

谢源开 余尽知  
谢鑫华 尹伯英  
编

# 常用电子 仪器仪表教程

湖南科学技术出版社



DIANZI  
DIANZI  
DIANZI  
DIANZI

## 内 容 简 介

本书选取了用途极为广泛的九种类型的电子仪器,用精练的语言介绍了万用表、交直流稳压电源、示波器、电子电压表、信号发生器、失真度测量仪、高频频率特性测试仪、元器件参数测量仪和数字测量仪器的技术性能、工作原理、使用方法和故障检查与维修知识。重点放在工作原理和电路分析上,以满足各类人员的需要。

全面是本书的特点。对上述九种仪器发展中的三代:即电子管仪器,晶体管仪器,数字(智能)仪器,均取每代中受到肯定,用户较多的一种加以介绍,以收举一反三之效。故本书可以帮助广大从事电子仪器科研、生产、使用和维修的技术人员掌握电子仪器的性能、工作原理和使用方法。对理工类大专学生及中学物理课师生上好实验课也很有助益。对电子仪表维修工人亦具参考价值。

## 常用电子仪器仪表教程

谢源开 余尽知 编  
谢鑫华 尹伯英

责任编辑:夏可军

\*

湖南科学技术出版社出版发行

(长沙市展览馆路8号)

湖南省新华书店经销 湖南省新华印刷二厂印刷

\*

1988年3月第1版第1次印刷

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 32.5 插页: 5 字数: 822,000

印数: 1—2,700

ISBN 7—5357—0167—1

TH·9 定价: 8.15元

湘目 87—37

# 前 言

检测是人们将理论与实际相结合来认识自然界的一种重要手段。通过测量,可以对自然现象取得定量的概念。所以,有人认为“有检测,才有科学”。检测的准确度愈高,揭露自然规律的可能性就愈大,改造自然的能力就愈强。检测技术的进步有助于科学技术的发展,而科学技术的发展又反过来促进检测技术的提高。尤其是在科学技术水平高度发展的今天,离开检测仪器可以说是寸步难行。

由于电子检测仪器具有精确度高、量程广、频率范围宽、响应快、速度高、便于遥控、遥测、易于实现测量自动化等一系列突出的优点,使电子检测仪器成为科研与自动化生产中必不可少的基础设备。电子检测技术的应用范围几乎遍及所有的科学技术领域和绝大部分国民经济生产部门。

为了适应各行各业从事电子检测仪器的使用、检定、修理和生产的工程技术人员对电子检测仪器知识的需求,我们特编写了本书。根据多年从事教学和维修电子仪器的实践经验,我们深深感到理解电子检测仪器的基本工作原理,正确掌握仪器的调整使用方法,学会修理技术,对于提高工作效率和设备利用率,迅速而准确地完成测试任务是很重要的。本着这一目的,本书力求简明扼要,通俗易懂,图文并茂。工作原理部分避免了繁琐的公式推导,着重于物理概念的阐述及电路中各元器件的作用的介绍。同时介绍了一些数字式电子仪器的新技术和一批新型电子检测仪器的检修实例。书末收集了六个有关电子检测技术的附录,供读者使用仪器时备考。

本书的第二章、第三章、第六章和第七章由谢源开编写。第八章(除数字频率计外)、第九章和第五章的电视测量仪器部分由谢鑫华编写。第一章与第四章由尹伯英编写,第五章和第八章的数字频率计部分由余尽知编写。谢源开任本书的主编。

本书初稿完成以后,曾在几期培训班教学试用,收到了良好的效果,在广泛征求意见后,又作了修改和补充。由于编写人员水平所限,书中难免存在不少缺点和错误,敬希广大读者批评指正。

作 者

一九八五年七月

# 目 录

|                              |         |
|------------------------------|---------|
| <b>第一章 万用表</b> .....         | ( 1 )   |
| 1—1 万用表的基本工作原理.....          | ( 2 )   |
| 1—2 万用表电路分析举例.....           | ( 13 )  |
| 1—3 万用表的使用.....              | ( 25 )  |
| 1—4 万用表的常见故障及其维修.....        | ( 31 )  |
| 1—5 万用表各量程基本误差的校验.....       | ( 35 )  |
| 参考文献.....                    | ( 36 )  |
| <b>第二章 稳压电源</b> .....        | ( 38 )  |
| 2—1 交流稳压电源.....              | ( 38 )  |
| 2—2 直流稳压电源.....              | ( 62 )  |
| 参考文献.....                    | ( 78 )  |
| <b>第三章 示波器</b> .....         | ( 80 )  |
| 3—1 示波器的基本组成部分.....          | ( 80 )  |
| 3—2 示波器的旋钮和开关的作用.....        | ( 126 ) |
| 3—3 示波器的校准.....              | ( 129 ) |
| 3—4 示波器的使用与测量.....           | ( 131 ) |
| 3—5 示波器的选用.....              | ( 137 ) |
| 3—6 示波器的常见故障及其检修.....        | ( 139 ) |
| 3—7 几种常用示波器的主要技术指标和电原理图..... | ( 149 ) |
| 3—8 几种新型示波器.....             | ( 204 ) |
| 参考文献.....                    | ( 207 ) |
| <b>第四章 电子电压表</b> .....       | ( 208 ) |
| 4—1 电子电压表的基本原理.....          | ( 208 ) |
| 4—2 常见的几种电子电压表电路分析.....      | ( 218 ) |
| 4—3 电子电压表的使用和维修.....         | ( 235 ) |
| 4—4 电子电压表的校准.....            | ( 238 ) |
| 参考文献.....                    | ( 239 ) |
| <b>第五章 信号发生器</b> .....       | ( 240 ) |
| 5—1 低频信号发生器.....             | ( 240 ) |
| 5—2 高频信号发生器.....             | ( 254 ) |
| 5—3 XC—2C型脉冲信号发生器.....       | ( 263 ) |
| 5—4 MFS—2A型双脉冲信号发生器.....     | ( 277 ) |
| 5—5 全电视标准信号发生器.....          | ( 291 ) |

