



职业院校双元制教学用书
汽车机电工职业培训教材

学习领域 3——

电气与电子系统的检查与修理

邱贺平 吕惠芳 主 编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书以电气与电子系统的检查与修理为主要内容,以工作任务为导向,紧紧抓住做中学,做中教的教学理念。内容主要包括基本电路构成、电路的基本计算、电气与电子元件组件与系统、汽车电路图识读、灯光信号电路、电路制作与检查、接触电气零部件和高压下的工作安全与事故预防等内容。

本书适合职业院校电类、机电类和汽车类专业师生开展行动导向的教学方法使用,也可供社会相关机构培训使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电气与电子系统的检查与修理 / 邱贺平, 吕惠芳主编. —北京: 电子工业出版社, 2013.5

职业院校双元制教学用书 汽车机电工职业培训教材. 学习领域3

ISBN 978-7-121-20520-0

I. ①电… II. ①邱… ②吕… III. ①汽车—电子系统—车辆检修—中等专业学校—教材 ②汽车—电气系统—车辆检修—中等专业学校—教材 IV. ①U472.41

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第110838号

策划编辑: 杨宏利 yhl@phei.com.cn

责任编辑: 杨宏利 特约编辑: 王纲

印 刷:

装 订:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 7.75 字数: 198.4千字

印 次: 2013年5月第1次印刷

印 数: 3000册 定价: 26.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

丛书编委会

丛书顾问：

阿尔布雷希特 Ɛ 弗乐尔 (Albrecht Flor)

卡利多 Ɛ 施罗德 (Carlito Schroeder)

汉斯 Ɛ 凯夫勒 (Hans Käfler)

白丽塔 (Britta Buschfeld)

朱爱武

冯春军

丛书专家：

奥古斯特 Ɛ 戴因伯克 (August Deinböck)

斯文-奥拉夫 Ɛ 克勒贝尔 (Sven-Olaav Kleber)

约瑟夫 Ɛ 布伦贝格 (Josef Bremberger)

狄威海 (Wilhelm Dittrich)

丛书编委会主任：荣大成

丛书编委会副主任：董安徽 李 奇

丛书策划：杨宏利

丛书编委会委员：

张剑峰	陈春萍	占百春	张玉青	张巨浪
唐子江	张建成	王建军	许 婕	吴顺利
王 伟	张建雄	扈佩令	诸新炯	张恩威
邱贺平	肖 阳	吕丕华	赵超越	盛 康
徐兴振	韩玉霞	陈日骏	赵学斌	李宏亮
赵培召	沈振峰			

序

世界上闻名遐迩、独具特色的德国“双元制”职业教育模式，被誉为德国经济腾飞的秘密武器。这一模式的特征是学校和企业合作办学、知识学习与职业实践紧密结合。多年以来，“双元制”成为世界各国争相学习和借鉴的样板。

中国改革开放伊始，就与德国开展了职业教育合作。时至今日，已成功走过 30 年。还是在 1990 年，中国建设行业的职业院校，就在教育部和职业技术教育中心研究所的大力支持和指导下，与汉斯·赛德尔基金会等德国有关机构合作，开始在建设行业进行职业教育改革实验。在我国，城市交通和出租车、汽车租赁行业曾由建设部主管。1996 年，全国公交公司系统所属技工学校，在赛会职业教育专家弗乐尔（Albrecht Flor）先生的具体指导下，开展了汽车维修专业的教学改革试点。

任何一类教育的人才培养方案，其核心都是课程。课程是职业教育作为一种类型教育的最本质体现。要提高教学质量，职业教育的教学改革必须首先进行课程改革。20 世纪 80 年代末、90 年代初，随着科学技术的飞速发展和生产工艺的改进，德国于 1996 年在职业教育领域着手进行工作过程导向的“学习领域”的课程改革。这是一种以个体在企业里的工作过程为主线，以学生在实际工作过程中制订计划、采取行动并能最终对行动结果进行评价的能力培养为目标，在教学过程中实现实践教学与理论教学的一体化，并把技能与知识及价值观的教育紧密结合在一起的课程方案。基于工作过程的“学习领域”课程取代了传统的分科课程，创立了真正体现职业教育特有的职业属性的课程模式。2003 年 5 月 16 日，按照这一改革思想，德国各州文教部长联席会议颁布了新一轮基于学习领域设计的“汽车机电一体化化工教学大纲（草案）”。2004 年，几乎与德国同步，中国建设教育协会就在赛会长期专家弗乐尔（Albrecht Flor）、施罗德（Carlito Schroeder）和短期专家戴因伯克（August Deinböck）、克勒贝尔（Sven-Olaav Kleber）和布伦贝格（Josef Bremberger）的指导下，组织全国 8 所汽车类职业院校，与德国同类职业学校合作，开展“汽车机电一体化化工”专业的改革试点。试点院校借鉴德国经验，强化校企合作办学，每所试点院校都与 10 家以上的企业建立了紧密的合作关系，一些院校的合作企业甚至达到 30 多家。

5 年教改实验的成果表明，学生在专业教学、实践教学和企业顶岗培训的过程中，既掌握了相关专业技能和专业知识，又在社会能力和方法能力的培养上卓有成效，综合素质大大提高。2007 年到 2009 年，10 所试点院校近 1000 名毕业生，不仅参加了

我国劳动部门的职业资格考试，而且参加了德国工商行会海外部上海代表处（AHK in Shanghai）组织的考试。80% 以上的考生取得了我国劳动部门的职业资格证书及德国行业协会认可的职业资格证书，走上了工作岗位，受到企业界的普遍欢迎。

学习领域课程方案所指的工作过程，是一个能覆盖职业资格、工作任务和职业活动的系统。它以工作过程作为职业教育课程开发的主线，凸显了职业教育的职业性、实践性与开放性的特点。这是因为：其一，工作过程是一个清晰的结构，任何一个具体的工作过程，都有着明晰的步骤、环节、程序，具有可操作的“抓手”；其二，工作过程是一个动态的结构，同一个职业的不同时段或同一个时段的不同职业，其工作过程是不同的。特别是，工作过程不仅是具体的、形而下的，而且又是抽象的、形而上的。因为，任何一个人，在完成任何一项具体的工作任务中，尽管具体的工作过程大相径庭，但其思维过程的完整性却是一致的。由此，从变化的具体的工作过程中寻求相对不变的“思维的工作过程”，由具体获得一般，实现能力的内化，进而应对新的具体的工作过程，实现能力的迁移。这就从逻辑的、方法论的角度，解决了一个关于职业教育课程结构相对的“静”与职业变化绝对的“动”两者之间的矛盾。由此，我们可以推论：一个职业之所以成为一个职业，是因为其具有特殊的工作过程。这一逻辑推理的结果表明，以工作过程作为课程内容序化的依据，突破了职业教育课程开发的瓶颈。

显而易见，在中德职业教育合作 30 年的进程中，只有善于把握“双元制”职业教育模式中所蕴涵的“魂”，并将其本土化，才能取得成效，才是合作的应有之义。这套中德合作编写的“汽车机电工职业培训教材”，是在中德双方专家的共同指导下，对那些辛勤工作在职业教育改革一线教师编制的工作页及其教学实践经验予以总结、加工和概括的结果。我们相信，这套教材对提高汽车行业一线技能型人才的技能和专业水平，对汽车行业的职业教育改革，将会起到积极的推动作用。



2012 年 2 月

前 言

随着汽车工业的飞速发展,各种新技术在现代汽车上广泛应用,对汽车维修人员提出了更高的要求。对于电工电子基础知识掌握的要求也越来越高,为了使学生很好地掌握该领域的专业知识和技能,在编写本教材时,我们遵照教育部对职业技术教材建设的要求,总结参加德国“双元制”教育教学模式试点教学过程中的实际经验,以就业为导向,以学生为主体,以能力为本位,突出在工作过程中和未来的工作而学习,以汽车维修人员必备的能力和基本素质为主线,以培养技术应用型人才为根本任务,确定编写教材思路 and 特色。

本书围绕“汽车机电一体化教学大纲”的要求,基于工作过程的“学习领域”课程取代了传统的学科课程。以在企业中实际汽车维修的工作过程为主线,制定工作计划,采取行动,并对行动结果进行评价的能力培养为目标,在教学过程中,将实践教学与理论教学双轨同行,实现汽车机电一体化教学,并组织完成工作页,把技能、知识及价值观的教育紧密结合在一起,具有较强的实用性和可操作性,实现培养标准和企业用人标准零距离。

以车间工作任务导入,掌握所涉及工作任务的知识点,学会独立完成工作计划的制定,按照指定的工作计划完成车间工作任务的进行实施,通过完成工作页,并能进行自我检查和向他人进行成果展示。同时对从事双元制教学的教师提出了更高的要求,既要具备高度的职业道德,宽厚扎实的理论基础,又要具备很强的汽车维修的专业技能。

本书建议课时安排:

工作任务	教学内容	课时分配		
		理论学时	实践学时	合 计
1	基础元器件的认知	2	2	4
2	电路的基本连接方式的认知	2	2	4
3	二极管	2	2	4
4	三极管	2	2	4
5	磁场及电磁感应	2	2	4
6	变压器	2	2	4
7	正弦交流电路与安全用电知识	2	2	4
8	交流发电机	2	2	4
9	直流电动机	2	2	4
10	汽车电路图的识读	2	2	4

续表

工作任务	教学内容	课时分配		
		理论学时	实践学时	合 计
11	汽车门控灯电路	2	2	4
12	汽车扬声器电路	2	2	4
13	汽车前照灯电路	2	2	4
14	制作液位自动报警器	2	2	4
15	制作温度自动报警器	2	2	4
总计		30	30	60

参加本书编写的有无锡工艺职业技术学院吕惠芳，编写了工作任务 1~9，天津市第一轻工业学校邱贺平编写了工作任务 10~15，同时，本书在编写过程中，全国汽车二元制示范学校的同行以及汽车维修行业的专家们提出了许多宝贵意见，在此表示感谢。

为了照顾读者参阅一些车型原理图时的方便，本书某些元器件符号和现行标准可能不尽一致，敬请见谅。

为了编写本教材，我们参阅了德国、美国、日本、加拿大等国的汽车专业教材及几个汽车大企业的维修资料，学习国际先进的职教模式与经验，力图把这些体现在教材编写中。我们希望本教材有益于体现崭新的教学方法，有助于教学质量的提高。由于我们对德国“二元制”教育教学模式的精髓认识不够及编者水平有限，在编写过程中难免存在不足或错误之处，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

工作任务 1	基础元器件的认知	1
工作任务 2	电路的基本连接方式的认知	13
工作任务 3	二极管	21
工作任务 4	三极管	31
工作任务 5	磁场及电磁感应	37
工作任务 6	变压器	43
工作任务 7	正弦交流电路与安全用电知识	46
工作任务 8	交流发电机	55
工作任务 9	直流电动机	64
工作任务 10	汽车电路图的识读	71
工作任务 11	汽车门控灯电路	87
工作任务 12	汽车扬声器电路	97
工作任务 13	汽车前照灯电路	103
工作任务 14	制作液位自动报警器	107
工作任务 15	制作温度自动报警器	109



工作任务 **I**

基础元器件的认知



导向

【任务描述】

要求学生通过本次任务的学习掌握电阻阻值的色标识别方法，掌握电容的识别方法，掌握电感线圈的检测方法。

【基础知识】

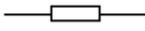
电阻：在绝缘体（通常为陶瓷）上涂一层导电材料，形成一层膜，根据涂层的厚薄就形成了阻值大小不同的电阻。

电容：两块金属导体相互靠近、相互平行但不接触，用两条金属导线将这两块金属导体分别引出，再用绝缘物将它们封装起来，便得到了电容。

电感：将一根导线绕成一个空心线圈就是一个电感。

电阻、电容、电感的基本知识，见表 1-1。

表 1-1 基本知识

	字母表示	电路符号	单 位	单位换算
电阻	R		欧姆 Ω 千欧 $k\Omega$ 兆欧 $M\Omega$	$1M\Omega=10^3k\Omega$ $=10^6\Omega$
电容	C		法拉 F 微法 μF 纳法 nF 皮法 pF	$1F=10^6\mu F=10^9nF=10^{12}pF$

续表

	字母表示	电路符号	单 位	单位换算
电感	L		亨H 毫亨mH 微亨μH	$1\text{ H}=10^3\text{ mH}=10^6\mu\text{H}$

