

★ 服务热线: 400-615-1233
★ 配套精品教学资料包
★ www.huatengedu.com.cn

(第2版)

汽车电工电子技术

QICHE DIANGONG DIANZI JISHU

汽车电工电子技术(第2版)

主编 翟秀军

北京邮电大学出版社



X-B

ISBN 978-7-5635-6237-4



9 787563 562374 >

定价: 59.80元

策划编辑: 马子涵
责任编辑: 马子涵
封面设计: 刘文东



“十四五”职业教育国家规划教材

(第2版)

汽车 电工电子技术

QICHE DIANGONG DIANZI JISHU

主编 翟秀军

工匠精神培育与教材内容深度融合
按照企业工作流程, 校企双元开发



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本书是“十四五”职业教育国家规划教材。本书共分为八个项目,项目一为汽车配线、电子连接器及保护装置,项目二为汽车直流控制电路,项目三为汽车交直流电路,项目四为汽车执行器与控制,项目五为汽车电子及计算机基础,项目六为汽车电动门窗升降器,项目七为汽车喇叭电路及变压器,项目八为新能源电动汽车高压安全防护基础。

本书可作为高职高专及职业本科院校汽车类相关专业的教材,也可作为汽车电工电子方面的爱好者与相关技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

汽车电工电子技术 / 翟秀军主编. -- 2 版. -- 北京: 北京邮电大学出版社, 2020. 11(2025. 7 重印)
ISBN 978-7-5635-6237-4

I. ①汽… II. ①翟… III. ①汽车—电工技术—高等职业教育—教材 ②汽车—电子技术—高等职业教育—教材 IV. ①U463. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2020)第 210576 号

策划编辑: 马子涵 责任编辑: 马子涵 封面设计: 刘文东

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号

邮政编码: 100876

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt. edu. cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 三河市龙大印装有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 23. 25 插页 1

字 数: 481 千字

版 次: 2020 年 11 月第 2 版

印 次: 2025 年 7 月第 9 次印刷

ISBN 978-7-5635-6237-4

定 价: 59. 80 元

• 如有印装质量问题, 请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

服务电话: 400-615-1233

第2版前言

P R E F A C E

《汽车电工电子技术（第2版）》是编者根据多年的教学经验、科研成果，按照教学大纲的要求编写的。依据“教材是学校教育教学、推进立德树人的关键要素，是国家意志和社会主义核心价值观的集中体现，是解决”培养什么人，怎样培养人，为谁培养人“这一根本问题的核心载体”，本书第2版在第1版的基础上增加了“‘课程思政’经典教学案例设计”，供教学组织者参考展开教学；同时与企业合作增加了实验实训环节微视频并融入教材中。本书利用多种呈现形式，将“互联网+”思维融入教材中，以二维码的形式加以展现，传统与创新相融合，理论与实践相统一，微视频随时随地观看学习；将“1+X”证书通融引入教材，相应项目后添加“* 获取职业技能证书相关联内容资讯”，可通过扫描二维码获取项目涉及汽车维修工证书相关资讯。在知识内容上，第2版增加了新能源电动汽车高压安全防护基础相关内容。

本书的特点是集教程、练习、学习笔记、实训计划、实训实施、课程评价于一体，充分体现学生的学习主体地位，注重基本职业素养的培养，内容系统完整，讲解深入浅出。编者还为本书的每个学习任务实施设计了教学组织、职责分工、6S要求、评价与反馈、问题与练习等环节，作为学生学习、分析、自测、评价的辅助内容。

本书具有以下特点：

1. 编写模式新颖。本书结合高等职业教育的特点，适应先进制造业发展，贯彻“以服务为宗旨，以就业为导向”的职业教育方针，打破“章、节”编写模式，采用项目式教学体系，以学习任务为主线进行授课内容的衔接，针对教学内容、学习目标、应用能力的培养等进行了系统的筹划。知识内容随着项目学习任务的需要而被打散，学习内容精而不繁。学习过程中以任务导入、内容引导、任务实施为主线，通过引导问题等环节加深学生对学习内容的理解。

2. 建立了以“工作项目为引导，工作任务进行驱动，行动体系为框架”的教材体系。教学中采用工作手册式教材，教材紧紧围绕着学生关键能力的培养组织教材的内容，集教程、练习、学习笔记、实训计划、实训实施、课程评价于一体，充分体现学生是学习的主体，注重基本职业素养的培养，内容系统完整，讲解深入浅出。

3. 在项目内容的选取上,以任务围绕项目,由易到难,层层分解,帮助学生掌握和理解项目实施中的核心知识点,注重“做、学、教”的密切结合和学生在技能训练方面的能力培养。为便于读者阅读理解和考核需要,本书的每个学习任务实施均有教学组织、职责分工、6S(安全、整理、整顿、清洁、清扫、素养)要求、评价与反馈、问题与练习等环节,作为读者学习、分析、自测、评价的辅助内容。针对学生的实际情况,对不同水平的学生要求不同,力求达到因材施教、分层教学的目的。

本书共分为八个项目,各个项目的参考学时如下。

项 目	学习任务	参考学时
汽车配线、电子连接器及保护装置	一、汽车配线	10
	二、电子连接器	
	三、汽车电路保护元件	
	四、汽车电路断路器、电子开关和继电器	
汽车直流控制电路	一、电路的组成与电流的作用	18
	二、电路的特性参数与测量	
	三、汽车电路基础	
	四、汽车常用仪器仪表的使用	
汽车交直流电路	一、交流发电机认知	16
	二、二极管及其整流电路	
	三、电容、电感及交直流变换电路	
汽车执行器与控制	一、三极管及其控制电路	28
	二、三极管及其放大电路	
	三、音频信号放大电路	
	四、集成运算放大器及其应用	
汽车电子及计算机基础	一、数制、编码及常用基本门电路	28
	二、组合逻辑电路及其在汽车上的应用	
	三、触发器	
	四、时序逻辑电路	
	五、555 定时器及其在汽车上的应用	
汽车电动门窗升降器	一、直流电动机	12
	二、步进电动机	
	三、汽车电动门窗升降器的制作	
汽车喇叭电路及变压器	一、磁场特征基本物理量	12
	二、电磁铁	
	三、变压器	
	四、继电器	
	五、汽车喇叭电路的连接	



续表

项 目	学习任务	参考学时
新能源汽车高压安全防护基础	一、高压电基础知识	16
	二、个人安全防护规范	
	三、高压维修场地安全规范	
	四、高压工具及设备	
总计		140

本书由天津中德应用技术大学翟秀军副教授任主编，刘晓明任副主编。翟秀军编写项目一至项目五；刘晓明编写项目六至项目八。

在本书的编写过程中，编者得到了天津中德应用技术大学及诸多行业企业专家、教授、技术人员的热情帮助与支持，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在一些错误和缺点，恳请广大读者批评指正。

编 者

第1版前言

P R E F A C E

随着我国高等职业教育的发展以及职业教育课程体系的内涵建设和改革的不断深入,我们编写了《汽车电工电子技术》一书,作为高职高专及职业本科的教材。本书打破了传统学科体系下教材的模式,以职业能力培养为主线,突出知识和能力的综合培养。本书作为职业能力课程中的基础平台课程,重点突出了知识的核心性和职业能力的应用性,为后续汽车电气系统、汽车电控系统等课程的学习奠定了良好的基础。

本书结合高等职业教育的特点,采用项目式教学体系,以学习任务为主线进行授课内容的衔接,针对教学内容、学习目标、应用能力的培养等进行了系统的筹划。知识内容随着项目学习任务的需要而被打散,学习内容精而不繁。整个学习过程中以**任务导入、内容引导、任务实施为主线**,通过引导问题等环节加深学生对学习内容的理解。本书的特点是**集教程、练习、学习笔记、实训计划、实训实施、课程评价于一体**,充分体现学生是学习的主体,注重基本职业素养的培养,内容系统完整,讲解深入浅出。编者还**为本书的每个学习任务实施编写了教学组织、职责分工、6S要求、评价与反馈、问题与练习**等环节,作为学生学习、分析、自测、评价的辅助内容。此外,编者还为授课教师提供了配套的教学电子课件、问题与练习答案等。通过对本书的学习,学生能更好地掌握汽车电工电子技术知识和典型应用。

本书共分为七个项目,各个项目的参考学时如下。

项 目	学习任务	参考学时
汽车配线、电子连接器及保护装置	一、汽车配线	10
	二、电子连接器	
	三、汽车电路保护元件	
	四、汽车电路断路器、电子开关和继电器	
汽车直流控制电路	一、电路的组成与电流的作用	18
	二、电路的特性参数与测量	
	三、汽车电路基础	
	四、汽车常用仪器仪表的使用	

续表

项 目	学习任务	参考学时
汽车交直流电路	一、交流发电机认知	16
	二、二极管及其整流电路	
	三、电容、电感及交直流变换电路	
汽车执行器与控制	一、三极管及其控制电路	28
	二、三极管及其放大电路	
	三、音频信号放大电路	
	四、集成运算放大器及其应用	
汽车电子及计算机基础	一、数制、编码及常用基本门电路	28
	二、组合逻辑电路及其在汽车上的应用	
	三、触发器	
	四、时序逻辑电路	
	五、555 定时器及其在汽车上的应用	
汽车电动门窗升降器	一、直流电动机	12
	二、步进电动机	
	三、汽车电动门窗升降器的制作	
汽车喇叭电路及变压器	一、磁场特征基本物理量	12
	二、电磁铁	
	三、变压器	
	四、继电器	
	五、汽车喇叭电路的连接	
总计		124

本书由天津中德应用技术大学翟秀军副教授任主编，刘晓明任副主编，万博科技职业学院叶永辉参与编写，翟秀军负责全书的整体策划和统稿工作。具体编写分工为：翟秀军编写项目一，项目二的学习任务一、学习任务二、学习任务四，项目三至项目五；刘晓明编写项目六，项目七；叶永辉编写项目二的学习任务三。

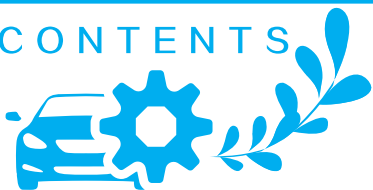
在本书的编写过程中，编者得到了天津中德应用技术大学领导的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在一些错误和缺点，恳请广大读者批评指正。

编 者

目录

CONTENTS



绪论 “课程思政”经典教学案例设计 1

项目一 汽车配线、电子连接器及保护装置 3

- 学习任务一 汽车配线 4
- 学习任务二 电子连接器 11
- 学习任务三 汽车电路保护元件 17
- 学习任务四 汽车电路断路器、电子开关和继电器 23

项目二 汽车直流控制电路 32

- 学习任务一 电路的组成与电流的作用 33
- 学习任务二 电路的特性参数与测量 39
- 学习任务三 汽车电路基础 54
- 学习任务四 汽车常用仪器仪表的使用 66

项目三 汽车交直流电路 84

- 学习任务一 交流发电机认知 85
- 学习任务二 二极管及其整流电路 98
- 学习任务三 电容、电感及交直流变换电路 122

项目四 汽车执行器与控制 138

- 学习任务一 三极管及其控制电路 139
- 学习任务二 三极管及其放大电路 158

学习任务三	音频信号放大电路	184
学习任务四	集成运算放大器及其应用	191

项目五 汽车电子及计算机基础 210

学习任务一	数制、编码及常用基本门电路	211
学习任务二	组合逻辑电路及其在汽车上的应用	224
学习任务三	触发器	242
学习任务四	时序逻辑电路	253
学习任务五	555 定时器及其在汽车上的应用	263

项目六 汽车电动门窗升降器 274

学习任务一	直流电动机	275
学习任务二	步进电动机	285
学习任务三	汽车电动门窗升降器的制作	291

项目七 汽车喇叭电路及变压器 302

学习任务一	磁场特征基本物理量	303
学习任务二	电磁铁	309
学习任务三	变压器	313
学习任务四	继电器	319
学习任务五	汽车喇叭电路的连接	324

项目八 新能源电动汽车高压安全防护基础 334

学习任务一	高压电基础知识	335
学习任务二	个人安全防护规范	341
学习任务三	高压维修场地安全规范	348
学习任务四	高压工具及设备	356

附录 363

附录 1	任务要求	363
附录 2	评价与反馈	363

参考文献 364

绪论 “课程思政”经典教学案例设计

课程名称	汽车电工电子技术	开课部门	
课程类型	理论()/实践()/理实一体(√)	授课教师	
课程层次	本科() / 高职(√)	学分/学时	
结合章节	首次课程： 实训室安全管理教育 1. 汽车配线、电子连接器及保护装置 1.1 汽车配线 1.2 电子连接器 1.3 汽车电路保护元件 1.4 汽车电路断路器、电子开关和继电器		
课程背景	以下课程背景适用全课程教学案例设计，具体章节可加入各自特点展开： 该门课程是为高职汽车制造专业设计的。总体思路是：以汽车制造专业学生的就业为导向，按照以能力为本位，以职业实践为主线，以项目课程为主体的专业课程体系的总体设计要求，分析汽车制造专业所涵盖的岗位任务和职业能力，结合学生的认知特点，确定本课程的工作任务和课程内容。课程内容以够用为度，以实操案例为载体适当加以拓展，灌输及时、高质量为客户排忧解难，服务他人快乐自己，为人民服务的思想。教学过程中始终围绕以下几点展开： 1. 倡导爱国、敬业、诚信、友善价值准则，培养学生学会学习、学会做事、学会做人。 2. 通过解决实际工作任务向学生介绍学习 6S 管理，调高工作成效，提高学生的学习兴趣； 3. 通过大国工匠案例学习，初步养成为人民服务良好的职业习惯和一丝不苟的工作作风； 4. 培养与人交流、合作、协调的能力； 5. 养成对学习和工作进行总结与反思的良好习惯； 6. 养成正确的对待压力，正确对待批评与表扬的良好心态。		
案例主题	工匠精神即对所做的工作的执着、对所生产的产品的精益求精、精雕细琢的精神和职业担当；没有规矩不成方圆；引导学生倡导爱国、敬业、诚信、友善价值准则，培养学生学会学习、学会做事、学会做人——学习雷锋的钉子精神，“时间是挤出来的”，见缝插针随时随地学习新知识，安排好自己的学习、工作和生活；向雷锋学习，每颗螺丝钉都有自己的作用，做好永不生锈的螺丝钉；学习 6S 管理理念，调高工作成效，为国家制造业强盛做好技术储备；注重学生职业素养的培养，弘扬工匠精神。 介绍汽车行业领军人物：车辆维修高级工程师成长经历案例，20 世纪 90 年代初，率先提出“汽车医生”的理念，积极推动汽车诊断技术的研究与发展工作，在国内汽车维修业影响甚广。国人当自强，坚定“四个自信”。		

续表

实施过程	教学过程: ①从实训室安全管理教育讲起,让学生认识到没有规矩不成方圆。引导学生倡导爱国、敬业、诚信、友善价值准则,培养学生学会学习、学会做事、学会做人。 ②从我国汽车行业标准谈起,“不管多大官、都坐4个圈”谈总书记视察上汽,要求公务用车都要用国产车—国人当自豪;当下发展民族汽车工业正当其时。激发学生以中国劳动人民的智慧为骄傲的爱国主义情怀。 ③汽车电器设备完整电路有一系列基础元件组成,每个基础元件都有自己的作用,接着引出“学习雷锋好榜样,在普通的工作岗位上扎扎实实工作、做好永不生锈的螺丝钉”的故事。 ④培养良好的学习方法:安排好学习、工作和生活,学会利用好时间学习知识,“从雷锋的钉子精神——时间都是挤出来的”谈起。 ⑤结合电器元件布置和线束连接,强化学生质量意识,总结和学习6S管理理念,为国家制造业强盛做好技术储备,弘扬工匠精神。 ⑥课程小结处引入汽车行业领军人物:车辆维修高级工程师成长经历,20世纪90年代初,率先提出“汽车医生”的理念,积极推动汽车诊断技术的研究与发展工作,在国内汽车维修业影响甚广。国人当自强,坚定“四个自信”。
课程教学改革成效	一、可取之处 1. 理实一体化教学,做中学、学中做,学生容易理解; 2. 积极引导,对于学生提出的问题及时解决,避免问题堆积; 3. 针对不同水平的学生,因材施教。 二、需要改进 1. 对于应用型人才培养,学习情境尤为重要,建议进一步更新、完善教学设施; 2. 在教学过程中应该注重培养学生的主动性、积极沟通的意识以及团队协作的精神; 3. 要重视对学生6S管理理念的灌输,要注重学生职业素养的培养; 4. 通过专业知识介绍,培养学生的兴趣; 5. 加强对大学生人生观、世界观的引导—脚踏实地与仰望星空。 三、教学评析 单个案例很难引起学生共鸣,需要教学环节环环相扣、见缝插针,由近推远,脚踏实地培养学生爱校、爱岗、爱业、爱国情怀。



项目三

汽车交直流电路



项目描述

发电机是汽车电气系统的主要电源,由汽车发动机驱动。发电机正常工作时,对除起动机以外的所有用电设备供电,并补充蓄电池在使用中所消耗的电能。汽车在很多辅助设备开启时行驶,蓄电池的电能就会耗尽,更换了蓄电池,但行驶几个小时后故障重新出现,是什么原因?本项目介绍汽车交直流电路基础知识、基本电路组成和工作原理、电路相关参数及检测方法以及典型充电系统电路,为后续课程打下坚实的基础。



学习任务一 交流发电机认知



任务引入

知识目标

- 了解正弦交流电的产生原理；
- 认识正弦量的基本特征和正弦量的相量表示；
- 掌握正弦量的三要素。

技能目标

- 掌握正弦量的三种表示方法；
- 掌握交流发电机的工作特性；
- 掌握交流发电机主要构成元件的内部结构特点。

素质目标

- 规范课堂 6S 管理；
- 养成团队协作的好习惯；
- 养成独立思考问题的好习惯。

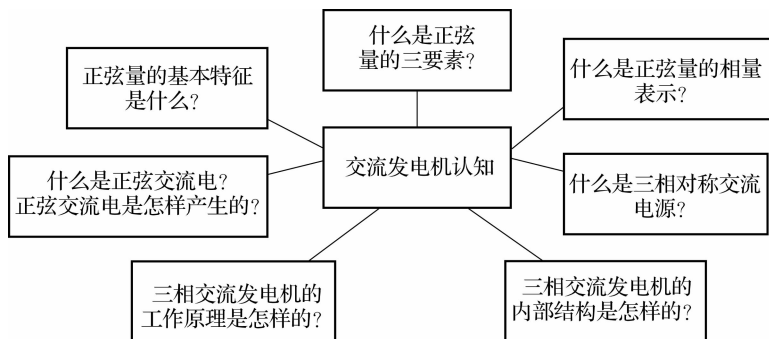


任务导入

在现代汽车中普遍采用的是交流发电机,这是因为交流发电机能在更低的发动机转速下产生足量的电流。当电气附件载荷高而发动机在低速运转时,导体切割磁场的速度是非常重要的。交流发电机产生的是正弦交流电,什么是正弦交流电?你知道交流发电机的内部结构吗?汽车交流发电机如何把交流电变换成直流电?



内容引导



引导问题 1 什么是正弦交流电? 正弦交流电是怎样产生的?

如图 3-1-1 所示,匀强磁场中放一可以绕固定转动轴转动的单匝线圈 $abcd$,当线圈在外力作用下在磁场中以角速度 ω 匀速转动时,线圈的 ab 边与 cd 边切割磁力线,线圈中产生感应电动势,如果线圈是闭合的则在回路中产生感应电流。 ad 边与 bc 边由于不切割磁力线而不产生感应电动势。

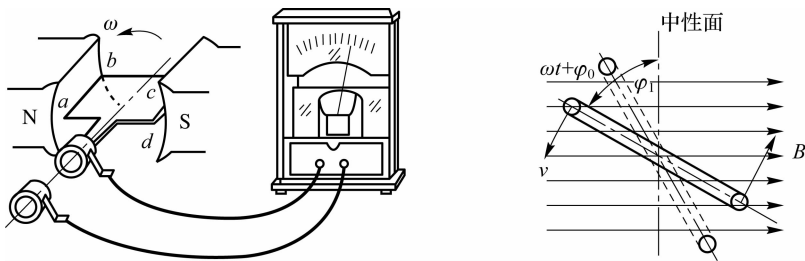


图 3-1-1 正弦交流电的产生

随着时间按照正弦规律变化的电流或电压称为正弦交流电流或正弦交流电压,统称为正弦交流电,其波形如图 3-1-2 所示。

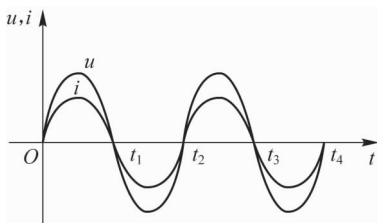


图 3-1-2 正弦交流电

注意:为区别直流电量,交流电量一般用小写字母表示。

引导问题 2 正弦量的基本特征是什么?

