

全国普通高校
电子信息与
电气学科
基础规划教材

电工学 (双语版)

Fundamentals of Electrical Engineering

郑雪梅 编著



清华大学出版社

全国普通高校电子信息与电气学科基础规划教材

电工学 (双语版)

Fundamentals of Electrical Engineering

郑雪梅 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书主要内容分为三部分：电路部分主要讲述了直流、交流、三相电路、电路的频率特性等内容；电机部分介绍了变压器、交流电动机和直流电动机；电子部分又分为模拟电子和数字电子两部分，以二极管、三极管、运算放大器、逻辑门电路、触发器和计数器为主要内容。

本书全部内容采用英语编写，每章开头的导读采用中英文结合方式，是对每章内容总领性的概括，便于学生对每章内容的把握。在每节均有小节回顾，总结该节内容。另外，每章后附有相应的英文习题，在学习过程中可以参考使用。书中涉及的专业词汇在附录中有中文对照。

本书可作为高等学校非电类专业、电气工程和自动化专业本科学生的专业基础课双语教材，也可以作为电气工程和自动化领域工程技术人员的技术参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电工学：双语版/郑雪梅编著.--北京：清华大学出版社，2013.5

全国普通高校电子信息与电气学科基础规划教材

Fundamentals of Electrical Engineering

ISBN 978-7-302-30753-2

I. ①电… II. ①郑… III. ①电工—高等学校—教材—英、汉 IV. ①TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第285908号

责任编辑：梁 颖

封面设计：傅瑞学

责任校对：焦丽丽

责任印制：王静怡

出版发行：清华大学出版社

网 址：<http://www.tup.com.cn>，<http://www.wqbook.com>

地 址：北京清华大学学研大厦A座 邮 编：100084

社总机：010-62770175 邮 购：010-62786544

投稿与读者服务：010-62776969，c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈：010-62772015，zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载：<http://www.tup.com.cn>，010-62795954

印 刷 者：三河市君旺印装厂

装 订 者：三河市新茂装订有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：185mm×260mm 印 张：26.5 字 数：642千字

版 次：2013年5月第1版 印 次：2013年5月第1次印刷

印 数：1~3000

定 价：45.00元

随着高等教育事业的发展,中国高等教育将更加开放,这就要求我国高等院校培养出更多“面向现代化、面向世界、面向未来”、具有国际竞争力的人才,我们培养的学生应能直接接受国际最新科技信息,应该是能用英语交流的国际型人才。教育部近年来要求高校逐步与国际先进教学理念和教学方法相接轨,建立符合中国实际的双语课程教学模式,发布了一系列的政策和文件,其基本目的是提高国际型人才外语水平,适应国家和社会对外语的需求。

目前的双语教学主要以国外的原版教材为主,但从多年的教学的实践来看,特别是在一些技术基础课和专业基础课,选用外文原版教材授课存在着一定的不足。因为原版教材的教学体系、教学内容、课时设置等与我国不完全一致,无法适应我国高等教育的实际需求。另外,在讲授一些重要的概念、定义、原理等内容时,让学生接触到原汁原味的英文定义、概念这是最好的,但是往往学生在接受这部分内容时,由于语言和文化的差异理解起来也很费劲。因此,建设一些中英文合著的教材,既兼顾国外高等教育的优秀资源,又结合我国高等教育实际发展的需求,合适的高等学校双语教材成为我们进一步提高教学质量和效果的迫切需求。

正是在这样的背景下,哈尔滨工业大学与清华大学出版社合作,编写了这本《电工学(双语版)》教材。本书由哈尔滨工业大学曾在国外一些知名院校学习或有过研修经验的教师编写。这些教师在多年从事“电工学”的教学过程中,不仅熟悉中国高等教育的学习内容及课程的教学体系,而且对国外的相关课程及教学体系也有深入的了解。

这本教材吸收了国外教材重理论分析和实际应用相结合的特点,信息量大,图标例题丰富,在保证学生理论学习的同时,注重培养学生的实践能力,有利于学生的自主学习。这本教材在正式出版之前曾印成讲义进行了试用,得到了广大师生的好评。为了保证质量,也邀请了国外的相关学科专家进行了审阅和校勘。

