

普通高等院校电工电子实验实践系列教材

电工电子 实验技术 (下册)

郭宇锋 成谢锋 总主编

张瑛 孙科学 朱震华 唐珂 编著

刘陈 主审

Electrotechnics and Electronics
Experiment Technology (Volume 2)

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

 高校系列

“十二五”院校电工电子实验实践系列教材

工电子 实验技术 (下册)

郭宇锋 成谢锋 总主编

张瑛 孙科学 朱震华 唐珂 编著

刘陈 主审

Electrotechnics and Electronics
Experiment Technology (Volume 2)

人民邮电出版社
北京



图书在版编目 (C I P) 数据

电工电子实验技术. 下册 / 张瑛等编著. -- 北京 :
人民邮电出版社, 2015. 1
普通高等院校电工电子实验实践系列教材
ISBN 978-7-115-37178-2

I. ①电… II. ①张… III. ①电工技术—实验—高等
学校—教材②电子技术—实验—高等学校—教材 IV.
①TM-33②TN-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第256715号

内 容 提 要

为了适应教学内容和课程体系改革研究, 本套教材分为《电工电子实验》(上册)和《电工电子实验》(下册)两本, 上册为电路和模拟电路部分, 下册为信号和数字电路部分。

本书主要内容包括信号系统、数字电路、模拟与数字综合型电路、小型数字系统和可编程器件及EDA软件应用等类型。本书在每个实验前都有详细介绍应掌握部分的工作原理, 例举各种设计思路和方法以及同一器件的各种不同用法, 开拓思路, 培养创新意识。

本书可作为通信工程、信息工程、电子科学与技术、自动化、微电子等专业学生的教材, 同时也可以作为电子电路爱好者自学的一本参考书。

-
- ◆ 编 著 张 瑛 孙科学 朱震华 唐 珂
主 审 刘 陈
责任编辑 武恩玉
责任印制 沈 蓉 彭志环
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京铭成印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 14.75 2015 年 1 月第 1 版
字数: 360 千字 2015 年 1 月北京第 1 次印刷

定价: 35.00 元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316
反盗版热线: (010)81055315

本书结合学校的总体课程设计要求,编写内容包括信号与系统实验、数字电路实验。在内容设计上,力争体现现代与经典、数字与模拟、软件与硬件的辩证关系,反映当今科学教育的新概念和新理论,内容阐述深入浅出,详略得当。增加工程性实验、设计性实验和综合性实验,培养学生分析问题和解决问题的能力。

本书具有以下特色。

(1) 打牢基础,培养能力。

数字电路的经典内容和基本理论是数字电路设计的基础,适当增加基础实验,符合学生的认知规律,有助于巩固学生的专业理论知识,培养学生迎接千变万化的信息时代挑战的能力。

(2) 内容新颖,与时俱进。

数字技术日新月异,作为教材,必须紧跟时代的前进步伐使其尽可能快地反映数字技术和设计方面的最新成果。可编程器件,FPGA 作为数字设计的主流器件,已经大量应用于数字电路与数字系统中。本书通过设计实例,详细介绍了 FPGA 数字系统项目开发的步骤、设计思路和相关技巧,设计实例的范围涉及数字系统、通信信号处理和 NIOS 三大热门领域,实例典型,调试全部通过,易学易懂。本书还增加了计算机仿真软件 Multisim 11 的使用方法,使课堂教学变得生动、形象,把实验室搬到了教室、宿舍。

(3) 详略得当,方便自学。

无论是在分立元器件和可编程逻辑器件方面,还是在数字系统设计方面,其内容都非常广泛,且有一定的深度和难度。电工电子实验的系统性较强且内容较多,教学计划中实验课时较少,尤其是数字系统设计是学生的一大难点,所以在本书中强调了数字系统“自顶向下”的设计方法,加强了这部分内容的介绍,并配合具体的题目给出了详细的设计过程和实现方法,帮助学生高质量地在课前完成电路系统的设计部分,提高实验课堂效率。

电工电子实验的目的不仅是巩固和加深相应理论课程的理解,而且要学习实验本身涉及的理论和技术方面的知识。在“电工电子实验”课的教学过程中,我们不仅要求学生在进行实验预习时对实验进行软件的仿真,在实验中还设计了多个综合的大型实验,并通过 FPGA 器件来实现。本书是一本理论与实践相结合的综合性和教材,按照我们多年实验教学与科研的经验,清晰地介绍了实验技术的基本理论和方法,加入了我们的部分科研成果的内容,突出了实用性和先进性。

