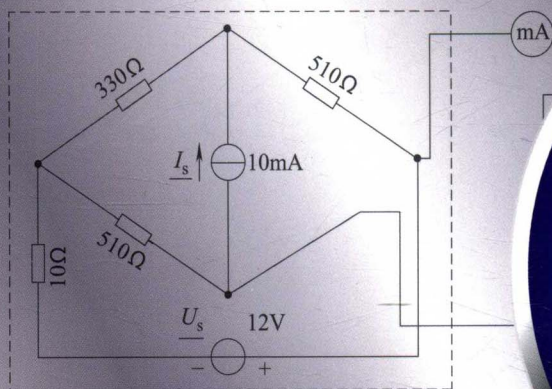


普通高等教育“十二五”
电工电子基础课程规划教材

电路分析基础实验 与实践教程

DIANLU FENXI JICHU SHIYAN
YU SHIJIAN JIAOCHENG

冯涛 杨淑华 李擎 主编



化学工业出版社

普通高等教育“十二五”电工电子基础课程规划教材

电路分析基础实验与实践教程

冯 涛 杨淑华 李 擎 主 编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书包括电路实验概述、电路实验、附录三大部分。电路实验包括十五个实验，分别是数字万用表的使用及电阻的在线测量、验证电路基本定律、戴维南定理和诺顿定理的验证、用示波器测量常用电量、一阶电路过渡过程的研究、二阶电路过渡过程的研究、RLC 串联电路谐振现象的研究、最大功率传输的研究、单相交流电路元件等效参数的测定、功率因数的提高、三相交流电路电压、电流的测量、三相交流电路功率的测量、互感同名端及互感参数的测定、磁化曲线测量和二端口网络的研究。

本书可作为高等院校电气、自动化、电子信息及其他相关专业的本科生教材，也可作为有关工程技术人员参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电路分析基础实验与实践教程/冯涛, 杨淑华, 李擎
主编. —北京: 化学工业出版社, 2016. 2
普通高等教育“十二五”电工电子基础课程规划教材
ISBN 978-7-122-25865-6

I. ①电… II. ①冯… ②杨… ③李… III. ①电路
分析-高等学校-教材 IV. ①TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 299222 号

责任编辑: 李 娜

责任校对: 王 静

装帧设计: 刘丽华

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 8½ 字数 208 千字 2016 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 22.00 元

版权所有 违者必究

前 言

“电路分析基础实验”是高等学校电气、自动化、电子信息等专业重要的基础类必修实验课，该课程的目的是通过实验帮助学生正确理解和巩固电路课程所学的基本理论和基本知识，使学生学会常用测试仪器的调试和使用，掌握基本的电路测量方法，并能借助实验室平台进行简单的电路设计和验证。通过该课程，还可以培养学生的动手能力和设计能力，进一步提高学生分析问题和解决问题的能力，在实验中逐步培养严谨的治学态度和科学作风。

本书的特点在于针对低年级本科生的动手水平对实验过程给出了详细的指导，包括实验台的使用、基本仪器的使用、实验步骤等。为了激发学生思考，实验还设定了相关课堂思考题，对实验中可能存在的问题进行思考和总结，使学生加深对实验的理解，进一步提高学生分析和解决问题的能力，激发学生的学习兴趣。

本书由冯涛、杨淑华、李擎主编，栗辉、李春雷、木春梅参编。冯涛制定了本书大纲、指导文字写作并负责全书的统稿和组织工作。在本书编写过程中，北京科技大学自然科学基础实验中心的韩守梅老师和电工电子技术系的史雪飞老师提供了大量的素材和积极的帮助，在此表示感谢。本教材的编写与出版还得到了北京科技大学本科教育教学改革与研究项目“电路实验分层次教学课程改革”经费和北京科技大学“十二五”教材建设经费的资助，在此也表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，并且电子技术发展迅速，书中难免存在疏漏和不足之处，恳请同行和读者批评指正，特别是使用该书的教师和学生，欢迎提出改进意见，具体联系方式是 fengtao@ies.ustb.edu.cn。

