

# 电工及电子技术手册

朱承高 主编

## 内 容 简 介

《电工及电子技术手册》包括电工及电子技术的基础知识,常用电工材料、电机、电器技术数据,低压供电、照明及安全用电,常用电子元件及半导体器件(包括集成电路),常用电工仪表、仪器及电子仪器等五大部分。既有电工技术及电子技术主要原理的扼要介绍及基本计算公式,又收集了大量的产品技术数据及产品性能介绍,辑录了大量电子元件、晶体管、中小规模数字集成电路与模拟集成电路的应用数据及外引线排列。在数据资料中,既包含了目前大量应用的成熟产品及材料,又介绍了最近发展的系列产品,特别是完整的Y系列(包括派生)新型异步电动机及各种符合国际标准的新型低压电器,以及大部分TTL、CMOS集成电路的国家标准新产品。在编写中力求在有限的篇幅中收入尽可能丰富的内容,文字力求简要,通俗易懂。

本手册有宽广的适用面,既是工程技术人员使用的一本良好的综合性设计工具书,又是高等学校及中等专业学校师生用的有关电工技术及电子技术的教学参考书,读者在理论概念及实用知识方面都会得到不少收益。

本书责任编辑 刘秉仁

## 电工及电子技术手册

朱承高 主编

高等教育出版社出版  
新华书店北京发行所发行  
北京印刷二厂印装

开本787×1092 1/16 印张46.5 字数1 530 000

1990年6月第1版 1990年6月第1次印刷

印数 00001—6 420

ISBN 7-04-001101-8/TM·111

定价18.85元

## 前 言

为了配合“电工技术”及“电子技术”课程的教学，我们收集了国内的一部分主要电工及电子产品资料及标准，编写了这本《电工及电子技术手册》。

本手册资料搜集面较广，不仅包括一般工程设计时所需的数据、资料，而且还包括“电工技术”及“电子技术”的主要内容及一些适当加深、加宽的内容，可以使读者在理论概念及实际适用二方面得到收益。所以本手册既可供高等学校及中等专业学校的电工教师参考，又可作为高等学校及中等专业学校学生的“电工技术”及“电子技术”课程（或“电工学”课程）的教学参考书，不仅在学习期间，而且在毕业设计以至在今后工作中均有一定的参考价值。对于工程技术人员来说，本手册也是一本良好的设计工具书；除供一般工程设计使用外，手册中所列的电工基本理论知识还可以起复习、备查、提示的作用，当需要进一步详细了解专业内容时，本手册可以起到启发和引导的作用。因此，在编写中力求简单明瞭，突出重点，通俗易懂，在有限的篇幅中力求包含较多的内容，以适应各方面读者的需要。

本手册包括电工及电子技术的基础知识，常用电工材料、电机、电器技术数据，供电、照明及安全用电，常用电子元件及半导体器件，常用电工仪表、仪器及电子仪器等五大部分，分列为五篇。在电工及电子技术的基础知识篇中包括电路、电机、电子技术（模拟和数字）三部分的有关定理、计算公式、电路分析。叙述中力求简明扼要，并保持必要的系统性。在常用电工材料、电机、电器篇中包括主要的导电、绝缘、磁性材料性能数据，国内主要系列小容量交、直流电机及微型电机性能数据，以及常用的交、直流控制电器型号、数据与典型控制电路，能够满足一般选用的需要。在供电、照明及安全用电篇中简要地介绍了这三方面的基本知识，列入了一些必要的规程及计算数据，并介绍了一些主要型号低压供电设备、照明灯具的技术数据。在常用电子元、器件篇中，辑录了电阻器、电位器、电容器、继电器、接插件、晶体管、硅可控器件、电子管、光电器件、显示器件等主要系列的技术数据，以及国内主要的集成电路技术资料，但由于电子元、器件种类繁多而且发展甚快，手册中仅能反映其主要方面。在电工仪表、电子仪器篇中，编入了国内典型的电工仪表、电工仪器、通用低频电子仪器的型号和主要技术数据，基本上满足一般选用的需要。

本手册所选产品资料及技术数据力求新颖，以反映我国当前产品更新换代、技术条件靠拢国际标准的新形势，其中包括完整的Y系列交流异步电动机（基本系列、派生系列、专用系列），Z4系列直流电动机，国际CT、CH、CC系列的TTL、HTL、CMOS数字集成电路以及其它已经更新了的电机、控制电器、电子元件、半导体器件、电工仪表、电子仪器等。同时也列入了在国内应用时间较长、影响面较大、使用效果较好、且有代表性的电机、电器及电子产品，摘录了部分国家标准、部颁标准和规程。

本手册中对所选的电工、电子产品一般均有必要的说明，以帮助有关工程技术人员了解其性能，并作为选用时的参考。由于篇幅的限制，本手册仅列入产品的电气性能，而产品的机械性能、外形、结构尺寸、安装尺寸一概从略。

本手册电工及电子技术基础知识篇主要是依据大连工学院电工学教研室蒋德川主编的《电工学》，以及哈尔滨工业大学电工学教研室秦曾煌主编的《电工学》的内容编写的，另外还参考了邱关源主编的《电路》、章名涛主编的《电机学》、童诗白主编的《模拟电子技术基础》及阎石主编的《数字电子技术基础》等高等学校教材。以上教材除《电机学》外，均为高等教育出版社出版。另外，在其他各篇章中的技术数据及产品资料，则分别参考了上海科技出版社出版的《电工手册》、机械工业出版社出版的《简明电工手册》以及《电机工程手册》，还有机械工业部所编的电工仪表、电线电缆、交流电动机、直流电动机、控制用微电机、低压控制电器等电工产品样本或产品目录，电子工业部所编的标准元器件手册、半导体分立器件性能汇编、半导体集成电路性能汇编以及有关国家标准及电子工业部标准（TTL电路系列和品种、HTL电路系列和品种、CMOS电路系列和品种、集成运算放大器系列和品种）等资料，同时还参考了不少工厂企业向我们提供的产品样本、实物照片等资料，在此谨向这些单位致以衷心的感谢。

