



电工电子技术实验

彭 靳 赵世武 主编

TM-33
150

中国科学技术大学出版社

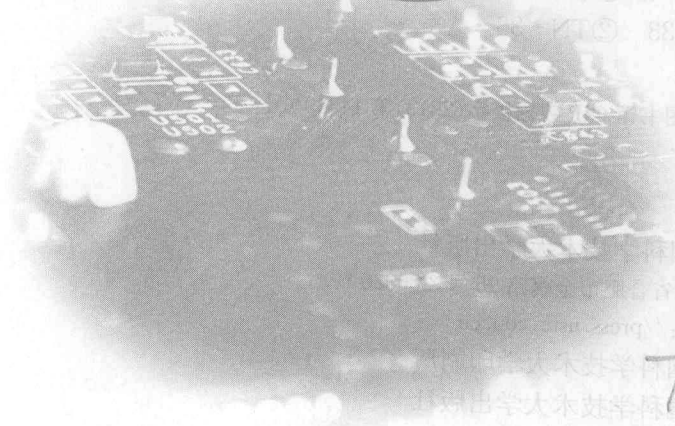
013067031

TM-33
150

电工电子技术实验

DIANGONG DIANZI JISHU SHIYAN

彭 靳 赵世武 主编



北航

C1674736

中国科学技术大学出版社

TM-33
150

内 容 简 介

本书是应用型本科院校的电工电子技术实验教材。书中结合院校的实际仪器设备,侧重于对学生实践操作能力及综合设计能力的培养,具有较强的可操作性和一定的通用性。本书首先对电类基础实验进行了概述,然后把实验分为三个部分进行编写:电工学部分、电子技术部分(模拟电路)、电子技术部分(数字电路)。

本书主要作为电子类相关专业电工电子技术实验及电子实习课程的教材,也可作为其他行业及高等院校相关专业的实验课程教材和教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术实验/彭靳,赵世武主编. —合肥:中国科学技术大学出版社,2013.7
ISBN 978-7-312-03236-3

I. 电… II. ①彭… ②赵… III. ①电工技术—实验 ②电子技术—实验
IV. ①TM-33 ②TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 143494 号

出版 中国科学技术大学出版社

安徽省合肥市金寨路 96 号,230026

<http://press.ustc.edu.cn>

印刷 中国科学技术大学印刷厂

发行 中国科学技术大学出版社

经销 全国新华书店

开本 710 mm × 960 mm 1/16

印张 10.5

字数 206 千

版次 2013 年 7 月第 1 版

印次 2013 年 7 月第 1 次印刷

定价 20.00 元

前 言

本书是与“电路分析”和“电工电子技术”等课程相配套的实验教材,是按照安徽省教育厅制定的教学大纲要求编写的.自2000年以来,本书一直用于滁州学院电类专业“电路分析”课程和非电类专业“电工电子技术”课程的实验指导,经过十几届学生的使用,反复修改、充实与更新,得到广大师生的认可和赞誉.

本书是按照认知规律编写的,将传统的实验项目整合成基础性实验、综合性实验、设计性实验和仿真实验若干层次,可供不同的理工科专业学生选用.基础性实验设置,目的是通过实验来验证理论知识,使学生初步掌握从事科学实验的基本方法,掌握常用的电工与电子仪器的使用方法;综合性、设计性实验设置,目的是使学生通过实验建立电工技术或电子技术的工程系统构成概念,将理论知识与实践技能更好地结合;仿真实验设置,目的是使学生在实验室提供的相应条件下,借助计算机辅助分析软件,独立进行实验设计,学会使用虚拟仪器完成实验任务.

为使读者对电工与电子技术实验有一个整体的认识,本书在编写过程中,增加了常用电路、电工测量仪器、仪表的基本知识以及配套实验设备的使用方法,并结合实验内容增加了有关参数的测量技术和测量方法等内容.

本书首先对电类基础实验进行了概述,介绍电类基础实验的目的、意义、一般要求以及误差分析、仪器内阻对测量结果的影响等内容.接着把实验分为三个部分进行编写:第一部分为电工学部分,介绍与电路电工技术相关的基础性实验、综合性实验、设计性实验和仿真实验;第二部分为电子技术部分(模拟电路),介绍与其相关的实验;第三部分为电子技术部分(数字电路),介绍与其相关的实验.

