

建筑应用电工

(第三版)

樊伟梁 赵连奎 编

中国建筑工业出版社

建筑应用电工

(第三版)

樊伟梁 赵连奎 编

中国建筑工业出版社

目 录

第一篇 电路基础知识

第一章 电与磁	1
1.1 电及其基本物理量	1
1.2 电路的作用与组成	4
1.3 欧姆定律	5
1.4 电功率与电能	7
1.5 基尔霍夫定律	8
1.6 电阻的串联和并联	11
1.7 电路的工作状态和电气设备的额定值	13
1.8 磁和磁场	16
1.9 电和磁的关系	17
1.10 磁场对载电流导体的力效应	20
复习思考题	20
习题	22
第二章 交流电源	25
2.1 交流电的基本概念	25
2.2 三相交流电源	30
复习思考题	33
第三章 单相交流电路	35
3.1 白炽灯负载电路	35
3.2 日光灯负载电路	40
3.3 单相交流电路概要	44
3.4 功率因数的提高	53
复习思考题	56
习题	56
第四章 三相交流电路	58
4.1 三相负载接入三相电源	58
4.2 负载星形连接的三相电路	59
4.3 负载三角形连接的三相电路	63
复习思考题	65
习题	67

第二篇 电机及其控制

第五章 变压器	68
---------------	----

5.1 变压器在输配电中的作用	68
5.2 变压器的构造与工作原理	69
5.3 变压器的铭牌	71
5.4 自耦变压器	72
5.5 仪用互感器	73
5.6 电焊变压器	74
复习思考题	76
习题	76

第六章 异步电动机	77
6.1 概述	77
6.2 电动机的转动原理与工作特性	78
6.3 异步电动机的铭牌	81
6.4 异步电动机的起动与反转	82
6.5 单相异步电动机	86
6.6 电动机的故障与维护	87
6.7 电动机的选择	91
6.8 感应电动机的电路计算	93
复习思考题	96
习题	96

第七章 常用低压电器及其控制电路	98
7.1 开关设备	98
7.2 熔断器	101
7.3 接触器及其基本控制电路	103
7.4 继电器	107
7.5 手动控制电器及其电路图	109
7.6 典型控制电路举例	111

第三篇 建筑电气设计基础

第八章 供电系统	115
8.1 电能的输送和分配	115
8.2 负荷分级及其供电方式	116
8.3 变电所	116
8.4 供电线路	121
8.5 负荷计算	123
8.6 配电导线选择	125
第九章 建筑电气照明	133

9.1 概述.....	133	第十五章 建筑辅助电气设施.....	273
9.2 灯具的选用与布置.....	138	15.1 床头控制柜.....	273
9.3 电气照明供电网络.....	144	15.2 呼应信号系统.....	277
9.4 照明配电箱(盘).....	148	15.3 应急照明装置.....	282
9.5 电气照明计算.....	151	15.4 电子门铃.....	284
9.6 电气照明设计示例.....	156	15.5 灯光调节器.....	286
9.7 电气施工图.....	160		
第十章 共用天线电视系统.....	167	第四篇 建筑电气施工	
10.1 概述.....	167	第十六章 电气工程图.....	289
10.2 分配网络.....	172	16.1 阅读电气工程图的基本知识.....	289
10.3 前端.....	178	16.2 电气系统图.....	292
10.4 施工与安装.....	184	16.3 二次接线图.....	296
10.5 系统设计示例.....	185	16.4 动力与照明平面图.....	300
第十一章 高层建筑电气消防.....	192	第十七章 建筑电气施工.....	308
11.1 概述.....	192	17.1 室内配线工程的施工.....	308
11.2 电源系统.....	195	17.2 架空线路工程的施工.....	320
11.3 感知系统.....	197	17.3 架空接户线.....	330
11.4 确认、通报系统.....	209	17.4 电缆工程的施工.....	333
11.5 初期灭火电气控制系统.....	210	第十八章 建筑电气安装工程概、预	
11.6 防排烟系统.....	213	算的编制与审核.....	344
11.7 诱导疏散系统.....	214	18.1 概述.....	344
11.8 消防控制中心.....	218	18.2 概、预算的编制程序.....	346
11.9 电气消防配线及防延燃.....	219	18.3 工程量计算规则.....	349
11.10 建筑物电气设备的防火措施.....	221	18.4 概、预算的审核与管理.....	353
11.11 火灾自动报警控制系统的设计		18.5 电工材料介绍——电线、电缆及	
实例.....	222	管材.....	354
第十二章 建筑防雷.....	229	第十九章 电气工程施工组织设计.....	359
12.1 雷电的基本知识.....	229	19.1 说明.....	359
12.2 防雷装置.....	232	19.2 电气工程施工组织设计的内容	
12.3 建、构筑物的防雷.....	239	和编制方法.....	360
第十三章 电梯.....	246	19.3 施工组织设计的技术经济分析.....	364
13.1 电梯的重要性与发展.....	246	19.4 施工组织设计的贯彻、检查和	
13.2 电梯的分类.....	248	调整.....	365
13.3 电梯的基本结构.....	250	第二十章 施工现场的电力供应.....	367
13.4 电梯的规格与型号.....	252	20.1 施工现场用电量的计算.....	367
13.5 电梯的电气设备.....	255	20.2 施工现场的临时电源设施.....	371
13.6 电梯与土建.....	257	20.3 施工现场低压配电线路.....	376
13.7 简易升降机的电气自动控制线路.....	260	20.4 施工现场常用电气设备的安装	
第十四章 高层建筑的电气设计.....	264	和使用要求.....	381
14.1 概述.....	264	20.5 施工现场有关人员须知.....	386
14.2 高层建筑供电系统.....	267	习题.....	386
14.3 高层建筑防雷特点.....	270	第二十一章 建筑施工用电安全技术.....	388

