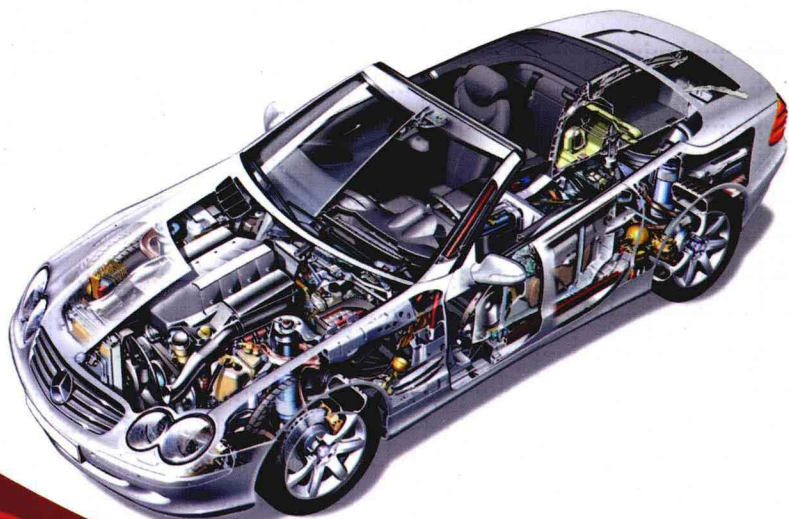


职业教育汽车制造与装配技术专业“十二五”规划教材

汽车电工 与电子技术

QICHE DIANGONG
YU DIANZI JISHU

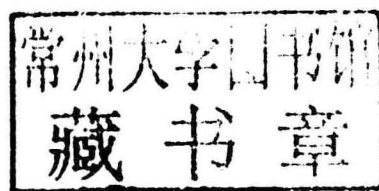
朱秀兰 主编



职业教育汽车制造与装配技术专业“十二五”规划教材

汽车电工与电子技术

主 编 朱秀兰
副主编 夏咏梅
参 编 黄 刚 赛恒吉雅
主 审 刘继承



机械工业出版社

本书是职业教育汽车制造与装配技术专业“十二五”规划教材。本书在内容的安排上,以学生的技术应用能力的培养为主线,以应用为目的,具有鲜明的特点。

本书主要内容包括汽车照明和信号系统电路的安装与检测,交流发电机的拆装与检测,分立式功率放大器的安装与调试,直流稳压电源的制作与调试,数字钟的制作与调试五个项目以及电工基本操作、室内照明电路知识链接两个附录。每个项目都包含【内容提要】、【学习目标】、【任务描述】、【知识链接】、【知识储备】、【项目实施】、【检查评价】、【教学反馈】、【项目拓展(作业)】九个栏目,目的是紧紧围绕项目完成的需要来选择和组织课程内容,突出项目与知识的紧密性。其中【知识链接】层次是完成该项目学生必须具备的知识和需要掌握的技能,而【知识储备】是与该项目相关的电工与电子技术的基础知识,为学生知识的扩充和今后能力的拓展做好积累。

本书可作为职业院校汽车制造与装配技术专业教材,也可作为汽车制造与维修人员的阅读教材。

为方便教学,凡选用本书作为授课教材的教师均可登录 www.cmpedu.com 以教师身份免费注册下载电子课件。

图书在版编目(CIP)数据

汽车电工与电子技术/朱秀兰主编. —北京:机械工业出版社,2011.8
职业教育汽车制造与装配技术专业“十二五”规划教材
ISBN 978-7-111-34544-2

I. ①汽… II. ①朱… III. ①汽车-电工-职业教育-教材②汽车-电子技术-职业教育-教材 IV. ①U463.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第138481号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:曹新宇 责任编辑:曹新宇 高岩 版式设计:霍永明
责任校对:刘怡丹 封面设计:马精明 责任印制:乔宇

北京汇林印务有限公司印刷

2011年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm·9.25印张·228千字

0001—2000册

标准书号:ISBN 978-7-111-34544-2

定价:20.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

《汽车电工与电子技术》课程，从汽车制造与装配技术专业学生将来所必须具备的综合职业能力出发，充分考虑职业教育学生的特点，以培养电工与电子应用技能和相关的岗位技能为基本目标，形成“教、学、做”合一的教学项目。在项目内容的编排上，遵循专业理论的学习规律与操作技能的形成规律，使学生在项目的引领下学习电工与电子技术的相关理论和技能知识，避免理论教学与实践的脱节。学生在增强实践能力的同时，也锻炼了团结合作精神。每个项目都有明确的知识目标和能力目标，在学中做，做中学，紧紧围绕工作任务完成的需要来选择和组织课程内容，并以此来完成本课程的教学。

本书在编写过程中，以就业为导向、以够用为原则，同时兼顾了知识的外延和扩展，增加了图示说明，使得知识点更加容易掌握。本书充分注意使用者的认知水平和认知规律，力求做到目标明确、层次分明、内容精练、突出实用性和训练性。本书在编写上打破了传统的电工与电子技术课程体系，不以知识的系统性串联课程体系，而是依据岗位需求，选择教学内容，将理论学习和技能训练紧密联系在一起，使学生在工作过程中掌握电工与电子技术的相关知识和技能。

本书由朱秀兰担任主编，并编写项目一、项目五、附录 A 和附录 B；夏咏梅担任副主编，编写项目二；黄刚编写项目三；赛恒吉雅编写项目四；全书由朱秀兰统稿。本书由刘继承教授主审。刘继承教授和王秀红老师提出了许多宝贵的建议，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中的缺点和错误在所难免，敬请各位读者批评指正。

