

中国造船工程学会人才与教育学术委员会
教材建设学组 推荐

船舶系列丛书
CHUANBO XILIE CONGSHU

电工常识

杨庆堂 赵 群 主编
船舶工业教材编审室 审



HEUP 哈尔滨工程大学出版社

电 工 常 识

主 编 杨庆堂 赵 群
副主编 吴 薇 陈 良

内 容 简 介

本书以电工常识为主要内容,主要介绍了电工基础知识、电工常用工具及仪表、磁路、电动机、低压电器及电力拖动、船用电气设备以及半导体基础知识。介绍了电路、磁路基本理论、电路基本分析方法,力求做到概念准确、内容精炼、重点突出,注重理论联系实际。讲解上通俗易懂,便于自学。本书的典型例题大多取材于工程实际,每章、节后有大量针对性较强的习题、思考题以帮助学生掌握和巩固所学知识。

本书可作为高职高专电类教材,也可供相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工常识/杨庆堂,赵群主编. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2014. 1
ISBN 978 - 7 - 5661 - 0758 - 9

I. ①电… II. ①杨… ②赵… III. ①电工 - 基本知识
IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 021314 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451 - 82519328
传 真 0451 - 82519699
经 销 新华书店
印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂
开 本 787mm × 1 092mm 1/16
印 张 11
字 数 266 千字
版 次 2014 年 1 月第 1 版
印 次 2014 年 1 月第 1 次印刷
定 价 24.00 元

<http://www.hrbeupress.com>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

《电工常识》是根据我国当前高职高专教学课程内容与课程体系改革的实际,力图在体现高职高专培养目标和改革教学指导思想两方面取得突破。妥善处理典型内容与现代科学成就的关系、先进性与适用性的关系、传授知识与培养学生能力的关系。

本书具有以下特点:

(1) 结合本课程教学内容和课程体系改革的成果,更新教材体系和内容,使之适应现代科技发展和培养 21 世纪人才的需要;

(2) 适当降低理论知识深度,拓宽知识面,加强工程应用知识,以适应大多数专业基础课时减少的趋势;

(3) 本书精选例题、习题,每一节后附有思考题,内容密切结合实际,题量适度,能起到复习、巩固、拓宽知识和加强能力培养的作用。

本书共分六章,分别为电工基础知识、电工工具及仪表应用、磁路与电动机、低压电器及电力拖动常识、船厂常用电气设备介绍、半导体基础知识。本书内容着眼于电工技术的基础性、实用性和先进性,以常用电工基本概念、基本理论、基本分析方法和仪器仪表使用为重点,同时融入电工领域的新技术、新成果,以增强教材的活力和生命力。

本书由渤海船舶职业学院杨庆堂、赵群任主编,辽河石油装备制造总公司吴薇、渤海船舶职业学院陈良任副主编。具体分工如下:杨庆堂编写第三、四章,赵群编写第一、六章,吴薇编写第五章,陈良编写第二章。

由于编者水平、经验有限,书中难免有疏漏之处,恳请相关单位和读者在使用本书过程中将意见和建议及时反馈给我们,以便修订时改进。

编 者
2012 年 6 月

目 录

第一章 电工基础知识	1
第一节 直流电路	1
第二节 正弦交流电路	9
第三节 供电及配电	17
第四节 电工安全用电知识	21
第二章 电工工具及仪表应用	26
第一节 常用电工工具	26
第二节 常用电工仪表使用	30
第三节 导线的连接和绝缘恢复	39
第三章 磁路与电动机	50
第一节 磁路的基本概念与定律	50
第二节 变压器	58
第三节 电动机	66
第四章 低压电器及电力拖动常识	100
第一节 低压电器基础	100
第二节 常用典型电气控制电路	107
第五章 船厂常用电气设备介绍	117
第一节 风扇与电气照明电路	117
第二节 冷水机组电气控制原理	121
第三节 常用机床电气控制	125
第四节 大型船用设备电气控制	137
第六章 半导体基本知识	143
第一节 半导体二极管与整流电路	143
第二节 半导体三极管及放大电路	157
参考文献	170

第一章 电工基础知识

1. 了解直流、交流电路基本知识。
2. 掌握电路中欧姆定律的使用。
3. 了解电的产生与安全使用。
4. 掌握触电急救的常识。

第一节 直流电路

1. 了解直流电路的基本知识。
2. 运用欧姆定律解题。

一、电路

在物理课程中已经学过简单直流电路的分析和计算方法。本节在物理学的基础上进一步研究复杂直流电路,讨论电路的基本物理量、电路的工作状态以及电阻的连接等内容,并以直流电路为例,讨论求解这类电路的基本定律——欧姆定律。

