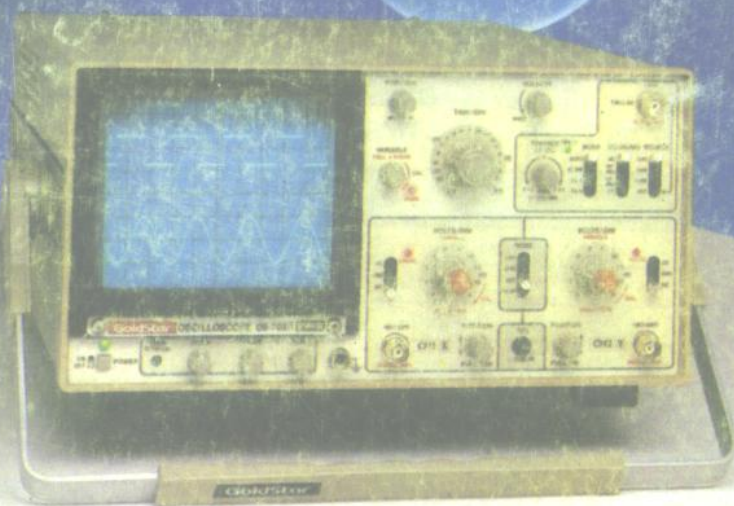


常 用 电 子 仪 器 仪 表

使用手册

● 齐怀印 主编



88

1

中国广播电视出版社

77.88
121

常用电子仪器仪表使用手册

齐怀印 主编

中国广播电视出版社出版

1991

DL52/02

内容提要

本书主要介绍了常用电子仪器、仪表的原理和使用方法。内容分为四章，第一章主要阐述了常用电工测量仪表的原理、电路组成和使用方法；第二章介绍几种常用的信号发生器；第三章介绍了电子示波器和晶体管图示仪的电路组成和使用方法；第四章介绍了电子计数器的原理和使用方法。书后附有几个实验，供进行基本操作训练用。

本书适合于广大工程技术人员、电器维修人员阅读参考。也可以作为大专院校有关专业的教学参考书。

常用电子仪器仪表使用手册

齐怀印 主编

中国广播电视出版社出版

(北京复外广播电影电视部灰楼 邮政编码 100866)

北京钓鱼台印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 16 开 12 印张 292 千字

1991 年 5 月第 1 版 1991 年 5 月第一次印刷

印数：0—5000 册 定价：8.20 元

ISBN 7-5043-0948-6/TN·112

前 言

为了使工程技术人员、电器维修人员以及大专院校有关专业的学生，对常用电子仪器和仪表的原理及性能有个清晰地了解，充分发挥仪器、仪表的作用，以避免发生错误，因而编写了这本书。

在编写本书之前，编者对一些工厂、学校以及他们经常使用的测试设备进行了调查研究，筛选出目前较常用的一些电子仪器和仪表编入书内，供有关人员查阅学习。在编写过程中，参考了有关专业课程的教学大纲和教材，力求概念清晰，联系实际，便于自学。在写法上，由浅入深、简明扼要地讲述了常用电子仪器、仪表的工作原理，使用方法和操作技巧。每章后面有复习题，在附录中还安排了几个进行基本操作训练的实验。因此，本书适应性广泛，可作为一般工程技术人员的自学用书，也可以作为大专院校有关专业的教学参考书。

该书的第一章主要介绍了数字式和模拟式万用表、兆欧表、晶体管毫伏表，以及各种常用的电桥等。这一章由卢锦同志执笔；第二章介绍了高低频信号发生器及脉冲信号发生器，由李战勇同志执笔；第三章介绍了单双踪电子示波器及晶体管图示仪，由齐怀印同志执笔；第四章介绍了电子计数器，由路尔红同志执笔；附录中的实验部分，由高景芳同志执笔。全书的编写、修改和审定是在齐怀印同志组织下完成的。