编 者

2015年12月

目 录

第一部分	电路实验概述	1
第一节	电路实验的目的和要求	1
第二节	上好电路实验课	2
第三节	电路实验台功能介绍及基本操作	4
第四节	实验室规则和安全操作规程	5
第二部分	电路实验	6
实验一	数字万用表的使用及电阻的在线测量	6
实验二	验证电路基本定律(定理)	13
实验三	戴维南定理和诺顿定理的验证	21
实验四	用示波器测量常用电量	25
实验五	一阶电路过渡过程的研究	51
实验六	二阶电路过渡过程的研究	55
实验七	RLC 串联电路谐振现象的研究	57
实验八	最大功率传输的研究	60
实验九	单相交流电路元件等效参数的测定	63
实验十	功率因数的提高	69
实验十一	三相交流电路电压、电流的测量	72
实验十二	三相交流电路功率的测量	75
实验十三	互感同名端及互感参数的测定	78
实验十四	磁化曲线测量	81
实验十五	二端口网络的研究	85
附录		88
附录一	电气测量的一般常识	88
附录二	电阻器、电容器的识别和检测	92
附录三	示波器使用说明	97
附录四	EE1641B 型函数信号发生器/计数器使用说明	102
附录五	数字式万用表使用说明	105
附录六	THHE-1 型高性能电工技术实验台使用说明	108
附录七	DSO500 (五合一) 虚拟仪器使用简介	122
参考文献		130

第一部分 电路实验概述

第一节 电路实验的目的和要求

实验是研究自然科学、培养科学作风的重要环节。电路原理实验是电路教学中一个重要的实践性教学环节。实验课是培养学生的实验技能及分析问题、解决问题能力的很重要的一个方面。

电路实验教学是电路分析基础课程的重要组成部分，是培养学生通过实验的手段进行科学研究，并逐渐具备分析问题和解决问题能力的一个重要环节。通过实验，巩固和验证所学电路理论知识，掌握有关电路连接、电量测量及故障排除等实验技巧，学会常用仪器、仪表的基本原理和使用方法。通过实验学习数据的采集与处理、各种现象的观察与分析，学会简单电路的设计和验证方法。

一、实验的目的

本课程的目的是通过实验教学，使学生掌握最基本的实验技能和电路参数测试方法，掌握常用电气仪表和元件特性，并能正确地测量各种电参数（如电压、电流及功率等），学会在实验中合理选用测量仪器（种类、准确度及量限等）和测量方法，学会排除一些实验常见故障。巩固和加深所学理论知识，培养运用基本理论分析、处理实际问题的能力以及简单电路的设计能力。

通过编写实验报告，培养数据分析的能力、文字组织能力和处理实验结果的能力（如实验数据的误差分析、曲线拟合等）。培养实事求是、严肃认真和细致踏实的科研作风和良好的实验习惯，为今后的专业实践与科学研究打下坚实基础。

二、实验课程的要求

通过电路实验课，学生在实验技能方面应达到下列要求。

(1) 正确使用仪表进行实验。学会使用万用表、电流表、电压表、功率表及常用的一些电路实验仪表，掌握实验中用到的信号发生器、示波器、稳压电源等实验仪器和 THHE-1 型高性能电工技术实验台的使用方法。

(2) 学会按电路图连接实验电路。能根据实验的要求，正确地设计电路，选择实验设备及元器件。要求做到连线正确、布局合理、测试准确。

(3) 能够认真观察和分析实验现象，运用正确的实验手段，采集实验数据，绘制图表、曲线，科学地分析实验结果，正确书写实验报告。

(4) 正确地选择和运用恰当的实验手段来验证一些定理和理论。

(5) 对综合设计型实验，要根据实验任务，在实验前确定实验方案，设计实验电路，正

确选择仪器、仪表、元器件，并能独立完成实验要求的内容。

第二节 上好电路实验课

实验课一般分为课前预习、实验过程及课后提交实验报告三个阶段。要想成功上好一堂实验课，三个阶段缺一不可。

一、课前预习

每次实验的时间和内容是有规定的。实验能否顺利进行和达到预期效果，并在规定的时间内将实验做完，很大程度上取决于实验前的预习准备是否充分。因此，实验前要求仔细阅读实验指导书，复习相关理论知识，明确每次实验的目的和任务，了解实验的原理和方法，进行必要的计算，清楚实验中哪些现象要观察，哪些数据要记录以及哪些事项应注意。基本做到目的明，任务明，原理明，做法明。