本手册由朱承高同志主编，参加编写的有许鸿量、金雪虹、王世德、陈钧娴、田惠卿、朱承高等同志，在编写过程中承孙文卿同志审阅了部分原稿，任朝胜同志协助整理和校对插图，另外还得到了本教研组其他同志的关心和帮助。

手册初稿完成后，请哈尔滨工业大学电工学教研室刘祥文、丁继盛老师审阅，承二位老师提出了许多宝贵意见，纠正了不少不妥之处，使手册的质量得以进一步提高，谨在此表示衷心感谢。

由于我们初次编写手册，缺乏经验，加上水平和实践经验有限，在取材、编纂、文字润色等方面必定存在着许多缺点和错误，谨望使用本手册的读者批评指正。

编 者

1987年11月

# 目 录

## 第一篇 电工及电子技术基础知识

<b>第一章 电路和磁路</b> .....	( 1 )
1-1 电路计算的基本定理及计算方法 .....	( 1 )
欧姆定律(1) 基尔霍夫定律(1) 焦耳-楞次定律(2) 线性直流电路的计算方法(2)	
1-2 电路元件的性质 .....	( 5 )
线性电路元件及电路参数的计算(5) 受控电压源和受控电流源(11) 非线性电阻电路(11)	
1-3 正弦交流电路稳态分析 .....	( 12 )
表征正弦交流电量的三要素(12) 正弦交流电量的表示法(13) 纯电阻、纯电感、纯电容电路(13) <i>RLC</i> 串联电路和并联电路(14) 双口网络(16) 网络的频率响应(20) 非正弦周期电压与电流(24)	
1-4 三相交流电路 .....	( 27 )
对称三相电源(27) 三相负载的联接(28)	
1-5 电路的时域响应分析 .....	( 30 )
<i>RC</i> 电路的阶跃响应与脉冲响应(30) <i>RC</i> 微分、积分电路(31) <i>RL</i> 电路的阶跃响应(32) <i>RLC</i> 电路的阶跃响应(32) 拉普拉斯变换(33) 电路方程的运算形式(35)	
1-6 磁路 .....	( 36 )
磁场的基本物理量和基本定律(36) 铁磁材料的导磁性能(38) 磁路(39) 电磁铁吸力(40)	
<b>第二章 变压器及电机</b> .....	( 42 )
2-1 变压器 .....	( 42 )
原副边的电压、电流、功率、阻抗关系(42) 变压器的基本平衡关系、矢量图和等效电路(43) 变压器的外特性(45) 变压器绕组的极性判别(45) 三相变压器的联接(45)	
附录：小容量电源变压器的计算 .....	( 46 )
电源变压器主要结构的计算(46) 简单查表算法(47) 小功率整流变压器计算(48)	
2-2 异步电动机 .....	( 50 )
异步电动机作用原理(50) 异步电动机的分析方法(51) 异步电动机的机械特性(53) 异步电动机的使用(54) 单相异步电动机(55)	
2-3 直流电机 .....	( 56 )
直流电机的电动势及转矩(57) 直流发电机电压建立条件及外特性(57) 直流电动机(60) 直流电动机的使用(60)	
2-4 电动机的选择与容量计算 .....	( 62 )
类型选择(62) 交、直流电动机的选择(62) 电动机容量选择(62)	
<b>第三章 电子技术基础</b> .....	( 65 )
3-1 晶体二极管及整流电路 .....	( 65 )

	晶体二极管(65) 整流电路(66) 滤波电路(71) 稳压管及其稳压电路(71)	
3-2	晶体三极管及基本放大电路 .....	( 72 )
	晶体三极管(72) 放大器的组成和指标(76) 常用偏置电路及静态工作点的计算(76)	
	单管共射放大电路的分析方法(78) 放大器的耦合与频率响应(80) 负反馈(81) 功率	
	放大器(84) 直流差动放大器及串联式稳压电路(86)	
3-3	运算放大器 .....	( 92 )
	运算放大器的基本接法(92) 集成运算放大器的组成及主要参数(92) 运算放大器的典型	
	电路(94) 运算放大器的应用问题(96)	
3-4	场效应管放大电路 .....	( 97 )
	场效应管的类型、特性及主要参数(97) 场效应管放大电路(99)	
3-5	正弦波振荡器 .....	( 101 )
	正反馈放大器及其自激振荡条件(101) <i>LC</i> 正弦波振荡器(101) <i>RC</i> 正弦波振荡器(102)	
3-6	可控硅及其应用 .....	( 103 )
	可控硅的特性(103) 主要参数(104) 单相可控整流电路(105) 可控硅的保护(106)	
	单结晶体管及其触发电路(109)	
3-7	脉冲电路 .....	( 111 )
	脉冲的波形及主要参数(111) 脉冲单元电路(113) 由集成运算放大器构成的脉冲电路(115)	
3-8	数字电路 .....	( 116 )
	基本逻辑门(116) 布尔代数及逻辑运算(116) 卡诺图化简法(119) 集成逻辑门电路(122)	
	触发器(124) 电平转换电路(127) 由与非门构成的单稳态触发器、多谐振荡器和施密特触	
	发器(127)	

