



OCCUPATION SKILL


力言◎编著

现代电工 实用技术

专业、实用的电工技术手册

XIANDAI DIANGONG SHIYONGJISHU

用新技术、新方法、新工具解决现代电工技术问题。

 中国农业出版社



OCCUPATION

力言◎编著

现代电工 实用技术

XIANDAI DIANGONG SHIYONGJISHU

用新技术、新方法、新工具解决现代电工技术问题。

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

现代电工实用技术 / 力言编著. —北京: 中国农业出版社, 2014. 12

ISBN 978-7-109-20064-7

I. ①现… II. ①力… III. ①电工技术-基本知识
IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 006082 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)

(邮政编码 100125)

策划编辑 刘 玮 黄向阳

文字编辑 李兴旺

北京万友印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所发行

2016 年 9 月第 1 版 2016 年 9 月北京第 1 次印刷

开本: 910mm×1280mm 1/32 印张: 7

字数: 200 千字

定价: 26.80 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

Preface

前 言

现在，各行各业、日常生活中的用电设备和电气产品日新月异，层出不穷。与此同时，电工新技术、新工艺、新方法、新产品、新技能也在不断更新换代和提升，电工的队伍也在日益壮大。为了让广大电工对这些新变化更快、更好地适应，加强和提高专业技术水平，我们编写了《现代电工实用技术》这本书。

本书的内容是根据广大电工的实际应用和需要而编写的，主要介绍了电工实用知识和操作技术，具体包括电工基础知识、电工材料的选择和使用、常用电工仪表与测量、常用电子元器件、电工设备、常用配电线路、照明、安全用电等。本书内容丰富，简明实用，可操作性强，通俗易懂，并且还注意内容的先进性，如书中介绍的电工产品大多是经过国家有关部门鉴定的新产品。

在编写形式方面，本书尽量采用多插图立体化、多数据表格化的形式。这样，读者既可以形象地感知和理解内容，从而很快地掌握内容，又可以很方便地查找内容。

总之，本书以实际应用为宗旨，可操作性强，内容全面、新颖，

非常适合广大电工和电工爱好者阅读和使用，也可作为电工上岗培训教材。

虽然在本书编写过程中参阅了大量的资料和文献，但由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，欢迎广大读者批评指正。

本书在编写过程中，得到了许多同行专家的指导和帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，得到了许多同行专家的指导和帮助，在此表示衷心的感谢。

中国电力出版社 (2010) 年 04 月 01 日

本书共分 10 章，第 1 章为绪论，第 2 章为电工基础知识，第 3 章为安全用电，第 4 章为常用低压电器，第 5 章为三相异步电动机，第 6 章为继电接触器控制，第 7 章为可编程序控制器，第 8 章为变频器，第 9 章为直流调速，第 10 章为电力电子技术。本书可作为职业院校、培训机构、企业培训教材，也可供从事电工工作的工程技术人员参考。

Contents



■前 言	
■第一章 电工基础知识	1
第一节 电与电路	1
第二节 电工常用计算公式和计量单位	6
第三节 常用电气符号	24
第四节 电工工具与使用	37
■第二章 电工材料的选择和使用	44
第一节 导电材料	44
第二节 绝缘材料	46
■第三章 常用电工仪表与测量	51
第一节 常用电工仪表基础知识	51
第二节 电流表与电压表	55
第三节 功率表	57
第四节 万用表	59
第五节 电能表	62
第六节 绝缘电阻表	63

■第四章	常用电子元器件	66
第一节	电阻器	66
第二节	电容器	69
第三节	电感器	74
第四节	二极管	76
第五节	晶体三极管	78
■第五章	电工设备	81
第一节	常用低压电器	81
第二节	电动机	100
第三节	变压器	111
■第六章	常用配电线路	118
第一节	导线的连接	118
第二节	室内配线	124
第三节	低压架空线路	131
第四节	电缆线路的敷设	140
第五节	地理线路	155
■第七章	照明	159
第一节	常用电光源	159
第二节	电气装置件	178
第三节	照明装置故障的处理	181
■第八章	安全用电	188
第一节	电工安全作业基本要求	188
第二节	触电与急救	203
第三节	接地与接零	207
第四节	雷电的防护	216

第一章 电工基础知识

第一节 电与电路

电是什么？电流是什么？电路是什么？这类问题是每一个电工都必须知道并且需要牢牢掌握的入门知识。

一、电

(一) 电流

1. 电流的形成和特点

电流是电荷有规则地定向运动形成的。在金属导体中，自由电子有规则地定向运动，就会形成电流；在一些气体和液体导体中，正离子和负离子有规则地定向运动也会形成电流。

电流有时是恒定的，有时也会随着时间变化。据此，电流可分为恒定电流和交流电流两种。恒定电流又简称为直流，它是大小和方向都不随时间变化的电流，用 I 表示。与之相对，交流电流是指大小和方向都随时间变化的电流，用 i 表示。

