

ENGINEERING
ELECTROMAGNETICS
AND WAVES
SECOND EDITION

工程电磁学与电磁波

(第二版)

[美]于姆兰·伊南 (Umran S. INAN)

[美]阿齐兹·伊南 (Aziz S. INAN)

[美]瑞安·赛义德 (Ryan K. SAID)

著

游佰强 周建华 等

译



清华大学出版社



 Pearson

**ENGINEERING
ELECTROMAGNETICS
AND WAVES**
SECOND EDITION

工程电磁学与电磁波

(第二版)

[美]于姆兰·伊南 (Umran S. INAN)

[美]阿齐兹·伊南 (Aziz S. INAN)

[美]瑞安·赛义德 (Ryan K. SAID)

著

游佰强 周建华 等
译

新视野

电子电气

科技丛书

清华大学出版社
北京

贵州师范学院内部使用

北京市版权局著作权合同登记号 图字：01-2017-4641

Authorized translation from the English language edition, entitled ENGINEERING ELECTROMAGNETICS AND WAVES, Second Edition, 978-0-13-266274-1 by UMRAN S. INAN AZIZ S. INAN RYAN K. SAID, published by Pearson Education, Inc, publishing as Prentice Hall, copyright © 2015.

All Rights Reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

CHINESE SIMPLIFIED language edition published by PEARSON EDUCATION ASIA LTD., and TSINGHUA UNIVERSITY PRESS Copyright © 2019.

本书中文简体翻译版由培生教育出版集团授权给清华大学出版社出版发行。未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 Pearson Education(培生教育出版集团)激光防伪标签,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

工程电磁学与电磁波:第二版/(美)于姆兰·伊南(Umran S. INAN),(美)阿齐兹·伊南(Aziz S. INAN),(美)瑞安·赛义德(Ryan K. SAID)著;游佰强等译. —北京:清华大学出版社,2019

(新视野电子电气科技丛书)

书名原文:Engineering Electromagnetics and Waves, 2/E

ISBN 978-7-302-48932-0

I. ①工… II. ①于… ②阿… ③瑞… ④游… III. ①电磁学 ②电磁波 IV. ①O441

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 310391 号

责任编辑:梁颖 李晔

封面设计:傅瑞学

责任校对:梁毅

责任印制:沈露

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

印 装 者:三河市龙大印装有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:190mm×245mm

印 张:55.5

字 数:1145千字

版 次:2019年11月第1版

印 次:2019年11月第1次印刷

定 价:179.00元

产品编号:065239-01

致 家 人

本书通过强调物理概念上的理解和实际领域中的应用,让工程专业的学生可以牢固掌握电磁原理和电磁波等基本内容。本书从揭示传输线及其在高速分布参数电路的瞬态情况出发,很自然地引出电力线路与电磁学。

本书面向大专院校的高年级工程专业的学生,也面向那些希望通过自学来学习此科目的人员,以及那些需要一本最新参考教材的实践工程师。使用本书的读者应该已经完成了物理和数学方面的低年级经典课程,以及一门电气工程电路方面的先修课。

重要特点

本书的重要特点包括:

- 以现代化的章节组成,涵盖了传输线以及基本定律的展开;
- 着重物理概念上的理解;
- 给出详细的例子、精选的实例以及充分的讲解;
- 每章最后都有大量习题,特别强调精选的实例;
- 对伟大的科学先驱者们都有历史注解;
- 强调清晰易懂又不失严谨性和完整性;
- 几百个脚注提供了对物理概念的深入洞察、进一步阅读的引导以及对微妙有趣的概念及其应用的启发性讨论。

现代化的章节组成

实际和直观方法的运用将使读者能以很大的热情和兴趣去阅读这本工程教材。考虑到传输线的重要性不仅体现在微波和毫米波应用领域中,还体现在高速数字电子学、微电子学、集成电路、封装以及互连等应用领域中,本书首先从一个适当的层次通过涵盖传输线概念来与电路理论衔接。接着,在介绍了人类理解电磁现象的历史进程后,循序渐进地引出基本原理的主体内容,并以实验观察和物理学基础作为基本定律的依据,包括对基本实验精度的简单讨论,从而使得物理定律更

