

家电维修
维修技术快易通丛书

- FAST EASY PASS
- DIGITAL MULTIMETER USE METHOD

数字万用表 使用方法

快易通

● 程龙保 陈 弋 / 编著

 武汉理工大学出版社
WUTP Wuhan University of Technology Press

家电下乡维修技术快易通丛书

数字万用表使用方法快易通

程龙保 陈 弋 编著

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

内 容 简 介

本书是“家电下乡维修技术快易通丛书”之一。全书共 13 章,分别介绍了电气测量的基本知识,数字万用表的基本知识、功能特性和使用方法,及数字万用表维护保养、检修、调试校准以及 DIY 组装制作的基本方法等。本书以大量章节详细介绍了电子元器件检测、电工器材检测、小家电维修以及日常生活中数字万用表的使用方法和技巧。书内配有大量图片,图文并茂。

本书适合广大电子技术爱好者、电气和电子器材维修人员、家电维修从业人员及电工电子类职业技术学院的学员阅读学习,并可作为业内人士的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数字万用表使用方法快易通/程龙保,陈弋编著. —武汉:武汉理工大学出版社,2014.12
(家电下乡维修技术快易通丛书)

ISBN 978-7-5629-4718-9

I. ①数… II. ①程… ②陈… III. ①数字式测量仪器-复用电表-使用方法
IV. ① TM938.107

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 266142 号

项目负责人:王兆国

责任编辑:李兰英

责任校对:余士龙

装帧设计:嘉融图文

出版发行:武汉理工大学出版社

地 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮 编:430070

网 址:<http://www.techbook.com.cn>

经 销:各地新华书店

印 刷:湖北恒泰印务有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:27.25

字 数:700 千字

版 次:2014 年 12 月第 1 版

印 次:2014 年 12 月第 1 次印刷

印 数:1—3000 册

定 价:49.80 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线:027-87515778 87515848 87785758 87165708(传真)

· 版权所有,盗版必究 ·

前 言

在电工、电子检测仪表系列中,万用表是最常用的一种仪表。万用表有指针式万用表和数字式万用表两大类。随着电子技术的快速发展,数字万用表已逐步取代传统的指针式万用表,成为常用电子检测仪表中的主流产品。

数字万用表采用先进的大规模集成电路和数字化检测技术,有测量准确度高、分辨力强、检测功能完善、直接以数字显示检测结果、检测速度快、抗过载能力强、使用简单方便等优点,深受广大电工电子技术人员、家用电器及汽车电器维修人员、电子技术爱好者以及电子电气专业大专院校及职业专科院校学生的欢迎。

改革开放三十多年来,我国的家用电器、电动车、汽车和电子信息产业从无到有,各种电子电器产品产量逐年提高,新产品不断涌现。近年来,国家采取优惠政策,鼓励家电下乡,大量的家用电器、电动车、汽车以及电子产品遍布全国各地的城市、乡镇和农村。随着家用电器、电动车、汽车、手机、电脑等的普及,维修业务的市场随之快速发展,给数字万用表系列产品带来了巨大的市场机会。

本书是“家电下乡维修技术快易通丛书”之一。本书从电工电子技术测量的基本概念入手,重点讲解数字万用表的基本原理、使用方法和使用技巧,以帮助电子电气职业技术学院的学员、电子电工维修人员和电子爱好者,对数字万用表的使用技术能够快速入门,易学易用,通晓使用方法和技巧,成为使用数字万用表进行检测、维修家用电器、电子电工设备、电动车和汽车电子电路的行家里手。电子电气职业技术学院的学员通过对数字万用表使用方法的学习,将增加就业机会。

本书以实用为原则,汇编了基础知识、原理、使用方法、产品介绍,以及数字万用表在电子元器件检测、电工器具设备检测和日常生活中的使用方法等内容,点面结合,图文并茂,通俗易懂,使读者在学习掌握数字万用表使用技术上真正做到“快、易、通”。

本书由程龙保先生、陈弋工程师编著,程龙保先生负责本书的全部文字工作,陈弋工程师编绘了本书的全部插图。多年从事数字万用表设计开发工作的张国洪、高明进工程师等对本书的内容进行了校核并提出了宝贵的修订意见。

在编写本书的过程中,参阅了近年来出版的电子仪表类书刊以及网络上的相关资料,在此对有关的作者表示衷心的感谢!