本书第1章、第3章、第7章、第8章由张瑛编写,第2章由唐珂编写,第4章由朱震华编写,第5章、第6章由孙科学编写。张瑛负责本书的统稿,肖建负责本书的审核。在编写过程中,还得到南京邮电大学电工电子实验中心张豫滇、李家虎等老师的关心和支持,在此表示衷心的感谢。

本教材的编写得到了南京邮电大学教改项目(项目号:JG03313X17)的支持。

由于编者学术水平有限,书中定有不妥之处或错误,热诚欢迎读者赐教。

编者

2014年8月于南京邮电大学



目 录

第 1 章 电工电子实验的基础知识	1	第 4 章 数字逻辑电路基础实验	53
1.1 电工电子实验的意义和目的	1	4.1 集成门电路主要参数及特性测试	53
1.2 实验的有关规定	1	4.2 集成门电路应用	56
1.3 数字电路实验的流程与要求	2	4.3 数据选择器及应用	62
1.3.1 实验前准备	2	4.4 译码与显示电路	69
1.3.2 电路图的绘制	2	4.5 集成触发器及应用	77
1.3.3 电路的装配	3	4.6 MSI 计数器及应用	81
1.3.4 电路的调试	4	4.7 MSI 移位寄存器及应用	89
1.3.5 实验报告	7	第 5 章 数字电路设计及其 VHDL 模型	98
第 2 章 信号与系统实验	9	5.1 CPLD/FPGA 典型设计流程	98
2.1 周期信号的频谱分析	9	5.2 VHDL 语言要素	102
2.2 连续时间系统的模拟	13	5.2.1 VHDL 文字	102
2.3 波形的谐波分量测量	17	5.2.2 VHDL 中的数据类型	104
2.4 线性系统的频率特性	19	5.2.3 VHDL 数据对象	106
2.5 利用 Matlab 对信号进行傅里叶分析	22	5.2.4 VHDL 语言的运算操作符	108
2.6 利用 Matlab 分析系统的频率特性	27	5.2.5 VHDL 的属性描述	110
第 3 章 数字电路实验基础知识	30	5.3 组合逻辑电路设计及其 VHDL 模型	111
3.1 数字电路的基本特性	30	5.4 时序逻辑电路设计及其 VHDL 模型	118
3.2 数字集成电路的分类及主要参数	31	5.5 VHDL 测试文件的编写	128
3.3 数字集成电路的性能	33	第 6 章 可编程器件应用实验	132
3.4 TTL 与 CMOS 数字集成电路使用注意事项	36	6.1 可编程逻辑器件基本结构与原理	132
3.5 数字电路的几种基本电路的测试方法	39	6.1.1 可编程器件概述	132
3.6 数字电路的装配与常见故障的分析方法	50	6.1.2 CPLD 型 XC95108 基本结构	133

6.1.3	FPGA 型 XC3S50 基本结构	137	7.3	D/A 转换电路实验	195
6.2	用 ISE 完成 CPLD/FPGA 设计的 实例	140	7.4	A/D 转换电路实验	199
6.2.1	HDL 语言输入设计实例	140	第 8 章	数字系统设计	202
6.2.2	原理图输入设计实例	149	8.1	数字系统设计概述	202
6.2.3	原理图文本混合设计实例	154	8.1.1	数字系统设计的方法与 过程	202
6.3	CPLD/FPGA 应用实验	161	8.1.2	数字系统设计时应考虑的 主要因数	204
6.3.1	七段译码器实验	161	8.2	数字系统的一般结构和 描述方法	205
6.3.2	7bit 可控延时器实验	166	8.2.1	数字系统的一般结构	205
6.3.3	交通灯实验	169	8.2.2	逻辑流程图及 ASM 图	208
6.3.4	动态译码显示实验	172	8.2.3	小型数字系统设计举例	217
6.3.5	存储器实验	176	8.3	小型数字系统实验	222
第 7 章	数/模和模/数转换器	182	附录 A	DGDZ-2 型电工电子综合 实验箱使用说明	225
7.1	常用集成 DAC 转换器简介	182	附录 B	常用器件管脚图	227
7.1.1	D/A 转换器 DAC0832 的 组成与工作原理	182	参考文献		229
7.1.2	D/A 转换器的主要参数	187			
7.1.3	集成 DAC 芯片的选择与 使用	190			
7.2	常用集成 ADC 转换器简介	190			
7.2.1	A/D 转换器 ADC0809 的 组成与工作原理	190			
7.2.2	A/D 转换器的主要参数	193			
7.2.3	集成 ADC 芯片的选择与 使用	194			

