

第一篇 绪论篇

1.1 实验、实训的目的

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。

实训则是通过具有一定功能和应用价值的一个具体产品的设计与制作，或者一个实际项目的开发与应用，使学生受到工程设计、制造工艺、调试检测和撰写技术报告的系统训练，启迪学生的创新思维，培养学生分析问题和解决问题的综合能力。

“电工电子技术”是一门应用性、实践性很强的课程。因此，实验实训环节是非常重要的，它是理论联系实际的主要形式，是实施“教学做合一”教学理念的重要手段，也是激发学生创新意识的有效载体，更是训练、培养学生技术应用能力和实际操作技能的根本途径。

通过实验、实训：

- 使学生巩固、加深和学习电工电子技术的基础理论、基本知识和基本技能。
- 使学生能正确地选择和使用常用电工仪表、电子仪器及有关实验设备。
- 使学生掌握基本电量及电子元器件的测试技术、实验方法和数据的分析处理。
- 使学生能应用已学的理论知识设计简单的应用电路，合理选择元器件构成实用的电子小系统。
- 使学生受到基本的实验技能、系统的工程实践和撰写技术报告的初步训练。
- 培养学生严肃认真、实事求是、独立思考、踏实细致的科学作风，树立创新精神，养成良好的工作习惯。

1.2 实验规程和安全用电知识

一、实验规程

(1) 实验前要认真预习，仔细阅读实验实训教程，明确实验目的与要求，结合实验原理复习有关理论知识，回答预习要求中的思考题，写好预习报告，做好必要的准备工作。

(2) 实验时要认真仔细，按照规定的（或自拟经批准的）的实验步骤独立操作。接完线路先自行检查，再请教师复查后，才能接通电源进行实验。改接线路时，要先断开电源。同组合作者要互相配合，团结合作，共同完成任务。

(3) 实验过程中，应认真观察实验现象，记录实验数据。如果出现异常现象或发生故障，应立即切断电源，查找原因，并报告指导老师。

(4) 维护实验实训室的整洁与肃静。要爱护仪器设备，凡损坏仪器设备者应填写损坏单，对因违反操作规程或其他人为因素而损坏仪器设备者，除写出书面检讨外，还应进行赔偿。

(5) 实验实训后, 应切断电源, 将原始记录交指导老师审阅签字后方可拆除实验电路。离开实验实训室前需整理好仪器设备, 保持台面整洁。

(6) 实验实训后应撰写实验实训报告, 要求内容完整, 格式规范, 文理通顺, 分析详尽, 数据和图表齐全, 并在规定时间内完成。

二、安全用电知识

为确保实验实训过程中的人身和设备安全, 保障实验实训工作的顺利进行, 实验人员必须树立安全意识, 严格遵守实验实训室各项安全操作规程。

(1) 接线、改接线和拆线等都必须断开电源开关的状态下进行。牢记“断电接线, 断电改线, 断电拆线”的原则, 绝不能带电操作, 不能触及带电部位。

(2) 接线完毕, 必须认真复查线路, 得到指导老师同意后后方可通电实验。

(3) 实验中发生异常情况(如: 冒烟、打火、焦臭、过热、异常声响等)时, 应立即断开电源开关, 并报告指导老师, 切不可惊慌失措, 以免事故扩大。

(4) 不得穿湿衣、湿鞋或湿手赤足做实验, 以防引起触电事故。

(5) 使用仪器设备时, 必须先阅读其说明书, 了解设备规格、使用方法等。严格按规程操作, 严格按额定值使用。调节电源或电路参数时, 应密切监视电表指针, 以免损坏设备。

(6) 触电处理, 首先让触电者尽快切断电源, 接着立即进行现场紧急救护, 同时通知医护人员前来救治。

1.3 实验、实训报告要求

实验、实训报告是对实验、实训工作的全面总结, 也是工程上编写技术报告的能力训练。实验、实训报告应用简明的语言、规范的格式, 完整真实地表述实验、实训条件、实验、实训内容和实验、实训结果。总体要求是: 体系科学、结构合理、内容完整、格式规范、文理通顺、图表清晰、分析详尽、结论正确, 并注明实验、实训时间。具体要求分别如下:

实验报告

- (1) 实验名称
- (2) 实验目的
- (3) 实验仪器、设备及器材
- (4) 实验内容、原理
- (5) 实验步骤
- (6) 实验数据与处理
- (7) 实验结果与分析
- (8) 实验总结(收获与体会)
- (9) 参考资料

实训报告

- (1) 实训项目名称
- (2) 实训目的
- (3) 项目任务

- (4) 项目设计（设计方案）
- (5) 项目操作（制作、安装、调试、检测）
- (6) 结果与讨论
- (7) 实训总结（收获与体会）
- (8) 参考资料

1.4 实验、实训考核

按照高等职业教育培养高素质技能型人才的培养目标和“能力本位”的特征要求，建立科学的实验、实训考核体系，对于加强实践教学环节，促进教师和学生重视实验实训，增强学生的技术应用能力和实际操作技能，具有十分重要的现实意义。为此，特制定下面的实验、实训考核办法。

一、实验环节

对于实验，可采用“技能考试”与“口试”相结合的考核办法。技能考试主要考查学生技术应用能力和实际操作能力。着重查看实验完成的质量，也可以通过抽查方法单人单套设备按抽得的考题进行操作，还可采用统一命题，单人或分组进行操作，在规定时间内完成，现场打分。口试则主要考查学生理论知识的掌握程度，可采用分类抽题、口头答辩（讲述实验，回答提问）的方式进行，也可以通过实验操作、演示等解答问题，现场打分。其实验成绩由平时成绩（实验态度、实验纪律）、技能考试、实验报告和口试成绩综合评定，按 2: 3: 3: 2 比例计入总成绩，并分为优、良、合格、不合格四个等级。

二、实训环节

根据“实训项目产品化，实训管理企业化，实训场地车间化”原则，实训成果一般表现为实物成果（具体物品或产品）和书面成果（或电子文稿），即实训报告。因此，实训成绩应从职业素质（工作态度、劳动纪律、合作精神）、实物成果和实训报告等三个方面综合评定，按 3: 4: 3 比例计入总成绩，并分为优、良、合格、不合格四个等级。

第二篇 实验篇

基础实验

实验一 电阻的串并联电路



实验目的

- (1) 熟悉电工实验室的概况，学习安全规程。
- (2) 练习使用直流稳压电源。
- (3) 练习使用万用表的直流电流挡、电压挡及欧姆挡。
- (4) 加深对串、并联电路电压关系、电流关系及等效电阻关系的认识。



实验仪器设备

- (1) 智能电工电子系统实验装置 (GDSS-2C)。
- (2) 万用表一只 (MF47D)。
- (3) 电阻三个 100Ω (2 个)、 75Ω (1 个)。
- (4) 单刀开关。



实验原理

1. 电阻的串联

几个电阻没有分支地一个接一个依次相连，使电流只有一条通路，称为电阻的串联。电阻串联电路的特点是：

- (1) 通过各电阻的电流相等。
- (2) 总电压等于各电阻上电压之和。
- (3) 串联电阻对总电压起分压作用，各电阻上的电压与其电阻大小成正比。
- (4) 等效电阻（总电阻）等于各串联电阻之和。

2. 电阻的并联

几个电阻的一端连在一起，另一端也连在一起，使各电阻所承受的电压相同，称为电阻的并联。电阻并联的特点是：

- (1) 各并联电阻两端的电压相等。
- (2) 总电流等于各电阻电流之和。

- (3) 并联电路的等效电阻（总电阻）的倒数等于各并联电阻倒数之和。
 (4) 并联电阻对总电流有分流作用，各电阻上的电流与其电阻大小成反比。



实验内容与步骤

1. 练习使用直流稳压电源

- (1) 熟悉稳压电源面板上各开关、旋钮的位置和功能，了解其使用方法。
 (2) 将万用表的转换开关置于测直流电压的适当挡位上，红色测试棒（俗称表笔）的插头插入万用表“+”插孔，黑色测试棒的插头插入“-”插孔。
 (3) 将稳压电源输出电压通过调节“粗调”与“细调”多圈电位器使输出电压在 0~25V 范围内改变。用万用表与直流稳压电源并联测量输出电压。将直流稳压电源面板指示值和万用表直流电压挡测量值记入表 1-1 中。

表 1-1

面板指示值 (V)					
测量值 (V)					

2. 练习使用万用表的直流电流挡、电压挡及欧姆挡

(1) 万用表打在欧姆挡，分别确定各电阻阻值并填入表 1-2 中。

(2) 按图 1-1 所示电路连接电路，并使直流稳压电源输出 4V 的电压。用万用表直流电压挡且与被测电阻并联测量串联电路各电阻两端的电压，用万用表直流电流挡且与被测电路串联测量流过串联电路的总电流，再用万用表欧姆挡测量等效电阻。将测量的各数据填入表 1-2 中。

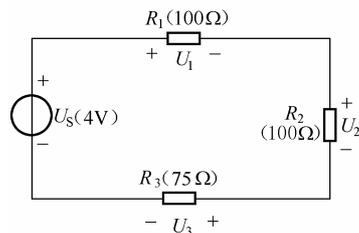


图 1-1 串联电路测量图

表 1-2

电阻 (Ω)			等效电阻 (Ω)	电源电压 (4V)	电路特点			
标称值	测量值	串联	$R = R_1 + R_2 + R_3$	电流 (mA)	U_1	U_2	U_3	$U = U_1 + U_2 + U_3$
R_1 100Ω								
R_2 100Ω		并联	$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$	电压 (V)	I_1	I_2	I_3	$I = I_1 + I_2 + I_3$
R_3 75Ω								

- (3) 按图 1-2 所示电路连接电路（电源输出电压仍为 4V）。测量并联电路流过各电阻的

电流、并联电路的总电流及等效电阻。将测量的各数据填入表 1-2 中。

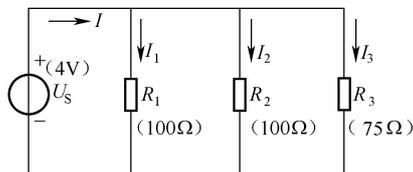


图 1-2 并联电路测量图

实验完毕后，请指导教师检查数据的原始记录，待通过后再拆线。万用表使用完毕后，应将转换开关置于交流电压的最高挡上，直流稳压电源用过后，也应将其输出电压的“粗调旋钮”和“细调旋钮”置于输出电压最小的位置。将仪器设备送回原处并排放整齐。（以后每次实验都要做好这一步，不再重述。）



实验预习要求

- (1) 复习串联电阻及其分压作用、等效电阻的计算。
- (2) 复习并联电阻及其分流作用、等效电阻的计算。



思考与扩展题

- (1) 为了从稳压直流电源得到某一定值的输出电压，该如何操作？试归纳调节程序。
- (2) 为什么万用表使用完毕后要求将转换开关拨至交流电压最高挡？



注意事项

正确选择和使用万用表的挡位。

实验二 电阻的混联电路



实验目的

- (1) 进一步熟悉万用表的直流电流挡、电压挡及欧姆挡的使用方法。
- (2) 进一步熟悉简单电路的连接。
- (3) 加深对电阻混联电路电压、电流、等效电阻关系的理解，掌握其计算和测试的方法。
- (4) 习用伏安法测电阻，并验证欧姆定律。



实验仪器设备

- (1) 智能电工电子系统实验装置（GDSS-2C）。

- (2) 万用表一只 (MF47D)。
- (3) 电阻三个 100Ω (2 个)、 75Ω (1 个)。
- (4) 单刀开关。



实验原理

1. 欧姆定律

欧姆定律是电路的基本定律之一，是用于描述线性电阻伏安特性的关系式，其内容是：流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比。其数学表达式为 $I=U/R$ 。

2. 伏安法测电阻

伏安法又称电流表—电压表法，是一种间接测量电阻的方法。这种方法是在被测电阻通有电流的条件下，用电压表测出电阻两端的电压，用电流表测量通过电阻的电流，然后根据欧姆定律求出被测电阻。



实验内容与步骤

1. 测量前的准备与线路的连接

- (1) 调节直流稳压电源，输出 $6V$ 电压。
- (2) 按图 2-1 连接电路。接线时，先连接串联电路，后连接分支的并联电路。

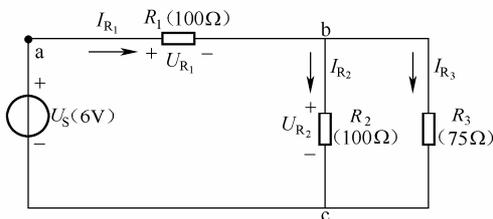


图 2-1 混联电路测量图

2. 等效电阻的测量与计算

(1) 断开直流稳压电源，万用表拨至欧姆挡，分别测量 R_{bc} 与 R_{ac} 两处的等效电阻值，将测量结果填入表 2-1 中。

(2) 根据电路等效原理，分别计算 R_{bc} 与 R_{ac} 的阻值，将计算结果填入表 2-1 中。

$$R_{bc} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} \quad R_{ac} = R_1 + R_{bc}$$

3. 电阻混联电路电压与电流的测量

- (1) 接上直流稳压电源，万用表拨至直流电压挡，测各电阻的端电压并依次填入表 2-1 中。
- (2) 将万用表拨至直流毫安挡，测流经各电阻电流并依次填入表 2-1 中。

4. 验证欧姆定律

根据所得有关数据，用伏安法计算等效电阻 R_{ac} ，将结果填入表 2-1 中，比较用不同方法得到的总等效电阻值。由于使用 MF47D 万用表的直流电流挡，本身约有 $U_g=0.3V$ 表压降，所

以计算 R_{ac} 时, 应按如下式子计算:

$$R_{ac} = (U_s - U_g) / I$$

其中, $U_s = 6V$, $U_g = 0.3V$, $I_{R_1} = I = I_{R_2} + I_{R_3}$ 。

表 2-1

等效电阻 (Ω) $R_{ac} = R_1 + R_{bc}$			验证欧姆定律		
	R_{bc}	R_{ac}	伏安法测电阻值 $R_{ac} = (U_s - U_g) / I_{R_1}$	R_{ac}	
欧姆挡测电阻					
等效电阻计算值					
电压 (V) $U_s = U_{R_1} + U_{R_2}$			电流 (mA) $I_{R_1} = I_{R_2} + I_{R_3}$		
顺序	量程选择	测量值	顺序	量程选择	测量值
U_s			I_{R_1}		
U_{R_1}			I_{R_2}		
U_{R_2}			I_{R_3}		



实验预习要求

- (1) 复习欧姆定律及伏安法测电阻的方法。
- (2) 复习混联电路等效电阻的计算。



思考与扩展题

- (1) 本实验中, 用伏安法测 R_{ac} 的等效电阻时, 为减小测量误差, 应怎样测量? 试画出测量原理图, 并加以说明。
- (2) 连接混联电路应注意哪些问题?



注意事项

正确选择和使用万用表的挡位。

实验三 基尔霍夫定律



实验目的

- (1) 进一步熟练电路的连接。
- (2) 加深对基尔霍夫定律的理解。



实验仪器设备

智能电工电子系统实验装置 (GDDS-2C)。



实验原理

1. 基尔霍夫电流定律 (KCL)

任一瞬间, 流入电路中任一节点的电流之和等于流出该节点的电流之和。也可叙述为任一时刻, 电路任一节点电流的代数和为零。其数学表达式为: $\sum I=0$ 。

2. 基尔霍夫电压定律 (KVL)

任一瞬间, 电路中任一回路内, 各段电压的代数和等于零。其数学表达式为: $\sum U=0$ 。



实验内容与步骤

1. 测量前的准备与线路的连接

(1) 调节直流稳压电源, 使两路输出电压分别为: $U_{S1}=8V$, $U_{S2}=4V$, 然后断开稳压电源开关。

(2) 按图 3-1 所示连接电路。确认接线正确后, 方可打开稳压电源开关 (K_1 左打, K_2 右打)。

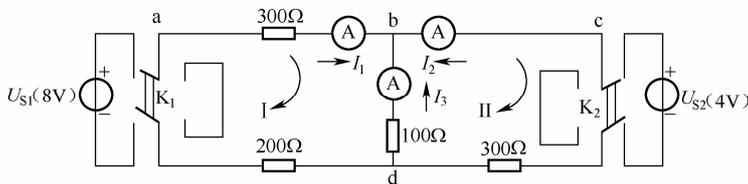


图 3-1 验证 KCL、KVL 定律电路图

2. 验证 KVL 定律

用直流电压表分别测量各电阻端电压并记入表 3-1 中。记入数据时注意电压参考方向与实测方向的关系。

表 3-1

各段电压				
$U_{ab}U_{dc}$	U_{cb}	U_{bd}	U_{dc}	U_{da}
验证 $\sum U=0$ (按图中绕行方向)				
回路 I	$U_{ab}U_{dc} + U_{bd} + U_{da} =$			
回路 II	$U_{cb} + U_{bd} + U_{dc} =$			

3. 验证 KCL 定律

用直流电流表测 I_1 、 I_2 和 I_3 ，并记入表 3-2 中。同样，记入数据时注意电流参考方向与实测方向的关系。

表 3-2

各支路电流值		
I_1	I_2	I_3
验证 $\sum I = 0$		
节点 b	$I_1 + I_2 + I_3 =$	



实验预习要求

- (1) 复习基尔霍夫定律。
- (2) 认识电量设定参考方向的重要性。



思考与扩展题

针对 abcda 回路，用 KVL 检验所测的各段电压，并解释造成误差的原因。



注意事项

- (1) 注意电表的极性，严禁指针反偏，正确选择量程。
- (2) 分清节点电流的流进与流出，分清回路电压的升与降。

实验四 叠加定理



实验目的

- (1) 进一步练习连接复杂电路。
- (2) 加深对叠加定理的理解。



实验仪器设备

- (1) 智能电工电子系统实验装置 (GDSS-2C)。
- (2) 万用表一只 (MF47D)。



实验原理

叠加定理是反映线性电路基本性质的一个重要原理，它是分析线性电路的重要方法和依据。其内容：在任一线性电路中，如果有多个独立源同时激励，则其中任一条支路的响应（电压或电流）等于各独立源单独激励时在该支路中产生的响应（电压或电流）的代数和。当某个电源单独作用时，其余不起作用的电源应保留内阻。直流稳压电源内阻很小，当它们不起作用时，可用短接线代替。



实验内容与步骤

1. 测量前的准备

调节直流稳压电源使两路输出电压分别为： $U_{S1}=8V$ ， $U_{S2}=4V$ ，然后断开稳压电源开关。

2. 测量两个电压源共同作用时电路中的电压与电流

(1) 按图 4-1 所示电路图接线。

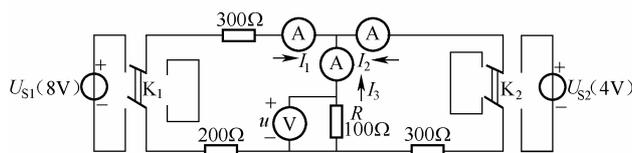


图 4-1 验证叠加定理电路图

(2) 接通两电源， U_{S1} 、 U_{S2} 共同作用，测量各支路的电流 I_1 、 I_2 、 I_3 及 R 两端的电压 U ，记入表 4-1。

注意：根据图 4-1 中各电流和电压的参考方向进行测量，若电流表反偏，应调换万用表两接线端后再进行测量，测量值为负。

3. 测量 U_{S1} 单独作用时电路中相应的电压与电流

电路图不变， K_1 、 K_2 向左闭合，重复测量上述电量，记入表 4-1。

4. 测量 U_{S2} 单独作用时电路中相应的电压与电流

电路图不变， K_1 、 K_2 向右闭合，重复测量上述电量，记入表 4-1。

表 4-1

		U_{S1} 单独作用	U_{S2} 单独作用	U_{S1} 、 U_{S2} 共同作用
I_1 (mA)	测量值			
	计算值			
	误差			
I_2 (mA)	测量值			
	计算值			
	误差			

续表

		U_{S1} 单独作用	U_{S2} 单独作用	U_{S1} 、 U_{S2} 共同作用
I_3 (mA)	测量值			
	计算值			
	误差			
U (V)	测量值			
	计算值			
	误差			



实验预习要求

- (1) 复习叠加定理。
- (2) 根据电路图 4-1, 计算 I_1 、 I_2 、 I_3 和 U , 记入表 4-1。



思考与扩展题

- (1) 在用叠加定理检验表 4-1 所测量的数据时, 如有误差, 解释产生误差的原因。
- (2) 用测得的电流、电压值计算电阻 R 消耗的功率, 并说明功率能否用叠加定理计算, 为什么? 试用具体数字加以说明。



注意事项

注意电表的极性, 严禁指针反偏, 正确选择量程。

实验五 戴维南定理



实验目的

- (1) 加深对戴维南定理的理解。
- (2) 掌握线性有源二端网络参数的测定方法。
- (3) 通过实验证明负载上获得最大功率的条件。



实验仪器设备

智能电工电子系统实验装置 (GDSS-2C)



实验原理

(1) 戴维南定理指出：任何线性有源二端网络，对外电路而言，都可以用一个内阻为 R_0 、电源电压为 U_S 的等效电压源来代替。电源电压 U_S 等于该有源二端网络的开路电压 U_{oc} ；等效电源的内电阻 R_0 等于无源二端网络的输入等效电阻。