一、电阻

电阻在电子设备中约占元器件总数的 1/3。其主要作用是稳定和调节电路中的电流和电压，其次还可以作为分流器、分压器和消耗电能的负载等。

电阻一般按结构分为固定式和可变式两大类。

固定式电阻器一般称为“电阻”。由于制作材料和工艺不同，可分为膜式电阻、实芯电阻、特殊电阻和可变式电阻器四种类型。

膜式电阻包括：碳膜电阻 RT、金属膜电阻 RJ、合成膜电阻 RH 和氧化膜电阻 RY 等。

实芯电阻包括：有机实芯电阻 RS 和无机实芯电阻 RN。

特殊电阻包括：MG 型光敏电阻和 MF 型热敏电阻。

可变式电阻器包括：滑线式变阻器和电位器。其中应用最广泛的是电位器。

电位器是一种具有三个接头的可变电阻器。其阻值可在一定范围内连续可调。

按电阻体材料可分为薄膜和线绕两种。薄膜又可分为 WTX 型小型碳膜电位器、WTH 型合成碳膜电位器、WS 型有机实芯电位器、WHJ 型精密合成膜电位器和 WHD 型多圈合成膜电位器等。线绕电位器的代号为 WX 型。一般线绕电位器的误差不大于 $\pm 10\%$ ，非线性绕电位器的误差不大于 $\pm 2\%$ 。其阻值、误差和型号均标在电位器上。

按调节机构的运动方式分为旋转式、直沿式。

按结构分：单联、多联、带开关、不带开关等，开关形式有旋转式、推拉式、按键式等。

按用途分：普通电位器、精密电位器、功率电位器、微调电位器和专用电位器等。

按阻值随转角变化关系分线性和非线性电位器。

数字电位器以其调节准确方便，使用寿命长，受物理环境影响小，性能稳定等特点，已被广大电子工程技术人员所认识。

二、电容

电容在电路中一般用“C”加数字表示（如 C25 表示编号为 25 的电容）。电容是由两片金属膜紧靠，中间用绝缘材料隔开而组成的元器件。电容的特性主要是隔直流通交流。电容容量的大小表示了贮存电能的大小，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。容抗 $X_C = 1/2\pi f C$ （ f 表示交流信号的频率， C 表示电容容量）。常用电容的种类有电解电容、瓷片电容、贴片电容、独石电容、钽电容、涤纶电容和云母电容等。

识别方法：电容的识别方法与电阻的识别方法基本相同，分为直标法、色标法和数标法 3 种。电容的基本单位用法拉（F）表示，其他单位还有毫法（mF）、微法（μF）、纳法（nF）、皮法（pF）。

其中：1 法拉 = 10^3 毫法 = 10^6 微法 = 10^9 纳法 = 10^{12} 皮法。

容量大的电容，其容量值在电容上直接标明，如 $10\ \mu\text{F}/16\text{V}$ 。

容量小的电容，其容量值在电容上用字母表示或数字表示。

字母表示法：1m = $1000\ \mu\text{F}$ ，1P2 = 1.2pF ，1n = 1000pF 。

数字表示法：一般用三位数字表示容量大小，前两位表示有效数字，第三位数字是倍率。如：102 表示 $10 \times 10^2\text{pF} = 1000\text{pF}$ ，224 表示 $22 \times 10^4\text{pF} = 0.22\ \mu\text{F}$ 。

电容容量误差符号 F、G、J、K、L、M 表示允许误差为 $\pm 1\%$ 、 $\pm 2\%$ 、 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 15\%$ 、 $\pm 20\%$ 。

如：一瓷片电容为 104J，表示容量为 $0.1\ \mu\text{F}$ 、误差为 $\pm 5\%$ 。

电子电路中，只有在电容器充电过程中，才有电流流过。充电过程结束后，电容器是不能通过直流电的，在电路中起着“隔直流”的作用。电路中，电容器常被用于耦合、旁路、滤波等，都是利用它“通交流、隔直流”的特性。

电容器的选用涉及很多问题，首先是耐压的问题。加在一个电容器的两端的电压超过了它的额定电压，电容器就会被击穿损坏。电解电容的耐压级别为 6.3V、10V、16V、25V、50V 等。

三、电感

电感元器件在电子电路中主要与电容组成 LC 谐振回路，其作用是调谐、选频、振荡、阻流及带通（带阻）滤波等。电感器和电容器一样，也是一种储能元器件，它能把电能转变为磁场能，并在磁场中储存能量。电感器用符号 L 表示，它的基本单位是亨利（H），常用毫亨（mH）为单位， $1\text{H} = 10^3\text{mH} = 10^6\ \mu\text{H}$ 。人们还利用电感的特性，制造了阻流圈、变压器、继电器等。如图 1-1 所示为各种电感器示意图。

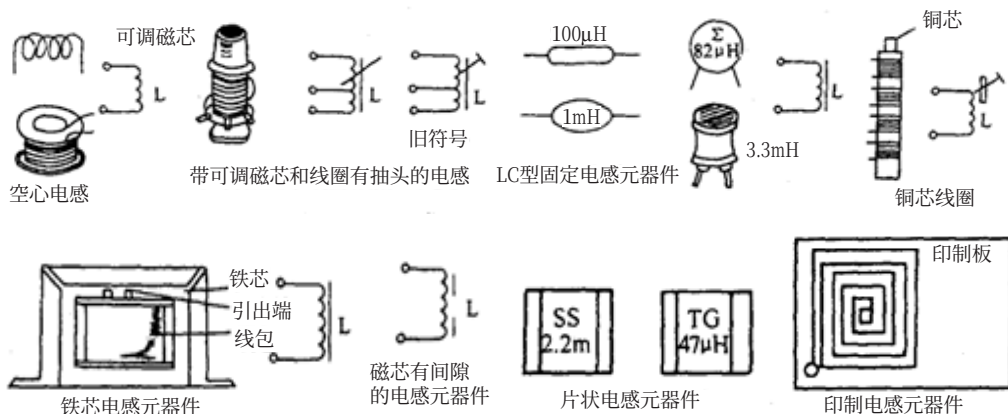


图 1-1 各种电感器示意图

电感器的特性恰恰与电容的特性相反，它具有阻止交流电通过而让直流电通过的特性。小小的收音机上就有不少电感线圈，几乎都是用漆包线绕成的空心线圈或在骨架磁芯、铁芯上绕制而成的线圈，有天线线圈（它是用漆包线在磁棒上绕制而成的）、中频

变压器（俗称中周）、输入输出变压器等。

1. 自感与互感

当线圈中有电流通过时，线圈的周围就会产生磁场。当线圈中电流发生变化时，其周围的磁场也产生相应的变化，此变化的磁场可使线圈自身产生感应电动势（电动势用以表示有源元器件理想电源的端电压），这就是自感。

两个电感线圈相互靠近时，一个电感线圈的磁场变化将影响另一个电感线圈，这种影响就是互感。互感的大小取决于电感线圈的自感与两个电感线圈耦合的程度。

2. 电感线圈的选用

①按工作频率的要求选择某种结构的线圈。用于音频段的一般要用带铁芯（硅钢片或坡莫合金）或低频铁氧体芯的。在几百千赫到几兆赫间的线圈最好用铁氧体芯，并以多股绝缘线绕制，这样可以减少集肤效应，提高 Q 值。要用几兆赫到几十兆赫的线圈时，宜选用单股镀银铜线绕制，磁芯要采用短波高频铁氧体，也常用空心线圈。由于多股线间分布电容的作用及介质损耗的增加，所以不适宜频率高的地方。在一百兆赫以上时一般不能选用铁氧体芯，只能用空心线圈。

②因为线圈骨架的材料与线圈的损耗有关，因此用在高频电路里的线圈，通常应选用高频损耗小的高频瓷作为骨架。对于要求不高的场合，可选用塑料、胶木和纸做骨架的电感器，虽然损耗大一些，但它们价格低廉、制作方便、重量小。

③在选用线圈时必须考虑机械结构是否牢固，不能使线圈松脱、引线接点活动。

四、半导体管

1. 二极管

二极管在电路中常用“D”加数字表示，如：D5 表示编号为 5 的二极管。

(1) 作用

二极管的主要特性是单向导电性，也就是在正向电压的作用下，导通电阻很小；而在反向电压作用下，导通电阻极大或无穷大。正因为二极管具有上述特性，无绳电话机中常把它用在整流、隔离、稳压、极性保护、编码控制、调频调制和静噪等电路中。二极管按作用可分为整流二极管（如 1N4004）、隔离二极管（如 1N4148）、肖特基二极管（如 BAT85）、发光二极管、稳压二极管等。

(2) 二极管的极性判别

二极管的正、负极可按下列方法来判别。

①看外壳上的符号标记。通常在二极管的外壳上标有二极管的符号。标有三角形箭头的一端为正极，另一端为负极。

②看外壳上标记的色点。在点接触二极管的外壳上，通常标有色点（白色或红色）。除少数二极管（如 2AP9、2AP10 等）外，一般标记色点的一端为正极。

③透过玻璃看触针。对于点接触型玻璃外壳二极管，如果标记已磨掉，则可将外壳

上的漆层（黑色或白色）轻轻刮掉一点，透过玻璃看哪头是金属触针、哪头是 N 型锗片，有金属触针的那头就是正极。

④ 用万用表 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 挡，任意测量二极管的两根引线，如果量出的电阻只有几百欧姆（正向电阻），则黑表笔（即万用表内电源正极）所接引线为正极，红表笔（即万用表内电源负极）所接引线为负极，如图 1-2 所示。

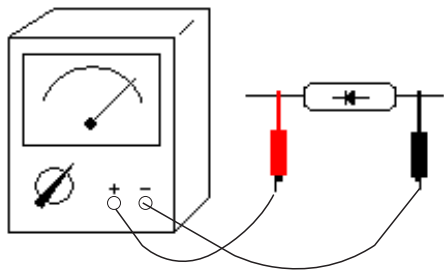


图1-2 用万用表测量二极管的两根引线

⑤ 用电池和扬声器来判别二极管的正、负极。如图1-3所示，将一节电池和一个扬声器（或耳机）与被测二极管构成串联电路，然后将二极管的一端引线断续触碰扬声器，再把二极管倒头再测一次。以听到“咯咯”声较大的一次为准，与电池正极相接的那一根引线为正极，另一根为负极。

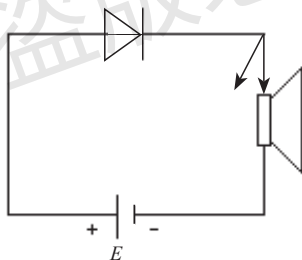


图1-3 用电池和扬声器判别二极管的正、负极

(3) 二极管好坏的判别

判别二极管的好坏，可用如下方法。

① 用万用表 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 挡测量二极管的正、反向电阻，如图 1-4 所示。锗点接触型的 2AP 型二极管正向电阻在 $1k\Omega$ 左右，如图 1-4(a)所示；反向电阻应在 $100k\Omega$ 以上，如图 1-4 (b) 所示。硅面接触型的 2CP 型二极管正向电阻在 $5k\Omega$ 左右，反向电阻应在 $1000k\Omega$ 以上。总之，正向电阻越小越好，反向电阻越大越好。但若正向电阻太大或反向电阻太小，表明二极管的检波与整流效率不高。如图 1-5 所示，若正向电阻无穷大（表针不动），说明二极管内部断路；若反向电阻接近零，表明二极管已击穿。内部断开或击穿的二极管均不能使用。

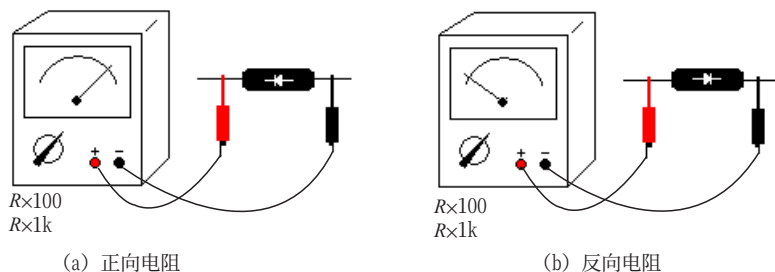


图1-4 判别二极管极性的方法一

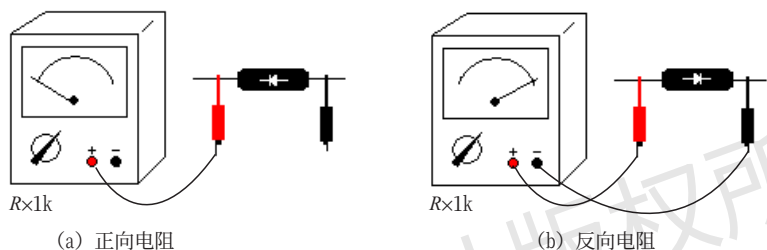


图1-5 判别二极管极性的方法二

② 如没有万用表,也可用电池、扬声器(或耳机)与被测二极管串接。当二极管负端接电池正极,正端串接扬声器再接电池负极(反向连接),断续接通时,若扬声器发出较大的“咯咯”声,表明二极管已击穿,如图1-6(a)所示;反过来,如果将二极管正向连续接通时,如图1-6(b)所示,扬声器无一点响声,表明二极管内部断路。

