

分类号: H315.9

学校代码: 10363

密 级: 公开

学 号: 2221210101



安徽工程大学

Anhui Polytechnic University

硕士学位论文

题目 《电气工程基础》（第二章）汉译实践报告

论文作者 王潇

校内导师 唐雪梅

校外导师 师建胜

专业学位类别 翻译硕士

研究方向(领域) 英语笔译（工程技术翻译）

论文提交日期: 2025 年 5 月 15 日

分类号：H315.9

单位代码：10363

密 级：公开

学号：2221210101

题 目 《电气工程基础》（第二章）汉译实践报告
A Report on the E-C Translation Practice of
Electrical Engineering Fundamentals (Chapter 2)

论文作者： 王潇

校内导师： 唐雪梅

校外导师： 师建胜

专业学位类别： 翻译硕士

研究方向（领域）： 英语笔译（工程科技翻译）

论文提交日期： 2025 年 5 月 15 日

安徽工程大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：我恪守学术道德，崇尚严谨学风。所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已明确注明和引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品及成果的内容。论文为本人亲自撰写，我对所写的内容负责，并完全意识到本声明的法律后果由本人承担。

学位论文作者签名：



日期：2025 年 5 月 20 日

安徽工程大学学位论文版权使用授权书

学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅或借阅。本人授权安徽工程大学可以将本学位论文的全部或部分内 容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

保密 ☐，在 _____ 年解密后适用本版权书。

本学位论文属于

不保密 ☒。

学位论文作者签名：



指导教师签名：



日期：2025 年 5 月 20 日

日期：2025 年 5 月 20 日

致 谢

三年前的盛夏，蝉鸣正撕开粘稠的暑气。攥着录取通知书踏入校门，感受着每一丝炽烈阳光的炙烤，二十一岁的我虽自觉像一株被移植的植物，根系悬在风中，内心却也似阳光般满怀热烈，以为学术的土壤能治愈所有惶然。可真正扎根时才发现，生长的阵痛远比想象中剧烈。

但此刻停笔回望，裂缝中竟也开出了细碎的花。

行文至此，眼眶已盈满潮汐。感谢我的导师唐雪梅教授，经师易遇，人师难得。在无数个被无知与困惑淹没的深夜，您递来的那盏灯不仅照亮了论文，更照亮了我对优秀女性的向往与热忱。感谢我的父母以沉默的脊梁托起我的天空，他们从未要求我“飞得有多高”，只关心我“飞得累不累”，默默铺展一片可供栖息的云。感谢我的朋友们，深夜便利店的泡面比任何迷惘时留下的灼烧都滚烫，一起挤在书店静心翻开的每一页书扉能够解答所有困惑，对着荒诞新闻笑到打翻的奶茶，才是存在主义最鲜活的注脚。

今晨推窗，发现玉兰已褪去嫩芽肆意盛开。世界仍在错综的泥沼中跋涉，但有人教会我收藏动词里的蝉蜕、形容词中的晨露。“每种语言都是正在融化的冰川”，而我们依旧固执地站在季风带，为每个流浪的文字搭建临时的巢。

与生活碰杯，也与理想碰杯，我们终将成为自己的港湾。

摘 要

本次翻译实践材料选自 S·鲍比·劳夫 (S. Bobby Rauf) 所著的《电气工程基础》(*Electrical Engineering Fundamentals*)。作者以通俗易懂的方式介绍了电气工程基本概念和原理,特别通过类比日常生活现象及借鉴其他工程领域的实例,使抽象的电学理论更具可理解性,并构建了核心参数的计算方法及核心内容的知识体系。译者本次翻译实践聚焦于该书第二章的汉译,该章节主要探讨直流电路分析,涉及电气工程领域的基础理论与工程计算方法。其内容涵盖电阻、电压、电流及功率的计算规则,详细介绍了基尔霍夫定律、戴维南定理与叠加原理等关键概念,并辅以实例分析和计算演练,以帮助读者掌握电路分析的基本技能。该章语言逻辑严谨、术语高度专业化,兼具学术性与应用性,对后续章节的深入学习具有奠基作用。

首先,针对章节内出现的大量电气工程专业术语,报告介绍了如何通过查阅相关平行文本、专业词典和技术手册,以及与 ChatGPT 等人工智能大语言模型交互合作确保表达的专业性与准确性。其次,对于原文技术性表达不够清晰或逻辑步骤被内化的地方,译者采取了增译的方法对相关专业背景知识进行完善。此外,在翻译过程中遇到的句子结构问题,特别是如何处理复合长句等复杂句式结构,报告提供了具体的翻译方法,包括切分法、换序法。最后,对于源文本中大量使用的隐喻表达如词汇隐喻和语法隐喻,译者分别采用了去隐喻化和转换词性的策略,使译文更加符合中文表达习惯,易于读者理解。

通过本次翻译实践,译者不仅能够深化对电气工程基础理论的理解,还进一步扩充了进行相关翻译工作时所需的专业知识储备。此外,通过将该章节翻译成中文,译者希望能够帮助不同背景的读者都能更好地掌握电气工程的核心知识,并为该领域的翻译实践提供相关经验参考。

关键词: 《电气工程基础》; 专业词汇; 隐喻; 复合长句; 词性转换

Abstract

The source material for this translation project is selected from *Electrical Engineering Fundamentals* by S. Bobby Rauf. In this book, the author adopts an accessible approach to introducing core concepts in electrical engineering, notably through analogies to everyday phenomena and cross-disciplinary examples. These methods enhance the reader's understanding of abstract theories while systematically presenting calculation techniques. This translation practice focuses on Chapter 2, which primarily discusses direct current (DC) circuit analysis. The chapter covers basic theoretical concepts and engineering calculation methods in the field of electrical engineering, including the calculation of resistance, voltage, current, and power. It also offers detailed explanations of key concepts such as Kirchhoff's laws, Thevenin's theorem, and the superposition principle, supplemented by illustrative examples and computational exercises to help readers acquire fundamental circuit analysis skills. The chapter is characterized by rigorous logical structure and highly specialized terminology, combining academic depth with practical relevance, and laying a solid foundation for the study of subsequent chapters.

Firstly, in response to the large number of specialized terms in the chapter, this report outlines how to ensure professional and accurate expression by consulting parallel texts, technical dictionaries, and engineering manuals, as well as by interacting with large language models such as ChatGPT. Secondly, in cases where the original text presents ambiguous technical expressions or omits certain logical steps, amplification was employed to elaborate on the underlying professional knowledge and clarify the intended meaning. In addition, with regard to syntactic challenges—particularly how to handle complex and lengthy sentence structures—this report presents specific translation techniques such as segmentation and syntactic reordering. Lastly, for the frequent use of metaphorical expressions in the source text, including lexical metaphors and grammatical metaphors, the translator adopted strategies such as demetaphorization and conversion of parts of speech, aiming to make the translation more consistent with Chinese linguistic conventions and easier for readers to comprehend.

Through this translation project, the translator not only deepened understanding of fundamental theories in electrical engineering but also enriched reservoir of domain-specific knowledge necessary for technical translation. By rendering this chapter into Chinese, the translator hopes to assist readers from diverse backgrounds in better grasping the core concepts of electrical engineering, while also providing a reference for translation practice in this field.

Keywords: *Electrical Engineering Fundamentals*; Technical Terminology; Metaphor; Complex Sentences; Conversion of Parts of Speech

目 录

致 谢.....	III
摘 要.....	IV
Abstract.....	V
目 录.....	VII
第一章 任务简介.....	1
1.1 源文本来源.....	1
1.2 源文本内容.....	1
1.3 实践意义.....	2
第二章 译前准备.....	3
2.1 文本特点与类型分析.....	3
2.2 平行文本的查阅.....	4
2.3 翻译工具的使用.....	4
2.4 专业名词及术语表的建立.....	5
第三章 案例分析.....	7
3.1 专业知识的准确表述.....	7
3.1.1 词汇知识的系统查证.....	8
3.1.2 背景知识的适当增补.....	12
3.2 复合长句的灵活处理.....	13
3.2.1 切分法理清逻辑.....	14
3.2.2 换序法理顺逻辑.....	17
3.3 隐喻含义的直接表达.....	20
3.3.1 词汇隐喻的去隐喻化.....	21
3.3.2 语法隐喻的词性转换.....	24
第四章 总结与反思.....	27
4.1 译后审校.....	27
4.2 心得与收获.....	27
4.3 不足与改进.....	28
参考文献.....	30
附录一：专有名词及术语表.....	32
附录二：原文与译文对照表.....	35

第一章 任务简介

1.1 源文本来源

本次翻译实践选取的源文本为国际工程教育专家 S·鲍比·劳夫 (S. Bobby Rauf) 教授编著的《电气工程基础》 (*Electrical Engineering Fundamentals*)，该书由国际权威科技出版机构 CRC 出版社于 2020 年推出最新修订版。作为面向 21 世纪电气工程学科的基础性教材，该书系统整合了电路分析、电磁场理论、电力系统、电子技术及自动化控制等核心知识模块，既注重经典理论框架的建构，又纳入了智能电网、可再生能源技术等前沿领域的发展动态，形成“基础理论—工程应用—行业趋势”三位一体的知识体系。作者凭借其多年于工业企业与高校深耕的教学及科研实践经验，按照概念引入+案例引导的逻辑结构进行核心参数的讲解，通过大量的实践案例分析以及配套的计算方法，实现了抽象理论与工程实践的深度融合。

经查证，目前国内尚未引进该著作的官方译本，各大高校图书馆及主流电子书平台仅提供英文原版资源。本次翻译实践以原书第二章“直流电路分析，二极管和晶体管——双极结型晶体管，金属氧化物半导体场效应晶体管和绝缘栅双极晶体管” (DC Circuit Analysis, Diodes, and Transistors - BJT, MOSFET, and IGBT) 为研究对象，该章节作为全书理论基石，系统阐释了基尔霍夫定律、戴维南定理、叠加原理等核心概念，并创新性地引入工业设备故障诊断等实践场景。源文本共计 10150 词，经翻译成 15186 字译文，遵循翻译硕士学位论文对实践文本的专业性、典型性及体量要求。

1.2 源文本内容

《电气工程基础》是一本全面介绍电气工程领域的基础理论与实践应用的专业书籍，内容涉及电气工程的各个核心领域，包括电路分析、电子元件、信号与系统、电磁学、电机与驱动系统、控制理论等。书中通过系统性地讲解电气工程的基本概念、定律和实际应用，旨在为电气工程的初学者提供清晰的学习路径，同时为具有一定基础的电气工程师提供实践指导，帮助其更好地应用相关知识解决实际问题。

本书的第二章内容主要聚焦于直流电路分析，详细介绍了电气工程中基础的电

路分析方法，强调通过实际的例子和习题解析来帮助读者理解并掌握电路分析技巧。该章首先介绍了电路的基本概念与定律，如欧姆定律、基尔霍夫电压定律（KVL）和基尔霍夫电流定律（KCL），这些内容是后续电气工程学习中的基础。书中结合大量的实例讲解基本定律，阐述了如何利用上述定律计算电阻、电压、电流和功率。同时，本章还详细讨论了串联电路和并联电路的分析方法，介绍了如何在不同的电路结构中应用相应的分析技巧。通过介绍不同电路结构的基本特征及其运行原理，读者可以更好地理解如何进行电路的分析与优化。此外，第二章还着重讲解了一些电气工程中常见的、广泛用于解决复杂电路问题的电路分析工具。

1.3 实践意义

电气工程作为一门重要的工程学科，近年来在国际上已发展出成熟的理论体系和实践方法。国外的电气工程教材在理论深度和应用广度上达到了较高水平，广泛应用于本科和研究生教学中。(Glover et al., 2016) 而目前，国内电气工程教材多以翻译国外经典教材为主，自编教材较少，且更新速度较慢，难以跟上国际技术发展的步伐。(贾文超, 2014) 因此，翻译此类国外高水平专业教材，能为国内的学生和研究人员带来更多的国际化视野。本教材包含最新的理论成果与技术应用，可以帮助国内读者更好地理解和掌握国际电气工程领域的前沿知识与技术。通过引入和普及这些先进的学术资源，译者希望能够促进国内电气工程教育与科研水平的提高，尤其能在教学内容的更新和研究视野的拓展方面起到积极的推动作用。

此外，通过翻译本书内容，译者不仅能够深入理解电气工程的基础理论，且能够将这些理论与实际应用相结合，进一步加深对专业知识的理解。这一过程有助于巩固和扩展译者在电气工程领域的知识储备，同时也是提升翻译能力的重要途径。通过反复推敲原文中的表达方式和技术细节，译者能在实践中不断提升自己的专业素养，这是本次翻译实践的重要学术目标。

第二章 译前准备

在科技翻译实践中，译前准备是确保译文专业性与准确性的关键环节，尤其是针对本材料这种电气工程领域的技术性文本，充分的前期准备能够有效提升术语的规范性与表达的逻辑性。在正式翻译前，译者首先对源文本的内容结构与语言特点进行了分析，明确其作为工程技术教材的学术性与实践导向；其次，查阅电气工程相关的平行文本，包括国内外教材、标准文献及学术论文，以深入理解核心概念及其技术背景；此外，借助计算机辅助翻译工具（CAT）、术语库及专业词典，以提高术语管理的精准度和译文的连贯性；最后，围绕材料中出现的关键专业术语建立术语库，确保译文符合电气工程领域的专业表达规范。这些译前准备工作为后续翻译实践提供了坚实支撑，是使译文既具学术严谨性又符合工程技术应用需求的前提。

2.1 文本特点与类型分析

作为一本系统阐述电气工程基本理论与实践应用的专业教材，该书涵盖了电路分析、电磁学、电子学、信号与系统等多个核心领域，具有较强的理论性和技术性。书中不仅系统介绍了电气工程学科的基础概念与理论框架，还通过大量实例与应用分析，帮助读者掌握电气工程的基本技能。第二章《直流电路分析》作为全书的重要组成部分，深入探讨了直流电路的基本概念、定律及分析方法，涉及电阻、电压等基本物理量的计算，并进一步引入相关基础定律，为后续的电路分析与设计奠定理论基础，提供方法指导。依据赖斯（Katharina Reiss）的文本类型理论，本书属于信息型文本。（杰里米·芒迪, 2014）

本章的显著特征之一是其高度专业性，涵盖了大量电气工程领域的专有术语与概念，并涉及较为复杂的定律与定理。为了准确传达这些术语的定义及其特定应用场景，译者需深入理解其确切含义、适用范围及在不同语境下的翻译策略。在翻译过程中，应确保术语的精准性，避免误译或概念模糊，以保证读者能够准确理解书中的理论体系和技术内容。

此外，本章大量使用长难句，这是科技文本，尤其是信息型文本的显著特点，常表现为多从句结构、插入成分以及并列关系的复杂交织。翻译此类英语长句时不外乎两种方法：拆分长句和打乱结构重新组合。关键是要在全面、透彻、准确理解

原文的思想内容、深层含义和语言风格；其次，要找到句子主干和各部分间的语法关系；最后是捋清各部分间逻辑联系。不管怎样，都要求译文必须准确传达原文信息，通顺流畅，气势、节奏不变。(刘庆荣, 2009: 70)

最后，本章内容逻辑严密、结构清晰。各部分之间逻辑关系紧密，依次从基本概念的定义，到相关定理的推导与应用，再到具体电路实例的详细解析，每一环节均环环相扣、层层递进。在翻译过程中，译者需精准把握这一逻辑顺序，确保译文能够有效传递各概念之间的逻辑关联，保证知识体系的条理性与层次性，使读者能够循序渐进地掌握电路分析的基本方法和应用技巧。

2.2 平行文本的查阅

为了确保翻译质量，译者在翻译过程中系统查阅了相关的平行文本和参考资料，以帮助准确理解和表达源文本中的专业术语与技术概念。首先，译者查阅了多部国内外电气工程领域的经典教材。例如，《电路分析基础》（*Foundations of Electric Circuits*）、《电磁学》（*Electromagnetics*）等被广泛使用的电气工程教材。在翻译过程中，译者借助此类书籍对相关术语的翻译进行了比对，确保一致性并选用符合中文技术表达习惯的术语。

与此同时，译者还参考了电气工程领域的权威文献和专业期刊，尤其是国内外的学术性文章，以便获取专业准确的技术成果及术语表达。例如，徐祖能和董在望 (1992: 55) 的《一种确定弱非线性双端口网络模型参数的新方法》，该文献涉及电路分析和网络建模的相关研究，其中的术语解释和表达方式帮助译者疏通了部分理解过程中的关键堵点。

最后，译者参照了电气工程相关的技术标准和手册，如《电气工程手册》（*The Electric Power Engineering Handbook*）等权威参考书籍，这些书籍不仅涵盖了广泛的电气工程领域内容，还为翻译过程中涉及的技术术语提供了标准化的定义和使用规范。通过这些平行文本的查阅，译者能够更好地把握电气工程领域的专业语言和表达方式，确保译文的准确性与规范性。

2.3 翻译工具的使用

首先，译者借助 DeepL 和 MemoQ 等 CAT 工具，高效管理术语库、翻译记忆库

及标准化表达方式。这些工具能够自动存储和调用已有译文，提高术语使用的统一性，还能通过智能匹配减少重复性劳动，从而大幅提升翻译效率和译文的一致性，特别是在本文这种涉及大量重复表达或术语高度集中的科技文本时，CAT 工具的优势尤为显著，不仅减少了翻译过程中可能产生的人为疏漏，也有效提高了译文的质量与可读性。

此外，为进一步保障译文的准确性与学术严谨性，译者广泛查阅并综合运用了 IEEE Xplore、Linguee、必应词典、维基百科等在线词典、专业术语库及学术数据库。这些平台汇集了大量权威术语和标准译法，使译者能够快速确认源文本中各类专业词汇的精准含义及其在具体学科中的应用方式。例如，在电路分析相关内容的翻译过程中，IEEE Xplore 平台的研究论文不仅提供了详尽的理论背景，还涵盖了众多实践案例，为译者理解并准确传达复杂术语提供了重要支持。此外，Linguee 等双语语料库的参考功能，使译者能够借鉴国际权威文献中的译法，提高术语选用的准确性和译文整体的学术规范性。

同时，在面对某些难以直译或概念复杂的内容时，译者充分利用 AI 大语言模型如 ChatGPT 等进行搜索、查证及翻译思路拓展。AI 工具在信息检索、语境分析和译文优化方面展现出较强的辅助能力，尤其是在处理多义词、行业术语及长难句时，能够提供多种可能的译法供参考。然而，译者同时也需要充当合格的“把门人”，需要有判断力、鉴别力，能够评估 AI 工具产出的优劣，能够针对不足之处做必要的调整。(蔡力坚, 2024: 182) 因此，译者并未完全依赖 AI 生成的译文，而是通过人工校对与系统查阅，结合具体语境进行精准验证和调整，以确保译文的准确性、连贯性及专业性。通过以上工作，译者在优化译文表达的同时，有效解决了关键概念的翻译难点，保障翻译工作高质高效进行。

2.4 专业名词及术语表的建立

本次翻译中，源文本涵盖了大量电气工程领域的专业术语与专有名词，术语的准确性和一致性直接关系到译文的专业性与可读性。因此，在翻译准备阶段，构建系统化的术语库显得尤为重要。若术语表达不统一，不仅会影响译文的整体连贯性，还可能导致专业信息传递上的偏差，对后续的翻译工作造成不利影响。

因此，在正式翻译前，译者首先通过必应词典、CNKI 百科、术语在线等网络资

源进行了广泛查证，这些平台提供了大量经过验证的专业术语及其跨领域的对照信息，为电气工程相关术语的精确定义奠定了基础。与此同时，译者还查阅了《现代汉英词典》等权威工具书，以获得基础术语的清晰定义和标准译法，确保每一项术语都能在目标语中准确传达原意。

为了便于翻译工作的高效推进，译者在翻译过程中系统地汇总整理了源文本中的所有专业术语，并制成详细的术语表。该术语表不仅在翻译过程中作为实时参考工具使用，而且在后期审校阶段也成为核对和统一译文专业表达的重要依据。此外，译者还与研究相近领域的同学开展了深入讨论，共享各自的术语资源和经验，从而进一步完善了术语库的准确性和适用性。

第三章 案例分析

在本章内容，译者将重点阐述本次翻译实践中遭遇的核心挑战，并通过具体案例分析其应对策略。翻译过程中，译者主要面临三大关键性难题——专业知识的准确表述、复合型英语长句的逻辑传达以及隐喻含义的直接表达。译者通过系统化查证推敲与创造性转换，最终形成了解决以上三大难点的翻译方案。下文将结合典型译例，详细阐释这三大翻译难点的具体表征及其解决路径。

3.1 专业知识的准确表述

本翻译材料的原文中存在大量电气工程术语，除了已经过查证，并收集整理于本报告术语表中的专业词汇外，还有一些以常规方法难以直接查证到的术语。同时，还存在一词多义的现象，一些普通词汇在被引入专业领域后会被赋予新的含义。(韦孟芬, 2014: 5) 英语母语者偏好语言变化，在同一文章中可能应用多个词汇来表达同一事物，译者在科技文章进行翻译时，应该注意词汇的相互替换；汉语科技文献对概念类的词汇基本不会发生替换情况，是为了保证文章前后的一致性，由于习惯不同，译者必须了解这一问题，避免译文表达出现错误。(杨宗洁, 2020: 52) 对于这些难以处理的词汇，译者需要通过系统检索资料获取词义，暂且概括为“系统查证法”。

除此之外，在本次翻译过程中，译者发现，由于中英文两种语言表达习惯的差异，常存在英文原文被直译为中文后，部分原义被内化，也就是表达不够清晰的情况，这容易使非专业领域的读者或初学者难以准确理解技术概念或逻辑关系。翻译不仅仅是语言转换的过程，更是作者与读者之间的桥梁，其核心任务在于既要忠实传达原作者的意图，又要确保读者能够准确理解文本所表达的科学信息。因此，当原文表述较为隐晦或省略某些关键信息时，译者采取了适当的增译策略，使内容更加清晰、逻辑更加严密。然而，这里的增加不是无中生有的随意增加，而是增加原文中虽无其词却有其意的词语。虽然从理论上说可以根据具体的上下文增加词，但在什么时候增加什么词才能恰到好处而不超出一定的界限，则需要悉心体会。(李银芳, 2007: 19)

3.1.1 词汇知识的系统查证

对于源文本中难以直接查证到的专业词汇，译者通过查阅专业书籍、网站和期刊等资料，筛选出多种可能的译法并进行比较，结合权威的专业书籍或电子工具。针对一词多义现象，译者需要做到既能深入领会单词的本意及引申含义还要将词语置于段落中结合语境判断选择的词义是否正确。(李崇溪、周柳琴, 2023: 5314) 在此基础上，必要时译者还借助了人工智能大语言模型如 ChatGPT 等进行查证路径和方向的思路提示，或根据中文进行英语译文的反推，再进一步结合搜索工具和文献进行甄别和验证，最终敲定合适的译法。

例 1: ... such as the conversion of Y (or Star) load (or resistor) configuration to Delta “ Δ ” load configuration or vice and versa ...

初译：例如，可以将 Y（或 Star） 负载配置转换为德尔塔“ Δ ”负载配置，反之亦然，...。

改译：例如，可以将 Y（星形） 连结的负载配置转换为 Δ （三角形） 连结的负载配置，反之亦然，...。

分析：本句的难点在于对 Y（or Star）load 以及 Delta “ Δ ” load 的翻译。译者首先在 linguee 等词典软件及术语网站上查询 Y load、Star load、Delta load 均无法直接查出其专业释义，也并未搜到相关可供参考的文献。于是，译者观察 Star、Delta 等词汇的形状特点，试通过其中文释义进行逆向验证。以 Star load 为例，译者通过搜索汉语“星形电阻”以查证其英语译法是否为 Star load。最终于 zhihu.com 物理专区发现了相关内容的清晰注释（如图 1），初步证明 Y、Star、Delta 指电阻形状。

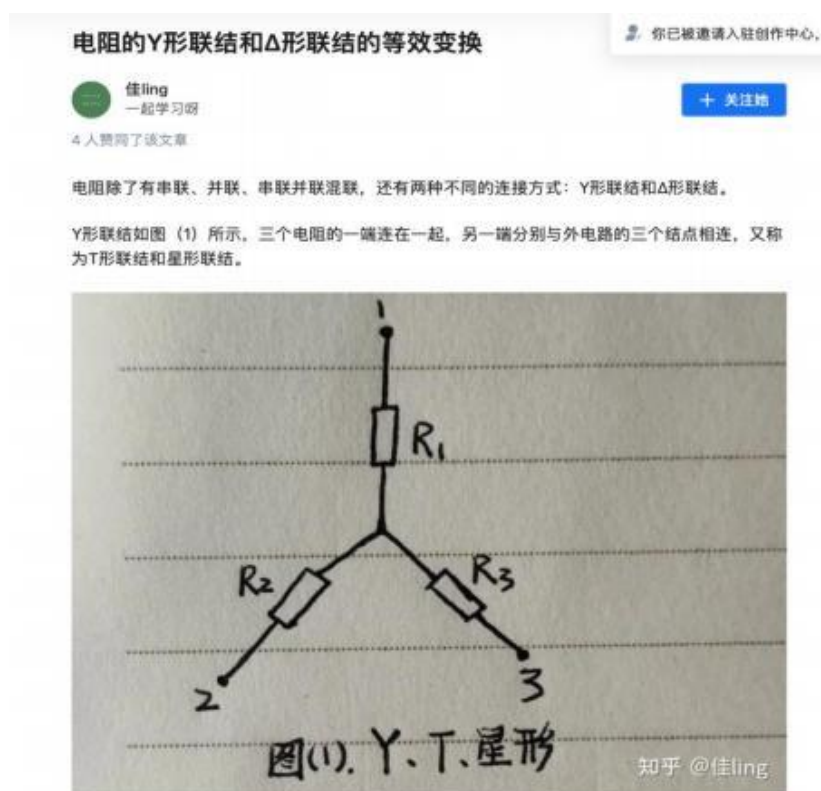


图1 来源: zhihu.com

最后, 为进一步验证, 译者于维基百科查找 Y 形电阻, 得到最终的证实 (如图 4) :

Y-Δ變換 [編輯]

文A 23 種語言

條目 討論 香港繁體

閱讀 編輯 檢視歷史 工具

維基百科，自由的百科全書

Y-Δ變換或稱為**星角變換**，是一種把**Y形電路**轉換成等效的**Δ形電路**，或把Δ形電路轉換成等效的Y形電路的方法。它可以用來簡化電路的分析。這一變換理論是由**亞瑟·肯內利**於1899年發表。^[1]

基本的Y-Δ變換 [編輯]

設 R_1 、 R_2 、和 R_3 分別是Y形電路中從 N_1 、 N_2 、 N_3 到中點的**阻抗**， R_a 、 R_b 、 R_c 分別是Δ形電路中 N_1 與 N_3 、 N_1 與 N_2 、 N_2 與 N_3 之間的阻抗。希望把Y形電路換成Δ形電路，或把Δ形電路換成Y形電路後，任意兩個端點之間的阻抗仍然與原來的電路相等。

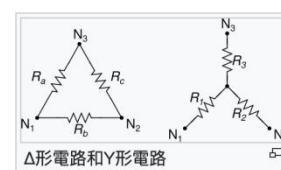


图2 来源: 维基百科

因此, 确定“Y (or Star)、Delta ‘Δ’”的翻译为“Y (星形) 连结的”“Δ (三角形) 连结的”。

例 2: ..., mathematical representation of Ohm's law, in the form of Eq. 2.2 applies to AC circuits, where voltage “V” and current “I” are vectors or complex entities and R,

as always, is scalar. Note that the symbols with “half-arrows” above them denote complex AC, or vector, entities.

初译：欧姆定律的数学表达式（如公式 2.2 所示）同样适用于交流电路。在交流电路中，电压“V”和电流“I”是矢量或复杂实体，而电阻“R”始终是标量。请注意，上方带有“半箭头”符号的变量表示复杂的交流实体或矢量实体。

改译：欧姆定律的数学表达式（如公式 2.2 所示）同样适用于交流电路。在交流电路中，电压“V”和电流“I”是矢量或复数，而电阻“R”始终是标量。请注意，上方带有“半箭头”符号的变量表示交流复数或矢量。（entities 不译）

分析：本句的翻译难点在于对于“complex entity”的处理，初译版本中译者按其字面意思翻译为“复杂实体”，但显然这样的用词不够精准和专业。译者查询各种词典和搜索引擎均无法直接查证到两词在电气工程背景下的具体译法。

初步参考 ChatGPT 的译法以求翻译思路的提示，其译文如图 3：

欧姆定律的数学表达式（如公式2.2所示）同样适用于交流电路。在交流电路中，电压“V”和电流“I”是矢量或复数，而电阻“R”始终是标量。请注意，带有“半箭头”符号的变量表示交流复数或矢量。

□ □ □ □ □ □ □

图 3 来源：chatgpt.com

其后，译者将该词组分开查询。首先，译者于维基百科上查询到 entity 一词含有单位性质（如图 4），且于 bing.com 上发现“A vector is a ... entity”的说法（如图 5），进一步验证了 entity 在本句中是一种单位词，而非“实体”；且在该网站上，译者了解到“复数 complex”和“向量 vector”在某种程度上是并列的概念，向量可用于表示复数（如图 6、7），这与原文句尾“complex ... entity or vector entity”的结构相匹配，于是确定原文中的 complex 意为“复数的”而非“复杂的”，那么现在只需确定“entity”具体该如何翻译即可；译者于 bing.com 上搜索“vector”一词时，发现了“vector quantity 矢量的量”这一概念，指的就是“矢量”本身，只不过更加强调其在运算时所需的大小和方向（如图 8）。最后，译者又于维基百科中“entity”一词的英英释义中发现其可被“quantity”一词替代（如图 9），也就是说原文中的“entity”即为“量”，因此，“vector entity”即为“vector quantity 矢量的量”，而矢量和复数本身即代表一种量，故经验证，AI 给出的译文删去了 entity，将 complex entities 直接译为“复数”，将 complex AC, or vector, entities 直接译为“交流复数或矢量”合理。

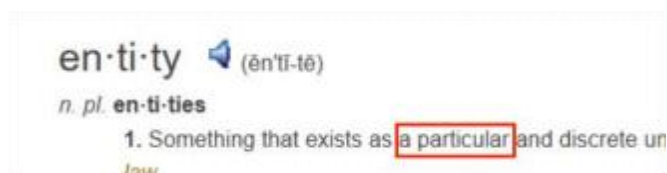


图4 来源: 维基百科



图5 来源: bing.com

复数(complex number)是数,这一点(在经典数学中)肯定是毫无异议的,它是基于实数的一种自然构造(复数实际上就是实数域的代数闭包),满足一定的运算性质。在大学本科学习线性代数(或者高等代数)时就会学到复数集构成一个数域,而复数集作为 $\mathbb{R}$ 上的线性空间和二维欧氏空间(对应于二维向量)同构,并且这种同构有很好的几何刻画(即复平面和笛卡尔坐标系的对应),所以才在讲的时候把复数和向量联系在一起。

图6 来源: bing.com

高中数学/向量与复数/复数的概念与基本运算 – 维基教科书, 自由的
...
可以用平面直角坐标系中一个坐标化的向量表示复数,也可以用特殊的平面极坐标描述的点表示一

图7 来源: bing.com

What are vector quantities?

