

实验技能提升训练

高等学校“十二五”规划教材

模拟电子技术实验与课程设计

王 斌◎编



西北工业大学出版社

高等学校“十二五”规划教材

模拟电子技术实验 与课程设计

(含“实验报告书”)

王 斌 编

西北工業大學出版社

【内容简介】 本书是在 2006 年第 1 版的基础上修订而成的,适合电类不同专业、不同层次读者的实验教学之用。

全书分为三部分。第一部分介绍了电子技术实验的基本要求以及实际应用的一些基本技能。第二部分为基础实验和提高设计性实验,以满足不同专业和层次的教学需要。该部分涵盖了模拟电子技术基础的全部实验内容,除了介绍每一种实验电路的测试原理,还立足于工程实际应用,介绍了该类电路的设计方法,使本书具有一定的工程实用性。第三部分简要介绍了计算机辅助设计与仿真软件 Multisim 10 的使用。本书附录部分介绍了一些电子元器件的基础知识。本书配有实验报告书。

本书可作为高等学校电子、通信、自动化、测控类专业实验课及课程设计的教材,也可用作模拟电子技术理论课程学习的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术实验与课程设计/王斌编. —西安:西北工业大学出版社,2014.3

ISBN 978-7-5612-3941-4

I. ①模… II. ①王… III. ①模拟电路—电子技术—实验—高等学校—教材 ②模拟电路—电子技术—课程设计—高等学校—教材 IV. ①TN710-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 053988 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:陕西宝石兰印务有限责任公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:9.5

字 数:164 千字

版 次:2014 年 3 月第 1 版 2014 年 3 月第 1 次印刷

定 价:22.00 元 (含实验报告书)

前 言

为了适应当前教育教学改革的需要,培养应用型技能人才,根据电子、自动化、测控技术与仪器等专业的实际需要,编写了这本设计性实验教材。通过使用这本教材,希望能达到这样一个目的:学生能够在实践中加深对理论知识的理解、掌握,同时学会将理论知识应用于实际中。

全书分为三部分。第一部分介绍了电子技术实验的基本要求以及实际应用的一些基本技能。为适应职业技能培训的需要,还编写了与实际工作紧密联系的内容,如:电子设备的组装、检验和调试,这些内容有助于学生一走上工作岗位能够尽快满足工作需要。第二部分为基础实验和提高设计性实验。在这一部分按模拟电子技术的基本要求,将两类性质的实验有机地结合起来,一方面便于学生按照由易到难的规律对本部分内容有很好的掌握,另一方面也考虑到不同专业的需要。对电子类专业学生,要求在完成基础实验后能根据所学的理论知识自己设计实验电路并完成测试;对非电类专业学生只要求完成基础实验即可。这样安排的目的是希望学生能将理论知识和实验技能有机地结合起来,在理论的指导下进行实验,在实验中进一步加深对理论的理解和掌握,并初步了解将理论知识转化到实践的具体方法。第三部分为计算机辅助设计与仿真软件简介,主要介绍了 Multisim 10 在模拟电子技术实验及课程设计中的应用。

为了便于大家能够充分准备好每一次实验,在每一个实验后面都列出了应阅读的一些参考书的章节,相信这些内容对提高实验技能、增强理论学习效果是很有帮助的。

本书可作为高等学校电子、通信、自动化、测控类专业实验课及课程设计的教材,也可用作模拟电子技术理论课程学习的参考书。本书配有“模拟电子技术实验与课程设计实验报告书”。

由于水平有限,本书还有许多不尽如人意的地方,恳请各位教师和学生在使用过程中提出宝贵的意见和建议。

编 者

2013 年 12 月

第一部分 模拟电子技术实验(训)基础知识

目 录

第一部分 模拟电子技术实验(训)基础知识	1
1.1 电子技术实验基本要求	1
1.2 电子电路的设计方法简介	5
1.3 电子电路的安装和调试	6
第二部分 基础实验和提高设计性实验	8
2.1 实验一 常用仪器仪表的使用	8
2.2 实验二 单级低频放大电路的设计和测试	13
2.3 实验三 差分放大器的测试	25
2.4 实验四 分立元件低频功率放大器的设计和测试	29
2.5 实验五 集成功率放大器的应用	38
2.6 实验六 集成运算放大器的基本应用(Ⅰ) ——模拟运算电路的设计	43
2.7 实验七 集成运算放大器的基本应用(Ⅱ) ——二阶有源滤波器的设计和测试	52
2.8 实验八 集成运算放大器的基本应用(Ⅲ) ——电压比较器	58
2.9 实验九 集成运算放大器的基本应用(Ⅳ) ——信号产生电路	62
2.10 实验十 分立元件直流稳压电源的设计和测试	68
2.11 实验十一 集成稳压电源的应用和设计	75
第三部分 计算机辅助设计与仿真软件简介	81
3.1 Multisim 10 使用介绍	81
3.2 仿真示例及练习	89
附录	98
附录1 常见电阻标称值一览表	98
附录2 常见固定电容标称值一览表	101
附录3 二极管、三极管引脚识别以及性能判断	101
参考文献	105

第一部分 模拟电子技术实验(训)基础知识

1.1 电子技术实验基本要求

任何理论来源于实践又必须应用于实践,这样才能服务于人。这一点在电子技术课程上表现得尤为明显。只有通过实验,才能学会如何将所学知识用于实际,并进一步加深对概念和理论的理解和掌握。也只有这样,才能培养学生理论联系实际、严谨求实的工作作风,为以后的实际工作需要打下良好的基础。因此,同学们从现在起就要重视实验,认真做好每次实验。

那么,学习模拟电子技术实验课程,要达到什么目的呢?

