

918035

电工技术

(电工学I)

西北工业大学

合编

北京航空航天大学

陈麟章 主编



国防工业出版社

电 工 技 术

(电 工 学 I)

西 北 工 业 大 学
北 京 航 空 航 天 大 学 合 编

陈 麟 章 主 编

國 防 工 業 出 版 社

内 容 简 介

本书覆盖国家教委高等工业学校非电专业的电工技术（电工学Ⅰ）和电子技术（电工学Ⅱ）课程教学基本要求，在提高起点、便于自学、加深扩展、加强和引进新内容的指导思想下编写而成。本书分两册出版。

本册内容包括：直流电路、单相交流电路、三相交流电路、电工测量、电路的过渡过程、磁路和变压器、异步电动机、直流电动机、同步电机、电动机的继电-接触器控制、安全用电和节约用电等。

本书可作为高等工科院校、自修大学、夜大学和业余大学的教材，亦可供有关科技人员参考。

电 工 技 术

（电工学Ⅰ）

西北工业大学 合编
北京航空航天大学

陈 麟 章 主编
责任编辑 王祖珏

*

国防工业出版社出版

（北京市海淀区紫竹院南路23号）

（邮政编码100044）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张22¹/₄ 517千字

1990年5月第一版 1990年5月第一次印刷 印数：00,00—5,000册

ISBN 7-118-00633-5/TM18 定价：4.40元

前 言

本书为航空航天工业部规划教材。由西北工业大学和北京航空航天大学合编，作为高等工业学校非电类各专业本科用的必修教材。

本书在覆盖国家教委高等工业学校电工技术（电工学Ⅰ）及电子技术（电工学Ⅱ）课程教学基本要求的基础上，适当地提高了起点，加深和扩展了有关的内容，增添了新的章节，引进了微机分析计算的内容。可作为电工技术和电子技术两门课程的教材使用。

本书分《电工技术》（电工学Ⅰ）和《电子技术》（电工学Ⅱ）两册出版。

本册——《电工技术》，在内容编排上注意了与物理课的分工，适当地提高了教学起点，避免不必要的重复；在阐述上力求循序渐进，便于自学；在有关基本概念和基本理论的节次后，附有适当的思考题，以启发和引导学生思维；各章中均选择了相当数量的例题，并注意通过例题以引伸某些概念和结论；在一些章次的最后，单独列为一节，引进了微机分析计算举例，供学生编程上机计算时参考；在电机部分，加强了电动机应用的内容；增加了电工测量、安全用电和节约用电两章新内容。

本册由陈麟章同志主编并编写绪论、第一、九章，何仁钦同志编写第二章，张焕珍同志编写第三、四、五章，王颂海同志编写第六、八、十一章，冯德光同志编写第七、十章，史仪凯同志编写了全书微机分析计算举例，庄淑琴同志提供了节约用电的部分初稿。

本书初稿承南京航空学院的欧阳璘同志、高镇洋同志和张恩祐同志仔细审阅，提出了宝贵的修改建议，在此谨致以诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中一定存在不少缺点和错误，殷切希望使用本书的教师和读者批评指正，以便今后修订提高。

编 者

1989年2月

EAC 1133

目 录

绪论	1
----	---

第一章 直流电路

§ 1-1 电路	3
一、电路的作用和组成	3
二、电路模型	4
三、电路的状态和额定值	5
四、电路中的电位	11
五、电路量的正方向	13
§ 1-2 电源	15
一、电压源	16
二、电流源	17
三、电压源与电流源的等效互换	19
§ 1-3 电路的基本定律和分析方法	23
一、克希荷夫定律及其应用	23
二、节点电位法	28
三、叠加原理	33
四、等效电源定理	35
五、Y- Δ 等效变换	40
§ 1-4 非线性电阻电路	42
一、非线性电阻	42
二、静态电阻和动态电阻	43
三、图解分析法	44
§ 1-5 微机分析计算举例	45
一、戴维南定理	45
二、节点电位法	48
习题	51

第二章 单相交流电路

§ 2-1 正弦电压和电流	60
一、正弦交流电的特征	60
二、同频率正弦量的相对关系	61
三、正弦量的有效值	63
§ 2-2 正弦量的相量表示法	64
一、复数	64
二、正弦量的相量	65
§ 2-3 单一参数正弦交流电路	68
一、电阻元件的交流电路	68
二、电感元件的交流电路	70
三、电容元件的交流电路	74
§ 2-4 R 、 L 、 C 串联的交流电路	78
一、相量解析法	78
二、相量图解法	79
三、功率关系	81
§ 2-5 并联交流电路	88

