



高等学校电子信息类“十二五”规划教材

电路实验与仿真

主编 孙浩 谭爱国 杨一波



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校电子信息类“十二五”规划教材

电 路 实 验 与 仿 真

主编 孙 浩 谭爱国 杨一波

参编 顾秋洁 沈 易 应 萍 忻尚芝

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书是高等院校电类专业电路基础的实验教材。全书共分3章、3个附录。第1章主要介绍如何安全用电及电气火灾的预防；第2章主要介绍硬件操作实验，包括直流、交流、三相等实验；第3章主要介绍针对电路实验的仿真软件，并附有大量的仿真实例；附录A主要介绍电工仪表的结构原理及消除误差的方法；附录B主要介绍常用电子元件的用途、标注和识别；附录C主要介绍常用仪表仪器的使用及注意事项。

本书可作为高等院校工科电气、自动化、通信等电类专业的电路实验课程教材，也可供从事电路设计的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路实验与仿真/孙浩，谭爱国，杨一波主编.

—西安：西安电子科技大学出版社，2013.4

高等学校电子信息类“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5606-3005-2

I. ①电… II. ①孙… ②谭… ③杨… III. ①电路理论—实验—高等学校—教材 ②电子电路—计算机仿真—实验—高等学校—教材 IV. ①TM13-33 ②TN702-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 023852 号

策 划 毛红兵

责任编辑 刘玉芳 毛红兵

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2013年4月第1版 2013年4月第1次印刷

开 本 787毫米×960毫米 1/16 印 张 9

字 数 178千字

印 数 1~3000册

定 价 17.00元

ISBN 978-7-5606-3005-2/TM

XDUP 3297001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

前 言

本书共分为3章、3个附录。第1章主要介绍安全用电基本知识,产生触电的基本原理及防止触电的基本方法。第2章主要介绍直流电路、交流电路、三相电路及暂态电路等实验。通过这些基本电路实验,学生将掌握电路实验的基本思想及操作方法。第3章主要介绍 Multisim 软件的基本应用及仿真的一些实例。通过这些实例,学生将掌握电路实验的基本设计思想及方法。附录 A 给出了常用电工仪表的结构原理及消除误差的基本方法。附录 B 给出了常用电路实验中元件的识别、命名及色环的标注。附录 C 给出了电路实验中常用仪表仪器的基本使用方法及注意事项。

本书的特点:

1. 在电路实验教材中,新加入了安全用电基本知识这一章节,对学生安全做实验起着重要的作用。
2. 本书把硬件操作实验分成基本实验部分和增强实验部分。对于一般学生只需完成基本实验部分;对于能力较强的学生,除完成基本实验部分外,还可以完成增强实验部分。这样既满足了一般学生,也满足了能力较强的学生进行电路实验的愿望,为他们今后的科研工作打下基础。
3. 本书的软件仿真中有大量针对电路实验的仿真实例,使学生在这些实例中领悟电路设计的思想及方法,为从事复杂的电子电路分析打下坚实的基础。