我希望这本教材能为我国高校技术基础课程的双语教学教育改革,建设符合中国实际的双语课程教学模式,为全面提高我国高等教育教学质量做出新的成绩。

吴建强

2013年2月

前 言

改革开放以来,我国进入了经济快速发展时期,很快融入了世界经济快速发展的大潮。随着经济全球化、文化多样化、大学国际化,人才的国际化培养成为目前高等院校的重中之重,教育部也将双语教学列为高等数学教育质量评估中一项重要指标。

“电工学”作为高等院校本科生非电类专业的一门技术基础课程,它的教学质量的好坏将会影响到学生对后续课程的学习。目前,在本科教育国际化的大背景下,对电工学的教学也提出了新的要求,双语的电工学教材和资料是当前学生在学习和掌握知识的过程中所迫切需要的。

编者在多年与英国大学的合作研究中深刻认识到,专业英文的直接交流会极大地帮助我们发挥自身的潜能,增加在世界舞台上的竞争能力。而另一方面,在哈尔滨工业大学的多年教学和面试研究生的口语时,编者也发现目前国内学生的专业英文能力比之他们的口语能力差距较大。因此编者坚信:坚持双语教学,对于提高我国专业技术人员的直接交流能力,适应我国快速经济发展需要,必将会起到积极的推动作用。

针对国内培养的本科生在本科阶段或完成本科学学习进而去国外攻读研究生或博士生的需求,我们推出了这本《电工学》双语教材,根据教育部高等学校基础课程“电工学课程教学基本要求”,由多年从事电工学教学且具有留学经历的老师编写。

本书部分内容是基于 Tony R. Kuphaldt 编写的 *Lesson in Elecrtic Circuit* 第 5 版(2006)改编,本书保留了原著的部分章节,并根据中国学生对知识的掌握程度进行了较大删节和重新编排,并加入了一些新的例题和内容。

另外,为了便于读者理解内容,同时又使读者减少对中文的依赖性,编者在每章给出了“导读”部分,仅列出本章节的重点内容和概要。

本书的编写过程得到了清华大学出版社的鼎力支持,在此表示诚挚的感谢。

本教材可以作为高等学校非电类专业、电气工程和自动化专业本科学生的专业基础课双语教材,也可以作为电气工程和自动化领域工程技术人员的技术参考书。

由于编者能力有限,书中有些内容难免不够妥善,希望读者、同行提出批评和改进意见,以便日后修订提高。

哈尔滨工业大学 郑雪梅

2012 年 12 月

Preface

Since the reform and opening up, China has entered a period of rapid economic development, quickly integrated into the tide of world economic development. The economic globalization and cultural diversity have made the internationalization become the universities' top priority. The Chinese Educational Council will also employ bilingual teaching as an important criterion of the quality assessment of higher education.

Electrical Engineer is a fundamental technical course for non-EE-major undergraduates. The teaching quality of this course will affect the students' learning of subsequent courses. The current climate of internationalization of undergraduate education has also brought new requirements for this course. Bilingual electrical engineering textbook and learning material are urgently needed by the students to master the knowledge.

As the author of this book, through years of collaborative research with the universities in United Kingdom, I have profound understanding that the direct academic communication in professional English will greatly help us to play to our potential and enhance our competition ability on the world stage. On the other hand, from my experiences of teaching at the Harbin Institute of Technology and interviewing graduate candidates, I found that a big gap lies between students' professional English proficiency and their oral English. Therefore, I firmly believe that bilingual education will improve the technical professionals' direct communication ability and help them to fit the needs of China's rapid economic development.

To better prepare undergraduate students for their graduate school abroad, we publish this bilingual textbook—*Fundamentals of Electrical Engineering*. This book is based on "the basic requirements for Electrical Engineering course" promulgated by Ministry of Education. It is compiled by teachers who have taught Electrical Engineering course for many years and had experience of studying abroad.

This book is based on the Lesson in Electric Circuit written by Tony R. Kuphaldt, the 5th edition (2006). The book retains some original chapters about the basic laws, basic concept, etc, abridges some parts and adds some new examples and contents according to the Chinese students' practical needs.