对于综合设计型实验，需在预习时确定合理的实验方案，设计电路图，拟定实验操作步骤和所需的测量仪器。

做好预习报告后方可进入实验室。

二、实验过程

良好的实验方法与操作程序，是保证实验工作顺利进行和安全完成的先决条件。因此，实验课上，要认真听实验指导教师的讲解，此外，还应注意下列几点。

1. 仪器设备的检查

每次实验开始时，应首先检查仪器设备的类型、规格是否齐全，量程是否适用，仪表是否指零。应了解仪器设备的性能、使用方法和注意事项。决不可不明原理不看图，急急忙忙就动手。

2. 连接电路

接线前首先应将实验台上的仪器和设备布置得便于操作和读取数据，然后再进行接线。必须做到：一选设备二布局，三连线路四调整。

(1) 选择设备。设备容量、参数要恰当，工作电压、电流不能超过额定值，仪表种类、量程、准确度等级要合适，使用要合理，并尽可能做到测量仪表对被测电路工作状态影响最小。

(2) 合理布局。实验仪器设备布置原则是：安全、方便、整齐，防止互相影响。

(3) 连接线路要注意的问题。

① 要想接好一个电路，首先应分析电路结构特点，不同电路采取不同的接线方法，一般是先串后并（先主后辅）或先分后合。先串后并，即先把串联回路接好，再接并联支路。先分后合，即先把一个一个回路接好，然后再把它们连接起来。

② 走线要合理，为便于检查和减少误差，导线的使用量和节点数越少越好，注意导线不要从仪表上跨过，尽量避免在一个接线柱上有三个以上的接头（容易脱落和接触不良），为了保护仪表，仪表接头一般只允许接一根导线，接线柱松紧要适当，不允许在线路中出现没固定端钮的裸露接头。

要养成良好的接线习惯。一般电源都有隔离开关，仪器设备有极性，因而接线最好是从

电源的一极开始，循着主回路到电源另一极，然后再接并联支路。避免从电路中某一点开始接线。电路接好后，要按线路图进行检查。

(4) 调整。线路接好后，某些实验需要调整电路参数和启动位置。电路参数要调到实验规定的数值，分压器、自耦变压器的起始位置要放在最安全位置，仪表指针应为零位处（当输入为零时），如不在零处要调零。

以上工作完成后，经指导教师检查无误后方可接通电源做实验。

3. 正确操作、观察、读数和记录

(1) 实验时要做到：手合电源，眼观全局，先看现象，再测数据。

(2) 记录要完整、清晰、合理，注意有效数字，读数时要注意姿势正确，数据记录在原始数据记录表格内，实验所得数据不准随意涂改。

(3) 当需要把读数绘成曲线时，应以足够描绘一条光滑而完整的曲线为准，来确定所要测量数据的组数是多少。读取数据后，可先把曲线粗略地描绘一下，发现不足之处，应及时弥补。

4. 结束工作

完成全部规定的实验内容后，不要先急于拆除线路。应先自行核查实验数据，有无遗漏或不合理的情况，再经老师复查签字后，方可进行下列收尾工作。

(1) 拆除实验线路（注意：一定先断电，再拆线）。

(2) 做好仪器设备、桌面、环境清洁的管理工作。

(3) 经教师同意后方可离开教室。

做完实验后应及时将实验数据进行整理，一般情况下，可以直接对实验记录的数据进行计算，得出结果。

5. 课后书写实验报告

书写实验报告是对实验工作的全面总结，是实验课的重要环节。其目的是为了培养学生严谨的科学态度，要用简明的形式将实验结果表达出来。实验报告一律用专用实验报告纸来写，报告要求文理通顺、简明扼要、字迹端正、图表清晰、结论正确、分析合理、讨论深入。