1.1 电工电子实验的意义和目的

教育部“卓越工程师教育培养计划”(简称“卓越计划”),是贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》和《国家中长期人才发展规划纲要(2010-2020年)》的重大改革项目,也是促进我国由工程教育大国迈向工程教育强国的重大举措。该计划旨在培养造就一大批创新能力强、适应经济社会发展需要的高质量各类型工程技术人才,“卓越工程师培养计划”着重突出学生的工程实践经验、实践能力和工程实践意识。

世界许多国家都十分重视实验教学在培养人才过程中的特殊作用。例如,原苏联要求高校培养“博学专家”,日本要求培养“世界通用人才”,美国要求培养“综合人才”,他们都强化了实验教学环节。实验教学在综合能力和创新能力培养中,起着理论教学不可替代的特殊作用,在实验过程中,通过分析、验证电子器件的功能与原理;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,学生的创造性思维能力、观测能力、表达能力、动手能力、查阅文献资料的能力等综合素质也得到了提高。另外实验教学也可以消除或减轻学生对科学研究的幻想,使学生对科技事业的艰苦性和平凡性有一定的思想准备,使学生走出校门后能较快地适应社会形势发展的要求。

本教材结合学校的总体课程设计要求,内容包括信号与系统实验,数字电路实验。在内容上,体现现代与经典、数字与模拟、软件与硬件的辩证关系,反映当今科学教育的新概念和新理论,内容阐述深入浅出,详略得当。增强工程性实验、设计性实验和综合性实验,尤其数字电子技术的蓬勃发展使得数字电路的应用日益广泛。相对于模拟电路而言,数字电路有着集成度高、功能强大、使用简便的特点,作为理工科电类专业的一门基础课程,数字电路的重要性可见一斑。作为和数字电路联系最紧密的数字电路实验课程,肩负着联系理论知识,培养学生动手能力和创新能力的重任。

1.2 实验的有关规定

在电工电子实验室进行实验时应遵守以下规则。

(1) 为确保人身安全，实验时必须穿绝缘性能良好的鞋子，测量 36V 以上的电压时，应先检查连线绝缘情况再做测试，测试时务必使用右手单手操作。

(2) 按《电工电子实验操作规范》使用仪表和实验器材，自觉养成良好的操作习惯。爱护实验设施，如发现仪表和实验装置异常，应及时报告指导老师，不得自行处理，否则，由此造成的损坏将依照学校《设备器材丢损赔偿处理办法》赔偿。

(3) 实验前上交前次实验报告，出示预习报告。未按要求完成预习报告的不允许做实验，无故未按时上交实验报告的将不予批改。

(4) 实验应独立完成，自觉应用理论知识分析和解决实验中的问题，如实记录实验数据，不得生造数据或抄袭他人的报告，否则，按旷课处理。

(5) 实验时必须按指定位置就座，不得擅自调换实验桌和实验设备，实验设备和器材编号应与实验桌号码匹配，否则，指导教师不认可实验结果。

(6) 实验时应保持实验桌面整洁，除实验器材和书本外，其他物品不得放在桌面上。实验时不得吃东西，不得听录音，不得乱扔纸屑。

(7) 不得在微机上做与实验无关的事情，否则，取消本次实验资格。

(8) 实验室开放时，应按照实验中心的安排或预约，在规定的的时间和地点完成实验并刷卡考勤。

(9) 实验完成后必须经指导教师验收、签字。离开实验室前必须按要求整理好仪表、连线、实验器材、工具和桌椅。

(10) 自觉遵守实验考勤制度，未经教师同意不得自行调换实验时间和实验室。实验开始和结束后应主动刷卡考勤。在规定的实验课时内迟到或早退 15 分钟均按旷课处理。实验课缺课累计总课时的三分之一时，无考试资格。

1.3 数字电路实验的流程与要求

1.3.1 实验前准备

为避免盲目性，参加实验者应对实验内容进行预习。要明确实验目的、了解相关器件的基本知识、掌握相关软件的使用、完成电路原理图的设计、对设计电路进行仿真，最后做出预习报告。

