万用电表

概述计算、合理使用和维修

贵州省图书馆

上海第四电表厂

一九七五年修订

贵州省图书馆

※ 0.60

目　录

一、概　述 …… 1

二、万用电表的基本误差 …… 1

1. 电流电压量程基本误差的表示方法 …… 1

2. 电阻量程基本误差的表示方法 …… 2

三、测量机构 …… 3

1. 万用电表测量机构的特殊性 …… 3

1）灵敏度 …… 3

2）线性度 …… 3

3）耐震性 …… 3

2. 磁电系测量机构的简单工作原理 …… 3

1）转动力矩 …… 4

2）反作用力矩 …… 5

3）阻尼力矩 …… 6

4）摩擦力矩 …… 8

5）重力矩 …… 9

3. 磁电系测量机构的结构简介 …… 10

1）活动线圈 …… 10

2）支架 …… 10

3）磁系统 …… 11

4. 测量机构的讨论 …… 12

5. 测量机构主要参数的测定 …… 15

1）满刻度电流“I_g”的测定 …… 15

2）表头内阻“R_g”的测定 …… 16

3）线性度的测定 …… 17

4）临界电阻“R_L”的测定 …… 17

6. 测量机构的保护措施 …… 18

7. 标度盘的绘制 …… 18

1）直流刻度 …… 18

2）交流刻度 …… 18

3）电阻刻度…… 19
4）电平刻度…… 19
5）电容刻度…… 19
6）电感刻度…… 20
7）直流电流放大系数“h_{FE}”…… 20
8）标度盘上的标志说明…… 20
四、电路计算…… 21
1.各量程最高灵敏度的确定…… 21
2.直流电流电路…… 23
1）分流电阻的求法…… 23
2）开路式多档电流表电路…… 24
3）闭路式多档电流表电路…… 24
4）表头串联电阻“Re”的求法…… 26
5）线绕分流电阻线径之决定…… 27
3.直流电压电路…… 28
1）电路原理…… 28
2）电压灵敏度“S_V”…… 28
3）附加电阻“Rv”的计算…… 29
4）其他…… 29
4.交流电路…… 31
1）整流电路的分类…… 31
2）计算公式…… 32
3）半导体整流元件的要求…… 32
4）交流线性度…… 33
5）交流电压电路…… 35
(1)交流电压灵敏度…… 35
(2)附加电阻计算…… 35
(3)频率补偿…… 36
(4)刻度补偿…… 36
6）交流电流电路…… 37
(1)电阻分流法…… 37

(2)电流互感器法…… 39
5.直流电阻电路…… 41
1）基本原理…… 41
2）电阻电路的计算…… 43
3）低电阻量限“DΩ”的测量与计算…… 47
6.晶体管直流电流放大系数“h_{FE}”电路…… 48
三、正确使用万用电表…… 50
1.正确选用万用电表型号…… 50
2.合理选择量限…… 50
1）交直流量程…… 51
2）电阻量程…… 51
3.测量方法误差…… 51
1）电流量程的方法误差…… 51
2）电压量程的方法误差…… 53
3）电阻量程的方法误差…… 54
4）使用位置影响…… 54
4.附加误差…… 54
1）温度影响…… 54
2）频率影响…… 54
3）波形影响…… 55
5.其他注意事项…… 55
六、万用电表的检查和修理…… 56
1.检修步骤…… 56
2.测量机构的检修…… 56
1）指针轧住…… 56
2）摩擦误差大…… 57
3）游丝粘框和跳框…… 57
4）不平衡误差…… 58
5）动圈断路和短路…… 58
6）灵敏度低…… 59
7）最后检验…… 60

8）充磁和退磁…… 60
9）无框架动圈的绕制…… 62
10）各型万用电表测量机构参数表…… 64
3.直流电流量程的检修…… 66
1）简易检查方法…… 66
2）主要故障及修理…… 66
4.直流电压量程的检修…… 67
1）简易检查方法…… 67
2）主要故障及修理…… 67
5.交流电路的检修…… 67
1）简易检查方法…… 67
2）主要故障及修理…… 67
6.电阻量程的检修…… 68
1）简易检查方法…… 68
2）主要故障及修理…… 68
七、电路的调试…… 69
1.调试时对环境和标准仪表的要求…… 70
2.直流量程的调试…… 70
3.交流量程的调试…… 71
4.电阻量程的调试…… 71
5.调试用可调简单电源…… 71

一 概 述

万用电表是电工电讯工作人员常备的仪表，随着我国电讯工业的发展和普及，使用万用电表的范围越来越广泛，一支设计、制造和维修万用电表的队伍，正在逐渐壮大，为了便于有关人员进一步了解万用电表的计算、维修和使用，更有利于抓革命、抓生产，兹将我厂在生产实践中的一点体会概述于后，以供参考。并希对我们提出宝贵的意见。

万用电表是由几种电表复合而成的多用电表，一般是由直流电流、直流电压、交流电压、交流电流和直流电阻等几种主要电路所组成；在产品设计中为了满足结构简单、紧凑和节约元件等，对电路中元件往往采取相互合用方式，这样就使万用电表的开关结构需要特殊设计，电路亦比较复杂了。万用电表电路计算，主要是以欧姆定律为基础，各量程都应转成直流电流后，由磁电系测量机构指示读数。（本文主要以MF30型万用电表电路为例。）

二 万用电表的基本误差

基本误差是指仪表标度尺工作部分的所有带字分度线上，不应超过的误差值，根据电工仪表标准规定，万用电表的基本误差是以引用误差计算的，就是以满刻度值百分数或弧长百分数计算的。在万用电表中，往往根据不同量程或量限，采用不同的基本误差，一般直流误差较小，交流较大。

目前万用电表中，对直流量限的基本误差：有±1％、±1.5%±2.5%、亦有用±4～5%的；对交流量限的基本误差：有±1.5%±2.5%±4%和±5%。另外为了满足用户特殊需要，往往增加了附加量程，如测量DB、h_{FE}、C、L 等）这些量程由于受外界因素影响较大，无法确定误差，一般只供定性测量、是不计基本误差的。

万用电表基本误差的计算，是因刻度的特性不同，而用下列二种方法表示：

1.电流电压量程基本误差的表示方法

因电流电压量程刻度是较线性的，所以是按满刻度值百分数表示，其计算公式如下：

$$\text{基本误差}\quad \triangle_{(\%)}=\frac{\text{指示值}-\text{标准值}}{\text{满刻度值}}\times 100\% \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

例1：用万用电表在500V量限上测220V市电得210V求基本误差？同样在250V量限上测得210V求基本误差？

解：在500V档时 $\triangle_{\%}=\frac{210-220}{500}\times 100\%=-2\%$

在250V档时 $\triangle_{\%}=\frac{210-220}{250}\times 100\%=-4\%$

2.电阻量程基本误差的表示方法

因电阻刻度是非线性的，所以采用以弧度长的百分数表示的。其计算公式如下：

①已知弧长值 $\triangle R_1=\frac{\text{指示值弧长}-\text{标准值弧长}}{\text{欧姆表工作部分总弧长}}\times 100\%\cdots$

$$\cdots\cdots\cdots(2)$$

②已知电阻值 $\triangle R_2=\left(\frac{R_T}{R_T+R_M}-\frac{R_T}{R_T+R_S}\right)\times 100\%\cdots\cdots(3)$

R_T —— 欧姆表总内阻（$=R_{中心值}\times$倍率）

R_M —— 指示读数　　R_S —— 被测量标准值

例2：已知Ω表弧长为80mm，标准值在40mm处，测量时指示值在39mm处，求此Ω表的基本误差？

解：用 $\triangle R_1=\frac{39-40}{80}\times 100\%=-1.25\%$

例3：已知Ω表中心值为25Ω，用R×10档测200Ω电阻得180Ω读数，求其基本误差？

解：用 $\triangle R_2 = \left(\frac{25\times10}{25\times10+180} - \frac{25\times10}{25\times10+200}\right)\times100\% = 2.6\%$

三 测 量 机 构（俗称表头）

1.万用电表测量机构的特殊性：

1）灵敏度高—— 由于万用电表使用范围较广，为了满足各量程的需要，如电压档要求有较高的阻抗；电流档要有较小的量限；电阻档要有较高阻值的测量，而电池电压不能太大等，都是要求表头满刻度电流愈小愈好。目前一般是40~200微安，最小是9.3微安。（如MF10型）。同时亦应考虑到表头内阻受温度的影响，要求足够小的内阻。要达到内阻小、满刻度电流小的目的，所以目前万用电表的测量机构都采用间隙磁通密度强的磁电系仪表，并用无框架可动线圈结构。

2）线性度一致性好：

由于万用电表量程较多，一般在标度盘上有4条以上刻度，而且生产批量较大，就不可能采用逐个绘制标度盘的工艺，只能采用成批印刷标度盘，以利大量生产。这样对表头线性度的要求就高了，必须做到表头特性曲线和标度盘印刷的曲线刻度相吻合，才能保证万用电表的精度。所以万用电表都采用线性度较好的磁电系外磁结构，生产中对磁极加工，要求较高，以保证线性的一致性。

在大量生产中，为了补偿加工公差等造成的线性度不一致性，通过实践，总结加工工艺规律，印制几种不同线性的表面，在其下端注以0、1、2、3、…编号。生产中通过“验表头曲线”工序，配用相应表面，来保证表头线性度符合质量要求。

3）耐震性好

万用电表属于携带式仪表，表头灵敏度又较高，轴尖轴承易受损伤，造成变差增大，影响读数。所以目前万用电表中都采用弹簧宝石轴承结构，来保证仪表使用质量。

2.磁电系测量机构的简单工作原理

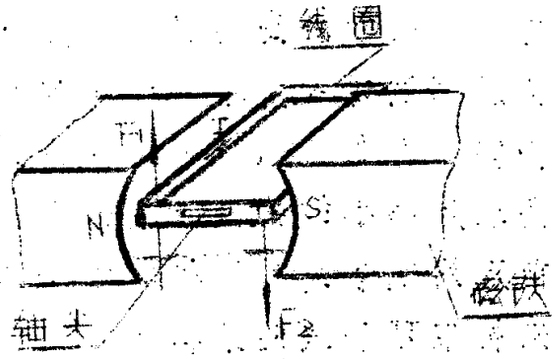
根据上述万用电表测量机构的特殊性，所以目前万用电表中都

采用磁电系外磁结构的测量机构，其可动部分大多采用无框架动圈，并用弹簧宝石轴承，以保证万用电表的大量生产。

磁电系测量机构工作原理：是在一固定磁场中的线圈中通以电流后，由于相互之作用力，而引起线圈转动角度，我们根据其角度大小，来表示通入线圈中电流值的，而达到测量的目的。现用下列几个力矩关系，来简述其简单工作原理：

1）转动力矩“M”

我们在磁场中放入一用轴尖支承的活动线圈（如图3-1），当线圈中通入电流后，按左手定则原理，在线圈二边分别受到方向相反的二作用力F_1，和F_2，其值相等，使线圈沿轴线转动，而产生转动力矩M。计算公式如下：



①线圈每边受到之力“F”

$$F=F_1=F_2=IBLN \qquad 3-1$$

②线圈的总转动力矩M

$$M=\frac{1}{9810}2\left(F\times\frac{b}{2}\right)=\frac{1}{9810}Fb=\frac{1}{9810}IBNS$$

S＝b×L为线圈之有效面积　（厘米²）
b－线圈之平均宽度　（厘米）
L－线圈之有效长度　（厘米）
N－线圈的匝数　（圈）
B－空隙中的磁通密度　（高斯）
I－流过线圈中的电流　（安）
M－转动力矩　（克·厘米）

$\frac{1}{9810}$－单位转换系数

2）反作用力矩

仪表中如只有转动力矩，由于惯性等关系，则活动线圈中不论通过多少电流，都可得到满刻度的偏转，就无法达到测量的目的，必须用一相反的作用力矩，来平衡转动力矩，才可使各被测量的值，有相应的偏转角，而得到读数。在磁电系仪表中大都采用阿基米德螺旋形弹簧（俗称游丝）和张丝、吊丝等，来作为产生与转动力矩"M"相反的反作用力矩"$M_{反}$"，来达到平衡转动力矩的。

当 $M_{反}=M$ 时，即活动线圈达到平衡状态而停止偏转，而得到被测量值相应的偏转角，即仪表指针指示读数。（假定不考虑磨擦力矩时）

反作用力矩　　$M_{反}=D\alpha$

D—反作用力矩系数，是由弹簧材料性质和几何尺寸形状而决定的，对螺旋形弹簧之D

$$D=E\frac{bh^3}{12L}$$

b—弹簧的宽度　（厘米）

h—弹簧的厚度　（〃）

L—弹簧的长度　（〃）

E—弹性系数（达因／厘米^2）　根据材料而不同如锡锌铜 $E=1.2\times10^{12}$，磷青铜 $E=0.9\times10^{12}$

α—活动线圈的偏转角。

$M_{反}$—反作用力矩（即游丝偏转90°时之力矩）

在磁电系结构中，一般都采用上下二根游丝，方向相反的焊在线圈引出线焊片上，利用它作为引入电流之用；工作时一根放松，一根旋紧产生力矩为二者之和，就是仪表的反作用力矩"$M_{反}$"。其上下方向相反，可克服游丝受温度影响变形而造成的零位变动现象。其上面游丝外端，焊在导向件上，作为机械调零器之用。当上

下游丝用不同规格的仪表中，应将力矩大的焊在上面一端，以保证零位调节幅度。

3）阻尼力矩

仪表的活动线圈在偏转过程中，当被测之量改变时，使线圈从一个平衡位置偏转到另一新的平衡位置时，开始由于惯性关系，往往超过新的平衡位置，然后在反作用力矩作用下，又向反方向偏转，亦由于惯性关系，而超过新的平衡位置，又向另一方向偏转，如此使指针来往在新的平衡位置左右，产生振荡现象，一时停不下来，只能靠轴承中摩擦力和空气阻力，而使振幅逐渐缩小，才能停在新的平衡位置上。但要费很多时间。（如图3－2）

此段时间我们称之阻尼时间，根据国家标准规定，磁电系万用电表的阻尼时间，不能超过4秒钟。为了减少阻尼时间，必须在活动部份，加入吸收活动线圈能量的反方向力矩，称之阻尼力矩，它只能与活动部份的速度有关，不能影响偏转角度，以免影响读数。

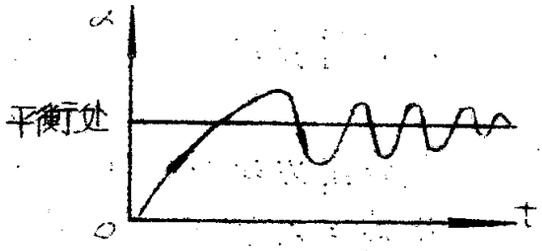
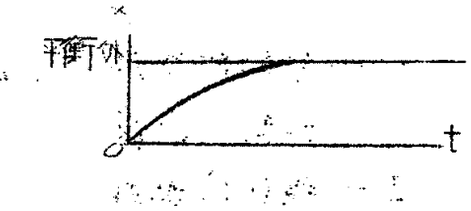


图 3－2

仪表的阻尼可分三种情况：

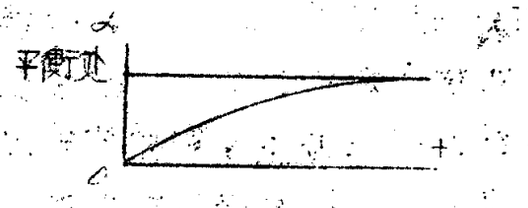
①临界阻尼—是最理想的，指针能很快的得到读数（如图3－3）



临界阻尼

图 3－3

②过阻尼—由于阻尼力矩较大，使指针移动较缓慢，往往容易受摩擦误差影响，而造成不能达到新的平衡位置，使仪表变差增加（如图3－4），其阻尼时间亦较长。

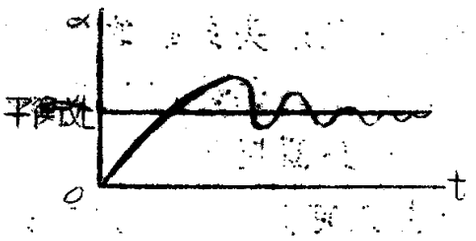


过阻尼

图 3－4

③不足阻尼—由于阻尼力矩较小，使指针移动较快，而作周

期摆动，（如图3－5）读取读数困难，其阻尼时间亦较长。



不足阻尼

图 3－5

上述阻尼情况的引成，是和测量机构中磁场强度，反作用力矩大小，可动部分重量，和所用阻尼器有关。在万用电表中，由于灵敏度较高，和适应大量生产需要，一般采用下列二种磁感应阻尼器：

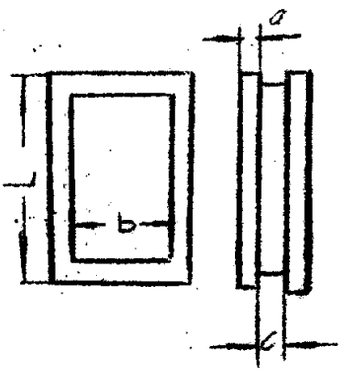


图 3－6

①框架阻尼器—利用活动线圈中铝框架在磁场中转动时，铝框感应电流产生阻尼力矩，而使可动部分迅速达到平衡位置，其阻尼力矩$M_{阻}$按下列公式：

$$M_{阻}=\frac{(BLb)^2\times10^{-9}}{r}\times\frac{d\alpha}{dt}$$

B—间隙磁通密度　a—铝架材料厚度
L—框架有效长度　c—铝架宽度
b—框架阔度

r—铝架的电阻　$r=\frac{\rho\cdot2(b+L)}{a\times c}$

由上式可知其阻尼力矩大小与框架电阻r成反比，即在几何形状决定下，材料愈厚，产生的力矩愈大；磁通密度愈强，产生的力矩愈大。所以一般都用0.1～0.2厚的铝皮作为框架，有的为了减小阻尼力矩，甚至采取在框架上打孔方法，来增加框架电阻，以减小阻尼力矩，满足灵敏度较高仪表的需要。此种阻尼器，只适用于一般灵敏度较低的万用电表测量机构中。（如MF40、MF15等）

②临界电阻阻尼器——是利用无框架可动线圈二端，并接临界电阻方式。当线圈在磁场中转动时，利用线圈中感应的电流和磁场相互作用而产生阻尼力矩，其值较框架小，适用于灵敏度较高的万用电表测量机构中，其计算公式如下：

$$M_{阻}=\frac{(BLbn)^2\times10^{-9}}{R_g+R_L}\cdot\frac{d\alpha}{dt}$$

R_L—与表头并接的电阻值

R_g—可动部分的电阻值

N —线圈匝数

由上式可知，其阻尼力矩大小，在几何形状，表头内阻，和匝数已定情况下，是和并接电阻值成反比，即R_L愈小，阻尼力矩愈大，呈过阻尼状态。当R_L愈大，阻尼力矩太小，呈不足阻尼状态。当选择R_L适当时，能很快得到读数，达到临界阻尼状态。其电阻值，称之临界电阻。在大多数万用电表中都采用此种阻尼方法，因其非但能满足灵敏度高需要，而且具有能减轻线圈重量，提高仪表质量；和减小间隙，增加磁通密度等优点。但无框架可动线圈，加工工艺较复杂，是它的缺点。

4）摩擦力矩

上述$M_{反}=M$时，可动部份达到平衡位置，实际在这个过程中，由于轴尖在轴承中运转，还存在一个摩擦力矩"$M_{磨}$"，它本质上是一个不定的量，决定于各种偶然因素，如轴尖轴承半径的大小、表面光洁度、磨损程度、和内部清洁等等。其值之大小，主要是与可动部份的重量和接触面积半径成正比例，其值愈大，要造成变差和不回零等读数误差，亦是仪表使用寿命和质量优劣的关键。