正弦交流电压、正弦交流电流及正弦交流电动势等物理量统称为正弦交流量,简称正弦量。每一个正弦量都具有如下共同的基本特征。

1. 瞬时值、最大值和有效值

(1)瞬时值。任意时刻正弦量所对应的值称为瞬时值,用小写字母表示,如 e 、 u 、 i 等。

(2)最大值。正弦量最大的瞬时值称为最大值(或称峰值、振幅),用大写字母加下标 m 表示,如 E_m 、 U_m 、 I_m 等。

(3)有效值。正弦量的有效值是根据交流电流和直流电流热效应相等的原则确定的,用大写字母表示,如 E 、 U 、 I 等。有效值与最大值通过计算有如下关系。

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \approx 0.707 E_m, U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \approx 0.707 U_m, I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \approx 0.707 I_m$$

2. 周期、频率和角频率

(1)周期。周期是正弦量变化一次所需要的时间(s),用字母 T 表示。

(2)频率。频率是正弦量在单位时间内变化的次数,用字母 f 表示。



周期与频率的关系为

$$f = \frac{1}{T}$$

(3)角频率。角频率是正弦量 1 s 内变化的电角度,用字母 ω 表示。

角频率与周期及频率的关系为

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

电网频率:我国的电网频率为 50 Hz,美国、日本等国家的电网频率为 60 Hz。

3. 相位、初相位和相位差

关于相位的定义介绍如下。

(1)相位。相位即正弦量表达式中的角度。

(2)初相位。初相位是 $t=0$ 时的相位。

(3)相位差。相位差是两个同频率正弦量的相位之差,其值等于它们的初相之差。如

$$u = U_m \sin(\omega t + \theta_u), i = I_m \sin(\omega t + \theta_i)$$

则相位差为

$$\varphi = (\omega t + \theta_u) - (\omega t + \theta_i) = \theta_u - \theta_i$$

当 $\varphi=0$ 时, u 与 i 同相;当 $\varphi>0$ 时, u 超前 i (或 i 滞后 u);当 $\varphi=\pm\pi$ 时, u 与 i 反相;当 $\varphi=\pm\frac{\pi}{2}$ 时, u 与 i 正交。

引导问题 3 什么是正弦量的三要素?

以正弦电流为例,设其表达式为

$$i = I_m \sin(\omega t + \theta_i)$$

在正弦电流的表达式中, I_m 是最大值(幅值),决定大小; ω 是角频率,决定变化的快慢; θ_i 是初相位,决定初始值($t=0$)。最大值(幅值)、角频率和初相位称为正弦量的三要素。

引导问题 4 什么是正弦量的相量表示?

以坐标原点为端点作一条有向线段,线段的长度为正弦量的最大值,相量的起始位置与 x 轴正方向的夹角为正弦量的初相位,它以正弦量的角频率为角速度,绕原点逆时针匀速转动,则在任何一瞬间,相量在纵轴上的投影就等于该时刻正弦量的瞬时值,如图 3-1-3 所示。

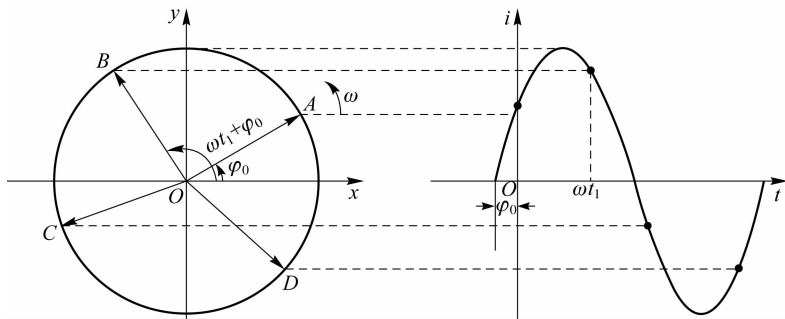


图 3-1-3 正弦量的瞬时值

用相量表示电动势、电压、电流为 $\dot{E}_m$ 、 $\dot{U}_m$ 、 $\dot{I}_m$ 或 $\dot{E}$ 、 $\dot{U}$ 、 $\dot{I}$ 。

图 3-1-4 所示为正弦量的三角函数式与相量的表达方式关系。

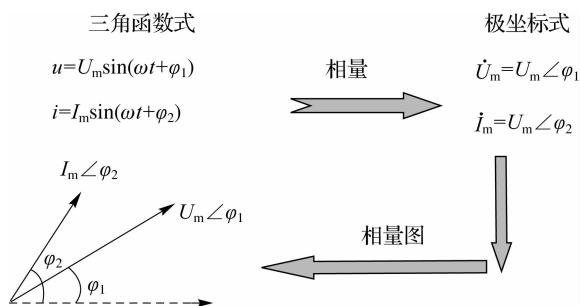


图 3-1-4 正弦量的三角函数式与相量的表达方式关系

注意: (1) 只有正弦量才能用相量表示, 相量不能表示非正弦量。

(2) 相量只是表示正弦量, 而不等于正弦量。

(3) 只有同频率的正弦量才能画在同一相量图上, 不同频率的正弦量不能画在同一个相量图上, 否则无法比较与计算。

(4) 相量的加、减运算服从平行四边形法则。

引导问题 5 什么是三相对称交流电源? 三相交流发电机的内部结构是怎样的?

1. 三相对称交流电源

对称的三相交流电源是由 3 个同频率、同振幅、初相位互差 120° 的正弦电源, 按一定方式(星形或三角形)联结组成的供电系统, 如图 3-1-5 所示。

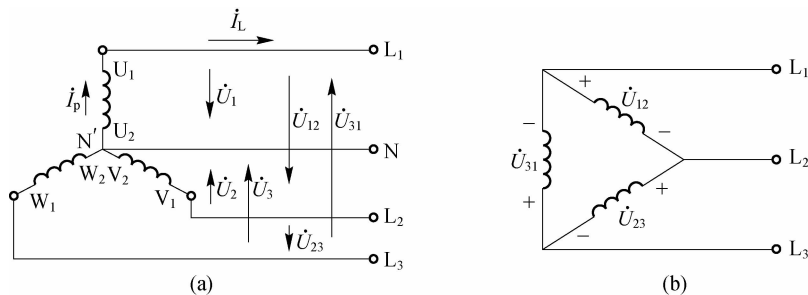


图 3-1-5 对称交流电源的星形联结和三角形联结

2. 三相交流发电机的内部结构

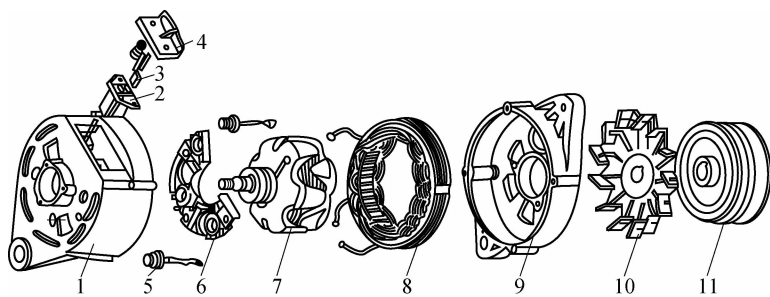
三相交流发电机是汽车的主要电源, 其功能是在发动机的转速高于怠速转速时, 向起动机以外的用电设备供电, 同时向蓄电池充电。按总体结构不同, 交流发电机可分为普通式和整体式两种。普通式是指交流发电机和整流器集成在一起组成的发电机系统, 而整体式交流发电机是由交流发电机、整流器和电压调节器集成在一起组成的发电机系统。因为二者的基本组成是相同的, 因此为简单起见, 此处以普通式交流发电机为例进行讨论。

汽车交流发电机主要由转子、定子、整流器和整流板(又称元件板、散热板)、前后端盖、电刷装置、风扇等组成。图 3-1-6 所示为国产 JF 系列硅整流发电机的结构图。



拓展

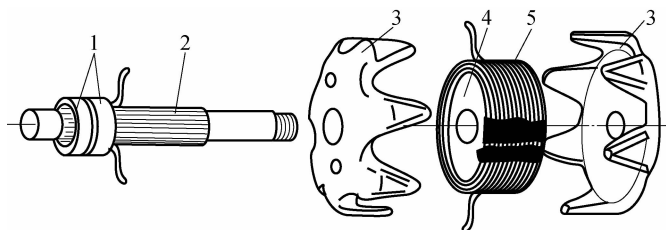
交流发电机的
安装步骤



1—后端盖；2—电刷架；3—电刷；4—电刷弹簧压架；5—硅二极管；6—整流板；
7—转子；8—定子总成；9—前端盖；10—风扇；11—带轮。

图 3-1-6 国产 JF 系列硅整流发电机的结构图

(1)转子。转子是发电机的磁极部分,其作用是产生磁场,由爪极、励磁绕组(磁场绕组)、转轴、滑环等组成,如图 3-1-7 所示。



1—滑环；2—转轴；3—爪极；4—铁心；5—励磁绕组。

图 3-1-7 转子结构图

①爪极。爪极有 2 块,每块有 6 个鸟嘴形磁极,装在转轴上。

②励磁绕组。励磁绕组绕在铁心上,铁心压装在 2 块爪极之间的转轴上。

③滑环。滑环由相互绝缘的 2 个铜环组成,压装在转轴一端并与转轴绝缘。励磁绕组的两端分别从内侧爪极的 2 个小孔中引出,分别焊接在内、外侧滑环上,两个铜环分别与发电机的 2 个电刷接触。当两个电刷与直流电源接通时,励磁绕组便有电流通过,并产生轴向磁通,使一块爪极磁化为 N 极,另一块磁化为 S 极,形成 6 对相互交错的磁极,如图 3-1-8 所示。

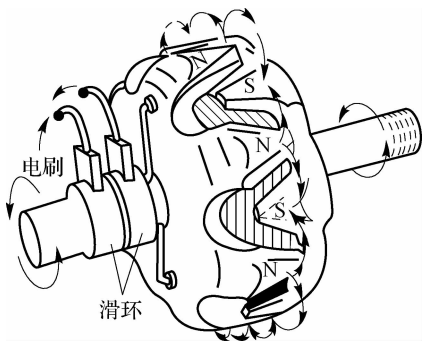


图 3-1-8 转子滑环

(2)定子。定子是发电机的电枢部分,其作用是产生三相交流电动势,由铁心和三相电枢绕组组成,如图 3-1-9 所示。

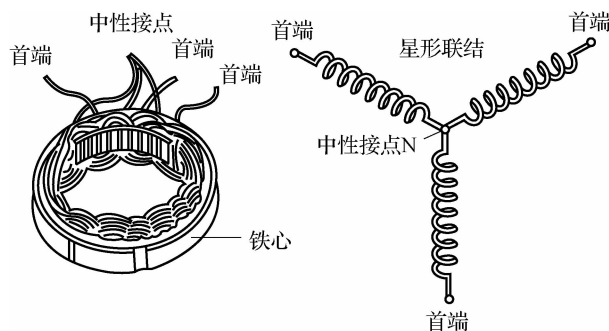


图 3-1-9 交流发电机的定子结构

①铁心。铁心由环状硅钢片叠成,内圆开槽,放置三相电枢绕组。

②三相电枢绕组。三相电枢绕组为对称绕组,连成星形并引出 4 个端子,三相绕组各引一个,中性点引出一个。

(3)整流器。整流器的作用是将电枢绕组产生的三相交流电变换为直流电,一般由 3 只正极管和 3 只负极管组成,如图 3-1-10 所示。

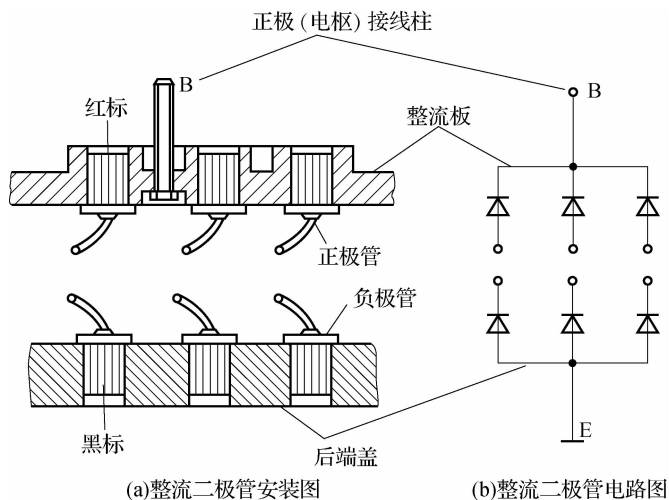


图 3-1-10 整流器

①正极管。正极管的引出极是正极,管壳为负极,管壳底部涂有红色标记。在负极搭铁的交流发电机中,3 只正极管的负极压装在整流板的座孔内,组成发电机的正极,正极接线柱用“B”(“+”“电枢”)标记。

②负极管。负极管的引出极是负极,管壳为正极,管壳底部涂有黑色标记。3 只负极管的正极压装在后端盖的座孔内,组成发电机的负极,标记为“E”(“-”)。

将 3 只正极管的正极与 3 只负极管的负极一一对应连接,就组成了三相桥式整流电路,如图 3-1-11 所示,它能把三相绕组的交流电变换为 12 V 的直流电。

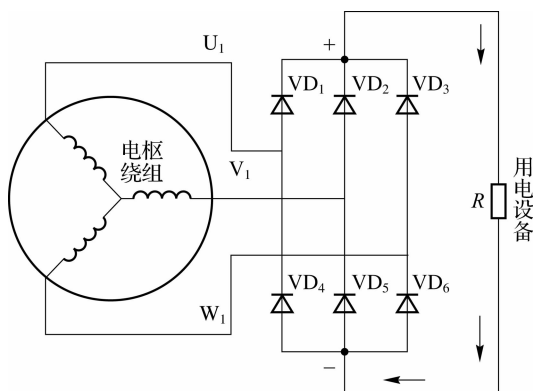


图 3-1-11 三相桥式整流电路

(4)前后端盖与电刷装置。

①前后端盖。前后端盖一般由铝合金铸成,因为铝合金为非导磁材料,可减少漏磁,并具有质量轻、散热性好的优点。在前后端盖的轴承孔内嵌有钢套,以提高轴承孔的机械强度和耐磨性。

②电刷装置。电刷装置安装在后端盖上,作用是将外电源引入转子绕组,使转子绕组中有电流流过,包括电刷、电刷架和电刷弹簧。电刷装在电刷架内,靠弹簧的压力与转子轴上的滑环保持接触,为发电机的励磁绕组提供电流。电刷与电刷架的结构有外装式和内装式两种,如图 3-1-12 所示。

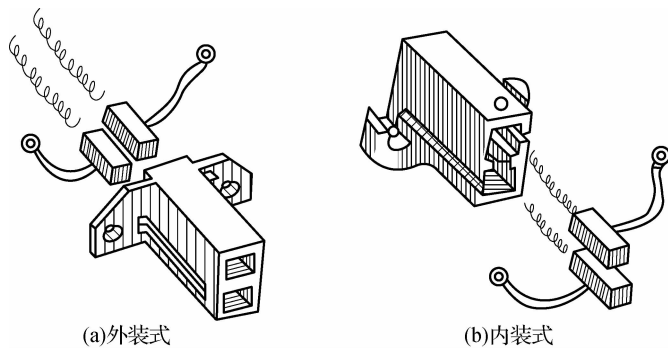


图 3-1-12 电刷与电刷架的结构

(5)风扇。风扇一般用 1.6 mm 厚的钢板冲制或用铝合金压铸而成,并用半圆键装在前端盖外侧的转轴上。

(6)传动带轮。传动带轮通常用铸铁或铝合金制成,分为单槽和双槽两种,利用风扇的半圆键装在风扇外侧的转轴上,再用弹簧垫片和螺母紧固。

引导问题 6 三相交流发电机的工作原理是怎样的?

1. 三相交流电动势的产生

由蓄电池经电刷通过滑环将直流电压加至转子绕组,于是转子绕组产生轴向磁场,两个爪极得到磁化,一块爪极为 N 极,另一块爪极为 S 极。发动机通过带轮带动转子旋转,产生旋转

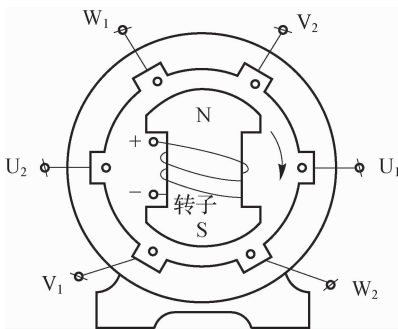


图 3-1-13 三相交流电动势的产生

磁场。三相绕组在旋转磁场中做切割磁力线运动，产生三相电动势。由于三相绕组是对称的，所以产生的电动势也是对称电动势，如图 3-1-13 所示。

U、V、W 三相的交流电动势瞬时值可表示为

$$e_U = E_m \sin \omega t = \sqrt{2} E \sin \omega t$$

$$e_V = E_m \sin(\omega t - 120^\circ) = \sqrt{2} E \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$e_W = E_m \sin(\omega t - 240^\circ) = \sqrt{2} E \sin(\omega t - 240^\circ)$$

式中， $E = 4.44 K f N \Phi$ ， K 为绕组系数； $f = pn/60$ ， p 为磁极对数， n 为发电机转速； N 为每相绕组的匝数； Φ 为每极磁通。

2. 整流原理和过程

在交流发电机中，整流器是利用硅二极管的单向导电性能进行整流的。在图 3-1-14(a) 所示的三相桥式全波整流电路中，3 个正二极管的正极引出线分别同三相绕组的首端相连，在某一瞬间，只有与电位最高的一相绕组相连的正二极管导通。同样，3 个负二极管的引出线也同三相绕组的首端相连，在同一瞬间，只有与电位最低的一相绕组相连的负二极管导通。三相交流电动势如图 3-1-14(b) 所示。这样反复循环，6 只二极管轮流导通，在负载两端便得到一个较平稳的脉动直流电压，如图 3-1-14(c) 所示。

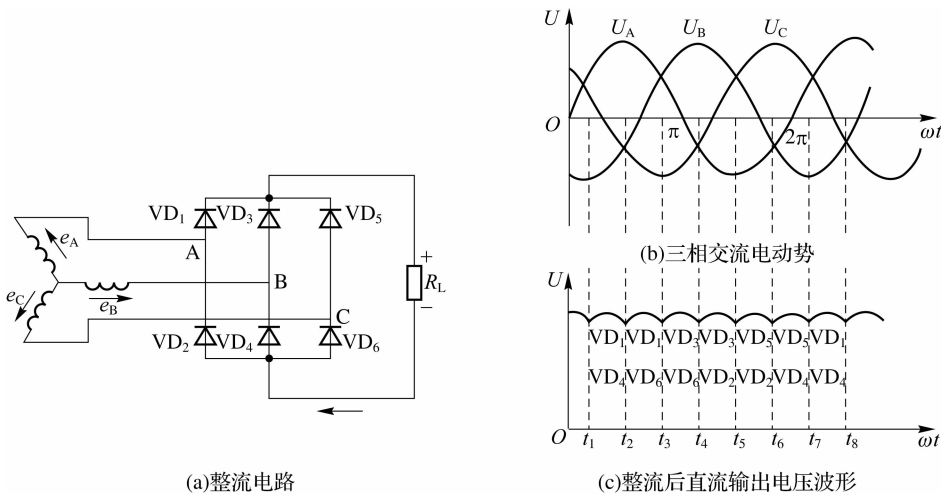


图 3-1-14 整流原理

3. 交流发电机的励磁方式

交流发电机发电时，须由蓄电池供给励磁电流，此时为他励。当发电机电压达到蓄电池电压时，即由发电机自己供给励磁电流，也就是由他励转变为自励。

由于交流发电机转子的爪极剩磁较弱，所以发电机在低速运转时，加在硅二极管上的正向电阻较大，较弱的剩磁产生的很小的电动势很难克服二极管的正向电阻，致使发电机正向电压不能迅速建立起来，这样，发电机低速充电的要求就不能满足。因此，汽车上的发电机必须与蓄电池并联，开始由蓄电池向励磁绕组供电，使发电机电压很快建立起来并转变为自



励状态,蓄电池被充电的机会就多一些,有利于蓄电池的使用和维护。

4. 交流发电机的工作特性

1) 输出特性

交流发电机的输出特性又称负载特性或输出电流特性,是指发电机输出电压一定时(对于 12 V 电系,规定为 14 V;对于 24 V 电系,规定为 28 V),发电机的输出电流与转速之间的关系,即输出电压 U 为常数时的 I - n 曲线。图 3-1-15 所示的测试电路可用来测得交流发电机的输出特性,如图 3-1-16 所示。

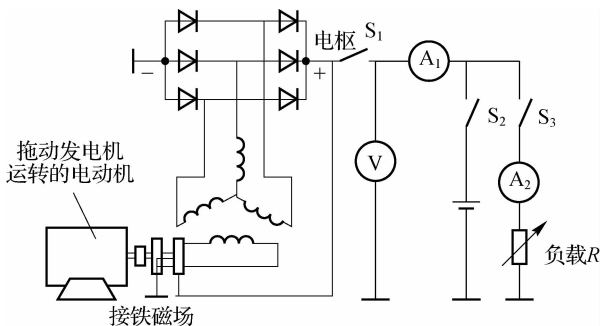


图 3-1-15 交流发电机的输出特性测试电路

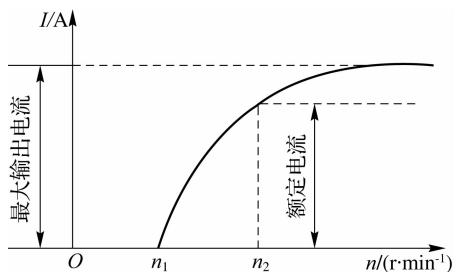


图 3-1-16 交流发电机的输出特性

交流发电机的输出特性曲线表明:

(1)当发电机转速很低时,发电机端电压低于额定电压,发电机不能向外供电。当转速到达空载转速 n_1 时,电压达到额定值;当转速高于空载转速 n_1 时,发电机才有能力在额定电压下向外供电。

(2)转速超过 n_1 时,发电机的输出电流 I 随着转速的升高而升高,随着负载电阻 R 的减小而升高。转速等于 n_2 时,发电机输出额定功率。额定功率为额定电压与额定电流之积。

(3)发电机转速达到一定值时,其输出电流不再随转速的升高而升高,也不再随负载电阻的减小而升高,这时的电流值称为发电机的最大输出电流或限流值。

2) 空载特性

发电机空载运行时,发电机端电压与转速的关系称为空载特性,即 $I=0$ 时 $U=f(n)$ 的函数关系,如图 3-1-17 所示。从曲线可以看出,随着转速的升高,端电压上升较快,由他励转入自励时,即能向蓄电池进行补充充电,进一步证实了低速充电性能好的优点。空载特性是判断硅整流发电机性能是否良好的重要依据。

3) 外特性

转速一定时,发电机端电压与输出电流的关系称为外特性,即 n 为常数时 $U=f(I)$ 的函数关系。经不同的恒定转速试验后,可得出的一组相似的外特性曲线,如图 3-1-18 所示。从图中可看出,发电机转速越高,端电压也越高,输出电流也越大。当保持任一转速时,端电压均随输出电流的增大而下降。由于端电压受转速和负载变化的影响,交流发电机必须配用电压调节器才能保持电压的恒定。

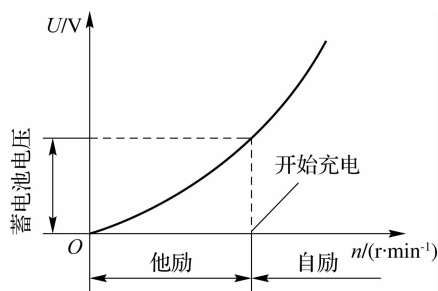


图 3-1-17 交流发电机的空载特性

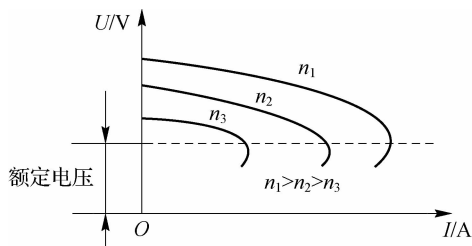


图 3-1-18 发电机的外特性曲线族

各小组成员根据下面实训内容制定实施本次实训任务的步骤和内容,预期效果,并记录于表 3-1-1 中。

表 3-1-1 实训任务实施的步骤和内容

步 骤	内 容
1	
2	
3	
4	
5	

引导问题 7 完成本次学习任务需要准备哪些实训器材?

