

新型万用表

实用手册

●福建科学技术出版社



8.1-62

R
TM938.1-62
2

新型万用表实用手册

邓泰林 主编

邓泰林 赵学东 靳玉珍 编



C584205



福建科学技术出版社

FJ 63/21

(闽)新登字 03 号

新型万用表实用手册

邓泰林 主编

邓泰林 赵学东 靳玉珍 编

*

福建科学技术出版社出版、发行

(福州市东水路 76 号)

各地新华书店经销

福建省科发电脑排版服务公司排版

福州市荣利达印刷厂印刷

开本 787×1092 毫米 1/16 18.25 印张 6 插页 456 千字

1997 年 11 月第 2 次印刷

印数:5 001—11 000

ISBN 7-5335-1017-8/TM·7

定价:22.00 元

书中如有印装质量问题,可直接向承印厂调换

目 录

第一部分 模拟式万用电表

第一章 模拟式万用电表的结构和工作原理	(1)
§ 1-1 概述	(1)
§ 1-2 指示部分 (表头)	(2)
§ 1-3 指示部分 (表头)	(4)
第二章 模拟式万用电表的维修	(16)
§ 2-1 万用表的组成	(16)
§ 2-2 万用表线路分析	(18)
§ 2-3 万用表常见故障的检查	(22)
§ 2-4 万用表的故障分析及调修	(23)
第三章 国产模拟式万用电表介绍	(28)
§ 3-1 MF10 型万用电表	(28)
§ 3-2 MF10A 型万用电表	(31)
§ 3-3 MF12 型万用电表	(34)
§ 3-4 MF14 型万用电表	(37)
§ 3-5 MF16-1 型袖珍万用电表	(39)
§ 3-6 MF18 型高精度万用电表	(41)
§ 3-7 MF20 型万用电表	(46)
§ 3-8 MF27-2 型袖珍万用电表	(47)
§ 3-9 MF30 型万用电表	(48)
§ 3-10 MF35 型万用电表	(54)
§ 3-11 MF40 型万用电表	(61)
§ 3-12 MF47 型万用电表 (之一)	(63)
§ 3-13 MF47 型万用电表 (之二)	(64)
§ 3-14 MF50 型万用电表	(66)
§ 3-15 MF55 型万用电表	(68)
§ 3-16 MF60 型万用电表	(70)
§ 3-17 MF63 型万用电表	(70)
§ 3-18 MF64 型万用电表	(72)
§ 3-19 MF66 型万用电表	(76)
§ 3-20 MF72 型万用电表	(76)
§ 3-21 MF75 型袖珍万用电表	(78)
§ 3-22 MF75-1, MF75-2 型万用电表	(79)
§ 3-23 MF78 型万用电表	(82)
§ 3-24 MF79 型万用电表	(82)

§ 3-25	MF81 型万用电表	(83)
§ 3-26	MF82 型万用电表	(84)
§ 3-27	MF85 型万用电表	(86)
§ 3-28	MF93 型万用电表	(89)
§ 3-29	MF94 型万用电表	(91)
§ 3-30	MF95 型万用电表	(92)
§ 3-31	MF96V _P 型万用电表	(94)
§ 3-32	MF96C _x 型万用电表	(97)
§ 3-33	MF104 型万用电表	(103)
§ 3-34	MF105-1 型万用电表	(107)
§ 3-35	MF113TB 型万用电表	(109)
§ 3-36	MF114TB 型万用电表	(109)
§ 3-37	MF115 (MF115PR) 型万用电表	(113)
§ 3-38	MF122 型万用电表	(121)
§ 3-39	MF126 型万用电表	(124)
§ 3-40	MF368 型万用电表	(125)
§ 3-41	U-10 型万用电表	(128)
§ 3-42	U-20 型万用电表	(128)
§ 3-43	U-101 型万用电表	(130)
§ 3-44	U-201 型万用电表	(131)
§ 3-45	U-201A 型万用电表	(133)
§ 3-46	J0410 型万用电表	(134)
§ 3-47	J0411 型万用电表 (之一)	(136)
§ 3-48	J0441 型万用电表 (之二)	(138)
§ 3-49	500 型万用电表 (之一)	(139)
§ 3-50	500 型万用电表 (之二)	(140)
§ 3-51	500 型万用电表 (之三)	(142)
§ 3-52	500A 型万用电表	(143)
§ 3-53	500HA 型万用电表	(144)
§ 3-54	MG26 型袖珍钳形表	(145)
§ 3-55	MG27 型多用钳形表	(145)
§ 3-56	MG28 型多用钳形表	(146)
§ 3-57	MG36 型多用钳形表	(147)
§ 3-58	MG42 型小电流多用钳形表	(149)
§ 3-59	MG58 型万用电表	(149)
§ 3-60	MG62 型无源小电流钳形表	(150)
§ 3-61	MG310A 型袖珍钳形表	(150)
§ 3-62	国产模拟式万用电表型号表	(151)
第四章	国外模拟式万用电表简介	(156)
§ 4-1	三菱股份有限公司产品简介 (日本)	(156)

§ 4-2 西门子公司万用电表简介	(158)
§ 4-3 飞利浦公司产品简介	(158)
第二部分 数字式万用电表	
第一章 袖珍式数字万用电表的基本构成和技术特性	(169)
§ 1-1 数字万用电表概述	(169)
§ 1-2 袖珍式数字万用电表的基本构成	(170)
§ 1-3 双积分式 A/D 转换器的工作原理	(171)
§ 1-4 袖珍式数字万用电表的技术特性	(173)
§ 1-5 袖珍式数字万用电表的特点和发展趋势	(176)
第二章 单片双积分式 A/D 转换器及由此构成的数字电压表	(179)
§ 2-1 单片 $3\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器 7106/7107	(179)
§ 2-2 芯片 7116/7117, 7126, 7136 及由其构成的数字电压表线路	(187)
§ 2-3 单片 $4\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器 7135	(192)
§ 2-4 单片 $4\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器 ICL7129	(199)
§ 2-5 液晶显示器	(207)
第三章 国产常见数字万用电表介绍	(211)
§ 3-1 国产常袖珍式数字万用电表的主要产品型号、性能及生产厂家介绍	(211)
§ 3-2 DT930F 型袖珍式数字万用电表的性能简介和线路分析	(219)
§ 3-3 DT860 和 DT860B 型袖珍式数字万用电表简介	(225)
第四章 袖珍式数字万用电表的维修和调试	(231)
§ 4-1 袖珍式数字万用电表检修的一般步骤和常用方法	(231)
§ 4-2 DT890/890A 型数字万用电表的检修和调试	(234)
第五章 国外数字式万用电表简介	(240)
§ 5-1 飞利浦公司产品简介	(240)
§ 5-2 H-D 系列数字万用电表	(247)
§ 5-3 Circuitmate 系列万用电表	(254)
§ 5-4 专业系列数字万用电表	(263)
§ 5-5 用于试验台上的数字万用电表系列	(273)
§ 5-6 日本三菱公司生产的数字万用电表	(283)
§ 5-7 西门子公司生产的数字万用电表	(284)
参考文献	(285)

第一部分 模拟式万用电表

第一章 模拟式万用电表的结构和工作原理

§ 1-1 概述

模拟式电表,是指该仪表直接指示的是被测电量或电参量的模拟量值。模拟式电表可以对被测量进行连续的无跳跃式的测量,其测量结果一般表现为指针沿刻度标尺的位移(直线位移或角位移),被测量的模拟量值可直接从刻度标尺上读出。模拟式仪表的突出优点是显示直观,易于显示信号变化的倾向,易于判断信号与满度值之差等。模拟式万用电表即属于此类仪表。

模拟式万用电表在结构上由三个部分组成:1. 指示部分,2. 测量电路,3. 转换装置。

指示部分又称表头,用来指示被测量值的大小,一般采用磁电系测量机构;测量电路的作用是将被测量转换成能为测量机构所接受的过渡量(电磁量),对于磁电系测量机构来说,即要转换成为直流电流;转换装置则用以实现对不同测量电路的选择,以适应各种测量要求,通常由转换开关、接线柱、按钮、插孔等组成。