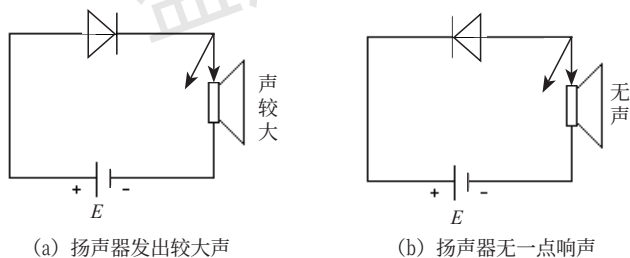


图1-6 判别二极管极性的方法三

注意发光二极管是一种电流型元器件,虽然在它的两端直接接上3V的电压后能够发光,但容易损坏,在实际使用中一定要串接限流电阻,工作电流根据型号不同一般为1mA到30mA。另外,由于发光二极管的导通电压一般为1.7V以上,所以一节1.5V的电池不能点亮发光二极管。同样,一般万用表的 $R\times 1$ 挡到 $R\times 1k$ 挡均不能测试发光二极管;而 $R\times 10k$ 挡由于使用15V的电池,能把部分发光管点亮。

用眼睛来观察发光二极管,可以发现内部的两个电极一大一小。一般来说,电极较小、个头较矮的一个是发光二极管的正极,电极较大的一个是它的负极。若是新买来的发光管,引脚较长的一个是正极。

2. 三极管

三极管也称半导体三极管，可以说它是电子电路中最重要元器件。它最主要的功能是电流放大和开关作用。三极管顾名思义具有三个电极。二极管是由一个PN结构成的，而三极管由两个PN结构成，共用的一个电极称为三极管的基极（用字母b表示）。其他的两个电极称为集电极（用字母c表示）和发射极（用字母e表示）。由于不同的组合方式，一种是NPN型的三极管，另一种是PNP型的三极管。

三极管的种类很多，并且不同型号有不同的用途。三极管大都是塑料封装或金属封装，常见三极管的外观大的很大，小的很小。三极管的电路符号有两种：有一个箭头的电极是发射极，箭头朝外的是NPN型三极管，而箭头朝内的是PNP型。实际上箭头所指的方向是电流的方向。

三极管最基本的作用是放大作用，它可以把微弱的电信号变成一定强度的信号，当然这种转换仍然遵循能量守恒，它只是把电源的能量转换成信号的能量罢了。三极管有一个重要参数，就是电流放大系数 β 。当三极管的基极上加一个微小的电流时，在集电极上可以得到一个注入电流 β 倍的电流，即集电极电流。集电极电流随基极电流的变化而变化，并且基极电流很小的变化可以引起集电极电流很大的变化，这就是三极管的放大作用。三极管还可以作为电子开关，配合其他元器件还可以构成振荡器。

3. 晶体管的命名方法

晶体管最常用的有三极管和二极管两种。三极管以符号BG（旧）或T表示，二极管以D表示。按制作材料分，晶体管可分为锗管和硅管两种。

按极性分，三极管有PNP和NPN两种，而二极管有P型和N型之分。多数国产管用xxx表示，其中每一位都有特定含义，如3AX31，第一位3代表三极管，2代表二极管。第二位代表材料和极性，A代表PNP型锗材料，B代表NPN型锗材料，C代表PNP型硅材料，D代表NPN型硅材料。第三位表示用途，其中X代表低频小功率管，D代表低频大功率管，G代表高频小功率管，A代表高频大功率管。最后面的数字是产品的序号，序号不同，各种指标略有差异。注意，二极管同三极管第二位意义基本相同，第三位含义则不同。对于二极管来说，第三位的P代表检波管，W代表稳压管，Z代表整流管。上面举的例子，具体来说就是PNP型锗材料低频小功率管。对于进口的三极管来说，各有不同，要在实际使用过程中注意积累资料。

常用的进口管有韩国的90xx、80xx系列，欧洲的2Sx系列，在该系列中，第三位含义与国产管的第三位基本相同。常用中小功率三极管参数见表1-2。

表1-2 常用中小功率三极管参数表

型 号	材料与极性	P_{cm} (W)	I_{cm} (mA)	BV_{cbo} (V)	f_t (MHz)
3DG6C	SI-NPN	0.1	20	45	>100
3DG7C	SI-NPN	0.5	100	>60	>100
3DG12C	SI-NPN	0.7	300	40	>300

续表

型 号	材料与极性	P_{cm} (W)	I_{cm} (mA)	BV_{cbo} (V)	f_t (MHz)
3DG111	SI-NPN	0.4	100	>20	>100
3DG112	SI-NPN	0.4	100	60	>100
3DG130C	SI-NPN	0.8	300	60	150
3DG201C	SI-NPN	0.15	25	45	150
C9011	SI-NPN	0.4	30	50	150
C9012	SI-PNP	0.625	-500	-40	
C9013	SI-NPN	0.625	500	40	
C9014	SI-NPN	0.45	100	50	150
C9015	SI-PNP	0.45	-100	-50	100
C9016	SI-NPN	0.4	25	30	620
C9018	SI-NPN	0.4	50	30	1.1G
C8050	SI-NPN	1	1.5×10^3	40	190
C8550	SI-PNP	1	-1.5×10^3	-40	200
2N5551	SI-NPN	0.625	600	180	
2N5401	SI-PNP	0.625	-600	160	100
2N4124	SI-NPN	0.625	200	30	300

五、其他常用器件

1. 继电器

电磁式继电器，主要由铁芯、线圈、动静接点、衔铁、返回弹簧（或簧片）等部分构成（图 1-7）。其工作原理也很简单：只要在它的线圈①、②两端加上一定的电压，线圈中就会流过一定的电流。由于电流的磁效应，铁芯被磁化而具有磁性。动铁芯（即衔铁）就会在电磁力吸引的作用下克服返回弹簧的拉力吸向静铁芯，从而带动衔铁上的动接点③与静接点④闭合。线圈断电后，电磁吸力消失，衔铁就会在返回弹簧的作用下返回原来的位置，使动接点③与静接点⑤闭合。上述衔铁吸合，叫做继电器“动作”或“吸合”。相反，衔铁复位，叫做继电器“释放”或“复位”。

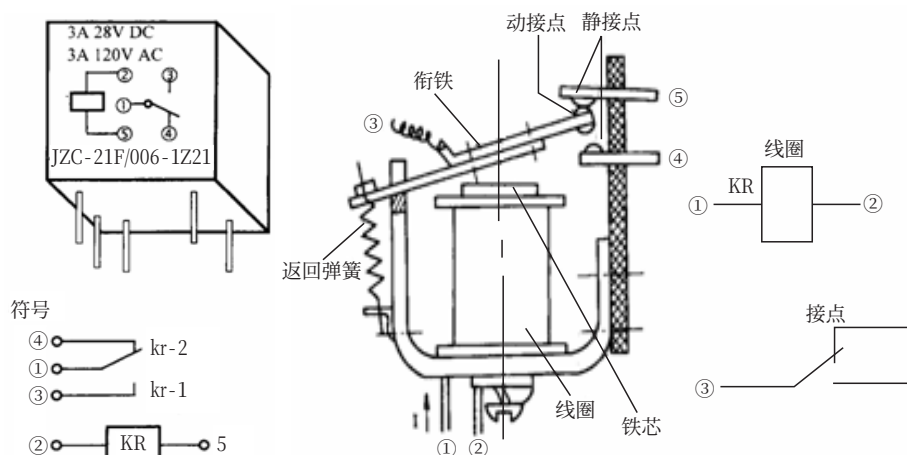


图 1-7 继电器

2. LED数码管

共阳极的LED数码管，共阳就是7段的显示字码共用一个电源的正极。从图1-8可以看出，要使数码管显示数字，有两个条件：一是要在vt端加正电源，二是要使a、b、c、d、e、f、g、dp端接低电平或“0”电平。

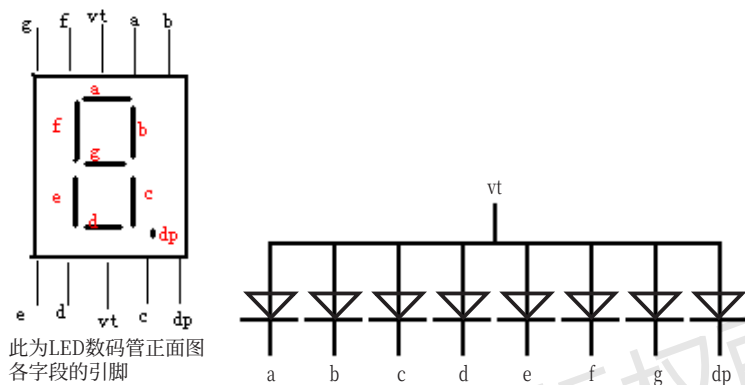


图1-8 LED数码管

@ 信息

利用导向环节学到的基础知识学习下列资料。

一、数字万用表

数字万用表主要由数字电压表、测量电路、量程转换开关等组成。当量程转换开关置于不同位置时，可组成不同测量电路。

电阻的测量：

检查 9V 电池，将 ON-OFF 按钮按下。

将黑笔插至 COM 插孔，红笔插入 $V\Omega$ 插孔（红笔为+）。

将开关置于所需的 Ω 量程上，将测试笔跨接在被测电阻上。

注意：

① 断路时，会显示过量程状态“1”。

② 被测电阻超过所用量程，则会指示出过量程“1”，必须换用高档量程。当被测电阻在 $1M\Omega$ 以上时，需要数秒后方能稳定读数，对于高电阻测量这是正常的。

测量高阻值时尽可能将电阻直接插入 $V\Omega$ 和 COM 插孔中，长导线在测量时容易感应干扰信号，使读数不稳。

二、色标法读电阻阻值

将不同颜色的色环涂在电阻上来表示电阻的标称值及允许误差，各个颜色所对应的的数值见表 1-3。

表1-3 电阻色环符号意义

颜 色	有效数字第一位	有效数字第二位	倍 乘 数	允许误差值 (%)
棕	1	1	10^1	± 1
红	2	2	10^2	± 2
橙	3	3	10^3	
黄	4	4	10^4	
绿	5	5	10^5	± 0.5
蓝	6	6	10^6	± 0.2
紫	7	7	10^7	± 0.1
灰	8	8	10^8	
白	9	9	10^9	
黑	0	0	10^0	
金			10^{-1}	± 5
银			10^{-2}	± 10
无色				± 20

提示：在识读色环电阻时应注意正确区分哪一端为第一环。四环电阻的前三环表示阻值，第四环表示误差；常见表示不同误差的颜色有两种，即金色（ $\pm 5\%$ ）和银色（ $\pm 10\%$ ）。目前市场上出售的色环电阻的主要误差为 $\pm 5\%$ 和 $\pm 10\%$ ，没有误差环的电阻已不多见。所以识别时，可先找到金色（ $\pm 5\%$ ）或银色（ $\pm 10\%$ ）的第四环（即误差环），依次向前推算，就是第三环、第二环、第一环。

操作：电阻的四环颜色为棕、黑、棕、金，表示电阻的大小为 100Ω ，允许误差为 $\pm 5\%$ ；电阻的四环颜色为绿、蓝、橙、银，表示电阻的大小为 $56k\Omega$ ，误差为 $\pm 10\%$ 。

三、电容量

电容器储存电荷的能力叫做电荷量，简称容量。

1. 容量在电路图中的标示方法

① 数值为纯小数的微法级容量值，只标出纯小数，单位 F 略去不写。例如， $0.01\mu\text{F}$ 的电容，在电路图中标为 0.01。

② 数值为整数的皮法级容量值，只标出该整数，单位 pF 略去不写。例如， 1000pF 的电容，在电路图中标为 1000。

③ 除以上情况外，都需要标出单位。例如， 1.5pF 的电容，在电路图中标为 1.5p。

2. 容量在电容器上的标示方法

① 在电容器上一般按以上法则直接印出电容量值。

② 采用数码表示方法：数码一般为三位，前两个是有效数字，第三个是倍数。例如，103 表示 $10 \times 10^3 = 10000 = 0.01\mu\text{F}$ ；229 表示 $22 \times 10^{-1} = 2.2\mu\text{F}$ 。

