

第5章

电子电压表

电压是一个基本物理量,是电路中表征电信号能量的3个基本参数(电压、电流、功率)之一。电路中其他电参数,包括电流和功率,以及信号的调幅度、波形的非线性失真系数、元件的 Q 值、网络的频率特性和通频带、设备的灵敏度等,都可以视为电压的派生量,通过电压测量获得其量值。

电压测量是通过电压表来实现的。将电压表并接在被测电路上,只要电压表的输入阻抗足够大,就可以在几乎不对原电路工作状态有所影响的前提下获得较满意的测量结果。由于电压测量直接、方便,所以在电子电路和设备的测量调试中,电压测量是不可缺少的基本测量。

5.1 电子电压表简介

在一般工频(50Hz)和要求不高的低频(低于几十千赫)测量时,可使用一般万用表电压挡,其他情况大都使用电子电压表。电压测量仪器主要指各类电子电压表,电子电压表测量电压及其等效电路如图5.1所示。

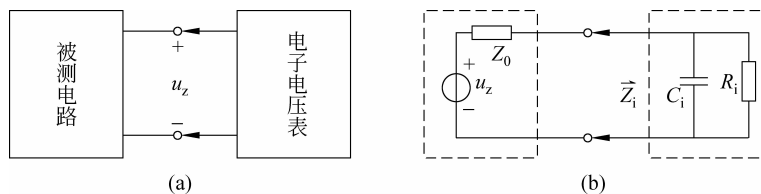


图 5.1 电子电压表测量电压及其等效电路

电子电压表有许多种类,通常按显示方式不同将其分为模拟式电子电压表和数字式电子电压表。

5.1.1 电子电压表工作原理

1. 模拟式电子电压表

模拟式电子电压表以指针显示测量结果。虽然模拟式电压表准确度和分辨率不及数字式电压表,但由于结构相对简单,价格较为便宜,频率范围也宽,所以应用较广。另外在某些场合,并不需要准确测量电压的真实大小,而只需要知道电压大小的范围或变化趋势时,通常选择用模拟式电压表。

模拟电子电压表有多种类型,按测量功能可分为直流电压表、交流电压表和脉冲电压表。其中脉冲电压表主要用于测量脉冲间隔很长(即占空系数很小)的脉冲信号和单脉冲信号,一般情况下脉冲电压的测量已逐渐被示波器测量所取代;按测量电压量级可分为电压表和毫伏表。电压表的主量程为 V(伏)量级,毫伏表的主量程为 mV(毫伏)量级。其中,主量程是指不加分压器或外加前置放大器时电压表的量程。

1) 直流电子电压表

图 5.2 是动圈式电压表示意图。图中虚框内为一个直流动圈式高灵敏度电流表,内阻为 R_e ,满偏电流(或满度电流)为 I_m ,若作为直流电压表,则满度电压 $U_m = R_e \cdot I_m$ 。例如,满偏电流为 $50\mu\text{A}$,电流表内阻为 $20\text{k}\Omega$,则满偏电压为 1V 。为了扩大量程,通常串接若干倍压电阻,如图中 R_1 、 R_2 、 R_3 ,这样除了不串接倍压电阻的最小电压量程 U_0 外,又增加了 3 个电压量程 U_1 、 U_2 、 U_3 ,不难计算出 3 个倍压电阻的阻值分别为

$$R_1 = (U_1 / I_m) - R_e$$

$$R_2 = (U_2 - U_1) / I_m$$

$$R_3 = (U_3 - U_2) / I_m$$

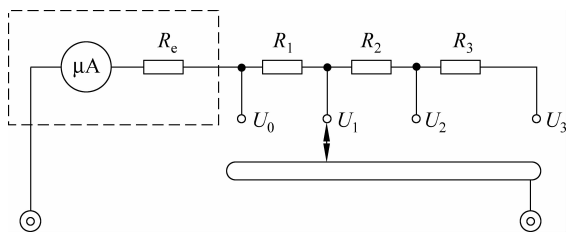


图 5.2 动圈式电压表示意图

2) 交流电子电压表

交流电子电压表采用的测量交流电压的方法很多,依据的原理也不同。其中最主要的是利用交流/直流(AC/DC)转换电路将交流电压转换成直流电压,然后再接到直流电压表上进行测量。根据 AC/DC 转换器的类型,可分成检波法和热电转换法;根据检波特性的不同,检波法又可分成平均值检波、峰值检波、有效值检波等。