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| 参考文献                    | (304) |
| <b>第六章 失真度测量仪</b>       | (305) |
| 6—1 测试原理                | (305) |
| 6—2 SZ—3型失真度测量仪         | (306) |
| 6—3 BS3型失真度测量仪          | (311) |
| 6—4 维修                  | (314) |
| 参考文献                    | (315) |
| <b>第七章 高频频率特性测试仪</b>    | (316) |
| 7—1 频率特性测试的基本原理         | (316) |
| 7—2 扫频信号发生器             | (317) |
| 7—3 BT—3型高频频率特性测试仪      | (320) |
| 7—4 BT—5型高频频率特性测试仪      | (324) |
| 7—5 高频频率特性测试仪电气性能的检查和使用 | (327) |
| 7—6 常见故障与维修             | (329) |
| 参考文献                    | (335) |
| <b>第八章 元、器件参数测量仪器</b>   | (336) |
| 8—1 电桥法测量元件参数           | (336) |
| 8—2 Q 表                 | (341) |
| 8—3 器件参数的测量             | (346) |
| 参考文献                    | (358) |
| <b>第九章 数字式电子测量仪器</b>    | (359) |
| 9—1 数字式频率计              | (359) |
| 9—2 数字电压表               | (417) |
| 9—3 数字万用表               | (483) |
| 参考文献                    | (490) |
| 附录一 电子测量仪器质量检验规则        | (490) |
| 附录二 电子测量仪器误差的一般规定       | (491) |
| 附录三 电子测量仪器安全要求          | (493) |
| 附录四 无线电电子测量仪器的型号命名方法    | (494) |
| 附录五 我国示波管命名方法和示波管的参考数据  | (498) |
| 附录六 常用晶体管的管脚和电参数        | (501) |

# 第一章 万 用 表

万用表是一种可进行多种电量测量的多量程便携式复用电气仪表，具有从一般精度到高精度，从一般结构到袖珍式结构等多种类型，通常可用以测量电流(交直流)、电压(交直流)和电阻，所以也有人称之为三用表。它还可以测量电平(分贝)、功率、电容和电感等，用途极其多样，因此人们有时还称之为繁用表。在国家标准中则被称为复用表。

万用表在结构上由三个部份组成：(1) 指示部分(表头)；(2) 测量电路；(3) 转换装置。

万用表的指示部分是一只灵敏的磁电式直流电流表(通常是微安表、个别的为毫安表)，俗称表头。它是关键部件，万用表的很多重要性能(如灵敏度、准确度等级、阻尼、升降变差及指针回零位等)都取决于它的性能。

万用表的重要性能之一是灵敏度，它代表万用表作电压测量时，指针偏转至满度值时取自被测电路的电流值。凡是表头中通过的电流愈小，而指针偏转愈大的，其表头就愈灵敏，故灵敏度愈高，则取用被测电路的电流愈小，对被测电路正常工作状态的影响就愈小。一般以其每伏的内阻表示。例如，当采用0~50微安的表头作100伏的直流电压测量，表头指针偏转满度值时通过表头的电流为50微安，则该万用表的内阻

$$R_i = 100\text{V}/50\mu\text{A} = 2\text{M}\Omega$$

故 灵敏度 = 电表内阻/电压量程 =  $2\text{M}\Omega/100\text{V} = 20000\Omega/\text{V}$

表头的内阻就是其内部线圈的直流电阻。一般0~1毫安的表头，内阻大多在25~125欧之间，其中以27欧的一种最普遍；0~50微安的表头，内阻有低至500欧以下的，也有高至2100欧的，而以2000欧的一种最普遍。普通的万用表采用0~1毫安的表头，灵敏度较高的万用表采用0~50微安的表头。

测量电路的主要作用是将被测的电量转变成适合于表头指示用的电量，例如：将被测的大电流通过分流电阻变换成表头所允许通过的微弱电流，将被测的高电压通过分压电阻变换成表头所需的低电压；将被测的交流电流(或电压)通过电流(或电压)互感器及整流器变换为表头所允许通过的直流电流(或电压)等。因此，测量电路通常由分压电阻、分流电阻、电流或电压互感器和整流器等部分组成。

转换装置使万用表可作多种电量和多种量程测量，通常由转换开关、接线柱、按钮、插孔等组成。在测量电阻时，需要一个直流电源供给表头使指针偏转，一般用内附电池作为这种电源。但在测量电路是否成通路时，只需测定两点间是否有断路故障，而不需要明确测定两点间的电阻值，因此在作这种测量时，有的万用表内串接有一个蜂鸣器以代替表头的指示，当被测电路电阻小于一定值(一般为1欧)时，蜂鸣器即发出振动声，藉此即可判断电路的通断。

## 1—1 万用表的基本工作原理

### 1—1—1 直流电流的测量

#### 1. 测量原理

直流电流的测量是将一只高灵敏度的磁电式电流表串入待测电路而进行的。但一只 $0\sim 50$ 微安表头,只能测量50微安以内的电流;一只 $0\sim 1$ 毫安的表头,也只能测量1毫安以内的电流。因此用磁电式表头能直接测量直流电流,但容许通过的电流是有限的。

#### 2. 量程的扩大

##### (1) 分流器

当电流测量值 $I_x$ 比表头容许通过的电流值 $I_0$ 大时,可在表头上并联一个分流电阻,如图1—1所示。这样,大部分电流从分流电阻 $R$ 中通过,表头中仍只通过规定的电流 $I_0$ 。即使测量的电流比表头规定通过的电流大很多倍,表头也不会损坏。分流电流 $I$ 的大小与 $R$ 的大小成反比,因此改变 $R$ 值,就能改变仪表的测量范围。分流电阻 $R$ 通常叫分流器,有下面两种:

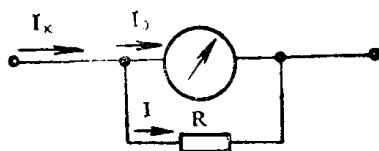


图1—1 带分流器的电流表电路

① 开路置换式分流器 采用开关或接插件将分流电阻与表头并联的“并联式接法”。在转换过程中,分流电阻与表头呈开路状态,图1—2示出了几种形式的开路置换式分流器电路,其

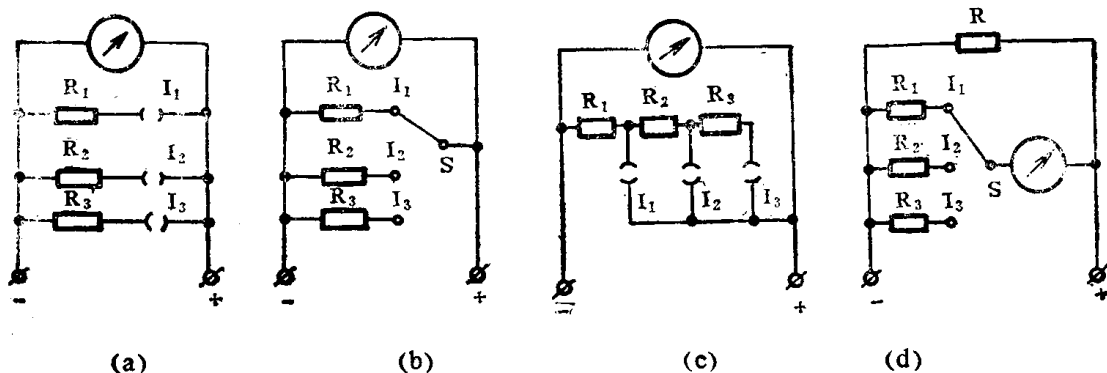


图1—2 开路置换式分流器

中(a)、(b)中各量程具有单独的分流电阻,不同的量程通过转换开关 $S$ 接到不同的分流电阻上,各量程互不影响,调整方便。但仪器的温度误差和阻尼时间(指针回到零点所需要的时间)随各量程分流电阻值的改变而变化。同时由于转换装置的接触电阻包括在测量电路之内,所以仪表误差不稳定。并且一旦转换开关 $S$ 接点松弛或分流电阻断路,总电流 $I_x$ 将全部通过表头而使其烧毁。因此,除精度较低的仪表外,这种电路是很少采用的。