2. 电流的单位

国际单位制中，电流的单位是 A（安培，简称安）。除此之外，常用的电流单位还有很多，如 kA（千安）、mA（毫安）和 μA （微

安)等。它们之间的关系是： $1\text{kA} = 1\,000\text{A}$ ， $1\text{A} = 1\,000\text{mA}$ ， $1\text{mA} = 1\,000\mu\text{A}$ 。

我们还应该知道一些与电流相关的国际单位，如电荷的单位是库仑，简称库，用C表示；时间的单位是秒，用s表示。

3. 电流的大小和方向

通过测量单位时间内通过导体截面的电荷量，可以知道电流的大小。例如，在1s内，如果有1C电荷量通过导体截面，那么，称在该导体中通过的电流为1A。

一般来讲，电流的实际方向就是正电荷定向移动的方向。

(二) 电路

1. 电路的形成

电路就是电流所经过的路径。电路是由电源、导线、负载这三个基本部分组成的。图1.1所示是一个简单的白炽灯电路。在图1.1中，电源是干电池，它将化学能转变成电能。负载是白炽灯，可以用来将电能转变成热能和光能。控制元件是开关，电路的接通与断开都是由它控制的。另外，连接导线用来传输电能，它和连接导线一起被称为中间环节。

2. 电路的功能

(1) 实现能量产生、传输与分配

电力系统的输电线路是最典型的例子。在电力电路中，发电厂会将不同形式的能量，如热能、光能、原子能或水的势能等转变成电能；负载则会将电能转变为光能、热能或机械能等；中间环节，如高低压输电线路、变压器，会控制、传输和分配电能，同时保护电路中的电器设备。

(2) 实现信息传递与处理

在这类电路中，电源可以提供的能量是非常有限的，一般情况下，它用作信号，被称为信号源或激励；各种终端设备，如收音机的扬声器、电话系统的电话机等，会起负载作用。这类电路要传递的是

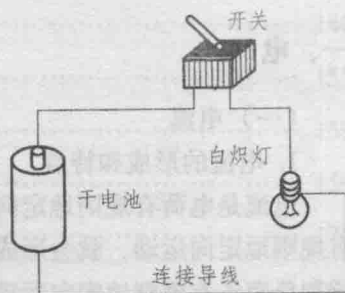


图 1.1 白炽灯电路

各种信息，其中，电路的输出信号又被称为响应。这类电路往往都有比较复杂的中间环节，主要起的是信号的处理、控制、放大和传输等作用。

3. 电路模型

一般情况下，电路的分析与计算十分不便，因为构成电路的设备、元器件以及导线的电磁性质都是比较复杂的，另外，按照实物绘制电路也十分烦琐。因此，为了方便分析电路，有时，实际器件的次要因素往往都会被忽略，同时按主要的因素将它理想化，以得到一系列的理想化元件，也可称之为模型。

图 1.2 所示的是图 1.1 的电路模型。在图 1.2 中，干电池的电动势用理想电压源 E 表示，电池的内阻用 R_0 表示，白炽灯泡用 R_L 表示，开关用 S 表示，理想导线是连接元件的细实线。

(三) 电位和电压

在电路或静电场中，在电场力的作用下，单位正电荷从无穷远（零电位）向某点电场力移动的过程中所做的功，就是该点的电位。如果电路两点间的电位不一样，那么，这两个电位的差值就被称为电路两点的电压。

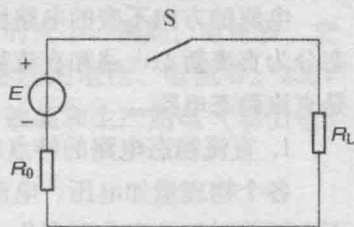


图 1.2 白炽灯电路模型

伏特是电压的单位，简称为伏，用 V 来表示，电压的量用符号 U 来表示。

(四) 电动势

电源是电荷在电路中运动动力的来源。低电位是电源的负极，高电位是正极，电源会通过电源内部，从低电位把电荷向高电位搬运。电源的电动势就是反映电源搬运电荷能力的物理量。电动势的单位与电位和电压一样也是伏， E 是电动势的量的符号。

(五) 电阻

电荷在物体中运动所受到的阻力称为电阻，它是物质本身所具有的导电特性。

1. 电阻的分类

自然界的物质按导电特性可以分为以下几类：第一类为各类金属

等易导电的导体；第二类为塑料、橡胶、木材等不容易导电的绝缘体；第三类为硅、锗等介于以上两者之间的半导体。

2. 电阻的单位

电阻的单位是欧姆，简称为欧（ Ω ），电阻的量的符号是 R 。另外，电阻还有一些其他的单位，如千欧（ $k\Omega$ ）、兆欧（ $M\Omega$ ）。它们之间的关系是 $1k\Omega=1\ 000\Omega$ ， $1M\Omega=1\ 000\ 000\Omega$ 。