(2) 负载获得最大功率的条件是：负载电阻与电源内阻相等，称为最大功率匹配。



实验内容与步骤

1. 测量前的准备

调节直流稳压电源 $U_{S1}=8V$ ，然后断开稳压电源开关。

2. 测量一线性有源二端网络的伏安特性（外特性）

(1) 按图 5-1 所示接线。 R_L 为可变电阻箱。a、b 左面为被测有源二端网络。

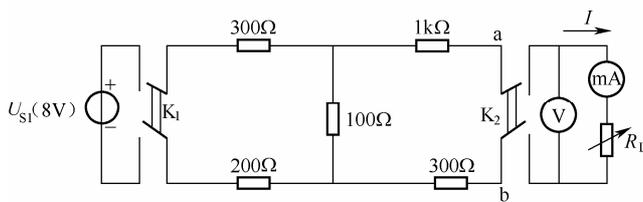


图 5-1 有源二端网络的伏安特性电路图

(2) 测电路中有源二端网络外特性。按表 5-1 调可变电阻箱 R_L 值（勿带电调），当 R_L 取不同值时，可得到一组电流、电压数据，记入表 5-1。此即为有源二端网络外特性。计算各种负载下所获得的功率。

表 5-1

R (Ω)	100	500	1K	1.5K	2K	4K	8K
U_{ab} (V)							
I (mA)							
P (mW)							

3. 测该线性有源二端网络的等效电压源电路的伏安特性

(1) U_{oc} 的测法：根据图 5-1，将 R_L 拆除后用电压表接在 ab 之间，测量 ab 两端的开路电压 U_{oc} ，记入表 5-2。

(2) R_0 的三种测法：

第一种：①将 ab 之间的电压表换成电流表，测量 ab 两端的短路电流 I_{sc} ，记入表 5-2。

②根据 $R_0=U_{oc}/I_{sc}$ ，计算 R_0 。

第二种：①根据图 5-1，将负载换成定值电阻 $R=200\Omega$ ，测量电流 I ，记入表 5-2。

②根据 $R_0=(U_{oc}/I)-R$ ，计算 R_0 。

第三种：①按图 5-2 所示接线，使 $U_s=10V$ ，测量电流 I ，记入表 5-2。

②根据 $R_o=U_s/I$ ，计算 R_o 。

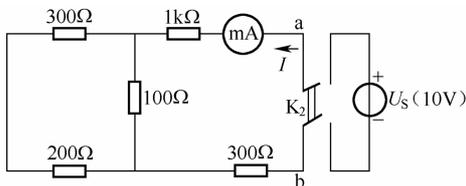


图 5-2 测量 R_o 的电路图

表 5-2

测量值 方法	U_{oc} (V)	I (mA)	计算值 R_o (k Ω)
①		$I_{sc} =$	$R_o = U_{oc} / I_{sc} =$
②			$R_o = (U_{oc} / I) - R =$
③	$U = 10$		$R_o = U_s / I =$

(3) 利用 U_{oc} 和 R_o ，按图 5-3 连接电路，测量它的伏安特性，将测量结果记入表 5-3。

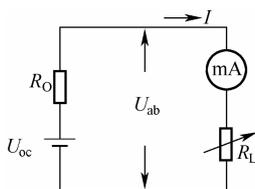


图 5-3 图 5-1 电路图的戴维南等效电路

表 5-3

R (Ω)	100	500	1K	1.5K	2K	4K	8K
U_{ab} (V)							
I (mA)							
P (mW)							

4. 验证戴维南定理

根据表 5-1 和表 5-3 画出外特性曲线，比较这两组数据，验证戴维南定理。



实验预习要求

复习戴维南定理和负载获得最大功率的条件。



思考与扩展题

(1) 根据表 5-1，计算当 R 为不同值时，它所消耗的功率。理论分析中， R 为何值时获

得的功率最大？试将测量结果与之比较。

(2) 等效电源的内阻 R_0 还有其他测量方法吗？



注意事项

- (1) 改变 R_L 时，请关闭电源。
- (2) a、b 两点之间接入负载时的电压与空载电压不一样。

实验六 直流电路的故障检查



实验目的

- (1) 理解电位、电位差（电压）、电位参考点及电压、电流参考方向的意义。
- (2) 掌握电路中电位的测量。
- (3) 初步学会用测量电阻的方法检查故障。
- (4) 初步学会用测量电压和电位的方法检查故障。



实验仪器设备

- (1) 智能电工电子系统实验装置（GDSS-2C）。
- (2) 万用表一只（MF47D）。



实验原理

1. 电位的测量

电路中各点的电位是相对的，所以必须在电路中选一个参考点为零电位点。用电压表测得其他各点与零电位点之间的电压就是那些点的电位。

2. 故障检查

故障的形式有电路接线错误、断线、短路、接触不良、元器件或仪表选择使用不恰当等。当电路出现故障时，应立即切断电源进行检查。

检查故障的一般方法如下：

(1) 检查线路接线是否正确、仪表规格与量程、元件的参数（包括额定电压、额定电流、额定功率）及电源电压的大小选择是否正确。

(2) 用万用表欧姆挡检查故障时，应先切断电源，根据故障现象，大致判断故障区段。用万用表欧姆挡检查该区段各元件、导线、连接点是否断开，各器件是否短路。一般来说，如果某无源二端网络中有开路处，该网络两端测出的电阻值比正常值大；如果某无源二端网络中有短路处，该网络测出的电阻值比正常值小。

(3) 用万用表直流电压挡检查故障时，应先检查电源电压是否正确，如果电源电压正确，

接通电源,再逐点测量各点对所选参考点的电位(或逐个测量各段的电压)。一般来说,如果串联电路中的某一点开路,则开路点以前的电位相等,开路点以后的电位相等,但开路点前后的电位不相等;如果电路中的某一段短路,则两短路点间的电压为零(或两短路点的电位相等),而其余各段电压不为零。



实验内容与步骤

1. 测量前的准备与线路的连接

- (1) 调节直流稳压电源,输出电压为 6V,然后断开稳压电源开关。
- (2) 按图 6-1 接线。

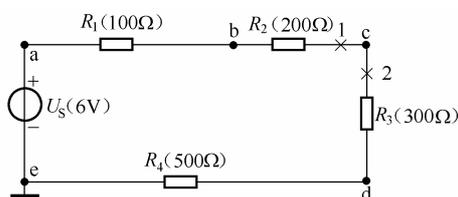


图 6-1 简单串联电路故障查找电路图

2. 简单串联电路正常连接与故障情况时电位、电压的测量

(1) 测图 6-1 所示电路正常连接时以 e 为参考点时各点的电位及各段电压,将测量结果记入表 6-1 中。

表 6-1

项目	φ_a / V	φ_b / V	φ_c / V	φ_d / V	U_{ab} / V	U_{bc} / V	U_{cd} / V	U_{de} / V
正常								
c 点开路								
b、c 短路								

- (2) 将图 6-1 中 c 点开路(分别从 1、2 处开路),重测各点电位及各段电压,记入表 6-1 中。
- (3) 将图 6-1 中 b、c 点短路,重测各点电位及各段电压,记入表 6-1 中。
- (4) 以 d 为参考点时测各点的电位及各段电压,自己设计表格记录测量结果。

3. 简单混联电路正常连接与故障情况时电位、电压的测量

(1) 在图 6-1 电路中的 b、d 两点间接一电阻 R_5 为 200Ω,如图 6-2 所示。分别测量电路正常时以 e 为参考点时各点的电位及各段电压,记入表 6-2 中。

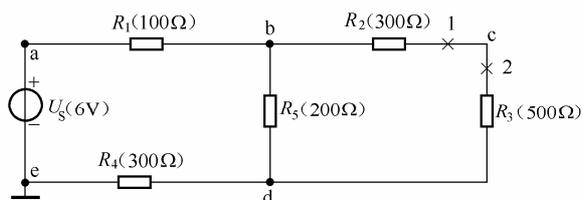


图 6-2 简单混联电路故障查找电路图

(2) 将图 6-2 中 c 点开路（分别从 1、2 处开路），重测各点电位及各段电压，记入表 6-2 中。

表 6-2

项目	φ_a V	φ_b V	φ_c V	φ_d V	U_{ab} V	U_{bd} V	U_{de} V	U_{bc} V	U_{cd} V
正常									
c 点开路									
b、c 短路									

(3) 将图 6-2 中 b、c 点短路，重测各点电位及各段电压，记入表 6-2 中。

(4) 以 d 为参考点时测各点的电位及各段电压，自己设计表格记录测量结果。

4. 用万用表的欧姆挡测量正常、故障电路的电阻

拆去图 6-2 中所示的电源，用万用表的欧姆挡分别测量正常情况下 c 点开路、b、c 点短路时 ae 间的电阻值，记入表 6-3 中。

表 6-3

项目	正常	c 点开路	b、c 短路
R_{ae}/Ω			



实验预习要求

直流电路常见的故障有哪些？常用的检查方法有哪些？



思考与扩展题

(1) 根据实验数据，说明当某段串联电路发生故障（开路或短路）时，该段电路中各段电压或各点的电位有何变化？

(2) 根据实验数据，说明当某无源二端网络中有开路或短路处时，该网络的等效电阻有何变化？



注意事项

C 点的断开有两种断法，影响所测结果。

实验七 电路基本元件的伏安特性



实验目的

(1) 掌握几种元件的伏安特性的测试方法。

- (2) 学会实际电压源和电流源使用调节方法。
 (3) 学习常用直流电工仪表和设备的使用方法。



实验仪器设备

智能电工电子系统实验装置 (GDSS-2C)



实验原理

(1) 电路元件的伏安特性是指该元件的电压 U 与通过它的电流 I 之间的关系, 也称外部特性。电源的外特性则是指它的输出电压与输出电流之间的关系。通常将这种关系在 $U-I$ 坐标系中绘成曲线, 称为伏安特性曲线或外特性曲线。

(2) 在本实验中所用的元件为线性电阻、白炽灯泡、整流二极管、稳压二极管。它们的伏安特性曲线分别如图 7-1 (a)、(b)、(c)、(d) 所示。

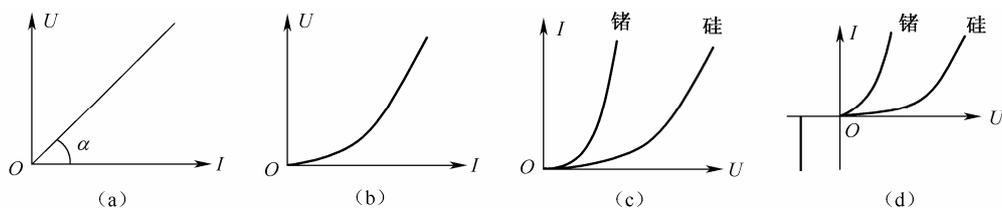


图 7-1

在图 7-1 中, (a) 为线性电阻的伏安特性, 直线的斜率等于该电阻的阻值; (b) 为白炽灯泡工作时的伏安特性, 其电阻值与温度有关, 而温度又受电流控制。电流越大, 温度越高, 电阻越大。一般白炽灯泡的“热电阻”是“冷电阻”的几倍或十几倍; (c) 为整流二极管正向运用时的伏安特性; (d) 为稳压二极管的伏安特性, 正向伏安特性类似于整流二极管, 但反向伏安特性则比较特别。在反向电压开始增加时, 其反向电流几乎为零, 当反向电压增加到某一数值时 (称稳定电压) 电流会突然增大, 此后它的端电压维持恒定不再随外加电压的升高而增加。



实验内容与步骤

1. 测定一线性电阻 R 的伏安特性

按图 7-2 接线, 调节稳压电源的输出电压, 改变其值七次, 分别将电流表和电压表的读数记入表 7-1。

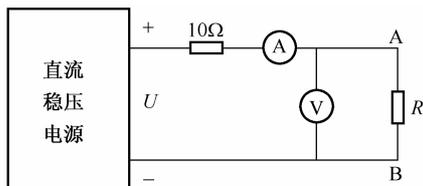


图 7-2

表 7-1

I (mA)						
U (V)						

2. 测定白炽灯泡的伏安特性

将图 7-2 中 AB 部分的电阻 R 用白炽灯泡替换。重复上述步骤，将电流表和电压表的读数记入表 7-2。

表 7-2

I (mA)						
U (V)						

3. 测定整流二极管的正向伏安特性

将图 7-2 中 AB 部分的电阻 R 用整流二极管替换。重复上述步骤，将电流表和电压表的读数记入表 7-3。

表 7-3

I (mA)						
U (V)						

4. 测定稳压二极管的反向伏安特性

将图 7-2 中 AB 部分的电阻 R 用稳压二极管替换。重复上述步骤，将电流表和电压表的读数记入表 7-4。

表 7-4

I (mA)						
U (V)						



实验预习要求

复习三种基本元件的伏安特性。



思考与扩展题

白炽灯泡的电阻受温度影响较大，它的电阻可否多测几次取其平均值？



注意事项

- (1) 实验时电流表应串接在电路中，电压表应并接在被测元件两端，极性切勿接错。
- (2) 合理选择量程，勿超量程使用电表。
- (3) 稳压电源输出应由小到大逐渐增加，输出端不能碰线短接。

(4) 分析测量误差原因。

实验八 功率因数的提高



实验目的

- (1) 了解日光灯电路的工作原理。
- (2) 学会正确使用功率表。
- (3) 掌握提高感性负载功率因数的方法，了解其意义。



实验仪器设备

智能电工电子系统实验装置 (GDDS-2C)



实验原理

1. 日光灯电路的工作原理

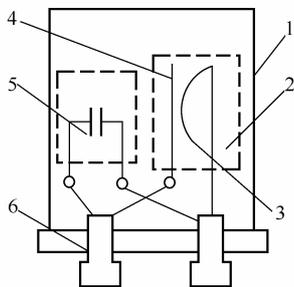
日光灯电路由灯管、镇流器和启辉器等三部分组成。

(1) 灯管是一根抽真空的玻璃管，内壁涂以荧光粉，管内两端各装有灯丝，灯丝的作用是发射电子，管内充有惰性气体氙气和少量汞蒸气，灯管必须在高压下点燃而在低压下工作，可近似认为是电阻负载。

日光灯不能直接接在 220V 的电源上使用。

(2) 镇流器是一个铁芯线圈，它与日光灯的灯丝相串联，是一个电感很大的感性负载，在灯管点燃瞬间产生足够高的电压（自感电动势），帮助灯管点燃。在正常工作时，它对灯管起降压限流作用。

(3) 起辉器相当于一个自动开关，由一个充有氖气的小玻璃泡（即辉光管）和一个小电容组成，用铝壳封装，内部结构如图 8-1 所示。灯管工作时，两极处于断开状态。电容能减少电极断开时的火花。



1—外壳；2—辉光管；3—双金属片
4—固定触头；5—电容器；6—插头

图 8-1 起辉器的内部结构图

日光灯电路可等效为电阻和电感串联的电路，其功率因数在 0.5~0.6 左右。

2. 提高功率因数的意义和方法

对于无源一端口网络，其所吸收的有功功率 $P = UI \cos\phi$ ，其中 $\cos\phi$ 称为功率因数。其大小取决于电压和电流之间的相位差，在日光灯电路两端并联一个适当的电容，由于电容能向感性负载提供一部分无功功率，因此可减少供电线路上的电流，提高电路的功率因数，从而减小供电线路上的能量损耗和电压降落，提高了供电效率和供电质量。



实验内容与步骤

(1) 按电路图 8-2 所示接线。

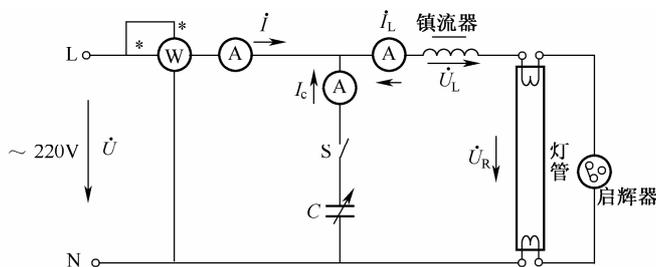


图 8-2 改善功率因数实验电路

(2) 经教师检查后方可接通电源，并观察日光灯点燃过程。

(3) 断开 S（即未并接电容），用交流电压表测量电源电压 U 、灯管电压 U_R 、镇流器电压 U_L ；用交流电流表测量总电流 I 、灯管电流 I_L 、电容支路的电流 I_C ；用功率表测量电路功率 P ，并计算功率因数，填入表中。

(4) 闭合 S，接入大小不同的电容时，重复测量上述数据，并填入表 8-1。

表 8-1

C (μF)	0	1	2	3	4	5	6
U (V)							
U_R (V)							
U_L (V)							
I (A)							
I_L (A)							
I_C (A)							
P (W)							
$\cos\phi$							



实验预习要求

(1) 日光灯电路的工作原理。

(2) 提高功率因数的意义。



思考与扩展题

还有哪些提高功率因数的方法?



注意事项

(1) 电容箱接线端子上并联有放电开关, 接线时必须先按下放电按钮 3~5 秒, 使用完毕后先断开电源, 再对电容箱放电, 最后拆线。

(2) 功率表应注意电压和电流量程、同名端的接线和正确的读数方法。

实验九 R、L、C 的频率特性



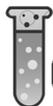
实验目的

- (1) 加深理解电阻、电感、电容元件频率与阻抗的关系。
- (2) 加深理解电阻、电感、电容元件端电压与电流之间的关系。
- (3) 学会用实验的方法测量线圈的电感量。



实验仪器设备

- (1) 智能电工电子系统实验装置 (GDSS-2C)。
- (2) 双踪示波器 (CA9020F)。



实验原理

电阻、感抗、容抗随频率的变化而变化的特性分别叫做电阻、电感、电容的频率特性。理想电阻元件的电阻与频率无关; 理想电感元件的感抗与频率成正比; 理想电容元件的容抗与频率成反比。

1. 电阻元件伏安特性的相量形式

在频率较低的情况下, 电阻元件可近似为纯电阻。 $U=IR$, U 和 I 同相位, 电阻值与频率无关。其伏安特性的相量形式: $\dot{U} = \dot{I} \times R$ 。电阻吸收的功率为: $P=UI$ 。

R 与 f 的关系如图 9-1 所示。

2. 电容元件伏安特性的相量形式

在频率较低的情况下, 电容元件可近似为纯电容。在正

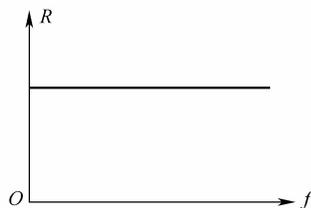


图 9-1 R - f 特性曲线

弦电压的作用下，电压与流过电容的电流之间的相量关系为： $\dot{U} = iX_C = \frac{i}{\omega C} \angle -90^\circ$ 。说明电流相位超前电压相位 90° ，电容中吸收的平均功率为零。频率越低，容抗越大。

X_C 与 f 的关系如图 9-2 所示。

3. 电感元件伏安特性的相量形式

电感元件由导线绕制而成。它可看成由电阻 r 和电感 L 组成。在正弦电流的作用下，其复阻抗为：

$$Z_L = r + j\omega L = \sqrt{r^2 + (\omega L)^2} \angle \varphi = |Z_L| \angle \varphi$$

电感上的电压与流过电感的电流之间的相量关系为：

$$\dot{U} = (r + j\omega L)\dot{I}$$

说明角频率越高，感抗越大。电压一定时，流过电感的电流越小；反之，角频率越低，感抗越小。电压一定时，流过电感的电流越大。此时，电流相位落后电压相位 90° ，电感所吸收的平均功率为： $P = I^2 r$ 。

X_L 与 f 的关系如图 9-3 所示。

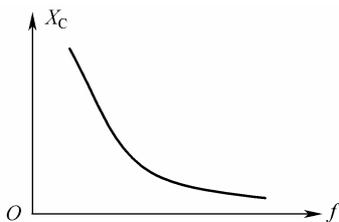


图 9-2 X_C - f 特性曲线

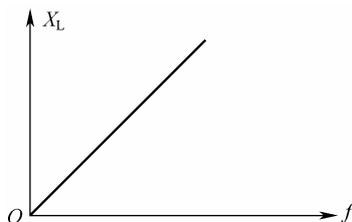


图 9-3 X_L - f 特性曲线



实验内容与步骤

1. 测量电阻元件的 R - f 特性曲线

(1) 按图 9-4 接线，调节信号发生器输出正弦波，使 $f = 1\text{kHz}$ ， $U_i = 5\text{V}$ ，分别测量 U_{AB} 、 U_{BC} 、 I_{R_1} 、 I_{R_2} 、 I_{R_3} ，记入表 9-1。

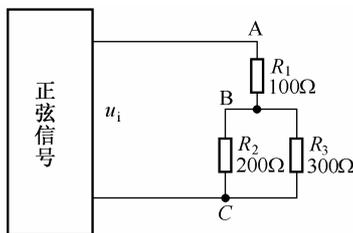


图 9-4 R - f 测量电路

(2) 按表 9-1 所规定的其他频率重复上述测量，将结果记入表 9-1。

注意：在整个测试过程中，始终要保持信号发生器输出电压不变。

表 9-1

测量值							结论			
f (Hz)	U_i (V)	U_{AB} (V)	U_{BC} (V)	I_{R_1} (mA)	I_{R_2} (mA)	I_{R_3} (mA)	$U_i=U_{AB}+U_{BC}?$		$I_{R_1}=I_{R_2}+I_{R_3}?$	
200										
400										
600										
800										
1K										

2. 测量电容元件的 X_C - f 特性曲线

按图 9-5 接线, 调节信号发生器输出正弦波, 使 $U_i=5V$, 按表 9-2 中的频率, 分别测量电容上的电压 U_C 、 U_R 、 I , 记入表 9-2, 并验算 $U_i=U_C+U_R$ 吗? 为什么?