第一,要熟练掌握和使用常用的电子仪器仪表。如万用表(包括指针式、数字式)、示波器、毫伏级电压表、稳压电源、信号源等,要尽可能地弄清这些仪器仪表的基本工作原理、使用条件,明确各功能键或旋钮的作用。

第二,要能正确地按照实验原理电路组装实际电路,并能自己检验和排除电路故障。一般来说,实验电路的故障有以下几种:

(1) 电路组装错误,实际电路与电路原理图不符。这就要求在组装电路时要认真细心,装完后要认真对照电路图严格检查,检查无误后才可通电进行实验。否则,就不可能得到预期的结果,甚至可能烧毁电路或元器件。

(2) 元器件选择有误或元器件失效。要解决这类故障,就要求大家弄清所用器件的基本性能、结构、各引脚的功能等,对一些常用器件(如二极管、三极管、电容等)应学会性能辨别方法,这在以后的工作中也是很有用的。

(3) 电路接触不良。此类故障比较隐蔽,但检查起来并不复杂,只需用万用表的电阻挡测量连接点两侧的电阻就可查出。有时还可以检查某些测试点上的对地电压,看其是否和理论分析吻合。

第三,要学会和掌握基本的实验技能和技巧,学会一些物理量的测量方法。

第四,初步学会电路设计的一般方法,能够将所学理论知识用于实际。

学习的最终目的是要用所学知识解决实际问题,因此,我们“学”的着眼点就应放在“用”上。对任何一个基本理论,既要弄清它的原理,又要学会它是如何被用于实践的,进而用它解决自己所遇到的实际问题。

要达到以上学习目的,要求大家在学习中做到以下几点:

(1) 一定要提前预习和准备。由于实验课时有限,要求大家提前做好实验电路设计,弄清实验原理,拟好实验步骤,画好实验数据表格,并对有关参数给出理论计算值,以便与实验测量数据进行对比分析。

(2) 认真听讲,勤于思考。每次实验课开始时,老师都要对本次实验的原理、电路以及实验中要注意的问题进行讲解和说明。这时,同学们一定要认真听讲,积极思考,并与自己设计的

实验电路、依据的原理、将要进行的步骤对照比较,以判断自己所准备内容的优劣或者是否有误。

(3) 实验中要认真仔细,严谨求实。

(4) 对仪器仪表要在弄清原理和使用方法的基础上正确使用,注意爱护实验设备和其他公物。

(5) 认真完成实验报告,学会撰写实验报告,对实验数据进行分析处理。对一些电路的设计方法,一些物理量的测试方法要认真进行总结,得出规律性的结论,只有这样实验技能技巧才能得到提高。

为使同学们能够写出比较规范的实验报告,这里选取了一位同学的报告,进行适当的修改后作为范例(该实验报告内容也可以作为教学内容用)以供参考。

实验报告范例

基础实验——两级阻容耦合放大器及负反馈研究

实验日期: * * * * 年 * * 月 * * 日 实验班级: * * * 实验人: * * *

一、实验目的

- (1) 了解多级放大器的电压放大倍数、输入电阻、输出电阻以及频率特性的估算和测量方法。
- (2) 掌握负反馈对放大器电压放大倍数、输入电阻、输出电阻以及增益的影响。