编 者

目 录

前言

项目一 汽车照明和信号系统电路的安装与检测	1
任务一 安装汽车照明和信号系统电路	1
任务二 在汽车实训室对一辆轿车的照明和信号系统的装置进行检测	3
项目二 交流发电机的拆装与检测	24
任务一 交流发电机的拆装	24
任务二 交流发电机的检测	25
项目三 分立式功率放大器的安装与调试	51
任务一 分立式功率放大器的安装	51
任务二 分立式功率放大器的调试	52
项目四 直流稳压电源的制作与调试	84
任务一 直流稳压电源的制作	84
任务二 直流稳压电源的检测与调试	85
项目五 数字钟的制作与调试	99
任务一 数字钟的制作	99
任务二 数字钟的调试	100
附录	120
附录 A 电工基本操作	120
附录 B 室内照明电路知识链接	133
参考文献	144

项目一 汽车照明和信号系统电路的安装与检测

【内容提要】

通过实施汽车照明和信号系统电路的安装与检测项目，使学生掌握汽车照明和信号系统电路的基本组成、工作原理以及照明和信号系统电路的安装，明确照明和信号系统电路的检测步骤，掌握安全用电以及直、交流电路的基本知识，掌握常用电工工具和汽车前照灯检测仪的使用方法。

【学习目标】

1. 知识目标

- 1) 明确直流电路和交流电路基础知识。
- 2) 掌握安全用电知识。
- 3) 了解汽车常用仪器、仪表的使用。

2. 能力目标

- 1) 掌握汽车照明和信号系统的基本组成和工作原理。
- 2) 学会连接汽车照明和信号系统电路。
- 3) 熟悉汽车照明灯具。
- 4) 了解汽车前照灯的结构和类型。
- 5) 掌握汽车前照灯检测仪的操作方法。

【任务描述】

汽车照明和信号系统是汽车安全驾驶的必须设备。汽车照明和信号系统电路主要由灯具、电源和中间连接控制电路组成。灯具主要分照明用的灯具和信号及标志用的灯具。照明用的灯具有前照灯、雾灯、倒车灯、牌照灯、顶灯、仪表灯和工作灯等。信号及标志用的灯具有转向灯、制动灯、尾灯、指示灯和报警灯等。

任务一 安装汽车照明和信号系统电路

1) 学生能够根据图 1-1 所示的汽车照明和信号系统电路的原理图进行汽车照明和信号系统电路的安装。

2) 汽车照明和信号系统电路的布局可以自行设计，但要求布局合理，结构紧凑，走线合格，做到横平竖直，连接导线要避免交叉、架空和叠线，变换走向要垂直，并做到高低一致或前后一致。

