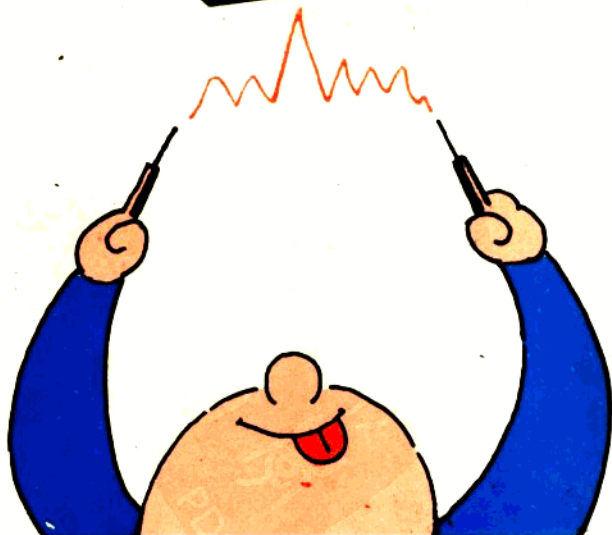


万用电表 新颖线路

梁 正 著
黄河出版社



万用电表新颖线路

梁 正 著

黄 河 出 版 社

1995 年 · 济南

(鲁)新登字第 13 号

责任编辑 李承民

封面设计 金 马

书名 万用电表新颖线路
著者 梁正
出版 黄河出版社 (250002)
发行 (济南市英雄山路 19 号)
印刷 济南光明印刷厂
规格 787×1092 毫米 32 开本
4.5 印张 97 千字
版次 1995 年 6 月第 1 版
印次 1995 年 6 月第 1 次印刷
印数 1—6000 册
书号 ISBN 7-80558-610-1/T·09
定价 6.80 元

前 言

广义的“万用电表”不仅包括带放大器和不带放大器的指针式万用电表,而且包括数字式万用电表,甚至包括带电脑的万用电表。而本书中的“万用电表”为狭义概念,只包括第一代不使用电源开关的传统型指针式万用电表。传统型指针式万用电表的优点是用途广泛、使用方便、易于携带、价格低廉、不需要考虑电源的开和关。因而,尽管遇到运算放大器万用电表和数字万用电表的强有力竞争,传统型指针式万用电表仍然是维修电工和无线电爱好者用得最多的一种仪表。

随着时代的发展,传统型指针式万用电表也发生了很大的变化。比如,早期的万用电表只能测电流、电压和电阻(故也称为三用表),而现在许多万用电表还可测电平、电容、电感、晶体管的 h_{FE} 以及音频功率等,使万用电表用途更加广泛。再如,早期的万用电表一般需要使用两个转换开关分别选择测量项目和量程,而现在大部分万用电表只用一个转换开关就可选择好测量项目和量程,不但操作方便,而且不容易出错。这些变化归功于万用电表的改进者。正是由于他们的不懈努力,才使得万用电表的性能提高到现在的水平。

万用电表在现在的水平上怎样再提高呢?

把集成电路用到万用电表中,无疑是今后改进万用电表的一个重要方面,但是不能因此而忽略了对不使用集成电路的万用电表的改进。这是因为,只要使用集成电路就得加设专

用的电源开关,而每次都得使用电源开关不但使操作麻烦,而且容易发生因忘记关电源开关而使电池白白放电的现象。相比之下,传统型指针式万用电表不需要使用电源开关的优点显得特别可贵。这个优点使得传统型指针式万用电表现在仍然具有强大的生命力和竞争力。起码几十年之内,传统型指针式万用电表是不会被淘汰的。因此,研究不使用集成电路的新颖线路也是使万用电表在现在的水平上继续提高的一个重要方面。

本书收集的万用电表新颖线路,可以有效地减小万用电表的测量误差,扩展万用电表的测量范围,使万用电表在使用时方便、安全、省电。这些新颖线路大部分是作者多年来的研究成果和实验总结,有些成果还是第一次发表。本书可作为仪器仪表行业人员的参考资料,也可作为无线电爱好者改进万用电表的指南,还可作为大中专院校和职业学校有关专业的师生的选修读物。在目前国内外缺乏专门论述如何改进传统型指针式万用电表的书籍的情况下,如果本书能抛砖引玉,促使论述改进传统型指针式万用电表的力作问世,则作者不胜欣慰。