为了要减少摩擦误误，应采取下列措施：

①减轻可动部份重量—— 主要是对线圈用线直径尽量小，线圈的外形尺寸不能太大，指针用铝制细丝或空心铝管，和无框架线圈等来达到。

②合理选用轴尖轴承的半径，以减少接触面积对轴尖的半径不能取得太小，因太小要增加轴尖尖端压强，而更易磨损变形，造成摩擦误差大大增加，而且太小还要增加仪表的倾斜误差。当然这方面可用张丝结构来克服，但张丝工艺要求较高，目前万用电表采用较少，是进一步发展的方向。

③采用弹性轴承结构，以防受震动后损坏轴尖，而免除摩擦误差之增加，所以目前万用电表中，都用弹簧轴承结构。

④实用品质系数"A"

在电工测量仪表中，为了表示其机械特性的优劣，常用"实用

品质系数”A来表示

$$A = 10\frac{M_{90°}}{G^{1.5}}$$

$M_{90°}$ —— 游丝旋转90°时之力矩（克/厘米）

G ———— 可动部分的重量 （克）

其值愈高愈好，愈高表示其愈能耐冲击震动，即由于轴尖轴承磨损而使摩擦力矩的不恒定程度愈小，从上述公式可知要提高实用品质系数，应减轻可动部分重量，和增加反作用力矩（即用较大的游丝力矩）尤其是减轻动圈重量，效果更为显著。

但亦应指出，对品质系数来讲，是不包括使用材料质量和工艺性在内，对工艺性较强和使用材料较好的工厂，可用较小的实用品质系数，加工出品质量较好的仪表，所以我们不能只用品质系数大小，来衡量一个仪表的优劣，当然对同样材料和工艺性情况下，是可用来衡量的。

5）重力矩

我们知道可动部分的稳定偏转，应该只决定于转动力矩和反作用力矩的平衡，但此条件往往会由于重力矩对可动部分的影响而破坏。所以我们使用仪表时一定要按照仪表的规定使用位置，一般万用电表都规定为水平位置使用，才能保证仪表的精度。

为了消除重力矩的影响，必须使可动部分的重心与其转动轴线相重合，在生产制造中由于零件的公差，线圈的几何尺寸，轴尖的位置等的不一致性，必须采用调整可动部分重心的工序来纠正之，以减小重力矩影响，此工序我们称之“校准平衡”。目前对可动部分的指针支持设计，有二种形式：（十字形和燕尾形），利用增减指针后端各臂重量，来达到可动部分重心与轴线重合。具体步骤如下：

①用十字形指针支持的仪表：

(1)使指针位置放在水平方向，（如图3－7）

变动(1)平衡锤重量（或位置），使指针准指0线

(2)使指针位置放在垂直方向（如图3－8）

变动二边（2，3）平衡锤重量（或位置），使指针准指0线。

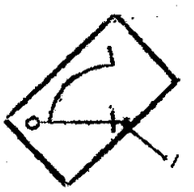


图 3－7

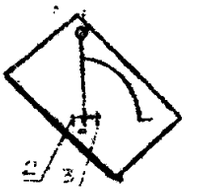


图3－8

(3)再反复上述①②步骤，并纠正平衡锤，使达到仪表在水平、垂直、左、右四个位置时，指针偏离0位线小于±0.5～1%弧长。

②用燕尾指针支持结构的仪表：

(1)使指针放在水平方向，（如图3－9）变动二平衡锤重量（或位置），使指针准指0位线。

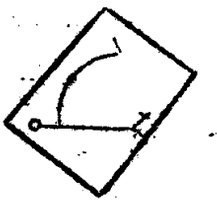


图3－9

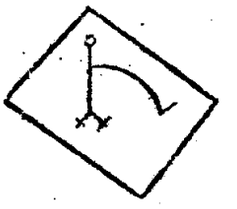


图 3－10

(2)使指针放在垂直方向（如图3－10）变动二平衡锤重量（或位置），使指针准指0位线。

(3)反复①②步骤，并纠正平衡锤，使达到仪表在水平、垂直、左、右侧四个位置时，指针偏离0位线小于±0.5～1%弧长。

3.磁电系测量机构的结构简介

根据万用电表对测量机构的特殊要求，目前万用电表中都采用外磁结构的磁电系测量机构。其结构由三部分构成。

1）活动线圈——是用高强度漆包铜线绕制成矩形线圈，其上下二边中心轴线上各粘有一轴尖座，轴尖座上铆有焊片作为线圈引出线和焊内游丝之用；其上轴尖座装有指针支持，可作为接指针和纠正重力矩之用（如图3－11）。

2）支架——支架是用铝合金或塑料浇制而成，其中心轴线上下装有弹簧宝石轴承，作为装活动线圈之用。在其轴线中心，固定装上低碳钢制成的圆柱形铁心。活动线圈的上下二轴尖，应分别套入支架的轴承中，并将二游丝外端，分别焊在支架上面的导向件顶端，和下轴承螺丝固定的绝缘焊片上，以通过接线引入电流(如图3－12)。

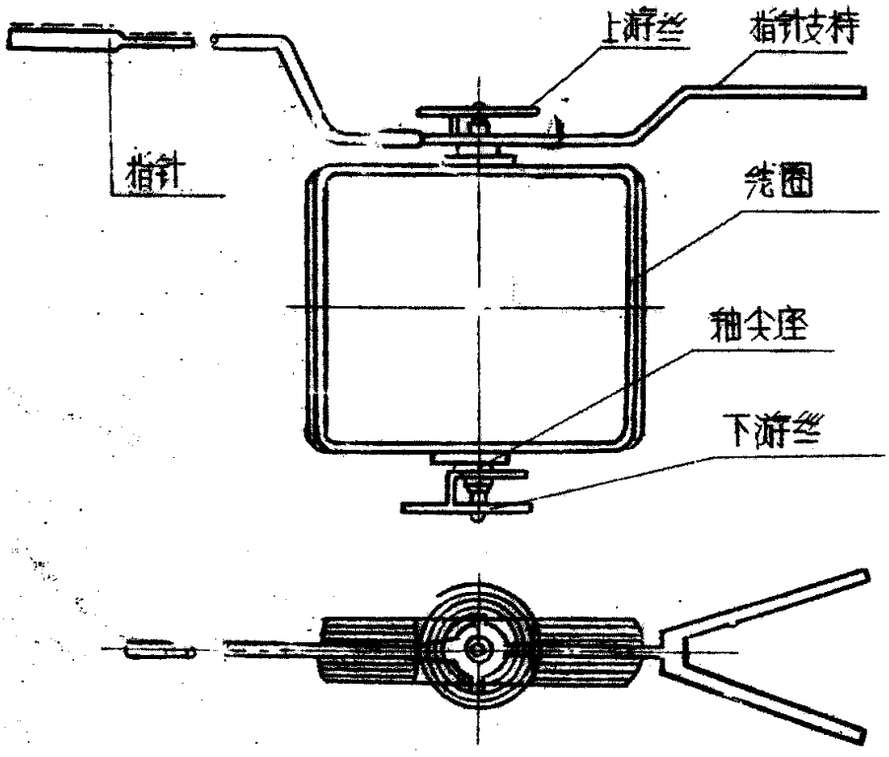


图　3—11

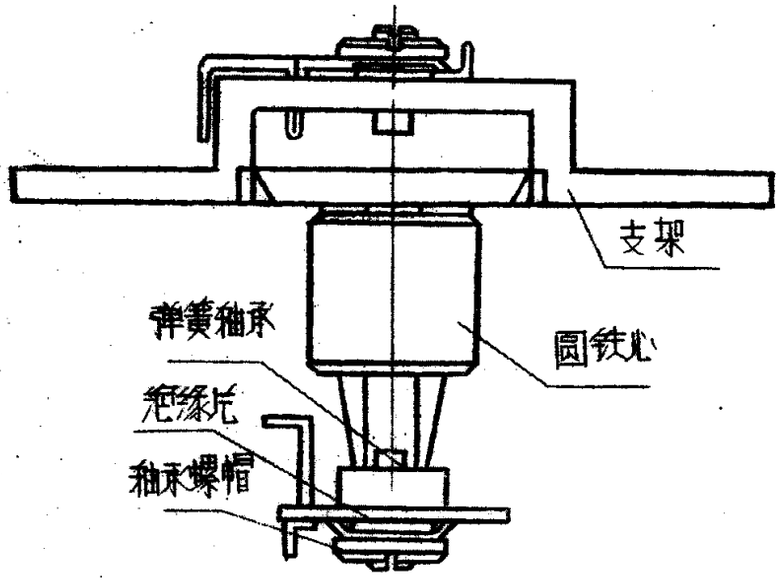
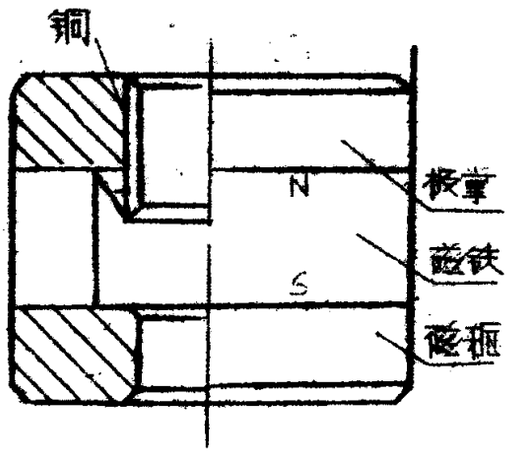


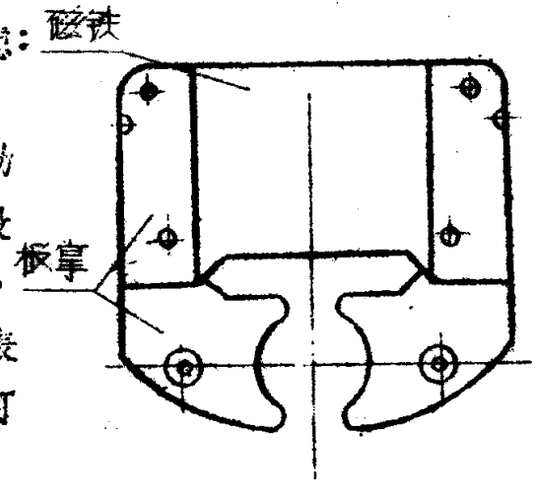
图　3—12

3）磁系统——是由永久磁铁和低碳钢制成的磁轭和极掌构成磁路。（如图3—13）磁轭是为了构成磁回路而设，根据磁铁材料不同，采用不同形式的磁轭和极掌。

极掌中心加工成圆柱形孔，二边用非磁性材料固定，以保证其不圆度，支架装入圆柱孔中，使与中心圆铁心构成同心圆。当冲磁后，在其隙中引成一均匀的辐射磁场，作为活动线圈的工作气隙，以保证刻度的线性度和高灵敏度。



MF14 型磁系统



MF30型磁系统

图 3-13

从对测量机构的讨论

根据上述简单工作原理，按照万用电表对测量机构的特殊要求，我们在设计和生产中应从下列几方面考虑：

1）灵敏度：

在测量机构中，一般都以使活动线圈在磁场中偏转到满刻度时（一般取$\alpha=90°$），通入线圈之电流值，来表示其电流灵敏度，其值愈小，表示灵敏度愈高。当 $M_{反}=M$ 时，可知

$$I=\frac{D\alpha}{BnS}\cdot 9810$$

式中$\alpha=90°$为一常数，所以要制造灵敏度高的测量机构，要取B、n、S值较大，或D较小才能达到。现分述如下：

①使间隙中磁通密度"B"有足够大——这是测量机构的关键，它对灵敏度、阻尼时间、和提高品质系数都有很大关系。当然亦应根据经济性，对各种万用电表的具体要求，区别对待。具体措施如下：

(1)选用剩余磁感应强度"Br"较高的磁性材料——目前都选用铝镍钴合金和铝镍铁合金，其参数型号如表：

型　号	Br	H_c	用于产品型号
铝镍2	6K-6400	420-460	500,40,108,9
铝镍5	11400-12K	600-650	30,18,14,12,10

(2)合理设计磁路，充分挖掘材料潜力，减少漏磁损失。

(3)减小间隙，是增加磁通密度的有效措施，此法较增加匝数，更为有效，而且亦可减小外磁场影响。但太小，会造成装配时调表增加等困难，所以应根据工艺上的可能性，来决定最小间隙，以利大量生产中需要。

(4)一般万用电表中，为了增加磁通密度，还采取在充磁后，就将磁路闭合，再装入可动部分的工艺。并且可在装入可动部分时，比较不易损坏动圈。但对修理拆装后，一定要重新进行充磁退磁工序，才可恢复原来灵敏度。

②增加匝数"N"——可选用较细直径的高强度漆包铜线来绕制，（最小可达0.01毫米）使在较小间隙中，绕制匝数较多的线圈，来提高灵敏度和减轻可动部分重量。但线圈内阻增加，要使表头的电压灵敏度下降和温度影响增加等缺点产生。

③增加线圈有效面积"S"——在设计中应使极掌的厚度与线圈长度相配合，以增加线圈有效长度。对线圈宽度，应根据仪表指针长度和外形尺寸决定。当然应同时照顾到线圈重量不能太大，而降低质量。

④减小反作用力矩系数"D"——就是采用力矩较小的游丝，这对仪表的使用质量，和阻尼时间等都是矛盾的，游丝力矩应愈大愈好，一般不能取得太小，应按照仪表结构和其他参数决定。

由反作用力矩系数D的计算公式中可知：

D是按游丝材料弹性系数和几何尺寸决定的，仪表生产中，游丝的宽度、厚度、和材料都为常数，只有游丝的长度，可能改变，它和力矩成反比，即游丝愈长，力矩愈小。在生产过程中，当发现仪表灵敏度较高时，应采取缩短游丝长度工艺，（即剪掉游丝一圈或半圈）来降低灵敏度，以调节到所需要的满刻度电流值，提高仪

表品质系数。切忌只用退磁工序，将磁性退去太多，造成仪表阻尼显著下降，浪费了磁性材料性能。

2）线性度：

由上述可知，当活动线圈的转动力矩和反作用力矩达到平衡时，就可得到读数

$$M = M_{反} \quad 即 \quad \frac{1}{9810} BSNI = D\alpha$$

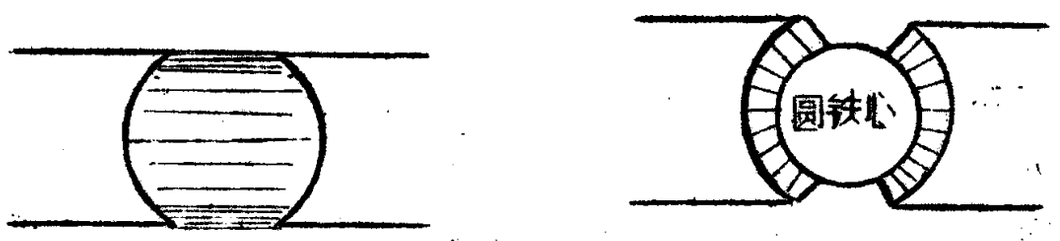
此时活动线圈之偏转角 $$\alpha = \frac{1}{9810} \cdot \frac{BSN}{D} \cdot I$$

可知偏转角度 α 是和流过线圈电流 I 成正比的。在偏转过程中，当 $\frac{BSN}{D}$ 为一常数不变时，就可得线性刻度。其中线圈圈数 N 和有效面积 S 是固定不变的，对反作用力矩系数 D，只有在焊游丝工序中，注意其几何形状，不使偏转过程中碰圈，而改变游丝长度，是可使 D 不变的。

对气隙中磁感应强度 B，要在其有效工作区中保持不变，应采取下列措施：

①构成一均匀辐射磁场气隙：

磁电系仪表中，是采取装置圆铁心方式，使其与极掌圆柱孔构成同心圆，引成一环形气隙，而构成均匀的辐射磁场。使活动线圈在其间任一点，都能垂直切割均匀的磁场，即各点 B 值不变（如图 3—14）。要达到上述要求，必须使极掌中圆柱孔的不圆度误差



不加圆铁心，磁场不均匀　　加圆铁心后产生均匀辐射磁场

图　3－14

尽量小；圆铁心安装位置，必须和极掌构成同心圆。

②必须保证活动线圈在偏转过程都能垂直切割磁场—— 活动线圈几何形状应与气隙配合均匀，所以轴尖轴承位置必须在活动线圈的中心轴线上。

3） 提高测量机构质量

万用电表是一种携带式仪表，使用条件较一般精密仪表恶劣，所以我们应从如何减少摩擦误差和提高稳定性来采取措施，以延长使用寿命，和保证测量精度：

①提高品质系数：

(1)采用较大的反作用力矩（即游丝力矩）—— 这和提高灵敏度是有矛盾的。我们应采取提高间隙磁通密度和增加游丝力矩的方法，来达到相应的灵敏度。切不可用减少游丝力矩，来提高灵敏度。在生产中，应控制退磁范围在5%~15%之内，对灵敏度较高的测量机构，应先采用剪短游丝长度方法，来增加游丝力矩，适当降低灵敏度后，再用退磁方法，调准灵敏度。不能只用退磁方法，大量减少磁路的间隙磁通密度，来调准灵敏度，而白白浪费磁通密度，是十分可惜的。

(2)减轻线圈重量—— 在设计时根据可能尽量采用较细铜线绕制线圈，采用无框架动圈和空心指针等，来减轻可动部分重量。在生产中，应尽量减少平衡锤重量。

②减小摩擦误差

(1)合理选择轴承轴尖的材料和曲率半径，提高表面光洁度，并保持内部清洁。

(2)采用弹簧轴承，防止轴尖受震动后损伤变形。

③稳定性—— 生产中应在采用交流退磁5~15%的人工老化工艺后，再经自然老化一个时期，来稳定磁通密度。对精度较高的万用电表中，还应采用热老化工艺，来保证仪表的全面稳定性。

5.测量机构主要参数的测定：

1） 满刻度电流“I_g”的测定—— I_g 是指使指针从刻度起始点到满刻度偏转，所需要通过线圈的电流值。其测定方法如下：

线路按图3—15 接法

①调节R_1、R_2可变电阻器使被测表指针指示满刻度处。

②记录标准表读数值，就是I_g。

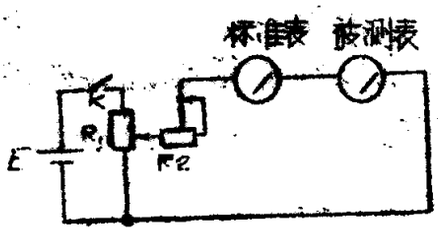


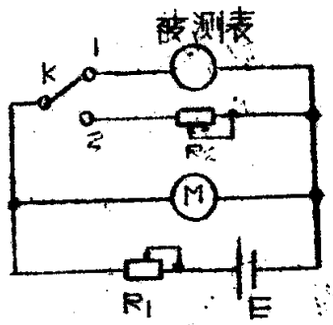
图 3-15

2）表头内阻"Rg"的测定——R_g是指可动部分中游丝和线圈的总电阻值。表头线圈是用漆包铜线绕制而成，它的电阻因铜的温度系数较大，（约每增加10℃，变化+3.93%）随温度而变化亦大，是造成万用电表直流量程温度影响的主要根源。在电路图中所注的都是+20°C时的阻值。

另外在制造过程中，由于铜线直径的误差，使线圈的电阻值不一致，所以万用电表电路中，都设有和表头串联的可调整电阻，来补偿线圈内阻的不一致性，有时也可补偿I_g的微小偏差，因此对"R_g"的测定要求，就不高了。