3) 为拓展学生的能力，可在教师的帮助下，学生自行设计安装一个简单的室内照明电路。（各校也可根据实际条件将项目一改为室内照明电路的安装与调试）。室内照明电路需

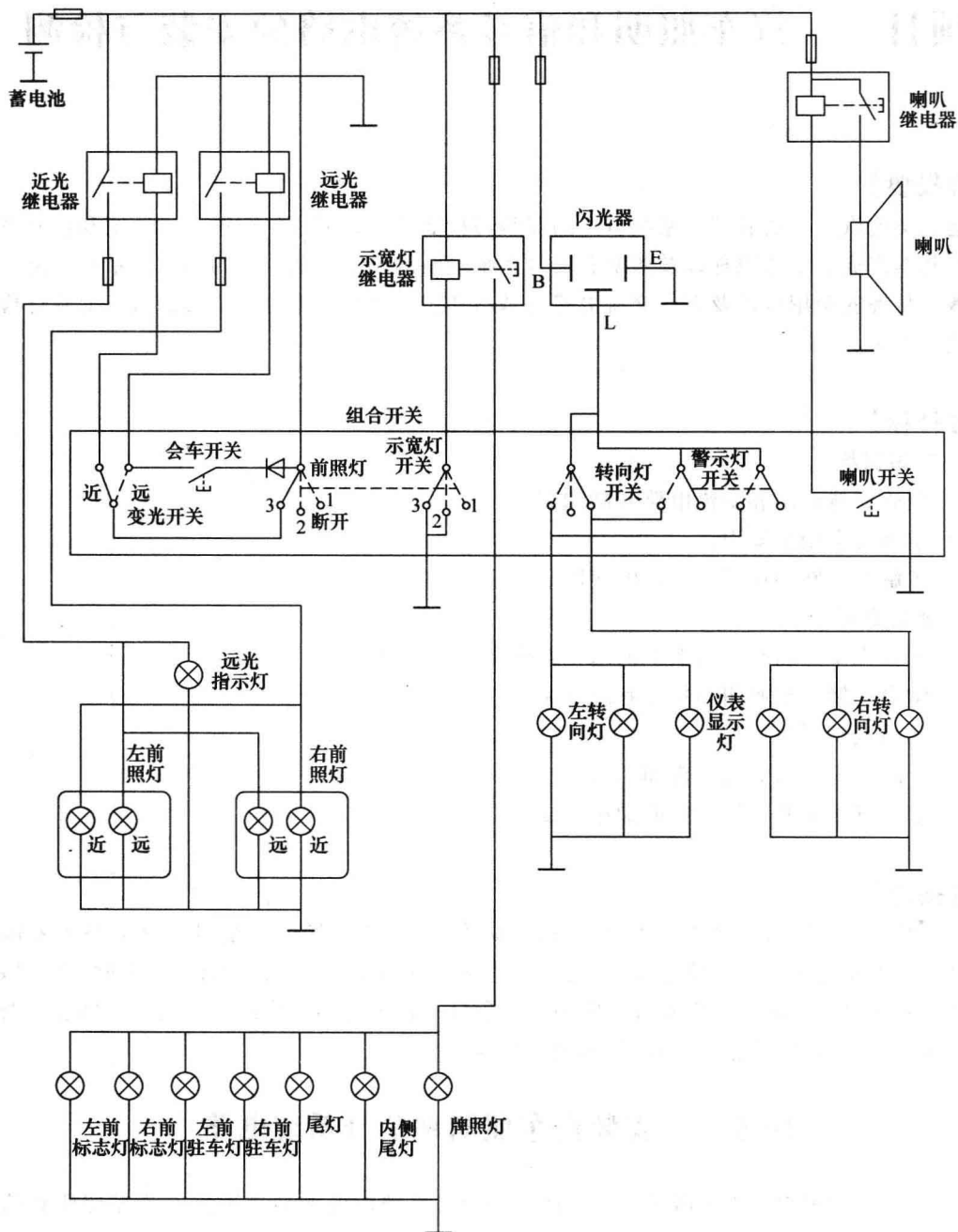


图 1-1 汽车照明和信号系统电路的原理图

要安装单向电能表、漏电保护器、熔断器、白炽灯、荧光灯、节能灯、若干开关和插座等元器件。参考电路原理图如图 1-2 所示，接线图如图 1-3 所示，其中 W·h 为电能表，QF 为漏电保护器，FU 为熔断器。室内照明电路知识链接部分内容见附录 B。

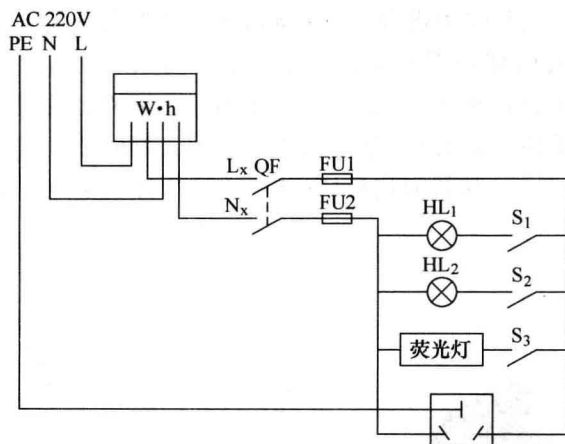


图 1-2 室内照明电路的原理图

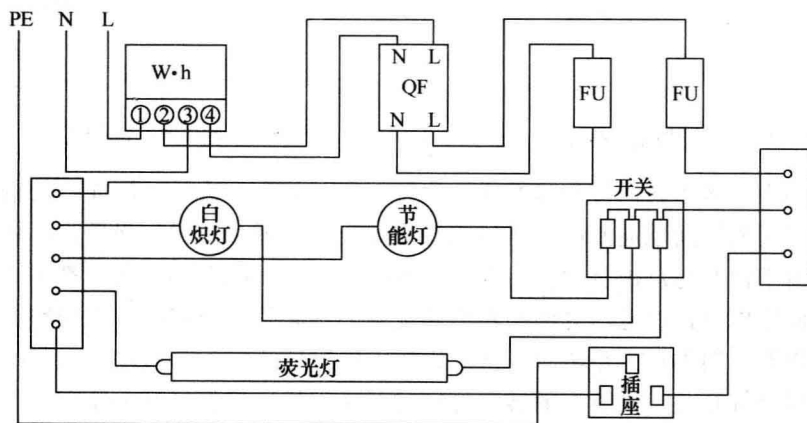


图 1-3 室内照明电路的接线图

任务二 在汽车实训室对一辆轿车的照明和信号系统的装置进行检测

- 1) 车灯检测。学生在熟悉汽车照明灯具的名称和其主要用途的基础上，能够熟练检查车辆的灯是否正常发光或闪烁。
- 2) 前照灯检测。学生要了解前照灯的结构和类型，并明确前照灯的防眩目措施，掌握前照灯检测仪的操作方法。

【知识链接】

一、转向信号系统

转向信号系统主要用于行驶过程中指示转向信号，以便汽车进行变道或转向操作。转向

信号系统主要由转向灯、信号仪表指示灯、闪光继电器和转向开关组成。

在转向信号电路中转向灯的不断明亮和熄灭是由闪光继电器（简称闪光器）完成的。常见闪光器有电热式、电容式和电子式三种。由于电子式闪光器的制造成本低、体积小、工作可靠，目前已被普遍采用。如图 1-4 所示为电子式闪光器的外形图，其有三个接脚，分别是，B——接电源正极；L——接转向信号灯；E——接电源负极（搭铁），其应用电路如图 1-5 所示。

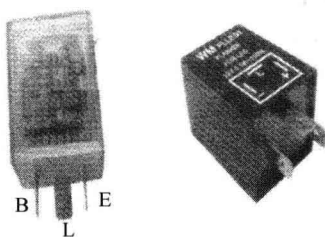


图 1-4 电子式闪光器

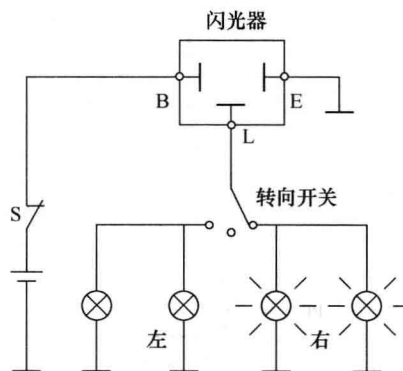


图 1-5 转向电路

在转向电路中，多个转向灯均是并联，当转向开关打向左边时，闪光器的输出与左边的灯泡接通，由于闪光器间歇通断电，所以就造成灯光的闪烁，形成加强警告的效果；当开关打在中时，由于没有与灯泡接通，所以整个电路处于关闭状态，转向灯都不亮。

