

中国高等教育培训中心
高职信息类专业国际合作组织

联合引进



德国国家远程教育中心 (ZFU) 批准

电气技术人员认证远程教育课程

【德】Robert Eckert博士远程教育学院 编著

测量技术 (第一册)



电气技术人员认证远程教育课程

测量技术

第一册

[德] Robert Eckert博士远程教育学院 编著
北京泛华德教育科技有限公司 翻译

华文出版社

图书在版编目(CIP)数据

测量技术/德国Robert Eckert博士远程教育学院编著;
北京泛华德教育科技有限公司译—北京: 华文出版社, 2009.12

电气技术人员认证远程教育课程
ISBN 978-7-5075-2958-6

I. ①测… II. ①德…②北… III. ①电子测量—工程技术人员—远程教育—教材 IV. ①TM93

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第213440号

电气技术人员认证远程教育课程：测量技术(第一册)

- 编 著： 德国Robert Eckert博士远程教育学院
翻 译： 北京泛华德教育科技有限公司
责任编辑： 吴 晶
责任校对： 华 一
出版发行： 华文出版社
社 址： 北京市宣武区广安门外大街305号8区2号楼
邮政编码： 100055
网 址： <http://www.hwCBS.com>.
投稿邮箱： hwCBS@126.com
电 话： 010-58336255 010-58336259
经 销： 新华书店
印 刷： 北京市艺辉印刷有限公司
开 本： 210×297 1/16
印 张： (全套3册)32
字 数： (全套3册)830千字
版 次： 2010年2月第1版
印 次： 2010年2月第1次印刷
标准书号： ISBN 978-7-5075-2958-6
定 价： (全套3册)177.00 元
-

版权所有，侵权必究

德国《电气技术人员认证远程教育课程》中文版

导言：光荣与梦想

众所周知，德国是一个高度发达的工业化国家，在德国工业化进程中，德国政府始终如一地把职业教育作为国家经济发展的中坚力量，这不仅体现在理论上，更重要的是在教育实践中创造出闻名于世的“双元制”职业教育模式。进入新世纪后又发起了“职业教育攻势国家行动”，设立了全国“职业教育日”，颁布实施了新的《联邦职业教育法》等发展职业教育的重大举措。摆在我们面前的这套11000页，1800万字完整的电气技术专业课程，由中国高等教育培训中心、高职信息类专业国际合作组织联合引进，经德国国家远程教育中心批准，Robert Eckert博士远程教育学院编写的电气技术人员认证远程教育课程，就是在这样的经济社会环境制约下的德国职业教育课程一个具有代表性的建设成果。

在欧洲颇具影响的Robert Eckert博士远程教育学院根据职业院校培训框架计划开发的课程充分体现了学校配合企业的培训设计学习领域，实施项目教学。可以看出，这套课程是对学科体系的调整与改革，课程内容侧重知识的应用与技能的培养。我国很多优秀的院校都曾选派教师赴德国ECKERT教育集团Robert Eckert博士远程教育学院进行课程建设培训，国家示范性高职院校邢台职业技术学院、成都航空职业技术学院、淄博职业学院、常州信息工程学院、浙江工商职业技术学院、包头职业技术学院等院校的教师赴德归国后普遍感到受益匪浅。

《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》指出：“积极引进国（境）外优质职业教育资源。鼓励国（境）外组织和个人依照我国法律和办学资格要求，同我国境内职业教育机构和其他社会组织，合作举办高水平的职业学校或职业培训机构。努力拓展职业学校毕业生国（境）外就业市场”。在中德职业教育合作30年后的今天，中国职业教育已经站在了一个新的历史起点上，积极引进国际上先进的职业教育理念和优质教学资源将对我国职教未来发展起到很重要的作用。教材作为一种重要的教学资源，不仅是体现教育思想、实现教育目标的载体，也是人才培养过程中掌握知识、发展能力和提高素质的重要信息载体，是课程最具体的形式。德国基于工作过程导向理念、“双元制”职业教育模式的落脚点都聚焦在课程体系和课程内容上。对于日益重视职业教育课程建设的中国职业教育事业而言，系统地了解德国专业的课程体系、结构和课程内容，破解德国核心教育技术，无疑会对我们本土化的课程改革与建设，取得“他山之石，可以攻玉”的功效。

