)
8.7	标准电能表现场校验仪	(111)
9	电能表检定装置	(115)
9.1	概述	(115)
9.2	电能表检定装置的选择	(119)
9.3	指示仪表等级要求	(120)
10	电能计量装置	(122)
10.1	电能计量装置的选择	(122)
10.2	电能计量装置的准确度	(124)
10.3	电能计量装置的检查	(125)
11	电学量具	(129)
11.1	概述	(129)
11.2	标准电池	(129)

11.3	标准电阻	(131)
11.4	电阻箱和分压箱	(133)
11.5	标准电感	(135)
11.6	标准电容	(136)
12	仪表测量实例	(139)
12.1	万用表测量实例	(139)
12.2	绝缘电阻表测量实例	(152)
12.3	电能表测量实例	(157)
附录	电测仪表综合试题选编	(160)
I	电测量指示仪表	(160)
II	电能表及计量装置	(170)
参考文献		(179)

1 基本知识

测量是指为了确定被测对象的量值而进行的实验过程，在这个过程中，借助于专门设备将被测量与同类的单位量进行比较，从而确定出被测量与单位量之间的数值关系。要完成一个测量过程，必须满足三个条件：一是被测对象；二是量具或标准器具；三是能把被测量和标准器具进行比较的设备，也可称之为测量设备。测量实际上就是将被测量与标准量在测量设备上直接或间接地进行比较。

1.1 测量的分类

由于被测对象的不同、实验条件和所要求的准确度不同，测量方法也就随之不同。一般按以下几种方法对测量进行分类：

1.1.1 按获得测量结果的方式分类

可分为直接测量、间接测量和组合测量。

(1) 直接测量是指无需对测量被测量有函数关系的其他量，而能直接得到被测量值的测量。例如，用电压表和电流表测电压和电流，用米尺测量长度等，均属于直接测量。

直接测量所用的方法包括直读测量法和比较测量法。

(2) 间接测量是指通过测量与被测量有函数关系的其他量才能得到被测量值的测量。例如，通过测量长度确定矩形面积，通过测量电阻和流过电阻的电流来确定电压和功率等，均属于间接测量。

(3) 组合测量是指将测量得到的一定数目的量值与一组被测

量按若干种不同的函数关系进行组合，列出一组方程，然后通过解方程组来得到被测量值的测量。

1.1.2 按测量条件分类

可分为等精密度测量和不等精密度测量。

(1) 等精密度测量是指在相同的测量条件下，对同一被测量进行连续多次的测量。这里所说的相同条件是指：同一测量程序，同一测量工具，同一观测者，同一地点，同一使用条件，以及在较短时间内进行重复测量。例如，测电能表的标准偏差估计值。

(2) 不等精密度测量是指在不同的测量条件下，对同一被测量进行的多次测量。所谓的不同的测量条件是指：在上述各测量条件中有一个或几个条件不同。测量时要注意是哪些条件不同。

1.1.3 按被测量在测量过程中所处的状态分类

可将测量分为静态测量和动态测量。

(1) 静态测量是指测量期间被测量值可被认为是恒定的量的测量。

(2) 动态测量是指为了确定被测量的瞬时值及（或）其随时间变化的量所进行的测量。

1.1.4 按测量原理和测量工具分类

可以把测量归结为直接估计法和比较法两大类。

(1) 直接估计法是根据一只（直接测量时）或几只（间接测量时）测量工具的示值对被测量的量值进行估计。

(2) 比较法的内容比较广泛。这种测量方法的特点是将被测量的量值与由已知其值所复现的量值进行比较。

比较法又可分为以下几种：

① 直接比较测量法。将被测量直接与已知其值的同种量相比较的测量方法。

② 零位测量法。调整已知其值的一个或几个与被测量有平衡关系的量，通过平衡关系确定被测量值的方法。

③ 替代测量法。用选定的而且已知其值的同种量代替被测量，在指示装置上得到相同效应，以确定被测量值的测量方法。

④ 微差测量法。将被测量与同它只有微小差别的已知同种量相比较，通过测量这两个量值间的差值确定被测量值的测量方法。

⑤ 异号测量法。测量时使误差出现两次，并且两次的符号相反，取其算术平均值以消除误差的方法。

1.2 测量误差

1.2.1 误差的来源

① 测量设备（包括仪器仪表、量具及实验用的各种辅助设备）引起的误差。这种误差是测量工具固有的误差，是不可避免的，而且往往是测量误差的主要来源。

② 测量方法引起的误差。此误差是由于所依据的理论不严密或所用的测量方法不完善所引起的误差。

③ 测量人员引起的误差。由于测量人员主观因素和操作技术所引起的误差，主观因素包括心理因素和生理因素。

④ 测量环境引起的误差。由于实际工作条件与标准工作条件不一致所引起的误差。

1.2.2 误差分类

（1）系统误差

在重复性条件下，对同一被测量进行无限多次测量所得结果的平均值与被测量的真值之差称为系统误差。

系统误差按其变化规律又可分为以下两类：

① 固定值的系统误差，又称定值系统误差，其值（包括正

负号) 恒定。例如, 由于零位调节不准而引起的零值误差、计量器具分度不准引起的读数误差等。

② 随条件变化的系统误差, 又称变值系统误差。这类系统误差分量的值按确定的、而且通常是已知的规律随某些测量条件变化。例如, 由于干电池内阻变化引起的测量误差、温度在上升或下降过程中引起的测量误差等。