三、人身安全和设备安全

要求切实遵守实验室各项安全操作规程，以确保实验过程中的安全。为此，应注意以下几个方面。

(1) 不得擅自接通电源。

(2) 不得触及带电部分，遵守“先接线后通电源，先断电源后拆线”的操作程序。

(3) 发现异常现象（声响、过热、焦臭味等）应立刻断开电源，并及时报告指导教师检查。

(4) 注意仪器设备的规格、量程和操作规程，不了解性能和用法时不得随意使用该设备。

四、故障分析

实验过程中常会遇到因断线、接错线等原因造成的故障，使电路工作不正常，严重时可能损坏设备，甚至危及人身安全。为尽量避免故障的出现，实验前一定要预习，实验中，按

电路图有顺序地接线，避免在同一端钮上接很多导线，接线完毕后应对电路认真检查，不要急于通电。

在实验课上出现一些故障是难免的，关键是学生在出现故障时能够通过自己的分析，检查并找出故障原因，使实验顺利进行下去，从而提高分析问题和解决问题的能力。

处理故障的一般步骤如下。

(1) 若电路出现短路现象或其他损坏设备的故障时，应立即切断电源查找故障。一般首先检查接线是否正确。

(2) 根据出现的故障现象和电路的具体结构判断故障的原因，确定可能发生故障的范围。

(3) 逐步缩小故障范围，直到找出故障点为止。

另外，也可用万用表、电压表来检查故障。

总之，在实验过程中如遇到故障时，要耐心细致地去分析查找或请老师帮助检查，只有动脑筋分析查找故障，才能提高自己分析问题和解决问题的能力，才能在实验过程中培养严肃认真的科学态度和细致踏实的实验作风，才能为日后的专业设计和科学研究打下坚实的基础。

第三节 电路实验台功能介绍及基本操作

本课程使用的电路实验台是集直流交流电源、直流电压表、直流电流表、交流电压表、交流电流表、交流毫伏表等各种仪器于一身的综合性实验平台，课程所有的实验都在该实验台上进行操作。图 1.3.1 是该实验台面板。

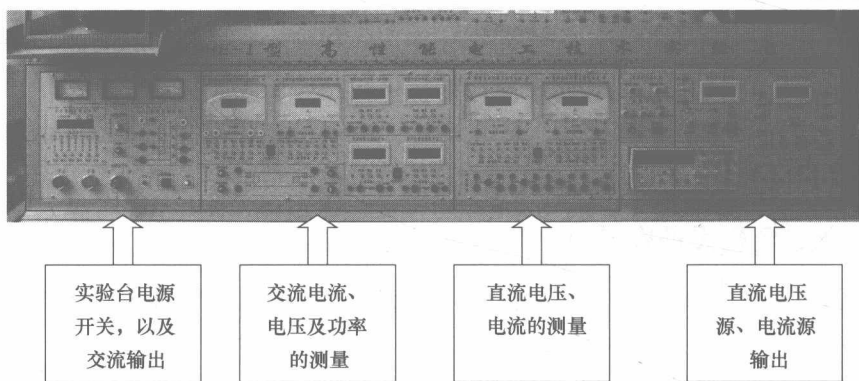


图 1.3.1 电路实验台面板

实验台的开机操作如下。

(1) 实验台总电源开关在实验台左侧，将实验台总电源开关向上拨，使之开启，见图 1.3.2。

(2) 旋动实验台电源启动钥匙至“开”的位置，如图 1.3.3 所示。

(3) 按下“启动”按钮。

实验台关机操作与上述步骤相反。

实验台正确开机之后，启动按钮的绿灯会亮，红灯会灭。如果绿灯不亮、红灯不灭，说明实验台开机不成功，这时应寻求老师帮助。如果绿灯不亮，而红灯灭了，说明绿灯坏了，

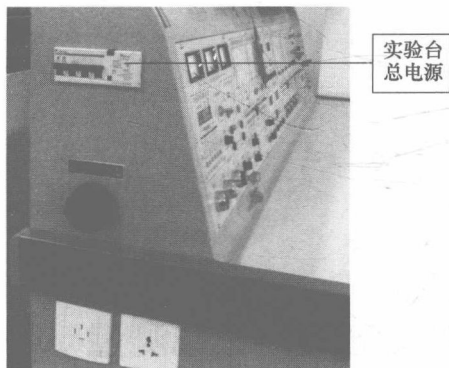


图 1.3.2 实验台总电源开关

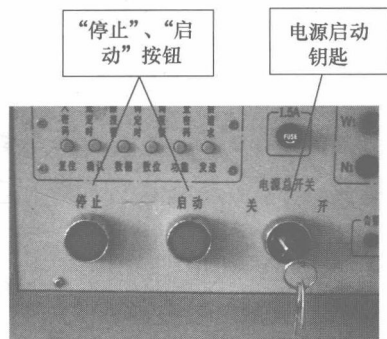


图 1.3.3 实验台电源开关

此时实验台已经正常开机，可以进行后续实验。

第四节 实验室规则和安全操作规程

一、实验室规则

- (1) 注意安全，遵守安全操作规程。
- (2) 严肃认真，遵守实验室规则，遵守纪律。
- (3) 爱护国家财产，正确使用仪器设备。
- (4) 保持整洁，实验完毕进行清理。

