

电 子 学 测 量 仪 表 手 册

理 论 与 应 用

[美]约翰D·林克 著

李耀天 李涌雪 译

孙承浚 杨福生 黄秀平 校

北京科学技术出版社

内 容 简 介

本书介绍了各种常用电子学测量仪表的基础知识、辅助探头、基本操作步骤、仪表的检验与校准、用仪表检测单个元件和电路功能、用仪表维护特种电路等内容。

本书内容反映了现代仪表发展的新趋势,并介绍了数字仪表的原理与应用。本书实用性强,图文并茂。可作为大专院校有关专业师生的教学参考书,也可作为电工、电子技术实验员、无线电业余爱好者的基础教材,还可供有关工程技术人员参考。

Revised and Enlarged

HANDBOOK OF

ELECTRONIC METERS

Theory and Application

1981 by Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. 07632

电子学测量仪表手册

理论与应用

〔美〕约翰D. 林克 著

李耀天 李诵雪 译

孙承浚 杨福生 黄季平 校

*

北京科学技术出版社出版

(北京西直门外南路19号)

新华书店首都发行所发行 各地新华书店经售

煤炭工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 8.375印张 183000字

1987年6月第一版 1987年6月第一次印刷

印数1—2,000册

统一书号15274·043 定价1.60元

译者的话

约翰D. 林克是美国电子学领域内比较著名的专业作家。本书是他编著的第四十四本通俗读物，也是电子学测量仪表方面影响较大的一部著作。原书第一版于1969年出版，作者于1981年又重新进行修订。本书是根据新修订的版本翻译的。

本书以简明扼要、通俗易懂的语言介绍了伏欧表（万用表）、电压表、电流表、电子式仪表以及新的数字式仪表的原理、结构、特性、使用方法等。还介绍了各种仪表的具体操作步骤、仪表的检验与校准方法。对于用仪表检测各种电子元件和线路都作了详细的介绍。

本书对于我国从事电气、电子技术的工程技术人员、大专院校的师生、特别是实验室工作人员以及无线电业余爱好者、家用电气维修人员都有重要参考价值。

本书的前言、第三、四、六、七章由李耀天译，由杨福生、黄季平校订；第一、二、五、八章由李诵雪译，由孙承潜校订。由于外文和专业水平所限，译文中可能有不妥之处，敬请广大读者批评指正。

李耀天 李诵雪

1985年2月1日于北京

前 言

这次修订版的《电子学测量仪表手册：理论与应用》一书，继续保持了第一版中所有成功的特点。也就是说，修订版为电子学测量仪表理论和实际应用的结合架起了一座桥梁。因此，这次新版可服务于两种目的，既可作为学生、技术员、业余爱好者和实验员的基础教科书，也可作为专业技术工作者可靠的参考书。修订版各章增添了许多新内容。这些资料反映了现代仪表的发展趋势，特别是数字仪表的广泛使用。并且，为了阐明清楚或简化，将第一版中的许多内容作了修订。

仪表制造厂提供有关他们所制特殊测量仪表的操作及电路原理说明书。然而，这些说明书很少介绍有关仪表多种用途的任何实用数据。即使是最大而又遐迩闻名的仪表制造厂的培训影片和维修课程也明显的缺少这些内容。

因为电压表、欧姆表、电流表、多用仪表以及多用测试器是一些简单而又通用的测试仪表，所以一般认为，技术人员“自然地”应该知道他们所使用的仪表的规程和功能以及应用范围。以下这些情况是不常见的。例如，怎样用电压表读数寻找“电路中”晶体管的故障？怎样用电压表测定LC电路的谐振频率？怎样确定单结晶体管的导通点？怎样作出固态振荡器的“快速校验”？

如前所述，本手册的修订版以丰富的资料填补了原版的空白，而且能够用来补充任何一块仪表（数字式和模拟式）

的使用说明，不管这种仪表是成本低廉的工厂使用的普通仪表，还是实验室使用的精密仪表。这些都是用仪表作为基本工具来提供各种各样的试验、测量、维修和寻找故障的步骤。这些步骤写成“烹调书”形式。每个步骤之前都简单地叙述“为什么”和“在何处”进行这些试验。这些叙述为那些不熟悉某些专用仪表而又希望亲自按其步骤一步一步操作的读者提供了一个概要说明。每一操作都用试验接线图来说明。虽然不可能包括仪表的所有可能用途，但实际上那些被经验所证实的应用都已包含在其中。