电路就是电流所通过的路径,它是为了某种需要由某些电工设备及元件按一定方式组合起来的一个整体。

电路的一种作用是实现电能的传输与转换,其典型的例子为电力系统。电力系统包括电源、负载和中间环节这三个组成部分,其电路示意图如图 1-1-1(a)所示。

在电力系统中,发电机是电源,是供应电能的设备。不同类型的发电机组,可以把热能、水能、风能或原子能转换为电能。除发电机外,电池也是常用的电源。在电力系统中电灯、电动机、电炉等用电器称为负载,它们是消耗电能的设备。这些不同类型的负载分别将电能转换为光能、机械能和热能等。在电源与负载之间,变压器和输电线以及必要的控制与保护电器构成了电路的中间环节,它们起到传输与分配电能的作用。

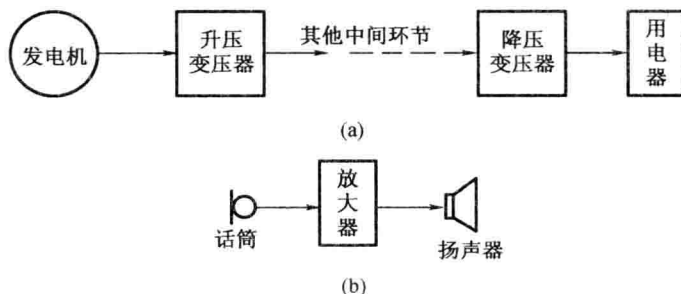


图 1-1-1 电路示意图

(a) 电力系统; (b) 扩音机

电路的另一种作用是传递与处理信号,典型的例子如扩音机,其示意图如图 1-1-1(b)所示。话筒把语言或音乐转换为相应的电压与电流,形成一定的电信号。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,所以中间必须用放大器进行放大。信号的这种转换和放大,称为信号的处理。

在扩音机电路中,话筒是输出信号的设备,称为信号源。信号源相当于电源,但与上面所说的发电机、电池等电源不同,信号源输出的电信号的变化规律是取决于所加的信息的。扬声器是接受和转换信号的设备,称为负载。

随着现代科技的发展,电路日益广泛地应用于信号传递与处理,如视听设备、微机系统、自动控制系统、数控加工设备等都是应用电路来传递与处理信号的比较复杂的例子。

由实际电路元件组成的电路,如电动机、变压器、晶体管以及电阻器和电容器等,由于其电磁性能比较复杂,所以很难进行定量的分析与计算。

为了便于对实际电路进行定量的分析与计算,需要将实际元件作理想化处理,即在一定的条件下突出其主要的电磁特性,忽略其次要因素,把它近似地看作某个理想电路元件或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。所谓理想电路元件是指具有单一的、确定的电磁性能的电路元件,是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、电源元件等。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,见图 1-1-2(a)。

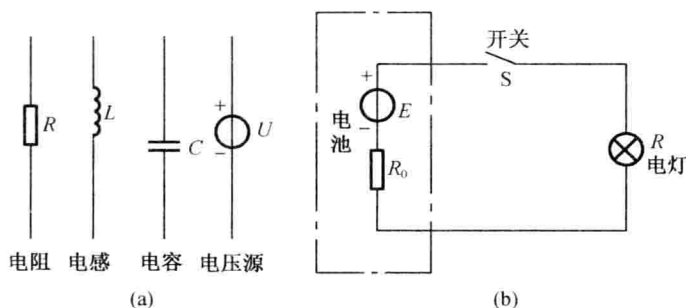


图 1-1-2 理想电路元件和电路模型

(a) 理想电路元件; (b) 电路模型

由理想元件组成的电路,称为电路模型。图 1-1-2(b)是一个最简单的电路模型,灯泡为理想电阻元件 R ,实际电源用电动势 E 和内电阻 R_0 表示,导线和开关组成中间环节,导线视为无电阻的理想导体。本书中以后所分析的电路均为电路模型,简称电路,像图 1-1-2(b)这样用标准图形符号绘制的电路模型称为电路图。

二、电路的基本物理量

1. 电流

电荷有规则的运动称为电流。在金属导体中,电流是自由电子在电场作用下作有规则

地运动形成的。在某些液体或气体中,电流则是正负离子在电场力作用下有规则运动形成的。电流的大小取决于在一定时间内通过导体横截面的电荷量多少,用电流强度来衡量。

若在 t 秒内通过导体横截面的电量是库仑 Q ,则电流强度 I 就可以用下式表示

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

如果在 1 秒内通过导体横截面的电量是 1 库仑,则导体中的电流强度就是 1 安培,简称安,以字母 A 表示。除安培外,常用的电流强度单位还有千安(kA)、毫安(mA)和微安(μ A)。

$$1(\text{kA}) = 10^3(\text{A})$$

$$1(\text{A}) = 10^3(\text{mA})$$

$$1(\text{mA}) = 10^3(\mu\text{A})$$

电流强度简称电流。这样电流这一名词不但表示一种物理现象,而且也代表一个物理量。

电流不但有大小,而且有方向。习惯上规定以正电荷移动的方向为电流方向。在金属导体中,虽然电流实际上是自由电子定向移动形成的,但其效果和等量的正电荷反向流动完全相同,因此电流方向与电子移动方向相反。