本书可作为高等院校理工科学生电路实验的教材,也可作为电气工程人员的参考书。

由于编者的水平有限和时间比较仓促,书中难免存在不妥之处,恳请使用本书的师生和读者批评指正,并提出修改建议,以便重印和修订时改正。

电子邮箱: sunhao625@yahoo.com.cn, singletan@163.com, chhel@sina.com。

编 者
2012 年 9 月

目 录

第 1 章 安全用电基本知识	1
1.1 触电事故的分析	1
1.2 触电伤害的种类及形式	2
1.3 防止触电事故发生的基本安全措施	4
1.4 电气设备的火灾预防	5
第 2 章 硬件操作实验	10
2.1 线性与非线性电路实验	10
2.2 直流电路中电位及电位差的测试	12
2.3 叠加原理及戴维南定理	16
2.4 提高功率因数及高通、低通滤波电路的研究	20
2.5 RLC 谐振电路研究	23
2.6 三相电路实验	27
2.7 电流源与电压源的等效变换	30
2.8 最大功率传输条件的测定	33
2.9 二端口网络与等效网络变换实验	36
2.10 受控源 VCVS、VCCS、CCVS、CCCS 的实验研究	40
2.11 一阶 RC 电路的暂态响应	45
2.12 单相变压器特性的测试	48
2.13 交流电路中频率对 R 、 L 、 C 元件的影响	53
第 3 章 软件仿真实验	57
3.1 Multisim 电路仿真软件简介及其应用	57
3.2 Multisim 的基本操作	73
3.3 仿真实验	74
附录 A 常用电工仪表结构原理简介及消除误差的方法	95
附录 B 常用电子元器件简介	104
附录 C 常用仪表仪器使用简介	111
参考文献	138

第1章 安全用电基本知识

电力给人类生活、学习带来了极大的便利,也给人们带来了温暖和幸福。但是如果应用不当,也会给人们带来麻烦和灾难。用电是一门科学,如何正确安全使用它,将是每位用电者必须掌握的。

1.1 触电事故的分析

电有它自己的特性,如果对它的特性缺乏了解,缺少电气基本知识,将造成触电事故的发生。据统计,大多数人身触电事故发生在低压电气设备(指工作在交流 1000 V 及以下与直流 1200 V 及以下的电气设备)中。由于低压电气设备(特别是 220 V、380 V 的电气设备)使用广、接触的人多,加上麻痹大意思想,因此很容易发生触电事故。

一、引起触电事故的客观原因

1. 触电事故与季节有关

据统计,每年的 6 月到 9 月是触电事故发生的高峰期,占全年总事故的比例较大。在这段时间内,由于天气炎热,用电设备如变压器、导线、开关、电动机等容易发热,损坏电气设备的绝缘物质。同时,这段时间内雷雨、台风、降水较多,气候潮湿,使家用电器、灯具、插头等因受潮而漏电,从而容易引起触电事故。

2. 触电事故与动力设备(包括引线)可靠性有关

动力设备在工厂、农村、家庭中广泛使用,如传输带、切割机、水泵、电钻等,都需要电动机拖动。电动机振动、旋转、发热等容易引起接线端导线脱落,接地线及保护电气设备的元件损坏等都可能引起触电伤亡事故。

3. 触电事故与家用电器设备大量增加有关

由于人们生活水平不断提高,家用电器设备越来越多,如空调、电脑、电冰箱、电视机、洗衣机、微波炉、电烤箱等逐年增加,屋内的插座、开关、灯具等随处可见,如果违规安装,维护不当,极易造成触电事故。

二、引起触电事故的主观原因

1. 违反电气安全工作制度, 违章作业

(1) 电工维修人员在作业中没有严格遵守电气安全工作制度。如拉下电闸后, 未在开关上挂上“有人工作, 不准合闸”的警示牌, 从而引起触电事故。

(2) 电气设备安装后, 没有认真检验, 引起电气设备发热、短路等, 从而造成触电事故。

(3) 忽视对电气设备接地线的检查, 如接地线脱落, 安装不规范, 从而引起电气设备外壳漏电, 发生触电伤亡事故。

2. 电气设备安装不合格

(1) 电气设备触电事故往往发生在电气设备安装不规范的情况下。如电气设备安装后, 没有测定绝缘性能或者绝缘性能不能达到标准要求, 从而发生触电事故。

(2) 电气设备安装时, 电气接线盒损坏或没有盖好, 或由于粗心大意, 错将相线接到插头、插座的接地桩头上, 使电气设备外壳带电, 也容易发生触电事故。

以上两种情况是发生触电事故的重要原因。

(3) 在架设电力线时, 该线与电话线和广播线距离太近, 一旦遇到大风、大雨或其他外力的作用, 发生碰线故障, 使电话线、广播线带上 220 V 交流电, 引起触电事故。