由于编者水平有限，书中若存在错误与不妥之处，请读者批评指正。

编者
1991 年春

目 录

第一章 常用电工测量仪表	1
1.1 万用表	1
1.1.1 磁电式表头的工作原理	1
1.1.2 万用表电流、电压档的构成	5
1.1.3 万用表欧姆档的构成	11
1.1.4 MF-47 万用表	16
1.2 数字万用表	20
1.2.1 信号调节器	21
1.2.2 模-数转换器	25
1.2.3 其他电路	28
1.2.4 DT-830 数字万用表	28
1.3 兆欧表	31
1.3.1 兆欧表的结构	31
1.3.2 兆欧表的工作原理	32
1.3.3 兆欧表的使用	34
1.4 晶体管毫伏表	36
1.5 交直流电桥	40
1.5.1 直流电桥	40
1.5.2 交流阻抗电桥	45
习题	50
第二章 测量用信号源	52
2.1 概述	52
2.1.1 信号源的分类	52
2.1.2 信号源的功用	52
2.1.3 部分信号发生器的主要性能指标	53
2.2 正弦波信号发生器	54
2.2.1 XD2 型信号发生器	54
2.2.2 XFG-7 型高频信号发生器	61
2.3 MFS-2B 型双脉冲信号发生器	66
2.3.1 主要技术指标	67
2.3.2 操作使用方法	69
习题	74

第三章 电子示波器	75
3.1 概述	75
3.1.1 电子示波器的用途及分类	75
3.1.2 电子示波器的结构	76
3.2 电子示波器的工作原理	76
3.2.1 示波管	76
3.2.2 示波器的垂直通道	81
3.2.3 示波器的水平通道	85
3.2.4 示波器电源	88
3.3 ST16 型示波器	90
3.3.1 主要技术指标	90
3.3.2 电路原理	96
3.3.3 示波器的应用	102
3.4 SR8 型双踪示波器	108
3.4.1 Y 通道	108
3.4.2 X 通道	114
3.5 JT-1 型晶体管图示仪	125
3.5.1 图示仪的基本原理	126
3.5.2 JT-1 型晶体管图示仪的技术性能和操作	128
3.5.3 JT-1 型图示仪应用举例	132
习题	133
第四章 电子计数器	135
4.1 概述	135
4.2 电子计数器的基本工作原理	136
4.2.1 测量频率	137
4.2.2 测量频率比	138
4.2.3 测量周期	139
4.2.4 测量时间间隔	140
4.2.5 累加计数	141
4.2.6 自校	143
4.3 电子计数器的测量误差	143
4.4 电子计数器整机举例	149
4.4.1 E312 的主要技术指标	149
4.4.2 E312 总组成方框图	150
4.4.3 E312 电子计数器的电路分析	152
4.5 电子计数器的造型	164

	习题	166
附录	实验指导书	166
实验一	练习使用 SR8 型示波器及 XD1 信号发生器	166
实验二	JT-1 型晶体管特性图示仪的使用练习	177
实验三	常用仪器综合练习	183

第一章 常用电工测量仪表

本章主要介绍几种常用的电工仪表：万用表、兆欧表、晶体管毫伏表及交直流电桥。它们的主要功能是测量电流、电压及元件的电阻、电容、电感等参量。

由于万用表的使用最广泛，能完成的测量功能最多，因而较详细地介绍了一般万用表的构成及工作原理，并以 MF-47 型万用表为例分别介绍了其它测量电压、电流、电阻电路的原理及设计过程。这些可供同学们在设计和改装万用表时作为参考。要求同学能熟练掌握这些原理，并能自行设计万用表的各种测量电路。

随着科学技术的发展，数字万用表也越来越普及，数字万用表的突出优点是能直接读数，测量速度快，误差小。数字万用表主要运用了数字电路技术，采用了中大规模的集成电路。要求掌握其电路特点，重点电路要会计算。

虽然万用表能完成的功能最多，但有些场合并不适用：如要测量仪器设备的绝缘电阻，应使用兆欧表；要精确测量小到毫伏以至微伏级的电压则应用高灵敏度的晶体管毫伏表；要测量大到 $10^{10} \sim 10^{15} \Omega$ 小到 $10^{-3} \sim 10^{-6} \Omega$ 的电阻则应用直流电阻电桥；而要准确测量元件的电容和电感则应用交流电桥。在本章的后几节我们分别介绍了这几种仪表，要求同学掌握其各自工作特点，会正确使用。