转换开关由许多固定触点和活动触点组合而成。当固定触点和活动触点闭合时电路被接通。活动触点通常称为“刀”,固定触点称为“掷”,万用电表中所用的转换开关,由于它要按照不同的排列组合来接通相当多的量程,所以结构是特别的。它有很多层很多“刀”和几十个“掷”,比如双“刀”十一“掷”,说明它有二个活动接触点和十一个固定接触点,转换开关中的各“刀”之间是相互同步联动的,转动“刀”的位置可使某些活动触点与固定触点闭合,从而相应地接通所要求的测量电路。

评价万用电表的优劣,主要是从其测量范围、灵敏度和它的测量准确度,以及其工作频率范围,抗干扰能力等方面来衡量。由于在传统式的模拟式万用电表中引入了电子线路,所以它的测量范围能够大幅度地向小量程的方向扩展,如MF20型万用电表,其交流电流灵敏度就很高,满度电流为 $6\mu\text{A}$,而MF-10高灵敏度万用电表,直流满度电流为 $10\mu\text{A}$,其输入阻抗极高,50V量程为 $50\text{V} \times 1000\text{k}\Omega/\text{V} = 50\text{M}\Omega$,同时设有“ $\Omega \times 100\text{k}$ ”量程,测量值可达 $200\text{M}\Omega$,而MF-60型和MF-63型模拟式万用电表(上海第四电表厂生产)在某些方面还超过MF-10型。

由于交流电路采用了整流二极管和宽带运放,故其使用频率都比较宽,一般为 $50 \sim 1000\text{Hz}$,MF-85型万用电表其频响为 $45 \sim 200\text{kHz}$,在准确度方面,MF-35型万用电表,其直流量程的准确度可达1.0级,而交流量程的准确度为1.5级。

用万用电表测量交流周期信号时,由于万用电表的交流标度尺是按正弦有效值刻度的,所以用交流量程去测其它波形的周期信号时会带来波形误差,使用时应注意。

§ 1-2 指示部分（表头）

表头是万用电表的重要部件，万用电表的灵敏度、准确度、等级等一些重要性能，都取决于表头的性能。

模拟式万用电表的表头大多采用磁电系测量机构。它利用永久磁铁的磁场与载流线圈的相互作用来产生转动力矩。这种测量机构由于气隙中具有很强的磁感应强度 B ，故机构具有较高的电流灵敏度，辐射强大而均匀的磁感应强度又使读数方程为线性，从而使标尺刻度均匀分格；由于较大的 B 也使这种测量机构具有很强的抗外磁干扰能力。目前由于采用了先进的工艺和结构，使得由这种测量机构所构成的仪表具有很高的准确度，0.5 级准确度是很容易达到的，因而磁电系测量机构得到广泛的应用，利用它来构成各种不同型式的仪表。

在磁电系测量机构中，如果可动部分是载流线圈，则为动圈式结构；如果可动部分是永久磁铁，则为动磁式结构。动圈式结构是应用最广泛的一种结构。在动圈式结构中，又可根据永久磁铁位于可动线圈外部，内部或者内外部都有这样三种情况，将磁电系测量机构分为外磁式、内磁式和内外磁式三种类型。我们仅以外磁式为例，介绍磁电系测量机构的结构和工作原理。

一、外磁式磁电系测量机构

外磁式磁电系测量机构分为可动部分与固定部分，它的结构如图 1-1-1 所示。

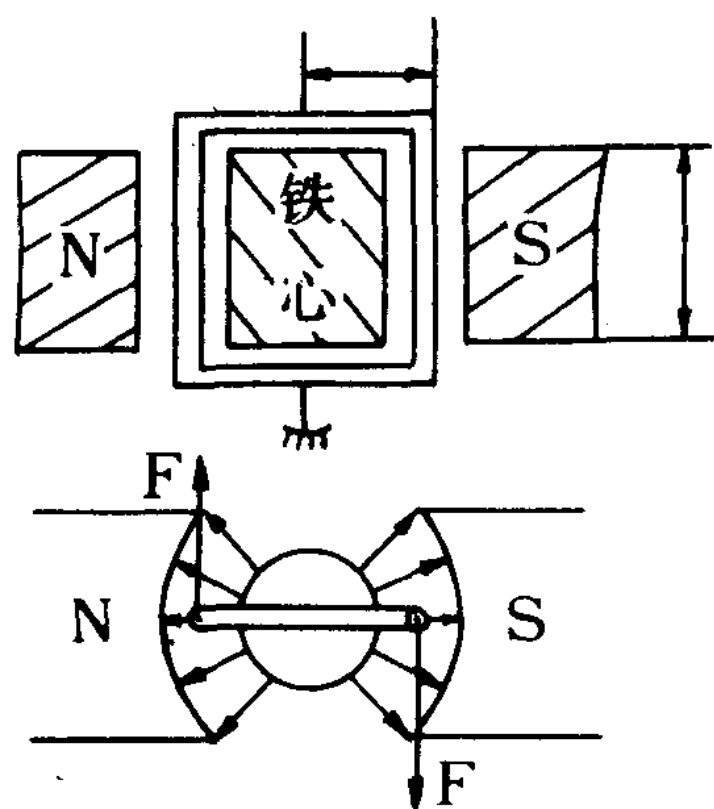
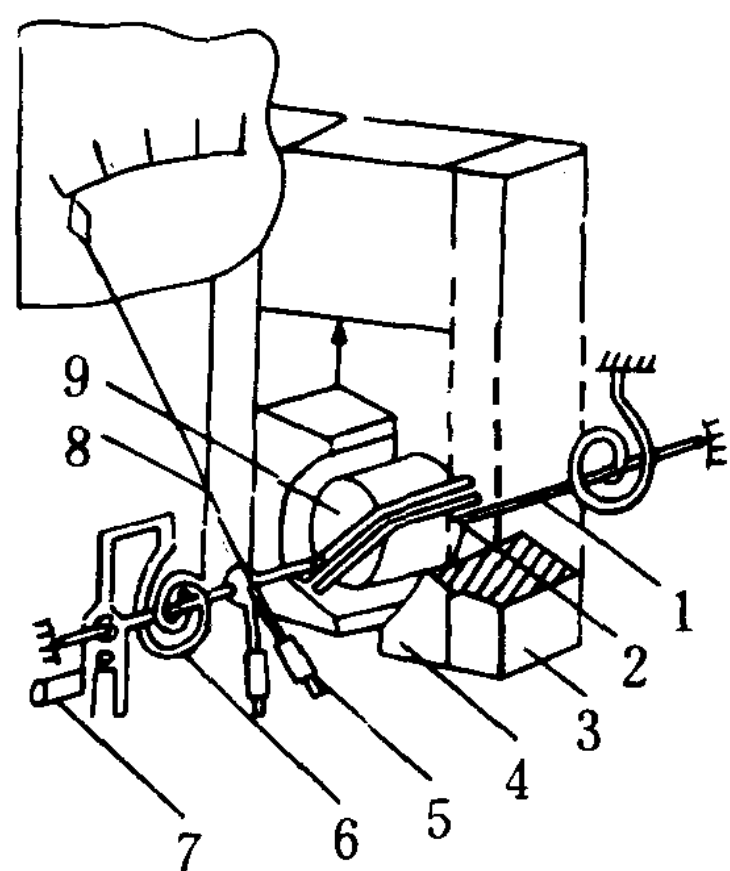


图 1-1-1 外磁式磁电系测量机构的示意图

图 1-1-2 磁电系仪表的工作原理

固定部分有永久磁铁 3，极掌 4 和圆柱形铁心 9，它们组合在一起，形成磁电系测量机构的磁路系统。永久磁铁是由磁性很强的硬磁材料制作的，而极掌和铁心则由导磁性能良好的软磁材料制成，由于环形气隙的宽度均匀而窄小，因而在气隙中就形成了一个强大而均匀的径向磁场，如图 1-1-2 所示，这种均匀辐射的磁场保证了电流线圈受到的转动力矩，不会随它的偏转位置而改变。

可动部分是由可动线圈 2、转轴 1 以及与转轴相连的指针 8、游丝 6，平衡锤 5 和调零器 7 组成，其中可动线圈是一个用细导线绕在一个铝质框架上的方形线圈。其上下端部固定着两个半轴（带轴尖），借以把可动部分支撑在轴承里，游丝用来把电流引入可动线圈并同时提供反抗力矩。两个游丝绕向相反、其外端固定在支架上，内端则固定在转轴上，并与可动线圈相连，线圈的初始位置由游丝保持。如果仪表指针的起始点不在零位，可用位于仪表外部的调零器螺杆