3. 缺乏安全用电常识, 维护不当, 随意乱接临时线

(1) 缺乏安全用电常识, 随意搬动受潮后的电气设备(包括家用电器)或浸水后的电气设备(包括家用电器), 由于水是导电物质, 受潮和浸水设备中的电流就会通过水这一导体流到人体上, 造成触电伤亡事故。

(2) 在使用移动式、携带式电动工具(如电钻、冲击钻)时, 没有采取防护措施, 由于电动工具外壳带电或电动工具电源线的绝缘物质磨损, 引起触电事故。

(3) 打扫卫生时用湿布擦灯具、开关、插座等电气设备, 由于湿布中的水分引起触电事故。

(4) 对家中的电气设备、电线、灯具及插座等不进行维护, 由于绝缘材料损坏而引起触电伤亡事故。

(5) 随意私拉乱接临时线, 在操作中容易损坏临时线的绝缘体。当临时线中的铜线(因绝缘物质损坏)碰到墙面、地面、潮湿的物体及金属物体时, 就会发生触电伤亡事故。

1.2 触电伤害的种类及形式

一、触电伤害的种类

触电伤害的种类主要分为电击和电伤两种。

1. 电击

电击是指电流通过人体时所造成的内伤。电流破坏人体心脏、肺部及神经系统，危及人的生命。如电流通过心脏可引起心室颤动，导致血液循环停止；电流通过胸部可使胸肌收缩，迫使呼吸停止；电流流过呼吸神经中枢，会导致呼吸停止。触电死亡事故中绝大部分是由电击造成的。

2. 电伤

电伤是指电流的化学、机械、热效应对人体造成的伤害。电伤常发生在人体的外部，在机体上留下伤痕。如触电人接触到铜、铅等物质，这些物质进入皮肤后，会使皮肤变粗糙、硬化。

二、触电伤害的形式

1. 单相触电

单相触电是指人体在地面或其他导电体上，人体某一部位碰到其中一相线的触电事故（见图 1-1），大部分触电事故都是单相触电。

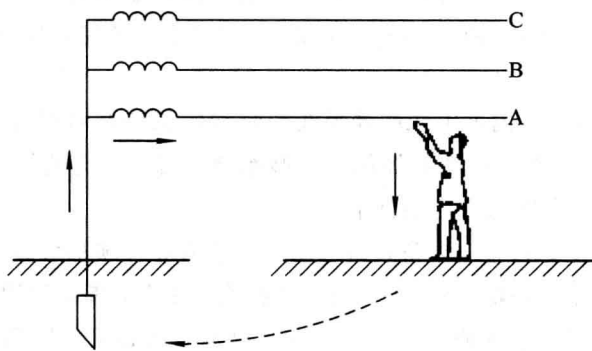


图 1-1 单相触电

2. 两相触电

两相触电是指人体同时碰到带电的两根相线，处于两相电源间，由于两根相线之间的电压为 380 V，所以这种触电事故后果往往很严重。

3. 跨步电压触电

当电气设备绝缘物质损坏或高压电网的电线断落地面后，在电线落地处的周围产生电压降，当人进入该区域时，由于两脚之间产生电压差（见图 1-2），从而引起跨步电压触电事故。

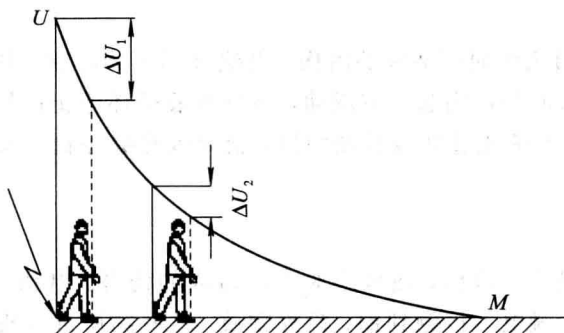


图 1-2 跨步电压触电

1.3 防止触电事故发生的基本安全措施

防止触电事故的基本原则是不让电流流过人体的任何部位,因此电气设备中用到大量的绝缘材料,如橡胶等。但是要注意的是,这些绝缘材料必须是干燥的,同时应根据电气设备的电压等级、运行条件、使用环境等情况,选用不同等级的绝缘材料,防止触电事故的发生。