1.1 万用表

万用表又叫繁用表或多用表，它具有多种用途、多种量程，携带方便等一系列优点，因此在电气维修和调试工作中被广泛使用。

一般万用表可以测量直流电流、直流电压、交流电压、直流电阻、音频电平、电量。有的万用表还可以测量交流电流、电容、电感以及晶体管直流参数等。

普通万用表由测量机构（一般为磁电式表头）测量电路和转换开关组成。

1.1.1 磁电式表头的工作原理

一、磁电式表头的构造

磁电式表头就是利用磁场和载流线圈之间的相互作用，产生偏转力矩，使指针发生偏转，从而测量电流和电压。

动作机构如图 1.1.1 所示，它包括两个主要部分：固定的永久磁铁和可动的线圈。

永久磁铁的极掌常做成圆弧形，在两极间形成的圆筒形空间内，同心地安置着一个较小的圆柱形软铁 4，以使每一极掌与软铁之间形成一个狭窄等距的弧状空气隙。这样可以保证在气隙中有强大而均匀的辐射形磁场。

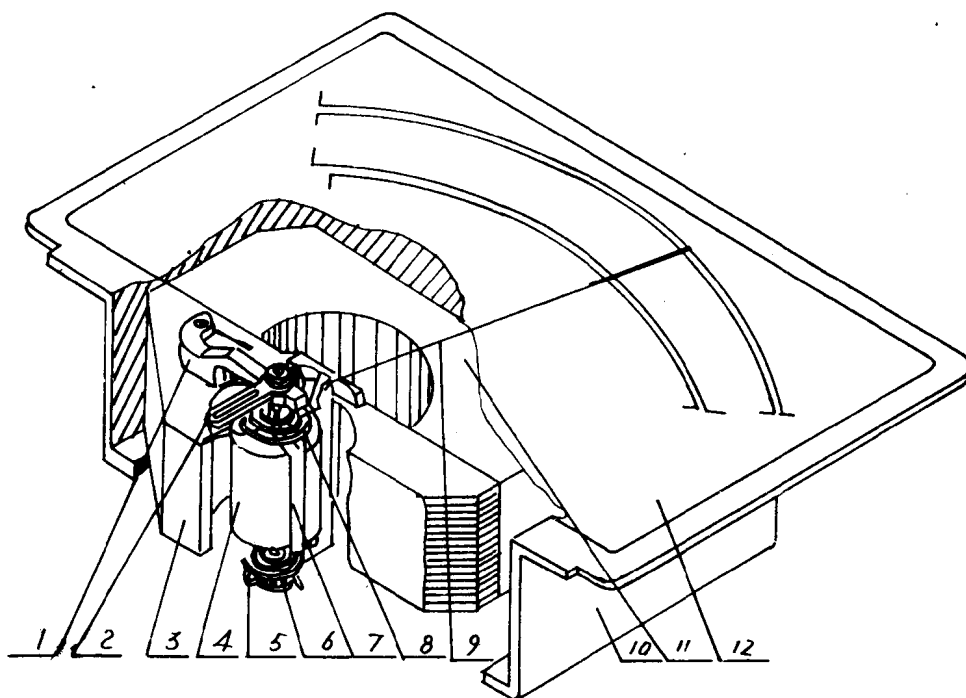


图 1.1.1 长方形表头各部分结构

1—蝴蝶形支架；2—上调零杆；3—极掌；4—圆柱形软铁；5—下调零杆；6—下游丝；7—动圈；
8—上游丝；9—刀形指针；10—表托；11—磁钢；12—表盘

在圆柱形软铁 4 上，套有一个可沿气隙自由活动的线圈 7，该线圈是绕在一个铝制框架上的。在活动线圈上下两边与圆柱形软铁同心位置上各装一个半轴，它的轴尖装在通常以宝石做成的轴承里。当线圈中通入电流后，与气隙中的磁场相互作用产生了偏转力矩而使线圈绕轴转动，在轴上安装有两个用磷青铜皮制成的平衡螺旋弹簧称为游丝 6.8，其内端固定在表轴上，外端固定在表身上，当线圈偏转时，游丝便卷紧或旋松，因而产生反扭力矩力图使线圈恢复到原来的位置。当偏转力矩与反扭力矩平衡时，线圈就达到平衡位置，静止不动。游丝还兼作把电流引进与导出之作用。在上半轴上还装有指针 9，和机械调零杆 2.5。

