

第3章

基本电量的测量方法

3.1 电压的测量

在模拟电子技术中,电压是最基本的参数之一。各种电路的工作状态通常都以电压的形式反映出来,而电子设备的各种信号也主要是用电压来表现。例如:功放电路的输出功率、谐振回路的品质因数(Q 值)、信号波形的失真系数、调幅信号的调幅系数等电参数的测量都可以归结为电压的测量;电子设备和电路的输入信号、输出信号、控制信号和反馈信号通常都用电压来表示。在测得了这些信号的电压值后,就能掌握电子设备和电路的工作情况。因此,电压测量是电参数测量的基础。

为了准确测量电压值,需要了解模拟电路中电压的特点以及应注意的问题。

1. 电压的特点

1) 电压的频率范围宽

电子电路中电压的频率范围很宽,可从直流到上千兆赫交流。各种测量电压的仪器仪表都有确定的频率限制,超过此限制会引起很大的测量误差,因此要根据被测电压的频率(范围)选择测量仪器仪表。例如一般万用表可以测量市电 50Hz、220V 的交流电。但如果被测的是 20kHz 的音频电压,就必须采用音频范围高一些的数字电压表、交流毫伏表等。当测量视频放大电路的频率响应特性(信号的最高频率可达十几兆赫)时,就不能采用一般的数字电压表。因为一般的数字电压表的频率范围不够宽,通常不超过 100kHz。

2) 电压的量程宽

电子电路中电压的幅值范围很宽,可能从几微伏到数千伏。要根据所测电压的大小来选择测量仪表(电压表)。例如,测量微伏至毫伏级的电压应选择灵敏度高的仪表,如数字电压表、晶体管毫伏表等。测量几毫伏至几十伏的电压可以选择示波器、数字电压表等。

3) 仪表阻抗的影响

电子电路中被测系统一般都具有较高的输入阻抗,因此要求测量仪器要有更高的输入阻抗,否则接入被测系统会引起分流的作用,使测量结果不准确。同时还要注意当被测量信号的频率很高时,测量仪器的输入电容要小。

此外,由于被测信号微弱,除要求测量仪器的灵敏度要高和输入阻抗要大外,往往在测量过程中,容易受到不同程度的外界干扰,这些干扰有时会严重地影响到测量的正常进行,因此,测量时还必须很好地考虑如何避免干扰的影响问题。

4) 电压的波形

模拟电路中电压的波形种类很多,常用的有正弦波、矩形波(包括方波)、三角波、阶梯

波等。许多交流电压表是按测量正弦波设计的,因此,用这种仪表测量上述非正弦电压会产生很大的测量误差。

此外还应注意,模拟电路中的许多电压波形是交直流并存,即交流电压叠加在直流电压之上,如图 3-1 所示。该波形的函数表达式为 $v_o = V_{BB} + V_m \sin \omega t$ 。显然。这样的电压不能简单地用一般的电压表进行测量。

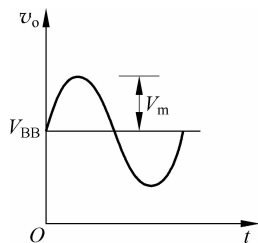


图 3-1 交直流叠加的波形

2. 电压的测量方法

目前广泛采用的电压测量方法主要有电压表测量法和示波器测量法两种。

1) 电压表测量法

(1) 直读测量法

直接由电压表的读数决定测量结果(电压值)的测量方法称为电压表的直读测量法。直读测量法简便直观,是电压测量的最基本方法。

用电压表测量电压,除了注意上述的特点及应注意的问题以外,还应注意常用的交流电压表大多是以正弦电压的有效值来刻度的,因此只适合测量正弦电压有效值。但正弦电压的有效值、整流平均值、峰值及峰-峰值之间彼此有一定关系。在乘以适当的系数后可把一种值(例如有效值)变换为另一种值(例如峰值或峰-峰值)。表 3-1 列出了平均值(指全波整流平均值)、有效值、峰值、峰-峰值的转换关系,供测量电压时查阅。