2. 电压

电压又称电位差,是衡量电场做功本领大小的物理量。在电路中若电场力将电荷 Q 从 a 点移到 b 点,所做的功为 W_{ab} ,则功 W_{ab} 与电量 Q 的比值就称为该 a, b 两点间的电压,用符号 U_{ab} 表示,其数学式为

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

若电场力将 1 库仑的电荷从 a 点移到 b 点所做的功是 1 焦耳,则 ab 间的电压值是 1 伏特,简称伏(V)。常用的电压单位有千伏(kV)、伏(V)、毫伏(mV)和微伏(μ V)。

$$1(\text{kV}) = 10^3(\text{V})$$

$$1(\text{V}) = 10^3(\text{mV})$$

$$1(\text{mV}) = 10^3(\mu\text{V})$$

电压不但有大小,而且有方向,即有正负。对于负载来说,电流流进端为正,流出端为负。电压的方向由正指向负,常用带箭头的细实线表示电压方向。

3. 电动势与电位

电动势是衡量电源将非电能转换成电能本领的物理量。电动势的定义是:在电源内部,外力将单位正电荷从电源的负极移到电源正极所做的功,以字母 E 表示。若外力将电荷 Q 从负极移到正极所作的功是 W_E ,则电动势的数学式为

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

电动势的单位和电压相同,也是伏特。

电动势的方向规定为在电源内部由负极指向正极。在电路中,用带箭头的细直线表示

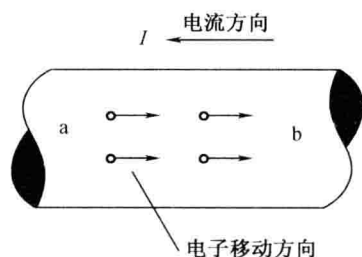


图 1-1-3 电流方向及电子移动方向

电动势的正方向。

对于一个电源来说,既有电动势又有电压,但电动势只存在于电源内部。电源两端的开路电压(不接负载时的电压)等于电源电动势,但两者方向相反。电源两端的电压方向规定为:在电源外部正极指向负极。

电路中某点与参考点间的电压称作该点的电位。通常参考点的电位规定为零电位。电位的符号用字母 V 表示,如 V_A 表示 A 点的电位,单位仍然是伏特。零电位的符号是 ⏏ (表示接大地)或 — (表示电路的公共接点设备的金属外壳接地)。

电路中任意两点间的电位之差,就称为该两点的电位差,常用带双脚标的字母 U 表示,如 U_{AB} 就表示 $V_A - V_B$,即 A, B 两点间的电位差(电压)。

三、电阻元件的连接

1. 导体、绝缘体和电阻

(1) 导体 导电能力强的材料称为导体。常见的导体是金属,如银、铜、铝、铁等。

(2) 绝缘体 电流几乎不能通过的物质称为绝缘体。常用的绝缘材料有橡胶、塑料、树脂、云母、空气等。

(3) 电阻 导体对电流的阻碍作用称为电阻,用字母 R 或 r 表示。其单位是欧姆,简称欧,用字母 Ω 表示。

如果导体两端的电压为 1 V ,通过的电流是 1 A ,则该导体的电阻就是 $1\ \Omega$ 。除欧姆(Ω)外,常用的电阻单位有千欧($\text{k}\Omega$)和兆欧($\text{M}\Omega$)。

$$1(\text{M}\Omega) = 10^3(\text{k}\Omega) = 10^6(\Omega)$$

实验证明,温度一定时导体的电阻与导体的长度 L 成正比,与导体的横截面积 S 成反比,并与导体的材料性质有关,可用下式表示

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

式中 ρ 称作电阻率或电阻系数。电阻率的大小等于长度为 1 米、截面为 1 平方毫米的导体,在一定温度下的电阻值,其单位是欧·米($\Omega \cdot \text{m}$)。

例 用康铜丝绕制 $10\ \Omega$ 的电阻,问需要直径为 1 mm 的康铜丝多少米?

