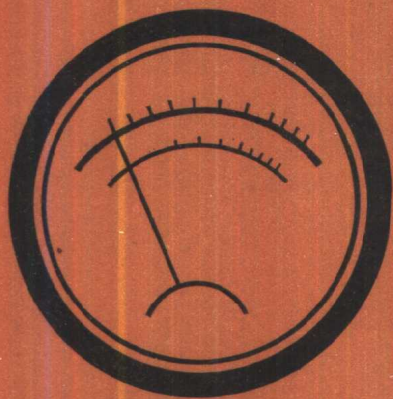


无线电爱好者丛书

自制多用测量电表

张承宗 编著



无线电爱好者丛书

自制多用测量电表

张承宗 编著

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书介绍一种多用测量电表的设计方法和相应的工作原理。

这种电表可测量电流、电压、电阻、电感、电容、音频功率、传输电平和晶体管参数(I_{cbo} 、 I_{ceo} 、 β)，还可以作为400赫/10伏/1千欧的音频信号源。

本书可供广大无线电爱好者参考。

无线电爱好者丛书 自制多用测量电表

张承宗 编 著

责任编辑：胡美霞

*

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

天津新华印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

开本：787×1092 1/32 1983年12月第一版

印张：2 8/32 页数：36 1983年12月天津第一次印刷

字数：49千字 插页：1 印数：1—50,000册

统一书号：15045·总2800—无6264

定价：0.24元



中国电子学会科学普及读物编辑委员会

主编：孟昭英

编委：毕德显	吴朔平	叶培大	任朗
杜连跃	吴鸿适	童志鹏	陶栻
顾德仁	王守觉	甘本祓	(兼常务编委)
张恩虬	何国伟	周炯槃	邱绪环
陈芳允	秦诒纯	王玉珠	周锡龄

本书责任编辑：甘本祓

丛 书 前 言

电子科学技术是一门发展迅速、应用广泛的现代科学技术。电子技术水准是现代化的重要标志。为了尽快地普及电子科学技术知识，中国电子学会和出版部门约请有关专家、学者组成编委会，组织编写三套有不同特点的、较系统的普及丛书。

本丛书是《无线电爱好者丛书》，由人民邮电出版社出版，其余两套是《电子应用技术丛书》，由科学普及出版社出版；《电子学基础知识丛书》，由科学出版社出版。

本丛书密切结合实际讲述各种无线电元器件和常用电子电路的原理及应用；介绍各种家用电子设备（如收音机、扩音机、录音机、电视机、小型电子计算器及常用测试仪器等）的原理、制作、使用和修理；提供无线电爱好者所需的资料、手册等。每本书介绍一项实用无线电技术，使读者可以通过自己动手逐步掌握电子技术的一些基本知识。本丛书的对象是广大青少年和各行各业的无线电爱好者。

我们希望广大电子科学技术工作者和无线电爱好者，对这套丛书的编辑出版提出意见，给以帮助，以便共同努力，为普及电子科学技术知识，为实现我国四个现代化作出贡献。

目 录

一、概述.....	1
二、表头.....	3
(一) 表头灵敏度测量	4
(二) 表头内阻测定.....	4
三、测量线路	7
(一) 直流电流测量.....	7
1. 工作原理	7
2. 元件计算	9
(二) 电阻测量	12
1. 工作原理	12
2. 元件计算	14
3. 扩大量程	15
4. 设计实例	19
(三) 直流电压测量.....	23
1. 工作原理	23
2. 设计实例	28
(四) 交流电压测量.....	28
1. 工作原理	28
2. 元件计算及设计实例	32
(五) 电抗元件——电感、电容测量...	34
(六) 交流电流测量.....	37
1. 工作原理	37
2. 元件计算	37
(七) 电平测量	39

(八) 音频功率测量	40
(九) 晶体管参数测定	41
1. 工作原理	41
2. 电路计算	43
四、音频电源	45
五、各参量表盘定度计算	49
(一) 直流电流电压定度	49
(二) 直流电阻定度	50
(三) 交流电压与交流电流定度	51
(四) 音频功率定度	54
(五) 传输电平定度	54
(六) 电感及阻抗定度	54
(七) 电容定度	56
六、仪表校准	59
七、实验多用仪的电路结构及使用方法	60
(一) 电路结构	60
(二) 使用方法	63
(三) 注意事项	66