假定有些读者不熟悉仪表的工作原理和特性，本书开头几章给出了这些部分的简单介绍。第1章讨论仪表的基础知识；第2章、第3章分别介绍辅助探头和基本操作步骤；在解决了基本问题的同时，新版还介绍了仪表的检验与校准（第4章）；特殊测量步骤（第5章）；用仪表检查单独元件（第6章）以及检测电路功能（第7章）；第8章是利用仪表维修特殊线路。

许多专家对于新版的增订贡献出了自己的才智，作者衷心感谢那些对本书第二版付出巨大劳动的同事。要知道这样一项综合全面的修订工作，作者一人是不可能完成的，在此要向所有直接或间接对修订版作出贡献的同事致谢。

约翰D. 林克

目 录

前言	1
第 1 章 仪表基础	1
1-1 达松伐耳传动机构和基本万用表	2
1-2 基本惠斯通电桥和 检流计	11
1-3 迈格表 电路	13
1-4 达松伐耳交流仪表	15
1-5 钳形仪表	18
1-6 热电偶仪表	19
1-7 热线式电流表	20
1-8 铁叶片式仪表	20
1-9 电动式仪表	22
1-10 实验室模拟仪表	24
1-11 差动仪表	35
1-12 数字仪表	40
第 2 章 辅助探头	63
2-1 基本仪 表探头	63
2-2 低电容探 头	64
2-3 电阻型分压探头	65
2-4 电容型分压探头	65
2-5 射频 探头	66
2-6 检波探 头	67
2-7 有效地使用探头	68
2-8 供实验人员用 的探头电路	71
第 3 章 基本操作步骤和技术	81
3-1 安全规 程	82

3-2	非数字仪表的刻度和量程	85
3-3	数字表的显示器和量程	98
3-4	仪表保护电路	115
3-5	视差问题	117
3-6	转动机构精度问题	120
3-7	读数误差问题	121
3-8	基本欧姆表测量	123
3-9	基本电压表的测量	125
3-10	基本电流表的测量	127
3-11	基本分贝测量	129
第4章	仪表的检验与校准	130
4-1	欧姆表的检验与校准	130
4-2	电压表的检验与校准	131
4-3	安培表的检验与校准	136
4-4	工厂级的检验与校准	138
4-5	检验仪表特性	147
第5章	特殊的测量方法	152
5-1	计算倍压器和分流器的数值	152
5-2	简易分流器的制作	155
5-3	扩大欧姆表量程	157
5-4	扩大电压表量程	160
5-5	扩大电流表量程	161
5-6	抑零电压测量	162
5-7	复杂波形的测量	163
5-8	阻抗匹配	165
第6章	检查单独元件	167
6-1	检验二极管	167
6-2	光电管的检测	173
6-3	三极管的检测	174

6-4	变压器的检测	177
6-5	电阻的测量	183
6-6	电容器的测量	185
6-7	电池的检测	192
6-8	石英晶体的检测	194
第7章 检测电路功能		196
7-1	测量电路中的交流电流	196
7-2	测量交流电路的阻抗和功率损耗	197
7-3	测量三相电路	200
7-4	测量电源电路	200
7-5	测量衰减电路	203
7-6	测量电路内阻	208
7-7	测量电压灵敏度电路	209
7-8	测量电路Q值	211
7-9	测量集成电路的静态电压	215
7-10	测量电路中电压	216
7-11	测量LC电路谐振频率	225
第8章 利用仪表维护特种电路		230
8-1	接收机的调整	230
8-2	接收机电路的逐级检测	236
8-3	测试接收机的选择性	237
8-4	测试接收机的灵敏度	239
8-5	测试接收机镜频抑制比	240
8-6	测试接收机的综合声频响应	241
8-7	测试便携式晶体管接收机的特性	242
8-8	维护发射机电路	243
8-9	放大器电路的逐级检测	245
8-10	测试放大器特性	247
8-11	测试放大器噪声和交流声	252
8-12	测试滤波器响应曲线	253
8-13	检查振荡器电路	255