2. 数字式电子电压表

数字式电子电压表用数字显示器显示测量结果。数字式电压表的优点表现在:测量准确度高,测量速度快,输入阻抗大,过载能力强,抗干扰能力和分辨率优于模拟式电压表。此

外,由于测量结果是以数字形式输出、显示,除读数直观外,还便于和计算机及其他设备联用组成自动化测试仪器或自动测试系统。目前由于微处理器的运用,高中档数字式电压表已普遍具有数据存储、计算及自检、自校、自动故障诊断功能,并配有 IEEE 488 或 RS232C 接口,很容易构成自动测试系统。数字式电压表当前存在的不足是频率范围不及模拟式电压表。

数字式电压表目前尚无统一的分类标准。一般按测量功能分为直流数字电压表和交流数字电压表。交流数字电压表按其 AC/DC 转换原理分为峰值交流数字电压表、平均值交流数字电压表和有效值交流数字电压表。图 5.3 为三位半数字电压表原理框图。

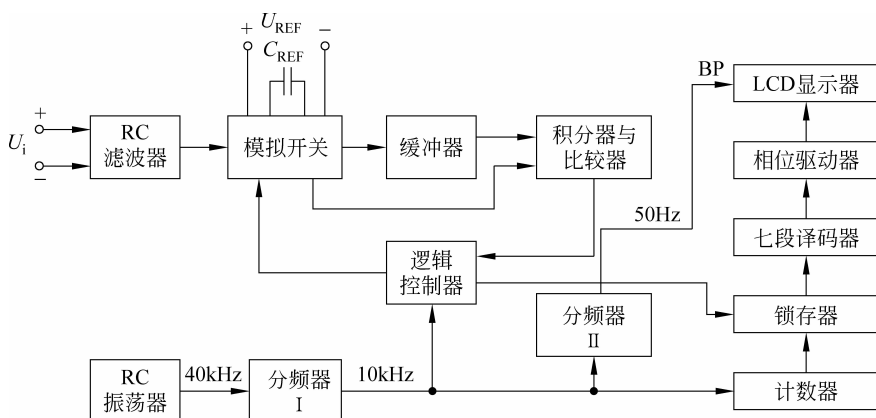


图 5.3 三位半数字电压表原理框图

5.1.2 电压表使用说明

衡量电压表的主要性能指标有以下几个。

1. 频率范围

电子电路中电压信号的频率范围相当广,除直流外,交流电压的频率从 10^{-6} Hz(甚至更低)到 10^9 Hz,频段不同,测量方法手段也各异。

2. 测量范围

电子电路中待测电压的大小低至 10^{-9} V,高到几十伏、几百伏甚至上千伏。信号电压电平低,就要求电压表分辨力高,而这些又会受到干扰、内部噪声等限制信号的影响,信号电压电平高,就要考虑电压表输入级中加接分压网络,而这又会降低电压表的输入阻抗。

3. 信号波形

电子电路中待测电压的波形除正弦波外,还包括失真的正弦波以及各种非正弦波(如脉冲电压等),不同波形电压的测量方法及对测量准确度的影响是不一样的。

4. 被测电路的输出阻抗

电压表是并联在被测电路中的,电压表的输入阻抗与被测电路的输出阻抗就形成了并联关系,致使电压表的负载效应对测量结果的准确度造成影响,尤其是对输出阻抗比较高的被测电路。