为了阐明一些新颖线路的原理,本书作了一些数学分析。这对仪器仪表行业的技术人员和在校师生是有益的。如果某些无线电爱好者感到数学内容太深的话,那么完全可以不看数学分析部分。不去深入进行数学分析,对改进自己手头的万用电表并无妨碍。

因为作者水平不高,经验有限,所以难免在书中出现这样那样的错误。作者敬请专家、行家和广大读者批评指正,并在此表示由衷的感谢。

目 录

第一章 直流电流档新颖线路	(1)
第一节 常用分流线路的优、缺点	(1)
第二节 改良型闭路抽头转换式分流线路.....	(4)
第三节 开关型闭路抽头转换式分流线路.....	(6)
第四节 短路型闭路抽头转换式分流线路	(10)
第二章 电压档新颖线路	(15)
第一节 让交流电压档变为交、直流电压共用档的线路	(15)
第二节 串联整流式交、直流电压共用档线路.....	(19)
第三节 并联整流式交、直流电压共用档线路.....	(21)
第四节 可测量高频电压的 10V 交流电压档	(22)
第五节 使用稳压二极管的标度尺定点扩展式电压档	(25)
第六节 使用恒流二极管的标度尺定点扩展式直流 电压档	(28)
第三章 交流电流档新颖线路	(31)
第一节 现有交流电流档的优、缺点.....	(31)
第二节 最简单的交流电流档线路	(33)
第三节 独立的交流电流档线路	(35)
第四节 直接在主标度尺上读数的交流电流档线路	(36)
第四章 欧姆档新颖线路	(40)

第一节	可提高准确度的欧姆档线路	(40)
第二节	欧姆调零新颖线路	(50)
第三节	15k 欧姆档和 150k 欧姆档线路	(57)
第四节	耗电少的 $R \times 1$ 欧姆档线路	(64)
第五节	$R \times 10k$ 欧姆档附加线路	(67)
第六节	可检查发光二极管的 $R \times 10k$ 欧姆档线路	(69)
第五章	h_{FE} 档新颖线路	(75)
第一节	现有 h_{FE} 档线路的缺点	(75)
第二节	使用高压电池的 h_{FE} 档线路	(82)
第三节	偏流恒定的 h_{FE} 档线路	(84)
第四节	发射极电流恒定的 h_{FE} 档线路	(86)
第六章	电抗档新颖线路	(91)
第一节	现有电抗档的缺点	(91)
第二节	用并联法的电抗档线路	(93)
第三节	可间接在主标度尺上读数的电容档线路 ..	(99)
第四节	可直接在主标度尺上读数的电容档线路	(102)
第五节	可估测小电容的电容档线路	(109)
第七章	其它新颖线路	(111)
第一节	使用硅三极管的表头保护线路	(111)
第二节	量限“乘 3”线路	(113)
附录		(118)
附录 1	万用电表表头数据	(118)
附录 2	万用电表性能数据	(122)
附录 3	部分恒流二极管的数据	(124)

附录 4	部分稳压二极管的数据	(125)
附录 5	部分整流二极管的数据	(126)
附录 6	部分开关二极管的数据	(127)
附录 7	部分发光二极管的数据	(128)
附录 8	部分晶体三极管的数据	(129)
附录 9	部分万用电表线路图	(130)
参考文献		(136)

第一章 直流电流档新颖线路

万用电表的核心部分是表头。表头实际上是一个量限很小的直流电流表。用它可以直接测量小于表头满度电流的直流电流。但是万用电表表头的满度电流很小,一般小于 $200\mu\text{A}$,有些型号的万用电表(如 MF10、MF104)表头的满度电流甚至小于 $10\mu\text{A}$ 。因此,要测量较大电流就得采用分流线路。因为万用电表所测量的直流电流相差悬殊(可相差好几个数量级),所以万用电表的分流线路都设计为多量限式。

第一节 常用分流线路的优、缺点

老式万用电表的直流电流档采用过开路个别转换式分流线路(见图 1—1)。这种分流线路最可贵的优点是:电流档的最大电压降等于表头的满度电压降。因为万用电表表头的满度电压降一般很小(见附录 1),所以采用开路个别转换式分流线路的直流电流档的最大电压降也很小,甚至可小到 10mV 。但因为这种分流线路存在着致命的缺点,所以现在已被淘汰。

现在大部分万用电表的直流电流档都采用闭路抽头转换式分流线路(见图 1—2)。这种分流线路在测直流电流时的电压降可达 500mV 以上。即使是经过改进的性能比较好的 MF30 型,其直流电流档的电压降也可达 300mV 。