调节,因为调零器的一端和游丝相连,改变游丝的旋紧程度,即能使指针指在零位上。为了使可动部分的重心落在转轴上可以调节平衡锤5,以保持整个可动部分的机械平衡。

二、磁电系测量机构的工作原理

1. 转动力矩的产生

当活动线圈通过直流电流时,这个电流所产生的磁场与永久磁铁的磁场相互作用,线圈位于气隙中的垂直边即受到电磁力的作用。电磁力的方向可以根据左手定则来确定,每个垂直边受到的电磁力的大小为

$$F = NBII \quad (1-2-1)$$

式中

F ——电磁力(单位为牛顿)

N ——线圈匝数

B ——气隙中的磁感应强度(单位为韦伯/米²)

l ——线圈垂直边的有效长度—即气隙中部分(单位为米)

I ——通过线圈的电流(单位为安培)

若线圈的横边宽度为 b ,则作用于整个线圈的转动力矩为

$$\begin{aligned} M &= 2NBII \frac{b}{2} = NBblI \\ &= NBSI = KI \quad (\text{单位为牛顿} \cdot \text{米}) \end{aligned} \quad (1-2-2)$$

式中

$S = bl$ (为线圈的面积)

在式(1-2-2)中 $NBlb$ 在仪表做好以后均为定值,所以转动力矩的大小仅与被测电流 I 的一次方成正比。

但是,测量机构的稳定偏转,还将取决于游丝或张丝的反作用力矩与转动力矩的平衡,没有反抗力矩就不能分辨转动力矩(即电流 I)的大小。

2. 反作用力矩的产生

当可动线圈偏转时,游丝被旋紧。游丝是一种螺旋形的弹性元件,具有力图恢复原状的特性,当其被旋紧后,就产生相反方向(即与可动线圈偏转方向相反)的力矩,称为反作用力矩。线圈偏转角越大,游丝被扭得越紧,它所产生的反作用力矩就越大。反作用力矩 M_2 的大小正比于扭转角即线圈的偏转角,于是有

$$M\alpha = W\alpha \quad (1-2-3)$$

式中

W ——游丝反作用力矩系数,其大小决定于游丝的材料和结构尺寸。

α ——线圈的偏转角即指针的偏转角。

当反作用力矩和转动力矩大小相等时,力矩平衡,指针停止偏转,这时指针的偏转角 α 可以通过力矩平衡方程式来得到

即

$$\begin{aligned} M &= \overline{M}\alpha \\ NBSI &= W\alpha \\ \alpha &= \frac{NBS}{W}I = S_1I \end{aligned} \quad (1-2-4)$$

这里 $S_I = \frac{\alpha}{I} = \frac{NBS}{W}$ 称为测量机构的电流灵敏度。对于某一仪表而言, S_I 是一个常数, 因此, 指针偏转角 α 正比于流入线圈的电流 I 。经过适当的刻度, 指针位置即能反映被测电流的大小。

3. 阻尼力矩

当仪表的可动部分到达平衡位置时, 由于惯性的原因, 可动部分不会立即停下来, 而要在平衡位置附近往复摆动一段时间后才能稳定下来。为了尽快能取得读数, 所以测量机构中通常都设有阻尼装置, 产生阻尼力矩, 来吸收摆动能量, 使可动部分迅速在平衡位置处稳定下来。阻尼力矩只在可动部分运动时发生作用。一旦运动停止, 阻尼力矩立即消失。它的大小和可动部分的运动速度有关, 而和偏转角的大小无关。阻尼力矩的方向总是和可动部分的运动方向相反。不难导出, 此种阻尼力矩的关系式为

$$M_P = \frac{(NBS)^2}{r} \frac{d\alpha}{dt} = P \frac{d\alpha}{dt} \quad (1-2-5)$$

其中 r 是框架回路的总电阻, 而 $P = \frac{(NBS)^2}{r}$ 称为阻尼系数。

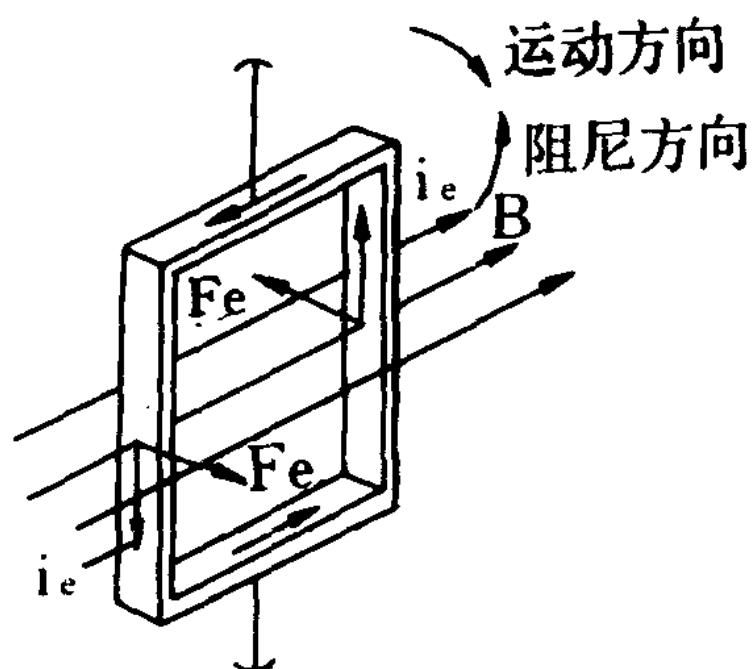


图 1-1-3 铝框产生阻尼力矩

磁电系测量机构利用绕制线圈的铝质框架来产生阻尼力矩, 如图 1-1-3 所示, 当线圈在磁场中运动时, 闭合的铝框切割磁力线, 使框内产生短路电流 i_e , 其方向由右手定则确定。 i_e 和永久磁铁的磁场相互作用, 就产生电磁力 F_e , 其方向则据左手定则确定。与 F_e 对应的力矩就是阻尼力矩。由图看出, 阻尼力矩的方向与铝框运动方向相反, 因此可以使指针在平衡位置上尽快稳定下来。运动停止后, 铝框不再切割磁力线, 因而短路电流为零, 则阻尼力矩消失。

采用磁电系测量机构作万用电表的表头时, 它的满偏电流一般为几 μA 到几百 μA , 我们用该测量机构的满偏电流来表示万用电表的灵敏度, 表头的满偏电流越小, 则万用电表的灵敏度就越高, 这样的表头在构成电压量程时, 电表的内阻越高。国产的各型号的万用电表, 其表头的灵敏度均在 $10 \sim 100 \mu A$ 左右, 如 MF30 型万用电表其表头的满偏电流为 $50 \mu A$ 。

由于万用电表为多用途电表, 测量各种电量时都合用一个表头, 所以万用电表表头的表盘上有相应于各种被测量的多条标度尺, 使用时可根据不同的测量对象进行相应的读数。

§ 1-3 测量电路

测量电路是万用电表的重要组成部分, 它的作用是将各种不同的被测电量, 转换成能够为磁电系测量机构所接受的直流电流。对于一般的万用电表测量电路, 实质上是由多量程直流电流表, 多量程直流电压表, 多量程交流电压表和多量程欧姆表等若干种电路组合而成。

图 1-1-4 为 MF30 型万用电表的线路图。测量电路中的元件, 多数是由电阻、电感和电容组成, 再加上一些二极管、三极管和运放等。若将上述的 MF30 型万用电表原理电路进行分解, 即可得到各种不同类型的测量电路。下面分别介绍各档常用电路的结构及参数计算。