## 第二篇 常用电工材料、电机、电器技术数据

<b>第四章</b>	<b>电工材料</b> .....	( 129 )
4-1	导电材料 .....	( 129 )
	导电金属及电阻合金材料(调节元件用、精密电阻用、高电阻率、电热用电阻合金)(129)	
	电磁线(漆包线、纤维绕包线、扁线)及线规(132) 通用低压电线、电缆(橡皮、塑料)(142)	
4-2	绝缘材料 .....	( 146 )
	绝缘纤维制品(146) 绝缘漆(146) 电工用薄膜、复合材料和粘带(147) 层压制品(147)	
4-3	磁性材料 .....	( 156 )
	磁性材料的基本性能(156) 软磁材料(158) 永磁材料(165)	
<b>第五章</b>	<b>电机</b> .....	( 168 )
5-1	变压器 .....	( 168 )
	变压器的铭牌数据说明(168) 低压配用电力变压器(168) 接触式调压变压器(168) 特	
	种变压器(171) 控制变压器(175) 仪用互感器(176)	
5-2	三相交流异步电动机 .....	( 178 )
	三相异步电动机的型号、结构和用途(178) 小型三相鼠笼式异步电动机(J2、JO2、JO3系列)	
	的技术数据(182) 小型三相绕线式异步电动机(JR、JR2、JRO2系列)的技术数据(188)	
	专用三相异步电动机(JAO2、JZ2、JZR2系列)的技术数据(190) 特殊性能三相异步电动机	
	(JHO2、JQO2、JDO2系列)的技术数据(192) 可连续无级调速的三相异步电动机(JZS2、	
	JZT2、JZTT系列)的技术数据(197) Y系列小型异步电动机(特点、性能及用途(199)	

Y 系列小型三相鼠龙式异步电动机(IP44全封闭式、IP23防护式)的技术数据(204)	YR 系	
列绕线式转子三相异步电动机(208)	YX 系	
列三相双速、三速、四速异步电动机(211)	YCT 系	
列电磁调速异步电动机(215)	YH 系	
列高转差率异步电动机(216)	YZC 系	
列低振动低噪声异步电动机噪声、振动限值(217)	YLB 系	
列立式深井泵用三相异步电动机(218)	YCJ 系	
列齿轮减速电动机(219)	YEJ 系	
列电磁制动异步电动机(221)	YEP 系	
列旁磁制动异步电动机(221)	YZ 系	
列及 YZR 系起重及冶金用三相异步电动机的技术数据		
5-3 直流电机 .....		(223)
Z <sub>2</sub> 及 Z <sub>2</sub> C 系列并励直流电动机、复励直流发电机、并励直流调压发电机的规格和型号(224)		
Z <sub>3</sub> 系列并励直流电动机、他励直流发电机的规格和型号(228)	Z <sub>4</sub> 系	
列静止电力变流器供电他励直流电动机的规格和型号(231)	ZZY、ZZY-H 及 ZZJ-800 系	
列起重冶金用直流电动机的规格和型号(233)		
5-4 分马力电机 .....		(236)
三相驱动微型异步电动机(237)	单相电阻分相起动异步电动机(238)	单相电容起动异步电动机(239)
单相电容运转异步电动机(240)	单相交流微型串励电动机(241)	
5-5 控制用微电机 .....		(242)
微型同步电动机(242)	测速发电机(244)	自整角机(246)
旋转变压器(250)	伺服电动机(252)	步进电动机(256)
<b>第六章 常用控制电器和控制电路 .....</b>		<b>(253)</b>
6-1 常用控制电器 .....		(253)
刀开关和转换开关(258)	熔断器(262)	自动开关(265)
接触器(271)	起动器(276)	控制继电器(278)
按钮与行程开关(287)	信号灯(291)	电阻器及变阻器(294)
电磁铁(299)		
6-2 常用继电-接触控制电路 .....		(302)
点动控制电路(304)	单向直接起动控制电路(304)	正反转起动控制电路(305)
Y- $\Delta$ 起动控制电路(305)	串联电阻或电抗器起动控制电路(307)	自耦变压器起动控制电路(308)
按时间原则顺序起停控制电路(309)	按行程原则控制电路(309)	按速度原则反接制动控制电路(311)
制动控制电路(311)	绕线式异步电动机控制电路(313)	直流电动机的起动、制动控制电路(315)
<b>第三篇 低压供电、照明、安全用电</b>		
<b>第七章 低压供电 .....</b>		<b>(318)</b>
7-1 常用低压配电装置 .....		(318)
低压配电装置的选择(319)	低压配电装置的配置(319)	低压配电屏典型型号及主接线图(320)
配电设备的选配(324)		
7-2 导线截面、熔断器的选择及用电设备的供电线路电流计算 .....		(326)
导线截面的选择及安全载流量(326)	熔断器熔体的选择及熔丝额定电流(327)	
7-3 低压电器装置规范 .....		(335)
进户方式及进户装置(335)	量电及总配电装置(337)	线路装置(343)
电力装置(346)		
<b>第八章 电气照明 .....</b>		<b>(349)</b>
8-1 照明常用电光源 .....		(349)

热辐射型(白炽灯、卤钨灯)(349)	气体放电型(荧光灯、高压汞灯、高压钠灯、金属卤化物灯、管形氙灯)(350)	
8-2	照明灯具	(359)
	照明灯具的照明性能(359) 工厂照明灯具(360)	
8-3	照明质量和照度计算	(365)
	照明方式(365) 照明种类(365) 照明质量(365) 照度计算(369) 照度的测量(375)	
8-4	照明供电	(376)
	照明供电设计规范(376) 白炽灯的安装及故障处理(377) 荧光灯的安装及故障处理(379)	
<b>第九章</b>	<b>安全用电</b>	<b>(381)</b>
9-1	触电、触电的预防及触电急救	(381)
	触电形式(381) 触电的预防(383) 触电急救(383)	
9-2	接地和接零的保护作用	(385)
	保护接地(385) 保护接零(387) 防止静电的接地措施(389)	
9-3	防雷保护	(390)
	雷击的形成及种类(390) 防雷装置(避雷针、避雷器)(390)	
9-4	电气防火与防爆	(393)
	常用电气设备引起火灾和爆炸情况(线路、电灯、电热设备、电动机、变压器、油开关、蓄电池)(394) 电气火灾扑救知识(396)	
9-5	农村电气装置安全用电的补充规定	(396)