四、电感

大多数电感线圈的直流电阻不会超过 1Ω ，因此测量电感线圈两端的电阻应近似为零，否则表明其已断路或损坏；若指示不稳定，说明内部接触不良。

计划

学生根据下表格式在作业本上制作表 1-4、表 1-5、表 1-6、表 1-7。

表1-4 记录表

被测电阻序号	电阻阻值（利用万用表测量电阻的阻值）
1	
2	
3	
4	

表1-5 记录表

色环颜色	电阻阻值	允许误差值

表1-6 记录表

读取电容器上的标示	标示表示的电容量

表1-7 记录表

序 号	电感线圈阻值的测量情况（检测线圈的通断情况）

实施

学生根据信息环节中学到的知识完成计划环节中的表 1-4、表 1-5、表 1-6、表 1-7。

检 验

- ① 学生 4 人一小组，对各自完成的表格进行讨论，并进行修改。
- ② 教师收取学生完成的作业表格，并进行检查和修改。

展 示

要求每组派一名学生代表讲解表格完成的情况。

电子工业出版社版权所有
盗版必究

工作任务 2

电路的基本连接方式的认知



【任务描述】

要求学生掌握串联、并联电路的特点，并了解数字式万用表的测量方法。

【基础知识】

一、电阻的串联

在电路中有两个或更多个电阻一个一个顺序地连接，并且在这些电阻中流过同一电流，这种连接方法称为串联，如图 2-1 所示。

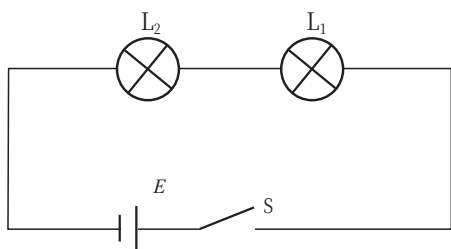


图2-1 串联

串联的几个电阻可用一个等效电阻来替代，等效电阻的阻值等于各个串联电阻的阻值和，即

$$R=R_1+R_2+\cdots+R_n$$

串联电路中，流过每点的电流都是相同的；总电阻大于各段电阻，总电压大于各段电压。由于这些串联电阻流过同一电流，所以每个电阻上的电压只取决于电阻本身的阻值。

二、电阻的并联

电路中有两个或多个电阻连接在两个公共的节点上, 承受同一端电压, 这些电阻的连接关系称为并联, 如图 2-2 所示。

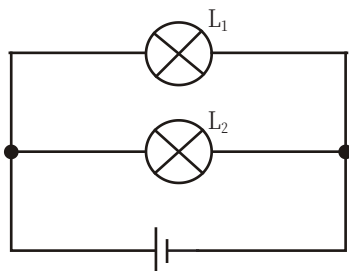


图2-2 并联

两个并联电阻可用一个等效电阻来代替, 等效电阻的倒数等于各个并联电阻的倒数和, 即

$$1/R=1/R_1+1/R_2+\cdots+1/R_n$$

并联电路的总电阻小于最小的电阻; 电阻值不同, 流过每条支路的电流不同, 每条支路的电流之和就是电路的总电流。因为并联电阻承受同一端电压, 所以流过每个电阻的电流与其电阻成反比。由此可知, 并联电路中并联电阻越多, 总电阻越小。

三、电路的基本组成

1. 什么是电路

电路是由各种元器件(或电气设备)按一定方式连接起来的总体, 为电流的流通提供了路径。简单的直流电路如图 2-3 所示。

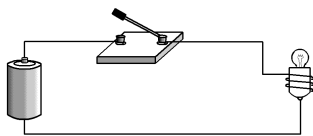


图2-3 简单的直流电路

2. 电路的基本组成

电路的基本组成包括以下四个部分。

- ① 电源(供能元器件): 为电路提供电能的设备和元器件(如电池、发电机等)。
- ② 负载(耗能元器件): 使用(消耗)电能的设备和元器件(如灯泡等用电器)。
- ③ 控制元器件: 控制电路工作状态的元器件或设备(如开关等)。
- ④ 连接导线: 将电气设备和元器件按一定方式连接起来(如各种铜、铝电缆线等)。

3. 电路的状态

- ① 通路(闭路): 电源与负载接通, 电路中有电流通过, 电气设备或元器件获得一

定的电压和电功率，进行能量转换。

② 开路（断路）：电路中没有电流通过，又称空载状态。

③ 短路（捷路）：电源两端的导线直接相连，输出电流过大，对电源来说属于严重过载，如没有保护措施，电源或电器会被烧毁或发生火灾，所以通常要在电路或电气设备中安装熔断器等装置，以避免发生短路时出现不良后果。

四、电路模型（电路图）

由理想元器件构成的电路叫做实际电路的电路模型，也称实际电路的电路原理图，简称电路图。例如，图 2-4 所示的手电筒电路。

理想元器件：电路是由电特性相当复杂的元器件组成的，为了便于使用数学方法对电路进行分析，可将电路实体中的各种电气设备和元器件用一些能够表征它们主要电磁特性的理想元器件（模型）来代替，而对它们实际的结构、材料、形状等非电磁特性不予考虑。表 2-1 列出了常用理想元器件及符号。

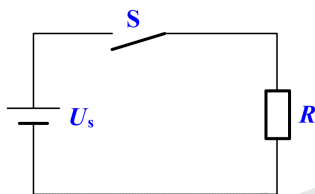


图2-4 手电筒的电路原理图

表2-1 常用理想元器件及符号

名 称	符 号	名 称	符 号
电阻		电压表	
电池		接地	
电灯		熔断器	
开关		电容	
电流表		电感	

五、电池的串联

如图 2-5 所示为串联电池组，每个电池的电动势均为 E ，内阻均为 r 。

如果有 n 个相同的电池串联，那么整个串联电池组的电动势与等效内阻分别为

$$E_{\text{串}} = nE, \quad r_{\text{串}} = nr$$

串联电池组的电动势是单个电池电动势的 n 倍，额定电流相同。

六、电池的并联

如图 2-6 所示为并联电池组，每个电池的电动势均为 E ，内阻均为 r 。

如果有 n 个相同的电池并联，那么整个并联电池组的电动势与等效内阻分别为

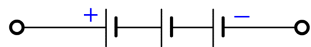


图2-5 串联电池组

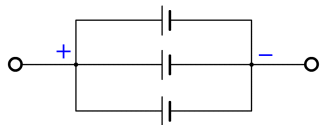


图2-6 并联电池组

$$E_{\text{并}} = E, \quad r_{\text{并}} = r/n$$

并联电池组的额定电流是单个电池额定电流的 n 倍, 电动势相同。

七、电阻串联电路的特点 (图 2-7)

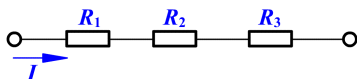


图2-7 电阻的串联

设总电压为 U , 电流为 I , 总功率为 P 。

① 等效电阻 :

$$R = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$$

② 分压关系 :

$$\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \cdots = \frac{U_n}{R_n} = \frac{U}{R} = I$$

③ 功率分配 :

$$\frac{P_1}{R_1} = \frac{P_2}{R_2} = \cdots = \frac{P_n}{R_n} = \frac{P}{R} = I^2$$

特例 : 两只电阻 R_1 、 R_2 串联时, 等效电阻 $R = R_1 + R_2$, 则有分压公式 :

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U, \quad U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U$$

【例 2-1】有一盏额定电压为 $U_1 = 40 \text{ V}$ 、额定电流为 $I = 5 \text{ A}$ 的电灯, 应该怎样把它接入电压 $U = 220 \text{ V}$ 照明电路中?

解 : 将电灯 (设电阻为 R_1) 与一只分压电阻 R_2 串联后, 接到 $U = 220 \text{ V}$ 电源上, 如图 2-8 所示。

解法一 : 分压电阻 R_2 上的电压为

$$U_2 = U - U_1 = 220 - 40 = 180 \text{ V}$$

且 $U_2 = R_2 I$, 则

$$R_2 = \frac{U_2}{I} = \frac{180}{5} = 36 \Omega$$

解法二 : 利用两只电阻串联的分压公式 $U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U$, 且 $R_1 = \frac{U_1}{I} = 8 \Omega$, 可得

$$R_2 = R_1 \frac{U - U_1}{U_1} = 36 \Omega$$

即将电灯与一只 36Ω 分压电阻串联后, 接到 $U = 220 \text{ V}$ 电源上即可。

【例 2-2】有一只电流表, 内阻 $R_g = 1 \text{ k}\Omega$, 满偏电流为 $I_g = 100 \mu\text{A}$, 要把它改成量程

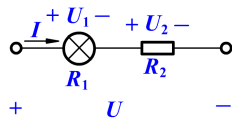


图2-8 例2-1图

为 $U_n = 3 \text{ V}$ 的电压表, 应该串联一只多大的分压电阻 R ?

解 : 如图 2-9 所示, 该电流表的电压量程为 $U_g = R_g I_g = 0.1 \text{ V}$, 与分压电阻 R 串联后的总电压 $U_n = 3 \text{ V}$, 即将电压量程扩大到 $n = U_n/U_g = 30$ 倍。

利用两只电阻串联的分压公式, 可得 $U_g = \frac{R_g}{R_g + R} U_n$, 则

$$R = \frac{U_n - U_g}{U_g} R_g = \left(\frac{U_n}{U_g} - 1 \right) R_g = (n - 1) R_g = 29 \text{ k}\Omega$$

上例表明, 将一只量程为 U_g 、内阻为 R_g 的表头扩大到量程为 U_n , 所需要的分压电阻为 $R = (n - 1) R_g$, 其中 $n = (U_n/U_g)$ 称为电压扩大倍数。

八、电阻并联电路的特点 (图 2-10)

设总电流为 I , 电压为 U , 总功率为 P 。

① 等效电导 :

$$G = G_1 + G_2 + \cdots + G_n$$

即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}$$

② 分流关系 :

$$R_1 I_1 = R_2 I_2 = \cdots = R_n I_n = R I = U$$

③ 功率分配 :

$$R_1 P_1 = R_2 P_2 = \cdots = R_n P_n = R P = U^2$$

特例 : 两只电阻 R_1 、 R_2 并联时, 等效电阻为

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

则有分流公式

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I, \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

【例 2-3】如图 2-11 所示, 电源供电电压 $U = 220 \text{ V}$, 每根输电导线的电阻均为 $R_1 = 1 \Omega$, 电路中一共并联了 100 盏额定电压 220 V 、功率 40 W 的电灯。假设电灯在工作 (发光) 时电阻值为常数。试求 : ① 当只有 10 盏电灯工作时, 每盏电灯的电压 U_L 和功率 P_L ; ② 当 100 盏电灯全部工作时, 每盏电灯的电压 U_L 和功率 P_L 。

解 : 每盏电灯的电阻为 $R = U^2/P = 1210 \Omega$, n 盏电灯并联后的等效电阻为 $R_n = R/n$ 。

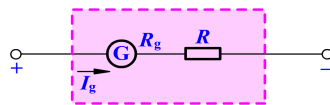


图2-9 例2-2图

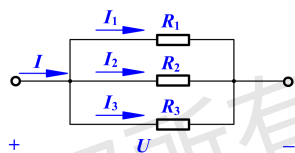


图2-10 电阻的并联

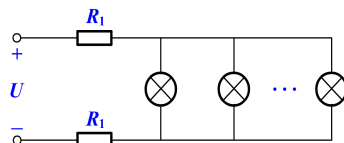


图2-11 例2-3图

根据分压公式, 可得每盏电灯的电压

$$U_L = \frac{R_n}{2R_1 + R_n} U$$

功率为

$$P_L = \frac{U_L^2}{R}$$

① 当只有 10 盏电灯工作时, 即 $n = 10$, 则 $R_n = R/n = 121 \Omega$, 因此

$$U_L = \frac{R_n}{2R_1 + R_n} U \approx 216 \text{ V}, P_L = \frac{U_L^2}{R} \approx 39 \text{ W}$$

② 当 100 盏电灯全部工作时, 即 $n = 100$, 则

$$R_n = R/n = 12.1 \Omega, U_L = \frac{R_n}{2R_1 + R_n} U \approx 189 \text{ V}, P_L = \frac{U_L^2}{R} \approx 29 \text{ W}$$

【例 2-4】有一只微安表, 满偏电流为 $I_g = 100 \mu\text{A}$, 内阻 $R_g = 1 \text{ k}\Omega$, 要改装成量程为 $I_n = 100 \text{ mA}$ 的电流表, 试求所需分流电阻 R 。

解: 如图 2-12 所示, 设 $n = I_n/I_g$ (称为电流量程扩大倍数), 根据分流公式可得 $I_g = \frac{R}{R_g + R} I_n$, 则

$$R = \frac{R_g}{n-1}$$

本题中 $n = I_n/I_g = 1000$,

$$R = \frac{R_g}{n-1} = \frac{1 \text{ k}\Omega}{1000-1} \approx 1 \Omega$$

上例表明, 将一只量程为 I_g 、内阻为 R_g 的表头扩大到量程为 I_n , 所需要的分流电阻为 $R = R_g/(n-1)$, 其中 $n = (I_n/I_g)$ 称为电流扩大倍数。

九、电阻混联的特点

在电阻电路中, 既有电阻的串联关系又有电阻的并联关系, 称为电阻混联。对混联电路的分析和计算大体上可分为以下几个步骤。

① 首先整理清楚电路中电阻串、并联关系, 必要时重新画出串、并联关系明确的电路图。

② 利用串、并联等效电阻公式计算出电路中总的等效电阻。

③ 利用已知条件进行计算, 确定电路的总电压与总电流。

④ 根据电阻分压关系和分流关系, 逐步推算出各支路的电流或电压。

【例 2-5】如图 2-13 所示, 已知 $R_1 = R_2 = 8 \Omega$, $R_3 = R_4 = 6 \Omega$, $R_5 = R_6 = 4 \Omega$, $R_7 = R_8 = 24 \Omega$, $R_9 = 16 \Omega$; 电压 $U = 224 \text{ V}$ 。试求:

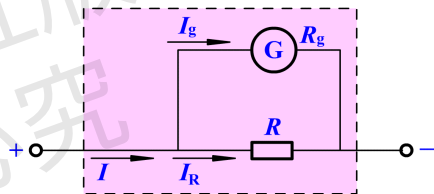


图 2-12 例 2-6 图

① 电路总的等效电阻 R_{AB} 与总电流 I_{Σ} ；

② 电阻 R_9 两端的电压 U_9 与通过它的电流 I_9 。

解：① R_5 、 R_6 、 R_9 三者串联后，再与 R_8 并联，E、F 两端等效电阻为

$$R_{EF} = (R_5 + R_6 + R_9) // R_8 = 24 \Omega // 24 \Omega = 12 \Omega$$

R_{EF} 、 R_3 、 R_4 串联后，再与 R_7 并联，C、D 两端等效电阻为

$$R_{CD} = (R_3 + R_{EF} + R_4) // R_7 = 24 \Omega // 24 \Omega = 12 \Omega$$

总的等效电阻

$$R_{AB} = R_1 + R_{CD} + R_2 = 28 \Omega$$

总电流

$$I_{\Sigma} = U/R_{AB} = 224/28 = 8 \text{ A}$$

② 利用分压关系求各部分电压：

$$U_{CD} = R_{CD} I_{\Sigma} = 96 \text{ V}$$

$$U_{EF} = \frac{R_E}{R_3 + R_E + R_4} U_{CD} = \frac{12}{24} \times 96 = 48 \text{ V}$$

$$I_9 = \frac{U_E}{R_5 + R_6 + R_9} = 2 \text{ A}, \quad U_9 = R_9 I_9 = 32 \text{ V}$$

【例 2-6】如图 2-14 所示，已知 $R = 10 \Omega$ ，电源电动势 $E = 6 \text{ V}$ ，内阻 $r = 0.5 \Omega$ ，试求电路中的总电流 I 。

解：首先整理清楚电路中电阻串、并联关系，并画出等效电路，如图 2-15 所示。

四只电阻并联的等效电阻为

$$R_e = R/4 = 2.5 \Omega$$

根据全电路欧姆定律，电路中的总电流为

$$I = \frac{E}{R_e + r} = 2 \text{ A}$$

@ 信息

利用导向环节学到的基础知识学习下列资料。

一、参照图 2-1 进行电路连接

① 用导线把电源、一个开关和两只小灯泡，按照图 2-1 连成串联电路。

② 核查所连电路无误后，合上开关，利用万用表分别测量 L_1 端、 L_2 端以及 L_1 、 L_2 两端的电阻、电流及电压情况。

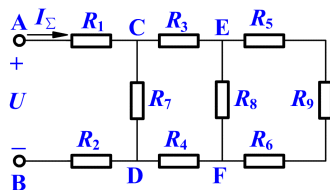


图 2-13 例 2-5 图

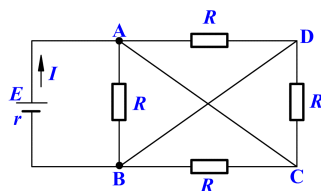


图 2-14 例 2-6 图

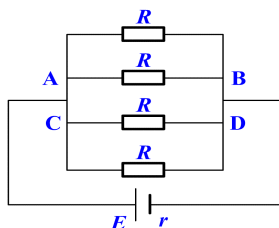


图 2-15 例 2-6 的等效电路

- ③ 记录数据。
- ④ 整理好所用的各种仪器设备。

二、参照图 2-2 进行电路连接

- ① 用导线把电源、一个开关和两只小灯泡，按照图 2-2 连成并联电路。
- ② 核查所连电路无误后，合上开关，利用万用表分别测量 L_1 端、 L_2 端以及 L_1 、 L_2 两端的电阻、电流及电压情况。
- ③ 记录数据。
- ④ 整理好所用的各种仪器设备。



计划

学生根据下表格式在作业本上制作表 2-2、表 2-3。

串联电路：

表2-2 记录表

	电 流	电 阻	电 压
L_1 两端			
L_2 两端			
L_1 、 L_2 两端			

并联电路：

表2-3 记录表

	电 流	电 阻	电 压
L_1 两端			
L_2 两端			
L_1 、 L_2 两端			



实施

学生根据信息环节中学到的知识完成计划环节中的表 2-2、表 2-3。



检验

- ① 学生 4 人一小组，对各自完成的表格进行讨论，并进行修改。
- ② 教师收取学生完成的作业表格，并进行检查和修改。



展示

要求每组派一名学生代表讲解表格完成的情况。



工作任务 3

二极管



导向

【任务描述】

通过本次任务的学习，要求学生熟悉二极管的工作原理以及二极管的检测方法。

【基础知识】

导电能力介于导体和绝缘体之间的材料称为半导体，半导体是在某种条件下导电，而在别的条件下不导电的材料。半导体包括二极管、三极管、晶闸管等。制造半导体最常用的材料是硅晶体和锗晶体。晶体是具有确定的原子结构的材料，纯的晶体不能用来制作半导体，需要在这两种晶体中掺杂极小比例的其他元素。硅晶体和锗晶体都是四价元素，掺入杂质后，导电性能就会发生明显变化。

根据掺杂元素的不同，可以把半导体分为 P 型半导体和 N 型半导体。在晶体中掺入微量的五价磷元素，产生多余的自由电子充当导电载流子，掺入磷元素杂质的半导体叫做 N 型半导体；在晶体中掺入微量的三价硼元素，因为缺少电子产生空穴，这些空穴充当导电的载流子，掺入硼元素杂质的半导体叫做 P 型半导体。按一定次序将 N 型半导体和 P 型半导体结合在一起，便能制造出用于汽车电压调节和电子控制器等电子装置的电子元件。

提示：观看硅晶体和锗晶体彩色图片、晶体结构图片。

N 型半导体和 P 型半导体结合在一起，得到的 PN 结就是二极管（图 3-1）。二极管按制造材料可分为硅二极管、锗二极管。二极管可以看成电流的单向止回阀，它只允许电流以一个方向流动，即从二极管的正极流向负极。这就是二极管的单向导电性。

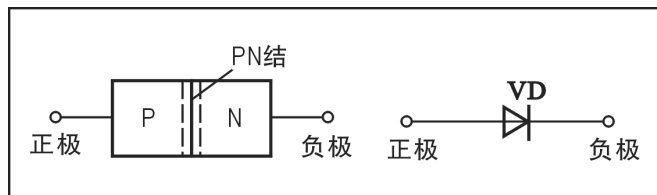


图3-1 二极管的结构及符号

操作：观看各种形式的二极管（实物）。用指针式万用表检测二极管的单向导电性（图 3-2）。将万用表拨到 $R \times 1k$ 挡。用红表笔接二极管的负极，黑表笔接二极管的正极，所测得的阻值较小；反过来，用红表笔接二极管的正极，黑表笔接二极管的负极，所测得的阻值较大。这是因为，指针式万用表的红表笔与内部电源负极相连，黑表笔与内部电源正极相连，当正电压加到二极管正极，负电压加到二极管负极时，便有电流流过，二极管表现出的阻值很小；反之，二极管则没有电流流过，表现出的阻值很大。

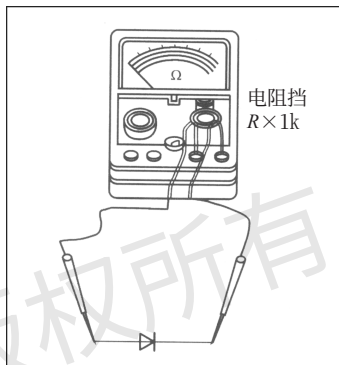


图3-2 用万用表检测二极管的单向导电性

操作规范：用万用表检测二极管时不能用 $R \times 1$ 挡和 $R \times 10k$ 挡。 $R \times 1$ 挡电流太大，可能烧坏二极管； $R \times 10k$ 挡电压太高，可能击穿二极管。

讨论：用数字万用表检测二极管单向导电性的表笔连接方法与指针式万用表相同吗？

提示：用上述方法可以判别二极管的极性。

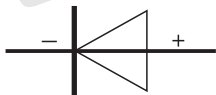


图3-3 二极管符号

二极管符号如图 3-3 所示。另外，还有早期的真空电子二极管，它是一种具有单向传导电流的电子元件。在半导体二极管内部有一个 PN 结、两个引线端子，这种电子元件按照外加电压的方向，具备单向电流的转导性。

二极管在电子电路中有很多重要的组成，而二极管（图 3-4）又是使用最多的电子元件之一。

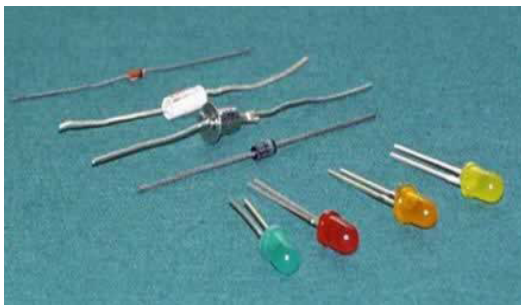


图3-4 二极管

一、二极管的主要参数

正向电流 I_F :在额定功率下, 允许通过二极管的电流值。

正向电压降 V_F :二极管通过额定正向电流时, 在两极间所产生的电压降。

最大整流电流(平均值) I_{OM} :在半波整流连续工作的情况下, 允许的最大半波电流的平均值。

反向击穿电压 V_B :二极管反向电流急剧增大到出现击穿现象时的反向电压值。

反向峰值电压 V_{RM} :二极管正常工作时所允许的反向电压峰值, 通常 V_{RM} 为 V_B 的三分之二或略小一些。

反向电流 I_R :在规定的反向电压条件下流过二极管的反向电流值。

结电容 C :在高频场合下使用时, 要求结电容小于某一规定数值。

最高工作频率 F_M :二极管具有单向导电性的最高交流信号的频率。

二、二极管的伏安特性

流过二极管的电流随着加在二极管上的电压变化而变化的性质称为二极管的伏安特性。如图 3-5 所示为二极管伏安特性曲线。

1. 正向特性

从图 3-5 可看出, 当在二极管上加上的正向电压小于某一数值 U_m 时, 正向电流很小, 几乎为零, 二极管呈现出较大的电阻, 这段区域称为“死区”。 U_m 叫做死区电压或门槛电压。硅管 $U_m=0.5V$, 锗管 $U_m=0.1V$ 。当正向电压超过 U_m 后, 正向电流按指数曲线规律增长, 二极管处于导通状态。硅管的导通压降为 $0.7V$, 锗管的导通压降为 $0.3V$ 。

2. 反向特性

当二极管被加上反向电压时, 流过二极管的电流很小, 称为反向饱和电流 I_s , 硅管 I_s 小于 $0.1\mu A$, 锗管 I_s 为几十微安。

3. 反向击穿特性

当反向电压增加到某个数值 U_R 时, 流过二极管的反向电流将急剧增大, 这种现象叫反向击穿。 U_R 叫做反向击穿电压。使用二极管时, 应避免反向电压超过击穿电压, 以防止二极管损坏。

三、二极管在汽车上的应用

利用二极管的单向导电性, 可以组成整流、续流、限幅及检波等电路应用到汽车电路中。

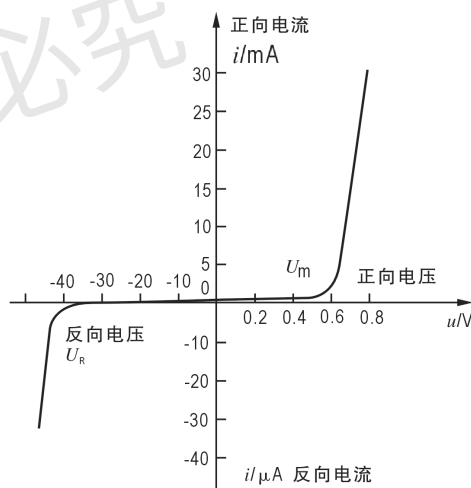


图3-5 二极管伏安特性曲线

1. 二极管的整流电路

将交流电变成直流电的过程叫做整流。在汽车交流发电机中，就是利用二极管组成的整流板将发电机发出的三相交流电整流为直流电的。为了适应汽车发电机的需要，专门制作了用于汽车的整流二极管，如图 3-6 所示。正极管的外壳为负极，引出极为正极。在负极搭铁的硅整流发电机中，三个正极管的外壳压装在散热板的三个座孔内，共同组成发电机的正极，由一个与发电机后端盖绝缘的整流板固定螺栓通至机壳外，作为发电机的火线接线柱“B”。