一、概 述

无线电爱好者在从事无线电工程制作及修理中，常需对各种元件的数值进行测量，选择符合电路要求的元器件；以及对电路各点工作状态测量调整，以保证整机特性指标。要切实做到这一点，装制配备一台多用测量电表是必不可少的。

本书向读者推荐的多用测量电表，能够满足广大无线电爱好者对经常遇到的各种电参量进行较准确的测量。

多用测量电表——简称多用表。它能测量十四种参数，共有五十二个量程：

I 直流电流：0—50 μ A—500mA；	五档
I 交流电流：0—1A—5A；	二档
R 直流电阻：0.02 Ω —2M Ω ；	五档
Z 交流阻抗：1.5 Ω —400K Ω ；	三档
V 直流电压：0—2.5V—1000V；20K Ω /V	五档
V 交流电压：0—2.5V—1000V；20K Ω /V	五档
L 电感量：0.6mH—20H；	三档
C 电容量：40PF—1 μ F；	三档
W 音频功率：1mW—4KW；16 Ω	四档
dB传输电平：-20dB—+62dB；600 Ω	五档
N 传输电平：-2.3N—+7.2N；600V	五档
晶体管参量： I_{cbo} 0—50 μ A；	一档
I_{ceo} 0—5mA；	三档
$\bar{\beta}$ 0—25—250—2500。	三档

此外，还可以作为400Hz、10V、1 K Ω 音频信号源。还可对音频放大器的增益特性进行定量分析，以便于查找故障以利于提高放大器质量。

本仪表的特点是：功能多、量程广，几乎包括了常用的电参量。能够自发自测，体积小巧便于携带(150 $\times$ 110 $\times$ 46mm³)，尤其适合野外操作。

它的基体结构与通用的万用表相似，也是由表头、转换开关，表内电路和内附电源四部份组成。由于合理的组合了表内电路，因此用很少的元件就能完成了多种功能的测量。而且线路并不复杂，对于具有初步装机经验及初中文化程度的读者，只要认真阅读，细心计算，严格按照计算数据选配元件，合理组装是很容易获得成功的。

本书将依次介绍上述各种功能的工作原理、量程扩展及元件数值计算。对表头只介绍一下参数的测量，对测量线路作较详细的讨论。

二、表 头

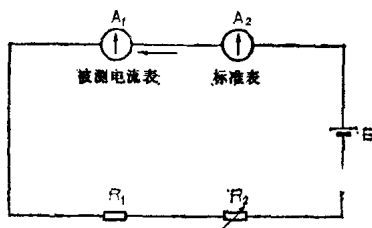
表头 M 是多用仪的心脏，它是一个灵敏度很高的直流电流表——微安表。各种被测量的量值全部由它指示出来。但在实际测量中各种电参量并不都是大小相等的直流量和有源量，要使直流微安表指示出各种不同的量，必须在表头与被测量之间接入适应各种不同条件的变换电路和附加电源。表头电路又称表路。它由表头、综合分流器和整流器组成。它的作用是把变换电路传递过来的各种不同数量级和不同性质的电参量接收下来，一律转化成微安级的直流电流，通过表头指示出来。所以它是变换电路的接收器和指示器——终端器。它的精确程度直接影响整个仪表的准确度。所以必须精确计算。