图(c)与图(a)、(b)基本相似,只是后面量程的分流电阻累加了前面量程的分流电阻,因此其中一个电阻的变化会影响几个量程。

图(d)中,分流电阻 $R$ 不变,而利用改变与测量机构串联的附加电阻 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 的方法来扩大量程。量程的改变对测量电路电阻的影响不大,但随着附加电阻的增加,温度误差和阻尼时间会有所变化。

② 闭路式分流器 表头与分流电阻之间的另一种接法为“串联接法”，就是先把所有的分流电阻串联，再把串联后的各分流电阻的头和尾并联在表头上，在每只分流电阻之间各接出一个分头，根据不同的测量范围，通过开关或插子接在这些分头上。

图1—3所示为几种闭路式分流器的接法。这种分流器的优点是：与仪表测量机构形成闭合回路的电阻值不随量程的改变而变化，因此仪表的阻尼时间是不变的；其次，由于量程转换方式引起的接触电阻只串联在电路中，不影响分流电阻的阻值，所以引起的误差很小。但其中某一电阻变化，就会不同程度地影响各个量程，给调整误差带来一定的困难。万用表中大都采用这种分流器。

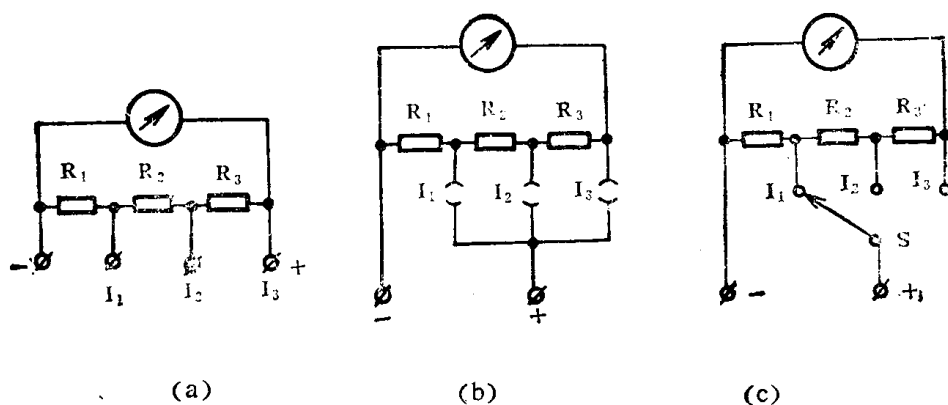


图1—3 闭路式分流器

## (2) 分流器的计算

分流电阻的阻值，除了与需要分去的电流大小有关外，还与表头的内阻有密切的关系，如果分流电阻的阻值和表头的内阻一样大，那么分去的电流数值就和通过表头的电流值相等，也就是把表头测量电量的范围扩大了一倍；如果分流电阻的阻值比表头的内阻小几倍，那么分去的电流就比通过表头的电流大，也就是把表头测量电流的范围相应地扩大了几倍。

表头的内阻一般是指动圈和游丝的电阻之和 $r_0$ ，但为了对表头进行温度补偿，往往让表头串接一个附加电阻 $r_{01}$ ，如图1—4所示，这样，表头内阻 $R_m = r_0 + r_{01}$ 。 $r_{01}$ 往往用电阻温度系数很小的锰铜材料制成，它的温度系数每度不超过0.001~0.003%。通常取 $r_{01}$ 大于 $r_0$ 随温度变化的值，因此表头内阻可视为不随温度变化而变化。

① 分流电阻的计算 由图1—4可以看出，当分流电阻用 $R_s$ 表示时，可按下式计算：

$$R_s = \frac{(r_0 + r_{01})I_0}{I_x - I_0} = \frac{r_0 + r_{01}}{\frac{I_x}{I_0} - 1} = \frac{R_m}{n - 1} \quad (1-1)$$

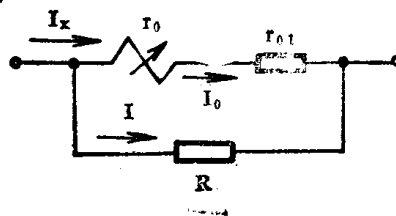


图1—4 简单电流表

式中 $R_m$ 为表头内阻； $n = I_x/I_0$ 为分流系数。

② 闭路式分流器分流电阻的计算 由公式(1—1)求出 $R_s$ ，此即为按最低档量程计算出的电阻。由图1—5可知其总的分流电阻

$$R_s = R_4$$

$$\therefore R_4 = \frac{R_m}{\frac{I_4}{I_0} - 1}$$

计算各量程的分流电阻 $R_1, R_2 \dots$ 。由图1—5有

$$(I_1 - I_0)R_1 = I_0(r_2 + r_3 + r_4) + I_0R_m$$

$$\therefore I_1R_1 - I_0R_1 = I_0(r_2 + r_3 + r_4) + I_0R_m$$

$$\therefore R_1 = r_1$$

$$\therefore I_1R_1 = I_0(r_1 + r_2 + r_3 + r_4) + I_0R_m$$

$$\text{又 } (I_2 - I_0)R_2 = I_0(r_3 + r_4) + I_0R_m$$

$$I_2R_2 - I_0R_2 = I_0(r_3 + r_4) + I_0R_m$$

$$\therefore R_2 = r_1 + r_2$$

$$\therefore I_2R_2 = I_0(r_1 + r_2 + r_3 + r_4) + I_0R_m$$

由此类推可得

$$I_1R_1 = I_2R_2 = I_3R_3 = \dots = I_xR_x \quad (1-2)$$

$$\therefore R_1 = I_xR_x/I_1, R_2 = I_xR_x/I_2, \dots \quad (1-3)$$

式中： $I_x$ 为最低量程档电流满度值； $R_x$ 为最低量程档的分流电阻值(即总的分流电阻值)。

求各量程间的分段电阻 $r_1, r_2, r_3 \dots$ 。由图1—5可看出

$$r_1 = R_1, r_2 = R_2 - r_1 = R_2 - R_1, r_3 = R_3 - R_2, \dots$$

例：求如图1—5所示的闭路式分流器电阻 $r_1 \sim r_4$ 的阻值，已知表头的内阻为 $2000\Omega$ 。满标度为 $0 \sim 50\mu\text{A}$ ，各量程分别为 $I_1 = 1000\text{mA}$ 、 $I_2 = 100\text{mA}$ 、 $I_3 = 10\text{mA}$ 、 $I_4 = 1\text{mA}$ 。