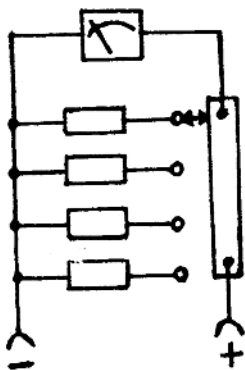


图 1—1

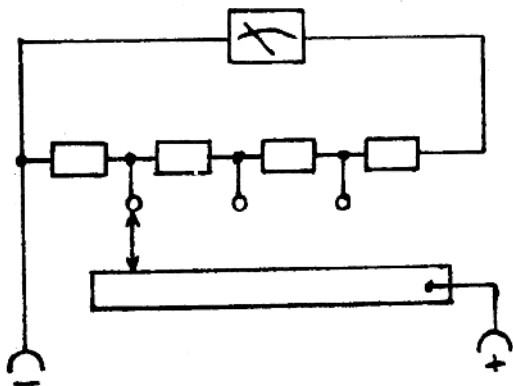


图 1—2

众所周知,电流档的电压降越小,对被测电路的影响就越小,测得值和被测电流的真实值的差别就越小。而如果电流档的电压降太大,那就会明显改变被测电路的工作状态,从而产

生很大的附加误差。举例来说,一个使用 1.5V 电源(一节干电池)的收音机最大工作电流为 100mA,则其等效电阻为 15Ω 。为便于分析,可假定该电阻为常量。如果万用电表直流电流档在测该电流时的电压降为 100mV,则测得值为

$$\frac{1.5 - 100 \times 10^{-3}}{15} = 0.093(\text{A})$$

这时因电流档电压降不为零而产生的相对误差(这里不包括电流档本身的误差)为

$$\frac{0.093 - 100 \times 10^{-3}}{100 \times 10^{-3}} \times 100\% = -7\%$$

如果万用电表直流电流档在测该电流时的电压降为 500mV,则测得值为

$$\frac{1.5 - 500 \times 10^{-3}}{15} = 0.067(\text{A})$$

这时因电流档电压降不为零而产生的附加相对误差为

$$\frac{0.067 - 100 \times 10^{-3}}{100 \times 10^{-3}} \times 100\% = -33\%$$

由此可见,直流电流档电压降过大会对低电压电路的测量产生不能容许的误差。随着半导体技术和微电机技术的迅速发展,低电压电路会越来越多。为了减小低电压电路中电流测量的误差,必须努力减小万用电表直流电流档的电压降。单从这一点来考虑,现在万用电表采用的闭路抽头转换式分流线路远不如过去的开路个别转换式分流线路。

既然如此,那为什么现在的万用电表都不采用开路个别转换式分流线路呢?原因就在于开路个别转换式分流线路存在着许多致命的缺点,如:转换开关触点处的微小接触电阻就有可能产生相当大的测量误差,而接触电阻是很难完全消除

的;在使用过程中换档或者转换开关本身失灵都有可能烧毁表头;会给电压档的设计和零欧姆调节电位器的设计带来很多麻烦。正是这些致命的缺点,使得万用电表一般不会再采用开路个别转换式分流线路。

第二节 改良型闭路抽头转换式分流线路

一般万用电表所用的闭路抽头转换式分流线路都是按极限灵敏度法设计的。所谓极限灵敏度法,就是在欧姆档的允许误差范围内,将表头的灵敏度扩展成最小简单整数。按极限灵敏度法设计可以使直流电压档有比较高的电压灵敏度。而改良型闭路抽头转换式分流线路是将表头的灵敏度扩展成较大的简单整数。这样虽然会降低电压灵敏度,但是能大大减小直流电流档的最大电压降。其原理可简述如下:

在闭路抽头转换式分流线路中,电流档的量限及其分流电阻的乘积为一常数,这个常数等于表头灵敏度 I_M 乘以表头内阻 r_0 及总分流电阻 R_S 之和,即等于 $I_M(r_0 + R_S)$ 。而直流电流档的最大电压降 U_m 约等于这个常数,即

$$U_m \doteq I_M(r_0 + R_S)$$

所以,在表头灵敏度及内阻均确定的情况下,只能通过减小总分流电阻 R_S 来减小最大电压降。因为总分流电阻在表头满度时通过的电流为 $\frac{I_M r_0}{R_S}$,所以直流电压档接入端的电压灵敏度为

$$\frac{1}{I_M + \frac{I_M r_0}{R_S}} = \frac{1}{I_M r_0 \left(\frac{1}{r_0} + \frac{1}{R_S} \right)}$$

