

电路理论基础实验参考资料

(試 行)

电视专业用

成都电讯工程学院

一九七二年六月

目 录

第一章 常用电工仪表

第一节 常用电工仪表的识别

第二节 电磁式仪表

第三节 电动式仪表

第二章 几种常用实验仪器介绍

第一节 滑线电阻器

第二节 自耦变压器

第三节 电子管电压表

第四节 音频讯号发生器

第五节 阴极射线示波器

第三章 怎样做实验

第一节 实验方法

第二节 实验结果分析

附录 I 周期性电流瞬时值与有效值的关系

附录 II 计算尺讲义

为了帮助大家学习基本实验技能，特别写了这个补充材料，着重介绍常用电工仪表的原理及使用方法；几种常用仪器的使用说明如何进行电工实验等问题。

本课程是一门理论基础课，过去一直存在着理论脱离实际的现象。毛主席教导我们：“理性认识依赖于感性认识，感性认识有待于发展到理性认识，这就是辩证唯物论的认识论。”我们必须改变理论脱离实际的现象，坚持理论联系实际，在实践的基础上学好理论课程。为了帮助大家向实践学习，对一些基本实验技能介绍如下。

第一章 常用电工仪表

常用电工仪表是指常用的交、直流电压、电流表，以及交流功率表。

通过学习，大家对直流电压、电流表已经了解。能不能用它们测量交流电压、电流呢？可以肯定地说，不能用直流表测交流。本章着重介绍测量 50Hz 工频的正弦电压电流和电功率的仪表，它们采用了与测量直流用的磁电式表头不同的测量机构。

必须指出，实验室用的携带式交流电工仪表只能用于测量 50Hz 工业频率的正弦电压电流。如果用它们测量频率更高的交流，不仅误差大，甚至根本不能使用。这是由于交流电工仪表的测量机构有自己的局限性。

在无线电技术中所遇到的讯号的频率大约为 $0 \rightarrow 3 \times 10^{12}\text{Hz}$ 。频率愈高，电路中出现的电磁关系就更为复杂，因而对不同频率范围内的测量仪器是各不相同的。在一定条件下，能够测量高频的仪器可以用于低频测量，例如高频真空管电压表可以测量低频的交流电

压。但是，测量低频的仪器不能用于高频测量。我们在选用仪器时，必须注意该仪器适用于什么样的频率范围，否则，测量结果是没有意义的。

第一节 常用电工仪表的识别

当我们带着任务去做实验，必然会碰到选用什么样的仪表的问题，哪些是交流表？哪些是直流仪表呢？是电压表还是电流表呢？它们能测量什么范围的物理量呢？准确程度如何？等等问题，都会摆在我们的面前。如何不恰当地选用仪表，就不能正确地测出数据，甚至会损坏仪器设备。

怎样识别电工仪表呢？我们可以从电工仪表表面上标注的符号来识别。

(一) 交、直流电表的识别：

(1) 当看到仪表表面标注有



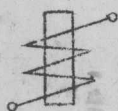
(磁电式，或叫永磁式)



(测直流)

表示该表为磁电式机构，测直流用的。

(2) 当看到仪表表面标注有



(电磁式，即铁叶式)



(测交流)

一般说来，万用表的交流测量系统可测的频率范围为45 → 1000Hz，对于频率更高的交流电压电流，就应使用电子仪器。如实验室用的真空管电压表（即电子管电压表），它是电子管整流电路与磁电式表头相结合的测量仪表。一般可以测量50 → 5 × 10⁴ Hz范围内的电压电流。高频真空管电压表的可测频率范围一般高达500兆赫。电子管电压表测量系统标注为：



（电子管整流式）

（二）其它符号的识别：

不论是直流仪表还是交流仪表，有些符号都有共同的意义。

（1）放置方法

仪表表面上标注有

→ 或 ———— （水平放置）

↑ 或 ⊥ （垂直放置）

如果不按规定而任意放置仪器，则测量结果必然带来附加误差，降低其准确程度。

（2）准确程度

选用仪表时，要使得测量要求的准确程度与仪表具有的准确程度相适应。怎样判断一个仪表的准确程度呢？仪表在出厂时，根据它测量时的“相对误差”的大小已经定出了仪表准确程度的级别，并且将该