一、 R 、 L 、 C 并联电路	88
二、功率因数的提高	93
§ 2-6 相量解析法计算复杂交流电路	95
一、支路电流法	95
二、节点电位法	96
三、戴维南定理	97
§ 2-7 谐振电路及频率响应	98
一、谐振电路	98
二、 R 、 C 电路的频率响应	105
§ 2-8 周期非正弦信号线性电路	110
一、周期非正弦信号的分解	111
二、非正弦电路的有效值和平均功率	114
三、周期非正弦信号电路的分析	116
§ 2-9 微机分析计算举例	119
一、复杂电路	119
二、串联谐振	126
习题	129

第三章 三相交流电路

§ 3-1 三相电源	138
一、三相电动势及其表示方法	138
二、三相电源的星形联接	139
§ 3-2 负载与三相电源的联接	141
一、单相负载的联接	141
二、三相负载的联接	141
§ 3-3 三相负载	141
一、负载的星形接法	142
二、负载的三角形接法	147
§ 3-4 三相负载的功率	149
§ 3-5 微机分析计算举例——星形不对称电路	150
习题	156

第四章 电工测量

§ 4-1 测量误差的基本概念及仪表准确度	158
一、仪表误差	158
二、误差的表达形式	158
三、仪表的准确度	159
四、直读式电气仪表的主要技术特性	160
§ 4-2 磁电式仪表及电压、电流的测量	162
一、仪表的组成	162
二、磁电式测量机构(表头)	162
三、磁电式电流表、电压表、欧姆表	163
四、万用表简单原理电路及使用	165

§ 4-3 兆欧表及绝缘电阻的测量	167
一、兆欧表的结构及工作原理	167
二、兆欧表的使用	169
§ 4-4 电磁式仪表	169
§ 4-5 电动式测量机构及电功率的测量	170
一、电动式测量机构	170
二、功率表的原理及使用	171
三、三相功率的测量	173
§ 4-6 感应式电度表及电能的测量	175
习题	177

第五章 电路的过渡过程

§ 5-1 概述	179
一、稳态和暂态	179
二、过渡过程的研究方法	179
§ 5-2 换路定律与初始值的确定	180
§ 5-3 R, C 电路接通恒定电源	182
一、电路的零状态响应	182
二、非零状态响应	186
§ 5-4 R, C 电路的零输入响应	187
§ 5-5 一阶电路过渡过程的三要素分析法	189
§ 5-6 R, L 电路的过渡过程	191
一、 R, L 电路接通恒定电压	191
二、 R, L 电路的短接	192
§ 5-7 微分电路和积分电路	195
一、微分电路	196
二、积分电路	196
§ 5-8 电容通过电阻、电感的放电过程	197
一、 $R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ ——电容的非振荡放电	198
二、 $R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ ——振荡放电过程	200
三、 $R = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ ——临界情况	202
§ 5-9 微机分析计算举例—— RC 电路过渡过程	205
习题	208

第六章 磁路和变压器

§ 6-1 磁路	212
一、磁路的概念	212
二、铁磁材料	212
三、磁路欧姆定律	214
四、直流磁路的计算	215
§ 6-2 交流铁心线圈电路	217
一、电动势与磁通的关系	218
二、电压与电流的关系	219
三、影响功率损耗的因素	220
§ 6-3 直流磁路与交流磁路的工作特点	221
一、直流磁路的工作特点	222

二、交流磁路的工作特点	222
§ 6-4 变压器的结构和原理	223
一、基本结构	223
二、变压器的空载运行与电压变换	224
三、变压器的负载运行与电流变换	225
四、变压器的阻抗变换作用	227
§ 6-5 变压器的额定值与运行特性	229
一、变压器的额定值	229
二、变压器的运行特性	229
§ 6-6 三相变压器及其它变压器	231
一、三相变压器	231
二、自耦变压器	232
三、仪用互感器	233
习题	235

第七章 异步电动机

§ 7-1 异步电动机的原始模型	237
§ 7-2 三相异步电动机的构造	238
一、定子	238
二、转子	239
§ 7-3 三相异步电动机的作用原理	240
一、旋转磁场	240
二、转动原理	243
§ 7-4 三相异步电动机运行情况分析	244
一、电磁转矩与转矩特性曲线	244
二、机械特性	247
三、运行特性	250
§ 7-5 三相异步电动机的使用	251
一、异步电动机的起动	251
二、异步电动机的调速	254
三、异步电动机的反转	256
四、异步电动机的制动	256
五、三相异步电动机的铭牌数据	258
六、三相异步电动机的选择	260
§ 7-6 单相异步电动机	265
一、单相异步电动机的转动原理	265
二、单相异步电动机的主要特点	268
三、单相异步电动机的起动方法及其转向	268
四、单相异步电动机应用电路分析	270
§ 7-7 两相异步电动机	273
一、两相异步电动机的结构特点	273
二、两相异步电动机的工作原理	273
习题	275

第八章 直流电动机

§ 8-1 直流电动机的结构和分类	276
一、直流电机的结构	276
二、直流电动机的分类	277
§ 8-2 直流电动机的工作原理	278
一、转动原理与电磁转矩	278
二、反电动势与转速	279
三、电压平衡方程	279