由于编写者专业知识水平和实际经验有限,书中难免存在错漏及不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2014年5月

目 录

第一章 电气测量的基本知识	(1)
第一节 电路的基本知识	(1)
第二节 电气测量概述	(10)
第三节 电气仪表的基本要求	(11)
第二章 数字万用表的基本知识	(15)
第一节 万用表简述	(15)
第二节 数字万用表的特点	(16)
第三节 数字万用表的类别	(18)
第四节 数字万用表的结构组成	(22)
第五节 数字万用表的工作原理和电路组成	(26)
第六节 数字万用表的常用符号及其意义	(39)
第三章 数字万用表的功能特性	(41)
第一节 数字万用表的主要功能指标	(41)
第二节 数字万用表的附属功能	(44)
第三节 保护电路及保护结构	(45)
第四节 面板上各按键插孔、旋钮及外配件的作用	(46)
第四章 数字万用表的使用方法	(50)
第一节 数字万用表使用的环境条件	(50)
第二节 数字万用表的选用	(50)
第三节 数字万用表的基本使用方法	(51)
第四节 数字万用表的使用注意事项	(62)
第五节 几种常用数字万用表的功能简介	(63)
第五章 常用电子元器件的检测	(101)
第一节 电阻器的检测	(101)
第二节 电容器的检测	(116)
第三节 电感器的检测	(121)
第六章 半导体器件的检测	(127)
第一节 二极管的基本知识	(127)
第二节 晶体三极管的检测	(139)

第三节	晶闸管的检测	(150)
第四节	场效应管(FET)的检测	(162)
第五节	霍尔元件的检测	(173)
第七章	光电器件、显示器件及电声器件的检测	(178)
第一节	LED(发光二极管)的检测	(178)
第二节	显示器件的检测	(183)
第三节	红外遥控系统元件的检测	(189)
第四节	光敏元器件的检测	(192)
第五节	光电池的检测	(202)
第六节	电声器材的检测	(205)
第八章	集成电路(IC)的检测	(215)
第一节	集成电路的基本知识	(215)
第二节	集成稳压器的检测	(222)
第三节	集成运算放大器的检测	(232)
第四节	时基集成电路的检测	(237)
第五节	数字集成电路的检测	(241)
第六节	模拟开关集成电路	(253)
第七节	音响集成电路	(254)
第八节	电压变换器集成电路	(265)
第九节	达林顿晶体管阵列集成电路的检测	(269)
第十节	DDR 内存条的检测	(271)
第九章	数字式钳形电流表、数字式绝缘电阻测试仪和数字式接地电阻测试仪	(273)
第一节	数字式钳形电流表	(273)
第二节	数字式绝缘电阻测试仪	(287)
第三节	数字式接地电阻测试仪	(303)
第十章	常用电工器件的检测	(309)
第一节	开关类产品的检测	(309)
第二节	熔断器类产品的检测	(317)
第三节	继电器、接触器和电磁铁的检测	(322)
第四节	变压器的检测	(335)
第五节	电动机的检测	(342)
第六节	热电偶的检测	(346)
第十一章	数字万用表在日常生活中的应用	(350)
第一节	电路的检测	(350)

第二节	照明电器的检测	(355)
第三节	小型家用电器的检测	(361)
第四节	常用电动工具的检测	(373)
第五节	电池类产品的检测	(374)
第十二章	数字万用表的组装制作方法 (DIY)	(381)
第一节	数字万用表 DIY 组装制作的准备工作	(381)
第二节	HD33D 的组装制作步骤	(385)
第三节	调试方法及步骤	(392)
第四节	总装方法及步骤	(399)
第十三章	数字万用表的检修和调试方法	(401)
第一节	数字万用表的检修方法	(401)
第二节	数字万用表主要电路的故障检修	(405)
第三节	数字万用表检修实例	(411)
第四节	数字万用表的调试	(414)
第五节	数字万用表的校准	(422)
参考文献		(428)

第一章 电气测量的基本知识

第一节 电路的基本知识

1. 电路(Circuit)

(1) 电路的概念: 电工学里把电流通过的路径叫作电路。一般的电路都是用导线连接而成的, 所以电路又被称作线路。在一个供电或用电系统里, 电源(如电池、蓄电池、发电机等)提供电能, 用电设备(如电灯、家用电器、汽车照明系统、空调、电动机床设备及手机、电脑等)使用电能, 导线将电源和用电设备连接起来, 让电流在其间流动, 形成回路, 电流在用电电器中做功, 完成预定的功能, 这就是电路。

如图 1-1 所示, 将灯泡用导线连接到电池的正极和负极, 中间接上开关, 就构成了实际的电路。合上开关, 灯泡亮, 这种状态叫通路; 开关断开时, 电路中没有电流流过, 灯泡不亮, 这种状态叫开路或断路。

(2) 电路的三种状态: 通路、断路和短路(图 1-2)。

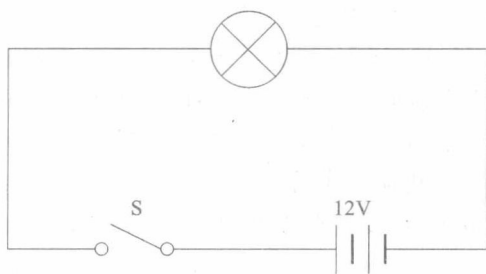


图 1-1 灯泡的电路图



图 1-2 电路的三种状态

① 通路: 当电路中的开关 S 闭合, 电路形成回路。电流在回路中流动, 把电源提供的能量输送到灯泡等用电器, 灯泡点亮。

② 断路: 当电路中的开关 S 断开或者电路中的导线断开或其他电器因损坏而断开, 电路被切断, 灯泡不亮。此时电路中没有电流流过, 此状态称为断路或开路。

③ 短路: 在图 1-2 中, 如果灯泡的两端(A、B)用导线直接连通, 则灯泡被短路而不能点亮。这时, 电路里的电阻接近零, 电流将是正常通路的许多倍, 往往会损坏电源(如电池、发电机、变