闪光器在使用中应该注意与灯泡的功率相配合，即必须按规定的灯泡功率选用灯泡，以免闪光器过载烧毁。图 1-6 为在转向电路上添加了报警灯的电路。当汽车需要报警或起警示作用时，按下报警灯开关，则所有的转向灯同时开始闪烁；报警灯开关没有按下时，电路起正常的转向功能。图 1-7 为实车所用的转向报警灯组合开关电路图，图中转向灯和报警灯功能均是由组合开关来实现的。

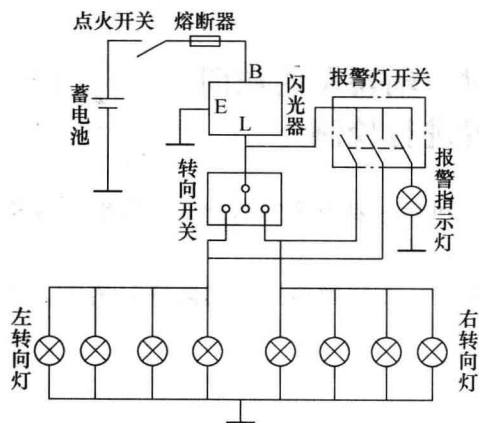


图 1-6 转向报警

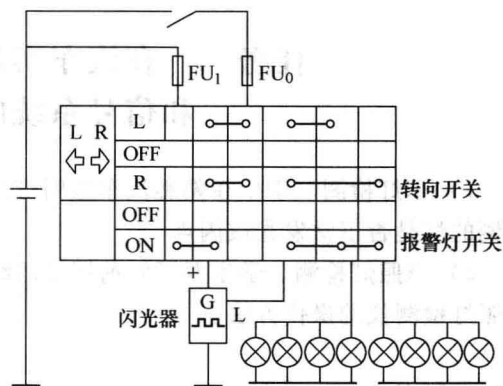


图 1-7 转向报警灯组合开关电路图

二、前照灯

前照灯是汽车夜间行驶时照明道路以及停车时显示车位的装置。前照灯有远光灯和近光灯之分,根据前照灯的封闭条件其又可分为全封闭式和半封闭式两种。全封闭式的前照灯为真空灯,即前照灯玻璃壳经真空处理,远光灯丝与近光灯丝均装置在真空内,灯丝产生光源直接经反射镜反射到路面,光线较明亮。但是,一旦灯丝烧毁则要更换前照灯总成才能恢复照明。半封闭式前照灯是可以更换灯泡来维修的,所以使用半封闭式前照灯成本低。前照灯的灯泡种类很多,功率也不相同,所以灯光的亮度也不同。一般前照灯远光灯的功率在50~60W,特殊的前照灯可达100W。前照灯的结构主要有三大光学组件,即灯泡、反射镜、配光镜。前照灯的结构如图1-8所示。前照灯的灯泡分为充气灯泡和卤钨灯泡,其结构如图1-9所示。

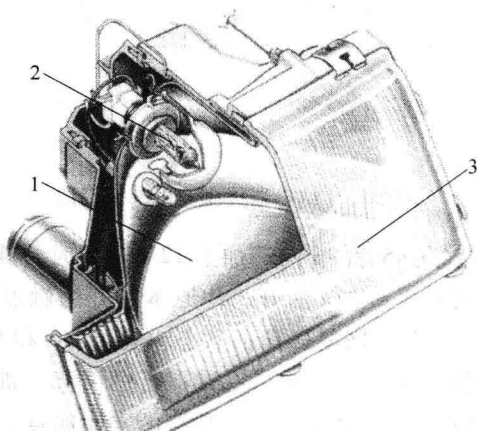


图 1-8 前照灯的结构

1—反射镜 2—灯泡 3—配光镜

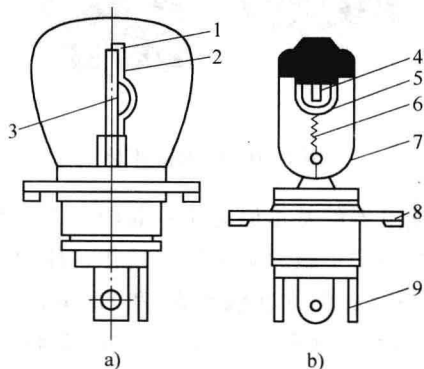


图 1-9 前照灯灯泡的结构

a) 充气灯泡 b) 卤钨灯泡

1、7—配光镜 2、4—近光灯丝 3、5—远光灯丝 6—定焦盘 8—泡壳 9—插片

1. 前照灯的要求

(1) 对前照灯安装、使用方面的一般要求

- 1) 所有前照灯的近光都不得眩目。
- 2) 当远光变近光时,所有远光应能同时熄灭。
- 3) 同一辆机动车上的前照灯不允许左、右灯的远、近光交叉点亮。
- 4) 四灯制前照灯并排安装时,装于外侧的一对应为远、近双光束灯,装于内侧的一对应为远光单光束灯。

(2) 对前照灯的照明要求

- 1) 前照灯应保证汽车前方100m以内的路面得到明亮而均匀的照明,使驾驶员能辨明路面上的任何障碍物。
- 2) 前照灯应具有防眩目装置。眩目是指强光束突然射入眼睛,刺激视网膜,因瞳孔来不及收缩而本能地闭上眼睛的现象。前照灯常采用双丝灯泡和偏振光等措施来防眩目。

2. 继电器

对于功率为 100W、电压为 12V 的前照灯，通常是两个前照灯并联在一起点亮，所以通过前照灯开关的电流就可达到 16A。开关会因通过的电流过大而烧毁，因此需应用继电器。继电器是利用小电流控制大电流。如图 1-10 所示为通用型 5 脚继电器，12V，20/30A，其内部电路如图 1-11 所示。