第 1 章 仪表基础

没有某些类型的仪表，要想掌握电子设备的状况几乎是不可能的。不论业余爱好者或是专业技术人员都认为检查电路和元件的电压是否合适及流过的电流多大等是非常必要的。一般测量三种基本电量（电压、电流和电阻）的最简单和最常用的仪表是伏欧计，即 VOM。有时也将伏欧计称做万用表或多用测试器（以下译作万用表）。现今市场上，若没有几百种也有几十种万用表可用普通价格买到。随着价格的增加，仪表的精度提高了，刻度和功能增加了，同时量程范围也扩大了。

在电子设备出现的早期，试验工作者实际上经常使用的是他们自己制作的万用表。今天，由于成本降低和制造精确仪表的困难（对实际条件），自制万用表几乎没有了。这种倾向在某种意义上并不好，因为通过制作万用表可以学到很多知识。例如，在基本仪表机构^①上附加电阻就成了电流表和电压表，或者将电源和电阻接到表头上，则可转换成欧姆表，在这里欧姆定律和基尔霍夫定律变得更有实际意义，而不是枯燥的理论。

万用表的第一个改进是电子管电压表，即 VTVM。今天，电子管电压表已被晶体管化，即电子电压表所取代。这种仪表的灵敏度比万用表好得多，因为电子仪表包含有放大器。电子仪表超过万用表的另一优点是电子仪表放大器对于

^① 俗称表头。——译注

被测电路或元件具有高阻抗。因此，电子仪表从电路获得较小的电流或不获取电流，从而对电路工作的影响较小。这种电子仪表的放大器使用场效应晶体管，即FET，呈现出高阻抗并从电路获得最小的电流。因为场效应晶体管与其它晶体管比较具有很高的阻抗，所以场效应晶体管仪表用于测试非常灵敏的电子电路。

万用表、电子管电压表、电子仪表以及场效应晶体管仪表都是模拟式仪表。它们都装有检波器、放大器以及其他的电路以产生与待测量成正比的电流。并以该电流驱动仪表机构。另外两种型式仪表，即差动仪表和数字电压表（即DVM）也在试验室中使用，以补充或取代模拟式仪表。差动电压表是通过一个已知电压同一个未知电压相比较来工作的。数字电压表则是用不连续的数字来显示测量值，而不是象通常在模拟仪表上用连续刻度盘上指针的偏转来显示测量值。

在本书范围内不可能叙述现代仪表中所采用的全部电路。许多这类电路是有特殊用途的。而且，许多基本电路是以各种组合形式使用的。在本章的余下部分并不力求叙述每种已了解的仪表，而是专门介绍典型的仪表电路。

对于初学者，从下一节可以了解如何用表头来组成万用表。如果已了解仪表是怎样工作的，那么就会了解为什么仪表能够显示所要测量的电压、电流或电阻的数据。

1-1 达松伐耳传动机构和基本万用表

最简单的和最常用的机构是达松伐耳仪表机构，如图1.1所示。这个机构还被称做动圈式检流计。早先，达松伐耳传动机构有一个用软铁制作的铁芯。用很细的导线在环绕铁芯的铝模上绕制一个线圈。现在的机构中一般没有铁芯了。线