解：已知  $R_m = 2000\Omega$ ， $I_0 = 0.05\text{mA}$   $I_1 = 1000\text{mA}$ 、 $I_2 = 100\text{mA}$ 、 $I_3 = 10\text{mA}$ 、 $I_4 = 1\text{mA}$   
第一步求出最低量程档的分流电阻 $R_x$ 。此时  $R_x = R_4$ 、 $I_x = I_4$

$$\therefore R_x = \frac{R_m}{\frac{I_4}{I_0} - 1} = \frac{2000\Omega}{\frac{1}{0.05} - 1} = 105\Omega$$

第二步求各量程的分流电阻

$$R_1 = I_4R_x/I_1 = 105 \times 1/1000 = 0.105\Omega$$

$$R_2 = I_4R_x/I_2 = 105 \times 1/100 = 1.05\Omega$$

$$R_3 = I_4R_x/I_3 = 105 \times 1/10 = 10.5\Omega$$

第三步求各量程间的分段电阻

$$r_1 = R_1 = 0.105\Omega$$

$$r_2 = R_2 - r_1 = 1.05 - 0.105 = 0.945\Omega$$

$$r_3 = R_3 - R_2 = 10.5 - 1.05 = 9.45\Omega$$

$$r_4 = R_x - (r_1 + r_2 + r_3) = 105 - 10.5 = 94.5\Omega$$

求出的这些分流电阻的阻值，往往都是非标称值，所以这些分流电阻实际上常常是自己用电阻丝绕制而成，以满足量程的要求。

作为电流表使用，希望电表两端的端压降尽量小，以免破坏被测电路的工作状态。但是为了进行温度补偿和保证一定的灵敏度，电路电阻又不可能作得太小。当附加了分流器后，希望电流表的端电压降在各量程尽量保持一定。开路式分流器在这一点上具有较明显的优点，而闭路式分流器，在不同的量程时其端压降不同，而且量程愈大，端压降愈高(因为这时表

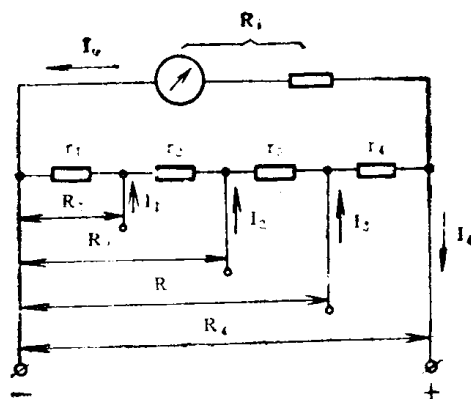


图1—5 闭路式分流电路

头支路的串联电阻值大),这是闭路式分流器的不足之处。

## 1—1—2 直流电压的测量

### 1. 测量原理

电压测量电路的实质仍然是电流测量电路,因为电表回路中串接入电阻 $r_x$ ,则 $V = I_0(r_x + R_m)$ ,此时电表的偏转将比例于此电压值,这样就把电压测量转化为电流测量,只须将表盘上标示出电压刻度就行了。如果改变 $r_x$ 的数值,即可得到不同的量程。

### 2. 量程的扩大

为了扩大电压的测量范围,就需要改变串接到电表回路中的电阻,这些串接入的附加电阻叫做倍率器(或称倍压器)。倍压电阻可以是内附的,也可以是外附的,这些电阻的误差直接影响仪表的精度。因此,高精度仪表通常将电阻进行稳定处理,在精度较低的仪表中,可以采用炭膜电阻。万用表中一般除小量程用线绕电阻外,大部分是用炭膜电阻或金属膜电阻作为附加的倍压电阻。

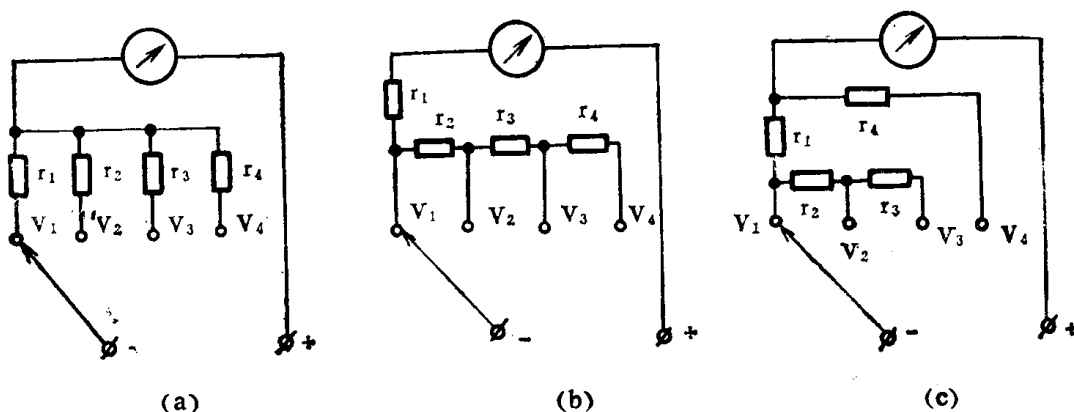


图1—6 多量程电压测量电路

倍率器与表头的连接方式通常有三种,如图1—6所示,图(a)中每一量程的倍压电阻都是独立的,因而调整误差时互不影响。图(b)中大量程是利用与小量程电阻串接而成,因而误差互相影响。图(c)是(a)、(b)两种方式混合组成的复合式电路。

### 3. 倍压电阻的计算

假设表头的满偏转电流为 $I_0$ ,内阻为 $R_m$ ,则当满偏转时端压降为 $I_0 R_m$ ,这里 $I_0$ 代表电压表的灵敏度,一般在50微安~1毫安之间,常用每伏欧姆数(即 $I_0$ 的倒数)来表示,一般在1千欧/伏~20千欧/伏之间。当灵敏度与量程确定后,该量程电压的总电阻就可以定下来了。