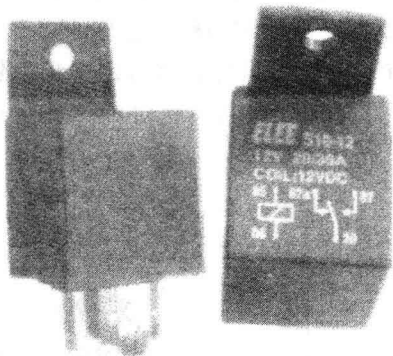


图 1-10 继电器外形

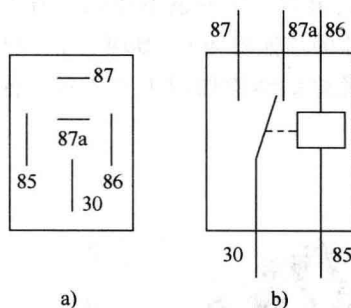


图 1-11 继电器接脚及内部原理图

继电器的基本原理是：如图 1-11b 所示，当在触点 85 和 86 两端加上 12V 电压时，其内部的线圈产生磁力吸引触点动作，使原本闭合的触点 30 和 87a 断开，使原本断开的触点 30 和 87 导通；当加在触点 85 和 86 间的电压消失时，触点又恢复以前的状态（触点 30 和 87a 导通，触点 30 和 87 断开）。在图 1-11a 的引脚示意图中，85、86 是一对平行的引脚，即平行的一对引脚是线圈；30、87 是一对垂直的常开触点，30、87a 是一对垂直的常闭触点。

3. 前照灯控制电路

如图 1-12 所示是前照灯的控制电路，此处前照灯灯泡是双灯丝型的，即一个玻璃罩内有两个灯丝，一个远光、一个近光，其共用一个负极，共有三个引脚。图 1-13 为其实物图。

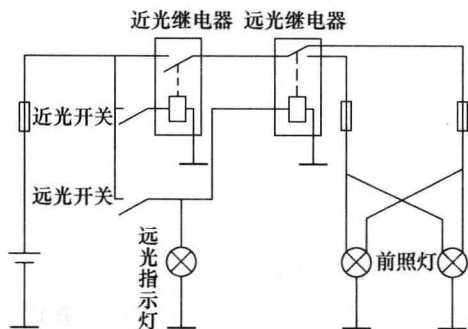


图 1-12 前照灯的控制电路

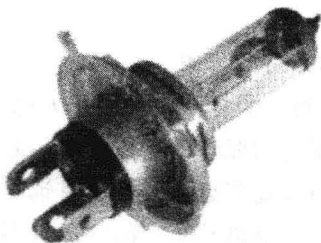


图 1-13 前照灯灯泡实物图

三、喇叭

喇叭属于汽车信号系统，就是通过汽车的声响告知其他车辆和行人，应引起其注意。喇叭系统是行车安全的保障。图 1-14 是喇叭的实物图。由于喇叭电流较大（20A），为了保护喇叭开关，电路中加入了喇叭继电器。图 1-15 为喇叭继电器实物图和电路原理图。

图 1-16 为喇叭控制电路图。当按钮开关接通时, B 与 S 间的线圈通电, 产生磁力吸引触点闭合, 电流通过 B 进入, 经过触点, 从 H 输出, 再进入喇叭内部, 使喇叭发出声响。

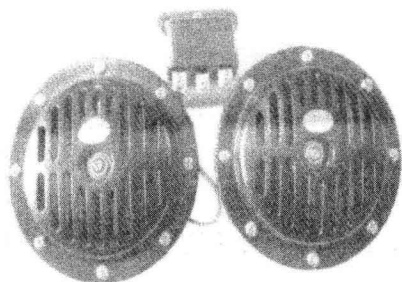


图 1-14 喇叭实物图

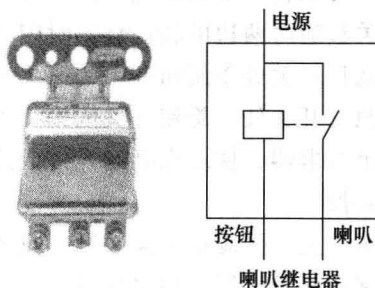


图 1-15 喇叭继电器实物图和电路原理图

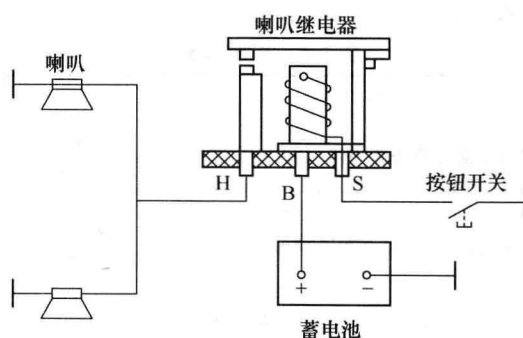


图 1-16 喇叭控制电路图

四、组合开关

在车上, 灯光、喇叭、刮水器等诸多部件的控制都是通过组合开关来实现的。图 1-17 为一种常用的组合开关实物图。图中左边的操作杆控制灯光, 向前拨是右转向, 向后拨是左转向, 向上是超车, 向下是从近光灯变成远光灯, 顶端的旋钮向前转动一格是示宽灯, 再继续向前转动一格是前照灯。其控制电路原理图如图 1-1 所示。图中右边的操纵杆控制刮水器和风窗洗涤器。刮水器有四个挡位, 分别是 OFF 挡, 刮水器不工作; TNT 挡, 刮水器间歇工作; LO 挡, 刮水器在汽车低速时工作; HI 挡, 刮水器在汽车高速时工作。如向上拉起手柄, 可使风窗洗涤液喷出。