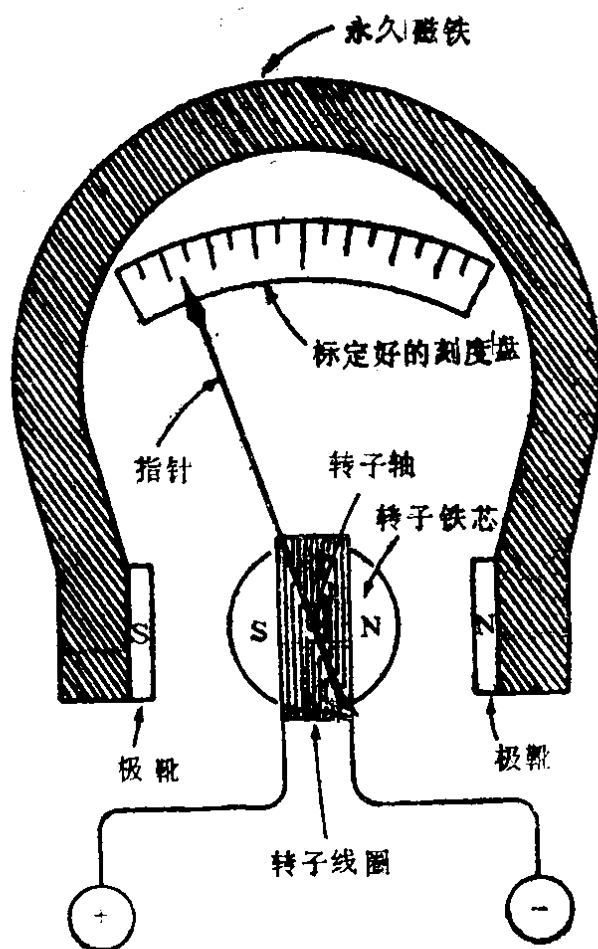


图 1-1 基本达松伐耳仪表机构

圈和铝模的作用有点象一个转子安装在一个装有宝石轴承的轴上,以便可以自由地转动。位于轴每一端的弹簧的作用是将电流引入线圈并使线圈机构运动平稳。

线圈装在U型永久磁铁的极靴之间。指针的一端被固定在转子轴上,当轴转动时,使指针的另一端在标定好的刻度盘上移动。电流流经转子线圈产生一个磁场与永久磁铁的磁场相作用,使线圈相对于磁铁转动。当电流通过线圈时,所产生的磁场是与磁极相排斥的,同时,由于永久磁铁不能运动,所以线圈就绕其轴转动。通过该线圈的电流使线圈转动

角度与电流成正比。这样，基本仪表机构就是一个模拟量装置。随线圈一起转动的指针转角大小与流经该机构的电流量直接有关。而仪表刻度则与某些特定电流值相对应。例如，转动线圈并使指针达到满刻度时所需的电流为 1 mA ，则一半刻度的读数就等于 0.5 mA ，四分之一刻度的读数则等于 0.25 mA 等等。

通常，转子的最大偏转范围（满刻度读数）是顺时针方向并小于半圈。整个机构被装在一个有玻璃面板的盒子里，以避免灰尘和气流的影响。这个密封的仪表机构本身可作为一个很灵敏的电流表来使用。可是，它常常作为其它仪表的一部分。例如，装在万用表中或装在面板上被连接到外部电路上。在作为实验室或工厂仪表的情况下，可用电阻器网络来扩展基本机构（如电流表）的量程，或者将基本机构改变成电压表。

基本电流表

基本达松伐耳传动机构本身就能形成一个电流表。实用的电流表是用安培(A)为单位来测量电流的。在电子设备中，经常是用毫安(mA)或微安(μA)来测量电流。在电子仪表中采用最多的传动机构（表头）是当通过它的电流为 1 mA （或在许多情况下为几个 μA ）时，能产生满刻度偏转。

如果希望测量的电流比表头满刻度量程大，那么，必须用分流器与表头并联连接。该分流器可以是一个精密电阻器、一根金属条或者一根普通的导线。电子仪表分流器一般为可以通过开关来选择的精密电阻器。而重工业工厂的操纵台仪表则使用金属条分流器。分流电阻仅是表头电阻的几分之一。电流同时流过表头本身和分流器，并且大部分电流流

经分流器。分流器必须精确地标定，使其与仪表量程配合适当。

图1-2和图1-3表示万用表的两种典型的毫安表量程选择电路。图1-2是利用量程选择开关来选择每个分流器。在图1-3中，是通过选择开关使分流器与电路接通或断开。如果选择开关放在位置1，三个分流器都并接在表头上，得到最小的分流作用（大部分电流从表头流过）。在位置2上，电阻器 R_1 被短路，剩下电阻 R_2 和 R_3 并接在表头上来进行分流，故扩大了仪表的电流量程。在位置3上，仅有 R_3 并接在表头上进行分流，此时，仪表测试最大的电流。