二、实验电路及原理

实验电路如图 1-1 所示, T_1, T_2 通过 C_2 组成两级阻容耦合放大电路, R_f 构成负反馈回路。

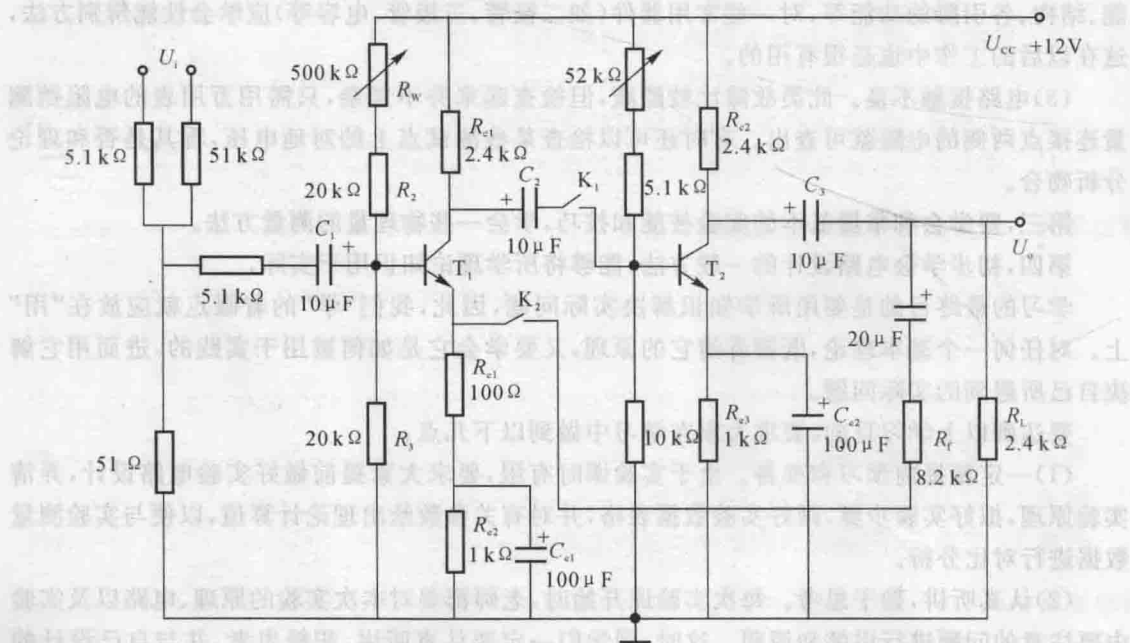


图 1-1 有负反馈的多级放大电路

根据放大电路的理论,基本多级耦合放大电路(无反馈、开路时)的输入电阻、输出电阻的计算式分别为

$$R_i = r_{be} // r_{b1} // r_{b2} \quad R_o = R_{c2}$$

其放大倍数为

$$A_U = \frac{U_o}{U_i} = A_{U1} A_{U2}$$

通频带:多级耦合放大电路的通频带受各级放大器的频带限制,并且总比每一级的频带窄。其定义为:在输入信号大小不变的情况下,只改变信号频率,当放大电路的增益降为中频增益 0.707 倍的时候,所对应的频率就为截止频率。这样的频率在低频区和高频区各有一个,这两个频率之间的频率区域就为通频带。

加入负反馈后,增益为

$$A_{Uf} = \frac{\dot{A}_U}{1 + \dot{A}_U \dot{F}}$$

$(1 + \dot{A}_U \dot{F})$ 越大,反馈越强,当 $(1 + \dot{A}_U \dot{F}) \gg 1$ 时,放大器的增益仅与反馈网络有关,与其他参数无关,因而,增益得到稳定。

截止频率为

$$f_{Hf} = |1 + \dot{A}_U \dot{F}| f_H$$

$$f_{Lf} = \left| \frac{1}{1 + \dot{A}_U \dot{F}} \right| f_L$$

可见,加入负反馈后通频带变宽。

因此,加入负反馈后,放大器的放大倍数减小,但提高了放大器的增益稳定性;能够扩展放大器的通频带;同时,还可以改变放大器的输入、输出阻抗(这由反馈的类型而定)。

三、实验步骤及测试方法

按照如图 1-1 所示的实验电路图接好电路(先不接负反馈回路),检查后加电源,调各级的静态工作点。第一级基极电位 $U_{B1} \approx 3V$,发射极 $U_{E1} \approx 2.2V$,集电极 $U_{C1} \approx 8V$ (用示波器观察输入、输出波形,调静态工作点使输入达到最大时,第二级输出不失真)。对第二级采用同样的方法调试。

调好静态工作点后,对电路加 $1kHz, 5 \sim 15mV$ 的正弦波,通过示波器观察各级放大器的输出有无失真,相位关系是否正确。否则要检查电路,调节输入信号使其大小合适,调好后按以下实验步骤进行。

1. 两级阻容耦合放大器输入电阻、输出电阻的测量

由于放大器工作于低频小信号状态,因此,可以将该放大器近似地当作线性电路处理。在测量交流参数(输入电阻、输出电阻)时,采用如图 1-2 的等效电路,利用戴维南定理测量。

利用如图 1-2(a) 所示的电路测量输入电阻,则有

$$R_i = \frac{U_i}{U_s - U_i} R_s$$

式中, R_s 为取样电阻, U_i 为放大器输入端的电压, U_s 为信号源的输出电压。

利用如图 1-2(b) 所示电路测量输出电阻,设负载开路时,放大电路输出电压为 U'_o ;加上负载后,负载两端的电压为 U_o ,则有

$$R_o=\frac{U_o'-U_o}{U_o}R_L$$

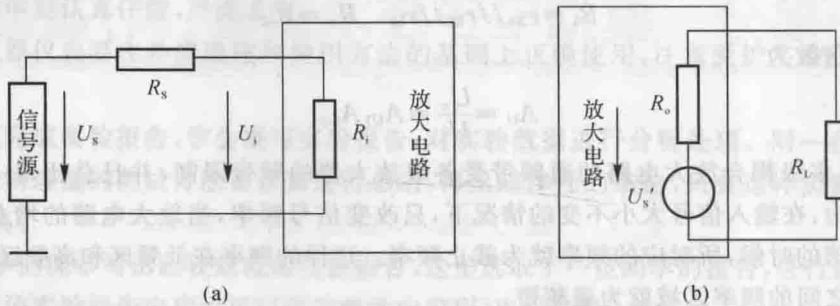


图 1-2 输入、输出阻抗测量原理电路

(a) 输入阻抗测量； (b) 输出阻抗测量

以上两项测量时,都要用示波器监测输出,只有在输出不失真的情况下才可进行测试。将按照上述方法测量的各物理量数据记入表 1-1 中。

表 1-1

		U_s/V	U_i/V	U_o/V	R_i 或 R_o/Ω	
					理论值	测量值
R_i 的测量	无反馈					
	有反馈					
R_o 的测量	无反馈					
	有反馈					