解 由 $L = \frac{RS}{\rho}$, $S = \frac{\pi d^2}{4}$, 康铜丝 $\rho = 5 \times 10^{-7}(\Omega \cdot \text{m})$

$$\text{则 } L = \frac{R\pi d^2}{\rho 4} = \frac{10 \times 3.14 \times (1 \times 10^{-3})^2}{5 \times 10^{-7} \times 4} = 15.7(\text{m})$$

2. 欧姆定律及其应用

(1) 电路和电路图

电流通过的路径称为电路,如图 1-1-4 所示。当合上开关时,因电流流过小灯泡,小灯泡就发光。电池、灯泡、开关和连接导线就构成了一个简单的电路。

用国家统一规定的符号来表示电路连接情况的图叫做电路图。

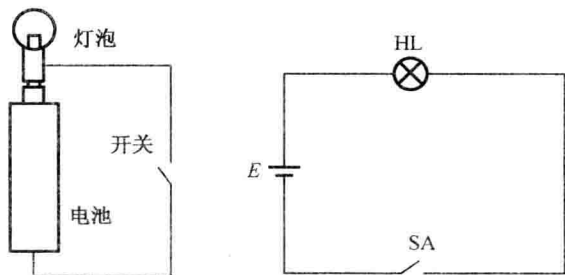


图 1-1-4 简单的电路图

一般电路都是由电源、负载、开关和连接导线四个基本部分组成。

电路常有三种状态:

①通路 指接通的电路。通路也称闭合电路,此时电路里有工作电流。

②开路 指电路中某处断开。开路也称断路,此时电路中无电流。

③短路 指电路被短接,如电源两端用导线连在一起就称短路。短路电流很大,电路一般不允许短路。

(2) 部分电路欧姆定律

流过某一段导体的电流与这段导体两端的电压成正比,与这段导体的电阻成反比,见图 1-1-5,其数学表达式为

$$I = \frac{U}{R}$$

式中 I ——导体中的电流, A;

U ——导体两端的电压, V;

R ——导体的电阻, Ω 。

例 已知某段电路的电压为 2.2 V, 电阻 1.1 Ω , 试求流过该段电路的电流。

$$\text{解 } I = \frac{U}{R} = \frac{2.2}{1.1} = 2 \text{ A}$$

(3) 全电路欧姆定律

全电路是含有电源的闭合电路,如图 1-1-6 所示。虚线框中 E 是电源电动势, r 为电源内阻。全电路中的电流强度与电源电动势成正比,与整个电路的电阻之和成反比,其数学式为

$$I = \frac{E}{R + r}$$

式中 I ——电路中的电流, A;

E ——电源电动势, V;

R ——电路中的电阻, Ω ;

r ——电源内阻, Ω 。

由上式得

$$E = IR + Ir = U_R + U_r$$

式中 U_R ——电路端电压;

U_r ——电源内阻压降。

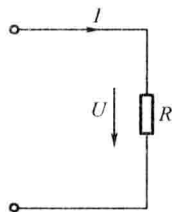


图 1-1-5 部分电路欧姆定律

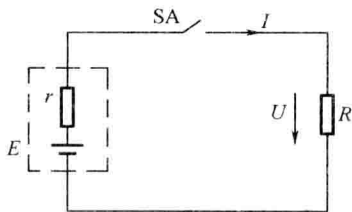


图 1-1-6 全电路欧姆定律

全电路欧姆定律还可叙述为电源电动势在数值上等于闭合电路中各部分电压之和。

3. 电阻的串联、并联及其应用

(1) 电阻的串联及应用

两个或两个以上电阻依次相连,中间无分支的连接方式叫电阻的串联。如图 1-1-7 所示。

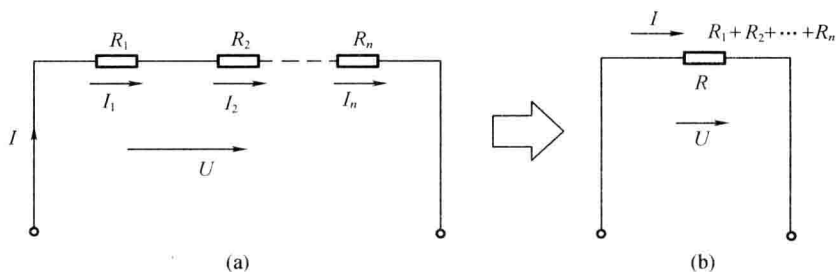


图 1-1-7 电阻的串联

串联电路有以下性质:

- ① 串联电路中流过每个电阻的电流都相等,即 $I = I_1 = I_2 = \cdots = I_n$ 。
- ② 串联电路两端的总电压等于各电阻两端的电压之和,即 $U = U_1 + U_2 + \cdots + U_n$ 。
- ③ 串联电路的等效电阻(即总电阻)等于各串联电阻之和,即 $R = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$ 。

根据欧姆定律 $U_1 = I_1 R_1$, $U_n = I_n R_n$, 已知 $I_1 = I_n$, 则

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

上式表明在串联电路中,电压的分配与电阻成正比。

电阻的串联应用很广泛,在实际工作中常见的有:

- ① 用几个电阻串联来获得较大的电阻。
- ② 采用几个电阻构成分压器,使同一电源能供给几个不同的电压。
- ③ 电焊机上常用两个 36 V 灯泡串联起来接在电焊机的输出端(电焊机的空载输出电压为 70 V 左右)作临时照明用。

(2) 电阻的并联及其应用

两个或两个以上电阻跨接在电路中相同的两点之间称电阻的并联,如图 1-1-8 所示。

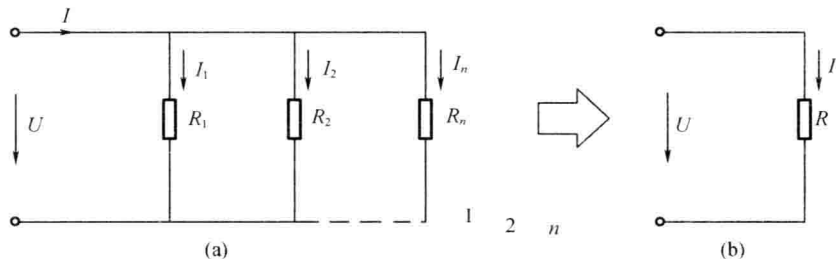


图 1-1-8 电阻的并联

并联电路的性质:

- ① 并联电路中各电阻两端的电压相等, 即 $U_1 = U_2 = \cdots = U_n$ 。
- ② 并联电路中的总电流等于各电阻中的电流之和, 即 $I = I_1 + I_2 + \cdots + I_n$ 。
- ③ 并联电路的等效电阻 (即总电阻) 的倒数等于各并联电阻的倒数之和, 即

$$\frac{1}{R_{\text{总}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}$$

若两个电阻并联, 则

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

根据并联电路的性质 (1) 可得

$$\frac{I_1}{I_n} = \frac{R_n}{R_1}$$

在并联电路中, 电流的分配与电阻成反比。两个电阻并联其分流公式为

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I$$

$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

并联电阻应用也相当广泛, 例如:

- ① 在家庭中, 相同电压的家用电器, 在电路中属并联使用。
- ② 在工厂中, 相同电压的工业设备、电动机等也都是并联使用。
- ③ 在电工产品中, 并联可获得较小的电阻, 如两个 100Ω 的电阻并联后是 50Ω 。

3. 混联电路

实际工作中的电路往往有串联又有并联, 这种电路称为混联电路, 如图 1-1-9 所示。对于混联电路求解等效电阻时, 可将它们划分成许多基本的串、并联电路, 再应用串、并联的计算公式一步一步地进行计算, 就可以求出它的等效电阻。

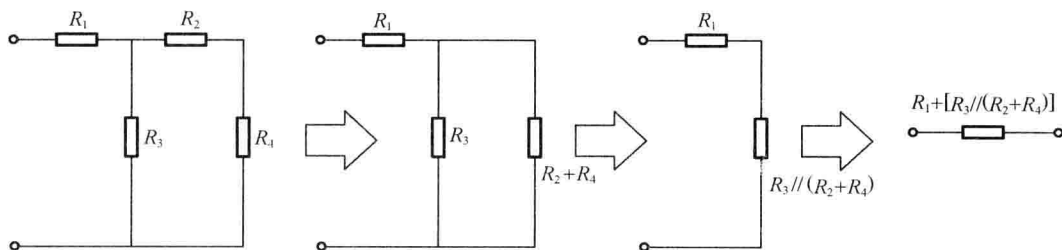


图 1-1-9 混联电路计算变化图

四、电功与电功率

1. 电功

电流流过用电器时电流就做功, 将电能转换成其他形式的能, 如磁、热、机械能等。我们把电流在一段时间内所做的功叫做电功, 用字母 W 表示, 其数学式

$$W = IUt$$

在上式中,若电压为伏特,电流为安培,时间为秒,则电功单位是焦耳,用字母 J 表示。

2. 电功率

电流在一秒钟内作的功称电功率,用字母 P 表示,其数学式为

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

电功率单位是瓦特,用字母 W 表示,常用单位还有千瓦(kW)、毫瓦(mW)。

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

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

根据电功率公式分析:

(1) 当用电器的电阻一定时,电功率与电流的平方和电压的平方成正比。

(2) 当流过用电器的电流一定时,电功率与电阻值成正比。

(3) 当施加在用电器两端电压不变时,电功率与电阻值成反比。

3. 电流的热效应

电流通过导体时使导体发热的现象叫电流的热效应。英国科学家焦耳和俄国科学家楞次分别研究了电流的热效应后,各自提出了相同的实验定律:电流流过导体产生的热量与电流强度的平方、导体的电阻及通电时间成正比。为纪念这两位科学家,就把这个实验定律叫做焦耳-楞次定律,其数学表达式为

$$Q = I^2 R t$$

Q 的单位是焦耳,简称焦,以字母 J 表示。

我们利用了电流的热效应生产了很多用电器,如电炉、电熨斗、电加热器等;又如电焊机低电压大电流焊接钢板。但电流的热效应也有不少弊端,在长距离输电过程中,有大量的电能被消耗在电线的发热上。目前的高电压、小电流输电线就是为了减少输电线上的电能损耗。