5. 测量精度

由于被测电压的频率、波形等因素的影响,电压测量的准确度有较大差异。电压值的基准是直流标准电压,直流测量时分布参数等的影响也可以忽略,因而直流电压测量的精度较高。目前利用数字电压表可使直流电压测量精度优于 10^{-7} 量级。但交流电压测量精度要低得多,因为交流电压须经交流/直流(AC/DC)转换电路变成直流电压,交流电压的频率和电压大小对 AC/DC 转换电路的特性都有影响,同时高频测量时分布参数的影响很难避免和准确估算,因此目前交流电压测量精度一般在 $10^{-2} \sim 10^{-4}$ 量级。

6. 干扰

电压测量易受外界干扰影响,当信号电压较小时,干扰往往成为影响测量精度的主要因素,所以要求高灵敏度电压表(如数字式电压表、高频毫伏表等)必须具有较高的抗干扰能力,测量时也要特别注意采取相应措施(例如正确的接线方式、必要的电磁屏蔽),以减少外界干扰的影响。

虽然电子电压表按检波器方式不同可分为均值电压表、有效值电压表和峰值电压表 3 种类型,但一般各种电压表都是按正弦波有效值确定刻度的,因此,当被测电压为非正弦波时,将会带来额外误差,称为电压表的波形响应。不同响应的电压表在测量正弦波、方波、三角波及锯齿波电压时,读数与波形参量的关系如表 5.1 所示。根据此表,可由读数换算出相应参量的数值。

表 5.1 正弦波、方波、三角波及锯齿波电压的相关参量

电表类型	波形	读数	峰值 U	有效值 U	平均值 $\bar{U}$
全波均值电压表	正弦波	A_1	$\sqrt{2}A_1$	A_1	$\frac{2\sqrt{2}}{\pi}A_1$
	方波	A_2	$\frac{2\sqrt{2}}{\pi}A_2$	$\frac{2\sqrt{2}}{\pi}A_2$	$\frac{2\sqrt{2}}{\pi}A_2$
	三角波	A_3	$\frac{4\sqrt{2}}{\pi}A_3$	$\frac{4\sqrt{2}}{\pi\sqrt{3}}A_3$	$\frac{2\sqrt{2}}{\pi}A_3$
	锯齿波	A_4	$\frac{4\sqrt{2}}{\pi}A_4$	$\frac{4\sqrt{2}}{\pi\sqrt{3}}A_4$	$\frac{2\sqrt{2}}{\pi}A_4$
有效值电压表	正弦波	A_1	$\sqrt{2}A_1$	A_1	$\frac{2\sqrt{2}}{\pi}A_1$
	方波	A_2	A_2	A_2	A_2
	三角波	A_3	$\sqrt{3}A_3$	A_3	$\frac{\sqrt{3}}{2}A_3$
	锯齿波	A_4	$\sqrt{3}A_4$	A_4	$\frac{\sqrt{3}}{2}A_4$
峰值电压表	正弦波	A_1	$\sqrt{2}A_1$	A_1	$\frac{2\sqrt{2}}{\pi}A_1$
	方波	A_2	$\sqrt{2}A_2$	$\sqrt{2}A_2$	$\sqrt{2}A_2$
	三角波	A_3	$\sqrt{2}A_3$	$\sqrt{\frac{2}{3}}A_3$	$\sqrt{\frac{2}{2}}A_3$

5.2 实验

5.2.1 实验仪器介绍

本实验使用指针式交流毫伏表,如图 5.4 所示。

1. 主要性能指标

(1) 具有测量交流电压、电平、监视输出三大功能。

(2) 交流测量电压范围是 $100\text{nV} \sim 300\text{V}$ 、 $5\text{Hz} \sim 2\text{MHz}$, 共分 1mV 、 3mV 、 10mV 、 30mV 、 100mV 、 300mV 、 1V 、 3V 、 10V 、 30V 、 100V 、 300V 共 12 挡;电平 dB 刻度范围为 $-60 \sim +50\text{dB}$ 。

(3) 表头刻度盘上共有 4 条刻度。第一条和第二条刻度为测量交流电压有效值的专用刻度,第三条和第四条刻度为测量分贝值的刻度。当量程开关分别选 1mV 、 10mV 、 100mV 、 1V 、 10V 、 100V 挡时,从第一条刻度读数;当量程开关分别选 3mV 、 30mV 、 300mV 、 3V 、 30V 、 300V 时,应从第二条刻度读数。当用该仪器测量电平时,从第三条和第四条刻度读数,读数方法是:量程数加上指针指示值等于实际测量值。

