

电路、信号与 系统实验

● 史耀琮 程增熙 主编 ●



西安电子科技大学出版社

号 010 字登商 (类)

73.412/103

内容简介

电路、信号与系统实验

史耀琮 程增熙 主编



西安电子科技大学出版社

编主 程增熙 史耀琮

编立云 排版孙贵

西安电子科技大学出版社

地址：西安

电话：(029) 2400000

西安电子科技大学出版社

1992

(陕)新登字 010 号

2014/2/14/27

内 容 简 介

本书共分两大部分。第一部分是电路、信号与系统实验必需的基础知识,共三章。第一章介绍常用电子测量仪器。包括万用表、稳压电源、信号发生器、示波器、电子式电压表等。第二章介绍基本测量方法。包括电压与电流的测量、相位差的测量、网络频率特性的测量、阻抗的测量和暂态特性的测量等。第三章介绍误差分析及实验数据的处理方法。第二部分是 30 个实验的指导书。前 15 个实验属基础型,后 15 个则为综合性较强的实验。实验仪器均选通用型。

本书是与无线电技术中的《电路分析基础》及《信号与系统》两门课程相紧密配合的实验课教材,除可作为高等院校无线电技术及相关专业学生的实验课教材和实验参考书外,也适合于广大的无线电爱好者的自学使用。



电路、信号与系统实验

史耀琮 程增熙 主编

责任编辑 云立实

西安电子科技大学出版社出版发行

兰空西安印刷厂印刷

新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 10 8/16 字数 242 千字

1992 年 6 月第 1 版 1992 年 6 月第 1 次印刷 印数 1—6 000

ISBN7-5606-0181-2/TN·0065(课) 定价: 5.05 元

前 言

《电路、信号与系统实验》是与《电路分析基础》和《信号与系统》这两门无线电技术类专业的重要基础理论课程相配合的实验课。根据加强学生能力培养及实验独立设课的要求,《电路、信号与系统实验》课形成了自己相对完整的体系。概括起来本课程的设置目的有三:

第一,配合理论基础教学,验证、巩固和扩充某些重点理论知识;

第二,学习有关电子测量的一些基础知识,学习常用电子测量仪器、设备的使用方法和基本测量技术;

第三,通过一系列实验,培养学生运用所学知识,制定实验方案、选择实验方法、分析误差、处理数据、编写实验报告等从事专业技术工作的必需的初步能力和良好作风。

根据上述目的,本书在第一部分中编写了电路、信号系统实验必备的基础知识。这部分内容,可在课程进行中分数段由教师集中讲授,或在有关实验之前指定学生阅读。本书的第二部分是30个实验的指导书,前15个实验属基础训练型,实验内容、要求、方法、步骤等写得较为详细、具体。后15个实验属提高型,内容上综合性较强,指导也比较原则。在整体安排上,遵循由浅入深,从简到繁,循序渐进的原则。

本书初版于1981年。在10年教学实践中,根据电路、信号系统理论课的内容和实验设备的发展与变更情况,并参考了国内外数所高校同类课程的设置现状,曾于1985年和1988年对本教材进行了两次修订再版工作。本次改编,是在前面工作的基础上,针对部分实验设备更新情况,仅对部分章节和少数实验进行了重编或改写,并在全书中较多地吸取了近几年来实施本课程教学的教师们实践、探索的经验。

在本书的数次编写出版工作中,电路实验室和教研室的同志们做了大量工作。本书初版稿是在车文光同志主编《电路基础实验讲义》的基础上完成的。车文光同志还参加了本书第三版的改编工作。俞忠勋、张雅兰、贝健等同志为本书中基础实验的选材、设计做了大量工作。前两次改编,曾经过电路实验室的集体讨论。本次改编中,杨熙信、车文光同志又提出了很多宝贵意见。因而,本书是集体劳动的产物。