实验前，老师要检查预习情况，并对学生进行提问，预习不合格者不准进行实验。

1.3.2 电路图的绘制

在电子电路制图中有连线图、纯原理图和工程原理图之分，如图 1-1 和图 1-2 所示。连线图则主要用于描述电路中各种元器件管脚之间的连接关系，它不能描述电路的功能和工作原理，没有可读性，在实验或设计中主要使用的是工程原理图。工程原理图不但要反映电路的功能和原理，还应反映所用元器件及其相互之间的连接关系，所以，要求在绘制电路图时，既要画出元件的符号又要标明符号各个端子的序号（即管脚号码），同时，一般还要求标注元件的型号和参数。在报告中绘制电路图时如果电路简单，所需图幅较小，可不采用国标要求的图幅尺寸，将图直接画在报告书中。但是，要求一幅电路图独占报告页面中的若干行，不

可在与图平行的空白处填写报告中的其他内容，以免影响读图。

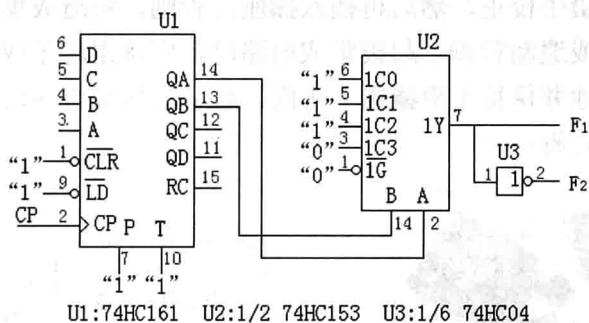


图 1-1 工程原理图

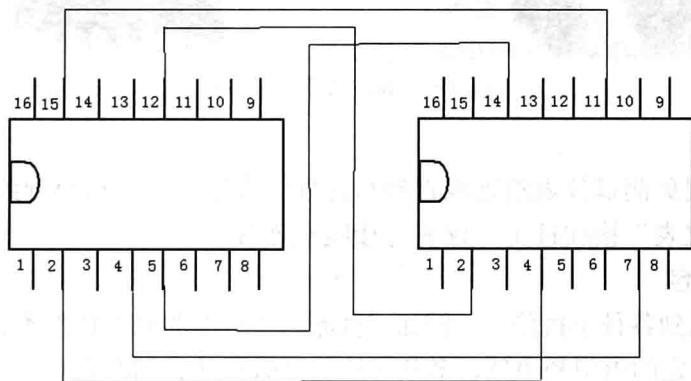


图 1-2 元件连线图

1.3.3 电路的装配

数字电路具有集成化程度高、输入和输出信号较多的特点，因此，数字电路的装配也有如下一些特殊要求。

1. 布局要求

在实验阶段，为了调整方便，应尽量按照整个系统中各个功能模块来安排器件位置，一个功能模块的所有器件集中在一处，同时按信号的传输方向安排各个功能模块，一般按从左到右、从上到下的方向排列。所有集成元件的标志缺口统一向左，这样便于查找器件的管脚。一些需要人工参与的控制电路，安排在实验箱的右下方，以方便操作。显示电路一般放在上方。

2. 布线

布线时应先将地线和电源线接好。地线一般采用冷色（如黑色或蓝色），电源线一般用暖色（如红色或黄色）。接线时为了避免遗漏，应按一定的信号类别接线。例如，先接所有的输入线再接输出线，先接所有的数据线再接控制线。相邻的同一类信号线有多条时（如 A、B、C、D 4 条数据线），要用不同的颜色，以便区分。

由于实验时需要更换器件，所以，导线不可从集成器件上跨过。

3. 集成芯片的插拔

图 1-3 显示了部分集成电路的外观，将集成电路插入插座时，必须将集成电路的缺口朝

左且管脚与插座对准，在插座够用情况下集成电路的管脚数与插座管脚数一致。如果管脚出现歪斜则应先将管脚用镊子校正，然后再插入插座。否则，将造成集成电路管脚与接线插座旁的管脚号标注不一致或遗漏管脚。起拔集成电路时，应该用起子或镊子从集成器件与插座之间插入，将器件轻轻地并保持平衡撬出。否则，极易将集成电路的管脚弄弯或损坏。绝不可用手直接拔出和调整管脚。



