



高职高专 **汽车专业** 系列教材

汽车电工电子基础

王 霆 杨 屏 主 编
狄春阳 李 刚 副主编



清华大学出版社

高职高专汽车专业系列教材

汽车电工电子基础

王 霆 杨 屏 主 编

狄春阳 李 刚 副主编

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是根据教育部高等职业教育汽车类示范专业教学改革的精神,结合高等职业教育的培养目标,采用项目教学的形式编写的。全书由直流电路的基本物理量、直流电路的分析与计算、正弦交流电路、整流滤波稳压电路、基本放大电路、变压器与电机、汽车传感器七个项目构成。

本书可作为高等职业教育汽车类各专业的教材,也可作为相关专业技术人员的参考用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。
版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

汽车电工电子基础/王霆,杨屏主编;狄春阳,李刚副主编. —北京:清华大学出版社,2011.2
(高职高专汽车专业系列教材)
ISBN 978-7-302-24571-1

I. ①汽… II. ①王… ②杨… ③狄… ④李… III. ①汽车—电工—高等学校:技术学校—教材 ②汽车—电子技术—高等学校:技术学校—教材 IV. ①U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 254601 号

责任编辑:石伟 郑期彤

封面设计:山鹰工作室

版式设计:杨玉兰

责任校对:周剑云

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京市世界知识印刷厂

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:13.5 字 数:320 千字

版 次:2011 年 2 月第 1 版 印 次:2011 年 2 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:25.00 元

产品编号:034195-01

前 言

本书是根据教育部高等职业教育汽车类示范专业教学改革的精神，结合高等职业教育的培养目标，采用项目教学的形式编写的。全书共包括直流电路的基本物理量、直流电路的分析与计算、正弦交流电路、整流滤波稳压电路、基本放大电路、变压器与电机、汽车传感器七个项目，每个项目均采用相关知识和项目实施两部分架构的形式编写。教材以培养综合素质为基础，以能力为本位，把提高学生的职业能力放在突出位置，并加强实践性教学环节，力图使学生成为企业生产服务一线的高素质技能人才。

本书具有以下特点。

(1) 借鉴国内外职业教育先进的教学模式，突出项目教学，顺应高等职业教育教学改革的发展趋势。

(2) 理论实践一体化，注重能力培养。每个项目均由相关知识和项目实施两部分构成，以专业实训项目贯穿全书，简化理论阐述及公式推导，通过实训项目加深学生对知识的理解和掌握。

(3) 紧密结合生产实际，力图反映新知识、新技术、新工艺和新方法。

(4) 全书图文并茂，文字简洁、通俗易懂。

本书由北京电子科技职业学院王霆、杨屏任主编，狄春阳、李刚任副主编。狄春阳编写了项目一和项目二；李刚编写了项目三和项目四；杨屏编写了项目五和项目六；张红编写了项目七。全书由王霆统稿。