由于编者水平所限,本次改编中定有不足或错误之处。恳请读者批评指正。

编 者

1991年7月

实验须知

实验的意义和方法——原则性指导

在科学技术工作中,为阐明某一现象常需创造出特定的条件,借以观察它的变化和结果。我们把这一工作的全过程称为实验。历史上许多著名的实验表明,实验工作在科学发展的过程中起着重大作用。它不仅仅是验证理论的客观标准,还常常是新的发明和发现的线索或依据。1820年奥斯特在—项实验中观察到放置在通有电流的导线周围的磁针会受力偏转,他由此认识到电流能产生磁场。从此使原来分立的电与磁的研究开始结合起来,开拓了电磁学这一新领域。1873年麦克斯韦建立了完整的电磁场方程(即麦克斯韦方程组),预言了电磁波,并提出光的本质也是电磁波的论点。1887年赫兹做了电磁波产生、传播和接收的实验。这项实验的成功不仅为无线电通讯创造了条件,还从电磁波传播规律上确认了它和光波一样具有反射、折射和偏振等特性,终于证实了麦克斯韦的论点。在门捷列夫之前,化学已有相当的发展,从大量实验中对已发现的化学元素如氢、氧、钾、钠等等都有了一定认识,确定了这些元素各自具有的化学性质。但是这种认识是孤立的,只是肯定了各元素的个性。门捷列夫整理了前人的大量实验结果,研究诸元素间性质上的联系,终于发现了元素周期律,并据以预言了一些当时尚未发现的元素的存在和它们应有的性质。他的这些预言后来都为实验证实。周期律大大推进了化学理论的进展。最后,我们用天文学上发现海王星的例子来进一步说明实验研究导致新的科学发现的过程。在人们对刚刚发现的天王星进行大量观测和分析之后产生了一个疑问。为什么它的实际位置与用万有引力定律计算的理论位置并不符合?这导致人们思考,或是引力定律自身存在问题,或是另有一颗未知的行星在起作用。这引起当时才23岁的英国大学生亚当斯和法国青年勒威耶的兴趣。他们受后一估计的启发,利用已掌握的天文资料,经数年努力,先后独立地用数学方法推算出那颗未知行星的运行轨道。随后又经柏林天文台观测证实。海王星就这样被发现了。

实验在科学技术工作中所具有的重要意义是很明显的。然而,要做好实验工作,还需注意以下几个重要方面。

一般讲,一次完整的实验应包括定性与定量两方面的工作。做实验首先强调观察,集中精力于研究对象,观察它的现象、它对某些影响因素的响应、它的变化规律和性质等等,这些属于定性。对研究对象本身的量值、它响应外部条件而变化的程度等等做数量上的测量和分析属于定量。定性是定量的基础,定量是定性的深化,二者互为补充。

在完成定性观察和定量测量取得实验数据之后,工作并未结束。实验的重要一环是对数据资料进行认真整理和分析。去粗取精,去伪存真,由此及彼,由表及里,以求对实验的现象和结果得出正确的理解和认识。

对实验结果的正确理解十分重要。如果亚当斯和勒威耶企图用观察天王星所得资料去否定引力定律,他们势必走向成功的反面。事实上,后来成为天文学家的勒威耶的经历足以说明问题。他在研究工作中还曾发现距太阳最近的水星轨道也与用引力定律得出的计算值

不一致。于是他套用海王星的经验又去寻找新的行星，结果却遭失败。问题出在哪里？半个世纪后，爱因斯坦的相对论问世人们才搞清楚。原来万有引力定律的精确性是有条件的，越靠近太阳误差越大。用它计算水星轨道时需做适当修正才能与实际符合。

那么，面对实验数据和结果，怎样才能正确地理解和认识它呢？对于探索性实验，这个问题比较复杂，因为有主观和客观多种因素在起作用。但就主观因素讲，主要依赖于实验者学识水平的高低和研究能力的强弱。所谓学识水平，主要指理论知识的深度和广度以及科学的思想方法。所谓研究能力是指自学能力、思维能力、分析与综合能力、实验操作能力、运用已有知识解决实际问题等等能力的综合。学识与能力的提高，需长期学习和实践积累，非朝夕之功。至于学校教学计划中安排的实验课题，因其内容是成熟的，目的是明确的，结果是预知的，又有教师的指导，所以任务是不难完成的。但是为使学生较为系统地获得有关实验的理论知识 and 有重点地培养有关实验的基本技能，实验课的设置又是必不可少的。我们的目的不是要学生完成多少个实验，而是希望学生在完成实验的过程中，在知识的增长和能力的培养上有最高的收益。