二、工作原理

1、偏轴力矩

如图 1.1.2 所示

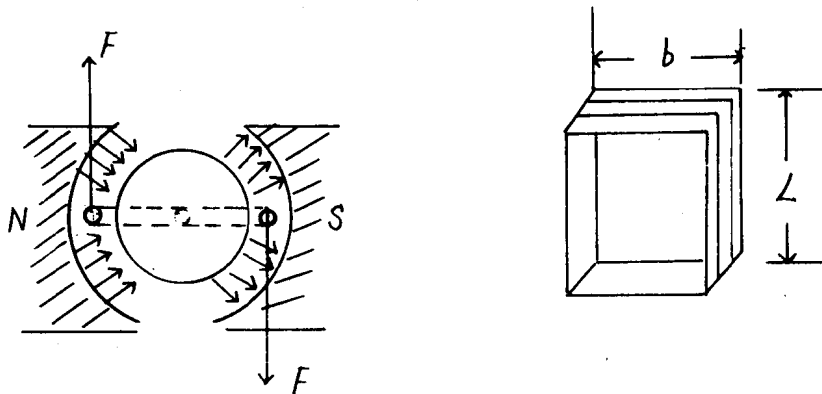


图 1.1.2 动圈在磁场中偏转

设气隙的磁通密度为 B ，动圈的有效边长为 L ，宽度为 b ，匝数为 W ，流入动圈的电流为 I ，若气隙中有用部分的磁场真正是均匀辐射形的，则不管动圈处于什么位置，动圈平面的法线与气隙内磁力线总是垂直的，亦即其夹角 θ 总是 90° ，动圈绕组在磁场中受力的方向可用左手定则来判断：伸开左手，让拇指跟其余四指垂直，并且都与手掌在一个平面上。把左手放在磁场里，让磁力线垂直穿入手心，如果四个手指指向电流的方向，那么拇指所指的就是动圈绕组受力方向。

动圈绕组在磁场中的一边 L 受力大小为：

$$F = WBIL \quad (1.1.1)$$

作用于动圈的转动力矩为

$$M = 2F \times b / 2 = WBSI = GI \quad (1.1.2)$$

其中 $G = WBS$ 。对于一定的线圈来说，匝数 W 及面积 S 总是常数，而且由于磁场是均匀的，亦即 B 为常数，所以 G 也是常数。也就是说，如果气隙内的磁场是均匀辐射形的，则偏转力矩与电流成正比。

2. 反抗力矩

若磁电式表头中只有偏转力矩存在，则活动部分就会不管被测量大小而一直偏转到尽头。为了使指针停止的位置与被测电流有关，动圈上除了受到一个与被测电流有关的偏转力矩作用外，还必须同时受到一个与偏转角有关的作用力矩与偏转力矩相平衡，这种反作用力矩通常是由游丝产生的。

由游丝产生的反作用力矩是与偏转角 θ 成正比的，即

$$M_\theta = D_\theta \quad (1.1.3)$$

其中 D 是常数，决定于游丝的尺寸及材料，当反作用力矩和偏转力矩达到平衡时

$$M = M_\theta$$

$$\text{即} \quad GI = D_\theta$$

由此可得到偏转角 θ 与电流 I 之间的关系为

$$\theta = (G / D) I \quad (1.1.4)$$

由于 D 和 G 均为常数，可见偏转角是和电流成正比的。因此将这种电表的度盘按电流 I 的数值来刻度，便能用均匀的刻度来测量电流的大小。

3. 阻尼

线圈在偏转时获得了动能，由于惯性的缘故，指针在平衡点上不会马上停止，而在该点附近来回摆动（机械振荡），直到动能被活动部分与空气间的摩擦消耗尽，才能停止。为了能迅速读数，在电表设有阻尼器的装置。阻尼器能产生阻尼力矩，随时反抗动圈的运动，消耗其动能而使其迅速静止，但当动圈一旦趋于静止时，这种反作用就立即消失，不致影响最后的平衡位置。

在磁电式电表中，动圈的铝制框架兼有阻尼器的作用。当动圈在气隙中振荡时，框架因切割磁力线而产生感应电流，根据楞次定律感应电流与磁场相互作用所产生的力矩，必然是阻碍动圈振荡的。这一力矩起着阻尼作用。所以阻尼的强弱取决于框架的电阻，即取决于它的材料，周长，宽窄和厚薄。当然线圈本身在磁场中振荡时线圈导体也切割磁力线而产生感应电所谓，由此感应电所谓所产生的感应电流也具有阻尼作用，作用的强弱当然与外电路电阻的大小有关。不过，线圈本身的阻尼作用在一般情况下较之框架的阻尼甚小，只有在不用框架的电流计中才有考虑的必要时。当动圈停止转动时，这个阻尼力矩就立即消失，不影响最后的平衡位置。