测量方法：

①代替法—— 按图（3-16）接法



图（3-16）

(1)先将开关"K"放在"1"，调节R_1使电表M得任一读数。

(2)再将开关"K"放在"2"，调节R_2使电表M仍指在上述读数上。

(3)用电桥或Ω表测R_2值，就是"R_g"值。

如用电阻箱代替R_2，则可直接读出"R_g"值。

②欧姆表法—— 因动圈一般用线较细，在测量过程中应注意：

(1)流过表头电流不能太大，应选用工作电流较小档，如RX1K x100档测量，不能用R×1，×10档测量。

(2)应使被测表头指针反相偏转（反走）（就是以反向电流接入表头二接线上）。一般用Ω表正插口接表头正极，负插口接表头负极，可以减少可动部分由于冲击惯量损坏的因素。

3）线性度的测定

表头经过拆装后，往往由于可动部分位置的改变，而破坏了表头原来的线性，就不能与表面相吻合，影响仪表精度。我们可采用如图（3—17）接法，对带字点逐点和标准表校对，求得误差。并略为改变可动部分位置，可矫正少量误差或重新掉换相应曲线的表面，予以纠正。

测量方法：按图（3—17）接法

①先调节R_1R_2电位器，使标准表指示满刻度。

②再调节R_3使被测表指示满刻度。

③再反复调节$R_1R_2R_3$使标准表和被测表都指满刻度。

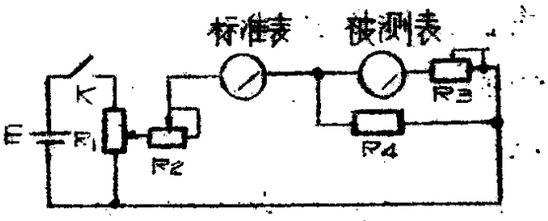


图 （3—17）

④再调节R_1R_2使标准表减少读数到$^4/_5$ $^3/_5$ $^1/_2$ $^2/_5$ $^1/_5$各点。同时逐点记录被测表上各点读数，就是它的线性度。

注意：图中$R_3+R_4=R_L$

4）临界电阻“R_L”的测定—— 根据电工仪表标准规定仪表可动部分的阻尼时间，不应超过4秒。我们知道万用电表的阻尼时间，由于采用了无框架动圈，是根据表头外接并联电阻的阻值大小来决定的。为了留有余地，在测定时一般取＜2秒时的外接电阻值，作为此表头的临界电阻，称为“R_L”。其值是可通过理论计算而得到的，但是计算繁复，而且实际上由于零件公差等，还是要通过修正后才可确定的，所以一般都以实测来决定，较为简便。由于R_L值的大小，牵连到整个万用电表的灵敏度，所以R_L亦为设计万用电表的关键参数之一。

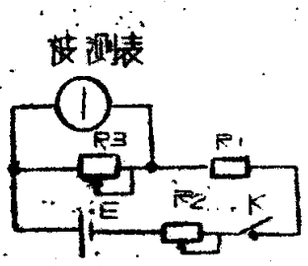


图 （3—18）

测量方法—— 按图（3—18）接法

电路中要求$R_2+R_1\geqslant 10R_3$

①先合上K调节R_2，使被测表指示在几何中心附近。

②反复合上和放开K，并调节R_3、R_2、同时测定指针自0→几何中心附近时所需时

间，直到小于2秒钟为止，并要求连测三次，取平均值。

③此时之R_g就是“R_L”

测定之值在实际计算电路中，可作适当修正取整数。

6.测量机构的保护措施

由于万用电表测量范围较广泛，往往容易因使用不当而损坏电路中元件，甚至损坏表头线圈，而表头修理是比较困难的，尤其是线圈烧断，更难以修复。所以目前新设计的万用电表中，很多采用保护表头过载损坏电路。其电路是用二只硅二极管，一正一反并接表头二端（如图3—19）。利用二极管正向导通特性，当仪表正常工作时，表头二端电压降约0.1V左右，此时硅二极管几乎不导通；当表头回路过载时，大量电流流入表头，使其二端电压降突然增加当到达二极管导通电压时，大量过载电流流过二极管，而得到保护表头的作用。

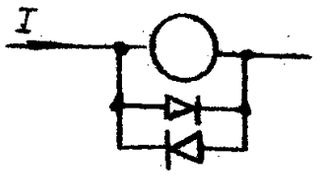


图 3—19

7.标度盘的绘制：

万用电表的标度盘（俗称“表面”）上刻度较多，有电阻、直流、交流、交流低压、电平等，在大量生产中是不可能采用绘制工艺的，一般都采用印刷标度盘，兹将其底稿绘制过程，分述如下：

1）直流刻度——是万用电表的基准刻度，其他刻度都在它的基础上定标的。根据磁电系仪表理论，应是线性分度的，在实际加工过程中，往往由于磁极的加工公差和可动部分的装配位置等影响，是不可能达到成批完全线性的要求。为了适应大量生产工艺性，根据本单位工艺的可能性，通过实践，总结出几种直流线性曲线，再按照各种万用电表精度要求，绘制几种标度盘。精度愈高，张数愈多，一般都在标度盘下角注上0、1、2、3……以示区别。对于直流电流、直流电压是可通用同一刻度的。

2）交流刻度——是根据整流元件特性曲线，配合仪表电路结构，通过实践总结出低压和高压二种曲线，应注意交流曲线是和电路结构、元件曲线都有密切联系。一般万用电表中交流高压基本上和直流相符，可用同一刻度，低压是专用一条刻度的但有的电表中，

尤其是有交流电流的万用电表中，由于电路结构不同，有采用同一刻度的。当然交流刻度一定要在直流已校正的刻度上进行总结出交流曲线，再按直线曲线推算成各种标度盘的交流刻度。

3）电阻刻度—— 是在已校正的直流刻度上，根据电阻刻度需要的各带字点读数，和已确定电阻档中心值的基础上，按下列公式计算出相应在直流刻度上的位置，而画出电阻刻度的。其公式如下：

$$\text{带字点刻度处} \quad N_{(格)}=\frac{R_{中}}{R_{中}+R_X}\times \text{直流刻度分格数}$$

$R_{中}$—— 仪表确定的中心值。 R_X—— 需刻度点的电阻值。

4）电平刻度（DB）—— 是以相应的交流电压刻度换算的，一般都以低压曲线换算，其计算公式如下：

$$\ell g E_X=\frac{\pm DB_X+20\ell g E_{ODB}}{20}$$

求出E_X值就是DB_X的刻度点

$\pm DB_X$—— 表示需要刻度点的DB值。

E_{ODB}—— 表示ODB的电压值，是预先确定的，万用电表中根据需要决定有二种方式刻度：

①$E_{ODB}=0.775V$， $Z=600\Omega$， $ODB=1mW$

②$E_{ODB}=1.732V$， $Z=500\Omega$， $ODB=6mW$

5）电容刻度—— 是根据使用电源电压的交流电压刻度换算的。其公式如下：

$$\text{刻度点的电压} \quad E_X=\frac{R_V E}{\sqrt{R_V^2+X_C^2}}$$

R_V—— 表示电容档测量时仪表的总内阻

E —— 测量时使用的电源电压

X_C—— 被测电容的容抗，是根据被测电容量C，和测量用电源频率f 由公式：$X_C=\frac{1}{2\pi fc}$ 换算而来。

6）电感刻度——是根据使用电源电压的交流电压刻度换算的。其公式如下：

$$\text{刻度点的电压}\quad E_X = \frac{R_V E}{\sqrt{R_V^2 + X_L^2}}$$

X_L —— 被测电感的感抗是根据被测电感量L和测量用电源频率f 由公式 $X_L = 2\pi fL$ 换算而来。

7）直流电流放大系数“h_{FE}”—— MF40 型万用电表是根据电路中已确定的指示Ic最大值和固定Ib值，通过下列公式，计算出 h_{FE} 满刻度值，其中间刻度是按直流刻度分度的。其公式如下：

$$\text{满刻度 } h_{FE} = \frac{I_{cM}}{Ib}$$

I_{cM} —— 最大能指示的集电极电流。

例： 已知MF40 h_{FE} 电路中，$I_{cM}=5\,mA$，$I_b=25\,\mu A$

$$\therefore\quad h_{FE} = \frac{5\,mA}{25\,\mu A} = 200$$

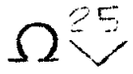
8）标度盘上的标志说明—— 按电工仪表标准规定，标度盘上应注有相应标记，万用电表标度盘上标志，一般有下列几种：


磁电系结构


整流系（带半导体整流器的磁电系）


仪表规定水平位置使用

2.5 直流基本误差为±2.5%（以上量限百分数表示）。


电阻基本误差为±2.5%（以标度尺长度百分数表示）。

4 交流基本误差为±4%。（以上量限百分数表示）

☆ 绝缘强度试验电压为6KV。（五角星内所注数字代表KV值）

Ⅲ 防外磁场能力为Ⅲ级。（在50e外磁场影响下2.5级允许变化±2.5%）

45-65-1K$_{Hz}$ 额定频率范围为45—65Hz扩大频率范围为1KHz。

≂ 仪表为交直流二用。

Ⓚ 带晶体管电路的仪表

四 电路的计算

万用电表的电路计算方式有二：一种是已知测量机构参数，要求计算电路中各元件参数；一种是根据电路要求，计算测量机构的参数要求。二者对电路计算方法，基本相似。这里介绍已知测量机构参数，要求计算电路中各元件参数方法：

1.各量程最高灵敏度的确定—— 首先应计算一下该测量机构能在各量程中做到的最高灵敏度，是否满足需要？其计算步骤如下：

1）先应根据前一章谈到的测量机构参数测定法，对测量机构I_g,R_g进行测定。用无框架动圈结构的测量机构还应测定其临界电阻R_L。

2）直流电流最灵敏量限的计算：

① 先确定闭路式多档电流表的计算灵敏度“S_I”

$S_I \geq I_g(R_g+R_L)$（单位S_I—mV，I_g—mA）取整数

② 最灵敏量限“I_m”的计算

$$I_m \geqslant \frac{S_I}{R_L - R_e}$$ （单位mA）取整数

表头串联内阻 $R_e = (5\sim15\%)R_g$

3）直流电压灵敏度"S_V"——一般以I_m作为直流电压的工作电流

$$S_V \leqslant \frac{1}{I_m \times 10^{-3}}$$ （单位Ω/V）

4）电阻中心值的决定——根据最低电池电压"E_m"求电阻档最大量限的中心值"$R_{中M}$"（指不增加电压电池的量限），

$$R_{中M} \leqslant \frac{E_m}{I_m \times 10^{-3}}$$ （单位Ω）

一般万用电表中最大档为×1K（亦有×100的）×10K档可用增加电池电压来扩大量限。

5）交流电压量程——首先要确定采用的整流电路是半波还是全波，然后决定整流总效率"η_T"，（半波时$\eta_T=0.441$，全波时$\eta_T=0.882$）来计算交流电压的最高灵敏度"$S_{\tilde{V}M}$"。

$$S_{\tilde{V}M} \leqslant \frac{\eta_T}{I_m \times 10^{-3}}$$ （单位Ω/V）

交流电压灵敏度一般采用比直流电压灵敏度低整数倍，以便通用附加电阻。

通过上述步骤计算，只能初步了解此测量机构可能做到的最高灵敏度，在具体计算中，还应考虑其他因素而作适当降低和修正。（如电路中分流电阻抽头点位置矛盾和开关结构等。）

例：今有一测量机构，其参数$R_g=1750$ $R_L=6250$ $I_g=37.5\mu A$ 电阻档用1.5V电池一节，半波整流电路。求其各量程的最高灵敏度？

解：1）直流电流：已知$R_g=1750$ $R_L=6250$ $I_g=37.5\mu A$

$=0.0375mA$

根据① $S_I = I_g(R_g+R_L) = 0.0375(1750+6250)$

$= 300mV$

② $I_m \geqslant \frac{S_I}{R_L-R_e} = \frac{300}{6K} = 0.05mA = 50\mu A$

取 $R_e = 250\Omega(=14\%R_g)$

2）直流电压

由 $S_V \leqslant \frac{1}{I_m\times10^{-3}} = \frac{1}{0.05\times10^{-3}} = 20K\Omega/V$

3）电阻中心值 令电池最低使用电压值为1.25V（取电池电压为1.25～1.75）

$$R_{中M} = \frac{E_m}{I_m\times10^{-3}} = \frac{1.25}{0.05\times10^{-3}} = 25K$$

已知R×1K档中心为25KΩ，故R×1为25Ω中心。

4）交流电压 已知采用半波电路 ∴ $\eta_T=0.441$

$$S_{VM} \leqslant \frac{\eta_T}{I_m\times10^{-3}} \leqslant \frac{0.441}{0.05\times10^{-3}} \leqslant 8820\Omega/V$$

已知 $S_V = 20K\Omega/V$ 取整数倍 S_V 取 $5K\Omega/V$

由上述计算可知该测量机构可做成各量程的最高灵敏度如下：

最小电流量限为50 μA

直流电压灵敏度 $20K\Omega/V$

交流电压灵敏度 $5K\Omega/V$

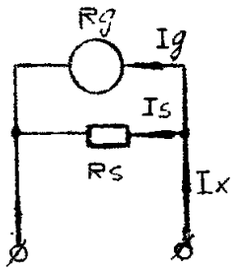
电阻中心值为25Ω R×1，R×10，R×100，R×1K 如需 ×10K 可增加电池1.5V。

2.直流电流电路：

1）分流电阻的求法：

一个磁电系测量机构，就是一个电流表，但只能测量单一的微小电流。万用电表中量限较多，是采用分流办法解决的。（如图4－1）当接上分流电阻“R_S”后，使大于表头电流“I_g”的“I_S”，

都从R_S支路分流掉，以保证指针指示满刻度值。其计算公式如下：



图（4—1）

按“并联电路中端电压相等”原理，可得

$$I_gR_g = I_sR_s = R_s(I_x - I_g)$$

$$\therefore\ R_s = \frac{I_gR_g}{I_x - I_g} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

I_g——表头满度电流　　R_g——表头内阻

I_x——被测电流　　R_S——分流电阻

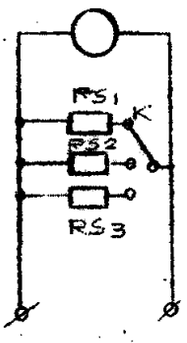
例：今有一电表 $I_g = 37.5\mu A$ $R_g = 2K\Omega$，求测量50μA时之R_S。

$$R_S = \frac{I_gR_g}{I_x - I_g} = \frac{37.5\times10^{-6}\times2K}{(50-37.5)\times10^{-6}} = 6K\Omega$$

由上例可知需要并联一6KΩ电阻后就可以成为一50μA的电流表。

2）开路式多档电路表电路

万用电表是多量限电流表，可以通过改变分流电阻R_S值来达到，（如图4－2）其阻值亦是按公式(1)计算的。此电路计算较简单，各档分流电阻互不相关，加工方便，但必须注意，开关触点的接触电阻，要影响仪表的正确性，尤其在大电流档中R_S值较小，影响更为显著。严重的甚至会因开关接触不良，造成不通，使大量电流流入表头而损坏，是这种电路的最大缺点，因此目前万用电表中已很少采用。



图（4—2）

3）闭路式多档电流表电路

针对上述缺点，目前万用电表中都已改用闭路式电路，如图（4－3）它具有很多优点，首

先对开关触点电阻和开关断路可不影响读数和损坏表头，另外对无框架动圈结构仪表，可使各档量限的阻尼程度一致。其温度影响亦较开路式小，而且各档一致。但多档电流表的内阻要增加，易造成方法误差大，是它的缺点。其计算公式如下：由图4－3可知：

$$R_{S_1}=R_L-R_S\ ,\quad I_1=I_x-I_g$$

$$R_SI_1=I_g(R_g+R_{S_1})\ \cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

即 $R_S(I_x-I_g)=I_g(R_L-R_S+R_g)$

$$I_xR_S-\cancel{I_gR_S}=I_gR_L-\cancel{I_gR_S}+I_gR_g$$

$$I_xR_S=I_g(R_L+R_g)$$

$$\therefore\quad R_S=\frac{I_g(R_L+R_g)}{I_x}\ \cdots\cdots\cdots(3)$$

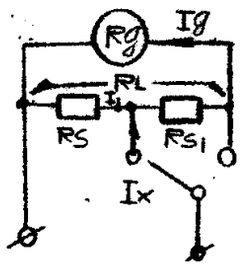


图 4－3

由上述公式(3)中可知 $I_g(R_L+R_g)$ 都为已知数，计算时为一常数，是闭路多档电流表计算前必须决定的，我们称之“闭路式多档电流表的计算灵敏度”，以“S_I”表示之：

$$\therefore\quad S_I\geqslant I_g(R_L+R_g)\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

（单位 S_I—mV，I_g—mA，R—Ω。）

在万用电表中一般取 $S_I\leqslant 750$ mV，其值愈小，引起的测量方法误差愈小，但太小会增加仪表的温度影响和降低万用电表的整个灵敏度，对于采用无框架动圈的万用电表，应按照其临界电阻“R_L”来决定“S_I”值，计算结果取整数，以利各档分流电路的加工；对有框架的万用电表，应根据需要的最小电流量限 I_m，用公式(1)先计算出 R_S，再代入公式(4)计算出“S_I”（$R_S=R_L$）。

所以可得闭路式多档电流表的各分流电阻计算公式如下：

$$R_S=\frac{S_I}{I_x}\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(5)$$

I_x—被测档量限（单位mA）　　S_I—计算灵敏度（单位mV）

R_S—被测档的总分流电阻值。（单位Ω）

实际测量档应串联的分流电阻

$$\text{“}R_{S_2}\text{”}=R_S-\text{前档的总分流电阻}R_{S_1} \quad \cdots\cdots(6)$$

4）表头串联电阻“R_e”的求法

在万用电表中，为了矫正I_g和R_g的误差，都设有和表头串联的可调电阻R_e，以利大量生产需要。其阻值根据表头参数允许误差范围决定，一般取R_g的5~15%，为了保证调节范围，在实际选用时，还应将计算值扩大一倍来选可变电阻器。其计算公式如下：

$$R_e=\frac{S_I}{I_g}-R_g-R_{S小} \quad \cdots\cdots(7)$$

R_e—— 表头串联电阻　　$R_{S小}$—— 最小电流量限的分流电阻值。

有的万用电表中用磁分流器改变间隙磁通量，来调节I_g，亦可同样达到纠正I_g和R_g的误差。（如MF14，MF10等）

例：已知有一表头，其参数为I_g=37.5μA　R_g=1750　R_L=6K　拟制成量限为500mA，50mA，5mA，0.5mA 0.2mA 70μA，50μA的多档闭路式电流表，试求各档的分流电阻值？

解：1.求电流表的计算灵敏度：

由公式(4)

$$S_I=I_g(R_g+R_L)$$
$$=37.5\times10^{-3}(1750+6K)$$
$$=290.6\text{mV}\text{ 取整数}$$
$$\therefore\ S_I=300\text{mV}$$

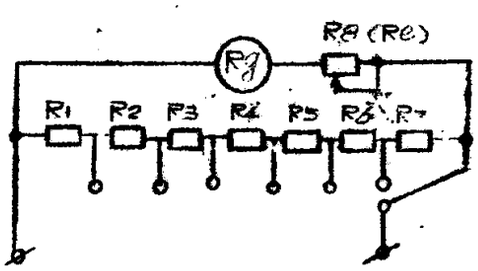


图　4－4

2.求各量限的分流电阻，

先从最大量限开始。

由公式(5)

$$R_{S1}=\frac{S_I}{I_{X_1}}=\frac{300}{500}=0.6\Omega=R_1$$

$$R_{S2}=\frac{S_I}{I_{x2}}=\frac{300}{50}=6\Omega \quad \therefore R_2=R_{S2}-R_{S1}=6-0.6=5.4\Omega$$

$$R_{S3}=\frac{S_I}{I_{x3}}=\frac{300}{5}=60\Omega \quad \therefore R_3=R_{S3}-R_{S2}=60-6=54\Omega$$

$$R_{S4}=\frac{S_I}{I_{x4}}=\frac{300}{0.5}=600\Omega \quad \therefore R_4=R_{S4}-R_{S3}=600-60=540\Omega$$

$$R_{S5}=\frac{S_I}{I_{x5}}=\frac{300}{0.2}=1500\Omega \quad \therefore R_5=R_{S5}-R_{S4}=1500-600=900\Omega$$

$$R_{S6}=\frac{S_I}{I_{x6}}=\frac{300}{70\times10^{-3}}=4300 \quad \therefore R_6=R_{S6}-R_{S5}=4300-1500=2800$$

$$R_{S7}=\frac{S_I}{I_{x7}}=\frac{300}{50\times10^{-3}}=6K \quad \therefore R_7=R_{S7}-R_{S6}=6K-4.3K=1.7K$$