任务实施

一、任务要求

任务要求见附录 1。

二、任务步骤

操作规范: 正极使用红色线,负极采用黑色线;禁止用万用表欧姆挡测量电池电压;禁止将电池先通电再接线。

步骤一 实训器材的认识及检查

认识和检查相关实训器材。

步骤二 发电机检查

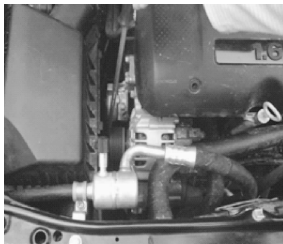
(1) 发电机就车检查。

① 充电指示灯的检查。如图 3-1-19 所示,记录检查结果_____

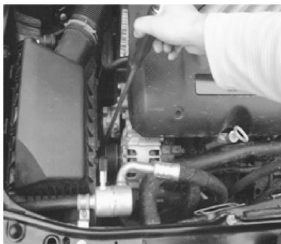
② 发电机的检查。如图 3-1-20 所示,记录检查结果_____



图 3-1-19 充电指示灯的检查



(a)发电机工作



(b)发电机不工作

图 3-1-20 发电机的检查

(2)发电机的整体检测。如图 3-1-21 所示,用数字万用表 200 Ω 挡测量 FE 端子,其测量数值及故障分析见表 3-1-2。

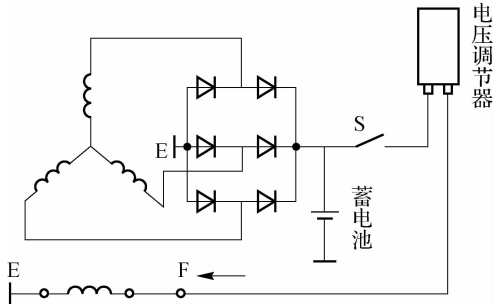


图 3-1-21 发电机的整体检测

表 3-1-2 发电机的整体检测测量数值及故障分析

正 常 值	异常情况	故障原因分析
6~8 Ω	阻值大于标准值	电刷与滑环接触不良
	阻值小于标准值	励磁绕组局部短路
	阻值为 ∞	励磁绕组断路
	阻值为 0	“F”接线柱搭铁或 2 只滑环短路

检查结果记录_____

(3)发电机解体检测与维修。发电机解体图如图 3-1-22 所示。

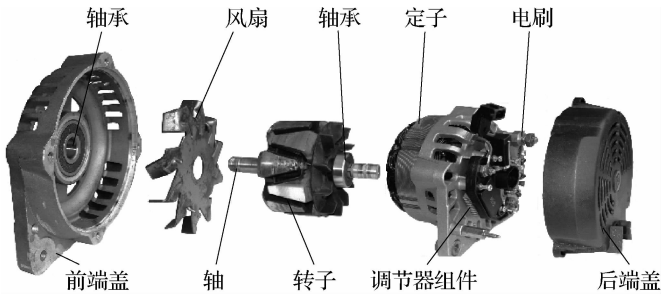
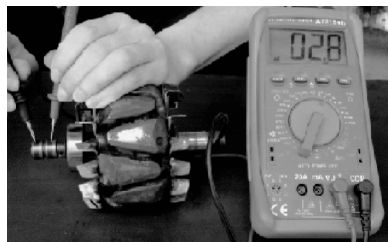


图 3-1-22 发电机解体图

①励磁绕组的检测与维修。如图 3-1-23 所示,用万用表对励磁绕组的阻值和绕组与铁

心的绝缘性进行检测。具体检测内容与情况分析见表 3-1-3。



(a)绕组之间的电阻值



(b)绕组与铁心的绝缘性

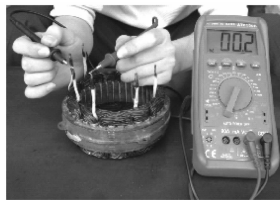
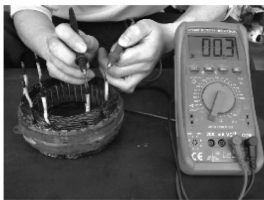
图 3-1-23 励磁绕组阻值与绝缘性的检测

表 3-1-3 励磁绕组检测内容与情况分析

检测内容	情况分析			
	正 常 值	异常情况	故障分析	故障排除方法
励磁绕组阻值	2~4 Ω	电阻值为 ∞	励磁绕组断路或焊点断路	更换转子总成或重焊断点处
		电阻值为 0	两绕组短路	更换转子总成
		电阻值小于标准值	励磁绕组有局部短路	更换转子总成
绕组与铁心的绝缘性	∞	电阻值小于标准值	绕组或滑环有搭铁	更换转子总成

检查结果记录

②定子绕组的检测与维修。如图 3-1-24 所示,用万用表对定子绕组的阻值和绕组间的绝缘性进行检测。具体的检测内容与情况分析见表 3-1-4。



(a)检测三相绕组电阻



(b)检测绕组间的绝缘性

图 3-1-24 定子绕组阻值与绝缘性的检测



表 3-1-4 定子绕组检测内容与情况分析

检测内容	情况分析			
	正 常 值	异常情况	故障分析	故障排除方法
定子绕组 阻值	150~300 Ω	电阻值为 ∞	定子绕组断路或接点断路	更换定子总成或重接断点处
		电阻值为 0	定子绕组短路	更换定子总成
		电阻值小于标准值	定子绕组有局部短路	更换定子总成
绕组间的绝缘性	∞	电阻值小于标准值	绕组间有搭铁	更换定子总成

检查结果记录_____

③滑环的检修。当滑环表面有轻微烧蚀时,可用砂布打磨,使其表面光滑。打磨后用万用表检测两滑环间的绝缘性,必须保证两者间是绝缘的。若烧蚀严重,可更换转子总成。用游标卡尺测量滑环的外径,如图 3-1-25 所示。如果测量值超过规定的磨损极限,应更换转子。

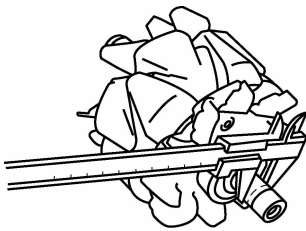


图 3-1-25 测量滑环的外径

检查结果记录_____

④电刷及电刷弹簧的检修。检查发电机电刷座,如图 3-1-26 所示。新的电刷高度为 14 mm,在发电机工作过程中,电刷在电刷弹簧的压紧下与滑环接触并高速旋转,时间长了会有磨损。如果其高度为 7~8 mm,应更换电刷。电刷弹簧弹性不足,将导致接触不良,所以当弹簧不紧时要及时调整或更换。

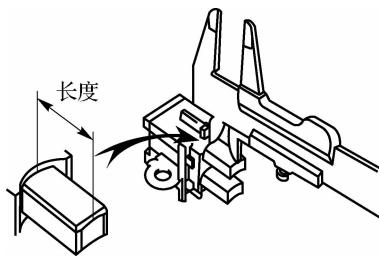


图 3-1-26 检查发电机电刷座

检查结果记录_____

步骤三 实训过程检查

检查项目	结果与数据	检查项目	结果与数据	检查项目	结果与数据
发电机检查 操作是否规范		励磁绕组 阻值		是否单独 完成工作页	
FE 端子 阻值		定子绕组 阻值		是否严格 执行 6S 管理	

步骤四 评价与反馈

评价与反馈内容见附录 2。

问题与练习

1. 正弦量的基本特征是什么?
2. 正弦量的三要素有哪些?
3. 已知正弦交流电的频率为 50 Hz,则周期和角频率各为多少?
4. 电压与电流的波形如图 3-1-27 所示,请说出电压与电流的相位关系。

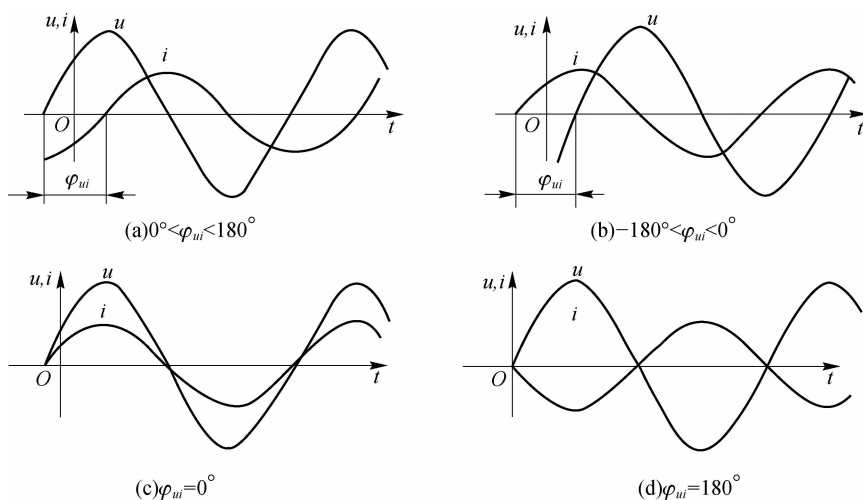


图 3-1-27 练习 4 的图

5. 交流发电机的内部有哪些主要部件?

学习任务二 二极管及其整流电路



学习目标

知识目标

- 理解二极管的特性曲线;
- 掌握汽车发电机交流电整流过程;
- 掌握整流电路的波形变换过程。

技能目标

- 掌握二极管的检测方法;
- 掌握二极管基本电路的分析方法;
- 掌握各种二极管电路的分析和故障排除方法。

素质目标

- 规范课堂 6S 管理;
- 养成团队协作的好习惯;
- 养成独立思考问题的好习惯。



图片
二极管

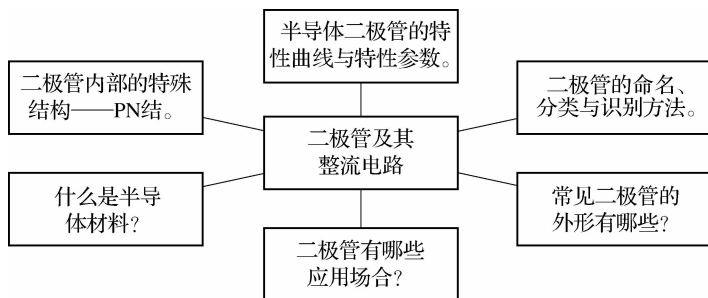


任务导入

半导体器件是近代电子学的重要组成部分,由于具有体积小、质量轻、使用寿命长、输入功率小和功率转换效率高等优点而得到广泛应用。二极管是最常用的半导体器件之一,它具有单向导电性。在汽车电路中,发电机输出的交流电是不能直接用于用电器的,此时需要将交流电转换成直流电。交流电转换成直流电的过程称为整流,整流是利用半导体二极管的单向导电性进行的。一辆帕萨特轿车发电机整流电路不工作,你能检测出故障所在吗?



内容引导



引导问题 1 什么是半导体材料?

金属中的电子浓度很高,导电能力强。在电子密度较大的情况下,随着温度的提高,通过受热激发的电子越来越多地与金属材料中的其他晶格碰撞,使电子运动的阻碍作用增大,从而导致其导电能力下降。

半导体就是导电能力介于导体和绝缘体之间的物质。很多半导体的导电能力在不同条件下有很大的差别。例如,有些半导体对温度的反应特别灵敏,当环境温度升高时,其导电能力要增强很多,人们利用这种特性制成了各种热敏电阻器;有些半导体受到光照时,导电能力变得很强,当无光照时,又变得像绝缘体那样不导电,人们利用这种特性制成了各种光敏电阻器。如果在绝对纯净的半导体中掺入微量的某种杂质,它的导电能力就能增加几十万乃至几百万倍。利用这种特性就制成了各种不同用途的半导体器件,如半导体二极管、三极管、场效应管及晶闸管等。

1. 半导体材料

目前应用最多的半导体材料是硅(Si)和锗(Ge),其原子结构如图 3-2-1 所示,它们各有四个价电子。将硅或锗材料提纯(去掉无用杂质)并形成单晶体后,所有原子便基本排列整齐,按四角形系统组成晶体点阵,每个原子之间的距离相等。半导体一般都具有这种晶体结构,所以半导体也称为晶体,这就是晶体管名称的由来。

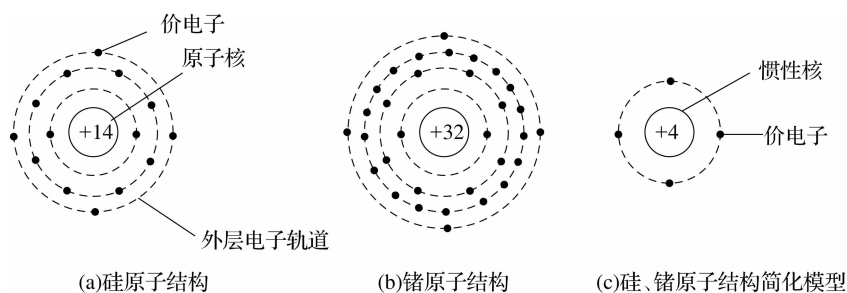


图 3-2-1 硅和锗原子结构示意图

本征半导体是完全纯净的,具有晶体结构的半导体。在本征半导体的晶体结构中,每一个原子与相邻的四个原子结合。每个原子的一个价电子与另一个原子的一个价电子组成一个电子对,这对价电子是每两个相邻原子共有的,它们把相邻的原子结合在一起,构成共价键结构,如图 3-2-2 所示。

在共价键结构中,原子最外层有八个电子而处于较稳定的状态,但共价键中的电子并不像在绝缘体中的价电子被束缚得那样紧。其在获得一定能量后(温度升高或光照)即可挣脱原子核的束缚(电子受到激发),成为自由电子。温度越高,晶体中产生的自由电子越多。在电子挣脱共价键的束缚成为自由电子后,共价键中就留下一个空位,称为空穴。在一般情况下,原子是中性的,当电子挣脱共价键的束缚成为自由电子后,原子的中性便被破坏,从而显出带正电。电子和空穴总是成对产生,称为电子空穴对,如图 3-2-3 所示。

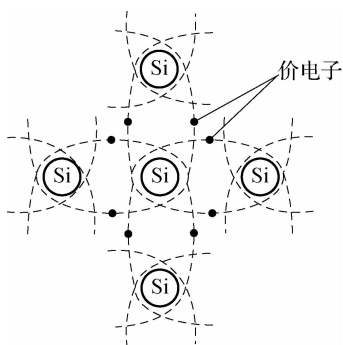


图 3-2-2 半导体的共价键结构

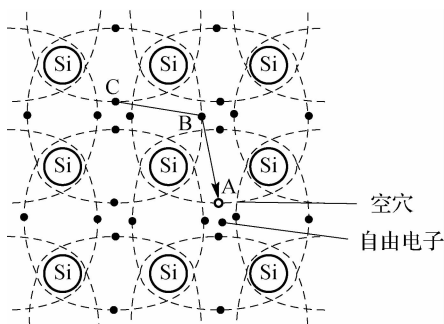


图 3-2-3 本征激发产生电子空穴对

空穴也能够运动,这是价电子填补共价键上空位的运动的结果。例如,在图 3-2-3 中,共价键 A 处有一个空穴,附近共价键上的价电子便可填补这个空穴。假设共价键 B 处的电子去填补了这个空穴,于是 A 处的空穴消失,B 处出现了空穴,这就如同空穴从 A 处移到了 B 处。如果共价键 C 处的价电子又来填补 B 处的空穴,那么空穴便又从 B 处移到 C 处。如此继续下去,就好像空穴在运动。而空穴运动的方向与价电子运动的方向相反,因此空穴运动相当于正电荷的运动。

因此,当半导体两端加上外电压时,半导体中将出现两部分电流:一是自由电子做定向运动所形成的电子电流,一是仍被原子核束缚的价电子递补空穴所形成的空穴电流。因此,在半导体中同时存在着电子导电和空穴导电,这是半导体导电方式的最大特点,也是半导体和金属相比在导电原理上的本质区别。自由电子和空穴统称为载流子。

本征半导体中自由电子和空穴成对出现的同时又不断复合。在一定温度下,载流子的产



生和复合达到动态平衡,于是半导体中的载流子便维持一定数目。温度越高,载流子数目越多,导电性能也就越好,因而温度对半导体器件的导电性能影响很大(随温度升高急剧增强)。

在光的作用下,半导体晶格中也会成对地产生载流子,由此而形成的本征导电被称为其内部的光电效应。光敏电阻是本征半导体,它就是利用了这种光电效应。

2. N型和P型半导体

本征半导体中虽然有自由电子和空穴两种载流子,但由于数量极少,导电能力仍然很低。如果在其中掺入微量的杂质(某种元素),将使半导体(杂质半导体)的导电性能大大增强。由于掺杂的元素不同,杂质半导体可分为两大类。

一类是在硅或锗的晶体中掺入磷(或其他五价元素)。磷原子的最外层有五个价电子,由于掺入硅或锗晶体的磷原子数比硅或锗的原子数少得多,因此整个晶体结构基本不变,只是某些位置上的硅原子被磷原子取代。磷原子参加共价键结构只需四个价电子,多余的第五个价电子很容易挣脱原子核的束缚而成为自由电子,同时在晶格中产生一个正离子。于是半导体中自由电子数目大量增加,自由电子导电成为这种半导体的主要导电方式,故称它为电子半导体或N型半导体。在整个掺杂后的半导体中,不能移动的正离子的数目与导电电子的数目相同,即整个晶体结构对外呈电中性,如图3-2-4所示。在N型半导体中,自由电子是多数载流子,空穴是少数载流子。在晶体结构中的杂质元素(原子)给出电子时,将它称为施主原子。相对于硅(Si)来说,磷(P)是施主原子。

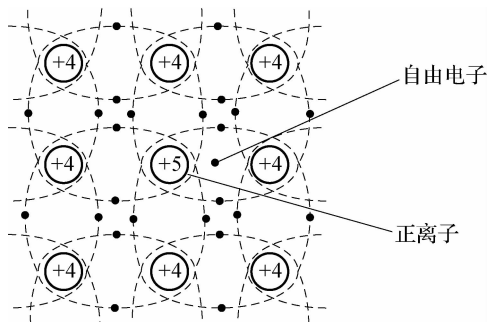


图 3-2-4 N型半导体晶体结构图

另一类是在硅或锗晶体中掺入硼(或其他三价元素)。每个硼原子只有三个价电子,故在构成共价键结构时,因缺少一个电子而产生一个空穴。当相邻硅原子中的价电子受到热或其他的激发获得能量时,就可能填补这个空穴,而在该相邻硅原子中便出现一个空穴,从而就形成了晶体中空穴的不断移动。晶体中的掺杂硼原子由于获得附加的电子而变为不能移动的负离子。在晶体中的掺杂元素,由于接受电子而称为受主原子(或受主杂质)。对于硅(Si)来说,硼(B)是受主原子,如图3-2-5所示。每一个硼原子都能提供一个空穴,于是在半导体中就形成了大量空穴。这种以空穴导电为主要导电方式的半导体称为空穴半导体或P型半导体,其中空穴是多数载流子,自由电子是少数载流子。

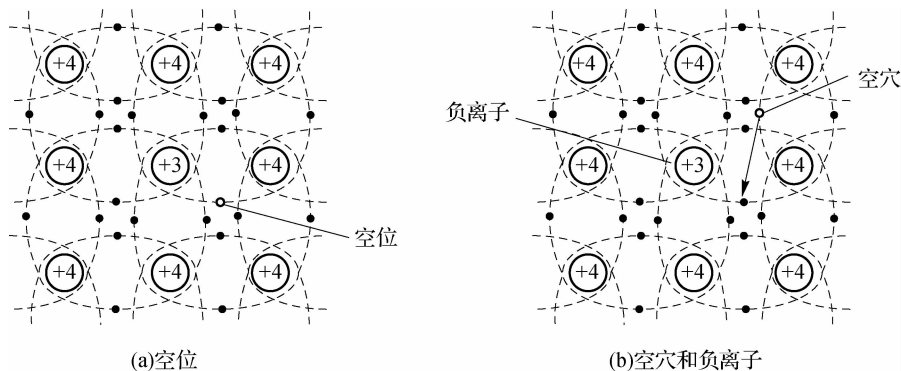


图 3-2-5 P型半导体晶体结构图

注意:不论是N型半导体还是P型半导体,虽然它们都有一种载流子占多数,但是整个晶体仍然是不带电的。

半导体的杂质导电性能随掺杂的浓度比例系数而上升,但与温度无关。半导体器件主要由N型和P型半导体组成,有些半导体器件也直接用本征半导体材料制成。半导体器件分为单极型和双极型,在单极型器件中,电流只在相同类型半导体区域中通过;在双极型器件中,电流则要流经多种不同类型的半导体区域。