如对于电压量程为 $V_x$ 的一档,其总电阻 $R_x$ 可以按下式得到:

$$R_x = V_x / I_0$$

则此量程档需要附加的倍压电阻为

$$r_x = R_x - R_m = \frac{V_x}{I_0} - R_m \quad (1-4)$$

注意:在实际应用中,表头往往并联有分流电阻,如图1—4所示,此时应以 $I_x$ 代替公式中的 $I_0$ , $R_m$ 则应是 $(r_0 + r_{01}) || R_0$ 。

### 1-1-3 交流电流的测量

#### 1. 测量原理

磁电式的仪表只能测量直流电流或电压，因此测量交流时需要一个交直流变换装置。万用表中常用的交直流变换装置就是整流器。整流电路通常有半波整流、全波整流及桥式整流。

##### (1) 半波整流

常采用的半波整流电路如图1—7所示。当电流从①端流进时，通过 $D_2$ 从②端流出。当电流从②端流进时，通过 $D_1$ 、表头再从①端流出，因此通过表头的电流是正弦半波。

图1—7(b)中与整流元件 $D_2$ 串联的电阻 $r$ ，是起平衡两个方向电流的作用，因此 $r$ 应等于表头的内阻。

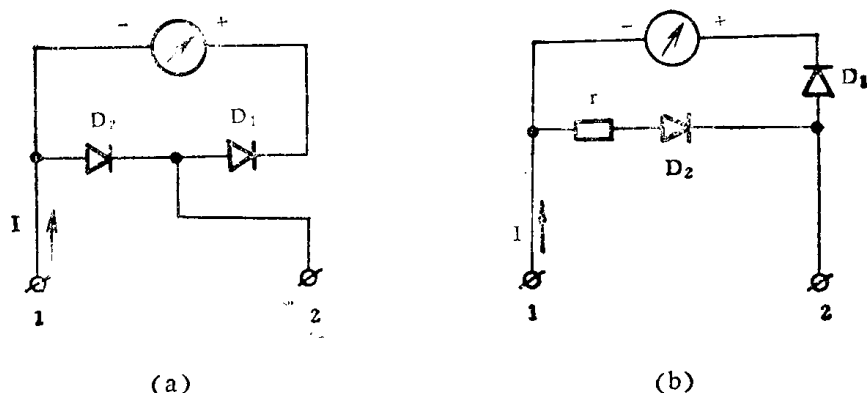


图1—7 半波整流式电流表电路

当被测量的交流电为正弦波时，电流的峰值 $I_m$ 与流过表头的电流平均值 $I_0$ 有以下关系：

$$I_0 = I_m / \pi = 0.318 I_m$$

被测电路的电流有效值 $I$ 与峰值 $I_m$ 的关系为

$$I = I_m / \sqrt{2} = 0.707 I_m$$

$$\therefore K = I / I_0 = 0.707 I_m / 0.318 I_m = 2.22$$

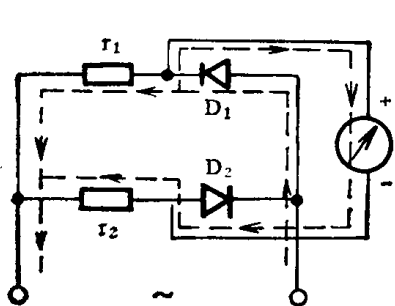
$$\text{或} \quad I_0 = 0.45 I \quad (1-5)$$

$k$ 为半波整流的换算系数，如果表头原来是直流电流的刻度，则乘以换算系数 $k$ ，即得出被测电路的交流有效值，或按(1—5)式换算关系画刻度，便可直接读出被测电路的交流电流有效值。

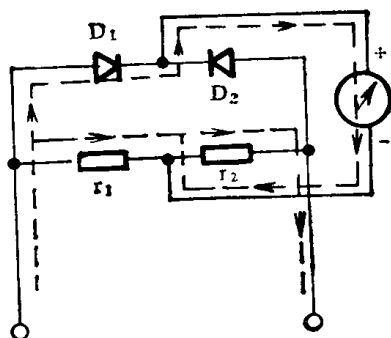
半波整流电路的优点是整流元件少，成本低，但通过表头的电流只有半个周期，波形连续性差，整流效率低。

##### (2) 桥式整流

图1—8的(a)和(b)均为由两个整流元件及两个电阻联成的桥式电路。(a)电路中表头在交流的正、负半周内分别与 $r_1$ 、 $r_2$ 串联，因此仪表受温度的影响较小，但其灵敏度低。这种电路不能作大电流测试，因全部电流都要经过整流元件，(b)电路则克服了这个缺点，大部分电流均由电阻 $r_1$ 、 $r_2$ 流过，只有小部分流过整流元件，因此可作大电流测量，不过万用表中很少用这种电路来扩大量程，因这种电路灵敏度要比四个整流元件组成的桥式电路低。图1—9就是四个整流元件组成的电路，其突出的优点是灵敏度较高，但易受温度影响。



(a)



(b)

图1—8 桥式整流电路之一

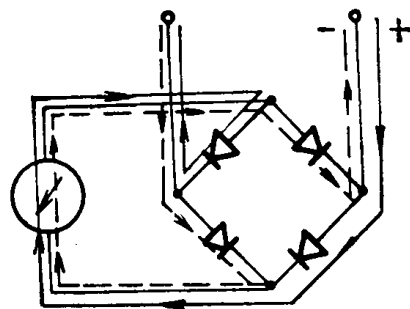


图1—9 桥式整流电路之二

在桥式整流电路中，当被测交流信号为正弦波时，流过表头的平均值 $I_0$ 与电流峰值 $I_m$ 之间有

$$I_0 = 2I_m/\pi = 0.636I_m$$

而被测电路的电流有效值

$$I = I_m/\sqrt{2} = 0.707I_m$$

所以桥式整流电路的换算系数

$$K = I/I_0 = 0.707I_m/0.636I_m = 1.11 \quad \text{或} \quad I_0 = 0.9I \quad (1-6)$$

表头画刻度时，就按上述关系进行折算。由此可见，流过表头的电流比半波整流的增大了一倍，整流效率大大提高了，故得到广泛的应用。

整流式仪表有灵敏度高、本身功耗小等优点，但整流元件温度敏感，会引起误差，且整流元件的伏安特性非线性，使仪表在整个刻度范围内灵敏度不是一个常数，虽然经过特殊的温度补偿和频率补偿后，可以消除一些误差，但仍不十分完善。