我们坚信，通过这套电气技术人员的认证教材，从中可以研究德国工作过程导向思想在职业学校的专业课程体系是如何落实的，德国职业学校的教育活动如何应对经济技术发展。对比分析中国相应的专业课程体系，寻找相似与差异；系统分析教材的内容架构，研究课程设置依据、课程与课程之间的内在教育技术逻辑关系，比较研究中德职业教育在设计专业课程体系的内在逻辑思路的异同；分析教材的编写结构、传递技术信息的逻辑思路、编写方法、教材的形式、体例和模式，与国内同类教材比较各自的特色。所有这一切，都将为推动中国当代的职教课程改革提供新颖的视角、建设性的借鉴与参考。

高职信息类专业国际合作组织已开始与Robert Eckert博士远程教育学院、国际教育技术

研发机构北京泛华德教育科技有限公司合作开发与上述课程相配套的课件、教案及多媒体教学资源、教学参考、实训手册等。这套课程发行后将陆续举办与其配套的师资培训班、通过中德职教专家上示范课、开展交流研讨和观摩等途径，为职业院校以及职业培训机构的教师借鉴德国的职业教育理念、教育模式以及教学方法等提供切实有效的参考，本着洋为中用的原则，最终旨在提升广大教师驾驭本土化课程建设的能力。

对于那些区域经济条件不尽如人意，渴望交流学习的职业学校以及培训机构，高职信息类专业国际合作组织愿将其多年来的成功经验与丰硕成果以及对德国乃至其他发达国家职业教育合作的良好资源，无私地奉献出来。

我们的行动宗旨是：运用国家示范性高职院校的建设成果、借鉴德国的职业培训模式和课程体系、依托新媒体的远程教育平台、面向不发达地区扶持职业教育的弱势群体、整合国内外的教学、实习、实训与就业资源，为中国职业教育的宏图伟业做出自己的贡献。

德国《电气技术人员认证远程教育课程》中文版编委会

2009年12月 北京

德国《电气技术人员认证远程教育课程》

中文版编委会

- 主 编：**钟玉琢 清华大学深圳研究生院信息学部主任
- 执行主编：**曲克敏 中国高等教育培训中心副主任
高职信息类专业国际合作组织秘书长
- 副 主 编：**周长海 中国高等教育培训中心教育技术部首席顾问
- 徐玉彬 工业与信息化部电子教育与考试中心主任
- 左志成 中国电子科技集团公司人力资源部主任
- 刘 丛 国家示范性高职院校邢台职业技术学院院长
- 张学库 国家示范性高职院校宁波职业技术学院副院长
- 李学锋 国家示范性高职院校成都航空职业技术学院
院长助理\教务处长\国家级教学名师
- 委 员：**姜义林 国家示范性高职院校淄博职业学院副院长
(按姓氏笔画排序)
- 吴志荣 宁波职业技术学院电子系主任
- 邱寄帆 成都航空职业技术学院计算机系主任
- 宗美娟 淄博职业学院示范建设办公室专职副主任
- 林训超 成都航空职业技术学院电子工程系主任
- 祝登义 成都航空职业技术学院教务处副处长
- 郭震震 中国高等教育培训中心教育技术部主任助理
- 高爱国 淄博职业学院信息工程系主任
- 曾照香 淄博职业学院电子电气系主任\国家级教学名师
- 褚建立 邢台职业技术学院信息工程系主任

电气技术人员认证远程教育课程

《测量技术》

审校委员会

主任：林训超

副主任：李明富

委员：梁颖 周兴 黄燕

第1分册a部分	测量技术基础	李 游翻译	林训超主审、终审
第1分册b部分	电路参数测量	翟 耀翻译	曾友州主审、终审
第1分册c部分	模拟示波器	初慧子翻译	胡 莹主审、终审