Additionally, the author adds the introduction at the beginning of each section. The main idea and the important contents are summarized in the Introduction to assist Chinese students better understand.

Thanks for the supporting of Tsinghua University Press during the compiling process.

This book can be used as the bilingual textbook of fundamental course for those non-EE-major undergraduates. It can serve as a reference book for the technicians in the Electrical Engineering and Automation field as well.

As for the ability of the author is limited, the contents of the book have errors. Hope the readers and the teachers propose the good advice in order to revise in the next edition.

Harbin Institute of Technology Zheng Xuemei in Dec, 2012

Table of Contents

Chapter 1 DC Circuits	1
1.1 Basic Concepts of Electricity	1
1.1.1 Static Electricity	1
1.1.2 Conductors, Insulators, and Electron Flow	3
1.1.3 Voltage and Current	4
1.1.4 Resistance	6
1.2 Ohm's Law	7
1.2.1 How Voltage, Current, and Resistance Related	7
1.2.2 Power in Electric Circuits	9
1.2.3 Nonlinear Conduction	10
1.3 Series and Parallel Circuits	11
1.3.1 Series Circuits	11
1.3.2 Parallel Circuits	12
1.3.3 Conductance	14
1.3.4 Series-Parallel Combinational Circuits	15
1.3.5 Analysis Technique	15
1.4 Divider Circuits and Kirchhoff's Laws	16
1.4.1 Voltage Divider Circuits	16
1.4.2 Kirchhoff's Voltage Law (KVL)	17
1.4.3 Current Divider Circuits	20
1.4.4 Kirchhoff's Current Law (KCL)	21
1.5 DC Network Analysis	22
1.5.1 What Is Network Analysis?	22
1.5.2 Branch Current Method	24
1.5.3 Mesh Current Method	28
1.5.4 Node Voltage Method	36
1.5.5 Introduction to Network Theorems	39
QUESTIONS	52
Chapter 2 Steady-State Sinusoidal Analysis	55
2.1 Basic AC Theory	55
2.1.1 What Is Alternating Current (AC)?	55
2.1.2 AC Waveforms	57

2.1.3	Measurements of AC Magnitude	60
2.1.4	AC Phase	64
2.2	Complex Numbers	65
2.2.1	Complex Numbers Introduction	65
2.2.2	Complex Vector Addition	66
2.2.3	Polar and Rectangular Notation	67
2.2.4	Complex Number Arithmetic	70
2.3	Complex Method in AC Circuits	71
2.4	Reactance and Impedance	73
2.4.1	AC Resistor Circuits	73
2.4.2	AC Inductor Circuits	74
2.4.3	AC Capacitor Circuits	77
2.5	Calculation of AC Circuits	79
2.5.1	Review of R , X , and Z	79
2.5.2	Series R , L , and C Circuits	80
2.5.3	Parallel R , L , and C Circuits	82
2.5.4	Susceptance and Admittance	83
	QUESTIONS	85
Chapter 3	Three-Phase AC Circuits	88
3.1	The Generation of Three-Phase Balanced Source	88
3.2	Three-Phase Source Y and Delta Configurations	90
3.2.1	Three-Phase Source Y Configurations	90
3.2.2	Three-Phase Source Delta Configurations	92
3.3	Analysis and Calculation of Three-Phase AC	93
3.3.1	Y Connected Three-Phase Loads and the Characteristic of Neutral Line	93
3.3.2	Delta Connected Three-Phase Loads	97
3.4	Three-Phase Power	98
	QUESTIONS	102
Chapter 4	Frequency Response, Filters, and Resonance	104
4.1	Fourier Analysis	104
4.2	The RMS and Average Power of Non-Sinusoidal Waveform	106
4.2.1	The RMS Value of Non-Sinusoidal Waveform	106
4.2.2	Average Power of Non-Sinusoidal Waveform	107
4.3	Filter	108
4.3.1	Transfer Function	108
4.3.2	Low-Pass Filters	109