本书由彭靳、赵世武主编,全书共26个实验,其中实验一至十五的数据由赵世武验证,实验十六至二十六的数据由彭靳验证,计算机仿真实验由彭靳设计、验证.

由于编者水平有限、编写时间仓促,书中难免存在疏漏和错误,恳请读者批评与指正.

编 者

2013年4月

(28)		戴维南定理	八
(10)		叠加原理	十
(18)		量测电路	十一
(30)		戴维南定理	二十
(45)		戴维南定理	三十
(55)		戴维南定理	四十
(58)		戴维南定理	五十

目 录

前言		(i)
----	-------	-------

电类基础实验概述		(1)
----------	-------	-------

第一节 电类基础实验的目的和意义		(1)
------------------	-------	-------

第二节 电类基础实验的一般要求		(2)
-----------------	-------	-------

第三节 误差分析与测量结果的处理		(3)
------------------	-------	-------

第四节 测量仪器的阻抗对测量结果的影响		(10)
---------------------	-------	--------

第五节 接地		(12)
--------	-------	--------

一、电工学部分

实验一 电路元件伏安特性曲线的测绘		(21)
-------------------	-------	--------

实验二 叠加原理的验证		(26)
-------------	-------	--------

实验三 戴维南定理和诺顿定理的验证		(29)
-------------------	-------	--------

——有源二端网络等效参数的测定		(29)
-----------------	-------	--------

实验四 典型电信号的观察与测量		(34)
-----------------	-------	--------

实验五 RC 一阶电路的响应测试		(38)
--------------------	-------	--------

实验六 正弦稳态交流电路相量的研究		(42)
-------------------	-------	--------

实验七 RC 选频网络特性测试		(47)
-------------------	-------	--------

实验八 RLC 串联谐振电路的研究		(52)
---------------------	-------	--------

实验九 互感电路观测	(56)
实验十 单相铁芯变压器特性的测试	(61)
实验十一 三相交流电路电压、电流的测量	(64)
实验十二 三相电路功率的测量	(68)
实验十三 单相电度表的校验	(74)
实验十四 功率因数及相序的测量	(78)
实验十五 三相异步电动机的 Y- Δ 起动控制	(82)

二、电子技术部分(模拟电路)

实验十六 晶体特性参数的测试	(91)
实验十七 单管共发射极放大电路	(96)
实验十八 射极跟随器	(105)
实验十九 负反馈放大电路	(110)
实验二十 基本运算电路	(116)

三、电子技术部分(数字电路)

实验二十一 基本门电路的逻辑功能和参数测试	(125)
实验二十二 用 SSI 设计组合电路	(132)
实验二十三 触发器 RS,D,JK	(136)
实验二十四 集成计数器及其应用	(146)
实验二十五 智力竞赛抢答装置	(153)
实验二十六 编码器及其应用(仿真)	(156)
参考文献	(159)

电类基础实验概述

第一节 电类基础实验的目的和意义

实验是将事物置于特定的条件下加以观测,是对事物发展规律进行科学认识的必要环节,是科学理论的源泉、自然科学的根本、工程技术的基础.任何科学技术的发展都离不开实验.基础电子实验的任务是使学生获得电工电子技术方面的基础理论、基础知识和基本技能.加强实验训练特别是技能的训练,对学生分析问题解决问题的能力,特别是实际工作能力,具有十分重要的意义.

基础实验教学在培养学生的思维能力、观测能力、表达能力、动手能力、查阅文献资料能力等综合素质方面有不可替代的作用.在实验过程中,通过分析、验证器件和电路的工作原理及功能,对电路进行分析、调试、故障排除和性能指标的测量,自行设计、制作各种功能的实际电路等多方面的系统训练,可以使学生的各种实验技能得以提高,实际工作能力也得到了锻炼.同时,通过实验还可以培养学生勤奋进取、严肃认真、理论联系实际的务实作风和为科学事业奋斗的精神,培养满足市场经济需求的具有一定实际工作能力的复合型人才.

电类基础实验包括电路分析实验、电工技术实验、模拟电路实验和数字电路实验,按性质可分为基础性实验、综合性实验和设计性实验.