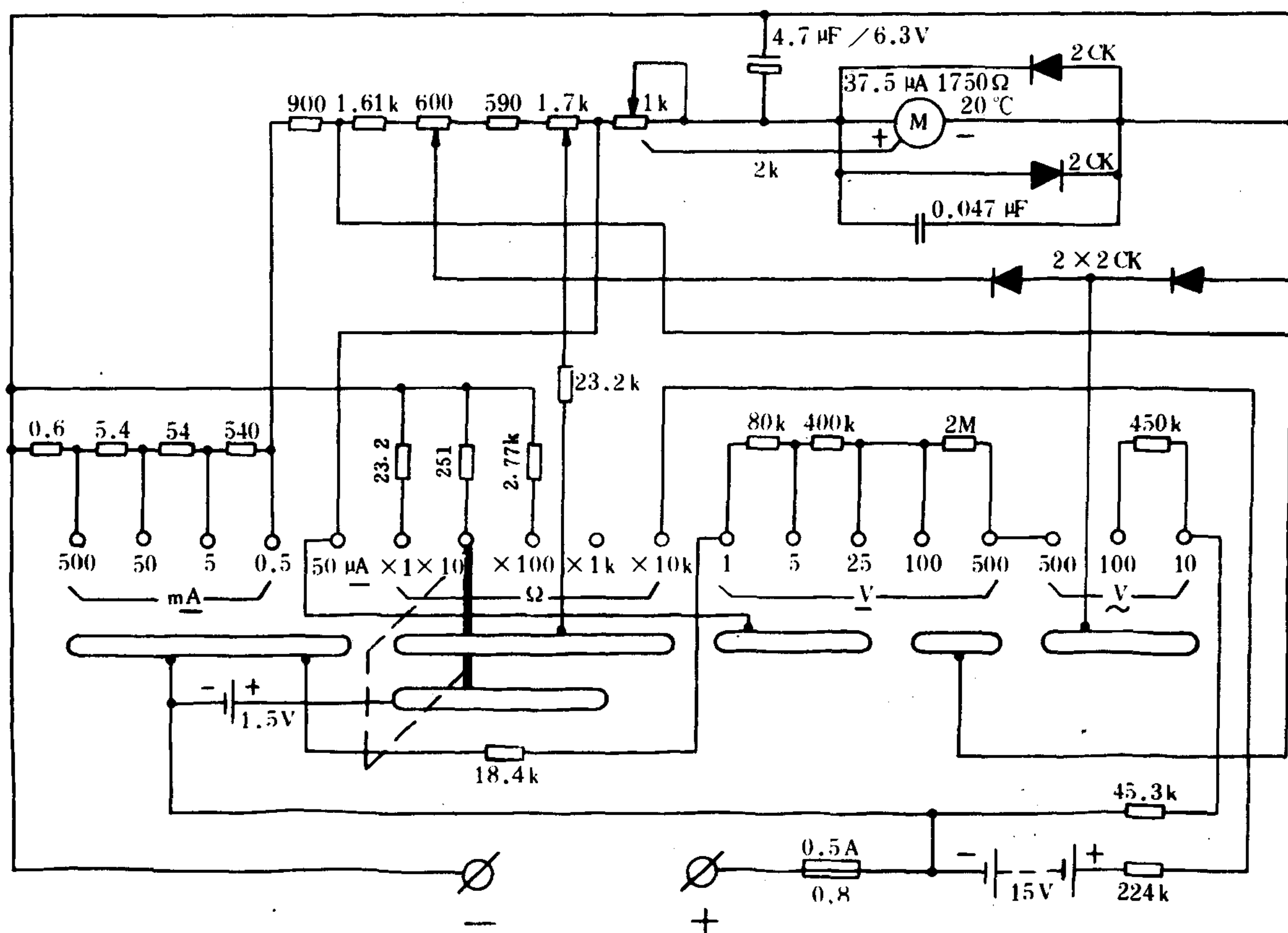


图 1-1-4 MF30 型袖珍万用电表电路图

一、直流电流档电路

万用电表的直流电流档，实质上是一个多量程的直流电流表。

磁电系测量机构虽然能直接用来测量直流电流，但机构中可动线圈能够容许通过的电流是有一定限度的，一般最大不超过 $200 \sim 300 \mu\text{A}$ 。通常在 $20 \sim 50 \mu\text{A}$ 的范围以内。对于万用电表的电流档，不仅要能测量较大的电流，如 5A ，而且要求有多个量程。要测量较大的电流，就必须要在测量机构的两端并联分流电阻，对于多量程，则需要并联多个分流器。最常用的多量程分流器是闭回路式分流器。

所谓闭回路式分流器，是指在转换量程的过程中，基本分流器不使表头的电回路断开，这种分流器又称为环形分流器。根据其转换方式，又可分为端钮式（图 1-1-5 (a)），插塞式（图 1-1-5 (b)），和转换开关式（图 1-1-5 (c)）。这种分流器的优点是：分流器与仪表的测量机构形成一个闭合回路，量程转换开关的接触电阻，不会影响仪表的准确度。它的缺点是：若其中某一量程的电阻出现故障，则会不同程度的影响其它各个量程，给调整带来一定的困难。但目前大多数万用电表仍采用这种分流器。

在多量程分流器中，还有一种称为开路式分流器，在图 1-1-6 (b) 所示的分流电路中，各量程具有单独的分流电阻，因此各量程互不影响，调整方便，但由于转换装置的接触电阻包括在测量电路之内。这种接触电阻是不稳定的，所以会给电流表带来较大的误差，因此这种

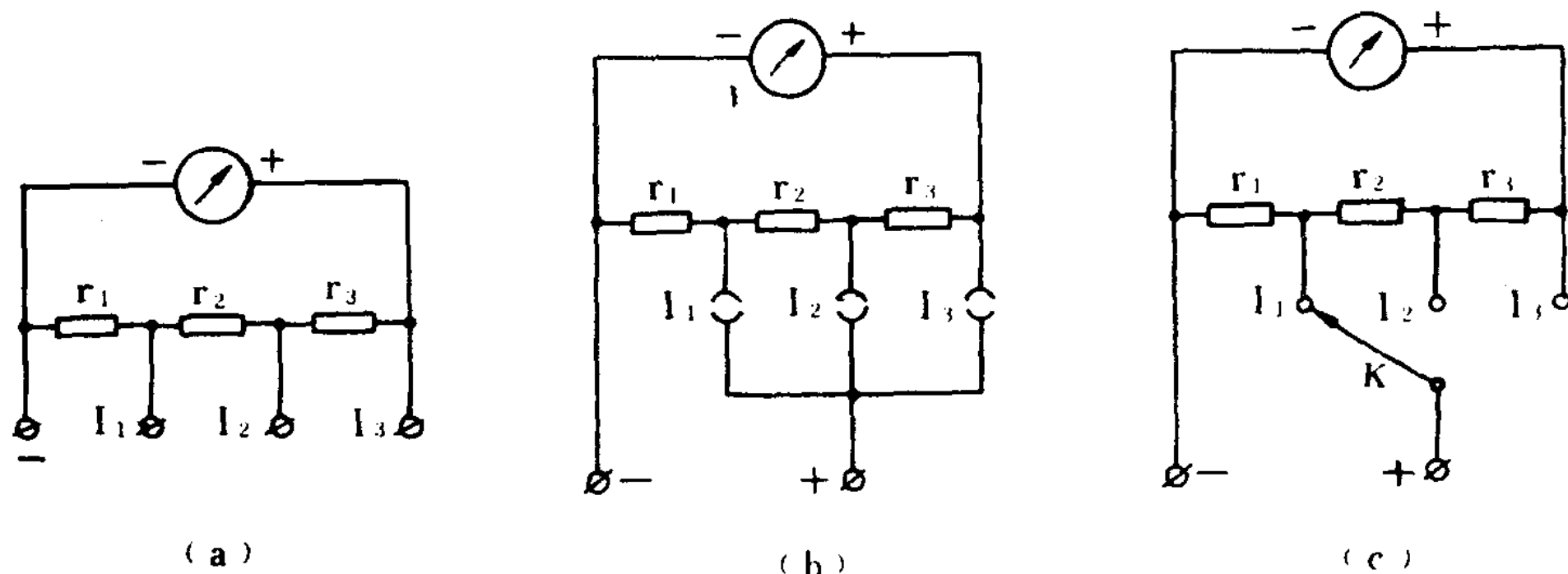


图 1-1-5 闭路式分流器

仪表的误差是不稳定的。

图 1-1-6 (d) 是开路式分流器的又一型式，在这个电路中，分流电阻 R 不变，而是利用改变与测量机构串联的附加电阻 r_1, r_2, r_3 的阻值来得到不同的电流量程。这种电路的特点是：由于转换装置的接触电阻是串联在表头支路之内，而一般这个支路的总电阻较大，因而接触电阻被“覆没”。所以影响不大；同时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，功耗在增加。开路式分流器实用上用得较少。