二、安全操作规程

- (1) 在指定的桌位上进行实验，不得任意走动和说笑。
- (2) 实验前应搞清楚所用仪器设备的使用方法，除本次实验设备、仪器外，不得擅自自动用其他仪器设备。
- (3) 了解实验台的配电情况，不得触及带电部分，严格遵守操作程序：先接线后合电源，先断电源后拆线。
- (4) 接线后经指导教师检查允许，方能合闸通电。
- (5) 实验结束，将记录数据经指导教师检查符合要求，然后拆线、整理。
- (6) 实验中出现异常现象应立即切断电源，报告指导教师一同分析查找原因。
- (7) 发生仪器设备事故立即断开电源，应保护现场，如实报告。
- (8) 不得触及总电源盘上的任何设备。

第二部分 电路实验

实验一 数字万用表的使用及电阻的在线测量

一、预习思考题

- (1) 自行查找资料，了解数字万用表相对于指针式万用表的优缺点。
- (2) 自行查找资料，了解数字万用表“三位半”、“四位半”概念的含义。

二、实验目的

- (1) 训练基本实验技能，熟悉实验台和万用表基本使用。
- (2) 学会应用已学理论，对测量过程中的异常数据进行分析，并提出解决方案。

三、实验设备

表 2.1.1 实验设备

序号	名称	型号与规格	数量	备注
1	双路直流可调稳压电源	0~30V 可调	1	
2	手持式数字万用表		1	
3	直流数字电压表		1	
4	直流数字电流表		1	
5	实验电路板	HE-12	1	

四、相关仪器使用

1. HE-12 实验箱的使用

本次实验使用的是 HE-12 实验箱，如图 2.1.1 所示，并且都使用的是 HE-12 实验箱的最上面的部分，如图 2.1.2 所示。

实验过程中，应该注意以下几点。

▶ 图 2.1.2 中的电路已经在实验箱内部按图 2.1.3 接好，在进行电路基本定理的验证实验时，外部只需要接入 U_1 和 U_2 两路电源，不需要接入其他导线；

▶ 故障开关 1、2、3：都应该拨到右边，如图 2.1.2 所示。这三个开关的作用是在电路中故意造成某种故障，用于故障查找实验，这个实验我们不做，所以应该把开关都拨到右边，使故障消失。

▶ 开关 K_1 、 K_2 ：对于 K_1 开关，当它拨到左边时，代表将电压源 U_1 接入到 F 、 E 两点，如果拨到右边，代表 F 、 E 两点之间用导线短路（ K_1 右边的黑色竖线，即是内部导线的示意图），接入的是电压为 0 的电压源。开关 K_2 类似（注意，电压源 U_1 和 U_2 需要从实

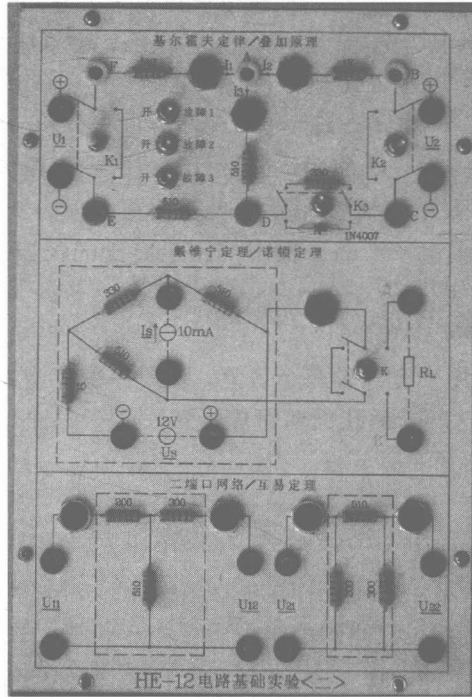
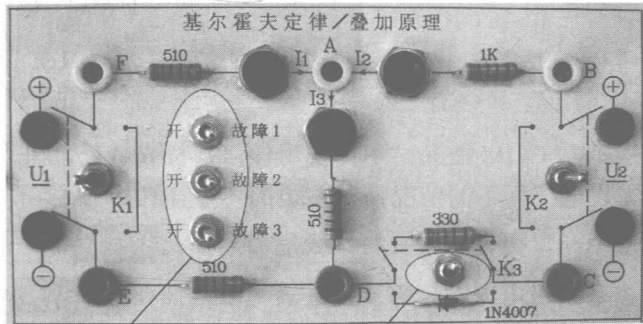