在对多用仪总体考虑和设计计算时，就是以表头为基础，从计算表路（综合分流器）入手。从而得出各个测量系统——变换电路均可适用的表路，以满足能够测量多种电参量的要求。

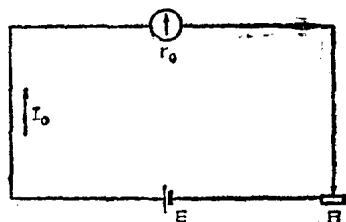
对表头的主要要求是灵敏度。在电信仪表中，表头的灵敏度一般用满偏转电流 I_0 来衡量， I_0 越小灵敏度越高。例如对灵敏度为 $150\mu\text{A}$ 和 $50\mu\text{A}$ 的表头，当表头通入 $150\mu\text{A}$ 和 $50\mu\text{A}$ 电流时，其指针分别指示满刻度。可见 $50\mu\text{A}$ 表头的灵敏度比 $150\mu\text{A}$ 的要高。也有用满偏转电流 I_0 的倒数 Ω/V 来表示其灵敏度的。 Ω/V 越大，灵敏度越高。例如对 $150\mu\text{A}$ 和 $50\mu\text{A}$ 的表头，其灵敏度也可用 $6670\Omega/\text{V}$ ($= 1/150\mu\text{A}$) 和 $20\text{K}\Omega/\text{V}$ ($= 1/50\mu\text{A}$) 来表示。

(一) 表头灵敏度测量

这里介绍两种测量方法。选满度电流稍大于或等于被测表 A_1 的标准表 A_2 ，按图一连接， R_2 是可变电阻， R_1 是保护电阻， E 是测试电源，调整 R_2 使被测表 A_1 恰指满度。设本表所用表头是 $40\mu A$ ，则应在标准表 A_2 上正确地指示 $40\mu A$ ，若 A_2 指示值不是 $40\mu A$ ，说明 A_1 存在误差。当误差小于满度值 $1/10$ 时，可通过调整磁分路器进行校准。



图一 表头灵敏度的检查



图二 表头灵敏度的测量

在表头内阻 r_0 为已知时，也可用图二的接法来求得灵敏度。调整 R 使表头指满度，这时有：

$$I_0 = \frac{E}{r_0 + R} \quad (1)$$

由于电源内阻 $\ll r_0 + R$ ，可忽略不计，则已知 R 即可求得 I_0 。

(二) 表头内阻测定

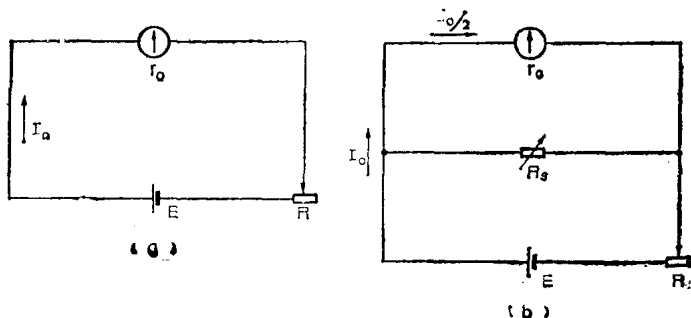
在业余条件下，可用图三方法来测定表头内阻。先按图三 (a) 接线，调 R 使表头指满度，这时表头电流为：

$$I_0 = E / R + r_0$$

然后在表头上并联一只可调电阻 R ，如图三 (b) 所示，保持 R 不变，调 R ，使表头指半满刻度，以本表表头为例应指 $20\mu A$ ，这



北林图 A00125714



图三 表头内阻的测量

时表头电流为:

$$\frac{I_o}{2} = \left(E/R + \frac{r_o R_s}{r_o + R_s} \right) \frac{R_s}{r_o + R_s}$$

解以上两个方程式可得:

$$r_o = \frac{R \cdot R_s}{R - R_s} \quad (2)$$

在 $R \gg R_s$ 时 (一般在 $R \geq 10 R_s$ 时) 则有 $r_o \approx R_s$ 。

还有一种更简单实用的粗测方法;选灵敏度优于 $10\text{K}\Omega/\text{V}$ 的准确万用表一块,利用 $R \times 1\text{K}$ 电阻档直接测量,因为这类万用表 $R \times 1\text{K}$ 档表路电流均 $\leq 100\mu\text{A}$ 。将电阻档校零后红表棒接被测表 (+) 极,黑表棒接 (-) 极,此时表针反转,尽速查看万用表电阻档指示值 (注意测量时间应尽量短) 并拿去表棒。不一定要求测量结果绝对准确,例如万用表指数约 1800Ω ,表头内阻可暂定 1800Ω 。以后具体设计计算表路时再设法修正。