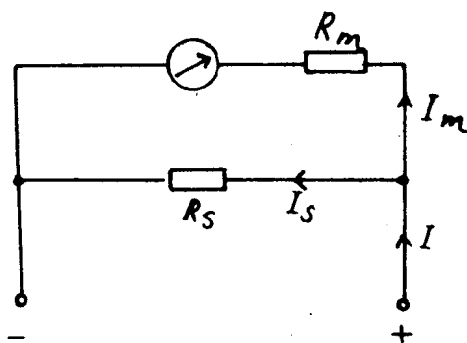
三、表头灵敏度及内阻

表头灵敏度是表征表头特性的主要指标之一，所谓灵敏度即单位电流所引起的偏转角之大小，以 S_I 表示。

$$S_I = \theta / I \quad (1.1.5)$$

灵敏度也常用满度电流来说明，它是指表头指针满偏时所需要的电流，满度电流 I_m 越小灵敏度越高。由于制造工艺的限制表头的灵敏度是有一定限度的，磁电式表头的满度电流约为几个微安到 10 毫安左右，表头内阻 R 是指动圈所绕漆包线的直流电阻， I_m 和 R_m 是设计万用表的主要参数。

磁电式表头是用永久磁铁做磁钢，它的磁场方向是恒定的，它只能测直流，所以表头有“+”、“-”极性。



$$\text{即: } \frac{I_m}{I_s} = \frac{R_m}{R_s} \quad (1.1.6)$$

R_s 为分流电阻

R_m 为表头内阻

图 1.1.3 并联分流器电流表线路

应用磁电式表头可以组成安培计，伏特计，增加恰当的线路，又可组成整流式电表，工程上常用的万用表，电子管电压表等都是用磁电式表头组成的。

1.1.2 万用表电流、电压档的构成

一、直流电流档

因为表头动圈及游丝允许通过的电流很小，所以用表头直接构成电流表的情况，只限于微安表和毫安表，若要测量较大电流时可通过加分流器的办法来解决。如图 1.1.3 是有并联分流器的电流 I 分为两部分，即 $I = I_m + I_s$ ，分流器与表头之间的电流分配与相应的电阻成反比。

由上式可以看出，扩展量程完全决定于 R_m 与 R_s 的比率，在一定的 R_m 下，选择适当的分流电阻 R_s 就可以得到一定的满度电流。

多量程的安培表通常采用多量程的分流器，其量程的改变是借助转换开关 k 来实现的。如图 1.1.4。为万用表 MF-47 的分流档电路。

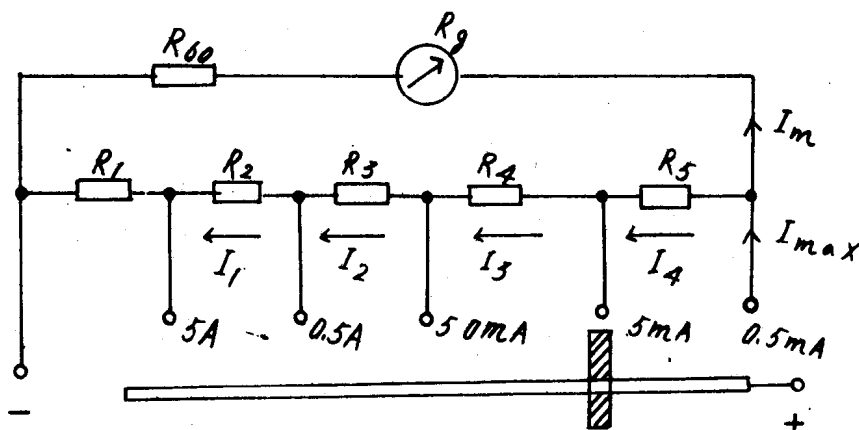


图 1.1.4 MF-47 万用表分流档电路

分流表满度量程为五个档次：0~0.5mA，0~5mA，0~50mA，0~0.5A，0~5A。电表满度电流 $I_m = 50\mu A$ ，内阻 $R_m = R_g + R_{60} = 3.6k\Omega$ ，求各分流电阻值如下：

$$\text{设 } R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 = R_s$$

$$I_{\max 4} = 0.5mA$$

$$I_m = (R_s / (R_s + R_m)) I_{\max}$$

$$\text{则 } R_s = (I_m R_m / (I_{\max 4} - I_m)) = 50 \times 10^{-6} \times 3600 / (0.5 \times 10^{-3} - 50 \times 10^{-6}) \\ = 400\Omega$$