显然, R_s 过小会导致电压灵敏度降低太多, 所以总分流电阻 R_s 的减小要适当。

MF66 型万用电表采用的就是改良型闭路抽头转换式分流线路(见图 1—3)。MF66 型万用电表表头的灵敏度为 $150\mu\text{A}$, 因而其极限灵敏度为 $200\mu\text{A}$, 对应的电压灵敏度为

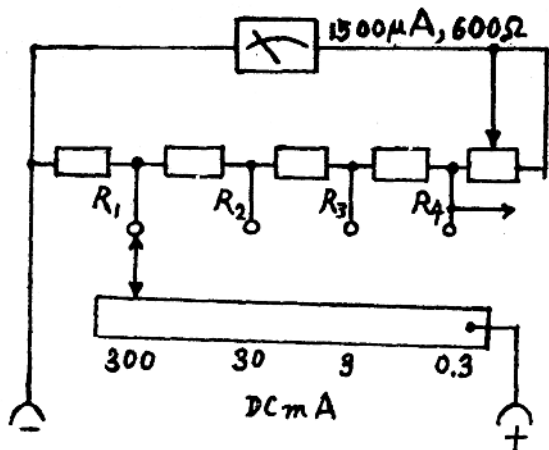


图 1—3

$5\text{k}\Omega/\text{V}$ 。但 MF66 型万用电表不采用极限灵敏度法而是将直流电压档接入端的灵敏度扩展为 $300\mu\text{A}$, 因而电压灵敏度降为 $3.3\text{k}\Omega/\text{V}$ 。这样做的好处是使直流电流档的最大电压降大大减小, 可减小到 270mV 。因此, 对于主要用来进行低内阻电源的电工测量的万用电表, 完全可以像 MF66 型万用电表那样采用改良型闭路抽头转换式分流线路, 以减小直流电流档的最大电压降。

第三节 开关型闭路抽头转换式分流线路

改良型闭路抽头转换式分流线路以牺牲电压灵敏度来减小直流电流档电压降的方法对大多数万用电表来说是不宜采用的。原因是大多数万用电表经常用来进行电子线路的测量,而电子线路内阻一般比较高,如果用电压灵敏度较低的万用电表测量直流电压就会产生不能容许的误差。例如,两个 $10\text{k}\Omega$ 电阻器串联接到电压为 2V 的电源上,则每个电阻器两端的电压都应该为 1V ,如果我们用电压灵敏度为 $2\text{k}\Omega/\text{V}$ 的万用电表的 2.5V 直流电压档测量其中一个电阻上的电压,那就相当于在这个电阻上并联了一个阻值为 $5\text{k}\Omega$ 的电阻。通过简单的混联电路运算可知,这个电阻上的被测电压只有 0.5V ,即万用电表的示数只有 0.5V 。显然,这么大的误差是不能容许的。为了在不减小电压灵敏度的前提下能减小直流电流档的最大电压降,一些万用电表采用了开关型闭路抽头转换式分流线路。

一般的闭路抽头转换式分流线路和表头以固定方式联接,因而无论转换开关停在何档,分流线路的分流作用总是存在的。因此,为了保证直流电压档有足够高的电压灵敏度,不能大幅度减小分流线路的总阻值。如果我们让闭路抽头转换式分流线路和表头通过开关联接,而让开关只在直流电流档接通,在其它档都分断,那就可以大幅度减小分流线路的总阻值以减小直流电流档的最大电压降而不会降低直流电压档的电压灵敏度。开关型闭路抽头转换式分流线路就是根据这个道理设计的。下面我们以图 1—4 为例进行讨论。