2. 放大倍数测量

按原电路图接好电路,调节信号源,将 1kHz,10mV 的正弦波信号加到电路的输入端,用示波器观察各级的输出波形,在各输出波形不失真的情况下,用毫伏级电压表测量每一级的输出电压,结果记录在表 1-2 中。

表 1-2

	U_i/V	U_{o1}/V	U_{o2}/V	A_{U1}		A_{U2}		A_U	
				理论值	测量值	理论值	测量值	理论值	测量值
无反馈									
有反馈									

3. 通频带测量

保持信号源的输出幅度大小不变,而仅仅改变信号的频率,用毫伏级电压表观测放大电路的输入、输出。根据通频带的定义,测出当增益降为 $0.707A_U$,实际上也就是放大器输出为 $0.707U_{o2}$ 时,所对应的输入信号的频率。这样的频率有两个,较大的为上限截止频率 f_H ,较小的为下限截止频率 f_L , $\Delta f=f_H-f_L$ 被称为通频带。结果记录在表 1-3 中。

表 1-3

	$0.707U_{o2}$	f_H	f_L	Δf
无反馈				
有反馈				

4. 接入负反馈回路

接入负反馈回路,按照上面 1,2,3 的步骤和方法重新测量输入、输出电阻,放大倍数,通频带。表格形式与上面的各项相同。

四、数据分析及结论

由表 1-1 可以看出,加入电压串联负反馈提高了放大器的输入电阻,而减少了放大器的输出电阻;同时减小了放大倍数,而扩展了通频带。

五、体会

通过本次实验,进一步学会了放大电路基本参数的测量方法,对负反馈改善放大电路的性能有了更深的认识。

六、思考题(略)

1.2 电子电路的设计方法简介

电子技术是一门与实践紧密联系的课程,因此在学习中,应重点关心的是如何用电子学理论知识指导实际应用,设计出满足要求的电路来。为此,大家应该初步了解电子电路的设计基本方法,有了这些知识作铺垫,在以后的工作中随着专业经验的积累,电路设计的技能技巧将会不断提高。

本节就电路设计的一般方法进行简单的介绍。

一、确定总体方案

总体方案是整个电路设计的开端,它是根据设计课题要求,用若干个框图揭示出整个电路各部分之间信号的联系和各自的功能,后面的设计总是围绕这个方案所确定的目标而进行的。总体方案的拟订应在确定设计课题后,对课题进行深入分析,了解相关的理论、技术资料,将学习和工作中收集的类似电路与设计要求对照后比较分析,明确哪些电路或设计思想可以借鉴,哪些环节还需要改造或创新设计,在此基础上形成一个初步的方案。这样得到的方案可能不止一个,这就需要对方案进行筛选,筛选考虑的因素有三点:其一,该方案完成后,其技术指标能否满足设计要求;其二,性价比如何,我们总是希望在满足同样技术要求的情况下,生产成本越低越好;其三,生产安装、检修是否简单等。

二、单元电路的设计

在总体方案确定后,按照各部分单元电路功能要求,对每一单元单独设计。这时的设计不仅要对电路的形式作出选择,还要对电路参数进行计算确定,器件的型号、规格也要选择。这

里,知识和工作经验的积累显得尤为重要,在进行这部分设计时,要熟悉典型电路,应多查阅资料,分析与设计相关电路的特点、性能、指标,以它们为参考,设计出满足设计课题要求的电路来。若设计起来有困难,可选用与设计课题要求相近的电路,并对电路有些参数作适当调整,使其完全满足设计要求。

在设计过程中,可以借助计算机辅助设计,随时进行仿真测试,以提高设计速度和正确性。工程上常用的辅助设计软件很多,如 Protel DXP, AutoCAD, EWB 等,为适应以后工作的需要,建议同学们能熟练掌握一两种电路设计常用软件的使用。

三、总体电路图

在单元电路设计完成后,应画出总体电路图,以便他人全面了解电路的工作原理和信号之间的相互关系,这也为后面的电路板设计以及生产、安装、维修提供技术依据。

画总体电路图时,要尽可能地将各单元画在同一张图纸上,同时注意整体布局紧凑、均匀,不要有些部分电路图过密,而有些过疏,这样看起来不够美观。画图时,一般自左向右或自上而下根据信号流向画起。

在画信号连线时,要用水平线或竖直线,一般不用斜线。在连线交叉的地方。若信号相连,则在交叉点上用黑点标出。若在一张图上,电路复杂,连线太多并且要画的连线距离过远时,该线可以不画出,仅在两个连接点引出的短线上用同一符号标示出。若画的是总线,要在总线两端用相同符号标出同一信号的连接。

以上粗略介绍了电路设计的一般方法,而电路设计中遇到的问题是多种多样的,在此无法细列,相信随着大家知识和经验的积累,对电路设计方法会有更多的认识。

✧ 推荐阅读书目及章节

- [1] 毕满清. 电子技术实验与课程设计. 2 版. 北京:机械工业出版社,2001. 第四章.
- [2] 谢自美. 电子线路设计·实验·测试. 3 版. 武汉:华中科技大学出版社,2006.