图 1-3 集成电路的外观图

4. 引出测试点

除万用表外，避免测试仪表的连线直接与元件管脚连接，应该用导线将被测管脚信号引到实验箱的“外接仪表”接线柱上，仪表与接线柱连接。

5. 增加滤波电容

在实验中将会遇到各种干扰信号，例如，直流稳压电源的输出特性不是理想的，电源内阻不为零，导线具有一定的电阻和电感，多条导线并列时导线之间存在电容。而数字信号以矩形波为主，它含有较多的高频谐波频率成分，当各种信号作用在电源内阻和导线上时将产生干扰。另外，TTL 器件的浪涌电流流进电源，其电源内阻会产生电压尖峰，这在电路系统中可以产生较大的干扰。因此有必要在电源接入端接几十 μF 的电容作低频滤波，每隔 5~10 个集成电路在电源和地之间加一个 $0.01\mu\text{F}\sim 0.1\mu\text{F}$ 的电容作高频滤波，电容必须靠近集成电路。

1.3.4 电路的调试

电路调测的一般顺序如下。

1. 检查电源

先检查整体电路电源的输入电压值是否正确，观察直流稳压电源的纹波大小，电路接通正确的电源电压后，观察电路中各器件有无异常情况。若发现器件有异常发热、冒烟等情况，应立即关断电源，检查芯片方向有没有插反等，电源正负极有没有接反等，故障排除后方可接上电源。接着检查集成芯片电源的地和电源，最好直接对管脚测量。

2. 检查集成芯片的电源、使能端、控制端

通常集成电路背部（印有字符）的缺口朝左时，左下脚为 1 脚、左上脚为最大脚号（也是接电源的 V_{CC} 脚）、右下脚为接电源 GND 脚。在大多数电路原理图中不画出 V_{CC} 脚和 GND 脚，实际使用时，必须在左上脚与右下脚间接入 5V 直流电源，且不可接错极性。检查集成芯片电源的地和电源，最好直接对管脚测量。TTL 器件对电源电压要求很严，电源电压（ V_{CC} 与 GND 之间）为 $(+5\pm 0.5)\text{V}$ ，超过这个范围将损坏器件或功能不正常。TTL 电路的静态电流相当可观，应使用稳定的、内阻小的稳压电源，并要求有良好的接地。

所有输入端的输入电压的允许范围为 $-0.7\sim +5$ 。若大于上限值，多发射极晶体管的发射

结可能击穿；低于下限值时，衬底结可能导通。这些都将影响电路正常工作，甚至损坏器件。正常工作情况下输入高电平 $5V > V_{IH} > 2.5V$ ，输入低电平 $0V < V_{IL} < 0.8V$ 。所有输入端应按逻辑要求接入电路，不要悬空处理，否则易受干扰，破坏逻辑功能。与门和与非门的多余输入端应接高电平或并联使用（当前级驱动能力较强）。或门、或非门，多余输入端应接低电平或接地。

集成芯片的输出端决不允许直接接+5V 电源或接地。除集电极开路输出和三态输出电路外，输出端不允许并联使用，否则引起逻辑混乱，甚至损坏器件。

集成芯片的使能端和控制端也不能悬空，都应根据功能要求连接相应电平/管脚/信号。

3. 根据电路原理进行调测

(1) 先用静态或单脉冲调测，便于观察电路的工作状态，分析简单。

静态测试就是用人工的方法逐步改变输入变量，同时测试相应的输出。这种方法速度慢，一旦送入输入并保持变量后，被测电路在测试过程中不发生变化，故称其为静态测试法，如图 1-4 所示。这种测试方法适用于验证中、小规模集成电路的好坏和测试输出输入变量不多、状态不多的逻辑电路。按照电路的真值表或功能表依次改变输入逻辑电平并逐项核实输出状况即可完成静态测试。

静态测试时输入信号是逐个改变的，输入变化很慢，显示的输出信号是输入电平稳定后的情况。与实际工作时的输入变化速度不同。所以，静态测试的条件与实际工作的条件不同，测试结果与实际情况也可能不同。尤其是当输入信号变化很快时，如果电路因器件延迟而产生了“竞争”或“冒险”现象，由于“竞争”或“冒险”产生的“毛刺”是非常窄的脉冲，用发光二极管是无法显示出来的。静态测试不能测出电路的“竞争”或“冒险”。

时序电路的静态测试法与组合电路测试相似。但是，时序电路的输入信号对电路的影响不但有逻辑电平的高低，且很多时序电路是靠输入信号的前沿或后沿来触发的，所以，测试时序电路时，对边沿有要求的输入端必须输入一个脉冲信号。