引导问题 2 二极管内部的特殊结构——PN 结。

P型或N型半导体的导电能力虽然大大增强,但并不能直接用来制造半导体器件。通常采用半导体制造工艺将P型半导体和N型半导体结合在一起,在它们的交界面就形成PN结。PN结是构成各种半导体器件的基础。

1. PN 结的形成

当采用半导体制造工艺将P型半导体和N型半导体结合在一起时,在其交界面产生很大的载流子浓度差。N型区中电子载流子浓度高,P型区中空穴载流子浓度高,电子和空穴都要从浓度高处向浓度低处扩散,多数载流子的定向运动称为扩散运动。由于电子和空穴是两种相异的载流子,它们伴随着扩散运动将在交界面附近复合掉。于是在N型区一边因电子的消失而留下不能移动的正离子,在P型区一边因空穴消失而留下不能移动的负离子。这样,在P型半导体和N型半导体的交界面处形成一个空间电荷区,如图3-2-6所示,这个空间电荷区称为PN结。

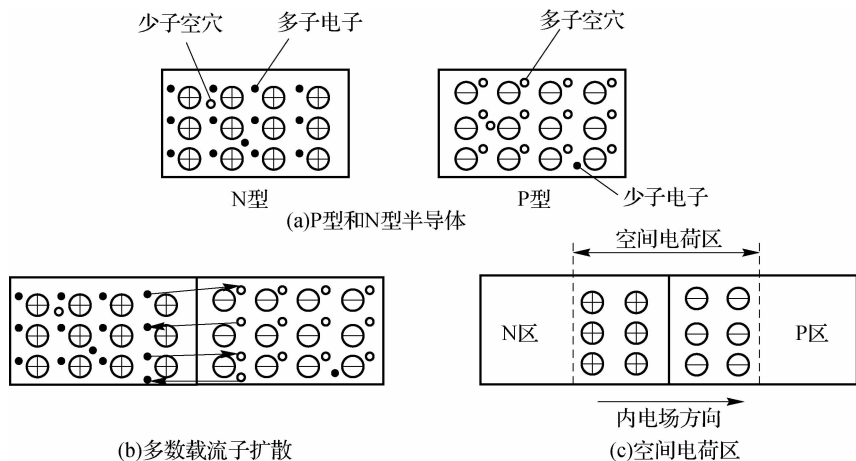


图 3-2-6 PN 结的形成

形成空间电荷区的正负离子不能移动,不参与导电,在这个区域内载流子很少,所以空间电荷区的电阻率很高。由于这个区域内的两种多数载流子已扩散到对方并相互复合掉了(消耗尽了),所以空间电荷区有时又称为耗尽层。

如图3-2-6(c)所示,正负空间电荷在交界面两侧形成一个电场,称为内电场,其方向从带正电的N区指向带负电的P区。由P区向N区扩散的空穴在空间电荷区将受到内电场的阻力,而由N区向P区扩散的自由电子也将受到内电场的阻力,即内电场对多数载流子(P区的空穴和N区的自由电子)的扩散运动起阻挡作用,所以空间电荷区又称阻挡层。



空间电荷区的内电场对多数载流子的扩散运动起阻挡作用,另一方面,内电场对少数载流子(P区的自由电子和N区的空穴)则起推动作用,使它们越过空间电荷区。少数载流子在内电场作用下有规则的运动称为漂移运动。

扩散和漂移是互相联系、互相矛盾的。当开始形成空间电荷区时,扩散运动占优势,随着扩散运动的增强,空间电荷区逐渐加宽,内电场也逐步加强,而内电场的形成和增强则阻碍两边多数载流子的扩散运动,有利于两边少数载流子的漂移运动。最后,扩散运动和漂移运动达到动态平衡,空间电荷区的宽度基本上稳定下来,PN结就处于相对稳定的状态。

2. PN 结的工作原理

PN结在没有加外电压时,半导体中的扩散和漂移处于动态平衡。如果在PN结上加正向电压(即外电源的正极接P区,负极接N区,见图3-2-7),外电场与内电场的方向相反,因此扩散与漂移运动的平衡被破坏。外电场驱使P区的空穴进入耗尽层抵消一部分负空间电荷,同时N区的自由电子进入耗尽层抵消一部分正空间电荷。因此,整个空间电荷区变窄,内电场被削弱,多数载流子的扩散运动增强,形成较大的扩散电流(正向电流)。在一定范围内,外电场越强,正向电流(P区流向N区的电流)越大,这时PN结呈现低阻状态。正向电流包括空穴电流和电子电流两部分。空穴和电子虽然带有不同的极性,但由于它们的运动方向相反,所以电流方向一致。外电源不断向半导体提供电荷,使电流得以维持。

若给PN结加反向电压,即外电源的正极接N区,负极接P区(见图3-2-8),则外电场与内电场方向一致,也破坏了扩散与漂移运动的平衡。外电场驱使空间电荷区两侧的空穴和自由电子移走,使得空间电荷增加,空间电荷区变宽,内电场增强,使多数载流子的扩散运动难以进行。但另一方面,内电场的增强也加强了少数载流子的漂移运动。在外电场的作用下,N区中的空穴越过PN结进入P区,P区中的自由电子越过PN结进入N区,在电路中形成了反向电流。由于少数载流子数量很少,因此反向电流不大,即PN结呈现的反向电阻很高。又因为少数载流子是由于价电子获得热能激发挣脱共价键的束缚而产生的,环境温度越高,少数载流子的数量越多,所以温度对反向电流的影响很大。

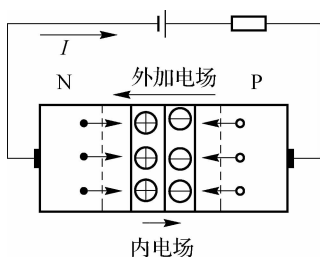


图 3-2-7 外加正向电压时的 PN 结

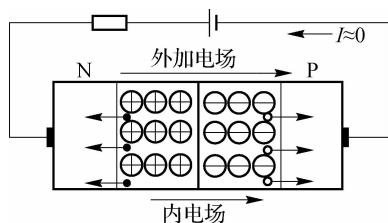


图 3-2-8 外加反向电压时的 PN 结

由以上分析可知,PN结具有单向导电性,即在PN结上加正向电压时,PN结电阻很低,正向电流较大,PN结处于导通状态;加反向电压时,PN结电阻很高,反向电流很小,PN结处于截止状态。

引导问题 3 半导体二极管的特性曲线与特性参数。

半导体二极管实际上是由一个PN结加上接触电极、引出线和管壳构成的。前面介绍的PN结单向导电特性也就是半导体二极管所具有的特性。图3-2-9所示为二极管内部结

构示意图及符号,图中箭头的指向表示二极管单向导电时的电流方向,二极管的文字符号为 VD。

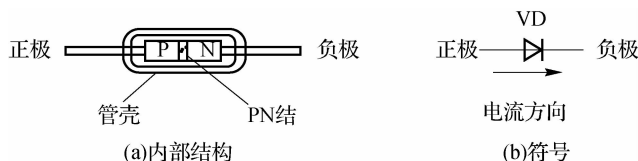


图 3-2-9 二极管内部结构示意图及符号



视频

二极管单向导电性

1. 特性曲线

如图 3-2-10 所示,当外加正向电压很低时,由于外电场还不能克服 PN 结内电场对多数载流子扩散运动的阻力,所以正向电流很小,几乎为零。当正向电压超过一定数值后,内电场被大大削弱,电流增长很快,该正向电压称为死区电压,其大小与材料及环境温度有关。通常硅管的死区电压约为 0.5 V,锗管约为 0.1 V。导通时的正向压降,硅管为 0.6~0.8 V,锗管为 0.2~0.3 V。

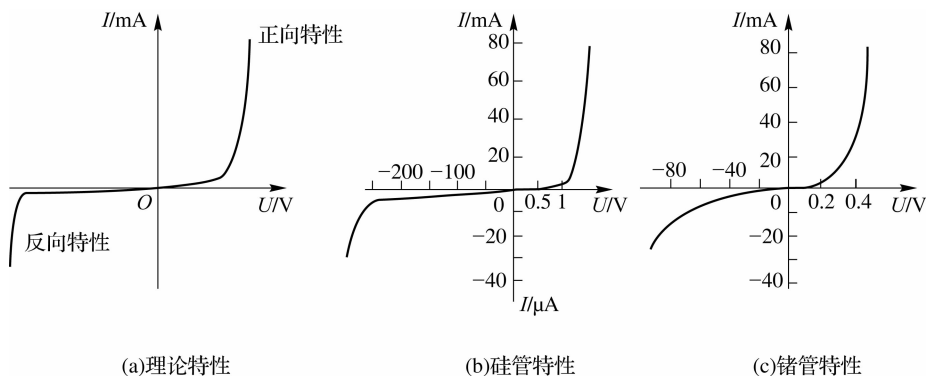


图 3-2-10 二极管的伏安特性曲线

在二极管上加反向电压时,由于少数载流子的漂移运动形成很小的反向电流。反向电流有两个特点:一是它随温度的上升增长很快;二是在反向电压不超过某一范围时,反向电流的大小基本恒定,而与反向电压的高低无关,通常称它为反向饱和电流。而当外加反向电压过高时,反向电流将突然增大,二极管失去单向导电性,这种现象称为击穿。二极管被击穿后,一般不能恢复原来的性能,便失效了。击穿发生的原因之一是处于强电场中的载流子获得足够大的能量碰撞晶格而将价电子碰撞出来产生电子空穴对,新产生的载流子在电场作用下获得足够能量后又通过碰撞产生电子空穴对,如此形成连锁反应,反向电流越来越大,最后使二极管反向击穿;原因之二是强电场直接将共价键的价电子拉出来产生电子空穴对,形成较大的反向电流。发生击穿时加在二极管上的反向电压称为反向击穿电压(U_{BR})。

2. 特性参数

二极管的特性参数是正确使用二极管的依据,各种管子的参数由制造厂家给出。二极管的主要参数如下。

(1)最大整流电流(平均值) I_{OM} 。 I_{OM} 是指二极管长期正常使用时允许流过其的最大正向平均电流。使用时必须注意,通过二极管的正向平均电流不能超过这个数值,否则将损坏



二极管。

(2)最高反向工作电压 U_{RM} 。 U_{RM} 是保证二极管不被击穿而给出的反向峰值电压,一般是反向击穿电压的一半或三分之二。

(3)反向电流 I_R 。 I_R 是指二极管上加一定的反向工作电压时的反向电流值。 I_R 较小说明管子单向导电特性好。 I_R 受温度的影响大。硅管的 I_R 较小,一般在几微安以下;锗管的 I_R 较大,是硅管的几十到几百倍。例如,在 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 时,2CZ52A 的 $I_R \leq 5\ \mu\text{A}$,而 2AP6 的 $I_R \leq 250\ \mu\text{A}$ 。

(4)导通电压 U_{ON} 。 U_{ON} 是指通过最大整流电流时二极管两端的正向电压(平均值)。一般锗管为 $0.2 \sim 0.3\ \text{V}$,硅管为 $0.6 \sim 0.8\ \text{V}$ 。

(5)最高工作频率 f_M 。二极管在高频工作时,由于 PN 结的电容效应,单向导电作用退化,最高工作频率就是指二极管的单向导电作用开始明显退化时交流信号的频率。

3. 硅、锗和硒二极管的特点

二极管根据制作材料不同分为硅、锗和硒二极管,表 3-2-1 列出几种管子的参数及特性曲线。

表 3-2-1 硅、锗和硒二极管的参数及特性曲线

参 数	硅二极管	锗二极管	硒二极管
导通电压 U_{ON}	$0.6 \sim 0.8\ \text{V}$	$0.2 \sim 0.4\ \text{V}$	$0.6\ \text{V}$
最高反向工作电压 U_{RM}	$80 \sim 1\ 500\ \text{V}$	$40 \sim 100\ \text{V}$	$20 \sim 30\ \text{V}$
反向饱和电流 I_{Rest}	$5 \sim 500\ \text{nA}$	$10 \sim 500\ \mu\text{A}$	$100 \sim 500\ \mu\text{A}$
最高工作频率 f_M	$8\ \text{kHz}$	$10\ \text{kHz}$	$5\ \text{kHz}$
伏安特性曲线图			

硒二极管常用在一些整流设备中作为过压保护器件,一般并接在整流器输入端或输出端。它常由单个硒片串并联而成,所以又称为硒堆。如图 3-2-11 所示,硒片的主体是一片铝的底板,硒层通过高温蒸发工艺覆盖在铝质基片上。硒片过载能力很强,工作中若出现过电压,它只是局部击穿,当电压恢复正常后,它仍恢复功能,只在击穿处留下疤痕。每一硒片允许承受反向电压(有效值)为 $20 \sim 30\ \text{V}$,允许通过电流为 $25 \sim 40\ \text{mA}/\text{cm}^2$ 。

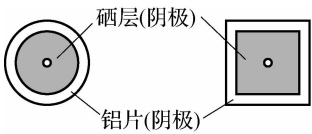


图 3-2-11 硒片

表 3-2-2 和表 3-2-3 中列出一些国产二极管的参数,以供参考。

表 3-2-2 2AP1~2AP7 检波二极管(点接触型锗管,在电子设备中作检波和小电流整流用)

型号	最大整流电流/mA	最高反向工作电压(峰值)/V	反向击穿电压 (反向电流为 400 μ A)/V	正向电流 (正向电压为 1 V)/mA	反向电流(反 向电压分别为 10 V,100 V)/ μ A	最高工作 频率/MHz	极间电容 /pF
2AP1	16	20	≥ 40	≥ 2.5	≤ 250	150	≤ 1
2AP7	12	100	≥ 150	≥ 5.0	≤ 250	150	≤ 1

表 3-2-3 2CZ52~2CZ57 系列整流二极管(应用于电子设备中的整流电路中)

型号	最大整流电流 /A	最高反向工作电压 (峰值)/V	最高反向工作电压 下的反向电流 (125 $^{\circ}$ C)/ μ A	正向压降(平均值) (25 $^{\circ}$ C)/V	最高工作 频率/kHz
2CZ52	0.1	25,50,100,200	1 000	≤ 0.8	3
2CZ54	0.5	300,800,1 000	1 000	≤ 0.8	3
2CZ57	5	1 200,2 400,3 000	1 000	≤ 0.8	3

引导问题 4 二极管的命名、分类与识别方法。

1. 二极管的命名

二极管根据其外形、结构、材料、功率和用途分成各种类型,这些不同类型的管子都按国家标准来命名,它由四部分组成,其命名方法见表 3-2-4。

表 3-2-4 二极管的命名方法

第一部分(数字)		第二部分(汉语拼音字母)		第三部分(汉语拼音字母)		第四部分(数字)
电极数		材料和特性		二极管类型		同类管子序号
符号	含义	符号	含义	符号	含义	
2	二极管	A	N 型锗	P	普通管	表示同类型管中某些性能 参数上有差别
		B	P 型锗	Z	整流管	
		C	N 型硅	K	开关管	
		D	P 型硅	W	稳压管	
		E	化合物	L	整流堆	
				C	参量管	
				U	光电器件	

2. 二极管的分类

半导体二极管的种类很多,按材料来分,最常用的有硅管和锗管两种;按结构不同可分为点接触型、面接触型和平面型等几种。

(1)点接触型二极管的结构如图 3-2-12(a)所示。用一根含有“杂质”元素的细金属丝压在硅或锗晶片上,经过电处理,部分杂质原子掺入晶片上,从而形成一个导电类型与原来晶片相反的区域,构成 PN 结。由于金属丝很细,形成 PN 结面积很小,所以点接触型二极管的极间电容很小,允许通过的电流小。其适用于高频电路,如 2AP 系列的二极管。

(2)面接触型二极管的结构如图 3-2-12(b)所示。将小铝球置于 N 型硅片上,通过烧结



工艺,在铝球下面形成一薄层 P 型硅,它与下面的 N 型硅构成一个 PN 结。面接触型二极管的特点是允许通过的电流比点接触型大数倍、数十倍甚至数万倍,但结面积大,结电容大,所以工作频率低,如 2CP 系列二极管。

(3)平面型二极管的结构如图 3-2-12(c)所示,它是利用“平面工艺”制成的。这种管子的性能稳定,结面积的大小可以控制。结面积大时,可以通过大电流,适合于大功率整流;若要求结电容小,以便在较高频率下工作,则结面积可以做得较小,如脉冲数字电路中用的开关管。

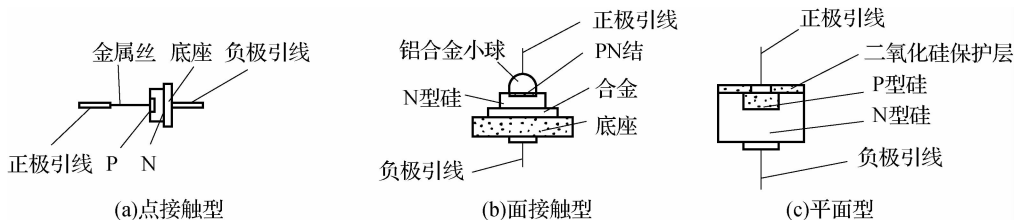


图 3-2-12 二极管结构示意图

3. 二极管极性的识别方法

(1)目视法判断二极管的极性。一般在实物的电路中可以通过眼睛直接看出二极管的正负极,在实物中看到一端有颜色标示的是负极,另外一端是正极。

(2)用万用表(指针表)判断二极管的极性。通常选用万用表的欧姆挡($R \times 100$ 或 $R \times 1k$),然后分别用万用表的两表笔分别接到二极管的两极上,当二极管导通时,测得的阻值较小(一般为几十欧姆至几千欧姆),这时黑表笔接的是二极管的正极,红表笔接的是二极管的负极;当测得的阻值很大(一般为几百至几千欧姆)时,这时黑表笔接的是二极管的负极,红表笔接的是二极管的正极。

(3)测试注意事项。用数字式万用表测二极管时,红表笔接二极管的正极,黑表笔接二极管的负极,此时测得的数值才是二极管的正向导通电压值,这与指针式万用表的表笔接法刚好相反。

4. 二极管好坏的判别方法

二极管的正向电阻要求在 $1\text{ k}\Omega$ 左右,反向电阻应在 $100\text{ k}\Omega$ 以上。总之,正向电阻越小越好,反向电阻越大越好。若正向电阻为无穷大,说明二极管内部断路;若反向电阻为零,表明二极管已击穿。内部断开或击穿的二极管均不能使用。

引导问题 5 常见二极管的外形有哪些?

因为功能和用途的不同,二极管大小不同,外形和封装各异,如图 3-2-13 所示。从二极管使用的封装材料看,小电流的二极管常用玻璃壳和塑料壳封装;电流较大的二极管,工作时 PN 结温度较高,常用金属外壳封装,外壳就是一个电极并制成螺栓形,以便与散热器连接成一体。随着新材料、新工艺的应用,二极管采用环氧树脂、硅酮塑料或微晶玻璃封装的也比较常见。

二极管外壳上一般印有符号表示极性,正、负极的引线与符号一致。有的在外壳一端印有色圈表示负极;有的在外壳一端制成圆角形来表示负极;但也有的在正极端打印标记或用

红点来表示正极,这一点在使用时要特别注意。普通二极管如图 3-2-14 所示。

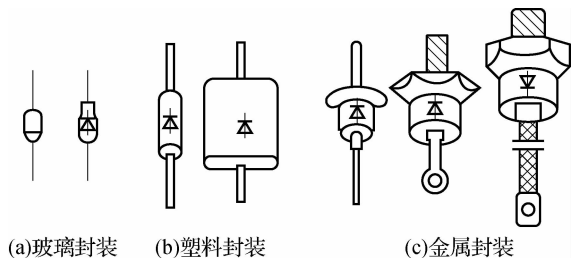


图 3-2-13 二极管封装图

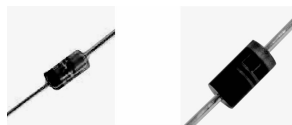


图 3-2-14 普通二极管

引导问题 6 二极管有哪些应用场合?