The physical quantities that are specified completely by the magnitude and direction are called vector quantities. For example, physical

图8 来源: bing.com



图9 来源: 维基百科

3.1.2 背景知识的适当增补

在科技英语的翻译中，在大多数情况下，在原文意义保持不变的基础上可以适当增加一些原文中没有的词、词组或分句，使译文在语法、修辞、结构、表达或思维上更接近原文并且符合原文的语言习惯。这便是增译法，既能提高文章的完整性，也可以更准确地表达原文的内容，满足读者需求，使译文更符合目标语的语境。(张薇, 2015: 62) 然而，增译必须建立在对原文准确解读和充分尊重的基础之上，避免主观臆测或脱离原文语境，以确保译文既符合科学文本的严谨性，又具有良好的可读性和学术价值。

例 3: ..., the brain of a microprocessor is a “sea” of transistors generating binary logic.

初译：微处理器的大脑是由数以亿计晶体管构成的庞大阵列，生成二进制逻辑。

改译：微处理器的核心是由数以亿计晶体管构成的庞大阵列，通过开关状态的组合生成二进制逻辑信号。

分析：本句的翻译难点在于处理原文中句尾生成二进制逻辑语义不明以及如何生成的问题。初译版本中，译者认为“生成二进制逻辑”中，仅仅“生成”两字在中文电气工程中易被误解为“创造、产生新逻辑”，而实际上熟读上下文可知，晶体管仅仅是通过物理开关状态的组合（0/1）实现逻辑运算，因此，单个动词“生成”未能准确传递其被动而非主动传导的特性。增补“通过开关状态的组合”明确晶体管的工作原理，将隐含的物理机制显性化。此外，将“生成二进制逻辑”调整为“生成二进制逻辑信号”，通过补充“信号”阐明生成的对象为逻辑的载体“信号”，而非抽象的“逻辑”本身，避免了英译汉后造成的语义偏差。

例 4: ... Zener diode is capable of recovering from avalanche reverse bias breakdown mode ...

初译：...在反向偏压移除后，齐纳二极管能够从雪崩击穿模式中恢复...

改译：...在反向偏压移除后，齐纳二极管能够从雪崩击穿模式（反向偏压过高引发的载流子雪崩式倍增现象）中恢复...

分析：本句的难点在于如何让读者理解句中出现的专业术语。初译中将“avalanche reverse bias breakdown mode”直译为“雪崩击穿模式”虽术语准确，但

读者可能因“雪崩”的日常语义（自然灾害）与电子学术语义（载流子倍增）的认知冲突，导致对其内涵的难以理解。改译采用括号增译策略，插入解释该术语的背景知识，介绍其是一种“反向偏压过高引发的载流子雪崩式倍增现象”，帮助读者建立理解该术语的正确认知过程，消解术语的字面歧义；这种增译既保留源语的专业性，又弥补了读者对电学中“雪崩”概念的认知缺乏，使译文同时满足专业读者的精度要求与非专业读者的理解需求。

例 5: Applying KCL at the node, the sum of currents entering equals the sum leaving, which allows the calculation of unknown branch currents.

初译：在节点处应用 KCL 定律时，流入的电流总和等于离开的电流总和，便可以计算未知的支路电流。

改译：在节点处应用 KCL 定律时，流入节点的电流总和等于离开节点的电流总和，便可以据此建立方程计算未知的支路电流。

分析：本句的翻译难点在于如何弥补中英文技术转换过程中出现的逻辑缺省导致的背景知识的缺失。原文以简练句式概括了 KCL 的核心原则为电流守恒，由于英文善用省略，currents 流入和流出的主体——node 被省略，直译为中文后造成逻辑的缺省，可能使中文读者难以衔接理论与操作，导致误判为全局电路而非局部节点；其次，“计算”未阐明方法，初学者可能不知如何从守恒关系过渡到数值求解，而后文便是在讲解根据守恒关系列出的方程，因此，译者在此合理增加了“建立方程”。改译通过两处增译实现优化：首先，增加“节点”明确空间位置，避免电流方向误解，补充因中英文转换造成的背景知识缺失；其次，增补“建立方程”，将抽象定律转化为具体操作步骤。具体到实践来说，能帮助工程师能直接映射至工程研究原理（节点处能量守恒）；学生可跳过推导自行直接捕捉解题重点（根据守恒建立方程），提升工作和学习效率。

3.2 复合长句的灵活处理

本翻译材料属于信息型文本，而信息型文本中较常使用长句也就是复合嵌套句，以显示文章严谨的逻辑。在原文中，常常出现从句层层嵌套的复合长句，且这些从句往往承担着不同的语法功能，这使得句子的内部逻辑变得较为复杂，给翻译带来

了不小的挑战。如果译文未能准确传达原文的含义，就容易和信息型文本的目标效果产生偏差。因此，如何处理这种多重递归结构的从句嵌套现象，(Karlsson, F., 2007: 365-392) 是本翻译实践过程中亟需解决的一个重要难点。

除了嵌套结构外，本次翻译的另一难点在于插入语的处理。在信息型文本中，插入语常用于补充或阐明信息，从而增加句子结构的复杂性并丰富语境表达，由于英语插入语是插入句子中的一种较为独立的句子结构，它虽然可以补充信息、进行解释，但因其插入句中，切断了句子的连贯性，因此会对读者阅读、理解原文造成一定的阻碍。(宋祎, 2024: 106) 因此，译者需精准辨析其在句中的作用，特别是当其可能引发歧义或影响句意清晰度时，必须进行合理调整，以确保译文表达准确、逻辑严谨。

此外，源文本中大量存在并列结构的长句。“并列结构”指由两个或多个意义相关、层次并列且句法功能相同的成分，通过并列连词或其他方式连接而成的句式。在中文并列句中，读者根据语境及语义可以判断成分彼此间的关系，而这种关系往往无需用任何标记标明。但在英文中，并列结构的形成需要常见的并列连词（如 *but*、*while*、*as* 等），还可能通过分号或冒号等标点符号实现连接。因此，汉译英时必须按照逻辑关系重新排列，(蔡力坚, 2021: 158)，而英译汉自然也是如此。

3.2.1 切分法理清逻辑

切分法，是翻译英语长句的最常见的方法。首先需要以若干个意群组为单位，对全句进行句意分析，从而译出一些独立的汉语句子，在最后搞清楚各个意群之后，对所有意群进行整理、归纳，得出这个句子的意思。(党争胜, 2004: 64) 即从语法角度识别并拆解句子中不同层次的信息结构，借助衔接词和标点符号对复杂句进行拆分，这既有助于厘清句意、整合信息，又能理顺句中各部分的逻辑关系，而不必拘泥于原文的句式结构。因此，在翻译信息型文本的复合句时，尤其遇到嵌套定语从句的问题，为确保目的语读者能够准确把握原文内容，译者可以采用此策略，对原文进行合理切分。

例 6: Thevenin's Theorem states that// any linear circuit containing several voltages and resistances can be replaced //by just one single voltage source// in series with a single resistance //connected across or in “shunt” form to the load.

初译：戴维南定理指出，任何包含多个电压和电阻的线性电路都可以用一个其

中一个电阻与负载交叉连接或以“分流”形式连接的电压源串联代替。

改译：戴维南定理指出，任何一个包含多个电压源和电阻的线性电路都可以由一个单一电压源代替，该电压源和单一电阻串联，而这个电阻又以并联的方式与负载连接。

分析：这句话的翻译难点主要是由于句子结构复杂以及修饰语位置冗杂。该句是一个复合句，包含多个从句和短语，需要仔细分析各部分之间的关系，才能确保译文结构清晰。原文中修饰语位置较灵活，而在中文中需要调整修饰语的位置以符合中文表达习惯，例如“containing several voltages and resistances”修饰“any linear circuit”，需要在翻译时合理断句并将定语部分前置或后置。译者对这句话的结构进行划分：Thevenin's Theorem states that// any linear circuit containing several voltages and resistances can be replaced// by just one single voltage source//in series with a single resistance（修饰前文 single voltage source）// connected across or in “shunt” form to the load（修饰前文 single resistance）通过对多个含后置定语的主从结构的划分，将各修饰成分添加到相应的被修饰成分上，理清冗长的源文本中嵌套的逻辑，将清晰可读的译文呈现给读者。

例 7：...unlike regular diodes, when the reverse bias is removed, the construction of a Zener diode is capable of recovering from avalanche reverse bias breakdown mode// as a property that makes it ideal for voltage regulation.

初译：齐纳二极管的构造不同于普通二极管，它能够在反向偏压移除后从雪崩击穿模式中（反向偏压过高引发的载流子雪崩式倍增现象）恢复的特性使其成为电压调节的理想选择。

改译：齐纳二极管的构造不同于普通二极管，在反向偏压移除后，它能够从雪崩击穿模式中（反向偏压过高引发的载流子雪崩式倍增现象）恢复，因而成为电压调节的理想选择。

分析：本句翻译难点在于处理原文中多层逻辑嵌套的结构。译者需要完全理清原文“齐纳二极管的独特性→作用过程→应用”的逻辑结构：原文通过“unlike...”引出齐纳二极管相对于其他普通二极管的特殊性，后以“when...”条件从句指明齐纳二极管的恢复机制触发的前提条件及发生环境，最后用“as...”将齐纳二极管的这一特性及其在电气工程领域中的应用直接挂钩。初译“齐纳二极管的构造不同于普通

二极管，它能够在反向偏压移除后从雪崩击穿模式中恢复的特性使其成为电压调节的理想选择”虽通过逗号分割主从句，但“...的特性使其成为...”这一表达压缩了句中的关键因果逻辑，导致译文表达语义杂糅且不符中文习惯。译者在改译中将最后一句进行切分，使用“因而”连接了前后的因果关系；然后，删除冗余的“的特性”结构，强化因果关系。这样的处理做到了理清原文的逻辑，从而实现译文的优化。

例 8: Application of KVL requires// that voltage around each circuit element be defined in terms of known values and the unknown variables// and the sign or polarity of each voltage must be assigned before formulating equations// that can be solved to determine the values of the unknown parameters.

初译：基尔霍夫电压定律的应用要求每个电路元件的电压需结合已知量和未知量来表示，并且每个电压的符号或极性必须在建立可解方程以确定未知数之前被指定。

改译：应用基尔霍夫电压定律时，需要结合已知量和未知量来表示每个电路元件的电压；但是，在列写方程前必须标注各电压的符号与极性，这样建立的方程组可求解出未知数。

分析：本句的翻译难点在于，原文通过“requires that...” “and...” “before...”等逻辑连接词，将运用基尔霍夫电压定律（KVL）的流程杂糅在一条长句里，这种按照顺序铺展开的表达在英文中可通过从句嵌套自然呈现，但初译机械保留原句结构，呈现粘连的长句，将整句的信息糅合于长句内。译者在改译前将原长句根据并列词进行了切分，观察到：首先，连词“并且”模糊了“建立电压关系”与“极性标注”的先后逻辑，二者实际为先后而非并列关系，并且，整个过程是先“标注极性”再“建立方程”（因为只有先明确了各元件的极性和符号才可列出正确的方程式）。因此，译者在改译中将“and”译为了“但是”，强调了在动手列式前，要先明确极性的逻辑关系。最后，将“这样建立的方程组可求解出未知数”独立成句，总结目的和效果。这种切分的译法消解了原文的句法密度，理清了信息层级，同时增强了译文的可理解性。

例 9: The gate voltage, which acts as a critical control parameter in MOSFETs //by determining the conductivity between the source and drain terminals through the

application of varying voltage levels, enables precise modulation of current flow //for applications such as signal amplification and electronic switching.

初译：栅极电压，作为 MOSFET 中通过施加不同电压水平来确定源极与漏极端子之间导电性的关键控制参数，能够实现电流的精确调制以用于信号放大和电子开关等应用。

改译：栅极电压作为 MOSFET 中的关键控制参数，可通过调节电压值控制源极与漏极间的导电性，从而实现电流的精确调制，以满足信号放大与电子开关等应用需求。

分析：本句翻译难点在于，原句通过一系列修饰性从句和描述性短语，将栅极电压的多重属性和作用浓缩在了一个长句中。初译保留了英文嵌套结构，导致中文句子臃肿，且连续使用专业术语（“导电性”“调制”“信号放大”）未分层，增加了阅读负担。译者在改译中明确将“栅极电压是 MOSFET 中的关键控制参数”作为独立的陈述，使读者能够迅速抓住这一核心概念，而不必在一开始就面对一长串修饰性成分。接着用“通过调节电压值可控制源极与漏极间的导电性”这一独立短句清晰阐明了控制机制，将电压调节与导电性之间的因果关系明确表达出来。最后，以“从而实现电流的精确调制，以满足信号放大与电子开关等应用需求”总结电流调制的技术效应和应用目的。改译的优势在于运用切分法将复杂的修饰信息分散到不同的句子中，使得每个句子都具有明确的主题和功能，从而降低了译文的阅读难度，便于读者理解具体过程。并且，这种处理方法充分尊重了汉语的表达习惯，即偏好短句或结构清晰的复合句，避免了一味照搬英文长句可能带来的冗长和晦涩。

3.2.2 换序法理顺逻辑

根据纽马克“交际翻译”原则，以目标语读者的认知效率为导向，译文应确保信息的有效交流，而不仅仅是字面意义的对应。(Newmark, 1988) 在这种理念指导下，换序法并非简单的机械变换，而是一种有策略的语序调整，旨在突出译文中最重要信息，使其逻辑关系更为清晰、层次更为分明，最终形成既忠实于技术实质又适配于母语思维的表达范式。

例 10: ①An important feature that is instrumental ②in minimizing the time it takes to replace a control board, ③ in case of board malfunction, ④ is the “ quick

connect/disconnect” type terminal strip - labeled as (1) - ⑤shown on the right side to the control board (PCB).

初译：在控制板故障的情况下，减少更换控制板所需时间的一个重要功能是“快速连接/断开”型端子带-标记为(1)-显示在控制板(PCB)的右侧。

改译：③在控制板发生故障时，⑤控制板(PCB)右侧的④“快速连接/断开”型端子带(标记为(1))①能够极大②减少更换控制板所需时间。

分析：本句的翻译难点主要体现在复杂的句法结构以及定语的嵌套修饰。原文采用了“An important feature that is instrumental in...”这一结构，将“快速连接/断开”型端子带的作用作为全句的核心信息，但由于长定语的修饰，使得句子主干难以迅速识别。此外，“in minimizing the time it takes to replace a control board”以及“in case of board malfunction”这两个介词短语进一步增加了句子层次。初译将原文形式照搬，让人不知所云。在大部分情况下，刻意复制原文结构的企图都以损害或严重损害原文信息传递的效果而告终，或者陷于语无伦次的境况。(蔡力坚, 2021: 158) 相比之下，改译采用换序法对原句进行重构，使信息组织更加符合汉语的表达习惯。首先，将“在控制板发生故障时”前置，明确场景，并紧接着引出“控制板(PCB)右侧的‘快速连接/断开’型端子带”，确保核心信息优先呈现。其次，改译通过“能够极大帮助减少更换控制板所需时间”来直接表达该端子带的功能，使信息层级更为清晰，避免了初译中“减少更换控制板所需时间的一个重要功能是.....”这种较为生硬的表达方式。此外，改译通过调整定语的位置，使“标记为(1)”紧跟“端子带”，避免了信息过于分散，提高了译文的整体可读性和逻辑流畅性。

例 11: ①once the voltages and respective polarities have been identified, ②you simply sum up all the voltage values with appropriate signs, as observed, ③while going around the loop in the chosen direction.

初译：在确定回路中各电压值及其对应极性后，只需将所有电压值结合所观察到的各自的符号加在一起，同时沿选定的方向绕环路运行。

改译：①在确定回路中各电压值及其对应极性后，③只需按照所选方向沿回路②加总所有电压值，进行加总时要注意符号的正确性。

分析：在翻译这段话时，译者遇到的难点主要在于如何处理句尾的“while going around the loop in the chosen direction”。原句的这个部分在语法结构上是附加条件，

表示在回路中按选择的方向进行分析时应该如何加总电压值。这个短语的翻译问题在于，中文习惯上更倾向于简洁的表达，且“while going around the loop”作为从句放在句尾会使句子显得冗长。因此，如何将这一部分转化为符合中文流畅表达的结构，是本句的翻译难点。译者首先意识到，句尾的“while going around the loop in the chosen direction”表达的是一种条件或方式，而在中文中这种方式通常会被放在句子开头或直接融入主句，以避免句尾结构的冗长和复杂。因此，译者选择通过调整语序来解决这个问题，将“沿回路按选定的方向”提前，并将其与加总电压的动作合并，省略了原文中的“while”构成的复杂句式。这样翻译的好处在于，首先保持了原文的逻辑和意义，其次通过调整语序使句子更加简洁，避免了不必要的重复，同时更符合中文的表达习惯。

例 12: Next, ①before KCL can be applied to determine the source current, ②the individual currents, through each of the resistors, need to be defined - ③using Ohm's law - ④in terms of the specific resistance values and the voltages around them:

初译：接下来，在应用基尔霍夫定律（KCL）来求解源电流之前，需要通过欧姆定律定义每个电阻器中的电流，并根据它们周围的电压以及具体的电阻值来表示这些电流。

改译：接下来，我们需要先③结合欧姆定律④和每个电阻周围的电压及其具体阻值，②得出通过各电阻的电流值，①而后才可运用基尔霍夫定律（KCL）来确定源电流。

分析：这段话的翻译难点主要体现在原句又长又冗杂，含大量连接符和连接词和插入语。尤其要注意到英文中常喜欢用 before 来连接两件事情，而后两件事情发生的顺序在书写中便被颠倒了。而译者在翻译时做的就是还原事情发生的顺序。

在原文中，“before”连接了“KCL 定律的应用”和“确定电流”这两件事情，但实际上，这两者的顺序是颠倒的：首先应该先确定电流值，然后才能应用 KCL 定律求解源电流。由于英文的句子结构常常将这种顺序倒置，而中文更倾向于按照事件发生先后排列顺序，导致直接翻译时容易出现如初译中这种不符合中文表达习惯的情况。为了处理这个问题，译者采用了“换序”的翻译方法，将定义电流的过程细化，首先讲清楚如何利用电阻值和电压结合欧姆定律来计算电流，然后再谈如何通过 KCL 来求解源电流。通过这种方式，既保留了原句的所有信息，又遵循了中文

表达的习惯。

例 13：① The IGBT, which combines the high-speed switching capability of a MOSFET with the high-current handling capacity of a BJT, ② is widely used in power electronics for applications ③ requiring efficient control of large currents.

初译：结合了 MOSFET 的快速开关能力和 BJT 的强电流处理能力的 IGBT，被广泛应用于需要高效调控强电流的电力电子领域。

改译：① IGBT 兼具 MOSFET 的快速开关能力与 BJT 的强电流承载能力，③ 即其能高效调控强电流，② 故被广泛应用于电力电子领域。

分析：源文采用嵌套式定语从句，将 IGBT 的功能特性与应用场景浓缩在一个单句中，使得译者在翻译时难以直接铺展开其逻辑顺序。初译虽忠实保留了原文信息，但在句式结构上沿用了英语的形合表达，导致两方面的问题。首先，冗长的前置定语“结合了……能力的”使得读者在抵达主谓“被广泛应用”之前，需要先理解大量技术细节，增加了认知负荷。其次，初译中将原文句末的后置定语“requiring efficient control of large currents”形式照搬，也作为“电力电子领域”的定语，使 IGBT 的技术优势与应用场景之间的因果关系不够突出，削弱了技术逻辑的层次感。改译则通过重构句式，使信息呈现更加清晰有序。首先，将“which combines...”拆解为“兼具……特性与……能力”，利用汉语偏好并列结构的特点，使 IGBT 同时拥有的两种器件的功能更加直观。其次，使用“故”字将原文隐含的因果关系显化，使“高效调控强电流”这一技术特点直接与 IGBT 的广泛应用建立逻辑联系，从而强化原文的因果关系。这样的调整不仅符合汉语表达习惯，也使技术逻辑更加严密，提升了译文的可读性和学术表达的精准度。

3.3 隐喻含义的直接表达

科学理论体系建构的隐喻认知化和科学文本的语言隐喻化，是现代科学的一个重要特征。(王勇安、李丙南, 2022: 21) 本文存在两种隐喻现象，一种是词汇上的隐喻，即通过日常生活中的简单事物来类比科学概念，降低读者的认知负担，但译者在翻译过程中发现难以将原文的比喻和译文的比喻实现大程度的还原和对等。英语措词时，往往尽量避免同一词语的重复，但在汉译时，此类借喻如果直接转译到汉

语中，往往会引起混淆，宜采取重复原词翻译本体的方法，以使句子的意义明确。(韩仲谦、韩楚齐, 2021: 51) 因此，译者选择了去隐喻化，尽量满足信息型文本传达信息和逻辑的主要目标和要求；另一种为语法隐喻，由于语言的不同层次之间存在张力，语言会出现跨范畴现象，由一致式转化为非一致式，语法隐喻由此形成。(唐革亮、杨忠, 2016: 92) 从狭义上讲，名词化结构的应用增加了表达的抽象性，它涵盖了一般意义和广泛的参考。(连淑能, 2010) 也就是说，名词化是一种语法隐喻，英语语言中名词化的广泛使用导致了表达的抽象化，而汉语中的表达模式则更加具体。因此，根据两种语言的内在差异，译者运用了词性转换的方法，使译文更符合汉语表达习惯。

3.3.1 词汇隐喻的去隐喻化

从认知的角度来说，隐喻是人们借用某一领域的认知来诠释另一领域的认知活动。(方媛媛、赵小凡, 2023: 83) 本翻译材料中便广泛存在隐喻现象，作者常引入人们所熟知的概念来类比陌生或抽象的科学概念，以帮助读者理解。然而，译者在翻译过程中发现，将原作者所使用的喻体照搬到中文中，时常会出现表意不明的情况，即读者难以理解由喻体到本体的映射如何成立，尤其是对于缺乏相关专业知识的读者来说。因此，译者对于翻译过程中存在的照搬隐喻难以实现信息忠实传达的情况，采用了去隐喻化的策略。

例 14: With all voltages – voltage source, voltage load, and voltage drops across the resistors – identified and their polarities noted, apply KVL by “walking” the annotated circuit beginning at the cathode or negative electrode of the voltage source, V_s .

初译：在识别了所有电压——电压源、电压负载和电阻上的电压降，并标注了它们的极性后，从电压源 V_s 的阴极或负电极出发，沿着标注后的电路“走”一遍，应用基尔霍夫电压定律（KVL）。

改译：在识别了所有电压——电压源、电压负载和电阻上的电压降，并标注了它们的极性后，从电压源 V_s 的阴极或负电极出发，沿着标注后的电路逐个分析各个元件，应用基尔霍夫电压定律（KVL）。

分析：本句原文中，作者将“沿一定方向逐个分析电路元件”的动作比喻为“沿着电路‘走’一圈”，初译沿用“走”字无疑会让读者觉得难以理解，且不符合电气工程的学术风格。问题的核心是如何找到一个既能传递原意，又能避免误解的表

达方式。

译者秉持问题导向原则反复通读上下文后理解到，原文中的 *walking* 并不是字面意义上的“走”，而是一种比喻性的表达，指的是沿着电路逐项分析或者遍历电路的各个部分。这句话描述的是应用基尔霍夫电压定律（KVL）时的操作步骤，具体来说，是从电压源 V_s 的阴极或负极出发，按照电流的顺时针方向，沿着电路逐一分析各个元件，并记录电压及其极性。于是译者选择了将“*walking*”翻译为“逐个分析”。这样将原文作者想借助修辞手法表达的内涵显化出来，既避免了照搬“走”这一过于拟人化的字眼，又准确地传达了原文想表达的意思，同时使语言更加符合科技文本的风格。

例 15: A diode can be perceived as a “self-actuating” electronic switch.

初译：二极管也可以看作是一个“自我驱动”的电子开关。

改译：二极管也可以看作是一个自触发的电子开关。

分析：本句原文存在双重隐喻，将二极管既比喻为“人”，可以实现“自我驱动”，又将其比喻为“电子开关”。译者根据后文判断，相较于后者的比喻，前者的拟人化隐喻的语义冲突更强，对读者造成的认知负荷更大，因此，本句主要聚焦于对于“自我驱动”一词的处理。“*self-actuating*”在原文中暗示二极管在工作时表现出一种无需外部控制、能够自主触发导通状态的特性，这种表达通过隐喻赋予器件某种“主动性”，从而简化了半导体内部复杂物理机制的描述。然而，初译“自我驱动”虽然在字面上对应了“*self-actuating*”，但“自我驱动”在中文中往往会让读者联想到具有主观意志或决策能力的行为，这与二极管基于材料特性的客观反应存在明显矛盾。改译中将其译为“自触发”，这种处理方法有效褪去了隐喻色彩，明确表达出二极管在达到特定条件时自动进入导通状态的动作，而不会引起读者对其内部机制产生误解。通过这一去隐喻化，改译既保留了原文试图通过隐喻传递的“无需外部触发”的基本信息，又避免了因不恰当的拟人化而导致的概念混淆，令译文更加干练、精准。

例 16: Zener diodes are analogous to “relief valves” that open under high pressure.

初译：在异常高压下，我们可以将打开的齐纳二极管看作“安全阀”。

改译：在异常高压下，齐纳二极管的导通能够释放压力，保障安全。

分析：本句的翻译难点在于准确传达齐纳二极管的工作原理。在翻译时单纯照搬“安全阀”这一隐喻，可能会导致目标读者，尤其是缺乏电子工程背景的读者，对齐纳二极管的具体工作机制产生困惑：它究竟如何起到类似安全阀的作用？它是通过机械方式“释放”电流，还是依靠某种电子特性进行调节？这些问题在原文中并未明确说明，在科技翻译中，照顾到语义理解的精准和汉字组合的工整，可以在词首或词尾适当增加表意词素，以避免过于生硬和牵强的译文。(杨志亭, 2021: 31) 因此，译者在翻译时进行了调整，以求真正传达齐纳二极管的技术原理。

初译虽然忠实于原文的隐喻结构，但并未进一步说明齐纳二极管在电路中的具体作用，使得“安全阀”这一类比显得模糊且缺乏技术细节。此外，“打开的齐纳二极管”这一表达容易引发误解，因为齐纳二极管的工作原理并非通过机械方式“打开”或“关闭”，而是基于其在反向电压超过击穿电压时进入导通状态，允许电流通过，从而稳定电路电压。初译均并未明确指出。相比之下，改译采用了去隐喻化的策略，不再简单照搬“安全阀”这一比喻，而是直接说明齐纳二极管的工作机制，即“在异常高压下，齐纳二极管的导通能够释放压力，保障安全”。通过“释放压力，保障安全”这一明确说明，使齐纳二极管的电压调节作用不仅仅停留在隐喻层面。这一处理方式不仅更符合技术文本的严谨性要求，也使译文能够更有效地向读者传达齐纳二极管在电路保护中的具体功能，使读者无需借助“安全阀”这一比喻也可理解齐纳二极管的作用原理。这种调整不仅提升了译文的技术准确性，还增强了读者对电路保护机制的直观认知，使译文在信息传递上更加精确且富有可读性。

例 17: The gate voltage, the “traffic light” in a MOSFET, determines the conductivity of the device.

