

[苏]B·C·波波夫著

电工测量和测量仪器



机械工业出版社

【苏】В. В. 波波夫著

电工测量和测量仪器



机械工业出版社

电工测量和测量仪器

[苏]B·C·波波夫著

陈以鸿译



机械工业出版社

本书根据原书 1956 年第 5 版修訂本譯出。原书第 5 版为苏联动力中等技术学校和电机中等技术学校用的教科书。

书中論述測量电流、电压、电阻、电感、电容、功率、电能、相位差和頻率的仪器和方法，以及磁測量，用电的方法測量非电量，和远距离測量。有专门一章讲述电測量和仪器的实验。

比起旧版来，新版第 3~5 章是增訂过的，第 15 章是新加的，第 16 章是重写的，其余各章也或多或少地有所改动。

本书可作中等专业学校教学参考书，也可作工程技术人員的参考书。

本书由交通大学电工量計教研室校訂。

В. С. Попов

Электротехнические измерения и Приборы

Госэнергоиздат, 1956

(根据苏联國立動力出版社一九五六年版譯出)

* * *

电工測量和測量仪器

[苏] В. С. 波波夫著

陈以鸿譯

(根据人民教育出版社紙型重印)

*

第一机械工业部教材編审委员会編

(北京复兴門外三里河第一机械工业部)

机械工业出版社出版(北京蘇州胡同 141 號)

(北京市書刊出版業營業許可証出字第 117 號)

五三五工厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印張 $12 \frac{7}{8}$ · 字数 310 千字

1957 年 2 月北京第一版

1965 年 5 月北京新一版 · 1965 年 5 月北京第一次印刷

印数 0,001—4,000 · 定价(科四) 1.60 元

(1961 年 8 月中国工业出版社北京新一版，共印 11,520 册)

*

統一书号: K15033 · 3891

序

电测量在科学和技术方面起着非常重要的作用，因为如果没有测量，就不可能研究电的现象、管理电装置的工作和正确地进行生产。

在我们苏联，电测量具有特别重要的意义。

大规模的动力建设和电气工业的大规模的发展，不断增长的电能生产，以及电能工业、运输和农业的各种新的范围内的应用，在需要高度发展的测量技术。这种测量技术保证电装置的精确而不断的工作和合理的利用，保证能量、燃料和原料的节省，并保证生产程序的合理进行。

进行测量需要知道测量的方法和测量仪器的特性及结构，需要能够选择适当的测量方法和相应的测量设备，能够装配电路，进行观测和记录，处理所得数据，并在必要时将测量仪器加以检验。

因此，电测量课程包含两部分：一是理论部分，给学生以测量方法和测量仪器方面的必需的知識；一是实践部分，通常在实验室中进行，使学生获得测量过程中的必需的經驗，并熟悉测量仪器和辅助设备结构。

本书是中等动力学校和中等电机学校的教科书，它的目的是使学生熟悉最主要的测量方法和在电工技术方面实际应用的国产测量仪器，并熟悉仪器的选择、应用和检验。

本书也可供在工业方面工作并接触到电测量问题的工程技术人员作参考书之用。

本书所根据的讀者程度是已经知道电工学的基础、交流电的理论和高等数学的初步。

本书第五版的全部材料都经过重新审阅，旧的材料换成了新的。
第3—5章是增订过的，第15和16章是从新写的。

对在本书的编辑工作中付出巨大劳动的A.C.卡萨特金教授，表示深切的谢意。

著 者

目 录

序

导言	1
第一章 测量方法和测量误差的分类	3
1-1. 测量方法	3
1-2. 与度量和仪器有关的基本概念和定义	4
1-3. 测量误差	7
第二章 电单位的度量	17
2-1. 电势的度量	17
2-2. 电阻的度量	18
2-3. 电感和互感的度量	24
2-4. 电容的度量	25
2-5. 电的量的单位	26
第三章 电测量仪器概說	30
3-1. 分类	30
3-2. 直接計值仪器	33
3-3. 结构零件	43
3-4. 对仪器的要求	50
3-5. 误差	50
3-6. 损耗功率	57
3-7. 阻尼	58
3-8. 絕緣强度	59
3-9. 过载能力	59
第四章 仪器的测量机构	61
4-1. 磁电式	61
4-2. 电磁式	66
4-3. 电动式	70
4-4. 鉄磁电动式	75
4-5. 感应式	77