(1) 对于电气设备,户内外电线的裸导线或母线需用绝缘材料加以封闭,使用装有连锁装置的遮栏,开关、灯具、熔断器等都需加装绝缘罩盖。所有绝缘材料需确保绝缘状态良好,绝缘的性能要符合国家规定的标准。

(2) 对于外壳是金属的电气设备,如电动机、电钻等必须加装良好的接地线,防止电气设备外壳带电。同时,在操作开关时,应戴橡胶绝缘手套,脚下使用绝缘垫等。对于某些电压较高的电气设备必须有明确的标示符,电气设备周围必须设置栅栏等阻挡物,以防止无意触及电气设备或接近电气设备。

(3) 加装漏电保护器作为补充防护。由于电气设备(包括家用电器),如电冰箱、洗衣机等都很潮湿,加装漏电保护器后,一旦电气设备外壳漏电,漏电保护器就能起到保护作用,避免悲剧发生。但是对漏电保护器也必须定期校验,以保证漏电保护器始终工作在正常状态。

(4) 使用安全电压。安全电压是指为了防止触电而采用特定电源供电的电压系列,如 36 V、24 V、12 V、6 V 等。根据不同的场合,在使用行灯、机床照明、手持电动工具等时,需根据电气标准要求,选用各种安全电压,以保证人身安全。

1.4 电气设备的火灾预防

一、日常电气用具的火灾预防

1. 电灯、日光灯的火灾预防

电灯泡上用纸做灯罩,很容易将纸烤焦而引起火灾。因为灯泡通电后,它的表面温度就会升高,灯泡功率越大,开灯的时间越长,温度就越高。根据测定:一只功率 60 W 的灯泡,表面温度为 $137^{\circ}\text{C}\sim 180^{\circ}\text{C}$;一只功率 200 W 的灯泡,表面温度为 $155^{\circ}\text{C}\sim 300^{\circ}\text{C}$;碘钨灯、汞灯、氙气灯,其表面温度可达 $500^{\circ}\text{C}\sim 800^{\circ}\text{C}$;而纸是很容易燃烧的物品,尤其是普通薄纸,在 130°C 左右就会起燃。因此,若用纸做灯罩,在这样的高温烘烤下,便会烤焦而起火,甚至点燃导线而发生火灾。若电灯泡过分靠近可燃物,例如,工厂、仓库里的木板、棉花、稻草等,家里的衣服、蚊帐等,舞台上的幕布等,都有可能引起火灾。如果把灯泡放进被窝里取暖,不但会起火,还会发生触电事故。

如果日光灯紧贴在天花板上,其镇流器所发出的热量散不出去,长时间过热就会引起火灾;或者烘热、烤焦积聚在镇流器上的木屑、纤维、灰尘及周围木板等可燃物,从而引起火灾。由于日光灯的接线绝缘材料损坏,造成碰线短路,也会发生火灾。

为防止电灯、日光灯引起火灾可采取下列措施:

(1) 安装电灯、日光灯必须适应周围环境的特点。例如:在有易燃、易爆气体的车间、仓库内,应安装防爆灯,或在屋外安装,通过玻璃窗口向房间内照明。室外照明应安装防雨灯具。