初译：栅极电压作为 MOSFET 中的“交通信号灯”，决定了器件的导电性。

改译：栅极电压作为 MOSFET 中的核心调控参数，决定了器件的导电性。

分析：本句原文中使用了“traffic light”将栅极电压比喻为 MOSFET 中的“交通信号灯”，旨在形象地说明栅极电压在控制器件导电性方面的作用。该比喻虽然生动，但在科技文本中容易引起误解，因为“交通信号灯”暗示了一种具有直观可视化意义的控制手段，而实际上，根据原文，栅极电压作为一个电压参数，其调控机理主要基于半导体物理原理，具有高度抽象性和复杂性。初译版本虽忠实再现了这一比喻，并在括号中用引号标注出来，但这种直接的比喻可能会使非专业读者误

以为 MOSFET 内部存在类似于交通信号灯的机制，从而混淆技术本质。而改译则摒弃了这一隐喻，将“栅极电压”表述为 MOSFET 中的“核心调控参数”，直接指出其在器件中所起到的关键调控作用。通过这种表达方式，改译不仅避免了因隐喻带来的概念混淆，而且更符合科技文献中对精确性和客观性的要求。

3.3.2 语法隐喻的词性转换

一般来说，名词通常表示事情、物体、概念，而动词则表示动作，语法中的疑问句表示“提问”意义，语法中的陈述句表示“陈述”意义，这些都是一致式的情况。当名词不用来表示事情、物体、概念而用来表示动作，这就出现了隐喻式，“名词化”（nominalization）（如用语法上的名词形式表示过程意义）就是这种隐喻式。（黄国文，2009: 5）本科技文本中便含大量名词化的使用，导致译者在进行英汉转换时，频频出现难以理解表达抽象的英语原文，以及译出的汉语表达生硬的问题。李丙午（2002: 5）认为，名词化结构的翻译要从发展转换中理解，不能僵化地孤立地去理解。由于科技英语中词性转换较多，这种情况恰好与汉语结构中动词数量多的特点相对应，可互相利用与补充。在翻译过程中就要运用这些规律，使译文更加符合汉语的习惯与要求。

例 18: ..., a check valve offers resistance to the attempt by the fluid to move in the reverse direction.

初译：止回阀对液体向相反方向流动的尝试提供阻力。

改译：止回阀阻止液体发生反向流动。

分析：原文中的名词化结构“offers resistance to...”是本句翻译的难点所在。英文原句通过这一表达将“阻止/抑制”这一抽象概念名词化，再加上“to the attempt by the fluid to move in the reverse direction”这一长短语，使整个句子在结构上显得冗长且层次较多。在汉语中，如果直接对应翻译，很容易出现词不达意或显得啰嗦的情况。初译试图逐字还原原文，但这种表达方式显得繁冗且拖沓，未能简洁明了地传达出止回阀的核心功能，给读者带来理解负担。

改译则通过将名词化的表达转换为动词性表述，直接采用“阻止液体发生反向流动”的结构，既保留了原文的基本含义，又极大地简化了句子结构。这样的处理首先能够有效避免由于过度名词化带来的理解障碍；其次，改译不仅消除了冗长的

修饰语，而且通过转换词性，将原本抽象的“提供阻力”转变为具体的“阻止”，使得句子的逻辑关系更加紧密、易于理解。通过词性转换和句式简化，实现了信息的高效传递。这样不仅符合专业技术文本的要求，也更能满足读者对清晰、明了表达的需求，从而使译文在学术性和实用性上都更为恰当。

例 19: As expected, analyses of circuits that consist of more than one current loop tend to be more complex, and require formulation of multiple equations and utilization of additional conventions and principles.

初译：与预期一致，对于包含多个电流回路的电路分析往往更为复杂，需要多个方程的建立和额外定理或原理的运用。

改译：与预期一致，对于包含多个电流回路的电路分析往往更为复杂，需要建立多个方程，并运用额外定理或原理。

分析：原文中“require formulation of multiple equations and utilization of additional conventions and principles”采用了名词化结构，这种结构在英文中既能浓缩信息又能体现逻辑严谨性，但在汉语中直接对应的翻译往往显得冗长且欠缺活力。初译虽然试图忠实再现原文的结构，但由于“方程的建立”和“定理或原理的运用”均为名词短语，使整个句子显得繁复，语义堆砌严重，容易使读者在阅读时感受到不必要的语言负担。尤其是在科技文本中，过多的名词化表达容易造成信息传达的不够直观，进而影响读者对复杂概念的快速把握。

改译则通过转换词性，将原本名词化的表达转变为动词短语。在保留原文核心信息的同时，使句子结构更加简洁、逻辑更加清晰。动词“建立”和“运用”直接体现了具体的操作动作，符合汉语直陈式表达的特点，使读者能够更快地捕捉到电路分析中所需的关键步骤，而不会因为过度的抽象和冗长的名词短语而感到迷惑。这种词性转换的策略能在确保忠实传达原意的前提下，做到符合汉语的表达习惯，达到信息准确传递与语言精炼之间的平衡。

例 20: Most engineering problems entail determination of unknowns of key parameters, under certain known circumstances or conditions.

初译：大多数工程问题在于已知的环境或条件下的关键参数中的未知数的确定。

改译：大多数工程问题在于，根据已知的环境或条件确定未知的关键参数值。

分析：本句的翻译难点主要在于“determination of unknowns of key parameters”这一结构中，“determination”和“unknowns”的双重名词化，虽是句子结构更加紧凑，但也增加了理解难度。这种表达方式在科技英语中较为常见，能够突出客观描述的特性。但若直接按照字面意思进行直译，可能会导致中文表达不够流畅，甚至产生结构混乱的问题。初译严格按照原文结构进行翻译，“关键参数中的未知数的确定”基本对应“determination of unknowns of key parameters”，但一方面，“关键参数中的未知数的确定”这一表达较为冗长，尤其是“未知数的确定”这一结构显得拗口，不符合中文的常见表达习惯。另一方面，过多的名词化使句意显得僵硬，不够直观，缺乏流畅的逻辑关系。

译者在改译中首先将“determination”由名词形式还原为动词“确定”，使句子结构更加符合汉语的逻辑顺序，从而避免了生硬的名词化表达。其次，将“unknowns”这一名词化表达恢复为形容词“未知的”，并与“关键参数值”组合，使得表达更加直观。同时，改译采用“根据已知的环境或条件”的结构，使语序更加符合汉语表达习惯，增强了句子的可读性和逻辑清晰度。

综上所述，改译通过去名词化，将英文中固有的抽象表达方式转化为符合汉语逻辑的直陈句式，使句子更加流畅，避免了因名词化堆砌导致的冗长和生硬。这种处理方式不仅提升了译文的可读性，同时也确保了专业术语的准确传达，使信息传递更为高效。

第四章 总结与反思

翻译反思是翻译实践与理论发展的重要环节，其核心价值在于通过系统性回顾与批判性分析，提升译者的专业能力与翻译质量。首先，翻译反思有助于识别实践中的问题与不足，通过总结实践经验，译者能够验证或修正现有翻译习惯，推动翻译理论在自身的本地化发展。此外，反思是译者职业成长的关键。通过回顾翻译项目，译者能够积累经验、优化策略，逐步形成个性化的翻译方法论。因此，针对本次翻译实践，译者进行了以下反思。

4.1 译后审校

在初稿完成后，译者对照原文与译文逐句进行细致校对，旨在发现并纠正任何可能存在的错译、漏译或语义偏差。除了核查词汇和句法结构的一一对应关系，还关注整体语境与逻辑的严谨性，确保译文既忠实于原文，又符合目标语言的规范表达。对于翻译时出现的疑问或理解困难之处，译者均在旁边进行详细注释，并借助多种工具和资料进行查证，必要时及时修改，以达到信息传递的准确性和专业性要求。

正如周克希先生所言，翻译工作既要求译者保持充足的自信，也不应忘记要对自己的译文“存疑”。这是因为初稿完成后，译者往往会因思维定势而遗漏一些细节。为此，译者通常应在完成自我审校后，使译文“冷却”一段时间，再以全新视角对其进行复审。此“冷却”过程有助于消除主观干扰，使译者能更客观地发现前期未曾捕捉到的不足之处，从而进一步完善译文，提升其严谨性和表达的准确度。

此外，译者还邀请物理学及相关领域的专业同学和导师对译文进行第三方审阅。专业同学主要关注译文中专有术语及技术表达的准确性，核实领域内相关术语是否符合标准及惯例；而导师则从整体语言的流畅度、语法结构和逻辑连贯性等方面提出修改意见。经过三重审核“筛网”的层层把关，逐步减少译文中的瑕疵，使最终呈现的译文既能保证信息的精确传递，又在语言表达上达到严谨、流畅的学术水平。

4.2 心得与收获

本次翻译实践以《电气工程基础》第二章为研究对象，聚焦技术文本的跨语言

转换挑战。通过系统应对专业术语、复合长句与隐喻表达三大核心难题，译者逐步形成了一套适配科技文本的翻译策略体系，深化了对技术翻译本质的认知，并积累以下经验与收获。

针对专业词汇知识准确性表达的难题，译者采用查询平行文本及多模态验证的策略。首先，通过查阅国内外权威教材（如《电路分析基础》）、技术标准（如《电气工程手册》）及学术数据库（IEEE Xplore），建立术语库以确保译名的规范性与一致性。例如，“Y/ Δ 负载配置”的翻译需结合中文技术文献与维基百科等工具的双向验证，避免直译导致的歧义。其次，针对一词多义现象（如“complex entities”），结合语境分析与 AI 工具（如 ChatGPT）的辅助推理，最终确定“复数”为正确译法，消解了字面直译的模糊性。此外，对于英汉转换过程中背景性专业知识缺失的现象，译者采取增译法进行背景知识的适当增补（如“雪崩击穿模式”），通过括号增补技术背景“载流子雪崩式倍增现象”，同时兼顾了专业性与普及性。

面对嵌套结构与冗长句式，译者以“切分法”与“换序法”为核心策略，实现逻辑显化与信息分层。例如，原文中“Thevenin's Theorem states that...”一句通过切分修饰成分，将“串联电阻”“并联负载”等关键信息独立成句，避免中文读者陷入冗长修饰的认知负荷。此外，针对英文句序与中文思维差异，采用换序法调整信息层级。如“before KCL can be applied...”一句通过还原事件时序，将“定义电流值”置于“应用定律”之前，使译文更符合中文的因果叙事逻辑。此类处理不仅提升了译文的可读性，更凸显了科技文本严谨的逻辑结构。

最后，科技文本中的隐喻是一把“双刃剑”，既可以作为认知辅助，也可能造成语义干扰，这就要求译者充分审慎权衡。针对词汇隐喻（如“traffic light”），采用去隐喻化策略，以“核心调控参数”替代原比喻，避免非专业读者的概念混淆；对于语法隐喻（如名词化结构“determination of unknowns”），则通过词性转换（“确定未知参数值”）还原动作过程，消解英文抽象表达对中文读者的理解障碍。

4.3 不足与改进

本次翻译实践暴露出译者专业素养的多维短板。在学科认知层面，对部分核心概念的把握仍停留在表层释义阶段，缺乏对理论推导过程的深度理解，导致初期译文存在语义偏差风险。未来需加强跨学科知识储备，建立与跨领域协同学习机制，

从源头确保翻译的学术准确性。其次，翻译工具的运用仍有提升空间。虽然使用了术语库和辅助校对软件，但对工具的进阶功能如记忆库优化、自动审校等尚未充分利用，影响了翻译效率。后续译者计划系统学习翻译技术课程，进一步探索人工智能辅助翻译的可能性，提升翻译工作流程的智能化水平。最后，时间管理策略的失当导致审校环节被些许压缩，影响终稿精细化程度。译者在今后的翻译实践项目中考虑采用分阶段审校机制，将质量控制前置到翻译过程中，通过周期性复核避免问题堆积，实现问题的动态修正。

这些问题既是本次实践的反思，也为后续工作指明了优化方向。译者需通过不断完善知识结构、技术能力和工作方法，努力从任务执行者向文化转渡者的身份靠拢。

参考文献

- Glover, J. D., Sarma, M. S., & Overbye, T. J. *Power System Analysis and Design*. Cengage Learning, 2016.
- Karlsson, F. *Constraints on multiple center-embedding of clauses*. *Journal of Linguistics*, 2007, 43(2): 365-392.
- 蔡力坚: “中文特有并列结构的英译处理”, 《中国翻译》, 2021 年第 4 期, 第 158-165 页。
- 蔡力坚: “翻译中的逻辑连贯: AI 工具的一个‘死角’”, 《中国翻译》, 2024 年第 4 期, 第 182-187 页。
- 党争胜: “结构分析翻译法初探——浅论英语长句的汉译”, 《外语教学》, 2006 年第 4 期, 第 64-66 页。
- 方媛媛、赵小凡: “科学隐喻推动公众理解科学: 以人工智能隐喻为例”, 《科学传播与科学教育》, 2024 年第 1 期, 第 83-96 页。
- 韩仲谦、韩楚齐: “常见英语修辞格在科技英语中的应用与翻译”, 《中国电力教育》, 2021 年第 1 期, 第 51-53 页。
- 黄国文: “语法隐喻在翻译研究中的应用”, 《中国翻译》, 2009 年第 1 期, 第 5-9 页。
- 贾文超: 《电气工程导论》, 西安: 西安电子科技大学出版社, 2014。
- 杰里米·芒迪: 《翻译学导论: 理论与应用》, 北京: 外语教学与研究出版社, 2014。
- 李丙午、燕静敏: “科技英语的名词化结构及其翻译”, 《中国科技翻译》, 2002 年第 1 期, 第 5-7 页。
- 李崇溪、周柳琴: “基于科技英语文本特征的翻译策略研究”, 《现代语言学》, 2023 年第 11 期, 第 5314-5321 页。
- 李银芳: 科技英语增译原则, 《中国科技翻译》, 2007 年第 2 期, 第 19-21 页。
- 连淑能: 《英汉对比研究》, 北京: 高等教育出版社, 2010。
- 刘庆荣: “英语长句的翻译”, 《中国翻译》, 2009 年第 6 期, 第 70-71 页。
- 宋祎: “交际翻译理论视角下插入语汉译策略”, 《现代英语》, 2024 年第 24 期, 第 106-108 页。
- 唐革亮、杨忠: “功能视域中汉英名词化结构的翻译策略研究——以十八大报告翻译为例”, 《外语学刊》, 2016 年第 1 期, 第 92-97 页。

- 王勇安、李丙南：“科学隐喻与‘后真相’时代传统科普出版的价值重构”，《出版广角》，2022年第21期，第21-26页。
- 韦孟芬：“英语科技术语的词汇特征及翻译”，《中国科技翻译》，2014年第27卷，第1期，第5-7页。
- 徐祖能、董在望：“一种确定弱非线性双端口网络模型参数的新方法”，《微电子学》，1992年第1期，第55-59页。
- 杨志亭：“认知隐喻理论视角下科技翻译中‘去隐喻化’现象辨析”，《东方翻译》，2021年第3期，第31-36页。
- 杨宗洁：“科技英语翻译理论和实践的关系及应用初探”，《海外英语》，2020年第1期，第52-53页。
- 张薇：“英语笔译中的增译法和省译法”，《现代交际》，2015年第12期，第62-63页。

附录一：专有名词及术语表

序号	英文	中文
1	AC circuit	交流电路
2	algorithm node	算法节点
3	ammeter	电流计
4	And Gates	和门
5	anode	(电解池) 阳极; (原电池) 负极
6	augmented matrix	增广矩阵
7	avalanche point	雪崩点
8	Base clipper	基极限幅器
9	bilateral linear circuit	双边线性电路
10	BJT	双极结型晶体管
11	branch currents	支路电流
12	breakdown voltage	击穿电压
13	cathode	(电解池) 负极; (原电池) 正极
14	center leg	中心支路
15	check valve	止回阀
16	circuit board-type diode	线路板型二极管
17	circuit loop	闭合回路
18	Clamping circuit	钳位电路
19	coefficient matrix	系数矩阵
20	conductor	导体
21	constant current source	恒流源
22	constant voltage source	恒压源
23	converter	变流器
24	Cramer's Rule	克莱默法则
25	crest-initiated flow	波峰电流
26	current	电流
27	current division	分流
28	DC circuit	直流电路
29	diode	二极管
30	electrical potential	电位
31	Equivalent resistance	等效电阻
32	forward biased	正向偏置
33	four-diode bridge	四二极管桥
34	Full-wave rectifier	全波整流
35	gallium arsenide	砷化镓
36	germanium	锗
37	germanium diodes	锗二极管

38	Half-wave rectifier	半波整流
39	higher energy orbital	高能轨道
40	hydraulic system	液压系统
41	IGBT	绝缘栅双极晶体管
42	incandescent bulb	白炽灯泡
43	inner loop	内回路
44	inverter	逆变器
45	jumper	跳线
46	KCL	基尔霍夫电流定律
47	KVL	基尔霍夫电压定律
48	light-emitting diodes	发光二极管
49	linear algebra	线性代数
50	load component	负载元件
51	load voltage	负载电压
52	lymph node	淋巴结
53	MOSFET	金属氧化物半导体场效应晶体管
54	multi-loop circuits	多环路电路
55	Nand Gates	与门
56	negative charge carriers	负电荷载流子
57	negative pole	负/阴极
58	negative side	负极
59	net flow	净电流
60	Net voltage	净电压
61	node	节点
62	Norton Equivalent	诺顿等效
63	n-type semiconductor	n 型半导体
64	Ohm's law	欧姆定律
65	open-circuited	开路
66	OR Gates	或门
67	oscilloscope	示波器
68	parallel electrical circuit	并联电路
69	PCB	电子印刷电路板
70	Peak clipper	峰值限幅器
71	peak inverse voltage	峰值反向电压
72	positive pole	正/阳极
73	positive side	正极
74	positive terminal	正/阳极
75	potential point	电位点
76	p-type semiconductor	p 型半导体
77	PVC	聚氯乙烯

78	p-n junction	p- n 结
79	rectifier	整流器
80	resistor	电阻
81	reverse bias voltage	反向偏置电压
82	reverse biased	反向偏置
83	reverse current	反向电流
84	reverse voltage	反向电压
85	SCR	晶闸管/可控硅/硅酮控制整流器
86	semiconductor material	半导体材料
87	series resistor	串联电阻
88	short-circuit current	短路电流
89	shunt	分流器；分流/压电阻
90	silicone	硅酮
91	silicone-type diodes	硅二极管
92	single-loop circuit	单环路电路
93	sinusoidal AC	正弦交流电
94	source current	源电流
95	substitutional matrix	替换矩阵
96	superposition theorem	叠加定理
97	the gate	门极/栅极
98	the threshold voltage	阈值电压
99	Thevenin Equivalent	戴维南等效
100	thyristors	晶闸管
101	to Ground	接地
102	transistor	晶体管
103	two port networks	双端口网络
104	two-terminal circuit	二端电路
105	UPS	不间断电源
106	urethanes	聚氨酯
107	vacuum tube rectifier	真空管整流器
108	VFD	变频驱动器
109	voltage division	分压
110	voltage drop	电压降
111	voltage loads	负载电压
112	voltage polarity	电压极性
113	voltage regulator	稳压器
114	voltage sources	电压源
115	voltmeter	电压表
116	Zener diodes	齐纳二极管
117	Zener knee voltage	齐纳膝电压

附录二：原文与译文对照表

Source Text	Target Text
Introduction In this chapter, we will begin with the review of three fundamental laws of physics and electrical engineering, namely, (1) Ohm's law, (2) Kirchhoff's voltage law (KVL), and (3) Kirchhoff's current law (KCL). These three laws are instrumental in performing basic circuit analysis. Laws serve a vital purpose in electrical engineering analysis and problem-solving. Most of these laws can be applied in direct current (DC) as well as alternating current (AC) domains. <u>Most engineering problems entail determination of unknowns of key parameters, under certain known circumstances or conditions.</u> Laws allow us the opportunity to formulate equations that can be solved for values of unknown parameters. Solving for one unknown variable requires a minimum of one equation. Solution for determination of the values of two unknown variables requires two equations, and soon. Therefore, laws afford us the opportunity to model an engineering problem or scenario in the form of set of equations that can be solved to adequately define and identify unknowns. Not unlike other laws of physics, the KVL and the KCL are used to solve for important electrical parameters such as current, voltage, resistance,	引言 本章中，首先我们将回顾物理学和电气工程的三个基本定律，即(1)欧姆定律；(2)基尔霍夫电压定律(KVL)；以及(3)基尔霍夫电流定律(KCL)，三个在进行基本电路分析时十分有用的定律。定律对分析和解决电学工程领域问题起着至关重要的作用，这些定律大部分都适用于直流(DC)和交流(AC)域。<u>大多数工程问题在于，根据已知的环境或条件确定未知的关键参数值</u>，而定律让我们得以制定可求解的方程。求出一个未知变量至少需要一个方程；要确定两个未知变量的值，需要两个方程……以此类推。也就是说，定律可以帮助我们以方程的形式来模拟工程问题，从而充分地定义和求解未知值。和其他物理定律一样，基尔霍夫电压定律和电流定律用于求解电流、电压、电阻、功率、能量、电抗、阻抗、电抗等重要电气参数。而后三个参数已在第一章中介绍，在第

power, energy, reactance, impedance, and reactance. While the later three parameters were introduced in Chapter 1, they are discussed in greater detail in Chapter 3.	三章中会有详细说明。
Important electrical circuit principles and circuit simplification techniques, such as voltage division, current division, superposition theorem, Thevenin Equivalent, and Norton Equivalent, will be discussed in this chapter in addition to the introduction to basic laws. The application of the laws will be illustrated through sample problems in this chapter. Note that there are many other principles and methods that are at electrical engineer's disposal to solve or analyze complex circuits <u>such as the conversion of Y (or Star) load (or resistor) configuration to Delta "Δ" load configuration or vice and versa</u> and two port networks. However, in-depth discussion of these and many other advanced circuit analysis methods is outside the scope of this text.	本章除了介绍基本原理外，还将讨论重要的电路原理和电路简化技术，如分压、分流、叠加定理、戴维宁等效和诺顿等效等，我们将通过本章中的实例来阐述这些定律的应用。但电气工程师有许多方法和原则可以用来解决或分析复杂电路。<u>例如，可以将 Y（星形）连接的负载配置转换为 Δ（三角形）连接的负载配置，反之亦然。</u>此外，他们还可以使用双端口网络等方法。不过这些暂且不表，其他的电路分析方法不在本文深入讨论范围之内。
We will introduce the reader to two basic electronic devices, namely, a diode and a transistor, their basic characteristics, and some of their applications. We will conclude this chapter with a pictorial "tour" of a typical electronic printed circuit board (PCB) to allow the reader an opportunity to gain a measure of familiarity with basic electronic devices.	我们将介绍两种基本电子器件，二极管和晶体管，以及它们的基本特性和部分应用。本章结尾将展示一个典型的电子印刷电路板 (PCB) 的图示，让读者对基本的电子设备有一定的了解。

OHM'S LAW

Ohm's law was introduced, briefly, in Chapter 1. Ohm's law stipulates that voltage, or voltage drop, in a DC (or an AC) circuit is equal to the product of current flowing in the circuit and the resistance (or impedance) in the electrical circuit. In other words, voltage or voltage drop in an electrical circuit is directly proportional to the resistance (or impedance) of the circuit and the current flowing through it. Ohm's law can, therefore, be stated mathematically as follows:

$$V = IR, I = \frac{V}{R}, \text{ or } R = \frac{V}{I} \text{ for DC circuits} \quad (2.1)$$

$$\bar{V} = \bar{I}\bar{Z}, \bar{I} = \frac{\bar{V}}{\bar{Z}}, \text{ or } \bar{Z} = \frac{\bar{V}}{\bar{I}} \text{ for AC circuits} \quad (2.2)$$

The first mathematical representation of Ohm's law, in the form of Eq. 2.1, pertains to DC circuits, and in this statement of Ohm's law, all three parameters – **V**, **I**, and **R** – are scalar. On the other hand, mathematical representation of Ohm's law, in the form of Eq. 2.2 applies to AC circuits, where voltage “V” and current “I” are vectors or complex entities and **R**, as always, is scalar. Note that the symbols with “half-arrows” above them denote complex AC, or vector, entities. These half arrows are shown here to introduce the reader to this method for representing vector or complex entities. Later in this text, vector or complex entities will be represented mostly in bold fonts.

欧姆定律

第一章简要介绍了欧姆定律。该定律规定，直流(或交流)电路中的电压或压降等于电路中的电流和电阻(或阻抗)的乘积。换句话说，电路中的电压或压降与电路的电阻(或阻抗)或流过电路的电流成正比。因此，欧姆定律可以用公式表述如下：

$$\text{直流电路: } V = IR, I = \frac{V}{R}, \text{ 或 } R = \frac{V}{I} \quad (2.1)$$

$$\text{交流电路: } \bar{V} = \bar{I}\bar{Z}, \bar{I} = \frac{\bar{V}}{\bar{Z}} \text{ 或 } \bar{Z} = \frac{\bar{V}}{\bar{I}} \quad (2.2)$$

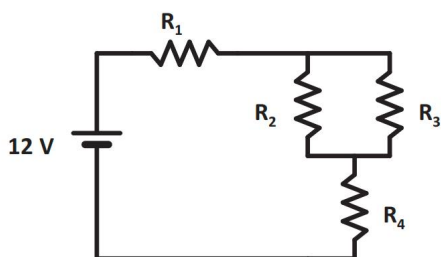
欧姆定律第一个公式 2.1, 适用于直流电路, 此公式中的三个参数 – **V**, **I** 和 **R** – 都是标量。另一个欧姆定律的数学表达式 (如公式 2.2 所示) 同样适用于交流电路。在交流电路中, 电压 “V” 和电流 “I” 是矢量或复数, 而电阻 “R” 始终是标量。请注意, 上方带有 “半箭头” 符号的变量表示交流复数或矢量。这里显示的半箭头向读者介绍了一种表示矢量或复数的方法。在本文后面, 矢量或复数将主要用粗体表示。在观察

As one examines the statement of Ohm's law in the form of Eqs. 2.1 and 2.2, it becomes obvious that Ohm's law can be interpreted and applied in several ways. This fundamental aspect of Ohm's law, its versatility, and wide application will become more evident through various circuit analysis problems in this chapter, and others in this text, beginning with Example 2.1.

欧姆定律时，如果我们用公式 2.1 和 2.2 的形式来阐释，很明显欧姆定律可以用几种方式来解释和应用。欧姆定律的这一基本方面，以及它的多功能性和广泛应用将通过本章及本文的各种电路分析问题，一步步加以阐释。从例 2.1 开始：

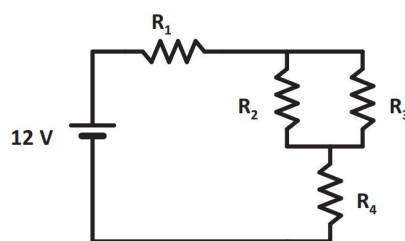
Example 2.1

The DC circuit shown below consists of a hybrid, parallel-series, network or resistors: $R_1 = 10 \Omega$, $R_2 = 5 \Omega$, $R_3 = 1 \Omega$, and $R_4 = 10 \Omega$. Calculate the following parameters in this circuit: (a) R_{eq} or R_{total} for the entire circuit. (b) The amount of current "i" flowing through resistor R_1 .