21.1 触电、急救与防护.....	388	21.4 电气安全装置.....	403
21.2 施工现场的接地装置.....	394	21.5 保证用电安全的组织措施.....	407
21.3 保护接地和保护接零.....	398	附录	409

第一篇 电路基础知识

第一章 电 与 磁

1.1 电及其基本物理量

在我们日常的工作和生活中，到处都会遇到各式各样的电器设备，都离不开电能的应用。例如：用电灯来照明，用电炉来加热，用电风扇来通风、降温，用电话来传递信息，开大会时用扩音机来扩大声音；在土建施工中的一些施工机具，如搅拌机，震捣器，打夯机，空气压缩机，水泵，电钻，电锯等等大多是用电动机来拖动的；在电能的传输与分配过程中，也离不开变压器的应用。凡此种种，都不外乎是把电能转换成光能、热能、机械能或其它形态的能量，或是通过电能的应用，来传递和处理信息，为我们服务。又如，在夏季里，有时雷电会给人们的生命财产造成严重的损失，而当应用了避雷器之后，就可以把这种危害降低到最小的程度。总之，要想使电能够造福人类，能够更好地为人民服务，我们就必须学习它，认识它，掌握电的特性与基本规律，这样才能有效地驾驭它、使用它。

1. 电荷与电场

那么，究竟什么是电呢？要了解这个问题，就得先从物质的构造谈起。自然界中任何物质都是由分子组成的，而分子又是由更小的原子组成的。原子则是由带正电的原子核和围绕原子核按一定轨道运动着的带负电的电子所组成。原子核又是由带正电的质子和不带电的中子组成的。一个质子所带正电的电量与一个电子所带负电的电量是相等的。我们把这些组成物质的无数带电微粒（如电子、质子）称做电荷。带有正电的微粒叫做正电荷（以“+”号表示），带有负电的微粒叫做负电荷（以“-”号表示）。在正常状态下，原子核内所含质子的数目与绕核旋转的电子数目相等，所以原子核所带正电荷的总电量与绕核旋转的电子所带负电荷的总电量是相等的，由于正负电荷所呈电性相反，所以整个原子不呈现电性（称做中性）。

如果由于某种原因（例如用毛皮与玻璃棒摩擦，发电机中电枢导体在磁场中运动），使物体中的原子获得或失去电子以后，整个物体所带的正负电荷的电量就不再相等，而呈现电性，我们即称该物体为带电体。获得电子的物体带负电，失去电子的物体则带正电。

由实验可知：同性电荷（或带电体）相互排斥，异性电荷（或带电体）相互吸引。即电荷之间（或带电体之间）存在着相互的作用力。带电体所带电荷越多，它们之间的相互作

用力也就越大。

我们把带电体周围这种具有特殊性质的空间称为电场。把任一电荷引入电场中，它必将受到电场力的作用，从而也说明了电场中是充满着能量的。

2. 电位与电压

我们已经知道，带电体所带电荷越多，由它所形成的电场就越强。也就是说，它对电场中的电荷的作用力就越大，这个电荷在电场力的作用下运动时，所释放出的能量也就越大。我们现在引入“电位”与“电压”这样一种物理量来表示电场的强弱。

当一个物体带有正电荷时，我们就说它具有一定的正电位。而且，物体所带正电荷越多，它的电位就越高。而当物体带有负电荷时，我们就说它具有一定的负电位，它所带负电荷越多，它的电位就越低。通常我们把大地的电位当作零电位，电场中各点电位的高低（正或负）是以大地的电位为参考的。

任何两个带电体之间（或电场中的某两点之间）所具有的电位差，就叫做该两带电体（或电场的某两点）之间的“电压”。由此可知，两个带电体之间（或电场中的某两点之间）的电压越高时，它们之间的作用力就越大，由两个带电体所形成的电场就越强，这个电场在驱使电荷运动时所放出的能量也就越大。

“电压”通常用拉丁字母“ U ”来表示，在法定计量单位制中，电压的单位为“伏特”，简称“伏”，记做“ V ”。日常生活中所用手电筒的电源电压是3伏；普通照明电源的电压是220伏；电动机大多是用电压为380伏的电源；而输送电能的输电线路电压则是10千伏、35千伏、110千伏、220千伏（ kV ）等；在雷雨季节所形成的两块带异性电荷的雷云之间的电压，往往高达几百万伏（几兆伏 MV ①）以上。

3. 电路与电流

通常我们应用电能时，总是使电荷沿着一定的路径流动，我们把电荷流动时所经过的路径称为电路。图1-1便是一个手电筒电路的示意图。

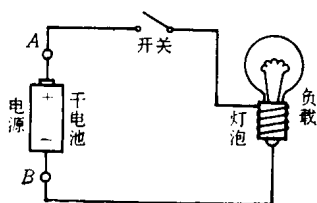


图 1-1 手电筒电路

把化学能或机械能等其它形态的能量转换成电能的设备，叫做电源，如干电池、蓄电池和发电机等。凡是用电的设备，即将电能转换为其它形态能量的装置，我们都把它们叫做负载，如灯泡，电热炉，电动机等。