四、转矩平衡与能量转换	280
§ 8-3 并励电动机的机械特性	281
§ 8-4 并励电动机的起动与反转	283
一、起动	283
二、反转	285
§ 8-5 并励电动机的调速	285
一、改变磁通调速	286
二、改变电枢电压调速	287
三、电枢串接电阻调速	288
§ 8-6 直流执行电动机	288
习题	289

第九章 同步电机

§ 9-1 同步电机的构造	291
§ 9-2 同步发电机	292
一、三相电动势的产生及空载特性	292
二、电枢反应	293
三、外特性和调节特性	295
四、相量图	296
五、功率的调节	297
§ 9-3 同步电动机	299
一、工作原理	299
二、起动	300
三、功率因数的调节	300
习题	301

第十章 电动机的继电-接触器控制

§ 10-1 三相异步电动机的手动控制电路	302
一、闸刀开关及熔断器	303
二、手动控制起停电路	305
三、手动控制的正反转电路	305
§ 10-2 三相异步电动机的正 反转控制电路	306
一、常用控制电器	307
二、起停控制电路及保护	311
三、正反转控制电路及保护	314

四、三相异步电动机断相运行保护电路	315
§ 10-3 行程控制电路	316
一、行程开关	316
二、行程控制电路	316
§ 10-4 时间控制电路	317
一、时间继电器	317
二、时间控制电路	319
§ 10-5 速度控制电路	320
一、速度继电器	320
二、速度控制电路	321
习题	322

第十一章 安全用电和节约用电

§ 11-1 触电及其预防	324
一、触电危害程度的影响因素	324
二、触电类型	325
三、触电的预防	326
§ 11-2 保护接地和保护接零	327
一、保护接地	327
二、保护接零与重复接地	328
§ 11-3 电气火灾、爆炸的 预防及静电防护	330
一、电气火灾和爆炸的原因	330
二、电气火灾和爆炸的预防	330
三、静电的防护	331
§ 11-4 节约用电	332
一、节约用电的重要性	332
二、节约用电的途径	332
三、常用电气设备的节约用电	332
四、限电节电设备	334

附录

附录一 电阻器的标称系列值	336
附录二 三相异步电动机技术数据	336
附录三 Z2系列小型直流电机技术数据	341

习题答案

绪 论

电工学是研究电磁现象及其规律在工程技术领域中的应用,供非电类学生学习的一门技术基础课程。它包括的范围很广,有电路、磁路、电工测量、电机、电力拖动、模拟和数字电路、自动检测和控制、电热及照明等方面。为适应科学技术发展的需要和满足不同专业的要求,1987年经国家教委批准,电工学分为电工技术及电子技术两门课程。

从上世纪末以来,由于电能转换、输送和控制等方面具有无可比拟的优越性,在生产、科学研究和物质文化生活等各个领域,迅速而广泛地得到了应用。电技术对生产技术和生产力的提高引起了划时代的革命,电气化成为时代进步的标志。

电技术推动着社会的进步,促进了人们科学研究工作的深入和发展。本世纪中叶以来,微电子技术的飞跃发展,大规模集成电路的出现,微型计算机的迅猛发展及其在各个技术领域中的广泛应用,给社会生产和人类文明带来了深刻的变化。它推动社会进入了一个新的时代。

我国目前尚处在社会主义初级阶段,前所未有的巨大的改革浪潮,正激励和推动着我国现代化建设的迅速发展。将电工技术和电子技术应用于社会生产和人民生活,对实现四个现代化有着重大的意义。而完成这一任务将有赖于广大工程技术人员和科研工作者的不懈努力。对于未来的非电专业工程技术人员和科研工作者来说,学习电工学,掌握电技术的基本理论、基本知识和基本技能,既为后续课程作准备,打下一定的基础,又可在学习其它课程时,在分析问题和解决问题的思维方法和技巧方面有所借鉴。当今时代,电技术已日益渗透到各个技术领域,肩负祖国现代化重任的在校大学生,不具备一定电技术的基础,其知识结构就缺少一个强有力的支柱,将来在工作岗位,从事工程技术和研究工作时,面对新的技术革命的挑战,要在工作中革新、开拓、创新是难以有作为的。

电工技术课程的内容主要包括有电路理论、常用电机与继电-接触器控制、电工测量、安全用电和节约用电等四部分。通过本课程的学习,使学生理解电路中元件的性质,掌握电路的基本规律和基本的分析方法;了解本专业范围内常用的电机、电器、电工测量仪表的原理、性能和使用;会分析常用的继电-接触器控制电路;了解安全用电的知识和节约用电的途径及措施。

电工技术是一门实践性较强的课程。实验学时占总学时的25%以上,实验对理论联系实际,基本技能的训练,培养严谨的科学作风都起重要的作用,本课程的一些基本要求是通过实验环节来完成的。它是本课程一个重要的教学环节。