例 2.1

下图所示的直流电路由串联、并联电路以及电阻组成： $R_1 = 10 \Omega$ ， $R_2 = 5 \Omega$ ， $R_3 = 1 \Omega$ ， $R_4 = 10 \Omega$ 。电路中的计算参数如下：(a) 整个电路的电阻为 $R_{总}$ ；(b) 流过电阻 1 的电流为 I 。



Solution:

a. R_{eq} or R_{total} for the entire circuit:

$$R_{eq} = R_1 + R_4 + (R_2 \cdot R_3) / (R_2 + R_3) = 10 \Omega + 10 \Omega + (5/6 \Omega) = 20.833 \Omega$$

b. The amount of current "i" flowing through resistor R_1 :

By Ohm's law: $V = I \cdot R$, or, $I = V/R$.

$$\text{Therefore, } i = 12 \text{ V} / R_{eq} = 12 \text{ V} / 20.833 \Omega = 0.576 \text{ A.}$$

解：

整个电路的总阻值：

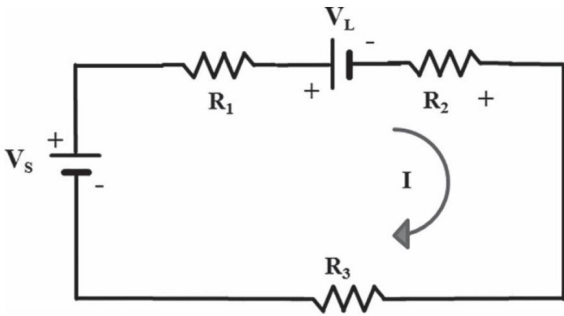
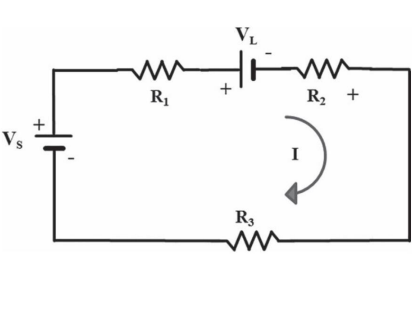
$$\begin{aligned} R_{总} &= R_1 + R_4 + (R_2 \cdot R_3) / (R_2 + R_3) \\ &= 10 \Omega + 10 \Omega + (5/6 \Omega) = \\ &20.833 \Omega \end{aligned}$$

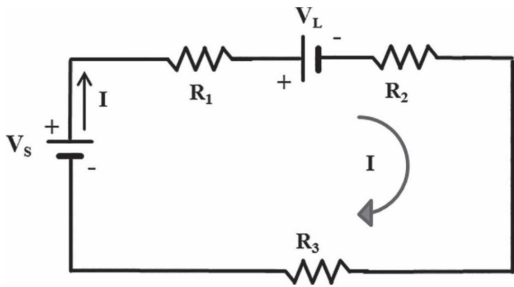
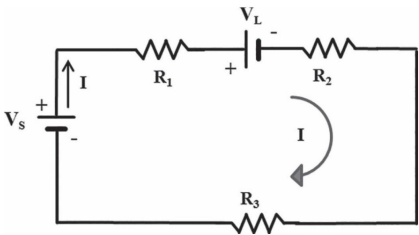
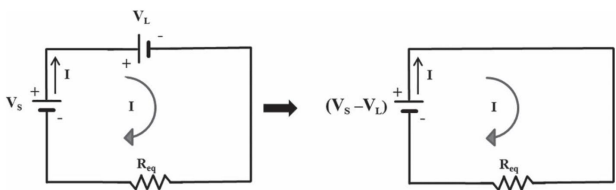
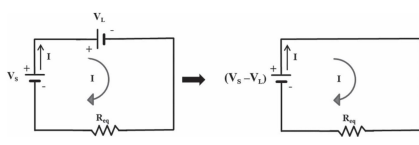
流过电阻 R_1 的电流 i ：

由欧姆定律： $V = I \cdot R$ ，或 $I = V/R$ 。

$$\begin{aligned} \text{得：} i &= 12 \text{ V} / R_{总} \\ &= 12 \text{ V} / 20.833 \Omega = 0.576 \text{ A.} \end{aligned}$$

KIRCHHOFF'S VOLTAGE LAW (KVL) KVL stipulates that the algebraic sum of voltage drops around any closed path, within a circuit, is equal to the sum of voltages presented by all of the voltage sources. The mathematical representation of KVL is as follows: $\sum V_{\text{Drops}} = \sum V_{\text{Source}} \quad (2.3)$ KVL can also be stated as follows: Sum of ALL voltages in a circuit loop = 0 or: $\sum V = 0 \quad (2.3a)$	基尔霍夫电压定律 (KVL) 基尔霍夫电压定律规定，在任何一个闭合回路中，各元件上的电压降的代数和等于所有电压源所呈现的电压的和。该定律的公式表示如下： $\sum V_{\text{降}} = \sum V_{\text{源}} \quad (2.3)$ 该定律还可表示为： 闭合回路中所有电压的代数和恒为 0，即： $\sum V = 0 \quad (2.3a)$
Some electrical engineers find the later representation of KVL somewhat easier to apply when performing circuit analyses because, with this version, <u>once the voltages and respective polarities have been identified, you simply sum up all the voltage values with appropriate signs, as observed, while going around the loop in the chosen direction.</u> This importance of this approach, and alternative approaches, is illustrated through Example 2.2. Example 2.2 – KVL Variation of current in the circuit shown below needs to be studied as a function of the three resistors and the voltage source, V_s. Using Ohm's law and KVL, develop an equation that can be used to compute the value of current I for various values of R_1, R_2, R_3, and V_s.	有电气工程师发现，在进行电路分析时，该定律的后一种表示方式更易应用，因为使用该版本，<u>在确定回路中各电压值及其对应极性后，只需按照所选方向沿回路加总所有电压值，进行加总时要注意符号的正确性。</u>我们可以通过例 2.2 说明这种方法及类似方法的重要性。 例 2.2-KVL 如下图电路所示，需要建立三个电阻和电压源 V_s 的函数来研究其中的电流变化。利用欧姆定律和 KVL，推导出一个方程，可以计算 R_1, R_2, R_3 和 V_s 各种值下相应的电流 I 的值。

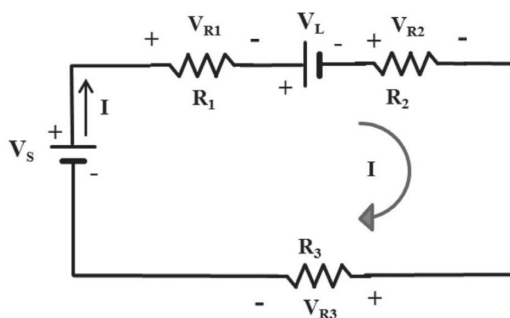
	
Solution: Similar to other engineering disciplines, in most electrical engineering problems, multiple methods can be employed to derive the solution. The suitability of one method over another depends on the known parameters and the complexity of the circuit.	解： 与其他工程学科类似，在大多数电气工程问题中，可以采用多种方法来推导出解。一种方法相对于另一种方法的适用性取决于已知参数和电路的复杂性。
APPROACH I Reduce or simplify the given circuit to a “net” voltage source and equivalent resistance R_{eq}. Since R_1, R_2, and R_3 are in series: $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$	方法 I 减少或简化给定的电路为“净”电压源和等效电阻 $R_{总}$。由于 R_1, R_2, R_3 串联： $R_{总} = R_1 + R_2 + R_3$
Based on the assumption that V_s is indeed the source driving this circuit, by electrical convention, the current in this circuit would flow “out” of the positive terminal, or anode, of the voltage source. Hence, the current would flow in the clockwise direction as shown in the diagram below.	我们假设 V_s 即为驱动电路的电源，根据电路规律，电路中的电流将从电源的正极或阳极“流出”。因此，电流将顺时针方向流动，如下图所示。

	
By the same token, application of the electrical current convention to the voltage device, or load voltage, V_L would mean that it would try to set up current in the counterclockwise direction. However, because we assumed that voltage source V_s is driving the net flow of current through the circuit, its dominance over V_L is implied, and the net voltage in the circuit would be as follows: $V_{Net} = V_s - V_L$	同样地 ,将电流规律应用于电压装置或负载电压 V_L , 那么电流将是逆时针方向流动。但是 , 由于我们假设电压源 V_s 驱动电路中电流的流动 ,因此它对 V_L 的影响更大 , 电路中的总电压如下所示 : $V_{净} = V_s - V_L$
This results in the simplification of the circuit as depicted below:  Then, application of Ohm's law yields: $I = \frac{(V_s - V_L)}{R_{eq}} \text{ or, } I = \frac{V_s - V_L}{R_1 + R_2 + R_3}$ APPROACH II This approach is premised on the application of KVL to the given circuit after the circuit has been annotated with voltage designations, voltage	于是我们完成了电路的简化 , 如下所示 :  欧姆定律在此电路图中应用如下 : $I = \frac{(V_s - V_L)}{R_{eq}} \text{ or, } I = \frac{V_s - V_L}{R_1 + R_2 + R_3}$ 方法 II 使用这种方法的前提是在一给定的电路中应用 KVL , 且该电

polarities, and current direction.

路已经标注了额定电压、电压极性和电流方向。

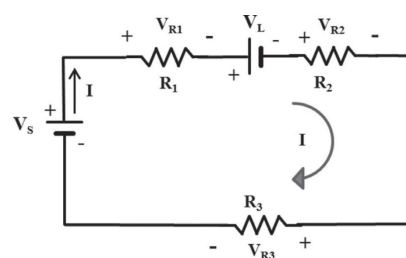
According to another electrical convention, voltage polarities are assigned such that the current enters the resistances (or loads, in general) on the **positive** side and exits from the **negative** side. The voltage sources or existing “voltage loads” retain their stated polarities. The aforementioned steps result in the transformation of the original (given) circuit as follows:



Apply Ohm's law to define the voltages, or voltage drops, across the three resistors.

$$V_{R1} = IR_1 \quad V_{R2} = IR_2 \quad V_{R3} = IR_3$$

根据另一条电气规律，电压极性的分配使得电流从**正极**进入电阻(一般或称为负载)，再从**负极**离开，电压源或原有的“电压负载”保持其规定的极性，于是导致了原(给定)电路的转换，如下：



运用欧姆定律来定义流经三个电阻的电压，或压降：

$$V_{R1} = IR_1 \quad ; \quad V_{R2} = IR_2; \quad V_{R3} = IR_3$$

With all voltages – voltage source, voltage load, and voltage drops across the resistors – identified and their polarities noted, apply KVL by “walking” the annotated circuit beginning at the cathode or negative electrode of the voltage source, V_s . Note the voltages and respective polarities as you make a complete loop around the circuit in the

在识别了所有电压——电压源、电压负载和电阻上的电压降，并标注了它们的极性后，从电压源 V_s 的阴极或负电极出发，沿着标注后的电路逐个分析各个元件，应用基尔霍夫电

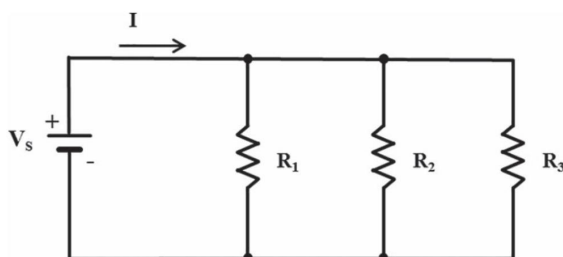
clockwise direction of the current. This results in the following equation: $\Sigma V = 0$ $-V_s + V_{R1} + V_L + V_{R2} + V_{R3} = 0$	<u>压定律 (KVL)</u>。由于我们沿着电流的顺时针方向绕电路做了一个完整的环路，因此要注意电压和各自的极性。结果如下： $\Sigma V = 0$ $-V_s + V_{R1} + V_L + V_{R2} + V_{R3} = 0$
Expansion of this KVL-based equation through substitution of the resistor voltage drop formulas, derived earlier, yields: $-V_s + IR_1 + V_L + IR_2 + IR_3 = 0$ Further rearrangement and simplification result in: $I(R_1 + R_2 + R_3) = (V_s - V_L)$ $I = \frac{V_s - V_L}{R_1 + R_2 + R_3}$	通过替换之前推导的电阻压降公式，将基于 KVL 的方程展开，得到： $-V_s + IR_1 + V_L + IR_2 + IR_3 = 0$ 再经进一步的排列和简化，得出： $I(R_1 + R_2 + R_3) = (V_s - V_L)$ $I = (V_s - V_L) / (R_1 + R_2 + R_3)$
KIRCHHOFF'S CURRENT LAW(KCL) According to KCL, total current flowing into a node is equal to the total current that flows out of the node. The mathematical representation of KCL is as follows: $\sum i_{in} = \sum i_{out} \quad (2.4)$	基尔霍夫电流定律 (KCL) 根据 KCL, 流入节点的总电流等于流出节点的总电流。方程表示如下： $\sum i_{进} = \sum i_{出} \quad (2.4)$
Proper identification of a node before application of KCL is pivotal in the application of KCL. <u>Applying KCL at the node, the sum of currents entering equals the sum leaving, which</u>	在应用 KCL 之前，正确地识别节点至关重要。<u>在节点处应用 KCL 定律时，流入节点的电流总和等于离开节点的电流</u>

allows the calculation of unknown branch currents. The concept of a node is not unique to electrical circuit. Intersections and junctions in fluid piping systems are sometimes referred to as nodes, by mechanical engineers and technicians. The term finds its use in disciplines as diverse as human anatomical “lymph node” system and the algorithm nodes in computer systems. In the electrical realm, a node is sometimes construed as a point where two conductors merge or get connected. However, as illustrated through application of KCL in Example 2.3, a more meaningful definition of a node in electrical circuits is that it is a point where *three or more conductors are electrically terminated or connected together*. Just as significance and effectiveness of KVL was illustrated through Example 2.2, we will demonstrate the utility of KCL and selection of a meaningful node in a “parallel” electrical circuit through Example 2.3.

总和，便可以据此建立方程计算未知的支路电流。节点的概念并不是电路独有的。机械工程师及技术人员有时也将流体管道系统中的交叉点和接头称为节点。这个术语在很多学科领域中都有所使用，如在人体解剖的“淋巴结”系统和计算机系统中的算法节点。在电学领域，节点有时为两个导体合并或连接的点。然而，如上图所示，通过例 2.3 中 KCL 的应用，我们给出了节点一个更有意义的定义，即节点是三个或三个以上的导体在电路中被连接在一起的点。正如例 2.2 所说明的 KVL 的重要性和有效性一样，我们将通过例 2.3 演示 KCL 的有效性和如何在“并联”电路中选择有意义的节点。

Example 2.3

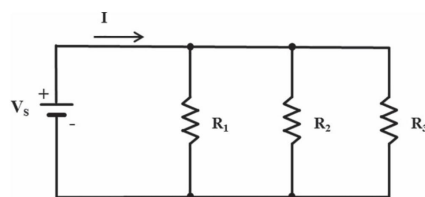
Determine the value of voltage source **current** in the parallel circuit below.



Solution:

例 2.3

确定下图并联电路中流经电压源**电流**的值。



解：

Similar to Example 2.2, we will present two different approaches for determining the value of unknown source current. The first approach simply utilizes Ohm's law and the parallel circuit simplification method. The second approach, on the other hand, utilizes KCL and "nodal" analysis technique.

与例 2.2 类似，我们将介绍两种不同的方法来确定未知源电流的值。第一种方法简单地利用欧姆定律和并行电路简化方法。而第二种方法运用了 KCL 和“节点”分析技术。

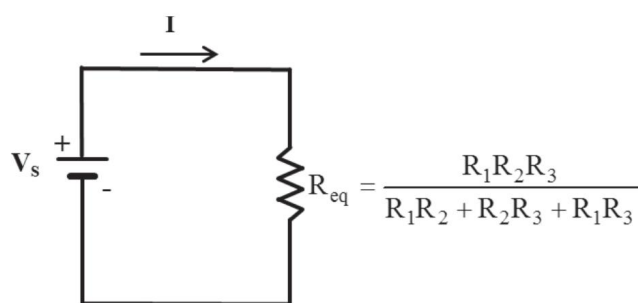
APPROACH I

Reduce or simplify the given circuit to a voltage source and equivalent resistance R_{eq} . Since R_1 , R_2 , and R_3 are in **parallel**, application of Eq. 1.13 yields:

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

$$R_{eq} = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}$$

This simplifies the given parallel DC circuit as follows:



Next, Ohm's law is applied to determine the source current:

$$I = V_s \left(\frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}{R_1 R_2 R_3} \right)$$

方法 I

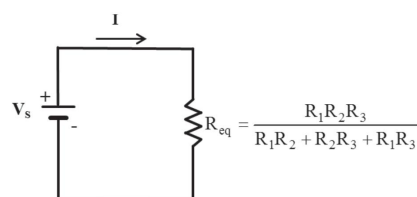
降低或简化给定电路至一个电压源和等效电阻。由于 R_1 、 R_2 和 R_3 是并联的，应用式 1.13 得到:

$$R_{\text{等效}} = 1 / \left(1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 \right)$$

$$R_{\text{等效}} = R_1 R_2 R_3 /$$

$$(R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3)$$

于是给定的并联直流电路简化如下:

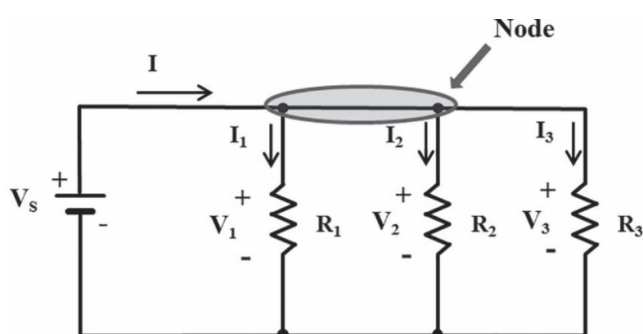


接下来应用欧姆定律确定源电流:

$$I = V_s \left(\frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}{R_1 R_2 R_3} \right)$$

APPROACH II

This approach is premised on the application of KCL to the given circuit after the node had been identified and circuit has been annotated with voltage designation, voltage polarity, branch currents, and current directions. See the circuit diagram below:



Subscribing to the definition of a node as a point where three or more conductors merge, the shaded segment in the diagram above is designated as the node for this circuit. Next, before KCL can be applied to determine the source current, the individual currents, through each of the resistors, need to be defined – using Ohm’s law – in terms of the specific resistance values and the voltages around them:

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} \quad I_2 = \frac{V_2}{R_2} \quad I_3 = \frac{V_3}{R_3}$$

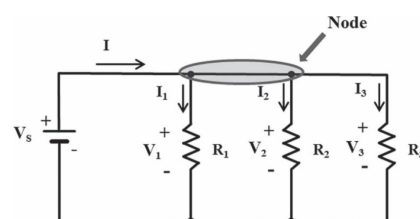
Then, application of KCL at the designated node yields the following equation:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

Substitution of the values of branch currents, as defined earlier, yields:

方法 II

使用这一方法的前提是，在节点确定并标注了电压、电压极性、支路电流及电流方向后，再于给定电路中运用 KCL 定律。见电路图如下：



根据节点的定义，有三个或三个以上导体合并时，上图中阴影部分则为该电路的节点。接下来，我们需要先结合欧姆定律和每个电阻周围的电压及其具体阻值，得出通过各电阻的电流值，而后才可运用基尔霍夫定律（KCL）来确定源电流：

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} \quad I_2 = \frac{V_2}{R_2} \quad I_3 = \frac{V_3}{R_3}$$

然后，在指定节点上应用 KCL，得到如下公式：

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$I = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}$	如前所述，将支路电流的值替换为: $I = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}$
At this juncture, it is important to note that when circuit elements are in parallel – as is the case with R_1, R_2 and R_3 – their voltages (or voltage drops around them) are equal. In fact, not only are the voltages around the parallel circuit elements equal to each other but they are the same as the source voltage, V_s. In other words: $V_s = V_1 = V_2 = V_3$ Therefore, the current equation can be rewritten as follows: $I = \frac{V_s}{R_1} + \frac{V_s}{R_2} + \frac{V_s}{R_3} = V_s \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$ And the source current would be as follows: $I = V_s \left(\frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_1 R_2 R_3} \right)$ which is the same as the answer derived through Approach 1. VOLTAGE DIVISION Voltage division is a shortcut for determination of voltage across a series resistor. According to the voltage division rule, the voltage across resistance	此时，我们要注意，当电路元件并联时——就像 R_1、R_2 和 R_3 的情况一样——它们的电压 (或它们周围的电压降) 是相等的。事实上，它们不仅彼此相等，而且它们的值与源电压 V_s 相同。也就是说: $V_s = V_1 = V_2 = V_3$ 因此，该方程可改写为： $I = \frac{V_s}{R_1} + \frac{V_s}{R_2} + \frac{V_s}{R_3} = V_s \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$ 源电流则为: $I = V_s \left(\frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_1 R_2 R_3} \right)$ 与方法一得出的结果相同。 分压 分压是确定串联电阻电压的一种简便方法。根据分压原则，在一个总电阻 R 总和电压源 V 的直流电路中，电阻 R 上的电

R , in a DC circuit, with total resistance R_{total} , and a voltage source V , can be determined through the following formula:

$$V_R = \frac{R}{R_{\text{total}}} V \quad (2.5)$$

For AC circuits, the voltage on impedance Z_i , in a loop with total impedance Z_{total} , with a voltage source V , would be as follows:

$$V_i = \left(\frac{Z_i}{Z_{\text{total}}} \right) \cdot V \quad (2.6)$$

压可由下式确定:

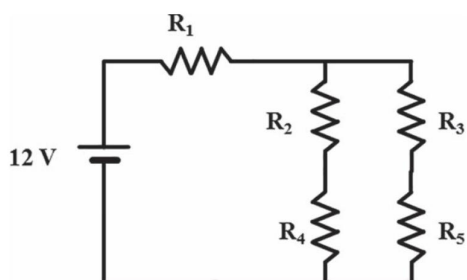
$$V_R = (R/R_{\text{总}}) \cdot V \quad (2.5)$$

在总阻抗为 $Z_{\text{总}}$, 电压源为 V 的交流电路回路中, 阻抗为 Z_i 的电压应如下所示:

$$V_i = (Z_i/Z_{\text{整}}) \cdot V \quad (2.6)$$

Example 2.4

Determine the following for the DC circuit shown below:

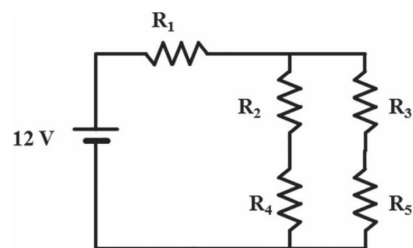


- Equivalent resistance for the entire circuit, if $R_1 = 5 \Omega$, $R_2 = R_3 = 10 \Omega$, and $R_4 = R_5 = 20 \Omega$
- Current flowing through resistor R_1
- Voltage across resistor R_5

Solution:

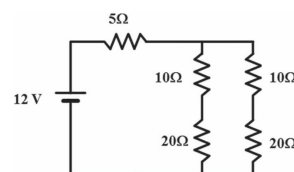
例 2.4

确定如下所示的直流电路:

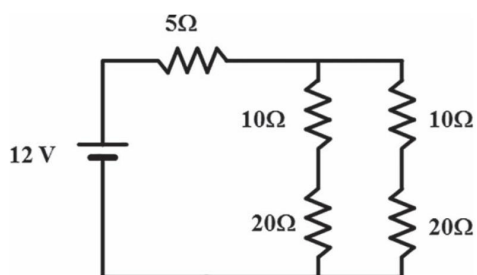


- 整个电路的等效电阻, 若 $R_1 = 5 \Omega$, $R_2 = R_3 = 10 \Omega$, $R_4 = R_5 = 20 \Omega$
- 通过电阻 R_1 的电流
- 电阻 R_5 的电压

解:



- R_2 和 R_4 之和 $R_{2,4} = R_2 + R_4$



a. Combination of R_2 and $R_4 = R_{2,4} = R_2 + R_4 = 10\ \Omega + 20\ \Omega = 30\ \Omega$

Combination of R_3 and $R_5 = R_{3,5} = R_3 + R_5 = 10\ \Omega + 20\ \Omega = 30\ \Omega$

Combination of $R_{2,4}$ and $R_{3,5} =$

$$R_{2-5} = \frac{(30\ \Omega) \cdot (30\ \Omega)}{(30\ \Omega + 30\ \Omega)} = \frac{900}{60} = 15\ \Omega$$

$$R_{eq} = R_1 + R_{2-5} = 5\ \Omega + 15\ \Omega = 20\ \Omega$$

b. Current through R_1 would be the same as the current through the 12 V supply:

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{12\ V}{20\ \Omega} = 0.6\ A$$

c. One method for determining V_{R_5} , voltage across R_5 , is to first calculate $V_{R_{2-5}}$, the voltage across the combined resistance of resistances R_2 , R_3 , R_4 , and R_5 . Then, by applying voltage division, calculate V_{R_5} as follows:

According to Ohm's law,

$$V_{R_{2-5}} = I \cdot (R_{2-5}) = (0.6\ A) \cdot (15\ \Omega) = 9\ V$$

Then, by applying the voltage division rule:

$$\begin{aligned} V_{R_5} &= (9\ V) \cdot \left(\frac{R_5}{R_5 + R_3} \right) \\ &= (9\ V) \cdot \left(\frac{20\ \Omega}{20\ \Omega + 10\ \Omega} \right) \\ &= (9\ V) \cdot (0.67) = 6\ V \end{aligned}$$

$$= 10\ \Omega + 20\ \Omega = 30\ \Omega$$

$$R_3 \text{ 和 } R_5 \text{ 之和 } R_{3,5} = R_3 + R_5$$

$$= 10\ \Omega + 20\ \Omega = 30\ \Omega$$

$$R_{2,4} + R_{3,5} =$$

$$R_{2-5} = 30\ \Omega \cdot 30\ \Omega / (30\ \Omega + 30\ \Omega) = 900 / 60 = 15\ \Omega$$

$$R_{\text{等效}} = R_1 + R_{2-5} = 5\ \Omega + 15\ \Omega = 20\ \Omega$$

b. 通过 R_1 电流和通过 12V 供应的电流相同:

$$I = V/R_{\text{等效}} = 12\ V / 20\ \Omega = 0.6\ A$$

c. 一种确定 V_{R_5} , 即 R_5 上的电压的方法是首先计算 $V_{R_{2-5}}$, 电阻 R_2 , R_3 , R_4 和 R_5 的组合电阻上的电压。然后应用分压, 计算 V_{R_5} 如下:

根据欧姆定律:

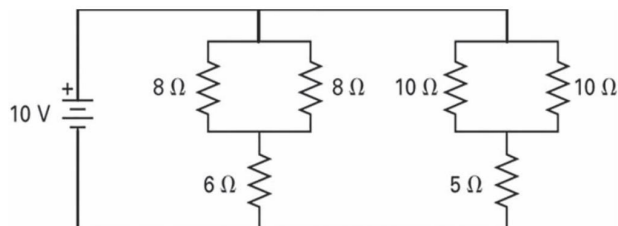
$$V_{R_{2-5}} = I \cdot (R_{2-5}) = (0.6\ A) \cdot (15\ \Omega) = 9\ V$$

再利用分压原则:

$$\begin{aligned} V_{R_5} &= (9\ V) \cdot \left(\frac{R_5}{R_5 + R_3} \right) \\ &= (9\ V) \cdot \left(\frac{20\ \Omega}{20\ \Omega + 10\ \Omega} \right) \\ &= (9\ V) \cdot (0.67) = 6\ V \end{aligned}$$

Example 2.5

What is the voltage across the 6 Ω resistor?

**Solution:**

The right-hand side of the circuit, consisting of the two 10 Ω resistors and the 5 Ω resistor, is irrelevant insofar as the determination of voltage across the 6 Ω resistor is concerned.

Parallel combination of the two 8 Ω resistors results in an equivalent resistance of 4 Ω as follows:

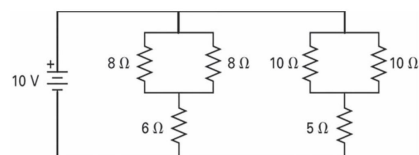
$$R_{8\Omega/8\Omega} = \frac{(8\Omega) \cdot (8\Omega)}{8\Omega + 8\Omega}$$

Using voltage division, the voltage across the 6 Ω resistor would be as follows:

$$V_{6\Omega} = (10\text{ V}) \cdot \left(\frac{6\Omega}{4\Omega + 6\Omega} \right) = 6\text{ V}$$

例 2.5

下图中 6 Ω 电阻两端电压是多少？

**解：**

电路的右侧由两个 10Ω电阻和一个 5Ω电阻组成，这对于 6Ω电阻两端电压的确定是无关紧要的。

两个 8 Ω电阻的并联组合产生等效电阻为 4Ω，如下：

$$R_{8\Omega/8\Omega} = \frac{(8\Omega) \cdot (8\Omega)}{8\Omega + 8\Omega}$$

利用分压原则，6Ω电阻两端电压应为：

$$V_{6\Omega} = (10\text{ V}) \cdot \left(\frac{6\Omega}{4\Omega + 6\Omega} \right) = 6\text{ V}$$

CURRENT DIVISION

The current through a resistor **R** in parallel, or in **shunt**, with another resistance **R_{parallel}** and a current into the node of **I** is:

$$I_R = \left(\frac{R_{\text{parallel}}}{R_{\text{total}}} \right) \cdot I \quad (2.7)$$

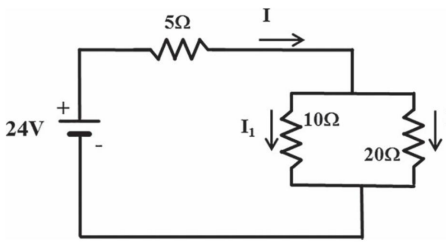
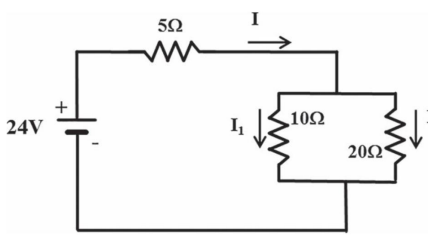
where

分流

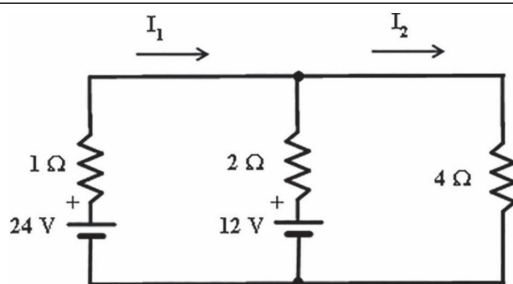
在并联电路或分流器中，通过电阻 **R** 及其并联电阻 **R_并** 流入节点的电流 **I** 为：

$$I_R = I \cdot (R_{\text{并}} / R_{\text{总}}) \quad (2.7)$$

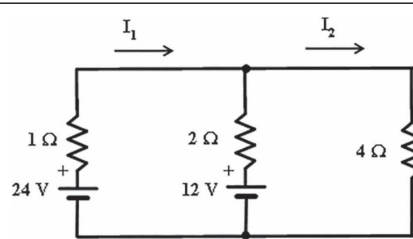
设

R_{total}= The sum of the resistances in parallel (and not the parallel combination R_{EQ}) R_{parallel} = Resistance value of the resistor opposite the “subject” resistor I = Current through the source When current division is applied in AC circuits, the formula for current through an impedance Z, in parallel with another impedance Z_{parallel}, would be as follows: $I_R = \left(\frac{Z_{\text{parallel}}}{Z_{\text{total}}} \right) \cdot I \quad (2.8)$	$R_{\text{总}}$ 为并联电路中所有电阻之和 (而非并联组合 R_{eq}) $R_{\text{并}}$ 为与“主体”电阻相对的电阻阻 值 I 为通过电源的电流， 将分流应用于交流电路时，通过 阻抗 Z 及另一个与之并联的阻抗 $Z_{\text{并}}$ 的电流公式则如下所示: $I_R = I \cdot (Z_{\text{并}} / Z_{\text{总}}) \quad (2.8)$
where I = Current, in its complex AC form, flowing into the node formed by the parallel impedances Z_{total} = The sum of the impedances in parallel (and not the parallel combination Z_{EQ}) Z_{parallel} = The impedance of the load opposite to the subject impedance I = AC through the source	设 I 为电流，以其复杂的交流形式 流入并联阻抗所形成的节点； $Z_{\text{总}}$ 为并联阻抗之和 (而非并联 组合 R_{eq}) ； $Z_{\text{并}}$ 为负载阻抗与主阻抗相反 的负载阻抗； I 为流过电源的交流电。
Example 2.6 Determine the current flowing through the 10Ω resistance in the circuit shown below. 	例 2.6 确定下图所示电路中流过 10Ω 电阻的电流。 

Solution: We must determine the value of source current I, first. In order to determine the value of current I flowing through the source and the $5\ \Omega$ resistor, we must consolidate all resistors into an equivalent resistance R_{EQ} and then apply Ohm's law. $R_{EQ} = 5\ \Omega + \left(\frac{(10\ \Omega) \cdot (20\ \Omega)}{(10\ \Omega) + (20\ \Omega)} \right) = 5\ \Omega + 6.67\ \Omega = 11.67\ \Omega$ $I = \frac{V}{R_{EQ}} = \frac{24\ \text{V}}{11.67\ \Omega} = 2.06\ \text{A}$ Apply current division formula in the form of Eq. 2.7: $I_{10\ \Omega} = I_1 = \left(\frac{R_{\text{parallel}}}{R_{\text{total}}} \right) I = \left(\frac{20\ \Omega}{10\ \Omega + 20\ \Omega} \right) 2.06\ \text{A} = 1.36\ \text{A}$	解： 首先，我们必须确定源电流 I 的值。为了确定流过电源和 $5\ \Omega$ 电阻的电流 I 的值，我们必须将所有电阻合并为等效电阻 R_{EQ}，然后应用欧姆定律。 $R_{EQ} = 5\ \Omega + \left(\frac{(10\ \Omega) \cdot (20\ \Omega)}{(10\ \Omega) + (20\ \Omega)} \right) = 5\ \Omega + 6.67\ \Omega = 11.67\ \Omega$ $I = \frac{V}{R_{EQ}} = \frac{24\ \text{V}}{11.67\ \Omega} = 2.06\ \text{A}$ 应用方程 2.7 的分流公式： $I_{10\ \Omega} = I_1 = \left(\frac{R_{\text{parallel}}}{R_{\text{total}}} \right) I = \left(\frac{20\ \Omega}{10\ \Omega + 20\ \Omega} \right) 2.06\ \text{A} = 1.36\ \text{A}$
MULTI-LOOP CIRCUIT ANALYSIS <u>As expected, analyses of circuits that consist of more than one current loop tend to be more complex, and require formulation of multiple equations and utilization of additional conventions and principles.</u> Similar to single-loop circuit analysis covered earlier, in most cases, there are multiple strategies and approaches available for solving multi-loop circuits. We will illustrate one approach through Example 2.7.	多回路电路分析 <u>与预期一致，对于包含多个电流回路的电路分析往往更为复杂，需要建立多个方程，并运用额外定理或原理。</u>与前面讨论的单回路电路分析类似，在大多数情况下，有多种策略和方法可用于解决多环路电路。我们将通过例 2.7 说明其中一种方法。
Example 2.7 Using the KVL method, determine the current flows, I_1 and I_2, in the circuit below.	例 2.7 运用基尔霍夫电压定律，确定下面电路中的电流 I_1 和 I_2。

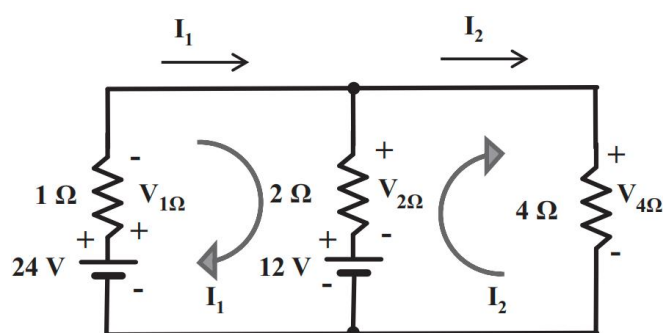
**Solution:**

Current I_1 and I_2 are two of the five unknown parameters in the circuit above. The other unknown parameters are $V_{1\Omega}$, $V_{2\Omega}$, and $V_{4\Omega}$. One approach for determining the values of I_1 and I_2 would be to formulate two equations, using the KVL, such that each equation includes the same two unknown variables, I_1 and I_2 . Then, by applying the simultaneous equation technique to the two-equation system, with two unknowns, we can determine the values of I_1 and I_2 .