3. 电阻的特点

一般情况下，温度越高，金属导体的电阻值越大。

二、直流电路和交流电路

（一）直流电路

电流的方向不变的电路称为直流电路。直流电路可以按照工作状态分为直流暂态电路和直流稳态电路。我们平时所说的直流电路指的是直流稳态电路。

1. 直流稳态电路的特点和组成

各个物理量如电压、电流等，在直流稳态电路中的大小、方向都不会随着时间的变化而变化，而是始终在稳定状态下工作。一般情况下，直流电源和电阻器是组成直流稳态电路的必要部分。

2. 直流暂态电路的特点和组成

在直流暂态电路中，随着时间的变化，各个物理量的大小也会发生变化，但是方向不会改变，而是工作在由一种稳态过渡到另一种稳态的状态。直流暂态电路除了包含直流稳态电路必要的电阻器、直流电源外，还包含电容器或电感器。

3. 直流电源

在生活生产中，常用到的直流电源主要有蓄电池、干电池、直流发电动机和电子整流电源等。

（二）交流电路

由周期性交变电源激励的、处于稳态的线性时不变的电路称为交流电路。交流电路的应用是十分广泛的，通常主要有三相交流电路和正弦交流电路等。

1. 正弦交流电路

正弦交流电路又称单相交流电路，它由两条电源线将电源与负载连起来。正弦交流电路广泛运用于生产、生活、科研等领域。正弦交流电有以下三个要素：

(1) 瞬时值

瞬时值是指正弦交流电在某一时刻的值，其特点是时间变化，瞬时值也会随之而变化。瞬时值一般用小写字母表示，如 u 、 i 等。

(2) 最大值

最大值是瞬时值中数值最大的值，又被称为幅值、峰值，一般用大写字母加下标 m 来表示最大值，如 U_m 、 I_m 等。

(3) 有效值

有效值指按照电流的热效应把正弦交流电折算成直流电后的大小。我们通常用有效值来描述正弦交流电的大小。例如，电流表、交流电压表的读数和交流电气设备铭牌上标注的电压、电流等。220V 和 380V 分别指生活用电（民用电）的有效值和生产用电（动力电）的有效值。

2. 三相交流电路

三相交流电路广泛应用于实际的电力系统，其特点是按照一定的连接方式，由三个幅值、频率相同，且相位互差 120° 的三相交流电源给负载供电。

三相交流电路和单相交流电路相比，有以下几点优越性：

(1) 在相同的输送功率、距离、电压和线路损耗下，三相输电线路可以节省大量的输电成本与有色金属，其用铜量约占单相输电线路的 $3/4$ 。

(2) 三相交流发电机比相同容量的单相交流发电机体积小、重量轻、成本低。

(3) 三相变压器不仅比单相变压器更经济，而且有两种输出电压，既可以连接三相负载，又可以连接单相负载。

(4) 较之单相交流电路，三相电源适合为三相电动机供电，因为它产生旋转磁场更容易。而且，三相电动机比相同容量的单相电动机结构简单，工作可靠，价格低廉，性能良好，运行平稳，效率高。

第二节 电工常用计算公式和计量单位

一、交流电路常用计算公式

交流电路常用计算公式见表 1.1。

表 1.1 交流电路常用计算公式

名称	定义	公式	备注
周期	交流电完成一次周期性变化所需的时间称为周期,用英文字母 T 表示	$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$	
频率	单位时间(1s)内交电流变化所完成的循环(或周期)称为频率,用英文字母 f 表示	$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$	T ——周期,单位为秒(s) f ——频率,单位为赫兹,简称赫(Hz) ω ——角频率,单位为弧度/秒(rad/s)
角频率	角频率相当于一种角速度,它表示了交流电每秒变化的弧度数,角频率用希腊字母 ω 表示	$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$	

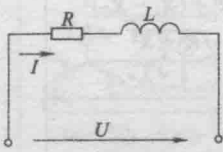
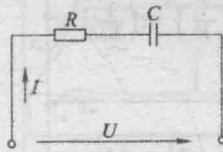
(续)