(2) 粗大误差

明显超出规定条件下预期的误差称为粗大误差, 简称粗差。引起粗大误差的原因有: 错误读取示值; 使用了有缺陷的计量器具; 计量器具使用不正确或环境的干扰等。因为这种误差的产生是由于测试人员的疏忽或过失造成的, 所以, 又称之为疏忽误差或过失误差。测量结果带有的粗大误差应按一定规则予以剔除。

(3) 随机误差

测量结果与在重复性条件下, 对同一被测量进行无限多次测量所得结果的平均值之差称为随机误差。

随机误差的特点是缺乏规律性, 具有随机性。在测量过程中有许多因素会发生一些微小的变化, 使得在同样条件下每次测量结果不尽相同。例如, 电源电压的变化就是随机的, 围绕平均电压起伏变化。

1.2.3 误差的表示

测量误差是测量结果与被测量的真值之差。它可以用绝对误差表示, 也可以用相对误差表示。

(1) 绝对误差 (Δ_x) 是测量结果 (X) 与被测量真值 (X_0) 的差值。

$$\Delta_x = X - X_0$$

(2) 相对误差 (γ) 即绝对误差 (Δ_x) 与真值的比, 通常用百分数表示。

$$\gamma = \frac{\Delta_x}{X_0} \times 100\%$$

由于真值只是一个理想的概念，一般是不可知的，所以，真值常用实际值来代替。实际值是满足规定准确度的用来代替真值使用的量值。

1.2.4 准确度和不确定度

(1) 准确度是测量结果中系统误差与随机误差的综合，表示测量结果与真值的一致程度。目前，仪表的准确度等级是根据其本身的误差而定的。

(2) 不确定度表示由于测量误差的存在而对被测量值不能肯定的程度。误差是以真值为中心，它反映的是测量结果与真值的差异；不确定度则是以测量结果为中心，用它估价测量结果与真值相符合的程度。

2 变 送 器

2.1 概述

在电力系统中，高电压、强电流虽然可以经过电压互感器降成低电压，经过电流互感器将大电流变成小电流，但仍不能直接输入给微机远动装置，还需要再次进行变换，将电压互感器二次侧的交流电压值（ $0\sim 100\text{V}$ ），将电流互感器二次侧的交流电流值（ $0\sim 5\text{A}$ ）变换成适合微机远动装置处理的信号（所谓远动就是应用远程通讯技术，对远方的运行设备进行监视和控制，以实现远程测量、远程状态、远程控制 and 远程调节等各项功能）。

变送器是微机远动系统和微机监测系统的感受元件。在电力系统中，各种参数的变化都是通过变送器传给远动系统和微机监测系统的。

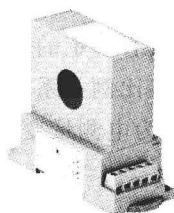
变送器按照所转换传送的内容，可分为电量变送器和非电量变送器。按照输入量的性质，可分为直流变送器和交流变送器。按照所变送的是模拟量还是数字量，可分为模拟式变送器和数字式变送器。

在电力系统中应用着各种电量变送器，例如，交直流电流变送器、交直流电压变送器、功率变送器、频率变送器等（图 2—1）。这些变送器输出的电压、电流或数字信号可供远动装置使用。

在电力系统中，由于各回路的电流、功率、各母线的电压在



(a) 电量变送器



(b) 单相功率变送器

图 2-1 变送器

时间上都是连续变化的，所以都属于模拟量。为了进一步使微机远动装置与强电系统互相隔离，防止电气干扰进入微机系统，同时为了满足微机系统在数据采集过程中将模拟量转换为数字量，将 $0\sim 100\text{V}$ 的交流电压、 $0\sim 5\text{A}$ 的交流电流等模拟量变换成统一的 $0\sim 5\text{V}$ 的支流电压信号或 $4\sim 20\text{mA}$ 的支流电流信号的测量仪器，就是常规的电量变送器。

2.2 电测量变送器

电测量变送器是将被测电量（电流、电压、有功功率和无功功率、频率、相角和功率因数等）变换成与之成比例的直流输出信号的测量仪器。它实质上是一种测量值变换器，输出的直流信号可与系统的远动装置、计算机、测量显示仪表的输入匹配，组成自动化测量和监控系统，应用范围极为广泛。