(1) 基础性实验是针对于电工电子技术基础理论而设置的,通过实验获得对相关理论的感性认识.验证和巩固重要的基础理论,同时使学生掌握常用电工仪表、测量仪器的工作原理和规范使用,熟悉常用元器件的原理和性能,掌握其参数的测量方法和元器件的使用方法,掌握基本实验知识、基本实验方法和基本实验技能.同时,培养学生一定的安装、调试、分析、寻找故障等技能.

(2) 综合性实验侧重于对一些理论知识的综合运用和对实验的综合分析,其目的是培养学生综合运用理论知识的能力和解决较复杂实际问题的能力,包括实

验理论的系统性,实验方案的完整性、可行性,元器件及测量仪器的综合应用等。

(3) 设计性实验对于学生来说,既有综合性又有探索性。它主要侧重于对某些理论知识的灵活应用,要求学生在教师的指导下独立完成查阅资料、设计方案和组装实验等工作,实验中借助于计算机仿真可以使实验方案更加完善、合理。

第二节 电类基础实验的一般要求

尽管每个实验项目的目的和内容不同,但为了培养良好的学风,充分发挥学生的主动精神,促使其独立思考、独立完成实验并有所创新,对电类基础实验的预习阶段、进行阶段、完成阶段和实验报告分别提出下列基本要求:

一、实验预习阶段

为了避免盲目性,参加实验者应对实验内容进行预习。通过预习,明确实验目的和要求,掌握实验的基本原理,看懂实验电路,查阅相关资料,拟出实验方法和步骤,设计实验表格,对思考题进行思考,并初步估算(或分析)实验结果。

二、实验进行阶段

(1) 参加实验者要自觉遵守《学生实验守则》和《实验室安全管理制度》。

(2) 根据实验内容合理安排实验,仪器设备和实验装置安放要适当。检查所用器件和仪器是否完好,然后按实验方案连接实验电路,认真检查、确保无误后方可通电测试。

(3) 认真记录实验条件和所得数据、波形并进行分析,判断数据、波形是否正确。若发生故障应迅速切断电源,报告指导教师或实验室有关人员,并独立思考分析,耐心寻找故障原因,进而排除故障,记录排除故障的过程和方法。

(4) 仔细领会实验内容及要求,确保实验内容完整,测量结果准确、合理。

三、实验完成阶段

实验完成后,将实验记录送给指导教师审阅签字,经教师同意后方能拆除线

路,清理实验现场。

四、实验报告

实验报告是对实验工作的全面总结。作为一名工程技术人员,必须具有撰写实验报告这种技术文件的能力,做完实验后将实验结果和实验情况完整、真实地表达出来。

(一) 实验报告的内容

实验报告应包括以下几个部分:

- (1) 实验目的。
- (2) 实验测试电路和实验原理。
- (3) 实验使用的仪器型号、主要工具。
- (4) 实验具体步骤、实验原始数据及实验过程的详细情况记录。
- (5) 实验结果和分析。必要时,应对实验结果进行误差分析。
- (6) 实验心得。总结实验完成情况,对实验中遇到的问题进行讨论,简单叙述实验的心得和体会。

(二) 实验报告的基本要求

实验报告要求结论正确、分析合理、讨论深入、文理通顺、简明扼要、符合标准、字迹端正、图表清晰。在实验报告上还应注明课题、实验者、实验日期、使用仪器编号等内容。

第三节 误差分析与测量结果的处理

在实验过程中,由于各种原因,测量结果和待测量的客观真值之间总存在一定的差值,即测量误差。因此,分析误差产生的原因,如何减少误差使测量结果更加准确,对于实验人员及科技工作者来说是必须了解和掌握的。

一、误差的来源与分类

(一) 测量误差的来源

测量误差的来源主要有以下几个方面:

1. 仪器误差

仪器误差是指由于测量仪器本身的电气或机械等性能不完善所造成的误差。显然,消除仪器误差的方法是配备性能优良的仪器并定时对测量仪器进行校准。

2. 使用误差

使用误差也叫操作误差,是指测量过程中因操作不当而引起的误差。减小使用误差的办法是测量前仔细阅读仪器的使用说明书,严格遵守操作规程,提高实验技巧和对各种仪器的操作能力。