1.3 电子电路的安装和调试

电路设计完成后,需要组装成实际电路以测试其性能,以检验设计的合理性。在电路组装时应具有一定的技能技巧和调试方法,否则,电路设计得再好,也有可能达不到设想的效果。同时,这也为后面生产安装、调试工艺的制订提供了依据。

一、安装

安装实际电路的载体通常有两种形式:一是在 PCB 板上焊接,二是在实验板(如:面包板、专用实验平台)上插接电路。对在 PCB 板上焊接元件测试的方法,将在电子工艺实习中予以介绍,这里着重介绍在实验板上组装和调试电路的方法。

在实验板上插接或用导线连接元件时,对照电路图,应按信号和电流的流向,依次连接各部分元件。连接时为防止遗漏或出错,应抓住电路节点和关键元件,看信号流经的这个节点上连接了几条支路,将这几条支路连接完,然后过渡到其他节点,连接时应先串后并。

必须注意,连接时三极管类型和引脚不要接错,普通二极管、稳压二极管、电解电容的正负

极性不要接反。否则,信号不能通过或损坏元件。在使用集成电路时,首先要明确各个引脚的功能和引脚排列,这样可以防止接错。对导线、电阻、电容、电感等元器件在插接前应保证其性能良好,参数正确。在不能确定时,最好随时用万用表进行测试检查。

在用导线连接时,导线不要过长,布线排列要整齐,不要杂乱无章,犹如一团乱麻,那样容易产生自激和信号之间的相互干扰,更不便于自己对电路的检查。导线线芯除信号输入和输出测试点部分外,其余部分尽量不要外露,防止导线之间短接。

电路连接完成后,要对照电路图认真检查,确保电路连接正确。

二、调试

在电路连接和检查完毕后,下面一道工序就是调试。调试就是借助于仪器仪表对电路进行调整和测量,使各项指标符合设计要求,同时也是判断设计是否成功的重要依据。因此,调试在电路设计中是很重要的一个环节。

调试的步骤和方法根据具体电路不同而异,但一般按下述步骤进行。

1. 通电观察

在不加测试信号或测试信号为零时,接上额定工作电压,主要是判断电路有无短路、冒烟、异常气味等,元件有无发烫等异常现象。在没有上述异常时,电源输出电流、电路各部分静态工作点是否合适,这些需要用仪器仪表测量。

2. 分块调试

在完成通电观察后,根据电路各部分功能不同,按信号的流向分功能块逐一进行调试。这时的调试分静态、动态调试,各功能块不加测试信号,仅加电源,调节电路参数,使各部分静态工作点合适。然后加测试信号,用示波器等仪器观测输出信号是否正常。若不正常就要进行参数调整或故障检查,直到正常为止,然后进行下一模块的调试,同时将上一模块的输出信号作为下一模块的测试信号。

例如,在进行黑白电视机组装时,安装完成后,需要按功能块逐一调试。首先,调试电源,将电源部分与其他模块断开,通电,观察电源部分工作有无异常,特别是调整管是不是异常烫手。若正常,则测量电源输出是否达到额定值;若没有达到,则调整采样电位器,使输出达到正常;若还不能达到正常,则是电路存在故障,这时要通过测量各三极管静态工作点来找出故障点。电源调试好后,依次向各部分供电,然后依次检查和调试图像通道、伴音、行场分离、场扫描、行扫描等,详细方法在此不一一说明。

3. 统调

分块调试完毕后,将整个电路连成一个完整的系统,给一个测试信号,观测有无正常输出结果,或是调整个别环节,使输出达到最佳。

三、测量结果分析

在前面设计时,所依据的参数、公式等有许多还是理论性的或经验性的,最终的实际电路是否满足设计指标,满足的程度如何,这些都需要通过实际测试数据来说明。因此,掌握一定的测试理论和测试方法是平时实验课的重要教学目的之一。

✱ 推荐阅读书目及章节

[1] 毕满清. 电子技术实验与课程设计. 2版. 北京:机械工业出版社,2001. 第三章,第四章.