基于上述目的，本书在内容编排上分为两大部分。第一部分是实验所需的基本的理论知识。第二部分列出了较多的实验课题，其中有些是基本要求，有些则是较高要求。在规定的教学时间内不要求同学把所有实验全部做一遍。但希望同学们在接受必需的基本训练之后（或训练之余），能够根据自己的条件和兴趣，选做几个综合性较强的实验。选做的实验内容，不一定全是理论课中讲过的，因而可以使实验者从查阅资料、掌握知识开始，经过确定实验方案（确定方法，选择仪器、制定实验步骤），观察实验现象、测量和分析数据，排除可能出现的故障，直到得出正确的实验结果并写出完整的报告止，在实验研究的全过程上得到较为系统的训练。诚然，这需要实验者有充分的实验准备，要多花一些时间和精力。但这对于实验者知识和能力的提高无疑是有益的。

本书在编写过程中，参考了国内外许多教材和有关文献，并得到了许多老师和同学的支持和帮助。由于编者水平有限，书中难免有不足之处，恳请读者批评指正。本书在编写过程中，参考了国内外许多教材和有关文献，并得到了许多老师和同学的支持和帮助。由于编者水平有限，书中难免有不足之处，恳请读者批评指正。

本书在编写过程中，参考了国内外许多教材和有关文献，并得到了许多老师和同学的支持和帮助。由于编者水平有限，书中难免有不足之处，恳请读者批评指正。本书在编写过程中，参考了国内外许多教材和有关文献，并得到了许多老师和同学的支持和帮助。由于编者水平有限，书中难免有不足之处，恳请读者批评指正。

本书在编写过程中，参考了国内外许多教材和有关文献，并得到了许多老师和同学的支持和帮助。由于编者水平有限，书中难免有不足之处，恳请读者批评指正。本书在编写过程中，参考了国内外许多教材和有关文献，并得到了许多老师和同学的支持和帮助。由于编者水平有限，书中难免有不足之处，恳请读者批评指正。

目 录

前言

实验须知：实验的意义和方法——原则性指导

第一部分 基础知识

第一章 常用测量仪器

§ 1-1 概述	3
§ 1-2 万用表	4
§ 1-3 直流稳压电源	11
§ 1-4 信号发生器	12
§ 1-5 电子式电压表	17
§ 1-6 示波器	20
§ 1-7 实验板简介	30

第二章 基本测量方法

§ 2-1 电压的测量	33
§ 2-2 相位差的测量	35
§ 2-3 频率特性的测量	38
§ 2-4 暂态响应的测量	40
§ 2-5 阻抗的测量	41

第三章 测量误差与实验数据处理

§ 3-1 测量误差	52
§ 3-2 实验数据的处理	55
§ 3-3 实验结果的图示处理	58

第二部分 实验指导书

实验一 万用表的使用	63
实验二 万用表的设计、组装和测试	67
实验三 直流电源外特性与戴维南定理	70
实验四 基尔霍夫定律与特勒根定理	74
实验五 示波器使用练习	76
实验六 一阶电路的暂态响应	79
实验七 一阶电路的应用实例	85
实验八 二阶电路的暂态响应	88
实验九 阻抗的测量	91

实验十	RLC 串联谐振电路	94
实验十一	Q 表	96
实验十二	互感的测量	98
实验十三	耦合谐振电路	100
实验十四	二阶 RC 网络的频率特性	102
实验十五	LC 滤波器	105
实验十六	有源滤波器	107
实验十七	信号频谱的测量	111
实验十八	信号通过线性电路	114
实验十九	取样定理	117
实验二十	基本运算单元	120
实验二十一	连续系统的模拟	124
实验二十二	离散系统的模拟	127
实验二十三	微分方程的模拟求解	131
实验二十四	状态方程的模拟求解	134
实验二十五	非线性电阻网络的伏安特性	137
实验二十六	非线性电阻网络转移特性的综合	143
实验二十七	负阻抗变换器	146
实验二十八	回转器	151
实验二十九	旋转器	155
实验三十	实验数据处理	158
参考文献	.....	159

附录二 常用物理量单位换算表

10	.....	10 ⁻¹
10	.....	10 ⁻²
10	.....	10 ⁻³
10	.....	10 ⁻⁴
10	.....	10 ⁻⁵
10	.....	10 ⁻⁶
10	.....	10 ⁻⁷
10	.....	10 ⁻⁸
10	.....	10 ⁻⁹
10	.....	10 ⁻¹⁰