4-6. 静电式	80
4-7. 热綫式	83
第五章 电流和电压的测量	84
5-1. 安培計和伏特計的特点	84
5-2. 分流器	86
5-3. 附加电阻	89
5-4. 磁电式安培計和伏特計	92
5-5. 磁电式电流計	94
5-6. 整流式安培計和伏特計	108
5-7. 电子管式伏特計	113
5-8. 热电式安培計和伏特計	115
5-9. 电磁式安培計和伏特計	117
5-10. 电动式安培計和伏特計	119
5-11. 鉄磁电动式安培計和伏特計	121
5-12. 静电式伏特計	122
5-13. 热綫式安培計和伏特計	123
5-14. 用补偿法测量电压和电流的仪器(补偿器)	124
5-15. 自动补偿器	129
5-16. 交流补偿器的工作原理	130
5-17. 关于测量电流和电压的一般說明	133
第六章 仪用互感器	139
6-1. 仪用互感器的用途	139
6-2. 电压互感器	139
6-3. 电流互感器	146
6-4. 仪用直流互感器	156
第七章 电阻的测量	159
7-1. 与测量电阻有关的一般說明	159
7-2. 用安培計和伏特計法测量中等电阻	159
7-3. 用单臂电桥测量中等电阻	160
7-4. 与测量小电阻有关的說明	164
7-5. 用安培計和毫伏計法测量小电阻	165
7-6. 用双臂电桥测量小电阻	166
7-7. 与测量大电阻有关的說明	168
7-8. 用电流計和伏特計法测量大电阻	171
7-9. 用代替法测量大电阻	172
7-10. 测量电阻用的直接計值仪器(欧姆計)	174

7-11. 与测量现成装置的絕緣电阻有关的說明	179
7-12. 装置不在工作电压下时絕緣电阻的測量	181
7-13. 装置处在工作电压下时絕緣电阻的測量	183
7-14. 与确定綫路絕緣损坏地点有关的說明	187
7-15. 用迴路法确定絕緣损坏地点	187
7-16. 与接地有关的基本概念和定义	189
7-17. 用安培計和伏特計法測量接地电阻	192
7-18. 列宁格勒电工学院的測量接地电阻用的仪器 (补偿測量法)	193
7-19. 測量接地电阻用的 MC-07型仪器	194
7-20. 用三电极法測量接地电阻	196
7-21. 地面上各点电位的測量	197
第八章 电感、互感和电容的測量	199
8-1. 与測量电感、互感和电容有关的說明	199
8-2. 用交流測量电感	199
8-3. 用电桥測量电感	201
8-4. 互感的測量	203
8-5. 用交流測量电容	205
8-6. 測量电容用的指示仪器 (法拉計)	207
8-7. 用冲击电流計測量电容	207
8-8. 用电桥測量电容	209
第九章 功率的測量	213
9-1. 用安培計和伏特計測量直流电路內的功率	213
9-2. 电动式瓦特計用于直流电路	213
9-3. 电动式瓦特計用于交流电路	216
9-4. 感应式瓦特計	221
9-5. 应用仅用互感器測量交流电路內的功率	224
9-6. 四綫三相交流电路內有功功率的測量	230
9-7. 各相負載平衡时三綫三相交流电路內有功功率的測量	232
9-8. 用二瓦特計法測量三綫三相交流电路內的有功功率	237
9-9. 三相交流电路內无功功率的測量	242
9-10. 应用仅用互感器測量三相交流电路內的功率	246
第十章 电能和电量的測量. 电計量器	251
10-1. 概說	251
10-2. 感应式单相交流有功瓦时計	251
10-3. 三相交流电路內有功电能的測量	258
10-4. 三相交流电路內无功电能的測量	260