习题是培养学生分析问题和解决问题能力的重要手段。本书中配合重要内容安排了较多的例题。每节之后编写了适当的思考题供启发、诱导、自我检查之用。每章之后的习题在教学中根据具体对象选择使用。

电工技术涉及的范围十分广泛,新技术、新产品又不断发展,日新月异。限于学时,本课程只能作为非电专业学生掌握电工技术的入门,为将来进一步自学和钻研奠定基础,概括地说,就是“引导入门、奠定基础”。考虑到学生在学习本课程时,已具

有使用计算机的初步能力，在教材一些章次的后面，编写了单独一节“微机分析计算举例”的内容，以供参考。权作引玉之砖，期望读者选择合适的内容，编程上机，分析计算。可以预计，将计算机的使用恰当地引入电工学的教学之中，不仅可以更新教学手段，有效地调动学生学习的兴趣和积极性，促进教学质量的提高，而且落实了学生在校期间“使用计算机不断线”的要求，将会对培养和提高学生的计算机使用能力起到显著的作用。

第一章 直流电路

在物理学中，我们已经学习过用欧姆定律分析和计算简单直流电路的方法。本章是在已有基础上进一步建立关于电路的工程概念，学习电路的其它定律以及应用这些定律分析一般直流电路的方法，以便进一步深入地掌握直流电路的分析方法。

直流电路的分析方法，虽然是在研究分析直流电路时提出的，如稍加扩展亦可适用于交流电路，所以本章内容是分析和计算电路（包括直流和交流电路）的基本理论基础。

本章首先讨论电路有关的一些概念，并通过例题将简单电路的计算进行复习，接着提出电压源和电流源的概念，然后讨论分析计算复杂电路的有关定律和几种方法，最后简单地介绍非线性电路的计算方法。

§ 1-1 电 路

一、电路的作用和组成

电路就是电流流经的路径。

电路由若干电气元件或设备组成。它的作用是实现能量的传输和转换，或实现信息的传递和处理。

通常凡是能将各种非电能量（如化学能、太阳能、机械能等）转换为电能的设备，统称为电源，如各种类型的电池和发电机等。电源能提供（或产生）电能。凡是能将电能转换为非电能量的用电设备，统称为负载，如电热器、照明灯具和电动机等。负载能接受（或消耗）电能。图 1-1 中的电池即是常见的电源；灯泡即是常见的负载。电源和负载间的连接导线和按钮则起着传输和控制电能的作用。对于这类传输和分配电能的电路，一般要求有尽可能小的电源内阻和导线电阻，以便降低损耗和获得较高的传输转换效率。

还有一类电路，它的作用是将输入的信号经过转换、传输或加工处理为所需的输出信号，如扩音机、电话、收音机、计算机等的电路。与前一类电路相比，这类电路虽然本质上仍是能量的传输和转换，但这不是最终的目的，它通过能量的转换和传输实现了信号的传递和处理。图 1-2 扩大机电路中，话筒将语言音响转换为电信号，通过传输设备，喇叭接受电信号后，再转换为语言音响输出，实现了信号的传递，如果再增加录音电路，还可对信号进行记录、存储的处理。这类用于传递信息的电路又称信号电路。信号电路中作为电信号来源的器件或设备称为信号源，如图 1-2 中的话筒以及测量电路中的热电偶等。

通常传递信号并不需要很大的功率，一般的信号功率常以毫瓦或微瓦计算，故信号电路又称为“弱电”电路。对这类电路主要考虑保证信号传递的质量，使负载能获得尽可能强的信号。由于传输的功率较小，一般不注重传输转换效率的高低。另外，在信号

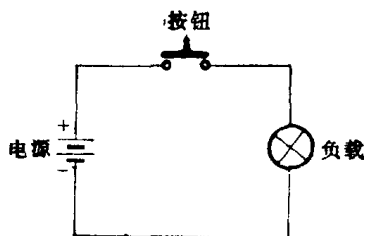


图1-1 手电筒电路

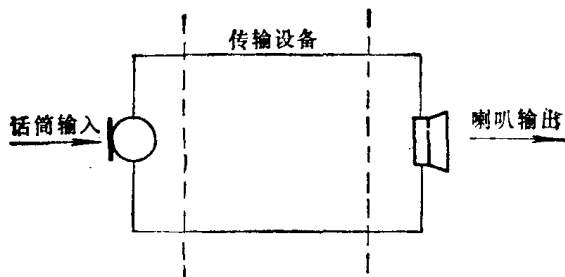


图1-2 扩大机电路

的传递过程中，常常还要对信号进行转换放大、存储、运算等多种处理，因而信号电路的传输设备比较复杂。

综上所述，不论哪一类电路，都由电源、负载和传输设备（最简单的是连接导线）等三部分组成。对电源或信号源来说，由负载、传输设备构成的电流通路称外电路；电源或信号源内部的电流通路称内电路。