(2) 电灯泡与可燃物之间应保持一定的安全距离。电灯泡不得贴近可燃物。日光灯不要紧贴在天花板或草屋顶等可燃物表面上,日光灯镇流器上的灰尘应定期清扫。

(3) 不可使用纸灯罩,或用纸、布包灯泡,更不可把灯泡放在被窝里取暖。

(4) 电灯电线不要随便拆装,导线应有良好的绝缘层,防止损坏导线绝缘材料。发现导线、灯具损坏要及时修好。要装置熔断器或自动开关,以保证发生事故时能立即切断电源。

2. 电加热设备的火灾预防

电熨斗、电烙铁、电水壶、电饭锅、小电炉等都属于电加热设备。如果使用它们的时候不采取防火措施,稍有不慎,就会发生火灾。因为电加热设备,如电熨斗、电烙铁等表面温度为 $180^{\circ}\text{C}\sim 400^{\circ}\text{C}$,如果碰到可燃物,尤其是木材、纸张、棉布等,就会很快燃烧起来。

电加热设备引起火灾的原因有:

(1) 正在使用的电加热设备无人看管。

- (2) 电加热设备放在可燃物体上或易燃物附近。
- (3) 电加热设备的导线绝缘材料损坏及没有熔断器保护。
- (4) 电加热设备的电流超过导线的安全载流量。

防止电加热设备引起火灾,可采取下列措施:

(1) 正在使用的电加热设备必须要有人看管,人离开时必须切断电源,并把加热设备妥善放好。

(2) 每一个电加热设备在使用时,必须安放在不易燃烧、导热性差的基座上,远离易燃和可燃物。

(3) 电加热设备的导线绝缘材料损坏或没有插头,或电路中没有熔断器时,均不得使用。

(4) 导线的安全载流量必须满足电加热设备的容量要求。当电能表(电度表)及导线的容量能满足电加热设备的容量要求时,才可将电加热设备接入照明电路中。工业用的电加热设备,在任何情况下都要装置在单独的电路中。

二、低压线路的火灾预防

1. 线路的短路所引起的火灾预防

线路在短路时,由于它的阻抗急剧地减小,电流将迅速增加,通常比线路在正常工作时的电流大几十倍。线路中所产生的热量因和电流的平方成正比,因此线路在短路时间内将产生大量的热量,当这些热量不能立刻散发到周围空气中去时,温度就会很快升高,引起线路绝缘材料着火燃烧,甚至可使导线的金属熔化。

发生短路的主要原因如下:

(1) 线路的安装不正确。例如导线的类型与生产场所的特征不符合;导线穿过墙壁、楼板时未用瓷管保护;线路装置的导线在离地 2.5 m 以下处,未加保护而受到机械性的损伤;导线与导线间、导线与墙壁间的间隔不够,引起碰线、碰地的故障等。

(2) 对于线路的绝缘状况缺乏经常检查。导线的绝缘材料会因逐渐陈旧老化而破损脱落,金属线芯裸露出来,相互接触而形成短路。

(3) 导线的使用不正确。例如把导线成捆打结,导线在铁丝、铁钉上悬挂,导线在地上拖来拖去,导线不装插头,其裸露端直接插入插座使用等,均会立即引起短路或使绝缘材料受到破坏而发生短路。又如导线经常受热、受潮、受腐蚀或受压伤、轧伤以及受到过负荷的作用,都会使绝缘材料损坏而发生短路。

为防止短路造成火灾,可采取以下措施:

(1) 检查线路安装是否符合各项安全要求。例如导线的类型、熔断器的型号、规格、电气间距的大小等,都应符合安全要求,这是避免火灾危险的一项重要措施。

(2) 定期测量线路的绝缘状况。如果所测得的线路绝缘电阻的数值低于规定值,则表

示线路的绝缘有问题，一定要找出绝缘材料损坏的地方，并加以修理。

(3) 正确选择和导线截面相配合的熔断器。当线路发生短路时，保护线路的熔断器熔件应立即被短路电流所熔化，以切断电源，这样就不会引起导线的过热和它的绝缘层燃烧。

2. 导线过负荷的火灾预防

(1) 导线的截面积选择不当。如：电流负荷大而选用的导线截面积小。

(2) 在原有线路中任意接入用电设备，而没有相应增大导线的截面，也会引起过负荷。用电设备增加过多，导线中电流过大，使导线发热，从而使导线绝缘材料燃烧，甚至引起附近的易燃物品燃烧，造成火灾。