#### 第四篇 常用电子元件及半导体器件

<b>第十章</b>	<b>电子元件</b>	<b>(398)</b>
10-1	电阻器、电容器的型号命名方法及标志方法(398) 型号命名方法(398) 电阻器、电容器标志内容和标志方法(400)	
10-2	电阻器	(403)
	额定功率系列(403) 标称阻值系列(403) 电阻器的分类及主要技术特性(404)	
10-3	电位器	(407)
	额定功率系列、轴端形式、电位器的分类及主要技术特性(407)	
10-4	敏感电阻器	(410)
	敏感电阻器型号表示方法(410) 热敏电阻器(410) 压敏电阻器(413) 光敏电阻器(414)	
10-5	电容器	(414)
	电容器的类别、特点及用途(414) 普通介质(瓷介、玻璃釉、云母、纸介)电容器的分类和主要参数(415) 薄膜电容器的分类和主要参数(417) 电解电容器的分类和主要参数(420)	
10-6	LG型固定电感器	(422)
	LG、LG4型固定电感器的主要技术特性(422)	
10-7	灵敏继电器	(423)
	灵敏继电器的型号命名方法(423) 干式舌簧继电器(424) 电磁继电器(427)	
10-8	接插件	(433)



高频插头座(433) 多线插头座(434) 管座(438) 开关(439)

<b>第十一章 半导体管及电子管</b> .....	( 446 )
11-1 晶体二极管.....	( 447 )
常用晶体二极管的型号和主要参数(448) 稳压管(451) 硅变容二极管(453) 隧道二极管(457) 单结晶体管(457)	
11-2 晶体三极管.....	( 458 )
晶体三极管管脚和管型的判别(459) 晶体三极管常用参数说明(460) 常用低频中、小功率锗晶体三极管及硅晶体三极管(463) 常用高频中、小功率锗晶体三极管及硅晶体三极管(465) 常用低频大功率锗晶体三极管及硅晶体三极管(469) 常用开关管(473)	
11-3 场效应管.....	( 474 )
N沟道耗尽型场效应管(475) P沟道增强型 MOS 场效应管(476) 部标N沟道结型场效应管(476)	
11-4 硅晶闸管.....	( 477 )
普通型可控硅器件(477) 双向可控硅器件(480) 可关断可控硅器件(481) 快速可控硅器件(481)	
附录: 半导体器件标准外形图 .....	( 482 )
11-5 电子管与电子束管.....	( 489 )
国产电子管的型号命名法(489) 常用电子管的符号说明(490) 常用电子管的用途、管脚及主要参数(491) 电子束管型号命名方法(501) 常用示波管部分型号、管脚及主要参数(502) 常用显象管部分型号、管脚及主要参数(503)	
11-6 光电器件.....	( 506 )
发光器件和受光器件(506) 光电耦合器(506) 光敏二极管和光敏三极管的技术数据(509) 发光二极管的技术数据(511) 光电耦合器的技术数据(512)	
11-7 数字显示器件.....	( 514 )
辉光放电数码管(514) 荧光数码管(515) 液晶显示器及其驱动电路(517) 等离子数字显示器(520) 发光数码管(522)	
<b>第十二章 半导体集成电路</b> .....	( 524 )
12-1 半导体集成电路型号命名、外形尺寸及逻辑符号.....	( 524 )
部标半导体集成电路型号命名方法(524) 国标半导体集成电路型号命名方法(525) 封装形式及外形尺寸(527) 二进制逻辑电路图形符号(529)	
12-2 常用数字集成电路类型及主要电参数.....	( 532 )
TTL双极型集成电路(532) HTL高阈值双极型集成电路(533) MOS场效应集成电路(533) HCMOS高速硅栅集成电路(533) 附录: MOS 集成电路的使用注意事项(534)	
12-3 部标及5C600系列常用器件的逻辑功能 .....	( 541 )
逻辑门电路(541) 触发器电路(D触发器J-K触发器D锁定触发器)(548) 计数器(552) 译码器(563) 移位寄存器(568)数据选择器(571) 全加器(573)	
12-4 部分数字集成电路的功能与外引线.....	( 574 )
TTL及HCMOS 数字集成电路功能、型号、管脚对照(575) HTL 数字集成电路功能、型号、管脚对照(578) CMOS 数字集成电路功能、型号、管脚对照(579) 5C600 系列 PMOS 数字集成电路功能、型号、管脚对照(581) 数字集成器件外引线文字符号(582) 部分TTL门电路、触发器老产品主要数据(598)	

- 12-5 半导体模拟集成电路..... ( 600 )  
 运算放大器(600) 电压比较器(601) 集成稳压电源(601) 国产通用集成运算放大器电  
 性能参数(602) 国产特殊型集成运算放大器电性能参数 (604) 美国仙童公司集成运算  
 放大器电性能参数(606) 美国国家半导体公司集成运算放大器电性能参数(607) 国产集  
 成运算放大器外引线排列 (611) 美国集成运算放大器外引线排列 (612) 集成稳压电  
 源电性能参数及外引线排列(615) 典型运算放大器的内部电路(619) 集成稳压电源的外  
 部接线(624)