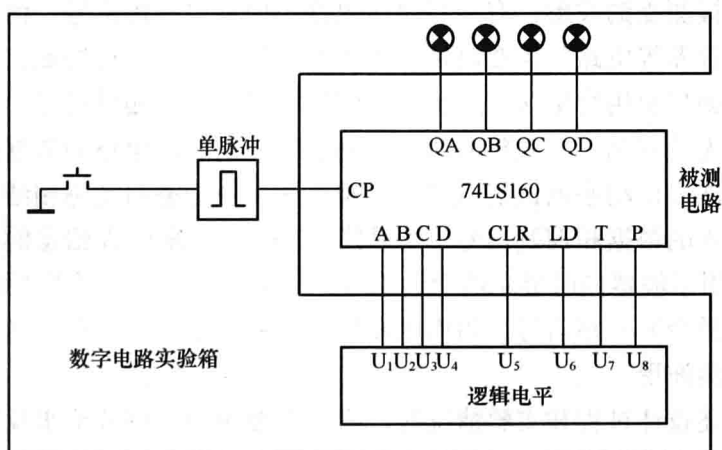


图 1-4 时序电路的静态测试法示意图

由于时序电路的输出状态较多，如一个 16 位计数器共有 $2^{16}=65536$ 种状态值，若要一一测试显然是不可能的。遇到这种情况时，一般可将一个 16 位计数器分为两个 8 位计数器分别进行测试，每一个 8 位计数器的输出状态有 $2^8=256$ 个，两个计数器共有 512 个，当两个计数器测试均正常时再将两个计数器合为一个，这时，主要测试第 8 位计数满后向第 9 位的进位情况，如果进位正常，则可以认为整个计数器正常。如果能在设计时就将电路状态进行划分，

则可以给测试带来很大的方便。设计时将数字电路划分为若干模块，是数字电路可测性设计的一个重要方法。静态测试的测试效率较低，而且电路的某些与动态特性相关的逻辑现象（如“冒险”、“竞争”）难以测出。动态测试可以弥补静态测试的不足。

(2) 再用连续脉冲动态调测。动态调测用的输入信号是一个自动产生并且不断变化的逻辑电平值，输出信号也是一个不断变化的逻辑电平值，整个测试始终处于变动状态，故称这种测试方法为动态测试，如图 1-5 所示。

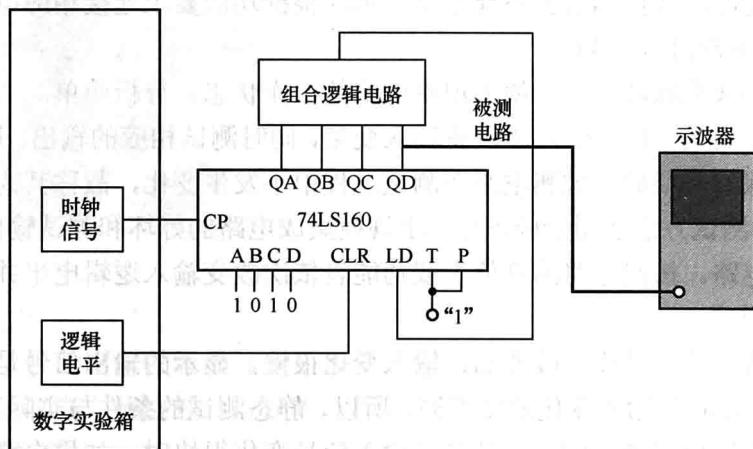


图 1-5 时序电路的动态测试法

组合电路动态测试法的思路是采用穷举法，即由合适的信号源事先编辑好一组测试码，该组测试码涵盖了输入信号所有状态组合。实验时，该信号源自动顺序输出该组测试码，同时用示波器观测输入与输出波形的关系，两者的关系应该符合真值表要求。

时序电路动态测试一般要求提供一个时钟信号 CP，CP 由实验箱上的连续脉冲信号提供，用示波器观测各个被测点的波形。有一些时序电路不但需要时钟信号，而且需要多种控制信号。例如，移位寄存器等电路除需要时钟外还需要置数控制、位移控制、加减计数方式控制等多种输入信号，如果也用穷举法产生所有控制功能端的组合测试信号，则会使测试码非常长，以致用示波器无法观测一个完整的测试序列信号。当时序电路的数据控制等外部输入信号较多时，用穷举法提供动态测试信号比较困难。应采用静态与动态相结合的方法，即用静态方式给出某些输入的数据和控制信号（如置数、位移控制等），在给定的各种控制状态进行动态测试。当需要用示波器同时显示两个波形时，应正确选择示波器的“触发信源”，应选用周期最长的（边沿最少）一路信号作为内触发信源，并调节电平旋钮。通常这样就可正确稳定地显示出两个被测波形。