在电路中，我们把电荷的流动（运动）叫做电流。那么，电荷究竟是怎样运动而形成电流的呢？大家知道，一个电源（如一节干电池）总是有两个电极（正极 A 、负极 B ，见图1-1），而且电极上堆积着大量的电荷，正极 A 具有正电位，负极 B 具有负电位。换句话说， AB 两电极间具有一定的电压。由于正负电荷总是相互吸引，负极 B 上堆积的大量

① 我们在这里介绍几个用文字符号来表示数量大小的方法：当我们要把一个数放大一千倍或一百万倍时，则用“千”或“兆”来表示。当要把一个数缩小千分之一或百万分之一时，则用“毫”或“微”来表示。即：

$$\text{千} = 1000 = 10^3 \quad \text{记作 } k$$

$$\text{兆} = 1000000 = 10^6 \quad \text{记作 } M$$

$$\text{毫} = \frac{1}{1000} = 10^{-3} \quad \text{记作 } m$$

$$\text{微} = \frac{1}{1000000} = 10^{-6} \quad \text{记作 } \mu$$

电子（负电荷）在电压（电场力）的作用下，总是企图流向正极 A 与正电荷中和。当开关未把电路接通时，负极 B 上的电子无法从空间流向正极 A ，因此没有电荷流动，也就是没有形成电流。当开关把电路接通后，由于电线（导线）很容易导电，也就是电荷很容易在电线中流动，因而就有电子（负电荷）在电压的作用下，不断地由负极 B 通过导线，经过开关与灯泡，流向正极 A 。这时在电线中就形成了电流。运动着的电荷把能量交给了灯泡，灯丝发出了亮光，实现了能量的转换，把电能变成了光能。

电流的强弱（大小）是以每秒钟通过导线截面的电量（电荷的数量）来计算的，亦即单位时间内流过导线截面的电荷数量越多，我们就说导线中的电流强度就越大。

“电流”通常是用拉丁字母“ I ”来表示的，在法定计量单位制中，电流的单位为“安培”，简称“安”，记作“ A ”。

日常生活中所用手电筒内灯泡的电流是 0.3 安左右，220 伏 40 瓦白炽灯的电流是 0.182 安，电动机的电流一般是几安至几百安，半导体收音机内的电流一般只有几个至几十个毫安，而雷电流则在几十千安至几百千安以上。

人们规定电流的方向是从高电位流向低电位的，也就是把正电荷移动的方向定为电流的正方向。

4. 导体与电阻

所有物质按其传导电流的能力，一般可分成三类：导体，绝缘体和半导体。

导体这类物质的特点是它们的原子核中的正电荷与原子外层的电子间吸引力较小，电子比较容易脱离原子而自由运动，成为自由电子。平时这类物质中就存在着相当数量的自由电子，当导体两端加上电压（电位差）时，这些自由电子便会在电场力的作用下，由低电位流向高电位，而在导体内部形成“电子流”。因为正电荷被束缚在原子核里，而原子核在固体物质中是极难移动的，因此导体内的电荷流动主要是“电子流”。但是人们最初研究电流时，总认为电流是由正电荷的移动而形成的，所以就把电流的方向规定为正电荷移动的方向。但是，这种规定恰恰与导体中真正的电子流的方向相反。由于这一规定沿用已久，已为世界所通用，也就无需更正。一般的金属大多都是导体，如铜、铝、铁等，此外溶有盐类的水也可以导电。

绝缘体的特性与导体相反，它们原子外层的电子受到原子核的吸引力极大，电子不容易脱离原子核的束缚而自由运动，所以它们极不容易导电。常见的绝缘体有：橡胶、陶瓷、云母、石蜡、玻璃、棉纱、塑料以及干燥的木材、空气等等。

半导体的特性则介于导体和绝缘体之间。常见的半导体如锗、硅、氧化铜等。

必须指出，这三类物体是按照它们的导电性能来区分的，但这是相对的，如绝缘体只是导电性能相对地很差，以致通常可以把它看作是不导电的。但这是在一一定的条件之下才是这样的，如果条件改变了，那么它们的这些性能就可能互相转化。比如，在极高电压的作用下，许多平时被认为是绝缘体的物质也会导电。

即使是导电性能很好的导体，在电流流过时也是有阻力的。我们把物体对电流的阻力叫做“电阻”。

“电阻”通常是用拉丁字母“ R ”来表示，在法定计量单位制中，电阻的单位为“欧姆”，简称“欧”，记做“ Ω ”。

不同的材料对电流的阻力是不相同的，如铜的导电能力比铝强，铝的导电能力就比铁

强，而铁的导电能力又比通常做电炉用的电阻丝要强等等。由实验得知，当一个导体的截面积 S 越大时，它的电阻就越小，而导体的长度 l 越长时，它的电阻就越大。我们可以把导体电阻的大小，归结为如下的公式：

$$R = \rho \frac{l}{S} \tag{1-1}$$

式中 ρ 叫做导体的“电阻率”，其常用单位是欧·毫米²/米，它是由导体的材料决定的。

5. 电源与电动势

电源就是电流的源泉，也就是产生电能和设备。当我们用导线把灯泡接在电源两电极之间时，就会有电流源源不断地流过灯泡，使灯泡发光。前面已经讲过，电路之所以能有电流产生，那是由于在电源的两个电极上堆积了大量的正负电荷，在正负电极间形成了一定的电位差（电压），导线内的自由电子正是在这一电压的驱动下而在电路中形成电流的。如果电源两电极上的正负电荷不能得到源源不断的补充，那么，电极上的电荷越流越少，最终两极都失去了电荷，两极之间没有了电压，电流也就终止了，灯泡也就不亮了。因此，电源必须具有有一种分离电荷的能力，把电子（负电荷）源源不断地由正极搬到负极来维持电源两端的电位差（电压）。我们通常把电源内部这种分离电荷的势力、用来维持电位差的能力叫做“电动势”。