变送器用作测量信号时，可以通过电缆线直接与测量仪表相连。用作控制信号时，目前它一般与计算机相连。在与计算机相连前，尚需经过“模拟量到数字量”的转换装置，将变送器的输出信号转换成为计算机所能接收的数字量。因此，要求电测量变送器的输出电压（电流）应在很大范围内不随负载阻抗而变化，也就是说要求电测量变送器的输出量具有接近恒压（或恒流）的

特性，使其输出信号仅反应输入量的大小而与负载阻抗无关。为了使变送器具有一定的通用性及准确性，必须要求其输入量与输出量之间保持比例关系。

图 2-2 为电测量变送器在电力系统测量中的应用。

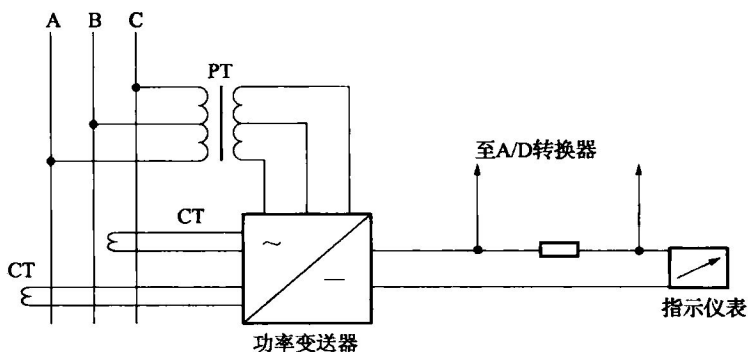


图 2-2 变送器在电网中的应用

2.3 电压变送器

图 2-3 为单相电压变送器实例图。



图 2-3 单相电压变送器

电压变送器的原理接线图如图 2-4 所示。从电压互感器

二次侧引来的 $0\sim 100\text{V}$ 交流电压接到输入端子 1、2，经电压变送器 TU 降压和整流、滤波后由端子 3、4 输出 $0\sim 5\text{V}$ 直流电压。

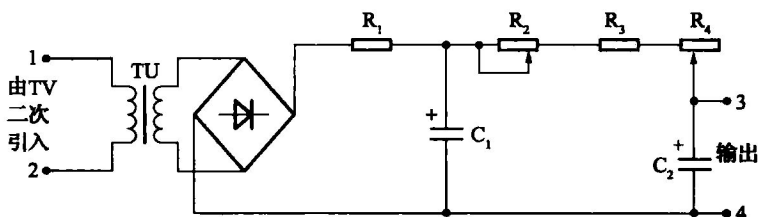


图 2-4 电压变送器原理图

2.4 电流变送器

图 2-5 为单相电流变送器实例图。

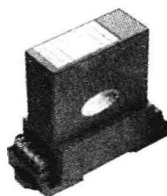


图 2-5 单相电流变送器

电流变送器的原理接线图如图 2-6 所示。电流变送器的工作原理与电压变送器基本相似，不同之处是：输入端 1、2 应串联接于电流互感器的二次侧回路， R_1 为电流变换器的固定负载；由电流变换器 TI 变换后的电压信号经桥式整流之后，由电阻 R_3 和晶体二极管 V 串联组成一个相当于可变电阻的非线性补偿电路，用以补偿电流较小时因 TI 铁心磁化曲线起始段的非线性而引起的误差。

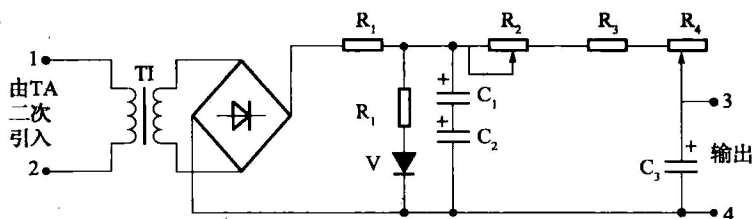


图 2-6 电流变送器原理图

2.5 三相三线有功功率变送器

图 2-7 为三相功率变送器实例图。



图 2-7 三相功率变送器

图 2-8 为三相功率变送器的原理框图，其主要由以下部分组成：

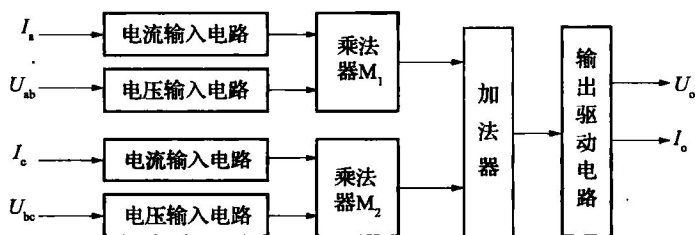


图 2-8 三相功率变送器原理框图

(1) 输入部分

主要是由电压互感器和电流互感器及取样电路组成。其主要