在实验报告叙述设计过程和实验情况时，常常需要画出一些波形来反映设计依据或测试结果。绘制波形图的要求如下。

① 波形命名。

绘制波形图时必须为所有绘制的波形命名。命名的方法有两种：方法一是直接采用波形所示的信号的名称，如 U_1 、 U_0 、CLK 等；方法二是根据波形所示信号位置命名，用“符号编号”加“:”号再加“元件的管脚序号”。例如，“ $D_1: 12$ ”表示在 D_1 所代表的元件的第 12 条管脚处测得的波形，“ $V_1: C$ ”表示在 V_1 所代表的三极管的 C 极测得的波形。波形名称应标注在波形的最左侧或者纵坐标的箭头上方。

② 波形参数的完整性。

在实验中应根据实验目的和测试要求，合理地掌握记录被测信号的波形的详略程度。

在记录信号的电参数时一般应完整记录信号的电压、幅度、频率、形状等参数，如果需要，还应记录信号波形的电位值。例如，在测试脉冲信号的电参数时，必须记录它的高电平值和低电平值。又如，在测试放大器的动态范围时，就需要观测和记录信号的最高和最低的电位值，以便确定输出信号的失真是饱和失真、截止失真还是非线性失真。

在记录周期信号的波形时，一般应画出信号的两个完整的周期以反映信号的周期性。在记录两个或更多信号之间的相位关系时应使几个信号的时间轴对齐。

③ 数字信号的绘制。

在测试数字信号时一般有两种情况：信号的电参数测试和状态量测试。如果要求测试的是信号的电参数，则测试要求与上述要求相同；如果仅关心信号的状态量（即“0”或“1”），则可不标注电参量，只需将高低电平分别用“1”和“0”表示即可。

在分析、记录多个数字信号之间的分频、计数或相位关系（确切地说是时间关系）时，要注意以下几点。

- 最低频率的信号波形至少应有1个周期，否则信号将不完整。
- 记录信号波形的起点应认真分析后再画出。由于示波器显示的波形的起点是由示波器的触发电路确定的，不一定是信号周期的起点，为了使波形能更清楚地反映测试结果，应合理选择所画波形的起点。
- 记录多个信号之间的相位关系时，应合理选择各个信号的排列顺序。如记录按8421码输出的计数器的4个输出信号时，应将低权位的信号画在上面，最高权位的画在最下面。

图1-6是波形的实例图，在绘制时序波形图时应注意的事项如图1-6所示。

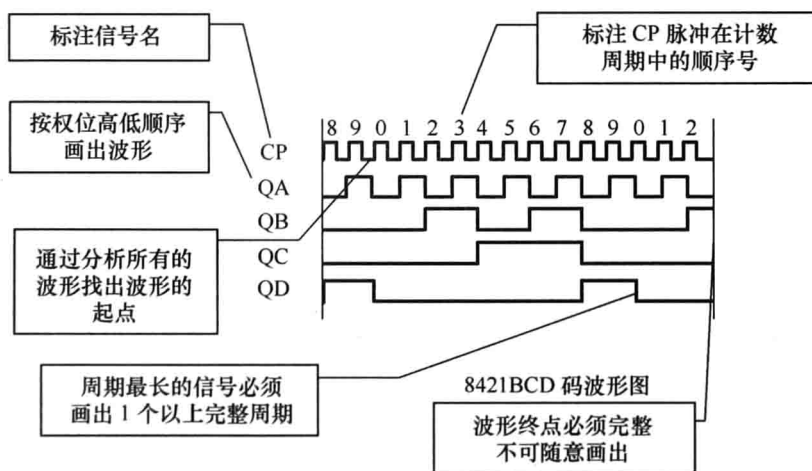


图1-6 波形的实例图

1.3.5 实验报告

撰写实验报告是实验的一项基本要求，也是实验的重要技能之一，通过书写实验报告，可以汇总实验数据，可以总结整个实验过程，通过思考实验中出现的现象加深理解实验理论知识，从而把实验内容上升到理论高度，提高学生书写科学论文的能力。