4. 负载的额定值

电能转换成热能,但转换成机械能或其他能时却不希望发热,因过度发热会损坏绝缘,比如电机就有一个最高温升值,控制这个温升值当然与电压、电流和功率有关,所以我们制定了一个额定值,每台设备或电机均有额定功率 P_N 、额定电压 U_N 和额定电流 I_N ,电机在长期运行中均不能超过这个额定值。我们把电机超过额定值的情况叫过载,过载会烧坏电机。电机在额定值工作叫满载;电机在低于额定值下工作叫轻载,若长时间负载很轻,即大马拉小车,在经济上不合算。

思考与练习

1. 什么叫电路,它由哪几部分组成,各起什么作用?
2. 什么是电流,它的方向是怎样规定的,电流的方向与金属导体中自由电子移动的方向有什么不同,为什么?
3. 在什么情况下端电压等于电动势、小于电动势、等于零?
4. 一个电池的电动势为 1.5 V,内电阻为 0.3 Ω ,当外电阻 R 在下列情况时求电路中的电流和端电压。(1) $R = 2.7 \Omega$; (2) $R = 0$; (3) $R \rightarrow \infty$ 。
5. 一台水泵电动机,运行时功率为 6 kW,每天工作 8 小时,一个月按 30 天计,共消耗多少电能?

6. 电车上用直流电动机,在 600 V 电压下通过的电流强度是 120 A,运行 1 小时,共做了多少功?

7. 要把一额定电压为 24 V,电阻为 $240\ \Omega$ 的指示灯接到 36 V 电源中使用,应串多大电阻?

8. 求图 1-1-10 中的 I_1 和 I_2 。

9. 求图 1-1-11 中 AB 间的总电阻 R_{AB} 和 R_1 中的电流。

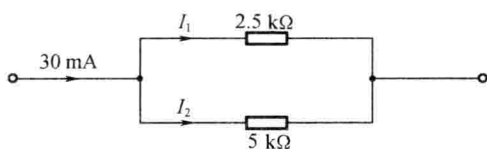


图 1-1-10

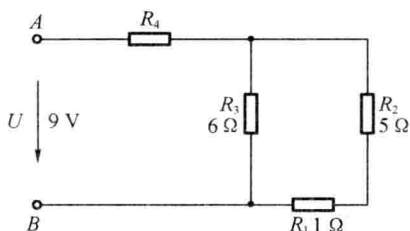


图 1-1-11

第二节 正弦交流电路

1. 了解交流电的产生与基本知识。

2. 利用向量法解释交流电路。

一、交流电的基本概念

交流电是指大小和方向都随时间作周期性变化的电动势(电压或电流)。正弦交流电是指按正弦规律变化的交流电,如图 1-2-1 所示。

交流电有极为广泛的用途,现代工农业生产中几乎所有电能都是以交流形式产生出来的。即使船厂的高架吊车、直流焊机、电镀、船舶通信所需要的直流电也可经过交流整流获得,而且交流电可以使用变压器改变电压和电流,便于远距离输电和向用户提供各种不同的电压。

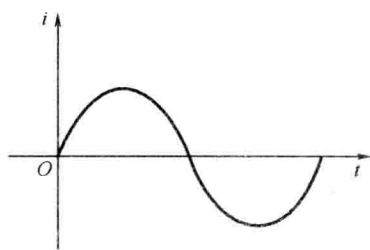


图 1-2-1 正弦交流电波形图

1. 正弦电动势的产生

正弦电动势通常是由交流发电机产生的,图 1-2-2 是交流发电机的示意图。在静止不动的磁极间装有能转动的圆柱形铁芯,铁芯上紧绕着线圈 $abb'a'$,线圈的两端分别连着两个彼此绝缘的铜环 C ,铜环又通过电刷 A, B 与外电路相接。当线圈在磁场中沿逆时针方向旋转时,线圈中就产生感生电动势。为获得正弦交流电,磁极被设计成特殊形状,如图 1-2-2 (b)所示。在磁极中心处磁感应强度最强,在中心两侧磁感应强度按正弦规律逐渐减小,在磁极分界面 OO' 处磁感应强度正好为零。这样不仅铁芯表面的磁感应强度按正弦规律分布,而且磁感应强度的方向总是处处与铁芯表面垂直。