由于编者水平所限，书中错漏之处在所难免，恳请读者提出宝贵意见。

编者

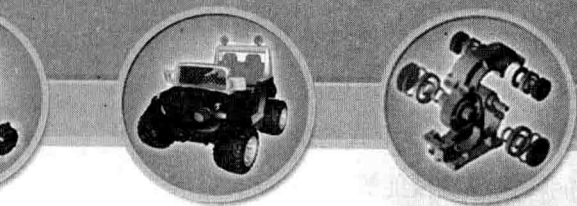
目 录

项目一 直流电路的基本物理量.....1	(二)单一元件交流电路.....41
一、相关知识.....2	(三)组合元件交流电路.....48
(一)电路及基本电路模型.....2	(四)串联谐振.....53
(二)电路中的几个基本物理量.....2	(五)三相交流电.....56
(三)欧姆定律和电路的三种状态.....7	二、项目实施.....59
二、项目实施.....10	(一)使用示波器测量正弦信号.....59
(一)基本电工仪表的使用及线性和 非线性电阻伏安特性的测定.....10	(二)单一元件正弦交流电路测试.....62
(二)指针式电压表、电流表内阻的 测量及测量误差的计算.....12	(三) $R-C$ 串联正弦交流电路测试.....64
小结.....16	(四) $R-L-C$ 串联谐振电路测试.....66
思考题及习题.....17	小结.....69
项目二 直流电路的分析与计算.....19	思考题及习题.....69
一、相关知识.....20	项目四 整流滤波稳压电路.....71
(一)电阻的串联.....20	一、相关知识.....72
(二)电阻的并联.....21	(一)认识二极管.....72
(三)电阻的混联.....22	(二)整流电路.....75
(四)基尔霍夫定律.....24	(三)滤波电路.....81
二、项目实施.....28	(四)稳压管的特性.....86
(一)验证基尔霍夫定律的正确性.....28	(五)直流稳压电源.....88
(二)电位、电压的测定及电路电位图 的绘制.....30	二、项目实施.....94
小结.....32	(一)二极管测试.....94
思考题及习题.....32	(二)整流滤波电路.....96
项目三 正弦交流电路.....35	小结.....98
一、相关知识.....36	思考题及习题.....98
(一)认识正弦交流电.....36	项目五 基本放大电路.....99
	一、相关知识.....100
	(一)认识三极管.....100
	(二)单管共射放大电路.....105



(三)集成运算放大电路	111	(二)三相交流异步电动机的控制	169
二、项目实施	117	小结	171
(一)三极管基本测试	117	思考题及习题	171
(二)单管放大电路静态工作点与失真 现象分析	120	项目七 汽车传感器	173
(三)单管放大电路幅频特性分析	123	一、相关知识	174
(四)集成运算放大电路应用	126	(一)传感器概述	174
小结	128	(二)电容式传感器	181
思考题及习题	128	(三)霍尔式传感器	190
项目六 变压器与电机	131	(四)湿度传感器	195
一、相关知识	132	二、项目实施	200
(一)变压器的用途和结构	132	(一)电容式传感器的位移特性	200
(二)单相变压器的工作原理	135	(二)霍尔测速实验	202
(三)直流电机的构造与工作原理	138	(三)湿度传感器实验	203
(四)交流发电机及调节器	149	小结	204
二、项目实施	167	思考题及习题	205
(一)变压器的连接与测试	167	参考文献	206





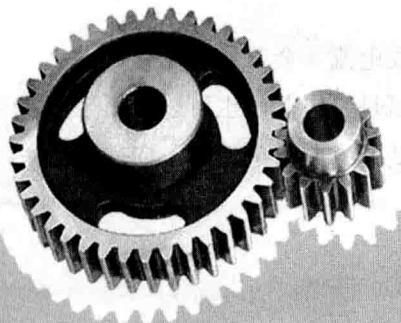
项目一 直流电路的基本物理量

【知识要求】

- ① 了解电路的组成及基本电路模型。
- ② 了解电路的基本物理量。
- ③ 理解和掌握欧姆定律及其计算。
- ④ 了解电路的有载工作、开路与短路状态。

【能力要求】

- ① 学会使用基本电工仪表。
- ② 学会测量电路的基本物理量。



一、相关知识

(一) 电路及基本电路模型

电流经过的路径称为电路。最基本的电路由电源、负载、开关和连接导线组成。

(1) 电源是把非电能转换为电能并向外提供的设备，如发电机、干电池、蓄电池等。

(2) 负载是电路中取用能设备的总称，它把电能转换成其他形式的能。如电灯把电能转换成光能，电炉把电能转换成热能，电动机把电能转换成机械能等。

(3) 开关属于控制电器，用于控制电路的接通或断开。

(4) 连接导线将电源和负载连接起来，担负着电能的传输和分配。

图 1-1(a)所示为由干电池、小电珠、开关和连接导线构成的一个简单直流电路。当合上开关时，电路接通，干电池向外输出电流，电路中有电流流过，小电珠就发光。开关断开时，电路开路，电路中没有电流流过，小电珠不亮。图 1-1(b)所示为该电路的基本电路模型。

