

电 工 测 量

复习要点与习题集

〔日〕 东京电机大学 编

纪铜城 译

郭耀华 校

電子工業出版社

内 容 简 介

本书是从〔日〕东京电机大学编《ワークブックス電気工学I》“電気計測 编”翻译过来的,是《电工基础复习要点与习题集》的姊妹篇。内容包括各种类型电工仪表的原理,示波器和电位差计的原理及应用,电流、电压和功率的测量,各种电阻的测量,阻抗和频率的测量,交流电桥、电度表及记录仪表,高频的基本测量,电子电路测量,放射线的测量,磁测量,远距离测量,非电量电测法等。书中各节内容分为“要点”和“习题”两部分,书末附有习题答案。

本书可供高等专科学校、中等专业学校、中等职业学校、职业高中学生及自学读者作为学习电工测量的复习资料和练习作业册,也可供电工人员学习、参考。

电 工 测 量

复习要点与习题集

〔日〕东京电机大学编

纪铜城 译

郭耀华 校

责任编辑 王德声

电子工业出版社出版 (北京市万寿路)

北京市顺义县印刷厂印制

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

开本: 850 × 1168 1/32 印张: 8.75 字数: 234千字

1987年9月第1版 1987年9月第1次印刷

印数: 0~13000册 定价: 2.20元

统一书号: 15290 · 579

ISBN7 - 5053 - 0100 - 5/TN60

目 录

1. 测量概论	(1)
1.1 单位的构成与单位制.....	(1)
1.2 实用上的电学单位的标准器.....	(5)
1.3 测量值的处理.....	(7)
2. 电工仪表基础	(10)
2.1 电工仪表的分类.....	(10)
2.2 电工仪表的部件.....	(11)
2.3 电工仪表的机械品质因数.....	(16)
2.4 电工仪表的误差.....	(17)
3. 电流表、电压表和功率表	(20)
3.1 磁电式仪表.....	(21)
3.2 电磁式仪表.....	(27)
3.3 电动式仪表.....	(29)
3.4 感应式仪表.....	(34)
3.5 静电式仪表.....	(37)
3.6 整流式仪表.....	(39)
3.7 热动式仪表.....	(40)
4. 频率因数表、频率表和其它仪表	(45)
4.1 功率因数表.....	(45)
4.2 频率表.....	(47)
4.3 漏电检测器.....	(49)
5. 检流计与示波器	(52)
5.1 直流检流计.....	(52)
5.2 检流计用分流器.....	(57)

5.3	交流检流计	(59)
5.4	示波器	(61)
6.	电位差计	(65)
6.1	直流电位差计的原理	(65)
6.2	直流电位差计的应用	(66)
6.3	交流电位差计	(68)
7.	仪用互感器与电压、电流的测量	(72)
7.1	分流器, 倍率器及仪用互感器	(72)
8.	功率的测量	(78)
8.1	直流功率的测量	(78)
8.2	单相交流功率的测量	(80)
8.3	三相功率的测量	(83)
9.	电阻的测量	(88)
9.1	电阻的分类	(88)
9.2	中电阻的测量	(88)
9.3	低电阻的测量	(96)
9.4	高电阻的测量	(97)
9.5	特殊电阻的测量	(99)
10.	阻抗与频率的测量	(103)
10.1	阻抗表	(103)
10.2	交流电桥的原理与组成部件	(104)
10.3	各类交流电桥	(107)
11.	积算仪表与记录仪表	(117)
11.1	积算仪表的种类与构造	(117)
11.2	单相电度表	(117)
11.3	电度表的试验	(120)
11.4	无功电度表	(123)
11.5	记录仪表的种类	(124)
12.	高频的基本测量	(126)
12.1	高频测量的特点与需注意的问题	(126)

12.2	高频电压的测量	(127)
12.3	高频电流的测量	(131)
12.4	高频功率的测量	(133)
12.5	阻抗的测量	(135)
12.6	频率的测量	(142)
13.	电子电路的测量	(145)
13.1	电子管的静特性与三个参数的测量	(145)
13.2	闸流管特性的测量	(148)
13.3	半导体整流器的整流特性的测量	(149)
13.4	晶体管静特性的测量	(150)
13.5	电子电路的测量装置	(153)
13.6	传输电路的衰减量与放大倍数的测量	(156)
13.7	调制度的测量	(158)
14.	放射线的测量	(161)
14.1	放射线	(161)
14.2	放射性物质	(162)
14.3	放射线的检测	(163)
15.	磁的测量	(165)
15.1	磁场的测量	(166)
16.	远距离测量	(176)
17.	非电量电测法	(178)
17.1	非电量电测法概要	(178)
17.2	长度与位移的测量	(181)
17.3	力和压力的测量	(185)
17.4	速度的测量	(187)
17.5	流量的测量	(190)
17.6	温度计	(192)
17.7	成分及浓度的测量	(194)
17.8	探伤检查法	(196)
习题答案	(198)	