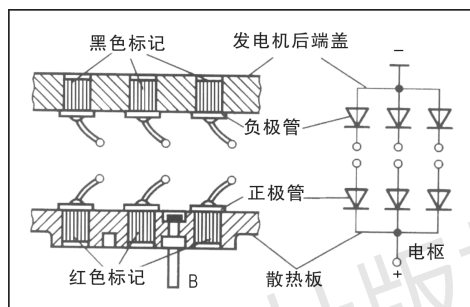


图3-6 汽车交流发电机整流二极管的安装示意图

负极管的外壳为正极，引出极为负极，在管壳底上一般标有黑色标记。三个负极管的外壳压装在后端盖的三个孔内，和发电机外壳一起组成发电机的负极。三个正极管和三个负极管构成的整流电路称为三相桥式整流电路，将发电机的交流电变为 12V 的直流电。整流电路如图 3-7 所示。

重点：三相桥式整流工作原理。在电路中，三个正极管的正极引出线分别与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极管导通。同样，三个负极管的引出线也分别同三相绕组的首端相连。在某一瞬间，只有与电位最低的一相绕组相连的负极管导通。

其整流过程如下：

在 $t=0$ 时， $U_{U1}=0$ ， U_{V1} 为负值， U_{W1} 为正值，则二极管 VD_3 、 VD_5 获得正向电压而导通。电流从 W_1 相出发，经 VD_3 、用电设备 VD_5 回到 V_1 相构成回路。因为二极管内阻很小，所以此时 W_1 、 V_1 之间的电压都加在负载上。

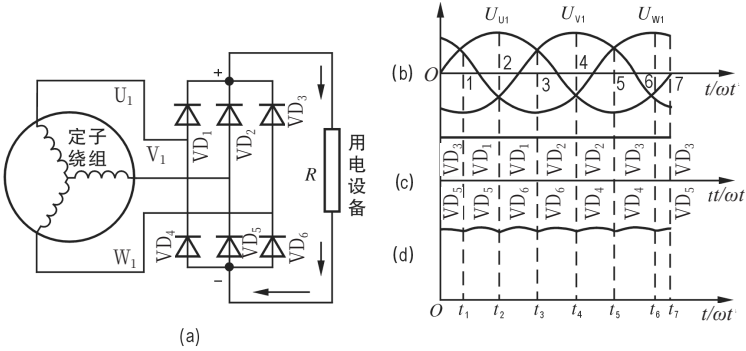
在 $t_1 \sim t_2$ 时间内， U_1 相电压最高， V_1 相电压最低，所以 VD_1 、 VD_5 处于正向电压下而导通， U_1 、 V_1 之间的电压加在负载上。

在 $t_2 \sim t_3$ 时间内， U_1 相电压最高， W_1 相电压最低，所以 VD_1 、 VD_6 处于正向电压下而导通， U_1 、 W_1 之间的电压加在负载上。

在 $t_3 \sim t_4$ 时间内， VD_2 、 VD_6 导通， V_1 、 W_1 之间的电压加在负载上。这样反复循环，6只二极管轮流导通，在负载端便得到一个较平稳的直流电压。电压波形如图3-7（d）所示。

重要提示：汽车交流发电机故障经常是整流二极管的损坏引起的。

讨论：如果汽车交流发电机的整流板中有二极管损坏会出现什么现象？
 提示：除交流发电机三相桥式整流电路外，在汽车电路中还有其他形式的整流电路。



(a)整流电路 (b)三相交流电波形 (c)某瞬间导通的二极管 (d)整流后负载上的电压波形

图3-7 汽车交流发电机的整流电路和电压波形

2. 二极管的续流电路

一个通电的线圈，当突然断电时，就会在线圈中产生一个反向电动势，如果这个反向电动势叠加在电路中的其他电子元器件上（一般为三极管），就会引起元器件的损坏。为了避免这种现象的出现，一般都在线圈旁边并联一个二极管来吸收反向电动势，这种电路就是二极管的续流电路，如图 3-8 所示。在这种电路中，二极管起到了对其他电子元器件的保护作用，所以也称保护二极管。

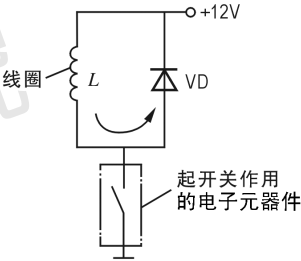


图3-8 二极管续流电路

四、常用的二极管

1. 整流二极管

将交流电流整流成直流电流的二极管叫做整流二极管，它是面结合型的功率元器件，因结电容大，故工作频率低。通常， I_F 在 1A 以上的二极管采用金属壳封装 [图 3-9 (a)]，以利于散热； I_F 在 1A 以下的采用塑料封装 [图 3-9 (b)]。由于工艺技术不断提高，国外出现了不少较大功率的管子，也采用塑封形式。

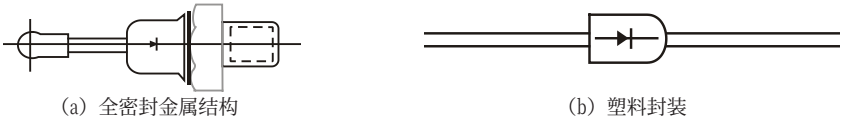


图3-9 整流二极管

2. 检波二极管

检波二极管是用于把叠加在高频载波上的低频信号检测出来的元器件，它具有较高的检波效率和良好的频率特性。

3. 开关二极管

在脉冲数字电路中，用于接通和关断电路的二极管叫开关二极管，它的特点是反向恢复时间短，能满足高频和超高频应用的需要。

开关二极管有接触型、平面型和扩散台面型，一般 $I_F < 500\text{mA}$ 的硅开关二极管多采用全密封环氧树脂陶瓷片状封装（图 3-10），引脚较长的一端为正极。

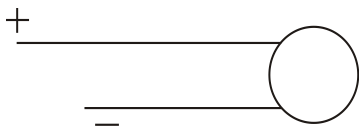


图3-10 硅开关二极管

4. 稳压二极管

稳压二极管是由硅材料制成的面结合型晶体二极管，它利用 PN 结反向击穿时的电压基本上不随电流变化而变化的特点来达到稳压的目的，因为它能在电路中起稳压作用，故称为稳压二极管（简称稳压管），其图形符号如图 3-11 所示。

稳压管的伏安特性曲线如图 3-12 所示，当反向电压达到 V_z 时，即使电压有一微小的增加，反向电流也会猛增（反向击穿曲线很陡）。这时，二极管处于击穿状态，如果把击穿电流限制在一定的范围内，管子就可以长时间在反向击穿状态下稳定工作。



图3-11 稳压二极管的图形符号

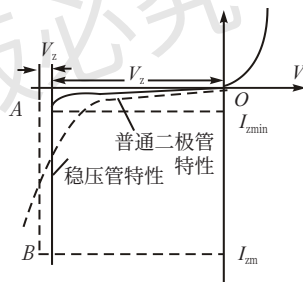


图3-12 硅稳压管伏安特性曲线

5. 变容二极管

变容二极管是利用 PN 结的电容随外加偏压变化而变化这一特性制成的非线性电容元器件，被广泛地用于参量放大器、电子调谐及倍频器等微波电路中。变容二极管主要通过结构设计及工艺等一系列途径来突出电容与电压的非线性关系，并提高 Q 值以适合应用。

变容二极管的结构与普通二极管相似，其图形符号如图 3-13 所示。



图3-13 变容二极管图形符号

几种常用变容二极管的型号和参数见表 3-1。

表3-1 几种常用变容二极管的型号和参数

型 号	产 地	反向电压 (V)		电容量 (pF)		电 容 比	使用波段
		最小值	最大值	最小值	最大值		
2CB11	中国	3	25	2.5	12		UHF
2CB14	中国	3	30	3	18	6	VHF
BB125	欧洲	2	28	2	12	6	UHF
BB139	欧洲	1	28	5	45	9	VHF
MA325	日本	3	25	2	10.3	5	UHF
ISV50	日本	3	25	4.9	28	5.7	VHF
ISV97	日本	3	25	2.4	18	7.5	VHF
ISV59.OSV70/IS2208	日本	3	25	2	11	5.5	UHF

@ 信 息

一、普通二极管的检测

二极管的极性通常在管壳上注有标记。如无标记，可用万用表电阻挡测量其正、反向电阻来判断（一般用 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 挡），具体方法见表 3-2。

表3-2 二极管简易测试方法

项 目	正向电阻	反向电阻
测试方法		
测试情况	硅管：表针指示位置在中间或中间偏右一点 锗管：表针指示在右端靠近满刻度的地方（如上图所示），表明管子正向特性是好的 如果表针在左端不动，则表明管子内部已经断路	硅管：表针在左端基本不动 锗管：表针从左端启动一点，但不应超过满刻度的1/4（如上图所示），则表明反向特性是好的 如果表针指在0位，则表明管子内部已短路

二、普通发光二极管的检测

1. 用万用表检测

利用具有 $\times 10k\Omega$ 挡的指针式万用表可以大致判断发光二极管的好坏。正常时，二极管正向电阻值为几十至 $200k\Omega$ ，反向电阻值为 ∞ 。如果正向电阻值为 0 或 ∞ ，反向电阻值很小或为 0，则表明二极管已损坏。这种检测方法，不能实际看到发光管的发光情况，因为 $\times 10k\Omega$ 挡不能向 LED 提供较大的正向电流。

如果有两块指针万用表（最好同型号），则可以较好地检查发光二极管的发光情况。用一根导线将其中一块万用表的“+”接线柱与另一块表的“-”接线柱连接。余下的“-”笔接被测发光管的正极（P区），余下的“+”笔接被测发光管的负极（N区）。两块万用表均置 $\times 10\Omega$ 挡。正常情况下，接通后就能正常发光。若亮度很低，甚至不发光，可将两块万用表均拨至 $\times 1\Omega$ 挡，若仍很暗，甚至不发光，则说明该发光二极管性能不良或损坏。应注意，不能一开始测量就将两块万用表置于 $\times 1\Omega$ 挡，以免电流过大，损坏发光二极管。

2. 外接电源测量

用3V稳压源或两节串联的干电池及万用表（指针式或数字式皆可）可以较准确地测量发光二极管的光、电特性按图3-14所示连接电路即可。则测得VF在1.4~3V之间，且发光亮度正常，则说明发光管正常。如果测得VF=0或VF $\approx$ 3V，且不发光，则说明发光管已坏。

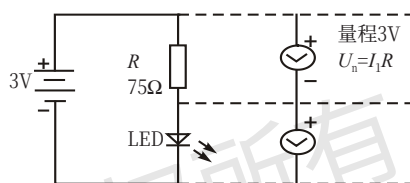


图3-14 外接电源测量的连接电路

3. 红外发光二极管的检测

红外发光二极管发射1~3 μm 的红外光，人眼看不到。通常单只红外发光二极管发射功率只有数毫瓦，不同型号的红外LED发光强度角分布也不相同。红外LED的正向压降一般为1.3~2.5V。正是由于其发射的红外光人眼看不见，所以利用上述可见光LED的检测法只能判定其PN结正、反向电学特性是否正常，而无法判定其发光情况是否正常。为此，最好准备一只光敏元器件（如2CR、2DR型硅光电池）做接收器。用万用表测光电池两端电压的变化情况，以判断红外LED加上适当正向电流后是否发射红外光。其检测电路如图3-15所示。

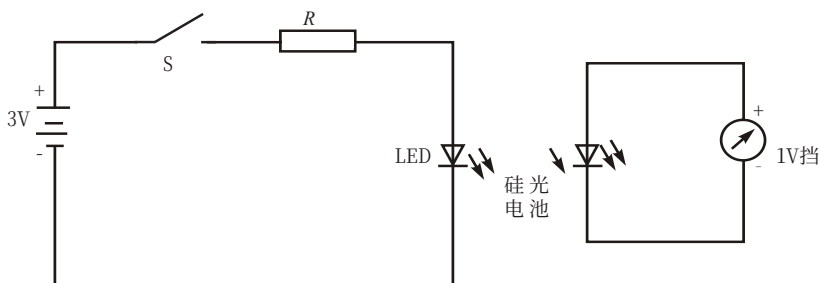


图3-15 红外发光二极管的检测电路

计划

学生根据表3-3格式在作业本上制作表格并填写。

表3-3 晶体二极管元器件检测作用表

序 号	元器件名	观察检测后所得结论

实 施

一、实践准备

场地 / 工具准备 : 4 人用实习场地一块、对应数量的课桌椅、黑板一块、常用工具一套、指示灯一个、不同线径跨接线数条、数字万用表一个。

资料准备 : 二极管元器件若干。

二、实践要求

学生 4 人为一组, 在教师的指导下, 根据导向环节学到的知识, 依据信息环节中的资料, 用万用表检测二极管的各项参数。

教师指导要求 :