第1分册a部分

测量技术基础

目 录

引 言.....	1
1 电子测量技术的基本概念.....	2
1.1 国际单位制	2
1.2 国际单位和绝对单位	3
1.3 测 量	4
1.4 检 验	5
1.5 调整(校正)	6
1.6 校 准	6
1.7 检 定	6
1.8 测量标准	7
1.9 度量仪的基本结构	9
1.10 测定值读数	10
1.10.1 模拟度量仪	10
1.10.2 数字度量仪	10
1.10.3 数字显示和模拟显示的比较	11
1.11 度量仪的灵敏度和内阻	12
1.11.1 灵敏度	12
1.11.2 内 阻	13
1.12 测量值显示的分辨率	14
1.12.1 绝对分辨率	14
1.12.2 相对分辨率	15
1.13 测量仪器的等级标识	16
1.13.1 模拟仪表	16
1.13.2 数字仪表	19
1.14 标示图例和电路符号	19
1.14.1 标示图例	19
1.14.2 仪表中的电路符号	22

2	测量误差.....	26
2.1	误差类型	26
2.1.1	随机误差 (波动误差)	26
2.1.2	系统误差 (不变误差)	26
2.2	误差数据的定义	27
2.2.1	绝对误差	27
2.2.2	相对误差	27
2.3	系统误差 (不变误差) 实例说明	28
2.3.1	由测量顺序造成的系统误差 (电路误差)	29
2.4	随机误差实例说明	31
2.5	误差传递	32
2.5.1	两个或多个测量值加减法中的误差传递	32
2.5.2	两个或多个测量值乘法中的误差传递	33
3	测量结果的计算和图表分析.....	37
3.1	计算并提取测量结果	37
3.1.1	计算并提取未分级的测量结果	38
3.1.1.1	算术平均数 (未分级的测量值)	38
3.1.1.2	标准差 s , 方差 s^2 和变化系数 v 未分级的测量值	38
3.1.1.3	预测值或真实值 μ 的置信区间 (置信极限)	39
3.1.2	分类计量结果的数据提取	42
3.2	对计量结果的图像描述	45
3.2.1	高斯正态分布和叠加频率分布	46
3.2.2	对正态分布的解释说明	49
3.3	流程效率指数和流程可用性指数	53
	复习题答案.....	56
	练习题答案.....	58

引言

当今的技术只有在相应测量技术获得发展的前提下才能取得涉及各生活领域的巨大进步。

通过新型的元件和测量法（微型电子计算机在测量技术中或者传感器在非电学量探测中的应用）可以在实际操作中很好的完成每一例测量任务，包括相应的数据准备、进一步处理和分析判读（例如地理上的）。

特别是对于控制技术和调节技术，在医学领域，航天航空科技领域，生产线自动化领域，例如在汽车制造业或者在大规模集成元件的生产中（微处理器，存储器组件等等）以及在日常生活领域（娱乐用电器，家政家务等等），测量技术奠定了数据记录，转换，控制及调节的基础。

尤其是在当今的环境保护领域当中，测量技术发挥着极其重要而特殊的作用。在笔者看来，为了保护我们人类赖以生存的环境，当代的测量技术还面临着严峻的挑战。

本书旨在将电子测量技术的基础知识进行编写（依据德国工业标准第1301项，1319项，德国工程师协会/德国电子技术协会第2600项，德国工业标准 欧洲标准 国际标准化组织/国际电子技术委员会第17025项 和 德国工业标准/德国电子技术协会 第0410项），望能促进电子测量技术知识的提升，深化其在当今应用领域的作用。

首先本书将解释测量技术中最重要的基本概念，比方一些诸如测量，检测，校准或者灵敏度和分辨率的概念。

接下来，您将了解到您在实际测量中有可能遇到的不同的引起测量误差的原因和误差的种类，以便于您能注意（测量误差的计算），最好能避免误差的出现。因此我们也将利用一些统计学的方法计算测量结果，这不仅仅是误差计算，而且更是出于保证数据质量的考虑。

电子技术学和电子学的基本知识以及相应的数学物理基础是学习本书的必备知识。

1 电子测量技术的基本概念

在全面学习第一章之前，请先大概了解一下学习内容和相关的学习目的。如果需要了解学习的内容和目的，我们建议在学习过程中结合每个章节末尾的复习题和练习题。学习内容和学习目的：