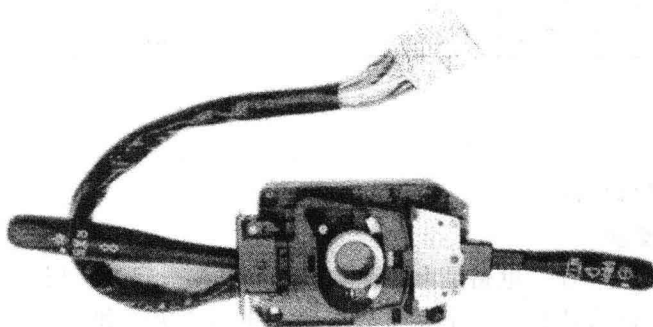


图 1-17 组合开关实物图

在组合开关中，喇叭开关控制喇叭继电器线圈的搭铁端。当其按下时，继电器触点接通，喇叭通电，发出声响。

转向灯由转向开关控制。当开关处于中间位置时，没有接通任何电路，转向灯不亮，当警示开关接通时两边的转向灯同时闪烁。

示宽灯开关处于旋钮开关的第二和第三挡，其控制示宽灯继电器线圈的搭铁端。

前照灯开关处于旋钮开关的第三挡，当其接通时，电源经过变光开关，总会触发远近光中的一个继电器，使之点亮远光灯或近光灯，改变变光开关，可以使前照灯在远光和近光之间进行转换。

会车开关不受旋钮开关限制，只要车钥匙打开就能起作用。当其接通时，电源直接通过开关控制远光继电器，使之接通，点亮远光灯。

五、照明灯具

照明灯具相关知识见表 1-1。

表 1-1 照明灯具

类型	名称	主要用途	安装说明
外部照明	前照灯	照明车前的道路和物体,确保行车安全	安装在车头部两侧,每辆车装 2 只或 4 只。 灯光功率:远光灯 45 ~ 60W,近光灯 25 ~ 55W
	雾灯	在有雾、下雪、下雨或尘埃弥漫等有碍能见度的情况下,作道路照明和为迎面来车提供信号的灯具	安装在前照灯附近或比前照灯稍低的位置。灯光多为黄色。灯泡功率为 35W
	倒车灯	用于照亮车后道路和告知其他车辆和行人,车辆正在倒车或准备倒车,兼具光信号装置功能	一律安装在汽车尾部。灯光为白色。功率为 28W
	牌照灯	照亮车辆后牌照板	装在汽车尾部牌照的上方。灯光为白色。灯光功率 8 ~ 10W。要求夜间在车后 20m 处能够看清牌照上的号码
	防空灯	在灯光管制时使用	根据需要安装。灯光功率 35W
内部照明	顶灯	供驾驶室或车厢内照明	安装在驾驶室或车厢内顶部。灯光为白色。灯光功率 5 ~ 8W
	仪表灯	仪表照明	与仪表板连成一体。灯光为白色。灯光功率 2 ~ 8W
	踏步灯	用来照明车门踏步处	灯光为白色,灯光功率 5 ~ 8W
	工作灯	修理车辆时使用	灯光为白色,灯光功率 8 ~ 20W
	行李箱灯	用于照明轿车行李箱	灯光为白色,灯光功率 5 ~ 8W

【知识储备】

一、直流电的基本知识

1. 电路及其物理量

(1) 电路的组成及功能 电路是由各种电气元器件按一定方式用导线连接组成的总体，它提供了电流通过的闭合路径。一个完整的电路由电源、负载和中间环节三个基本部分组成。电源是把其他形式的能量转换为电能的装置；负载是使用电能的装置，它把电能转换为

其他形式的能量；中间环节包括导线、开关、熔断器等连接或保护器件。

电路的功能有两类：第一类功能是进行能量的转换、传输和分配，各类电力系统就是典型实例。第二类功能是进行信号的传递与处理，如扩音机的输入是由声音转换而来的电信号，通过晶体管组成的放大电路，输出的便是放大的电信号，从而实现了放大功能。

(2) 电路的基本物理量

1) 电流。电流是由电荷的定向移动而形成的，其大小和方向均不随时间变化的电流叫恒定电流，简称直流。电流用 I 来表示，电流的单位是 A（安[培]）。计算微小电流时，电流的单位用 mA（毫安）、 μA （微安）或 nA（纳安），其换算关系为： $1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$ ， $1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$ ， $1\text{nA} = 10^{-9}\text{A}$ 。习惯上，规定正电荷的移动方向表示电流的实际方向。

2) 电压。电场力把单位正电荷从电场中点 A 移到点 B 所做的功 W_{AB} 称为 A 、 B 间的电压，用 U_{AB} 表示，电压的单位为 V（伏[特]）。计算较大的电压时用 kV（千伏），计算较小的电压时用 mV（毫伏），其换算关系为： $1\text{kV} = 10^3\text{V}$ ， $1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}$ 。习惯上，将电压的实际方向规定为从高电位点指向低电位点，即由“+”极指向“-”极，因此，在电压的方向上电位是逐渐降低的。

3) 电动势。为了维持电路中有持续不断的电流，必须有一种外力，把正电荷从低电位处（如负极 B ）移到高电位处（如正极 A ）。在电源内部就存在着这种外力。外力克服电场力把单位正电荷由低电位 B 端移到高电位 A 端，所做的功称为电动势，用 E 表示。电动势的单位也是 V，电动势的方向规定为从低电位指向高电位，即由“-”极指向“+”极。

4) 电功率。在直流电路中，单位时间内电场力所做的功称为电功率，用 P 表示，有 $P = UI$ ，功率的单位是 W（瓦[特]）。对于大功率，采用 kW（千瓦）或 MW（兆瓦）作单位，对于小功率则用 mW（毫瓦）或 μW （微瓦）作单位。在电工技术中，往往直接用 $\text{W} \cdot \text{s}$ （瓦特秒）作单位，实际上则用 $\text{kW} \cdot \text{h}$ （千瓦小时）作单位，俗称 1 度电， $1\text{kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{W} \cdot \text{s} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$ 。