$$I_{\max 3} = 5mA$$

$$\text{则 } R_s - R_5 = I_m (R_s + R_m) / I_{\max 3} \\ = 50 \times 10^{-6} (3600 + 400) / 5 \times 10^{-3} \\ = 40\Omega$$

$$I_{\max 2} = 50mA$$

$$R_s - R_4 - R_5 = I_m (R_s + R_m) / I_{\max 2} \\ = 50 \times 10^{-6} (3600 + 400) / 50 \times 10^{-3}$$

$$= 4\Omega$$

同理可得

$$R_s - R_3 - R_4 - R_5 = 0.4\Omega$$

$$R_1 = R_s - R_2 - R_3 - R_4 - R_5 = 0.04\Omega$$

因此得到:

$$R_2 = 0.36\Omega$$

$$R_3 = 3.6\Omega$$

$$R_4 = 36\Omega$$

$$R_5 = 360\Omega$$

通过计算可知, 一个磁电式表头与转换开关, 再结合分流器线路即可构成万用表的直流电流档: 万用表测量直流电流的线路实质上就是一个经过扩展量程后的多量程电流表。

二、直流电压档

为了测量电路中某两点之间的电压, 必须将电压表与该两点并联。并要求电压表的内阻要比被测的电阻大得多, 只有这样才不致因电压表的分流作用而改变被测电路的端电压。所以对电压表而言, 说明其量程的每伏欧姆数 (电压灵敏度) 比说明其内阻更有意义。电压表的“每伏欧姆”愈大, 则表头满度时所需之电流愈小, 而对被测电路的影响也就合愈小。

每伏欧姆数 = 电压表的总内阻 (Ω) / 满度电压值 (V)

$$= 1 / \text{满度电流 (A)}$$

磁电式表头可以直接测量电压, 因为表头内阻一定, 流过表头的电流与表头两端的电压成正比。

我们还以 MF-47 万用表为例, 其表头内阻 $R_m = R_g + R_{60} = 3.6k\Omega$, 满度电流 $I_m = 50\mu A$, 当表头通过 $50\mu A$ 电流时, 表头两端的压降为

$$\begin{aligned} U &= R_m I_m \\ &= 50 \times 10^{-6} \times 3600 \\ &= 0.18V \end{aligned}$$

因此这个表头的刻度又称为由 $0 \sim 50\mu A$ 的电流表, 也可称为 $0 \sim 0.18V$ 的电压表。如果要测量较大电压时可以在表头上串联分压电阻 R_s 以扩大量程。

当给定表头的参数 I_m 和 R_m 以及所需电压表的量程时, 便可根据欧姆定律求出 R_s 之值来。如图 1.1.5 所示。

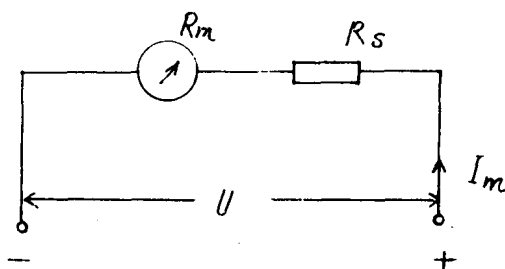


图 1.1.5 用欧姆定律求 R_s 的原理图

由图可知:

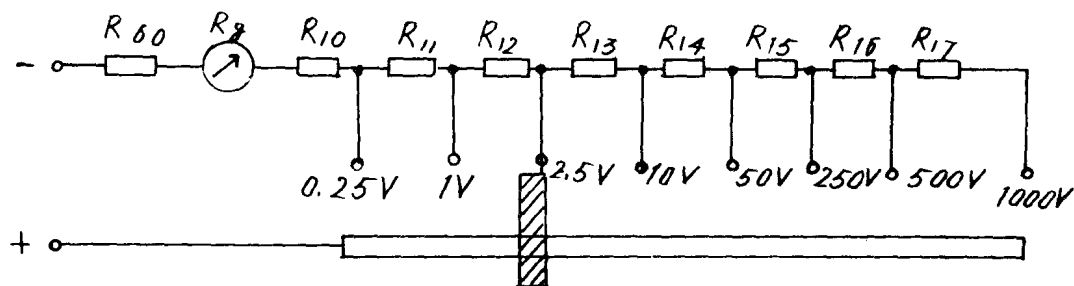


图 1.1.6 MF-47 万用表直流电压档线路图

$$\begin{aligned} U &= I_m (R_s + R_m) \\ I_m &= U / (R_s + R_m) \end{aligned} \quad (1.1.7)$$