本章的学习旨在带您进入电子测量技术的世界，使您了解测量技术关于电量、非电量的测量参数的基础知识。本章您将接触和了解在测量技术领域有应用价值的最重要的基本概念，这将有益于您今后的实际测量工作。为了确保测量结果是有意义和有应用价值的，您将学习国际单位制，因为所有一切的测量结果都是源于国际单位制中的基本量和基本单位。与此相关您还将学习测量标准，更进一步的学习将使您能了解测量本身，了解有哪些测量原理和测量方法，了解检测和调整、校准和检定的区别等。

在其后学习不同类型的测量仪表设备之前您将首先了解测量仪表设备的原理与构造，了解模拟测量和数字测量的区别以及其优缺点。例如模拟测量在可变测量值情况下能够简易并且快速的判断出测量指数的趋势以及测量值，这是它的巨大优势。您将能够了解分辨率与精度的区别，学会在表示测量结果时，正确评价测量数据的有效位数。在选择和使用测量仪器时您将了解刻度标记的意义，学会正确读识测量数据，学会正确识别仪器电路图中的电子符号等。

1.1 国际单位制

测量技术可以被区分为测量、检测、调整、校准和检定。

数据测量的前提是单位的确定。按照国际惯例，人们通常使用国际单位制。国际单位制包括以下七个基本量和基本单位：

表1.1：基本量与基本单位

基本量	基本单位	缩写	基本单位定义的基础
长度：l	米	m	特定电磁辐射的波长 (早期巴黎标准米)
时间：t	秒	s	特定电磁辐射的周期
质量：m	千克	kg	国际千克原器的质量
电流强度：I	安培	A	两个通电导线产生的力
热力学温度：T _v	开尔文	K	水的绝对零度和结冰点温度(三相点)
发光强度：I	坎德拉	cd	特定频率的单色辐射源在给定方向上产生的光辐射强度
物质的量：n	摩尔	mol	含有0.012kgC ₁₂ 所含的碳原子数量

温度也可以以摄氏度(°C)的形式给出。开尔文热力学温度计量的零点为负273⁰C，摄氏温度则相应的为273K。热力学温度与摄氏温度的关系如下：(1K) ≡ (1⁰C)

1.2 国际单位和绝对单位

由于历史的原因，人们定义了国际单位（int.）和绝对单位（abs.）。但在实际中，人们通常使用的仍是绝对单位。我们可以以表格1.1当中的电流强度单位安培为例，简单研究一下国际单位与绝对单位的区别。

1) 国际单位（约1908年以来）

国际单位的电流强度安培（ A_{int} ）是指单位时间内通过导体某一截面的电荷量，每秒通过1库伦的电量为1安培。

2) 绝对单位（约自1948年以来）

与1)中的国际电流强度单位 $1A_{\text{int}}$ 相比，绝对单位 $1A_{\text{abs}}$ 被简称为1A，它阐释了电流的电磁效应。

在真空中相距为一米的两根无限长的平行直导线，通过以相等的恒定电流，当每米导线上所受作用力为 $2 \times 10^{-7} \text{N}$ 时，各导线上的电流为1安培。

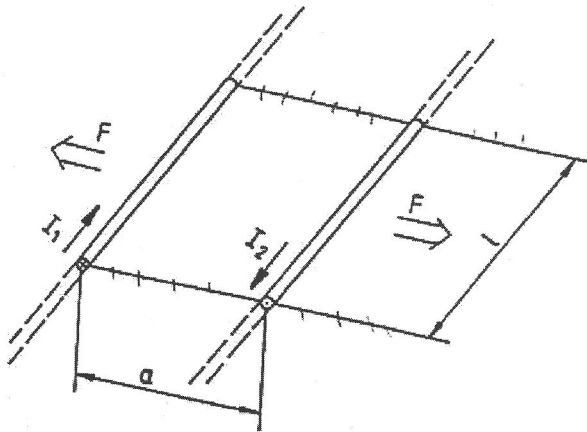


图1.1: 电流强度的定义

两电流 I_1 、 I_2 在图1.1当中平行，当导线受到作用力，两物体相斥，以上过程符合下列公式：

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot N \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \frac{l}{a}$$