可计算分流器电阻的数值，从而将任何表头改装成电流表。所需要的公式和计算方法将在第5章介绍。

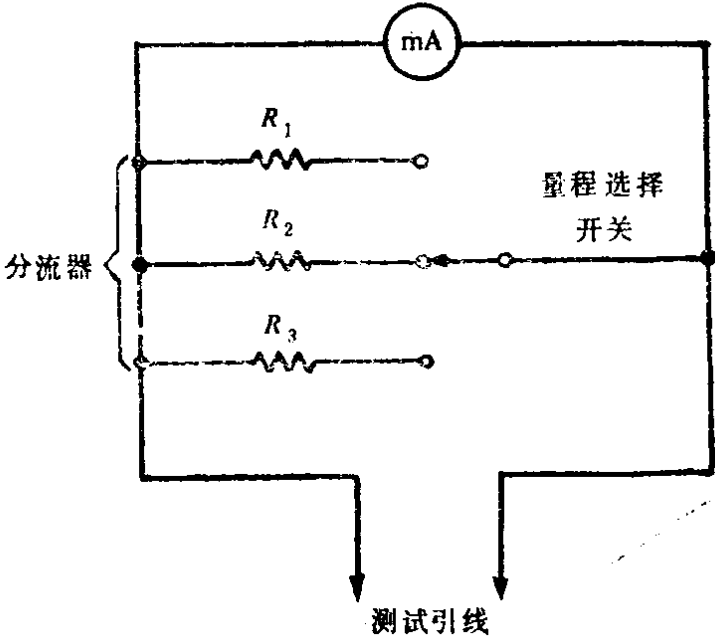


图 1-2 典型的毫安表量程选择电路（单个分流器法）

基本电压表

将基本的达松伐耳传动机构与电阻器串联就构成了一块

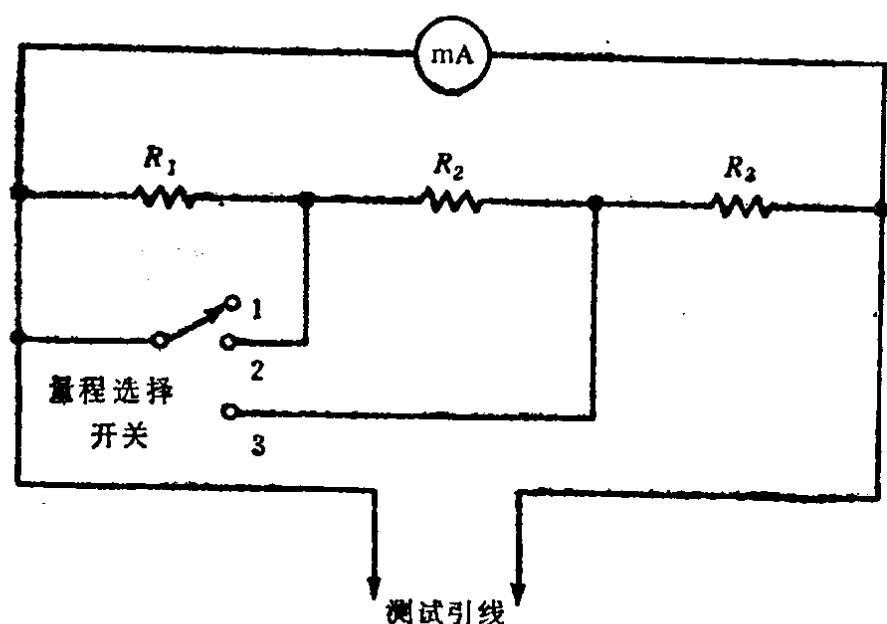


图 1-3 典型的毫安表量程选择电路（串联分流器法）

电压表。这个串联电阻称为倍增器^①，因为这个电阻使基本仪表机构（表头）的测量范围倍增。

基本电压表电路示于图 1-4。如图所示，电压是按表头内阻和串联电阻值来分配的。如果，要求用一块满量程偏转为 0.5 V 的表头来作满量程为 10 V 的测量，那么串联电阻器上就必须有 9.5 V 的电压降。若要求满量程能测量 100 V 则串联电阻应有 99.5 V 的电压降等。为把一块表头改装成电压表，计算其串联电阻数值必要的公式和步骤将在第 5 章介绍。

图 1-5 和图 1-6 表示了万用表的两种典型的电压表量程选择电路。图 1-5 是利用量程选择开关来选择单个的分压电阻。而图 1-6 中组成倍增器的电阻是通过选择开关接通和断开电路进行选择的。如果选择开关放在位置 1，只有电阻 R_1 接