在上述两类电路中，电源或信号源的电压和电流是输入，它激发推动电路工作，称为激励，在激励作用下引起负载电压或电流的输出，则称为响应。

在讨论电路的普遍规律或复杂电路问题时，有时将电路称为“网络”，例如二端网络、四端网络等。网络通常意味着较为复杂的相互连接，具有更广泛的含义。在电工领域内，则是电路的泛称，两者没有明显的区别，可以混用。一般在讨论比较简单或具体的电路问题时常用电路一词。

二、电路模型

一个实际的电路由实际的电路元件（供能元件、耗能元件或储能元件）所组成，而实际电路元件的电磁特性又往往很复杂，常包含有多种能量的转换过程。例如一个电感线圈，除了具有建立磁场的电感效应外，还有线圈导线本身的电阻效应及线圈匝间的电容效应，直接以它们来讨论分析电路问题，将是复杂和困难的。

为了分析实际电路方便且便于数学计算，常用模型化的方法表征实际电路元件。这就是突出实际电路元件的主要电磁特性，忽略次要的特性，用理想的模型近似地代替实际元件。例如：各种电阻器、电阻炉、白炽灯都是以消耗电能为主的设备，其它电磁过程的功率与电阻上消耗的功率相比，都可忽略不计，我们便可以用一个理想的电阻（耗能）元件的模型来代替它们。在电感线圈的电容效应可以忽略的情况下，用理想的电感（储能）元件和理想的电阻元件相串联的模型来代替。电源与负载间的连线，在距离较短的情况下，其电阻完全可忽略不计，可看作是电阻为零的理想导体。若连线导体的电阻不能忽略时，在工程计算中，可将平均分布于导线各处的电阻用一个集中电阻的模型代替。各种电源既产生电动势，内部又有电能的损耗，可以用一个恒定不变的电动势（理想电压源）和一个理想电阻元件（称电源的内阻）相串联的供能和耗能元件的组合模型来代替。

既然各种实际的电路元件可用不同的模型来代替，模型又由一些理想元件所构成，这样，一个实际的电路便可由理想元件组成的电路表示了。这种用理想元件构成的电路

称为“电路模型”。今后我们所研究的电路都是这种电路模型，为了简单起见，将“理想元件”简称“元件”。

有了电路模型，便可以通过对电路模型的分析代替对实物的研究，用以揭示实际电路中的现象，解决实际电路中的问题。

三、电路的状态和额定值

电路的状态有开路、短路和有载工作三种情况。

(一) 开路

开路又称断路，是指电源与负载没有接通为闭合回路。图 1-3 电路中开关 K 断开时的状态是开路状态。此时，电路中电流等于零（即电源的外接电阻等于无穷大）。这种情况又称为电源空载或电源开路。

电源空载时的端电压（空载电压 U_0 ）等于电源电动势。因为电路中的电流为零，电源不向负载输出电能，电源产生的功率 P_e 及负载吸收的功率 P_z 均为零，即

$$\left. \begin{aligned} I &= 0 \\ U_0 &= E \\ P_e &= 0, P_z = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

绝大多数的情况下，电路是允许开路的，但有的电路（如电流互感器的副边电路）却是不允许开路的，这在后面的第六章中要讲到。

(二) 短路

短路是指电路任意两端间的直接连接。图 1-4 电路就是电源未经负载而直接由导线

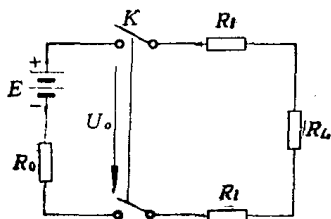


图1-3 电路的开路

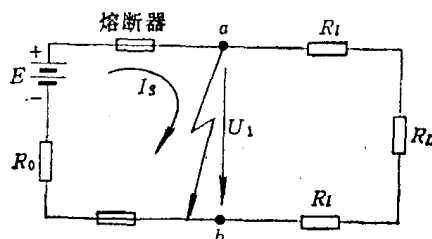


图1-4 电源的短路

接通成闭合回路，这种电源未经负载的直接短接，称电源短路。图中折线是表明短路点的符号，如短路发生在 ab 端，短路点 ab 间的电阻等于零，电路中只有电源内电阻 R_0 ，流过的电流为

$$I_s = \frac{E}{R_0} \quad (1-2)$$

这个电流称为短路电流。由于电源的内阻 R_0 一般很小，电源短路时，短路电流很大，电源端电压等于零，负载吸收的功率亦等于零，电源产生的功率全部消耗在电源内阻上，即

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= 0 \\ E &= I_s R_0 \\ P_e &= I_s^2 R_0, P_z = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