3.串联表头电阻

$$R_e=\frac{S_I}{I_g}-R_g-R_{S7}=\frac{300}{37.5\times10^{-3}}-1750-6K=250\Omega$$

实际取 $R_s=500\Omega$ 的可变电阻器。

5）分流电阻线径的决定：

万用电表中分流电阻是要求较高的，一般都用锰铜丝绕制，以保证仪表的稳定性和精度，其精度按万用电表的基本误差而决定，一般都为±0.5%，目前有要求±0.1% 的。其绕法可分为普通型和无感型二种，绕制后一定要经过人工老化工艺和浸绝缘漆处理。其所消耗功率是较小的，对于线径选择亦根据精度而不同：

(1)一般用电阻—— 对0.5级以下电阻，可用下列公式一次计算出线径

线径 $$d_{(mm)}=0.57\sqrt{I_{(A)}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(8)$$

(2)精密电阻—— 对0.5级以上电阻，为了保证调整精度的可能性和容通电流，应从二方面考虑：

①根据容通电流决定线径

$$d \geqslant \sqrt{\frac{I_M}{\frac{\pi}{4}S}} = \sqrt{\frac{1.27 I_M}{S}} \quad \cdots\cdots (9)$$

S ——电流密度，对多层电阻可取1.2~1.5A/mm²

I_M——最大通过电流（A）

d ——用线的直径（mm）

②根据精度要求决定线径—— 以保证调整精度

$$d \geqslant \sqrt{\frac{\rho}{785 R \Delta}} \quad \cdots\cdots (10)$$

ρ—电阻率（Ω—mm²/M）　　R—要求加工阻值（Ω）

△—要求加工精度　　d—用线直径　（mm）

根据二者结果取较大的线径。

3.直流电压电路

随着我国电子工业的发展，对电压测量仪表的内阻，要求愈来愈高，即要求电压表工作电流愈小愈好，以减少测量方法误差，得到正确的读数，所以一般万用电表中，都是以电流档的最小量限作为电压表的工作电流，以充分发挥仪表灵敏度，减少测量方法误差。

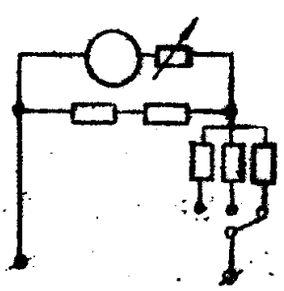


图　4-5a

1）电路原理—— 电压表电路是根据“串联电路中总电压等于各电阻上分降压之和”原理，在电压表工作电流抽头点上，串联各量限的附加降压电阻，来扩大测量范围的。其电路如图4－5。

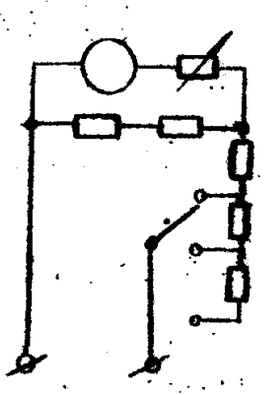


图　4-5b

2）电压灵敏度“S_V”：

在电压表中，都用每伏有多少内阻来

表示电压表的灵敏度。习惯上往往以此作为衡量一只万用电表的灵敏度。其值愈大、说明灵敏度愈高，测量方法误差愈小。其单位是"Ω/V"欧姆每伏。其计算公式如下：

$$S_V = \frac{1}{I_V} \quad \cdots\cdots (11)$$

I_V—— 电压表工作电流（A）

3）附加电阻"R_V"的计算：

(1)对采用图（4－5a）电路中各量限的R_V计算公式：

$$R_V = S_V \times V_X - R_O \quad \cdots\cdots (12)$$

S_V —电压表灵敏度 （Ω/V）

R_O —电压表的工作电流抽头处的总内阻

V_X —满量限的电压值

(2)对采用图（4－5b）电路中各量限的R计算公式：

①先计算最小量限的"R_{Vm}"

$$R_{Vm} = S_V \times V_{Xm} - R_O \quad \cdots\cdots (13)$$

V_{Xm}—最小量限电压值

②再计算以后各量限的串联附加电阻 R_V

$$R_V = S_V(V_X - V_{前}) \quad \cdots\cdots (14)$$

V_X— 满量限电压值

$V_{前}$—被测档以前一档的电压值。

4）其他—— 在电压表中保证正确度的关键，是电阻的稳定性、结构件的绝缘强度、和防潮性。尤其对高电压量限，更为重要。

(1)对结构件—— 万用电表都采用绝缘性能良好的工程塑料和1 1－1 0酚醛压塑粉压制零部件，若仪表能做到外壳密封，则可达到防湿热、防盐雾、防霉菌的效果，成为热带使用的仪表。

(2)附加电阻—— 万用电表中大多采用RTLX碳膜电阻和RJJ精密金属膜电阻作为串联附加电阻，其精度为±0.5～1%。在精度较

高的万用电表中，亦有采用RxJx线绕精密电阻或RJJ-5 精密金属膜电阻的，要求精度在±0.1~0.25%。在万用电表中工作电流是较小的，所以对电阻功率要求是较小的。但有的万用电表中测量电压较高，所以在选用时应注意电阻允许的端电压值，以保证电阻的稳定性。

例：试在前电流表例题中计算一以50μA作为工作电流的1V 5V、25V电压表和200μA 工作电流的100V，500V电压表，求其串联附加电阻？

解：采用电路如图（4－6）

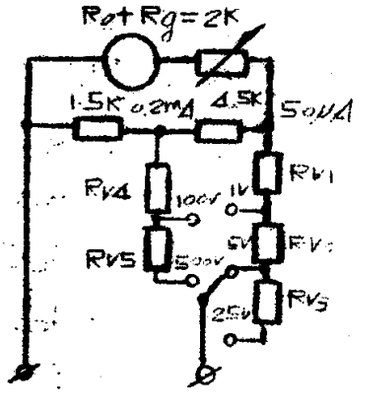


图 4－6

①求电压灵敏度：

$I_V = 50\mu A$

$$S_V = \frac{1}{I_V} = \frac{1}{50\times10^{-6}} = 20K\Omega/V$$

$I_V = 200\mu A$

$$S_V = \frac{1}{I_V} = \frac{1}{200\times10^{-6}} = 5K\Omega/V$$

②求R_O

$I_V = 50\mu A$ 时 $\quad R_{O_1} = \dfrac{2K\times6K}{2K+6K} = 1.5K$

$I_V = 200\mu A$时 $\quad R_{O_2} = \dfrac{1.5K\times6.5K}{1.5K+6.5K} = 1218\Omega$

③求R_V

1V $\quad R_{V_1} = S_V\times V_X - R_{O_1} = 20K\times1-1.5K=18.5K$

5V $\quad R_{V_2} = S_V\times(V_X - V_{前}) = 20K(5-1)=80K$

25V $\quad R_{V_3} = S_V(V_X - V_{前}) = 20K(25-5) = 400K$

100V $\quad R_{V_4} = S_V\times V_X - R_{O_2} = 5K\times100-1.218$

$= 498.78K$ 取 $499K$

500V $\quad R_{V_5} = S_V(V_X - V_{前}) = 5K(500-100) = 2M\Omega$

4.交流电路

我们知道万用电表的测量机构，是采用磁电系结构的，它只能适应于直流的测量，对于交流必须将输入的交流讯号，通过整流电路变换成直流后才可测量。目前万用电表中的整流元件，一般都采用硅二极管（2CP系列）。在有小量限的交流电表中是采用锗二极管的（2AP系列），过去都采用氧化铜整流器的。

1）整流电路的分类：

①全波桥式电路—— 见图（4—7）

其工作过程如下：

当A端为高电位（+）时，电流经 $D_1 \rightarrow M \rightarrow D_3 \rightarrow B$。当B端为高电位（+）时，电流经 $D_4 \rightarrow M \rightarrow D_2 \rightarrow A$。由此可见，通过整流，使原来正负半周极性相反的交流电，通过全波整流电路，可改变成极性相同的脉动直流电，通过表头M而得到读数。

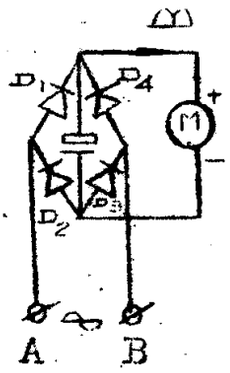


图 4—7

在精度要求高的万用电表中，为了改善由于半导体元件造成的温度误差，采用二只阻值在500Ω—2KΩ 的电阻代替图4－7中之D_1D_2（如图4－8），有的还利用串联铜丝电阻作为补偿。

②半波串并式电路—— 如图4－9

其中D1为串联于表头，D_2为并联于表头的。D_2是为了保护D_1在反向时不被击穿而设。

其工作过程如下：

当A端为高电位（+）时，电流经$D_1 \rightarrow M \rightarrow B$

当B端为高电位（+）时，电流经$D_2 \rightarrow A$ 不流过M。可知在表头中只有每周中的半周通过，所以称之半波整流，其效率约为全波的一半，但电路简单，开关结构亦可简

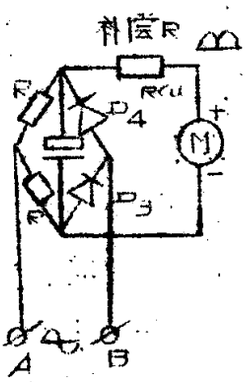


图4－8

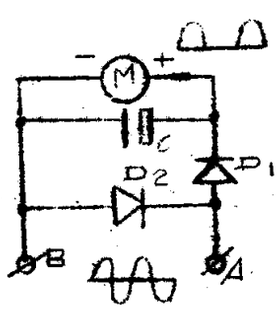


图 4—9

单，所以应用较广泛。

③目前万用电表交流电路的整流电路输出端，都并接一电容器，其容量为3～20μf，作为防止仪表指针谐振之用。

2）计算公式：

整流总效率 $\eta_{整} = P \times K \times \delta$ ……(15)

P—整流因数（全波为1，半波为0.5）

K—波纹系数，为交流有效值和平均值的转换系数=0.9005

δ—整流元件的整流效率，视元件不同而不同，计算时暂取98%。

由公式(15)可知

全波整流效率 $\eta_{整} = 1 \times 0.9005 \times 0.98 = 0.882$

半波整流效率 $\eta_{整} = 0.5 \times 0.9005 \times 0.98 = 0.441$

在计算时，可根据整流电路形式不同，将输入端的交流电流值，按总效率换算成输出端输出的直流电流值，而配以相应的直流电流档，作为交流有效值读数指示。其计算公式如下：

输出直流电流 $I_{=} = I_{\sim} \times \eta_{整}$ ……(16)

$I_{\sim}$—输入端的交流电流 $\eta_{整}$—整流总效率

但由于整流元件效率"δ"的不一致性，所以总效率"$\eta_{整}$"亦有差异。在万用电表中，对精度要求高的，都设有可变电阻，作为交流基准的调整用，以补偿元件的整流效率不一致性。

根据上述计算公式，和整流原理，可知万用电表测量交流的方法，是将通过半导体整流后的交流平均值，用直流磁电系仪表指示，其标度盘上标以有效值刻度，就是按照正弦波的平均值和有效值关系进行换算而得的，所以我们可知用万用电表测量交流时，是只局限于测量交流的正弦波有效值，如果被测交流电源波形失真，会带来附加误差的。根据实验总结其附加误差约为其失真度的30%，所以测量时应注意波形失真度，才可得正确读数。

3）对半导体整流元件的要求：

为了适应大量生产中，交流量程综合参数的一致性，在元件进厂前，都进行测试挑选使用，主要对元件的正向电流和反向电流二

个参数测量，其方法如下：

①正向电流的测试方法和要求：

在规定的正向电压下，测量其正向电流（如图4—23a，要求电流表内阻<<元件内阻）。

其值愈大，说明元件内阻愈小，在生产中要求其值一致性好。

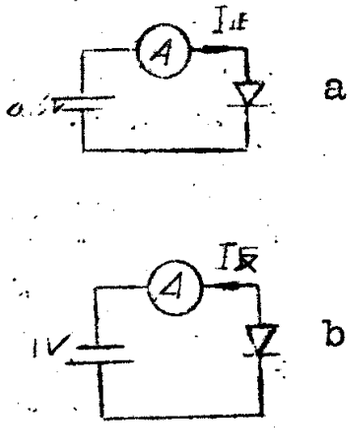


图 4—23

万用电表一般规定在0.6V正向电压下测量元件的正向电流，以保证低电压下的线性，和内阻的一致性。具体要求如下：

对锗二极管（2AP9）要求

$I_{正}=5\sim10mA$

对硅二极管（2CP11）要求

$I_{正}\geq0.5mA$

②反向电流的测试方法和要求：

在规定的反向电压下，测量其反向电流（如图4—23b）其值愈小，说明整流效率较高。万用电表中一般规定在反向1 V下测量元件反向电流，其值视各型万用表而不同。一般要求如下：

对锗二极管（2AP9）要求 $I_{反}<5\mu A$

对硅二极管（2CP11）要求 $I_{反}<0.1\mu A$

4）交流线性度：

交流电路的线性度，是根据整流元件和采用电路的不同而不同的，目前万用电表中各种交流电路的线性度情况如下：

(1)在一般电讯用的万用电表中，只有交流电压档，为了简化电路中开关结构，改善温度影响和降低成本，大都采用硅二极管(2CP系列)二只，接成半波整流电路，用这种电路的万用电表，对高低量限刻度，相差较大，只能采用低量限专用刻度；对高量限的交流刻度特性与直流刻度相比，只有起始部分略有误差，（一般都小于直流相应刻度，）但都在仪表的基本误差之内，可忽略。所以大部分采用和直流合用同一刻度，以利读数方便。（如500型 MF30 MF40等）

(2)在有交流电流和交流电压量程的万用电表中，大都采用多档

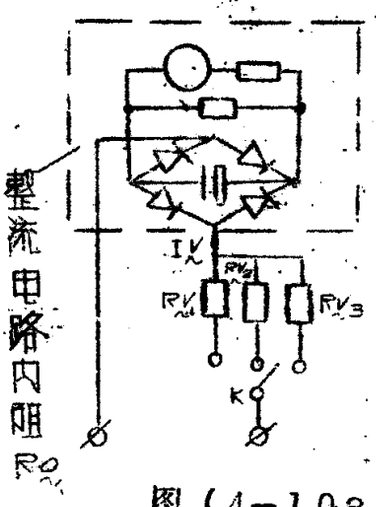
串联分流电路，其电流各量限和高量限电压档可采用同一刻度。因其工作在较低电压降下，刻度线性较直流相差较大，故采用交流专用刻度。对低电压量限，往往是采取降低电压灵敏度的方法，来达到刻度和高量限的一致性，所以整个交流合用同一交流专用刻度。在这种电路中大都采用全波中心抽头式，整流元件采用锗二极管二只，另用二只相等电阻作为桥臂，以改善温度影响，和改善线性。对锗二极管温度影响虽较硅二极管差，但他的起始曲线较硅二极管好，我们只要通过补偿，对温度误差可做得较小，故一般较高精度的万用电表都采用这种电路。（如MF18 MF14 等）

(3)目前正在逐步采用的电流互感器电路，可使整流元件工作在较高电压降上，再配合用2AP或2AK系列的整流元件，可做到全部交流量限都用同一刻度的，这是在精密级万用电表中采用较多的。（如MF35 型）

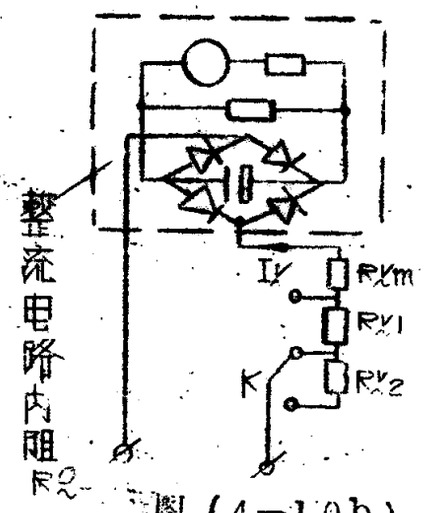
为了便于参考，兹将目前几种万用电表的交流线性分格列后：

型号及所用整流元件 交流刻度 / 直流分格	交流刻度									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
MF14 2AP9	1.9	6	10.9	16	21.5	27	32.7	38.5	44.2	50
MF14 Ø5 氧化铜		6.25	11.15	16.5	22	27.45	33.15	38.65	44.25	50
500 低压 2CP 11	3.1	8.2	13.4	18.7	24	29.1	34.2	39.5	44.6	50
低压 Ø2 氧化铜	4.2	9.25	14.35	19.45	24.6	29.6	34.8	40	45	50
MF7 2AP9	2	6	10.9	16	21.5	27	32.7	38.4	44.2	50
MF7 Ø5 氧化铜	1.65	5.75	10.6	15.85	21.3	26.9	32.6	38.35	44.15	50

5）交流电压电路一除采用整流电路和用交流总效率 η_T 换算外，其原理、电路和电压灵敏度等都和直流相同，亦是在整流电路输入端串联附加电阻，来扩大量限的，计算公式亦相仿，电路如图4—10计算公式如下：



图（4—10a）



图（4—10b）

(1)交流电压灵敏度　　$S_{\sim}=\dfrac{1}{I_{\sim}}$ ……(17)

$I_{\sim}$—— 整流电路输入端的电流。

(2)附加电阻计算：

①采用图（4—10a）电路时：

$$R_{\sim} = S_{\sim} \times V_x - R_{\sim} \quad \cdots\cdots(18)$$

$R_{\sim}$—— 包括整流电路元件和直流电表总阻

$R_{\sim}$—— 交流电压附加电阻

$S_{\sim}$—— 交流电压灵敏度

V_x—— 满量限的电压值

②采用图（4—10b）电路时：

⚠ 先计算最小量限的“$R_{\sim m}$”

$$R_{\sim m} = S_{\sim} \times V_{xm} - R_{\sim} \quad \cdots\cdots(19)$$

V_{xm}—— 最小量限的满度电压值。

$R_{\sim m}$—— 最小量限的附加电阻

⚠ 再计算以后各量限的附加电阻“$R_{\sim}$”

$$R_{\sim} = S_{\sim}(V_x - V_{前}) \quad \cdots\cdots(20)$$

V_X—— 满量限电压值

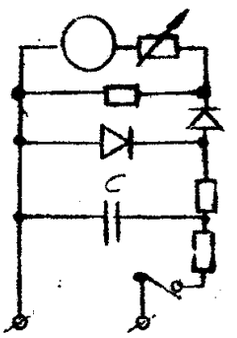
$V_{前}$—— 被测档以前一档的电压值。

(3)频率补偿—— 在精度较高的交流电压电路中，有的采用线绕无感电阻，或精密级金属膜电阻等来保证精度，当工作频率较高时，由于电路排列等影响，还会产生附加误差。所以有的万用电表在高电压档采用电容补偿电路、来扩大工作频率范围。其电路如下：