图 2.1.1 HE-12 实验箱



故障开关: 故意造成故障, 应拨到右边, 使故障消失

应拨到上边, 将电阻接入电路

图 2.1.2 实验箱上所用到的部分

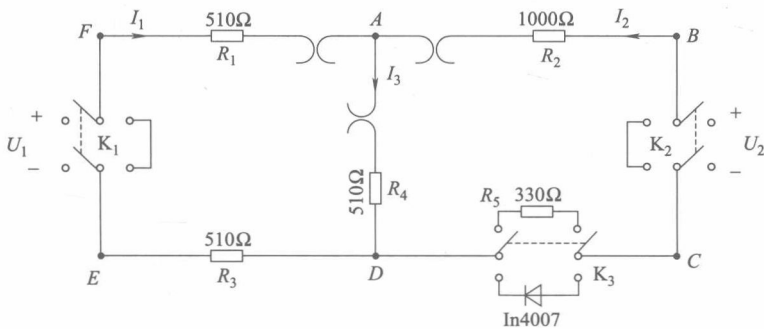


图 2.1.3 实验箱对应电路图

验台上的直流可调稳压电源用导线引入，实验箱本身不带电源)。

► 开关 K_3 ：这个开关用于切换 C、D 两点间接的是二极管还是 330Ω 电阻。在本次实验里，应该接入电阻，因此 K_3 应该拨到上面。

2. 数字万用表的使用

大家高中都学过指针式万用表的使用，但是目前指针式万用表已经基本上被数字万用表所取代了。总地来说，数字万用表比指针万用表使用更方便、测量更准确，并且功能更强大。数字万用表已经成为当前电子产品研发中使用最广泛的仪器（没有之一），常用的数字万用表如图 2.1.4 所示。

数字万用表使用步骤如下。

(1) 插入表笔。数字万用表有红黑两个表笔，但是一般都有四个或者更多的插孔，如图 2.1.5 所示。这两根表笔和这四个插孔如何对应呢？

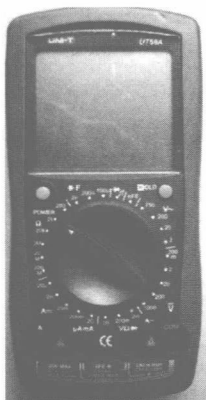


图 2.1.4 数字万用表



图 2.1.5 数字万用表插孔

图 2.1.5 中最右边的是 COM 插孔。不论使用任何挡位或量程，黑表笔都应该始终插入到 COM 插孔中，而红表笔根据不同情况插入左边的三个插孔中。

- 当测量电压、电阻和二极管时，要将红表笔插入插孔 **VΩ** 中；
- 当测量微安级、毫安级电流时，需要把红表笔插入插孔 **μAmA** 中；
- 当测量安培级电流时，需要把红表笔插入插孔 **A** 中。

(2) 按下电源按钮。按下电源按钮 **POWER** 之后，屏幕上就会有数字显示。注意不要把 HOLD 按钮 **HOLD** 按下去了，HOLD 意为“保持”，按下去之后，屏幕上的读数就会保持不变，不能进行正常的测量（有时候需要这个功能）。因此在测量时要保证 HOLD 按钮是抬起来的。