“电动势”通常是用拉丁字母“ E ”来表示，它的单位也是“伏”，记作“V”。

应该注意的是，电动势总是针对电源的内部而言的，它所表现出来的也就是在电源的两电极之间建立了电位差（电压）。比如，一节干电池，我们用电压表量得它两端的电压是1.5伏，那么它的电动势也必定是1.5伏。

1.2 电路的作用与组成

电路是为了某种需要，由某些电工设备或元器件按一定方式组合起来的，它是电流流通的路径。

电路的形式是多种多样的。对于我们来说，不外乎两大类，即所谓强电的电力系统与弱电的信号系统。图1-2(a)是电力系统的示意图。它的作用是实现电能的传输与转换，其中包括电源、负载和中间环节三个组成部分。在这里发电机是电源，它是产生电能的设备，它把热能、水位的势能或原子能等转换为电能。电灯、电动机、电炉等都称为负载，它们是取用电能的设备，分别把电能转换为光能、机械能、热能等。变压器和输电线是中间环节，是联接电源和负载的部分，它起传输和分配电能的作用。

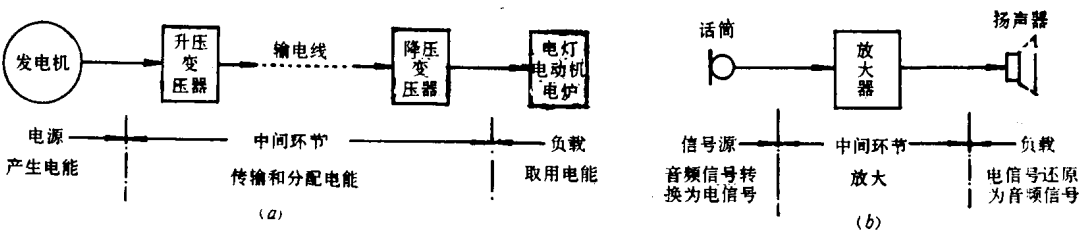


图 1-2 电路示意图
(a)电力系统；(b)扩音机

图1-2(b)是信号系统(扩音机)电路的示意图。这种电路的作用是传递和处理信号。话筒把语言或音乐转换为相应的电压和电流,即电信号,而后通过电路传递到扬声器,把电信号还原为语言或音乐。由于话筒输出的电信号比较微弱,不足以推动扬声器发音,因此中间还要用放大器来放大。信号的这种转换和放大,称为信号的处理。话筒是产生电信号的设备,称为信号源,相当于电源。扬声器是接受和转换电信号的设备,也就是负载。而放大器则是中间环节。

由以上两类电路来看,不论电能的传输和转换,还是信号的传递和处理,它都是由电源、负载和中间环节三部分组成的。图1-1所示是一个最简单的电路,它的中间环节,只是导线和开关。

为了便于分析和研究,由实际部件组成的电路,在绘出其电路图时,都用一定的符号来表示。例如,灯泡相当于一个电阻元件,就用一个长方条形符号表示,干电池(电源)可以用电池符号表示,导线(电阻为零的导体)用线段表示。因此,实际的手电筒电路(图1-1)就画成图1-3所示的电路图了。

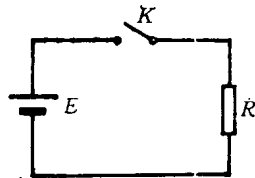


图 1-3 图1-1的电路图

1.3 欧 姆 定 律

图1-3所示电路中的 E 表示的是一个电动势为恒定不变的 E 值的电压源,这种电源我们称为“理想电压源”或“恒压源”(因为它的端电压不随通过该电源的电流而变化)。

有时也用一个圆圈加上正、负号这样的符号来表示。但是,所有的实际电源都具有内电阻 R_0 ,如上所说的那种理想电压源(即恒压源)实际上是不存在的。因此,为了使我们所画出的电路图更能接近实际的电路,我们用恒压源 E 与内电阻 R_0 相串联的组合来表示实际的电源。这样便得出了图1-4所示的电路图。对于电源来说,负载 R 及连接导线和开关 K 称为外电路(即电路 $acdb$ 部分),电源内部的电路(即 ab 段),称为内电路。

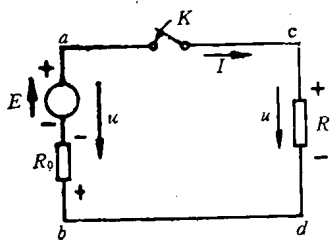


图 1-4 最简单的电路图

图1-4所示电路,当开关 K 闭合后,电路中的电流 I 与电阻 R 及其两端的电压 u 究竟有何关系?或者 I 与整个电路中的电动势 E 和电路中的总电阻($R_0 + R$)有何关系?这正是欧姆定律所要说明的。