表头参数是整个仪表设计的基础,首先是综合分流器的计算,它直接影响仪表的灵敏度和测量精度。从原则上来说,要求表头灵敏度要高 (满度电流小),内阻 r_o 要小,此外,还要

求微安表刻度具有良好的线性，否则各参量标值准确性会受影响。表头应具有适度的阻尼，特别在分流器阻值很大时，表头本身的阻尼特性就更重要。

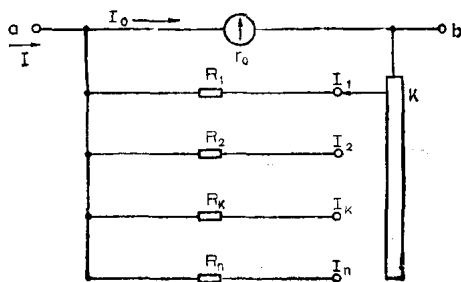
三、测量线路

(一) 直流电流测量

1. 工作原理

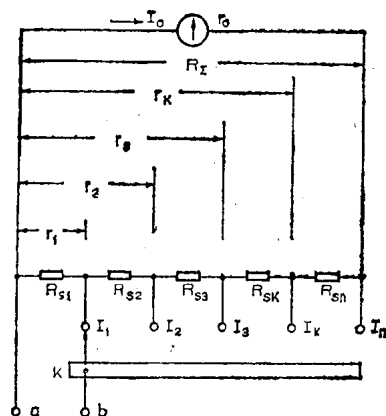
测量电流时表头与被测电路相串联，这时被测电流流过表头，表头指示值即为被测电流的大小。由于表头的满度电流是一定的，所以为了扩大被测电流的量限，就要用一些电阻并联在表头上，利用分流原理使流过表头的电流是被测电流的一部份，被测电流越大，所并联的分流电阻值应越小，通过分流电阻与表头内阻之间的一定比值和表头读数来得到被测电流的大小。

多量程电流表的电路结构形式一般有两种如图四和图五所示。图四为开路转换式分流结构。并联电路中，各支路分配的电流与各支路电阻阻值成反比。根据所需要的 I_0 适当选择 R_n 的值，就能测量不同大小的电流。



图四 开关转换式分流结构

这种结构的各量限具有独立的分流电阻，它们之间互不干涉，可以分别调整。其缺点是仪表的温度误差和阻尼时间随着量程分流电阻的变化而变化，且由于开关的接触电阻包括在测量线路之内，所以仪表误差是不稳定的。此外在测量大电流时，由于分流电阻本身阻值很小，则由开关接触电阻带来的误差将很大。并且在电路接通下换档，有表头过载烧毁之虑。因此这种线路很少采用。



图五 闭路抽头式分流结构

图五为闭路抽头式结构, 它的优点是结构简单、使用安全, 没有由于开关接触不良而使表头过载烧坏的危险, 所以对转换开关要求不高。本表采用这种方式。图中 R_s 是分流器总电阻值, r_0 为表头内阻, I_0 为表头满度电流, $I_1, I_2, \dots, I_K, \dots, I_n$ 代表分流器的各量限, 相应的分流电阻为 $r_1, r_2, \dots, r_K, \dots, R_s$ 。

对于最小电流量限 I_0 来说, 根据并联支路端电压应相等的原理有:

$$I_0 r_0 = (I_n - I_0) R_s$$

$$\text{所以} \quad R_{\Sigma} = \frac{I_0 r_0}{I_n - I_0} = \frac{r_0}{m_n - 1} \quad (3)$$

式中 $m_n = I_n/I_0$ 为最小量限分流系数。

对于第 K 个电流量限来说，为使流过表头的电流等于 I_0 ，则应使在分流支路上的电流为 $I_K - I_0$ ，根据并联支路上端电压相等的原理有：

$$I_0[r_0 + (R_{\Sigma} - r_K)] = (I_K - I_0)r_K$$

整理可得：

$$r_K = \frac{I_0(r_0 + R_{\Sigma})}{I_K} = \frac{r_0 + R_{\Sigma}}{m_K} \quad (4)$$