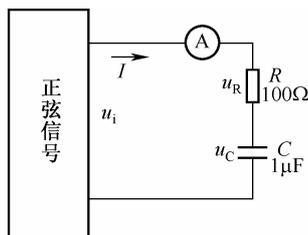
图 9-5 X_C - f 测量电路

表 9-2

f (Hz)	200	300	400	500	600	800	1K	1.2K
U_C (V)								
U_R (V)								
I (mA)								

3. 测量电感元件的 X_L - f 特性曲线

按图 9-6 接线, 虚线框内为电感元件的等效电路, R 为限流电阻, 调节信号发生器输出正弦波, 使 $U_i=5V$, 按表 9-3 中的频率, 分别测量电感上的电压 U_L 、 U_R 、 I , 记入表 9-3, 并验算 $U_i=U_C+U_R$ 吗? 为什么?

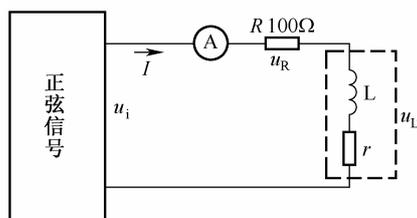
图 9-6 X_L - f 测量电路

表 9-3

f (Hz)	100	200	300	400	500	600	700	800	1K
U_L (V)									
U_R (V)									
I (mA)									
$L = \frac{U_L}{2\pi f I}$									



实验预习要求

复习三种基本元件的频率特性。



思考与扩展题

解释电感元件“通直阻交”的特性和电容元件“通交隔直”的特性。



注意事项

- (1) 电感器可用互感器原边或副边线圈，其标称值为 100mH，使用时注意电流不超过规定值 0.25A。
- (2) 电容箱接线端子并联有放电开关，接线时必须先按下放电按钮 3~5 秒，使用完毕后先断开电源，再对电容箱放电，最后拆线。
- (3) 大功率函数电源输出端如直接接入电容负载时应先串接一只 5Ω 电阻，以避免电容电流冲击使保护器工作。
- (4) 函数信号发生、电压表和被测电路的公共端应接在一起。

实验十 串联谐振



实验目的

- (1) 加深对谐振电路特性的理解。
- (2) 测定串联谐振的谐振曲线。
- (3) 研究电路参数对谐振特性的影响。



实验仪器设备

GDSS-2C 型电工电子系统实验装置



实验原理

图 10-1 为 RLC 串联谐振电路, 在正弦电压的激励下, 电路的工作状况将随频率的变动而变动, 这是由于感抗和容抗随频率变动而造成的。由于串联电路中的感抗和容抗有相互抵消的作用, 所以当 $\omega=\omega_0$ 时, 出现 $X(\omega_0)=0$, 这时端口上的电压和电流同相, 工程上将这种工作状况称为谐振。由于是在 RLC 串联电路中发生的, 故称为串联谐振。串联谐振的条件为:

$$\omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C} = 0$$

发生谐振时的角频率 ω_0 和 f_0 分别为:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

谐振频率是由电路的结构和参数决定的。串联谐振频率只有一个, 是由串联电路中的 L 、 C 参数决定的, 而与串联电阻 R 无关。改变电路中的 L 或 C 都能改变电路的谐振频率, 使电路在某一频率下发生谐振或避免谐振。

谐振时串联电路中的阻抗为最小, 即:

$$Z(j\omega) = R + j\left(\omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C}\right) = R$$

在输入电压有效值 U 不变的情况下, 串联电路中的电流 I 和 U_R 为最大, 即:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{|Z|} = \frac{\dot{U}}{R} \quad \dot{U}_R = R\dot{I} = \dot{U}$$

实验时可根据此特点判别串联电路是否发生谐振。根据阻抗的频率特性可定性画出谐振曲线 (如图 10-2 所示), 两条曲线对应两个具有不同的电阻 R_1 、 R_2 , 但 L 和 C 相同的串联电路。谐振时还有: $\dot{U}_L + \dot{U}_C = 0$, 而 $\dot{U}_L = jQ\dot{U}$, $\dot{U}_C = -jQ\dot{U}$, 式中 Q 称为串联谐振电路的品质因数, 有:

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 C R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

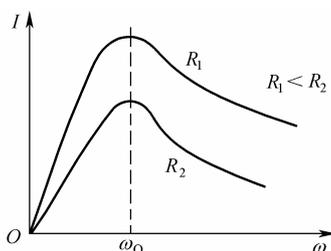


图 10-2 谐振曲线

由图 10-2 可以看出, 品质因数 Q 值越高, 曲线越陡, 选择性越好; Q 值越低, 谐振曲线越平

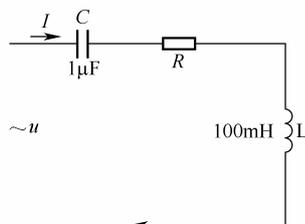


图 10-1 串联谐振电路

坦, 选择性越差。所以电路选择性的优劣取决于电路的品质因数 Q 。

如果 $Q > 1$, 则有 $U_L = U_C > U$, 当 $Q \gg 1$, 表明在谐振或接近谐振时, 会在电感和电容两端出现大大高于外加电压 U 的高电压, 称为过电压现象, 往往会造成元件的损坏。

从实验所得的谐振曲线, 可以求出 Q 值, 其方法是在通用谐振曲线的纵坐标

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707$$

处作一平行于横坐标的直线, 该直线交于曲线上的两点, 它们在横坐标上分别为 η_1 、 η_2 , 于是有:

$$Q = \frac{1}{\eta_1 - \eta_2}$$



实验内容与步骤

(1) 按图 10-1 进行接线, 测定电阻 $R=100\Omega$ 时的串联谐振曲线。

调节信号发生器的输出电压 $U=8V$ 。用交流电流表测量电流 I 。改变信号发生器频率并保持输出电压 U 不变, 当电流 I 为最大值时, 电路则处于谐振状态, 记录此时的谐振频率和谐振时的电流于表 10-1 中。

表 10-1

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
f (Hz)										
I (mA)										

(2) 测定 $R=200\Omega$ 时的串联谐振曲线。填表 10-2。

表 10-2

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
f (Hz)										
I (mA)										



实验预习要求

- (1) 复习有关串联谐振方面的知识。
- (2) 画出串联谐振的实验接线图, 并根据图 10-1 给定的电路参数计算出谐振频率 f_0 。



思考与扩展题

- (1) 总结串联谐振的条件和主要特征。
- (2) 判断电路处于谐振状态的方法有几种? 试写出具体的方法。



注意事项

- (1) 电感器可用互感器原边或副边线圈，其标称电感量为 100mH，使用时注意电流不超过规定值 0.25A。
- (2) 若使用电容箱，在接线时必须先按下放电按钮 3~5 秒。使用完毕后必须先切断电源，然后对电容箱进行放电，最后拆线。
- (3) 大功率函数电源输出端不能直接接入电容，以避免电容电流冲击使保护器动作。
- (4) 改变频率后，要及时调节信号发生器的输出端电压，使之保持不变。
- (5) 在各项实验中应正确选择交流电流表的量程及注意正确操作程序。
- (6) 合理地取舍测量频率，使最终得到的测量点能正确反映串联谐振曲线。

实验十一 三相异步电动机的点动及连续运转控制



实验目的

- (1) 了解三相异步电动机的继电器—接触器控制系统的控制原理，观察交流接触器、热继电器、自动空气断路器及按钮等低压电器的动作，学习其使用方法。
- (2) 掌握三相异步电动机的点动、单向连续运转控制电路的连接方法。
- (3) 能够熟记三相异步电动机点动和单向连续运转控制电路的控制过程。



实验仪器设备

智能电工电子系统实验装置 (GDSS-2C)



实验原理

1. 电动机的点动控制

在工程实际应用中，经常需要对电动机进行起动、制动、点动、单向连续运转控制及正、反转控制等，以满足生产机械的要求。

三相异步电动机点动控制原理电路如图 11-1 所示。控制过程如下：

- (1) 先闭合主回路中的电源控制开关，为电动机的起动做好准备。
- (2) 按下启动按钮 SB，接触器线圈 KM 得电，KM 的三对主触点闭合，电动机主电路接通，电动机起动运转。
- (3) 松开按钮 SB，接触器 KM 线圈失电，KM 的三对主触点随即恢复断开，电动机主电路断电，电动机停止运行。实现了三相异步电动机点动控制。

2. 电动机单向连续运转控制

实际应用中，大多电动机的控制电路中都要满足连续运转的控制要求。电动机的单向

连续运转控制电路如图 11-2 所示。与点动控制电路相比，电路中多了一个接触器 KM 的辅助常开触点在控制电路中起自锁作用；还有一个停止按钮 SB₁。

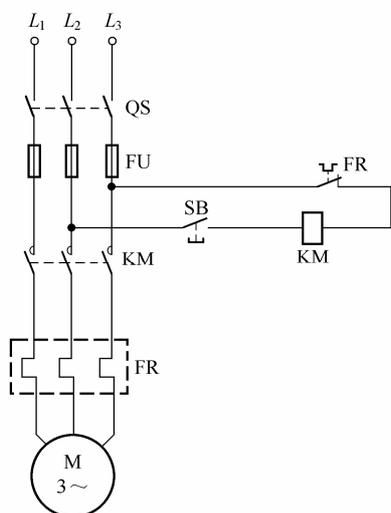


图 11-1 电动机的点动控制电路

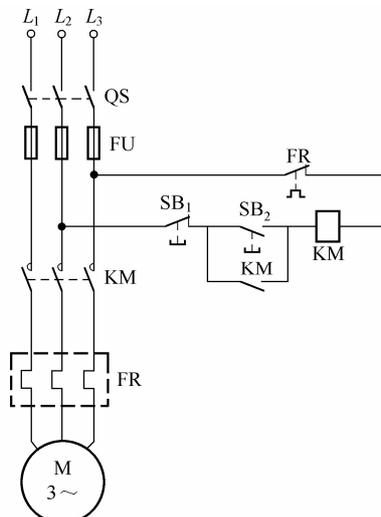


图 11-2 电动机的单向连续运转控制电路

控制过程：

(1) 先闭合主回路中的电源控制开关，为电动机的起动做好准备。

(2) 按下启动按钮 SB₂，接触器 KM 线圈得电，KM 的三对主触点闭合，电动机主电路接通，电动机单向运转，同时 KM 的辅助常开触点也闭合，起自锁作用：把手松开按钮 SB₂，电动机控制回路中电流由从 SB₂ 通过改为从 KM 辅助常开触点通过，即控制回路仍然闭合，因此 KM 线圈不会失电，电动机主回路触点不会断开，仍将连续运行。

(3) 需要电动机停下来时，按下停止按钮 SB₁ 即可，控制回路电流由 SB₁ 处断开，造成接触器 KM 线圈断电，其主触点打开，电动机停转。



实验内容与步骤

(1) 连线前首先要把电路图与实物相对照，把电路中的图形符号、文字符号与实际设备一一对应，认识清楚后才能照图进行连线。

(2) 连接三相异步电动机的点动控制线路的主回路。

(3) 连接点动控制电路的辅助回路。点动按钮 SB 连接复合按钮的一对常开触点，一端与一相电源相连，另一端与 KM 线圈相连，KM 线圈另一端与热继电器的常闭触点相连，热继电器的另一端连接到另一相电源线上。注意：控制回路一定要接在 KM 主触点的上方，否则电动机永远不会运转。

(4) 连线结束检查无误后通电操作，观察电器及电动机的动作。

(5) 三相异步电动机的主回路不变。对控制回路作如下改动：停止按钮 SB₁ 连接复合按钮的一对常闭触点，一端与一相电源相连，另一端与启动按钮 SB₂ 的一端相连，在二者连接处引出一根导线与 KM 辅助常开的一端相连，SB₂ 的另一端与 KM 线圈相不变，相连处引出一根

导线与 KM 辅助常开的另一端相连，其余部分不变。

(6) 连线结束检查无误后通电操作，观察电器及电动机的动作。



实验预习要求

复习三相异步电动机的相关知识。



思考与扩展题

- (1) 你在实验过程中遇到了什么问题？如何解决？
- (2) 你能用万用表判断交流接触器和按钮的好坏吗？如何判断？



注意事项

- (1) 严格执行实验室安全管理制度，注意人身安全和设备安全。
- (2) 实验线路必须经指导教师检查后，方可接通电源。
- (3) 各种电源输出端之间严禁直接连接（如交流电网电源输出端直接连至信号电源或直流电源输出端等）。

实验十二 三相异步电动机的正反转控制



实验目的

- (1) 进一步熟悉三相异步电动机的继电器—接触器控制系统的控制原理，熟悉交流接触器、热继电器、自动空气断路器及按钮等低压电器的动作原理及连线方法。
- (2) 掌握三相异步电动机的正、反转控制电路的连接方法。
- (3) 能够熟记三相异步电动机正、反转控制电路的控制过程。



实验仪器设备

智能电工电子系统实验装置（GDDS-2C）



实验原理

工程实际应用中，起重机的升降、车刀的进和退等都是由电动机的正、反转控制实现的。三相异步电动机正、反转控制原理电路主回路如图 12-1 所示，辅助回路如图 12-2 所示。

控制过程：

- (1) 先闭合主回路中的电源控制开关，为电动机的起动做好准备。

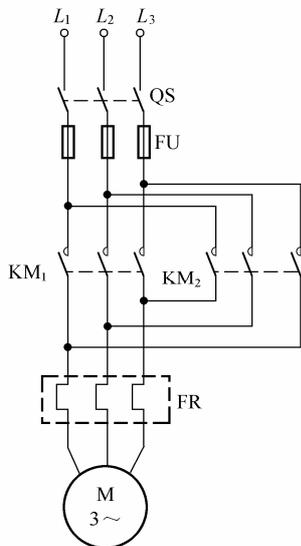


图 12-1 正、反转控制主回路

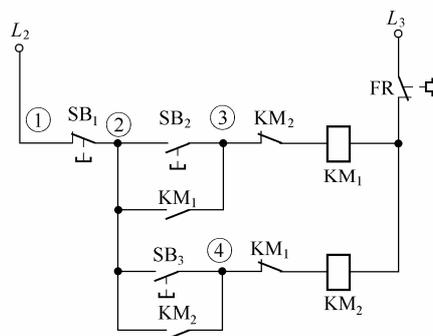


图 12-2 正、反转控制电路的辅助回路

(2) 按下正转起动按钮 SB_2 ，正转接触器线圈 KM_1 得电， KM_1 串接在反转控制回路中的辅助常闭触点断开：即电动机正转时反转控制电路不能接通； KM_1 的三对主触点闭合，电动机正转主电路接通，电动机正转起动；同时， KM_1 的辅助常开触点闭合自锁，保证电动机正向连续运转。

(3) 按下停止按钮 SB_1 ，接触器 KM_1 线圈失电， KM_1 的三对主触点随即恢复断开，电动机主电路断电，电动机正向运行停止。同时 KM_1 的辅助触点复位。

(4) 按下反转起动按钮 SB_3 ，反转接触器线圈 KM_2 得电， KM_2 串接在正转控制回路中的辅助常闭触点断开，即电动机反转时正转控制电路不能接通； KM_2 的三对主触点闭合，电动机反转主电路接通，电动机反转起动；同时， KM_2 的辅助常开触点闭合自锁，保证电动机反向连续运转。

(5) 当需要反转停止时，按下停止按钮 SB_1 ，接触器 KM_2 的线圈就会失电， KM_2 的三对主触点随即恢复断开，电动机主电路断电，电动机反向运行停止。同时 KM_2 的辅助触点复位。



实验内容与步骤

(1) 连线前仍要把电路图与实物相对照，然后进行连线。

(2) 连接三相异步电动机正、反转控制线路的主回路。两个接触器主触点的连接方式中 KM_1 与点动和单向连续运转主电路情况相同， KM_2 则并接在 KM_1 两端，注意 KM_2 与电源相连的一端要把两根电源线对调，使之成为 $C \rightarrow B \rightarrow A$ 的相序，以实现从正转变为反转； KM_2 与热继电器相连的另一端保持回路原来的 $A \rightarrow B \rightarrow C$ 顺序不变，与 KM_1 的另一端拧在一起后与热继电器的发热元件相串联，最后电动机三相绕组与热继电器发热元件的另一端相连，主电路连接完成。

(3) 连接正、反转控制电路的辅助回路。



实验预习要求

复习与本实验有关的知识点。



思考与扩展题

- (1) 能否在实验做完后自己把电动机正、反转控制电路默画下来？照图叙述其动作过程。
- (2) 设计一个既有点动又有自锁控制（点动时自锁失去控制）的三相异步电动机控制电路。
- (3) 能否设计一个两台异步电动机顺序起动的控制电路？要求：第一台电动机起动后第二台电动机才能起动；第二台电动机停转后，第一台电动机才能停转。



注意事项

三相异步电动机的正转和反转控制电路必须要有互锁，以防误操作造成短路事故和设备损坏。

实验十三 常用电子仪器的使用



实验目的

- (1) 学习电子电路实验中常用的电子仪器——双踪示波器、函数信号发生器、直流稳压电源、交流毫伏表的主要技术指标、性能及正确使用方法。
- (2) 初步掌握用双踪示波器观察正弦信号波形和读取波形参数的方法。



实验仪器设备

- (1) 函数信号发生器（CA1640P-02）。
- (2) 双踪示波器（CA9020F）。
- (3) 交流毫伏表（EM2172）。



实验原理

在模拟电子电路实验中，经常使用的电子仪器有示波器、函数信号发生器、直流稳压电源、交流毫伏表及频率计等。它们和万用表一起，可以完成对模拟电子电路的静态和动态工作情况的测试。

实验中要对各种电子仪器进行综合使用，可按照信号流向，以连线简捷、调节顺手、观察与读数方便等原则进行合理布局。但接线时应注意，为防止外界干扰，各仪器的公共接地端

与被测电路的接地端应连接在一起，称共地，如图 13-1 所示，信号源和交流毫伏表的引线通常用屏蔽线或专用电缆线，示波器接线使用专用电缆线，直流电源的接线用普通导线。

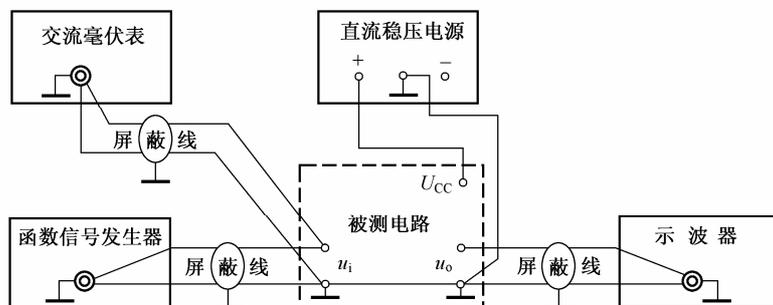


图 13-1 模拟电子电路中常用的电子仪器布局图

下面将依次介绍三种常用的实验仪器的原理。

1. 双踪示波器 (CA9020F)

双踪示波器是一种用途十分广泛的电子测量仪器。它能把肉眼看不见的电信号变换成看得见的图像，便于人们研究各种电现象的变化过程。示波器利用狭窄的、由高速电子组成的电子束，打在涂有荧光物质的屏面上，就可产生细小的光点。在被测信号的作用下，电子束就好像一支笔的笔尖，可以在屏面上描绘出被测信号的瞬时值的变化曲线。利用示波器能观察各种不同信号幅度随时间变化的波形曲线，还可以用它测试各种不同的电量，如电压、频率、相位差等。

示波器（如图 13-2 所示）种类繁多，但其面板通常可划分为三大部分：显示部分、垂直（Y 轴）部分、水平（X 轴）部分。现以 CA9020F 双踪示波器为例分别介绍各旋钮的作用。

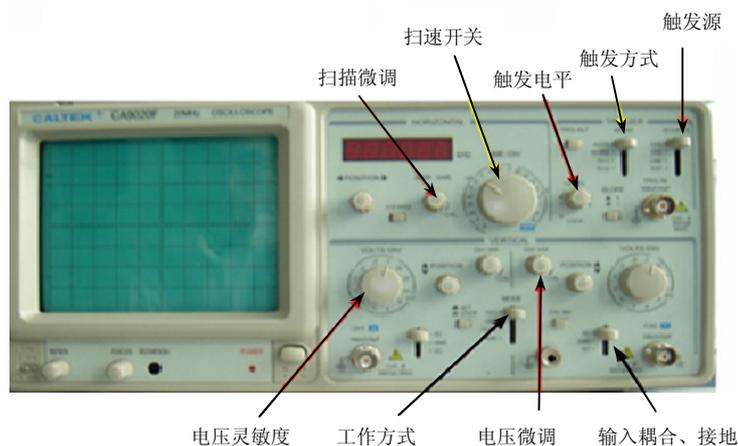


图 13-2 双踪示波器面板

(1) 显示部分。

主要控制件为：电源开关、电源指示灯、荧光屏、辉度（调整光点亮度）、聚焦（调整光点或波形清晰度）。

(2) 垂直（Y 轴）部分——VERTICAL。

① 电压灵敏度旋钮 (V/div)。

该旋钮的刻度值表示荧光屏纵向每格电压值,可定量测量信号的幅度。信号的幅度=波形纵向格数×灵敏度刻度值,如图 13-3 所示,波形纵向占 4 格,灵敏度为 0.1V/div,故 $U_{p-p}=0.1\text{v} \times 4=0.4\text{v}$ 。