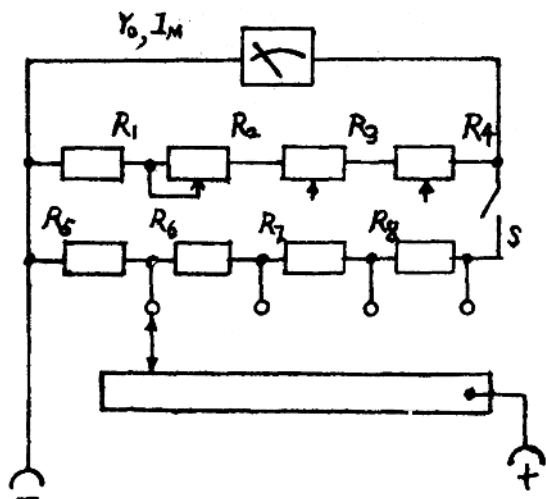


图 1—4

在图 1—4 中,表头、电阻 R_1 、可调电阻 R_2 及电位器 R_3 、 R_4 共同构成极限灵敏度线路,电阻 R_5 、 R_6 、 R_7 、 R_8 和开关 S 组成开关型闭路抽头转换式分流线路。设表头灵敏度 I_M 为 $81\mu\text{A}$,表头内阻 r_0 为 $1.65\text{k}\Omega$,则极限灵敏度电流 I_0 为 $100\mu\text{A}$ 。因此,极限灵敏度线路总分流电阻

$$\begin{aligned}
 R_S &= R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \\
 &= \frac{I_M r_0}{I_0 - I_M} \\
 &= \frac{81 \times 10^{-6} \times 1.65 \times 10^3}{100 \times 10^{-6} - 81 \times 10^{-6}} \\
 &= 7.03(\text{k}\Omega)
 \end{aligned}$$

通常零欧姆调节电位器 R_4 取 $2\text{k}\Omega$, 交流接入点调节电位器 R_3 取 $1\text{k}\Omega$, 因而电阻 R_1 可取 $3.3\text{k}\Omega$, 可调电阻 R_2 可取 $1.5\text{k}\Omega$ 。这样调节可调电阻 R_2 即可使直流电压档接入端电流灵敏度等于 $100\mu\text{A}$ 。在测直流电流时开关 S 接通, 使开关型闭路抽头转换式分流线路和极限灵敏度线路相联。如果我们把极限灵敏度线路看成一个新表头, 其灵敏度 I_0 为 $100\mu\text{A}$, 其内阻

$$\begin{aligned} R_0 &= \frac{r_0 R_s}{r_0 + R_s} \\ &= \frac{1.65 \times 7.03}{1.65 + 7.03} \\ &= 1.34 (\text{k}\Omega) \end{aligned}$$

那么开关型闭路抽头转换式分流线路的计算就可以采用普通闭路抽头转换式分流线路的计算方法。现计算如下:

$$\begin{aligned} R'_s &= R_5 + R_6 + R_7 + R_8 \\ &= \frac{I_0 R_0}{I_1 - I_0} \end{aligned}$$

式中 I_1 为直流电流档的最小量限。若 I_1 为 1mA , 则

$$\begin{aligned} R'_s &= \frac{100 \times 10^{-6} \times 1.34 \times 10^3}{1 \times 10^{-3} - 100 \times 10^{-6}} \\ &= 148.9 (\Omega) \end{aligned}$$

因而各量限的分流电阻为

$$\begin{aligned} R_s &= R_{1A} \\ &= \frac{I_0 (R_0 + R'_s)}{1} \\ &= 100 \times 10^{-6} \times (1.34 \times 10^3 + 148.9) \end{aligned}$$

$$=0.149(\Omega)$$

$$\begin{aligned} R_6 &= R_{100mA} - R_5 \\ &= \frac{I_0(R_0 + R'_S)}{0.1} - R_5 \\ &= 10 \times 100 \times 10^{-6} \times (1.34 \times 10^3 + 148.9) - 0.149 \\ &= 1.34(\Omega) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_7 &= R_{10mA} - R_5 - R_6 \\ &= \frac{I_0(R_0 + R'_S)}{0.01} - R_5 - R_6 \\ &= 100 \times 100 \times 10^{-6} \times (1.34 \times 10^3 + 148.9) - 0.149 - 1.34 \\ &= 13.4(\Omega) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_8 &= R'_S - R_{10mA} \\ &= R'_S - R_5 - R_6 - R_7 \\ &= 148.9 - 0.149 - 1.34 - 13.4 \\ &= 134(\Omega) \end{aligned}$$

显然,按上述方法设计的开关型闭路抽头转换式分流线路在测直流电流时的最大电压降只有 0.149V,而用同样表头的普通闭路抽头转换式分流线路在测直流电流时的最大电压降为

$$\begin{aligned} I_M(r_0 + R_S) &= 81 \times 10^{-6} \times (1.65 \times 10^3 + 7.03 \times 10^3) \\ &= 0.703(V) \end{aligned}$$

相比之下,很容易看出开关型闭路抽头转换式分流线路在测直流电流时具有电压降小的优点。

图 1—4 线路的缺点是需要单独设置一个开关 S,因而操