一般情况下，电源的短路往往由于接线错误或绝缘损坏所造成。短路后电流很大，使电源损坏，在实际使用中应尽量防止发生电源短路的情况。通常在电路中接入熔断器

(或自动开关), 在电源短路时, 能迅速断开电路。另外有些设备, 如电流互感器、电焊变压器 (或电焊发电机) 等, 却是在短路或接近短路的情况下工作的。

然而, 电路的短路, 并非都指电源短路而言, 有时为了某种需要可以将电路中某一段短路, 如图 1-5 中直流电动机在起动时串接入电阻 R_{ST} , 以限制起动电流, 电动机转动之后, 再用开关 K 将电阻 R_{ST} 短路除去, 这种部分电路的短路是有用和允许的。为了和“电源短路”相区分, 将部分电路的短路称为“短接”。

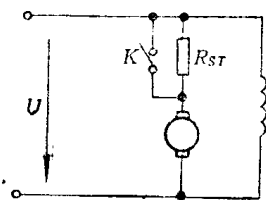


图1-5 起动电阻的短路

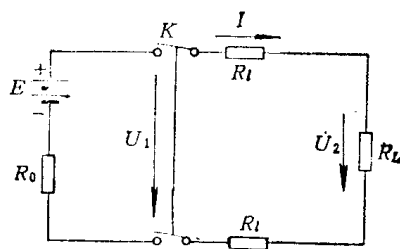


图1-6 有载电路

(三) 有载工作

电源与负载接通为闭合回路, 如图 1-6 电路中开关 K 闭合时的状态, 称为有载工作。此时, 电路有能量的转换, 在电动势 E 的作用下, 电路中将有电流 I 通过, 大小为

$$I = \frac{E}{R_0 + 2R_L + R_L}$$

负载的端电压

$$U_2 = IR_L = \left(\frac{R_L}{R_0 + 2R_L + R_L} \right) E$$

电源的端电压

$$U_1 = I(R_L + 2R_L) = \left(\frac{R_L + 2R_L}{R_0 + 2R_L + R_L} \right) E$$

或

$$U_1 = E - IR_0 \quad (1-4)$$

由式 (1-4) 看出, 电源的端电压是随负载电流 I 的大小而变化的。我国家用电压的标准为 220V, 在傍晚时电压往往要比深夜时低, 原因之一就是傍晚各家庭用电多, 总负载电流大, 使电源 (变压器) 输出的电压降低所致。另一原因是输电线上电阻的电压降落亦随负载电流增大, 使负载端电压更加降低。

电源产生的电功率

$$P_e = EI$$

负载吸收的功率

$$P_2 = I^2 R_L = U_2 I$$

P_e 和 P_2 之差 ΔP 是电源内阻 R_0 和导线电阻 $2R_L$ 上损耗的电功率

$$\Delta P = P_e - P_2 = EI - U_2 I = (E - U_2) I$$

$$= (IR_0 + 2IR_L) I = I^2 R_0 + I^2 (2R_L)$$

所以

$$P_e = P_2 + \Delta P \quad (1-5)$$

式 (1-5) 是电路功率平衡关系式, 它表明在电路有载时, 电源产生的电功率等于

负载吸收的电功率与电路损耗的电功率之和。

1. 额定值

电路在任载工作时, 电源、负载等电气设备的功率、电压、电流都有一定的限额, 不允许随意增大, 这个限额值称为额定值, 用来表示正常安全工作的条件和负担载荷的能力。额定值一般有:

额定电流——电气设备在规定温度下, 允许长期通过的最大电流。

额定电压——电气设备在长期工作时, 允许承受的最高电压。

额定功率——电气设备工作时, 允许的输出功率或输入功率。

电气设备的额定值是由生产厂家根据使用的经济性、可靠性、温升、正常寿命等因素而规定的, 使用时特别要注意电气设备的工作温度不要超过规定的允许值。额定值一般都标志在设备的铭牌上或写在说明书中。考虑到使用时的方便, 额定值常以不同的形式给出。白炽灯、电炉等常给出额定电压和额定功率, 如220 V、100 W的白炽灯, 表示在220 V额定电压时, 输入的额定功率是100 W。当然亦可算出它的额定电流是0.455 A。电阻器、滑线电阻常给出电阻值和额定电流, 如500 Ω , 1 A。电位器、无线电电阻元件等常给出电阻值和额定功率, 如510 Ω 、1/8 W。

额定值是考虑到多种因素(特别是温升因素)而规定的限额值, 并不是说电压超过额定值就会立即击穿绝缘, 电流超过额定值就立即烧毁设备, 而是超过额定值后, 电气设备或元件的使用寿命会大大降低。只有当超过额定值很多时, 才会使设备立即损坏。如将额定电压220 V的白炽灯、电烙铁错接上380 V电压, 会因流过电流过大而立即烧坏。如一台交流电动机, 输出功率为额定值时, 使用寿命可达10~20年, 当输出功率为额定值的125%时, 其寿命锐减为一个半月左右, 而当输出功率为额定值的150%时, 只运行几个小时就因温升急剧增大而损坏。