级别註於其表面上供使用时参考。

什么是“相对误差”呢？由于各种原因，用仪表测量时，其测量结果，总是不能完全达到真实值的，就是说，测量结果一定会有程度不同的误差的。关于产生误差的原因在后面的章节里还要详细分析，这里只着重介绍“相对误差”的概念。

以直读式直流电流表（直接读数的仪表）为例，设在图（1-1）中，用直读式直流电流表测量电流。

如果电流表A测量结果为 I_z ，实际电流值应为 I ，当测量结果 I_z 有一定的误差时，其测量误差可用两种方式来表示，

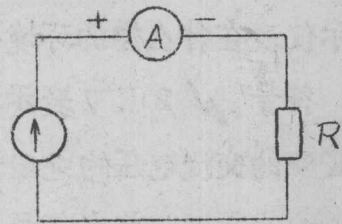


图1-1

第一，绝对误差 $\Delta = I_z - I$

第二，相对误差 $\beta = \frac{\Delta}{I} = \left(\frac{\Delta}{I}\right) \times 100\%$

相对误差比较能够说明仪表的准确度。直读式电工仪表的准确程度就是用该表的额定最大相对误差来标注的，即说是，在一定的条件下，以指针指示满刻度值时可能出现的最大相对误差来标注。

直读式仪表的准确度分为0.1、0.2、0.5、1、1.5、2.5、4等七个级别，这在仪表表面上可以查到。它们表示在温度为20°C；仪表位置正常；没有外界磁场影响等条件下，仪表可能出现的额定最大相对误差分别为0.1%，0.2%，0.5%，1%，1.5%，2.5%，4等。显然，额定最大相对误差愈小，仪表准确程度愈高。

0.1、0.2级仪表一般作为标准表，用以校正其它级别的仪表。

(3) 防外磁场的能力、工作环境和绝缘试验。








有的电工仪表上还标有符号 I, II, III, IV。它们表示仪表防止外界磁场影响的能力的四种等级,即在一定的外磁场影响下,允许产生的附加误差分别为0.5%, 1%, 2.5%, 5%等四个等级,要注意,这个附加误差是在表示仪表准确程度的基本误差以外的附加误差,而且仅仅表示受一定的外磁场影响下的附加误差。显然,附加误差愈小,仪表防外磁场影响的能力愈强。

此外,有的仪表表面还标註有符号 $\triangle A$, $\triangle B$, $\triangle C$; 它们表示仪表在什么样的环境条件下才能正常使用。具体规定见下表。

符号 $\surd 2KV$ 表示在仪表外壳和内部测量机构之间已承受过2KV的交流电压的绝缘试验。

综上所述,将各符号及其意义列於下表。

符号	意义	符号	意义
	磁电式	\uparrow	垂直放置
	电磁式	\rightarrow	水平放置
	电动式	$\bigcirc 0.2$	20°C, 位置正常, 没有外磁场影响下, 准确度0.2级最大相对误差0.2%
	半导体整流式	$\bigcirc 0.5$	条件同上, 准确程度0.5级, 最大相对误差0.5%
—	测直流	$\bigcirc 1$	条件同上, 准确度1级, 最大相对误差1%
	测交流	$\square I$	I级防外界磁场, 允许产生误差0.5%
	测交、直流		

	II级防外界磁物, 允许产生误差1%		工作环境 $-20^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$ 湿度 85% 以下
	III级防外界磁场, 允许产生误差2.5%		工作环境 $-40^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$ 湿度 98% 以下
	IV级防外界磁场, 允许产生误差5%		仪表绝缘试验电压 2 KV
	工作环境 $0^{\circ}\text{C} \rightarrow +40^{\circ}\text{C}$ 湿度 85% 以下		