## 第五篇 常用电工仪表、仪器及电子仪器

- 第十三章 常用电工仪表及仪器** ..... ( 625 )
- 13-1 电工仪表产品型号编制办法..... ( 625 )  
 型号的基本组成(625) 代号的确定(626)
- 13-2 电工测量的基本知识..... ( 630 )  
 电工测量仪表的误差和准确度等级(630) 常用电量(电流、电压、功率、电阻、电感及电容)  
 的测量方法(630)
- 13-3 常用电工仪表..... ( 638 )  
 常用电工测量仪表的符号、结构、原理及应用特性 (638) 0.1级及0.2级精密标准电表  
 (642) 0.5级实验室用精密电表 (647) 1.0级磁电系及电磁系普通电表 (653) 安装电  
 表(654) 万用电表(658) 其他类型电表(电度表、钳形表、兆欧表)(665)
- 13-4 常用电工仪器..... ( 668 )  
 电桥(668) 直流电位差计(672) 标准度量及指零仪器(674) 光线示波器(680)
- 第十四章 电子测量仪器** ..... ( 684 )
- 14-1 数字式测量仪器..... ( 684 )  
 数字式测量仪器的特点(684) 频率及时间测量仪器——电子计数器(684) 直流数字电压  
 表(686) 数字万用表(691)
- 14-2 电平测量仪器..... ( 697 )  
 晶体管及电子管毫伏表主要技术特性(697) 晶体管万用表(698)
- 14-3 示波器..... ( 698 )  
 示波器的基本工作原理(699) 示波器的主要技术特性(700) 示波器的选用(703)
- 14-4 信号发生器..... ( 711 )  
 低频信号发生器(711) 函数发生器(712) 脉冲信号发生器(712) 高频信号发生  
 器(713) 扫频信号发生器及频率特性测试仪(713)
- 14-5 元件参数测量仪器..... ( 719 )  
 优值计——Q表(719) 晶体管参数测试仪(720) 集成电路测试仪器(724)
- 14-6 稳压电源..... ( 726 )  
 交流稳压电源(726) 直流稳压电源(728)

# 第一篇 电工及电子技术基础知识

## 第一章 电路和磁路

### 1-1 电路计算的基本定理及计算方法

#### 一、欧姆定律

##### 1. 一段无源电路的欧姆定律

在一段无源电路中(图1-1-1),通过的电流  $I$  与外加电压  $U$  成正比,与电路电阻  $R$  成反比,即

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

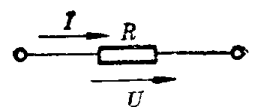


图 1-1 欧姆定律

##### 2. 一段有源电路的欧姆定律

在一段含有电动势的电路中,电流  $I$ 、外加电压  $U$  与电动势  $E$  三者的关系可表示为

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

该表达式的含义见表1-1-1。

表1-1-1 一段有源电路的欧姆定律

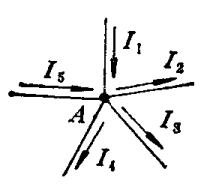
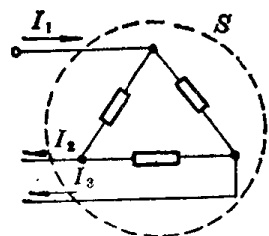
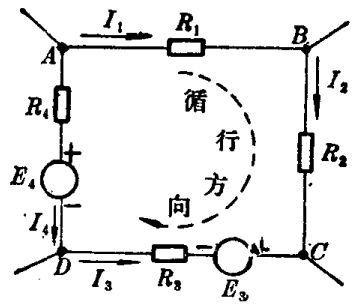
电 路	公 式	说 明
	$I = \frac{U+E}{R}$	电流、电压、电动势的假定正方向一致,式中 $U$ 、 $E$ 前取“+”号。
	$I = \frac{E-U}{R}$	电流与电动势的假定正方向一致,式中 $E$ 前取“+”号; 电流与电压的假定正方向相反,式中 $U$ 前取“-”号。
	$I = \frac{U-E}{R}$	电流与电动势的假定正方向相反,式中 $E$ 前取“-”号; 电流与电压的假定正方向一致,式中 $U$ 前取“+”号。
	$I = \frac{-U-E}{R}$	电流与电动势的假定正方向相反,式中 $E$ 前取“-”号; 电流与电压的假定正方向相反,式中 $U$ 前取“-”号。

#### 二、基尔霍夫定律

基尔霍夫定律见表1-1-2。

9110008

表1-1-2 基尔霍夫定律

基尔霍夫第一定律	基尔霍夫第二定律
<p>任意节点处，流入该节点的电流之和必等于流出节点的电流之和，即</p> $\sum I_i = \sum I_o$ <p>式中：<math>I_i</math>——流入节点的电流  <math>I_o</math>——流出节点的电流</p> <p>例：对节点 <math>A</math> 有</p> $I_1 + I_5 = I_2 + I_3 + I_4$  <p>由节点推广到电路中任一闭合面，则对闭合面 <math>S</math> 而言，</p> $I_1 = I_2 + I_3$ 	<p>沿某一循行方向的任一闭合回路中，电动势的代数和必等于电压降的代数和，即</p> $\sum E = \sum U$ <p>式中：<math>\sum E</math> 表示电动势的代数和，规定如 <math>E</math> 的方向与循行方向一致，则取正；反之则取负。  <math>\sum U</math> 表示电压降的代数和，如 <math>U</math> 的方向与循行方向一致则取正，反之则取负。</p> <p>例：沿循行方向 <math>ABCD A</math> 有</p> $E_4 - E_3 = I_1 R_1 + I_2 R_2 - I_3 R_3 - I_4 R_4$ 

### 三、焦耳-楞次定律

电流  $I$  通过电阻  $R$ ，在时间  $t$  内电阻中产生的热量为  $Q = 0.24 I^2 R t$ ，其中  $I$  的单位为安培 (A)， $R$  的单位为欧姆 ( $\Omega$ )， $t$  的单位为秒 (s)， $Q$  的单位为卡 (cal)。这个关系称为焦耳-楞次定律。

在国际单位制中，热量的单位为焦耳 (J)，则  $Q = I^2 R t$ 。

### 四、线性直流电路的计算方法

本节所讨论的是适用于线性电路分析与计算的若干基本方法：等效电源定理、叠加定理、回路电流法、节点电压法、Y- $\Delta$ 变换。

#### 1. 等效电源定理

##### (1) 电压源与电流源

电路中的电源可分为电压源和电流源两类。

用一个恒定电动势  $E_s$  和一个内电阻  $R_s$  相串联的电路来表示的电源称为电压源 (图1-1-2)。如果  $R_s = 0$ ，则负载端电压恒等于  $E_s$ ，这样的电压源称为恒压源。