压器等),烧毁电线,甚至造成火灾事故。建筑物发生的火灾有接近半数都和用电电路短路有关。因此在实际操作中,要仔细检查,避免发生短路事故。

2. 电路的基本概念

下列名词是电路的最基本的概念。

(1)电流(Current):电流是指电荷的流动。电子从电源的负极流向正极,但习惯上把从正极流向负极当作电流的方向。在公式里,电流以字母 I 表示。电流的大小取决于在单位时间(通常规定为 1s)内通过导体(如电线)横截面的电荷量的多少。电流的单位是安培(A)。1A(安培)电流的定义是每秒钟有 1 库仑的电荷量流过。

数字万用表一般测量 20A 及以下的电流。一般挡位有:20A(或 10A)、1000mA、100mA、10mA、200 μ A 等。20A 以上的电流一般要使用钳形电流表等来检测。

1A=1000mA(毫安),1mA=1000 μ A(微安)。

电流分为交流电流和直流电流两大类。方向不随时间变化的电流被称为直流电流,例如电池及蓄电池提供的电流就是直流电流。大小和方向随时间变化的电流被称为交流电流。我们日常生活中使用的照明电灯、家用电器等使用的都是交流电流。

(2)电压(Voltage):凡有电的地方都有电场。电压是衡量电场力做功能力的物理量。电压是推动电子流动的原动力。就像水由于有水位差从高处流向低处一样,电流也是由于有电位差(形成电压)才能在电路里流动。电路中任意两点之间的电位差,称为此两点间的电压。在公式里,电压以字母 U 表示。电压的单位是伏特(V)。

数字万用表一般的测量范围为从数毫伏到数千伏。

1kV(千伏)=1000V,1V=1000mV(毫伏),1mV=1000 μ V(微伏)。

(3)电阻(Resistance):当电流通过导体时,导体内的分子结构对电子的定向移动会有阻碍作用。电阻是电子在电路中流动时受到的阻力,是反映导体对电流阻碍作用大小的物理量。在公式里,电阻以字母 R 表示。电阻的单位是欧姆(Ω)。

电阻器(图 1-3)有固定电阻、可变电阻及特殊电阻(如热敏电阻等)三大类。电阻器在电路图里以“”符号表示。数字万用表一般测量从 0.1 Ω 到数十兆欧范围的电阻。

电阻单位: Ω (欧姆) k Ω (千欧) M Ω (兆欧)

电阻单位之间的换算关系如下:

1M Ω =1000k Ω 即:1M Ω = 10^3 k Ω

1k Ω =1000 Ω 即:1k Ω = 10^3 Ω

1 Ω =0.001k Ω 即:1 Ω = 10^{-3} k Ω



图 1-3 各种电阻器

(4)电阻的串并联(Series and Parallel of Resistance)

a. 电阻的串联: $R=R_1+R_2+\cdots+R_n$

串联电路的总电阻值等于串联的所有电阻的阻值之和。如 3 个电阻串联,其各自的电阻

值分别为 100Ω 、 200Ω 、 300Ω ，则该串联电路的电阻总值为： $R=100+200+300=600\Omega$ 。

图 1-4 是三个电阻串联形成的电路。图 1-5 是由三个电阻串联形成的分压器电路。



图 1-4 电阻的串联图

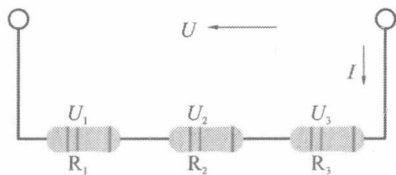


图 1-5 电阻分压器电路

b. 电阻的并联： $1/R_{\text{总}}=1/R_1+1/R_2+1/R_3+\cdots+1/R_n$

并联电路的总电阻值的倒数等于各支路电阻值的倒数之和。

图 1-6 是三个电阻的并联。

在实际工作中，经常要计算两个并联电阻的总电阻，而根据上述倒数之和的公式计算不方便，我们可以用以下公式来计算，即两个电阻的乘积除以两个电阻的和。

$$R=(R_1 \times R_2)/(R_1 + R_2)$$

如两个电阻并联，其电阻值分别为 10Ω 和 20Ω ，则该并联电路的总电阻值为： $R=(10 \times 20)/(10+20)=6.667\Omega$ 。