欧姆定律是分析电路的基本定律之一,它表明电阻 R 两端的电压 u 与流过的电流 I 之间的关系,亦即当有电流 I 流过电阻 R 时,电阻两端的 u 电压降等于

$$u = IR \quad (1-2)$$

换句话说,当电阻 R 两端所施电压为 u 时,流过电阻的电流 I 等于

$$I = \frac{u}{R} \quad (1-3)$$

上述规律就称为欧姆定律。用话来说,就是电阻两端的电压与通过它的电流成正比例

关系。

把欧姆定律应用于整个闭合回路时，则有如下的关系式：

$$I = \frac{E}{R_0 + R} \quad (1-4)$$

这就是全电路欧姆定律，亦即在一个闭合回路中，全电路的电动势除以全电路的电阻，就是电路中的电流。

由式(1-4)可以得出

$$E = IR_0 + IR = u_0 + u \quad (1-5)$$

或

$$u = E - u_0$$

式中 $U_0 = I \cdot R_0$ 称为电源的内部电压降，它是由于电源的内电阻 R_0 在有电流 I 通过时所引起的电压降。式中 U 称为电源的端电压，亦即负载 (R) 的端电压。由此可见，当电源流出的电流越大，或电源的内电阻越大时，其两端的电压就会越低。例如，一节新买来的干电池，用电压表量得其端电压为1.5伏，在使用了很久之后，量得的端电压会降为1.3伏，这正是其电能耗尽，内电阻增大所致。

【例 1-1】 已知由两节干电池供电的手电筒，其灯泡取用的电流为0.3安，每节干电池的电动势为1.5伏，内电阻为0.5欧，试问，灯泡在工作时的端电压是多少？其等效电阻 R 是多少？

【解】 本题可参阅图1-4所示的电路。

两节干电池的电动势 $E = 1.5 \times 2 = 3.0 \text{ V}$

两节干电池的总内电阻 $R_0 = 0.5 \times 2 = 1.0 \Omega$

由式(1-5)可知，灯泡的端电压为

$$u = E - u_0 = E - I \cdot R_0 = 3.0 - 0.3 \times 1.0 = 2.7 \text{ V}$$

根据欧姆定律，由式(1-2)便可求出灯泡的等效电阻为

$$R = \frac{u}{I} = \frac{2.7}{0.3} = 9 \Omega$$

在这里我们还要指出，在分析一个电路时，我们总是在电路图中用箭头或者正负号来标明电流、电动势和电压的正方向。电动势的正方向是从负极 (-) 指向正极 (+)，即指向电位升高的方向，也就是在电源内部驱动正电荷移动的方向（如图1-4所示）。电源端电压 u 或负载端电压 u 的正方向，则是从正极性 (+) 指向负极性 (-)，即指向电位降低的方向，也就是在外电路中，电场驱动正电荷移动的方向。而电流的正方向，在电源内部是由低电位流向高电位，在外电路中则是由高电位流向低电位。换句话说，对于一个电阻 (R 或 R_0)，电流流入端电位高（通常标以“+”号），电流流出端电位低（通常标以“-”号）。由电路图1-4可知，电源 ab 两端的端电压 u （或说由 a 点到 b 点的电压降），必然等于电动势上的电压降与电源内电阻 R_0 上的电压降之和。就电动势而言，在从 a 到 b 的方向上是从高电位到低电位，电位确实在降落，故 E 取正号。而在电源内电阻 R_0 两端，在从 a 到 b 的方向上是从低电位到高电位，电位是在升高，故其电压降之值应取负号。由此而得出(1-5)式，即电源的端电压 u 应等于

$$u = E - u_0 = E - IR_0$$

最后还要说明的一点是，欧姆定律只适用于阻值不变的线性电阻（所谓线性电阻，是

指其电阻值不随通过它的电流或其两端电压而改变的电阻，亦即该电阻两端的电压与流过的电流之间呈直线关系）。但在电流和电压的变化范围内，电阻值能相对地保持不变的情况下，相对变动的电流量和电压量也将服从欧姆定律。

1.4 电 功 率 与 电 能

电力系统的主要作用是实现电能的传输与转换，所以除了分析计算电路中的电流、电压和电阻外，我们更加关注的则是电路中输送的电能是多少，转换的电功率如何计算。

我们都知道，任何一个用电设备都是一个能量转换设备，它们都是为了把电能转换成其它形态的能量而为人们服务的装置。例如电灯就是把电能转换成光能为我们照明的，电动机是把电能转换成机械能来带动施工机具，为我们完成各项施工任务服务的。换句话说，用电设备在单位时间内消耗的电能越多，那么它转换成其它形态的能量也就越多，也就是它做功的本领越大。

功率的定义是单位时间所做的功。我们把一个用电设备在单位时间内所消耗的电能叫做该用电设备的电功率。因此，用电设备的电功率，就表示该用电设备做功的本领。在很多用电设备的铭牌上给出的技术数据，往往不是它自电源取用的电流值，而是它所需要的工作电压与电功率。例如，在白炽灯泡上标明的是220V、40W或220V、100W，其中的40W、或100W表示的就是该灯泡的电功率。显然100W的灯泡比40W的灯泡的电功率大，所以它做功的本领就大，它就亮得多。

“电功率”通常用拉丁字母“P”来表示，在法定计量单位制中，电功率的单位为“瓦特”，简称“瓦”，记作“W”。

实验证明，当用电设备接入的电源电压一定时，它自电源取用的电流越大，它的电功率也就越大，也就是说单位时间内它消耗的电能越多，它做的功也就越大。如果两个用电设备自电源取用的电流相同，而它们所需电源的电压不同，那么电压越大的用电设备，电功率也就越大，它在单位时间内从电源取用的电能就越多。因此，一个用电设备自电源取用的电功率P与它所接入电源的电压U和它从电源取用的电流I三者之间，有如下的关系：

$$P = UI \tag{1-6}$$

引用欧姆定律，便可得出负载电阻R消耗的电功率，可按下列式计算：

$$P = U \cdot I = I^2 R = \frac{U^2}{R} \tag{1-7}$$

由上式可知，一个负载所消耗的电功率，与电阻、电压和电流三者有关。通常我们所说的“增加负载”，是指增加负载电阻所消耗的电功率（亦即增加电源提供的功率）。因此由式（1-7）可知：（1）当负载的电阻值一定时，加大电压或加大电流都会使负载电阻消耗的功率增加。（2）当负载上的电压一定时，加大电流（减小负载电阻）就会使功率增加。在我们的恒电压供电系统中，如果把“减少负载”理解为“减小电阻”，那是错误的，其结果反而使负载（电流）增加，甚至烧坏设备。这点务请读者注意。