第二部分 基础实验和提高设计性实验

2.1 实验一 常用仪器仪表的使用

无论是做电子学实验还是以后从事电子类的实际生产工作,都离不开电子仪器仪表,因此对一些常用的仪器仪表必须熟练地掌握其性能和使用方法。本次实验要求大家在前面学习的基础上进一步学会熟练应用基本仪器仪表,了解一些仪器仪表的工作原理,为后续实验和以后的工作需要打下基础。

有关仪器仪表的工作原理,大家已经在电路实验课上学习了,这里只简要地介绍这些仪器一般性的使用方法。

一、信号源

信号源主要为实验电路提供所需的电信号。实验室常用的是函数信号发生器,它可以提供三种基本信号:正弦波、三角波、脉冲波。其频率、幅度均可调节,这是一个信号源最基本的功能。有些信号源还可对信号的对称度、脉宽(或占空比)、直流电平、输出功率等进行调节。关于函数信号发生器的工作原理,可以参阅有关参考文献。

在使用信号源时,一般情况下,打开电源后首先应选择频段(Frequency Range);然后进行频率细调(Frequency);接着选择波形(Wave 或 Function);最后选择信号的幅度大小(Amplitude),如果所需信号很小,就要用到衰减(Attenuation)按键,可以对信号衰减 20dB(原来信号的 $1/10$)、40dB(原来信号的 $1/100$)、60dB(原来信号的 $1/1000$)。

信号由同轴电缆输出,红夹子接主信号,黑夹子接地线。

对其他功能的使用,要看说明书进行操作。

二、毫伏级电压表

晶体管毫伏级电压表是专门用来测量交流电有效值的一种仪表(切记:对其他波形的信号如脉冲波、三角波等均不能直接测量)。它的输入阻抗很高,因而灵敏度很高,测量精度也很高。同时,它的测量信号频率范围很宽,可以达到几兆赫。

毫伏级电压表表头刻度盘如图 2-1 所示。在使用时首先要调零,打开电源后,将同轴电缆的红夹子与黑夹子相接,量程选 1V 或 100mV,然后看指针是否指在零位。若不是,就要用螺丝刀进行调节,使指针归零。

读数时,要根据量程确定指针所指的刻度线。凡是量程以“1”开头的,读数时看第一条刻度线;量程以“3”开头的,看第二条刻度线。单位的选取参看量程。

使用时,红夹子接被测信号,黑夹子接地。但要注意:有些毫伏级电压表(特别是双通道双指针毫伏级电压表)上有接地控制开关,当它处在“共地”时,两个通道的黑夹子均与仪表内部

电路的“地”相接;“不共地”时,两个通道的黑夹子与内部电路的“地”不同时相接。在使用时,应根据需要正确进行选择。

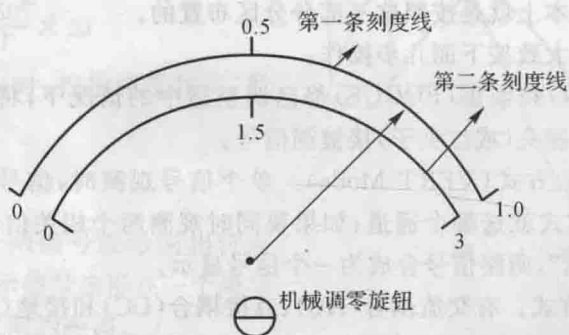


图 2-1 交流毫伏级电压表表头刻度盘

三、直流稳压电源

实验室常用的稳压电源是双路可跟踪直流稳压电源,它可以同时提供两路电压、电流的输出(MASTER,SLAVE),这两路之间可以以独立、串联、并联(关联或跟踪)的方式工作。每一路都有两个旋钮,一个是用来调节输出电流(CURRENT)的;另一个是用来调节输出电压(VOLTAGE)的;还有三个输出接线端子“+”“-”“GND”,当需要正电源的时候,“负极”端子与“地”端子相接作为参考电位,正极为一级;当需要负电源时,“正极”端子与“地”相接作为参考电位,负极为一级。两路的“地”在仪器内部是相接的。直流电源接线示意图如图 2-2 所示。

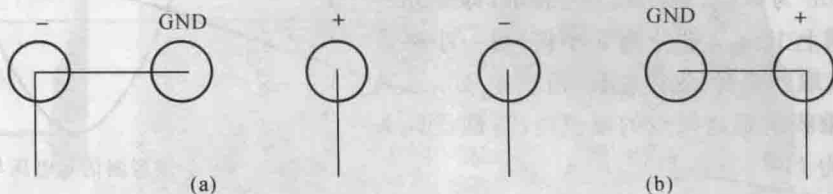


图 2-2 直流电源接线示意图

(a) 正电源; (b) 负电源

使用时,电源不要急于接入电路,应先调好电源输出值,然后关掉电源,接着再将电源接入实验电路,待电路连接完,经检查无误后再打开电源。

四、示波器

示波器常用来观察测量信号。目前,实验室常用的示波器有两种:模拟示波器和数字示波器。这两种示波器的结构原理和使用方法都有较大的差异,现在分别介绍这两种仪器的使用方法。

1. 模拟示波器

虽然这种仪器在电路实验课上已经用过,而且知道了它的工作原理,但是由于这种仪器的操作旋钮、按键、开关较多,有相当一部分同学对它的使用还很不熟练。因此,要再次练习它

的使用,希望同学们能够结合示波器的工作原理尽快掌握它的操作,为后续实验扫清障碍。

模拟示波器的结构从大的方面看,由三部分组成:垂直偏转系统、触发扫描系统、水平偏转系统。它的操作面板基本上就是按照这三部分分区布置的。

模拟示波器使用时大致按下面几步操作:

(1)在辉度(INTEN)和聚焦(FOCUS)都已调至适中的情况下,将被观测信号输入示波器。注意:黑夹子接地,探头(或红夹子)接被测信号。

(2)选择通道和显示方式(VERT Mode)。单个信号观测时,信号加在哪个通道端子上(CH1 或 CH2),显示方式就选哪个通道;如果要同时观测两个相关信号,拨动开关就选双踪(DUAL);ADD 是“相加”,两路信号合成为一个信号显示。

(3)选择信号耦合方式。有交流耦合(AC)、直接耦合(DC)和接地(GND)3种。在观察纯交流信号时用 AC;在观察交、直流混合信号时用 DC;在需要找出扫描基线时用 GND。

(4)选择触发源(SOURCE)。在内触发时,用被测信号作为触发源;外测时,用 EXT。

(5)选择触发方式(TRIG MODE)。一般用自动(AUTO),常态(NORM)很少用。

(6)调触发电平(LEVEL)。当图像在屏幕上滚动时,调节该选钮,使扫描信号与被测信号同步,从而得到清晰稳定的波形。

(7)调节灵敏度、扫描速度(包括粗调、细调),使波形在屏幕上大小、疏密适中(上下 5 格左右,水平方向 1~2 个周期),波形处在屏幕中央。

通过以上几步的操作,应该能得到稳定合适的波形。现在介绍有关物理量的测量。

(1)电压的测量。在灵敏度得到校正的基础上,对波形可以测电压。如图 2-3 所示,要测波形上某两点的电压,只需要测出这两点在垂直方向上的距离(以 cm 为单位,现代以 div 表示,即 $1\text{cm}=1\text{div}$ 。示波器上 1cm 又被分为 5 小格,每一小格表示 0.2cm 。读取距离时,先读整数,后读小数),距离与灵敏度的乘积就是这两点的幅值电压(假设探头的衰减系数为 1)。

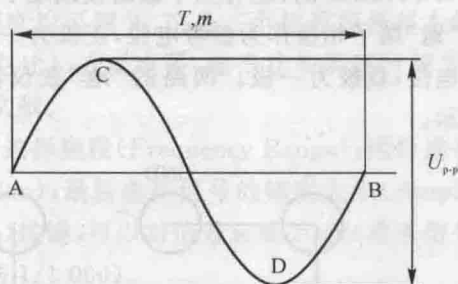


图 2-3 示波器测信号电压与周期

对正弦电压一般测量的是峰-峰值 U_{p-p} ,因此有

$$U_{p-p} = n \times S_u$$

式中, n 表示峰与谷(C,D)之间的距离, S_u 表示灵敏度。

它与有效值的关系为

$$U = \frac{U_{p-p}}{2\sqrt{2}}$$

(2)时间的测量。在扫描速度得到校正后,要测波形上某两点之间所对应的扫描时间,只需测出这两点在水平方向上所占的距离,距离与扫描速度的乘积就是这两点间的扫描时间。

对于正弦信号,一般测的是信号的周期 T ,则

$$T = m \times S_t$$

式中, m 表示波形上同相位点 A,B 之间的距离(见图 2-3), S_t 表示扫描速度。

(3)相位差的测量。对两个同频率的相关信号,利用测时间就可以测出它们的相位差,如图 2-4 所示。由于信号在一个周期内变化 360° ,因此,很容易算出单位时间变化的角度。这两

列波超前或滞后的时间如果为 Δt , 那么, 相位差

$$\Delta\varphi = \frac{360^\circ}{T} \times \Delta t$$

由于在测量 $T, \Delta\varphi$ 时, 扫描速度相同, 所以上式可以简化为

$$\Delta\varphi = \frac{m}{n} \times 360^\circ$$

式中, m 表示示波器上两信号波形同相位点 A、B 之间的距离; n 表示信号波形在一个周期所占的距离, 即 B、C 之间的距离。

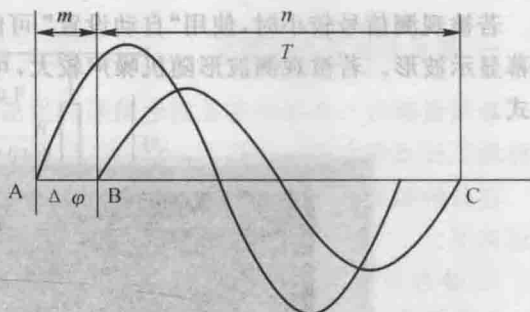


图 2-4 相位差测量

在测量相位差时, 要注意示波器的调节方法:

首先, 通过双踪方式调出这两列波, 扫描速度置到“校正”; 再将两通道信号耦合方式均置“地”, 得到两条扫描基线, 分别调节两通道垂直位置旋钮, 使这两条基线重合到屏幕中央水平刻度尺上; 然后, 信号耦合方式置“交流”, 这时就可以测量了。

2. 数字示波器

从大的方面看, 数字示波器面板的结构由五部分组成: 垂直偏转控制、水平偏转控制、触发控制、菜单及运行控制按钮、屏幕显示控制等, 如图 2-5 所示。其工作原理此处不作介绍, 仅仅以普源(RIGOL) 数字示波器为例, 简要介绍此类示波器一般的操作方法。