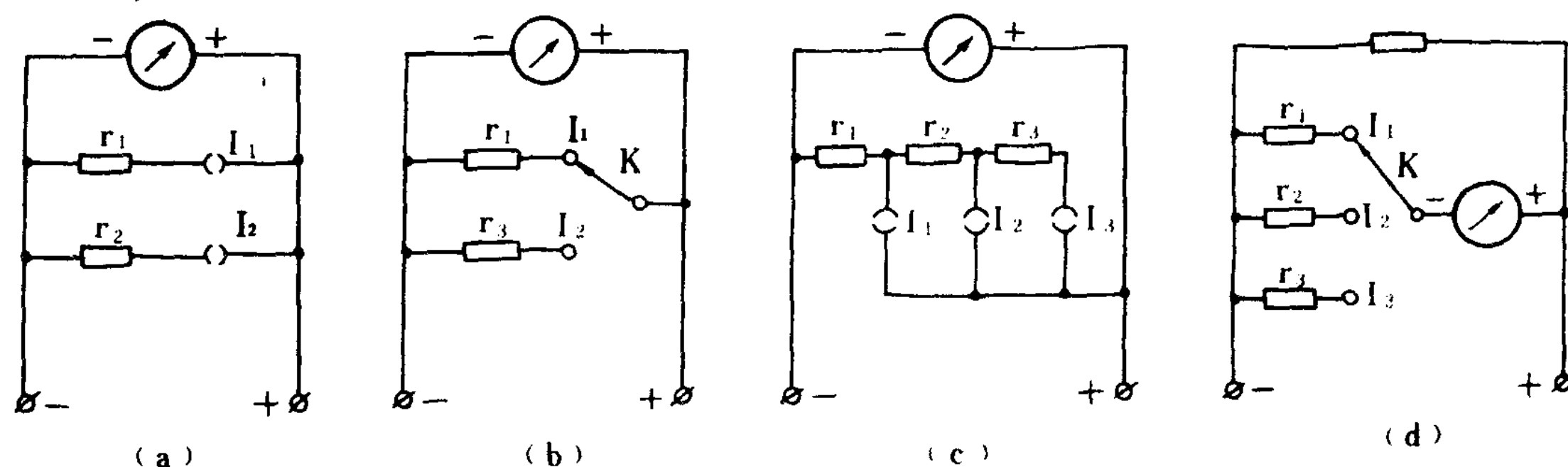


图 1-1-6 开路式分流器

下面以环形分流器为例，介绍多量程分流器的计算。

若给定一个直流微安表头，它的满偏电流 $I_m = 100\mu A$ ，内阻 $R_i = 2k\Omega$ ，电流档电路的量程分别为 $1mA$ ， $5mA$ ， $10mA$ ，计算各电阻的数值。

由图 (1-1-7) 得知

$$I_m R_i = (I_1 - I_m) R_1$$

$$I_m R_i = I_1 R_1 - I_m R_1$$

$$I_m (R_i + R_1) = I_1 R_1$$

$$I_m = \frac{R_1}{(R_i + R_1)} I_1 \quad (1-3-1)$$

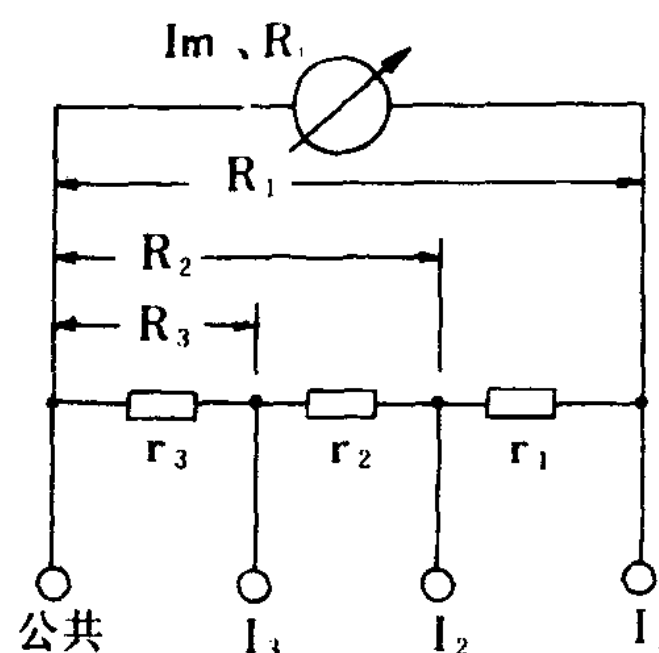


图 1-7

同理

$$I_m (R_i + r_1) = (I_2 - I_m) R_2$$

$$I_m R_i + I_m r_1 + I_m R_2 = I_2 R_2$$

$$I_m (R_i + r_1 + R_2) = I_2 R_2$$

而 $r_1 + R_2 = R_1$

$$\therefore I_m (R_i + R_1) = I_2 R_2$$

$$I_m = \frac{R_2}{(R_i + R_1)} I_2 \quad (1-3-2)$$

由此类推

$$I_m = \frac{R_3}{(R_i + R_1)} I_3 \quad (1-3-3)$$

合并 (1-3-1)、(1-3-2)、(1-3-3) 得

$$\frac{R_1}{R_i + R_1} I_1 = \frac{R_2}{R_i + R_1} I_2 = \frac{R_3}{R_i + R_1} I_3$$

将 $R_i + R_1$ 消去有

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 = I_3 R_3 \quad (1-3-4)$$

这个公式可推广至 $I_1 R_1 = I_2 R_2 = \dots I_n R_n$

若已知 I_m 、 R_i ，及 I_1 ，则按 (1-3-1) 式可求出 R_1 ，然后用 (1-3-4) 式算出 R_2 、 R_3 ，……各电阻值，其它各电阻值为

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

现将已知数值代入计算如下

$$R_1 = \frac{R_i I_m}{I_1 - I_m} = \frac{2000 \times 10^{-4}}{10^{-3} - 10^{-4}} = 222.2 \Omega$$

根据 $I_1 R_1 = I_2 R_2$ 有

$$R_2 = \frac{I_1}{I_2} \times R_1 = \frac{1}{5} \times 222.2 = 44.4 \Omega$$

$$R_3 = \frac{I_1}{I_3} \times R_1 = \frac{1}{10} \times 222.2 = 22.2 \Omega$$

$$r_3 = R_3 = 22.2 \Omega$$

$$r_2 = R_2 - r_3 = 44.4 - 22.2 = 22.2 \Omega$$

$$r_1 = R_1 - R_2 = 222.2 - 44.4 = 177.8 \Omega$$

选用电阻时，应注意元件的功率容量能否允许所通过的电流，以免过热引起阻值的变化。

二、直流电压档电路

从原理上讲，每个测量机构本身，即可构成一个小量程的电压表。因此可以认为，磁电系测量机构本身的电压量程是 $U_0 = I_m R_i$ 。其中 I_m 为该测量机构的满偏电流值， R_i 是该测量机构的内阻。若 $I_m = 100 \mu A$ ， $R_i = 2 k\Omega$ ，这时电压量程即为 $U_0 = 200 mV$ 。不过，这种由测量机构本身单独构成的电压表，实用意义不大。因为机构的电阻随着环境温度的改变而改变，将会严重影响转换的准确度。而且量程很小。一般采用与该机构串联适当的附加电阻的办法来构成电压表。

测量机构(表头)串上倍压电阻 R 构成电压表如图 1-1-8 所示。

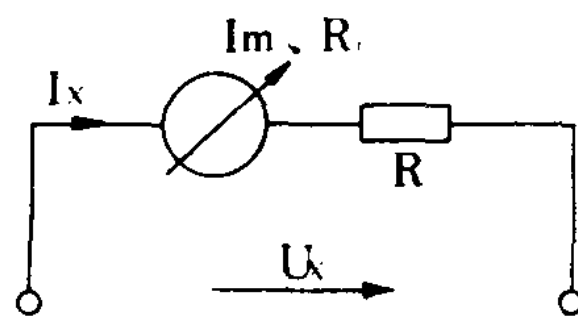


图 1-1-8

它的电压量程为

$$U_N = I_m (R_i + R)$$

其中 I_m ——表头的满偏电流

R_i ——表头的内阻

R ——倍压电阻

U_N 的数值决定于所用倍压电阻的大小，当被测电压 U_x 等于量程电压 U_N 时，流过表头的电流 I_x 刚好等于 I_m 而使表头满偏。这时从表头的刻度可读出 $0 \sim U_N$ 量程内的任何被测电压值。