1. 测量概论	(198)
2. 电工仪表基础	(201)
3. 电流表、电压表和功率表	(203)
4. 功率因数表、频率表和其它仪表	(214)
5. 检流计与示波器	(215)
6. 电位差计	(220)
7. 仪用互感器与电压、电流的测量	(221)
8. 功率的测量	(222)
9. 电阻的测量	(229)
10. 阻抗与频率的测量	(232)
11. 积算仪表与记录仪表	(236)
12. 高频的基本测量	(240)
13. 电子电路的测量	(248)
14. 放射线的测量	(252)
15. 磁的测量	(252)
16. 远距离测量	(254)
17. 非电量电测法	(258)

1. 测量概论

1.1 单位的构成与单位制*

《要 点》

〔1〕 **计量单位** 用以量度同类量大小的一个标准量称为计量单位。

〔2〕 **主单位** 在计量单位中，一种物理量有大小若干个单位，其中只有一个可独立定义的单位称为主单位。

〔3〕 **基本单位** 在一个单位制中，彼此独立的基本量的主单位称为基本单位。

〔4〕 **导出单位** 基本单位选定后，根据物理量之间的关系，由基本单位以乘、除形式而构成的单位称为导出单位。有些导出单位具有专门名称，称为具有专门名称的导出单位。

〔5〕 **辅助单位** 既可作为基本单位又可作为导出单位的这类单位称为辅助单位。

〔6〕 **单位制** 由基本单位及其导出单位所构成的完整体系称为单位制。单位制随基本单位的选择而不同。

〔7〕 **国际单位制** 以长度的米、质量的千克、时间的秒、电流的安培、热力学温度的开尔文、发光强度的坎德拉、物质的量的摩尔为基本单位，以平面角的弧度、立体角的球面度为辅助单位，以此为基础所构成的这种单位制，称为国际单位制，

*本节未按原著内容译出，改编为重点介绍国际单位制——译者。

简称为“SI”。它可构成不同科技领域中所需的全部单位。

〔8〕 **词头** 用于构成单位的十进倍数和分数而加在主单位前面的特定构词成分称为词头。

〔9〕 **组合单位** 由两个或两个以上的单位用乘、除的形式组合而成的新的单位称为组合单位。它也包括只有一个单位，但分子为1的单位。

〔10〕 **单位符号** 国际上统一规定了表示单位和词头的符号。它们都采用拉丁字母的正体。对于单位的符号，凡来自人名者，第一个字母用大写，其余都小写。词头符号千(k)以上的用大写，其它的均用小写。

表1.1 国际单位的基本单位

量名称	单位名称和符号	定 义
长 度	米 m	等于氪86原子的 $2p_{10}$ 和 $5d_5$ 能级之间跃迁所对应的辐射在真空中的1650763.73个波长的长度。
质 量	千克(公斤) kg	等于国际千克原器的质量。
时 间	秒 s	等于铯133原子基态的两个超精细能级之间跃迁所对应的辐射的9192631770个周期的持续时间。
电 流	安培 A	若在处于真空中相距1米的两无限长而圆截面可忽略的平行直导线内流过1安培的恒定电流时，则此两导线时产生的力在每米长度上为 2×10^{-7} 牛顿。
热力学温度	开尔文 K	是水三相点热力学温度的 $1/273.16$ 。
物质的量	摩尔 mol	某系统的物质所包含的基本单元数与0.012千克碳12的原子数目相等时的物质的量。
发光强度	坎德拉 cd	由光源在给定方向上，以频率为 540×10^{12} 赫兹发出单色辐射的强度为 $1/683$ 瓦特每球面度。