5) 电位。分析电子电路时常用到电位这一物理量。在电路中任选一点作为参考点，则另外某点的电位就是由该点到参考点间的电压，用 V 表示。即如果规定参考点的电位为 0，则 A 点的电位为 $V_A = U_{A0}$ 。参考点本身的电位为零，所以参考点又叫零电位点。电路两点间的电压等于这两点的电位的差，所以电压又叫电位差。参考点选择不同，同一点的电位就不同，但电压与参考点的选择无关。至于如何选择参考点，则要视分析计算问题的方便而定。电子电路中需选各有关部分的公共线作为参考点，常用符号“ $\perp$ ”表示。

2. 电气设备的额定值

电气设备的额定值是电气设备制造厂家为了保证设备能在给定的工作条件下正常运行而规定的正常容许值。电气设备的额定值一般标在铭牌上或写在说明书中，主要有额定电流（ I_N ）、额定电压（ U_N ）和额定功率（ P_N ）等。电气设备的额定值是使用者使用电气设备的主要依据，使用时必须遵守。例如，一只白炽灯上标明“220V、40W”，表示其额定电压为 220V，额定功率为 40W，即说明这只白炽灯接 220V 电压，消耗功率为 40W，属于正常使用。

3. 电路的基本定律

欧姆定律、基尔霍夫定律是分析电路的重要理论基础。

(1) 全电路的欧姆定律 如图 1-18 所示是简单的闭合电路， R_L 为负载电阻， R_0 为电源内阻，若略去导线电阻不计，则此电路用欧姆定律表示为

$$I = \frac{E}{R_L + R_0} \quad (1-1)$$

式(1-1)的意义是:电路中流过的电流,其大小与电源的电动势成正比,而与电路的全部电阻成反比。电源的电动势和内电阻一般认为是不变的,所以,改变外电路的负载电阻,就可以改变回路中的电流大小。

(2) 基尔霍夫定律 基尔霍夫定律包括基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律。如图1-19所示,电路中每一段不分支的电路,称为支路,BAF、BCD、BE等都是支路。电路中三条或三条以上支路相交的点,称为节点,B、E都是节点。电路中任一闭合路径称为回路。ABEFA、BCDEB、ABCDEFA等都是回路。

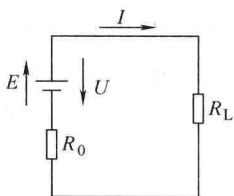


图 1-18 简单的闭合电路

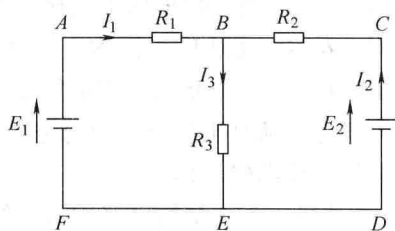


图 1-19 复杂电路

1) 基尔霍夫电流定律 (KCL)。基尔霍夫电流定律 (Kirchhoff's Current Law, 简称 KCL) 的内容是:在任意时刻,对电路中的任一节点,流入节点的电流之和等于流出该节点的电流之和,即

$$\sum I_i = \sum I_o \quad (1-2)$$

图 1-19 中,对节点 B 有: $I_1 + I_2 = I_3$ 。

2) 基尔霍夫电压定律 (KVL)。基尔霍夫电压定律 (Kirchhoff's Voltage Law, 简称 KVL) 的内容是:在任一时刻,对任一闭合回路,沿回路绕行一周,回路中所有电动势的代数和等于所有电阻压降的代数和,即

$$\sum E = \sum IR \quad (1-3)$$

图 1-19 中,沿 ABCDEFA 回路,有 $E_1 - E_2 = I_1 R_1 - I_2 R_2$ 。

应用 KVL 定律时应注意,先假定绕行方向,当电动势的方向(由负极到正极的方向)与绕行方向一致时,则此电动势取正号,反之取负号;当电阻上的电流方向与回路绕行方向一致时,取此电阻上的电压降为正号,反之取负号。

二、交流电的基本知识

工程上应用的交流电,一般是随时间按正弦规律变化的,称为正弦交流电,简称交流电。正弦交流电路是指含有正弦交流电而且电路各部分所产生的电压和电流均按正弦规律变化的电路。

1. 正弦量的三要素

图 1-20 画出了正弦量(以正弦电流 i 为例)的一般变化曲线。正弦电流 i 随时间的变化关系可用正弦函数表达,即

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi_i) \quad (1-4)$$

式(1-4)称为正弦量的解析式。式中 i 为正弦交流电的瞬时值, I_m 为正弦交变电流的

最大值, ω 称为正弦量角频率, φ_i 称为初相位 (简称初相), t 为时间。由式 (1-4) 可知, 对于一个正弦电流 i , 如果 I_m 、 ω 、 φ_i 已知, 则它与时间 t 的关系就是唯一确定的, 因此最大值、角频率、初相称为正弦量的三要素。

(1) 最大值 式 (1-4) 中, I_m 为电流的最大值, 也称幅值。正弦量的最大值用带下标 m 的大写英文字母表示, 如 I_m 、 U_m 、 E_m 分别表示正弦电流、正弦电压、正弦电动势的最大值。