选用不同的附加电阻（或称倍压电阻），可以构成不同的电压量程。量程越高，所需串联的电阻值越大。如果采用分段形式的附加电阻，即可构成多量程的电压表。万用电表的直流电压档实质上就是一个多量程的直流电压表。

我们在选用万用电表的电压量程时，都要考虑到电压表的内阻问题。因为电压表的内阻越高，它从被测电路取得的电流就越小。也就是说，它对被测电路原工作状态的影响越小。电压表的内阻因测量机构的灵敏度和量程不同而有所不同。而评价电压表的内阻性能应该排除量程的因素，所以习惯上它采用由电压表的总内阻除以量程得出的“每伏欧姆数”（ Ω/V ）来表征。对于每个电压表的各个量程而言，它们的“ Ω/V ”是一样的。“ Ω/V ”又称为“电压灵敏度”，它标注在电压表或万用电表的标度盘上。

每个电压表的“ Ω/V ”在数值上正好是测量机构的满偏电流的倒数，电压表的“ Ω/V ”越高，说明测量机构越灵敏。常用的电压量程中“ Ω/V ”一般为几 $k\Omega/V$ ，最高可达 $100k\Omega/V$ 。

若用电压表的“ Ω/V ”乘以量程值，即得到该量程的总内阻。这样就给多量程直流电压表的计算带来很大的方便。下面用例子来说明这种计算方法

例：用满偏电流为 $50\mu A$ 的表头制成 $2.5V$ ， $10V$ ， $25V$ ， $250V$ 四量程电压表，计算各电阻值。电路如图 1-1-9 所示，内阻 $R_i = 2k\Omega$ 。

解：先根据表头的满偏电流，计算出 Ω/V ，

$$\Omega/V = \frac{1}{50\mu A} = 20k\Omega/V$$

则

$$R_1 = 2.5V \times \frac{20k\Omega}{V} - R_i = 50k\Omega - 2k\Omega = 48k\Omega$$

$$R_2 = (10V - 2.5V) \times 20k\Omega/V = 150k\Omega$$

$$R_3 = (25V - 10V) \times 20k\Omega/V = 300k\Omega$$

$$R_4 = (250V - 25V) \times 20k\Omega/V = 4.5M\Omega$$

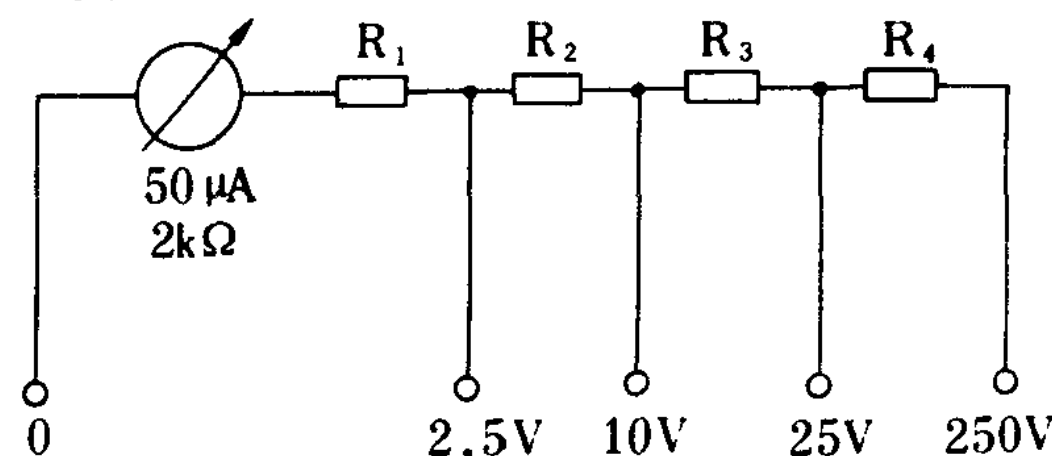


图 1-1-9

三、交流电压档

由于万用电表的表头是磁电系测量机构，虽然这种测量机构具有较高的灵敏度和线性刻度标尺，但它只能测量直流。因此测量交流电压时，必须采取整流措施。所以，万用电表的交流电压档，实际上是一只多量程的整流式交流电压表。对交流信号进行整流的方式有多种，最常见的是平均值整流和峰值整流，而在万用电表上普遍都采用平均值整流方式，而平均值整流又可分为半波整流和全波整流两种。

1. 半波整流电路

在图 (1-1-10) 中, 整流二极管 D_1 与表头串联构成一个支路, 另一二极管 D_2 并接在由表头和 D_1 串联的支路两端。在外加电压的正半周, 设 a 端电位高于 b 端, 这时 D_1 导通, D_2 截止, 电流从 a 端经 D_1 流过表头。其波形如图所示。在外加电压为负半周时, b 端电位高于 a 端, 因而 D_1 截止, D_2 导通, 这时表头没有电流流过。因此在一个周期内, 流过表头的电流是单向脉动电流。当 D_2 导通时, 二极管的正向电阻很低, 所以 a 、 b 端的电压也很低, 一般只有 $0.3 \sim 0.7$ 伏。这就保护了 D_1 , 使它不会被反向电压击穿。

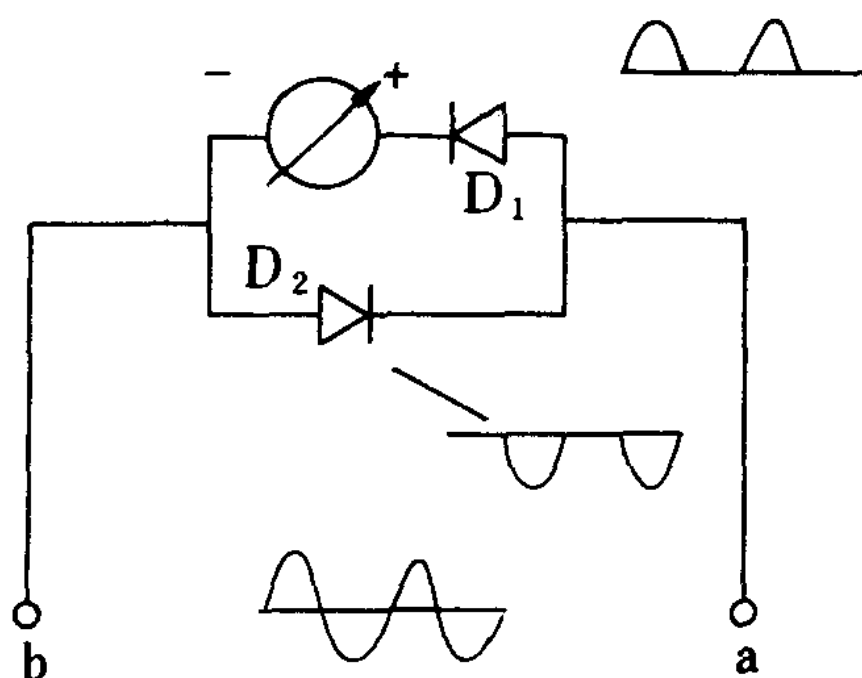


图 1-1-10

2. 全波整流电路

如图 1-1-11 所示, 它是由四个整流二极管按电桥方式组成的整流电路。二极管分别成为桥路的四个臂。两个对角线一接交流电源、一接磁电系测量机构。在交流电压的正半周, 设 a 点电位比 b 点高, 则二极管 D_1 和 D_3 导通, D_2 和 D_4 截止, 电流将沿着 $a \rightarrow D_1 \rightarrow$ 表头 $\rightarrow D_3 \rightarrow b$ 流通。而在交流电压的负半周, b 端电位比 a 端高, 这时 D_2 、 D_4 导通, D_1 、 D_3 截止。电流将沿 $b \rightarrow D_2 \rightarrow$ 表头 $\rightarrow D_4 \rightarrow a$ 流通。可见, 在交流电压的一个周期内, 表头中流过的是两个同方向的半波电流, 其波形如图 1-1-11 所示。如果外加的交流电压的数值相等时, 则在全波整流电路中, 流过表头的电流要比半波整流电路大一倍。所以全波整流电路比半波整流电路有较高的灵敏度, 或者说其整流效率要高一倍。