(5)欧姆定律(OM Low):1826 年德国物理学家欧姆在实验中发现，当导体温度不变时，通过导体的电流 I 与导体两端所加的电压 U 成正比。电压与电流的比值 R 被称为电阻，这就是欧姆定律。

$$U = I \times R \quad I = U/R \quad R = U/I$$

式中 I ——流过电路的电流(A, 安培)；

U ——加在电阻两端的电压(V, 伏特)；

R ——电阻(Ω , 欧姆)。

图 1-7 是欧姆定律的示意图。

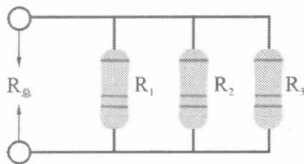


图 1-6 电阻的并联

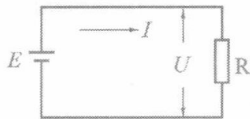


图 1-7 欧姆定律示意图

如果一个电灯泡的电阻是 500Ω ，其两端的电压是 220V ，则流经该灯泡的电流为：

$$I=U/R=220/500=0.44\text{A}$$

(6)电能(Electric Energy)与电功率(Power):把电源(电池、蓄电池、发电机等)产生的电能输送到用电器(如电灯、电热水器、电动机等)转换成其他形式的能量(如光能、热能、机械能等)，在此过程中电流所做的功叫作电功，也称为电能。

电流在单位时间内所做的功叫作电功率。在物理学中用电功率表示消耗电能的快慢。电功率用 P 表示，它的单位是瓦特(Watt)，简称瓦(Wa)，符号是 W。以灯泡为例，电功率越大，灯泡越亮。单相直流电路里的电功率 P 可以用下述公式计算。

$$P = I \cdot U = I^2 \cdot R = U^2 / R$$

从上述公式可以看出,电功率的大小与用电器的电阻成反比。例如房间内的照明灯,供电电压是 220V,40W 灯泡的电阻是 1210Ω;而 100W 灯泡的电阻是 484Ω;接通电源后,显然 100W 的灯泡要比 40W 的灯泡亮得多。

$$1\text{W}=1\text{A}\times 1\text{V} \qquad 1\text{kW}=1000\text{W} \qquad 1\text{mW}=10^{-3}\text{W}$$
$$1\text{HP(马力)}=0.735\text{kW}=735\text{W}$$

生活中用的电能的单位是“度”。1 度电就是 1kW·h(千瓦小时)的电。即 1kW 电功率的用电器用电 1 个小时消耗的电能是 1kW·h,也就是 1 度电。表 1-1 所示为常用家用电器的电功率、工作电压和工作电流。

表 1-1 常用家用电器的电功率、工作电压和工作电流

家用电器名称	电功率(W)	工作电压(V)	工作电流(A)
电热水壶	1500、2000	220	6.82、9.09
PTC 暖风机	2000	220	9.09
吸尘器	1000	220	4.55
电熨斗	300、500	220	1.36、2.27
音响	100	220	0.45
电视机	100	220	0.45
洗衣机	500	220	2.27
空调(1 匹)	735	220	3.34
电热水器	2000	220	9.09

(7)电容(Capacitance):两片导体之间具有聚集电荷的能力。电容就是表征电容器容纳电荷本领的物理量。非导电体有下述性质:当非导电体的两个相对表面保持某一电位差时(如在电容器中),由于电荷移动的结果,能量便贮存在该非导电体之中。

一个电容器,如果带 1 库仑的电量时两极间的电位差是 1V,这个电容器的电容就是 1F(法)。电容的符号是 C。电容器在电路图里以符号“—||—”表示。

在国际单位制里,电容的单位是法拉,简称法,符号是 F。常用的电容单位有 mF(毫法)、μF(微法)、nF(纳法)和 pF(皮法)等,换算关系是:

$$1\text{F(法拉)}=1000\text{mF(毫法)}=1000000\mu\text{F(微法)}$$
$$1\mu\text{F(微法)}=1000\text{nF(纳法)}=1000000\text{pF 皮法(皮法)}$$

电容最常用的单位是 μF(微法)。

在电子产品中,电容器是必不可少的电子元器件(图 1-8)。由于电容器的类型和结构种类比较多,因此使用者不仅需要了解各类电容器的性能指标和一般特性,而且还必须了解在给定用途下各种元件的优缺点、机械或环境的限制条件等。电容器在汽车电路中具有三种基本功能:充电、储电/放电、控制电路。

多个电容并联连接,其总电容 $C=C_1+C_2+C_3+\cdots+C_n$ 。

多个电容串联连接,其总电容的倒数等于各电容倒数之和:

$$1/C=1/C_1+1/C_2+1/C_3+\cdots+1/C_n$$

(8)电感(Inductors):电感是指电路在电流发生变化时能产生电动势的性质。电感器(电感线圈,图 1-9)和变压器均是用绝缘导线(例如漆包线、纱包线等)绕制而成的电磁感应元件,



图 1-8 各种电容器

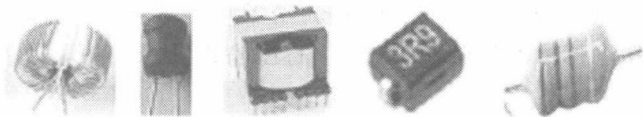


图 1-9 电感器

也是电子电路中常用的元器件之一,相关产品有电感线圈、共模滤波器、变压器、互感器等。

电感的作用分为自感与互感两大类。

当线圈中有电流通过时,线圈的周围就会产生磁场。当线圈中电流发生变化时,其周围的磁场也会产生相应的变化。此变化的磁场可使线圈自身产生感应电动势,这就是自感。电感线圈、滤波器等应用的就是自感原理。