- ① 强调安全文明生产。
- ② 要求并监督学生用正确流程操作。
- ③ 指导学生正确使用各种检测仪器与工具。

检 验

教师对学生完成的二极管检测电路, 用万用表进行检测。如发现数据不正常, 则要求学生找到问题所在。

教师收回学生完成的工作计划表, 根据学生在实施环节中的表现对每位学生进行点评。参考教师评价表见表 3-4。

表3-4 教师评价表

学 号	姓 名	安全文明生产	操作流程的遵守	仪器与工具的使用	计划表格的完成	总 评 语

说明 : 在整个实施过程中应该把握住几项重点内容, 工作细致, 不得有任何的违规操作。这样得出的结果较为准确合理, 同时对安全有一定的保障, 数据真实有效。



展 示

一、演讲

参加人员：学生组（4 人 1 组）的代表。

题目：二极管的检测方法。

时间：10 分钟。

讲解资料：工作计划表。

二、要求

描述二极管的基本参数与检测方法。

电子工业出版社版权所有
盗版必究



三极管



【任务描述】

要求学生掌握三极管截止、放大、饱和三种工作状态，掌握用万用表检测三极管的方法。

【基础知识】

一、三极管的概念

半导体元器件中的三极管又称晶体管，与二极管相对应。三极管是由两个相距很近的 PN 结组成的，在一块半导体晶片上制造三个掺杂区，形成两个 PN 结，再引出三个电极，用管壳封装。

三极管由 P 型和 N 型材料组合的三层材料制成。按照两个 PN 结的组合方式不同，三极管可分为 NPN 型和 PNP 型。实际上，一个三极管是拥有共同中间层的两个二极管。

三极管的三个级分别为发射极 e、集电极 c、基极 b，如图 4-1 所示。三极管的基本功能就是利用基极电流控制集电极和发射极之间的电流。三极管可以被看做一个电流的控制阀，集电极和发射极是电流的通路，而基极就是控制这个电流的阀门，只不过这个阀门不是靠旋转来改变通路的大小，而是靠本身流过的电流——基极电流来控制集电极和发射极之间流过电流的大小。三极管符号中的箭头就表示了两种不同类型的三极管集电极和发射极之间电流的方向。NPN 型三极管电流从集电极 c 流向发射极 e，PNP 型三极管电流从发射极 e 流向集电极 c。

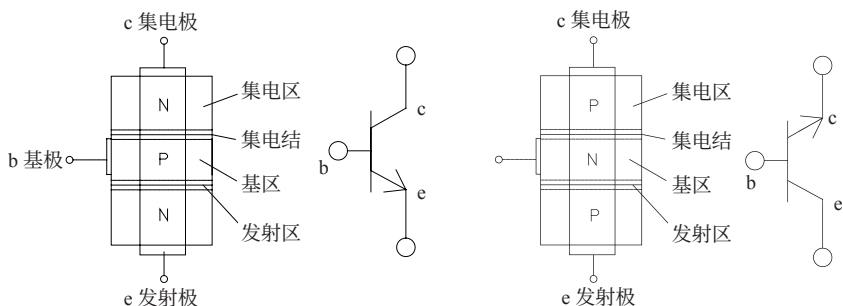


图4-1 三极管

二、三极管的工作状态

1. 截止

NPN型三极管基极b与发射极e电位差小于0.7V, 这种情况称为基极加了反向偏压。这种状态下, 三极管不导通, 没有电流流动, 称为三极管截止状态。如果把c和e看做一个开关的两端, 截止状态相当于开关断开。对于PNP型三极管, 发射极e与基电极b电位差小于0.3V, 称为基极加了反向偏压, PNP型三极管截止。

2. 放大

NPN管的基极b与发射极e电位差大于0.7V, 这种情况称为基极加了正向偏压。在这种状态下, 三极管导通, 集电极c向发射极e有电流, 而且流过的电流的大小与基极b流入的电流成正比, 称为三极管的放大状态。对于PNP管, 放大状态的条件是基极b的电位比发射极e的电位低0.3V以上。

3. 饱和

在放大状态, 三极管集电极c与发射极e之间的电流是随着基极b的电流增大而增大的。但是, 当三极管的基极电流增加到一定值时, 再增大正向偏压, 加大基极电流, ce之间的电流维持在一个最大值而不再增大了, 这种状态称为三极管的饱和状态。在饱和状态, 三极管ce之间电位差很小, 几乎为零, 相当于一个开关的两端闭合。在分析汽车电路时, 如果遇到三极管饱和的状态, 可认为c、e电位相等。

三极管在汽车电子电路中通常有两种应用: 一种是利用三极管的放大功能, 对微弱的传感器信号进行放大后, 传给ECU; 另一种是利用三极管的截止与饱和两个状态互相变换, 作为一个电子开关, 控制其他电子元件。

三、三极管的工作原理

无论是NPN型还是PNP型三极管, 三个电极电流之间的关系相同。

三极管具有电流放大作用, 它是一个电流控制元器件。它能用很小的基极电流 I_B 来控制比较大的集电极电流 I_C 和发射极电流 I_E 。

没有 I_B 就没有 I_C 和 I_E , 也就是能将直流电源的电流按输入电流 I_B 的变化规律转换成 I_C 和 I_E (图4-2)。

四、三极管的分类

- ① 按材料分类：可分为硅三极管、锗三极管。
- ② 按导电类型和极性分类：分为 PNP 型和 NPN 型。
锗三极管多为 PNP 型，硅三极管多为 NPN 型。
- ③ 按工作频率分类：分为高频 ($>3\text{ MHz}$)、低频 ($<3\text{ MHz}$) 和开关三极管。
- ④ 按功率分类：分为大功率 ($>1\text{ W}$)、中功率 ($0.5 \sim 1\text{ W}$) 和小功率 ($<0.5\text{ W}$) 三极管。
- ⑤ 按用途分类：分为放大管、开关管和振荡管。

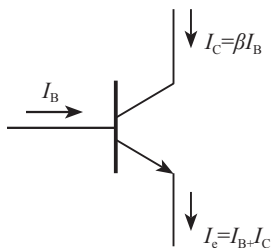


图4-2 三极管的工作原理

五、三极管的型号命名

符号的第一部分“3”表示三极管。符号的第二部分表示元器件的材料和结构：A——PNP 型锗材料，B——NPN 型锗材料，C——PNP 型硅材料，D——NPN 型硅材料。符号的第三部分表示功能：U——光电管，K——开关管，X——低频小功率管，G——高频小功率管，D——低频大功率管，A——高频大功率管。另外，3DJ 型为场效应管，BT 打头的表示半导体特殊元器件。

六、三极管的管型及引脚的判别

利用万用表判定三极管引脚的方法如下。

首先判定 PNP 型和 NPN 型晶体管。用万用表的 $R \times 1\text{ k}\Omega$ (或 $R \times 100\ \Omega$) 挡，用黑表笔接三极管的任一引脚，用红表笔分别接其他两引脚。若表针指示的两阻值均很大，那么黑表笔所接的那个引脚是 PNP 型管的基极；如果万用表指示的两个阻值均很小，那么黑表笔所接的引脚是 NPN 型的基极；如果表针指示的阻值一个很大、一个很小，那么黑表笔所接的引脚不是基极，需要换一个引脚重试，直到满足要求为止。

进一步判定三极管集电极和发射极：首先假定一个引脚是集电极，另一个引脚是发射极。对 NPN 型三极管，黑表笔接假定是集电极的引脚，红表笔接假定是发射极的引脚（对于 PNP 型管，万用表的红、黑表笔对调）；然后用大拇指将基极和假定集电极连接（注意两引脚不能短接），这时记录下万用表的测量值；最后反过来，把原先假定的引脚对调，重新记录下万用表的读数，两次测量值较小的黑表笔所接的引脚是集电极（对于 PNP 型管，则红表笔所接的是集电极）。

七、三极管的重要特性

- ① 三极管集电极与发射极之间的内阻可控特性。
- ② 三极管的开关特性（饱和状态和截止状态）。
- ③ 发射极电压跟随基极电压特性。

三极管的发射极电压跟随特性有一定条件，并不是在任何电压下均存在这一特性，只有在基极与发射极之间的 PN 结处于导通状态时，发射极电压才跟随基极电压。

利用万用表检测三极管。

一、用万用表判别引脚及类型

1. 基极及管型的判别

测试三极管时，可将三极管的结构看做由两个 PN 结所组成，而 PN 结的反向电阻都很大，正向电阻很小，因此可用万用表的 $R \times 100$ 或 $R \times 1$ 挡进行测试。先将黑表笔接三极管某一极，然后将红表笔接其余两极，如图 4-3 所示。若测得电阻都大则黑表笔所接的是 PNP 型管子的基极；若测得电阻都小，则黑表笔所接的是 NPN 型管子的基极；若两次测得的阻值一大一小，则黑表笔所接的电极不是三极管的基极，应另接一个电极重新测量，以便确定管子的基极。

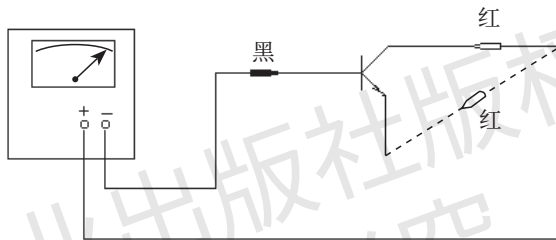


图4-3 用万用表判别引脚及类型

2. 判别集电极和发射极

判断集电极和发射极的基本原理是把三极管接成单管放大电路，利用测量管子的电流放大系数 β 值的大小来判定集电极和发射极。以 NPN 型为例，如图 4-4 所示。基极确定以后，用万用表两表笔分别接另外两个电极，用 $100\text{k}\Omega$ 的电阻挡的一端接基极，一端再接黑表笔。若万用表指针偏转较大，则黑表笔所接的一端为集电极，红表笔所接的一端是发射极。也可用手捏住基极与黑表笔（不能使两者相碰），以人体电阻代替 $100\text{k}\Omega$ 电阻。

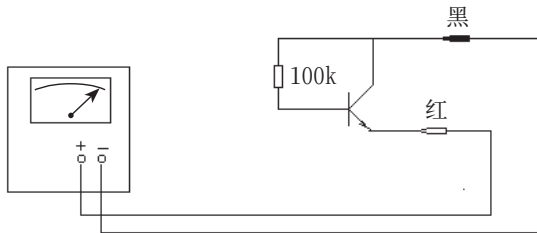


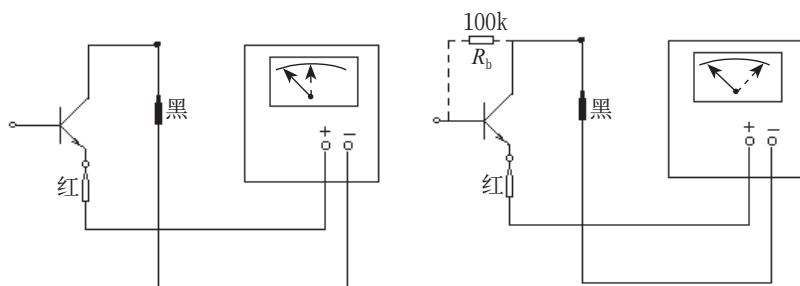
图4-4 判别集电极和发射极

二、用万用表简单判断三极管质量的优劣

1. 测ce间电阻及估测穿透电流 I_{CEO}

按图4-5（a）所示，将基极悬空，将万用表表笔分别接在三极管c、e两电极上，

红表笔接e，黑表笔接c，这时表针指示应很小（一般指针基本不动），即为穿透电流 I_{CEO} 。穿透电流愈小，管子质量愈好。若测得 R 太小，表明 I_{CEO} 太大，管子工作不稳定。



(a) 将万用表正向接在三极管c、e两电极上 (b) 三极管的集电极与基极之间连上一个100kΩ的电阻

图4-5 三极管参数测试

2. 用比较法判断三极管的放大能力

在测量 I_{CEO} 接线的基础上，在三极管的集电极c与基极b之间连上一个100kΩ的电阻 R_b ，如图4-5(b)所示，其读数与测 I_{CEO} 时的读数相差越大，表示 β 值越大。

三、三极管性能的检测

① 从外观判别三极管的极性。

三极管的三个引脚排列有一定的规律，可以从外观判断引脚的极性。

金属三极管其三脚呈等腰三角形，三角形的顶脚为基极b，管脚沿突出部分对应为发射极e，另一脚为集电极c。或使三极管呈倒三角形，利用口诀“左集右发”进行判断，如图4-6所示。

将塑料三极管引脚朝下，顶部切角对着观察者，从左到右依次为发射极e、基极b和集电极c，如图4-7所示。

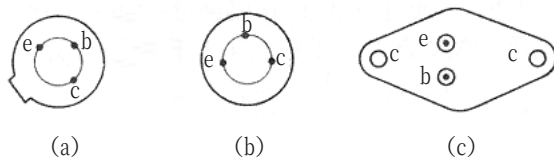


图4-6 金属三极管极性

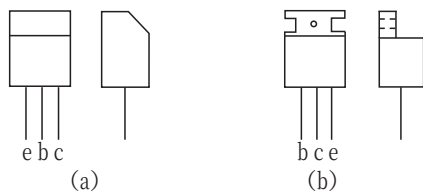


图4-7 塑料三极管极性

② 用万用表检测三极管的引脚极性与性能。应选用万用表的 $R \times 100$ 挡或者 $R \times 1k$ 挡进行检测。

三极管引脚极性及三极管管型的判断步骤如下。

第一步：基极 b 及三极管管型的判断。根据三极管结构特点可知，基极 b 与集电极 c 之间、基极 b 与发射极 e 之间分别为两个 PN 结，它们的正向电阻很小，反向电阻大。测量时，先将红表笔接在假定基极上，黑表笔分别接到剩余两个电极上，测出的电阻值都很大（或者很小）；然后调换表笔，即黑笔接假定基极，红笔分别接剩余两个电极，测出的电阻值都很小（或者很大）。若满足这个条件，说明假定基极正确，而且该三极管为 NPN 管（括号中对应为 PNP 管）。如果结论不对，则假定不对，应重新假定并测量，直到满足条件为止。