表1.2 国际单位制的辅助单位

量名称	单位名称和符号	定 义
平面角	弧度 rad	等于圆内两半径在圆周上截取的与半径相等的弧长。
立体角	球面度 sr	顶点位于球心的立体角在球面上所截取的面积等于以球半径为边长的正方形面积。

表1.3 国际单位制中具有专门名称的导出单位

量 的 名 称	单 位 名 称	单位符号	其它表示式例
频率	赫 (兹)	Hz	s^{-1}
力; 重力	牛 (顿)	N	$kg \cdot m/s^2$
压力; 压强; 应力	帕 (斯卡)	Pa	N/m^2
能量; 功; 热	焦 (耳)	J	$N \cdot m$
功率; 辐射通量	瓦 (特)	W	J/s
电荷量	库 (仑)	C	$A \cdot s$
电位; 电压; 电动势	伏 (特)	V	W/A
电 容	法 (拉)	F	C/V
电 阻	欧 (姆)	Ω	V/A
电 导	西 (门子)	S	A/V
磁通量	韦 (伯)	Wb	$V \cdot s$
磁通量密度; 磁感应强度	特 (斯拉)	T	Wb/m^2
电 感	亨 (利)	H	Wb/A
摄氏温度	摄氏度	$^{\circ}C$	
光通量	流 (明)	lm	$cd \cdot sr$
光照度	勒 (克斯)	lx	lm/m^2
放射性活度	贝可 (勒尔)	Bq	s^{-1}
吸收剂量	戈 (瑞)	Gy	J/kg
剂量当量	希 (沃特)	Sv	J/kg

表1.4 用于构成十进倍数和分数的词头

所表示的因数	词头名称	词头符号
10^{18}	艾〔可萨〕	E
10^{15}	拍〔它〕	P
10^{12}	太〔拉〕	T
10^9	吉〔咖〕	G
10^6	兆	M
10^3	千	k
10^2	百	h
10^1	十	da
10^{-1}	分	d
10^{-2}	厘	c
10^{-3}	毫	m
10^{-6}	微	μ
10^{-9}	纳〔诺〕	n
10^{-12}	皮〔可〕	p
10^{-15}	飞〔母托〕	f
10^{-18}	阿〔托〕	a

《习 题》

1. 所谓国际单位制，是以长度的（ ）、质量的（ ）、时间的（ ）、电流的（ ）、热力学温度的（ ）、发光强度的（ ）、物质的量的（ ）作为基本单位，以平面角的（ ）、立角角的（ ）作为辅助单位，以此为基础所构成的一种（ ），简称为（ ）。
2. 根据SI，磁阻 $R_m = l / (\mu A)$ ，且其单位为（ ）。这里，就磁路而言， l 是（ ），单位是（ ）， μ 是（ ），单位是（ ）， A 是（ ），单位是（ ）。
3. 对于SI，当电场强度为 E 〔（ ）〕，电通密度为 D 〔C/m²〕

时,电场中每单位体积储存的能量为() $[\text{J}/\text{m}^3]$ 。而当
磁场强度为 H [()], 磁通密度为 B [()] 时,
磁场中每单位体积储存的能量为() $[\text{J}/\text{m}^3]$ 。

4. 国际单位制中,具有专门名称的导出单位共有()个。
试分别写出频率、力、能量、功率、电荷量、电压、电阻、
电导、电容、电感、磁通量、磁通密度的单位名称及符号。