(3) 旋转拨盘，选择合适的挡位和量程。一般数字万用表上的测量挡位如下。

Ω：电阻测量（本次实验需要用到）。

⊖F：电容测量（有些万用表没有此挡位，比如大家手里的）。

V~：交流电压测量。

V̄：直流电压测量。

A~：交流电流测量。

A \rightarrow : 直流电流测量。

\rightarrow : 二极管/通断测试, 在该挡位下, 当红黑表笔间电阻为 0 时, 万用表会发出“滴滴……”的响声, 代表通路是导通的(大家可以把红黑表笔直接短接测试一下, 看是不是能听到“滴滴……”的响声)。这个挡位非常有用, 一是可以用来测试万用表本身是不是好的, 二是可以用来测量万用表的表笔是不是好的, 三是可以用来测试电路中的导线是不是通的, 方便查找线路故障。

hFE: 三极管放大倍数测量, 目前使用不到。

(4) 将表笔与被测点接触, 待液晶屏显示稳定之后, 读取数据。

五、实验内容

U_1 、 U_2 不连直流电源, 根据本实验后表 2.1.2 的要求操作 K_1 、 K_2 开关(注意三个故障开关均要拨到右边, 使故障消失, K_3 要拨到上面), 用数字万用表测量 R_1 、 R_2 、 R_5 三个电阻值, 将测量值记录在表 2.1.2 中, 并回答课堂思考题的问题。在测量之前, 先看完以下注意事项。

(1) 在欧姆挡下当红黑表笔分开、不接任何元件时, 屏幕上显示的是数字“1”, 这代表当前的测量值超出了当前的量程, 因为此时红黑表笔间为断路, 阻值为无穷大, 所以对于欧姆挡的任何量程来说, 都是超量程的。

(2) 数字万用表量程的含义与指针式万用表有区别, 比如欧姆挡中的 200 这个量程, 代表在此挡位下最大只能测量到 200Ω 的电阻, 再大就测量不出来了, 屏幕上会只显示一个数字“1”, 表示超出量程, 此时就应该切换到更大的量程进行测量。

(3) 数字万用表显示的读数就是测量值, 而不必像指针式万用表那样乘以一定的倍率。不同的量程有不同的读数单位, 如果量程是 200, 那么读数的单位就是 Ω , 如果量程是 2k、20k、200k, 那么单位都是 $k\Omega$, 如果量程是 2M、200M, 那么单位是 $M\Omega$ 。因此, 数字万用表读数时, 只需要根据所选量程的单位直接读取即可, 比如在欧姆挡 200 挡位下万用表显示值是 155.6, 则测量的电阻值就是 155.6Ω , 如果在 2k 挡位下显示的值是 2.206, 那么测量值是 $2.206k\Omega$ 。

(4) 用欧姆挡测量电阻时, 应先将红黑表笔短路, 此时显示的电阻值并不为 0, 而是零点几欧姆, 这是表笔的导线电阻和表笔间的接触电阻, 在测量出元件的电阻值之后, 应该减去这个值才是准确的电阻值。

(5) 测量电阻值时, 要将表笔与电阻器两端用力接触, 保证表笔与电阻器两端可靠连接, 接触不良会造成显示屏数字跳动不稳, 无法读数。

(6) 测量电阻值时, 电路不能上电, 电阻两端不能带有电压, 否则可能会烧坏万用表欧姆挡的内部电路。

(7) 在测量时, 要注意当前挡位和表笔的位置, 比如说先用欧姆挡测量了电阻, 然后没有切换挡位就直接测量电压, 可能会造成万用表的损坏, 而如果测量完电流之后, 没有切换表笔位置和挡位, 而直接去测量电压, 会造成电路被测两点短路, 可能会烧坏电路。

(8) 和指针式万用表不一样的还有, 测量直流电压时, 数字万用表的红表笔可以接负电压, 黑表笔可以接正电压, 这样显示出来的数字前面会显示一个负号, 测量直流电流时, 电流也可以从黑表笔流进, 从红表笔流出, 此时同样会显示负号。

姓名：_____ 学号：_____ 班级：_____

实验原始数据记录

表 2.1.2 测量各电阻阻值记录

标称值	$R_1 = 510\Omega$	$R_2 = 1000\Omega$	$R_5 = 330\Omega$
测量值/ Ω (K_1 拨到右边, K_2 拨到左边)			

课堂思考题

1. 为什么电阻测量值与标称值不一致？如何操作才能得到正确的测量值？（需要画出等效电路图，并进行计算）
2. 由此可以得到什么启示？