第一部分 基础知识

第一章 常用测量仪器

§ 1—1 概 述

所谓“测量”，就是利用专用设备把被测物理量同标准量进行比较，判定被测量值是标准量的多少倍，从而确定被测量大小的过程。测量是定量分析的基础，是实验的重要环节。

为进行各种测量所需的全部仪表、设备统称测量仪器。

电路实验中被测物理量大致分为两类。一类是表征电信号特征的量，如电流、电压、频率、周期等等。它们可直接送入测量设备与同类标准量进行比较，或者在测量设备中经过某种变换（幅度变换、频率变换、波形变换等）后，再与标准量比较，最后由显示设备显示出测量结果。其测量过程如图 1—1.1 所示。另一类是表示各种元器件及电路系统电磁特性的量，如电阻、电感、电容、阻抗、传输特性等等，它们只有在一定的信号作用下才显露出其固有的特性。例如，只有在电压或电流激励下，电阻器才表现出它的电阻的作用。这类物理量的一般测量过程示于图 1—1.2。把已知信号加于被测元件或系统的输入端，然后分别测量输入信号与输出信号（包含了被测件特性的电信号）就可得知被测件的特性，这实际上是一种间接测量方法。

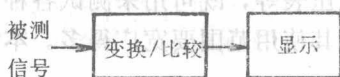


图 1—1.1 信号特性的一般测量过程

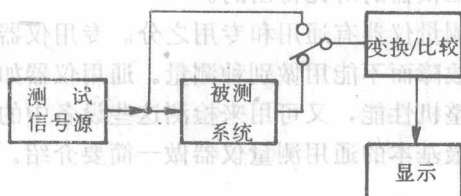


图 1—1.2 系统特性的一般测量过程

所以，从上述测量过程看出，测量仪器应该包括电信号特性测试仪（电压表、频率计等）、测试信号源（音频信号发生器、脉冲产生器等）以及由测试信号源与电信号特性测试仪组成的组合式仪器（扫频仪、网络特性测试仪等）。

无论使用何种仪器去测量何种物理量，测量结果总是根据仪器示值确定的。所谓仪器示值，就是由仪器的读数装置给出的被测量的数值。如果进行单次测量，通常取仪器示值为测量结果。如果相同的测量进行多次，测量结果就取各次测量所得仪器示值的算术平均值。

再好的仪器，再精确的测量，仪器示值和测量结果与被测量的真实值之间总会存在一些误差。我们把测量仪器的示值与被测量真实值间的误差叫做仪器误差，把测量结果与被测量真实值间的误差叫做测量误差。当测量结果等于仪器示值时，测量误差就是仪器误差。

有关测量误差的基础知识，我们将在第三章专题讨论，这里仅就仪器误差及有关问题作简要介绍。

我国原第四机械工业部部颁标准“电子测量仪器误差的一般规定 (SJG-75)” (以下简称“标准”) 中对有关仪器误差的术语定义如下。

绝对误差 电子仪器一般可分为测量仪器 (如各种电压表、相位计、频率计等) 和供给量仪器 (如稳压电源、信号发生器等) 两类, 这两类绝对误差含义不同。

测量仪器的绝对误差定义为

$$\Delta = A(\text{仪器示值}) - A_0(\text{被测量真实值})$$

供给量仪器的绝对误差定义为

$$\Delta = A_0(\text{供给量真实值}) - A(\text{标称值})$$

相对误差 即绝对误差与指定数值 (例如满刻度值) 的比值。

固有误差 在符合仪器校准试验所规定的基准条件下对仪器测定的误差。

工作误差 在仪器规定的额定工作条件 (即仪器对来自外部并影响仪器工作性能的诸因素所限定的数值范围) 下测定的误差。

“标准”规定, 仪器的各项误差均应以其极限值给出。仪器可以给出固有误差极限, 此误差极限仅在基准条件下有效。但在一般情况下满足基准条件是困难的, 故“标准”要求制造厂对仪器产品应给出工作误差极限, 此误差极限在额定工作条件以内, 对于影响仪器工作效能的外部因素的任意组合都应有效。

“标准”规定, 误差极限可以用绝对数值或相对数值表示; 也可以用相对数值与绝对数值的代数和表示, 例如 $\pm 2\% \pm 2 \mu\text{V}$ 。