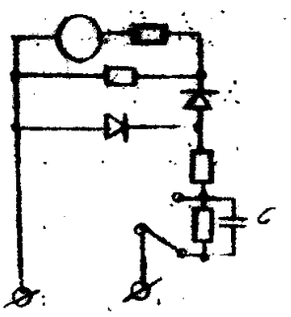
①当频率增加时，仪表读数亦增加时，采用图a电路。

②当频率增加时，仪表读数变小时，采用图b电路。

③其数据一般根据各种型号万用电表的结构和元件不同而异，通过实践决定。



图(4—11a)



图(4—11b)

(4)刻度补偿—— 在有的万用电表中，为了达到高低同一刻度，采用低压档降低灵敏度"S_X"方法来达到，(如电压档一般为5KΩ/V，而低压档取500Ω/V)这种方法只在有交流电流量程的万用电表中采用。其电路如图4—12。

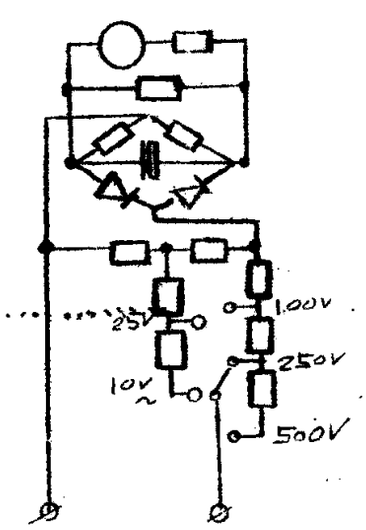


图 4—12

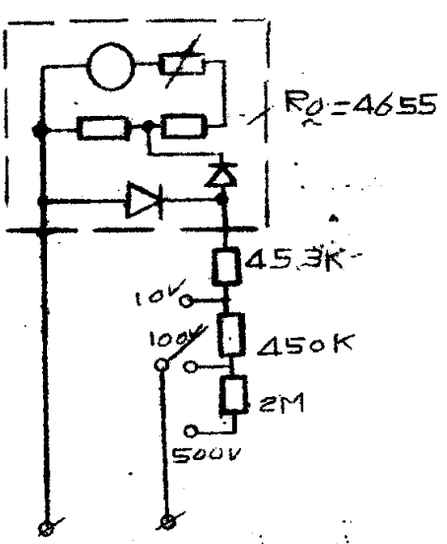


图 4—13

例：试用前例之直流电流表改制一交流电压表，其灵敏度为5KΩ/V 整流元件内阻为2.7K 采用半波整流电路，试计算交流电压10V 100V，500V 之串联附加电阻值？

解：1）计算交流电压之工作电流"I_V"

$$I_V=\frac{1}{S_I}=\frac{1}{5000}=0.2\,mA$$

2）计算整流电路输出电流"$I_=$"

$$I_= = I_{\sim}\eta_T = 0.2\times 0.441 = 88.2\,\mu A$$

3）计算整流电路和电表表头的总内阻"R_Q"

①先求$I_=$之分流电阻 $R_{分}=\frac{S_I}{I_X}=\frac{300\,mV}{88.2\times 10^{-6}}=3400\,\Omega$

②求电流表在88.2μA 时内阻 $R_{内}=\frac{3400\times 4600}{3400+4600}=1955\Omega$

③求$R_Q = R_{内} + R_{附} = 1955+2700 = 4655\,\Omega$

4）求最小量限的附加电阻"R_{Vm}"

$R_{Vm}= S_V \times V_{Xm} - R_Q = 5000\times 10-4655=45345$取45.3K

5）求以后各量限的附加电阻"R_V"

$$R_{V_{100}} = S_V(V_X - V_{前}) = 5K(100-10) = 450K$$

$$R_{V_{500}} = S_V(V_X - V_{前}) = 5K(500-100) = 2M\Omega$$

6）交流电流电路——目前万用电表中交流电流电路有下列二种方式：

(1)电阻分流法—— 是在前述的整流电路输入端，并接闭路式多档分流电阻，（如图4-14a)其原理和直流电流电路相同，使交流大电流在整流前通过分流作用后，才进入整流电路，可保持通过整流电路电流为一恒定值。并用改变分流电阻阻值来扩大量限，而成为一多档量限的交流电流表。它具有成本低，工艺简单等优点，但由于电流表本身内阻较大，造成测量方法误差较大，另外线性度亦较差，所以只适用于一般万用电表中，其整流元件应采用锗二极管

（2AP系列）以改善线性。其电路计算步骤如下：

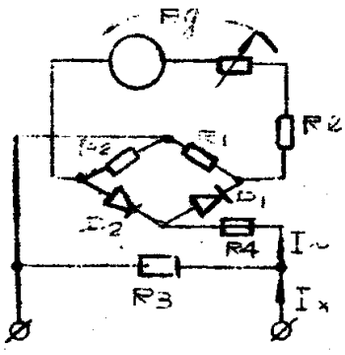


图 4—14a

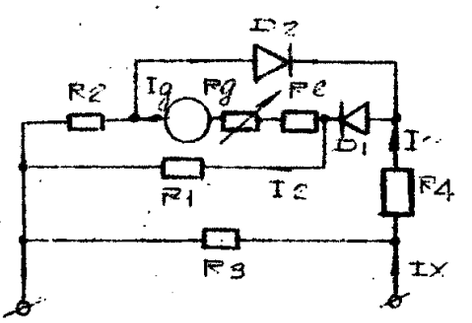


图 4—14b

①由图4—14 已知下列参数：

R_g、I_g、R_L、R_1、R_2 和半导体内阻 $R_{内}$

$\therefore \quad R_e = R_L - R_1 - R_2 - R_g$

②在计算前应先决定交流电流灵敏度“$S_{I\sim}$”，一般为1～1.5V，不能太大，以免增加方法误差；亦不能太小，以免影响线性度及降低灵敏度。

③计算“I_2” $\quad I_2 = \dfrac{I_g(R_1+R_2+R_g+R_e}{R_1}$

④计算“$I_\sim$” $\quad I_\sim = (I_g+I_2)\dfrac{1}{\eta_T}$ 全波取 $\eta_T=0.882$

⑤计算 R_3 $\quad R_3 = \dfrac{S_{I\sim}}{I_{xm}}$ （I_{xm}—— 最小电流量限）

⑥计算 R_4 $\quad R_4 = \dfrac{S_{I\sim}}{I_\sim} - R_{内} - R_3 - \dfrac{R_1(R_2+R_e+R_g)}{R_1+R_2+R_e+R_g}$

⑦计算各量限分流电阻：

$$R_x = \frac{S_{I\sim}}{I_x}$$

I_X—被测量限值

R_X—此量限的总分流电阻值。（与直流电流相同）

⑧为了补偿元件效率的不一致性，万用电表中有将R_4或R_e改用可调电位器来补偿的。

(2)电流互感器法—— 是利用互感器初次级的安匝数相等原理（即$N_1I_1=N_2I_2$如图4—15）。当次级圈数$N_2 \gg N_1$时，就可使初级通过的大电流I_1，在次级中变成较小的电流I_2。我们将I_2接入整流电路，就可以通过指针指示相应的交流电流I_1读数。

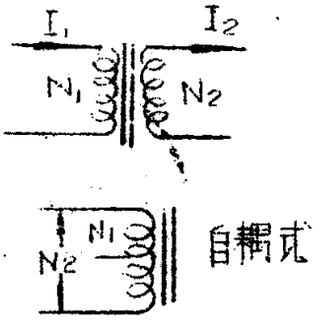


图 4—15

为了扩大量限，可将初级分成几个绕组，相互串联抽头引出，利用掉换初级匝数，来增加量限。其绕法亦可采取自耦式的（如图4—16b）。互感器法测量电流时，具有仪表本身消耗小，对被测电路影响小，减少测量方法误差，提高读数准确性，和仪表交流刻度线性较好等优点。但亦有成本较高，工艺性复杂等缺点，目前只在较精密的万用电表中使用。

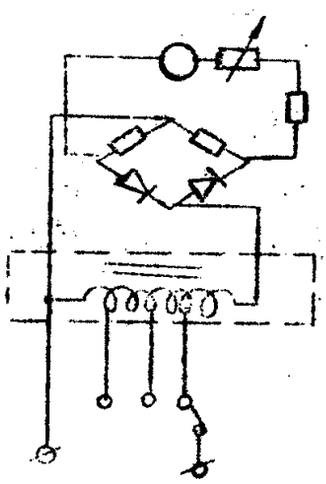


图 4—16b

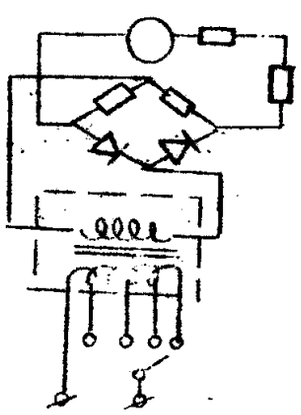


图 4—16a

对于互感器的计算，是比较复杂的，兹将简略之估算概述于后，具体步骤如下：

①安匝数的决定—— 安匝数宜取得大一些，以减少误差，但要使互感器体积增大，成本增加。一般取5～10为了便于加工，可根据最大电流量限决定，取整数匝较好，如最大量限为5A，一般取

5安匝，使5A量限绕一匝，以利绕制。

②决定次级电流"I_2"——根据已知$I_=$或I_2选用下列公式：

(1) 按整流电路输出端的直流灵敏度计算

$$I_2=\frac{I_=}{\eta_T}$$

$I_=$——输出端直流电流表的满刻度值

I_2——互感器的次级电流

η_T——整流总效率　全波$\eta_T=0.882$　半波$\eta_T=0.441$

(2) 按I_2计算整流电路输出端，要配合的直流电流值。

$$I_==I_2\eta_T$$

③决定次级圈数"N_2"——根据已知I_2和NI求得：

$$N_2=\frac{NI}{I_2}$$

NI——已决定之安匝数

实际由于铁心损耗等因素，应按计算的N_2减少0.3~1%圈数，具体数据是根据所用铁心材料不同而异。（估计铁镍合金约为0.3% D42冷轧硅钢片约为1%）

④初级圈数N_1之决定

$$N_1=\frac{NI}{I_X}$$

I_X——被测电流量限

⑤铁芯尺寸的估算：

为了减少互感器的误差（比差和相差），应当采用损耗很小，磁导率"μ"很高的铁镍合金材料，其磁通密度一般均应设计在500 Gs以下，概略的计算如下：

a. 求出负载电压值E_F——根据已知次级电流I_2可求出次级负载电路的总电阻R_Z。严格的计算应列出实数和虚数二部分。

$$E_F=I_2R_Z$$

b.次级每匝的伏特数E_t—— 已知次级圈数N_2

$$E_t = \frac{E_F}{N_2}$$

c.求铁芯的毛面积A_c

$$A_c = \frac{E_t \times 10^8}{4.44 f B_m}$$

f—— 工作频率　　B_m—— 材料的磁通密度

D.铁芯的净面积

$$A_c' = \frac{A_c}{K_e}$$

K_e—— 占空系数一般取0.9

例：已知初级电流为5A，1A的电流表，其次级电流I_2为500μA，负载总阻R_2=3KΩ安匝数决定为5安匝

则 $$N_2 = \frac{NI}{I_2} = \frac{5}{5\times10^{-4}} = 10000$$

$$E_t = \frac{E_F}{N_2} = \frac{I_2 R_2}{N_2} = \frac{500\times10^{-6}\times3\times10^3}{1\times10^4} = 1.5\times10^{-4}$$

$$A_c = \frac{E_t \times 10^8}{4.44 f B_m} = \frac{1.5\times10^{-4}\times10^8}{4.44\times50\times500} = 0.13\ cm^2$$

$$A_c' = \frac{A_c}{K_e} = \frac{0.13}{0.9} = 0.15\ cm^2$$

这样小的铁芯面积，考虑到窗口太小，导线绕不下，故取0.5 cm^2（即B_m约取160Gs）

5.直流电阻电路：

1）基本原理：

①我们用电池E，电流表M和可变电阻R，串联成电路，（如图4—17）调节R，使电流表指满度处。

此时 $$I=\frac{E}{R_g+R+R_{电池}}=\frac{E}{R_T}$$

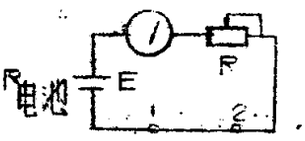


图 4—17

②然后将1、2断开，如图（4—18），串入被测电阻R_X，此时电流就相应减小。当$R_X=R_T$时，I减小一半（∵此时$I=\frac{E}{2R_T}$）指针即指示中心位置，我们在中心刻上R_X值，就成为一个中心值是R_X的欧姆表。

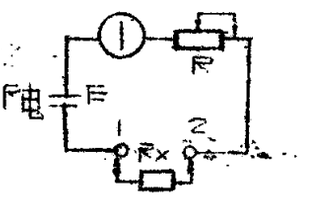


图 4—18

③根据上述原理，必须保证R_T不变，就是E不变，才能测量出正确读数。而万用电表所用的干电池电压是变化的，势必造成R_T值变化。为了解决这个问题，目前万用电表中都采用既可调节电流I，以适应电池电压变化，又使R_T变化甚小的电路，（如图4—19）称之并联调节电路。

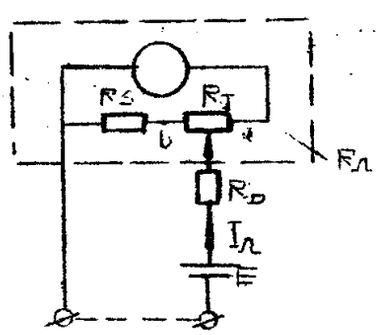


图 4—19

当E最大时，工作电流I_Ω增加，R_J触头向b点移动，保证指针指示0Ω。

当E最小时，工作电流I_Ω减少，R_J触头向a点移动，亦可保证指示0Ω。

随着触点的移动，表头回路总阻R_Ω是有所变化的，其值由于并联电路关系，变化不大。而且欧姆表的总阻R_T，是由R_D和R_Ω组成，今取$R_D>>R_\Omega$，所以对R_T来讲，变化更小，甚至可忽略不计，是容易满足要求的。

④刻度的计算：

由上述原理可知：欧姆表刻度是和R_X，R_T的比值有关，（如当$R_X=2R_T$时，指示在$\frac{1}{3}$处）所以其计算公式如下：

R_X 的刻度点在相应的直流刻度分格数“N_{RX}”

$$N_{RX}=\frac{R_T}{R_T+R_X}\times \text{直流刻度分格总数}$$

R_T —— 欧姆表的总内阻　　R_T = 中心值 × 倍率

R_X —— 需要刻度的带字点

2） 电阻电路的计算—— 应先以欧姆表中最灵敏档（即最小工作电流档如R×1K等）作为计算档。其计算步骤如下：

①中心值的决定—— 是根据欧姆表的最小使用电压和直流电流电路中最小电流量限来决定。万用电表中一般采用1.5V干电池，为了保证在1.35—1.65V之间正常使用，计算时应取1.25V～1.75V作为电池工作范围。其计算公式如下：

$$R_{中M}\leqslant\frac{E_m}{I_m}$$

欧姆表中心值≤ $R_{中M}$ 的第一第二位数字取整数（一般用10，12，24，25）

$R_{中M}$ —— 最大量限的中心值，　E_m —— 最小电池电压

I_m —— 最小电流量限

②量限之确定：

是根据 $R_{中M}$ 值来确定量限数的：

当 $R_{中M}$ 为 10^4 数量级时，可用四个量限(Rx1,Rx10,Rx100,RxlK)

当 $R_{中M}$ 为 10^3 数量级时，可用三个量限(Rx1,Rx10,Rx100)

当需要在这个基础上再扩大量限，可用增加10倍电源电压和加串－“$R_{串}$”方式进行，以补偿表头灵敏度的不足。

$R_{串}$ 之计算如下：

$$R_{串}=(\text{扩大倍率}-1)R_{中M}-R_{电池}$$

$$\text{扩大倍率}=\frac{\text{需要扩大量限}}{\text{最大量限}}$$

$R_{电池}$ —— 增加的电池内阻（一般500—2KΩ）

例：已知 $R_{中M}$ = 25K，用15V电池，其内阻为1KΩ 求R×10K档的 $R_{串}$？

解：由 $R_{中M}=2.5\times10^4$ 可知，最大量限为R×1K（∵可分4档 ×1—×1k）

$$\therefore R_{串}=\left(\frac{\times10K}{\times1K}-1\right)R_{中M}-R_{电池}=9R_{中M}-1K=224K\Omega$$

③0Ω 调节器“R_J”的计算：

求电池电压变化时的工作电流

最小工作电流 $I_m=\frac{E_m}{R_{中M}}$

最大工作电流 $I_M=\frac{E_M}{R_{中M}}$

E_m—为最小工作电压取1.25V

E_M—为最高工作电压取1.75V

根据最小工作电流和最大工作电流求出之分流总阻的差求得：

$$R_J \geqslant R_m-R_M \quad \text{取整数}$$

R_m—最小工作电流I_m之分流总阻

R_M—最大工作电流I_M之分流总阻。

④串联电阻“R_D”的计算—— 以电池电压为1.5V时计算：

(1)求欧姆表的工作电流“I_I”

$$I_I=\frac{E_{1.5}}{R_{中M}}$$

(2)计算I_I的分流总阻

$$R_I=\frac{S_I}{I_I}$$

(3)计算I_I 抽头点表头总阻“R_Ω”

(4)计算“R_D” $R_D=R_{中M}-R_\Omega$

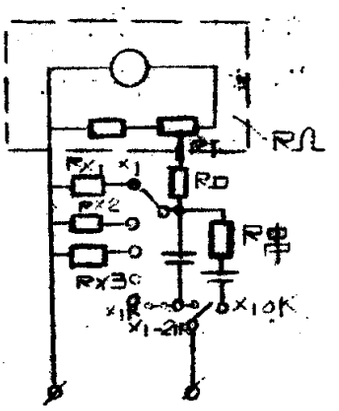


图 4—20

实际R_D 亦可称为R×1k档的量限电阻。

⑤各量限电阻的计算—— 我们从原理中知道，电阻档量限，主

要是改变电表的总阻，上述R_D计算，以确定了最高量限的总内阻（即R×1k），对于其他档内阻都小于它，一般是采取并联电阻方式来降低电表总内阻，以达到量限的改变。其计算公式：

$$R_X = \frac{R_{中M} \cdot R_{中X}}{R_{中M} - R_{中X}} - R_{内}$$

R_X—量限电阻　　$R_{中X}$—被测档的总阻＝中心值×倍率

$R_{内}$—电池及接线电阻等，根据所用电池而不同（一般取0.5～1Ω）对R×1 R×10 档应扣除，其他档可忽略不计。

$R_{中M}$—最大量限总内阻

⑥例：在上述直流电路例中，计算－R×1—— R×10k 欧姆表选用电池为1.5V一节和15V一节）求电路中各电阻值？

解：电路图参照　图（4－19）

(1)决定中心值：已知最小电流为50μA

电池电压为1.25V－1.75V

即I_m=50μA　E_m＝1.25V　求最大量限的中心值：

$$\therefore \quad R_{中M} = \frac{Em}{I_m} = \frac{1.25}{50\times10^{-6}} = 25k\Omega$$

取其第一第二位数字为此欧姆表　中心值＝25Ω

(2)量限之确定：　已知　$R_{中M}$＝25000 为10^4数量级

∴可做四个量限　R×1　R×10　R×100　R×1k

根据要求最大量限为×10k可增加电池电压15V

$$R_{串} = \left(\frac{\times 10k}{\times 1k} - 1\right) R_{中M} - R_{电池} = 9\times 25k - 1k = 224k\ .$$