依据电动势的定义，我们不难得出计算电源产生电能的功率 P_E 的计算公式为

$$P_E = EI \tag{1-8}$$

如果我们把式（1-5）改写成

$$E = U + U_0 \quad (1-9)$$

再用电流 I 来乘式 (1-9) 两端, 便可得到

$$EI = UI + U_0 I = I^2 R + I^2 R_0 \quad (1-10)$$

记作

$$P_E = P + P_0 \quad (1-11)$$

这里我们清楚的看到, 电源产生电能电功率 P_E 等于负载消耗的电功率 P 与电源内电阻 R_0 上消耗的电功率 P_0 之和, 它完全符合能量守恒定理。

电功率是单位时间内所消耗 (产生) 的电能, 它表示用电设备 (发电设备) 做功的本领, 但是, 它并不说明这个用电设备 (发电设备) 在工作一段时间之后, 究竟消耗 (产生) 了多少电能。如果要知道一台用电设备在工作一段时间 t 之后, 所消耗的电能 W 是多少, 那么应该进行如下计算:

$$W = P \cdot t \quad (1-12)$$

当功率 P 的单位用 “千瓦” 表示, 时间 t 的单位用 “小时” 表示时, 电能 W 的单位就是 “度”。亦即

$$1 \text{ 度} = 1 \text{ 千瓦} \times 1 \text{ 小时} = 1 \text{ 千瓦小时 (kWh)} = 1000 \text{ 瓦小时}$$

例如, 一盏 1 千瓦的投光灯, 燃点 1 个小时, 它所消耗的电能即为 1 度。又如 40 瓦的白炽灯泡, 燃点 25 小时, 它所消耗的电能也是 1 度 (因 $40 \text{ 瓦} \times 25 \text{ 小时} = 1000 \text{ 瓦小时} = 1 \text{ 度}$)。

【例 1-2】 试问一只 220V 100W 的白炽灯, 正常工作时, 自电源取用的电流是多少?

【解】 因功率 P 与电压 U 、电流 I 之间的关系是 $P = U \cdot I$, 则该灯自电源取用的电流为

$$I = \frac{P}{U} = \frac{100}{220} = 0.455 \text{ A}$$

【例 1-3】 一台 220V 2000W 的电热炉, 若每天工作 3 小时, 试问, 一个月 (按 30 天计算) 消耗多少电能? 如果每度电费为 0.16 元, 那么一个月应缴纳多少电费?

【解】 一个月消耗的电能

$$W = P \cdot t = 2 \text{ 千瓦} \times 3 \text{ 小时} \times 30 \text{ 天} = 180 \text{ 千瓦小时} = 180 \text{ 度}$$

应缴纳的电费为

$$0.16 \text{ 元/度} \times 180 \text{ 度} = 28.80 \text{ 元}$$

1.5 基尔霍夫定律

分析与计算电路的基本定律, 除了欧姆定律之外, 还有基尔霍夫定律。它由两条定律组成:

基尔霍夫第一定律——电流定律 (应用于节点) 和基尔霍夫第二定律——电压定律 (应用于回路)。为了说清这两条定律的含义, 我们先介绍几个术语。

节点: 三条或三条以上电路的汇合点称为节点。如图 1-5 中的 b 点和 e 点 (而 a 、 c 、 d 、 f 点则不是我们所说的节点)。

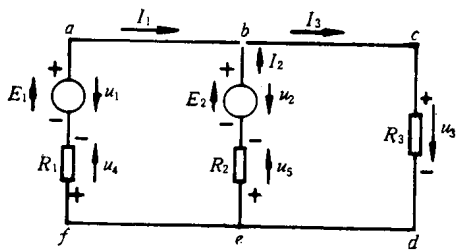


图 1-5 电路举例

支路：相邻两节点间的电路称为支路。同一支路中各处的电流均相等，亦即一条支路中流过同一电流。图1-5所示电路中有三条支路（支路**bafe**、支路**be**、和支路**bcde**）。要注意，在画电路图时，凡是节点或各支路的连接处，要用一个黑圆点标明。

回路：由一个或多个支路所组成的闭合电路称为回路。图1-5中共有三个回路（**abefa**、**bcdeb**和**abcdefa**）。

一般只有一个回路的电路称为简单电路，有两个以上回路的电路称为复杂电路。

1. 基尔霍夫第一定律——电流定律

基尔霍夫电流定律是用来确定联接在同一节点上的各支路电流间的关系的定律。由于电流的连续性和电荷不可能在电路中的任何一点上堆积或漏失，因此，在任一瞬时，对电路中任一节点，流入节点的支路电流之和必等于流出节点的支路电流之和。换句话说，任一节点上的支路电流的代数和恒等于零。用数学式表达即

$$\sum I = 0 \quad (1-13)$$

如果规定流入节点的电流取正号，则流出节点的电流就应取负号。

在图1-5所示电路中，对于节点**b**，依据基尔霍夫电流定律，便可得出

$$I_1 + I_2 = I_3$$

或写成

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

2. 基尔霍夫第二定律——电压定律

基尔霍夫电压定律是用来确定一个回路中各段电压降和电动势间平衡关系的定律。如果从回路中任意一点出发，沿回路任一方向（顺时针或逆时针）循行一周，则在这个方向上的电位升之和应该等于电位降之和。