1. 整流电路

整流就是把交流电变成直流电的一种转换方法,很多电子设备要采用整流电源。能将平均值为零的正弦波交流电压变换为平均值不为零的单向脉冲直流电压的器件为整流器。由于二极管具有单向导电性,因而可用二极管来制成各种整流器。汽车交流发电机就是利用二极管整流电路将交流电转换成直流电的。一般在小功率(指 1 kW 以下)直流电源中多采用单相整流电路,即由单相交流电源供电。常用的整流电路有半波、全波、桥式和倍压整流等形式。

1) 单相半波整流电路

单相半波整流电路如图 3-2-15(a)所示,它主要由电源变压器 T、二极管 VD 及负载电阻 R_L 组成。

图 3-2-15(a)利用二极管的单向导电性,把二极管串联在交流电源 u_1 和负载 R_L 之间,把交流电的半个波“削去”,而在负载上就得到了直流电压 u_0 ,但 u_0 具有很大的“脉动”,称为脉动电压。

次级电压 u_1 的变化规律与初级电压 u 一样,其波形如图 3-2-15(b)所示,用函数式表示为

$$u_1 = U_{1m} \sin \omega t = \sqrt{2} U_1 \sin \omega t \quad (3-2-1)$$

式中, U_{1m} 和 U_1 分别为变压器次级电压 u_1 的最大值和有效值。

下面就图 3-2-15 (c)、图 3-2-15(d)所示波形来进行分析,设二极管正向导通时的电压忽略不计。

(1)当 $\omega t = 0 \sim \pi$ 时, a 点电位高于 b 点电位,二极管承受正向电压,导通,产生电流 i_1 (i_0),流过负载 R_L ,在 R_L 上的电压为 u_0 ,见图 3-2-15(c)中的 u_0 波形。

(2)当 $\omega t = \pi \sim 2\pi$ 时, b 点电位高于 a 点电位,二极管承受反向电压,不导通, $u_0 = 0$,见图 3-2-15 (c)中的 u_0 的波形。

如此下去,即把电网中得来的交流电转变为负载上的直流电。在图 3-2-15(c)中,经过整流后的电压平均值一般称为整流电压,用 U_0 表示。这里所说的平均值是指整流电压瞬时值 u_0 波形所围的面积(图中竖线阴影部分)在一个周期内的平均值,即

$$U_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \sqrt{2} U_1 \sin \omega t d(\omega t) \approx 0.45 U_1 \quad (3-2-2)$$

也就是说,半波整流电路的整流电压平均值 U_0 等于交流电源电压有效值 U_1 的 0.45



拓展
整流电路特点



倍。例如,将交流 220 V 电源用半波整流电路进行整流,则得到整流电压 $U_0 = 0.45 \times 220 \text{ V} = 99 \text{ V}$ 。根据式(3-2-2)可以在已知 U_1 时计算出 U_0 ,反之亦然。

$$U_1 = \frac{U_0}{0.45} \approx 2.22U_0$$

从半波整流电路的工作过程又可以看出,流过二极管的电流 i_D 和流过负载 R_L 的电流 i_0 是一个电流,这个电流的平均值为

$$I_D = I_0 = \frac{U_0}{R_L} \quad (3-2-3)$$

根据式(3-2-3)可以选择二极管的额定电流值。

再考察二极管在工作过程中所承受的最大电压。由图 3-2-15 (d) 的 u_D 波形可见,最大电压出现在二极管 VD 不导通期间,是反向电压,其最大值为

$$U_{RM} = \sqrt{2}U_1 = \frac{\sqrt{2}U_0}{0.45} \approx 3.14U_0 \quad (3-2-4)$$

由式(3-2-4)可以选择二极管的额定电压值。

例 3-2-1 某工厂需要一直流电源,采用单相半波整流电路,交流电源电压为 220 V,负载电阻为 75 Ω ,要求输出直流电压 7.5 V。试选择整流二极管的型号,并求出变压器次级电压有效值及其变比。

解 通过负载的电流为

$$I_0 = \frac{U_0}{R_L} = \frac{7.5 \text{ V}}{75 \Omega} = 0.1 \text{ A} = 100 \text{ mA}$$

通过二极管的平均电流 I_D 即电流 I_0 。

变压器次级电压 U_1 和二极管承受的最高反向电压 U_{RM} 分别为

$$U_1 \approx 2.22U_0 = 2.22 \times 7.5 \text{ V} \approx 16.7 \text{ V}, U_{RM} \approx 3.14U_0 = 3.14 \times 7.5 \text{ V} \approx 23.6 \text{ V}$$

根据计算所得 I_D 和 U_{RM} 的数值,查阅晶体管手册选择合适的管型,此处可选择 2CP11 (100 mA, 50 V)。

变压器变比为

$$K = \frac{U}{U_1} = \frac{220}{16.7} \approx 13.2$$

2) 单相全波整流电路

为了利用电源的负半波,可以采用单相全波整流电路。它由两个半波整流电路组合而成,且变压器次级绕组引出一个中心抽头,多用一个二极管,电路如图 3-2-16(a)所示。变压器次级绕组的中心抽头把次级电压分成大小相等而相位相反的两个电压 U_1 (变压器次级电

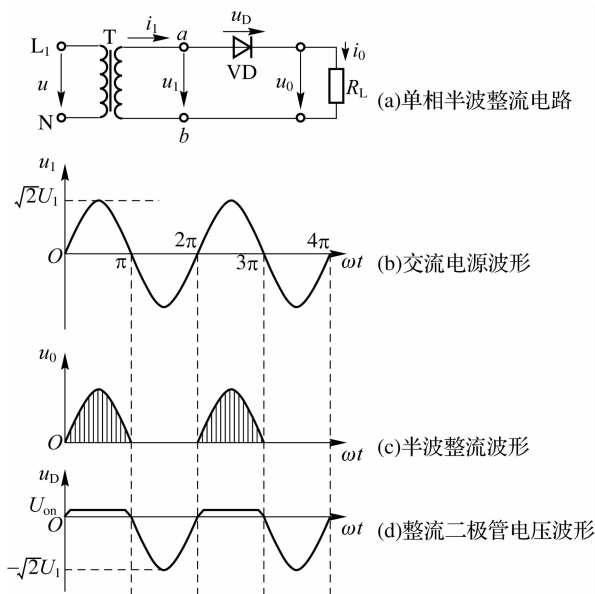


图 3-2-15 单相半波整流电路与相关波形

压是以次级绕组的中心点为参考点,所以两个次级电压的相位相反)。

在 $0 \sim \pi$ 这半周期内, a 点电位高于 b 点电位,于是 VD_1 导通, VD_2 截止。这时,电流通路如图中实线箭头所示,与半波整流电路的工作情况是一样的。在 $\pi \sim 2\pi$ 这半周期内, b 点电位高于 a 点电位, VD_1 截止, VD_2 导通,电流通路如图中虚线箭头所示。显然,这半周的工作情况也与半波整流电路一样。

由此可见,由两个二极管构成的两个单相半波整流电路在交流电源的一个周期中轮流导通,而负载电阻 R_L 上得到的输出电压在两个半周内都有,而且是同一方向的,如图 3-2-16(b)、图 3-2-16(c)所示。从波形图上可以明显看出,由于电流在一个周期的两个半波都通过负载且同相,所以全波整流电路输出的直流电压比半波整流电路的输出电压增加一倍。

$$U_0 = 2 \times 0.45U_1 = 0.9U_1 \quad (3-2-5)$$

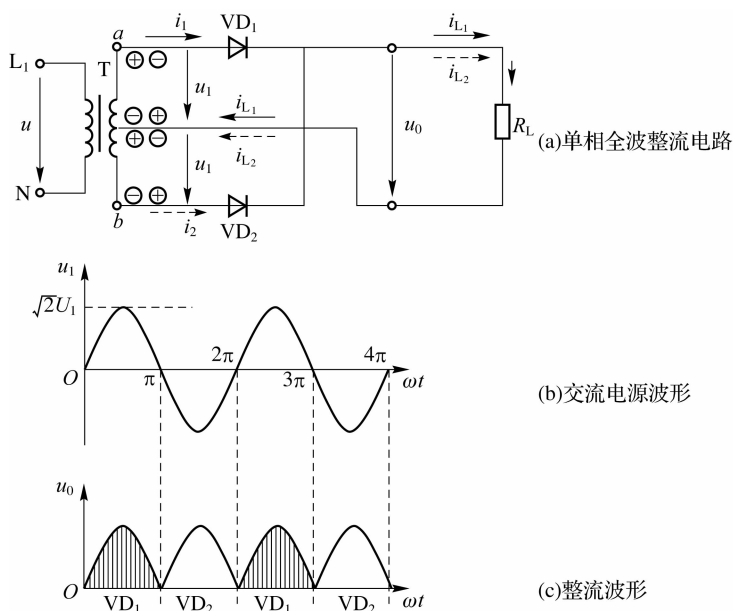


图 3-2-16 单相全波整流电路及其波形

U_1 是变压器次级总电压的一半。流过负载的电流为

$$I_0 = 2 \times \frac{0.45U_1}{R_L} = \frac{0.9U_1}{R_L} \quad (3-2-6)$$

但由于两个二极管轮流导通,则流经每个二极管的平均电流只有负载电流的一半。

$$I_{VD1} = I_{VD2} = \frac{1}{2} I_0 = 0.45 \frac{U_1}{R_L} \quad (3-2-7)$$

在全波整流电路中,每个二极管承受的最大反向电压有多大呢? 由于变压器次级绕组有中心抽头,当二极管 VD_1 不导通时,两个 U_1 串联通过 VD_2 加在 VD_1 上,其峰值为

$$U_{RM} = \sqrt{2}U_1 + \sqrt{2}U_1 = 2\sqrt{2}U_1 \approx 2.83U_1$$

因为

$$U_1 = \frac{U_0}{0.9} \approx 1.11U_0$$

故有

$$U_{RM} = 2.83 \times 1.11U_0 \approx 3.14U_0 \quad (3-2-8)$$

在另半个周期中, VD_2 承受的最大反向电压也等于 $2\sqrt{2}U_1$ 。

所以, 在每个二极管的平均电流相同的条件下, 全波整流电路中二极管承受的最大反向电压比半波整流电路要高一倍, 而且变压器需要有中心抽头, 这是它的主要缺点。

3) 单相桥式整流电路

桥式电路是单相全波整流电路的一种, 它由 4 个二极管接成电桥形式。电桥的一条对角线接变压器次级电压 U_1 , 另一条对角线接负载 R_L , 如图 3-2-17 所示。

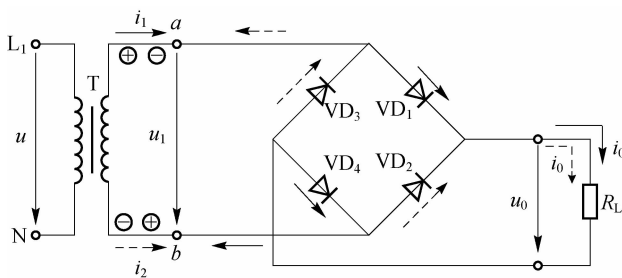


图 3-2-17 单相桥式整流电路

在图 3-2-17 中, 在 u_1 的正半周, a 点电位高于 b 点电位, VD_1 、 VD_4 承受正向电压而导通。此时有电流流过 R_L , 其流通的路径为 $a-VD_1-R_L-VD_4-b$, 即图中实线箭头所示路径。此时, VD_2 和 VD_3 因承受反向电压而截止。在 u_1 的负半周, a 点电位低于 b 点电位, VD_2 、 VD_3 承受正向电压而导通, 此时电流流过的路径为 $b-VD_2-R_L-VD_3-a$, 即图中虚线箭头所示路径。此时, VD_1 和 VD_4 因承受反向电压而截止。由以上分析可知, 在交流电压 u_1 的整个周期中, 始终有同方向的电流流过负载电阻 R_L 。

图 3-2-18 画出了单相桥式整流电路中各物理量的波形。

根据图 3-2-18(b) 所示 u_0 、 i_0 的波形图可以求出输出电压和输出电流的平均值, 即

$$U_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sqrt{2}U_1 \sin \omega t d(\omega t) = \frac{2}{\pi} \sqrt{2}U_1 \approx 0.9U_1 \quad (3-2-9)$$

$$I_0 = \frac{U_0}{R_L} \approx 0.9 \frac{U_1}{R_L} \quad (3-2-10)$$

在桥式整流电路中, 由于每个二极管都只在半个周期内导通, 所以流过每个二极管的平均电流均为 I_0 的一半, 即

$$I_{VD_1} = I_{VD_4} = I_{VD_2} = I_{VD_3} = \frac{1}{2} I_0 = 0.45 \frac{U_1}{R_L} \quad (3-2-11)$$

桥式整流电路每个二极管承受的最大反向电压为 $U_{RM} = \sqrt{2}U_1$ 。如图 3-2-17 所示, 在正半周时 VD_1 、 VD_4 导通, 忽略其正向压降, VD_2 、 VD_3 通过 VD_1 、 VD_4 的短接线与变压器 T 的次级绕组并联, 那么 VD_2 、 VD_3 反向电压最大值均为

$$U_{RM} = U_{1M} = \sqrt{2}U_1$$

同理, 在负半周时, VD_1 、 VD_4 承受的反向电压最大值也为

$$U_{RM} = U_{1M} = \sqrt{2}U_1$$

由此看出, 在同样的整流电流下, 显然桥式整流电路中所用二极管的耐压数值可以比单

相全波整流电路的低一半,而与半波电路一样。而且,桥式电路省去了变压器次级的中心抽头,体积小,用料省,因而这种整流电路得到了较为广泛的应用。在直流稳压电源及继电保护装置中,一般都采用桥式整流电路。

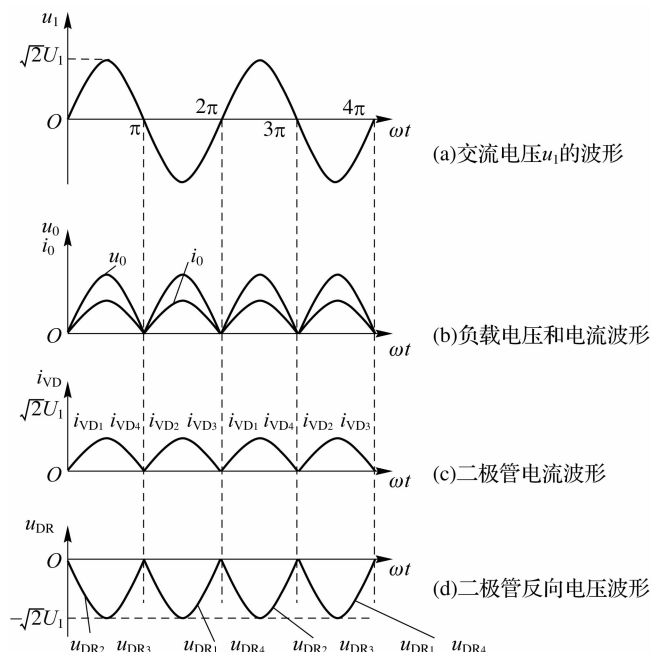


图 3-2-18 单相桥式整流电路中各物理量的波形

注意:桥式整流电路中的 4 个二极管应采用同型号规格,且注意其连接方式。

4) 三相交流整流电路

三相交流整流电路多采用三相桥式全波整流。3 个正二极管的正极引出线分别同三相绕组的首端相连,在某一瞬间,只有与电位最高的一相绕组相连的正二极管导通。同样,3 个负二极管的引出线也同三相绕组的首端相连,在同一瞬间,只有与电位最低的一相绕组相连的负二极管导通。这样反复循环,6 只二极管轮流导通,在负载两端便得到一个较平稳的脉动直流电压。

2. 开关二极管

1) 二极管的近似等效电路

二极管的特性曲线是非线性的,这给二极管电路的分析带来了一定困难。为了简化分析,常常要做一些近似处理,即用某些线性电路元件来等效二极管,画出二极管的等效电路。本课程中最常用的近似方法有两种:一种是忽略二极管的正向电压和反向电流,把二极管理想化为一个开关,如图 3-2-19 所示。当外加正向电压时,二极管导通,此时二极管的导通电压 $U_{ON}=0$,等效为一个闭合的开关;当外加反向电压时,二极管截止, $I \approx 0$,等效为一个断开的开关。另一种是近似认为二极管正向导通时有一个固定的管压降 U_{ON} ,于是可用一固定电压源 U_{ON} 来等效,工作电流较小时,锗管的 U_{ON} 为 $0.2 \sim 0.4 \text{ V}$,硅管为 $0.6 \sim 0.8 \text{ V}$;当电压 $U < U_{ON}$ 时,二极管不导通,电流为零,相当于开路,如图 3-2-20 所示。

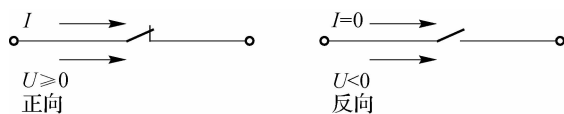


图 3-2-19 理想二极管的等效电路

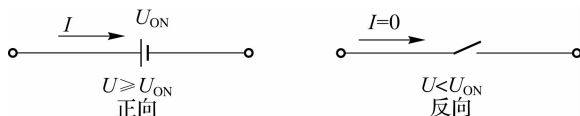


图 3-2-20 考虑正向压降时二极管的等效电路

2) 二极管的开关特性

当二极管在外加电压的作用下反复导通或截止时,这种工作状态称为开关状态。根据二极管正、反向特性,在数字电路中通常使二极管工作在开关状态。图 3-2-21 给出了硅二极管的简化等效开关电路。图 3-2-21(a)说明,当二极管承受正向电压大于 0.7 V(硅管)时,VD 导通,此时 VD 可等效为一个理想开关 S 与 0.7 V 电压源相串联;图 3-2-21(b)说明,VD 承受反向电压时,二极管截止,此时 VD 就如同一个断开的开关。

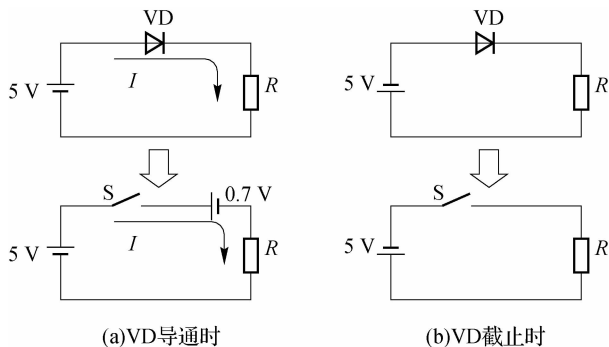


图 3-2-21 硅二极管的简化等效开关电路

实际工作中,有时为了分析问题简单化,常把二极管理想化,即利用它的理想化线性模型,认为二极管在导通时正向压降等于零,截止时的反向电流等于零,这样二极管就成为无触点的开关元件。

例 3-2-2 设图 3-2-22 中的 VD 是理想二极管,试问当 S 闭合与断开时,P 点的电位各为多少?

解 (1)当 S 闭合时,P 点直接接地,该点电位为 0 V,此时二极管因承受反向电压而截止,所以 $U_P=0$ V。

(2)当 S 断开时,5 V 电源与地断开,经过 R 和 VD 与 3 V 电源接通,构成一个回路,此时 VD 是理想二极管,故可忽略其正向压降,将 VD 等效为一个闭合开关,所以 $U_P=3$ V。

例 3-2-3 设图 3-2-23 中二极管均为 2AP 型锗管,试判断图中哪个二极管导通,并求出 A 点的电位。

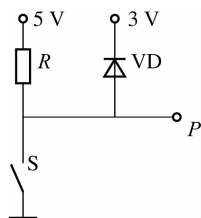


图 3-2-22 例 3-2-2 电路

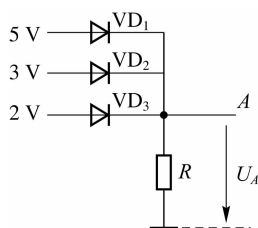


图 3-2-23 例 3-2-3 电路

解 3 只二极管的阴极是连在一起的,在电路中其阴极电位就是相同的。因此,3 只管子中,阳极电位最高的那管子导通。显然 VD_1 导通,并使 A 点电位为 $U_A = (5 - 0.3) \text{ V} = 4.7 \text{ V}$ 。其中,0.3 V 为锗管 VD_1 的正向导通压降。此时,A 点电位已被钳制在 4.7 V,从而使 VD_2 、 VD_3 处于反向电压作用下而截止。

3. 脉冲整形

这里介绍二极管在脉冲整形电路中的应用。整形电路可以对正弦信号和脉冲信号的波形进行变换,因而也称为波形变换电路。

1) 二极管限幅器

限幅电路的作用是把输出信号波形的幅度限制在一定的范围内,因此又称为削波电路。利用二极管的开关特性,并加上一个限幅参考电压,就可以组成限幅电路,如图 3-2-24 所示。

在检测技术中,为了对信号进行精密测量,必须将幅度不大的干扰信号去掉。为此,将输入信号通过如图 3-2-24(a) 所示的电路,使输出电压 u_o 的幅度限制在有用的信号幅度 $U_{on} + E$ 内,如图 3-2-24(b) 所示。

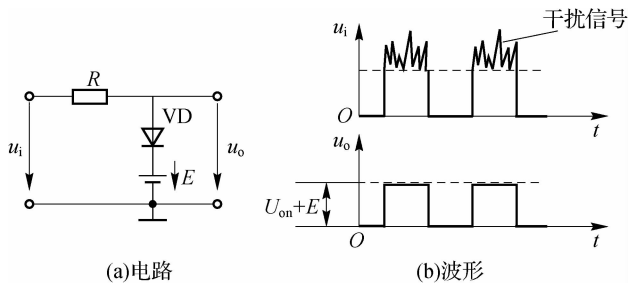


图 3-2-24 限幅电路

矩形脉冲信号经传输经常发生波形畸变。例如,当其他脉冲信号通过导线间的分布电容或公共电源线叠加到矩形脉冲信号上时,信号上将出现附加的噪声,如图 3-2-25(b) 所示。

对于上述情况,可以采用图 3-2-25(a) 所示的脉冲整形电路,使输入信号的噪声限制在 $2U_{on}$ 电压内,如图 3-2-25(b) 的 u_o 波形。

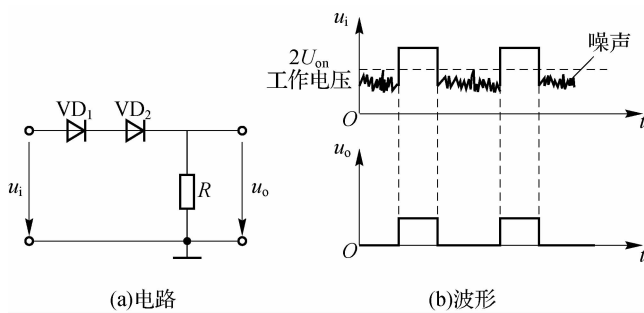


图 3-2-25 脉冲整形电路

2) 微分电路

RC 微分电路的用途是把矩形脉冲信号变换成一对尖脉冲。也就是说,它可以把输入信号中突然变化的部分选择出来,包含有“微分”的意思,其原理图如图 3-2-26 所示。

微分电路的工作过程如下(没有接通二极管)。

(1)在 t_1 时刻,输入矩形脉冲电压 u_i 从 0 突变为 u_{im} 。由于电容 C 两端的电压不能跃变,需要经过一个充电过程,所以在 t_1 时刻 C 两端的电压 $u_C=0$,于是 u_{im} 全部落在电阻 R 两端。因此,在 t_1 时刻 $u_o=u_{im}$,如图 3-2-26(b)所示。

(2)在 $t_1 \sim t_2$ 时间内,输入电压 u_i 仍然等于 u_{im} ,而电容 C 两端的电压在按指数规律上升,电阻 R 两端电压的大小就逐渐按指数规律下降。当 C 充电到接近 u_{im} 时, u_o 接近 0,就得到了一个正尖脉冲,如图 3-2-26(b)所示。

(3)在 t_2 时刻, u_i 突然从 u_{im} 变化为 0,输入端可以看作短路。由于 C 两端的电压(此时 $u_C=u_{im}$)也不能突变,因此 C 两端的电压 u_{im} 就全部加在电阻的两端,即此时 $u_o=-u_{im}$,是负值(从电容放电回路看,放电电流与充电电流方向相反)。

(4)在 $t_2 \sim t_3$ 时间内,输入电压 u_i 为负值,并与电容电压共同对电阻 R 按指数规律放电,因而电阻 R 两端的输出电压 u_o 从 $-u_{im}$ 很快按指数规律上升。当电容放电即将结束时(包含反向充电),电阻两端电压几乎为零,这就得到了一个负尖脉冲。

如果在微分电路中并联一个二极管,在 $t_2 \sim t_3$ 时间内,二极管导通, u_o 被限制在导通工作电压 $U_{on}(0.7\text{ V})$,如图 3-2-26(b)所示。

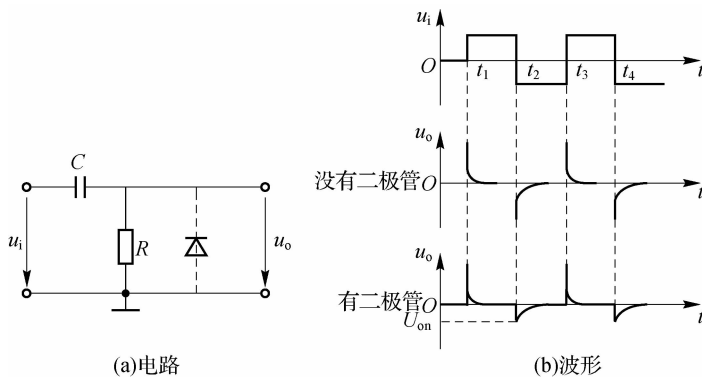


图 3-2-26 微分电路

引导问题 7 拓展:其他类型的半导体二极管有哪些?