第二节 电磁式仪表

当我们能从仪表表面上的符号分辨出它们的测量机构和应用范围之后, 应该进一步了解其工作原理以及具体的使用方法, 才能正确地使用和维修。

(一) 电磁式与磁电式的比较

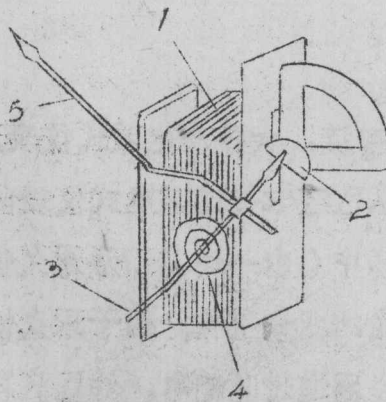
测量 50 Hz 工业频率的电压电流, 大多用电磁式仪表。为什么不能用磁电式仪表测量交流呢? 从已经学习过磁电式仪表的基本原理中知道, 它是由载流导线在磁场中(由一块马蹄形永久性磁铁形成)受到机械力矩作用而转动组成的测量机构。由于永久性磁铁形成局部的均匀磁场, 因而载流线圈通过直流时, 线圈只向一个方向转动, 电流愈大, 转动的角度愈大, 线圈带动的指针的指示也愈大。但是, 当线圈通过正弦交流时, 由于电流的大小和方向不断改变, 线圈转动的力矩的大小和方向也不断改变, 当电流的频率比较高时, 由于线圈转动的惯性, 使得线圈来不及转动, 因而不直

接用磁电式仪表测量交流。测量交流时，常常采用两种办法，测量50Hz工频交流时，大多用电磁式仪表；测量频率更高的交流时，采用整流电路与磁电式表头相结合的测量系统，万用表和真空管电压表就是如此。

(二) 电磁式仪表的基本原理

电磁式仪表是利用电流的磁效应而构成的，当通过它的电流是交流的，其指针只向一个方向偏向，解决了磁电式仪表不能直接测交流的问题。具体来说，电磁式仪表分为两类，一类叫吸引式，一类叫排斥式，这两类仪表的基本原理都相同。

以吸引式电磁式仪表为例来说明其基本原理。从图(1-2)所示的平线圈电磁式测量机构(即吸引式)的示意图中看出，它有一个扁平的固定线圈①，线圈上开有一个窄缝，另有一活动软铁片②，偏心地固定在转轴③上，并恰好对准窄缝口子。



- 1—平线圈； 2—铁片；
- 3—轴； 4—螺旋弹簧；
- 5—指针。

图1-2 平线圈电磁式
测量机构

当固定线圈中通过被测电流时，在线圈周围要产生磁场，该磁

场使临近线圈的软铁片磁化，成为电磁铁，於是，线圈就将吸引铁片向窄缝内转去。如果电流改变方向，软铁片磁化的极性也随之改变方向，因而线圈依然吸引铁片，使之仍向窄缝内转去。铁片通过转轴带动指针，指针始终向一个方向偏转。同时，转轴又带动弹簧扭转，当指针静止时，由于弹簧产生的反抗力矩与磁力矩相平衡，则指针的偏转角与电磁力矩成正比。理论上可以证明：电磁力矩是与载流线圈产生的磁场的平方有关，若线圈中的电流是周期性交流，则电磁力矩就与电流有效值的平方有关。如果在仪表刻度尺上以电流有效值刻度，那么，指针就直接指示出电流有效值的数值。线圈中电流的有效值愈大，指针的偏角也愈大。

值得注意的是，指针的偏转角不是正比例於电流有效值，因而在刻度尺上以电流有效值刻度时，就会出现刻度不均匀的问题。不过，指针偏转角从约为 20° 至 90° 之间的范围内大致上与电流有效值成正比。使得刻度尺上从20%至25%开始，读数基本上是均匀的。因此，最好对量程选择适当，不要在刻度尺上25%以下读数。不仅如此，为要减小相对误差，选择量程最好也应使指针有 30° 以上的偏转角。电磁式仪表除了吸引式的测量机构外，还有排斥式测量机构，如图(1-3)所示。其工作原理与吸引式没有本质的差别。只不过排斥式具有两个软铁片，一个固定，一个能够活动，当载流线圈产生磁场时，两软铁片同时磁化，而且极性相同，从而互相排斥，使活动铁片转动，并带动轴和指针等一起偏转。线圈中通过的被测电流愈大，活动铁片转动的角度也愈大。