对于(1—5)或(1—6)式所示的关系还应考虑到二极管反向电流的影响，此时， $I_{0\text{半波}} = (0.42 \sim 0.45)I$ ， $I_{0\text{桥式}} = (0.83 \sim 0.90)I$ ，换算系数的选择视工作条件和整流元件的质量而定。一般留一个可调元件或者用实验方法确定出实际换算系数，以保证计算的准确性。

## 2. 量程的扩大

### (1) 分流电阻法

多量程的交流电流测量，必须对被测电流进行分流。分流的方式一般分为两种。一种是先分流后整流，流过整流元件的电流较小。另一种是先整流后分流，被测电流全部通过整流元件，其量程受到整流元件容许电流的限制，因而较少采用。

分流电阻法扩大量程的电路如图1—10所示，它们都是先分流后整流，图(a)为半波整流，图(b)为桥式整流，这些电路的端压降随量程改变，同时由于整流器的接入，使电路的压降增大了。

测量交流电流时，电表与电路串接，表阻越小，对原来电路工作情况的影响越小，但不能过小，因为过小使整流线性不好，一般取其压降为 $1 \sim 1.5V$ 。

确定了电压降后，用欧姆定律计算各档分流电阻的阻值，再由电表的灵敏度及内阻算出总分流电阻的阻值。

以图1—10(b)为例，取 $U = 1V$

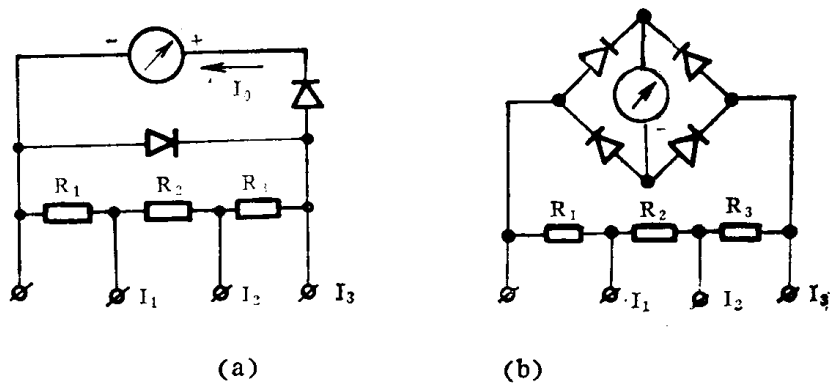


图1—10 用分流器扩大量程的整流式电流表电路

则

$$R_1 = \frac{U}{I_1} = \frac{1V}{I_1}$$

$$(R_2 + R_1) = \frac{U}{I_2} = \frac{1V}{I_2}$$

$$\therefore R_2 = \frac{1V}{I_2} - R_1$$

式中  $I_1$ 、 $I_2$  为测量电流量程值。

$$\frac{1V}{I} (R_m + 2R_D + R_S) = 1V$$

其中： $I$  为电表表头的交流电压测量灵敏度； $R_m$  为电表内阻； $R_D$  为二极管正向电阻； $R_S$  为交流电表分流电阻

$$\therefore R_S = \frac{1V}{I} - (R_m + 2R_D) ; R_3 = R_S - (R_2 + R_1) \quad (1-7)$$

## (2) 用电流互感器扩大量程

为了克服分流器电路的缺点，不少万用表中采用了电流互感器来扩大量程，常用的电路如图1—11所示。

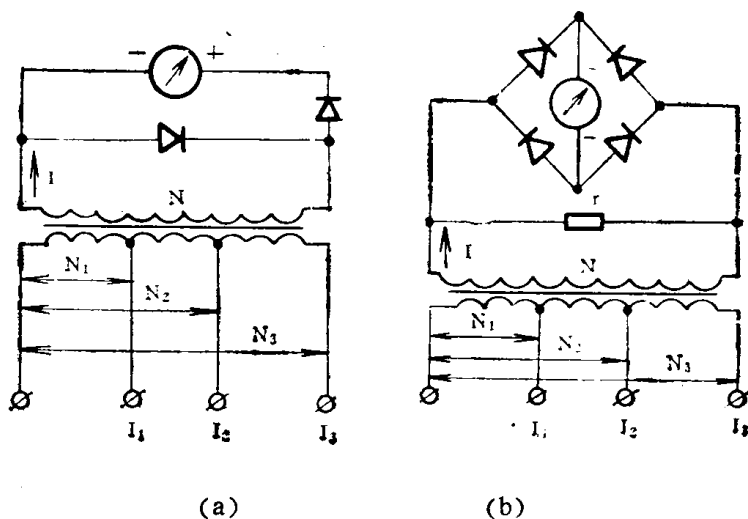


图1—11 用电流互感器扩大量程的整流式电流表电路

这种电路的优点是功率损耗小，同时能使整流器获得最佳的工作电压，因此刻度的线性易于实现。

在互感器的初级绕组中引出不同抽头，即可改变量程，抽头的原则是保持总的安匝数不变，即

$$IN = I_1 N_1 = I_2 N_2 = I_3 N_3 \quad (1-8)$$

式中 $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$ 为被测电流值， $I$ 为互感器次级感应电流， $N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$ 为互感器各量程的初级匝数， $N$ 为互感器次级匝数。

这种电路的特点是次级测量电路的工作状态始终不变。通常安匝数 $IN$ 取5~10。

## 1-1-4 交流电压的测量

### 1. 测量原理

将交流电压整流，转化成直流电压进行测量，所得的电表读数正比于整流后直流电压的平均值（一般是以正弦波有效值换算成直流的平均值进行刻度的，如果被测电压的波形不是正弦波，读数就不准确了）。

整流的原理及电路形式与交流电流测量电路的相同，一般万用表也是相互共用的。这里不再另述。

### 2. 量程的扩大

交流电压的测量经过整流后就成为直流电压的测量，用来扩大量程的倍压器的计算原理与直流电压测量的倍压器的计算原理相同，但应把交流有效值换算成直流平均值。扩大量程的电路形式如图1-12所示。