电子电路实验实验报告格式写作要求如下。

1. 实验名称
2. 实验目的
3. 测试用仪表及型号
4. 实验任务
5. 设计过程
6. 设计电路图
7. 实验结果和波形图
8. 实验数据分析
9. 实验小结

图 1-1-1 实验报告格式



1. 实验目的

本实验的目的是通过搭建一个反相比例运算放大器电路，验证其电压增益和输入输出阻抗。实验要求如下：

1. 根据给定的电路原理图，在面包板上搭建电路。

2. 使用示波器观测输入信号和输出信号的波形，并测量其幅度和相位。

3. 改变输入信号的频率，记录输出信号的幅度和相位，绘制幅频特性和相频特性曲线。

4. 分析实验结果，验证理论计算结果。

第 2 章 信号与系统实验

2.1 周期信号的频谱分析

一、实验目的

1. 了解和掌握周期信号频谱分析的基本概念。
2. 掌握用软件进行频谱分析的基本方法。
3. 加深理解周期信号时域参数变化对其谐波分量的影响及变化趋势。

二、预习要求

1. 复习周期信号频谱分析的基本概念。
2. 准备好数据表格。

三、实验原理与提示

1. 实验原理

由《信号与系统》课程可知，一个非正弦周期信号，运用傅氏级数总可分解为直流分量与许多正弦分量之线性叠加。这些正弦分量的频率必定是基波频率的整数 (n) 倍，称之为谐波分量。各谐波分量的振幅和相位不尽相同，取决于原周期信号的波形。周期信号的频谱分为幅度谱、相位谱和功率谱 3 种，分别是信号各频率分量的振幅、初相和功率按频率由低到高排列构成的谱线图。

周期信号为 $f(t)$ ，展开为三角形式的傅氏级数时，其中：

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega_1 t + \phi_n)$$

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$

$$\phi_n = \arctan\left(\frac{-b_n}{a_n}\right)$$

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) dt$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \cos n\omega_1 t dt \quad (n=1, 2, \dots)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \sin n\omega_1 t dt \quad (n=1, 2, \dots)$$

式中通常讲的频谱一般是指幅度谱, 即 a_0 和 A_n 对于一个正、负峰值均为 V 的矩形周期信号 $f(t)$, 展开为傅氏级数时, 其中:

$$a_0 = \frac{V(2\tau - T)}{T}$$

$$A_n = \frac{2V}{n\pi} \sin\left(\frac{n\omega_1 \tau}{2}\right) \quad (n=1, 2, \dots)$$

式中, V 为矩形脉冲的峰值; τ 为矩形脉冲的脉宽; T 为矩形脉冲的周期; ω_1 为矩形脉冲的角频率。

运用仿真软件中的 Fourier (傅氏) 分析可以非常方便、直观地得到周期信号的单边频谱图。

2. 实验提示

(1) 在 Multisim 软件的主窗口下取出示波器、信号发生器、电阻和地线符号, 按图 2-1 所示的电路连接实验电路。

(2) 鼠标双击信号发生器, 设置信号参数, 如图 2-1 所示。

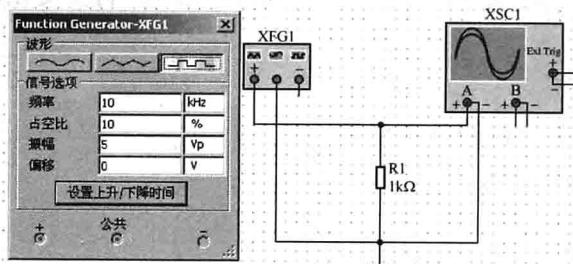


图 2-1 实验电路

(3) 关闭信号发生器参数设置窗口。鼠标双击示波器, 出现示波器显示和调整窗口, 参照图 2-2 调整好示波器的相关参数。按下运行开关, 观察示波器显示的波形是否正确。若有错, 找出原因并纠正。

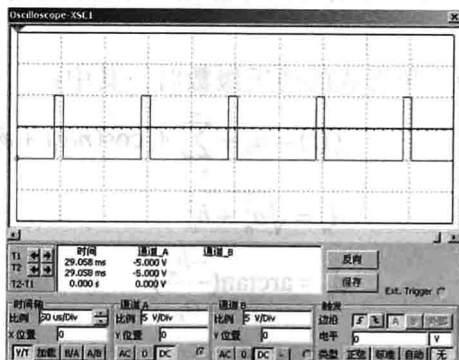


图 2-2 示波器窗口