(三) 电磁式仪表的使用：

从上知道，电磁式仪表与磁电式仪表的基本原理各不相同，那么在使用上又该有哪些特点呢？

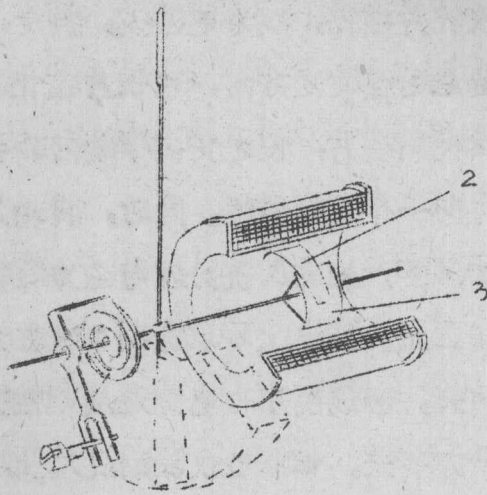


图1-3 具有圆线圈和推拒铁片的电磁式测量机构
1—线圈；2—固定铁片；3—活动铁片。

(1) 从电磁式仪表的基本原理不难看出，它既可测直流也可以测交流，因为当线圈通过直流或者交流时，指针都会作定向偏转。

但因其灵敏度和准确度都不如磁电式仪表（通常准确度仅达1—1.5级），故实际上很少用于直流测量。

(2) 电磁式仪表与磁电式仪表不同，它是没有极性的。因为无论线圈中电流的方向怎么变化，线圈始终吸引（对吸引式来说）软铁片，使铁片向一个方向转动。因此，我们不必像对磁电式仪表那样注意正负极性。

(3) 用电磁式仪表作电流表时，应该串接在被测支路上，如果错误地并联在某元件两端，将可能损坏仪表。选用电流表时，不仅希望准确度尽可能高些，而且也希望其内阻尽可能小些，这样，测量误差才会尽量小一些。

电磁式电流表扩程时，也采用分流办法，但不用分流电阻，而是

将固定线圈绕成几段，用段与段之间进行串联或并联的方法来改变量程。实际上，固定线圈分段后，每段都用导线引至仪表表壳上，我们就在表壳上改变换接片的接法，使内部的固定线圈各段间接成串联或并联，从而改变仪表量程。如图(1-4)(一)为串联，量程是0.5A，图(1-4)(二)为并联，量程是1A，a、b为接线柱。

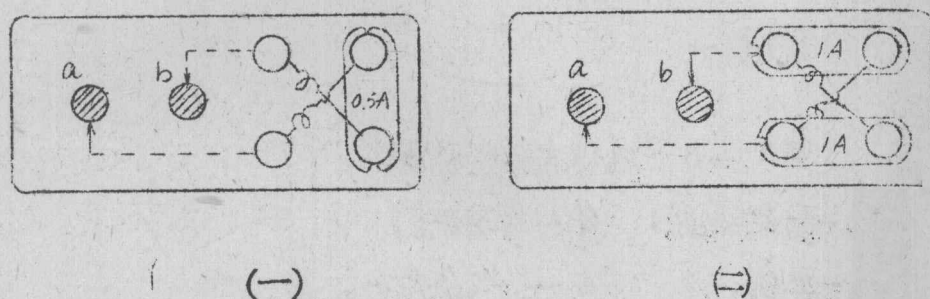


图 1 - 4

(4) 电磁式电压表的接法是，应并联在被测电压的两端。扩程时，同磁电式直流电压表相似，也采用串接适当的附加电阻的办法。选用时，既希望准确度尽可能高些，也希望其内阻尽可能大些。

第三节 电动式仪表

我们不仅关心电路电压电流关系，而且也关心电功率问题。电功率的测量可以直接用功率表测量或是用间接的方法测量。工频正弦电流电路上的电功率可以用电动式功率表直接进行测量，但在无线电技术中电动式功率表却很少使用。