1.2 实用上的电学单位的标准器

《要 点》

〔1〕 电学单位的标准器,通常广泛应用的有标准电池、标准电阻器、标准电容器、标准自感器和标准互感器等。

〔2〕 标准器必须具备的条件是其值应长期保持不变,且应不受温度和湿度等外界因素的影响。

〔3〕 标准电池的构造如图1.1所示,在 20°C 时,其电动势为 1.0864V 。

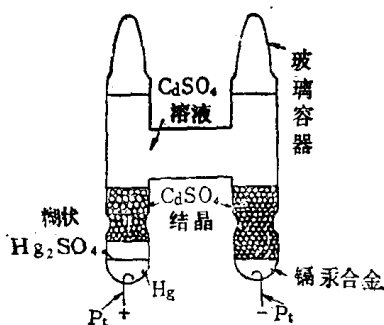


图1.1 标准电池

〔4〕 沿充电方向有电流流过标准电池后,它要恢复为放电状态需要花费时间,所以不应使它沿充电方向流过电流。

〔5〕 标准电阻器的构造如图1.2所示,低阻值的标准电阻器

有两对端钮，一对电流端钮和一对电压端钮。

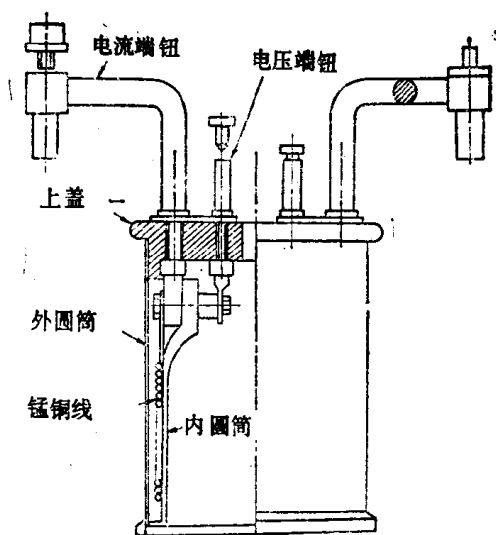


图 1.2 标准电阻器

《习 题》

1. 在电学的二次标准中，有表示（ ）和（ ）的标准器。它们的值经过（ ）仍应保持不变，且受（ ）和（ ）的影响应极（ ）。前者有（ ）、后者有（ ）器。
2. 惠斯顿标准电池的构造，是在一个H形的（ ）容器中，用（ ）作正极，用（ ）作负极，在正极上面放置由（ ）粉末与（ ）用（ ）溶液混合搅拌而成的糊状物质作减极化剂，再在其上同时对两边电极放入（ ）结晶粉末，灌满（ ）饱和溶液封装而成。
3. 电阻的二次标准器所用的材料为（ ），它是一种由（ ），（ ）与（ ）组成的合金。它的特点是电阻

温度系数 ()。

4. 惠斯顿标准电池在 20°C 时的电动势为 () 伏。
5. 使用标准电池的直接目的是: (为了获取一定电流; 为了比较电压; 为了得知温度的变保; 为了比较交、直两种电流)。
6. 试列举使用标准电池时必须注意的事项。
7. 为什么不允许沿充电方向使电流流过标准电池?
8. 使用标准电池时, 为什么要串联接入一个大电阻?
9. 10Ω 以下的标准电阻器为什么要有两对端钮(一对电压端钮, 一对电流端钮)?
10. 试举一例说明什么时候要使用标准电阻器。
11. 试举出标准电阻器所用的电阻材料必须具备的条件。
12. 试说明做电阻材料用的锰铜的各种有关特性。
13. 康铜的电阻温度系数虽小, 但用作电阻材料却比锰铜差, 试说明其理由。

1.3 测量值的处理

《要 点》

[1] 误差与补值 假设 T 为真值, M 为测量值, 则

误差 $\varepsilon = M - T$

相对误差 $\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{T} \times 100 = \frac{M - T}{T} \times 100[\%]$

补 值 $\alpha = T - M$

相对补值 $\alpha_r = \frac{\alpha}{M} \times 100 = \frac{T - M}{M} \times 100[\%]$

[2] 将某数值舍入成 n 位有效数或舍入为小数点以下 n 位, 其舍入规则如下:

- (1) 自第 $(n+1)$ 位起后面的数值, 凡未满第 n 位数的一个

单位的 $1/2$ 时则舍去, 超过一个单位的 $1/2$ 时则进1。

(2) 自第 $(n+1)$ 位起后面的数值正好是第 n 位数的一个单位的 $1/2$, 其舍入规则为: 若第 n 位数为偶数(0, 2, 4, 6, 8)时舍去; 若第 n 位数为奇数(1, 3, 5, 7,)时进1。