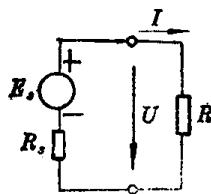


图1-1-2 电压源电路

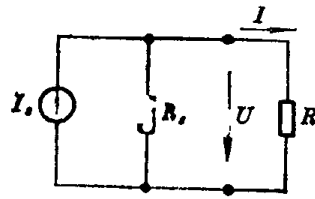


图1-1-3 电流源电路

用一个恒定电流  $I_s$  和一个内电阻  $R_s$  相并联的电路来表示的电源称为电流源 (图1-1-3)。如果  $R_s = \infty$ , 则流经负载的电流恒等于  $I_s$ , 这样的电流源称为恒流源。

(2) 电压源与电流源的等效变换

在保持输出电压和输出电流不变的条件下, 电压源和电流源相互之间可以等效变换 (图1-1-4)。等效变换的公式是

$$I_s = \frac{E_s}{R_s} \quad \text{或} \quad E_s = I_s R_s$$

要注意: 变换时,  $I_s$  和  $E_s$  的方向应该是一致的, 而内阻  $R_s$  仅改变接法, 其数值是不变的。

但是在恒压源和恒流源之间没有等效关系。这是因为对恒压源 ( $R_s = 0$ ) 讲, 其短路电流  $I_s$  为无穷大, 对恒流源 ( $R_s = \infty$ ) 讲, 其空载电压  $U_0$  (即欲等效的  $E_s$ ) 为无穷大。

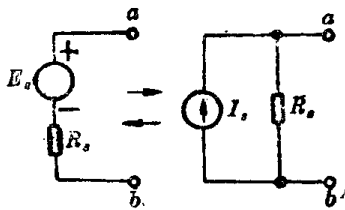


图1-1-4 电压源与电流源的等效变换

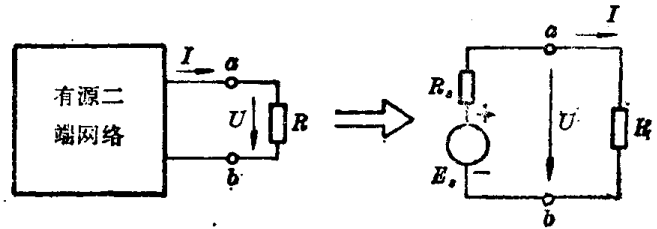


图 1-1-5 戴维南定理

(3) 等效电源定理

a. 戴维南定理 一个有源二端网络可以用一个等效电压源来替代 (图1-1-5)。电压源的恒定电动势  $E_s$  为有源二端网络的开路电压, 内电阻  $R_s$  等于有源二端网络中所有电源为零 (恒压源短接, 恒流源开路) 后网络的入端电阻 (由网络两端看入的总电阻)。对于图1-1-5的  $ab$  支路, 应用戴维南定理, 则支路中的电流为

$$I = \frac{E_s}{R_s + R}$$

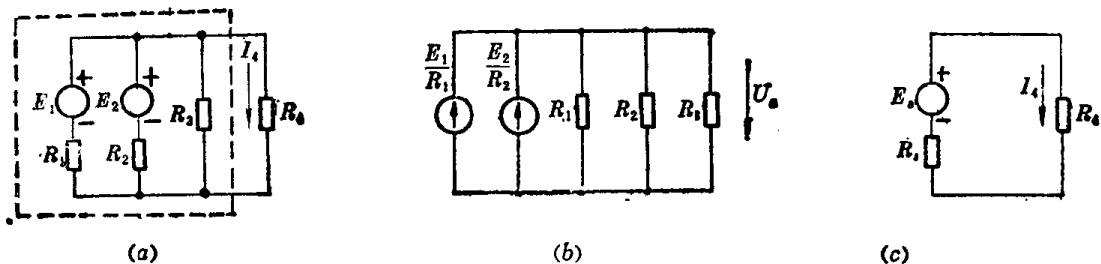


图1-1-6 应用戴维南定理计算电流

图1-1-6 是应用戴维南定理来计算  $R_4$  支路中的电流。显然, 等效电压源的内阻  $R_s = R_1 \parallel R_2 \parallel R_3$ 。

把  $E_1, R_1$  及  $E_2, R_2$  二个电压源等效变换成电流源, 则可求得等效电压源的开路电压为

$$E_s = U_0 = \left( \frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} \right) (R_1 \parallel R_2 \parallel R_3) = \left( \frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} \right) R_s$$

于是可得

$$I_4 = \frac{E_s}{R_s + R_4}$$

b. 诺顿定理 一个有源二端网络可以用一个电流源来替代 (图1-1-7)。电流源的  $I_s$  就是有源二端网络的

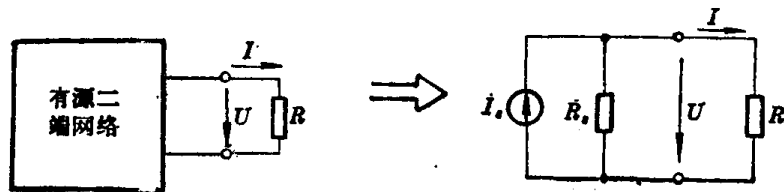


图1-1-7 诺顿定理

短路电源，电流源的内电阻  $R_s$  等于有源二端网络中所有电源皆为零（恒压源短接，恒流源开路）后网络的入端电阻。

对于图1-1-6所示电路也可以用诺顿定理求得  $R_4$  支路的电流。

等效电流源的内阻  $R_s = R_1 \parallel R_2 \parallel R_3$

等效电流源的电流  $I_s = \frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2}$

于是

$$I_4 = \frac{I_s \cdot R_s}{R_s + R_4}$$

## 2. 叠加原理

在电路中具有两个或两个以上电源作用时，电路内任一支路中的电压和电流，等于电路中各个电源单独作用时，在该支路内产生的电压和电流的代数和。在考虑某一电源单独作用时应将其它电源去除（对电压源应短接其电动势，但保留其内阻；对电流源应断开其恒流源并保留其内阻）。例如对图1-1-8 (a) 所示电路，为求得  $R_2$  支路中的电流  $I_2$ ，应用叠加原理可得：