(一) 基本原理：

电动式仪表主要由两个线圈（一个活动线圈和一个固定线圈）组

成。其测量机构如图

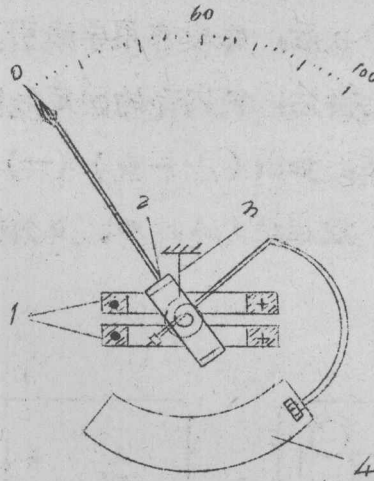


图 1-5 电动式测量机构

- 1 — 固定线圈； 2 — 活动线圈；
3 — 弹簧； 4 — 空气阻尼器。

(1-5) 所示。当两线圈通过电流时，载流的固定线圈将产生一个磁场，它起的作用同磁电式仪表的永久性磁铁相似，其磁场作用于载流的活动线圈，使之受力而绕轴转动。电动式仪表可以测量交流，当固定线圈通入与活动线圈有关的电流时，就可以使得它产生的磁场的方向能够紧跟活动线圈电流的变化而变化。这样一来，虽然电流是交变的，但活动线圈始终只向一个方向偏转。

理论上可以证明，如果将固定线圈与负载串联（叫做“电流线圈”）而将活动线圈与负载并联（叫做“电压线圈”），指针的偏转角正比例于负载上的电功率。

(二) 使用

用电动式功率表测量电功率，相当于将两个有关联的电压电流表接入电路。值得注意的是，由于其指针偏转方向是由两个线圈里电流的方向所决定的，假使两线圈里的电流按一定的方向流动，指针始终

作正向偏转，那就可以在仪表上读数；如果改变其中某一线圈电流的方向，指针将始终作反向偏转，那就无法从仪表上读数了。为了帮助大家不致接错，特在两线圈的接线柱上标以“*”或“±”的符号，叫做极性端（或叫发电机端），然后照图（1-6）接线就不会出错了。在图示的两种接法中，对两线圈来说电流的方向都是一样的，所

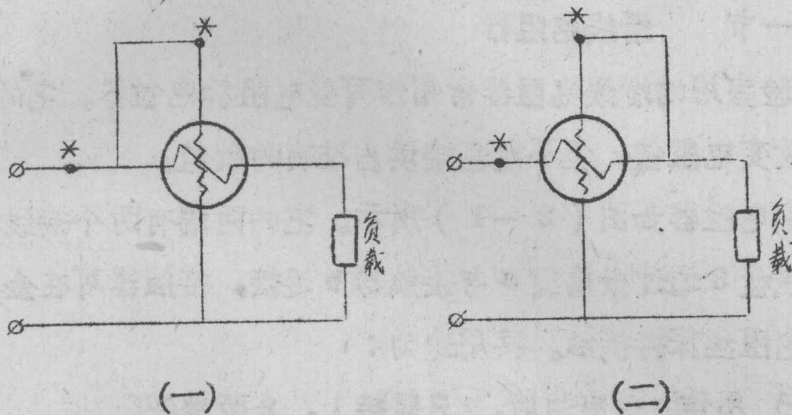


图 1 - 6

不同的仅仅是与负载“先串后并”还是“先并后串”的问题。

(2) 根据仪表本身的结构特点，为了保护仪表起见，规定电流线圈的*端与电源相联，非*端才与负载相联。如图（1-6）所示。

(3) 电动式功率表，一般用于工频。当频率比较高时，其指针的偏转角并不正比例于电功率。

(4) 功率表的扩程可分别进行电流扩程和电压扩程，方法与电磁式仪表相似。如果同时将电流电压扩程一倍，则功率扩程4倍。

第二章 几种常用实验仪器介绍

本课程应做的实验中，除上述电工仪表外，还要使用以下几种常用仪器，其中属于电子仪器类的，因目前所学知识有限，其工作原理暂不介绍，只介绍使用方法。

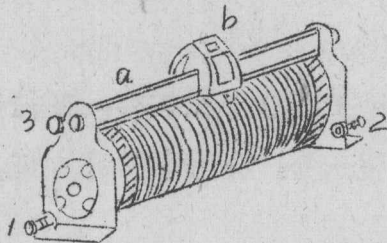
第一节 滑线电阻器

实验室用的滑线电阻器常用作可变电阻和电位器。它的特点是可连续改变电阻值，但不能直接读出准确的数值。

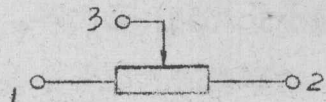
滑线电阻器如图(2-1)所示。它的两端有两个接线柱1与2，另一接线柱3通过金属棒a与接触器b连接，接触器可在金属棒上滑动并与电阻丝保持接触。其用途为：