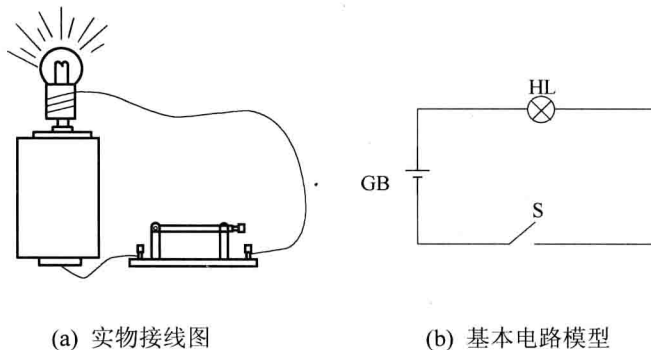


图 1-1 电路及电路模型

电路分为内电路和外电路。电源内部的电路称为内电路，电源以外的电路称为外电路。

(二) 电路中的几个基本物理量

1. 电流

电路中，带电粒子在电源作用下做有规则的定向移动而形成电流。金属导体中的自由电子，电解液中的正、负离子都是带电粒子，因此，电流既可以是负电荷，也可以是正电荷，或者两者兼有的定向运动的结果。习惯上规定以正电荷移动的方向为电流的方向，因此，自由电子和负离子移动的方向跟电流方向相反。

电流是单位时间内通过导体横截面的电量，用字母 I 表示。如果在 t 秒内流经导体横截面的电量为 Q ，则电流为

$$I = \frac{Q}{t}$$

式中： I ——电流，单位是安[培](A)；

Q ——在 t 秒内通过导体截面的电量，单位是库[仑](C)；

t ——时间，单位是秒(s)。

如果在 1s(秒)内通过导体横截面的电荷量是 1C(库)，则导体中的电流为 1A(安)。实际中，除了安[培]外，常用的电流单位还有千安(kA)、毫安(mA)和微安(μ A)。它们之间的换算关系为

$$1\text{kA}=10^3\text{A} \quad 1\text{A}=10^3\text{mA} \quad 1\text{mA}=10^3\mu\text{A}$$

电流不仅有大小，而且有方向。

在分析电路时，常常要知道电流的方向，但有时对某段电路中电流的方向往往难以判断，此时可先任意假定电流的参考方向(也称正方向)，然后列方程求解。当求出的电流为正值时，就认为电流的实际方向与参考方向一致，如图 1-2(a)所示；反之，若求出的电流为负值，就认为电流的实际方向与参考方向相反，如图 1-2(b)所示。

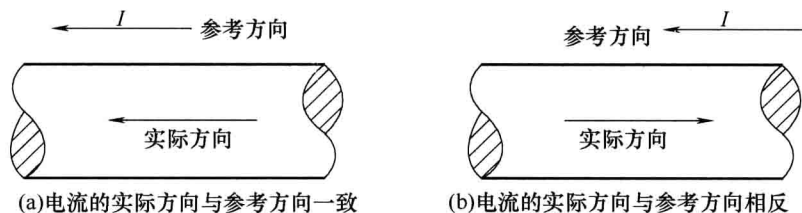


图 1-2 电流的方向

2. 电压、电位和电动势

1) 电压

电路中 A、B 两点间的电压，定义为单位正电荷由 A 点移至 B 点时电场力所做的功，如图 1-3 所示。电压的数学表达式为

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q}$$

式中： W_{AB} ——电场力所做的功，单位是焦[耳](J)；

Q ——被移动电荷的电荷量，单位是库[仑](C)；

U_{AB} ——A 点与 B 点间的电压(电位差)，单位是伏[特](V)。



实际中,除伏[特]外,电压常用的单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏(μV)。它们之间的换算关系为

$$1\text{kV}=10^3\text{V} \quad 1\text{V}=10^3\text{mV} \quad 1\text{mV}=10^3\mu\text{V}$$