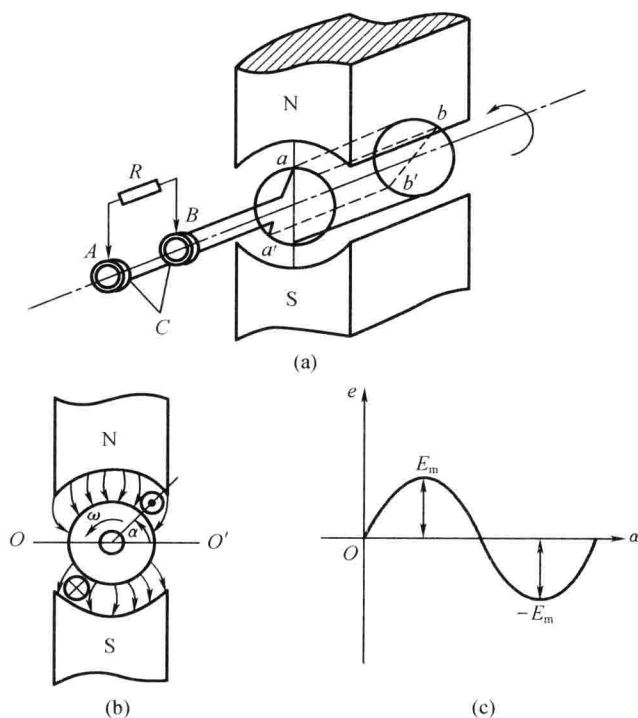


图 1-2-2 正弦交流发电机示意图及正弦交流电动势波形

3. 正弦交流电的基本特征和三要素

(1) 瞬时值 正弦交流电随时间按正弦规律变化, 某时刻的数值不一定和其他时刻的数值相同。我们把任意时刻正弦交流电的数值称为瞬时值, 分别用字母 e , u 和 i 表示。瞬时值有正有负, 也可能为零。

(2) 最大值 即最大的瞬时值(峰值)。正弦交流电动势、电压和电流的最大值分别用字母 E_m , U_m 和 I_m 表示, 数值为绝对值。最大值为正弦交流电的三要素之一。

(3) 有效值 有效值是根据电流热效应来规定的, 让一个交流电流和一个直流电流分别通过阻值相同的电阻, 如果在相同时间内产生的热量相等, 那么就把这一直流电的数值叫做这一交流电的有效值。正弦交流电动势、电压和电流的有效值分别用字母 E , U 和 I 表示, 它与最大值之间的关系: 最大值 $= \sqrt{2}$ 有效值。

(4) 周期、频率和角频率

① 周期 交流电每重复一次所需的时间, 用字母 T 表示, 单位是秒(s)。

② 频率 交流电 1 秒钟内重复的次数, 用字母 f 表示, 单位是赫兹(Hz), $f = \frac{1}{T}$ 。

③ 角频率 交流电在 1 秒钟内变化的电角度, 用 ω 表示, 单位是弧度/秒(rad/s), 角频率与频率的关系为 $\omega = 2\pi f$ 。

上述的周期、频率和角频率都是表示交流电快慢的物理量。三个物理量都是互相关联的。通常把角频率称为正弦交流电的三要素之二。

(5) 初相角 线圈刚开始转动瞬间的相位角称为初相角, 也称初相位或初相, 如图

1-2-3 所示。初相角是正弦交流电的三要素之三。

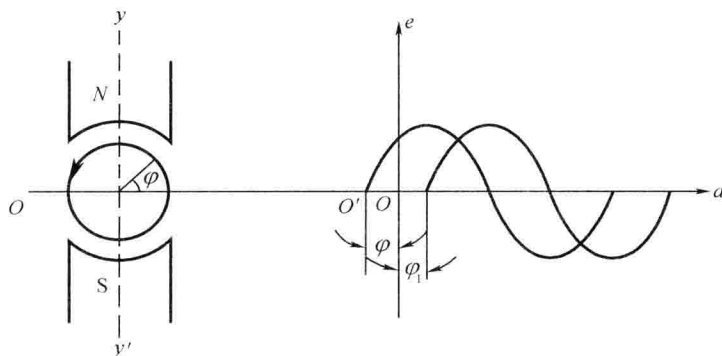


图 1-2-3 初相角示意图

只有当正弦交流电的最大值、角频率和初相角这三个量确定时,正弦交流电才能被确定。也就是说这三个量是正弦交流电必不可少的要素,所以称它为三要素。

4. 正弦交流电的相位差

如图 1-2-4(a) 所示,设线圈 1 和 2 完全相同,它们的平面与中性面的夹角分别为 φ_1 和 φ_2 。当它们同时以角频率 ω 逆时针旋转时,两个线圈中都将产生感生电动势,而且电动势的频率相同,最大值相同,但初相不同,如图 1-2-4(b) 所示的两条曲线,它们起始位置不同。为了比较两个正弦交流电,我们引入相位差的概念。所谓相位差就是两个同频率正弦交流电的相位之差,实际上也就是初相角之差。如果一个正弦交流电比另一个正弦交流电提前达到零值或最大值,则前者叫超前,后者叫滞后。若两个正弦交流电同时达到零值或最大值,并初相角相等,称作同相,如图 1-2-4(a) 所示。若一个正弦交流电达到正的最大值时,另一个正弦交流电达到负的最大值,它们的初相相差 180° ,则称反相,如图 1-2-4(b) 所示。