(3) 因线路或电气设备的绝缘材料损坏而发生严重的漏电或非金属性短路碰线的情况，会使通过导线的电流大大超过其容许电流，从而使导线严重过负荷。

(4) 熔断器的熔丝选用得不适当。如果熔丝选得太粗，当线路或电气设备严重过负荷时，熔丝就不会熔断，由于导线和电气设备的长期过负荷，必将损坏绝缘材料，引起火灾。

防止导线过负荷而引起的火灾，应采取下列措施：

(1) 根据用电负荷的大小，选用截面适当的导线；在原有线路上不得擅自增加用电设备。

(2) 线路和电气设备都应严格按照电气安装规程安装，不准随便乱装乱用，防止因绝缘材料损坏而发生漏电或短路事故。

(3) 经常监视线路的运行情况。如发现严重过负荷现象，应从线路中切除过多的用电设备，或将该导线的截面调大，以满足导线的安全载流量的要求。

(4) 保护线路或电气设备的保险丝或熔体要选择适当。一旦导线发生严重过负荷时，熔丝就会自动熔断，从而切断电流，防止火灾事故的发生。熔丝不能任意调粗，必须严加注意。

为了监视线路运行情况，可在线路开始的地方，在开关和熔断器的后面接入电流表，或用钳型电流表临时测量电流。将电流表读数和导线容许电流相比较，就可以判断出该线路是否过负荷。

3. 线路的个别部分接触电阻过大所引起的火灾和预防

导线与导线，导线与开关、熔断器、电灯、电动机等各种电气设备及测量仪表等连接的地方所形成的电阻，称为接触电阻。如果连接做得不好，导线与导线的接头不牢固，导线接到电气设备的接线端子没有用特殊的接头或没有接好、旋紧，连接处的接触电阻就会大大增加。在一定的电流通过时，电阻越大，产生的热量也就越大。因此有较大接触电阻的接头处就会发热，使温度迅速升高而引起导线的绝缘层燃烧，同时，在接触不好的地方还会产生电火花，使邻近的可燃物如木料、柴草、衣服等起火，造成火灾。

要防止因接触电阻过大引起的火灾,可采取以下措施:

(1) 连接导线时,必须将接触点导线的线芯擦干净,并按一定方法牢固绞合。然后在绞合地方用锡加焊,焊好后,再在裸露部分用绝缘包布包几层,包好扎牢。

(2) 导线接到开关、熔断器、电动机和其他电气设备上时,导线端必须焊上特制的接头放在设备的接线端上,加垫圈后再用螺帽旋紧。

(3) 经常对运行中的线路和设备进行巡视检查,如发现接头松动或发热,应及时处理。

三、电动机、变压器的火灾预防

1. 电动机的火灾预防

电动机由于被拖动的机械荷载过重或电网的电压降低,使电动机的出力降低、转速减小、电流增加;或电源回路中有一相断线时,电动机转速降低,而在其余的二相中电流将升高到正常工作时电流的 $\sqrt{3}$ 倍,使电动机过负荷,引起线圈温度升高或绝缘材料损坏,造成火灾。

电动机的定子线圈发生单相匝间短路、单相接地短路和相间短路时,都会使线圈局部过热,而使绝缘材料燃烧;在绝缘破损处,还可能由于对外壳放电而形成电弧和火花,引起绝缘层起火。

电动机轴承内的润滑油油量不足或润滑油很脏,会卡住转子;或电动机拖动的机器被杂物卡住不能转动,使电动机形成短路,电流大量增加,线圈过热而导致火灾。在接线端处,由于接线松动,接触电阻过大,产生高温或火花,引起绝缘体或附近可燃物燃烧。

电动机的维修工作做得不好,通风槽被粉尘或纤维物堵塞,破坏了散热条件,使线圈过热而造成火灾。

为了防止电动机发热起火,可采取下列措施:

(1) 安装电动机要符合防火安全要求。在潮湿、多灰尘的场所,应选用封闭型电动机;在比较干燥、清洁的场所,可选用防护型电动机;在易燃、易爆的场所,应采用防爆型电动机。

(2) 电动机应安装在非可燃性材料的基座上;电动机不允许安装在可燃材料结构内;电动机与可燃物应保持一定距离,周围不得堆放杂物。

(3) 每台电动机必须装置独立的操作开关和适当的热继电器作为过负荷保护。对容量较大的电动机,在三相电源线上宜安装指示灯。当发生一相断电时就能立即发现,防止二相运行。

(4) 电动机要经常检查维修,及时清扫保持清洁;润滑系统要保持良好状态;电刷要完整。

2. 变压器的火灾预防

变压器大多是油浸自然冷却式。这种油是石油的一种产品,闪点约为 140°C ,且易蒸

发燃烧，同空气混合能构成爆炸混合物。变压器油质量的好坏，与火灾危险性有很大关系，如油中含有杂质，会降低绝缘性能，导致绝缘材料被击穿，在油中发生火花和电弧，引起火灾。因此，对变压器油需有严格的质量要求。

油浸变压器发生火灾危险的主要原因有：

(1) 线圈绝缘材料损坏发生短路。同时，绝缘油因热分解，产生可燃性气体，与空气混合达到一定比例，形成爆炸性混合物，一旦遇到火花就会发生燃烧和爆炸。

变压器在检修过程中，误将高低压套管穿心螺栓转动，引起变压器内高低压线圈的引线和铜片同时转动，与箱壁相碰或相接近，使绝缘间隔太小，形成接地或相间短路，使高低压线圈起火。

(2) 连接处接触电阻过大，造成局部高温，使油燃烧或发生爆炸。

(3) 铁芯起火。由于硅钢片之间，或铁芯与夹紧螺栓间的绝缘材料损坏，引起涡流发热，造成铁芯起火，可使绝缘油分解并燃烧。

(4) 油中电弧闪弧。高低压线圈之间，线圈和变压器油箱壁之间以及瓷套管表面都可能发生闪弧。因为油中导体间距离太近，或绝缘油受潮和变脏、劣化变质，使油的绝缘强度降低，因此，发生电弧，使油燃烧；雷击过电压和操作过电压也会引起闪弧；变压器漏油，使油箱中的油面降低而减弱油流的散热作用，也会使变压器的绝缘材料过热和燃烧。

(5) 外部线路短路。由于人为的原因和自然灾害，例如砍树时误砸断架空线，大风刮倒树砸断架空线，风筝飘落在导线上，变压器瓷套管上爬上了蛇、鼠等小动物造成短路；另外，高低压熔断器选择不合理，故障时不能熔断，也可能造成变压器内部起火。

为了防止油浸变压器的火灾，可采取下列措施：

(1) 变压器上部油层温度达到或超过 85°C 时，表明变压器过负荷，应立即减负荷。若温度持续不断上升，则变压器可能内部有故障，应断开电源，进行检查。

(2) 装设继电保护装置。

(3) 变压器的设计安装要符合国家标准。如变压器应安装在耐火的建筑物内，并有良好的通风，变压器装在室内应有挡油设施或蓄油坑；装在室外其油量在 600 公斤以上时，应有卵石层作为储油池。两台变压器之间的蓄油坑应有防火隔墙，不能连通。