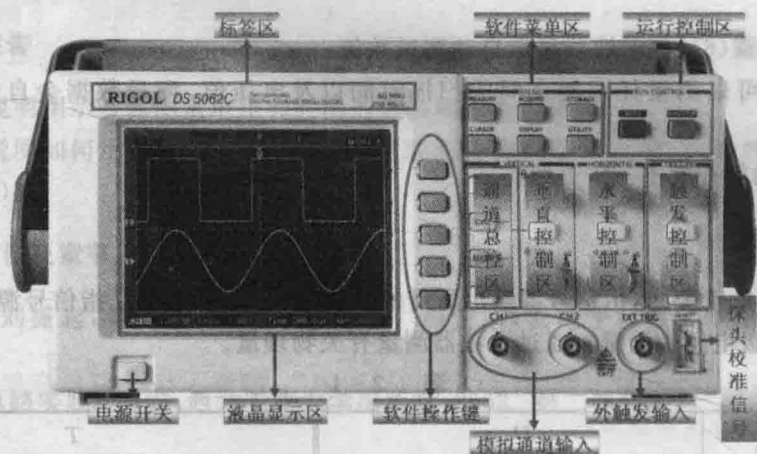


图 2-5 DS 5062C 示波器面板

(1) 打开示波器电源开关。

(2) 通过探头将信号送入示波器 CH1 或 CH2 通道。

(3) 按下 CH1 MENU 按钮, 显示 CH1 菜单, 屏幕底部显示 CH1 字符。或按下 CH2 MENU 按钮, 显示 CH2 菜单, 屏幕底部显示 CH2 字符。

注意: 如果连续按最上面的功能控制键, 可改变信号的耦合方式, 耦合方式标志显示在屏幕的左下方。

(4) 按下“自动设置”按钮, 屏幕显示波形, 如图 2-6 所示。

若被观测信号较小时,使用“自动设置”可能无法显示信号,此时可调节“伏/格”按钮,使屏幕显示波形。若被观测波形随机噪声较大,可按 ACQUIRE(采集)按钮,选择平均值采集方式。

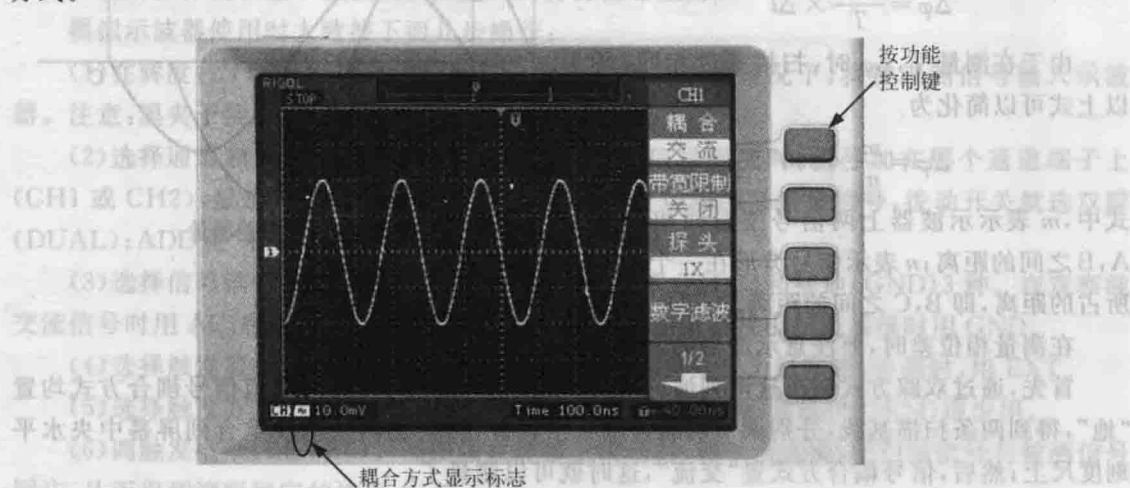


图 2-6 MENU 按钮操作

- (5) 按下 MEASURE(测量)按钮,显示测量菜单。
- (6) 按屏幕显示控制按钮,选择衰减系数为 $\times 1$,选择测量类型、信号源及类型,按返回屏幕按钮。
- (7) 重复步骤(6),使示波器显示自动测量数值。

按动游标,可以测量任意两点间的扫描时间以及电压值,测量数据会自动显示在屏幕下方。

其他测量功能在此不一一介绍。

五、实验内容

- (1) 根据表 2-1 要求,由信号源给出所需的正弦信号(其中电压 U 指信号源输出电压的有效值,可用毫伏级电压表测量),通过示波器测量有关物理量。

表 2-1

输出 频率 kHz	$\frac{U}{mV}$	U_{p-p}				T			
		垂直方向距离	灵敏度	U_{p-p}	U	水平方向距离	扫描速度	信号周期	频率
1	2 000								
5	8								

- (2) 在实验箱上搭接一个如图 2-7 所示的 RC 电路,由信号源给出不同频率的正弦波,信号的大小为 200mV。用毫伏级电压表测量不同频率下的输出电压;用示波器测量输出/输入信号的相位差。将测量数据填入表 2-2 中,在实验报告中根据测量结果绘制输出频率特性曲线。