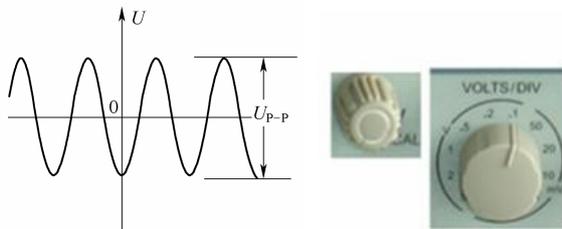


图 13-3

注意: 在定量测量时,应先将微调旋钮置于“校正”(CAL)位置。

② “DC-⊥-AC” Y 轴输入选择开关。

用以选择被测信号接至输入端的耦合方式,如图 13-4 所示。置于 DC 是直接耦合,能输入含有直流分量的交流信号;置于 AC 位置,实现交流耦合,只能输入交流分量;置于 GND 位置时,Y 轴输入端接地,这时显示的是基准线,即零电平线。

③ 工作方式开关。

如图 13-5 所示,CH1/CH2: 表单踪显示; DUAL: 表双踪显示; ALT: 表交替显示,扫描速度 $0.2\mu\text{s}-0.5\mu\text{s}/\text{div}$; CHOP: 表转换显示,扫描速度 $1\text{ms}-0.2\text{s}/\text{div}$; ADD: CH1±CH2 显示。



图 13-4



图 13-5

(3) 水平 (X 轴) 部分——HORIZONTAL。

① 扫速旋钮 (t/div 旋钮)。该旋钮的刻度值表示荧光屏横向每格时间值,可定量测量信号的时间参数。信号周期=波形周期横向格数×扫速开关刻度值,如图 13-6 所示,信号一周期占 2 格,扫速开关刻度为 2ms,故周期 $T=2\text{ms} \times 2=4\text{ms}$ 。

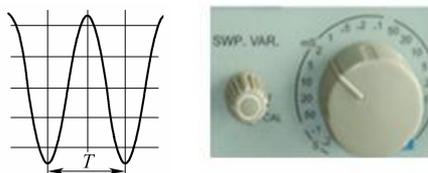


图 13-6

注意: 在定量测量时,应将微调旋钮置“校正”(CAL)位置。

② 触发方式开关——TRIGGER。

如图 13-7 所示，其中：

自动—扫描电路处于自激状态（通常选择自动方式）；

常态—扫描电路处于触发状态；

TV-V—电路处于电视场同步；

TV-H—电路处于电视行同步。

③ “触发电平”旋钮。

触发电平调节旋钮（如图 13-8 所示）用于选择输入信号波形的触发点。具体地说，就是调节开始扫描的时间，决定扫描在触发信号波形的哪一点上被触发。顺时针方向旋转时，触发点趋向信号波形的正向部分，逆时针方向旋转时，触发点趋向信号波形的负向部分。当显示波形不稳定时，调节该旋钮可使波形稳定。



图 13-7



图 13-8

④触发电源开关。

为了在屏幕上显示一个稳定的波形，需要给触发电路提供一个与显示信号在时间上有关联的信号（即触发信号），触发电源开关就是用来选择触发信号的。

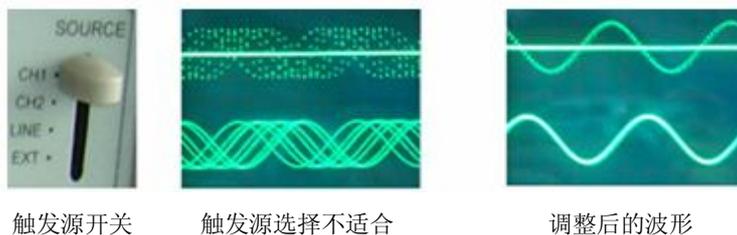
CH1、CH2：大部分情况下采用内触发模式。送到垂直输入端的信号在预放以前分一支到触发电路中。由于触发信号就是测试信号本身，因此显示屏上会出现一个稳定的波形。

在 DUAL 或 ADD 方式下，触发信号由触发电源开关来选择。

LINE：用电网交流电源的频率作为触发信号。这种方法对于测量与电源频率有关的信号十分有效，如音响设备的交流噪音、可控硅电路等。

EXT：用外来信号驱动扫描触发电路。该外来信号因与被测的信号有一定的时间关系，波形即由外来信号触发而显示出来。

如图 13-9 所示，触发电源如果选择不当，会使得信号不稳定，无法看清波形。



触发电源开关

触发电源选择不适合

调整后的波形

图 13-9

2. 函数信号发生器（CA1640P-02）

函数信号发生器按需要可输出正弦波、方波、三角波三种信号波形。输出电压最大可达 $20V_{p-p}$ 。通过输出衰减开关和输出幅度调节旋钮，可使输出电压在毫伏级到伏特级范围内连续

调节。函数信号发生器的输出信号频率可以通过频率分挡开关进行调节。

函数信号发生器面板装置如图 13-10 所示。下面简单介绍它的使用。



图 13-10 函数信号发生器

(1) 占空比调节旋钮。用于调节三角波和方波的占空比，可得到锯齿波和脉冲波，输出为正弦波、三角波、方波时应置“校正”位置。

(2) 频率范围选择按钮。通过频率范围选择按钮和频率微调旋钮的配合可调节频率。

(3) 输出衰减按钮。通过输出衰减按钮和输出微调旋钮可调节输出信号。

3. 交流毫伏表

交流毫伏表（如图 13-11 所示）又称晶体管毫伏表，用来测量正弦交流电压的有效值。与一般的交流电压表或万用表的交流电压挡相比，其主要优点如下：



图 13-11 交流毫伏表

(1) 输入阻抗高、输入电容小，因此测量中对被测电路影响很小。

(2) 测量频带宽。

(3) 灵敏度高、量程大。

毫伏表在使用前应垂直放置，因为测量精度以表面垂直放置为准。在测量时，首先通过量程转换开关选择合适的量程挡位，若难以把握测量挡位，一般先把量程开置于量程较大位置上，然后在测量中逐挡减小量程，直到指针偏转较明显为止。进行读数时，要按照所选挡位平分所用刻度后计算得到测量值。

此外，交流毫伏表只能在其工作频率范围之内，用来测量正弦交流电压的有效值。



实验内容与步骤

(1) 使用毫伏表测量信号发生器的正弦输出电压。

1) 信号发生器输出衰减开关置 0dB，输出 5V/1kHz 的正弦信号，频率不变，改变衰减值，用毫伏表测量正弦输出电压。填表 13-1。

表 13-1

信号发生器输出衰减 (dB)	0	20	40	60
理论值 (V)				
毫伏表读数 (V)				

2) 信号发生器输出衰减开关置 0dB，输出 5V/1kHz 的正弦信号，衰减不变，改变频率值，用毫伏表测量正弦输出电压。填表 13-2。

表 13-2

信号频率 (kHz)	0.1	1	5	10	50	100	1000
电压表读数 (V)							

(2) 示波器测量信号发生器的正弦输出电压和频率。

1) 信号发生器输出衰减开关置 0dB，调节好 5V/1kHz 的正弦信号，频率不变，改变衰减值，用示波器测量正弦输出电压。填表 13-3。

表 13-3

信号发生器输出衰减 (dB)	0	20	40	60
灵敏度 (V/div)				
峰—峰格 (div)				
峰—峰值				
电压有效值 (V)				
理论值				

2) 信号发生器输出衰减开关置 0dB，调节好 5V/1kHz 的正弦信号，衰减不变，改变频率值，用示波器测量频率值。填表 13-4。

(3) 用示波器测量顶部电平为 4.5V，底部电平为 0V，频率为 2kHz 的方波信号。

表 13-4

信号频率 (kHz)	0.1	1	10	100
扫描速率 (t/div)				
一周格数				
周期 (ms)				
频率 (Hz)				



实验预习要求

阅读有关示波器、函数信号发生器和交流毫伏表的有关知识。



思考与扩展题

- (1) 整理实验数据并进行分析。
- (2) 问题讨论。
 - 1) 如何操纵示波器有关旋钮, 以便从示波器显示屏上观察到稳定、清晰的波形?
 - 2) 函数信号发生器有哪几种输出波形? 它的输出端能否短接?
 - 3) 交流毫伏表是用来测量正弦波电压还是非正弦波电压? 它的表头指示值是被测信号的什么数值? 它是否可以用来测量直流电压的大小?



注意事项

- (1) 使用过程中应避免频繁开关电源, 以免损坏示波器。
- (2) 示波器的地端应与被测信号的地端接在一起。
- (3) 示波器应避免在强磁场环境中工作, 因为外磁场会引起显示波形失真。
- (4) 探头使用时, 不能用力拉扯, 以免损坏。
- (5) 由于毫伏表的灵敏度很高, 因此接地点必须良好。
- (6) 一般暂时不用时, 应把量程旋到最大处, 以免输入开路时电表指针偏转过大。

实验十四 常用电子元器件的识别与检测



实验目的

- (1) 学会用万用表判别二极管的好坏和极性。
- (2) 学会用万用表判别三极管的类别和管脚。
- (3) 掌握测试二极管、三极管输出特性曲线的方法。



实验仪器设备

- (1) 直流电流表。
- (2) 直流稳压电源。
- (3) 万用表。
- (4) 二极管、三极管、稳压管。



实验原理

1. 二极管

按材料分：硅二极管、锗二极管，化合物二极管。

按结构分：面接触型、点接触型。

按功率分：大功率管、小功率管。

按频率分：高频管、低频管。

按功能分：普通管、特种管（稳压管、开关管、发光管、光电管、恒流管、磁敏管等）。

二极管的主要参数：额定电流、反向电流、最高反向工作电压。

二极管的极性判别及选用：一般情况下，二极管有色点的一端为正极，如 2AP1-2AP7、2AP11-2AP17 等。如果是透明玻璃壳二极管，内部连触丝的一头是正极，半导体片的一头是负极，塑封二极管有圆环标志的是负极，如 IN4000 系列。

(1) 用万用表 $1k\Omega$ 、 100Ω 挡判别二极管的极性和好坏。万用表置于电阻挡时，内部电池负极与红表笔相连，正极与黑表笔相连。

用万用表红黑表笔分别对测二极管的两端，呈现电阻一次很大，一次很小，一般来说二极管是好的，很大的一次加的是反向电压，红表笔接的是阳（P）极，黑表笔接的是阴（N）极，反向阻值不是 ∞ ，说明有反向电流，反向电流越大，单向导电越差；有限值的一次加的是正向电压，黑表笔接的是阳（P）极，红表笔接的是阴（N）极。如果用万用表 $1k\Omega$ 、 100Ω 挡测量二极管正反向电阻均很大或均为 0，则二极管坏了（断路、短路）。

(2) 二极管 V-A 特性曲线测量。

图 14-1 是二极管 V-A 特性曲线测量电路，通过正、反二极管，测量二极管的特性。其中，图 14-1 (a) 是测量正向 V-A 特性曲线测量图，图 14-1 (b) 是测量反向 V-A 特性曲线测量图。

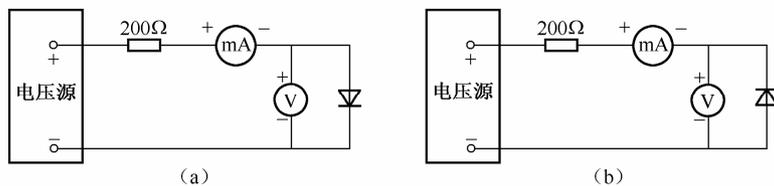


图 14-1 二极管 V-A 特性测量电路

2. 三极管

三极管可分为 NPN 和 PNP 两大类，材料只有硅和锗两种。

三极管的主要参数有：电流放大系数、反向饱和电流、集电极最大允许电流和消耗功率等。

半导体三极管和二极管一样是非线性器件，是一种电流控制器件，即通过基极电流或射极电流去控制集电极电流。所谓放大作用，实质上就是一种控制作用，但要注意的是三极管的发射结必须正向偏置，而集电结必须反向偏置。

三极管的品种较多，从制造材料不同可分为锗管和硅管；从导电类型可分为 NPN 型和 PNP 型；从耗散功率可分为小功率、中功率和大功率管。在使用前或检查其性能时，应进行必要的测量，尤其是新、旧型号并存，国内、国外器件同时使用，器件上型号不清时，更应作某些基本测量。

三极管的类型及管脚判别：

(1) 管型和基极 b 的测试。三极管可以看成是两个背靠背的 PN 结结构，如图 14-2 所示。对 NPN 型三极管来说，基极是两个结的公共阳极；而对 PNP 型三极管来说，基极是两个结的公共阴极。因此，判别公共极是阳极还是阴极，即可知道该管是 NPN 型还是 PNP 型三极管。

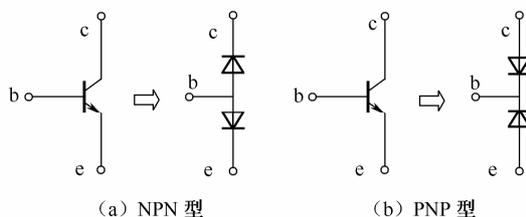


图 14-2 三极管符号示意图

用万用表测试三极管的 PN 结，其方法同二极管测量。

(2) 发射极 e 和集电极 c 的判别。在三极管的类型和基极确定后，即可分清三极管的另外两个极（脚）。如图 14-3 (a) 所示，若把已判明了的 PNP 型三极管基极 b 与三极管的另外两个极（脚）串接一个电阻（ $20\text{k}\Omega \sim 100\text{k}\Omega$ ），若集电极与发射极间加的是正常放大所需极性的电源电压，则 $I_c \cong \beta I_B$ ；反之，若电源电压极性相反，则 I_c 几乎为 0。因此，当我们用万用表接入 NPN 型三极管的 c 和 e 端时，若黑表棒接 c 端，而红表棒接 e 端（万用表内部电源（见图 14-3 (b)）正好使三极管的 c、e 端正偏）时，表指针偏转角大（电阻值小）。若将两表棒对调，则三极管的 c、e 端反偏，表指针偏转角小（电阻值大），这样就可判 NPN 型三极管的发射极 e 和集电极 c，如图 14-3 (c) 所示。

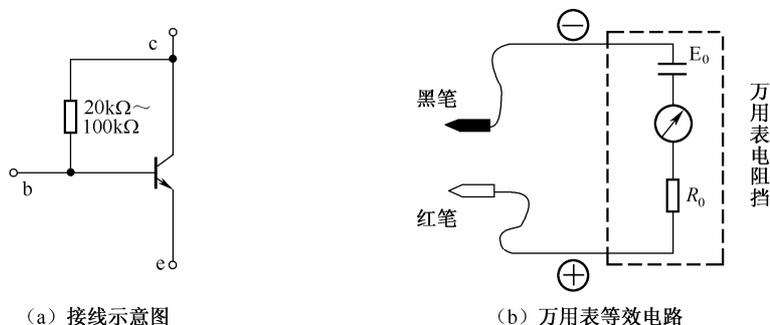


图 14-3 发射极 e 和集电极 c 的判别

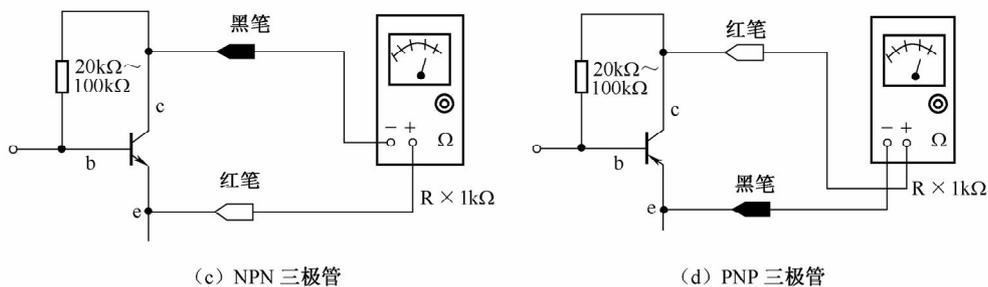


图 14-3 发射极 e 和集电极 c 的判别 (续图)

对于 PNP 型三极管的 c 和 e 极判断, 其方法相同, 如图 14-3 (d) 所示。

(3) 三极管 V-A 特性曲线测量。三极管 V-A 特性曲线测量电路如图 14-4 所示。

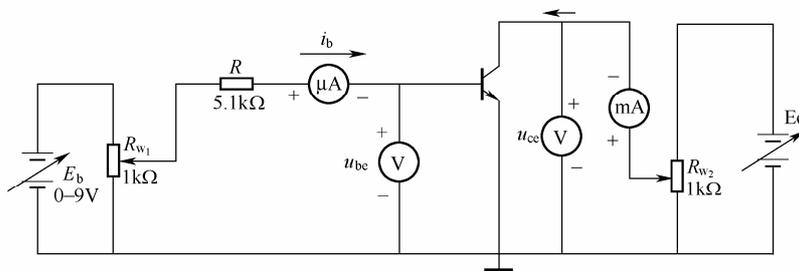


图 14-4 三极管 V-A 特性曲线测量电路

3. 稳压二极管

图 14-5 所示是测量稳压二极管反向伏安特性的电路。

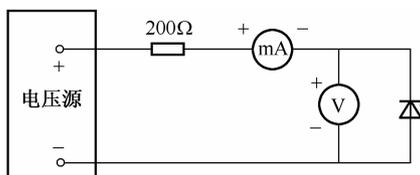


图 14-5 测量稳压二极管反向伏安特性的电路



实验内容与步骤

(1) 用万用表电阻挡 (1kΩ、100Ω 挡) 测量二极管正反向电阻, 与一个普通电阻进行比较, 测量结果记入表 14-1。

表 14-1

电阻挡位	电阻	二极管正向	二极管反向
1kΩ			
100Ω			

(2) 按照图 14-1 连接电路, 测量硅二极管的正向伏安特性。调节稳压电源的输出电压,

从而改变电路的电流和电压，将数据记入表 14-2。

表 14-2

I (mA)						
U (V)						

根据以上测得的数据，用逐点法绘出二极管的正向伏安特性曲线。

(3) 按照图 14-4 所示连接电路，测量三极管的伏安特性，并完成曲线族的绘制。

1) 测量输入特性曲线族。共发射极输入特性曲线表示集电极电压 u_{ce} 作为参变量，输入电压 u_{be} 与输入电流 i_b 之间的关系，即 $u_{be} = f_{1e}(i_b) | u_{ce}$ ，再利用逐点法可得输入特性曲线的测量图。

2) 测量输出特性曲线族。改变 R_{w1} ，使得 I_B 为某一定值，例如 $I_B=20\mu A$ ， $I_B=40\mu A$ ，当 I_B 一定时 ($I_B=20\mu A$)，改变 R_{w2} ，观察电流、电压表，测量 U_{CE} 和 I_C 并记入表 14-3。

表 14-3

I_C (mA)	U_{CE} (V)							
	0.1	0.3	0.5	1.0	2.0	4.0	6.0	8.0
$I_B=20$								
$I_B=40$								
$I_B=60$								
$I_B=80$								
$I_B=100$								

共发射极输出特性曲线表示输入电流 i_b 作为参变量，输出电流 i_c 与输出电压 u_{ce} 之间的关系，即 $i_c = f_{2e}(u_{ce}) | i_b$ 。根据表 14-3 的测量结果，利用逐点法绘制输出特性曲线的测量图。

(4) 按照图 14-5 所示连接电路，测量稳压二极管的反向伏安特性。

调节电压源电压，并记下相对应的电压和电流值填入表 14-4。

表 14-4

I (mA)						
U (V)						



实验预习要求

复习二极管、三极管及稳压管的特性。



思考与扩展题

用电压表和电流表测量元件的伏安特性时，电压表可接在电流表之前或之后，两者对测量误差有何影响？实际测量时应根据什么原则选择？



注意事项

- (1) 实验时, 电流表应串联在电路中, 电压表应并联在被测元件上, 极性切勿接错。二极管中电流不要超过 100mA。
- (2) 合理选择量程, 切勿使电表超过量程。
- (3) 稳压电源输出应由小至大逐渐增加, 输出端切勿碰线短路。

实验十五 晶体管单管放大器



实验目的

- (1) 掌握单管放大电路的静态和动态测试方法及其对放大器性能的影响。
- (2) 巩固理解单管放大电路的基本工作原理。



实验仪器设备

- (1) 函数信号发生器 (CA1640P-02)。
- (2) 双踪示波器 (CA9020F)。
- (3) 交流毫伏表 (EM2172)。



实验原理

电阻分压式工作点稳定单管放大器实验电路如图 15-1 所示。它的偏置电路采用 R_{b1} 和 R_{b2} 组成的分压电路, 并在发射极中接有电阻 R_{e1} 和 R_{e2} , 以稳定放大器的静态工作点。当在放大器的输入端加输入信号 U_i 后, 在放大器的输出端便可得到一个与 U_i 相位相反、幅值被放大的输出信号 U_o , 从而实现了电压放大。