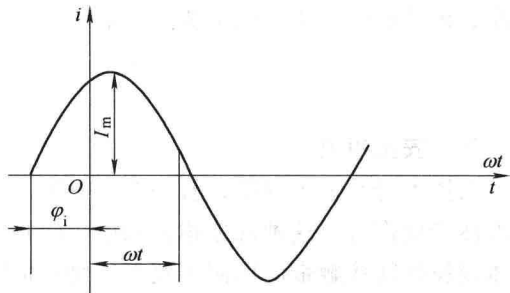


图 1-20 正弦量的三要素

(2) 角频率 式 (1-4) 中的 ω 在数值上等于单位时间内正弦函数幅角的增长值, 称为角频率, 它的单位为 rad/s (弧度每秒)。交流电循环变化一周的时间称为周期, 用 T 表示, 周期的单位是 s (秒)。1s 内含有的周期数称为频率, 用 f 表示。频率的单位是 Hz (赫兹, 简称赫)。由定义可知, 频率与周期互为倒数, 即

$$f = \frac{1}{T} \quad (1-5)$$

由于在一个周期 T 内幅角增长 2π 弧度, 故

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (1-6)$$

频率、周期、角频率三个量都是说明正弦交流电变化快慢的。三个量中只要知道一个, 其他两个量即可求出。例如中国工业和照明用电的频率为 50Hz (称为工频), 其周期为 $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50}\text{s} = 0.02\text{s}$, 角频率 $\omega = 2\pi f = 2 \times 3.14 \times 50\text{rad/s} = 314\text{rad/s}$ 。

(3) 相位角与初相角 式 (1-4) 中, $\omega t + \varphi_i$ 是正弦交流电随时间变化的角度。称为该正弦交流电的相位角, 简称相位, 单位是 rad (弧度), 为了方便也可用度来表示。在 $t = 0$ 时的相位称为初相位, 简称初相。式 (1-4) 中的 φ_i 就是该正弦交流电的初相。

2. 相位差

两个同频率正弦量初相位之差称为它们之间的相位差, 用 φ 表示。相位差的取值范围通常是: $-180^\circ < \varphi \leq 180^\circ$, 它反映了这两个正弦量“步调”上的关系。

$$\text{若 } u = U_m \sin(\omega t + \varphi_u) = 310 \sin(314t + 30^\circ) \text{ V}$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi_i) = 14.1 \sin(314t - 60^\circ) \text{ A}$$

则电压与电流的相位差为

$$\varphi = (\omega t + \varphi_u) - (\omega t + \varphi_i) = \varphi_u - \varphi_i \quad (1-7)$$

其数值为

$$\varphi = 30^\circ - (-60^\circ) = 90^\circ$$

即两个同频率正弦量的相位差等于它们的初相差。

3. 正弦交流电的有效值

交流电的大小用有效值来表示, 交流电的有效值就是在热效应方面和它相等的直流值。

交流电的有效值用大写英文字母 I 、 U 、 E 表示。正弦量的有效值等于它最大值的 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 。正弦

电流、正弦电压、正弦电动势的有效值为

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \quad (1-8)$$

三、安全用电

人体本身是一个导体，有一定的电阻。当人触及带电体并且没有防护措施时，电流就会对人体造成伤害，这种现象称为触电。防止触电的保护措施是使用安全电压，安全电压是指人体较长时间接触带电体而不致发生触电危险的电压。中国对安全电压的规定是：两导体间或任一导体与大地之间交流电压（50 ~ 500Hz）的有效值均不得超过 50V。安全电压的额定值为 36V、24V、12V、6V（工频有效值）。当电气设备采用了超过 36V 的安全电压时，应采取防止直接接触带电体的保护措施。对于一些特殊电气设备（如机床局部照明，携带式照明灯等）以及在潮湿场所、矿井等危险环境，必须采用安全电压（36V、24V 和 12V）供电。

注意，安全电压不适用的范围是水下等特殊场所和带电部分能伸入人体内的医疗设备。

1. 触电类型

根据电流通过人体的路径和触及带电体的方式不同，一般可将触电分为单相触电、两相触电、跨步电压触电和接触电压触电等。

（1）单相触电 当人体某一部位与大地接触，另一部位与一相带电体接触所致的触电事故称为单相触电，如图 1-21 所示。

（2）两相触电 由于人体的不同部位同时触及两相带电体而导致的触电事故称为两相触电。两相触电时，相与相之间以人体作为负载，形成回路电流，如图 1-22 所示。此时，流过人体的电流大小完全取决于电流路径和供电电网的电压。

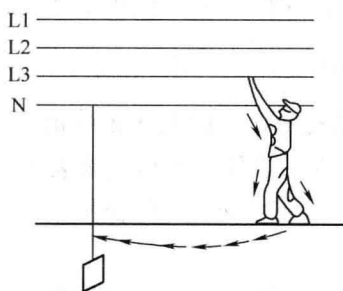


图 1-21 单相触电

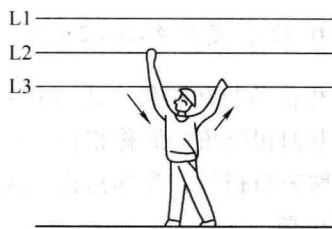


图 1-22 两相触电

（3）跨步电压触电 当输电线出现断线故障，掉落到地上时，导致以此电线落地点为圆心，输电线周围地面产生一个相当大的电场，离圆心越近电压越高，离圆心越远则电压越低。在距电线 1m 以内的范围内，约有 68% 的电压降；在 2 ~ 10m 的范围内，约有 24% 的电压降；在 11 ~ 20m 的范围内，约有 8% 的电压降；离电线 20m 外，对地电压才基本为零。

当人走进距圆心 10m 以内，双脚迈开（约 0.8m）时，势必出现电位差，这种电位差被称为跨步电压。如图 1-23 所示，电流从电位高的一脚进

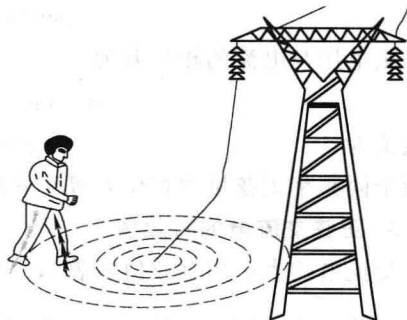


图 1-23 跨步电压触电