表 3-1 平均值、有效值、峰值之间的转换关系

单位: V

转换值 给定值	平均值	有效值	峰值	峰-峰值
平均值*	1	1.11	1.57	3.14
有效值	0.900	1	1.414	2.83
峰值	0.637	0.707	1	2.00
峰-峰值	0.318	0.354	0.500	1

注*: 这里的平均值是指全波整流后的平均值。

(2) 差值测量法

在电路的测量实践中,经常需要测量直流电压的微小变量。例如:直流稳压电源的电压调整率 K_v 和内阻 R_o ,就是通过测量输出直流电压的微小变量求得的。在一般情况下,直流电压微小变量是采用高精度的数字式直流电压表来进行测量的。

在不具备数字式直流电压表的情况下,如果用指针式仪表(如万用表、直流电子电压表等)来直接测量直流电压的微小变量是难以实施的。因为被测直流电压值本身比较大,而变化量又相对比较小,若直接用指针式仪表的高量程挡进行测量,由于高量程挡的读数分辨率低,因此很难读出这个微小变量;若直接用指针式仪表的低量程挡进行测量,由于被测值远远超过低挡量程的上限,而会造成仪表严重过荷以致损坏。如果借助指针式仪表,运用差值法对直流电压的微小变量进行测量,则能清楚地读出微小的电压变化量。

差值法的测量电路如图 3-2 所示。图中采用一个直流电源作为辅助电源。辅助电源与直流电压表串联后,一起并联到被测直流电源的输出端负载电阻 R_L 上。若直流电压表的内阻远大于负载电阻 R_L ,则测量电路的分路作用可忽略不计。对于辅助电源,要求其电压值能调节到等于(或接近)被测电压的规定值。根据串联电压表的读数,可测量出被测电压的微小变化量。

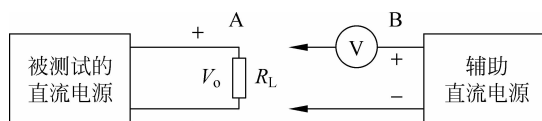


图 3-2 差值测量法原理图

一般情况下,由于差值远小于电压基本值,差值的测量误差对电压基本值的影响较小,因此差值法中采用的指针式仪表的精度虽然不够高(通常在 2.5 级左右),但对电压基本值的测量结果精度影响较小。通过误差计算可知,差值法对电压基本值以外的情况,如测量直流稳压电源的电压调整率 K_v 和内阻 R_o ,指针式仪表的精度对 K_v 和 R_o 的测量结果有较大的影响,此时为了提高测量精度,宜选择高精度的指针式仪表。

2) 示波器测量法

用示波器测量电压除适宜于在观察电压波形的同时顺便测量其大小外,最主要的特点是能够正确地测定波形的峰值及波形各部分的大小,因此在需要测量某些非正弦波形的峰值或某部分波形的大小时,用示波器进行测量便成为必不可少的方法了。

用示波器测量电压幅度时,应把垂直(Y轴)微调旋钮顺时针旋至校准位置,这样可以按 VOLTS/DIV 的指针值计算被测信号的电压大小。

由于被测信号一般含有交流和直流两种分量,因此在测量时应根据下述方法操作。

(1) 交流电压的测量

当只测量被测信号的交流分量时,应将 Y 轴输入耦合开关置 AC 位置,调节 VOLTS/DIV 开关,使屏幕上显示的波形幅度适中,调节 Y 轴位移旋钮,使波形显示值便于读取,如图 3-3 所示。

在图 3-3 中,根据 VOLTS/DIV 的指示值和波形在垂直方向的高度 $H(\text{DIV})$,被测交流电压的峰-峰值 V_{p-p} 可由 $V_{p-p} = V/\text{DIV} \times H$ 计算得到。如果使用的探头置 10:1 位置,则应将该值乘以 10。

(2) 直流电压的测量

当需要测量被测信号的直流分量和含直流分量的电压时,应先将 Y 轴输入耦合方式开关置 GND 位置,扫描方式开关置于 AUTO 位置,调节 Y 轴位移旋钮使扫描基线在某一合适的位置上,此时扫描基线即为零电平基线,再将 Y 轴输入耦合方式开关转到 DC 位置。