(3)0Ω调节器计算　已知E_F=1.25v　E_M=1.75V

①求最小工作电流　$I_m = \frac{E_m}{R_{中M}} = \frac{1.25}{25k} = 50\mu A$

最大工作电流　$I_M = \frac{1.75}{25k} = 70\mu A$

I_m之分流总阻 $R_m=\frac{S_I}{I_m}=\frac{300}{50\mu A\times10^{-3}}=6K$

I_M之分流总阻 $R_M=\frac{S_I}{I_M}=\frac{300}{70\mu A\times10^{-3}}=4.3K$

$\therefore R_J=R_m-R_M=6K-4.3K=1.7K$

(4)求串联电阻R_D ： 已知 $E_2=1.5V$

$$I_I=\frac{1.5V}{R_{中M}}=\frac{1.5}{25K}=60\mu A$$

$$R_I=\frac{S_I}{I_I}=\frac{300}{60\mu A\times10^{-3}}=5K\Omega$$

$$R_\Omega=\frac{5k\times3k}{5k+3k}=1875\Omega$$

$$\therefore R_D=\frac{E_{1.5}}{I_I}-R_\Omega=\frac{1.5V}{60\times10^{-3}}-1875=25k-1875$$

$$=23125\Omega \quad 取23.2k\Omega$$

(5)各档量限电阻的计算： 已知电池内阻=1 Ω 保险丝=0.8

∴ $R_{内}=1.8\Omega$ 中心值为25Ω

×1 档 $R_{中\times1}=\frac{R_{中M}\cdot R_{中\times1}}{R_{中M}-R_{中\times1}}-R_{内}=\frac{25k\times25}{25k-25}-1.8$

$$=23.2\Omega$$

×10档 $R_{中\times10}=\frac{R_{中M}\cdot R_{中\times10}}{R_{中M}-R_{中\times10}}-R_{内}=\frac{25k\times250}{25k-250}-1.8$

$$=250.7 \text{ 取} 251\Omega$$

×100档 $R_{中\times100}=\frac{R_{中M}\cdot R_{中\times100}}{R_{中M}-R_{中100}}=\frac{25k\times2500}{25k-2500}=2777\Omega$

取2770Ω

×1K　　$R_{中}$×1k＝$R_{中M}$＝25K

×10K　　$R_{串}$＝224K

3）低电阻量限“DΩ”的测量与计算

随着晶体管电路的发展，对低电阻的测量，要求越来越广泛，而万用电表的R×1量限，存在着工作电流较大（一般约150mA），电池消耗较大，不注意往往会造成损坏被测元件和中心值较大等缺点，已不能满足要求。所以在新型万用电表中，已增加“DΩ”档量限，其中心值较小（约3～5Ω），工作电流亦较小（约几十毫安），是可进一步满足晶体管仪器的测试需要。

①工作原理—— 它是利用电表内接的中心电阻“R_N”与被测电阻“R_X”并联后，由于阻值变化而使其端电压产生变化，而得到指示值的改变，我们在其指示处刻上R_X值。其刻度和一般欧姆表相仿，是不均匀的，但刻度相反，仪表0点刻0Ω，仪表满刻度为∞，故俗称之为“倒Ω表”，或“并联式Ω表”，我们在万用电表中简称之为“DΩ”档。其电路图如4－21，但当测量停止时，应切断电源，否则大量消耗电源，这是他的缺点。

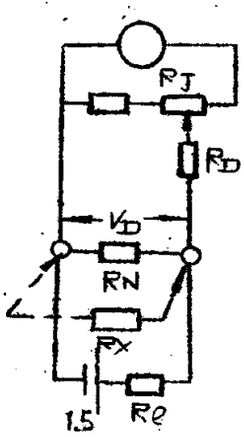


图　4－21

②计算步骤

(1)确定DΩ量限的满刻度电压降“V_D”——即在R_H上的电压降。其值和仪表的临界电阻有关，亦直接影响到测量时工作电流的大小。V_D不能太小，太小时R_D较小，要造成过阻尼现象。V_D太大时要造成测量时工作电流增加。一般V_D值取≤电流计算灵敏度“S_I”，应根据中心电阻“R_H”，工作电流“I_D”，和临界电阻“R_L”三者结合而考虑V_D值。

(2)R_D之决定

$$R_D=\frac{V_D}{I_工}-R_Ω$$

$I_工$＝欧姆表1.5V时之工作电流（见第4小节R_D计算中）

$R_Ω$＝欧姆表1.5V时之表头回路电阻（　〃　〃　）

(3)工作电流I_D之计算—— 根据需要决定中心电阻R_N 值和上述V_D值，可按下列公式计算I_D

$$I_D = \frac{V_D}{R_N}$$

(4)电源回路串联限流电阻Re之计算：

$$R_e = \frac{E}{I_D} - R_N - R_r$$

R_r—电池内阻

E —1.5V 电池工作电压

③DΩ刻度的计算

DΩ刻度由于R_x 的接入而影响工作电流的变化，是较复杂的，应根据带字点逐点计算，其计算公式如下：

$$R_x\text{之刻度处} = \frac{ER_NR_x}{V_D(R_sR_N+R_xR_s+R_xR_N} \times \text{直流分格数}$$

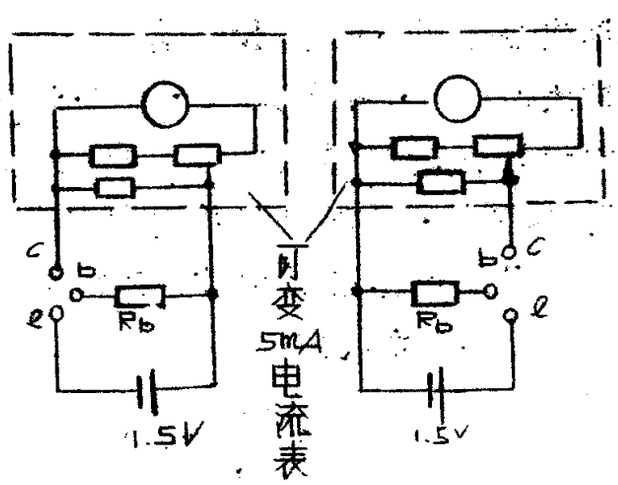
$R_s = R_e + R_r$　　E＝1.5V（电池电压）

R_x＝带字点的电阻值　V_D＝已决定的DΩ档满刻度电压降

R_r—电池内阻

6.晶体管直流电流放大系数“h_{FE}”电路：

万用电表中“h_{FE}”的测量电路，是利用电阻档电池作为电源，而产生固定基极电流I_b，当晶体管接入仪表后，在集电极回路中串接的电流表，就可指示出I_c 值，我们以相应的I_c 值和已固定的I_b，根据 $h_{FE} = \frac{I_c}{I_b}$ 原理，可换算刻成h_{FE} 值的刻度盘，而可直接指示h_{FE} 值。其电路较多，现



MF40型h_{FE} 电路图

图 4—22

介绍MF40型万用电表所用测量“h_{FE}”电路如图(4—22)及其计算R_b公式和步骤：

首先应确定电源电压和I_b值，及V_{be}

$$R_b = \frac{\text{电池电压} - V_{be}}{I_b}$$

MF40先确定E＝1.5V

V_{be}（NPN硅取0.7V PNP锗管取0.25V）

$I_b = 25\mu A$

$$\therefore \quad R_{b(PNP)} = \frac{1.5-0.25}{25\times10^{-6}} = 50K$$

$$R_{b(NPN)} = \frac{1.5-0.7}{25\times10^{-6}} = 32K$$

今取5mA满刻度的电流表接入集电极上指示I_c，可知其满刻度 $h_{FE} = \frac{I_c}{I_b} = 200$ 。

另外为了补偿电池电压变化，采用可变电流表，利用Ω调节器调整，以保证在电池工作电压中正常读数。

我们知道“h_{FE}”的测量，是随所取电源电压和基极电流不同而不同的，制造元件厂亦对各种型号管子有不同测试条件，一般按规定的I_c和V_{ce}情况下，测量I_b来决定“h_{FE}”，特别是大功率管规定的I_c较大，这在万用电表中是无法做到的，所以只能采取上述原理，来作定性的测量，其值是表示在25μA I_b下的h_{FE}，不能和出厂要求相比，有的相差甚大，所以只作附加量程，不考核误差的。

三、正确使用万用电表

我们在测量过程中，为了要得到正确的读数，除要求有高精度仪表外，还必须注意正确选用和合理使用万用电表。因为选用万用电表和测量方法的不合理，往往会带来很大的测量方法误差，其值可能大大超过基本误差，有的还可能损坏仪表。兹概述如下：

1.正确选用万用电表型号：

目前市上万用电表型号较多，我们应根据生产需要，合理选用，以减少浪费，做到物尽其用。根据使用环境和性能要求，万用电表约可分下列几大类：

1）无线电电讯工程用—— 要求灵敏度高（Ω/V大）频率范围较大，要有电流电压的低量限等，交流电流量程可以没有。（ 如500型，MF12，MF43，MF10，MF20，MF44 等）

2）电气工程用—— 要求有交流电流量程，并有大电流和高电压量限，对灵敏度要求不高。（如MF7，MF14，MF12等）

3）实验室用—— 要求精度高，稳定性好，量限多，对灵敏度要求一般。（如MF35，MF18，MF14，MF12等）

4）湿热带用—— 要求在较潮湿地区使用的 （如我国西南地区）应选用密封性能较好，结构上可防湿热，防盐雾，防霉菌。（如500T，108T，MF6T 和密封性能较好的万用电表MF14，MF18亦可代用）

5）化工防腐用—— 在化工厂和有腐蚀气体场合使用的万用电表，要求外露金属采取防腐措施。如108F，MF7F等，对一般万用电表不能长期使用，以防损坏。

6）业余普及用—— 要求小型，价格低，使用简单。

如MF40，MF45，MF30和MF15等。

2.合理选择量限：

因万用电表是多量限的电表，往往一个被测的量，可在几个量限中得到读数，但其值亦不一致，甚至相差很大，这就是因量限选择不合理。因各量限内阻不同造成的方法误差引起的。今概述量限选择的合理性如下：

我们知道万用电表的误差，是按照引用误差计算的（是按满刻度值百分数表示），不是根据被测点的绝对值计算的。所以我们应按下式选择量限：

1）交直流量程——应选量限的满刻度值接近被测量值。这样可正确显示误差值，和增加指针偏转幅度，减少视觉误差。（例见基本误差一章中）

2）电阻量程——应选用被测量值接近中心位置的量限。（如需在中心值为25Ω的万用电表中测200Ω电阻，应选R×10档量限，不要选R×1或R×100量限。）因欧姆刻度是不均匀的，根据计算亦可知中间一段误差较小。另外根据电工仪表标准规定，其误差是以弧长百分数表示，不是按被测值的绝对值计算的，这点往往为初学者所误解。就是指整个工作弧度内任一点，都可以有一定弧长的误差，Ω刻度上中间一段读数较宽容易读出误差，所以在选择量限时应选在刻度中心位置较合理。

另外选择量限时，亦应注意被测物的容许通过电流，是否大于欧姆表的工作电流，以免损坏被测物，或得到不正确的读数，尤其对半导体器件更应注意！

对于欧姆表各档工作电流的计算公式如下：

先用最小工作电流档（如R×1k）预测一下被测物电阻，或事先估计而得到"R_X"的近似值。

$$\text{欧姆档的工作电流 } I = \frac{E}{R_{中}+R_X}$$

E —— 万用表内附的电池工作电压

$R_{中}$ —— 万用表使用量限的总内阻＝中心值×倍率

R_X —— 被测物电阻（可估计而得近似值）

3.测量方法误差——我们使用电表前，除了已知的基本误差外，还应注意由于电表内部电路结构和测量方法而引起的测量方法误差，其值是随被测电路不同而变化的，有时甚至比基本误差要大得多，而且是不包括在基本误差内的，这往往为初学者所忽视。下面介绍各量程的测量方法误差：

1）电流量程的方法误差——我们知道电流的测量，是根据"串

联电路中各点电流相等”原理进行的。所以测量过程中，是将仪表串联接入电路的。如图（5—1a），由图可知：

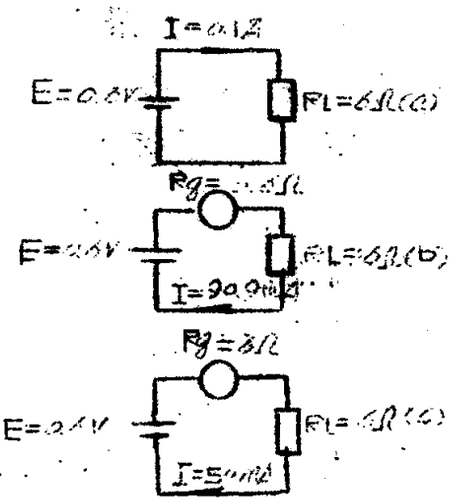


图 5—1

由图a：当未接入电表时工作电流

$$I_1 = \frac{0.6V}{6\Omega} = 0.1A$$

由图b：当用500mA档测量时，

工作电流 $I_2 = \frac{0.6V}{0.6+6} = 90.9mA$

由图c：当用50mA档测量时，

工作电流 $I_3 = \frac{0.6V}{6+6} = 50mA$

由上例可知，我们在测量电流时，由于电表内阻的串入电路，会影响电路原来工作电流的，其值是随电表内阻大小而不同，内阻愈小，影响愈小，所以当我们用同一电表在不同量限上，测量同一电路，可得到不同读数时，应以内阻最小量限读数为准，当然与实际值还有差别的，这就是方法误差造成的。所以对电流表来讲，应选计算灵敏度 S_I 较小，就是电流表内阻较小的，其影响方法误差亦小。

另外在选择量限中，亦应考虑前一节的合理选择量限问题，不能只顾内阻小，而忽视了指针偏转幅度太小，引起了其他误差。

还有在测量前，亦应了解被测电路的内阻大小，如被测电路内阻>> 电表内阻，就可不考虑上述方法误差的引入，只要考虑选择量限的合理性就可以了。亦就是对电流表内阻要求不高，任何型号都可使用的。

对于精度要求高的测量，亦可用一般万用电表进行后用下列公式换算为被测电路的实际工作电流：

$$I_{实} = \frac{EI_{读}}{E - I_{读} R_{表}}$$

E —— 电源电压，　　$I_{实}$—— 电路实际工作电流

$R_{表}$—— 电流表总内阻（可由电路图上求得并联后总阻）

$I_{读}$—— 电流表指示数

例：如上述图5－1 c所示：

解：已知　$I_{读}=50mA$　$E=0.6V$　$R_{表}=6\Omega$

$$代入\quad I_{实}=\frac{0.6\times0.05}{0.6-0.05\times6}=0.1A$$

2）电压量程的方法误差——

我们知道电压的测量，是根据“并联电路中各支路的端电压相等”原理进行的。所以在测量过程中，是将电表并接在被测电路二端测量的。如图5－2可知：

由图a：当未接上电表时

$V_{AB}=100V$

由图b：当接上5kΩ/V 100V量限电压表时

$V_{AB}=66.7V$

由图c：当接上5kΩ/V 500V量限电压表时

$V_{AB}=90.4V$

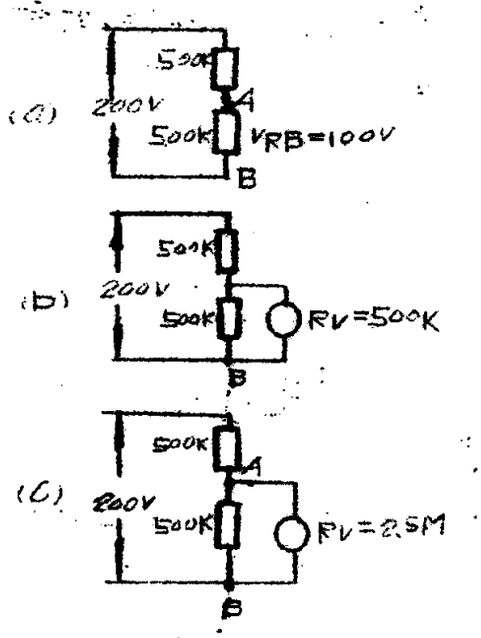


图　5－2

由上例可知，我们在测量电压时由于电表内阻的并接在负荷电阻上，改变了原来工作状态，引起了方法误差，其值是和电表内阻大小而不同，当内阻愈大，影响愈小，所以当我们用同一电表在不同量限上，测量同一电路之电压，可得到不同的读数时，应以内阻较高的量限读数为准。当然和实际值还是有些差别的。所以对电压表来讲，应选用电压灵敏度“Sv”的Ω/V愈大愈好，它影响方法误差愈小。

另外和电流表一样，选择量限中，亦应考虑前一节的合理选择量限问题，不能只顾内阻大，而忽视了指针偏转幅度太小，引起了其他误差。

还有在测量前应了解被测电路中内阻R_r和负荷电阻R_L的大小，来选用万用电表电压量限，当$R_L \gg R_r$或$R_L \ll R_v$的电路，可不考虑万用电表电压量限内阻，因它引起的方法误差较小，可忽略不计。

3）电阻量程的方法误差：—— 电阻档的方法误差如下：

①测量前应注意0Ω点的调准，尤其对R×1档由于电流较大，由接触电阻影响，更易变化，应反复栓视。

②测量前应注意欧姆量限的工作电流，是否小于被测物的容通电流，尤其对半导体元件等更应注意。（见电阻量程合理选择量限一节）

③对低量限（如R×1）测量时应注意接触杆，接线插口，电池夹和测量时引起的接触电阻；和电池使用日久，内阻变大；而使测量结果偏小。

④对高量限（如R×1k，R×10k）测量时，应注意不能把手接触到被测电阻二端，以避免人身电阻并接R_x二端，影响读数偏小。另外安放R_x的垫衬物绝缘性能，亦应注意，以免引入并联电阻影响读数，最好能架空测量高阻值。

4）使用位置影响—— 万用电表一般都规定在水平位置上使用，（表面上有"⌐"标记）这是基本误差考核时的工作位置。而实际使用中，往往容易忽略，大都采用垂直使用位置的，这就往往由于仪表的不平衡误差而引入了较大的读数误差。所以在要求较高的测量时，应注意仪表的工作位置，是否合理。

<u>4附加误差</u>—— 按照电工仪表标准规定，万用电表是在一定条件下考核基本误差的，在这个条件外还有工作条件范围，是允许用增加附加误差来使用的。其内容如下：

1）温度影响—— 一般万用电表是规定工作温度范围为0—40℃其校验温度为+20℃±2℃，根据规定每变化10℃可附加一个基本误差，所以在使用时，应按照使用场合温度进行修正的。当然工厂在设计时，不可能按上述规定，顶足误差出厂，一般都小于规定附加误差，这点要根据各种型号而不同。

2）频率影响—— 万用电表的工作频率范围，一般在表面上是

有注明的。在其工作频率内是保证基本误差的，有的仪表还有扩大频率范围，在此范围内，应增加一个基本误差使用。其符号为："（45—65—1K_{HZ}）"说明此表工作频率为45—65Hz扩大工作频率范围66—1K_{Hz}，应增加一基本误差考核，在此范围外不计误差的。

3）波形影响——由交流电路一节可知，万用电表的交流测量，只能对正弦波的有效值进行读数的，对于波形失真较大的电源测量，会带来较大的附加误差。根据实践总结，其附加误差约为波形失真系数的30%。（如波形失真度为3%的电路，测量时给万用电表读数带来的附加误差可达0.9%）所以在测量前，我们首先应测量电源失真度，才可得到正确读数，当然对一般测量要求不高的，是可忽略的。

从上述情况可知，在校验万用电表时亦应注意，尤其所用标准表为电动系或电磁系的因其对波形失真引起的影响和整流系不同，往往会造成较大的附加误差，所以在使用前应先检查电源波形失真较小情况下才可进行，或采用整流系的标准仪表进行校验。