10-5. 电动式瓦时计	263
10-6. 磁电式安时计	264
第十一章 功率因数(相角差)和交流频率的测量	265
11-1. 电动式相位计	265
11-2. 电磁式相位计	266
11-3. 振动式频率计(赫志计)	268
11-4. 铁磁电动式频率计	269
11-5. 灯泡式同步指示器	270
11-6. 电磁式同步指示器	271
第十二章 自动记录仪器	273
12-1. 自动记录仪器的用途	273
12-2. 连续记录仪器	273
12-3. 断续记录仪器	276
12-4. 一般说明	278
第十三章 示波器	280
13-1. 示波器的用途	280
13-2. 具有磁电式测量机构的机电示波器	280
13-3. 电子管示波器	284
第十四章 磁测量	291
14-1. 一般说明	291
14-2. 磁通计	291
14-3. 用冲击电流计法求磁化曲线和磁滞回线	293
14-4. 用差作用法求磁化曲线	298
14-5. 测铁计	301
14-6. 用瓦特计法求钢损耗	303
14-7. 钢损耗的区分	306
14-8. 用差作用法求钢损耗	308
第十五章 用电的方法测量非电量	311
15-1. 一般说明	311
15-2. 电阻变换器	313
15-3. 电感变换器	322
15-4. 电容变换器	323
15-5. 感应变换器	324
15-6. 热电变换器	325

第十六章 远距离测量	327
16-1. 一般說明	327
16-2. 远距离測量系統的分类	327
16-3. 强度式远距离測量系統	328
16-4. 頻率脉冲式远距离測量系統	331
16-5. 相加法	337
第十七章 实验	343
一、对做实验的一般指示	343
二、組成电路的元件和它們的容許工作条件	346
三、实验內容	351
17-1. 指針电流計 (实验 1)	351
17-2. 鏡子电流計 (实验 2)	354
17-3. 带有热电变换器和整流器的磁电式仪器的校准(实验 3)	357
17-4. 与檢驗安培計、伏特計和瓦特計有关的指示	358
17-5. 工程安培計的檢驗 (实验 4)	360
17-6. 工程伏特計的檢驗 (实验 5)	361
17-7. 工程瓦特計的檢驗 (实验 6)	362
17-8. 范型安培計的檢驗 (实验 7)	365
17-9. 仅用电流互感器誤差的決定 (实验 8)	366
17-10. 用单臂电桥測量电阻 (实验 9)	370
17-11. 用双臂电桥測量电阻 (实验 10)	370
17-12. 絕緣电阻的測量 (实验 11)	371
17-13. 接地电阻的測量 (实验 12)	372
17-14. 用交流电桥測量电感 (实验 13)	373
17-15. 用交流电桥測量电容 (实验 14)	374
17-16. 感应式瓦时計的檢驗和調节 (实验 15)	374
17-17. 用二元件瓦特計測量功率 (实验 16 甲)	376
17-17 甲. 用二元件瓦特計和电流互感器測量功率 (实验 16 乙)	378
17-18. 三相交流高压电路內功率的測量 (实验 17)	380
17-19. 有功和无功瓦时計接入三相交流电路 (实验 18)	383
17-20. 鋼損耗的決定 (实验 19)	385
17-21. 电子管示波器 (实验 20)	386
参考书目	392
中俄文对照索引	394
俄文下标意义說明	400

导 言

要研究电的现象和确定各种电量之间的量的关系，必须进行测量并应用测量仪器。

一方面，由测量可以得到新的知识和新的发现；另一方面，这些知识和发现又保证测量本身有进一步发展的可能。电测量的发展史，是与电学理论的发展史，与电工技术的发展史紧密地联系着的。