两个电感线圈相互靠近时,一个电感线圈的磁场变化将影响另一个电感线圈,这种影响就是互感。互感的大小取决于电感线圈的自感与两个电感线圈耦合的程度。互感器和变压器等就是应用的互感原理。

电感器的主要参数是电感量。电感量也称自感系数,是表示电感器产生自感应能力的一个物理量。

电感器电感量的大小,主要取决于线圈的圈数(匝数)、绕制方式、有无磁芯及磁芯的材料特性等。通常情况下,线圈圈数越多,绕制的线圈越密集,电感量就越大。有磁芯的线圈比无磁芯的线圈电感量大。磁芯磁导率越大的线圈,电感量也越大。

电感器用符号 L 表示。电感器在电路图里以符号“”表示。

电感量的基本单位是亨利(简称亨),用字母“H”表示,常用的单位还有毫亨(mH)和微亨(μ H),它们之间的关系是:

$$1\text{H}=1000\text{mH}, \quad 1\text{mH}=1000\mu\text{H}$$

(9) 直流电(Direct Current)和交流电(Alternate Current)

a. 直流电的定义: 强度与方向不随时间变化的电流叫作直流电。直流电只从正极流向负极, 所以直流电只有一个方向, 简记为 DC。直流电源在电路图里的符号以“”表示。

电池、蓄电池以及开关电源输出的电流,我们一般认为就是标准的直流电。汽车用蓄电池作为电源,所以汽车里用的是直流电(除交流发电机以外),供电电压一般是 12V(小轿车)或 24V(柴油卡车)。火车里用的是 36V 的直流电。

b. 交流电定义: 强度与方向都随时间做周期性变化的电流叫作交变电流, 简称交流电 (图 1-10)。发电厂的发电机是利用动力使发电机中的线圈运转, 每转 180° 发电机输出电流的方向就会变换一次, 因此电流的大小也会随时间做规律性的变化。此种电源就称为“交流电源”, 简记为 AC。交流电源在电路图里以符号“ $\sim$ ”表示。

图 1-10 交流电波形图



图 1-10 交流电波形图

交流电是有频率的,通常接入电网的交流电频率为 50Hz(比如中国)或 60Hz(比如美国),电压为 220V(比如中国、欧盟、俄罗斯)和 110V(比如美国、日本)等。

交流电在中国以 220V、50Hz 接入送电。50Hz 的频率,可以使用普通的工频变压器(即一般的变压器)进行变压,比较方便。接入用户的电力,相电压(火线与零线之间的电压)为 220V,线电压(两不同绕组的火线之间电压)为 380V。

一般变电所的变压器输入电压以 10kV(千伏)或 20kV、35kV 这 3 类为主,其中 20kV 最多。由于是高压输送,根据 $P=UI$ 的公式得知:功率一定时,电压越高则电流越小。而电流在导体内通过的能力是由导体截面积决定的,高压输送意味着可以用更细的导线,节约成本。

同时注意,任何导体(超导体除外)都存在电阻。而电阻的大小取决于导体的材料、横截面积、长度等,当导体这三个参数一定时,这个导体的电阻就是个定值。导体在导电时其损耗的电功率为 $P=I^2 \cdot R$,由此可见,当流过导体的电流越小,其损耗越小,这是长途输电为什么采用高压的主要原因。

(10) 交流电的频率(Frequency):物质在 1s 内完成周期性变化的次数叫作频率,常用 f 表示。为了纪念德国物理学家赫兹的贡献,人们把频率的单位命名为赫兹(Hz),简称“赫”。每个物体都有由它本身性质决定的与振幅无关的频率,叫作固有频率。频率概念不仅在力学、声学中应用,在电磁学和无线电技术中更为常用。交变电流在单位时间内完成周期性变化的次数,叫作电流的频率。

物理中频率的单位是 Hz(赫兹),简称赫,也常用 kHz(千赫)或 MHz(兆赫)或 GHz(吉赫)做单位。

交流电(或振动物体)每秒变化一周时的频率为 1Hz。

$$1\text{kHz}=1000\text{Hz} \quad 1\text{MHz}=1000000\text{Hz} \quad 1\text{GHz}=1000\text{MHz}$$

频率 f 是周期 T 的倒数,即 $f=1/T$,波速=波长 $\times$ 频率。日常使用的电是一种正弦交流电,其频率是 50Hz,也就是说它一秒钟内完成了 50 次周期性变化。