以图1-5所示电路为例，来说明基尔霍夫电压定律的应用。图中电源电动势、电流和各段电压的正方向均已标出。若在回路**abefa**中顺时针循行一周，依据基尔霍夫电压定律，便可得出

$$u_5 + u_1 = u_2 + u_4$$

此式亦可改写为

$$u_2 - u_5 + u_4 - u_1 = 0 \quad (1-14)$$

即

$$\sum u = 0 \quad (1-15)$$

由式（1-15）可得出基尔霍夫电压定律的另一种说法，就是在任一瞬时，沿任一回路循行方向（顺时针或逆时针）、回路中各段电压降（电位降）的代数和恒等于零。所谓代数和是指若规定电压降（电位降）取正号，则电位升应取负号。

上述回路**abefa**是由电源电动势和电阻所构成的，根据欧姆定律，可将（1-14）式改写为

$$E_2 - I_2 R_2 + I_1 R_1 - E_1 = 0$$

或

$$E_1 - E_2 = I_1 R_1 - I_2 R_2$$

即

$$\sum E = \sum (IR) \quad (1-16)$$

此为基尔霍夫电压定律的又一种表达式，就是在任一回路循行方向上，回路中电动势（电位升）的代数和等于电阻上电压降的代数和。这正反映出在任何闭合回路中，能量转换必须平衡的基本关系。

应该指出，图1-5所举的是直流电阻电路，但是，基尔霍夫定律具有普遍性，它们还

用于由各种不同元件所构成的电路，也适用于任何变化的电流和电压。

在这里我们还要强调的是，在运用基尔霍夫定律分析与计算一个电路时，如何列写电流和电压的平衡方程式，是掌握该定律的关键。下面几点需要特别注意：

(1) 首先要在求解的电路中标明各支路电流的代号与方向。其方向可以任意假定，若计算结果，某支路电流为负值，则说明实际的电流方向与所设定的方向相反；

(2) 在运用基尔霍夫电压定律列写电压平衡方程式时，要特别注意在循行方向上的电位升降。对于一个电源的电动势 E ，其正极电位高，负极电位低。而电阻两端的极性（电位的高低），则要由所设定的电流的正方向决定。电流流入端电位高（标以 + 号），电流流出端电位低（标以 - 号）；

(3) 在列写一个电压平衡方程式时，沿回路循行方向，取电位降为正，还是电位升为正，要明确，不可搞错。

当我们掌握了欧姆定律与基尔霍夫定律之后，便不难去分析与求解任何复杂的电路了。

【例 1-4】 在图 1-6 所示的电路中，已知 $R_B = 20$ 千欧， $R_1 = 10$ 千欧， $E_B = 6$ 伏， $u_S = 6$ 伏， $u_{BE} = -0.3$ 伏，试求电流 I_B 、 I_2 及 I_1 之值。

【解】 为了便于叙述，我们在电路图上，用 $abcd$ 标明了其部位，且图中标出的 I_1 、 I_2 与 I_B 的箭头，均为设定的相应正方向，而电阻 R_1 与 R_B 两端的正负极性，也是由它们决定的。

(1) 应用基尔霍夫电压定律，沿回路 $bBEcb$ 可列写出如下方程（取电位降为正），

$$u_{BE} - E_B + I_2 R_B = 0$$

代入已知的各参数，得

$$0.3 - 6 + 20 \times 10^3 I_2 = 0$$

解之得

$$I_2 = \frac{6 + 0.3}{20 \times 10^3} = 0.315 \times 10^{-3} \text{ A} = 0.315 \text{ mA}$$

(2) 应用基尔霍夫电压定律，沿回路 $abcd a$ 可列写出如下方程（仍取电位降为正）

$$-I_1 R_1 - I_2 R_B + E_B + u_S = 0$$

代入已知的各参数，得

$$-10 \times 10^3 I_1 - 0.315 \times 10^{-3} \times 20 \times 10^3 + 6 + 6 = 0$$

求解得

$$I_1 = \frac{12 - 6.3}{10 \times 10^3} = 0.57 \times 10^{-3} \text{ A} = 0.57 \text{ mA}$$

(3) 在节点 b 上，应用基尔霍夫电流定律列写方程，得（取流入节点的电流为正）

$$I_2 - I_1 - I_B = 0$$

将已知各量值代入上式，便得

$$I_B = I_2 - I_1 = 0.315 - 0.57 = -0.255 \text{ mA}$$

负号表明 I_B 的真实方向，与设定的正方向相反。

3. 电路中任意一点电位的计算

在分析晶体管电路时，常常要用到电位的概念。比如，对于一只硅二极管，只有当它

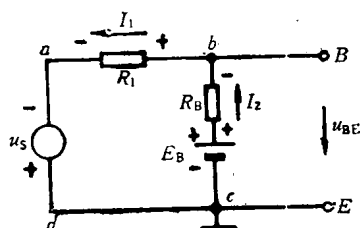


图 1-6 例 1-4 的电路

的阳极电位高于其阴极电位0.5伏时，管子才能导通。那么，究竟如何确定电路中某点电位的高低呢？

由于电位的高低，是相对于某一参考电位（即零电位）而言的，因此必须在电路中确定一个参考点，比如在图1-6所示电路中，取c点为参考点（以“接地”符号“⊥”表示）。那么，便可得到c点的电位 $V_c = 0$ （通常电位是用拉丁字母“V”表示）。