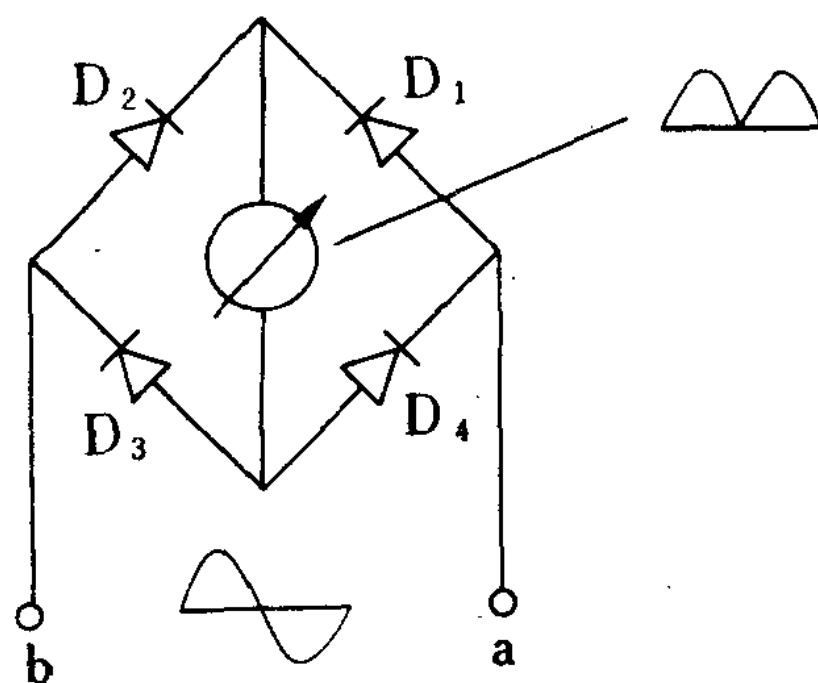


图 1-1-11

3. 实用的交流电压档电路

整流式交流电压表常用如图 1-1-12 所示电路

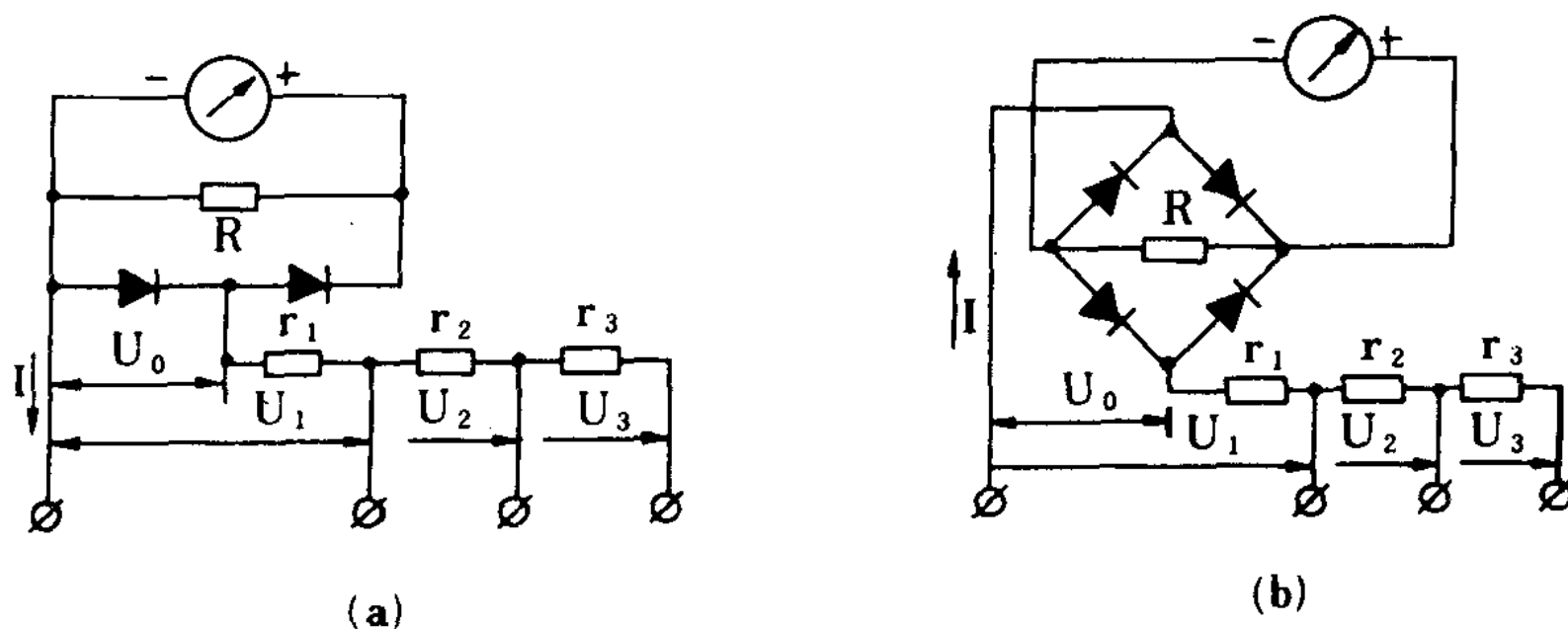


图 1-1-12 整流式交流电压表电路

并联在表头上的电阻 R 用来增大整流二极管的工作电流,使二极管 D 的非线性影响减少。串联附加电阻的计算原理与直流时相同,但应把交流有效值换算成平均值。对于交流正弦来说,其半波平均值为有效值的 0.45 倍。这是因为对于正弦电流,它的有效值与平均值之比为 1.11,现在又是半波,所以有

$$\frac{1}{2} \times \frac{1}{1.11} = 0.45$$

此外,二极管正向导通时,实际上仍有一定的电阻,计算时可按 500Ω 来计算。

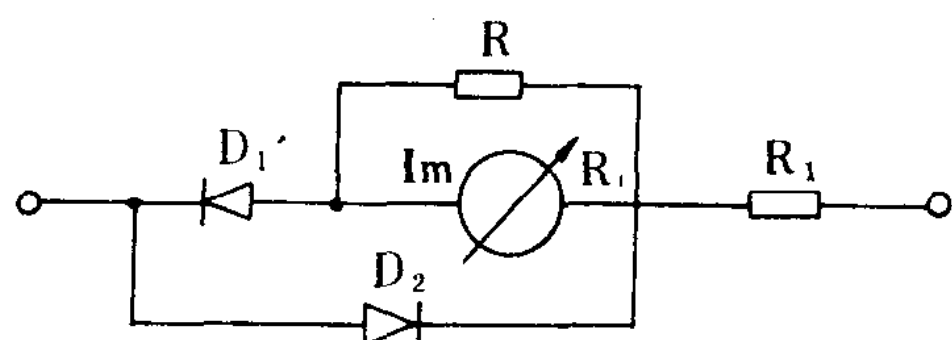


图 1-1-13

今以图 1-1-13 所示电路为例,介绍交流电压档的计算方法

例:给定表头参数仍为 $I_m = 50\mu A$, $R_i = 2k\Omega$

第一步:

为了改善二极管的非线性,在表头两端并联上一个电阻 R ,若使并联电阻 R 后流过 D_1 的电流为 $200\mu A$,这时计算得的电阻 R 为:

$$R = \frac{50 \times 2 \times 10^3}{200 - 50} = 666.7\Omega$$

第二步:

由于流经表头的电流为直流,因此要换算成交流有效值 I 。由于原表头并上 R 以后可以整体上看成为一只 $200\mu A$ 满偏的表头,再加上整流电路为半波整流电路,此时有效值与平均值之比为 2.22。因而有效值

$$I = \frac{200 \times 10^{-6}}{0.45} = 444.4\mu A$$

第三步:计算 R_1

$$R_1 = \frac{250}{444.4} \times 10^6 - R'_i - R_{正}$$

其中 R'_i 为 $200\mu A$ 表头的内阻

$$R'_i = \frac{2000 \times 666.7}{2000 + 666.7} = 500\Omega$$

$R_{正}$ 为整流二极管的正向导通电阻按照 500Ω 计算

则

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{250 \times 10^6}{444.4} - 500 - 500 = 562.6k\Omega - 1k\Omega \\ &= 561.6k\Omega \end{aligned}$$