图 3-2-27 稳压二极管

1. 稳压二极管

稳压二极管是一种特殊的面接触型半导体硅二极管。由于它在电路中与适当阻值的电阻配合后能起到稳定电压的作用,故称为稳压二极管(简称稳压管),如图 3-2-27 所示。稳压管的测量方法与普通二极管相同,但须注意稳压管的反向电阻较普通二极管小。

1) 基本工作原理

稳压管工作于反向击穿区。当稳压管两端的反向电压在一定范围内变化时,反向电流很小。当反向电压增大到击穿电压时,流过稳压管的反向电流骤增,稳压管反向击穿。此后,电流虽然在很大范围内变化,但稳压管两端的电压变化很小。利用这一特性,稳压管在电路中能起到稳压作用。稳压管与一般二极管不一样,它的 PN 结的反向击穿是可逆的。当 PN 结去掉反向电压之后,稳压管又恢复正常。但是,如果反向电流超过允许范围,稳压管将会发生热击穿而损坏。

PN 结电击穿有两种类型,即雪崩击穿和齐纳击穿。

(1) 雪崩击穿。PN 结反向工作时,有少量载流子漂移通过空间电荷区。这些载流子在漂移过程中不断与晶格原子发生碰撞。随着加在 PN 结上反向电压的增大,结中电场增强,在这个电场的作用下,通过 PN 结的载流子漂移速度加快,动能增大。外加电压增大到一定数值时,这些载流子获得足够大的动能,它们与 PN 结中的原子碰撞时,能把其中的价电子碰撞出来,产生新的电子空穴对。新产生的电子空穴对与原有的载流子一起,又在电场中加速,获得能量,再去碰撞原子,产生更多的电子空穴对。载流子的这种倍增现象,如同雪山崩溃一样,势不可挡,瞬间便在 PN 结中产生击穿。雪崩击穿通常发生在掺杂浓度较低的 PN 结中,这是因为浓度低的 PN 结空间电荷区较宽,载流子通过空间电荷区时,与原子碰撞的机会较多。由于空间电荷区宽,需要较高的电压才能产生碰撞电离所需的足够的电场强度,所以击穿电压较高。

(2) 齐纳击穿。如果 PN 结的掺杂浓度较高,则空间电荷区较窄,载流子通过空间电荷区时与晶格上原子碰撞机会少,不易发生碰撞电离和载流子的倍增现象。然而,这种 PN 结却会在较低的反向电压下击穿。这是因为空间电荷区很窄,只要加上不太高的反向电压,PN 结中的电场强度便会达到很高的数值,以致能够把共价键上的价电子拉出来,产生大量的电子空穴对,因而反向电流剧增,这种击穿称为齐纳击穿。

实践和理论分析表明,击穿电压小于 4 V 的属于齐纳击穿,击穿电压高于 6 V 的是雪崩击穿,介于两者之间,两种击穿机制都可能起作用。

雪崩击穿和齐纳击穿属于电击穿。通常电击穿不会损坏 PN 结,只要限制击穿后的反向电流不超过一定范围,那么,当将反向电压降低到击穿电压以下时,PN 结就重新恢复其反向高阻状态。但是,如果击穿后反向电流很大,以至 PN 结上消耗的功率超过允许的数值,引起结温升高,发生所谓热击穿,发展下去便会将 PN 结烧坏。

由以上论述可知,PN 结反向击穿后,电流可以在相当大的范围内变化,而结两端的电压变化很小。这种电流改变而电压基本不变的特性称为稳压特性,稳压管就是利用这一特性工作的。为了利用击穿后的特性,必须限制击穿后的电流,以免结上功率损耗过大而将 PN



结烧坏。击穿电压的大小可以由制造工艺过程控制。

2) 特性曲线和特性参数

稳压管的符号、外形和伏安特性曲线如图 3-2-28 所示。它的伏安特性与二极管基本相同,只是稳压管正常工作时是利用特性曲线的反向击穿区。实际应用中,通常规定稳压管 U 、 I 的参考方向是:阴极电位高、阳极电位低时电压 U 为正,电流从阳极流出时 I 为正。

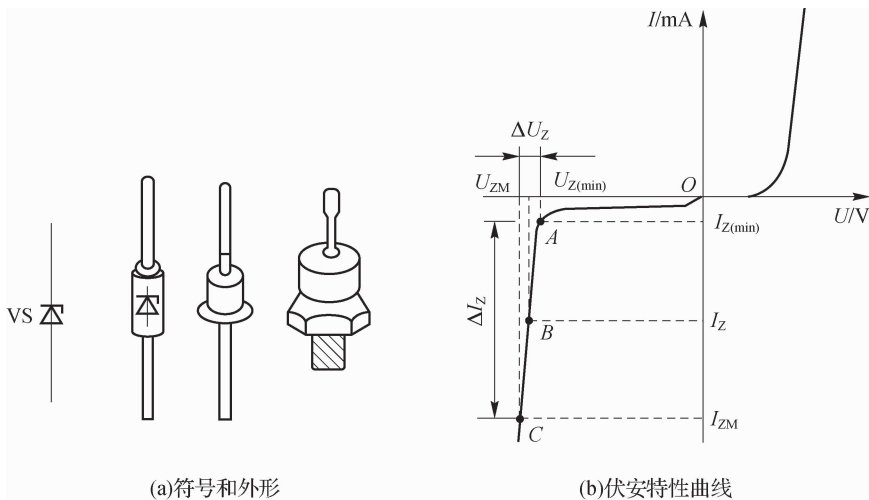


图 3-2-28 稳压管的符号、外形和伏安特性曲线

稳压管的主要特性参数如下。

(1) 稳定电压 U_Z 。 U_Z 是稳压管反向击穿后的稳定工作电压值。例如,稳压管 2CW1 的稳定电压是 7~8.5 V。由于工艺上的困难,同一型号的管子,稳定电压值有一定的分散性。例如,同样都是 2CW1 型的稳压管,一个稳定电压是 7 V,而另一个却可能是 8.5 V。

(2) 动态电阻 r_Z 。 r_Z 是稳压管在稳定工作范围内管子两端电压的变化量与相应电流变化量之比,即

$$r_Z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z}$$

r_Z 越小,表示稳压作用越好。

(3) 稳定电流 I_Z 。稳定电流是稳压管工作时的参考电流值,手册上给出的稳定电压和动态电阻都是指在这个电流下的值,设计时要根据具体情况来考虑,但是每一种型号的稳压管都规定有一个最大稳定电流 I_{ZM} 。

(4) 电压温度系数 C_{TV} 。温度变化 1 °C 时,稳定电压变化的百分数,定义为电压温度系数。它是表示稳压管温度稳定性的参数。例如,2CW1 的电压温度系数是 0.07 %/°C,假设 20 °C 时稳定电压 $U_Z = 8$ V,那么 50 °C 时稳定值将为

$$\left[8 + \frac{7}{10\,000} \times (50 - 20) \times 8 \right] \text{ V} = 8.168 \text{ V}$$

电压温度系数越小,温度稳定性能越好。通常,稳定电压低于 6 V 的管子,电压温度系数是负值;稳定电压高于 6 V 的管子,电压温度系数是正值;而稳定电压在 6 V 左右的管子,电压温度系数最小,接近零。所以,对温度稳定性要求较高的场合选用 6 V 左右的管子。

(5)最大允许耗散功率 P_{ZM} 。 P_{ZM} 即管子不致发生热击穿的最大功率损耗, $P_{ZM}=U_Z I_{ZM}$ 。

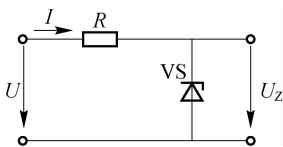


图 3-2-29 稳压管电路

为了限制稳压管击穿以后的电流,使用时必须在电路中串联电阻,如图 3-2-29 所示。

当 $U < U_Z$ 时,稳压管未击穿,电路不通;当 $U > U_Z$ 时,稳压管击穿, $I = \frac{U - U_Z}{R}$,必须适当选择 R 值,使得 $I < I_{ZM}$ 。

R 称为限流电阻。

部分稳压管的参数见表 3-2-5。

表 3-2-5 部分稳压管的参数

型号	稳定电压 U_Z/V	正向压降 V	稳定电流 I_Z/mA	动态电阻 r_z/Ω	电压温度系数 $C_{TV}/(\%/^{\circ}C)$	极限参数			
						$-50 \sim +50^{\circ}C$		$+125^{\circ}C$	
						耗散功率 P_Z/mW	最大稳定电流 I_{ZM}/mA	耗散功率 P_Z/mW	最大稳定电流 I_{ZM}/mA
2CW10	2~3.5	≤ 1	10	≤ 50	$-0.04 \sim +0.04$	250	71	65	14
2CW11	3.2~4.5	≤ 1	10	≤ 70	$-0.05 \sim +0.03$	250	55	65	14
2CW15	7~8.5	≤ 1	5	≤ 15	0.07	250	29	65	8
2DW7B	5.8~6.6	—	10	≤ 15	0.005	200	30	—	—
2DW7C	6.1~6.5	—	10	≤ 10	0.005	200	30	—	—

3) 稳压管的稳压作用和限压作用

稳压管主要有两方面的作用,即稳压作用和限压作用。

(1)稳压作用。稳压管是一种特殊的二极管,它与普通二极管有两点不同之处:一是普通二极管工作在正向偏置,而稳压管工作在反向偏置;二是普通二极管反向击穿特性曲线较软,而稳压管反向击穿特性曲线较硬(反向击穿特性曲线较陡),并且普通二极管一般反向击穿后就不能恢复正常工作,而稳压管正常工作时就处于反向击穿状态。

稳压管反向击穿后,电流可以在相当大的范围内变化,而电压变化很小,这就是稳压管的稳压机理,也称稳压特性。利用这个特性,稳压管常用于稳压电路。

(2)限压作用。齐纳二极管特别适合于稳压,它用在几乎所有稳压电源设备中。前面讨论的稳压管也是齐纳二极管,此外,它还用作限幅二极管,用来限制电压幅度。单限比较器原理图及其传输特性如图 3-2-30 所示。

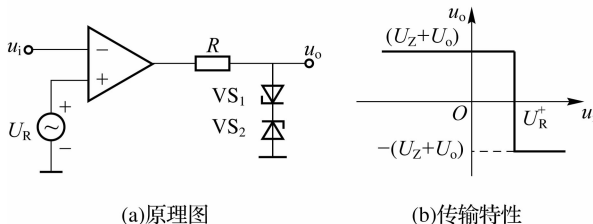


图 3-2-30 单限比较器原理图及其传输特性

图中, u_i 为输入电压, U_R 为参考电压,运放工作于开环状态,具有很高的开环电压增益 A_u ; VS_1 和 VS_2 组成双向稳压管,用来限制输出电压的幅度。假定 VS_1 和 VS_2 的反向击穿

电压均为 U_Z , 且正向导通压降均为 U_D , 由图可知, 当 $u_i > U_R$ 时, 由于 A_u 很大, 此时比较器输出的负电压足以使 VS_1 反向击穿和 VS_2 正向导通, 故最后的输出电压被限制在 $-(U_Z + U_D)$, 即 $u_o = U_{o-} = -(U_Z + U_D)$; 同理, 当 $u_i < U_R$ 时, 比较器最后的输出电压被限制在 $+(U_Z + U_D)$, 即 $u_o = U_{o+} = +(U_Z + U_D)$ 。由此, 该电路应具有图 3-2-30(b) 所示的传输特性。

2. 发光二极管

发光二极管(light emitting diode, LED)是一种能将电能转换成光能的半导体器件, 它是由磷砷化镓、镓铝砷或磷化镓等化合物材料制成的。其内部结构是一个 PN 结, 其外形及符号如图 3-2-31 所示。它的工作电流一般为几毫安至十几毫安, 其正向导通电压较高, 为 $2 \sim 3$ V。为了防止正向电流过大而损坏发光二极管, 使用时应串联限流电阻。

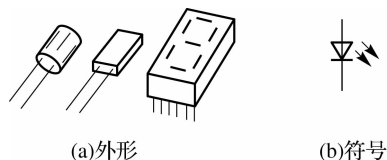


图 3-2-31 发光二极管的外形及符号

LED 的内部结构特征决定其本身具备以下优点。

- (1) 体积小。LED 是由一块很小的晶片被封装在环氧树脂里, 故体积非常小, 质量很轻。
- (2) 耗电量低。LED 耗电量很低, 通常其正向导通电压较高, 为 $2 \sim 3$ V, 工作电流为 $20 \sim 30$ mA, 消耗的电能不超过 0.1 W; 电光功率转换接近 30% , 相同照明效果比传统光源节能近 80% 。
- (3) 使用寿命长。LED 为固体冷光源, 环氧树脂封装, 灯体内没有松动部分, 没有灯丝发光易烧、热沉积、光衰等缺点。在合适的电压、电流下, 寿命可达 6 万至 10 万小时, 是传统光源寿命的 10 倍以上, 故称 LED 为长寿灯。
- (4) 亮度高、热量低。LED 使用冷发光技术, 发热量比普通照明灯具低很多。
- (5) 坚固耐用。LED 被完全封装在环氧树脂里, 比普通灯具坚固, 灯体内没有松动部分, 故坚固耐用。
- (6) 环保。LED 由无毒材料制成, 而普通荧光灯含汞, 易造成污染; LED 可以回收再利用; LED 光谱中没有紫外线、红外线, 既没有热量, 也没有辐射, 眩光小, 可以触摸, 是典型的绿色照明光源。

LED 在汽车上的应用主要是 LED 汽车用灯, 包括汽车 LED 前照灯、仪表板及其他各种照明部分的光源、音响指示灯、开关背光源、外部制动灯、尾灯、中央后置高位制动灯等。LED 汽车尾灯模组可以随意组合成各种汽车尾灯。

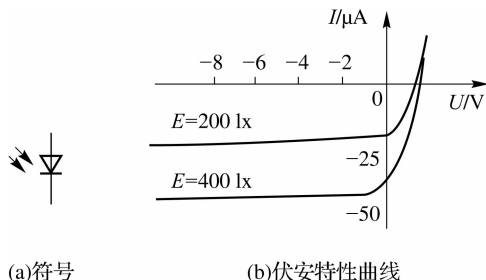


图 3-2-32 光电(敏)二极管符号及其伏安特性曲线

3. 光电(敏)二极管

光电(敏)二极管是一种能将光能转换成电能的半导体器件。在 PN 结受到光线照射时, 可以激发产生电子空穴对, 从而提高了少数载流子的浓度。当外加反向电压时, 少数载流子增多, 少数载流子漂移电流显著增大。所以, 当外界光发生强弱变化时, 二极管的反向电流大小也随之变化, 利用这种原理工作的二极管, 称为光电(敏)二极管。其符号及伏安特性曲线如图 3-2-32 所示。

各小组成员根据下面实训内容制定实施本次实训任务的步骤和内容,预期效果,并记录于表 3-2-6 中。

表 3-2-6 实训任务实施的步骤和内容

步 骤	内 容
1	
2	
3	
4	
5	

引导问题 8 完成本次学习任务需要准备哪些实训器材?



任务实施

一、任务要求

任务要求见附录 1。

二、任务步骤

步骤一 实训器材的认识及检查

认识和检查相关实训器材。

步骤二 整流二极管的检测

(1)检测正极型二极管,如图 3-2-33 所示。

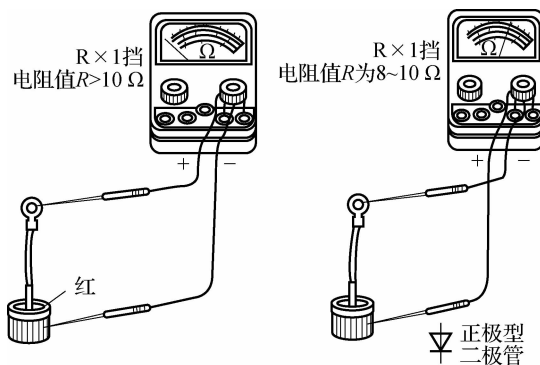


图 3-2-33 检测正极型二极管



视频
检测正极型二
极管



(2)检测负极型二极管,如图 3-2-34 所示。

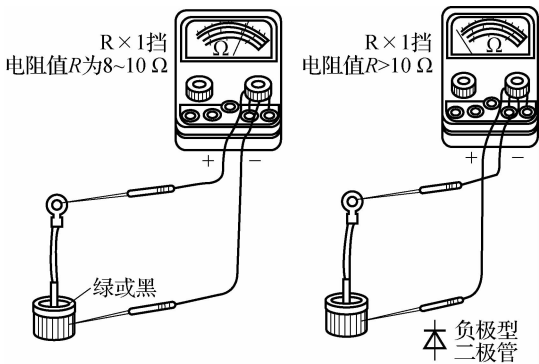


图 3-2-34 检测负极型二极管

注意:在整流二极管的检测过程中,若测得的正反向电阻值均为零,说明二极管已被击穿短路;若测得的正反向电阻值均为无穷大,表明二极管开路。

将测量的数值填入表 3-2-7 中。

表 3-2-7 检测整流二极管

万用表表笔接法	万用表挡位	测得的电阻值	
		正极型二极管	负极型二极管
红表笔接引线			
黑表笔接外壳			
黑表笔接引线			
红表笔接外壳			

步骤三 LED 特性测量

- (1)用万用表二极管挡测量红色 LED,观察 LED 的发光现象。
- (2)根据测量现象,确定红色 LED 的正负极。
- (3)观测不同颜色 LED 正向压降和电流,并列表说明规律。

步骤四 整流电路测试

(1)按图 3-2-35 分别连接半波整流电路和桥式整流电路,用示波器观察并记录 U_2 及 U_L 的波形,测量 U_2 及 U_L 的数值,将测量结果按照要求填入表 3-2-8 中。

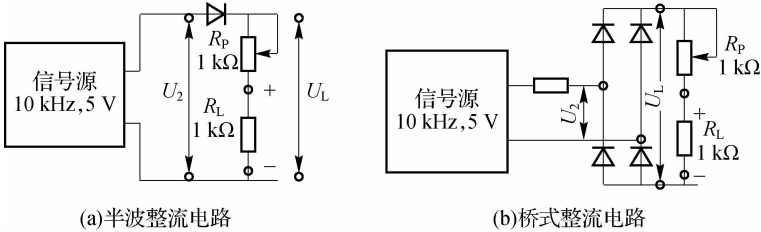


图 3-2-35 整流电路测试

表 3-2-8 整流电路测试记录表

测试项目	U_2		U_L	
	波 形	数 值	波 形	数 值
半波整流电路				
桥式整流电路				

(2)将 U_2 及 U_L 的测量值与计算值比较,是否有误差? 并进行说明。

步骤五 实训过程检查

检查项目	结果与数据	检查项目	结果与数据	检查项目	结果与数据
能否正确区分 正极管和负极管		能否正确检测 负极型二极管		是否单独 完成工作页	
能否正确检测 正极型二极管		能否判别 整流二极管的好坏		是否严格 执行 6S 管理	

步骤六 评价与反馈

评价与反馈内容见附录 2。



问题与练习

1. 什么是本征半导体? 什么是杂质半导体?
2. 二极管内部的特殊结构是什么? 二极管具有什么特性?
3. 如何判别二极管的好坏?
4. 二极管有哪些应用场合?
5. 二极管在汽车上有哪些应用?