以上所述仪器的各项误差值都是在相应误差所定义的条件, 通过与具有更高准确度的标准仪器的对比得出的。

测量仪器有通用和专用之分。专用仪器如埋地电缆故障探测仪, 只能用来探测地下电缆的故障而不能用做别种测量。通用仪器如示波器、电压表等, 既可用于测试各种电子设备的整机性能, 又可用于检测这些设备中的电路部件, 其使用范围要宽广得多。本章仅就几种最基本的通用测量仪器做一简要介绍。

§ 1-2 万 用 表

万用表 (或称复用表) 是一种直读式电工测量仪表。其精确度不高, 但因功能繁多、使用方便而获广泛使用。

国家规定, 根据仪表固有误差的大小, 直读式电工测量仪表的精确度划分为七级, 如表 1-2.1 所示。表中固有误差是以测量仪器的绝对误差与该仪器刻度尺上量限 (称量程) 之比的百分数来定义的。不同型号或同一型号但工作在不同功能和量程时的万用表, 其准确度可不同。各量程的准确度级别均于电表面板或使用说明书上标明。

表 1-2.1

准确度级别	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
固有误差%	± 0.1	± 0.2	± 0.5	± 1.0	± 1.5	± 2.5	± 5.0

一、万用表的原理与设计

所有万用表均由测量机构 (表头)、测量电路和转换开关组成。表头用以指示被测量的

数值, 测量电路是用来把各种被测量转换到适合表头测量的直流微小电流, 转换开关实现对不同测量电路的选择, 以适应各种测量的要求。

1. 测量机构

万用表的测量机构均采用高灵敏度磁电式表头。它利用载流线圈在永久磁铁磁场中受力的效应使表头指针产生偏转。指针偏转角度 α 与流过表头 (即线圈) 的电流 I 的关系为

$$\alpha = SI \quad (1-2.1)$$

式中 S 称为表头灵敏度, 表示单位电流引起指针偏转的角度。使不同大小的标准电流流过表头, 指针将产生不同的偏转角, 据此可把表盘“刻度”。由于 α 与 I 成正比例, 此种刻度是均匀分布的, 如图 1-2.1 所示。表盘最大刻度对应的电流值是使指针产生最大偏转的“满偏电流”, 也称为表头的量程。磁电式表头的量程一般从几十微安到数毫安, 有多种规格。由式 (1-2.1) 知, 当最大偏转角给定时, 满偏电流与灵敏度成反比, 所以习惯上也用表头的量程来表示表头的灵敏度, 即量程越小灵敏度越高。

2. 测量电路

磁电式表头仅仅是一个具有微小量程的磁电式电流表, 用它组成万用表时必须配合以各种电路。不论使用万用表做何种测量, 都是利用一定的测量电路使流过表头的电流与被测量值间建立一定的关系, 这样便可根据表头指针的偏转从刻度盘上读出被测的量值。

(1) 直流电流测量电路。图 1-2.2 示出万用表中通常采用的测量直流电流的原理电路。这是一个环形分流电路。 r_1 、 r_2 、 r_3 是分流电阻, 共有三个量程: $I_3 > I_2 > I_1$, K 为量程开关。假设表头满偏电流为 I_0 , 内阻为 r_A 。图中符号 $R_1 = r_1 + r_2 + r_3$, $R_2 = r_2 + r_3$, $R_3 = r_3$, R 为可变电阻。成批生产中, 每只表头内阻 r_A 不可能完全相同, 可调整 R 使 $R_A = r_A + R$ 为规定值。

当开关 K 位于不同位置时, 根据分流关系可以得出

$$R_1 = \frac{R_A}{\frac{I_1}{I_0} - 1} \quad (1-2.2)$$

及

$$R_1 I_1 = R_2 I_2 = R_3 I_3 \quad (1-2.3)$$

只要给定 I_0 、 R_A 及 I_1 、 I_2 、 I_3 , 便可首先据式 (1-2.2) 求出 R_1 , 再据式 (1-2.3) 求出 R_2 和 R_3 , 最后可求出各分流电阻值。

(2) 直流电压测量电路。图 1-2.3 示出测量直流电压的原理电路, 共有三个量程: $U_3 > U_2 > U_1$, 可用开关转换。测量指示部分不是直接使用磁电式表头, 而是用最小量程的电流测量电路, 如图 1-2.3 中虚线方框所示, 其量程为 I_1 , 等效内阻为 R_e 。图中 R_1 、 R_2 、 R_3 称倍压电阻, 其计算公式如下