电压表的 Ω/V 为

$$\frac{562.6k\Omega}{250V} = 2.25K\Omega/V$$

这个值比直流电压表相差近 10 倍。

4. 交流电压档的刻度

前面已经提到,万用电表的交流电压档,实际上是整流电路加上磁电系测量机构。而在交流测量中,仪表一般以正弦波为对象,按有效值来刻度。但磁电系测量机构的量测基本量是直流电流。经整流电路整流后流入磁电系测量机构的是单向脉动电流,测量机构的偏转角决定于整流电流的平均值。如要按有效值刻度,则必须在仪表刻度时进行换算,刻度换算的依据是所用整流器的波形参数。这一工作在仪表出厂前就已经完成,也就是用交流正弦电压进行标度,用户只要根据读数即可得到被测量的有效值。

值得注意的是：如果我们测量的不是正弦波而是其它的周期信号时，仪表读数没有直接的物理意义，必须经过相应的换算，才能得到被测非正弦信号的有效值。

四、交流电流档

多量程的交流电流的测量，和直流电流一样，必须对被测电流进行分流。交流电流的分流方式一般有两种。一种是在整流前先分流后整流。用这种方式分流时，流过整流元件的电流较小。另一种是先整流后分流，这样被测电流则全部通过整流元件。这种方式使电流表的量程受到元件容许电流的限制，因而较少使用。图 1-1-14 是常用的分流电路。

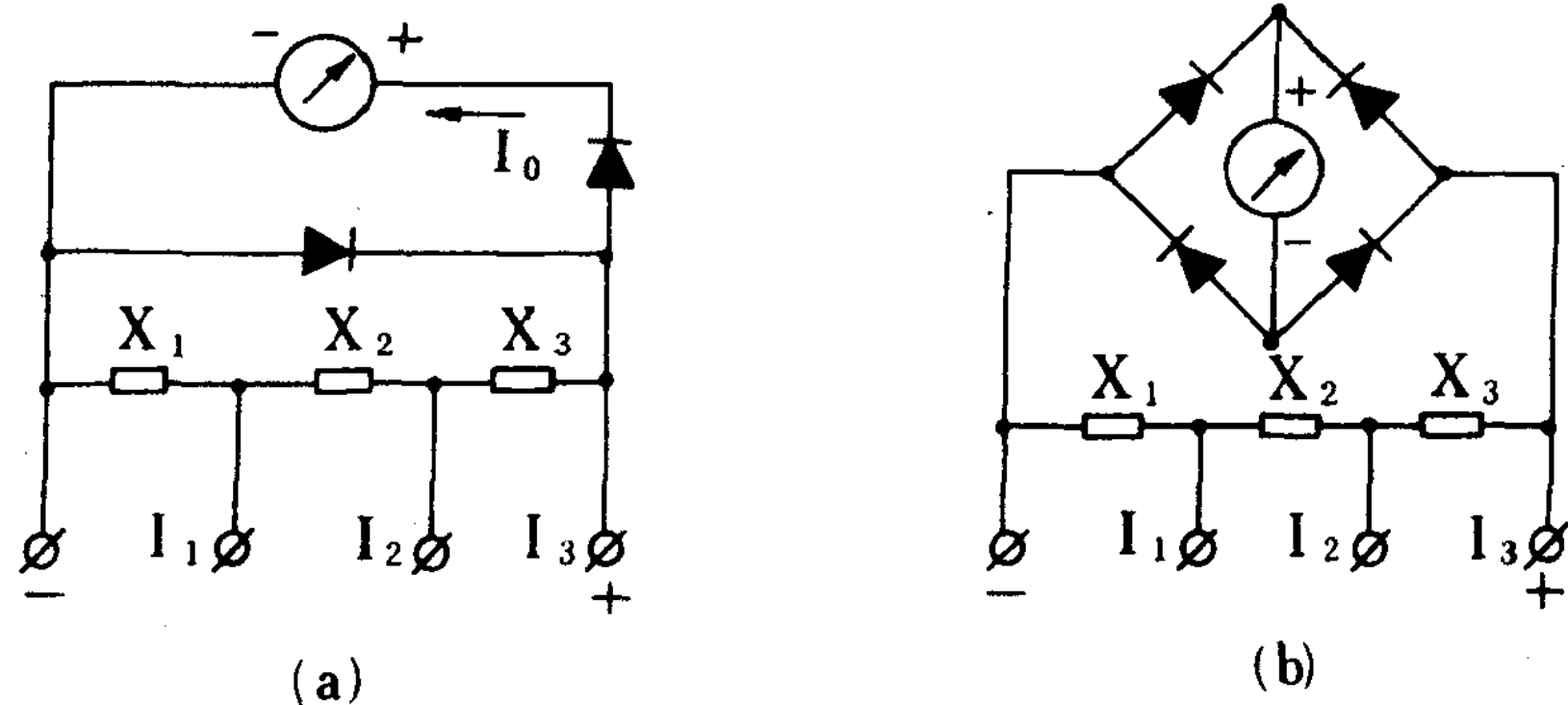


图 1-1-14 用分流器扩大量程的整流式电流表

这种电路的两端压降随量程改变，同时由于整流元件的接入，使电路的压降增大，即交流电流表的内阻增加。

为了克服电阻分流器电路的缺点，不少万用电表中采用电流互感器来扩大量程。本书不作介绍。关于交流电流档的计算可参照直流电流档的分流器计算方法。

五、直流电阻档

万用电表的直流电阻档，实质上是一只多量程的欧姆表，电阻的测量是利用在固定电压下将被测电阻串联到电路时要引起电路中电流改变这一效应来实现的。图 1-1-15 是一种最简单的欧姆表线路。它是将一只磁电系测量机构配上限流电阻 R_b 和干电池（电势为 E ）组合而成的。若测量机构的满偏电流为 I_m ，内阻为 R_i ，接入被测电阻 R_x 后流过表头的电流 I_x 可用下式表达

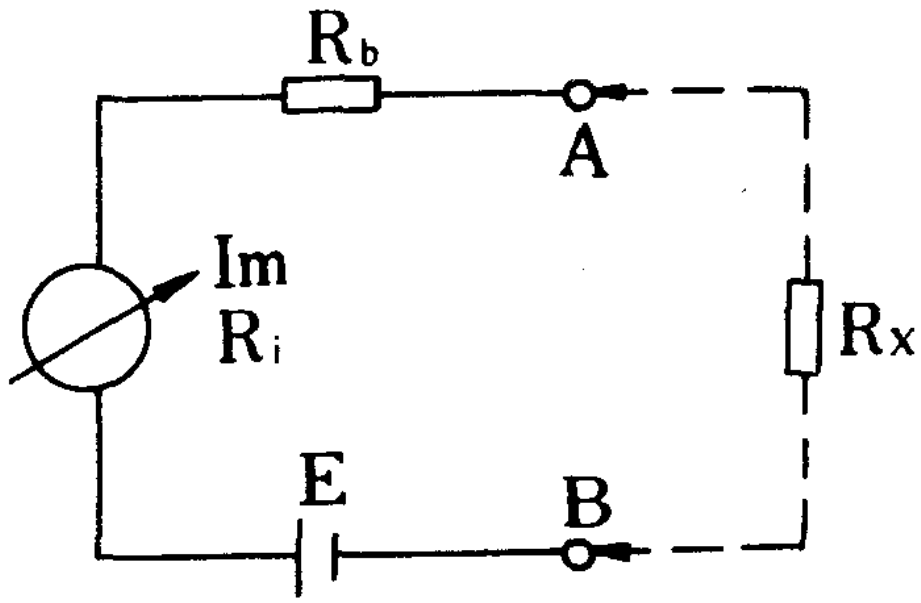


图 1-1-15

$$I_x = \frac{E}{(R_i + R_b) + R_x} \quad (1-3-5)$$

从这个公式可以看出，被测电阻 R_x 越小，则线路的电流 I_x 越大。反之，则越小。因此通过表头的电流值即可间接反映 R_x 的大小。

当 $R_x = 0$ 时（即仪表端钮短路）流过表头的电流有最大值。适当选择限流电阻 R_b 的数值，使流过表头的最大电流，刚好等于测量机构的满偏电流 I_m ，即