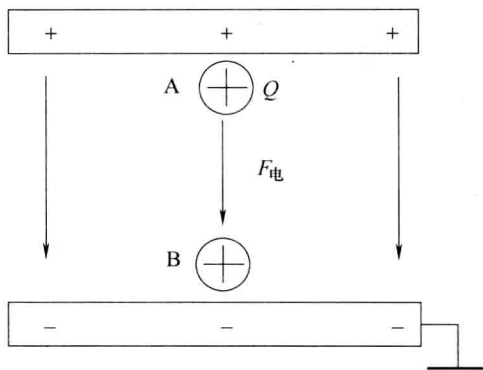


图 1-3 电场力做功

电压和电流一样,不仅有大小,而且有方向,即有正负。对于负载来说,规定电流流进端为电压的正端,电流流出端为电压的负端。电压的方向由正指向负。

电压的方向在电路图中有两种表示方法:一种是用箭头表示,如图 1-4(a)所示;另一种用极性符号表示,如图 1-4(b)所示。

在分析电路时,往往难以确定电压的实际方向,此时可先任意假设电压的参考方向,再根据计算所得值的正、负来确定电压的实际方向。

对于电阻性负载来说,没有电流就没有电压,有电压就一定有电流,电阻两端的电压又被称为电压降。

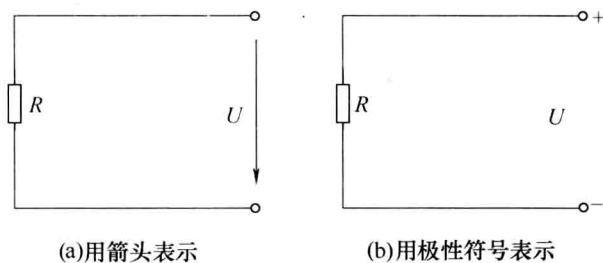


图 1-4 电压的方向

2) 电位

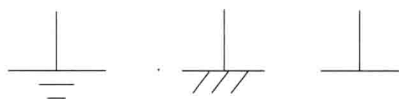
电路中某点的电位定义为单位正电荷由该点移至参考点时电场力所做的功。

电路中 A、B 两点间的电压等于 A、B 两点的电位差。即

$$U_{AB} = V_A - V_B$$

实际中, 为了便于分析和维修电路, 通常需要选定某一点作为参考点, 这样电路中某点与参考点之间的电压就称为该点的电位。参考点的电位通常规定为零, 所以又叫零电位点。电位的文字符号用带有下标的字母 V (或 ϕ) 表示。如 V_A , 即表示 A 点的电位。电位的单位也是伏特(V)。

零电位点(参考点)可以任意选定, 但为了统一, 一般选大地为参考点, 即视大地的电位为零电位。在电子仪器和设备中又常把金属外壳或电路的公共接点的电位作为零电位。零电位的符号有两种, 图 1-5(a)所示的符号表示接地, 图 1-5(b)所示的符号表示接公共点或接机壳。



(a) 接地

(b) 接公共点或接机壳

图 1-5 接地与接公共点

电位有正电位和负电位之分, 当某点的电位大于零时, 表示该点电位大于参考点电位, 称为正电位; 当某点电位小于零时, 表示该点电位低于参考点电位, 称为负电位。

零电位点规定之后, 电路中任何一点与零电位点之间的电压, 就是该点的电位。这样, 电路中各点的电位就有了确定的数值。当各点电位已知后, 就能求出任意两点 A、B 间的电压。

例如, $V_A=30\text{V}$, $V_B=20\text{V}$, 那么 A、B 之间的电压为

$$U_{AB}=V_A-V_B=30-20=10(\text{V})$$

3) 电动势

电动势是衡量电源将非电能转换成电能本领大小的物理量。电动势的定义为: 在电源内部, 外力将单位正电荷从电源的负极移到电源的正极所做的功, 如图 1-6 所示。电动势用符号 E 表示, 其数学表达式为

$$E = \frac{W}{Q}$$

式中: W ——外力对电荷所做的功, 单位是焦[耳](J);

Q ——被移动电荷的电荷量, 单位是库[仑](C);

E ——电源的电动势, 单位是伏[特](V)。

电动势的大小只取决于电源本身的性质, 对于给定的电源, W/Q 为一定值, 与外电路无关。

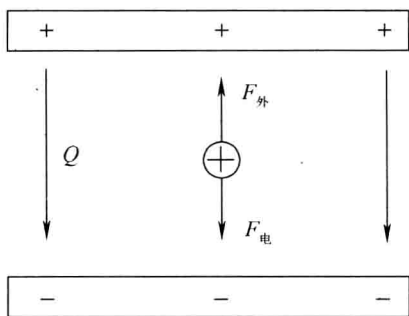
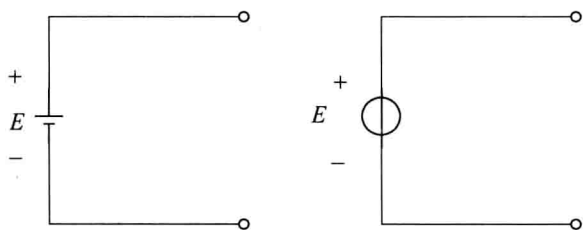