4.3.3	High-Pass Filters	112
4.3.4	Band-Pass Filters	113
4.3.5	Band-Stop Filters	115
4.4	Resonant	115
4.4.1	Simple Parallel Resonance	117
4.4.2	Simple Series Resonance	117
4.5	Q and Bandwidth of a Resonant Circuit	118
4.5.1	Q in Series Resonant Circuits	119
4.5.2	Q in Parallel Resonant Circuits	120
4.5.3	Applications of Resonance	120
	QUESTIONS	121
Chapter 5	Transformers	123
5.1	Mutual Inductance and Basic Catalogue	123
5.2	Types and Construction of Transformers	130
5.2.1	The Ideal Transformer	131
5.2.2	Theory of Operation of Real Single-Phase Transformer	134
5.3	Special Transformers and Applications	138
5.3.1	The Autotransformer	139
5.3.2	Instrument Transformers	140
5.3.3	Three-Phase Transformers	141
5.3.4	Potential Transformers	144
5.3.5	Air Core Transformers	144
5.3.6	Saturable Reactors	145
5.3.7	Linear Variable Differential Transformer	147
	QUESTIONS	147
Chapter 6	AC Motors	149
6.1	Introduction	149
6.2	The Basic Construction of Three-Phase Induction Machine	151
6.3	The Basic Principle of Three-Phase Induction Machine	152
6.3.1	A Simple Loop in a Uniform Magnetic Field	152
6.3.2	The Torque Induced in a Current-Carrying Loop	154
6.3.3	The Rotating Magnetic Field	157
6.3.4	The Reverse Rotation of Motor Motivation and the Speed of Rotating Magnetic Field	159
6.3.5	AC Machine Power Flows and Losses	161
6.4	The Character of Three-Phase Synchronous Motor	163
6.4.1	The Circuit Character	163

6.4.2	The Electrical Magnetic Torque Character and the Mechanic Character	166
6.5	Other Kinds of Motors	168
6.5.1	Synchronous Condenser	168
6.5.2	Reluctance Motor	170
6.5.3	Stepper Motors	172
6.5.4	Doubly-Fed Induction Generator	176
6.5.5	Induction Motor Alternator	180
6.5.6	Single-Phase Induction Motors	181
Chapter 7	DC Motors	185
7.1	The Basic Construction of DC Machines	185
7.1.1	The Stator Part of DC Machine	186
7.1.2	The Rotor Part or Armature of DC Machine	187
7.2	The Work Principle of DC Machine	187
7.2.1	The Work Principle of DC Generator	188
7.2.2	The Work Principle of DC Motor	189
7.3	The Basic Character of DC Motors	189
7.3.1	Speed Characters	190
7.3.2	Torque Characters	190
7.3.3	Mechanical Characters	191
7.4	DC Motor Starting	191
7.5	Brushless DC Motor	194
Chapter 8	Semiconductor Diodes	197
8.1	Valence and Crystal Structure	197
8.2	Electrons and "Holes"	199
8.3	The P-N Junction	202
8.4	Diodes and Application	205
8.4.1	Diode Ratings	207
8.4.2	Rectifier Circuits	208
8.4.3	Clipper Circuits	210
8.4.4	Clamper Circuits	211
8.5	Zener Diodes	212
8.6	Special-Purpose Diodes	213
8.6.1	Schottky Diodes	213
8.6.2	Light-Emitting Diodes	214
	QUESTIONS	215

Chapter 9	Bipolar Junction Transistors	216
9.1	The Conception of BJT	216
9.2	The Structure of PNP or NPN	218
9.3	Active Mode Operation	220
9.4	The Common-Emitter Amplifier	222
9.5	The Common-Collector Amplifier	226
9.6	Biasing Techniques	228
9.7	Transistor Ratings and Packages	232
9.8	Junction Field-Effect Transistors	233
9.8.1	The Basic Type of JFET	234
9.8.2	The Transistor as a Switch	236
9.8.3	Active-Mode Operation	238
9.9	Insulated-Gate Field-Effect Transistors	241
9.9.1	Introduction of IGFET	241
9.9.2	Depletion-Type IGFETs	242
9.10	IGBTs	245
	QUESTIONS	246
Chapter 10	Operational Amplifiers	248
10.1	Single-Ended and Differential Amplifiers	248
10.2	The Operational Amplifier	250
10.3	Negative Feedback in Amplifier	252
10.3.1	Summer Circuits	254
10.3.2	Differential Amplifier	256
10.3.3	The Instrumentation Amplifier	257
10.3.4	Differentiator and Integrator Circuits	258
10.4	Positive Feedback	260
10.4.1	Positive Feedback Application	261
10.4.2	Offset Circuits	264
10.4.3	Drift	265
10.5	Practical Analog Circuits	266
10.5.1	Power Supply Circuits	266
10.5.2	Computational Circuits	267
	QUESTIONS	270
Chapter 11	Numeration Systems	272
11.1	Numbers and Symbols	272
11.2	Systems of Numeration	273