在图 15-1 所示的电路中, 当流过偏置电阻 R_{B1} 和 R_{B2} 的电流远大于晶体管 VT1 的基极电流 I_B 时 (一般 5~10 倍), 则它的静态工作点可用下式估算:

$$U_B \approx \frac{R_{b2}}{R_b + R_{b2}} V_{CC}; \quad I_E \approx \frac{U_B - U_{BE}}{R_{e1} + R_{e2}} \approx I_C$$

$$U_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

$$\text{电压放大倍数:} \quad A_u = -\beta \frac{R_C // R_L}{r_{be}}$$

$$\text{输入电阻:} \quad R_i = R_{b1} // R_{b2} // r_{be}$$

$$\text{输出电阻:} \quad R_o \approx R_C$$

由于电子器件性能的分散性比较大, 因此在设计和制作晶体管放大电路时, 离不开测量和调试技术。在设计前应测量所用元器件的参数, 为电路设计提供必要的依据, 在完成设计和

装配以后,还必须测量和调试放大器的静态工作点和各项性能指标。一个优质放大器,必定是理论设计与实验调整相结合的产物。因此,除了学习放大器的理论知识和设计方法外,还必须掌握必要的测量和调试技术。

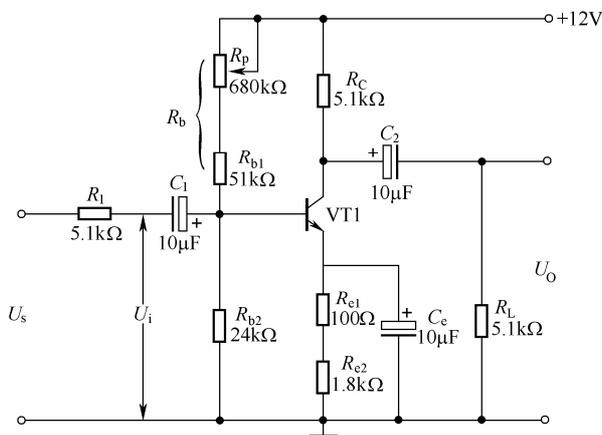


图 15-1 共射极单管放大器实验电路

放大器的测量和调试一般包括:放大器静态工作点的测量与调试、消除干扰与自激振荡及放大器各项动态参数的测量与调试等。

1. 放大器静态工作点的测量与调试

(1) 静态工作点的测量。测量放大器的静态工作点,应在输入信号 $U_i=0$ 的情况下进行,即将放大器输入端与地端短接,然后选用量程合适的直流毫安表和直流电压表,分别测量晶体管的集电极电流 I_C 以及各电极对地的电位 U_B 、 U_C 和 U_E 。一般实验中,为了避免断开集电极,所以采用测量电压 U_E 或 U_C ,然后算出 I_C 的方法,例如,只要测出 U_E ,即可用

$$I_C \approx I_E = \frac{U_E}{R_E} \text{ 算出 } I_C \text{ (也可根据 } I_C = \frac{U_{CC} - U_C}{R_C} \text{, 由 } U_C \text{ 确定 } I_C \text{),}$$

同时也能算出 $U_{BE} = U_B - U_E$, $U_{CE} = U_C - U_E$ 。

为了减小误差,提高测量精度,应选用内阻较高的直流电压表。

(2) 静态工作点的调试。放大器静态工作点的调试是指对管子集电极电流 I_C (或 U_{CE}) 的调整与测试。

静态工作点是否合适,对放大器的性能和输出波形都有很大影响。工作点合理的输出波形如图 15-2 (a) 所示;如果工作点偏高,放大器在加入交流信号以后易产生饱和失真,此时 U_o 的负半周将被削底,如图 15-2 (b) 所示;如果工作点偏低则易产生截止失真,即 U_o 的正半周被缩顶(一般截止失真不如饱和失真明显),如图 15-2 (c) 所示。这些情况都不符合不失真放大的要求。所以在选定工作点以后还必须进行动态调试,即在放大器的输入端加入一定的输入电压 U_i ,检查输出电压 U_o 的大小和波形是否满足要求。如果不满足,则应调节静态工作点的位置。

改变电路参数 U_{CC} 、 R_C 、 R_B (R_{B1} 、 R_{B2}) 都会引起静态工作点的变化,如图 15-3 所示。但通常多采用调节偏置电阻 R_p 的方法来改变静态工作点,如减小 R_p ,则可使静态工作点提高等。

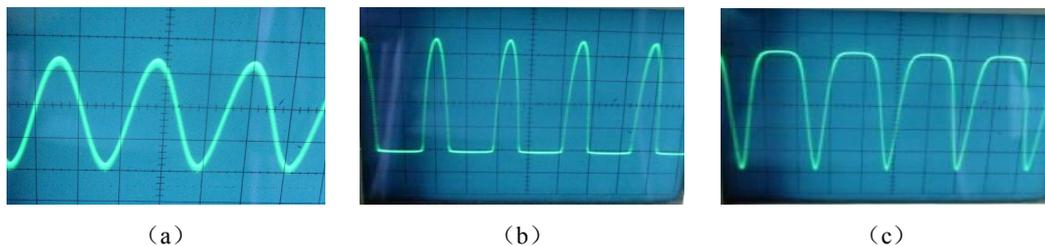


图 15-2 输出波形图

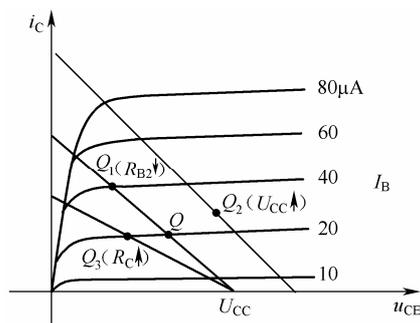


图 15-3 电路参数对静态工作点的影响

最后还要说明的是，上面所说的工作点“偏高”或“偏低”不是绝对的，应该是就相对信号的幅度而言，如输入信号幅度很小，即使工作点较高或较低也不一定不会出现失真。所以确切地说，产生波形失真是信号幅度与静态工作点设置配合不当所致。如需满足较大信号幅度的要求，静态工作点最好尽量靠近交流负载线的中点。

2. 放大器动态指标测试

放大器动态指标包括电压放大倍数、输入电阻、输出电阻、最大不失真输出电压（动态范围）和通频带等。

(1) 电压放大倍数 A_u 的测量。调整放大器到合适的静态工作点，然后加入输入电压 U_i ，在输出电压 U_o 不失真的情况下，用交流毫伏表测出 U_i 和 U_o ，则

$$A_u = \frac{U_o}{U_i}$$

(2) 输入电阻 R_i 的测量。为了测量放大器的输入电阻，按图 15-4 所示电路在被测放大器的输入端与信号源之间串入一已知电阻 R ，在放大器正常工作的情况下，用交流毫伏表测出 U_S 和 U_i ，则根据输入电阻的定义可得

$$R_i = \frac{U_i}{I_i} = \frac{U_i}{\frac{U_R}{R}} = \frac{U_i}{U_S - U_i} R$$

测量时应注意下列几点：

- 由于电阻 R 两端没有电路公共接地点，所以测量 R 两端电压 U_R 时必须分别测出 U_S 和 U_i ，然后按 $U_R = U_S - U_i$ 求出 U_R 值。
- 电阻 R 的值不宜取得过大或过小，以免产生较大的测量误差，通常取 R 与 R_i 为同一数量级为好，本实验可取 $R = 1 \sim 2 \text{k}\Omega$ 。

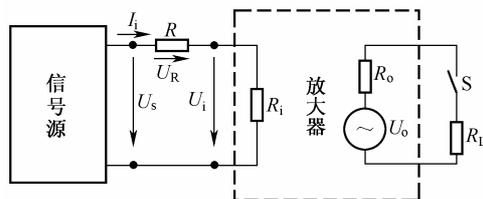


图 15-4 输入、输出电阻测量电路

(3) 输出电阻 R_o 的测量。按图 15-4 所示电路, 在放大器正常工作的条件下, 测出输出端不接负载 R_L 的输出电压 U_o 和接入负载后的输出电压 U_L , 根据

$$U_L = \frac{R_L}{R_o + R_L} U_o$$

即可求出

$$R_o = \left(\frac{U_o}{U_L} - 1 \right) R_L$$

在测试中应注意, 必须保持 R_L 接入前后输入信号的大小不变。



实验内容与步骤

1. 静态工作点的调整与测量

用万用表判断实验箱上三极管的极性及好坏, 按图 15-1 所示连接电路, 用万用表直流电压挡测量发射极对地电压 U_E , 调整 R_p , 使 $U_E=2.2V$, 计算并填写表 15-1。

表 15-1

实测			实测计算			
U_B	U_E	U_C	U_{BE}	U_{CE}	I_B	I_C

2. 电压放大倍数 A_u 的测量

调整函数信号发生器, 得到幅值为 $5mV$ 的信号送到放大器输入端, 用示波器观察输入、输出波形, 在波形不失真的情况下, 用交流毫伏表分别测量 U_s 、 U_i 、 U_o (注意交流毫伏表量程的选择), 填写表 15-2。

表 15-2

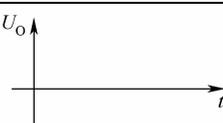
R_c	U_s	U_s	U_o	A_u	R_i	R_o
5kΩ		5mV	$R_L = \infty$			
			$R_L = 5k\Omega$			
2.5kΩ		5mV	$R_L = \infty$			
			$R_L = 5k\Omega$			

3. 观察静态工作点对输出波形失真的影响

置 $R_c=2.5k\Omega$, $R_L=5k\Omega$, $U_i=0$, 调节 R_p 使 $I_C=2.0mA$, 测出 U_{CE} 值, 再逐步加大输入信号,

使输出电压 U_o 足够大但不失真。然后保持输入信号不变，分别增大和减小 R_p ，使波形出现失真，绘出 U_o 的波形，并测出失真情况下的 I_C 和 U_{CE} 值，记入表 15-3 中。每次测 I_C 和 U_{CE} 值时都要将信号源的输出旋钮旋至零。

表 15-3

I_C (mA)	U_{CE} (V)	u_o 波形	失真情况	管子工作状态
				
2.0				
				



实验预习要求

- (1) 三极管及单管放大器的工作原理。
- (2) 放大器静态及动态指标的测量方法。



思考与扩展题

- (1) 改变负载的阻值时，对输出信号有无影响？
- (2) 为什么输入信号 U_i 过大时，输出信号会出现失真？



注意事项

- (1) 测量中注意测量仪器和放大电路的共地。
- (2) 注意量程的合理选择。
- (3) 测量时必须用示波器监视输出波形，保证不失真条件下进行测量。

实验十六 场效应管放大器



实验目的

- (1) 掌握场效应晶体管放大器各参数的测量方法。

(2) 对场效应晶体管放大器和晶体管放大器进行比较。



实验仪器设备

- (1) 函数信号发生器 (CA1640P-02)。
- (2) 双踪示波器 (CA9020F)。
- (3) 交流毫伏表 (EM2172)。



实验原理

场效应管是一种电压控制型器件,按结构可分为结型和绝缘栅型两种类型。由于场效应管栅、源之间处于绝缘或反向偏置,所以输入电阻很高(一般可达上百兆欧)。又由于场效应管是一种多数载流子控制器件,因此热稳定性好,抗辐射能力强,噪声系数小,加之制造工艺较简单,便于大规模集成,因此得到越来越广泛的应用。

1. 结型场效应管的特性和参数

场效应管的特性主要有输出特性和转移特性。图 16-1 所示为 N 沟道结型场效应管 3DJ6 的输出特性和转移特性曲线。

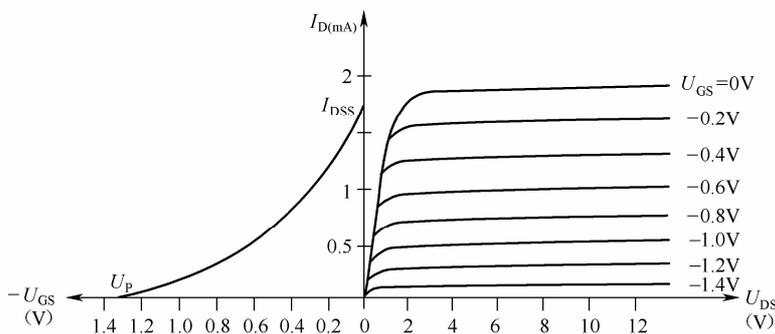


图 16-1 场效应管的输出特性和转移特性曲线

其直流参数主要有饱和漏极电流 I_{DSS} 、夹断电压 U_P 等;交流参数主要有低频跨导:

$$g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}} \Big|_{U_{DS} = \text{常数}}$$

2. 场效应管放大器性能分析

图 16-2 所示为场效应管组成的共源级放大电路。其静态工作点:

$$U_{GS} = U_G - U_S = \frac{R_{g2}}{R_g + R_{g2}} U_{DD} - I_D R_S$$

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P} \right)^2$$

中频电压放大倍数

$$A_u = -g_m R'_L = -g_m R_d // R_L$$

输入电阻

$$R_i = R_{g3} + R_g // R_{g2}$$

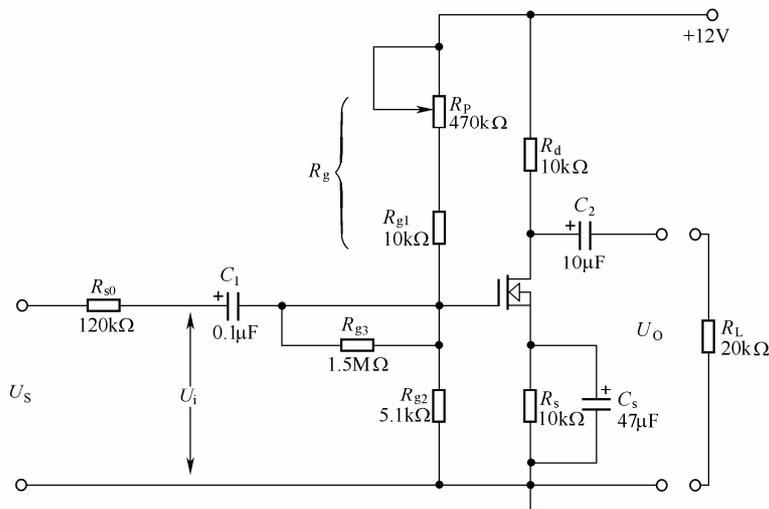


图 16-2 场效应管共源级放大器

输出电阻

$$R_O \approx R_d$$

式中跨导 g_m 可由特性曲线用作图法求得，或用公式

$$g_m = -\frac{2I_{DSS}}{U_p} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_p} \right)$$

计算。但要注意，计算时 U_{GS} 要用静态工作点处之数值。

3. 输入电阻的测量方法

场效应管放大器的静态工作点、电压放大倍数和输出电阻的测量方法，与实验十五中晶体管放大器的测量方法相同。其输入电阻的测量，从原理上讲，也可采用实验十五中所述的方法，但由于场效应管的 R_i 比较大，如直接测输入电压 U_s 和 U_i ，则限于测量仪器的输入电阻有限，必然会带来较大的误差。因此为了减小误差，常利用被测放大器的隔离作用，通过测量输出电压 U_o 来计算输入电阻。测量电路如图 16-3 所示。

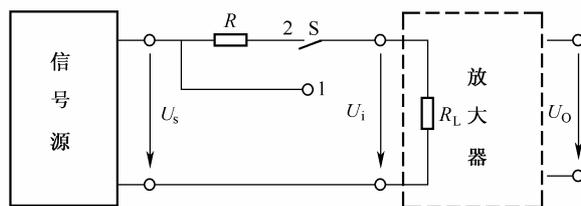


图 16-3 输入电阻测量电路

在放大器的输入端串入电阻 R ，把开关 S 掷向位置 1（即使 $R=0$ ），测量放大器的输出电压 $U_{01}=A_u U_s$ ；保持 U_s 不变，再把 S 掷向 2（即接入 R ），测量放大器的输出电压 U_{02} 。由于两次测量中 A_u 和 U_s 保持不变，故

$$U_{02} = A_u U_i = \frac{R_i}{R + R_i} U_s A_u$$

由此可以求出

$$R_i = \frac{U_{02}}{U_{01} - U_{02}} R$$

式中 R 和 R_i 不要相差太大, 本实验可取 $R=100\sim 200\text{k}\Omega$ 。



实验内容与步骤

1. 静态工作点的调试与测量

- (1) 调节直流稳压电源输出+12V, 接入实验电路。
- (2) 调节信号源, 使输出信号的频率 $f=1\text{kHz}$, 大小为 10mV, 接入实验电路的 U_i 。
- (3) 将示波器接入实验电路的输出端。
- (4) 调节信号源幅度按钮, 直到实验电路的输出波形不失真。
- (5) 调节电位器 R_p 使输出波形上下削波程度大致相同。
- (6) 将信号源从电路中去掉, 使用万用表测量静态工作点并填入表 16-1 中。

表 16-1

源极电位 U_s	漏极电位 U_D	$I_D=(U_{CC}-U_d)/R_d$

2. 电压放大倍数的测量

- (1) 调节信号源, 使其输出信号的频率 $f=1\text{kHz}$, 电压大小为 100mV, 接入实验电路的 U_i 端。
- (2) 先不接入负载 R_L , 用交流毫伏表测量输入电压 U_i 和输出电压 U_o 。
- (3) 将负载接入电路, 再次测量 U_i 和 U_o 并填写表 16-2。

表 16-2

	U_i	U_o	$A_U=U_o/U_i$
未接入 R_L			
接入 R_L			

将示波器接入电路的 U_i 和 U_o 端, 观察波形大小和相位关系。

3. 输入电阻的测量

- (1) 调节信号源, 使其输入信号的频率 $f=1\text{kHz}$, 电压大小为 100mV, 接入实验电路的 U_s 端。
- (2) 用交流毫伏表测量 U_i 和 U_s , 填写表 16-3, 并计算输入电阻 R_i 。

表 16-3

U_s	U_i	$R_i=[U_i/(U_s-U_i)]R_{S0}$

4. 输出电阻的测量

- (1) 调节信号源, 使其输出信号的频率 $f=1\text{kHz}$, 电压大小为 100mV, 接入实验电路的 U_i 端。
- (2) 先不接入负载 R_L , 用交流毫伏表测量输出电压, 记作 U_{∞} 。

(3) 将 R_L 接入电路, 再用交流毫伏表测量输出电压, 记作 U_{oL} 。
填写表 16-4, 并计算输出电阻 R_o 。

表 16-4

$U_{o\infty}$	U_{oL}	$R_o=[(U_{o\infty}/U_{oL})-1]R_L$



实验预习要求

- (1) 复习有关场效应管部分的内容, 并分别用图解法与计算法估算管子的静态工作点(根据实验电路参数), 求出工作点处的跨导 g_m 。
- (2) 场效应管放大器输入回路的电容 C_1 为什么可以取得小一些(可以取 $C_1=0.1\mu\text{F}$)?



思考与扩展题

场效应晶体管放大器与晶体管放大器有什么共同点和不同点?