虽然许多俄国科学家在电测量方面有巨大的成就，但是在沙皇俄国，电测量仪器的工业生产差不多完全没有，而国内的小量需要还是由外国公司来供应的。

在推翻地主和资本家的政权之后，工人阶级在共产党的领导下掌握了政权，开始建设社会主义社会。符·伊·列宁指出，国家电气化是社会主义胜利的最重要条件。他在1920年曾经非常明确地阐述了电气化的意义：“共产主义——这就是苏维埃政权加全国电气化。”

在1920—1921年，不管经济破坏和国内战争，拟订并通过了著名的列宁国家电气化计划——全俄电化委员会计划。

在这个计划的实施过程中，我们国内不仅建筑了巨大的发电站，而且创立了电气工业，包括电工仪器制造工业在内。

在战前的五年计划的年代里，组织了电测量仪器的生产，进行了仪器制造人才的培养；在科学研究实验室和实验设计局，研究了电测量仪器的理论和计算方法，以及新型的国产仪器和新的连续生产法。最后，还建造了生产电测量仪器的最大的工厂。

在伟大的卫国战争时期，电工仪器制造工业光荣地经过了撤退工厂和完成战时订货的严重考验。

在恢复和发展苏联国民经济的第四个五年计划中,规定 1950 年电测量仪器的生产量增大到 7 倍于 1940 年的生产量。

第五个五年计划规定电测量仪器的生产量增大到 27 倍。

在战后的五年计划的年代里,祖国的电工仪器制造工业得到了巨大的成就。为了适应工业方面和科学研究机关方面的需要,研究并掌握了各种不同电测量仪器的大量生产,这些仪器都达到了电测量技术的最新成就的水平。

在苏维埃政权的年代里生长起来的苏联电工仪器制造工业,现在正出产着科学和技术方面所必需的一切检测仪器。

第一章 測量方法和測量誤差的分类

1-1. 測量方法

所謂測量，就是把被測的量与規定作为單位的同類量作比較的過程。測量結果用被測的量与測量單位的比值表示。

測量單位或測量單位的分数或倍数的复制实体，称做度量。

用来比較被測的量和測量單位的設備，称做測量儀器。

測量時，利用度量和測量儀器，并采用各种不同的測量方式或方法。測量方法有直接法和間接法的区别。

将被測的量直接与同類量比較的測量方法，称做直接法。

直接法分成直接計值法和比較法。

当被測的量直接从按照它的值分度的測量儀器的讀数决定時，这种方法称做直接計值法，例如用安培計測量電流，用瓦特計測量功率等。

当被測的量直接与這量的度量比較而决定時，这种方法称做比較法，例如測量电压時将它与标准電池的電勢（電勢的度量）比較。

比較法包括下面几种：

1. 零值法；

2. 差作用法；

3. 代替法。

零值法——就是被測的量（或与被測的量具有函数关系的量）对于儀器的作用被同類已知量的相反作用抵消到零的方法，例如測量電勢時用已知电压来补偿它，測量电阻時利用電桥。

差作用法——就是利用仪器测量未知量与已知量之间的差的方法,例如用差作用法求鋼損耗(參閱第 14 章)。

代替法——就是用已知量(度量)来代替被测的量而不引起测量仪器讀数的变更的方法,例如用代替法测量电阻(參閱第 7 章)。

当未知量不直接测量,而根据别的量的测量結果和被测的量与未知量之间的关系值計算时,这种方法称做間接法。例如测量导体的电阻时,可用安培計测量导体內的电流,而用伏特計测量导体两端的电压。已知电流 I 、电压 U 与电阻 r_w 之间的关系,可从下式求出电阻:

$$r_w = \frac{U}{I}。$$

因为直接計值的直接法最簡單,需要的测量時間也最短,所以虽然测量的准确度不高(0.2—10%),但是在电工技术上,实际应用最普遍。

为了使测量更加准确(达 0.001%),利用零值法和差作用法,这两种方法所需测量時間長得多,所需仪器设备也比較复杂而貴重。

1-2. 与度量和仪器有关的基本概念和定义

度量和测量仪器分成范型的和运用的。

用来复制和保存测量單位并用来檢驗和校准各种度量和测量仪器的度量和测量仪器,称做范型度量和范型测量仪器。

一切度量和测量仪器,除了范型的以外,凡用于实际测量的目的的,称做运用度量和运用测量仪器。

范型度量和范型测量仪器分成标准(第一标准、第二标准、第三标准)和限定准确度(一級、二級和三級)的范型度量和测量仪器。

用于复制和保存單位的目的、并具有在目前的测量技术情况下所能达到的最高准确度(度量衡学上的准确度)的范型度量和范型测量仪器,称做标准。

具有較小于度量衡学上的准确度的一定准确度、并用来实际檢驗和校准各种度量和测量仪器的度量和测量仪器，称做**限定准确度的范型度量和范型测量仪器**。

运用度量和运用测量仪器分成实验室的和工程的。

所謂**实验室度量和实验室测量仪器**就是这样的度和仪器，在使用时，必須計及測量准确度，即計及度量值和仪器讀数的补值，并計及各种因素例如温度、磁場等的影响。

使用时采取一定的、預先确定的測量准确度的度和测量仪器，称做**工程度量和工程测量仪器**。

以后我們講到的将限于限定准确度的度和运用度量。

度量的标称值就是度量上标明的值。

度量的实际值就是用范型度量或范型测量仪器决定的度量值。

度量的标称值 A_n 与实际值 A 的差称做**度量的絕對誤差** ΔA ：

$$\Delta A = A_n - A. \quad (1-1)$$

度量的实际值与标称值的差称做**度量的絕對补值** δA ：

$$\delta A = A - A_n. \quad (1-2)$$

补值等于誤差的負值：

$$\delta A = -\Delta A.$$

从方程(1-2)得

$$A = A_n + \delta A, \quad (1-3)$$

即要得到度量的实际值，应将补值与度量的标称值用代数法相加。

测量仪器的讀数就是被測的量从仪器确定的值。

被測的量的实际^①值就是用范型度量或范型测量仪器决定的值。

仪器的讀数与被測的量的实际值的差，称做**仪器的絕對誤差**。

用 A_1 代表测量仪器的讀数， A 代表被測的量的实际值， ΔA 代表仪器的絕對誤差，可写成：

① 必須注意，实际值并不是真正值。

$$\Delta A = A_1 - A_0. \quad (1-4)$$

被测的量的实际值与仪器读数的差,称做仪器的补值 δA ,即

$$\delta A = A - A_1. \quad (1-5)$$

补值等于误差的负值:

$$\delta A = -\Delta A.$$

从方程(1-5)得

$$A = A_1 + \delta A, \quad (1-6)$$

即要得到被测的量的实际值,应将补值与仪器读数用代数法相加。

例 1-1. 安培计读数 $I_1 = 20$ 安。

范型安培计读数 $I = 20.4$ 安。

安培计误差

$$\Delta I_1 = I_1 - I = 20 - 20.4 = -0.4 \text{ 安}.$$

安培计补值

$$\delta I_1 = -\Delta I_1 = I - I_1 = 20.4 - 20 = 0.4 \text{ 安}.$$

用安培计所测电流的实际值

$$I = I_1 + \delta I_1 = 20 + 0.4 = 20.4 \text{ 安}.$$

有些仪器用改正因数代替补值。改正因数就是为了得到被测的量的实际值所必需将仪器读数乘上的一个数。

绝对误差与被测的量的实际值相比的百分数称做测量仪器的相对(实际^①)误差:

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A} 100\% = \frac{A_1 - A}{A} 100\%. \quad (1-7)$$

绝对误差与仪器的最大测量限值相比的百分数称做测量仪器的折合误差:

$$\gamma_n = \frac{\Delta A}{A_n} 100\%. \quad (1-8)$$

例 1-2. 安培计读数 $I_1 = 20$ 安。

① 绝对误差与仪器读数的比称做仪器的相对标称误差。相对实际误差与相对标称误差通常相差很小,在许多情形中是可以互相代替的。