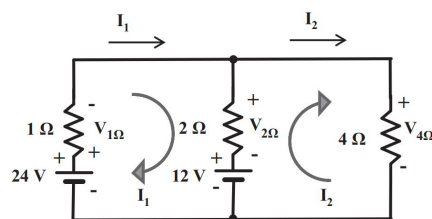
**解：**

电流 I_1 和 I_2 是上述电路中五个未知参数中的两个。其他未知参数为 $V_{1\Omega}$ 、 $V_{2\Omega}$ 和 $V_{4\Omega}$ 。确定 I_1 和 I_2 值的一种方法是 根据 KVL 定律建立两个方程，使得每个方程都包含相同的两个未知变量 I_1 和 I_2 。然后，将联立方程技术应用于两个未知数的二元方程，从而可以确定 I_1 和 I_2 的值。

Application of KVL requires that voltage around each circuit element be defined in terms of known values and the unknown variables and the sign or polarity of each voltage must be assigned before formulating equations that can be solved to determine the values of the unknown parameters. See the diagram below.



应用基尔霍夫电压定律时，需要结合已知量和未知量来表示每个电路元件的电压；但是，在列写方程前必须标注各电压的符号与极性，这样建立的方程组可求解出未知数。如下图。



假设电流方向和将电压极性分配给各种负载(电阻)和源(电压

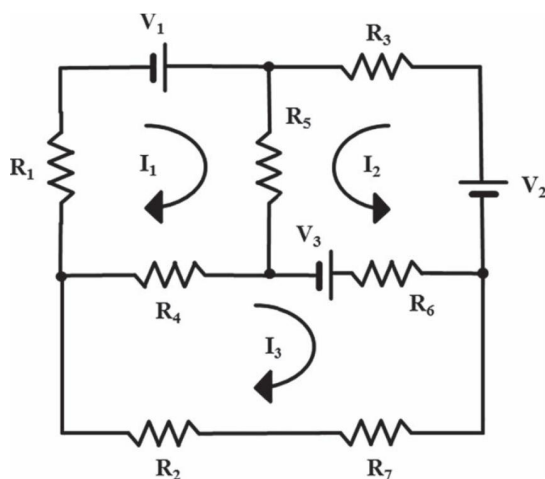
Rules for assuming the current direction and assigning voltage polarities to various loads (resistors) and sources (voltage sources) are as follows: 1. As shown in the figure above, by convention, the currents are assumed to be emanating from the positive pole (positive electrode or anode) of the voltage source and are assumed to be terminating into the negative pole (negative electrode or cathode) of the voltage source. 2. As shown in the figure above, the end or side of the resistor or load that the current enters from is labeled as positive.	源)的规则如下: 1. 如上图所示, 按照惯例, 假定电流从电压源的正极(正电极或阳极)发出, 并终止于电压源的负极(负极或阴极)。 2. 如上图所示, 电流输入电阻或负载的一端或一侧被标记为正极。
3. The polarity for a voltage source is assumed as encountered in the direction of current flow. Examination of the circuit above reveals that there are three loops in the given circuit. The left loop will be referred to as loop 1, the loop on the right segment of the circuit is loop 2. The third loop in this circuit is formed by the outer perimeter. We will focus on the first two loops to derive two equations for the determination of the two unknown currents. Assume that I_1 is greater than I_2. Conventionally, it is acceptable to make such assumptions as long as the assumptions are, strictly, adhered to in deriving all equations necessary for the solution.	3. 假定电压源的极性与电流流动方向一致。 检查上面的电路可以发现在给定的回路中有三个回路。左边的回路称为回路 1, 右边的回路称为回路 2。电路的第三个回路是由外围形成的。我们将着重于前两个回路, 推导出两个方程来确定这两个未知电流。 一般来说, 我们可以做出相关的假设, 只要在推导求解所需的所有方程时严格遵守这些假

	设，它们便是可行的。因此，我们可以假设 I_1 大于 I_2。
“Walking” loop 1, beginning at the negative terminal of the 24 V DC source, yields the following equation: $-24 \text{ V} + V_{1\Omega} + V_{2\Omega} + 12 \text{ V} = 0 \quad (2.9)$	从 24V 直流电源的负极端运行回路 1，得出如下公式： $-24 \text{ V} + V_{1\Omega} + V_{2\Omega} + 12 \text{ V} = 0 \quad (2.9)$
“Walking” loop 2, beginning at the negative terminal of the 12 V DC source, yields the following equation: $-12 \text{ V} - V_{2\Omega} + V_{4\Omega} = 0 \quad (2.10)$ Based on Ohm's law: $V_{1\Omega} = (I_1) \cdot (1\Omega) = I_1 \quad (2.11)$ $V_{4\Omega} = (I_2) \cdot (4\Omega) = 4I_2 \quad (2.12)$ $V_{2\Omega} = (I_1 - I_2) \cdot (2\Omega) = 2 \cdot (I_1 - I_2) \quad (2.13)$ Then, by substituting Eqs. 2.11–2.13 into Eqs. 2.9 and 2.10, we get: $24 + I_1 + 2 \cdot (I_1 - I_2) + 12 = 0$ $3I_1 - 2I_2 = 12 \quad (2.14)$ $-12 - 2 \cdot (I_1 - I_2) + 4I_2 = 0$ $-2I_1 + 6I_2 = 12 \quad (2.15)$ Equations 2.14 and 2.15 represent the two simultaneous equations that were needed to solve for currents I_1 and I_2. These equations will be solved simultaneously to determine the values of I_1 and I_2. $3I_1 - 2I_2 = 12 \quad (2.14)$	从 12V 直流电源的负端运行回路 2，得出如下公式： $-12 \text{ V} - V_{2\Omega} + V_{4\Omega} = 0 \quad (2.10)$ 根据欧姆定律： $V_{1\Omega} = (I_1) \cdot (1\Omega) = I_1 \quad (2.11)$ $V_{4\Omega} = (I_2) \cdot (4\Omega) = 4I_2 \quad (2.12)$ $V_{2\Omega} = (I_1 - I_2) \cdot (2\Omega) = 2 \cdot (I_1 - I_2) \quad (2.13)$ 然后，将式 2.11-2.13 代入式 2.9 和式 2.10，得到： $24 + I_1 + 2 \cdot (I_1 - I_2) + 12 = 0$ $3I_1 - 2I_2 = 12 \quad (2.14)$ $-12 - 2 \cdot (I_1 - I_2) + 4I_2 = 0$ $-2I_1 + 6I_2 = 12 \quad (2.15)$ 公式 2.14 和 2.15 表示求出电流 I_1 和 I_2 的两个联立方程，将这些方程同时求解，我们将得出 I_1 和 I_2 的值。 $3I_1 - 2I_2 = 12 \quad (2.14)$

$-2I_1 + 6I_2 = 12$ (2.15)	$-2I_1 + 6I_2 = 12$ (2.15)
For simultaneous equation solution, multiply left- and right-hand sides of Eq. 2.14 by 3 and add it to Eq. 2.15: $\begin{array}{r} 9I_1 - 6I_2 = 36 \\ -2I_1 + 6I_2 = 12 \\ \hline 7I_1 = 48 \\ \therefore I_1 = 6.86 \text{ A} \end{array}$ Then, by substituting this value of I_1 into Eq. 2.15 yields: $-2(6.86) + 6I_2 = 12$ Or $I_2 = 4.29 \text{ A}$ Note: The values of unknown currents I_1 and I_2 can also be determined by applying Cramer's Rule to Eqs. 2.14 and 2.15 in matrix format and linear algebra.	对于此联立方程，我们将式 2.14 的左右两边同时乘以 3，加到式 2.15 中: $\begin{array}{r} 9I_1 - 6I_2 = 36 \\ -2I_1 + 6I_2 = 12 \\ \hline 7I_1 = 48 \\ \therefore I_1 = 6.86 \text{ A} \end{array}$ 然后，将 I_1 的这个值代入式 2.15，得到: $-2(6.86) + 6I_2 = 12$ 或者 $I_2 = 4.29 \text{ A}$ 注：未知电流 I_1 和 I_2 的值也可以通过在矩阵形式和线性代数中将克莱默法则应用于式 2.14 和 2.15 来确定。
CIRCUIT ANALYSIS USING CRAMER'S RULE AND LINEAR ALGEBRA Cramer's Rule can be applied to solve for unknowns, in lieu of simultaneous equations or substitution methods, after a set of equations have been formulated using the loop analysis method described above. Since the Cramer's Rule involves matrices	用克莱默法则和线性代数进行电路分析 在利用上述回路分析方法列出一系列方程后，我们可以应用克莱默法则代替联立方程或类似方法来求解未知数。克莱默规则由于涉及矩阵和线性代数，是电路分析计算机软件的前提方法。例 2.8 将说明克莱

Example 2.8

The values of all known parameters for the following multi-loop circuit are listed in the table below. Find the values of currents I_1 , I_2 , and I_3 .



R_1	10Ω
R_2	2Ω
R_3	3Ω
R_4	4Ω
R_5	7Ω
R_6	3Ω
R_7	5Ω
V_1	20
V_2	5
V_3	12

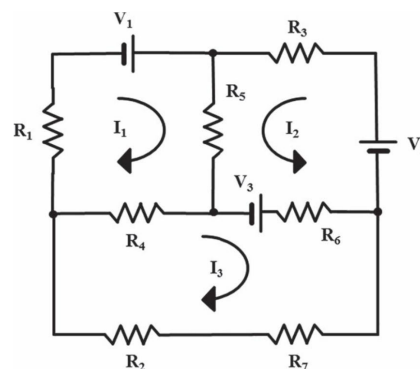
Solution:

In this example, the fundamental strategy, conventions, and principles needed to calculate the three unknown currents I_1 , I_2 , and I_3 would be the same as the ones described in Example 2.4. The obvious difference is that this circuit has a total of four loops – including the outermost loop – and has three unknown variables in the form of

默法则的应用。

例 2.8

以下多回路电路中所有已知参数的取值如下表所示。求电流 I_1 , I_2 和 I_3 的值。



R_1	10Ω
R_2	2Ω
R_3	3Ω
R_4	4Ω
R_5	7Ω
R_6	3Ω
R_7	5Ω
V_1	20
V_2	5
V_3	12

解：

在本例中，计算三个未知电流 I_1 、 I_2 和 I_3 所需的基本策略、定律和原理与例 2.4 中提到的相同。明显的区别是，这个电路总共有四个回路——包括最外

currents I_1 , I_2 , and I_3 . Therefore, we will need a minimum of three equations. Those three equations, as before, are derived by applying the KVL to each of the three inner loops. The voltage drops across each of the load components (or resistors) are defined on the basis of Ohm's law, $V = I \cdot R$.

层的回路——并且有三个电流形式的未知变量 I_1 、 I_2 和 I_3 。因此，我们至少需要三个方程。如前所述，通过将 KVL 定律应用于三个内回路，我们得到了这三个方程。又根据欧姆定律 $V=I \cdot R$ ，我们确定了每个负载元件（或电阻器）上的电压降。

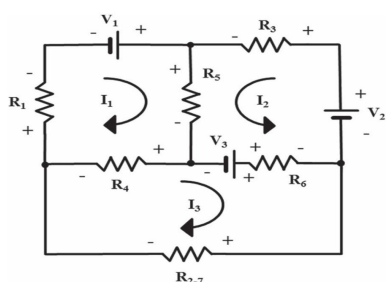
Before we embark on the formulation of current computation equations, let's ensure that the circuit is in its most simplified form. In that vane, by inspection, we notice that the two series resistors in the bottom loop, R_2 and R_7 , can be added together or combined as follows:

$$R_{2-7}=R_2+R_7$$

在我们建立此计算方程之前，我们需要确保电路是最简化的形式。经检查，我们注意到底部回路中的两个串联电阻 R_2 和 R_7 可以按如下方式相加或组合：

$$R_{2-7}=R_2+R_7$$

This simplification and assignment of voltage drop polarities results in the following circuit schematic:

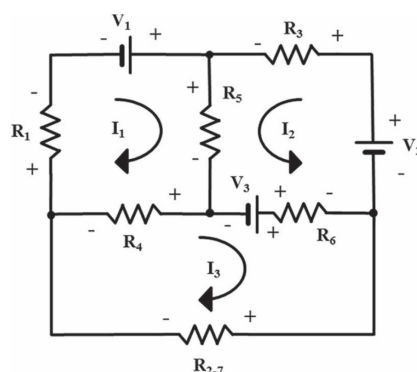


Application of KVL in loop 1, with the assumptions that $I_1 > I_2$ and I_3 , and $I_2 > I_3$ yields:

$$I_1 R_1 - V_1 + (I_1 + I_2) R_5 + (I_1 - I_3) R_4 = 0$$

$$I_1 R_1 - V_1 + I_1 R_5 + I_2 R_5 + I_1 R_4 - I_3 R_4 = 0$$

对压降极性简化和分配后，结果如下：



假设 $I_1 > I_2$ 和 I_3 ，且 $I_2 > I_3$ ，在回路 1 中应用基尔霍夫电压定律，得出：

$(\mathbf{R}_1 + \mathbf{R}_5 + \mathbf{R}_4)\mathbf{I}_1 + \mathbf{I}_2\mathbf{R}_5 - \mathbf{I}_3\mathbf{R}_4 = \mathbf{V}_1 \quad (2.16)$	$\mathbf{I}_1\mathbf{R}_1 - \mathbf{V}_1 + (\mathbf{I}_1 + \mathbf{I}_2)\mathbf{R}_5 + (\mathbf{I}_1 - \mathbf{I}_3)\mathbf{R}_4 = 0$ $\mathbf{I}_1\mathbf{R}_1 - \mathbf{V}_1 + \mathbf{I}_1\mathbf{R}_5 + \mathbf{I}_2\mathbf{R}_5 + \mathbf{I}_1\mathbf{R}_4 - \mathbf{I}_3\mathbf{R}_4 = 0$ $(\mathbf{R}_1 + \mathbf{R}_5 + \mathbf{R}_4)\mathbf{I}_1 + \mathbf{I}_2\mathbf{R}_5 - \mathbf{I}_3\mathbf{R}_4 = \mathbf{V}_1 \quad (2.16)$
Application of KVL in loop 2, maintaining the assumption that $\mathbf{I}_1 > \mathbf{I}_2$ and $\mathbf{I}_3$, and $\mathbf{I}_2 > \mathbf{I}_3$ yields: $-\mathbf{V}_2 + \mathbf{I}_2\mathbf{R}_3 + (\mathbf{I}_1 + \mathbf{I}_2)\mathbf{R}_5 - \mathbf{V}_3 + (\mathbf{I}_2 + \mathbf{I}_3)\mathbf{R}_6 = 0$ $-\mathbf{V}_2 + \mathbf{I}_2\mathbf{R}_3 + \mathbf{I}_1\mathbf{R}_5 + \mathbf{I}_2\mathbf{R}_5 - \mathbf{V}_3 + \mathbf{I}_2\mathbf{R}_6 + \mathbf{I}_3\mathbf{R}_6 = 0$ $\mathbf{R}_5\mathbf{I}_1 + (\mathbf{R}_3 + \mathbf{R}_5 + \mathbf{R}_6)\mathbf{I}_2 + \mathbf{I}_3\mathbf{R}_6 = \mathbf{V}_2 + \mathbf{V}_3 \quad (2.17)$	假设 $\mathbf{I}_1 > \mathbf{I}_2$ 和 $\mathbf{I}_3$, 且 $\mathbf{I}_2 > \mathbf{I}_3$, 在回路 2 中应用基尔霍夫电压定律, 得出: $-\mathbf{V}_2 + \mathbf{I}_2\mathbf{R}_3 + (\mathbf{I}_1 + \mathbf{I}_2)\mathbf{R}_5 - \mathbf{V}_3 + (\mathbf{I}_2 + \mathbf{I}_3)\mathbf{R}_6 = 0$ $-\mathbf{V}_2 + \mathbf{I}_2\mathbf{R}_3 + \mathbf{I}_1\mathbf{R}_5 + \mathbf{I}_2\mathbf{R}_5 - \mathbf{V}_3 + \mathbf{I}_2\mathbf{R}_6 + \mathbf{I}_3\mathbf{R}_6 = 0$ $\mathbf{R}_5\mathbf{I}_1 + (\mathbf{R}_3 + \mathbf{R}_5 + \mathbf{R}_6)\mathbf{I}_2 + \mathbf{I}_3\mathbf{R}_6 = \mathbf{V}_2 + \mathbf{V}_3 \quad (2.17)$
Application of KVL in loop 3, maintaining the assumption that $\mathbf{I}_1 > \mathbf{I}_2$ and $\mathbf{I}_3$, and $\mathbf{I}_2 > \mathbf{I}_3$ yields: $\mathbf{I}_3\mathbf{R}_{2-7} - (\mathbf{I}_1 - \mathbf{I}_3)\mathbf{R}_4 - \mathbf{V}_3 + (\mathbf{I}_2 + \mathbf{I}_3)\mathbf{R}_6 = 0$ $\mathbf{I}_3\mathbf{R}_{2-7} - \mathbf{I}_1\mathbf{R}_4 + \mathbf{I}_3\mathbf{R}_4 - \mathbf{V}_3 + \mathbf{I}_2\mathbf{R}_6 + \mathbf{I}_3\mathbf{R}_6 = 0$ $-\mathbf{R}_4\mathbf{I}_1 - \mathbf{R}_6\mathbf{I}_2 + (\mathbf{R}_4 + \mathbf{R}_6 + \mathbf{R}_{2-7})\mathbf{I}_3 = \mathbf{V}_3 \quad (2.18)$	假设 $\mathbf{I}_1 > \mathbf{I}_2$ 和 $\mathbf{I}_3$, 且 $\mathbf{I}_2 > \mathbf{I}_3$, 在回路 3 中应用基尔霍夫电压定律, 得出: $\mathbf{I}_3\mathbf{R}_{2-7} - (\mathbf{I}_1 - \mathbf{I}_3)\mathbf{R}_4 - \mathbf{V}_3 + (\mathbf{I}_2 + \mathbf{I}_3)\mathbf{R}_6 = 0$ $\mathbf{I}_3\mathbf{R}_{2-7} - \mathbf{I}_1\mathbf{R}_4 + \mathbf{I}_3\mathbf{R}_4 - \mathbf{V}_3 + \mathbf{I}_2\mathbf{R}_6 + \mathbf{I}_3\mathbf{R}_6 = 0$ $-\mathbf{R}_4\mathbf{I}_1 - \mathbf{R}_6\mathbf{I}_2 + (\mathbf{R}_4 + \mathbf{R}_6 + \mathbf{R}_{2-7})\mathbf{I}_3 = \mathbf{V}_3 \quad (2.18)$
The three simultaneous equations thus derived are as follows: $(\mathbf{R}_1 + \mathbf{R}_5 + \mathbf{R}_4)\mathbf{I}_1 + \mathbf{R}_5\mathbf{I}_2 - \mathbf{R}_4\mathbf{I}_3 = \mathbf{V}_1 \quad (2.16)$ $\mathbf{R}_5\mathbf{I}_1 + (\mathbf{R}_3 + \mathbf{R}_5 + \mathbf{R}_6)\mathbf{I}_2 + \mathbf{R}_6\mathbf{I}_3 = \mathbf{V}_2 + \mathbf{V}_3 \quad (2.17)$ $-\mathbf{R}_4\mathbf{I}_1 + \mathbf{R}_6\mathbf{I}_2 + (\mathbf{R}_4 + \mathbf{R}_6 + \mathbf{R}_{2-7})\mathbf{I}_3 = \mathbf{V}_3 \quad (2.18)$	由此导出的三个联立方程如下: $(\mathbf{R}_1 + \mathbf{R}_5 + \mathbf{R}_4)\mathbf{I}_1 + \mathbf{R}_5\mathbf{I}_2 - \mathbf{R}_4\mathbf{I}_3 = \mathbf{V}_1 \quad (2.16)$ $\mathbf{R}_5\mathbf{I}_1 + (\mathbf{R}_3 + \mathbf{R}_5 + \mathbf{R}_6)\mathbf{I}_2 + \mathbf{R}_6\mathbf{I}_3 = \mathbf{V}_2 + \mathbf{V}_3 \quad (2.17)$ $-\mathbf{R}_4\mathbf{I}_1 + \mathbf{R}_6\mathbf{I}_2 + (\mathbf{R}_4 + \mathbf{R}_6 + \mathbf{R}_{2-7})\mathbf{I}_3 = \mathbf{V}_3 \quad (2.18)$

Substitution of the given resistor and voltage source values into Eqs. 2.16–2.18 yields the following simultaneous equations: $21\mathbf{I}_1 + 7\mathbf{I}_2 - 4\mathbf{I}_3 = 20$ $7\mathbf{I}_1 + 13\mathbf{I}_2 + 3\mathbf{I}_3 = 17$ $-4\mathbf{I}_1 + 3\mathbf{I}_2 + 14\mathbf{I}_3 = 12$	将给定的电阻和电压源值代入式 2.16 到 2.18 得到下列联立方程: $21\mathbf{I}_1 + 7\mathbf{I}_2 - 4\mathbf{I}_3 = 20$ $7\mathbf{I}_1 + 13\mathbf{I}_2 + 3\mathbf{I}_3 = 17$ $-4\mathbf{I}_1 + 3\mathbf{I}_2 + 14\mathbf{I}_3 = 12$
Apply Cramer's Rule to solve for the three unknown currents I_1, I_2, and I_3. The augmented matrix thus developed would be as follows: $\left \begin{array}{ccc c} 21 & 7 & -4 & 20 \\ 7 & 13 & 3 & 17 \\ -4 & 3 & 14 & 12 \end{array} \right $ The coefficient matrix, denoted as $\mathbf{A}$, would be as follows: $\left \begin{array}{ccc} 21 & 7 & -4 \\ 7 & 13 & 3 \\ -4 & 3 & 14 \end{array} \right $	应用克莱默法则求解三个未知电流 I_1, I_2 和 I_3 , 这样得到的增广矩阵如下: $\left \begin{array}{ccc c} 21 & 7 & -4 & 20 \\ 7 & 13 & 3 & 17 \\ -4 & 3 & 14 & 12 \end{array} \right $ 系数矩阵记为 $\mathbf{A}$, 为: $\left \begin{array}{ccc} 21 & 7 & -4 \\ 7 & 13 & 3 \\ -4 & 3 & 14 \end{array} \right $
The determinant of the coefficient matrix, denoted as $\mathbf{A}$, would be as follows: $ \mathbf{A} = 21\{(13 \times 14) - (3 \times 3)\} - 7\{(7 \times 14) - (-4 \times 3)\} - 4\{(7 \times 3) - (-4 \times 13)\} = 2,571$ The determinant of the substitutional matrix, $\mathbf{A}_1$, for determining the value of I_1, is denoted as $\mathbf{A}_1$, and	系数矩阵的行列式记为 $\mathbf{A}$, 为: $ \mathbf{A} = 21\{(13 \times 14) - (3 \times 3)\} - 7\{(7 \times 14) - (-4 \times 3)\} - 4\{(7 \times 3) - (-4 \times 13)\} = 2,571$ 替换矩阵 $\mathbf{A}_1$ 的行列式 , 用于确定 I_1 的值 , 记为 $\mathbf{A}_1$, 则 :

$\mathbf{A}_1 = \begin{vmatrix} 20 & 7 & -4 \\ 17 & 13 & 3 \\ 12 & 3 & 14 \end{vmatrix}$ $ \mathbf{A}_1 = 20\{(13 \times 14) - (3 \times 3)\} - 7\{(17 \times 14) - (12 \times 3)\} - 4\{(17 \times 3) - (12 \times 13)\} = 2,466$ The determinant of the substitutional matrix, $\mathbf{A}_2$, for determining the value of I_2, is denoted as $\mathbf{A}_2$, and $\mathbf{A}_2 = \begin{vmatrix} 21 & 20 & -4 \\ 7 & 17 & 3 \\ -4 & 12 & 14 \end{vmatrix}$ $ \mathbf{A}_2 = 21\{(17 \times 14) - (12 \times 3)\} - 20\{(7 \times 14) - (-4 \times 3)\} - 4\{(7 \times 12) - (-4 \times 17)\} = 1,434$	$\mathbf{A}_1 = \begin{vmatrix} 20 & 7 & -4 \\ 17 & 13 & 3 \\ 12 & 3 & 14 \end{vmatrix}$ $ \mathbf{A}_1 = 20\{(13 \times 14) - (3 \times 3)\} - 7\{(17 \times 14) - (12 \times 3)\} - 4\{(17 \times 3) - (12 \times 13)\} = 2,466$ 替换矩阵 $\mathbf{A}_2$ 的行列式，用于确定 I_2 的值，记为 $\mathbf{A}_2$，则： $\mathbf{A}_2 = \begin{vmatrix} 21 & 20 & -4 \\ 7 & 17 & 3 \\ -4 & 12 & 14 \end{vmatrix}$ $ \mathbf{A}_2 = 21\{(17 \times 14) - (12 \times 3)\} - 20\{(7 \times 14) - (-4 \times 3)\} - 4\{(7 \times 12) - (-4 \times 17)\} = 1,434$
The determinant of the substitutional matrix, $\mathbf{A}_3$, for determining the value of I_3, is denoted as $\mathbf{A}_3$, and $\mathbf{A}_3 = \begin{vmatrix} 21 & 7 & 20 \\ 7 & 13 & 17 \\ -4 & 3 & 12 \end{vmatrix}$ $ \mathbf{A}_3 = 21\{(13 \times 12) - (3 \times 17)\} - 7\{(7 \times 12) - (-4 \times 17)\} + 20\{(7 \times 3) - (-4 \times 13)\} = 2,601$	替换矩阵 $\mathbf{A}_3$ 的行列式，用于确定 I_3 的值，记为 $\mathbf{A}_3$，则： $\mathbf{A}_3 = \begin{vmatrix} 21 & 7 & 20 \\ 7 & 13 & 17 \\ -4 & 3 & 12 \end{vmatrix}$ $ \mathbf{A}_3 = 21\{(13 \times 12) - (3 \times 17)\} - 7\{(7 \times 12) - (-4 \times 17)\} + 20\{(7 \times 3) - (-4 \times 13)\} = 2,601$
Applying Cramer's Rule, the unknown variables, currents I_1, I_2, and I_3, can be calculated by dividing the determinants of substitutional matrices $\mathbf{A}_1$, $\mathbf{A}_2$, and $\mathbf{A}_3$, respectively, by the determinant of the coefficient matrix $\mathbf{A}$. Therefore,	应用克莱默法则，我们可以将替换矩阵 $\mathbf{A}_1$, $\mathbf{A}_2$ 和 $\mathbf{A}_3$ 的行列式分别除以系数矩阵 $\mathbf{A}$ 的行列式来计算未知变量 I_1, I_2 和 I_3。 因此，

$$I_1 = \frac{|A_1|}{|A|} = \frac{2,466}{2,571} = 0.959 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{|A_2|}{|A|} = \frac{1,434}{2,571} = 0.558 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{|A_3|}{|A|} = \frac{2,601}{2,571} = 1.012 \text{ A}$$

SUPERPOSITION THEOREM

Superposition theorem provides us a method for analyzing complex circuits, with multiple power sources and multiple loads or resistors, in a simplified fashion, with fewer steps than typical loop analysis methods. The superposition theorem states that for a linear system the voltage or current response in any branch of a bilateral linear circuit – consisting of more than one independent source – equals the algebraic sum of the responses caused by each independent source acting alone.