式中 $m_K = I_K/I_0$ 为第 K 个量限的分流系数。

式 (3)、(4) 为计算分流电阻的一般公式，在万用表计算中是经常用到的。

2. 元件计算

直流电流测量档的分流电阻，只是表路中综合分流器的一部份，所以在说明分流电阻的计算方法以前，首先根据仪表的总体要求来计算综合分流器，已知表头满度电流 $I_0 = 40\mu\text{A}$ ，内阻 $r_0 = 1800\Omega$ ，要求有五档电流量限，分别为： $I_1 = 500\text{mA}$ 、 $I_2 = 50\text{mA}$ 、 $I_3 = 5\text{mA}$ 、 $I_4 = 500\mu\text{A}$ 、 $I_5 = 50\mu\text{A}$ 。在后面将要讨论的电阻测量档要求有一个 $\geq 63\mu\text{A}$ 的量限（留待电阻档时计算），交流电压档要求有一个 $44\mu\text{A}$ 的量限。这样，综合分流器从 $44\mu\text{A} - 500\text{mA}$ 共需有六个引出点，即： $I_1 = 500\text{mA}$ 、 $I_2 = 50\text{mA}$ 、 $I_3 = 5\text{mA}$ 、 $I_4 = 500\mu\text{A}$ 、 $I_5 = 50\mu\text{A}$ 、 $I_6 = 44\mu\text{A}$ 。根据这一要求， $I_6 = 44\mu\text{A}$ 是灵敏度最高的一点，而表头灵敏度是 $I_0 = 40\mu\text{A}$ ， $I_6 > I_0$ ，说明表头符合仪表要求。

前面测得表头内阻 r_0 是暂定 1800Ω ，这是一个约数，不能

作为计算根据,怎样使这个约数变得准确呢?这一点非常重要。解决方法并不难,只需在表头支路串联一个修正电阻 R_b 。这样表支路由 $r_0 + r_b$ 组成,使 $r_0 + r_b$ 凑满一个简单的整数, r_0 已知约 1800Ω ,最接近的整数是 2000Ω ,那么 $r_b = 2000 - 1800 = 200\Omega$ 。因为 r_0 是约数加上 r_b 仍是一个约数,考虑到这一点,可选 $r_b = 300\Omega$ 阻值的可调电阻。计算总分流器 R_z 时按准确的 2000Ω 计算,待仪表校准时通过调整修正电阻 r_b ,使 $44\mu A$ 点注入准确的 $44\mu A$ 电流时表头恰指满度,这时表头支路便修正到准确的 2000Ω 了。采用加修正电阻的办法可以大大简化测定表头内阻的手续,这在业余条件下是极为适用的。

图六所示线路是综合分流器抽头的五档电流表。 K_0 是仪表转换开关, K_1 、 K_2 是同轴转换的交流、直流、电阻换项开关。

图中 R'_{f1} 、 R'_{f2} 、 R'_{f3} 、 R'_{f4} 以及 R'_f 等电阻是测量直流电阻档需要用到的电阻,它们的作用和计算将在后面有关地方加以介绍。目前可以先不去管它们。附带谈一下, R'_{f1} 等不会影响表头电路的分流情况,但在测量直流电流时,这些电阻是和表头电路串联的,从而将增加直流测量档的内阻,引入了一定的附加误差。但是,这样安排可以在直流电流和电阻的测量共用转换开关 K_0 的一组接点,使整个电表的结构简化。

现在只考虑直流电流的测量。先求最小电流量限分流电阻 R_z ,由式(3)得:

$$R_z = \frac{r'_0}{m_n - 1} = \frac{r'_0}{\frac{I_1}{I_0} - 1} \quad \text{式中 } (r'_0 = r_0 + r_b)$$

$$= \frac{2000}{\frac{44 \times 10^{-6}}{40 \times 10^{-6}} - 1} = 20K\Omega.$$