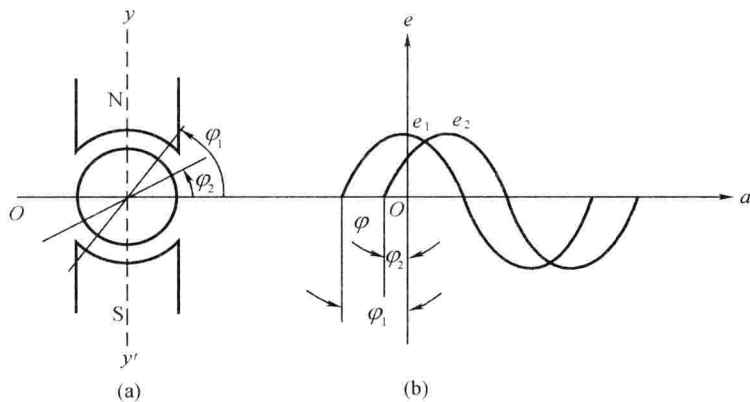


图 1-2-4 相位差示意图

例 已知 $i_1 = 10\sqrt{2}\sin(100\pi t - 90^\circ)\text{A}$, $i_2 = 28.28\sin 100\pi t\text{A}$, 求 i_1 和 i_2 的有效值; i_1 和 i_2 的相位差和时差, 并说明哪个电流超前, 哪个电流滞后。

解 因为已知 $I_{1m} = 10\sqrt{2}\text{A}$ $I_{2m} = 28.28\text{A}$

所以 $I_1 = \frac{I_{1m}}{\sqrt{2}} = \frac{10\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = 10\text{A}$ $I_2 = \frac{I_{2m}}{\sqrt{2}} = \frac{28.28}{\sqrt{2}} = 20\text{A}$

i_1 和 i_2 的相位差为

$$\varphi_{12} = -90^\circ - 0^\circ = -90^\circ$$

i_1 和 i_2 的相时差为

$$t_{12} = \frac{\varphi_{12}}{\omega} = \frac{-\pi/2}{100\pi} = -\frac{1}{200} = -0.005\text{s}$$

计算结果说明 i_1 滞后 i_2 90° , 或者说 i_2 超前 i_1 90° 。 i_1 比 i_2 迟 0.005 s 到达正的幅值。

二、单相交流电

由交流电源、用电器、连接导线和开关等组成的电路称交流电路。若电源中只有一个交变电动势, 则称其为单相交流电路。交流负载一般是电阻、电感和电容或它们的不同组合。

1. 纯电阻电路

由白炽灯、电烙铁、电阻炉或电阻器组成的交流电路都可以看成是纯电阻电路, 如图 1-2-5。在这个电路中, 当外加电压一定时, 影响电流大小的主要因素是电阻 R 。通过矢量图看出, 电流与电压是同相的。当然交流电是瞬变的, 我们可以用电压与电流的有效值欧姆定律进行数量上的计算。

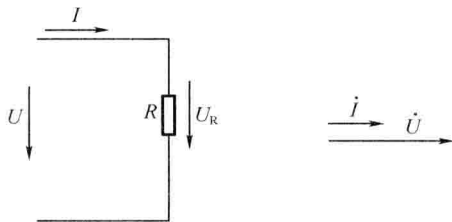


图 1-2-5 纯电阻电路及矢量图

电压与电流有效值的乘积称作负载 R 上的有功功率

$$P = U_R I = I^2 R = \frac{U_R^2}{R}$$

式中 P ——有功功率, W;

U_R ——加在电阻两端的交流电压有效值, V;

I ——过电阻的交流电流有效值, A;

R ——用电器的电阻值, Ω 。

例 已知白炽灯工作时的电阻为 $484\ \Omega$, 其两端的电压有效值为 220V , 求: (1) 电流有效值; (2) 有功功率。

解

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{484} = \frac{5}{11}\text{A}$$

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{220 \times 220}{484} = 100\text{W}$$

2. 纯电感电路

当电流流过线圈时将产生自感电动势来阻碍电流的变化, 则线圈中的电流变化总滞后