$F = 2 \times 10^{-7}$ 牛顿的作用力

$\mu_0 = 1.256 \times 10^{-6} \text{ Vs/Am}$ 电磁场常数（真空绝对导磁常数）

$N =$ 匝数（在这里 N 等于 1）

I_1 、 $I_2 =$ 电流（在这里 $I_1 = I_2 = 1\text{A}$ ）

$l =$ 导线长度（在这里 $l = 1\text{m}$ ）

$a =$ 导线距离（在这里 $a = 1\text{m}$ ）

实际上，国际单位电流强度和绝对单位电流强度的区别是极其微小的。

$$1A_{\text{int}} = 0.99985A_{\text{abs}} = 0.99985\text{A}$$

■ 1.3 测 量

测量是指用数据描述被测物理量的测量数值（例如：压强、电流、电阻、长度、重量、作用力、温度等等）。它以特定的标准量或参考量为参照，通过适合的测量工具完成测量。

为获得某一被测量的测量值而使用的总的设备被称为测量仪器。测量值显示测量出的数据大小以及包含多少选定的标准单位。它由数值与被测量的单位相乘得出。

测量值= 数值 · 测量单位

例 如：35 A = 35 · A

被测量的物体称为被测物。

被测物是被测量的承载者，它的数值将被测量。

被测物既可是物体、现象，也可以是状态。

例 如：

物体：在测量水的温度时，水是被测物。

现象：在测量无线电广播发射台的辐射功率时，电磁辐射就是被测物。

状态：在测量两恒定磁级间磁场强度时，磁场就是被测物。

与测量值相关的另一概念是测量结果。测量值与测量结果都是被测量的值，而二者的区别在于测量结果可由有许多测量值组成。

最简单的情况就是由一个单一测量值组成的测量结果。

例 如：电阻R的测量值由电压U和电流I的测量值得出 $R = \frac{U}{I}$ ，不同被测物其测量值都可由电压U和电流I的比例值表述。

另一个重要的概念是测量原理。这指的是在为了获得被测物的测量值而进行的测量中应用的物理学现象。

例 如：为了确定被测温度的测量值，可以使用与温度有关的材料长度变化的测量原理或者热电效应测量原理。

更多的例子：

被测量 ⇒ 测量原理

作用力 → 力的弹性变形效应

电流 → 电磁场的电磁感应效应

测量法能够充分利用被测物特有的特点和效果，选择与测量目的相符的设备，根据定义好的单位和给出的常数，得出被测量的数值。

人们将测量法分为直接和间接测量法、模拟和数字测量法。

在直接测量法当中，被测量的测量值与其本身被测量值相符且直接显示在测量仪器上。

在间接测量法当中，被测量的测量值显示为一个或多个测量量，因此必须通过物理学的相关计算才能得出真正结果。

模拟测量法的特点是，被测量被归为一种信号符号，这种信号可以清楚的并且可转换的显示被测量。

数字测量法则与此相反，是被测量呈现量化的甚至编码化的信号符号。

测量设备也称为测试设备，是指依据特定测量原理而采用的测量法，进行测量的所有测量部件的整体。

测量设备的任务在于接收测量值、实现转换（距离转换、特别是量测换能器）以及输出测量值。

如图1.2的测量设备被称为测量链式电路。

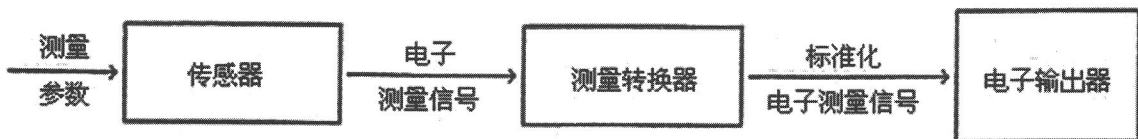


图1.2: 测量链式电路

当一个测量设备只由其中的一个单个部分组成，那么这种测量设备叫做测量仪表。

关于测量仪表的基本结构，本教材将在1.9进行阐述。

■ 1.4 检 验

在检验中，人们对于待测样品或待测材料进行的检测用以确定其特性。人们在这种情况下要区分数量和质量的标记。对于数量标记的检测通常是客观的，因而能够通过检测仪器自动得到结果。但是，在这种情况下也仅仅能够确定是否在某种界限下遵循、超过或者低于一个确定的标准，这个标准通常被人们称作额定值。在实际应用中，人们发现检测仪器通常情况下仅仅是一个粗略的刻度划分或者仅仅是一个范围的划分。