参看图 3-4,根据波形偏离零电平基准线的垂直距离 $H(\text{DIV})$ 及 VOLTS/DIV 的指示值,可以看出直流电压的数值。

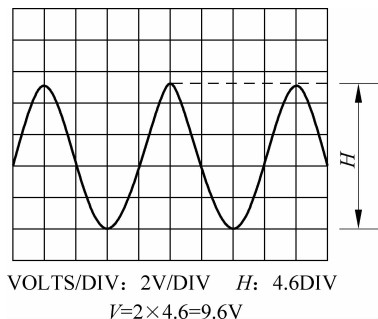


图 3-3 交流电压的测量

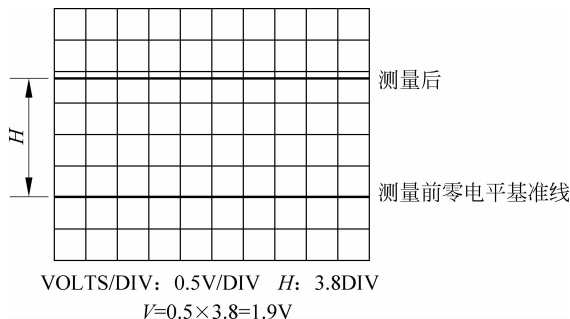


图 3-4 直流电压的测量

3.2 电路输入输出电阻的测量

1. 输入电阻 R_i 测量

输入电阻 R_i 指从放大器输入端看进去的交流等效电阻。它等于放大器输入端信号电压 $\dot{V}_i$ 与输入电流 $\dot{I}_i$ 之比, 即 $R_i = \dot{V}_i / \dot{I}_i$ 。

本实验采用换算法测量输入电阻, 测量电路如图 3-5 所示。在信号源与放大器之间串入一个已知电阻 R_s , 只要分别测出 V_s 和 V_i , 则输入电阻为

$$R_i = \frac{V_i}{I_i} = \frac{V_i}{(V_s - V_i)/R_s} = \frac{V_i}{V_s - V_i} \cdot R_s \quad (3-1)$$

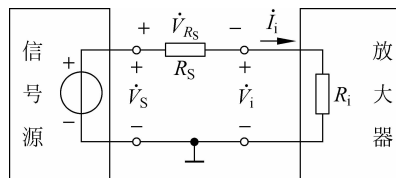


图 3-5 用换算法测量 R_i 的原理图

测量时应注意以下两点。

(1) 由于 R_s 两端均无接地点, 而交流毫伏表通常是测量对地交流电压的, 所以在测量 R_s 两端电压时, 必须先分别测量 R_s 两端的对地电压 V_s 和 V_i , 再求其差值 $V_s - V_i$ 即可。实验时, R_s 的数值不宜取得过大, 以免引入干扰; 但也不宜过小, 否则容易引起较大误差。通常取 R_s 与 R_i 为同一个数量级。

(2) 在测量之前, 交流毫伏表应该调零, 并尽可能用同一量程挡测量 V_s 和 V_i 。

2. 输出电阻 R_o 测量

输出电阻 R_o 指将输入电压源短路, 从输出端向放大器看进去的交流等效电阻。它和输入电阻 R_i 同样是对交流而言的, 即都是动态电阻。用换算法测 R_o 的原理如图 3-6 所示。