图 1-6 外力克服电场力做功

电动势的方向规定为：在电源内部由负极指向正极。图 1-7(a)、(b)所示为直流电动势的两种图形符号和方向的表示方法。



(a) 第一种表示方法

(b) 第二种表示方法

图 1-7 直流电动势的两种图形符号

对于一个电源来说，它既有电动势，又有端电压。电动势只存在于电源的内部，而端电压则是电源加在外电路两端的电压，其方向由正极指向负极。一般情况下，电源的端电压总是低于电源内部的电动势，只有当电源开路时，电源的端电压才与电源的电动势相等。

3. 电功率

不同的用电器在相同的时间里用电量是不同的，即电流做功的快慢是不一样的。我们用功率描述电流做功的快慢，其定义为电流在单位时间内所做的功。电功率简称功率，用符号 P 表示，其值的计算公式为

$$P = IU = I^2R = \frac{U^2}{R}$$

在实际工作中，电功率的常用单位有瓦(W)、千瓦(kW)、毫瓦(mW)等。它们之间的换算关系为

$$1\text{kW} = 10^3\text{W}$$

$$1\text{W} = 10^3\text{mW}$$

4. 电路中的几种理想电路元件

为了便于对实际电路进行定量的分析与计算，有必要引入理想电路元件的概念。所谓理想电路元件是指具有单一的、确定的电磁性能的电学元件，即为对实际元件电磁性能的科学抽象与概括。理想电路元件主要有电阻元件、电感元件、电容元件、电源等，这些元件分别由相应的图形符号和相应的文字标注及参数来表征，如图 1-8 所示。而实际元件在一定的外部条件下会突出其起主导作用的电磁性能，而忽略其对电路的次要影响，因此可以被理想化地近似看作某个或某几个理想电路元件的组合。

例如一个白炽灯，它除了具有电阻性、消耗电能外，当通过电流时还会产生磁场，就是说它还具有电感性，但因电感很小，一般可以忽略不计，所以在直流或工业频率的交流电源作用下，白炽灯就可以视为一个理想电阻元件。又如一个实际线圈在直流电源作用下，可以看作一个理想电阻；在工业频率交流电源作用下，可以等效看作一个理想电阻和一个理想电感的串联组合；而当交流电源的频率更高时，又可以看作是其他不同理想元件的不同组合。这说明同一个实际电路元件，在不同的外部条件下，可能呈现不同的主要电磁性能，也就是说应该用不同的理想元件的不同组合方式来等效代替。

只有经过科学的抽象与概括，将实际电路等效地表示成理想元件组成的电路，才有可能对其进行定量的分析和计算。全部由理想元件组成的电路称为电路模型。如图 1-9 所示即为一个最简单的电路模型，灯泡为理想电阻元件，文字标注为 R ；实际电源表示为理想电压源和内阻的串联组合，文字标注分别为电源电动势 E 和内阻 R_0 ；导线和开关 S 组成中间环节，导线视为无阻的理想导体。

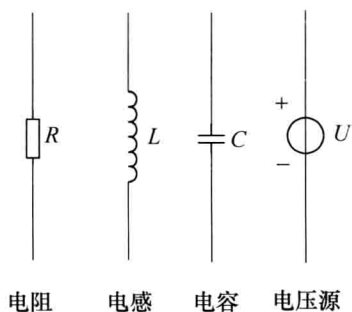


图 1-8 理想电路元件

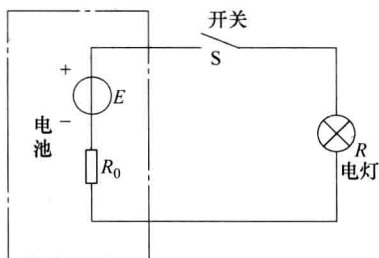


图 1-9 最简单的电路模型

(三) 欧姆定律和电路的三种状态

1. 欧姆定律

通过电阻的电流与电阻两端的电压成正比，这就是欧姆定律。它是分析与计算电路的



基本定律之一。由于欧姆定律的上述表达形式仅适用于不含电源的一段电阻电路，故称为部分电路欧姆定律，如图 1-10 所示。若电路中电压和电流所选的参考方向相同，则欧姆定律的表达式为