由上式可以看出 I_m 正比于 U , 当 U 增大 I_m 也随之增大, 所以指针偏转角度 θ 也增大, 因而 U 为均匀刻度。

图 1.1.6 为 MF-47 万用表中多量程直流电压档的线路图。

设电表原有满度值为 U_{m1} , 新扩展的满度量程为 U_{m2} , 则:

$$U_{m2} = M U_{m1}$$

倍增电阻 R_{s2}

$$R_{s2} = (U_{m2} - U_{m1}) / I_m \quad (1.1.8)$$

以文字表示之, 即

倍增电阻 = 量程扩展的电压数 (V) / 满度电流 (A)

= 量程扩展的电压数 $\times$ 每伏欧姆数

由图中可以看出最小量程为 0.25V, 即 $U = 0.18V$

$$R_{j0} = (0.25 - 0.18) / 50 \times 10^{-6}$$

$$= 1.4k\Omega$$

利用倍增电阻公式, 每次量程的扩展都是在前一量程的基础上, 即把前一量程定为 U_{m1} , 把新扩展的量程定为 U_{m2} 。例如 1V 量程是在 0.25V 量程基础上扩展的。则 $U_{m1} = 0.25V$, $U_{m2} = 1V$

则

$$\begin{aligned} R_{11} &= (1 - 0.25) / 50 \times 10^{-6} \\ &= 0.75 / (50 \times 10^{-6}) \\ &= 15K\Omega \end{aligned}$$

以此类推得到

$$R_{12} = 30\text{K}\Omega$$

$$R_{13} = 150\text{K}\Omega$$

$$R_{14} = 800\text{K}\Omega$$

$$R_{15} = 4\text{M}\Omega$$

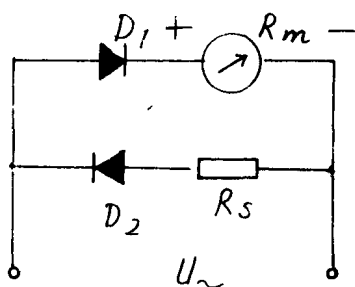
$$R_{16} = 5\text{M}\Omega$$

$$R_{17} = 10\text{M}\Omega$$

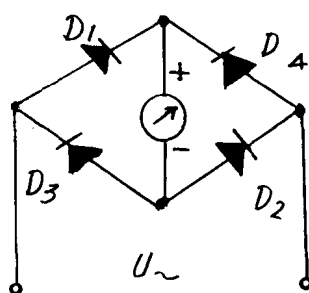
三、交流电压档

测量交流电压的电路实际上是一种整流式电压表，它是磁电式表头和整流器的组合，整流的作用是把交流变为直流。

整流器通常分为半波整流线路和全波整流线路两种如图 1.1.7。(a) 为半波并联式，(b) 为全波桥式。



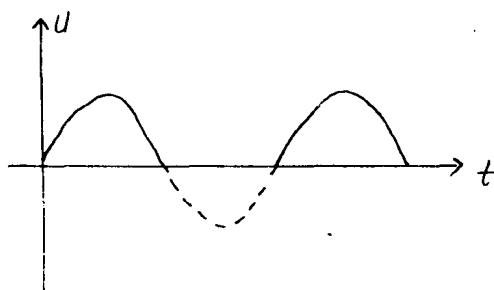
(a) 半波并联式电路



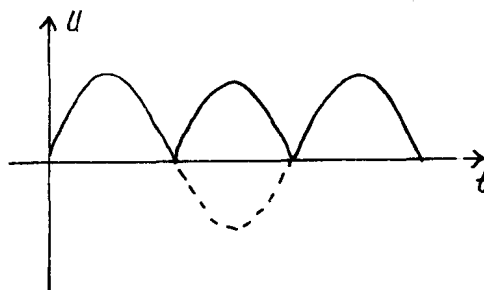
(b) 全波桥式电路

图 1.1.7 整流电路

在半波整流电路中，本来只需要一个整流元件 D1 与表头相串联即可，但是为了使电表在正负半周时的被测电路中所呈现的电阻不致相差过大，同时为了使负半周同时呈现在整流元件两端的反向电压不致过大而造成击穿，所以必须采用如图 1.1.7a 所示电路。