注意事项

计算时, U_{GS} 要用静态工作点处的数值。

实验十七 射极跟随器



实验目的

- (1) 掌握射极跟随器的特性及测试方法。
- (2) 进一步学习放大器各项参数的测试方法。



实验仪器设备

- (1) 函数信号发生器 (CA1640P-02)。
- (2) 双踪示波器 (CA9020F)。



实验原理

射极跟随器的原理图如图 17-1 所示。它是一个电压串联负反馈放大电路, 它具有输入电阻高, 输出电阻低, 电压放大倍数接近于 1, 输出电压能够在较大范围内跟随输入电压作线性

变化以及输入、输出信号同相等特点。射极跟随器的输出取自发射极，故称其为射极输出器。

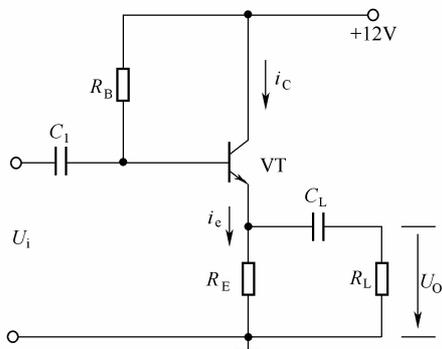


图 17-1 射极跟随器

1. 输入电阻 R_i

$$R_i = r_{be} + (1 + \beta)R_E$$

如考虑偏置电阻 R_B 和负载 R_L 的影响，则

$$R_i = R_B // [r_{be} + (1 + \beta)(R_E // R_L)]$$

由上式可知射极跟随器的输入电阻 R_i 比共射极单管放大器的输入电阻 $R_i = R_B // r_{be}$ 要高得多，但由于偏置电阻 R_B 的分流作用，输入电阻难以进一步提高。

输入电阻的测试方法同单管放大器，实验线路如图 17-2 所示。

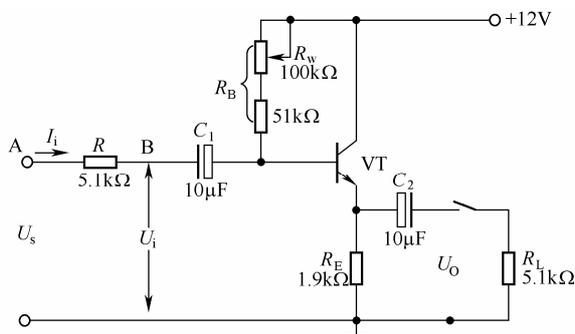


图 17-2 射极跟随器实验电路

$$R_i = \frac{U_i}{I_i} = \frac{U_i}{U_s - U_i} R$$

即只要测得 A、B 两点的对地电位即可计算出 R_i 。

2. 输出电阻 R_O

图 17-1 所示电路

$$R_O = \frac{r_{be}}{\beta} // R_E \approx \frac{r_{be}}{\beta}$$

如考虑信号源内阻 R_S ，则

$$R_O = \frac{r_{be} + (R_S // R_B)}{\beta} // R_E \approx \frac{r_{be} + (R_S // R_B)}{\beta}$$

由上式可知射极跟随器的输出电阻 R_O 比共射极单管放大器的输出电阻 $R_O \approx R_C$ 低得多。三极管的 β 愈高, 输出电阻愈小。

输出电阻 R_O 的测试方法亦同单管放大器, 即先测出空载输出电压 U_O , 再测接入负载 R_L 后的输出电压 U_L , 根据

$$U_L = \frac{R_L}{R_O + R_L} U_O$$

即可求出 R_O

$$R_O = \left(\frac{U_O}{U_L} - 1 \right) R_L$$

3. 电压放大倍数

图 17-1 所示电路

$$A_u = \frac{(1 + \beta)(R_E // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)(R_E // R_L)} \leq 1$$

上式说明射极跟随器的电压放大倍数小于等于 1, 且为正值。这是深度电压负反馈的结果。但它的射极电流仍比基流大 $(1 + \beta)$ 倍, 所以它具有一定的电流和功率放大作用。

4. 电压跟随范围

电压跟随范围是指射极跟随器输出电压 U_O 跟随输入电压 U_i 作线性变化的区域。当 U_i 超过一定范围时, U_O 便不能跟随 U_i 作线性变化, 即 U_O 波形产生了失真。为了使输出电压 U_O 正、负半周对称, 并充分利用电压跟随范围, 静态工作点应选在交流负载线中点, 测量时可直接用示波器读取 U_O 的峰-峰值, 即电压跟随范围; 或用交流毫伏表读取 U_O 的有效值, 则电压跟随范围:

$$U_{OP-P} = 2\sqrt{2} U_O$$



实验内容与步骤

按照图 17-2 所示组接电路, 进行实验内容测量。

1. 静态工作点的调整

接通 +12V 直流电源, 在 B 点加入 $f=1\text{kHz}$ 正弦信号 U_i , 输出端用示波器监视输出波形, 反复调整 R_W 及信号源的输出幅度, 使在示波器的屏幕上得到一个最大不失真输出波形, 然后置 $U_i=0$, 用直流电压表测量晶体管各电极对地电位, 将测得数据记入表 17-1。

表 17-1

U_E (V)	U_B (V)	U_C (V)	I_E (mA)

在下面整个测试过程中应保持 R_W 值不变 (即保持静工作点 I_E 不变)。

2. 测量电压放大倍数 A_u

接入负载 $R_L=1\text{k}\Omega$, 在 B 点加 $f=1\text{kHz}$ 正弦信号 U_i , 调节输入信号幅度, 用示波器观察输出波形 U_O , 在输出最大不失真的情况下, 用交流毫伏表测 U_i 、 U_L 值, 记入表 17-2。

表 17-2

U_i (V)	U_L (V)	A_u

3. 测量输出电阻 R_O

接上负载 $R_L=1K$ ，在 B 点加 $f=1kHz$ 正弦信号 U_i ，用示波器监视输出波形，测空载输出电压 U_O ，有负载时输出电压 U_L ，记入表 17-3。

表 17-3

U_O (V)	U_L (V)	R_O (k Ω)

4. 测量输入电阻 R_i

在 A 点加 $f=1kHz$ 的正弦信号 U_S ，用示波器监视输出波形，用交流毫伏表分别测出 A、B 点对地的电位 U_S 、 U_i ，记入表 17-4。

表 17-4

U_S (V)	U_i (V)	R_i (k Ω)

5. 测试跟随特性

接入负载 $R_L=1k\Omega$ ，在 B 点加入 $f=1kHz$ 正弦信号 U_i ，逐渐增大信号 U_i 幅度，用示波器监视输出波形直至输出波形达最大不失真，测量对应的 U_L 值，记入表 17-5。

表 17-5

U_i (V)	
U_L (V)	



实验预习要求

根据教材有关章节内容，熟悉射极跟随器的原理与特点。



思考与扩展题

- (1) 射极输出器的输入、输出电压的相位有什么关系？
- (2) 改变负载电阻对所测电路的输出电阻有无影响？



注意事项

测量输入电阻时，用示波器观察输入正弦波信号不能失真。

实验十八 集成门电路的测试与使用



实验目的

- (1) 熟悉数字逻辑实验箱的结构、基本功能和使用方法。
- (2) 验证常用 TTL、CMOS 集成门电路的逻辑功能。
- (3) 掌握常用集成电路的逻辑符号和使用规则。
- (4) 掌握 TTL、CMOS 集成门电路逻辑功能的测试方法。



实验仪器设备

- (1) 数字逻辑实验箱 1 台。
- (2) 元器件：74LS00（四 2 输入与非门）、74LS20（二 4 输入与非门）、74LS08（四 2 输入与门）、74LS32（四 2 输入或门）、74LS86（四 2 输入异或门）、CD4002（二 4 输入或非门）各 1 片；导线若干。



实验原理

1. 门电路

门电路是数字逻辑电路的基本组成单元，门电路按逻辑功能可分为：与门、或门、非门及与非门、或非门、异或门、同或门、与或非门等。若按照电路结构组成的不同，可分为分立元件门电路、CMOS 集成门电路、TTL 集成门电路等。

各种集成门电路通常都封装在集成芯片内，如图 18-1 所示，它们的封装形式为双列直插式（DIP），管脚均匀排列在芯片的两侧，成对出现。常用双列直插式集成门电路的管脚排列如图 18-2 所示，将集成块正面放置，缺口一侧朝左，小圆圈标识的即为第一脚，最右下方管脚通常是地线 GND，最左上方管脚一般是电源线 V_{CC} ，其他管脚的名称如图 18-2 中门电路的符号所示。

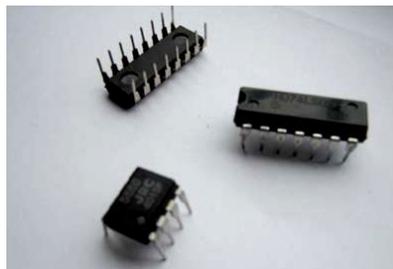


图 18-1 集成门电路

每个集成电路都有自己的代号，与代号对应的名称说明了集成电路的用途。如：74LS00 是四 2 输入与非门，它说明这个集成电路中包含了四个二输入端的与非门。

2. TTL 门的逻辑功能

TTL 门具有较高工作速度、较强的抗干扰能力、较大的输出幅度和负载能力等优点，因而使用较广，特别是进行实验论证，选用 TTL 电路比较合适。

本实验采用的 TTL 门电路有四 2 输入与非门 74LS00、四 2 输入或门 74LS32、四 2 输入与门 74LS08、四 2 输入异或门 74LS86 和二 4 输入与非门 74LS20。

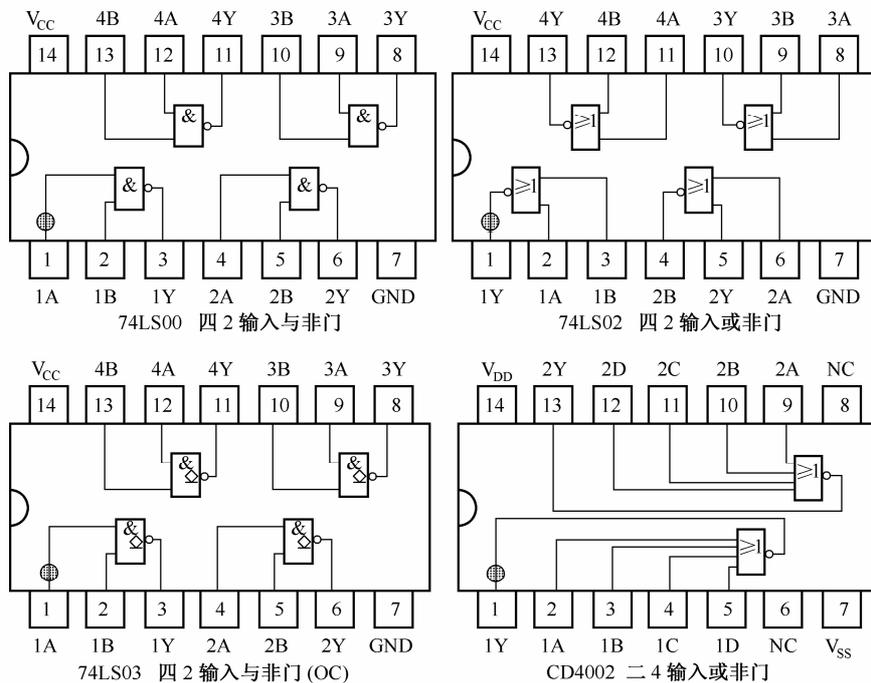


图 18-2 常用集成门电路的管脚排列图

74LS00 是在一个集成块内含有四个互相独立的与非门，每个与非门有两个输入端。其逻辑符号及管脚排列如图 18-3 (a)、(b) 所示。

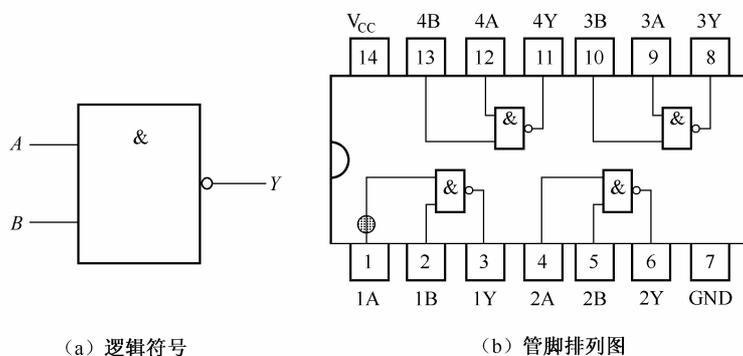


图 18-3 74LS00 逻辑符号及管脚排列

74LS32、74LS08 和 74LS86 除了功能不同，管脚分配和 74LS00 一样。

74LS20 是在一个集成块内含有两个互相独立的与非门，每个与非门有四个输入端。其逻辑符号及管脚排列如图 18-4 (a)、(b) 所示。

与非门的逻辑表达式为： $Y = \overline{AB\dots}$ ，功能为：有 0 出 1，全 1 出 0。

与门的逻辑表达式为： $Y = AB\dots$ ，功能为：有 0 出 0，全 1 出 1。

或门的逻辑表达式为： $Y = A + B + \dots$ ，功能为：有 1 出 1，全 0 出 0。

异或门的逻辑表达式为： $Y = A \oplus B \oplus \dots$ ，功能为：相同出 0，不同出 1。

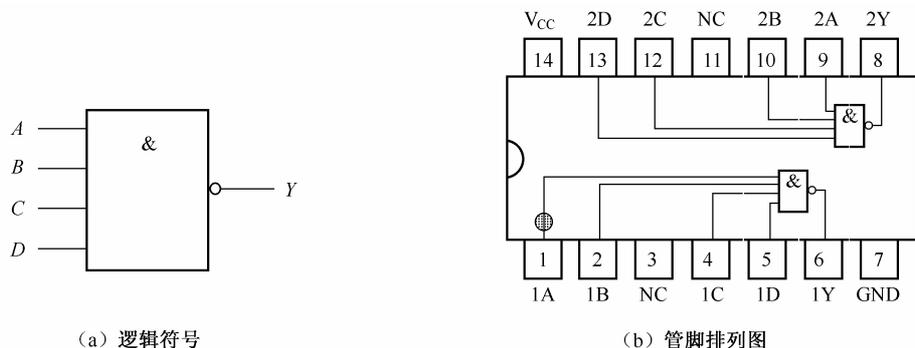


图 18-4 74LS20 逻辑符号及管脚排列

3. TTL 集成电路的使用规则

(1) 插集成块时，要认清定位标记，不得插反。

(2) 使用电源电压范围为 $+4.5\text{V}\sim+5.5\text{V}$ 。实验中要求使用 $V_{\text{CC}}=+5\text{V}$ 。电源极性绝对不允许接错。

(3) 逻辑高电平 1 时电压大于 2.4V ，低电平 0 时小于 0.4V 。

(4) 闲置输入端处理方法：

1) 悬空，相当于正逻辑“1”，对于一般小规模集成电路的数据输入端，实验时允许悬空处理，但易受外界干扰，导致电路的逻辑功能不正常。因此，对于接有长线的输入端、中规模以上的集成电路和使用集成电路较多的复杂电路，所有控制输入端必须按逻辑要求接入电路，不允许悬空。

2) 直接接电源电压 V_{CC} （也可以串入一只 $1\sim 10\text{k}\Omega$ 的固定电阻）或接至某一固定电压（ $+2.4\text{V}\leq U\leq 4.5\text{V}$ ）的电源上，或与输入端为接地的多余与非门的输出端相接。

3) 若前级驱动能力允许，可以与使用的输入端并联。

(5) 输入端通过电阻接地，电阻值的大小将直接影响电路所处的状态。当 $R\leq 0.5\text{k}\Omega$ 时，输入端相当于逻辑“0”；当 $R\geq 2\text{k}\Omega$ 时，输入端相当于逻辑“1”。对于不同系列的器件，要求的阻值不同。

(6) 输出端不允许并联使用（三态门和 OC 门除外），否则不仅会使电路逻辑功能混乱，还会导致器件损坏。

(7) 输出端不允许直接接电源 V_{CC} 、不允许直接接地，否则会损坏器件。

4. CMOS 门电路逻辑功能

CMOS 集成电路功耗极低，输出幅度大，噪声容限大，扇出能力强，电源范围较宽，应用很广。尽管 CMOS 与 TTL 电路内部结构不同，但它们的逻辑功能完全一样，其他不同的是型号名称和电源电压范围，选用时应看清参数。

5. CMOS 电路的使用规则

(1) V_{DD} 接电源正极， V_{SS} 接电源负极（通常接地），不得接反。CC4000（CD4000）系列的电源允许电压在 $+3\text{V}\sim+18\text{V}$ 范围内选择，实验中一般要求使用 $+5\text{V}\sim+15\text{V}$ 。

(2) 所有输入端一律不准悬空。

闲置输入端的处理方法：按照逻辑要求，直接接 V_{DD} （与非门）或接 V_{SS} （或非门）；在工

作频率不高的电路中，允许输入端并联使用。

(3) 输出端不允许直接与 V_{DD} 或 V_{SS} 连接，否则将导致器件损坏。

(4) 在装接电路，改变电路连接或插、拔电路时，均应切断电源，严禁带电操作。

(5) 焊接、测试和储存时的注意事项：电路应存放在导电的容器内，有良好的静电屏蔽；焊接时必须切断电源，电烙铁外壳必须良好接地，或拔下烙铁，靠其余热焊接；所有的测试仪器必须良好接地。



实验内容与步骤

1. 测试二输入端 TTL 集成门电路的逻辑功能

(1) 测试 74LS00 的逻辑功能。将 74LS00 芯片正确插入面包板，并注意识别第 1 脚位置（集成块正面放置且缺口向左，则左下角为第 1 脚）。如图 18-5 所示，在 74LS00 芯片中选一个与非门，输入端通过逻辑开关 S 接高、低电平，输出端接发光二极管 L (LED)。输入不同的信号组合，记录相应的输出结果（灯亮填“1”，灯灭填“0”），填入表 18-1。

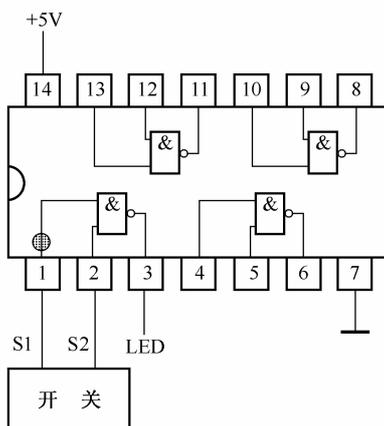


图 18-5 实验接线图

表 18-1 二输入端集成门电路的逻辑功能

输入		输出			
A	B	$Y_{\overline{AB}}$	Y_{AB}	Y_{A+B}	$Y_{A\oplus B}$
0	0				
0	1				
1	0				
1	1				

(2) 按同样方法，验证与门 74LS08、或门 74LS32 和异或门 74LS86 的逻辑功能，并将结果填入表 18-1 内。

2. 测试四输入端集成门电路的逻辑功能

(1) 测试 TTL 集成块二 4 输入与非门 74LS20 的逻辑功能。将 74LS20 芯片正确插入面

包板，在 74LS20 芯片中选一个与非门，输入端通过逻辑开关 K 接高、低电平，输出端接发光二极管 L。输入不同的信号组合，记录相应的输出逻辑电平，填入表 18-2。

表 18-2 四输入端集成门电路的逻辑功能

输入				输出	
A	B	C	D	$Y_{\overline{ABCD}}$	$Y_{\overline{A+B+C+D}}$
0	0	0	0		
0	0	0	1		
0	0	1	0		
0	0	1	1		
0	1	0	0		
0	1	0	1		
0	1	1	0		
0	1	1	1		
1	0	0	0		
1	0	0	1		
1	0	1	0		
1	0	1	1		
1	1	0	0		
1	1	0	1		
1	1	1	0		
1	1	1	1		

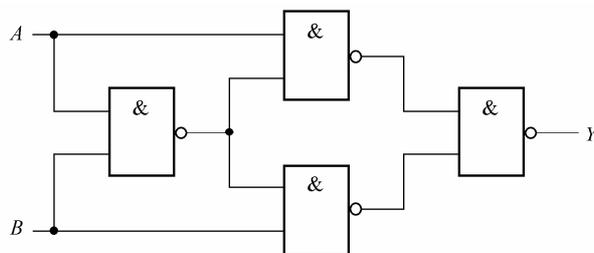
(2) 测试 CMOS 电路二 4 输入或非门 CD4002 的逻辑功能。将 CD4002 芯片正确插入面包板，在 CD4002 芯片中选一个或非门，输入端通过逻辑开关接高、低电平，输出端接发光二极管。输入不同的信号组合，记录相应的输出逻辑电平，填入表 18-2。

3. 测试各电路的逻辑功能

测试各电路的逻辑功能，并根据测试结果，写出它们的真值表和逻辑表达式。

步骤：选择合适器件，在原理图上标明器件名称及各管脚编号，搭建电路，输入接逻辑开关，输出接 LED，测试并记录实验结果。

(1)



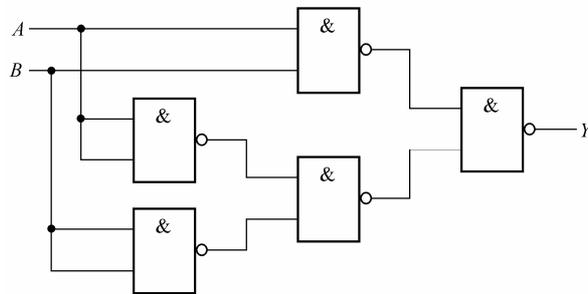
真值表:

输入		输出
A	B	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

逻辑表达式:

$Y =$ _____

(2)



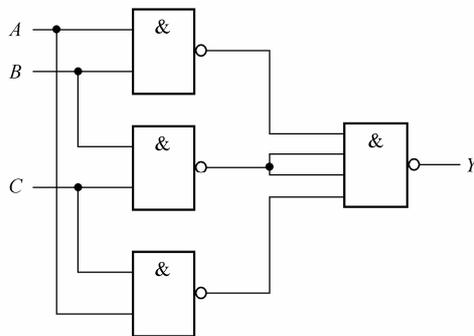
真值表:

输入		输出
A	B	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

逻辑表达式:

$Y =$ _____

(3)



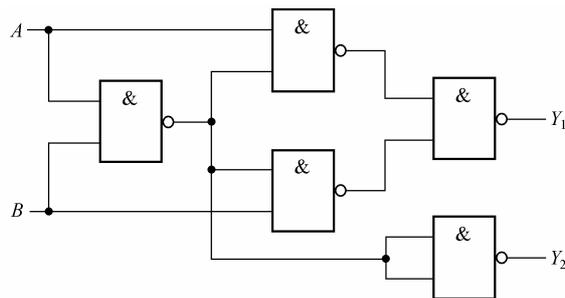
真值表:

输入			输出
A	B	C	Y
0	0	0	
0	0	1	
0	1	0	
0	1	1	
1	0	0	
1	0	1	
1	1	0	
1	1	1	

逻辑表达式:

$Y =$ _____

(4)



真值表:

输入		输出	
A	B	Y_1	Y_2
0	0		
0	1		
1	0		
1	1		

逻辑表达式: $Y_1 =$ _____

$Y_2 =$ _____



实验预习要求

- (1) 熟悉各测试电路, 了解测试原理及测试方法。
- (2) 熟悉集成门电路的外管脚排列图。

(3) 自拟实验步骤和数据表格。



思考与扩展题

(1) 如何判断实验结果是否正确？

(2) A、B、C、D 四评委对研究生面试，A 评委必须同意且 B、C、D 三评委中至少有二人同意，研究生方可通过，否则不通过。设计这个表决电路，用与非门实现。检测所设计电路的逻辑功能。