例如,仪表盘上的符号 $\perp$ 、 Π 、 $\angle 60^\circ$ 分别表示仪表垂直位置使用、水平位置使用、与水平面倾斜成 60° 使用。使用时应按规定放置仪表,否则会带来误差。

3. 方法误差

方法误差也叫理论误差,是指由于使用的测量方法不完善、理论依据不严密、对某些经典测量方法作了不适当的修改、简化所产生的误差,即凡是在测量结果的表达式中没有得到反映的因素,而实际上这些因素在测量过程中又起到一定的作用所引起的误差。

例如,用伏安法测电阻时,若直接以电压值与电流值之比作为测量结果,而不计电表本身内阻的影响,就会引起误差。

(二) 测量误差的分类

测量误差按性质和特点分类,可分为系统误差、随机误差和疏失误差三大类。

1. 系统误差

系统误差是指在相同条件下重复测量同一量时,误差的大小和符号保持不变,或按照一定规律变化的误差。系统误差一般通过实验或分析方法,查明其变化规律及产生原因后,可以减少或消除。电类基础实验中的系统误差常由于测量仪器的调整不当和使用方法不当所致。

2. 随机误差

随机误差也叫偶然误差。在相同条件下多次重复测量同一量时,误差大小和符号无规律地变化所造成的误差称为随机误差。随机误差不能用实验方法消除,但从

随机误差的统计规律中可以了解它的分布特性,并能对其大小及测量结果的可靠性做出估计,或通过多次重复测量,然后取其算术平均值来达到目的。

3. 疏失误差

疏失误差也叫过失误差。这种误差是由于测量者对仪器不了解或粗心,导致读数不正确而引起的,测量条件的突然变化也会引起误差。含有粗差的测量值称为坏值或异常值,必须根据统计检验方法的某些准则去判断哪个测量值是坏值,然后去除。

二、误差的表示方法

误差可以用绝对误差和相对误差来表示。

(一) 绝对误差

设被测量的真值为 A_0 , 测量仪器的示值为 X , 则绝对误差为

$$\Delta X = |X - A_0|$$

在某一时间及空间条件下,被测量的真值虽然是客观存在的,但一般无法测得,只能尽量去逼近它。故常用高一标准测量仪器的测量值 A 代替真值 A_0 , 则

$$\Delta X = |X - A|$$

在测量前,测量仪器应由高一标准仪器进行校正,校正量常用修正值 C 表示。高一标准仪器的示值减去测量仪器的示值得的差值,就是修正值。实际上,修正值就是绝对误差,只是符号相反而已,即

$$C = -\Delta X = A - X$$

利用修正值便可得该仪器所测量的实际值:

$$A = X + C$$

例如,用电压表测量电压时,电压表的示值为 1.1 V , 通过鉴定得出其修正值为 -0.01 V 。则被测电压的真值为

$$A = 1.1 + (-0.01) = 1.09(\text{V})$$

修正值给出的方式可以是曲线、公式或数表。对于自动测量仪器,修正值则应预先编制好,存于仪器中,测量时对误差进行自动修正,所得结果便是实际值。

(二) 相对误差

绝对误差值的大小往往不能确切地反映出被测量的准确程度。例如,在测 100 V 电压时, $\Delta X_1 = +2 \text{ V}$, 在测 10 V 电压时, $\Delta X_2 = 0.5 \text{ V}$, 虽然 $\Delta X_1 > \Delta X_2$, 可

实际 ΔX_1 只占被测量的 2%, 而 ΔX_2 却占被测量的 5%。显然, 后者的误差对测量结果的影响相对较大。因此, 工程上常采用相对误差来比较测量结果的准确程度。

相对误差又分为实际相对误差、示值相对误差和引用(或满度)相对误差。

1. 实际相对误差

实际相对误差用绝对误差 ΔX 与被测量的实际值 A 的比值的百分数来表示:

$$\gamma_A = \frac{\Delta X}{A} \times 100\%$$

2. 示值相对误差

示值相对误差用绝对误差 ΔX 与仪器给出值 X 的百分数来表示:

$$\gamma_X = \frac{\Delta X}{X} \times 100\%$$

3. 引用相对误差

引用(或满度)相对误差用绝对误差 ΔX 与仪器的满刻度值 X_m 之比的百分数来表示:

$$\gamma_m = \frac{\Delta X}{X_m} \times 100\%$$

电工仪表的准确度等级是由 γ_m 来决定的, 如 1.5 级的电表, 表明 $\gamma_m \leq \pm 1.5\%$ 。我国电工仪表按 γ_m 值共分七级: 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 5.0。若某仪表的等级是 S 级, 它的满刻度值为 X_m , 则测量的绝对误差为

$$\Delta X \leq X_m \times S\%$$

其示值相对误差为

$$\gamma \leq \frac{X_m}{X} \times S\%$$

在上式中, 总是满足 $X \leq X_m$ 的, 可见当仪表等级 S 选定后, X 愈接近 X_m 时, γ 的上限值愈小, 测量愈准确。因此, 当我们使用这类仪表进行测量时, 一般应使被测量的值尽可能在仪表满刻度值的 1/2 以上。

三、测量结果的处理

测量结果通常用数字或图形表示, 下面分别进行讨论。

(一) 量程的选择

1. 电压

不同的量程, 精度也不一样。如 1 V 的电压用 2 V 的量程测量, 结果为 1.02

V;用 20 V 的量程测量,结果为 1.0 V 或 9.9 V.

2. 电流

不同的量程,精度也不一样.如 5 mA 的电流用 20 mA 的量程测量结果为 5.01 mA;用 200 mA 的量程测量,结果为 5.0 mA 或 4.9 mA.

(二) 示波器波形参数的选取

(1) 横坐标基本波选取 0.2 ms/cm 的量程,一个周期对应五大格;选取 0.5 ms/cm 的量程,一个周期对应两大格.

(2) 纵坐标选取 1 V/div 的量程,上下对应两大格;选取 0.5 V/div 的量程,上下对应四大格.

(三) 测量结果的数据处理

1. 有效数字

由于存在误差,所以测量数据总是近似值,它通常由可靠数字和欠准数字两部分组成.例如,由电流表测得电流为 12.6 mA,这是一个近似数,“12”是可靠数字,而末位“6”为欠准数字,即 12.6 有三位有效数字,有效数字对测量结果的科学表述极为重要.

对有效数字的正确表示,应注意以下几点:

(1) 与计量单位有关的“0”不是有效数字.例如,0.054 A 与 54 mA 这两种写法均为两位有效数字.

(2) 小数点后面的“0”不能随意省略.例如,18 mA 与 18.00 mA 是有区别的,前者为两位有效数字,后者则是四位有效数字.

(3) 对后面带“0”的大数目数字,不同写法其有效数字位数是不同的.例如,3 000 若写成 30×10^2 ,则为两位有效数字;若写成 3×10^3 ,则为一位有效数字;若写成 $3\,000 \pm 1$,就是四位有效数字.

(4) 如已知误差,则有效数字的位数应与误差所在位相一致,即有效数字的最后一位数应与误差所在位对齐.如仪表误差为 ± 0.02 V,测得数为 3.283 2 V,其结果应写作 3.28 V.因为小数点后面第二位“8”所在位已经产生了误差,所以从小数点后面第三位开始后面的“32”已经没有意义了,结果中应舍去.

(5) 当给出的误差有单位时,测量数据的写法应与其一致.如频率计的测量误差为正负数 kHz,其测得某信号的频率为 7 100 kHz,可写成 7.100 MHz 或 $7\,100 \times 10^3$ Hz,若写成 7 100 000 Hz 或 7.1 MHz 是不行的,因为后者的有效数字与仪器的测量误差不一致.

2. 数据舍入规则

为了使正、负舍入误差出现的机会大致相等,现已广泛采用“小于5舍,大于5入,等于5时取偶数”的舍入规则,即:

- (1) 若保留 n 位有效数字,当后面的数值小于第 n 位的 0.5 单位就舍去.
- (2) 若保留 n 位有效数字,当后面的数值大于第 n 位的 0.5 单位就在第 n 位数字上加 1.
- (3) 若保留 n 位有效数字,当后面的数值恰为第 n 位的 0.5 单位,则当第 n 位数字为偶数(0,2,4,6,8)时应舍去后面的数字(即末位不变);当第 n 位数字为奇数(1,3,5,7,9)时,第 n 位数字应加 1(即将末位凑成偶数).这样,由于舍入概率相同,当舍入次数足够多时,舍入的误差就会抵消.同时,这种舍入规则使有效数字的尾数为偶数的机会增多,能被除尽的机会比奇数多,有利于准确计算.