(一) 用作固定电阻时，只需接1，2两端钮。

(二) 用作可变电阻时，把1与3端或2与3端接入电路。使用时先将电阻调至最大位置，使电路通电后电流最小，然后调至所需要的电阻值，这样才不致因电流过大而损坏电路中的仪器。



外形图



电路图

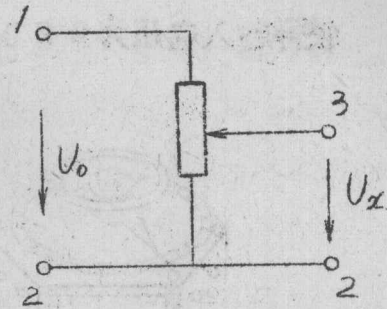
图(2-1)

(三) 用作电位器，在直流电路实验中，需要从某一定的电压上

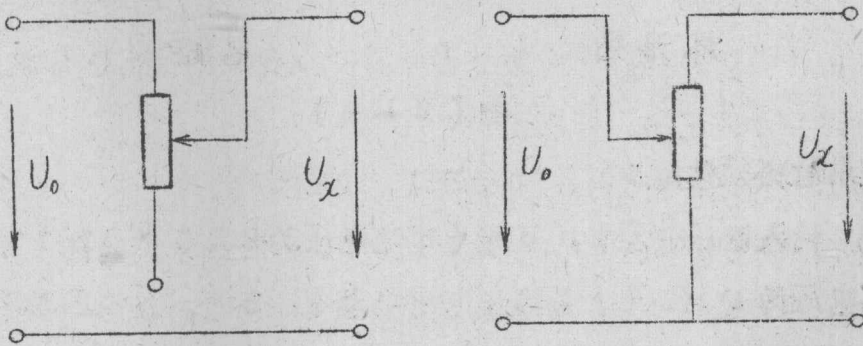
取得一个比它低的电压(即分压)时,可按图(2-2)接线。

输入电压 U_0 接在1, 2端,
2, 3端上的电压就是输出电压。
滑动3端可以调节输出电压的大小。

希注意,不能照图(2-3)接
线来分压,因这种方法不仅调节
电压范围小而且有使电源短路的危险
危险。



图(2-2)



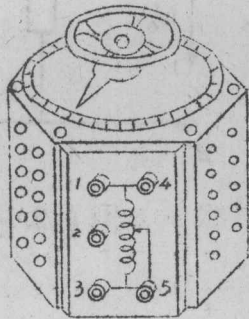
图(2-3)

最后指出,使用滑线电阻时,无论它起什么作用,都必须先注意
两个问题,一是全电阻值的大小,一是额定电流(或额定功率),要
求在长期使用中都不允许超定额定电流,否则,有可能烧毁电阻器。

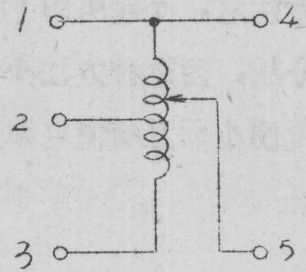
第二节 自耦变压器

要调节市电电压时,如果使用滑线电阻器,就会因电源电压较高,
不仅造成设备本身的功率损耗较大,而且操作起来也不够安全。为此
多采用自耦变压器进行调压。

自耦变压器如图(2-4)所示。它是一个绕制在铁芯上感应线圈。其功率损耗比滑线电阻小得多。而且由于各线匝间的互感作用，使得输入电压为 220V 时，输出电压可达到 250V 左右。



外形图



电路图

图(2-4)

使用时必须注意：

(1) 输入电压接至1, 3端(市电电压为 220V)或1, 2端(市电电压为 110V)；输出电压接至4, 5端。注意不要将输入输出端掉换接线, 否则会出现图(2-3)类似的问题而烧毁设备。

(2) 使用时, 不得超过标注的额定电流或额定容量。

(3) 在输入端接入电源或撤除电源时, 都必须先将手轮转到零位置, 以免发生意外事故。

第三节 电子管电压表

电子管电压表是由电子管测量电路与磁电式表头组成的仪器, 用以测量交、直电压。目前所用的GB-2型电子管电压表是测量交流电压的, 其测量电路为电子管整流电路。电子管电压表的优点有：输入阻抗(即内阻抗)较高；消耗电路的功率很小；灵敏度比较高；可