11.3	Decimal, Octal, and Hexadecimal Numeration to Decimal Conversion	274
11.4	Binary Arithmetic	277
11.4.1	Binary Addition	277
11.4.2	Negative Binary Numbers	278
11.4.3	Subtraction	281
11.4.4	Overflow	282
11.5	Boolean Algebra	284
11.5.1	Introduction of Boolean Algebra	284
11.5.2	Boolean Algebraic Identities	285
11.5.3	Boolean Algebraic Properties	287
11.6	DeMorgan's Theorems	287
11.6.1	DeMorgan's Theorems Contents	288
11.6.2	Boolean Rules for Simplification	291
11.7	Karnaugh Mapping	293
11.7.1	Venn Diagrams and Sets	293
11.7.2	Boolean Relationships on Venn Diagrams	294
11.7.3	Making a Venn Diagram Look Like a Karnaugh Map	296
11.7.4	Karnaugh Maps, Truth Tables, and Boolean Expressions	299
11.7.5	Logic Simplification with Karnaugh Maps	302
11.7.6	4-Variable Karnaugh Maps	305
11.7.7	The Minterms and the Maxterms	309
11.7.8	5 & 6-Variable Karnaugh Maps	311
	QUESTIONS	316
Chapter 12	Logic Gates Circuits	318
12.1	Digital Signals and Gates	318
12.2	The TTL NOT Gate	320
12.3	Multiple-Input Gates	322
12.3.1	The AND Gate	323
12.3.2	The NAND Gate	323
12.3.3	The OR Gate	324
12.3.4	The NOR Gate	324
12.3.5	The Negative-AND Gate	324
12.3.6	The Negative-OR Gate	325
12.3.7	The Exclusive-OR Gate	325
12.3.8	The Exclusive-OR Function	326
12.3.9	The Exclusive-NOR Gate	327
12.4	TTL Circuit Gate	327
12.4.1	TTL NAND and AND Gates	327

12.4.2	TTL NOR and OR Gates	329
12.5	CMOS Gate Circuit	330
12.5.1	CMOS Gate with OC TTL Gate	331
12.5.2	CMOS NAND, NOR, OR Gates	333
12.6	Special-Output Gates	337
12.7	DIP Gate Packaging	338
	QUESTIONS	340
Chapter 13	Multivibrators	342
13.1	Digital Logic with Feedback	342
13.2	The S-R Latch	343
13.3	The Gated S-R Latch	345
13.4	The D Latch	346
13.5	Edge-Triggered Latches: Flip-Flops	347
13.6	The J-K Latch	350
13.6.1	Main-Slave J-K Latch	350
13.6.2	The J-K Flip-Flop	351
13.7	Asynchronous Flip-Flop Inputs	353
13.8	Counters	354
13.8.1	Binary Count Sequence	354
13.8.2	Asynchronous Counters	355
13.8.3	Synchronous Counters	363
	QUESTIONS	368
Chapter 14	Shift Registers	370
14.1	Types of Shift Registers	370
14.2	Shift Register, Serial-in/Serial-out Shift	373
14.3	Shift Register, Parallel-in, Serial-out	375
14.4	Serial-in, Parallel-out Shift Register	379
14.5	Parallel-in, Parallel-out, Universal Shift Register	382
14.6	Ring Counters	386
	QUESTIONS	389
Appendix A	Design Science License	391
Appendix B	Index	395
References	400