The superposition method of circuit simplification and analysis is implemented as follows:

1. Net current is determined by summing the currents caused by each current source, with the voltage sources shorted.
2. Net voltage is determined by summing the voltages caused by each voltage source, with the current sources open-circuited.
3. Short all voltage sources, open all current sources, and then turn on only one source at a time.

$$I_1 = \frac{|A_1|}{|A|} = \frac{2,466}{2,571} = 0.959 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{|A_2|}{|A|} = \frac{1,434}{2,571} = 0.558 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{|A_3|}{|A|} = \frac{2,601}{2,571} = 1.012 \text{ A}$$

叠加定理

叠加定理为我们提供了一种简化方法来分析具有多个电源和多个负载或电阻的复杂电路，比典型的环路分析方法步骤更少。叠加定理指出，对于一个线性系统，一个含多个独立源的双边线性电路的任何支路的响应（电压或电流），等于每个独立源单独作用时的响应的代数和。

电路简化与分析的叠加法如下：

1. 在电压源短路的情况下，净电流为由每个电流源造成的电流之和。
2. 在电流源开路的情况下，净电压为由每个电压源产生的电压之和。
3. 切断所有电压源，打开所有电流源，而后一次只打开一个

4. Simplify the circuit to get the current or voltage of interest.
5. Repeat until the responses of all sources have been evaluated.
6. Add the results to get the answer.

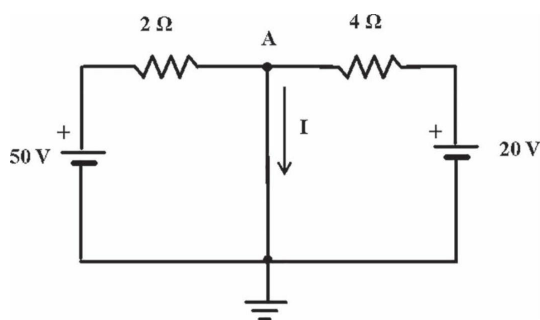
The superposition method is illustrated through Example 2.9.

电源。

4. 简化电路以得到所需的电流或电压。
 5. 重复以上步骤，直至所有电源反应评估完成。
 6. 将结果相加，得出答案。
- 通过例 2.9 来演示叠加定理。

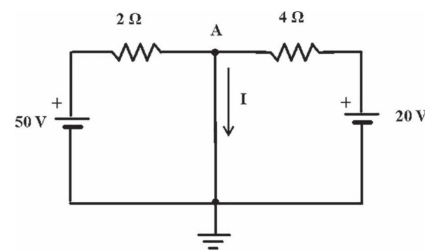
Example 2.9

Using the superposition theorem, determine the current flowing through the center leg of the bilateral circuits below.



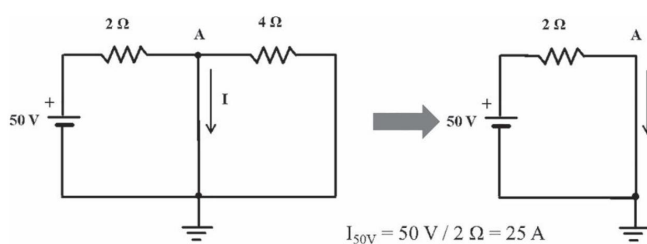
例 2.9

利用叠加定理，确定流过下面双侧电路中心支的电流。



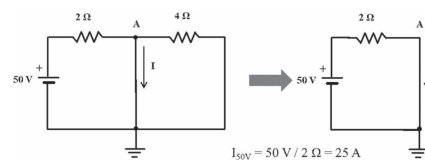
Solution:

First “turn off” the 20 V voltage source in the right-side loop and calculate the current contributed to the center leg by the 50 V source. This scenario and the current calculation are depicted below.



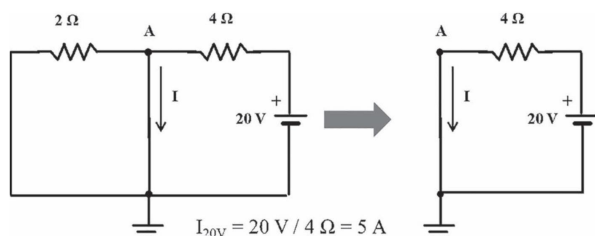
解：

首先“关闭”右侧回路中的 20v 电压源，并计算 50v 电源对中心支路的电流值。如下所示描述了该场景和相关计算。



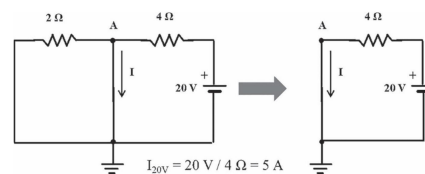
接着“关闭”左侧回路中的 50v

Next, “turn off” the 50 V voltage source in the left-side loop and calculate the current contributed to the center leg by the 20 V source. This scenario and the associated current calculation are depicted below.



Therefore, in accordance with the superposition theorem, the total current through the center leg would be $25 \text{ A} + 5 \text{ A} = 30 \text{ A}$.

电压源，并计算 20v 电源对中心支路的电流值。如下所示描述了该场景和相关计算。



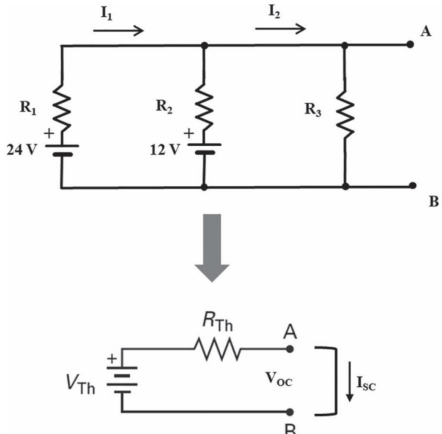
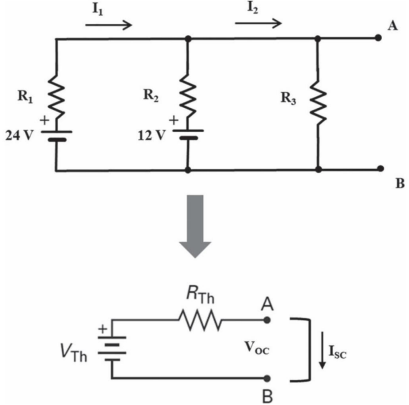
因此，根据叠加定理，通过中心支的总电流为 $25 \text{ A} + 5 \text{ A} = 30 \text{ A}$ 。

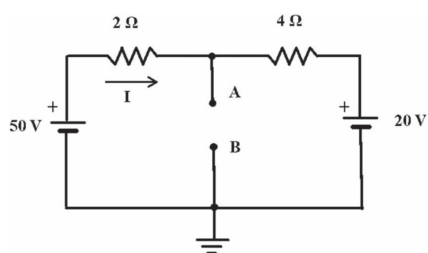
THEVENIN EQUIVALENT

The Thevenin Equivalent is a simplified representation of a more complex electrical circuit. Determination of a Thevenin Equivalent circuit is premised on Thevenin's Theorem. Thevenin's Theorem states that any linear circuit containing several voltages and resistances can be replaced by just one single voltage source in series with a single resistance connected across or in “shunt” form to the load. In essence, according to Thevenin's Theorem, it is possible to simplify any electrical circuit, no matter how complex, into an equivalent two-terminal circuit with just a single constant voltage source in series with a resistance or impedance connected to a load, as shown in Figure 2.1.

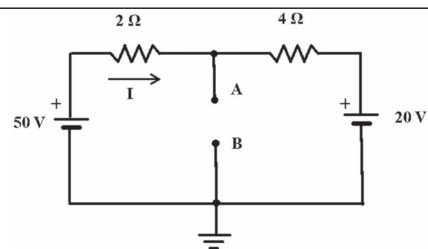
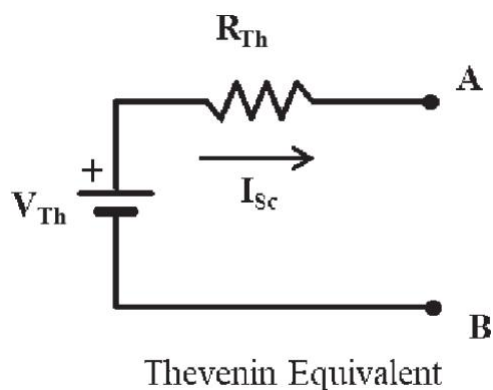
戴维南等效

戴维南等效是一种更复杂电路的简化表示。戴维南等效电路的确定以戴维南定理为前提。戴维南定理指出，任何一个包含多个电压源和电阻的线性电路都可以由一个单一电压源代替，该电压源和单一电阻串联，而这个电阻又以并联的方式与负载连接。从本质上讲，由戴维南定理可以简化任何电路，无论多么复杂，都可以简化为等效的二端电路，只需一个恒压源串联一个电阻或阻抗连接到负载，如图 2.1 所示。

	
FIGURE 2.1 Illustration of the Thevenin Equivalent principle. The Thevenin Equivalence principle can be translated to mathematical form as follows: $R_{Th} = \frac{V_{oc}}{I_{sc}}$	图 2.1 戴维南等效原理说明 戴维南等效原则的数学方程式表达如下： $R_{Th} = \frac{V_{oc}}{I_{sc}}$
where R_{Th} = The Thevenin Equivalent resistance V_{oc} = The open circuit voltage or the voltage one would measure with a voltmeter with points A and B open-circuited as shown in Figure 2.1. I_{sc} = The short-circuit current or the current one would measure with an ammeter between points A and B, with the points short-circuited as shown with a “jumper” or “] ” in Figure 2.1 Thevenin Equivalent circuit.	设 R_{Th} = 戴维南等效电阻 V_{oc}=开路电压或用电压表测量的 A 点和 B 点的开路电压，如图 2.1 所示。 I_{sc} =短路电流或在如图 2.1 所示带“跳线”或“] ”的戴维南等效电路中，用电流计测量的 A 点和 B 点之间的电流。
Example 2.10 Derive the Thevenin Equivalent for the circuit given below.	例 2.10 推导出下图电路中的戴维南等效值。

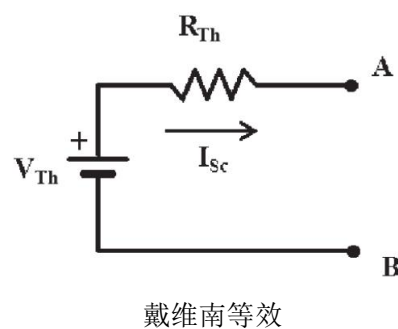
**Solution:**

The requirement “Thevenin Equivalent” implies the determination of V_{Th} and R_{Th} . Combination of these two key components, as depicted in diagram below, constitutes the Thevenin Equivalent for the given circuit.

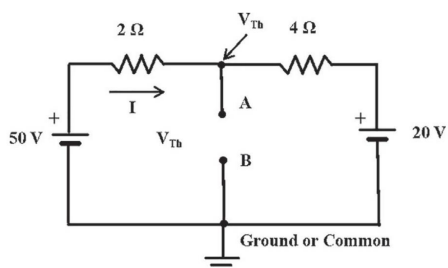


解：

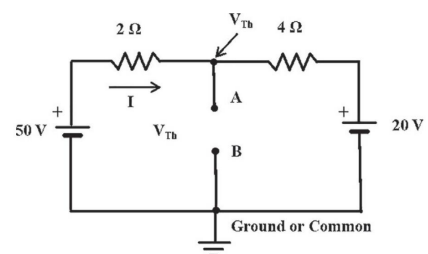
根据“戴维南等效”，我们可以确定 V_{Th} 和 R_{Th} 。如下图所示，这两个关键元件的组合构成了给定电路的戴维南等效。



First, let's focus on the calculation of V_{Th} , the voltage shown in the diagram below by applying Ohm's law.



首先，我们可以根据欧姆定律，计算出下图中 V_{Th} 的值。



$$I = \frac{50V - V_{Th}}{2\Omega} \text{ {欧姆定律}}; \text{ 或, } V_{Th} = 50V -$$

$$(2\Omega) \cdot I$$

并且，由于 A 点与地面间存在开放回路，

$$I = \frac{50V - 20V}{6\Omega} \text{ {欧姆定律}} = 5A$$

$I = \frac{50\text{ V} - V_{Th}}{2\ \Omega} \{\text{Ohm's Law}\}; \text{ or, } V_{Th} = 50\text{ V} - (2\ \Omega) \cdot I$ And, since there is an open circuit between point A and Ground, $I = \frac{50\text{ V} - 20\text{ V}}{6\ \Omega} \{\text{Ohm's Law}\} = 5\text{ A}$ Then, $V_{Th} = 50\text{ V} - (2\ \Omega) \cdot (5\text{ A}) = 40\text{ V}$	那么, $V_{Th} = 50\text{ V} - (2\ \Omega) \cdot (5\text{ A}) = 40\text{ V}$
Next, we focus on R_{Th}. To determine the value of R_{Th}, we view the circuit from the vantage point of A and Ground, inward. Although some might find this observation less than obvious, as you look into the A – B (A to Ground) plane, you find that $2\ \Omega$ and the $4\ \Omega$ resistors are in parallel. You can visualize this by imagining that you crease the page along the line formed by points A, B, and Ground. Also, in accordance with the principles of Thevenin's Theorem, when computing R_{Th}, you neutralize the 50 V and 20 V voltage sources. Hence, the parallel combination of the $2\ \Omega$ and the $4\ \Omega$ resistors, as shown below, would result in R_{Th} of $1.33\ \Omega$. $R_{Th} = \frac{(2\ \Omega)(4\ \Omega)}{2\ \Omega + 4\ \Omega} = 1.33\ \Omega$	接下来, 我们需要确定 R_{Th} 的值, 我们从 A 和地面间的有利位置向内观察电路。虽然可能不太明显, 但当你观察 A - B (A 到地) 平面时, 你会发现 $2\ \Omega$ 和 $4\ \Omega$ 电阻是串联的。可以想象一下, 沿着 A 点、B 点和接地点组成的直线对平面进行折叠。 此外, 根据戴维南定理, 当计算 R_{Th} 时, 即中和了 50 V 和 20 V 电压源。因此, 我们可以得出, 下图中 $2\ \Omega$ 电阻和 $4\ \Omega$ 电阻的并联组合得到的 R_{Th} 为 $1.33\ \Omega$。 $R_{Th} = \frac{(2\ \Omega)(4\ \Omega)}{2\ \Omega + 4\ \Omega} = 1.33\ \Omega$
NORTON EQUIVALENT Norton Equivalent is a simplified representation of a more complex electrical circuit consisting of current sources, voltage sources, and resistors or loads. Determination of a Norton Equivalent	诺顿等效 诺顿等效是由电流源、电压源和电阻或负载组成的更复杂电路的简化表示。诺顿等效电路的确定以诺顿定理为前提。诺

circuit is premised on Norton's Theorem. Norton's Theorem states that any linear circuit containing several current sources, voltage sources, and resistances or loads can be replaced by just one single current source in parallel with a single resistance connected across or, in "shunt," form to the load. In essence, according to Norton's Theorem, it is possible to simplify any electrical circuit, no matter how complex, to an equivalent two-terminal circuit with just a single constant current source in shunt or parallel with a resistance or impedance connected to a load, as shown in Figure 2.2. Note that Norton current, I_N , is also the current that would flow through a jumper or short across terminals A and B of the Norton Equivalent circuit as shown in Figure 2.2. In other words, $I_N = I_{Sc}$.

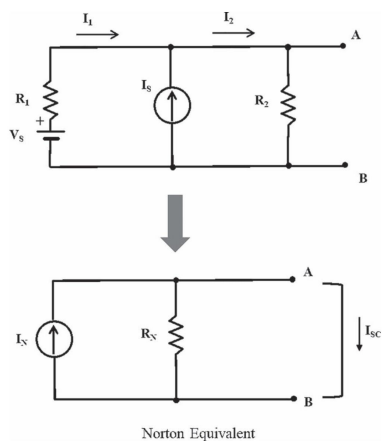


FIGURE 2.2 Illustration of the Norton Equivalent principle.

Example 2.11

Develop the Norton Equivalent for the circuit given below.

顿定理表明，任何包含多个电流源、和电阻或负载的线性电路都可以被一个电流源所取代，该电流源与一个电阻串联，或以“分流”的形式连接到负载。根据诺顿定理，从本质上讲，任何电路，无论多么复杂，都可以简化为一个等效的两端电路，其中一个恒定电流源与连接到负载的电阻并联，如图 2.2 所示。请注意，图 2.2 中诺顿电流 I_N 也是流过诺顿等效电路 A 端子跳线或短路的电流。换句话说， $I_N = I_{Sc}$ 。

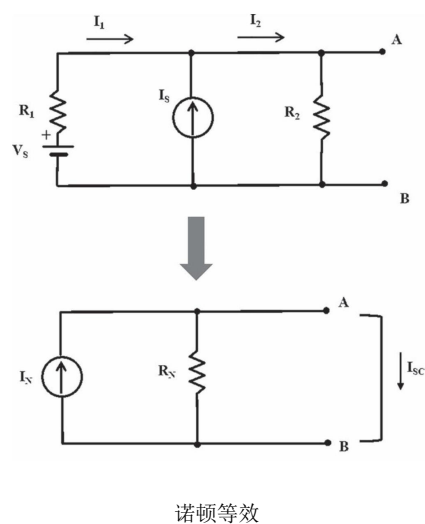
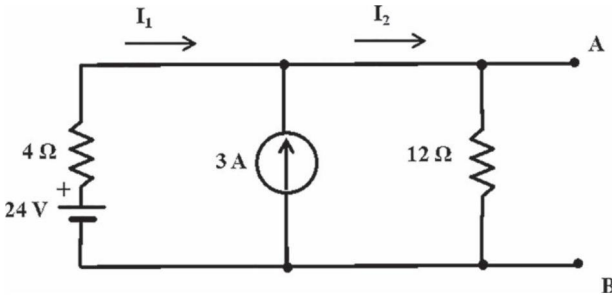
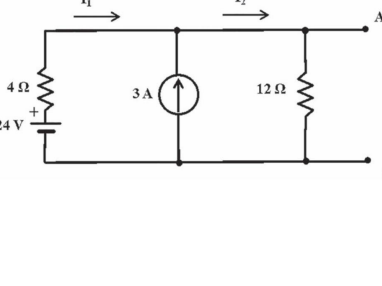
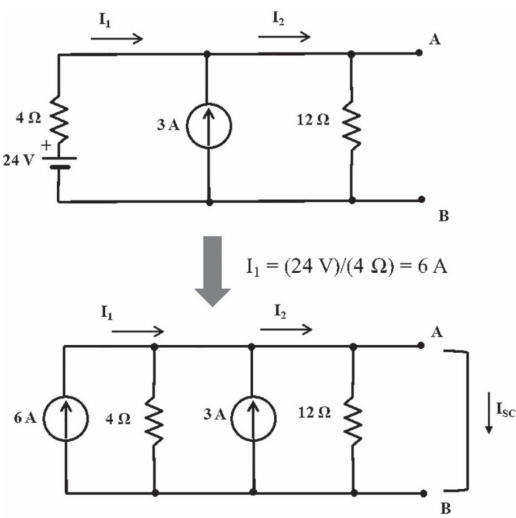
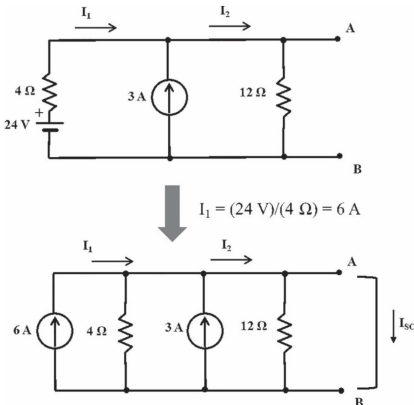


图 2.2 诺顿等效原则图示

例 2.11

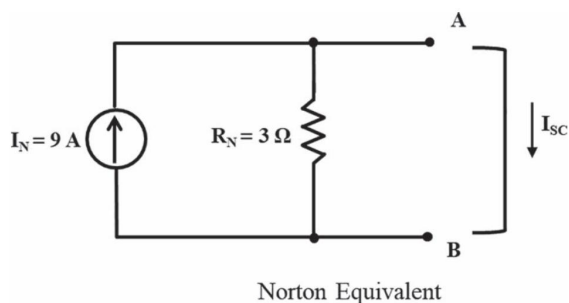
指出下面所给电路中的诺顿等效程序。

	
Solution: The requirement “Norton Equivalent” implies the determination of I_N and R_N. Combination of these two key components, in parallel, as shown later in the solution will represent the Norton Equivalent.	解： 根据“诺顿等效”，我们可以确定 I_N 和 R_N。这两个关键元件的串联将在稍后的解答中体现诺顿等效。
Using Ohm’s law, first replace the series combination of the 24 V source and the 4 Ω resistor with a parallel combination of a 6 A current source in shunt with the original 4 Ω resistor as shown below.	利用欧姆定律，首先将 6A 电流源和 4Ω电阻的并联组合替换掉 24V 电源和原 4Ω电阻的串联组合。
Combination of the two parallel current sources, 6 A and 3 A, results in a net, total, Norton current source of 9 A. 	并联组合的 6A 和 3A 电流源，合成一个总净值为 9A 的诺顿电流源。 

Next, we focus on R_N . To determine the value of R_N , we view the circuit from the vantage point of A and B, or ground/common. As you look to the left from points A and B, you find that $12\ \Omega$ and the $4\ \Omega$ resistors are in parallel. Also, in accordance with the principles of Norton's Theorem, when computing R_N , you neutralize the $6\ \text{A}$ and $3\ \text{A}$ current sources. This amounts to "open-circuiting" the two current sources. Then, the parallel combination of the $12\ \Omega$ and the $4\ \Omega$ resistors, as shown below, would result in R_N of $3\ \Omega$.

$$R_N = \frac{(12\Omega)(4\Omega)}{12\Omega + 4\Omega} = 3\ \Omega$$

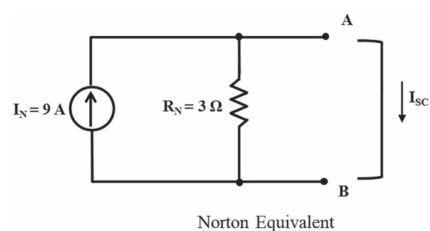
The Norton Equivalent for the given circuit would then appear as follows:



接下来, 我们关注 R_N 。为了确定 R_N 的值, 我们从 A 和 B(或地面/公共点) 的有利位置观察电路。当从 A 点和 B 点向左看时, 你会发现 12Ω 电阻和 4Ω 电阻是并联的。此外, 根据诺顿定理的原则, 当计算 R_N 时, 6A 和 3A 电流源被中和。这相当于“断开”了两个电流源。那么, 如下所示, 12Ω 电阻和 4Ω 电阻的并联组合, 可以得到 R_N 为 3Ω 。

$$R_N = \frac{(12\Omega)(4\Omega)}{12\Omega + 4\Omega} = 3\ \Omega$$

那么该电路的诺顿等效将如下所示:



DIODES

A diode, unlike its "functional" predecessor – the vacuum tube rectifier – is constructed out of **semiconductor** materials such as silicone, germanium, and gallium arsenide. While a semiconductor is not a good conductor at room

二极管

二极管不同于它的“功能性”前身——真空管整流器, 它是由硅、锗和砷化镓等**半导体**材料构成的。虽然半导体在室温下不是良导体, 但它并不明显

temperature, it doesn't fall distinctly in the category of insulators, such as, glass, ceramics, urethanes, plastics, and polyvinyl chlorides (PVCs). A semiconductor can, however, be transformed into a "partially" or "selectively" conductive substance through a process called "doping." The term doping implies addition of "impurities" into a pure substance like silicone. If these impurities are added to create a region with a predominant concentration of negative charge carriers, or electrons, the end result would be the formation of a region called n-type semiconductor. At the same time, if impurities are added, adjacently, to create a region with predominant positive charge carriers, or holes, a p-type semiconductor is formed. The plane where the p- and n-doped materials interface with each other is called the p-n junction. A p-n junction is where the essential function of a diode takes place in response to the application of proper voltage.	属于绝缘体的类别, 如玻璃、陶瓷、聚氨酯、塑料和聚氯乙烯(PVCs)。然而, 半导体可以通过称为“掺杂”的过程转变为“部分”或“选择性”导电物质。“掺杂”一词意味着将“杂质”添加到像硅酮这样的纯物质中。如果将这些杂质添加到一个主要浓度为负电荷载流子或电子的区域, 最终结果将形成一个称为 n 型 半导体的区域。同时, 如果杂质相邻添加, 以创建一个主要具有正电荷载流子或空穴的区域, 则形成 p 型 半导体。p-和 n-相互掺杂材料的平面称为 p-n 结。在适当电压的作用下, 二极管依靠 p-n 结发挥基本功能。
A diode can be viewed as a device that functions as an electronic "check valve." As we know, the function of a check valve, in mechanical or hydraulic systems, is to permit the flow of fluids in one specific direction. In other words, <u>a check valve offers resistance to the attempt by the fluid to move in the reverse direction.</u> A diode performs the same function in the flow of current. A diode permits the flow of current only from a higher voltage (or electrical potential) point in an	二极管可以看作是一种起电子“止回阀”作用的装置。我们知道, 在机械或液压系统中, 止回阀的功能是使流体向一个特定的方向流动。也就是说, <u>止回阀阻止液体发生反向流动。</u>二极管在电流流动中就起着同样的作用。它只允许电流从电路中的较高电压(或电

electrical circuit to a lower voltage or ground potential point. This unidirectional behavior is called **rectification**, and this function of a diode finds a common application in the conversion of AC to DC. Common applications of diodes in rectifiers and other equipment are discussed later in this chapter.

The symbol and drawing of common circuit board-type diode are shown in Figure 2.3.

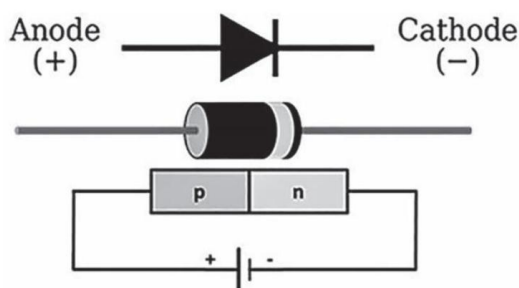


FIGURE 2.3 Symbol, diagram, and schematic of a basic diode circuit.

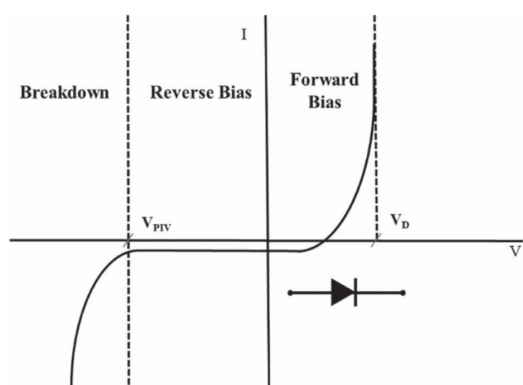


FIGURE 2.4 Current response of a diode in forward and reverse bias modes.