另外,我们听到的声音也是一种有一定频率的波。人耳听觉的频率范围为 20~20000Hz,超出这个频率范围的声波就不为我们人耳所察觉了。

(11) 交流电的瞬时值(Instantaneous Value)、峰值(Maximal Value)、有效值(Effective Value)和平均值(Average Value)

a. 瞬时值:在交流电路里,交流电在某一瞬间的数值(包括电流、电压、电动势等)称为瞬时值。瞬时值一般以小写字母表示,例如: i (电流)、 u (电压)、 e (电动势)等。

b. 峰值:在交流电运行的一个周期内,交流电的最大瞬时值就叫作峰值,也叫作最大值。峰值(或最大值)常用大写英文字母加下标“m”表示。在正弦交流电路中,分别用 I_m 、 U_m 、 E_m 表示电流、电压和电动势的峰值(或最大值)。

c. 有效值:有效值是从热效应的角度来描述交流电数值大小的物理量。把直流电和交流电分别通过两个相同的电阻器件,如果在相同时间内它们产生的热量相等,那么就把它直流电的电压、电流作为此交流电的有效值(图 1-11)。

正弦波交流电流的有效值约等于其最大值(幅值)的 0.707 倍。

有效值也称为均方根值(R. M. S),正弦波的有效值等于其最大值被 $\sqrt{2}$ (约 1.414)去除。非正弦波的有效值,等于它的直流分量、基波和各高次谐波有效值平方和的平方根值(还有一种

定义方式:将直流分量、基波分别定义为零次谐波和一次谐波。在此前提下,非正弦波的有效值就等于它的各次谐波有效值平方和的平方根值)。

交流电的有效值常用大写英文字母表示: I 表示交流电流的有效值, U 表示交流电压的有效值, E 表示交流电动势的有效值。一般情况下,在电气测量中的交流电流、交流电压、交流电动势等均是指有效值。数字万用表以及常用的交流电表及相关交流仪表上显示的电压和电流的读数,一般均是有效值。日常说的 220V、380V 交流电压也指的是有效值。

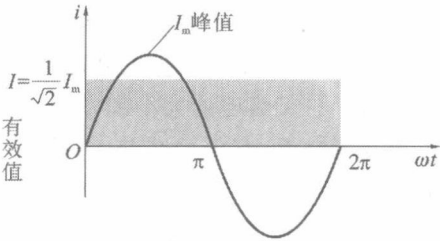


图 1-11 正弦波交流的峰值和有效值

d. 正弦交流电路里,有效值和峰值的关系为:

$$\begin{aligned} U_m &= \sqrt{2}U = 1.414U & I_m &= \sqrt{2}I = 1.414I \\ U &= 0.707U_m & I &= 0.707I_m \end{aligned}$$

(12)真有效值(TRMS):真有效值即为“真正有效值”之意,英文缩写为“TRMS”,有的文献也称为真均方根值。对于正弦波交流电压 U_{AC} ,最大最小为峰值,AVG 为平均值,此即真有效值(均方根值)。

用电压表测出来的电压值或用电流表测出来的电流值都是有效值。对于它们来说都有最大值,最大值除以 $\sqrt{2}$ (约 1.414)就得到有效值。如前述,有效值可以直接测出来。

真有效值与有效值之间的区别是:有效值是交流电压一周内的电压、电流转换成直流电压、电流等效计算出来的数值。在电压表、电流表刻上标记的都是交流电压、电流的有效值。现在电气回路中晶闸管整流、变频器等大量应用,它们是通过移相来调整电压,调整后的电压已经不是正弦波。如果用原来电表的刻度读出来就不精确了。现在又有一种新电压表、电流表来精确核算测量各类不同波形的有效值。这就是真有效值测量。

普通的电表在测量交流电时,实际测量的是平均值,但表上的标度是有效值,这对测量标准的正弦波来说是准确的。现实生活中遇到的交流信号可能已不是标准的正弦波,用平均值来检测这种电压或电流是不能准确指示有效值的。比如,一个 1kΩ 的电阻两端加 220V 的直流电或有效值为 220V 的交流电,其电阻发出的热量是一样多的。但不管交流电是矩形波还是正弦波,同样的功率因波形不一样,平均值电表指示出的数值就不一样,这就需要一种能真正测量有效值的交流电表,不因波形而产生不同的误差。真有效值的测量结果是用专门的真有效值芯片测量并计算出来的。由于其测量方法已发生很大的变化,有效值测量精度大大提高,成本也要高得多,所以称为真有效值电压表、电流表,以区别普通的以平均值来表示的电表。表 1-2 列出了平均值(有效值)测量仪表与真有效值测量仪表读数的差别,从中可以看出真有效值万用表对于检测非正弦波电参数的重要性。

表 1-2 平均值(有效值)测量仪表与真有效值测量仪表读数的差别

万用表检测方式	正弦波	方波	单相二极管整流后的波形	三相二极管整流后的波形
被测波形				
平均值,按有效值校准	正确	高 10%	低 40%	低 5%~30%
真有效值	正确	正确	正确	正确