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= (U_1/I_1) - R_e \\ R_2 &= (U_2 - U_1)/I_1 \\ R_3 &= (U_3 - U_2)/I_1 \end{aligned} \right\} \quad (1-2.4)$$

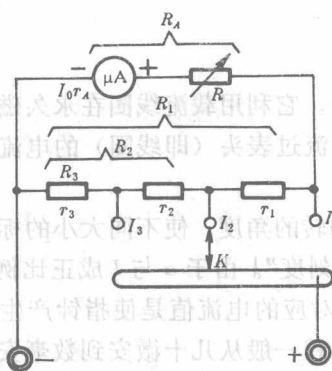


图 1-2.2 直流电流测量电路

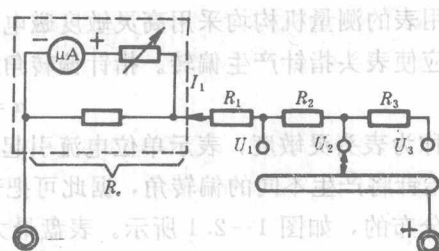


图 1-2.3 直流电压测量电路

电压测量中常需估计电压表内阻，而电压表内阻既与电压量程，也与表头灵敏度有关。量程一定时表头越灵敏内阻就越高。通常把内阻 R_v 与量程 U 之比定义为电压表的“每伏欧姆 (Ω/V) 数”，用以表征电压表的这种特性。“ Ω/V ”实即表头满偏电流之倒数（对于图 1-2.3 之电路应为 $1/I_1$ ），“ Ω/V ”越大，为使指针偏转同样角度所需驱动电流越小，故“ Ω/V ”也称为电压灵敏度。

“ Ω/V ”通常标明于万用表的表盘上，可借以推算不同量程时电压表的内阻。例如某万用表测直流电压时为“20 $k\Omega/V$ ”，则知其 10 V 量程内阻为 $R_v = 200 k\Omega$ 。当然，还可推算出该万用表所用表头的满偏电流为 50 μA 。

(3) 交流电压测量电路。测量交流电压的原理与测量直流电压基本相同，只是在测量电路中附加一整流电路，把交流电压变换为“直流”后再加到表头上。

图 1-2.4 示出万用表测量交流电压的原理电路，图中采用的是半波整流电路，交流电正半周时，电流方向如实线所示，负半周时电流方向如虚线所示。

万用表中还常用桥式全波整流电路，其原理如图 1-2.5 所示。

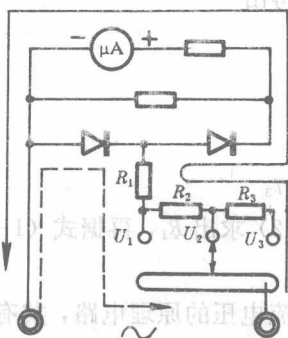


图 1-2.4 交流电压测量电路

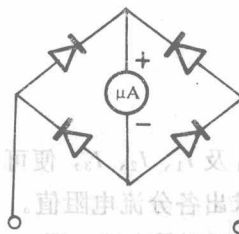


图 1-2.5 桥式全波整流电路

(4) 测电阻电路（欧姆表原理）

欧姆表原理

万用表测电阻是依据欧姆定律的原理，其测量电路如图 1-2.6 所示。图中 cd 间测量指示部分，实际上是直流电流测量电路。设其量程为 I_m ，等效电阻为 R_{cd} ； R_1 是限流电阻； U

是万用表内部电池的电压； A 和 B 是万用表的两个测量端。设被测电阻 R_x 接于 A 、 B 间，由图 1-2.6 得主回路电流为

$$I = U / (R_1 + R_{cd} + R_x) \quad (1-2.5)$$

限流电阻 R_1 的选择原则是当 $R_x = 0$ (A 、 B 间短路) 时使电表指针满偏，此时

$$I = U / (R_1 + R_{cd}) = U / R_T = I_m \quad (1-2.6)$$

式中 $R_T = R_1 + R_{cd}$ 为欧姆表内阻。引用上述关系，式 (1-2.5) 可改写为

$$I = \frac{U}{R_T + R_x} = \frac{I_m}{1 + \frac{R_x}{R_T}} \quad (1-2.7)$$

可见， $R_x \neq 0$ 时， $I < I_m$ ，且对应每一个 R_x 值，主回路电流就有一确定值，表头指针也有相应的偏转角。若据式 (1-2.7) 求出一系列对应于不同 R_x 的电流，并在表头刻度盘的各电流刻度上标以相应的欧姆值，就得到了图 1-2.7 所示的欧姆刻度，这样测量时就可据电表指针的指示直接读出被测电阻值 R_x 。