The left side of the diode, labeled “anode” is normally connected to the positive or higher voltage point in the circuit. The right side of the diode, labeled “cathode,” on the other hand, is normally connected to the ground, negative, or lower potential point in the circuit. When a diode

位)点流向较低电压或地电位点。这种单向行为被称为**整流**，二极管的这种功能也应用于交流到直流的转换，此外，其在整流器和其他设备中的常见应用将在本章稍后讨论。

常用线路板型二极管的符号和图纸见图 2.3。

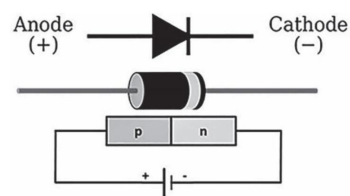


图 2.3 基本二极管电路的符号、示意

图和原理图

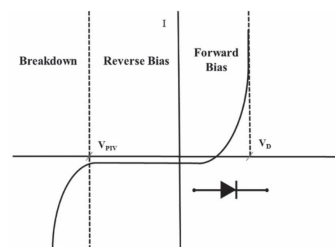


图 2.4 二极管在正向和反向偏置模式下的电流响应

二极管的左侧标记为“阳极”，通常连接到电路中的正电压点或更高的电压点。二极管的右侧标记为“阴极”，通常连接到电路中的地、负极或

is connected in this manner, it is said to be forward biased. As apparent from the diagram of a typical diode in Figure 2.1, a band on one side of the diode denotes the cathode side of the diode. If, however, the voltage is reversed such that the anode of the diode is connected to the negative voltage potential and the cathode is connected to the positive potential, the diode is said to be reverse biased. The current response of a diode in forward and reverse bias modes of operation is depicted in Figure 2.4.	低电位点。当一个二极管以这种方式连接时，被称为正向偏置。如图 2.1 中典型二极管的图所示，二极管一侧的带表示二极管的阴极一侧。然而，如果电压反向，使二极管的阳极连接到负电压，电势与正极相连，则称二极管为反向偏置。二极管在正向和反向偏置工作模式下的电流响应如图 2.4 所示。
In Figure 2.4, V_D represents the forward bias voltage. Forward bias voltage of a diode is the voltage at which the diode begins to conduct current or is the voltage where the diode is said to be “turned on.” <u>A diode can be perceived as a “self-actuating” electronic switch</u>, as well. The forward bias voltage, V_D, is approximately 0.7 V for silicone-type diodes and 0.3 V for germanium diodes.	在图 2.4 中，V_D 表示正向偏置电压。二极管的正向偏置电压是二极管开始传导电流的电压，或者是二极管被称为“打开”时的电压。<u>二极管也可以看作是一个自触发的电子开关</u>。正向偏置电压 V_D，对于硅二极管约为 0.7 V，对于锗二极管约为 0.3 V。
As depicted in Figure 2.4, when a diode is reverse biased, the amount of current (or reverse current) it conducts is negligible, until the magnitude of the reverse bias voltage approach approaches V_{BR}, breakdown voltage. The breakdown voltage is also called the V_{PIV}, peak inverse voltage, or V_{PRV}, peak reverse voltage. The reverse voltage is considerably higher than the forward bias voltage; approximately ten times the magnitude of V_D. Although, technically, all diodes	如图 2.4 所示，当二极管反向偏置时，它传导的电流(或反向电流)可以忽略不计，直到反向偏置电压的大小接近击穿电压 V_{BR}。击穿电压也称为 V_{PIV}、峰值反向电压，或 V_{PRV}。反向电压显著高于正向偏置电压，大约是 V_D 大小的十倍。虽然从技术角度，所有的二极管都能整流交流电，但对于“整流”一

are capable of rectifying AC, the term “rectifier” is essentially reserved for diodes designed to operate at currents in excess of 1 A and, therefore, utilized frequently to convert AC into DC. Conventionally, the term diode refers to applications involving currents less than or equal to 1 A.	词，其本质是为了设计工作电流电压大于1A的二极管所保留的，经常用于将交流电转换为直流电的过程中。因此，术语二极管通常指的是涉及电流小于或等于1A的应用。
SPECIAL PURPOSE DIODES Three of the most common, special purpose, diodes that find applications in our daily lives and mainstream electrical or electronic equipment are LEDs, SCRs, and Zener diodes. LED: LEDs, or light-emitting diodes, are the leading sources of non-natural light in contemporary buildings of all types. LEDs are substantially more efficient than the traditional sources of light. For instance, LED-based lamps – for equivalent number of lumens – are almost ten (10) times more energy efficient than the traditional incandescent bulbs. Symbol for an LED is shown in Figure 2.5. LEDs can emit light in different colors. Unlike the regular diodes, the LEDs turn on at higher forward bias voltages. For example, a red LED, typically, turns on 2.0 V, yellow at 2.1 V, green at 2.2 V, blue at 3.5 V, and white at 3.2 V. LEDs emit light when they are turned on by the application of a higher potential at the anode relative to the cathode or the forward bias voltage. When the LEDs turn on, electrons	特殊用途二极管 在我们日常生活中的主要电子设备中应用的三种最常见的特殊用途二极管有LED,可控硅和齐纳二极管。 LED: LED 或发光二极管是当代所有类型建筑中主要的非自然光来源。LED 比传统光源的效率高得多。例如，同等数量流明的条件下，以 led 为基础的灯比传统的白炽灯泡节能近 10 倍。LED 如图 2.5 所示。LED 可以发出不同颜色的光，与普通二极管不同，LED 需要在更高的正向偏置电压下开启。例如，一个红色 LED，通常是 2.0 V，黄色是 2.1 V，绿色是 2.2 V，蓝色是 3.5 V，白色是 3.2 V。相对于阴极或正向偏置电压，在阳极施加更高的电压可以打开 LED 灯并使之发光。当 LED 开启时，LED 材料内的电子从高

within the LED material fall from higher energy orbitals to lower energy orbitals; in doing so, energy is released by the LEDs in the form of photons or light.	能轨道跌落到低能轨道；在此过程中,LED 以光子或光的形式释放能量。
The SCRs, also known as thyristors, are applied heavily in variable frequency drives (VFDs), inverters, converters, UPS, uninterruptible power supply systems, while Zener diodes are key operating elements in DC voltage regulators.	可控硅，也称为晶闸管，广泛应用于变频驱动器 (VFDs)，逆变器，变流器，不间断电源 (UPS)，以及不间断电源系统，而齐纳二极管是直流稳压器的关键工作元件。
SCR: The acronym “SCR” stands for “Silicone Controlled Rectifier” or “Semiconductor Controlled Rectifier.” These specialty diodes are also referred to as “thyristors.” Schematic of an SCR is shown in Figure 2.5.	SCR: “SCR”是“Silicone Controlled Rectifier 硅酮控制整流器”或“Semiconductor Controlled Rectifier 半导体控制整流器”的缩写。这些特殊的二极管也被称为“晶闸管”。可控硅的原理图如图 2.5 所示。
As apparent in Figure 2.5, an SCR differs from a regular diode, mainly, due to an added feature called the “gate.” The gate serves as “trigger” or “firing” mechanism for an SCR. Specific voltage application at the gate triggers or “pulses” the SCR on and allows the current to flow. The diode portion of the SCR continues to conduct after the gate voltage dissipates. The SCR, or diode portion of the SCR, stops conducting once the forward bias voltage drops below the threshold voltage, V_D .	如图 2.5 所示，可控硅不同于普通二极管，主要是由于一个称为“栅极”的附加功能，栅极是可控硅的“触发”机制。特定的电压作用在栅极上，触发或“脉冲”可控硅，使电流流动。在栅极电压消散后，可控硅的二极管部分继续导通。一旦正向偏置电压降至阈值电压 V_D 以下，可控硅或可控硅的二极管部分便停止导电。 可控硅主要应用于大功

SCRs are mainly used in devices associated with the control of high power and high voltage. Their innate characteristic and mode of operation makes them suitable for use in medium- to high-voltage AC power control applications, such as lamp dimming, regulators, and motor control. Thyristors are also commonly used for rectification of high-power AC in high-voltage DC power transmission applications. They are also used in the control of welding machines.

率、高压控制器件中。其固有的特性和操作模式适用于中高压交流电源控制，如灯调光，调节器和电机控制。在高压直流输电中，晶闸管也常用于大功率交流整流，以及焊机的控制。

Zener Diode: Zener diodes are similar, in construction, to basic diodes. But unlike regular diodes, when the reverse bias is removed, the construction of a Zener diode is capable of recovering from avalanche reverse bias breakdown mode as a property that makes it ideal for voltage regulation. Therefore, as a mechanical analogy, Zener diodes are analogous to “relief valves” that open under high pressure and reinstate their normal blocking function once the pressure subsides to a nominal level. The Zener diode is named after Clarence Zener, who discovered its electrical property. The symbol or electronic representation of a Zener diode is depicted in Figure 2.6.

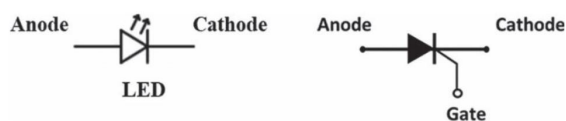


FIGURE 2.5 Symbols or diagrams for LED and SCR or thyristor.

齐纳二极管：齐纳二极管在结构上与基础二极管相似。但是，齐纳二极管的构造不同于普通二极管，在反向偏压移除后，它能够从雪崩击穿模式（反向偏压过高引发的载流子雪崩式倍增现象）中恢复，因而成为电压调节的理想选择。因此，机械上来说，齐纳二极管的导通能够释放压力，保障安全。一旦压力下降到标称水平，就会恢复正常的阻塞功能。齐纳二极管的电学性质是由克拉伦斯·齐纳发现的，因此以他的名字来命名。齐纳二极管的符号如图 2.6 所示。

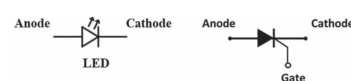


图 2.5 LED 和可控硅或晶闸管的符号及图示。

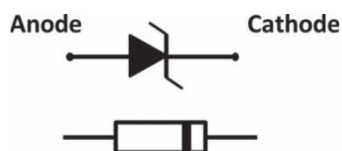


FIGURE 2.6 Symbol and diagram for Zener diode.

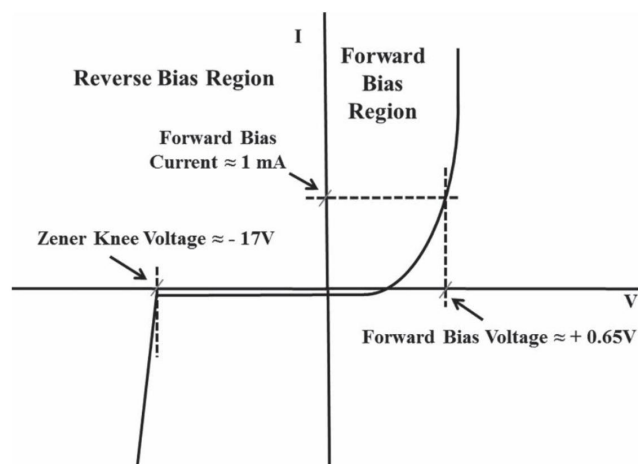


FIGURE 2.7 Current response of a Zener diode.

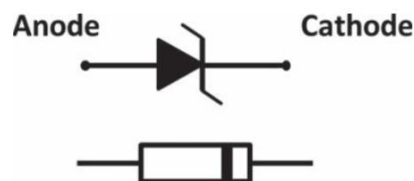


图 2.6 齐纳二极管的符号及图
示。

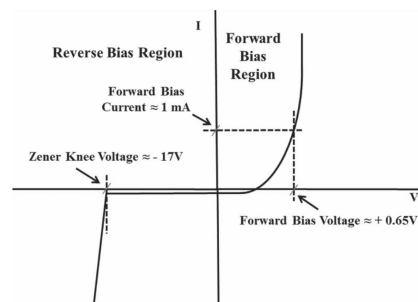


图 2.7 齐纳二极管的电流响
应。

A Zener diode allows current to flow in the forward direction in the same manner as an ideal diode but will also permit it to flow in the reverse direction when the voltage is above the breakdown voltage. The breakdown voltage is also referred to as the “Zener knee voltage,” “Zener voltage,” or “avalanche point”. Because of this basic characteristic of a Zener diode, it is commonly used to provide a reference voltage for voltage regulators or to protect other semiconductor devices from momentary voltage pulses or excessive voltage “spikes.” The current response of a Zener diode is shown in Figure 2.7.

COMMON APPLICATIONS OF DIODES

Some common applications of diodes are as follows:

齐纳二极管使电流以与理想二极管相同的方式向前流动，但当电压高于击穿电压时，使电流向相反方向流动。击穿电压也被称为“齐纳膝电压”、“齐纳电压”或“雪崩点”。由于齐纳二极管的这一基本特性，它通常用于为稳压器提供参照电压，或保护其他半导体器件免受瞬间电压脉冲或过度电压“尖峰”的影响。齐纳二极管的电流响应如图 2.7 所示。

二极管的常见应用

二极管的一些常见应用如下：

1. 半波整流

1. Half-wave rectifier 2. Full-wave rectifier 3. Clamping circuit 4. Base clipper 5. Peak clipper Among the diode applications listed above, the two most common ones are (1) halfwave rectifier and (2) full-wave rectifier. These two applications are explored below.	2. 全波整流 3. 钳位电路 4. 基极限幅器 5. 峰值限幅器 以上列出的二极管应用中，最常见的两种是(1)半波整流器和(2)全波整流器。下面将探讨这两种应用。
HALF-WAVE RECTIFIER Half-wave rectifier is a circuit consisting of two core components, a diode and resistor. See Figure 2.8a. As shown in Figure 2.8a, the sinusoidal AC waveform is applied to the input side of the diode-resistor circuit. The diode, as shown in Figure 2.8b, is the core “active” component. A half-wave rectifier circuit banks on the innate characteristic of a diode to allow current to flow only “one way,” in the forward-biased direction. In other words, the diode permits the current to flow only during the positive half of the AC cycle. When the AC voltage “dives” into the negative realm – acting as a “check valve” – the diode shuts off the flow of current. This response of the diode is plotted graphically in Figure 2.8c, in the form of a series of positive wave crests, average of which represents the DC voltage produced.	半波整流 半波整流器是由二极管和电阻器两个核心元件组成的电路。参见图 2.8a。如图 2.8a 所示，将正弦交流波形施加到二极管-电阻电路的输入端。如图 2.8b 所示，二极管是核心“活”元件。半波整流电路利用二极管的固有特性，使电流只在正向偏置方向上“单向”流动。换句话说，二极管只允许电流在交流周期的正半段流动。当交流电压作为一个“止回阀”“潜入”到负极领域，二极管便停止电流的流动。二极管的响应在图 2.8c 中以图形形式绘制，呈现一系列正波峰的形式，其平均值表示产生的直流电压。
Note, however, that half-wave rectifiers only produce one positive DC crest per AC cycle. The	然而，需要注意的是，半波整流器每个交流周期只产生

DC output of a half-wave rectifier can be computed through Eq. 2.19.

$$V_{dc} = \frac{V_p}{\pi} \dots \dots \dots (2.19)$$

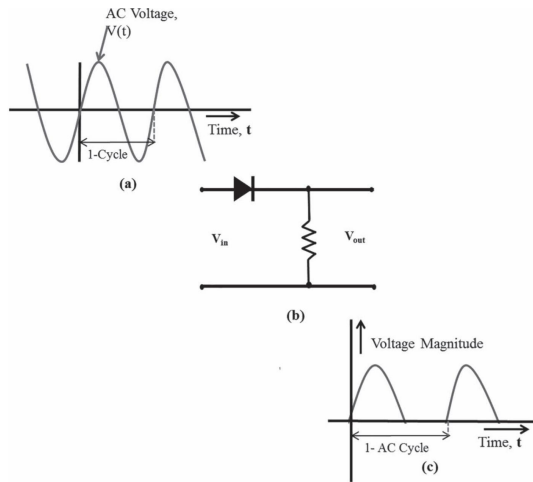


FIGURE 2.8 (a–c) Half-wave rectifier.

一个正直流波峰。半波整流器的直流输出可通过公式 2.19 计算。

$$V_{dc} = \frac{V_p}{\pi} \dots \dots \dots (2.19)$$

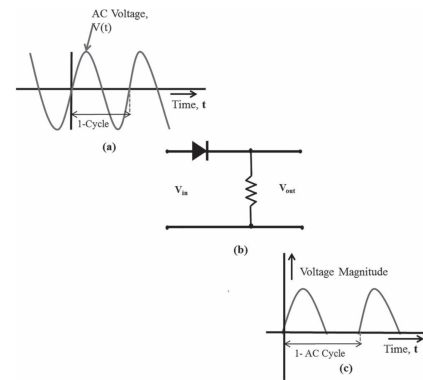


图 2.8 (a–c) 半波整流器。

FULL-WAVE RECTIFIER

Common full-wave rectifier is a circuit consisting of four diodes and a resistor. See Figure 2.9. The sinusoidal AC waveform applied to the input side of the **four-diode bridge** and resistor circuit is shown in Figure 2.9a. The four-diode bridge configuration shown in Figure 2.9b is the essential power conversion segment of the overall full-wave bridge rectifier circuit. When AC voltage is applied between terminals **A** and **B** on the input side of the diode bridge, as V_{in} , the positive crest of the sinusoidal waveform drives current through terminal **A**, diode **CR₁**, resistor **R**, diode **CR₄** to terminal **B**. During this positive crest-initiated flow of current, diodes **CR₁** and **CR₄** are forward biased. As the current assumes this course, it “drops” a positive “half” wave across the resistor or terminals **C** and **D**. This positive DC crest is the

全波整流

普通全波整流器是由四个二极管和一个电阻组成的电路。如图 2.9 所示。施加于**四二极管桥阻电路**输入端的正弦交流波形如图 2.9a 所示。图 2.9b 所示的四二极管桥式配置是整个全波桥式整流电路中必不可少的功率转换过程。当在二极管桥的输入端 **A** 和 **B** 端之间施加交流电压时，正弦波的正波峰为 V_{in} ，驱动电流通过端子 **A**、二极管 **CR₁**、电阻 **R**、二极管 **CR₄** 到端子 **B**。在这个正波峰发起的电流流动过程中，二极管 **CR₁** 和 **CR₄** 正向偏置。当电流沿这一方向运行时，它会在电阻或终

first crest from the left, in Figure 2.9c. During the positive half of the AC cycle, diodes **CR2** and **CR3** are reverse biased; therefore, they do not conduct, and **no** current flows through the **CR2**, **R**, and **CR3** paths.

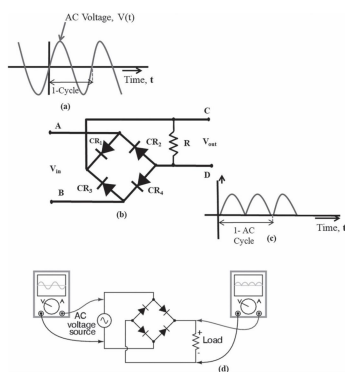


FIGURE 2.9 (a–d) Full-wave rectifier.

During the negative half of the AC cycle, diodes **CR1** and **CR4** are reverse biased and no current flows through them. However, because terminal **A** is negative during the negative half of the AC cycle, diodes **CR2** and **CR3** are forward biased and the current flow is driven from terminal **B**, through diode **CR3**, resistor **R**, and diode **CR2**. This path of current flow also results in a positive voltage drop or positive voltage crest across terminals **C** and **D**. This positive DC crest is represented by the **second** crest in Figure 2.9c. Therefore, **one** AC cycle on the V_{in} side results in **two** positive crests on the V_{out} side. The average value of the positive crests shown in Figure 2.9c represents the DC output of this full-wave bridge rectifier circuit. Of course, the DC output in most

端 **C** 和 **D** 上 “下降” 一个正的 “半” 波，这个正的直流波峰是图 2.9c 中左边的第一个波峰。在交流周期的正半段，二极管 **CR2** 和 **CR3** 反向偏置；因此，它们不导电，并且没有电流流过 **CR2**, **R** 和 **CR3** 路径。

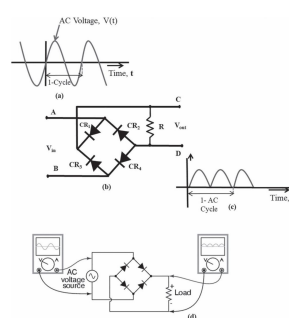


图 2.9 (a–d) 全波整流器

在交流周期的负半段，二极管 **CR1** 和 **CR4** 反向偏置，无电流流过。然而，由于在交流周期的负半段，端 **A** 为负，二极管 **CR2** 和 **CR3** 正偏，电流从端 **B** 通过二极管 **CR3**、电阻 **R** 和二极管 **CR2**。此电流流经也会在 **C** 和 **D** 两端产生一个正的电压降或正的电压峰值，这个正的直流峰值由图 2.9c 中的**第二个**峰值表示。因此， V_{in} 侧的一个交流周期导致 V_{out} 侧的两个正波峰。图 2.9c 所示的正波峰的平均值表示该全波桥式整流电路的输出直流。当然，大多数直流电源的直流输出在电阻、电容和电感的应用下校正成了直线形

DC power supplies is refined or corrected into a straight-line form through application of resistors, capacitors, and inductors. The formula for full-wave rectified DC voltage is represented by Eq. 2.20. $V_{DC} = 2 \cdot \left(\frac{V_p}{\pi} \right) \quad (2.20)$	式。全波整流直流电压公式如 2.20 所示。 $V_{DC} = 2 \cdot \left(\frac{V_p}{\pi} \right) \quad (2.20)$
Figure 2.9d shows how the signals would appear if an oscilloscope or scope meters were connected to the full-wave rectification circuit on the input and the output sides. Notice the zero average – zero DC – complete sinusoidal voltage signal on the scope meter connected on the input side (left-hand side) of the circuit. On the right-hand side – or the output side – the scope meter shows the fully rectified signal – with a finite average – in the form of two voltage crests in the positive voltage realm. In essence, the average value of this double crest – full-wave rectified – waveform would be as stated in Eq. 2.20.	图 2.9d 显示了将示波器或示波器仪表连接到全波整流电路的输入端和输出端后的信号呈现情况。注意连接在电路输入侧（左侧）的示波器上的零平均-零直流-完全正弦电压信号。在右端——或者输出端——示波器显示了完全整流的信号——具有有限的平均值——在正电压域中以两个电压波峰的形式显示。实质上，该双波峰-全波整流-波形的平均值如式 2.20 所示。
TRANSISTORS Similar to diodes, transistors are semiconductor devices. The approach to constructing transistors is similar to the approach used for fabrication of diodes. The “n” and “p” doping approach employed with the construction of transistors is shown in Figure 2.10. As somewhat evident from Figure 2.10, a transistor – functionally, and from construction point of view – appears as set of two diodes connected “back to back.” There are three major types of transistors: the BJT, or bipolar	晶体管 和二极管一样，晶体管也是半导体器件。制造晶体管的方法与制造二极管的方法类似。“图 2.10 显示了在制造晶体管时采用的 “n” 和 “p” 掺杂方法。从功能和结构的角度来看，在图 2.10 中可以明显发现，一个晶体管是由两个背靠背连接的二极管组成的。晶体管有三种主要类型：双极结晶体管

junction transistor, MOSFET, or metal-oxide-semiconductor field-effect transistor, and the IGBT, or insulated gate bipolar transistor. <u>The IGBT, which combines the high-speed switching capability of a MOSFET with the high-current handling capacity of a BJT, is widely used in power electronics for applications requiring efficient control of large currents.</u> In this text we will delve deeper into the operations and application of BJT transistors, we will discuss a few important facts associated with the MOSFET and IGBT transistors, and compare these three transistors, to a degree.	(BJT), 金属氧化物半导体场效应晶体管 (MOSFET), 和绝缘栅双极晶体管 (IGBT)。IGBT 兼具 MOSFET 的快速开关能力与 BJT 的强电流承载能力, 即其能高效调控强电流, 故被广泛应用于电力电子领域。本文中, 我们将深入研究 BJT 晶体管的操作和应用, 以及一些 MOSFET 和 IGBT 晶体管相关的重要概念, 并在某些方面对这三个晶体管进行比较。
When transistors are used in “saturation” mode, they act like digital switches that generate 1’s and 0’s. Note that 1’s and 0’s are the only digits in a binary number system. The brain of a typical computer is a microchip referred to as a microprocessor, and a microprocessor performs all computation and performs all decision-making in binary number system and binary logic. That is to say, <u>the brain of a microprocessor is a “sea” of transistors generating binary logic.</u> A typical microprocessor consists of about two billion transistors. These billions of transistors are fundamental building blocks of logic gates such as “And Gates,” “OR Gates,” “Nand Gates,” and “Flip Flops,” and combination of these gates results in the formation of a microprocessor.	当晶体管在“饱和”模式下使用时, 它们就像数字开关一样产生 1 和 0。注意, 1 和 0 是二进制数系统中仅有的数字。我们将一台计算机的大脑称为微处理器的微芯片, 执行二进制数系统和二进制逻辑的所有计算和决策。也就是说, <u>微处理器的核心是由数以亿计晶体管构成的庞大阵列, 通过开关状态的组合生成二进制逻辑信号。</u>一个典型的微处理器有大约 20 亿个晶体管。这数十亿个晶体管是逻辑门的基本组成部分, 如“和门”、“或门”、“与门”和“触发器”, 这些门的组合形成了微处理器。

BJT Transistors: Within the BJT category, there are two subcategories: The “nnp” and the “pnp” transistors. We will limit our discussion to the introduction of npn BJT-type transistors in this text.

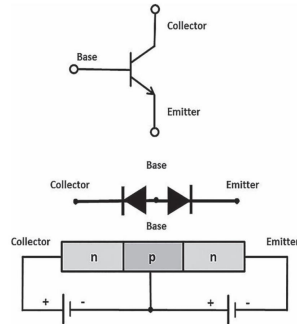


FIGURE 2.10 Bipolar (FET) junction, npn transistor.

Unlike the diode, an npn transistor consists of three “doped” zones: (1) An n-doped segment that is known as the “collector,” (2) a center p-doped segment referred to as the “base,” and (3) a second n-doped segment known as the “emitter.” See the bottom section of Figure 2.10 for the relative location and the construction of an npn transistor. The interface lines where the collector–base and the base to emitter regions meet are referred to as the n–p, collector to base junction, and the p–n, base to emitter junction, respectively. As shown in Figure 2.10, in a normal npn transistor application, the collector to base junction is reverse biased and the base to emitter junction is forward biased. As shown in Figure 2.10, common configuration and application of a transistor resembles a

BJT 晶体管：在 BJT 类别中有两个子类别：“nnp”和“pnp”晶体管。本作中，我们将主要介绍 npn BJT 型晶体管。

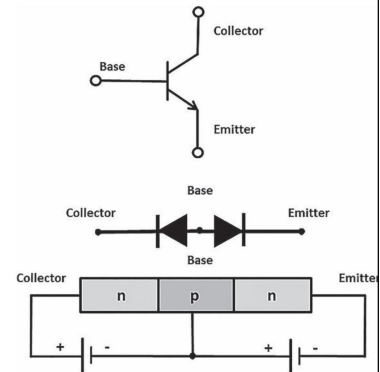


图 2.10 npn 晶体管的双极 (FET) 结。

与二极管不同，nnp 晶体管由三个“掺杂”区域组成：(1)n 掺杂部分称为“集电极”，(2)中心 p 掺杂部分称为“基极”，(3)第二个 n 掺杂部分称为“发射极”。nnp 晶体管的相对位置和结构见图 2.10 的底部部分。集电极–基极和基极–发射极区域相遇的接口线分别称为集电极–基极结 n–p 和基极–发射极结 p–n。如图 2.10 所示，在正常的 npn 晶体管应用中，集电极到基极结是反向偏置的，基极到发射极结是正向偏置的。如图 2.10 所示，晶体管的一般配置和应用类似于

back-to-back connection of two diodes; the one on the left being reverse biased and the one on the right, forward biased.	两个二极管背靠背连接；左边的是反向偏置，右边的是正向偏置。
By energizing the base of a BJT transistor, the small amount of base current ends up catalyzing and amplifying the flow of a large amount of current from the emitter to the collector. When you increase the base current, the collector current increases significantly. The symbol used to represent a BJT transistor in an electrical or electronic circuit is depicted in the top segment of Figure 2.10, with proper labeling of the three terminals of the transistors, in terms of collector, base, and emitter.	通过激活 BJT 晶体管的基极，少量的基极电流最终催化和放大了从发射极到集电极的大量电流。当基极电流增大时，集电极电流也显著增大。在电子电路中用于表示 BJT 晶体管的符号如图 2.10 的顶部所示，并根据集电极、基极和发射极对晶体管的三个端子进行了适当标记。
A common application of BJT transistors in a typical “output module” of a PLC: A BJT transistor can be applied as an “electronic switch” to execute a Programmable Logic Controller (PLC) microprocessor command in the field. This is illustrated in the form of a transistor-based PLC output, operating a solenoid valve, as shown in Figure 2.11. Applying ample positive bias to the left of R1 will turn “on” the npn transistor, causing a “short” to ground. This permits the current to flow through the solenoid coil. Flow of current through the solenoid coil generates magnetic flux through the core of the coil, thus applying magnetic force on the “plunger” or “pin” in the core of the solenoid coil. Depending on the design of the solenoid, the magnetic force can either open	BJT 晶体管在典型 PLC “输出模组”中的常见应用：双极结晶体管可以作为“电子开关”在场内执行可编程逻辑控制器 (PLC) 微处理器命令。如图 2.11 所示，这是一个基于晶体管的 PLC 输出，用于操作一个电磁阀。在 R_1 的左侧施加充足的正偏压将使 npn 晶体管“接通”，导致对地“短路”，电流便能流过电磁线圈时，通过线圈芯产生磁通量，从而对电磁线圈芯内的“柱塞”或“销”施加磁力。根据电磁阀的设计，此磁力可以打开或关闭电磁阀。

or close the solenoid valve.

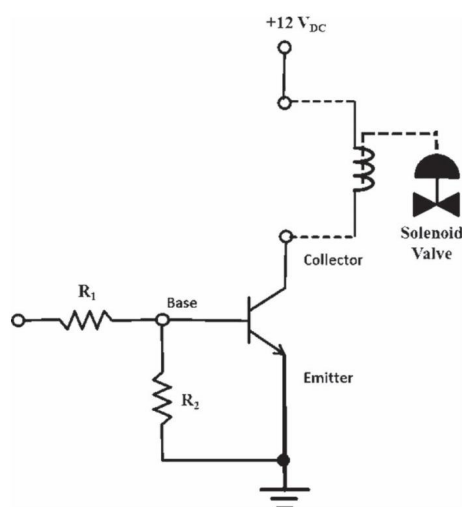


FIGURE 2.11 Bipolar (FET) junction application in a PLC output module.