学习任务三 电容、电感及交直流变换电路



学习目标

知识目标

- 理解电容、电感的特性;
- 理解电容、电感的内部结构;
- 掌握电容、电感在波形变换电路中的作用。



技能目标

- 掌握电容、电感的伏安特性和储能特性；
- 掌握电容、电感的标示方法和检测方法；
- 掌握电容、电感在汽车上的应用。

素质目标

- 规范课堂 6S 管理；
- 养成团队协作的好习惯；
- 养成独立思考问题的好习惯。

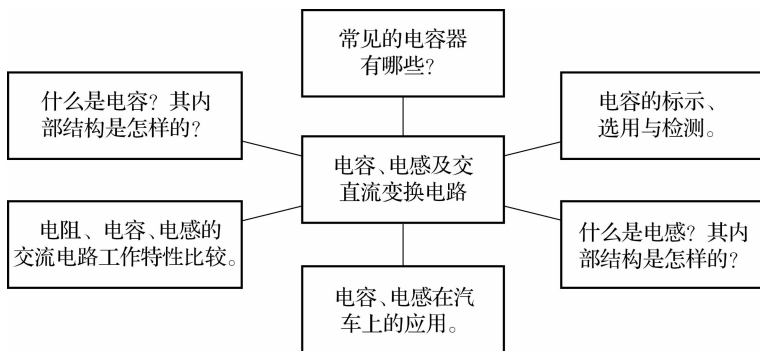


任务导入

电路中有电阻元件、半导体元件,还有电容和电感元件。电阻、电容、电感组合在一起形成特定电路,可以完成电路的波形变换。一辆轿车大灯改用氙气灯后发现开灯瞬间音响自动重启,该如何解决呢?



内容引导



引导问题 1 什么是电容? 其内部结构是怎样的?

电容是衡量导体存储电荷能力的物理量,电容器是电子电路中常用的电子元件之一。

1. 电容的特性

电容的参考电压与参考电流方向如图 3-3-1 所示,有

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (3-3-1)$$

式(3-3-1)表明,只有电容上的电压变化时,电容两端才有电流。在直流电路中,电容上即使有电压,但其对时间的变化率为 0,即 $i=0$,此时电容相当于开路状态,因此电容具有隔直通交的作用。

电容极板间存储的电场能量为

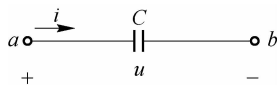


图 3-3-1 电容的参考电压与参考电流方向

$$W_C = \int_0^u ui \, dt = \int_0^u uC \frac{du}{dt} dt = \frac{1}{2} Cu^2 \quad (3-3-2)$$

式(3-3-2)表明,电容元件在某时刻存储的电场能量与元件在该时刻所承受的电压的平方成正比。电容元件不消耗能量,为储能元件。

电容器容量的大小就是表示能存储电能的大小,电容对交流信号的阻碍作用称为容抗,它与交流信号的频率和电容量有关。

由于电容器具有隔直流、通交流、储能等特性,常用它与其他元件来组成滤波、耦合、旁路、振荡等电子电路。电容元件的重要特性是电容两端的电压只能连续变化而不能发生跃变。

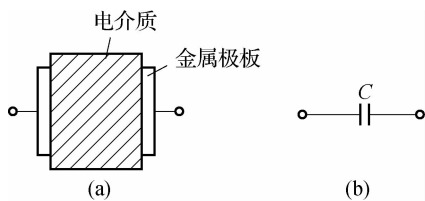


图 3-3-2 电容内部结构及电路符号

2. 电容的内部结构

电容由两块金属板中间隔一层绝缘介质所构成。两个金属导体称为极板,绝缘介质称为电介质,如蜡纸、云母、塑料、玻璃、陶瓷等。电容内部结构及电路符号如图 3-3-2 所示。

图 3-3-3 所示为一些常用的电容。大多数电容并联在负载电路中,如图 3-3-4 所示。

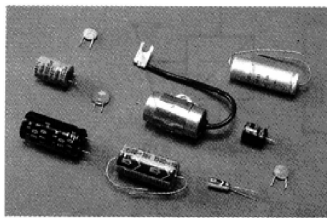


图 3-3-3 车用电子电路中的常用电容

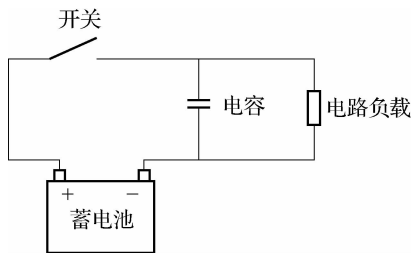


图 3-3-4 简单的电容电路

电容器的容量与极板的尺寸和介质的介电常数有关,其计算公式为

$$C = \frac{q}{u} = \frac{\epsilon S}{d}$$

式中, ϵ 为介电常数,F/m; S 为极板面积, m^2 ; d 为板间距离,m。

3. 电容的单位

电容器通常用最大额定电压和电容值来标示。标准电容量单位是法拉(F),其他单位还包括毫法(mF)、微法(μ F)、纳法(nF)和皮法(pF)。一般车用电容的容量级别为百分之一法拉,即常用单位是 μ F。电容的单位换算如下。

$$1 \text{ F} = 10^3 \text{ mF} = 10^6 \mu\text{F} = 10^9 \text{ nF} = 10^{12} \text{ pF}$$

引导问题 2 电容的充放电特性是怎样的?

电容将电能转换为电场能存储起来。当电压增大时,电场能增大,电容元件从电源取用电能;当电压减小时,电场能减小,电容元件向电源放还能量。电容的充放电就是电荷的存储和释放过程或者电能的存储和释放过程。电容充放电的快慢决定于电路的参数,通常用时间常数(τ)表示, $\tau = RC$ 。

电容基于异种电荷互相吸引并且极性相反的两点间存在电压的基本原理而工作。



在图 3-3-5 中,当系统开关闭合时,电流流入电容,直到充电后电压与蓄电池两端的电压相等。电子从负极板流出,流向正极板,便在负载电路中产生电流。电子实际上并没有通过电容两块带异性电荷极板间的静电场,仅以静电的形式存储在极板上。

当直流电路开关断开后,电容从负极板表面释放电子,流经有阻抗的负载,到达电容正极板并一直达到正负中和的状态,如图 3-3-6 所示。

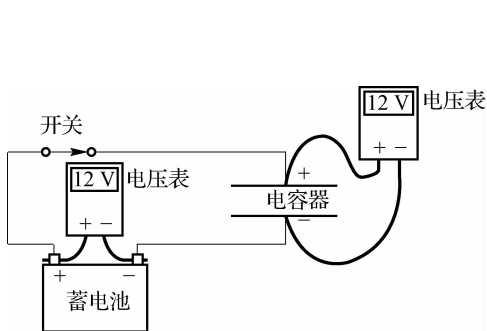


图 3-3-5 充满电的电容

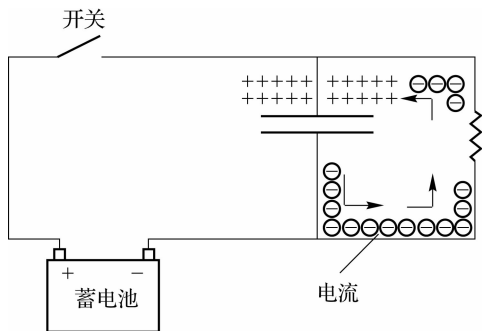


图 3-3-6 开关断开电容放电时电流的流动

引导问题 3 常见的电容器有哪些?

电容器上一般标有其容量值,常用电容器由塑料、陶瓷或电解质材料介质制成,图 3-3-7 所示为常见电容器的外形。



(a)陶瓷电容器 (b)云母电容器 (c)纸介电容器 (d)涤纶电容器 (e)电解电容器

图 3-3-7 常见电容器的外形

(1)陶瓷电容器。陶瓷电容器以高介电常数、低损耗的陶瓷材料为介质,耐高温,漏电流小,损耗小,性能稳定,体积小,容量小。

(2)云母电容器。云母电容器是以云母片作介质的电容器。其性能优良,高稳定性,高精密度。

(3)纸介电容器。纸介电容器的电极用铝箔或锡箔制成,绝缘介质是浸蜡的纸,相叠后卷成圆柱体,外包防潮物质,有时外壳采用密封的铁壳以提高防潮性。其价格低,容量大,损耗大,体积大。

(4)涤纶电容器。涤纶电容器用两片金属箔做电极,夹在极薄绝缘介质中,卷成圆柱形或者扁柱形芯子,介质是涤纶。其介电常数较高,体积小,容量大,稳定性较好。

(5)电解电容器。电解电容器是以铝、钽等金属氧化膜做介质的电容器,容量大,稳定性差。

标注在电容器外壳上的电容量大小称为标称容量,它是有标准系列规定的,见表 3-3-1。

表 3-3-1 各类电容器标称容量标准系列

名 称	允许误差	允许范围	标称容量
纸质复合介质电容器 (有极性)、有机薄膜介质电容器	$\pm 5\%$	100 pF~1 μ F	1.0、1.5、2.2、3.3、4.7、6.8
	$\pm 10\%$ $\pm 20\%$	1~10 μ F	1、2、4、6、10、15、20、30、50、60、80、100
有机薄膜介质电容器、陶瓷电容器	$\pm 5\%$	—	E24
	$\pm 10\%$	—	E12
铝、钽、铌电解电容器	$\pm 10\% \sim \pm 20\%$	—	—

注:标称容量为表中数值或表中数值乘以 10^n ,详见图 3-3-8 和表 3-3-2。

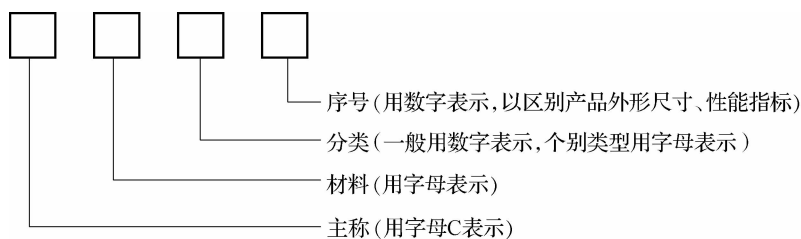


图 3-3-8 电容器型号组成

表 3-3-2 电容器的材料、分类代号及其意义

材 料		分 类				
符号	意义	符号	意 义			
			瓷介电容	云母电容	电解电容	有机电容
C	高频陶瓷	1	圆片	非密封	箔式	非密封
Y	云母	2	管形	非密封	箔式	非密封
I	玻璃釉	3	迭片	密封	烧结粉液体	密封
O	玻璃膜	4	独石	密封	烧结粉固体	密封
J	金属化纸	5	穿心	—	—	穿心
Z	纸介	6	支柱	—	—	—
B	聚苯乙烯非极性有机薄膜	7	—	—	无极性	—
BF	聚四氟乙烯非极性有机薄膜	8	高压	高压	—	高压
L	聚酯涤纶有机薄膜	9	—	—	特殊	特殊
Q	漆膜	10	—	—	卧式	卧式
H	纸膜复合	11	—	—	立式	立式
D	铝电解质	12	—	—	—	无感式
A	钽电解质	G	高功率	—	—	—
N	铌电解质	W	微调	—	—	—
T	低频陶瓷	—	—	—	—	—

引导问题 4 电容的标示方法有哪些?

电容的标示方法与电阻的标示方法基本相同,分为直标法、数标法和色标法 3 种。



1. 直标法

直标法一般只标注数值而省去单位。小于 10 000 pF 的电容,以 pF 为单位;10 000~100 000 pF 的电容,以 μF 为单位;以小数点为标志,也只标注数值而省去单位。

例如,220 表示 220 pF;.01 表示 0.01 μF ;R56 μF 表示 0.56 μF ;6n8 表示 6 800 pF。

2. 数标法

数标法一般用三位数字表示容量的大小,前两位表示有效数字,第三位表示 10 的幂次,其单位为 pF。

例如,102 表示 $10 \times 10^2 \text{ pF} = 1\,000 \text{ pF}$;224 表示 $22 \times 10^4 \text{ pF} = 220\,000 \text{ pF} = 0.22 \mu\text{F}$ 。

3. 色标法

电容的色标法与电阻类似。沿电容引线方向,第 1、2 色环表示电容量的有效数字,第 3 色环表示有效数字后面零的个数,其单位为 pF。

引导问题 5 如何选用电容器?

选用电容器要依据其主要性能指标,包括容量、额定电压和耐温值。

(1)容量。容量即存储电荷的容量。

(2)额定电压。额定电压指在额定温度范围内电容能长时间可靠工作的最大直流电压或最大交流电压的有效值。

(3)耐温值。耐温值表示长时间可靠工作时电容所能承受的最高工作温度。

使用时,当电容器额定电压能满足电路的要求,但容量不足时,可将几个容量不同的电容器并联起来,以获得较大容量,其总容量为

$$C = C_1 + C_2 + \cdots + C_n$$

当现有电容器的额定电压较小,且容量大于所需要的容量,就可以把几个电容器串联起来使用。

$$U = U_1 + U_2 + \cdots + U_n$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \cdots + \frac{1}{C_n}$$

引导问题 6 如何检测电容器?

在通常情况下,电容用于滤波或隔直流,电路中对电容量的精确度要求不高,故无须测量实际电容量。用万用表的欧姆挡可判断电容器的短路、断路、漏电等故障。

1. 指针式万用表

电容值为 0.1 μF 以下的电容器用万用表 $R \times 1\text{k}$ 或 $R \times 10\text{k}$ 挡,1 μF 以上的电容器用 $R \times 100$ 或 $R \times 10$ 挡(测量电容两引线之间的电阻值)。

若表笔接触瞬间,指针摆动一下后立即回到“ ∞ ”位置,将表笔对调再测量其阻值,指针出现同一现象,则说明电容器是好的。容量越大,指针摆动的角度也越大,1 000 pF 以下的电容器几乎看不到指针的摆动。

2. 数字式万用表

数字式万用表的检测分为电容挡直接检测和电阻挡检测。

(1)电容挡直接检测。某些数字式万用表具有测量电容的功能,测量时可将已放电的电

容两引脚直接插入电容测试插孔中,将显示屏读出的值与电容标称值比较,若相差太大,说明该电容器容量不足或性能不良,不能再使用。

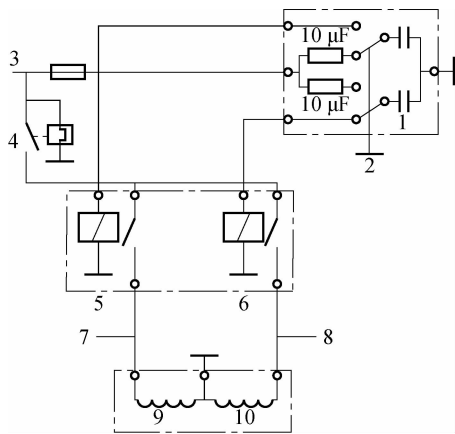
(2)电阻挡检测。将数字式万用表拨至适宜的电阻挡,红表笔和黑表笔分别接触被测电容器的两极,这时显示值将从“000”开始逐渐增加,直至显示溢出符号“1”,表明电容器正常。若不断显示“000”,表明电容器内部短路;若不断显示溢出符号“1”,则表明电容器内部极间开路。检验电解电容器时需要留意,红表笔(带正电)接电容器正极,黑表笔接电容器负极。此方法适用于测量 $0.1\ \mu\text{F}$ 至几千微法的大容量电容器。

引导问题 7 电容器在汽车上有哪些应用?

电容器作为存储电荷的元件,在汽车电路中有着广泛的应用。在传统的点火系统中,断电器触点两端常并联一电容器,起到保护触点的作用。在汽车转向灯闪光器中使用的电容器,起到使闪光器闪烁的目的。在汽车安全气囊中使用的电容器,在电路中起着备用电源的作用。当气囊需要充气时向点火器供电,使气囊充气保护乘员。

1. 电容式门锁控制器

如图 3-3-9 所示,该系统利用充足电的电容器,在工作时继电器(开锁或闭锁继电器)串联接入电容器的放电回路,使其触点短时间闭合。当转动车门钥匙时,相应的电路开关(闭锁或开锁)接通,电容器放电电流通过继电器线圈(开锁或闭锁继电器)搭铁,线圈产生电磁吸力,触点闭合,接通执行机构电磁线圈的电路,完成闭锁或开锁的动作。当电容器放电完毕后,继电器触点打开,中控门锁系统停止工作。此时另一只电容器被充电,为下一次操纵做好准备。



1—电容器; 2—门锁开关; 3—接电源; 4—热敏断路器; 5—闭锁继电器; 6—开锁继电器;
7、8—接其他门锁; 9、10—电磁式门锁执行机构。

图 3-3-9 电容式中控门锁系统

2. 无触点全晶体管式闪光器

如图 3-3-10 所示是一种简单的无触点电子闪光器,其工作原理如下。

接通转向灯开关, VT_1 因正向偏压而导通, VT_2 、 VT_3 则截止。由于 VT_3 的发射极电流很小,故转向灯较暗。同时,电源通过 R_1 对 C 充电,使得 VT_1 的基极电位下降,当低于其导



通所需正向偏置电压时, VT_1 截止。 VT_1 截止后, VT_2 通过 R_3 得到正向偏置电压而导通; VT_3 也随之饱和导通, 转向信号灯变亮。此时, C 经 R_1 、 R_2 放电, 使 VT_1 仍然保持截止, 转向信号灯继续发亮。随着 C 放电电流减小, VT_1 基极电位又逐渐升高, 当高于其正向导通电压时, VT_1 又导通, VT_2 、 VT_3 又截止, 转向信号灯又变暗。随着电容 C 的充电放电, VT_3 不断地导通、截止, 如此循环, 使转向灯闪烁。

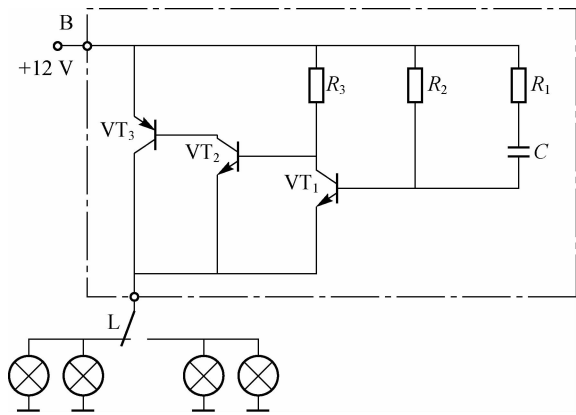


图 3-3-10 无触点电子闪光器

引导问题 8 什么是电感? 其内部结构是怎样的?

1. 电感的定义

电感和电容一样也是储能元件, 在电路中具有通直流、阻隔交流的作用。它是依据电磁感应原理, 由导线绕制而成的。电感用符号 L 表示, 它的基本单位是亨利(H), 常用毫亨(mH)为单位。它经常和电容一起工作, 构成 LC 滤波器、 LC 振荡器等。另外, 人们还利用电感的特性, 制造了阻流圈、变压器、继电器等。收音机上就有许多电感线圈, 几乎都是用漆包线绕成的空心线圈或在骨架磁心、铁心上绕制而成的。

电感元件是从实际电感线圈抽象出来的电路模型。当电感线圈通以电流时, 将产生磁通, 在其内部及周围建立磁场, 存储磁场能量。即

$$L = \frac{\psi}{i}$$

式中, ψ 为线圈中的磁通量。当忽略导线电阻及线圈匝与匝之间的电容时, 可将其抽象为只具有存储磁场能量性质的电感元件。

2. 电感的特性

电感的电流与电压的参考方向如图 3-3-11 所示, 有

$$u = -e_L = L \frac{di}{dt} \quad (3-3-3)$$

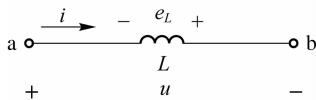


图 3-3-11 电感的电流与电压的参考方向

式(3-3-3)表明, 只有电感上的电流变化时, 电感两端才有电压。在直流电路中, 电感上即使有电流通过, 但其对时间的变化率为 0, 即 $u=0$, 在直流电流中电感相当于短路状态。

电感元件中存储的磁场能量为

$$W_L = \int_0^i u i \, dt = \int_0^i L \frac{di}{dt} i \, dt = \frac{1}{2} L i^2 \quad (3-3-4)$$

式(3-3-4)说明,电感元件在某时刻存储的磁场能量与该时刻流过电流的平方成正比。电感元件不消耗能量,为储能元件。

3. 电感的单位

在国际单位制中,电感的单位为亨利(H),其他常用单位包括毫亨(mH)和微亨(μH),其换算关系如下。

$$1\text{ H}=10^3\text{ mH}=10^6\text{ }\mu\text{H}$$

4. 电感的标注方法



图 3-3-12 直标法

(1)直标法:将电感的主要参数用文字直接标注在其外壳上,如图 3-3-12 所示。

(2)色环法:在电感的外壳涂上各种不同颜色的环,各色环颜色的含义与色环电阻标志类似,单位为微亨(μH)。

5. 电感的检测

1) 外观检查

外观检查主要是观察外形是否完好无损;磁性材料有无缺损、裂缝;金属屏蔽罩是否有腐蚀氧化现象;线圈绕组是否清洁干燥;导线绝缘漆有无刻痕划伤;接线有无断裂等。

2) 万用表测量

万用表测量主要测量电感的直流电阻值及电感量。若测量出的阻值为无穷大,说明内部线圈已开路,电感已损坏;若测量出一定的阻值且在正常范围内,说明此电感正常;若测量出的阻值偏小或阻值为零,说明导线匝间有局部短路或完全短路。

6. 电感在汽车上的典型应用

如图 3-3-13 所示为舌簧开关式电流传感器电路图。当开关闭合时,若灯泡全部工作正常,电流线圈中有额定电流流过,这时在线圈产生的磁力的作用下,舌簧开关闭合;如果有灯泡断丝,相应的电流线圈中电流减小,磁力减弱,使舌簧开关断开,进行报警。