① 通常这个串联电阻叫分压电阻或分压器。——译者注

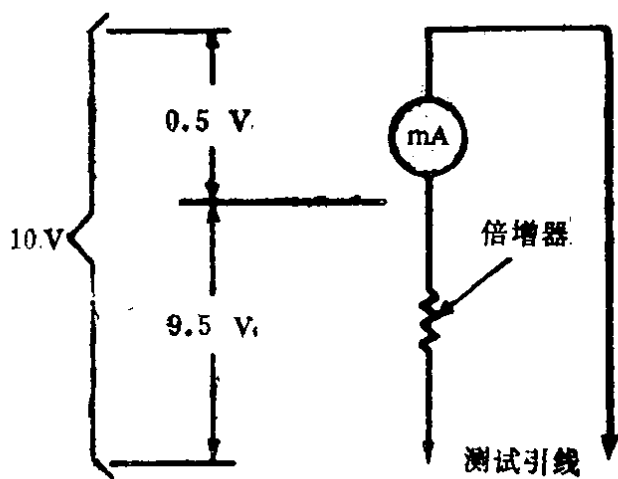


图 1-4 基本电压表电路

在电路上，分压电阻上的电压降最小（仪表可测量最低的电压）；放在位置 2， R_1 和 R_2 都接在电路上，此时仪表有一个较高的电压测试范围；在位置 3，3 个电阻器都接入电路，所有电阻器上都产生电压降，电压表可以测试最大的电压。

大的电压。

工业用的万用表用每伏的欧姆数来描述。每伏欧姆数就是万用表的测量灵敏度，并以 1 伏量程所需要的欧姆数来表示。例如，假设一块表头的满刻度偏转需 1 mA，如将其作电压表用时，测量每伏电压需串入 $1000\ \Omega$ （包括表头内阻）。如果这块表头以满刻度偏转仅需 $100\ \mu\text{A}$ ，则就需要 $10000\ \Omega/\text{V}$ 。因而，表头越灵敏（需要更小的电流），则所需的每伏欧姆数就越高。

具有高的每伏欧姆值等级的电压表可使被测电路负载较低，并且对电路的影响较小。例如，假定用 $1000\ \Omega/\text{V}$ 和 $20000\ \Omega/\text{V}$ 的两种仪表去测量在 $1000\ \Omega$ 的电路上产生 1 V 的压降。而 1 V 压降在 $1000\ \Omega$ 电路中会产生 1 mA 电流。用 $1000\ \Omega/\text{V}$ 仪表跨接到此电路上，则 1 mA 电流将在仪表和电路之间分配。这将使原电路中电流减少一半。如使用 $20000\ \Omega/\text{V}$ 仪表，跨接于同样的电路上，则仅有 $1/20$ 的原电流流过表头而其余的 $19/20$ 在原电路中流过。