由于某点与参考点间的电压，等于该两点间的电位差，那么，该点的电位也就是该点与参考点间的电压值了。根据这一道理，便不难算出图1-6所示电路中各点的电位了。

已知 $U_S = V_d - V_a = 6V$ ，而 $V_d = V_c = 0V$ ，所以 $V_a = -6V$

已知 $U_{bc} = -I_2 R_B + E_B = -0.315 \times 10^{-3} \times 20 \times 10^3 + 6 = -0.3V$

$\therefore V_b = -0.3V$

若把参考点选在b点，即 $V_b = 0$ 伏，那么，电路中各点的电位，就都要改变了，但它们之间的电压（电位差），是不会改变的。

1.6 电阻的串联和并联

在实际应用中，根据不同的目的和需要，电阻的联接形式是多种多样的，其中最简单和最常用的是串联和并联。

1. 电阻的串联

两个或更多个电阻按顺序一个接一个地串接起来，就称为电阻的串联，图1-7(a)就是两个电阻串联的电路。

两个串联电阻可用一个等效电阻 R 来代替（如图1-7(b)所示）。所谓等效，是指 在同一电压 u 的作用下，用电阻 R 来代替 R_1 与 R_2 串联的电路时，其电流 I 之值保持不变。等效电阻 R 也就是 R_1 与 R_2 串联后的总电阻。

电阻串联的电路，具有如下特性：

（1）等效电阻等于各个串联电阻之和，即

$$R = R_1 + R_2 \quad (1-17)$$

（2）通过各串联电阻的电流相同。

（3）串联电阻上电压的分配与电阻成正比。两个串联电阻上的电压分别为

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= IR_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} u = \frac{R_1}{R} u \\ u_2 &= IR_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} u = \frac{R_2}{R} u \end{aligned} \right\} \quad (1-18)$$

亦即电阻越大时，分电压占总电压的比值也就越大。

电阻串联的应用很多，譬如在负载的额定电压低于电源电压时，通常可以与负载串联一个适当大小的电阻，降落一部分电压，使负载得到应有的额定电压值。有时为了限制负载中通过过大的电流，也可以与负载串联一个限流电阻，以减小负载电流。

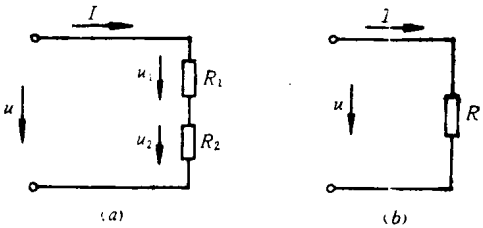


图 1-7 电阻的串联和等效电路

(a)电阻串联电路；(b)等效电路

【例 1-5】今有一些 3 伏 0.3 安的小电灯泡，欲用 24 伏蓄电池（电源）来点亮，试问：

（1）应如何与电源相接？（2）每只小灯泡在正常工作时的电阻值是多少？（3）每只小灯泡的额定功率是多大？（4）小灯泡正常工作时，接入电源的总电阻相当于多大？（5）电源送给小灯泡的总功率是多大？

【解】（1）因每只小灯泡所需的电压是 3 伏，而电源的电压是 24 伏，那么，我们只要把 8 只小灯泡串联起来，接在蓄电池的正负极之间，灯泡即可正常工作。（这时每只灯泡分得的电压，恰好是 $\frac{24}{8} = 3$ 伏）。

（2）依据欧姆定律，小灯泡正常工作时的电阻值 R 是

$$R = \frac{U}{I} = \frac{3}{0.3} = 10 \text{ 欧}$$

（3）每只灯泡的额定功率 P 由式（1-7）知

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \text{ 即}$$

$$P = 3 \times 0.3 = 0.9 \text{ 瓦}$$

或

$$P = 0.3^2 \times 10 = 0.9 \text{ 瓦}$$

或

$$P = \frac{3^2}{10} = 0.9 \text{ 瓦}$$

（4）因是 8 只灯泡串联接入电源的，所以它们的总电阻 R' 是

$$R' = 8R = 8 \times 10 = 80 \text{ 欧}$$

（5）这时电源送出的电流 I' 是

$$I' = \frac{U'}{R'} = \frac{24}{80} = 0.3 \text{ 安}$$

电源送给小灯泡的总功率是

$$P' = U' I' = 24 \times 0.3 = 7.2 \text{ 瓦}$$

2. 电阻的并联

两个或更多个电阻的两端，分别联接在两个公共的节点之间，就称为电阻的并联，图 1-8（a）就是两个电阻并联的电路。

两个并联电阻也可用一个等效电阻 R 来代替（如图 1-8（b）所示），这个等效电阻 R 也就是 R_1 与 R_2 并联后的总电阻。

电阻并联的电路，具有如下特性：

（1）等效电阻的倒数等于各个并联电阻的倒数之和，即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (1-19)$$

也可将上式改写为

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (1-20)$$

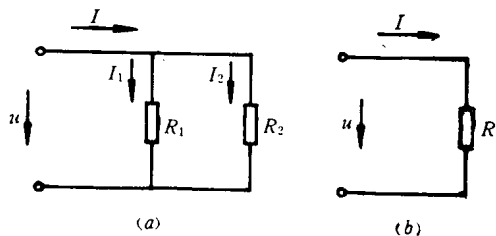


图 1-8 电阻的并联和等效电路

（a）并联电路；（b）等效电路

（2）各并联电阻上的电压相等。

（3）并联电阻上电流的分配与电阻成反比。