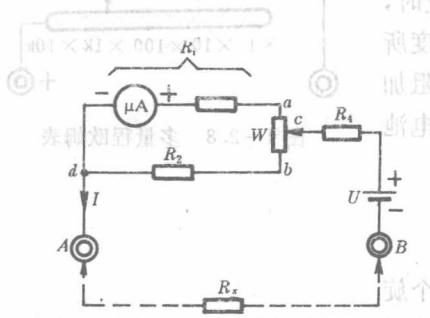


图 1-2.6 电阻测量电路

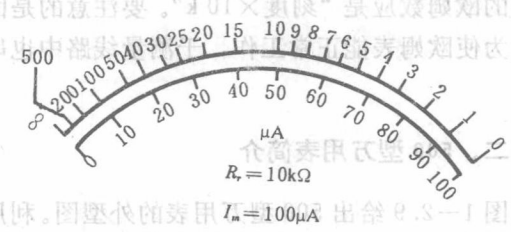


图 1-2.7 欧姆表刻度

当 $R_x = R_T$ 时，主回路电流 $I = I_m / 2$ ，欧姆表指针恰指中央位置，故内阻 R_T 也称中值电阻。

零点调整

欧姆表使用日久，电池端电压将会降低，当 $R_x = 0$ 时会因 $I = \frac{U}{R_T} < I_m$ 使指针不能满偏。仍用它去测量电阻，必将导致较大误差。为解决此问题，欧姆表中均采用“零点调整线路”。

图 1-2.6 中，电位器 W 就是一种常用的零点调节措施。调节零点电位器 W 的滑动触点 c ，可改变表头支路与 R_2 支路的电流分配关系。只要设计得当，可保证在 U 的一定变化范围内，当 $R_x = 0$ 时，通过调节 W 均可使指针指零。

由图 1-2.6 可写出该欧姆表的中值电阻为

$$R_T = R_1 + \frac{(R_1 + R_{ac})(R_2 + R_{bc})}{R_1 + R_2 + W} \quad (1-2.8)$$

显然，点 c 位置的变动改变了表头与 R_2 两支路并联总阻值 R_{cd} （即上式等号右端第二项），亦即改变了中值电阻 R_T 值而使测量不准。但通常选择 R_1 阻值较大而 R_2 及 W 均较小，这样可将 R_T 的变动限制在较小范围，以保证欧姆表的误差不致过大。

多量程欧姆表

欧姆表的刻度包含了从 0 到 ∞ 的全部电阻数值，但是当被测电阻很大或者很小时，因

读数不易分辨，将导致大的测量误差。事实上，只有在相当于 $(1/5 \sim 5)$ 倍中值电阻的阻值范围内，才能保证一定的测量准确度。就是说，欧姆表也有改变其“有效量程”之必要。而欧姆表量程的改变是通过改变其中值电阻来实现的。

图 1—2.8 示出多量程欧姆表的线路，通过联动开关（共有两组触点，用虚线连接表示它们联动）可以变换量程。例如图中所示开关位于 $\times 1\text{ k}$ 位置，此时线路的中值电阻为 $10\text{ k}\Omega$ ，即表盘中央刻度线“10”（见图 1—2.7）代表的阻值应为 $10 \times 1\text{ k}\Omega$ 。若开关置 $\times 100$ 位置，可以看出在电路负端与电池正端间并接了电阻 R_7 ，使中值电阻减少 10 倍为 $1\text{ k}\Omega$ 。此时表盘中央刻度线“10”所代表的电阻值也减少 10 倍，读数应为 $10 \times 100\ \Omega$ 。同样，开关在 $\times 10$ 、 $\times 1$ 位置时，欧姆表中值电阻均递减 10 倍，刻度所代表的欧姆数也做相应变化。当开关置 $\times 10\text{ k}$ 位置时，线路中串入电阻 R_8 ，使中值电阻提高至 $100\text{ k}\Omega$ ，刻度所代表的欧姆数应是“刻度 $\times 10\text{ k}$ ”。要注意的是因内阻加大，为使欧姆表能正常工作，于测量线路中也串入电池 U_2 。