〔3〕 测量值的加减乘除

(1) 在用有效数字给出的数值进行加减运算时, 所得结果的有效数字的位数, 由被计算的几个数中有效数字最后一位数为最大的那个数来决定。

(2) 在用有效数字给出的数值进行乘除运算时, 所得结果的有数字的位数, 取与被计算的几个数中有效数字位数最少的那个数相同。

《习 题》

1. 误差 e 可用 $e = (\quad) - (\quad)$ 来表示。
2. 一个数值中有意义的数字称为()。例如, 用1%精确度测得的电压, 即使表为 $10313\mu\text{V}$, 但由于误差约为() μV , 所以在第()位后的数字没有意义, 因此, 这个电压应看成() μV 或() mV 。
3. 相对误差的表示式是: $\left(\frac{\text{真值} - \text{测量值}}{\text{测量值}}, \frac{\text{真值}}{\text{测量值}}, \frac{\text{测量值} - \text{真值}}{\text{真值}}, \frac{\text{测量值}}{\text{真值}} \right)$
4. 补值的表示式是: $\left(\text{真值} - \text{测量值}, \frac{\text{真值}}{\text{测量值}}, \frac{\text{测量值} - \text{真值}}{\text{测量值}}, \frac{\text{真值} - \text{测量值}}{\text{真值}} \right)$
5. 将一电流表 5Ω 的标准电阻串联, 在其上施加电压后得知电流表的指示为 19.0A , 精确测得标准电阻的电压降为 100.0V 。问电流表的相对误差及补值为多少?

6. 以1%的精确度测得某电阻的电压及电流分别为102V及0.41A。试由它们的乘除运算中求出功率和电阻值。
7. 试对下列用有效数字给出的数式进行计算：
- a) $64.2 + 0.135 - 9.86$
- b) 23.4×1.3
8. 以1%的误差测量两个电阻，分别测得为 105Ω 和 2.34Ω ，问两者串联时的电阻值为多少？若前一电阻的误差为0.01%，问两者的串联电阻值变为多少？
9. 用电压表和功率表测量一个线圈的电阻时，设电压表的补值为+2%，功率表的校正值为-1.5%，问对电阻值应施加的补值为百分之几？其中，设各仪表无损耗。
10. 试将下列各数化成只有三位有效数字的数。
- a) 1.2344 b) 1.2967 c) 1.345
11. 试将下列各数化成只有两位有效数字的数。
- a) 1.450 b) 1.350 c) 2.25

2. 电工仪表基础

2.1 电工仪表的分类

《要 点》

〔1〕 根据测量方式分类有：指示仪表、积算仪表、记录仪表、远距离测量仪表等等。

〔2〕 根据用途分类有：电压表、电流表、功率因数表、频率表等等。

〔3〕 根据工作原理分类有：磁电式、电磁式、电动式、感应式、静电式、热电式、整流式等等。

〔4〕 根据误差等级分类有：按容许误差的程度分0.2级、0.5级、1.0级、1.5级、2.5级等等，例如，0.5级仪表就是指示值相对于额定值的容许误差为 $\pm 0.5\%$ 。

〔5〕 关于标尺刻度的有效测量范围规定如下：

(1) 均匀刻度或以它为标准的刻度：标尺的全部刻度均属有效测量范围。

(2) 在零值附近显著缩小的不均匀刻度：从额定值的25%~100%的刻度区间为有效测量范围。

(3) 相位表、功率因数表、无功因数表、频率表的标尺：标尺上的全部刻度均为有效测量范围。

《习 题》

1. 误差等级为1.5级的电流表，其（ ）误差在（ ）值

的()以下,可用于工业上的一般测量。

2. 额定值为10A的0.5级电流表的容许误差值在最大标尺刻度下为多少安培?另外,在5A时又为多少?
3. 电压表和电流表根据准确度可分为五个等级,试列举其每一个等级的容许误差及主要用途。
4. 在零附近显著缩小的不均匀标尺刻度(平方分度)的有效测量范围,规定为从额定值的25%~100%的刻度区间,为什么?
5. 有一只刻度均匀的1.0级直流电压表。假设其额定值是150V,则在150V的刻度上真值应处于什么范围。另外,在15V的刻度时又怎样?
6. 仪表的容许误差可用相对于额定值的%值来规定,将上题在150V,15V时的误差用通常所说的相对误差 $e_0 = \frac{\text{指示值} - \text{真值}}{\text{真值}} \times 100 [\%]$ 进行计算,则分别等于多少?

2.2 电工仪表的部件

《要 点》

[1] 电工仪表的构成除了驱动装置、反作用装置和阻尼装置三个工作部件之外,还有指针、标尺、外壳等等。

[2] **驱动装置** 在可动部分中,它是产生与测量量成正比的驱动转矩的装置,根据动作原理有各种驱动方式。(参照第3章)

驱动装置必须具有下列性质:

- (1) 驱动转矩应随测量量的变化而正确地变化。
- (2) 以很小的消耗功率使仪表工作,故驱动装置应产生足够大的转矩。