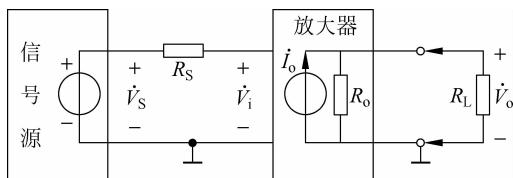


图 3-6 用换算法测量 R_o 的原理图

在放大器输入端加入一个固定信号电压 V_s , 分别测量当已知负载 R_L 断开和接上时的输出电压 V_o 和 V_o' , 则有

$$R_o = \left(\frac{V_o}{V_o'} - 1 \right) \times R_L \quad (3-2)$$

3.3 频率和频率特性的测量

测量频率也是电子测量的基本参数之一。目前广泛采用的频率测量方法主要有示波器测量法、电子计数器测量法。

1. 示波器测量法

1) 扫速时间法

利用示波器的扫描范围开关时间刻度(即给出示波管荧光屏上标尺线的每个横格与时

间的关系,例如 S/DIV (格)、 mV/DIV 、 $\mu\text{S/DIV}$,可以显示出被测量信号波形,读出该信号的各种时间参数。如,信号的周期等于荧光屏上波形一个周期的水平距离乘以扫描范围开关所在位置的时间/DIV,因为信号的频率 f 是周期 T 的倒数,所以可由已求得的周期 T 计算出频率 f ,即 $f=1/T$ 。例如,荧光屏上被测信号波形一个周期 T 的水平距离为 4DIV ,扫描范围开关所在的读数是 1mV/DIV ,则被测信号的频率 $f=1/T=1/(4\text{DIV} \times 1\text{mV/DIV})=250(\text{Hz})$ 。为了提高扫速时间法测量频率的精度,应使荧光屏上显示的被测波形的周期数多一些,如果以 x 轴方向 10 格内占有几个周期来计算频率,计算公式为: $f=\text{周期数 } T/(\text{时间/DIV} \times 10)$ 。

2) 李萨如图形法

任何一种示波器都可以用李萨如图形法对频率进行准确的测量。用李萨如图形法测量频率时按图 3-7 所示布置测量电路。将一个信号电压(设为被测频率的信号)接于示波器的 X 轴输入端(如按下 CS-4135 的 X-Y 按键,则此时的 CH1 仍作 Y 轴输入端,CH2 这时可作 X 轴输入端)。若被测频率是固定的,则已知频率应该是可调的。缓慢地调节已知频率,当两个信号的频率成整数倍时,荧光屏上便显示出稳定的李萨如图形。形成李萨如图形的图解如图 3-8 所示,图中两个信号的频率比为 $f_{\text{垂直}} : f_{\text{水平}} = 2 : 1$ 。图 3-9 列举了几个常用频率比的李萨如图形。

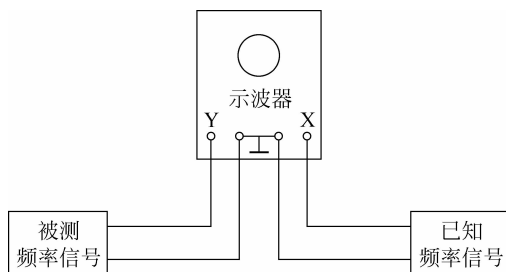


图 3-7 李萨如图形法测量频率电路图

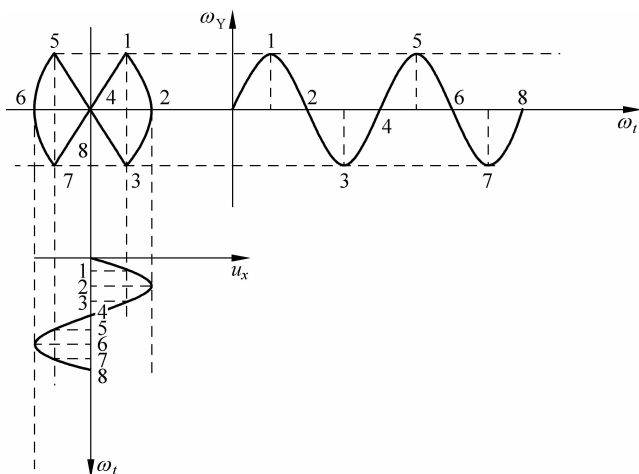


图 3-8 频率比 $f_y/f_x = 2/1$ 时的李萨如图形

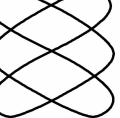
$f_y : f_x$	1:1	1:2	1:3	2:3
李萨如图				

图 3-9 几个常用频率比的李萨如图形

确定两个频率比的方法是：在水平方向作一直线与图形相切的点数为 $N_{\text{水平}}$ ，在垂直方向作一直线与图形相切的点数为 $N_{\text{垂直}}$ ，则 $f_{\text{垂直}} : f_{\text{水平}} = N_{\text{水平}} : N_{\text{垂直}}$ 。