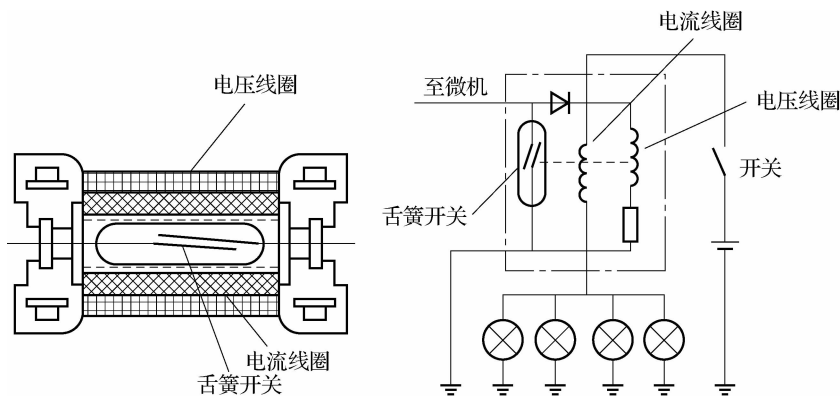


图 3-3-13 舌簧开关式电流传感器电路图

引导问题 9 电阻、电容、电感的交流电路工作特性比较。

1. 纯电阻元件的电压电流关系

在纯电阻 R 上通以正弦交流电,电压 u 和电流 i 的参考方向如图 3-3-14(a)所示。 u 和 i



两个正弦量频率相同、相位相等(相位差为 $\varphi=0^\circ$),如图 3-3-14(b)所示。电压和电流的相量图如图 3-3-14(c)所示。

2. 纯电阻元件的功率关系

在正弦交流电路中,电阻上的功率由两部分组成: UI 和 $-UI \cos 2\omega t$,并且功率是时刻变化的,其波形图如图 3-3-14(d)所示。

3. 纯电容元件的电压电流关系

图 3-3-15(a)是由电容元件组成的正弦交流电路,参考方向如图所示。电容只是在进行充、放电而不消耗能量。

u 和 i 是同频率的正弦量,在相位上 i 超前 u 90° (即 $\varphi=90^\circ$),如图 3-3-15(b)所示。电压有效值等于电流的有效值与容抗的乘积,而在相位上电压比电流滞后了 90° 。其相量图如图 3-3-15(c)所示。

4. 纯电容元件的功率关系

在电容元件的正弦交流电路中,其瞬时功率也是时刻变化的,其波形图如图 3-3-15(d)所示。

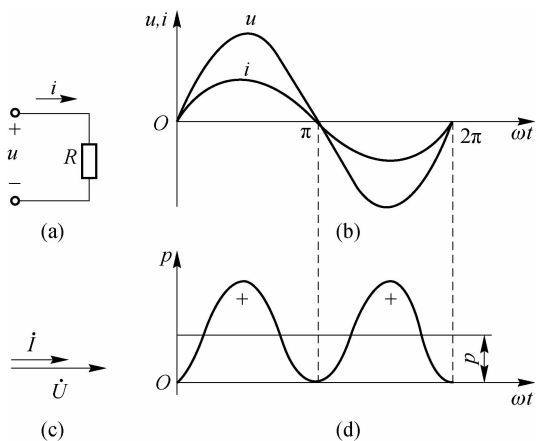


图 3-3-14 电阻元件的交流电路

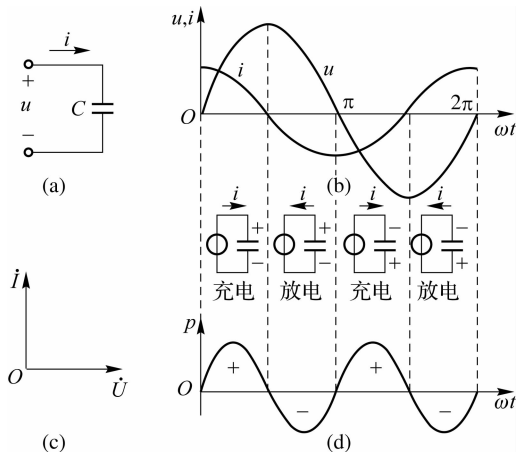


图 3-3-15 电容元件的交流电路

5. 纯电感元件的电压电流关系

实验证明,当给电感通以交流电时,因磁通量发生变化,在线圈中产生感应电动势。电感元件中 u 和 i 是两个同频率的正弦量,电压超前电流 $\pi/2$,如图 3-3-16(b)所示。其相量图如图 3-3-16(c)所示。

6. 纯电感元件的功率关系

在电感元件的正弦交流电路中,瞬时功率是时刻变化的, $p = UI \sin 2\omega t$,其波形图如图 3-3-16(d)所示。

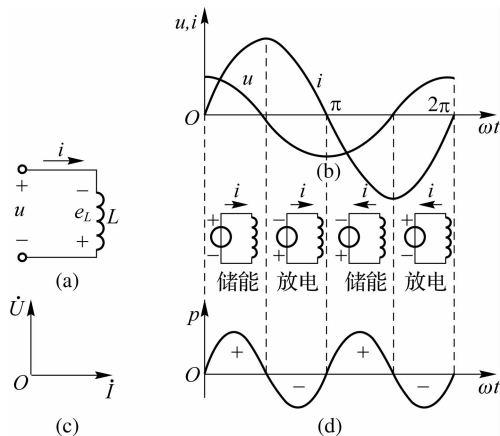


图 3-3-16 电感元件的交流电路

引导问题 10 拓展:电容、电感用于滤波电路。

整流电路可以将交流电转换为直流电,但脉动较大。在某些应用中(如电镀、蓄电池充电等)可直接使用脉动直流电源,但许多电子设备需要平稳的直流电源,这种电源中的整流电路后面还须加滤波电路将交流成分滤除,以得到比较平滑的输出电压。滤波通常是利用电容或电感的能量存储功能来实现的,常用滤波电路的结构如图 3-3-17 所示。

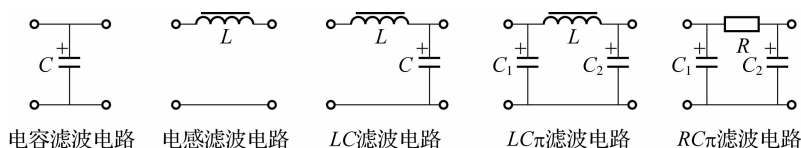


图 3-3-17 常用滤波电路的结构

1. 电容滤波电路

如图 3-3-18 所示为单向桥式整流电容滤波电路。电容 C 并联在负载两端,电容在电路中有存储和释放能量的作用。电源供给的电压升高时,它把部分能量存储起来;而当电源电压降低时,就把能量释放出来,从而减小脉动成分,使负载电压比较平滑,即电容具有滤波作用。在分析电容滤波电路时,要特别注意电容两端电压对整流器件导电的影响:整流器件只有受正向电压作用时才导通,否则截止。



拓展
滤波电路

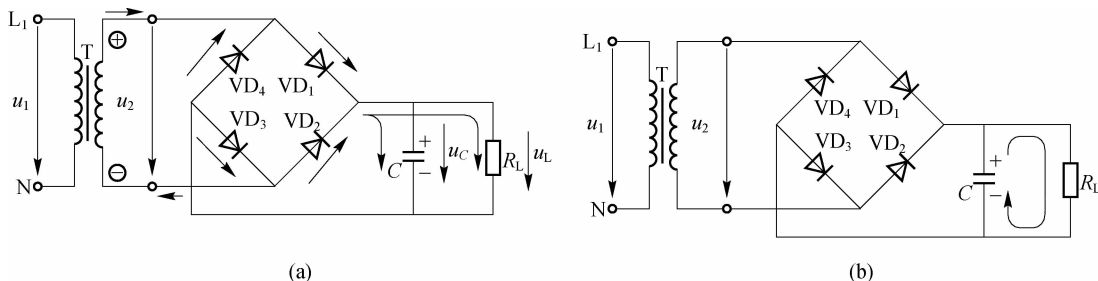


图 3-3-18 单向桥式整流电容滤波电路

单向桥式整流电路,在不接电容 C 时,其输出电压波形如图 3-3-19(a) 所示,接上电容后情况发生了变化。在输入电压 u_1 的正半周,二极管 VD_1 、 VD_3 在正向电压作用下导通, VD_2 、 VD_4 反向截止,如图 3-3-18(a) 所示。整流电路分为两路,一路经二极管 VD_1 、 VD_3 向负载 R_L 提供电流,另一路向电容 C 充电, u_C 波形将如图 3-3-19(b) 中的 Oa 段。到 t_1 时刻,电容上电压 u_C 接近交流电压 u_2 的最大值 $\sqrt{2}U_2$,极性上正下负。经过 t_1 时刻后, u_2 按正弦规律迅速下降直到 t_2 时刻,此时 $u_2 < u_C$,二极管 VD_1 、 VD_3 受反向电压作用也截止。电容 C 经 R_L 放电,放电回路如图 3-3-18(b) 所示。如果放电速度缓慢,则 u_C 不能迅速下降,如图 3-3-19(b) 中 ab 段所示。与此同时,交流电压继续按正弦规律变化,在 u_2 负半周,没有电容 C 时,二极管 VD_2 、 VD_4 应在 t_3 时刻导通,但由于此时 $u_C > u_2$,迫使 VD_2 、 VD_4 处于反偏截止状态,直到 t_4 时刻 u_2 上升到大于 u_C 时, VD_2 、 VD_4 才导通,整流电流向电容 C 再度充电到最大值 $\sqrt{2}U_2$, u_C 波形将如图 3-3-19(b) 中 bc 段。然后 u_2 又按正弦规律下降,当 $u_2 < u_C$ 时,二极管 VD_2 、



VD_4 反偏截止, 电容又经 R_L 放电。电容如此周而复始进行充放电, 负载上便得到近似如图 3-3-19(b) 所示的锯齿波的输出电压。

因此, 在电源电压的一个周期内, 电容充放电各两次。比较图 3-3-19 (a) 和图 3-3-19(b) 可见, 经电容滤波后, 输出电压比较平滑, 交流成分大大减少, 而且输出电压平均值得到提高, 这就是滤波的作用。在空载 ($R_L \rightarrow \infty$) 和忽略二极管正向压降的情况下, $U_L = \sqrt{2}U_2 \approx 1.4U_2$, U_2 是图 3-3-18 中变压器次级电压的有效值。但随着负载的增加 (R_L 减小, I_L 增大), 放电时间常数 $R_L C$ 减小, 放电加快, U_L 也就下降。与无电容滤波时比较, 输出电压随负载电阻的变化有较大的变化, 即外特性较差, 或者说带负载能力较差, 通常取 $U_L = U_2$ (半波) 或 $U_L = 1.2U_2$ (全波)。

采用电容滤波时, 输出电压的脉动程度与电容放电时间常数 $R_L C$ 有关, $R_L C$ 大一些, 脉动就小一些。通常要求 $R_L \geq (10 \sim 15)/C$, 即 $R_L C \geq (3 \sim 5)T/2$, T 为电源交流电压的周期。

此外, 接入滤波电容后, 二极管的导通时间变短 (导通角小于 180°), 但在一个周期内电容的充电电荷等于放电电荷, 电容的电流平均值为零, 所以在二极管导通期间其电流 I_D 的平均值近似等于负载电流的平均值 I_o 。因此, I_D 的峰值必然较大, 产生电流冲击, 容易使管子损坏, 故选择二极管时要考虑到这点。

滤波电容通常采用电解电容, 使用时极性不能接反。电容的耐压应大于它实际工作时所承受的最大耐压, 即大于 $\sqrt{2}U_2$ 。滤波电容的选择也可参考表 3-3-3。

表 3-3-3 滤波电容容量表

输出电流 I_o/A	2	1	0.5~1	0.1~0.5	0.05~0.14	0.05 以下
电容量 $C/\mu F$	4 000	2 000	1 000	500	200~500	200

各种整流电路加上电容滤波后, 其输出电压、整流器件上反向电压等电量参见表 3-3-4。

表 3-3-4 电容滤波整流电路的电压和电流

整流电路形式	输入交流电压 (有效值)	整流电路输出电压		整流器件上电压和电流	
		负载开路时的电压	带负载时的 U_L (估计值)	最大反向电压 U_{RM}	通过的电流 I_o
半波整流	U_2	$\sqrt{2}U_2$	U_2	$2\sqrt{2}U_2$	I_o
全波整流	U_2	$\sqrt{2}U_2$	$1.2 U_2$	$2\sqrt{2}U_2$	$0.5 I_o$
桥式整流	U_2	$\sqrt{2}U_2$	$1.2 U_2$	$\sqrt{2}U_2$	$0.5 I_o$

总之, 电容滤波电路简单, 输出电压较高, 脉动也较小; 但外特性较差, 且有电流冲击, 因此这种电路一般用于要求输出电压较高、负载电流较小并且变化也较小的场合。

2. 复式滤波电路

复式滤波电路是用电容、电感和电阻组成的滤波电路, 通常有 LC 型、 $LC\pi$ 型、 RC 型几种。它的滤波效果比单一使用电容或电感滤波要好得多, 应用也较为广泛。

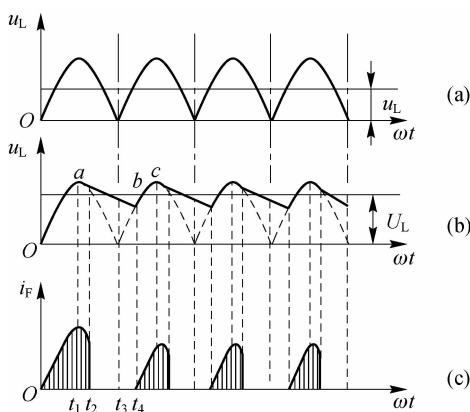


图 3-3-19 单向桥式整流电容滤波波形图

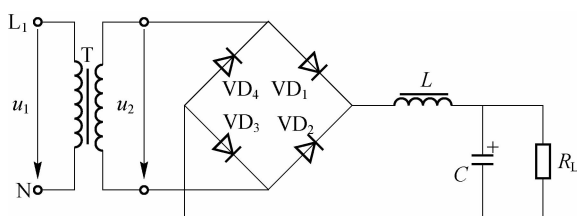


图 3-3-20 LC 型滤波电路

图 3-3-20 所示是 LC 型滤波电路,它由电感滤波和电容滤波组成。脉动电压经过双重滤波,交流分量大部分被电感阻止,即使有小部分通过电感,再经过电容滤波,到达负载上的交流分量也很小,便可达到滤除交流成分的目的。

图 3-3-21 所示是 LC π 型滤波电路,可看成是电容滤波和 LC 型滤波电路的组合,因此滤波效果更好,负载上得到的直流电压更平滑。由于 LC π 型滤波电路输入端接有电容,在通电瞬间因电容充电会产生较大的充电电流,所以一般取 $C_1 < C_2$,以减小浪涌电流。

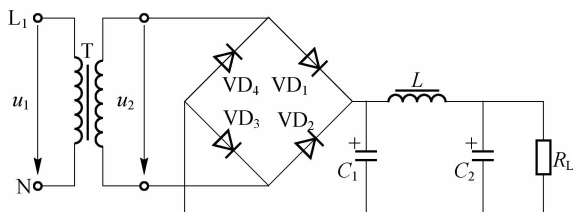
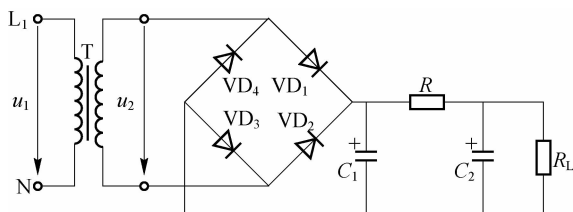
图 3-3-21 LC π 型滤波电路

图 3-3-22 所示是 RC π 型滤波电路。在负载电流不大的情况下,为降低成本,缩小体积,减轻质量,选用电阻 R 来代替电感 L。通常 R 取几十欧到几百欧。

图 3-3-22 RC π 型滤波电路

当使用一级复式滤波达不到对输出电压的平滑性要求时,可以增添级数,如图 3-3-23 所示。

3. 电子滤波电路

在上述 RC 滤波电路中,降压损失和滤波效果是一对矛盾,要解决这个矛盾可以采用晶体三极管来做电子滤波器。

由于三极管工作在放大状态时,集电极电流主要由基极电流控制,几乎不受集电极与发射极之间电压变化的影响。利用这一特性可以组成如图 3-3-24 所示的电子滤波电路。

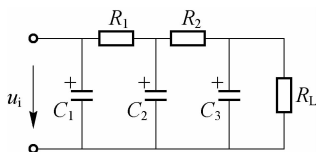


图 3-3-23 多级 RC 滤波电路

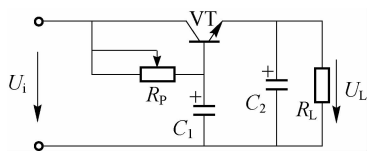


图 3-3-24 电子滤波电路



在电路中, R_P 是可调整的基极电位器, 同时与 C_1 构成一个 RC 滤波电路。由于 $I_B = I_E / (1 + \beta) = I_L / (1 + \beta)$, 因此流经 R_P 的基极电流很小, R_P 可以取得很大, 便可提高滤波效果, 这样就得到一个脉动极小的基极电压。当 R_P 调定后, 三极管 VT 就获得一个稳定的基极电流, 相应的集电极电流也就十分稳定。尽管在工作过程中输入的是脉动的直流电压 U_i , 三极管集电极与发射极间电压在波动, 但集电极电流基本不变, 负载 R_L 两端电压也就基本不变, 相当于脉动电压中交流分量被降在三极管内部。输出电压经 C_2 进一步滤波, 就获得了一个电压损失很少、交流成分很少的平滑的直流输出电压。由此可见, 三极管在这里相当于一个很好的滤波器。电路中的 R_P 通常取几千欧, C_1 常取几微法到一百微法。经过电子滤波电路后, 相当于有一个容量为 $(1 + \beta)C_1$ 的大电容接到电路中。选择三极管时, 要求该管的集电极最大允许电流 I_{CM} 、集电极最大耗散功率 P_{CM} 大于整流电路输出电流和三极管上可能产生的最大耗散功率; 集电极-发射极反向击穿电压大于滤波器输入输出端之间的最大电压。这种滤波电路常用在整流电流不很大但滤波要求高的场合。

以上讨论了常见的几种滤波电路, 它们的特性不一, 电容滤波、 $RC\pi$ 型滤波流过整流器件的电流是间断的脉冲形式, 峰值较大, 外特性较差, 适用于小功率且负载变化较小的设备; 电感滤波、 LC 型滤波流经整流器件的电流平稳连续, 无冲击现象, 外特性较好, 适用于大功率且负载变化较大的设备; 电子滤波只能在小电流情况中应用。

由于整流电路的形式、滤波方式和负载性质的不同, 整流电路的各有关电量关系也不同。

各小组成员根据下面实训内容制定实施本次实训任务的步骤和内容, 预期效果, 并记录于表 3-3-5 中。

表 3-3-5 实训任务实施的步骤和内容

步 骤	内 容
1	
2	
3	
4	
5	

引导问题 11 完成本次学习任务需要准备哪些实训器材?



任务实施

一、任务要求

任务要求见附录 1。

二、任务步骤

步骤一 实训器材的认识及检查

认识和检查相关实训器材。

步骤二 电容元件的检测与识别

识别若干个不同类别的电容元件,并检测,将结果填入表 3-3-6 中。

表 3-3-6 电容元件的检测

序 号	识 别			测 量	
	类 型	电 容 量	允许误差	实测电容量	质 量
1					
2					
3					
4					
5					

步骤三 电容的滤波作用测试

如图 3-3-25 所示为测试电容滤波作用的电路。按图连接电路,用示波器观察在空载及带负载情况下,滤波电容分别为 $10\ \mu\text{F}$ 、 $100\ \mu\text{F}$ 时的输出电压 U_L 的波形,测量 U_2 及 U_L 并将测试结果填入表 3-3-7 中。

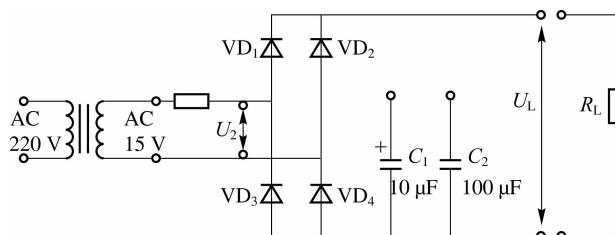


图 3-3-25 测试电容滤波作用的电路

表 3-3-7 电容滤波作用测试记录表

测试项目	$R_L = \infty$		$R_L = 1\ \text{k}\Omega$		$R_L = 150\ \Omega$	
	$C_1 = 10\ \mu\text{F}$	$C_2 = 100\ \mu\text{F}$	$C_1 = 10\ \mu\text{F}$	$C_2 = 100\ \mu\text{F}$	$C_1 = 10\ \mu\text{F}$	$C_2 = 100\ \mu\text{F}$
U_2 波形						
U_L 数值						
U_L 波形						

步骤四 实训过程检查

检查项目	结果与数据	检查项目	结果与数据	检查项目	结果与数据
电容识别与检测是否正确		示波器使用是否熟练		是否单独完成工作页	
电路连接是否正确		是否出现异常现象		是否严格执行 6S 管理	

步骤五 评价与反馈

评价与反馈内容见附录 2。

问题与练习

1. 有两只电容,一只电容量大,另一只较小。它们充电到同样电压时,哪一只电容带的电荷量多? 如果带电荷量相同,哪一只电容两端电压高?
2. 三只相同的电容,每只容量为 C_1 ,耐压为 U_1 ,则并联后总容量 C 、耐压 U 是多少? 若改为串联又是多少?
3. 电路如图 3-3-26 所示,求电容充电开始时的电流与电容充电结束时其两端的电压。
4. 完成表 3-3-8 中的相关内容。

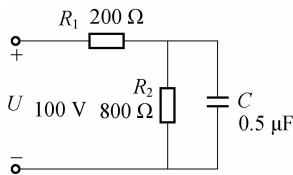


图 3-3-26 练习 3 的图

表 3-3-8 练习 4 的表

实 物	名 称	有无极性	电 容 值	指出极性
	贴片钽电容			
	贴片电解电容			
	瓷片电容			
	聚酯电容			
	电解电容			