(a) 半波整流



(b) 全波整流

图 1.1.8 整流波形

在全波桥式电路中正负半周电流都通过表头，若外加电压为正弦交流波，则半波和全波整流电路中的电流波形如图 1.1.8 所示：

流过表头的整流电流虽然方向相同，但其大小仍然是随时间脉动变化的，因此由整流电流所产生的转矩也是随时间变化的。由于仪表指针有惯性，它来不及随电流及其产生的转矩而变化，指针的偏转角将正比于平均转矩。

作用于磁电式表的瞬时转矩为

$$M_t = BSWi = Gi$$

式中 i 为交流电流瞬时值。

作用于磁电式表的瞬时转矩为

$$M_t = BSWi = Gi$$

式中 i 为交流电流瞬时值。

对半波整流电路来说，平均转矩为：

$$M_q = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} M_t dt = \frac{1}{T} G \int_0^{\frac{T}{2}} i dt = G \frac{I_q}{2} \quad (1.1.9)$$

对全波整流电路为：

$$M_q = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} M_t dt = GI_q \quad (1.1.10)$$

式中 I_q 为电流在一个周期内的平均值。

平衡时： $M\theta = D\theta$

故电表的偏转角对全波整流电路为：

$$\frac{I_q}{2} G = D\theta$$

$$\theta = (G/D) (I_q/2) \quad (1.1.11)$$

同样，对全波整流电路为：

$$\theta = (G/D) I_q \quad (1.1.12)$$

上两式说明：整流式电表的偏转角取决于电流的平均值。

一般我们习惯从电表上直接读出的是有效值，交流电流的幅值 $I_{\max}$ ，有效值 I 和平均值 I_q ，它们三者如图所示。

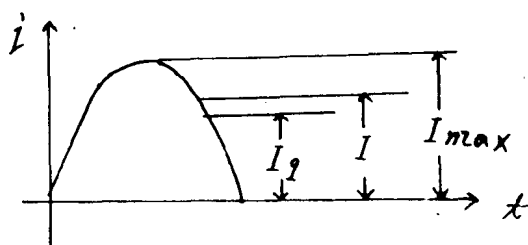


图 1.1.9 正弦波幅值,有效值及平均值

它们三者之间的关系如下:

$$I_{\max} = \sqrt{2} I = \pi I_q / 2$$

$$I = \pi I_q / (2\sqrt{2}) = 1.11 I_q$$

交流电压（或电流）在实用上用有效值来表示，因而可以把平均值乘以有效值对平均值转换系数 1.11 来刻度。但因不同波形转换系数不同，所以这种刻度以纯正弦波做标准，用来测非纯正弦波就会产生转换误差。

多量程的交流电压表是在整流电路上加上串联分压电路，如图 1.1.10。

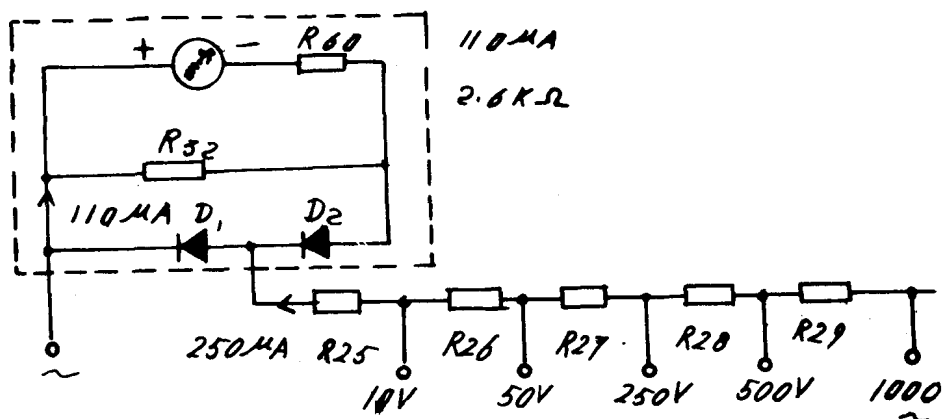


图 1.1.10 MF-47 万用表分压电路

计算交流电路时，应该先算出整流电路的工作总效率 K_0 :

$$K_0 = p \times \eta \times K \quad (1.1.13)$$

式中: p —整流因数，全波为 1，半波为 0.5