注意事项

(1) 注意芯片的方向和管脚位置。不要随意过猛拔插芯片，以免损坏芯片管脚。

(2) 每个芯片都有正电源和地（或负电源），使用时必须先将电源和地线连好，电源极性绝对不允许接错。

(3) 连线时切断电源，电源统一用红色线，地线统一用黑色线，信号线用其他颜色的线。布线尽可能走最短路径，不要在空中搭桥。

(4) 导线的管脚金属部分要适当，以恰好插入面包板为宜，太长容易造成碰触短路。

实验十九 OC 门和三态门的测试与使用



实验目的

(1) 熟悉 OC 门和三态门的逻辑功能。

(2) 掌握 OC 门的典型应用，了解外接电阻 R_L 对 OC 电路的影响。

(3) 掌握三态门的典型应用。



实验仪器设备

(1) 数字逻辑实验箱、双踪示波器、万用表各 1 台

(2) 元器件：74LS03（四 2 输入 OC 与非门）、74LS240（八反相三态缓冲器/线驱动器）、74LS126（四同相三态缓冲器）各 1 片，电阻 $1k\Omega$ 一只，导线若干。



实验原理

OC（Open Collector）门即集电极开路输出门。三态门是输出有三种状态的门电路，它除了输出高电平 1 和低电平 0 外，还有第三种状态：高阻态。OC 门和三态门均是两种特殊的 TTL 门电路，若干个 OC 门的输出端可以直接连在一起，构成“线与”的功能，三态门亦然。而一般普通的 TTL 门电路，由于输出电阻太低，所以它们的输出端不可以并联在一起。

1. 集电极开路门 (OC 门)

集电极开路“与非”门的逻辑符号如图 19-1 所示。常用芯片有 74LS03 (四 2 输入 OC 与非门), 管脚图如图 19-2 所示。

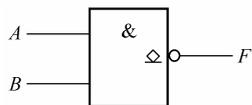


图 19-1 OC 与非门逻辑符号

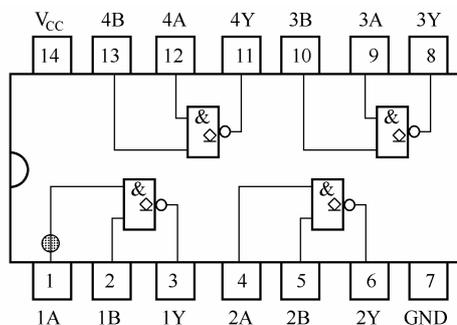


图 19-2 四 2 输入 OC 与非门 74LS03

由于输出端内部电路——输出管的集电极是开路的, 为了保证输出逻辑正常, 使用时需外接负载电阻 R_L 。如图 19-3 所示, 两个“与非”门 (OC) 输出端相连时, 其输出为 $F = \overline{AB \cdot CD} = \overline{AB} + \overline{CD}$ 。即把两个 OC “与非” 门的输出相与 (称“线与”), 完成“与或非”的逻辑功能。

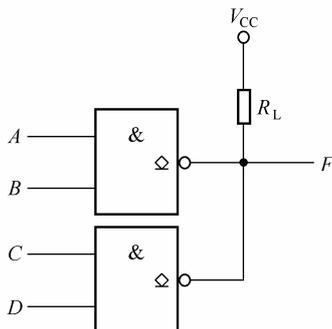


图 19-3 OC 与非门“线与”应用

OC 门的应用主要有三个:

- 组成“线与”电路, 完成特定逻辑功能。
- 使多路信号共用一个传输通道 (总线), 实现多路信息采集。
- 实现逻辑电平的特换。

所有的门电路都有 OC 门的型号, 具体可参见附录。

2. 三态门

三态门, 简称为 TSL (Three-State Logic) 门, 是在普通门电路的基础上添加使能控制端和控制电路构成的。它的输出有三个状态: 高电平、低电平、高阻态。三态与非门的逻辑符号如图 19-4 所示, A 、 B 为输入信号, EN 为使能端。图 19-4 (a) 为使能端输入低电平有效, 即当 $\overline{EN} = 0$ 时, 电路正常工作, 与普通与非门一样, $F = \overline{AB}$; 当 $\overline{EN} = 1$ 时, 电路不工作, 输出端呈高阻状态。图 19-4 (b) 为使能端输入高电平有效, 即当 $EN = 1$ 时, 电路正常工作, $F = \overline{AB}$;

当 $EN=0$ 时，电路不工作，输出高阻态。

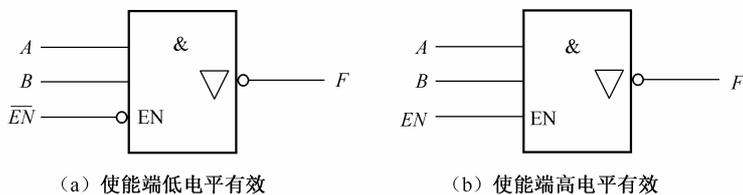


图 19-4 三态与非门逻辑符号

三态门的型号也有很多种，可根据不同类型和需求进行选择。如图 19-5 所示，74LS126 是四同相三态缓冲器，里面有四个同样的缓冲器，受各自的使能端的控制，当 $EN=1$ 时，输出 $Y=A$ ； $EN=0$ 时， Y 为高阻态。另有 74LS240（八反相三态缓冲器/线驱动器）和 74LS244（八同相三态缓冲器/线驱动器）等。

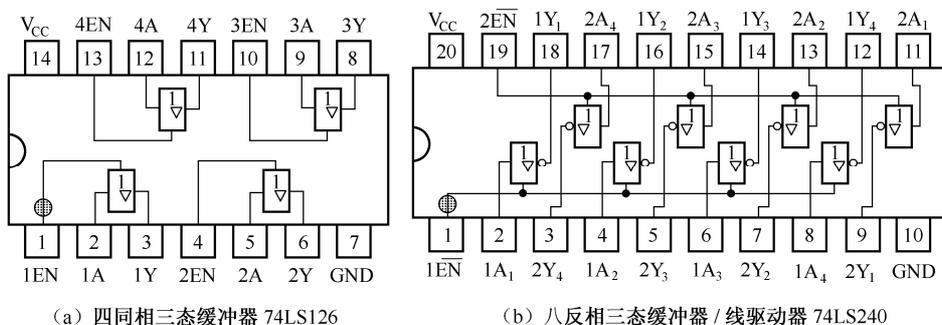


图 19-5 集成三态门

三态门的应用之一是实现总线传输。单向总线如图 19-6 (a) 所示，在使能端的控制下，任意时间只有一个信号在总线上进行传输，功能见表 19-1。双向总线如图 19-6 (b) 所示，在使能端的控制下，可改变信号的传输方向，功能见表 19-2。

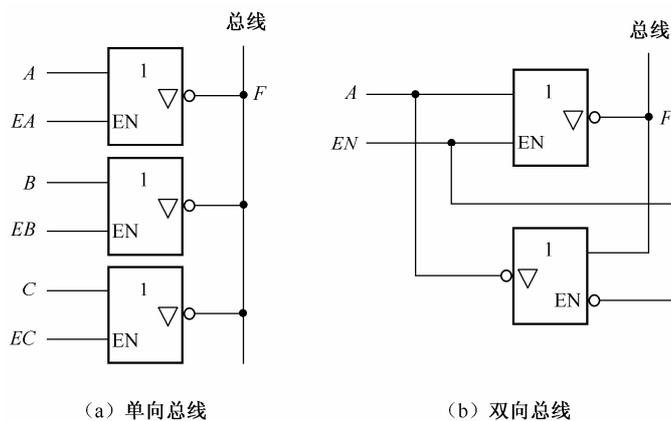


图 19-6 三态门的总线工作方式

表 19-1 单向总线逻辑功能

使能输入端			输出
EA	EB	EC	F
1	0	0	\bar{A}
0	1	0	\bar{B}
0	0	1	\bar{C}
0	0	0	高阻

表 19-2 双向总线逻辑功能

使能输入端	信号传输方向
EN	
1	$F=A$
0	$A=F$



实验内容与步骤

1. 用 OC 门实现“线与”功能

搭建如图 19-7 所示的电路， A 、 B 、 C 、 D 接开关，输出端 F 接 LED。

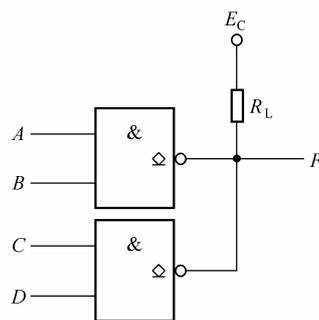


图 19-7 OC 门的“线与”

(1) E_C 接+5V, R_L 取 $1k\Omega$ 电阻。如表 19-3 所示，切换 A 、 B 、 C 、 D 的逻辑状态，观测 LED 状态，填表，写出逻辑表达式，并判断其正确性。

表 19-3

输入				输出
A	B	C	D	F
0	0	0	0	
0	0	0	1	
0	0	1	0	
0	0	1	1	
0	1	0	0	
0	1	0	1	
0	1	1	0	
0	1	1	1	
1	0	0	0	

续表

输入				输出
<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>F</i>
1	0	0	1	
1	0	1	0	
1	0	1	1	
1	1	0	0	
1	1	0	1	
1	1	1	0	
1	1	1	1	

逻辑表达式 $F = \underline{\hspace{2cm}}$

(2) E_C 分别接+5V、+10V，按表 19-4 送入信号，切换 A 、 B 、 C 、 D 的逻辑状态，测量输出端的电压值，填入表中，并做比较。

表 19-4

E_C	输入				输出
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>F</i> (电压值)
+5V	0	0	0	0	
	0	0	0	1	
	0	0	1	1	
	0	1	1	1	
	1	1	1	1	
+10V	0	0	0	0	
	0	0	0	1	
	0	0	1	1	
	0	1	1	1	
	1	1	1	1	

2. 用三态门实现三路信号分时传送的总线结构

搭建如图 19-8 所示的电路， A 、 B 、 C 是输入信号， EA 、 EB 、 EC 是各个门的使能控制端，接逻辑开关；输出端 F 接 LED。

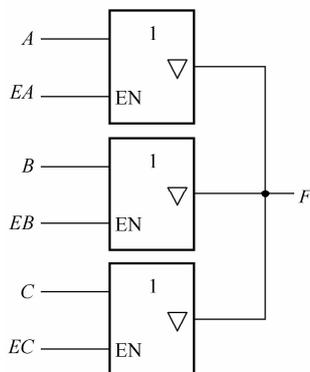


图 19-8 三路信号分时传输

(1) A 、 B 、 C 接开关, 按表 19-5 送入信号, 测量输出端的电压值, 填入表中。

表 19-5 单向总线逻辑功能

使能输入端			信号输入端			输出
EA	EB	EC	A	B	C	F (电压值)
1	0	0	1	0	0	
0	1	0	1	0	1	
0	0	1	0	0	1	
0	0	0	1	1	1	

(2) A 、 B 、 C 分别接 1kHz、2kHz、10kHz 连续脉冲信号, 按表 19-6 送入控制信号, 用示波器测量输出端的波形, 填入表 19-6 中。

表 19-6 单向总线逻辑功能

使能输入端			输出
EA	EB	EC	F 的波形 (kHz)
1	0	0	
0	1	0	
0	0	1	
0	0	0	



实验预习要求

- (1) 复习 OC 门和三态门的概念。
- (2) 选用合适的芯片, 在图上标明管脚号。



思考与扩展题

- (1) OC 门外接的电阻大小如何确定?
- (2) 用三态门构成双向传输总线结构。

搭建如图 19-6 (b) 所示的双向传输总线电路, 进行测试与验证。



注意事项

- (1) 做实验 1 时, 只能改变 EC 的值, 芯片的 V_{CC} 脚仍然接 +5V, 否则会烧坏芯片。
- (2) 多个三态门构成总线结构时, 绝对不允许同时有两个或两个以上的使能输入端处于使能状态, 否则会出现与普通 TTL 与非门“线与”运用时同样的问题。

实验二十 分析、设计 SSI 组合逻辑电路



实验目的

- (1) 掌握组合逻辑电路的功能测试。
- (2) 掌握用 SSI (小规模集成电路) 设计组合电路及其检测的方法。



实验仪器设备

- (1) 数字逻辑实验箱 1 台。
- (2) 元器件: 74LS20 (二 4 输入与非门)、74LS00 (四 2 输入与非门)、74LS02 (四 2 输入或非门)、74LS08 (四 2 输入与门)、74LS32 (四 2 输入或门)、74LS86 (四 2 输入异或门)、74LS04 (六反相器) 各 1 片, 导线若干。



实验原理

按照逻辑电路是否有记忆功能, 常把数字电路分成两大类: 一类叫组合逻辑电路, 一类叫时序逻辑电路。组合逻辑电路在任一时刻的输出状态只决定于该时刻各输入状态的组合, 而与电路之前的状态无关。通常组合逻辑电路由门电路组合而成。

分析组合逻辑电路的目的是为了确定已知电路的逻辑功能, 或者检查电路设计是否合理。分析组合逻辑电路时首先根据已知的逻辑图, 从输入到输出 (或从输出到输入) 逐级写出逻辑函数表达式; 然后利用公式法或卡诺图法化简逻辑函数表达式; 最后列真值表, 确定其逻辑功能。

设计组合逻辑电路的任务是根据已知逻辑问题, 画出满足任务要求的逻辑电路图。组合逻辑电路的设计, 通常以电路最简单、器件最少为目标。首先应分析实际问题所要求的逻辑功能, 确定输入量和输出量, 然后列出符合输入、输出关系的真值表, 根据真值表写出逻辑函数的表达式, 并根据任务需求化简成最简式或转换表达式, 最后按照所求得的表达式画出逻辑电路图。



实验内容与步骤

1. 测试组合电路的逻辑功能

(1) 测试图 20-1 组合电路的逻辑功能。用相应芯片组成图 20-1 所示电路。在图中注明芯片编号及各引脚的对应编号, 按图接线。输入 A 、 B 接逻辑电平开关, 输出 S 、 C 接 LED (发光二极管), 按表 20-1 要求改变输入信号的状态, 观测相应的输出逻辑电平, 并填入表 20-1 中。将运算结果与实验相比较, 分析电路的逻辑功能, 写出逻辑表达式。

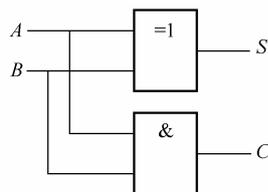


图 20-1

表 20-1

输入		输出	
<i>A</i>	<i>B</i>	<i>S</i>	<i>C</i>
0	0		
0	1		
1	0		
1	1		

逻辑表达式_____

电路的逻辑功能是_____

(2) 测试图 20-3 组成的电路的逻辑功能。用相应芯片组成图 20-2 所示电路。在图中注明芯片编号及各引脚对应编号, 按图 20-2 接线。输入 *A*、*B* 和 *CI* 接逻辑电平开关, 输出 *S* 和 *CO* 接 LED, 按表 20-2 要求改变输入信号的状态, 观测相应的输出逻辑电平, 并填入表中。将运算结果与实验结果比较, 并分析电路的逻辑功能, 写出逻辑表达式。

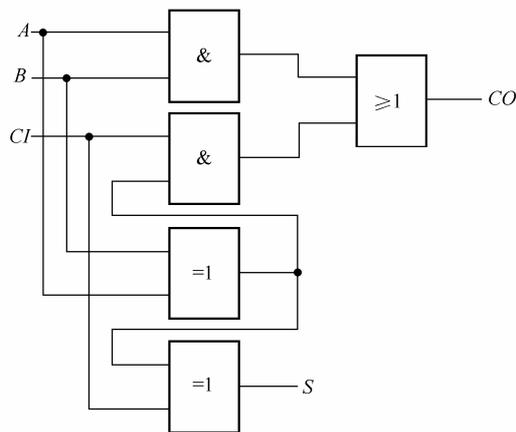


图 20-2

表 20-2

输入			输出	
<i>A</i>	<i>B</i>	<i>CI</i>	<i>S</i>	<i>CO</i>
0	0	0		
0	0	1		
0	1	0		
0	1	1		
1	0	0		
1	0	1		
1	1	0		
1	1	1		

逻辑表达式_____

电路的逻辑功能是_____

(3) 测试图 20-3 组合电路的逻辑功能。用相应芯片组成图 20-3 所示电路。在图中注明芯片编号及各引脚的对应编号, 按图接线。输入 A 、 B 接逻辑电平开关, 输出 S 、 C 接 LED, 按表 20-3 要求改变输入信号的状态, 观测相应的输出逻辑电平, 并填入表 20-3 中。将运算结果与实验相比较, 分析电路的逻辑功能, 写出逻辑表达式。

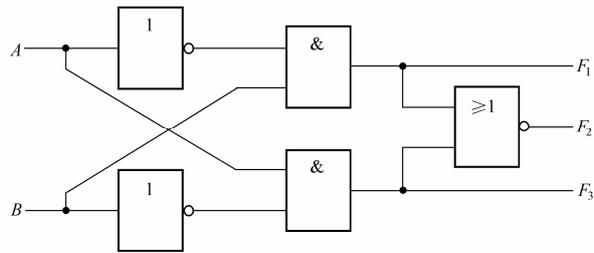


图 20-3

表 20-3

输入		输出		
A	B	F_1	F_2	F_3
0	0			
0	1			
1	0			
1	1			

逻辑表达式_____

电路的逻辑功能是_____

(4) 测试图 20-2 组合电路的逻辑功能。

用相应芯片组成图 20-4 所示电路。在图中注明芯片编号及各引脚对应编号, 按图接线。输入 A 、 B 、 C 接逻辑电平开关, 输出 Y_1 、 Y_2 接 LED, 按表 20-4 要求改变输入信号的状态, 观测相应的输出逻辑电平, 并填入表 20-4 中。将运算结果与实验相比较, 写出逻辑表达式。

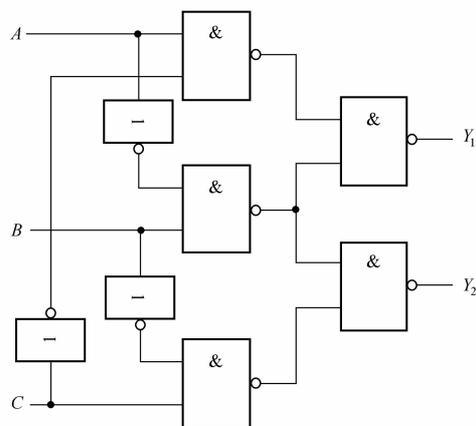


图 20-4

表 20-4

输入			输出	
A	B	C	Y_1	Y_2
0	0	0		
0	0	1		
0	1	0		
0	1	1		
1	0	0		
1	0	1		
1	1	0		
1	1	1		

逻辑表达式 _____

2. 逻辑电路设计

根据要求自行设计逻辑电路，要求画出逻辑电路图，列真值表并验证其逻辑功能。

(1) 三人表决电路。三人表决一件提案，若两人及以上通过，输出为 1，表示提案通过；否则输出为 0，表示提案被否决。设 A 、 B 、 C 三人表决，1 为同意，0 为否决， F 为输出。自拟表格记录之。

(2) 故障指示电路。有一个车间，有红、黄两故障指示灯，用来表示三台设备的工作情况。当有一台设备出现故障时，黄灯亮；有两台设备出现故障时，红灯亮；若三台设备都出现故障时，红灯、黄灯都亮。试用与非门设计一个控制灯亮的逻辑电路。

分析提示：设三台设备为 A 、 B 、 C ，有故障为 1，无故障为 0； R 为红灯， Y 为黄灯，以 1 代表灯亮，0 代表灯不亮。

根据分析提示，设计出自己的电路，在实验箱上将电路连接完成。自拟表格记录之。



实验预习要求

- (1) 熟悉门电路的工作原理及相应的逻辑表达式。
- (2) 熟悉数字集成块的引线位置及引线用途。
- (3) 复习组合逻辑电路的分析、设计步骤。



思考与扩展题

- (1) 总结用实验来分析组合逻辑电路功能的方法。
- (2) 设计一个保险箱的数字密码锁，该锁有规定的 4 位代码输入端 (A , B , C , D) 和一个开箱钥匙孔控制信号输入端 (E)，还有两个输出信号 F_1 和 F_2 。锁的代码由实验者自编 (例如 1011)，当用钥匙开箱时 ($E=1$)，如果输入代码符合该锁规定代码，保险箱被打开 ($F_1=1$)；如果不符，电路将发生报警信号 ($F_2=1$)。要求使用最少数量的与非门实现电路，检测并记录实验结果。



注意事项

- (1) 输入端的顺序不要弄错。
- (2) 接线较多, 若出现错误时, 可根据逻辑表达式由后向前逐级检查。
- (3) 严格记录实验数据。

实验二十一 编码器和译码器的应用



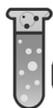
实验目的

- (1) 掌握中规模集成编码器、译码器、七段字形显示器的逻辑功能和使用方法。
- (2) 了解译码器的应用。
- (3) 学习用译码器构成任意组合逻辑电路的方法。



实验仪器设备

- (1) 数字逻辑实验箱 1 台。
- (2) 元器件: 74LS00、74LS20、74LS48 (七段显示译码器)、共阴八段数码管各 1 片, 74LS148 (8 线-3 线优先编码器)、74LS138 (3 线-8 线译码器) 各 2 片, 导线若干。



实验原理

1. 编码器

编码器是将输入的不同信号转换成特定代码的逻辑电路。编码器可分为普通编码器和优先编码器。

(1) 普通编码器。普通编码器是将输入信号编成与之一一对应的二进制代码的电路, 任何时间只能输入一个信号, 若同时输入两个或两个以上的信号, 电路的逻辑功能将产生混乱。一般而言, N 个不同的信号, 至少需要 n 位二进制数编码。 N 和 n 之间满足下列关系: $2^n \geq N$ 。3 位二进制普通编码器的真值表如表 21-1 所示。它的逻辑功能是: 将 I_0 编成 000 代码, 将 I_1 编成 001 代码, 依此类推, 将 I_7 编成 111 代码。