5.其他注意事项：

除了上述合理使用几方面，可减小误差外，为了防止电表损坏，延长使用寿命，还应注意下列各点：

1）使用前应仔细查阅使用说明书，按操作方法正确使用。

2）在测量过程中，不要在带电情况下，转动开关旋钮，尤其在大电流档和高电压档测量时，更应注意，以免烧坏开关触点。

3）切勿将电表放在强磁场周围存放和使用，（如大功率的变压器周围）以免使电表中磁钢退磁，而造成读数全部偏小。

4）当被测电路有电容存在时，应先将电容放电后才可测量电阻，否则易损坏万用电表。

5）在测试高电压量限时，应注意安全操作。

6）万用电表使用完毕，应存放在干燥，清洁之处，保证仪表表面清洁，不受潮湿，以延长仪表使用寿命。

7）使用过程中，一定要注意所选量程是否符合测量要求，尤其是使用过程需要反复拌换量程的情况下更应注意，以免烧坏仪表。

（据统计烧坏万用电表的故障，主要是用欧姆表档R×1 或×10，去测交流电源220V~而烧坏R×1 或R×10 电阻的）

六 万用电表的检查和修理

万用电表的故障，是较复杂的，有因仪表电路结构和元件质量不良而造成；亦有因使用不当而造成的。而且各种型号万用电表的损坏原因亦不同，故障发生亦相互牵连，无法讲得全面，只有按电路原理，通过对各量程的简易鉴别，具体分析来找出主要故障所在，才可对症下药的进行修理。切忌以事论事的，只看表面现象，任意调换零件，而影响其他量程，造成浪费。对于我厂各型万用电表电路图及部分零件安装图见"②万用电表电路汇总集"。

我们只能把一般常见故障的简易检查方法和具体修理方法介绍于后，以供参考。

1.检修步骤—— 万用电表根据其电路结构，在修理时应按下列步骤进行检修：先从测量机构开始，再按直流电流、直流电压、交流电流、交流电压和直流电阻次序，逐档进行检查、修理和调整。

2.测量机构的检修—— 测量机构是万用电表的关键部件，它的结构和装配工艺，要求较高，在拆装前，必须先熟悉其具体要求和工艺过程，才可进行拆装，以免造成不必要的扩大损坏范围，减少浪费。

其主要故障的发生原因和检修方法如下：

1）指针轧住—— 俗称"搁表"

(1)简易检查法—— 可将电流缓慢的通入表头，使指针自0→满度→0，并视指针在行动中，有否轧住或稍停顿一下现象，并记下位置，作为修理时重点注意处。亦可用手晃动电表，使指针晃到满度，看其在过程中，有否轧住现象。

(2)造成原因及修理：

①因外壳密封不良，使铁屑等杂物进入可动部分间隙中，引成搁表。可用细长铁丝（或长缝衣针）插入表头间隙中（亦可用其他

细长棒），取出铁屑等杂物就可恢复。

②因表头中紧固螺钉受震而松动，或动圈变形，造成动圈碰铁心而引成搁表。可适当移动可动部分位置，使恢复正常，并紧固螺钉。

③因指针支持变形碰到表面或调零器而造成搁表。可采取纠正指针支持，重校平衡方法修理。

2）摩擦误差大——俗称“呆表”

(1)简易检查法——在检查“轧住”故障中，当指针慢慢回零位时，看其是否回到原来位置；或轻敲一下表壳，看指针有否变动位置，当变化＞十格时就应进行检修。

(2)造成原因及修理——主要由于使用日久，或受震动使轴尖轴承摩损或损伤造成；或由于轴尖轴承接触点受污，不清洁而造成。应拆开可动部分，用放大镜仔细检查，并清除油污物，即可恢复。如系磨损只能掉换新轴尖轴承了；亦有因气候影响等使轴尖轴承间隙减少引成顶死，应稍旋松轴承螺钉，即可恢复。注意在修理中切忌用钟表油等油脂注入轴承中。

3）游丝粘框和跳框

(1)简易检查法——可旋转机械零位调节螺丝360°一周，指针应在零点附近作左右平均的来回移动。否则就可能是游丝粘框，跳框或指针变形故障，对于指针变形又可结合不平衡检查进行，如同时存在较大不平衡误差，说明可能为指针变形造成的。亦可另用通电流方法进行，如各量程读数普遍减少，而且减少程度基本一致，说明是粘框和跳框。

(2)造成原因及修理：

①由于仪表受震动，而使游丝跳出套在焊片上。或使游丝变形成不均匀状态，造成测量过程中，某一点二圈相碰，而使力矩增加，造成表头灵敏度降低。应对游丝整形，使其恢复到原来形状。

②由于受潮或游丝表面不清洁，亦会造成二圈粘在一起，引成二圈短路，降低了灵敏度。可用汽油或无水酒精来清洁被粘表面，再进行凉干，整形后就可恢复的。但应注意清洁时不要碰坏指针等其他零件；亦不可使酒精等进入动圈，是易损坏动圈的，甚至要引成轴尖座落下可能，希注意为要。

4）不平衡误差：

(1)简易检查法—— 应先将表头在水平位置调整机械零位，再按垂直、右侧、左侧三个方向移动，并检视每个方向指针偏离0位的变化，应小于2%弧度长。（一般为一格）

(2)造成原因及修理—— 由于使用过程中，受到过载冲击，而使指针支持变形，造成可动部分重心不与二轴尖中心重合，先应纠正指针支持外形，使恢复原来位置，即指针支持成为相互垂直的十字形在燕尾形指针支持中，应使指针在燕尾中心"丫"。在水平位置调准机械0位，再按表头原理"重力矩"节中方法纠正相应平衡锤重量来满足要求。

5）动圈断路和短路

①简易检查法

(1)对用无框架的表头，可将仪表晃动一下，如指针来回晃动，超过4秒钟还不停下来时，可能是动圈断路或并联电路的各分流电阻中有断线现象。可拆开仪表焊下表头引出线 使其短接，此时如表针仍晃动，说明线圈已断，或表头引线脱落，如马上稳定下来，甚至很呆，说明动圈良好，是分流电阻损坏了，可逐个检查分流电阻。

(2)亦可利用Ω表测量动圈内阻，来决定断线否？如阻值甚大，可能是引出线假焊或有霉断现象。

(3)在个别采用无框架动圈的万用电表中（如500），其电路中有几套分流电阻，亦可采用不拆开仪表的检查方法，可将开关指示Ω或交流电压量程中任一量限上，如指针都不能稳定下来，表示动圈已断了。

(4)对有框架动圈（如MF40）断线后 ，是不会出现晃动现象的，只能焊去表头引线，用Ω表×1k（或×100） 档测量表头引线，是否通路，来决定故障所在的。

(5)亦可用R×1k档，接入万用电表的最小电流量限上，根据有否指示来判断动圈是否断线。

②造成原因及修理—— 由于万用电表中动圈用线较细（一般在0.015~0.04）存放和使用不当，都易受潮气腐蚀，或过载断线。

只能重新绕制，才可恢复。万用电表中大都采用无框架动圈，可参照第九节中"无框架动圈简明工艺"自行制造后，换入。

6）灵敏度低——在修理万用电表中，灵敏度减低是较多的，亦是修理万用电表中较麻烦的，尤其需要重新冲磁和退磁时更困难。为了便于修理工作之开展，兹将我厂的冲磁和退磁设备电路图附在后面，以供参考制作。

①简单检查法

(1)用旋转机械零位调节器，看其360°一周时，指针是否在0位左右基本均匀移动，以检查游丝变形情况，证明灵敏度下降是否由于游丝造成。

(2)根据条件可能：如测量干电池；和交流220V；调节0Ω位置；看读数是否有一致的偏小。

(3)用通入电流方法，测量表头或电流档量限读数，是否符合要求。

(4)对无框架动圈的万用电表，当焊掉表头引线，如指针不是晃动得十分灵活，说明动圈内部有短路现象。

②造成原因及修理

(1)游丝粘框或跳框变形：造成反作用力矩增加，降低灵敏度，可按前述游丝修理方法进行。

(2)动圈部分短路：由于过载或铜线绝缘性能差，使用过程中会突然发现灵敏度下降，此种现象只能掉换新动圈才能恢复。

(3)磁钢退磁：在使用中如不小心使仪表受到机械冲击；或接近较强磁场；（如大型变压器等）或在修理中拆装可动部分时，不小心使磁路开路，

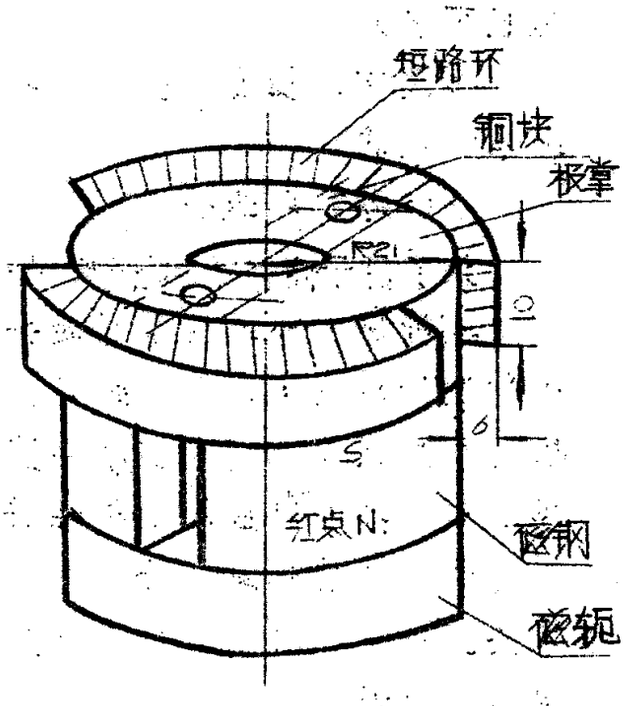


图 6－1
MF14型磁系统装配前先并上短线环示图

都会造成磁钢退磁，使磁系统间隙磁通密度下降，而造成表头灵敏度变低。其修理方法，只有重新作冲磁和退磁工艺，才能恢复。对于拆装可动部分时，应先用低碳钢制成的短路环将磁路短路，（如图6—1），然后再拆装可动部分，直到装配完毕，再取掉短路环，这样可减少退磁现象。

7）最后检验：

在上述各项故障检修完毕后，由于其中有的故障是相互牵连的，尤其在装入表壳后，往往亦会发现其他故障，应将其全部装好，紧固螺钉后，对测量机构再作一次全面检查，其要求如下：

①不平衡检查—— 三个方向最大不允许超过零位$\frac{1}{2}$格。

②零调器调节幅度检查—— 旋转机械零位调节器一周360°，指针应在0位线左右＞3%幅度中来回移动，不允许有轧住现象。

③变差和搁表检查—— 不应有搁表现象和大于0.2格的 不回零现象。

④表头参数I_g 检查—— 按前述方法进行应满足要求。

表头参数R_g 检查—— 可用R×1k档反向测量一下，得近似值已可满足。

⑤表面线性度检查—— 按前述方法进行，各带字点偏差应小于基本误差的$\frac{1}{4}$。

8）冲磁和退磁

为了便于修理工作的开展，将我厂冲退磁情况简述于后，以供参考：

(1)冲磁—— 对磁性已退去磁钢，必须采用重新冲磁，冲磁机产生的磁场强度，应大于所用磁铁矫顽力“Hc”的4倍，有大于3KOe磁场强度已能满足目前各型万用电表的磁钢冲磁要求了。对MF14磁系统，冲磁时应注意极性符号，有红点一端为N极。充磁后，应先将短路环使磁路闭合（如图6－1），再连同短路环一起从冲磁极头上取下，再装入可动部分后，才可取掉短路环，以保证充分利用间隙磁通密度，提高灵敏度。

(2)退磁—— 经冲磁后的表头，其灵敏度应高于标称值，应采用交流磁场退磁5~15%的人工稳定性老化工艺，以增加仪表的稳定性；同时亦可作为最后纠正灵敏度到标称值的措施。

(3)人工和自然老化——退磁后的表头，对一般要求万用电表，还需自然老化存放5天以上，才可进行调试出厂。对于精度要求较高的万用电表表头（如MF35，MF18等）还要进行人工老化处理，其要求为以+60℃烘箱中连续烘8小时后，随炉冷却到第二天为一周期，连续处理几个周期其周期数和中间需要检查的变化量等，根据产品精度要求而决定，以确保仪表的长期稳定性。

(4)冲磁机电路图 （材料为低碳钢，在并联后最大容通20A）

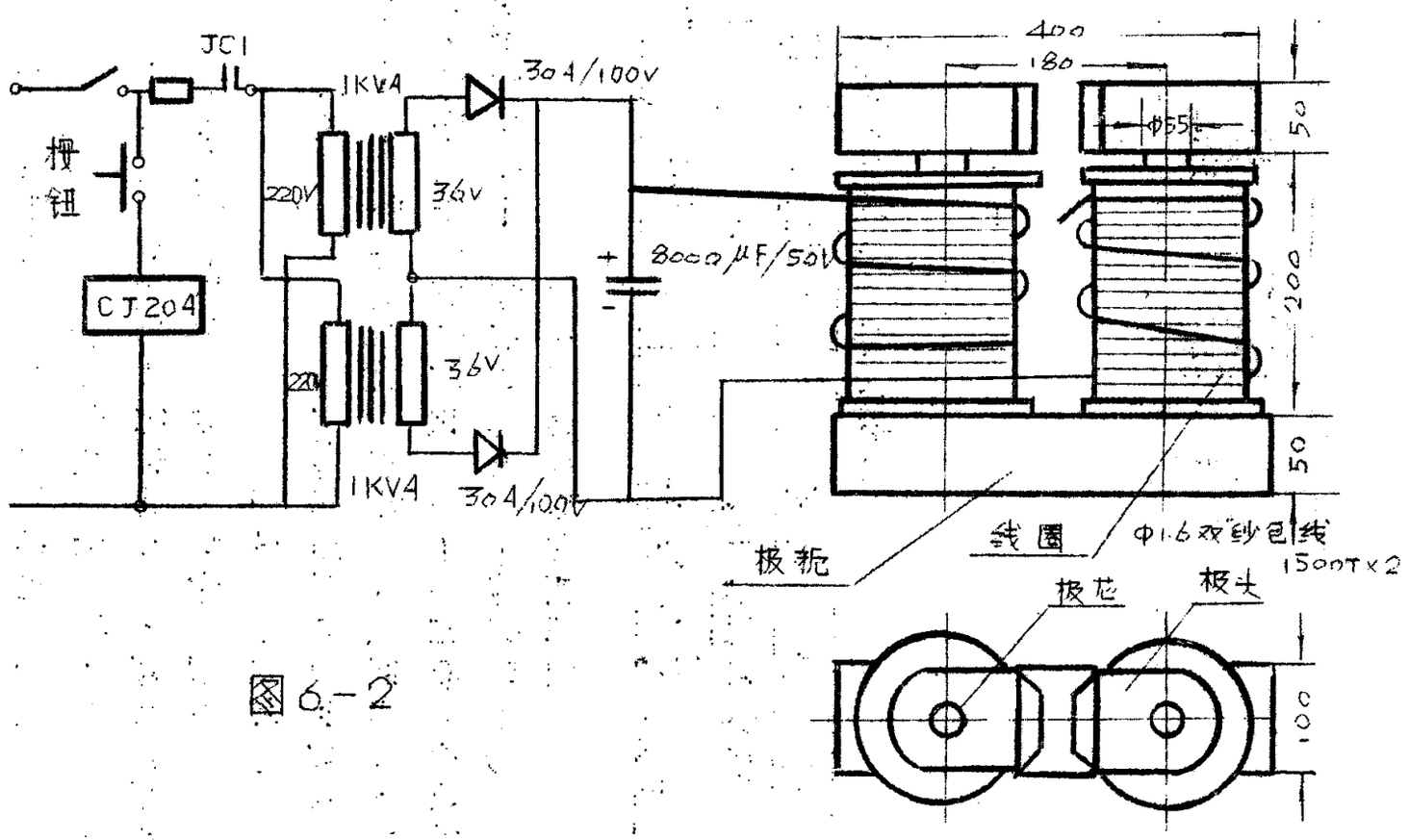


图6-2

(5)退磁机电路图—— 为断续工作

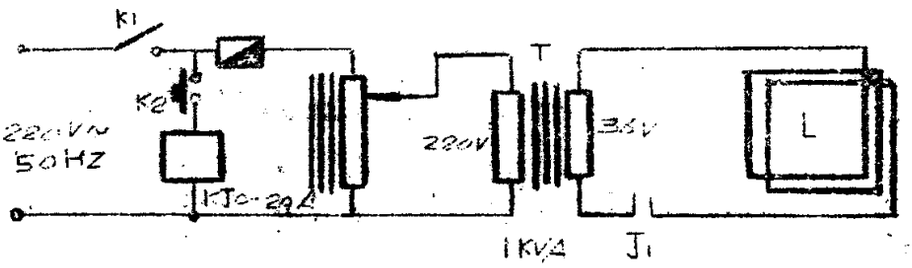


图 6－3

L规格表（为空心形式）

适用产品型号	线圈直径	圈 数	尺寸按产品外形决定
MF10, 12, 14, 18, 35	Ø 1.6	450	
108. 7. 9. MF30, 40, 43, 44, 45, 500	Ø 2 双股	190	

9） 无框架动圈的绕制：

①专用夹具—— 无框架动圈，一定要通过专用夹具来进行绕制，其外形（如图6－4）夹板内壁应平滑平整，胎芯和夹板接触的边缘，应相互贴紧，其最小间隙应小于0.02mm，以防铜线嵌入。其胎芯尺寸应与线圈内径尺寸相符合。（如图6－5）

②动圈绕制工艺：

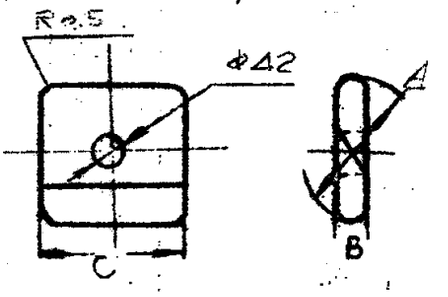
(1)首先应将铜线平整的绕在专用夹具中，二引出线可用胶纸粘在夹板外壁，然后连夹具一起放在+120℃~140℃的烘箱中，烘4~5小时，使消除应力而成形。

(2)脱出线圈胎芯时，应小心地将胎芯向斜面滑出，不使线圈变形和松线，浸入用酒精稀释的JSF—2 聚乙稀醇缩醛胶中，浸渍约1分钟，取出后先揩去二引线上剩胶，防止烘干后硬化去漆困难而断线。

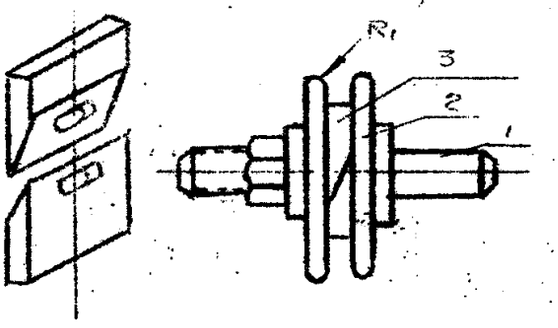
(3)再把已渍胶的动圈放在凹凸玻璃板上，自然干燥5分钟后，反转180°凉干后再贴上绝缘纸后凉干，再放入烘箱以+120℃烘90分钟以上，使JSF—2胶烘干 ，此时线圈亦已硬化成一整体。

型号 / 尺寸	MF14,18 20,35,12,10	500 108 MF7,MF9	MF30 44 45,43
A	ø15.9	ø16.8	ø10
B	2.9	3	3
C	15.2	20	10.5