当  $E$  单独作用时 [图1-1-8 (b)]，  $I'_2 = \frac{E}{R_1 + R_2}$

当  $I_s$  单独作用时 [图1-1-8 (c)]，  $I''_2 = \frac{R_1 I_s}{R_1 + R_2}$

所以，通过  $R_2$  支路的电流为  $I_2 = I'_2 + I''_2 = \frac{E}{R_1 + R_2} + \frac{R_1 I_s}{R_1 + R_2}$

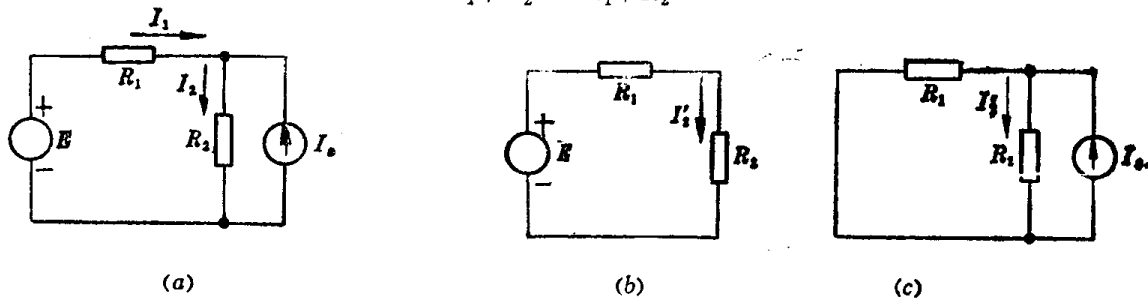


图1-1-8 叠加原理的应用

## 3. 回路电流法

求解复杂电路时，以回路电流作为中间未知量，然后根据基尔霍夫第二定律先列出方程求得回路电流，然后再据此计算各支路的电流。

例如对于图1-1-9所示的电路可以列出的方程为：

$$\begin{aligned} \text{回路 I (回路 } abcda) \quad E_1 - E_2 &= I_1 R_1 + (I_1 - I_2) R_2 \\ &= I_1 (R_1 + R_2) - I_2 R_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{回路 II (回路 } cefdc) \quad E_2 - E_3 &= (I_2 - I_1) R_2 + I_2 R_3 \\ &= I_2 (R_2 + R_3) - I_1 R_2 \end{aligned}$$

由以上两个方程式可以得出运用回路电流法列方程的通式为：

回路电动势之和 = 回路自阻压降之和 + 回路互阻压降之和

在运用回路电流法时要注意：

(1) 所选定的回路一般至少要包括一条新的支路，这样选定的回路都是独立回路。因此对于该例的电路，虽然还可以选定回路 III，但在已选定回路 I 和 II 后，回路 III 已不包含新的支路，且其方程可由回路 I、II 的方程相加得出，故此回路已不是独立回路。

(2) 回路中电动势方向与回路电流假定方向一致时，电动势取“+”，反之取“-”。回路电流在本身回路中所有电阻上的压降总

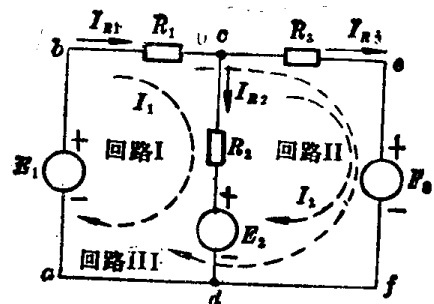


图1-1-9 回路电流法求解电路

是与回路电流同方向的，所以自阻压降取“+”。如果二个独立回路间具有公共电阻（称互阻），在该电阻上的二个回路电流假定方向一致时，相邻回路电流在该电阻上的压降（互阻压降）取“+”，反之取“-”。

(3) 各支路电流为通过该支路的回路电流代数和。如果回路电流与该支路电流的假定正方向一致则取“+”，反之则取“-”，即 $I_{R_2} = I_1 - I_2$ 。如果只有一个回路电流通过某支路，则该支路电流即为回路电流，即 $I_{R_1} = I_1, I_{R_3} = I_2$ 。

#### 4. 节点电压法

如果把电路中各节点电位作为中间未知量，则需首先任选其中的某一节点作为参考点（即电位为零），然后求出各节点与参考节点间的电压，最终求出各支路电流。例如图1-1-10所示的两个节点电路，选定 $b$ 点为参考点，即有 $U_b = 0$ ，则节点电压 $U$ 可用下式表示