(13) 相位(Phase)与相位差(Phase Difference)、相序(Phase Sequence)

a. 相位: 相位是反映交流电在任何时刻的状态的物理量(图 1-12)。交流电的大小和方向是随时间变化的, 比如正弦波交流电流, 它的公式是 $i = I_m \sin 2\pi ft$ 。 i 是交流电流的瞬时值, I_m 是交流电流的最大值, f 是交流电的频率, t 是时间。随着时间的推移, 交流电流可以从零变到最大值, 从最大值变到零, 又从零变到负的最大值, 从负的最大值变到零。在三角函数中, $2\pi ft$ 相当于角度, 它反映了交流电在任何时刻所处的状态, 是在增大还是在减小, 是正的还是负的等, 因此把 $2\pi ft$ 叫作相位, 或者叫作相。

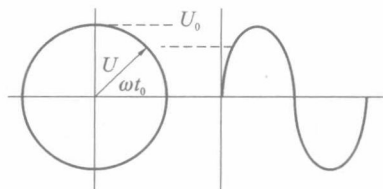


图 1-12 相位图

如果 t 等于零的时候, i 并不等于零, 公式应该改成 $i = I_m \sin(2\pi ft + \psi)$ 。那么 $(2\pi ft + \psi)$ 叫作相位, ψ 叫作初相位, 或者叫作初相。

相位是对于一个波形, 特定的时刻在它循环中的位置, 描述信号波形变化的度量, 通常以度(角度)作为单位, 也称作相角。当信号波形以周期的方式变化, 波形循环一周即为 360° 。

例如: 在函数 $y = A \sin(\omega x + \varphi)$ 中, $(\omega x + \varphi)$ 称为相位。

b. 相位差: 两个频率相同的交流电相位的差叫作相位差, 或者叫作相差。例如研究加在电路上的交流电压和通过这个电路的交流电流的相位差。如果是纯电阻电路, 那么交流电压和电流的相位差等于零。也就是说交流电压等于零的时候, 交流电流也等于零, 交流电压变到最大值的时候, 交流电流也变到最大值。这种情况叫作同相位, 或者叫作同相。如果电路含有电感和电容, 交流电压和交流电流的相位差一般是不等于零的, 或者电压超前于电流, 或者电流超前于电压(图 1-13)。

加在晶体管放大器基极上的交流电压和从集电极输出的交流电压, 这两者的相位差正好等于 180° 。这种情况叫作反相位或者反相。

交流信号电压的变化是周期性的, 它的变化在时间轴上是时间, 在角度轴上就是相位。由于信号是连续的, 假设某一时刻为初始时刻, 那么此时的信号在角度轴上的角度就是它的初始相位。若这时有两个同频率的信号, 它们之间角度的差就是相位差。比如三相交流电, 就是三个同频率的信号, 其相位相互之间相差 120° 。可以任选一相做参考, 假设它过某一点时是初

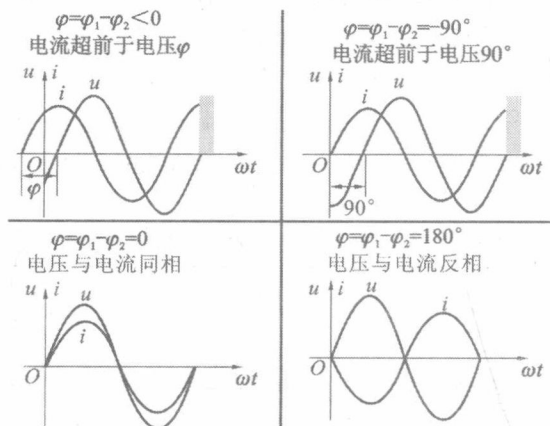


图 1-13 电压与电流的相位差

始时刻,此时三相各自的相位就是各自的初始相位,它们之间的角度差就是相位差。相位可以用来进行测量时间、频率稳定度,间接可以测距离、方向、速度,可以定位。

对单相交流电,通常用不着考虑它的初相位问题。只是在考虑电容、电感元件中电流与电压关系时才要考虑相位的问题。

但对于三相交流电,三个相电压(电流)的频率完全相同,只是相位不同。当应用三相电时,就时刻离不开相位的问题。

c. 相序:就是相位的顺序,是交流电的瞬时值从负值向正值变化经过零值的依次顺序。

相序分量:交流电力系统中有三根导线,分为 A、B、C 三相,正常情况下的三相电压,其电流对称,相位相差 120° 。但在系统出现故障时,A、B、C 三相不再对称。为便于分析,可将电压、电流分解为正序、负序和零序三种分量。

相序的影响:在电力系统中,相序主要影响电动机的运转,相序接反的话,电动机会反转。

(14)功率因素(Power Factor):在实际电路里,除了电阻性负载外,还有电容性及电感性的负载。在电阻、电容、电感串联的交流电路中,功率表现为三种:有功功率 P 、无功功率 Q 、视在功率 S 。

有功功率是交流电路中电流流过电阻性负载上消耗的功率,单位是 W(瓦)、kW(千瓦)。

无功功率是交流电路中电流流过电容、电感上能量交换规模的功率,单位是 var(乏)或 kvar(千乏)。

视在功率反映交流电路中总的功率的情况。在生产实际运用时,一般将其设定为设备的额定电功率容量,并标在产品的铭牌上。例如一台变压器铭牌上标出的额定功率容量就是指视在功率。视在功率的单位是 $V \cdot A$ (伏安)或 $kV \cdot A$ (千伏安)。