动圈夹具胎芯



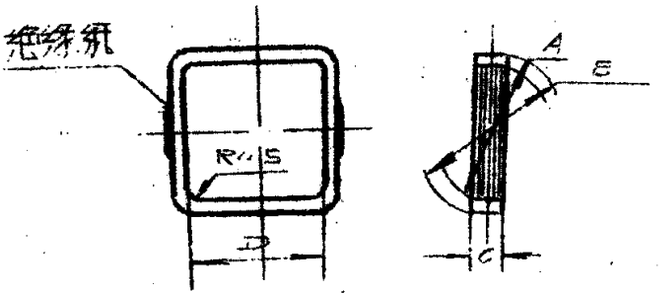
胎芯立体示意图　装配后的绕线夹具



1—紧固螺栓
2—夹板
3—胎芯

图 6—4　动圈夹具图

动圈的外形尺寸图



型号 / 尺寸	MF14,18,10 12,35,20	500 108 MF9,MF7	MF30,44 MF45,43
a	$\phi 15.8^{+0.24}$	$\phi 16.6^{+0.43}$	$\phi 10^{\pm 0.1}$
b	$\phi 17_{max}$	$\phi 18.6_{max}$	$\phi 11.5_{max}$
c	3 - 0.25	3 ± 0.2	3 ± 0.1
D	$15^{+0.4}$	20 ± 0.26	10.5 ± 0.1

图 6 — 5 动圈的外形尺寸

(4)在烘干的动圈二端面的绝缘纸中，用JSF—2 胶和透布胶在专用粘轴座的工装上粘上两轴尖座，连用工装进烘箱烘干，以保证上下二轴尖在动圈的中心线上。再通过焊引出线，接指针，焊游丝等工序，就完成了整个动圈的制造。

10）各型万用电表测量机构参数表：

型　　号	灵敏度 I_g	线　径	圈　数	内　阻	上　游　丝	下游丝	间隙磁通（退磁后）
500	40μA±0.5	0.03	1500±10T	2500±200 Ω	9 x 21	9x14	1500GS
500	〃	〃	1200±10T	2050±150 Ω	9 x 14	9x14	1500GS
MF10	9.3μA-0.15	0.02	1200±10	3250±250	8 x 7	8x5	5KGS
MF12	45 ± 0.5	0.04	400±6	330±17	9 x 10	8x7	> 4500GS
MF18	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
MF20	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
MF14	161±1μA	0.05	200±4	110±6	9 x 17	9x17	〃
MF30(73年前)	40.6	0.02	1500	2800±200	8 x 10	8x10	>2500GS
MF30(74年后)	37.5	0.025	1300	1750±150	8 x 7	8x7	〃
MF35	45 ± 0.4	0.04	500	400±20	9 x 12	9x12	> 4500GS
MF40	130	0.03	1000	1050±150	8 x 12	8x12	1500GS
MF43	37.5μA	0.025	1300	1750±150	8 x 7	8x7	2500GS
MF44	37.5μA	0.025	1300	1750±150	8 x 7	8x7	2500GS
MF45	75μA	0.025	1300	1750±150	8 x 10	8x10	2500GS

续

型　　号	灵　敏　度	线　径	圈　　数	内　　阻	上　游　丝	下游丝	间隙磁通（退磁后）
108-1							
MF7	63±0.5	0.03	1000±10	1720±125	9 X 21	9X14	1500GS
MF9	41±0.5	0.03	1200±10	2050±150	9 X 14	9X14	1500GS
MF15	176.5±1.5	0.04	500	284±6	8 X 10	8X7	1500GS
MF17	63±0.5	0.03	1000±10	1720±25	张丝 2.2M	2.2M	1500GS
MF19	39.5±0.5	0.03	1200±10	2050±150	9 X 14	9X14	1500GS
MF11	85-2	0.03	1000±10	1200±100	8 X 8	8X8	
MF11　张丝	85-2	0.03	800±8	900±35	张丝0.38M	0.38M	
MF13	415	0.04	300	203	张丝 0.45	0.45	
105	130±1	0.04	800	800	9 X 17	9X19	
105　内磁	180±2	0.04	1000	900	9 X 17	9X19	
100	88μA	0.03	1100	1100	8 X 6	8X5	
106	130	0.04	900	950	9 X 17	9X17	
108T1	60	0.03	1100	2200	9 X 21	9X14	1500GS
108T2	40+1μA	0.03	1500	2600	9 X 21	9X14	1500GS
501	400μA	0.05	350	300	-	-	
501	300μA	0.03	400	400	-	-	
501	200μA	0.03	600	600	-	-	
505　半波	75μA	0.03	1K	1K	8 X 9	8X5	
505　全波	90μA	0.03	1K	1K	-	-	
508	120μA	0.03	1100	1.5K	8 X 9	8X6	

3.直流电流量程的检修—— 在确定表头故障已消除情况下进行

1）简易检查方法：

①可按表头检查动圈断路方法确定是R_L断路后，再用欧姆表逐一检查各分流电阻值来确定故障所在。

②亦可在万用表插口上用Ω表测量各量限的总阻，其阻值误差最大档为故障所在量限。

$$\text{电流表的总阻}=\frac{R_{分}(S_I-R_{分}I_g)}{S_I}$$

S_I—— 电流表的计算灵敏度＝任一档量限×此档分流电阻总值之积。

$R_{分}$—— 被测量限的分流电阻

I_g—— 表头满刻度电流

③亦可用欧姆表接入万用表插口，视其指针移动幅度与正常的同类型万用表对比，而得故障最大量限。

2）主要故障及修理：

①各量限都不准，但其误差基本相同—— 可检查表头灵敏度I_g，是否符合，一般由于表头退磁，游丝粘框等故障造成。如相差较小（＜5%），可调节表头串连的Re可变电阻或表头上磁分流片来校正。

②个别量限读数不准—— 因多档串联分流电阻，是相互牵连的，所以应先检查最大误差量限的分流电阻，而纠正之。

③电流表有几档读数打、有几档不通，表头晃动—— 这是由于分流电阻有一档断线造成，可将“打”和“不通”二档量限的分流电阻作为重点检查而纠正之。（注意检查时应焊去表头引线。）

④电流读数不稳定，尤其在大电流量限更甚—— 由于开关，插座或校验杆表面氧化，或接触不良造成。应逐一检查，并清洁表面和纠正接触压力。

⑤附：在无线路图情况下，对电流表多档式分流电阻损坏后，电阻阻值的推算，其步骤如下：

(1)先测出损坏档前任一档完好的分流电阻总值“Rs”（如公用端“＊”起）

(2)以该档的量限值× $R_S = S_I$

(3) $R_X = \frac{S_I}{I_X} - R_S$

I_X —— 损坏分流电阻档量限

R_X —— 损坏档应增加的串联电阻（即损坏的电阻阻值）

注意在掉换电阻时，应注意电阻用线直径，和容通电流。

4.直流电压量程的检修—— 在直流电流故障已排除后进行。

1）简易检查法—— 可用欧姆表测量各量限的总阻，按照阻值误差最大量限来检查故障所在，而调换相应电阻。

电压表总阻 = S_V × 所指示量限

S_V —— 电压灵敏度，≒ 表面上所注Ω/V

2）主要故障及修理：

①个别档不准—— 应先检查最大误差档的附加电阻。并掉换之。一般为电阻变值，而使读数变小，在用测量膜"RTL" 电阻的万用电表中，对大于1MΩ 的电阻，变值较多，目前已用RJJ 金属膜电阻，变化的亦少了。

②绝缘性能不良，造成读数变大，而且量限愈高，误差愈大，在低量限时就误差很小。—— 这是由于仪表内部结构中受潮后，绝缘电阻下降而造成，尤其对老产品万用电表更易发现，严重的甚至在测试时，表壳外有漏电现象，是要特别注意的，以免发生意外。

在修理时，切忌乱掉电阻，应先检查漏电部件所在，对其表面进行清洁和烘干等处理，有的还需掉换后才可恢复。（在烘时应将不耐热零件拆除）然后再逐档校验后，调换误差最大档的相应电阻。

5.交流电路的检修—— 应对直流电路故障排除后的电表进行检修。万用电表中交流电路元件，有很多和直流合用的，当直流电流电压正常后，只有整流电路和互感器的故障了。

1）简易检查方法—— 可用市电220V，在大于250V 量限上测量一下，如读数指示为一半或不通，说明半导体元件或交流电路中有故障需要修理。

2）主要故障及修理

①读数小一半或不通—— 主要由于整流元件损坏，可用欧姆表Rx1k档检查整流元件之正反向电阻，（一般正向＜2 K反向>200K为可用的）。其他整流电路中电阻或接线假焊，断线亦可能造成故障，应详细检查并纠正之。对有互感器电路，应检查互感器是否良好。

②各量限读数都不准，误差基本一致—— 可能由于整流元件效率改变，或修过表头后表头灵敏度改变而影响了交流灵敏度不准。可调节交流基准的可变电阻，使各档读数符合要求。

③其他故障可参阅直流电流、电压档的检修。

6.电阻量程的检修：

1）简易检查法：

①0Ω 调节器检查—— 先在Rx1k档上，将校棒短路，慢慢调节0Ω旋钮，看指针是否有跳动现象，同时可用是否能调到>0Ω处，来证明电池电压的基本情况。

②电阻电路的检查—— 先在Rx1k档上调到0Ω处，再逐步转动开关，变换量限如x1k→x100→x10→x1过程中，指针应自0Ω处逐步向弧内移动，到x1时偏移最大。否则就可能是该档"Rx"断线或电路有故障。

③接触电阻太大检查—— 在Rx10档调准0Ω处，拨动开关到x1，一般指针指示略小，（约在＜1 Ω处），如变化较大，应检查电池夹，插座、校棒等接触电阻增加原因。

2）主要故障及修理：

①调不到0Ω—— 主要由于万用电表使用日久，电池电压内阻增加，及其他零件的接触电阻增加，此故障尤其在Rx1档更为显著，影响误差亦较大，其修理方法如下：

(1)仔细检查电池夹，电池接触表面，插座孔，和校验杆表面是否氧化？应清除掉，另外电池夹及插座等弹性变形亦会造成接触电阻增加，应整形修正。

(2)检查电池电压—— 电池使用日久，由于内阻增加，其端电压下降，已不能满足万用电表要求（1.35V~1.65V），亦会造成Rx1调不到0Ω。对电池电压，检查时是不能直接以电表测量结果

来衡量的，应用加接负载后，测量其端电压的方法来确定的（如图6—6）图中R值是取Ω表的R×1的中心值（一般10~20Ω)但应注意，测量时间，愈短愈好，以免大量消耗电池能量。

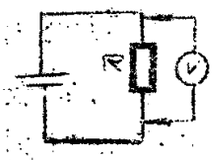


图6—6

②0Ω调节器故障—— 其故障现象有三：

(1)Ω表指针超过0Ω调不回来（俗称“打”）—— 是大电位器靠近分流串联电阻一端断了（靠近负极端）

(2)Ω表不通—— 是大电位器靠表头⊕极端断了，应掉换新电阻片；或其中心调节片未接触到电阻上，应整形调节片纠正之。

(3)调节过程中有跳动或不通现象—— 可检查电位器阻力线表面有污物粘上，并清除之，或整形中心调节片，提高接触压力。

③个别档读数不准—— 在欧姆表中，读数不准情况有二方面。

(1)读数相差不大，但已超过误差—— 这可能由于中心电阻R_x受过载后变值造成，应调相应R_x值。在串联式R_x中，应掉最大误差档R_x值，就可恢复的。

(2)读数都和R×1K一样——这可能是由于中心电阻R_x烧断，等于该档没有R_x并联而造成。应调掉相应R_x。在串联式R_x中，应先掉最小量限的R_x。（如500型中Rx1读数正常R×10，R×100 R×1k读数一样，应先检查R×10的中心电阻R_x是否完好而掉换之，可全部恢复的）再检查其他档R_x是否亦烧断。

七 电路的调试

万用电表的精度和稳定性，很大程度决定于测量机构、电阻和其他元件的精度和稳定性。所以在修理时，对调换的元件，必须按所规定的型号掉上，有的还要通过老化稳定处理了另外对测量机构修理后，尤其在拆装后，必须经过磁性能稳定处理，才能保证产品原来性能。这点希修理同志必须注意的。

当上述电阻元件和测量机构参数都已正确情况下，万用电表的调试工作，是较简单的，一般只需对直流基准，和交流基准进行调

整，（有的还有直流mV档或交流低压档的调整。）对电阻量程，只需对中心值校对一下就可以了。

／.调试时对环境和标准仪表的要求：

对要求较高的调试过程中，（如考核精度等）对环境和标准仪表是有一定要求的。兹概述如下：

1）室温应在+20℃±2℃，周围应无大于50e的外磁场存在。

2）对标准表的精度要求小于被校仪表精度的$\frac{1}{3}$。

3）标准表量限应选被校值大于75% 的量限。（如需校验250V万用电表，应选用250V或300V的标准表，不要选500V或600V量限的标准表。）

4）调试用电源，应有足够的稳定度。

5）对交流电源要求：波形失真系数不能超过2%；其频率应在规定的工作范围中。

6）在用电动系或电磁系标准仪表进行调试时，对波形失真要求更高，否则要附加误差的。

2.直流量程调试：

1）基准档的选择—— 直流电路的基准，一般都以电压档的工作电流（即$I_V=\frac{1}{S_V}$）作为基准档。如MF30 型万用电表 $S_V=20K\Omega/V$ $\therefore I_V=\frac{1}{20K}=50\mu A$ 应用50μA作为直流基准档。

2）基准档的校准—— 根据上述I_V值，选直流电流量限中相同档进行。对电流量限中无I_V相同量限的万用电表，可用电压最小量限，和标准电流表串接入电路，当调节标准表到I_V值后，调节被校表底上直流基准可变电阻触片，或移动磁分流片，使被测表准指满度。对精度要求高的万用电表，亦有用补偿法进行的。

3）其他量限的校验—— 基准已校准的万用电表，应先校对直流电流各量限，再对直流电压各量限逐档进行校验满度值，其误差应符合≤基本误差的80%，（如2.5级应为±2%）否则应调换相应的电阻。有时亦可按照各量限的误差情况，适当调整基准档，使各档都能符合要求。

4）其他基准档调试—— 有的万用电表中，还有毫伏档基准的调节可变电阻应在直流基准调试后才可进行；（如MF18），亦有应先调整好表头回路内阻再进行直流基准调试的（如MF12　MF9　MF19等）。

3.交流量程的调试—— 应在直流基准调试好的仪表中进行。

1）基准档的确定—— 在有交流电流量程的万用电表中，可选任何档进行，一般选用有相应标准表的量限作为基准。在一般万用电表中都没有交流电流量程，是用电压表中较高量限作为调整基准的（如250V）。因交流电压工作电流较低，无标准仪表；交流低压受半导体元件内阻不一致性影响，误差较大，不能作为基准。所以只好利用高量限校准基准。

2）其他量限的校验—— 对调好基准档的仪表，应对所有量限逐档校验，和直流一样，各档误差应满足规定精度的80%，否则应掉换相应的电阻。

对小量限电流档校验中，应注意电源内阻的影响。如MF7　的500μA 档校验时，应在电路中加串大于30K 的电阻，读数才较准确。

4.电阻量程的调试

对直流基准已校准的万用电表才可进行电阻量程的调试。一般是用标准电阻箱来校验各量限的中心值，和其他$\frac{1}{4}$和$\frac{3}{4}$刻度的电阻值，其误差应小于允许误差的80%。

同时应检查0Ω 调节电位器接触是否良好，和电池电压使用范围内，是否能正常工作。

5.附：调试用可调简单电源

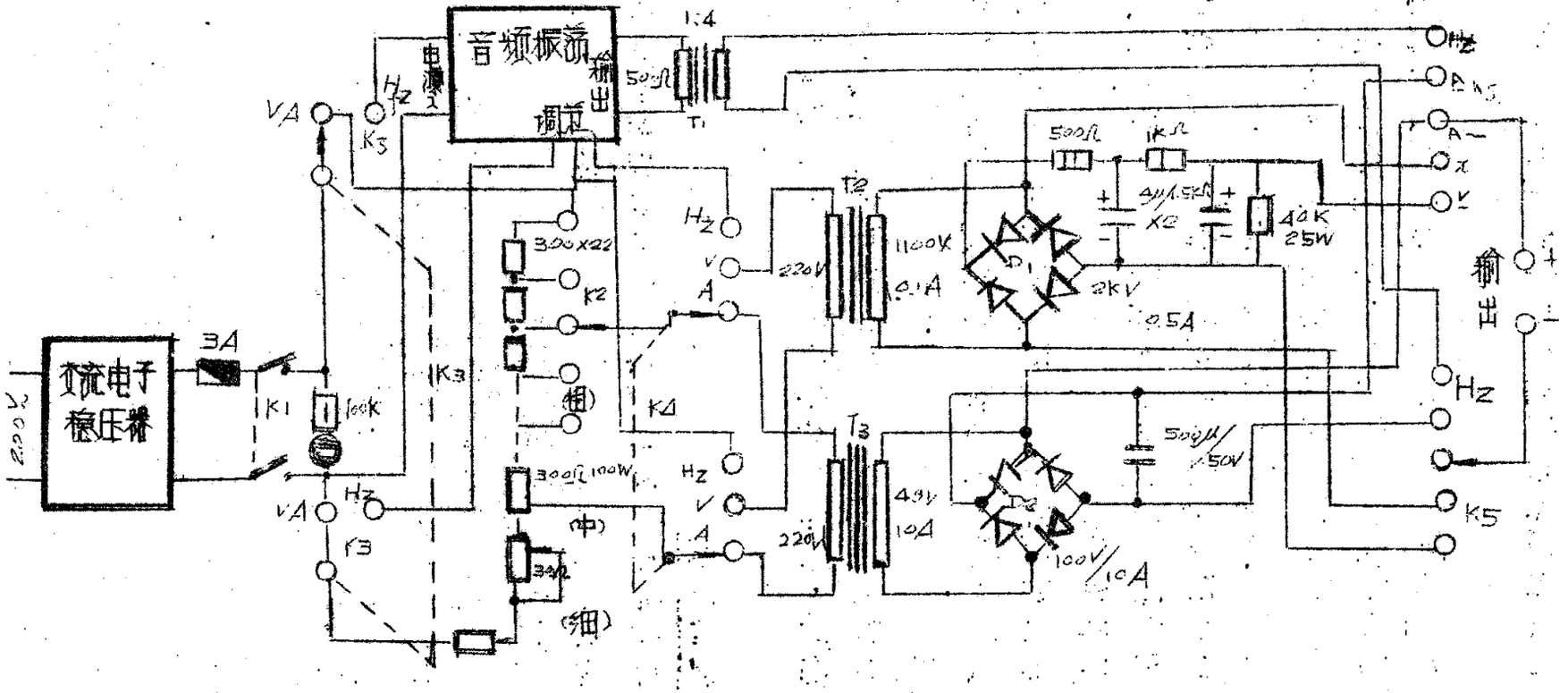

音频振荡
输出
调节
电源
1:4
T1
T2
T3
D1
D2
3A
K1
K2
K3
K4
K5
(粗)
(中)
(细)
输出
Hz
V
A
0.5A
2kV
100V/10A
220V
1100V
0.1A
49V
10A
500Ω
1kΩ
500μ/50V

图 7－1

Document generated by Anna’s Archive around 2023-2024 as part of the DuXiu collection (https://annas-blog.org/duxiu-exclusive.html).

Images have been losslessly embedded. Information about the original file can be found in PDF attachments. Some stats (more in the PDF attachments):

{
  "filename": "MTI1NDU4ODIuemlw",
  "filename_decoded": "12545882.zip",
  "filesize": 7844003,
  "md5": "ee0383c3ed1a9c58e7a80924bee8f2d4",
  "header_md5": "e0d4c1aca99746a4c2e9ede85616a4f7",
  "sha1": "9a7ab4b1f51a672ccec57fdd4e232e38e9dccbdd",
  "sha256": "9e41df3b83275f7e471bafc109a20a5f338666b5568fb80a9b5bdb93f860968f",
  "crc32": 3543949999,
  "zip_password": "wcpfxk&*^TDwcpfxk",
  "uncompressed_size": 7929978,
  "pdg_dir_name": "",
  "pdg_main_pages_found": 72,
  "pdg_main_pages_max": 72,
  "total_pages": 78,
  "total_pixels": 449620080,
  "pdf_generation_missing_pages": false
}