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{或} \quad U = IR$$

式中： U ——电阻两端的电压，单位是伏[特](V)；

I ——电阻中的电流，单位是安[培](A)；

R ——电阻，单位是欧[姆](Ω)。

由欧姆定律的表达式可见，当所加电压 U 一定时，电阻 R 愈大，电流 I 愈小，这说明电阻具有对电流起阻碍作用的物理性质。

在实际工作中，电阻的常用单位有欧(Ω)、千欧($k\Omega$)或兆欧($M\Omega$)，它们之间的换算关系为

$$1k\Omega = 10^3\Omega \quad 1M\Omega = 10^3 k\Omega$$

在实际应用中常需要对闭合电路进行分析和计算。如图 1-11 所示为一个最简单的含源闭合回路，其中 R_L 为负载电阻， R_0 为电源内电阻， E 为电源电动势。略去导线的电阻不计，开关闭合时，电路中的电流为

$$I = \frac{E}{R_L + R_0}$$

故

$$E = IR_L + IR_0$$

其中 IR_L 为负载端电压， IR_0 为内阻压降。

所以有

$$U = E - IR_0$$

上式称为全电路欧姆定律。其意义是：负载的端电压等于电源电动势减去内阻电压降。它说明，当负载愈大(负载电阻 R_L 愈小)时，电流 I 愈大，其内阻压降 IR_0 也愈大，则负载端电压 $U = IR_L$ 则必然愈小。

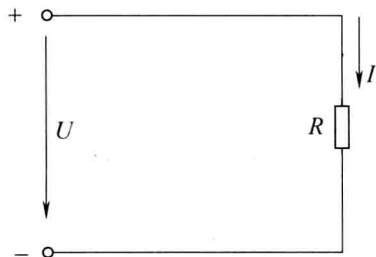


图 1-10 部分电路

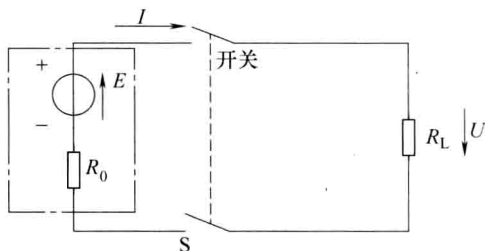


图 1-11 简单含源闭合回路

例 1-1 我国对安全电压是这样规定的：以通过人体电流不引起心室颤动的最大电流 30mA 为极限。如果人体电阻按 1000~1200 Ω 估计，则安全电压是多少？

解 当人体电阻按 1000Ω 计算时, 根据部分电路欧姆定律有

$$U = IR = 30 \times 10^{-3} \times 1000 = 30(\text{V})$$

当人体电阻按 1200Ω 计算时, 同理有

$$U = IR = 30 \times 10^{-3} \times 1200 = 36(\text{V})$$

所以安全电压应为 36V 以下。

例 1-2 如图 1-11 所示, 已知开关 S 闭合, 电源电动势 $E = 6\text{V}$, 内阻 $R_0 = 0.5\Omega$, 负载电阻 $R_L = 9.5\Omega$, 求电源端电压和内阻压降。

解 根据全电路欧姆定律, 有

$$I = \frac{E}{R_L + R_0} = \frac{6}{9.5 + 0.5} = 0.6(\text{A})$$

内阻压降 $U_0 = IR_0 = 0.6 \times 0.5 = 0.3(\text{V})$

端电压 $U_L = IR_L = 0.6 \times 9.5 = 5.7(\text{V})$

或 $U_L = E - U_0 = 6 - 0.3 = 5.7(\text{V})$

2. 电路的三种状态

电路通常有三种状态: 通路、断路、短路。

根据全电路欧姆定律, 我们来分析电路在三种不同的状态下, 电源端电压与输出电流之间的关系。

1) 通路

通路就是有载工作状态。如图 1-12 所示, 开关 S 接通“1”号位置时, 负载中有电流流过。电路中的电流为

$$I = \frac{E}{R_L + R_0}$$

端电压与输出电流的关系为

$$U = E - IR_0$$

通常把通过大电流的负载称为大负载, 把通过小电流的负载称为小负载。这样, 若电源的内阻一定, 电路接大负载时, 端电压下降较多; 电路接小负载时, 端电压下降较少。