在单相交流电路中,有功功率 P 、无功功率 Q 及视在功率 S 的关系如下:

$$P = UI \cos \Phi$$

$$Q = UI \sin \Phi$$

$$S = UI$$

$$\cos \Phi = P/S = R/Z$$

上述公式里, $\cos \Phi$ 就是该交流电路的功率因数(PDF), R 是该电路里总的电阻性负载的电阻值, Z 是该电路里包括电容、电感在内的总的阻抗值。在交流电路中,电压与电流之间的相位差(Φ)的余弦叫作功率因数。功率因数是实际消耗的功率与电力供给容量的比值。在数值上,功率因数是有功功率和视在功率的比值,即 $\cos \Phi = P/S$ 。功率因数越高,电力在传输过程中的损失就越少,电力的利用率就提高得越多。

功率因数的大小与电路的负荷性质有关,如白炽灯泡、电阻炉等电阻性负载的功率因数为 1,一般具有电感性或电容性负载的电路功率因数都小于 1。功率因数是电力系统的一个重要的技术数据,是衡量电气设备效率高高低的一个系数。功率因数低,说明电路用于交变磁场转换的无功功率大,从而降低了设备的利用率,增加了线路的供电损失。所以,供电部门对用电单位的功率因数有一定的标准要求。

(15)阻抗(Impedance):在直流电路和交流电路里,电阻是指元器件或物体对电流的阻碍作用。在电路里的任何零部件都有电阻,只是阻值大小不同而已。在交流电路里,除了电阻以外,电容和电感也会阻碍电流的流动,其作用统称为电抗。其中电容产生的电抗称为容抗,电感产生的电抗称为感抗。电路里电阻、电容和电感产生的电抗的合计值叫作阻抗。电抗的单

位也是 Ω (欧姆),其数值大小与交流电的频率有关,频率越高则容抗越小感抗越大,频率越低则容抗越大感抗越小;此外,容抗和感抗还有相位角度的问题,具有矢量上的关系。实际电路里,阻抗等于电阻、感抗、容抗三者的矢量和。

电容器的容抗:

$$X_C = -j/(\omega C)$$

式中 ω ——角速度, $\omega = 2\pi f$;

f ——信号频率;

C ——电容量(F)。

电感的感抗:

$$X_L = j\omega L$$

式中 L ——电感量(H)

电容和电感的总电抗为:

$$X = X_L + X_C = j[\omega L - 1/(\omega C)]$$

由电阻、电容和电感组成的电路的总阻抗值为:

$$Z = R + X_L + X_C = R + j[\omega L - 1/(\omega C)]$$

上述公式中, j 是单位矢量。

日常生活中,常见的音响器材如扬声器、音箱及功率放大器的重要特性就是其阻抗值。扬声器的阻抗是指当输入 1kHz 的正弦波信号时其线圈呈现的阻抗值。扬声器等的阻抗不是一个固定数值,而是随频率高低变化而变化。

(16)增益(Gain):在电子放大设备中,增益是表示放大倍数的一个参数,一般用输出功率与输入功率的比值的对数值来表示,其单位为分贝(dB)。也就是说,分贝就是放大器增益的单位。放大器输出与输入的比值为放大倍数,单位是“倍”,如 10 倍放大器、100 倍放大器。当改用“分贝”(dB)做单位时,放大倍数就称之为增益,这是一个概念的两种称呼。

电学中分贝与放大倍数的转换关系为:

$$A_V = 20\lg(U_o/U_i) \quad \text{对于电压增益}(U_o \text{ 输出电压}, U_i \text{ 输入电压})$$

$$A_I = 20\lg(I_o/I_i) \quad \text{对于电流增益}(I_o \text{ 输出电流}, I_i \text{ 输入电流})$$

$$A_P = 10\lg(P_o/P_i) \quad \text{对于功率增益}(P_o \text{ 输出功率}, P_i \text{ 输入功率})$$

放大器级联时,总的放大倍数是各级相乘。用分贝做单位时,总增益就是各级增益相加。若某功率放大器前级是 100 倍(20dB),后级是 20 倍(13dB),那么总功率放大倍数是 $100 \times 20 = 2000$ 倍,总增益为 $20\text{dB} + 13\text{dB} = 33\text{dB}$ 。

第二节 电气测量概述

为了了解电气设备的电气及电控部分是否正常运行,以及对各类电气电子器具设备进行维护检修,都需要对被控对象的电气参数进行测量,以取得准确的信息,为正常使用这些器具设备,为生产过程、科学研究及设备运行提供可靠的数据。

电气测量的主要对象有电流、电压、电功率、电能和功率因数等电量参数,电阻、电容、电感等电路参数,波形、频率、相位等电信号特性参数,以及温度、湿度、转速等非电物理量等。其测量原理是根据电路运行和电磁现象的规律,借助数字万用表、示波器等测量仪器或设备,对各