名称	定义	公式	备注
瞬时值	正弦交流电的数值是不断变化的,在任一瞬间的数值就称为瞬时值,一般用小写字母表示	$i = I_{\max} \sin(\omega t + \varphi)$ $u = U_{\max} \sin(\omega t + \varphi)$ $e = E_{\max} \sin(\omega t + \varphi)$	i ——电流瞬时值,单位为安(A) u ——电压瞬时值,单位为伏(V) e ——电动势瞬时值,单位为伏(V)
最大值	在正弦交流电的瞬时值中的最大值(或振幅)称为正弦交流电的最大值或振幅值,用大写字母并在右下角注max表示	$I_{\max} = \sqrt{2}I = 1.414I$ $U_{\max} = \sqrt{2}U = 1.414U$ $E_{\max} = \sqrt{2}E = 1.414E$	I_{\max} ——电流最大值(A) U_{\max} ——电压最大值(V) E_{\max} ——电动势最大值(V) I ——电流有效值(A) U ——电压有效值(V) E ——电动势有效值(V)
有效值	在两个相同的电阻器中,分别通以直流电和交流电。经过同一时间,如果它们在电阻器上所产生的热量相等,那么就把此直流电的大小定为此交流电的有效值。正弦交流电的有效值等于它的最大值的0.707倍。有效值用大写字母表示	$I = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} = 0.707I_{\max}$ $U = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} = 0.707U_{\max}$ $E = \frac{E_{\max}}{\sqrt{2}} = 0.707E_{\max}$	ω ——角频率,单位为弧度/秒(rad/s) t ——时间,单位为秒(s) φ ——初相位或初相角,简称初相,单位为弧度(rad),在电工学中,用度($^{\circ}$)作为相位的单位,1rad=57.2958 $^{\circ}$

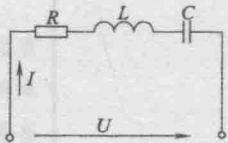
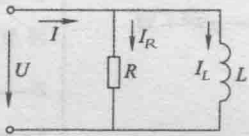
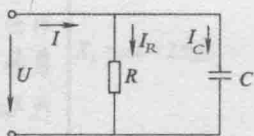
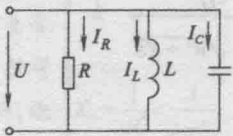
(续)

名称	定义	公式	备注
阻抗	当交流电流流过具有电阻、电容、电感的电路时,电阻、电容、电感三者具有阻碍电流流过的作用,这种作用称为阻抗,用英文字母 Z 表示。阻抗是电压有效值和电流有效值的比值	$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \frac{U}{I}$	<p>U——阻抗两端的电压,单位为伏(V)</p> <p>I——电路中的电流,单位为安(A)</p> <p>Z——电路中的阻抗,单位为欧(Ω)</p> <p>R——电阻,单位为欧(Ω)</p>
感抗	交流电通过具有电感线圈的电路时,电感有阻碍交流电通过的作用,这种阻碍作用称为感抗,用英文字母 X_L 表示	$X_L = \omega L = 2\pi fL$	<p>X_L——感抗,单位为欧(Ω)</p> <p>X_C——容抗,单位为欧(Ω)</p> <p>ω——角频率,单位为弧度/秒(rad/s)</p> <p>f——频率,单位为赫(Hz)</p> <p>L——电感,单位为亨利,简称亨(H)</p>
容抗	交流电通过具有电容的电路时,电容有阻碍交流电通过的作用,这种阻碍作用称为容抗,用英文字母 X_C 表示	$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$	<p>C——电容,单位为法拉,简称法(F)</p>

(续)

名称	定义	公式	备注
电阻、电感串联的阻抗		 $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$	<p>Z——阻抗,单位为欧(Ω)</p> <p>R——电阻,单位为欧(Ω)</p> <p>X_L——感抗,单位为欧(Ω)</p> <p>X_C——容抗,单位为欧(Ω)</p>
电阻、电容串联的阻抗		 $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$	<p>X——电抗,单位为欧(Ω)</p> <p>$X = X_L - X_C$</p> <p>当 $X_L > X_C$ 时,电路呈电感性</p> <p>当 $X_L < X_C$ 时,电路呈电容性</p>

(续)

名称	定义	公式	备注
电阻、电感、电容串联的阻抗		 $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ $= \sqrt{R^2 + X^2}$	
电阻、电感并联的阻抗		 $\frac{1}{Z} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L}\right)^2}$	<p>Z——阻抗,单位为欧(Ω)</p> <p>R——I电阻,单位为欧(Ω)</p> <p>X_L——感抗,单位为欧(Ω)</p> <p>X_C——容抗,单位为欧(Ω)</p> <p>X——电抗,单位为欧(Ω)</p> <p>$X = X_L - X_C$</p> <p>当 $X_L > X_C$ 时,电路呈电感性</p> <p>当 $X_L < X_C$ 时,电路呈电容性</p>
电阻、电容并联的阻抗		 $\frac{1}{Z} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_C}\right)^2}$	
电阻、电感、电容并联的阻抗		 $\frac{1}{Z} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L - X_C}\right)^2}$ $= \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X}\right)^2}$	