3. 有效数字的运算规则

当测量结果需要进行中间运算时,有效数字的取舍原则上取决于参与运算的各数中精度最差的那一项.一般应遵循以下规则:

- (1) 当几个近似值进行加减运算时,在各数中(采用同一计量单位)以小数点后位数最少的那一个数(如无小数点,则以有效数字位数最少者)为准,其余各数均舍入至比该数多一位后再进行加减运算,结果所保留的小数点后位数,应与各数中小数点后位数最少者的位数相同.
- (2) 进行乘除运算时,在各数中以有效数字位数最少的那一个数为准,其余各数及积(或商)均舍入至比该因子多一位后进行运算,而与小数点位置无关.运算结果的有效数字的位数应取舍成与运算前有效数字位数最少的因子相同.
- (3) 将数平方或开方后,结果可比原数多保留一位.
- (4) 用对数进行运算时, n 位有效数字的数应该用 n 位对数表示.
- (5) 若计算式中出现如 $e, \pi, \sqrt{3}$ 等常数,可根据具体情况来决定它们应取的位数.

(四) 测量结果的曲线表示法

在分析两个或多个物理量之间的关系时,用曲线比用数字、公式表示常常更形象和直观,因此,测量结果常要用曲线来表示.在实际测量过程中,由于各种误差的影响,测量数据会出现离散现象,如把测量点直接连接起来,将不是一条光滑的曲线,而是呈折线状.但我们应用有关误差理论,可以把各种随机因素引起的曲线波动抹平,使其成为一条光滑均匀的曲线,如图 0-1 所示,这个过程称为曲线的修匀.

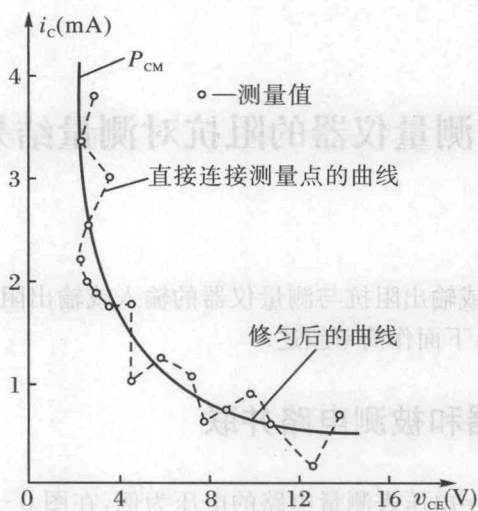


图 0-1 直线连接测量点时曲线的波动情况

在要求不太高的测量中,常采用一种简便、可行的工程方法——分组平均法来修匀曲线. 这种方法是将各测量点分成若干组, 每组含 2~4 个数据点, 然后分别估取各组的几何重心, 再将这些重心连接起来. 图 0-2 就是每组取 2~4 个数据点进行平均后的修匀曲线. 这条曲线由于进行了测量点的平均, 在一定程度上减少了偶然误差的影响, 使之较为符合实际情况.

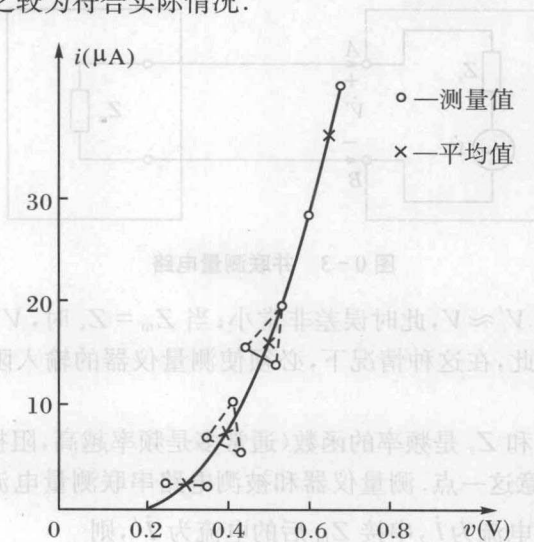


图 0-2 分组平均法修匀曲线

第四节 测量仪器的阻抗对测量结果的影响

被测电路的输入或输出阻抗与测量仪器的输入或输出阻抗,如果没有合理的匹配将造成测量误差,下面作简单叙述.