相反, 使用时若低于额定值, 对于电阻性负载则不能发挥正常的效能, 如电压低于220 V, 白炽灯的亮度不够, 电热器的温度降低。对电动机来说, 低于额定电压时, 转速降低, 电流增大, 当电流超过额定值后, 亦会使电机过热, 降低使用寿命。

电源、负载等电气设备的工作电流等于额定值时, 称为满载, 超过额定电流时, 称为过载, 低于额定电流时, 称欠载。长时过载是不允许的。短时过载, 虽未必造成明显的事故, 但会影响设备的使用寿命, 一般也是不允许的。欠载时, 设备未得到充分的利用, 是低效率、不经济的。一般都要求尽可能在满载或接近满载的状态下工作。

2. 最大功率的传输

在电子电路中, 为使负载得到最大的功率, 往往要求向信号源取得最大的传输功率。从图1-7(a)看出, 负载电阻中的电流 I 为

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

负载得到的功率为

$$P = I^2 R = \frac{E^2 R}{(R + R_0)^2} \quad (1-6)$$

由式(1-6)看出, 负载功率的大小取决于 R 的大小。 $R = 0$ 时, 负载功率为零, $R \rightarrow \infty$ 时, 电路中电流 $I = 0$, 负载功率亦为零, 其变化规律如图1-7(b)所示。要使负载功率

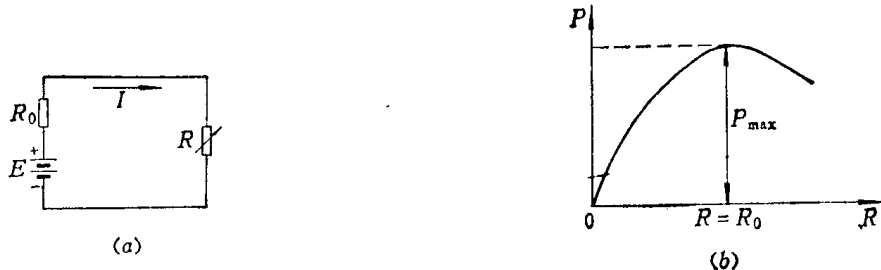


图1-7 最大功率的传输

取得最大值，则令

$$\frac{dP}{dR} = 0$$

可得出

$$R = R_0$$

即当负载电阻等于信号源内阻时，负载能够获得最大的功率。其大小为

$$P_{\max} = \frac{E^2}{4R_0} \quad (1-7)$$

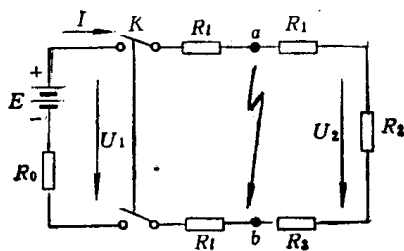
电路在 $R = R_0$ 的条件下工作，称为“匹配”工作状态。此时负载获得了最大功率，但信号源产生功率的一半却在内阻中损耗了，只有一半传输给负载，电路的传输效率只有 50%。在电力系统传输电能的电路中，为了减少损耗和节约电能，电路不应在匹配状态下工作。但在信号电路中，由于电路传输的功率本身很小，传输效率的高低就不太考虑，主要考虑如何使负载得到最大的功率，因而要求电路在匹配或接近匹配的状态下工作。

*

*

*

例题1-1 例题 1-1 图中 $E = 12\text{V}$ ， $U_1 = 11.4\text{V}$ ， $R_0 = 0.3\Omega$ ， $R_1 = 0.1\Omega$ ， $R_2 = 1.5\Omega$ ， $R_3 = 1\Omega$ ，求电路中电流 I 、电阻 R_2 、电压 U_2 、电源产生和输出的功率、导线和电阻负载消耗的功率、电源的开路电压及 ab 端短路时的电流。



例题1-1图

解

(1) 根据 $U_1 = E - IR_0$ 的关系式，电路中的电流 I 为

$$I = \frac{E - U_1}{R_0} = \frac{12 - 11.4}{0.3} = 2 (\text{A})$$

(2) 由一段无源电路的欧姆定律可知

$$U_1 = I(2R_1 + R_1 + R_2 + R_3) = IR$$

$$R = 2R_1 + R_1 + R_2 + R_3$$

$$R = \frac{U_1}{I} = \frac{11.4}{2} = 5.7 (\Omega)$$

$$\begin{aligned} R_2 &= R - (2R_l + R_1 + R_3) \\ &= 5.7 - (0.2 + 1 + 1.5) = 3 (\Omega) \end{aligned}$$

(3) 因为电流 I 已求得, 所以

$$U_2 = IR_2 = 2 \times 3 = 6 (\text{V})$$

若电流 I 未知时, 可由分压公式求得

$$U_2 = U_1 \frac{R_2}{2R_l + R_1 + R_2 + R_3} = 11.4 \times \frac{3}{0.2 + 1 + 3 + 1.5} = 6 (\text{V})$$