2. 使用注意事项

(1) 当不知被测电路中电压值大小时,必须先将毫伏表量程开关置最高量程,然后根据表针所指的范围,采用量程递减的方法,直至指针指在大于量程的 $2/3$ 的位置为止。

(2) 若要测量高电压,输入端黑色鳄鱼夹必须接在“地”端。

(3) 测量前应短路调零。打开电源开关,将测试线的红黑夹子夹在一起,通过量程旋钮选择 1mV 量程,指针应指在零位。若不指在零位,应检查测试线是否短路或接触不良,若是,应更换测试线。

(4) 交流毫伏表灵敏度较高,打开电源后,在较低量程时由于干扰信号(感应信号)的作用,指针会发生偏转,称为自起现象。所以在不测试信号时应将量程选择至较高量程挡,以防打弯指针。

(5) 交流毫伏表接入被测电路时,其黑夹子应始终接在电路的“地”上(成为公共接地),以防干扰。

(6) 读数前再次检查量程,选择相应刻度线,量程错位或刻度线读错都会造成读数错误。



图 5.4 实验用交流毫伏表

5.2.2 交流毫伏表实现电压测量(一)

1. 实验目的

正确使用交流毫伏表及其读数方法。

2. 实验器材

- (1) 函数信号发生器一台。
- (2) 示波器一台。

3. 实验内容及方法

实验中所用的交流毫伏表是有效值表,而数字存储示波器显示的不仅有有效值,还有峰-峰值和平均值等。

- (1) 函数信号发生器的输出与交流毫伏表的输入及示波器的输入相连。
- (2) 函数信号发生器的输出信号波形分别选择正弦波、三角波和方波。
- (3) 调节函数信号发生器输出信号的幅值,用示波器监测峰-峰值。
- (4) 记录交流毫伏表示值,填写表 5.2。

表 5.2 示波器峰-峰值与交流毫伏表记录值

波形选择	正弦波			三角波			方波		
示波器/V	1.0	1.5	2.0	1.0	1.5	2.0	1.0	1.5	2.0
毫伏表/V									

- (5) 分析不同波形的峰值、有效值关系并比较示波器和交流毫伏表的结果。

5.2.3 交流毫伏表实现电压测量(二)

1. 实验目的

正确使用交流毫伏表,掌握测量小信号电压的方法。

2. 实验器材

- (1) 实验测试板一块。
- (2) 函数信号发生器一台。
- (3) 指针式交流毫伏表一台。

3. 实验内容及方法

- (1) 将函数信号发生器设置为正弦信号输出,接入实验测试板上放大电路的输入端。
- (2) 将交流毫伏表分别接入实验电路系统放大电路部分的输入端和输出端。
- (3) 调整函数信号发生器的输出信号频率分别为 10Hz、100Hz、500Hz、1kHz、10kHz、50kHz、100kHz、500kHz、1MHz、1.5MHz、2MHz、2.5MHz、3MHz、3.5MHz、4MHz、4.5MHz、5MHz、5.5MHz,用交流毫伏表测量放大电路部分的输入和输出端电压值。示值记录在表 5.3 中。

表 5.3 放大电路的输入、输出电压表

输入频率	10Hz	100Hz	500Hz	1kHz	...	4MHz	4.5MHz	5MHz	5.5MHz
电压值(输入端)									
电压值(输出端)									

- (4) 结合放大电路的理论放大倍数,分析测量结果,总结误差,同时,简单画出放大电路系统幅度响应曲线。



思考题

- 5.1 为什么用 dB 标尺的交流毫伏表？其电压多量程的分挡总是采用 $\sqrt{10}$ 倍率吗？
- 5.2 如何判断电压表是采用何种检波方法的？
- 5.3 数字电压表和模拟电压表相比各有什么优缺点？