例 如：通路和绝缘检测

试验场（零配件的批量生产）：失败/通过

电池组电池电压的检测或蓄电池电池电压的检测（空的/半满的/满的）

水箱中的水温

然而，对于质量标记的检测通常是主观的，如通过感知。

例如：

外观检测：工件上的污染

气味检测：不泄漏的气体管道

触摸检测：工件表面粗糙

检测中的一种特殊模式（在检测中被应用于尺寸标准和形状标准的）人们称为规范。以此我们可以确定，一些确定的待测工件的模式（长度、宽度、角度等）是否超出或是低于此规范的标准，这个出现偏差数值可以不用计算出来。较高的和较低的极限尺寸应该同时考虑到，所以人们需要至少2个尺寸标准，也就是所谓的极限规范。

■ 1.5 调整（校正）

调准度量仪或是实物量具，其测量的偏差要处于要求的界限之间，这叫做调整。因此对于在度量仪或是计量工具上进行的改动必须要通过调整来实施。

例如：重量调整时材料的添加或拆除

在生产时SMD（表面贴装器件）电阻（炭膜或金属膜电阻）的调整是通过“激光调整”（SMD = Surface Mounted Device）来实现的。

■ 1.6 校准

通过对度量仪的校准，确定它的测量偏差。这里用于校准的改动在度量仪或实物量具上是不允许的。

■ 1.7 检定

在检定时，人们对度量仪和测量器械标示出的值与标准值进行精确性比较。

在度量仪上进行的检定要严格按照计量部门预先规定的测量工作程序进行。度量仪的特性和它的测量技术指标符合规范要求，就能获得检定通过。同时，对何时进行下次度量仪器的检定和校准进行说明。

有时，度量仪的检定不能单次完成，而是必须多次变化完成，并且变化要覆盖整个的刻度盘。例如，为了找出轴承摩擦或磁滞现象产生的误差，它的变化要持续的从0刻度直到刻度盘最大读数，然后还要反过来进行。

1.8 测量标准

测量标准，或简称为标准，是精确校准的器件，这些器件用以表征一个物理量的大小（单位或是多倍）。

早些时候，每次长度测量都源出于一个比较标准，这就是所谓的巴黎标准米。这些在今天仍然有它的历史意义。

今天，人们从光速 $c \approx 300\,000\text{km/s}$ 推导出了基本单位米。

1个基本单位米是这样一段距离的长度：光在真空状态下通过这段距离的时间间隔为 $1/300\,000\,000$ 秒，也就是 $3.333\cdots$ 纳秒。

电的基本大小同样来源于比较标准，这个标准随时供度量仪生产者、计量局或相关部门使用。

从1908年开始，国际韦斯顿-标准电池就把它用作电动势（EMK）的标准。电动势（EMK）的概念在今天已经不再使用，人们用电的源电压这种表达来替代它，所用的公式符号是 U_0 或 U_q 。