第二步：集电极 c 和发射极 e 的判断。若为 NPN 管，在第一步中已经确定基极 b，因此测量另两个电极，一个假设为集电极 c，另一个假设为发射极 e，在假设的 c 和已测的 b 之间加上人体电阻，NPN 管在测量电阻时万用表的黑笔接 c、红笔接 e，测量出 c、e 之间的等效电阻；然后，假设电极对调，再测量一次。比较两次结果的大小，电阻小的一次假设正确。

若三极管为 PNP 管，测试方法类似，结论相反。



计划

学生根据表 4-1 格式在作业本上制作表格。

表4-1 记录表

三极管序号	三极管的检测状态
1	
2	
3	
4	



实施

学生根据信息环节中学到的知识完成计划环节中的表 4-1。



检验

- ① 学生 4 人一小组，对各自完成的表格进行讨论，并进行修改。
- ② 教师收取学生完成的作业表格，并进行检查和修改。



展示

要求每组派一名学生代表讲解表格完成的情况。



工作任务 5

磁场及电磁感应



导向

【任务描述】

要求学生通过本次任务的学习，了解直线电流、环形电流以及螺线管电流的磁场，会用右手定则判断其磁场的方向；理解磁感应强度、磁通、磁导率、磁场强度的概念；掌握磁场对电流作用力的有关计算及方向的判断，了解磁场对通电线圈的作用。

【基础知识】

一、磁场

① **磁场**：磁体周围存在的一种特殊的物质叫磁场。磁体间的相互作用力是通过磁场传送的。磁体间的相互作用力称为磁场力，同名磁极相互排斥，异名磁极相互吸引。

② **磁场的性质**：磁场具有力的性质和能量性质。

③ **磁场方向**：在磁场中某点放一个可自由转动的小磁针，它的 N 极所指的方向即为该点的磁场方向。

二、磁感线

1. 磁感线

在磁场中画一系列曲线，使曲线上每一点的切线方向都与该点的磁场方向相同，这些曲线称为磁感线，如图 5-1 所示。

2. 特点

① 磁感线的切线方向表示磁场方向，其疏密程度表示磁场的强弱。

② 磁感线是闭合曲线。在磁体外部，磁感线由 N 极出来，绕到 S 极；在磁体内部，磁感线由 S 极指向 N 极。

③ 任意两条磁感线不相交。

说明：磁感线是为研究问题方便而人为引入的假想曲线，实际上并不存在。

图 5-2 所示为条形磁铁的磁感线。

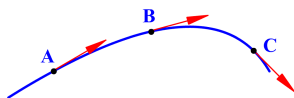


图 5-1 磁感线

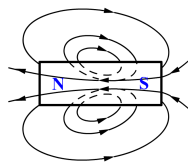


图 5-2 条形磁铁的磁感线

3. 匀强磁场

在磁场中的某一区域，若磁场的大小和方向都相同，则这部分磁场称为匀强磁场。匀强磁场的磁感线是一系列疏密均匀、相互平行的直线。

三、电流的磁场

1. 电流的磁场

直线电流所产生的磁场方向可用安培定则来判定，方法是：用右手握住导线，让拇指指向电流方向，四指所指的方向就是磁感线的环绕方向。

环形电流的磁场方向也可用安培定则来判定，方法是：让右手弯曲的四指和环形电流方向一致，伸直的拇指所指的方向就是导线环中心轴线上的磁感线方向。

螺线管通电后，磁场方向仍可用安培定则来判定：用右手握住螺线管，四指指向电流的方向，拇指所指的就是螺线管内部的磁感线方向。

2. 电流的磁效应

电流的周围存在磁场的现象称为电流的磁效应。电流的磁效应揭示了磁现象的电本质。

@ 信息

一、磁感应强度

磁场中垂直于磁场方向的通电直导线，所受的磁场力 F 与电流 I 和导线长度 l 的乘积 Il 的比值叫做通电直导线所在处的磁感应强度 B 。

$$B = \frac{F}{Il}$$

磁感应强度是描述磁场强弱和方向的物理量。

磁感应强度是一个矢量，它的方向即为该点的磁场方向。在国际单位制中，磁感应强度的单位是特斯拉 (T)。

用磁感线可形象地描述磁感应强度 B 的大小。 B 较大的地方，磁场较强，磁感线较密； B 较小的地方，磁场较弱，磁感线较稀。磁感线的切线方向即为该点磁感应强度 B 的方向。

匀强磁场中各点的磁感应强度大小和方向均相同。

二、磁通量

在磁感应强度为 B 的匀强磁场中取一个与磁场方向垂直, 面积为 S 的平面, 则 B 与 S 的乘积, 叫做穿过这个平面的磁通量 Φ , 简称磁通。

$$\Phi = BS$$

磁通的国际单位是韦伯 (Wb)。

由磁通的定义式, 可得

$$B = \frac{\Phi}{S}$$

即磁感应强度 B 可看做通过单位面积的磁通, 因此磁感应强度 B 也常叫做磁通密度, 并用 Wb/m^2 做单位。

三、磁场对直线电流的作用力

1. 安培力的大小

磁场对放在其中的通电直导线有力的作用, 这个力称为安培力。

当电流 I 的方向与磁感应强度 B 垂直时, 导线受安培力最大, 根据磁感应强度

$$B = \frac{F}{Il}$$

可得

$$F = BIl$$

当电流 I 的方向与磁感应强度 B 平行时, 导线不受安培力作用。

如图 5-3 所示, 当电流 I 的方向与磁感应强度 B 之间有一定夹角时, 可将 B 分解为两个互相垂直的分量。

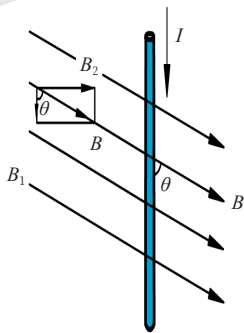


图5-3 磁场对直线电流的作用

一个是与电流 I 平行的分量, $B_1 = B \cos \theta$; 另一个是与电流 I 垂直的分量, $B_2 = B \sin \theta$ 。 B_1 对电流没有力的作用, 磁场对电流的作用力是由 B_2 产生的。因此, 磁场对直线电流的作用力为

$$F = B_2 I = B I l \sin \theta$$

当 $\theta = 90^\circ$ 时, 安培力 F 最大; 当 $\theta = 0^\circ$ 时, 安培力 $F = 0$ 。

2. 单位

公式中各物理量的单位均采用国际单位制：安培力 F 的单位用牛顿 (N)，电流 I 的单位用安培 (A)，长度 l 的单位用米 (m)，磁感应强度 B 的单位用特斯拉 (T)。

3. 左手定则

安培力 F 的方向可用左手定则判断：伸出左手，使拇指与其他四指垂直，并都跟手掌在一个平面内，让磁感线穿入手心，四指指向电流方向，大拇指所指的方向即为通电直导线在磁场中所受安培力的方向。

由左手定则可知： $F \perp B$ ， $F \perp I$ ，即 F 垂直于 B 、 I 所决定的平面。

四、磁场对通电线圈的作用力矩

将一矩形线圈 $abcd$ 放在匀强磁场中，如图 5-4 所示，线圈的顶边 da 和底边 bc 所受的磁场力 F_{da} 、 F_{bc} 大小相等，方向相反，在一条直线上，彼此平衡；而作用在线圈两个侧边 ab 和 cd 上的磁场力 F_{ab} 、 F_{cd} 虽然大小相等，方向相反，但不在一条直线上，产生了力矩，称为磁力矩。这个力矩使线圈绕 OO' 转动。转动过程中，随着线圈平面与磁感线之间夹角的改变，力臂在改变，磁力矩也在改变。

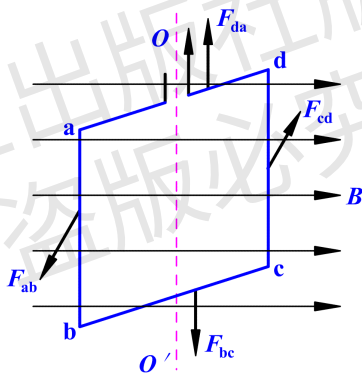


图5-4 磁场对通电矩形线圈的作用力

当线圈平面与磁感线平行时，力臂最大，线圈所受磁力矩最大。

当线圈平面与磁感线垂直时，力臂为零，线圈所受磁力矩也为零。

计划

利用在导向环节学到的基础知识分析磁电式电流表的工作原理。

一、结构

电流表的结构如图 5-5 所示。

在一个很强的蹄形磁铁的两极间有一个固定的圆柱形铁芯，铁芯外套有一个可以绕轴转动的铝框，铝框上绕有线圈，铝框的转轴上装有两个螺旋弹簧和一个指针，线圈两端分别接在这两个螺旋弹簧上，被测电流就是经过这两个弹簧流入线圈的。

二、工作原理

如图 5-6 所示,蹄形磁铁和铁芯间的磁场均匀地辐向分布。这样,不论通电线圈转到什么方向,它的平面都跟磁感线平行。因此,线圈受到的偏转磁力矩 M_1 就不随偏角而改变。通电线圈所受的磁力矩 M_1 的大小与电流 I 成正比,即

$$M_1 = k_1 I$$

式中, k_1 为比例系数。

线圈偏转使弹簧扭紧或扭松,于是弹簧产生一个阻碍线圈偏转的力矩 M_2 ,线圈偏转的角度越大,弹簧的力矩也越大, M_2 与偏转角 θ 成正比,即

$$M_2 = k_2 \theta$$

式中, k_2 为比例系数。

当 M_1 、 M_2 平衡时,线圈就停在某一偏角上,固定在转轴上的指针也转过同样的偏角,指向刻度盘的某一刻度。

比较上述两个力矩,因为 $M_1 = M_2$,所以 $k_1 I = k_2 \theta$,即

$$\theta = \frac{k_1}{k_2} I = k I$$

即测量时偏转角度 θ 与所测量的电流成正比。这就是电流表的工作原理。这种利用永久性磁铁使通电线圈偏转达到测量目的的仪表称为磁电式仪表。

三、磁电式仪表的特点

① 刻度均匀,灵敏度高,准确度高。

② 负载能力差,价格较昂贵。

③ 给电流表串联一个阻值很大的分压电阻,就可改装成量程较大的电压表;并联一个阻值很小的分流电阻,就可改装成量程较大的电流表;欧姆表也是由电流表改装的。

实施

学生每 4 人一组,每组分发一块电流表。

按图 5-7 连接电路。

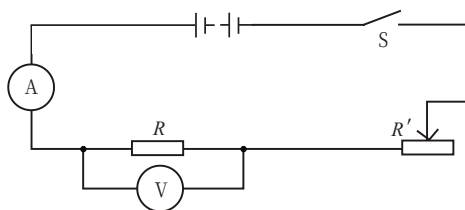


图 5-7 学生实验电路图

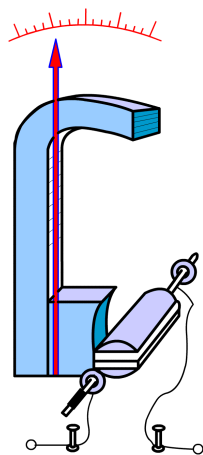


图 5-5 电流表的结构

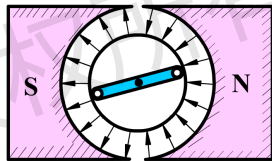


图 5-6 磁电式电流表的磁场

观察下列情况下的电流表指针的转动方向：

- ① 闭合开关 S 时电流表指针的转动方向；
- ② 调换蓄电池正负极时电流表指针的转动方向；
- ③ 滑动变阻器从左至右滑动时电流表指针的转动方向；
- ④ 滑动变阻器从右至左滑动时电流表指针的转动方向。

将结果填入表 5-1 中。

表5-1 不同情况下电流表指针的偏转方向

情 况	闭合开关S	调换蓄电池	变阻器从左至右	变阻器从右至左
电流表指针偏转方向				

 检 验

- ① 教师针对每一小组的实际电路进行指导。
- ② 教师收取学生的表格作业本，检查表 5-1 中的结果是否正确。

 展 示

- ① 本节知识点梳理（演讲题）。
- ② 从学生小组中，根据实际情况随机抽取 2 或 3 组同学。
- ③ 学生针对实验结果，结合电磁感应原理分析产生此种结果的原因。