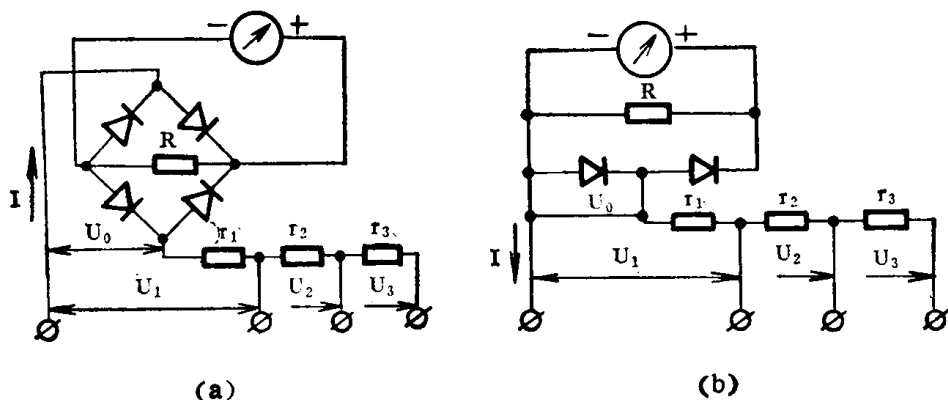


图1-12 整流式交流电压表电路

倍压电阻的计算方法可以按下述步骤进行：

(1) 用计算方法或实测方法求出使电表满度偏转时加给整流器输入端的电流有效值 $I$ 和电压有效值 $U_0$ 。

(2) 按下式计算各倍压电阻的阻值

$$r_1 = (U_1 - U_0) / I \quad (1-9)$$

$$r_2 = (U_2 - U_1) / I \quad (1-10)$$

$$r_3 = (U_3 - U_2) / I \quad (1-11)$$

式中 $U_1$ 、 $U_2$ 、 $U_3$ 分别为各量程的交流电压有效值。

图1—12中电阻 $R$ 是表头的分流电阻,在一般情况下作调整电路灵敏度用,有时改变它的阻值来扩大量程,但这样整流器通过的电流增大。由于电压表的工作电流较小,这种方法还是允许的。

### 3. 测交流电压用的倍压器和分流器的结构

有以下两种:

(1) 和直流电压档共用一个倍压器。

由于整流损失和平均值的差率,要共用直流电压档的倍压器,并和直流电压档作同量程测量,必须另配一个交流分流器〔即图(1—12)中的 $R$ 〕来提高电路灵敏度(与直流电压测量时相比)以作补偿。其计算方法:

$$\text{在全波整流中} \quad R = \frac{I_0 R_m}{0.878I - I_0} \quad (1-12)$$

$$\text{在半波整流中} \quad R = \frac{I_0 R_m}{0.439I - I_0} \quad (1-13)$$

式中 $I_0$ 为表头允许通过的直流电流值, $I$ 为使表头满偏转时加给整流器输入端的电流有效值,其倒数即为交流电压的测量灵敏度。 $R_m$ 为表头内阻。

(2) 和直流电压档共用一个分流器

为了与直流电压档同量程测量,必须另做一套交流测量用的倍率器,较为复杂,一般很少用。

## 1—1—5 电阻的测量

### 1. 测量原理

电阻的测量是依据欧姆定律进行的,被测电阻串接(或并联)入电流回路,使前后电路电流发生改变,此变化在表盘上则标成电阻的刻度。

大电阻的测量,通常采用被测电阻与电表串联的方式,小电阻的测量,通常采用被测电阻与表头并联的方式。

(1) 被测电阻与电表串联方式

图1—13所示的电路,被测电阻 $R_x$ 与表头内阻 $R_m$ 及电源 $E$ 互相串联。 $R$ 为电路内串联电阻,兼作欧姆调零用。当开关 $K$ 接“1”点时, $R_x = 0$ ,被测电阻短路,回路中电流最大,电表偏转也最大。这时

$$I = I_M = E / (R_m + R) \quad (1-14)$$

为了使 $I_M$ 刚好等于电表的满偏转电流 $I_0$ ,调节可变电阻 $R$ ,当 $I_M = I_0$ 时,该点即为欧姆表的零值刻度。

当开关 $K$ 接“2”点时,电路处于开路状态, $R_x = \infty$ ,回路电流等于零,表头指针没有偏转,这个点即为电阻无穷大( $\infty$ )刻度。

当 $R_x$ 的值从零到无穷大范围内变化时,表头指针的偏转角也在 $0 \sim \infty$ 刻度范围内变化。当接入 $R_x$ 后, $I = E / (R_m + R + R_x)$ ,其表头指针偏转占 $R_x = 0$ 时满刻度偏转的百分数

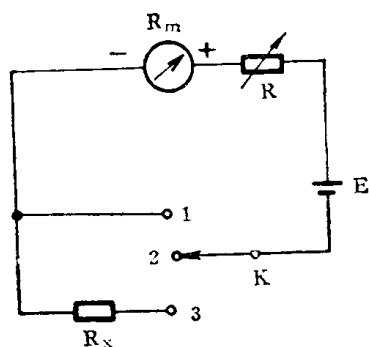


图1—13 被测电阻与电表串联联接的欧姆表电路

$$\begin{aligned} n &= \frac{I}{I_0} \times 100\% = \frac{\frac{E}{R_m + R + R_x}}{\frac{E}{R_m + R}} \times 100\% \\ &= \frac{R_m + R}{R_m + R + R_x} \times 100\% \end{aligned} \quad (1-15)$$

当  $R_x = R_m + R = R_T$  时,

$$I = E/2(R_m + R) = I_0/2 \quad (1-16)$$

即电流为满偏转电流  $I_0$  的一半, 表头指针在正中。 $R_T$  称为中值电阻, 即为表头指针指示  $\frac{1}{2}$  刻度点时的数值。电阻量程的设计都是以中间刻度为标准, 分别求出相当于各个被测电阻  $R_x$  的刻度值。所以  $R_T$  的值是表盘刻度的关键, 一般  $R_T$  取 6、12、24、48、27、54 欧等值, 引入  $R_T$  后 (1-15) 式可以写成

$$n = \frac{R_T}{R_T + R_x} \times 100\% \quad (1-17)$$

利用 (1-17) 式选定了  $R_T$  后即可对表盘进行电阻刻度。电阻 (欧姆) 刻度是不均匀的, 并且与电流刻度是相反的。

## (2) 被测电阻与表头并联的方式

图 1-14 所示即为被测电阻与表头支路并联的电路。当开关  $K_2$  置于 “1” 时, 流过表头支路的电流  $I_0 = 0$ , 表头指针在零欧姆位。当  $K_2$  置于 “2” 时,  $R_x = \infty$ , 此时  $I = I_M$ 。利用调  $R$  使表头指在满刻度 “欧姆  $\infty$ ” 点, 即调 “ $\infty$ ”。当  $K_2$  转置 “3” 时, 为测量位置,  $R_x$  在  $0 \sim \infty$  之间变化时, 指针在  $0 \sim I_M$  之间变化,  $R_x$  愈小, 表头指针偏转角愈小, 因而电阻刻度是顺向的, 与被测电阻串联联接的欧姆表刻度方向刚好相反。