一、测量仪器和被测电路并联

以用示波器或数字电压表测量电路的电压为例,在图 0-3 中,被测电路的输出阻抗为 Z_s ,电压为 $\dot{V}$.用输入阻抗为 Z_m 的示波器或者数字电压表测量时,测量点 A, B 间的电压 $\dot{V}'$ 为

$$\dot{V}' = \frac{Z_m}{Z_m + Z_s} \times \dot{V}$$

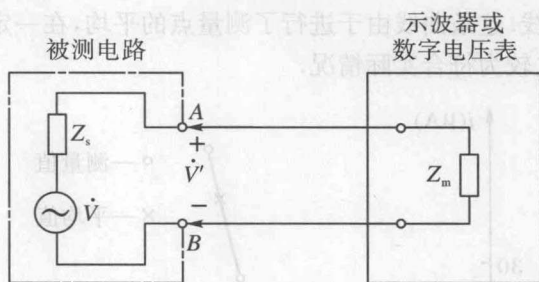


图 0-3 并联测量电路

当 $Z_m \gg Z_s$ 时, $V' \approx V$, 此时误差非常小; 当 $Z_m = Z_s$ 时, $V' = V/2$, 指示值为实际电压的 1/2. 因此, 在这种情况下, 必须使测量仪器的输入阻抗比被测电路的输出阻抗大很多.

另外, 一般 Z_m 和 Z_s 是频率的函数(通常多是频率越高, 阻抗越低), 尤其在高频测量时必须要注意这一点. 测量仪器和被测电路串联测量电流时, 如图 0-4 所示, 若未接 Z_m 前的电流为 $\dot{I}$, 串接 Z_m 后的电流为 $\dot{I}'$, 则

$$I(\text{真值}) = \frac{\dot{V}}{\dot{Z}_s}$$

$$i'(\text{测量值}) = \frac{i}{1 + \frac{Z_m}{Z_s}}$$

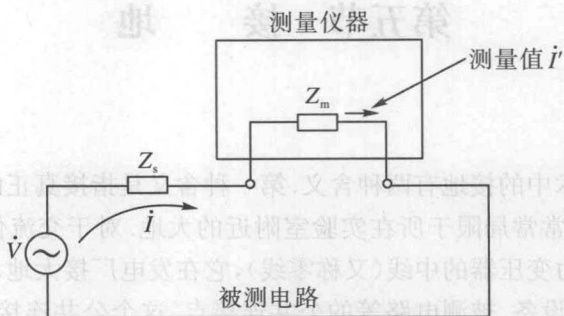


图 0-4 串联测量电路

若 $Z_m \ll Z_s$, 则 $i' \approx i$, 测量值近于真值; 若 $Z_m = Z_s$, 则 $i' = i/2$, 测量指示值为真值的 $1/2$. 因此, 在这种情况下, 测量仪器的输入阻抗应远小于被测电路的输出阻抗. 由此可见, 如果忽略了测量仪器的阻抗, 会对结果产生较大影响.

二、阻抗匹配

用信号发生器进行测量时, 如图 0-5 所示, 当被测电路输入阻抗 Z_m 和信号发生器的输出阻抗 Z_s 相等时, 称为阻抗匹配. 匹配的目的在于使负载 Z_m 上得到最大功率, 特别是在高频电路中, 此种匹配还为了在负载端不产生反射.

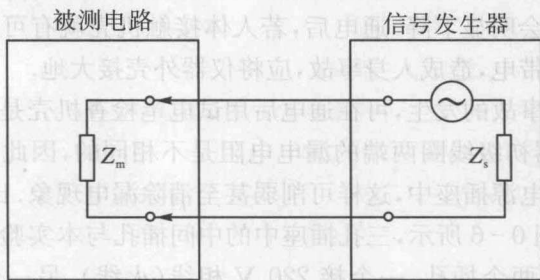


图 0-5 阻抗匹配测量

在高频、脉冲传输系统中, 传输线多数采用 $50\ \Omega$, 它比用 $600\ \Omega$ 系统时, 电抗成分影响小, 因此, 前沿陡的脉冲及高频的测量比较正确.