显然，在实际测量工作中，用李萨如图形进行频率测量时，为了使测量简便正确，通常尽可能调节已知频率信号的频率，使荧光屏上显示的图形为圆形。这时被测频率与已知频率相等。

2. 电子计数器(频度计)测量方法

电子计数法就是用测量单位时间信号的周期数来确定信号的频率，这种方法可以达到很高的精确度(例如 $10^{-8} \sim 10^{-7}$)。

计数器测量频率的基本原理方框图如图 3-10 所示。被测信号(不管是什么波形)经过脉冲形成电路转变为一个脉冲序列，每一个周期对应一个脉冲，这种连续的脉冲序列到达控制的门限电路时，只有在门限打开的一定时间间隔内(例如 1s)到达的那些脉冲被它放过，并逐一加到电子计数器，由电子计数器数出它们的个数，在知道了多长时间内通过了多少个脉冲后，即知道了被测信号的频率。这种测量方法的准确度，主要由控制门限打开的选定时间是否准确而定；此外，由于门限开启的时刻与首末两个脉冲到来的时刻常常不一定正好配合，因此在计数器结果中可能还会有 ± 1 次计数误差(即差 1 个脉冲)。

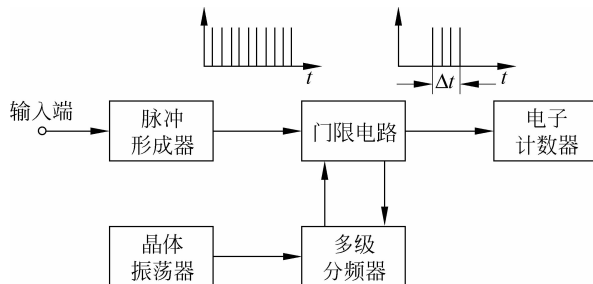


图 3-10 计数器测量频率原理

为了准确地控制门限打开的时间(即进行计数的时间)，在频率计中通常用其内部的(也可改用外加的)晶振作为时间标准，并要求它的频率准确度和稳定度达到一次标准级的水平(即 $10^{-6} \sim 10^{-8}$)。为了获得不同长度的标准时间间隔，将晶体振荡器的振荡频率分频至 1Hz 或 1/10Hz 等，这样便能得到各种标准振荡周期。测量时将某一种适合需要的标准振荡周期的起点和终点各形成一个脉冲加到门限电路作为它的“开启”和“关闭”信号，就能保证把门限打开的时间长度控制为所选定的准确数值。

这里的电子计数器部分通常是由 6~8 个十进制计数器串联而成。显示数字的方法是

每个十进位安装一只数码显示管,应使计数结果尽可能用上电子计数器的全部十进位。例如,假若总共有 6 个十进位,当测量几百千赫的频率时,计数时间应选取 1s,而不应取 0.1s 或更短。

3. 放大器的频率特性测量

放大器的频率特性指在输入正弦信号时放大器电压增益 A_v 随信号源频率而变化的稳态响应。当输入信号幅值保持不变时,放大器输出信号幅度将随着信号源频率的高低而改变,即当信号频率太高或太低时,输出幅度都要下降,而在中间频带范围内,输出幅度基本不变。通常称增益下降到中频增益 A_{vM} 的 0.707 倍时所对应的上限频率 f_H 和下限频率 f_L 之差为放大器的通频带。即

$$BW = f_H - f_L \quad (3-3)$$

一般采用逐点法测量放大的频率特性,保持输入信号电压 V_i 的幅值不变,逐点改变输入信号的频率,测量放大器相应的输出电压 V_o ,由 $A_v = V_o/V_i$ 计算对应于不同频率下放大器的电压增益,从而得到该放大器增益的频率特性。用单对数坐标纸将信号源频率 f 用对数分度、放大倍数 A_v 取线性分度,即可作出频率特性曲线。

第二篇

常用电子仪器的原理与使用

电子仪器设备是完成模拟电子技术实验的物质条件。在模拟电子技术实验中,对所使用的电子仪器设备要有清楚的了解,熟悉其使用方法,才能得到正确的实验结果。这一篇内容主要介绍在模拟电子技术实验中常用电子仪器设备的组成原理、性能及使用方法。