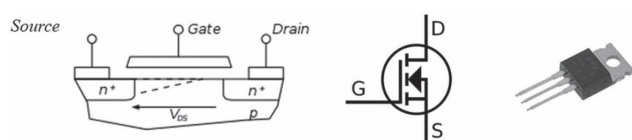


FIGURE 2.12 MOSFET construction, symbol, and picture.

MOSFET or Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor: The MOSFET is a type of field-effect transistor (FET) and has three terminals, **source**, **gate**, and **drain**. The gate is used to bias or control the MOSFET operation. Figure 2.12 shows the cross-section, or construction, the symbol, and a picture of a typical MOSFET transistor. The gate voltage, the “electronic traffic light” in a MOSFET, determines the conductivity of the device. Because it has the ability to change conductivity with the amount of voltage applied at the gate can be used for amplifying or switching electronic signals. The MOSFET was invented by Mohamed Atalla and

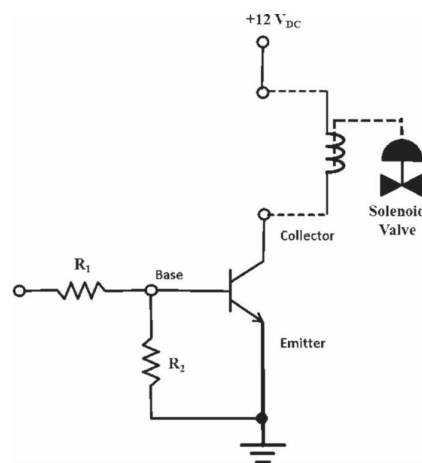


图 2.11 双极 (FET) 结在 PLC 输出模块中的应用。

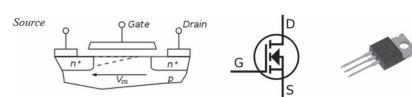
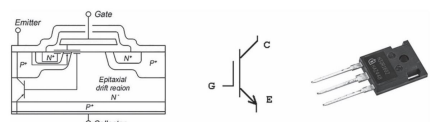


图 2.12 MOSFET 的结构、符号和图示。

MOSFET 或金属氧化物半导体场效应晶体管: MOSFET 是场效应晶体管 (FET) 的一种, 有三个端子: **源极**, **栅极**和**漏极**。栅极用于偏置或控制 MOSFET 的工作。图 2.12 展示了典型 MOSFET 晶体管的截面或结构、符号和图示。栅极电压作为 MOSFET 中的核心调控参数, 决定了器件的导电性。它通过调节栅极电压改变导电性, 可用于电子信号的放大或开关控制。MOSFET 由穆罕默德·阿泰拉

Dawon Kahng at Bell Labs in 1959 and is believed to be the most widely used semiconductor device in the world. The construction or crosssection, the symbol, and a picture of a typical MOSFET are depicted in Figure 2.12.	(Mohamed Atalla) 和江大原 (Dawon Kahng, 韩裔) 于 1959 年在贝尔实验室发明, 是世界上使用最广泛的半导体器件。
IGBT or Insulated Gate Bipolar Transistor: An IGBT is a three-terminal power semiconductor device primarily used as an electronic switch which, as it was developed, came to combine high efficiency and fast switching. Figure 2.13 shows the cross-section, or construction, the symbol, and a picture of a typical IGBT. Note that physical shapes of transistors vary based on their ratings and types. An IGBT consists of four alternating layers (P-N-P-N) that are controlled by a metal-oxide semiconductor (MOS) gate structure. IGBT transistors are used in switching power supplies in high-power applications: VFDs, electric cars, trains, variable speed refrigerators, lamp ballasts, and air-conditioners.	IGBT 或绝缘栅双极晶体管: IGBT 是一种三端功率半导体器件, 主要用作电子开关, 在发展中逐渐结合了高效率 and 快速开关的性能。图 2.13 展示了典型 IGBT 的截面或结构、符号和图示。需要注意的是, 晶体管的物理形状根据其额定值和类型而变化。IGBT 由四个交替层 (P-N-P-N) 组成, 由金属氧化物半导体 (MOS) 栅极结构控制, 常用于大功率应用的电源开关, 例如变频器、电动汽车、火车、变速冰箱、灯镇流器和空调等。
<u>The gate voltage, which acts as a critical control parameter in MOSFETs by determining the conductivity between the source and drain terminals through the application of varying voltage levels, enables precise modulation of current flow for applications such as signal amplification and electronic switching.</u>	<u>栅极电压作为 MOSFET 中的关键控制参数, 可通过调节电压值控制源极与漏极间的导电性, 从而实现电流的精确调制, 以满足信号放大与电子开关等应用需求。</u> 

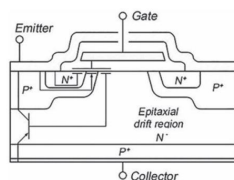


FIGURE 2.13 IGBT construction, symbol, and picture.



图 2.13 绝缘栅双极晶体管结构、符号和图片

Comparison between BJT, MOSFET, and IGBT:

Some comparisons and similarities between BJT, MOSFET and IGBT are as follows:

- While in BJTs it is the **base current** that determines the flow of collector to emitter current, in MOSFETs, the current between the source and the drain is the function of the **gate voltage**. In IGBTs, the collector to emitter current is also a function of the **gate voltage**.
- The IGBTs are considered to be a hybrid of BJTs and the MOSFETs.
- BJTs are considered to be high-voltage and low-current type of devices.
- The MOSFETs are high-current and low-voltage devices, with low drain to source resistance.
- The MOSFETs are capable of operating at high speeds, upwards of around 500 kHz.
- IGBTs are high-voltage and high-current devices. Therefore, they're used for higher power drives. The switching speed of IGBTs is relatively low, at around 50 kHz.
- Ideal applications of MOSFETs are power management, welders, DC power supplies, and inverters.
- IGBTs are transistors of choice for UPS and

BJT、MOSFET 及 IGBT 的对比: BJT、MOSFET 和 IGBT 的部分区别和相似点如下:

- 在 BJT 中, **基极电流** 决定了集电极到发射极电流的流动, 而在 MOSFET 中, 源极和漏极之间的电流随着 **栅极电压** 的变化而变化。在 IGBT 中, 集电极到发射极的电流也随 **栅极电压** 的变化而变化。
- IGBT 是 BJT 和 MOSFET 的综合体。
- BJT 是高电压和低电流器件。
- MOSFET 是高电流和低电压器件, 具有低漏源电阻。
- MOSFET 能够在高达 500 kHz 左右的高速下工作。
- IGBT 是高压大电流器件, 用于更高功率的驱动器。其开关速度相对较低, 约为 50 kHz。
- MOSFET 最适用于电源管理, 焊机, 直流电源和逆变器。
- UPS 和三相电机控制最适选用 IGBT 晶体管。
- BJT 最适用于音频放大器, 单相控制和步进电机。
- IGBT 和 MOSFET 一般比 BJT

three-phase motor control.

- Ideal applications for BJTs are: audio amplifiers, single-phase control, and stepper motors.
- IGBT and MOSFET tend to be more expensive than BJTs.

更昂贵。

ELECTRONIC DEVICE APPLICATIONS ON PRINTED CIRCUIT BOARDS

This section is designed to provide a brief introduction to a common PCB and an assortment of common electronic devices typically installed on a PCB to perform control, monitoring, and data collection functions. Some of the electronic and electrical devices identified on this board are explained in greater detail in the preceding and subsequent chapters.

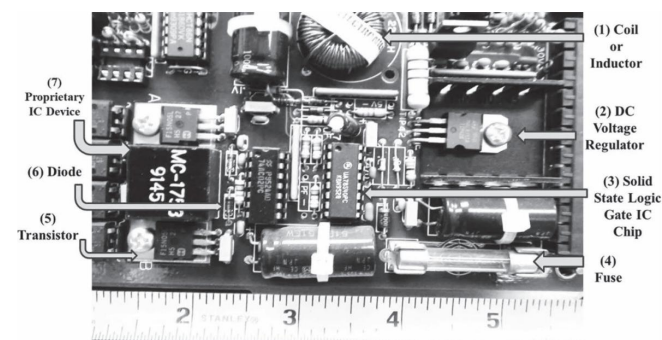


FIGURE 2.14 Electrical and electronic devices on a PCB-I.

The devices pin pointed in Figure 2.14 are listed below, in clockwise order, beginning from the top right corner:

1. A toroid-type **inductor or coil** applied for DC power refining and filtering purpose.
2. DC **voltage regulator** applied for voltage regulation purposes. See Chapter

电子设备在印刷电路板上的应用

本节旨在简要介绍常见的 PCB 和安装在 PCB 上执行控制，监测和数据收集功能的常见电子设备。此图上标识的一些电子电气设备在之前的章节有详细介绍过，后面的章节中将更加详细地进行解释。

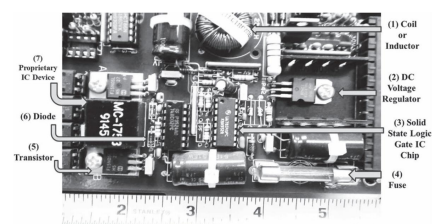


图 2.14 PCB-I 上的电子电气设备。

图 2.14 中引脚指向的器件如下图所示，从右上角开始顺时针排列：

1. 用于直流电源精炼和滤波的环形电感或线圈。
2. 直流稳压器，用于电压调节。关于其规制的全面讨论见

3 for a comprehensive discussion on regulation.

3. Solid-state logic gate **integrated circuit** (IC) micro-chip applied to perform logic, algorithm, and computations for control purposes. This type of IC consists of logic gates such as OR gates, NOR gates, Exclusive OR gates, AND gates, NAND gates, and Flip Flops.

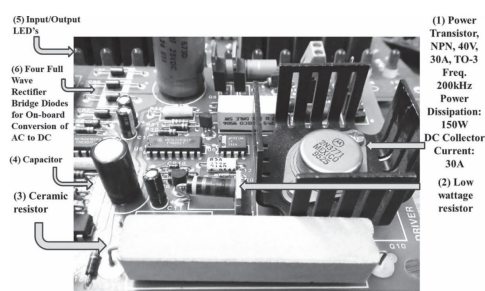
4. A typical, low-voltage electrical **fuse** for protection of the board and upstream power source against faults and shorts.

5. A **transistor**, with collector, base, and emitter pins visible to the right.

6. A **diode**, labeled using the conventional “CR” prefix-based nomenclature.

7. A typical “**proprietary**” IC device. While the functional specifications of such devices are made available to electronic control engineers for application purposes, the contents and design of such devices are, typically, kept confidential and are not published.

Figure 2.15 depicts another segment of the same printed circuit control board. The devices noted in this segment of the control board, in clockwise order, beginning from the top right corner are as follows:



第 3 章。

3. 用于执行逻辑、算法和控制计算的固态逻辑门**集成电路** (IC)微芯片。这种类型的集成电路由逻辑门组成，如 OR 门、NOR 门、异或门、与门、非与门和触发器。

4. 一种典型的低压**保险丝**，用于保护电路板和上游电源，防止故障和短路。

5. 一种**晶体管**，从右边可以看到集电极、基极和发射极引脚。

6. 一个**二极管**，使用传统的“CR”前缀命名法进行标记。

7. 典型的“**专有**”**集成电路**器件。虽然这些设备的功能规格可以提供给电子控制工程师用于应用目的，但此类设备的内容和设计通常保密，不予公布。

图 2.15 展示了同一印刷电路控制板的另一段。从右上角开始按顺时针顺序如下：

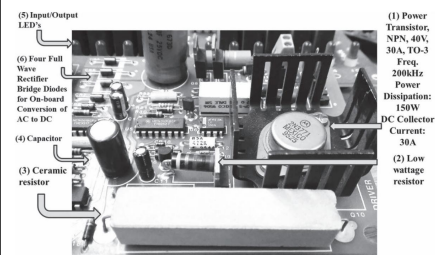


图 2.15 PCB-II 上的电气和电子设备。

FIGURE 2.15 Electrical and electronic devices on a PCB-II.

1. Power transistor, npn (or NPN); with collector current rating of 30 A at 40 V, capable of switching at a maximum frequency 200 kHz. Maximum power rating of 150 W DC. The black heat-dissipating fins surrounding the power transistor are designed to radiate waste heat and to protect the transistor against overheating.

2. A low-wattage resistor with visible color-coded bands identifying the resistance value and the tolerance specification of the resistor.

3. Higher wattage ceramic resistor. Notice the remarkable difference in the physical size and construction of this higher wattage and higher operating temperature ceramic resistor and its lower wattage counterpart described above. The ceramic resistor in Figure 2.15 is encased in a ceramic enclosure to withstand higher temperature and heat.

4. A capacitor.

5. A row of LEDs designed to annunciate the state of various inputs received and outputs transmitted to electrical and electronic equipment in the field. Each of the output terminals represents a hardware-based command from on-board controls out to the field.

6. Four diodes being used in a full-wave bridge formation to convert AC to DC to meet on-board DC needs.

1. 功率晶体管, npn(或 NPN); 集电极额定电流为 30A, 电压为 40V, 最大开关频率为 200kHz。最大功率 150W DC。环绕在功率晶体管周围的黑色散热片用来辐射废热并保护晶体管免于过热。

2. 一种低瓦数的电阻器, 其彩色编码带标识电阻器的电阻值和公差规格。

3. 更高瓦数的陶瓷电阻。请注意其在物理尺寸和结构上的显著差异——更高的瓦数和更高的工作温度。图 2.15 中的陶瓷电阻被封装在陶瓷外壳中, 以承受更高的温度和热量。

4. 一个电容器。

5. 一排 LED 灯, 用来显示场电子电气设备接收到的各种输入和输出的状态。每个输出终端代表一个从机载控制到场的硬件指令。

6. 在全波桥式结构中使用四个二极管将交流转换为直流, 以满足板载直流需求。

<u>An important feature that is instrumental in minimizing the time it takes to replace a control board, in case of board malfunction, is the “quick connect/disconnect” type terminal strip – labeled as (1) – shown on the right side to the control board (PCB), as shown in Figure 2.16. Prior to the advent of this quick connect-/disconnect-type terminal strip, board replacement required meticulous examination and care in reading the electrical drawings, identification of each wire and terminal, and finally, exercise of proper craftsmanship in termination of wires to ensure correct and reliable electrical connections. The lack of such diligence resulted in miswiring, electrical faults, extensive troubleshooting period, prolonged commissioning time, etc.</u>	如图 2.16 所示, <u>在控制板发生故障时, 控制板(PCB)右侧的“快速连接/断开”型端子带(标记为(1))能够极大减少更换控制板所需时间。</u>在这种快速连接/断开型端子带出现之前, 更换电路板需要仔细检查和仔细阅读电气图纸, 识别每根电线和端子, 断电后手动进行电气连接。若未熟练掌握这一能力, 常常会导致接线错误、电气故障、故障排除周期长, 调试时间长等情况。
When disconnecting a control board, the quick connect/disconnect terminal strip, shown in Figure 2.16, allows technicians and engineers to simply pull off the connector, with reasonable certainty that wires will remain securely intact for quick reinstallation. Since all wires normally remain terminated in the connector, once the new (replacement) board is physically secured in place, the connector is pushed/ plugged onto the connecting edge of the new board. Note that the circuit boards and respective connectors are, typically, equipped with an interlocking feature to prevent incorrect orientation of the connector. As obvious, incorrect insertion of the connector onto	当断开控制板时, 如图 2.16 所示, 技术人员和工程师可利用快速连接/断开端子带简单地拔出连接器, 并确定电线将保持安全完整, 以便快速重新安装。由于所有电线通常都在连接器中保持端接, 一旦新(替换)板物理固定到位, 连接器就会被推/插到新板的连接边缘上。请注意, 电路板和各自的连接器通常配备有联锁功能, 以防止连接器的方向错误。错误地将连接器插入电路板将可能导致电气故障和电气

the board can result in electrical faults and damage to the electrical devices.

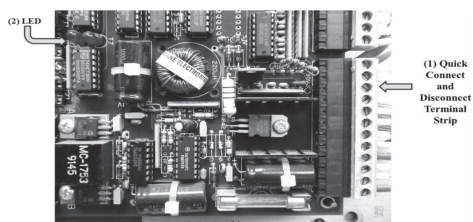


FIGURE 2.16 Electronic devices on a PCB-III

设备损坏。

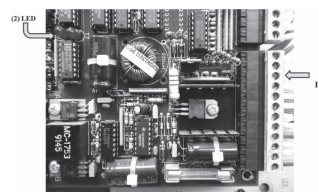


图 2.16 PCB-III 上的电气和电子设备。

The picture of the circuit board in Figure 2.16 also shows a set of two LEDs, labeled as item (2). These LEDs serve as indicators of certain control conditions or signals.

Three devices pointed out on the circuit board pictured in Figure 2.17 are as follows:

1. A large size circuit board capacitor.
2. Higher wattage ceramic resistor. Notice the legend on the right side of the resistor. Typically, this legend includes the resistance value and power capacity specifications.

图 2.16 中电路板的图片也显示了一对 LED，标记为项目 (2)。这些 LED 为某些控制条件或信号的指示器。

图 2.17 所示电路板上指出的三个器件如下：

1. 一个大尺寸的电路板电容器。
2. 更高瓦数的陶瓷电阻。注意电阻器右侧的图例。通常包括电阻值和功率容量规格。

3. Metal-oxide varistor, rated 100 J (100 Joules) and 1 kVA. Metal oxide varistor, also referred to as MOV, serves as stray energy arresting device on electronic circuits and electrical systems, in general. In this capacity, an MOV serves to absorb voltage spikes and rogue energy that might otherwise spread around various parts of a circuit board or electrical control system. Stray energy or voltage spikes, left unchecked, can damage ICs, or IC semiconductor chips. ICs are relatively

3. 金属氧化物压敏电阻，额定 100J(100 焦耳)和 1kVa。金属氧化物压敏电阻，也称为 MOV，通常用作电子电路和电气系统上的杂散抑能装置。这种情况下，MOV 可以吸收电压尖峰和异常能量，否则这些能量可能会扩散到电路板或电气控制系统的各个部分。若不加以控制，杂散能量或电压尖峰会损坏集成电路或集成电路半导体芯

sensitive. They operate at low voltages, typically, at around 5 V DC. The MOV in this particular case, as visible in the picture, is designed to absorb a maximum of 100 J of electrical energy. The “rate of absorption of this energy,” or the power absorption capacity, is labeled on the MOV as 1 kVA; to be exact, the apparent power (S) rating of this MOV is 1,000 VA.

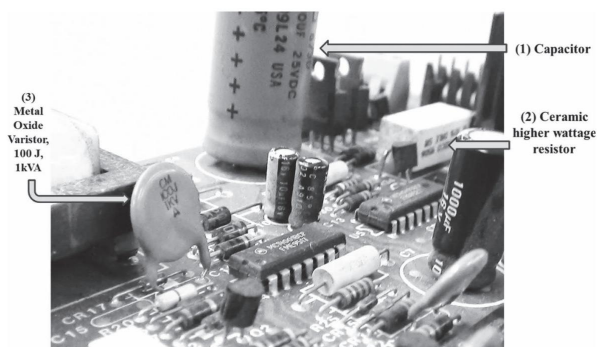


FIGURE 2.17 Electrical and electronic devices on a PCB-IV

片。IC 相对敏感，它们通常在 5 V DC 左右的低电压下工作。在这种特殊情况下，如图中所示，MOV 最多吸收 100 焦的电能。“该能量的吸收率”或功率吸收容量在 MOV 上标记为 1kva；确切地说，该 MOV 的视在功率 (S) 额定值为 1,000 VA。

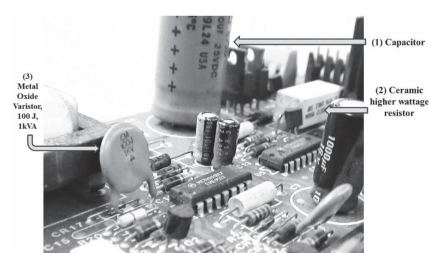


图 2.17 PCB-IV 上的电气和电子设备。

SELF-ASSESSMENT PROBLEMS AND QUESTIONS – CHAPTER 2

1. Determine the following for the DC circuit shown below if $R_1 = 5 \Omega$, $R_2 = R_3 = 10 \Omega$, and $R_4 = R_5 = 20 \Omega$:

- Current flowing through resistor R_1
- Voltage across resistor R_5

2. What is the current through the 6Ω resistor in the circuit shown below?

3. Find the current through the 0.5Ω resistor in the circuit shown below

4. Determine the value of currents I_1 , I_2 , and I_3 in the circuit shown below if the voltage source V_3 fails in short-circuit mode. The specifications of

自评和提问-第 2 章

1. 当 $R_1 = 5 \Omega$, $R_2 = R_3 = 10 \Omega$, $R_4 = R_5 = 20 \Omega$ 时，确定如下直流电路：

- 流过电阻 R_1 的电流
- 电阻 R_5 上的电压

2. 如下电路中，流过 6Ω 电阻的电流是多少？

3. 解出下图中流过 0.5Ω 电阻的电流。

4. 如果电压源 V_3 短路，请确定以下电路中电流 I_1 , I_2 和 I_3 的值。各部件规格如下表所示：

5. 用分流法确定下图中电流

all components are listed in the table below: 5. Use current division to determine the value of current I_1 in the circuit below: 6. Using KVL, calculate the current circulating in the series resistor network below: 7. Determine the value of voltage source current in the parallel circuit below using KCL.	I_1 的值。 6. 利用KVL计算以下电路中串联电阻的电流: 7. 用KCL确定下面并联电路中源电流的值。
Ancillary question: If one of the $5\ \Omega$ resistors is removed (or replaced with an open circuit) and the other one is replaced with a short circuit, what would be the source current?	附加问题:如果移除一个 $5\ \Omega$ 电阻(或替换为开路), 另一个替换为短路, 源电流是多少?
The contrast between AC and DC isn't just rooted in physics but goes as far back as the 1800s when, for a period of time, both vied for the residential, commercial, and industrial markets. Electricity was first discovered and harnessed, mostly, in the DC form. However, due to the physical constraints associated with transmission, distribution, and application of DC in industrial, commercial, and residential applications, AC vanquished DC in the power distribution arena.	交流电(AC)与直流电(DC)之间的对比不仅仅源于物理学原理,其竞争可追溯至19世纪,当时二者曾在住宅、商业及工业市场中展开激烈角逐。最初,人类发现并主要利用的是直流电。然而,由于直流电在输电、配电及工业、商业和住宅应用中的物理限制,交流电最终在电力分配领域占据主导地位。
The early competition between DC and AC is often remembered through early "rivalry" between Edison, the proponent of DC, and Tesla, the pioneer behind AC. Nevertheless, today, DC holds its own in low-voltage control and digital logic applications. In fact, albeit relatively uncommon, DC is being reintroduced in the ultra-high voltage	这场早期的竞争常被归因于直流电的支持者托马斯·爱迪生与交流电的倡导者尼古拉·特斯拉之间的“对立”。尽管如此,直流电在低压控制和数字逻辑应用领域仍然占据一席之地。事实上,尽管较为少见,但在某些特定情况下,

realm in certain special situations. One advantage of DC power transmission lies in the fact that DC resistance in conductors is less than AC resistance, due mainly to the reason that the AC current flow results in skin effect. The 900,000 V DC transmission line system project, in India, is a more contemporary example. There has been some interest in 900 V DC transmission line systems in the United States, as well. The ultra-high voltage, 900 V DC systems find greater appeal in long, direct, power transmission applications, primarily because DC would always need to be converted to AC before it can be applied in most common applications.	直流电正重新用于超高压输电领域。例如，直流输电的一个显著优势在于，与交流电相比，直流电的导体电阻较小，这主要归因于交流电流的“集肤效应”。印度的90万伏（900,000 V）直流输电线路系统便是一个较新的案例，在美国也有关于900 V直流输电线路系统的研究。超高压直流输电系统在长距离直输电应用中更具吸引力，主要原因在于直流电在大多数常见应用中都需要先转换为交流电。
If we could attribute the acceptance of AC for residential, commercial, and industrial applications to one pivotal entity, it would be the transformer and concept of voltage transformation. In essence, when DC was first distributed and transmitted to end users, it was at a fixed voltage level because DC voltage transformation was not feasible. Due to resistance in the transmission lines – as stipulated by Ohm’s law: $V = IR$ – the DC power generators had to be located in the vicinity of the consumers to mitigate the undesirable voltage regulation issues. Longer transmission runs resulted in higher resistance, or “R,” which, in turn, resulted in larger voltage drop, “V.” In the mechanical fluids’ realm, this would be analogous to unacceptable pressure drop – due to frictional	如果要交流电在住宅、商业及工业应用中的广泛接受归因于某个关键因素，那便是变压器及其电压变换的概念。在最初，直流电的输配电是以固定电压进行的，因为直流电压的变换在当时不可行。根据欧姆定律 $V=IR$，由于输电线路的电阻，直流发电机必须位于用户附近，以减少电压调节问题。较长的输电距离会导致更高的电阻 R，进而产生更大的电压降 V。在流体力学领域，这一现象类似于由于摩擦损失导致的长距离输送流体时的不可接受的压力降，除非

head losses – if fluid is distributed over extended distances without some sort of booster pumps. Introduction of AC accompanied practical means for “stepping up” and “stepping down” of voltage through the use of transformers. So, AC could be generated at, for instance, 4,000 V, stepped up to 100,000 V – through the application of transformers – for transmission purposes, and miles away, it could be stepped down to usable levels, such as 480 V, 240 V, or 120 V. That is, mostly, the way AC is generated, transmitted, and distributed to consumers today.	采用增压泵。 交流电的引入提供了一种“升压”和“降压”的实用方法，即通过变压器来调整电压。例如，交流电可以以 4,000 V 的电压产生，然后通过变压器升至 100,000 V 进行远距离输电，再在数英里外降至 480 V、240 V 或 120 V 等可用电压。这也是当前交流电的发电、输电和配电方式。
We learned earlier that movement of electrons, or other charged particles, constitutes electrical current. When the charged particles move in one specific direction – such that there is a net displacement in their position or when the charged particles travel a net distance – direct current or DC is said to exist. On the other hand, when the electrons or charged particles oscillate or vibrate about a point – similar to a pendulum – such motion of charged particles constitutes alternating current or AC.	正如前文所述，电流是由于电子或其他带电粒子的运动而形成的。当带电粒子沿单一方向移动，使其位置发生净位移或累积迁移时，即形成直流电。而当电子或带电粒子围绕某一点振荡或摆动（类似于钟摆运动）时，则形成交流电。
In fact, if AC voltage, DC voltage, and current were compared using an oscilloscope, the graph displayed on the screen would be similar to voltage and current graphs shown in Figures 3.2 and 3.3, respectively. However, the inception of AC voltage or current is better depicted in Figure 3.1, where X represents voltage or current, $X(^{\circ}/t)$	实际上，若使用示波器对比交流电压、直流电压和电流，屏幕上显示的波形将类似于图 3.2 和图 3.3 所示。然而，交流电压或电流的生成过程在图 3.1 中得到了更直观的展示，其中 X 代表电压或电流，$X(^{\circ})$

simply denotes a voltage or current signal varying as a function of time, $+X_m$ represents the positive maximum or peak value of voltage or current signal, and $-X_m$ represents the negative minimum value of voltage or current signal.	$/t)X(^{\circ}/t)$ 表示电压或电流信号随时间的变化, $+X_m$ 和 $-X_m$ 分别代表电压或电流信号的最大和最小峰值。
However, even though it is the parameter time “t” that is plotted along the X-axis in Figures 3.2 and 3.3, these graphs would look almost identical if time were replaced by rotation expressed in degrees, radians, or cycles, similar to the representation of X-axis in Figure 3.1. The left-hand side of Figure 3.1 represents multiple entities. The counterclockwise rotation not only represents the rotation of AC voltage and current vectors but also depicts the rotation of the generator rotor. The graphical depiction in Figure 3.1 implies that the voltage or current signal magnitude, in this generation of AC, would peak when the generator rotor coil’s tangential velocity is at 90° relative to the magnetic field. Note that since $\sin 90^{\circ}$ is equal to “1,” a “sine” function ($\sin \theta$) would be maximum when the angle is 90°. Also note that the reason behind the equivalence of time, degrees, radians, and cycles, along the X-axis, is that once we anchor the power or electrical utility frequency to 60 Hz, in the United States, certain amount of time is always going to be equal to certain number of degrees, radians, or cycles.	尽管图中 X 轴所示参数为时间 “t”，但若将时间替换为以角度、弧度或周期表示的旋转角度，所得曲线几乎相同，如图 3.1 所示。图 3.1 的左侧包含多个概念：逆时针旋转不仅表示交流电压和电流矢量的旋转，同时也代表发电机转子的旋转。该图表明，在交流电的发电过程中，当发电机转子线圈的切向速度相对于磁场达到 90° 时，电压或电流信号的幅值达到峰值。由于 $\sin 90^{\circ} = 1$，因此电压或电流信号的“正弦”函数 ($\sin \theta$) 在 90° 时取最大值。此外，X 轴上时间、角度、弧度和周期之间的等效关系源于电网频率的固定，例如在美国，电力系统的标准频率为 60 Hz。这意味着一定的时间间隔必然对应于特定的角度、弧度或周期数。

注：划线部分为报告正文中选取的案例。