$$U = \frac{\sum \frac{E}{R}}{\sum \frac{1}{R}}$$

在上式分子中，当电动势的方向同节点电压的正方向相反时取“+”，相同时取“-”。求出 $U$ 后，就可应用欧姆定律计算各支路电流。

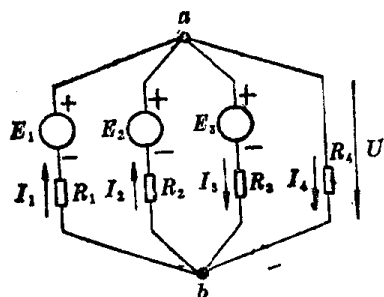


图1-1-10 具有两个节点的电路

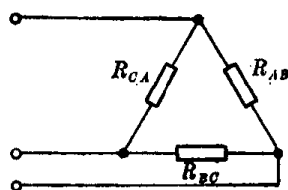


图1-1-11 星形负载

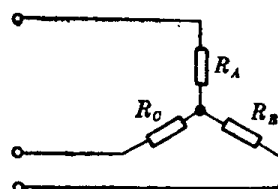


图1-1-12 三角形负载

表1-1-3 星形与三角形的负载变换

$Y \rightarrow \Delta$	$\Delta \rightarrow Y$
$R_{AB} = R_A + R_B + \frac{R_A R_B}{R_C}$	$R_A = \frac{R_{AB} R_{CA}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}}$
$R_{BC} = R_B + R_C + \frac{R_B R_C}{R_A}$	$R_B = \frac{R_{BC} R_{AB}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}}$
$R_{CA} = R_C + R_A + \frac{R_C R_A}{R_B}$	$R_C = \frac{R_{CA} R_{BC}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}}$

#### 5. Y- $\Delta$ 变换

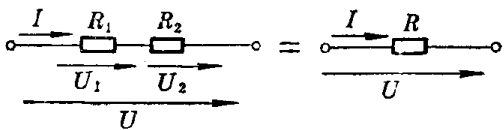
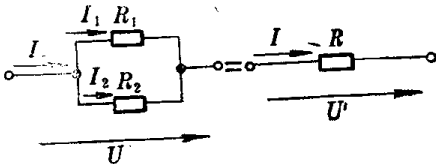
在复杂电路中，为了简化电路的计算，可以将其中接成星形的负载（图1-1-11）等效变换成三角形负载（图1-1-12），或作相反的变化。这种相互变换的条件是保持外部电路的电压和电流不变，其变换公式见表1-1-3。

## 1-2 电路元件的性质

### 一、线性电路元件及电路参数的计算

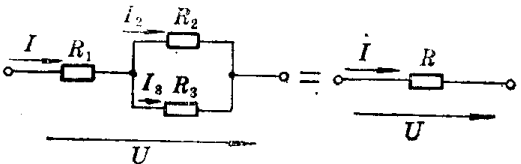
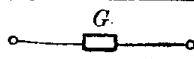
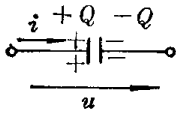
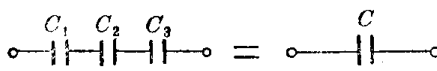
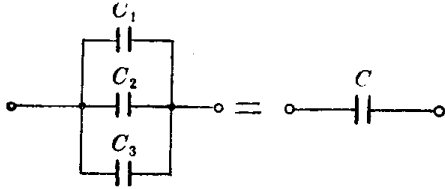
在电路中常用的元件是电阻 $R$ 、电容 $C$ 及电感 $L$ 。表1-2-1列出了这些元件的常用计算公式及性质。表1-2-2及表1-2-3分别列出了几种典型结构的电容和自感的计算公式。

表1-2-1 电路元件的计算公式及性质

项 目	计 算 公 式	性 质 说 明
直流电路中电压、电流、电阻三者之间的关系	$R = \frac{U}{I}$ 式中： $U$ ——电阻两端的电压 (V) $I$ ——流过电阻的电流 (A) $R$ ——电路中的电阻 ( $\Omega$ )	$R$ 表示电路中消耗电能的理想电阻元件，它将电能转变为热能，当电流通过电阻时，其两端有电压降。
直流电路功率	$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$ 式中： $P$ ——电路的功率 (W)	
电阻与导体长度、横截面积及材料性质的关系	$R = \rho \frac{l}{A}$ 式中： $R$ ——导体的电阻 ( $\Omega$ ) $l$ ——导体的长度 (m) $A$ ——导体的横截面积 ( $m^2$ ) $\rho$ ——电阻率 ( $\Omega \cdot m$ )	
电阻与温度的关系	$R_t = R_{20} [1 + \alpha(t - 20)]$ 式中： $R_t$ ——导体在 $t^\circ C$ 时的电阻 $R_{20}$ ——导体在 $20^\circ C$ 时的电阻 $\alpha$ ——导体的电阻温度系数 $t$ ——温度	
电阻串联	 $R = R_1 + R_2$ $U = U_1 + U_2$ $U_1 = \frac{U}{R_1 + R_2} \times R_1$ $U_2 = \frac{U}{R_1 + R_2} \times R_2$	
电阻并联	 $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ $I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I$ $I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$ $I = I_1 + I_2$	



续表

项 目	计 算 公 式	性 质 说 明
电阻复联	 $R = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$ $I_2 = \frac{R_3}{R_2 + R_3} I$ $I_3 = \frac{R_2}{R_2 + R_3} I$	见前页。
电 导	 $G = \frac{1}{R}$ <p>式中: <math>R</math>——导体的电阻 (<math>\Omega</math>)  <math>G</math>——导体的电导 (S)</p>	
电容与其两端电压及极板上电荷的关系	 $C = \frac{Q}{U}$ $i = C \frac{du}{dt}$ $U = \frac{1}{C} \int i dt$ <p>式中: <math>U</math>——电容器两端的电压 (V)  <math>Q</math>——电容器极板电荷 (C)  <math>C</math>——电容器的电容 (F)</p>	$C$ 表示理想电容元件, 它能储存电场能量, 电场能量和电能可以相互转换。电容两端的电压不能突变, 但电流可以突变。
电容串联	 $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$	
电容并联	 $C = C_1 + C_2 + C_3$	
电容储存能量	$W_c = \frac{1}{2} CU^2$ <p>式中: <math>U</math>——电容两端的电压 (V)  <math>C</math>——电容 (F)  <math>W_c</math>——电容储存能量 (J)</p>	电容储能的大小与两端电压平方成正比。