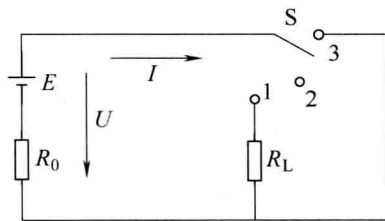


图 1-12 电路的三种状态



2) 断路(开路)

断路就是电源或电路某处断开, 电路中没有电流流过。如图 1-12 所示, 开关 S 接通“2”号位置时, 电路中没有电流流过, 电源不向负载输送电能。对于电源来说, 这种状态叫空载。断路的主要特点是: 电路中的电流为零, 电源端电压和电动势相等。

断路可分为控制性断路和故障性断路。控制性断路是人们根据需要利用开关将处于通路状态的电路断开; 故障性断路是一种突发性的、意想不到的断路状态。例如: 在供电线路中, 电源与负载之间的连接导线松脱, 负载与导体的金属部分接触不良, 都会引起断路故障。所以, 接线要牢固可靠, 尽量避免断路故障的发生。

3) 短路

短路就是电源未经负载而直接由导体构成闭合回路。如图 1-12 所示, 开关 S 接通“3”号位置时, 电源被短接, 电路中的短路电流 $I = E/R_0$ 。由于电源内阻一般都很小, 所以 I 极大, 此时, 电源对外输出的电压 $U = E - IR_0 \approx 0$ 。

短路电流极大, 不仅会损坏导线、电源和其他电器设备, 甚至还会引起火灾。因此, 短路时电路处于严重的故障状态, 必须禁止发生。为此, 在电路中常串接保护装置, 如熔断器等, 一旦电路发生短路故障, 能自动切断电路, 起到安全保护作用。



二、项目实施

(一)基本电工仪表的使用及线性和非线性电阻伏安特性的测定

1. 项目实施目的

- 认识电源及设备, 培养安全用电习惯。
- 学习数字式万用表的使用, 掌握电阻、直流电流、电压的测量方法。
- 测定并绘制线性电阻和非线性电阻的伏安特性曲线。
- 学习测定电路中各点电位和电压的方法。

2. 项目实施设备

实施本项目所需的设备如表 1-1 所示。

表 1-1 项目实施设备

序号	名称	型号与规格	数量	备注
1	低压直流稳压电源	0~30V	二路	
2	指针电流表	C31-A	1	

续表

序号	名称	型号与规格	数量	备注
3	数字万用表	MY61	1	
4	电阻器	按需选择	若干	
5	导线	红、绿、黄色	若干	

3. 项目实施内容

本项目的实施内容如下。

- (1) 利用万用表的电阻挡，确定万用表的好坏，测量导线的通断情况。
- (2) 按电路进行接线，经检查确认无误后方可通电测量。
- (3) 记录测量数据，填写测量结果。

参考电路包括线性电路、非线性电路和电位与电压测量电路，分别如图 1-13~图 1-15 所示。

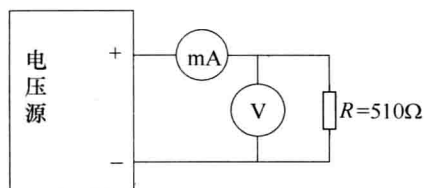


图 1-13 线性电路

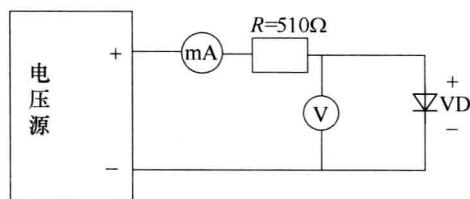


图 1-14 非线性电路

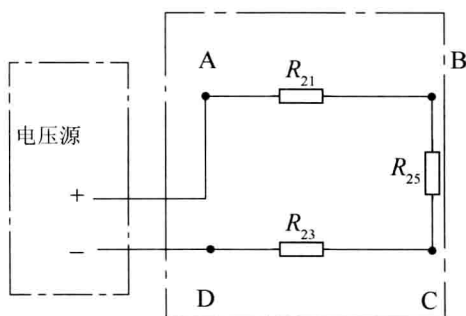


图 1-15 电位与电压测量电路

将线性电路的伏安特性测量结果填入表 1-2 中。

表 1-2 线性电路的测量结果

U/V	0	2	4	6	8	10	12
I/mA							