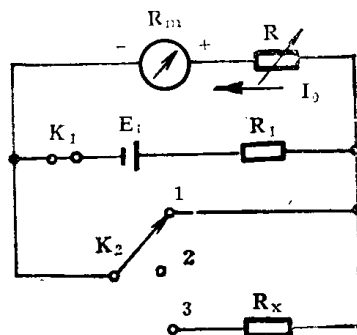


图1-14 并联联接的欧姆表电路

这种电路在使用时, 首先使被测电阻  $R_x$  断路, 接通电源, 利用  $R$  进行 “调  $\infty$ ”, 即使表头偏转到满度值, 然后接入  $R_x$  进行测量。这种电路目前用得不多。

## 2. 量程的扩大

### (1) 扩大量程的原理

从公式 (1-14) 和 (1-15) 可知, 要改变量程, 必须改变使表头产生  $1/2$  满刻度偏转的中值电阻  $R_T$ , 为了使欧姆档在各量程能共用一个电阻刻度线, 一般都以标准档  $R$  为基准, 采用 10 的整数倍来扩大量程, 即  $R \times 1$ ,  $R \times 10$ ,  $R \times 100$ ,  $R \times 1000$  等。

在标准档时, 如电池电压为  $E$ , 电表的总内阻为  $R = R_T$ , 则被测电阻短路时产生的满偏转电流

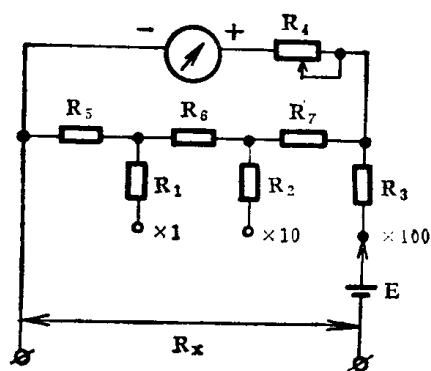
$$I_T = E/R_T \quad \text{或} \quad R_T = E/I_T \quad (1-18)$$

由 (1-18) 式可知, 若  $I_T$  不变, 把  $E$  增大 10 倍,  $R_T$  就增大 10 倍; 若  $E$  不变, 要减小  $I_T$  至  $0.1I_T$ ,  $R_T$  也可以增大 10 倍。

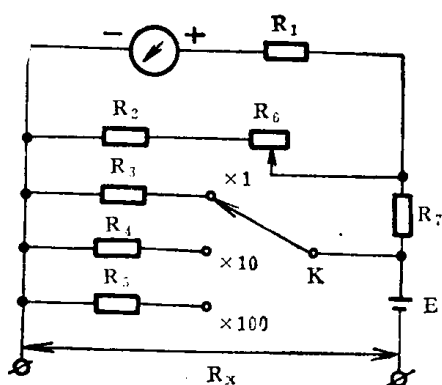
实际中, 有用改变  $E$  的, 有用改变  $I_T$  的, 也有同时改变  $E$  和  $I_T$  的方法。

### (2) 扩大量程的一般实用电路

图 1-15 所示电路, 是用改变所接的  $R_T$  以改变工作电流  $I_T$  达到扩大量程, 图 (a) 中为被测



(a)



(b)

图1—15 电阻测量扩大量程的电路

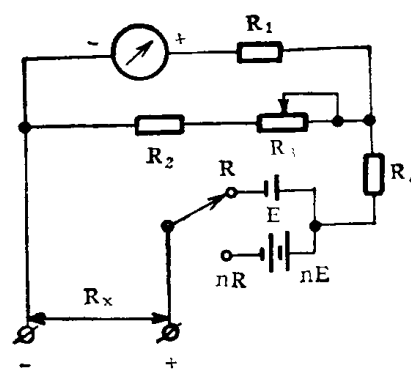


图1—16 改变电压扩大量程的欧姆表电路

电阻与表头串接，用以改变 $R_T$ 的电阻与表头串联。图(b)中用以改变 $R_T$ 的电阻与表头并接。

图1—16所示电路是用改变电池 $E$ 的方法达到扩大量程的目的。从公式(1—18)可以看出，电池 $E$ 的改变，将会使 $R_T$ 发生变化，从而造成测量误差，由于电池全新时 $E$ 大 $R_T$ 便大，但使用久了， $E$ 会下降，从而使 $R_T$ 减小，为了把 $E$ 的变化造成的测量误差减至最小，往往在表头支路中串接一可变电阻以改变表头支路中的分流比，从而抵消电池电压 $E$ 变化的影响，保证电阻测量的精度。这就是万用表中的调零装置。如图1—15(a)中的 $R_4$ ，(b)中的 $R_6$ ，图1—16中的 $R_3$ 均是调零的可变电阻。

### 1—1—6 音频电压(电平)的测量

在电信工程的信号传输过程中，往往需要对信号的衰减或增益进行测量。例如，放大器的输入功率为 $P_1$ ，放大器的输出功率为 $P_2$ ，如果 $P_2 = 10P_1$ ，则说明功率增益为10倍。经过一段线路传输后，信号功率衰减至 $P_3$ ，如果 $P_3 = \frac{1}{5}P_2$ ，则这段线路中信号功率被衰减至 $\frac{1}{5}$ 。由于人耳对于音响强度的感觉与功率的对数成正比，所以在电信测量中，功率的增益或衰减常用功率比值的对数值表示，也称作电平，以分贝为单位，即

$$\text{功率增益(或衰减)} = 10 \lg(P_2/P_1) \text{ (分贝)} \quad (1-19)$$

如果 $P_2 = 10P_1$ ，我们就说功率增益为10分贝。若分贝值为负，则是功率衰减。

电平也可以推广于电压增益和电流增益，即

$$\text{电压增益} = 20 \lg(V_2/V_1) \text{ (分贝)} \quad (1-20)$$

$$\text{电流增益} = 20 \lg(I_2/I_1) \text{ (分贝)} \quad (1-21)$$

实际上是相对电平。相对电平看不出功率或电压的绝对值。因此，在实用中往往把某一功率作为0分贝。例如，把基准功率定为1毫瓦时的电平值叫做“绝对电平”。一般万用表上标的就是绝对电平。为了与相对电平分别，常叫分贝毫。由于一般万用表测的是电压，故还要规定其负载电阻，通常万用表中的负载电阻定为600欧，由此求出零分贝时的电压

$$V_1 = \sqrt{PZ} = \sqrt{1 \times 10^{-3} \times 600} = 0.775 \text{ V}$$

这样就把万用表上交流0.775伏刻度标注为0分贝，大于0.775伏的电压刻成正分贝数，小于0.775伏的电压刻成负分贝数。