目 录

第 1 章 直流电路	1
1.1 电学基本概念	1
1.1.1 静态电	1
1.1.2 导体,绝缘体和电流	3
1.1.3 电压与电流	4
1.1.4 电阻	6
1.2 欧姆定律	7
1.2.1 电压,电流与电阻关系	7
1.2.2 电路中的功率	9
1.2.3 非线性导体	10
1.3 串联、并联电路	11
1.3.1 串联电路	11
1.3.2 并联电路	12
1.3.3 电导	14
1.3.4 串、并联混合电路	15
1.3.5 分析方法	15
1.4 基尔霍夫定律及分支电路	16
1.4.1 分压电路	16
1.4.2 基尔霍夫电压定律	17
1.4.3 分流电路	20
1.4.4 基尔霍夫电流定律	21
1.5 直流电路的网络分析方法	22
1.5.1 什么是网络分析	22
1.5.2 支路电流法	24
1.5.3 网孔电流法	28
1.5.4 结点电压法	36
1.5.5 网络定理介绍	39
习题	52
第 2 章 正弦交流稳态电路	55
2.1 基本交流电路理论	55
2.1.1 什么是交流电路	55
2.1.2 交流电路波形	57

2.1.3	交流电路幅度的测量	60
2.1.4	交流电路的相位	64
2.2	复数	65
2.2.1	复数的介绍	65
2.2.2	复相量的加法	66
2.2.3	极坐标及四边形法则	67
2.2.4	复数运算法则	70
2.3	交流电路的复相量方法	71
2.4	阻抗及复阻抗	73
2.4.1	交流电路的电阻	73
2.4.2	交流电路的电感	74
2.4.3	交流电路的电容	77
2.5	交流电路的计算	79
2.5.1	R, X 及 Z 特性回顾	79
2.5.2	串联 R, L 及 C 电路	80
2.5.3	并联 R, L 及 C 电路	82
2.5.4	电纳与复导纳	83
	习题	85
第 3 章	三相交流电路	88
3.1	三相对称电源的产生	88
3.2	三相电源的星形及角形接法	90
3.2.1	三相电源的星形接法	90
3.2.2	三相电源的角形接法	92
3.3	三相交流电的分析及计算	93
3.3.1	星形连接的三相负载及中线的作用	93
3.3.2	角形连接的三相负载	97
3.4	三相功率	98
	习题	102
第 4 章	频率响应, 滤波及谐振	104
4.1	傅里叶分析	104
4.2	非正弦波的有效值与平均功率	106
4.2.1	非正弦波的有效值	106
4.2.2	非正弦波的平均功率	107
4.3	滤波器	108
4.3.1	传递函数	108
4.3.2	低通滤波器	109
4.3.3	高通滤波器	112

4.3.4	带通滤波器	113
4.3.5	带阻滤波器	115
4.4	谐振	115
4.4.1	简单的并联谐振	117
4.4.2	简单的串联谐振	117
4.5	品质因数及谐振电路的带宽	118
4.5.1	串联谐振的品质因数	119
4.5.2	并联谐振的品质因数	120
4.5.3	谐振的应用	120
	习题	121
第 5 章	变压器	123
5.1	变压器的基本类型及互感器	123
5.2	变压器的结构和形式	130
5.2.1	理想变压器	131
5.2.2	单向变压器的理论及应用	134
5.3	特殊的变压器及其应用	138
5.3.1	自耦变压器	139
5.3.2	仪用变压器	140
5.3.3	三相变压器	141
5.3.4	电压互感器	144
5.3.5	气隙式变压器	144
5.3.6	饱和式变压器	145
5.3.7	线性微分变压器	147
	习题	147
第 6 章	交流电机	149
6.1	简介	149
6.2	三相感应电机的基本结构	151
6.3	三相感应电机的基本原理	152
6.3.1	单闭环磁场	152
6.3.2	感应力矩	154
6.3.3	旋转磁场	157
6.3.4	电机的反转及其旋转磁场的转速	159
6.3.5	电机的功率流向及损耗	161
6.4	三相同步电机的特性	163
6.4.1	电路特性	163
6.4.2	电磁转矩特性及机械特性	166
6.5	其他种类的交流电机	168