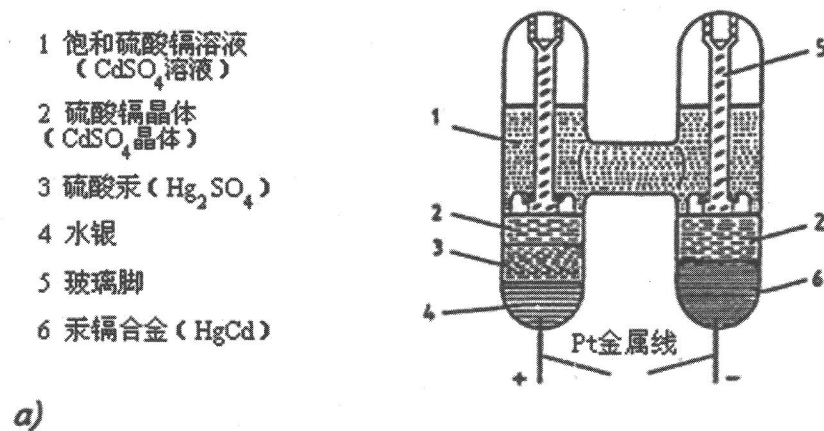


图1.3: a) 韦斯顿-标准电池图解

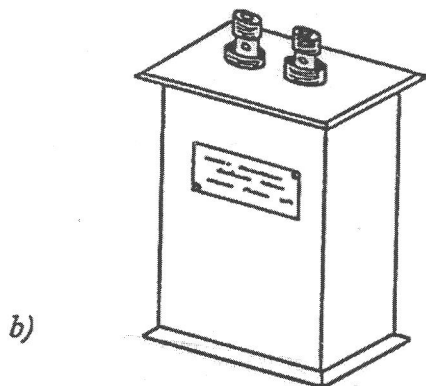


图1.3: b) 韦斯顿-标准电池具体形状

韦斯顿-标准电池由一个水银制做的正电极，一个汞镉合金制的负电极和饱和硫酸镉溶液制的电解液构成。它的电动势EMK在 $+20^{\circ}\text{C}$ 时为 $1.018630V_{\text{int}}$ 或 $1.01865V_{\text{abs}}$ (V)。

这个电池并没有产生出特别值得一提的电流。在实际使用中，更趋向于使用稳压二极管-标准电压电源。

图1.4显示的是稳压二极管-标准电压电源的电路原理

U_e =输入电压

$U_a = U_z$ =输出电压=齐纳电压

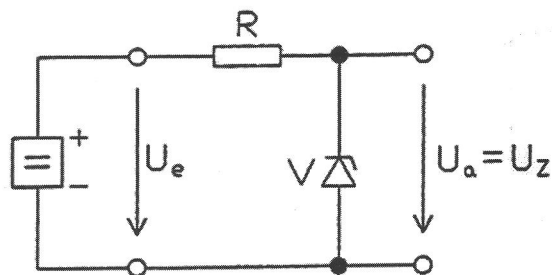


图1.4: 带稳压二极管的标准电压电源

U_e 的波动在一定的范围内并不影响输出电压 $U_a = U_z$ 的稳定性，这可以作为一个标准来使用。

标准电阻校准是非常精确的（大约±0.001%）单个电阻，是从0.1 mΩ至100 kΩ这个范围内按照十进制分层次的电阻系列。通常使用的电阻材料是锰镍铜合金，因为相对于铜材料，它更少受温度和温差电压的影响。

在0.1Ω的范围内人们通常使用线绕电阻。小于1Ω的人们用金属板条或是铸模作为电阻材料，可以通过打磨或钻孔来进行校准。

交流电阻（线绕电阻）必须是双线缠绕，以此来保持较小的介电常数（图1.5）



图1.5: 双线缠绕的测量电阻

通常超过100Ω的实验室电阻按照偶数缠绕，这样就可以保持较小的电容率和介电常数。在卡普罗绕组中（图1.6），线圈被分成组。每组由两个相对缠绕的部分组成。

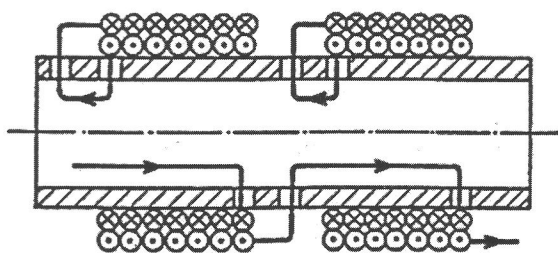


图1.6: 偶数缠绕

介电常数是表征物质绝缘能力特性的一个常数，以字母ε表示，单位为法/米（F/m）。

标准电容器通常是带有气体电介质的平板（或圆柱体）电容器。