(4) 加强变压器的运行管理和检修工作。

第 2 章 硬件操作实验

2.1 线性与非线性电路实验

一、实验目的

- (1) 了解线性元件与非线性元件的伏安特性。
- (2) 掌握非线性元件的测量方法。
- (3) 掌握电工仪表及设备的使用方法。

二、实验预习要求

- (1) 正确理解线性与非线性元件的概念。
- (2) 掌握电阻、普通二极管、稳压二极管的概念及不同之处。
- (3) 写好实验预习报告。

三、实验内容与数据记录

在大多数电路中，主要由两种类型的元件组成，即线性元件和非线性元件。

本实验主要研究线性元件及非线性元件的伏安特性及如何减小仪表的测量误差。

(一) 基本实验部分

1. 线性元件的伏安特性测量

实验电路如图 2-1 所示。

调节稳压电源的输出电压 U ，使 R 两端的电压依次为表 2-1 中 U_R 所列值，记下相应的电流表读数，记入表 2-1 中。

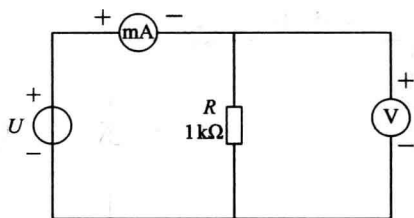


图 2-1 线性元件的伏安特性测量电路

表 2-1 线性元件的伏安特性

U_R/V	0	2	4	6	8	10
I/mA						

2. 非线性元件伏安特性的测量

电路如图 2-2 所示, 测量二极管正向伏安特性, R 为限流电阻。测量二极管的正向伏安特性时, 其正向电流不得过大。二极管 V_D 的正向压降 U_{VD+} 按表 2-2 所列取值, 将测量值记录于表 2-2 中。

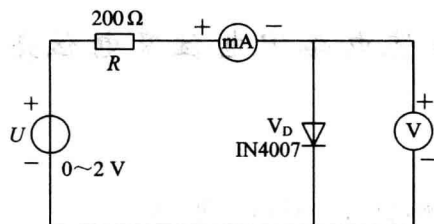


图 2-2 非线性元件的伏安特性测量电路

表 2-2 非线性元件的伏安特性

二极管	U_{VD+}/V	0.10	0.30	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75
	I/mA								
稳压二极管	U/V								
	U_{Z-}/V								
	I/mA								

如图 2-3 所示电路连线, 测量稳压二极管的反向伏安特性, $R=510\ \Omega$, 稳压电源的输出电压 U 从 $0\ \text{V}\sim 20\ \text{V}$, 测量稳压管两端的电压 U_{Z-} 及电流 I , 由 U_{Z-} 的变化情况可看出其稳压特性, 数据记录于表 2-2 中。

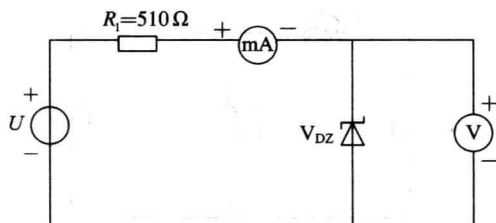


图 2-3 稳压二极管的伏安特性测量电路

(二) 增强实验部分

利用本实验台中的非线性电阻(小灯泡)作为测量对象,自己设计一个实验电路和测量数据表格,完成对非线性电阻(小灯泡)伏安特性的测量。

四、实验思考

- (1) 根据表 2-1、表 2-2 总结线性元件和非线性元件的伏安特性。
- (2) 画出电阻、二极管、稳压二极管的伏安特性曲线。
- (3) 图 2-2 电路中为什么要串入 $200\ \Omega$ 的电阻?

2.2 直流电路中电位及电位差的测试

一、实验目的

- (1) 在实验中,如何理解电压、电位的不同之处。
- (2) 理解电位的单值性、相对性及电位差的绝对性。
- (3) 学会制作直流电路中的电位图。

二、实验预习要求

- (1) 正确理解电位、电位差、电位参考点等概念。
- (2) 何谓电位的单值性、相对性及电位差的绝对性。
- (3) 什么是电路的电位图,它能说明哪些问题。
- (4) 写好实验预习报告。

三、实验内容与数据记录

电路中的电位参考点(即零电位点)一经选定,各点电位就只有一个固定的数值,这就是电位的单值性。如果将已给定电路中某点的电位升高某一数值,此时电路中其他各点的