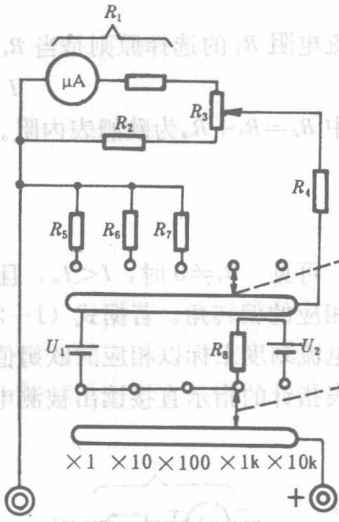


图 1—2.8 多量程欧姆表

二、500 型万用表简介

图 1—2.9 给出 500 型万用表的外型图。利用两个旋钮式功能（量程）转换开关的不同位置组合，可以选择不同的测量功能和量程。它的测量范围及准确度等级示于表 1—2.2。

图 1—2.10 给出 500 型万用表的电原理图。作为练习，建议读者结合前述原理看懂此图，即“走通”电流、电压（直流和交流）和电阻的测量电路。

图 1—2.11 为 500 型万用表直流电流档 $50\ \mu\text{A}$ 量程分解电路原理图。

表 1—2.2

测量范围	灵敏度	准确度等级	基本误差表示法
直流电压	0~2.5~10~50~250~500 V	20 000 Ω/V	2.5
	250 V	4 000 Ω/V	4.0
交流电压	0~10~50~250~500 V	4 000 Ω/V	5.0
	2 500 V	4 000 Ω/V	5.0
直流电流	0~50 μA ~1 mA		2.5
	10~100~500 mA		
电阻	0~2 k~20 k~200 k~2 M~20 M Ω		2.5
音频电平	-10~+22 dB		

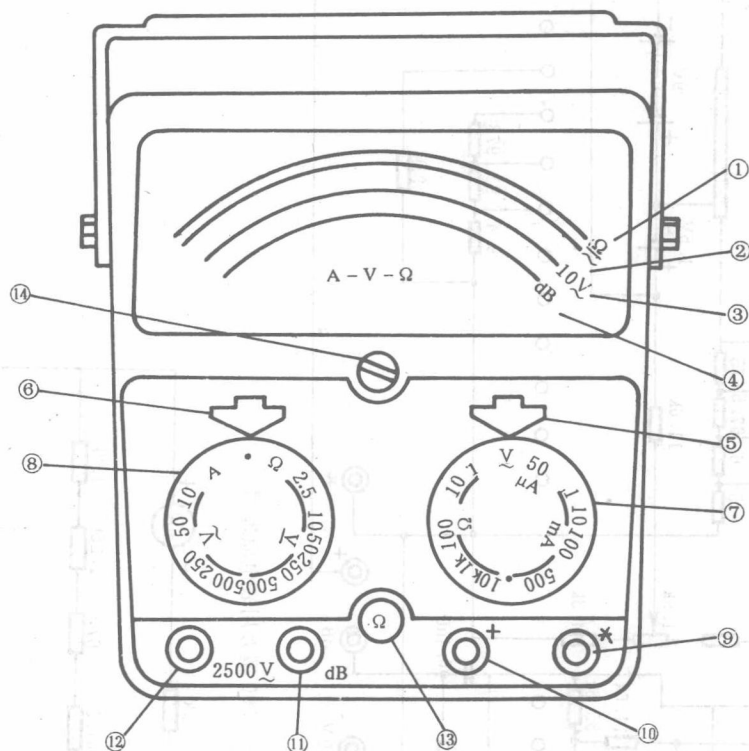


图 1-2.9 500 型万用表面板图

- ① 欧姆刻度
- ② 直、交流刻度
- ③ 交流 10 V 专用刻度
- ④ 音频电平 (分贝刻度)
- ⑤、⑥ 标志符
- ⑦、⑧ 功能、量程开关
- ⑨ 公共插孔
- ⑩ 通用测量插孔
- ⑪ 音频电平测量插孔
- ⑫ 测高压插孔 (直、交流通用)
- ⑬ 欧姆调零旋钮
- ⑭ 机械调零