(2) 优先编码器。优先编码器允许同时输入多个 (两个或两个以上) 信号。当同时输入多个信号时, 优先编码器只对其中优先级别最高的信号进行编码; 当优先级别最高的信号未输入时, 就对优先级别次高的信号进行编码, 依此类推, 逻辑关系不会混乱。74LS148 是集成的 8 线-3 线优先编码器, 它有八个输入端, 可输入八种取值组合, 有三个输出端, 即对八种输入进行编码的二进制代码。图 21-1 是 74LS148 的管脚图。其中, $\overline{I_0} \sim \overline{I_7}$ 为输入信号端 ($\overline{I_7}$ 的优先级别最高), \overline{S} 是使能输入端, $\overline{Y_2} \sim \overline{Y_0}$ 是三个输出端, $\overline{Y_{EX}}$ 和 $\overline{Y_S}$ 是用于扩展功能的输出

端。74LS148 的功能如表 21-2 所示。

表 21-1 3 位二进制普通编码器的真值表

输入								输出		
I_7	I_6	I_5	I_4	I_3	I_2	I_1	I_0	Y_2	Y_1	Y_0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1
0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0
1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

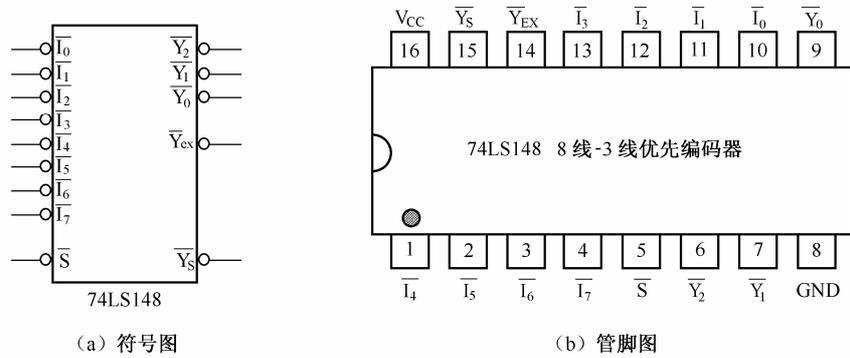


图 21-1 74LS148 的常用符号图和管脚图

表 21-2 8 线-3 线优先编码器 74LS148 的真值表

输入使能端	输入								输出			扩展	使能输出
\bar{S}	\bar{I}_7	\bar{I}_6	\bar{I}_5	\bar{I}_4	\bar{I}_3	\bar{I}_2	\bar{I}_1	\bar{I}_0	\bar{Y}_2	\bar{Y}_1	\bar{Y}_0	\bar{Y}_{EX}	\bar{Y}_S
1	×	×	×	×	×	×	×	×	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	×	×	×	×	×	×	×	0	0	0	0	1
0	1	0	×	×	×	×	×	×	0	0	1	0	1
0	1	1	0	×	×	×	×	×	0	1	0	0	1
0	1	1	1	0	×	×	×	×	0	1	1	0	1
0	1	1	1	1	0	×	×	×	1	0	0	0	1
0	1	1	1	1	1	0	×	×	1	0	1	0	1
0	1	1	1	1	1	1	0	×	1	1	0	0	1
0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1

2. 译码器

译码器是将输入的具有特定含义的二进制代码翻译成对应的输出高、低电平信号的逻辑电路，与编码器的功能相反。译码器在数字系统中应用广泛，可用于代码的转换、终端数字的显示、数据的分配等。译码器分为通用译码器和显示译码器。

(1) 通用译码器。74LS138 是常用的集成 3 线-8 线译码器，它有三个输入端，可以输入三位二进制代码，共有八种状态组合；有八个输出端，即可译出八个输出信号。管脚图如图 21-2 所示。其中，管脚 A_2 、 A_1 、 A_0 为二进制编码输入端 (A_2 为高位， A_0 为低位)； $\overline{Y}_7 \sim \overline{Y}_0$ 为译码输出端 (\overline{Y}_7 为高位， \overline{Y}_0 为低位)， S_1 、 \overline{S}_2 、 \overline{S}_3 为信号输入允许端，也称使能端。 S_1 为高电平有效， \overline{S}_2 、 \overline{S}_3 为低电平有效 (图中用管脚处的圆圈来表示低电平有效)。只有使能端有效时输入的信号才有效，才能够正常译码，否则禁止译码。74LS138 的功能见表 21-3。

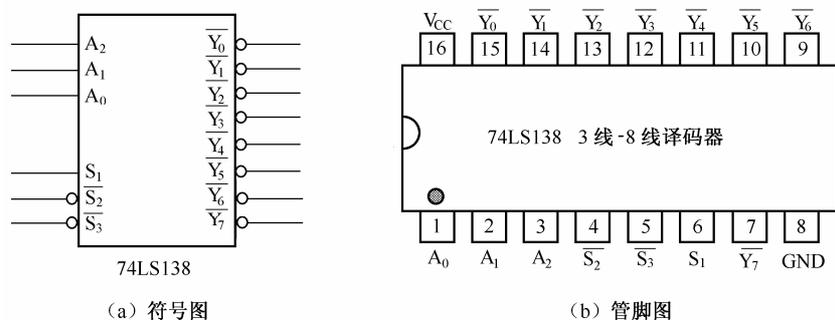


图 21-2 74LS138 的常用符号图和管脚图

表 21-3 74LS138 的逻辑功能表

输入使能端			输入			输出							
S_1	\overline{S}_2	\overline{S}_3	A_2	A_1	A_0	\overline{Y}_7	\overline{Y}_6	\overline{Y}_5	\overline{Y}_4	\overline{Y}_3	\overline{Y}_2	\overline{Y}_1	\overline{Y}_0
0	×	×	×	×	×	1	1	1	1	1	1	1	1
×	1	×	×	×	×	1	1	1	1	1	1	1	1
×	×	1	×	×	×	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1
1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1
1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1
1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1
1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1

74LS138 可用作函数信号发生器，如图 21-3 所示，令函数的逻辑变量 ABC = 译码器的输入变量 $A_2A_1A_0$ ，实现的逻辑函数是 $Y = \overline{ABC} + \overline{ABC} + \overline{ABC} + ABC$ 。

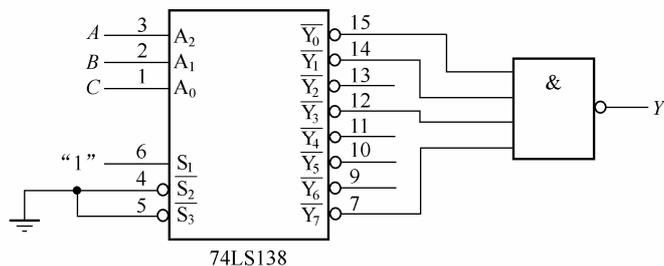


图 21-3 函数信号发生器产生函数

(2) 半导体数码显示器。半导体数码显示器是由七个或八个独立的制作成段状的发光二极管 (Light Emitting Diode, 简称 LED) 组成的, 因此这种数码显示器又叫 LED 数码管或 LED 显示器。通过七段独立的发光二极管的不同点亮组合来显示 0~9 这十个不同的数字, 另有一段用来显示小数点。LED 数码管内部连线又有共阳和共阴之分, 如图 21-4 所示, 对共阴极数码管而言, 所有 LED 负端并联接地, 当 $a\sim h$ 为高电平时相应发光二极管点亮; 对共阳极数码管而言, 所有 LED 正端接电源电压, 当 $a\sim h$ 为低电平时相应发光二极管点亮。

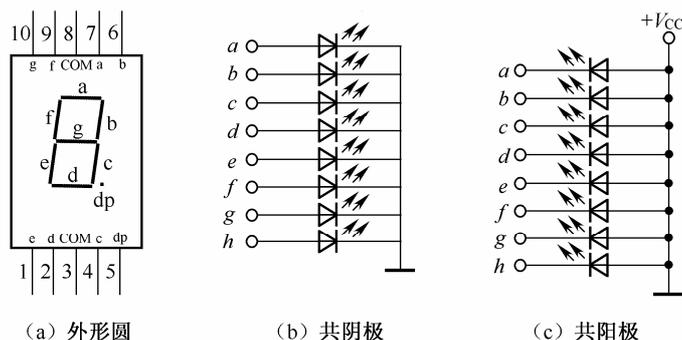


图 21-4 半导体数码管

(3) 显示译码器。显示译码器又叫译码驱动器, 是用于驱动显示器的译码器。它是把 8421BCD 码转换成能使 LED 数码管显示相对应的十进制数字的组合逻辑电路。显示译码器显示原理如图 21-5 所示。

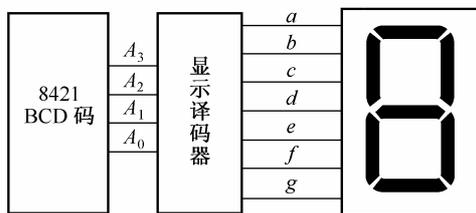


图 21-5 显示译码器显示原理

因为 LED 数码管有共阳和共阴之分, 所以显示译码器也有反码输出和原码输出之别。在使用时, 共阳数码管必须用反码输出 (低电平有效) 的显示译码器驱动, 共阴数码管必须用原码输出的显示译码器驱动。表 21-4 是原码输出七段显示译码器的真值表。

表 21-4 七段显示译码器的真值表（原码输出）

数字	A_3	A_2	A_1	A_0	Y_a	Y_b	Y_c	Y_d	Y_e	Y_f	Y_g	显示字形
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1
2	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	2
3	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	3
4	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	4
5	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	5
6	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	6
7	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	7
8	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	8
9	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	9
无效代码	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0
	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0
	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0
	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0
	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0
	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0

常用的显示译码器有 4 线-七段显示译码器 74LS249(原码输出,集电极开路输出)、74LS47 (反码输出,集电极开路输出, 15V) 和 74LS48 (原码输出)。图 21-6 所示是 74LS48 的管脚图。其中几个特殊管脚说明如下:

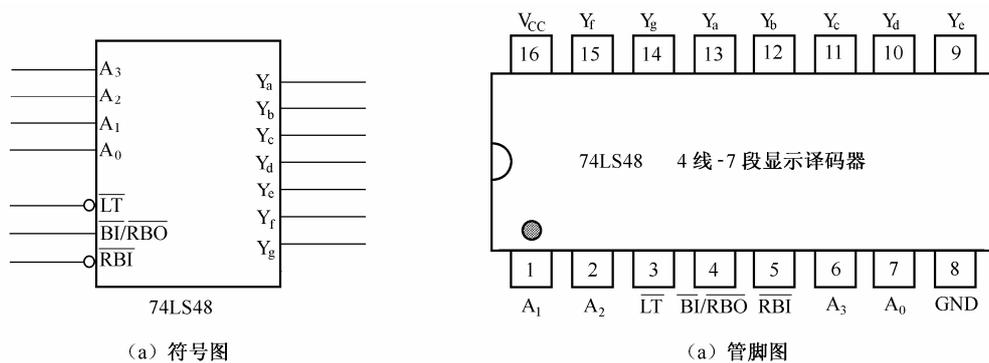


图 21-6 74LS48 的常用符号图和管脚图

- \overline{LT} : 称为灯测试输入端, 低电平有效, 优先级别最高。该输入端常用于检查 LED 数码管的好坏。当 $\overline{LT}=0$ 时, 数码管的七段应该同时点亮, 显示数字“8”, 表明该数码管正常工作; 若显示不全, 就说明其中有几段 LED 出了问题(假设 74LS48 是好

的)。数码管正常显示时，应令 \overline{LT} 端接高电平。

- \overline{RBI} ：称为灭零输入端，低电平有效，用于将无效的零灭掉，此时 \overline{LT} 应等于1。
- $\overline{BI}/\overline{RBO}$ ：称为灭灯输入/灭零输出端，为低电平有效。作为输入端时，称为灭灯输入端，当 $\overline{BI}=0$ 时不管输入如何，数码管不显示数字；作为输出端时，称为灭零输出端，用于灭掉不希望显示的零。一般在整数部分将高位的 \overline{RBO} 与低位的 \overline{RBI} 相连，在小数部分将低位的 \overline{RBO} 与高位的 \overline{RBI} 相连，当 $\overline{RBO}=1$ 时，说明本位处于显示状态；只有当 $\overline{LT}=1$ 、 $A_3A_2A_1A_0=0000$ （ A_3 是高位）且 $\overline{RBI}=0$ 时， \overline{RBO} 才为0，此时与之相连的 \overline{RBI} 端的数位若为零，则该零被熄灭。

用4线-七段显示译码器74LS48直接驱动共阴极的七段半导体数码管的驱动电路如图21-7所示。

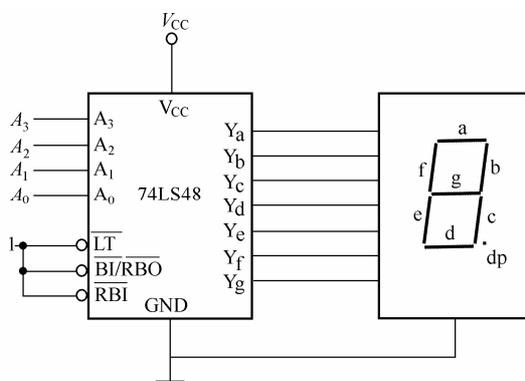


图 21-7 74LS48 驱动共阴极的七段半导体数码管的驱动电路



实验内容与步骤

1. 集成编码器的逻辑功能

(1) 验证8线-3线优先编码器74LS148的逻辑功能。使能端 \overline{S} 和输入端 $\overline{I_0} \sim \overline{I_7}$ 接开关，输出 $\overline{Y_2} \sim \overline{Y_0}$ 接LED，切换 \overline{S} 、 $\overline{I_0} \sim \overline{I_7}$ 的开关状态，观察输出情况，填表21-5，与74LS148的功能表进行比较。

表 21-5

输入使能端	输入								输出			扩展	使能输出
	$\overline{I_7}$	$\overline{I_6}$	$\overline{I_5}$	$\overline{I_4}$	$\overline{I_3}$	$\overline{I_2}$	$\overline{I_1}$	$\overline{I_0}$	$\overline{Y_2}$	$\overline{Y_1}$	$\overline{Y_0}$		
1	×	×	×	×	×	×	×	×					
0	1	1	1	1	1	1	1	1					
0	0	×	×	×	×	×	×	×					
0	1	0	×	×	×	×	×	×					
0	1	1	0	×	×	×	×	×					

续表

输入使能端	输入								输出			扩展	使能输出
\overline{S}	$\overline{I_7}$	$\overline{I_6}$	$\overline{I_5}$	$\overline{I_4}$	$\overline{I_3}$	$\overline{I_2}$	$\overline{I_1}$	$\overline{I_0}$	$\overline{Y_2}$	$\overline{Y_1}$	$\overline{Y_0}$	$\overline{Y_{EX}}$	$\overline{Y_S}$
0	1	1	1	0	×	×	×	×					
0	1	1	1	1	0	×	×	×					
0	1	1	1	1	1	0	×	×					
0	1	1	1	1	1	1	0	×					
0	1	1	1	1	1	1	1	0					

(2) 编码器的应用。电话室有三种电话，按由高到低优先级排序依次是火警电话、急救电话、工作电话，要求电话编码依次为 11、10、01。试设计电话编码控制电路。用 74LS148 配合门电路实现。

(3) 74LS148 的扩展。如图 21-8 所示，用两片 74LS148 实现一个 16 线-4 线优先编码器，将 $\overline{A_{15}} \sim \overline{A_0}$ 16 个低电平信号编成 1111~0000 代码。要求 $\overline{A_{15}}$ 优先级最高。连线实验，判断结果正确性。

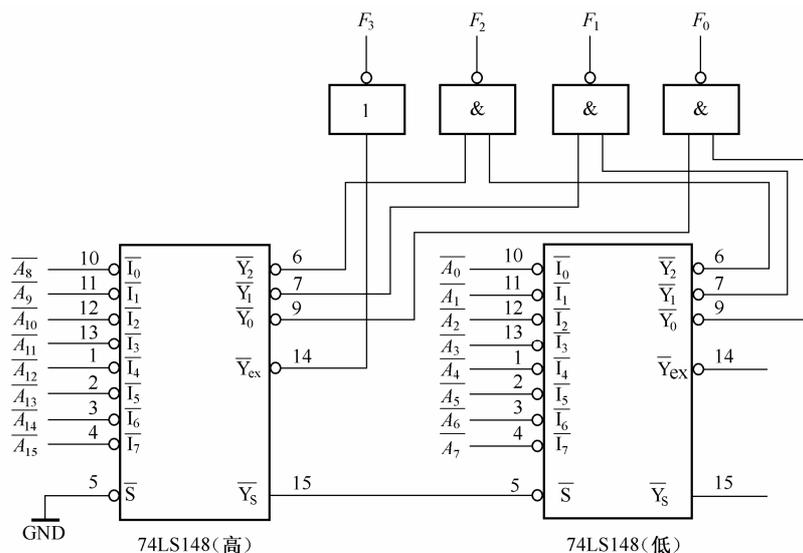


图 21-8 两片 74LS148 实现一个 16 线-4 线优先编码器

2. 集成译码器的逻辑功能

(1) 验证 3 线-8 线译码器 74LS138 的逻辑功能。

①译码器功能测试：输出端 $\overline{Y_7} \sim \overline{Y_0}$ 接 LED，使能端 S_1 、 $\overline{S_2}$ 、 $\overline{S_3}$ 接固定电平 100，使译码器选通。输入 A_2 、 A_1 、 A_0 接逻辑电平开关，改变 A_2 、 A_1 、 A_0 的开关状态，使之输入 000~111 共 8 种状态，观察发光二极管的变化，并记录实验结果。自拟表格记录。

②使能端功能测试：观察 S_1 、 $\overline{S_2}$ 、 $\overline{S_3}$ 为其他输入时译码器被禁止的情况并记录实验结果。

(2) 译码器的应用——作函数发生器。自行设计电路，用 74LS138 和 74LS20 实现函数 $Y = \overline{ABC} + \overline{A}BC + AB$ ，在图 21-9 中进行连线并做实验，将结果填入表 21-6。

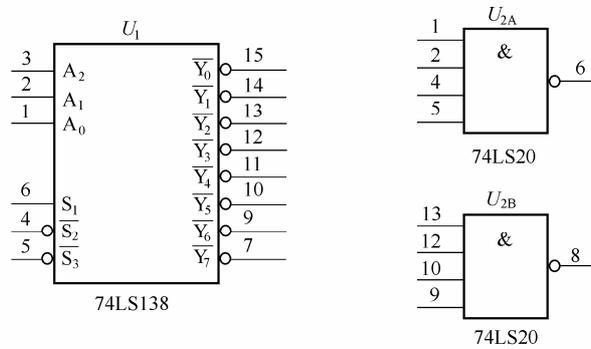


图 21-9 提供器件图

表 21-6

输入			输出 (理论值)	输出 (实际值)
A	B	C	F	F
0	0	0		
0	0	1		
0	1	0		
0	1	1		
1	0	0		
1	0	1		
1	1	0		
1	1	1		

(3) 译码—显示电路。如图 21-10 所示，根据提供器件标明管脚编号，按图接线实验， $A_3 \sim A_0$ 接开关，切换开关状态，观察数字显示情况。在表 21-7 中做记录。

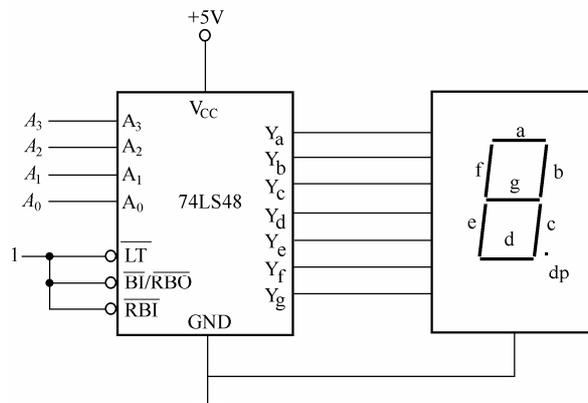


图 21-10 74LS48 驱动共阴极的七段 LED 数码管的驱动电路

表 21-7

74LS48 输入				输出
A_3	A_2	A_1	A_0	显示数字形状
0	0	0	0	
0	0	0	1	
0	0	1	0	
0	0	1	1	
0	1	0	0	
0	1	0	1	
0	1	1	0	
0	1	1	1	
1	0	0	0	
1	0	0	1	
1	0	1	0	
1	0	1	1	
1	1	0	0	
1	1	0	1	
1	1	1	0	
1	1	1	1	



实验预习要求

- (1) 复习编码器、译码器的工作原理。
- (2) 根据实验任务，画出所需的实验线路及记录表格。



思考与扩展题

- (1) 如何通过实验判断数码管的共阴、共阳之分？
- (2) 用两片 74LS138 组合成一个 4 线-16 线译码器，并进行实验，检测记录电路功能。
- (3) 使用一个 3 线-8 线译码器和与非门设计一个 1 位二进制全减器，设计逻辑图，检测并记录电路功能。



注意事项

注意数码管的共阴和共阳之分，不要选错。