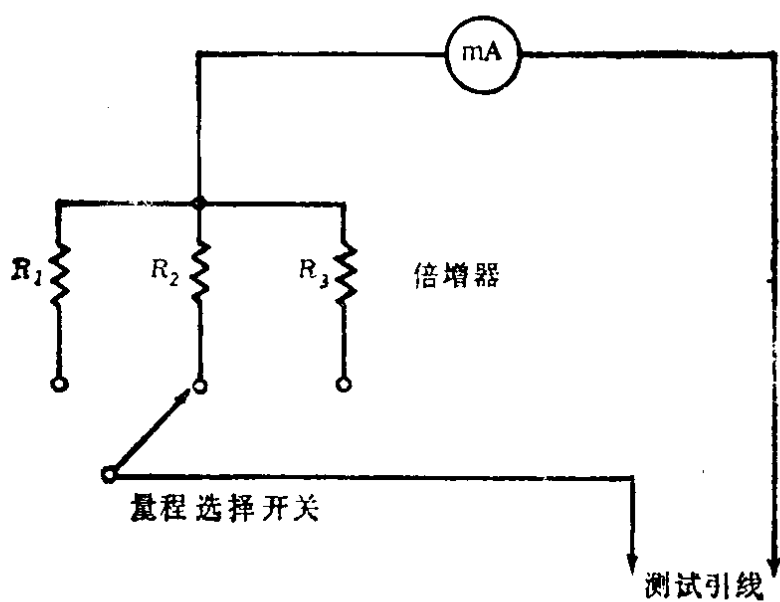


图 1-5 典型的电压表量程选择电路（单个倍压方法）

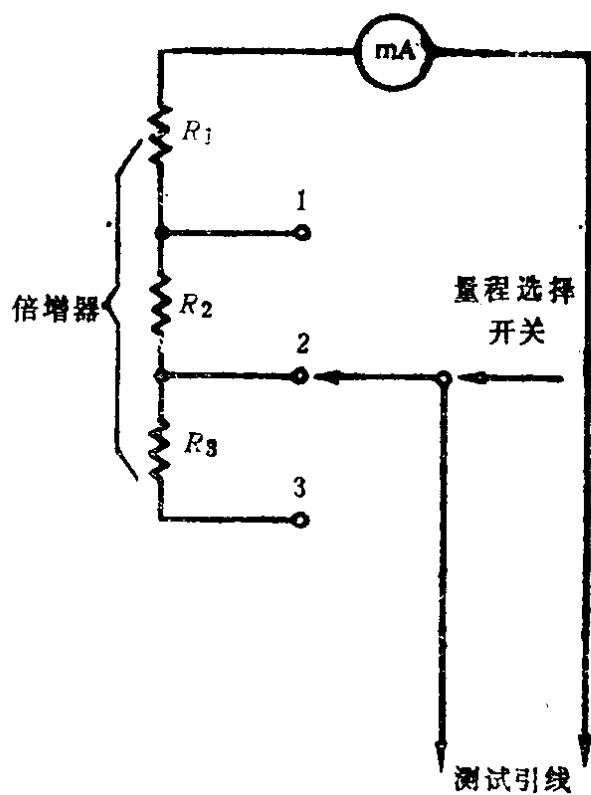


图 1-6 典型的电压表量程选择电路（串联倍压方法）

基本欧姆表

当一个表头与一个电阻和一个电源（例如手提式仪表中的电池）串联在一起时就组成了一个欧姆表（或电阻测量仪表）。基本欧姆表的电路如图1-7所示。图中一个3 V的电池与一只满刻度读数为 $50\mu\text{A}$ 的表头相连接。当测试引线夹在一起时，限流电阻器 R 的数值（ $60\text{k}\Omega$ ，仪表内阻很小）应使电路中的电流正好是 $50\mu\text{A}$ 。

测试引线开路时，其电流为零，仪表的指针停在刻度盘上的“无穷大”符号（ ∞ ）处。当两根引线被短接时，仪表指针移动到满量程 $50\mu\text{A}$ 的位置，在此处指示一个零欧姆的读数。如果一个 $60\text{k}\Omega$ 的电阻被连接到两引线之间，如图1-7所示，则总电阻为 $120\text{k}\Omega$ ，而仪表电流则下降为满量程读数的一半，即 $25\mu\text{A}$ 。如果电池电压和限流电阻 R 保持恒定，则每当 $60\text{k}\Omega$ 电阻接到两测试引线之间时，指针总是移动到 $25\mu\text{A}$ 处。此时，在仪表盘上 $25\mu\text{A}$ 这一点就可标上“ $60\text{k}\Omega$ ”。

若用一个 $240\text{k}\Omega$ 的电阻跨接在两引线之间，其总电阻则为 $300\text{k}\Omega$ ，此时指针将指示 $10\mu\text{A}$ 的读数，因为 $I = E/R$ ，即 $3/300,000 = 10\mu\text{A}$ 。这样，如果电池电压和限流电阻保持恒定，将一个 $240\text{k}\Omega$ 电阻接在两测试引线之间，仪表总是指示 $10\mu\text{A}$ 。因此，在仪表刻度盘上 $10\mu\text{A}$ 这一点可以标记上“ $240\text{k}\Omega$ ”。

图1-7的欧姆表电路能够测量 $60\text{k}\Omega$ 和 $240\text{k}\Omega$ 的电阻，那么只要知道了接在引线之间的任意电阻值，就能把它标定在刻度盘上相应的位置处。

如第3章所述，典型的VOM或万用表的欧姆档刻度同电压及电流刻度一起标定在仪表刻度盘上。然而，欧姆表刻