(4) 电源产生的功率

$$P_s = EI = 12 \times 2 = 24 (\text{W})$$

电源输出的功率

$$P_1 = U_1 I = 11.4 \times 2 = 22.8 (\text{W})$$

电源内阻消耗的功率

$$P_0 = P_s - P_1 = 24 - 22.8 = 1.2 (\text{W})$$

或

$$P_0 = I^2 R_0 = 2^2 \times 0.3 = 1.2 (\text{W})$$

导线损耗的功率

$$P_l = I^2 (2R_l) = 2^2 \times 0.2 = 0.8 (\text{W})$$

电阻负载消耗的功率

$$P_2 = I^2 (R_1 + R_2 + R_3) = 2^2 (1 + 3 + 1.5) = 22 (\text{W})$$

(5) 电源的开路电压

开路时

$$I = 0$$

$$U_0 = E = 12 (\text{V})$$

(6) 当 ab 端短接时的短路电流

$$I_s = \frac{E}{R_0 + 2R_l} = \frac{12}{0.3 + 0.2} = 24 (\text{A})$$

当电源端短路时的短路电流

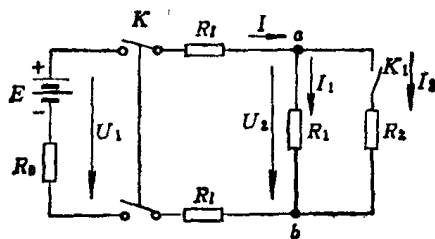
$$I_s = \frac{E}{R} = \frac{12}{0.3} = 40 (\text{A})$$

*

*

*

例题1-2 例题 1-2 图为一并联电路, 图中 $E = 220 \text{ V}$, $R_0 = 0.2 \Omega$, $R_l = 0.1 \Omega$, $R_1 = 10 \Omega$, $R_2 = 6.67 \Omega$ 。试求: 开关 K_1 闭合前、后电路中电流、负载端电压和功率的数值。



例题1-2图

解

(1) 未闭合 K_1 前为一串联电路

$$I = \frac{E}{R_0 + 2R_l + R_1} = \frac{220}{0.2 + 0.2 + 10} = 21.154 \text{ (A)}$$

$$U_1 = E - IR_0 = 220 - 21.154 \times 0.2 = 215.77 \text{ (V)}$$

$$U_2 = E - I(R_0 + 2R_l) = 220 - 21.154 \times 0.4 = 211.54 \text{ (V)}$$

或 $U = U_1 - I(2R_l) = 215.77 - 21.154 \times 0.2 = 211.54 \text{ (V)}$

或 $U_2 = IR_1 = 21.154 \times 10 = 211.54 \text{ (V)}$

负载消耗的功率

$$P_2 = I^2 R_1 = (21.154)^2 \times 10 = 4474.9 \text{ (W)}$$

(2) K_1 闭合后, R_1 和 R_2 组成并联电路

$$R_{ab} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10 \times 6.67}{10 + 6.67} = 4 \text{ (}\Omega\text{)}$$

$$I = \frac{E}{R_0 + 2R_l + R_{ab}} = \frac{220}{0.2 + 0.2 + 4} = 50 \text{ (A)}$$

$$U_1 = E - IR_0 = 220 - 50 \times 0.2 = 210 \text{ (V)}$$

$$U_2 = E - I(R_0 + 2R_l) = 220 - 50 \times 0.4 = 200 \text{ (V)}$$

负载消耗的功率

$$P_2 = I^2 R_{ab} = 50^2 \times 4 = 10000 \text{ (W)} = 10 \text{ (kW)}$$

各支路电流

$$I_1 = \frac{U_2}{R_1} = \frac{200}{10} = 20 \text{ (A)}$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{200}{6.67} = 30 \text{ (A)}$$

$$I = I_1 + I_2 = 20 + 30 = 50 \text{ (A)}$$

若总电流 I 已知而 U_2 未知时, 可用分流公式计算各支路电流为

$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 50 \times \frac{6.67}{10 + 6.67} = 20 \text{ (A)}$$

$$I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 50 \times \frac{10}{10 + 6.67} = 30 \text{ (A)}$$

*

*

*

由上面两种情况的计算结果看出, 当负载增多时, 总的负载电阻 R_{ab} 由 10Ω 变小到 4Ω , 负载总电流由 21.154A 增至 50A , 负载功率由 4.475kW 增至 10kW 。

通常, 绝大多数的负载都要求在额定电压下工作, 各个负载相互并联后接入电路。当负载增多时, 总负载电阻减小, 总负载功率或电流均增大。我们平时所说增大负载即指增大负载功率 (或电流) 而言, 此时负载总的电阻不是增大而是减小了, 这点要注意区别。