易得到理解和接受。

在建立起基本定律的完整体系后,就开始讨论这些定律最深远的内涵——电磁波传播。首先讨论在空旷的空间或简单的无界介质中波的传播,然后讨论电磁波从简单平面边界处的反射和折射,接着是电磁波在平面金属或电介质结构内部的传导,最后以介绍场与物质相互作用和人工电磁材料中的电磁波传播为主题作为全文的结束。

着重物理概念上的理解

未来的工程师和科学家需要对基本原理有清晰的理解和扎实的掌握,从而能解释、表达和分析实际复杂问题的求解结果。当今,他们不用也不应该花时间去手工获得这些数值计算结果,大部分的数字运算和公式推导都可以留给计算机和封装应用以及设计程序,因此扎实地掌握基本原理比以往任何时候都显得更加必要。本书一直跟踪已有的、新出现的和新兴的应用(以保持读者的兴趣),同时强调对基本概念的直观洞察力和对基本原理的稳固理解。我们努力赋予读者的能力不仅仅是掌握由公理表示出的简单一套矢量关系与公式的运作机制,而是在严谨的分析之外,还经常能从不同的角度对定律的实验依据、电磁场及其在介质中表现行为的微观与宏观概念以及电磁场与电磁波的物理本质等进行拓展性讨论。要以一种足够简明扼要和精准的方式在介绍性的电磁学层次上描述介质的电磁性能往往具有挑战性,另外对这一主题的扎实掌握目前显得比以往任何时候都更加有必要,特别是从许多开发利用这些物质的应用来看。为此,我们期望提炼出有关物理教材中可获取的基于物理层面处理模式的要点,提供对材料微观特性量化的物理观察,以及采用宏观参量对这种特性的描述,在遇到复杂的三维矢量微分和积分概念时加以讨论,还是强调直观洞察力。

详细的例子和充分的说明

本书采用一种简明扼要又精准的方式来描述内容,每个章节均举一些有趣的例子,许多例子强调精选的电磁学应用。在11章中有超过190个详细的举例,其中5章各自最少有20个例子。每个例子都通过缩写的主题标题、清晰的问题表述和详细的解答来呈现,意识到可视化对于读者在理解问题时的重要性,特以三维状态的电磁场以500多个图表和图形及其说明贯穿全书。

每章最后的大量习题

每章都以各种作业习题来结束,让读者检验他们对该章内容的理解程度,全书

11章总共有400多个练习题。每一个习题的主题思想都以缩写标题清晰地标示出(如“数字IC互连”或“环形电感”),许多问题揭示了有趣的实际应用,并且大部分章节都含有几个实际的“现实生活”方面的问题以激发读者的学习兴趣。

历史注解

有关电磁学进程的历史承载着对先驱科学家典范和科学思想进化的理解,我们一直以先驱伟人及其研究工作的永恒关联贯穿全书,以期达到对复杂物理概念有更好的了解,也使得读者一直抱有兴趣。

强调清晰易懂而又不失严谨性和完整性

本书以一种足够简单的层次表述内容,使得本科生能够读懂,但也为深入分析精选概念和应用提供了参考资料和脚注,并且不失严谨性。我们既提供了经典参考教材级别的严谨性和完整性,结合在一些长期使用的教材中得到很好举例说明的直观洞察力,又保留了现代教材对组成和描述清晰度的要求这一必要层次。在书体内部、举例中和章节后面的习题中,我们也对多元化的电磁学应用同时提供了浅显易懂和严谨深入的展示。

几百个脚注

鉴于基本概念的物理本质及其广泛的通用性,电磁学特别适合于有关物理和工程方面问题的各种思考方式,在可获取的科学文献和许多有助于理解的教材中也有更丰富的内容。几乎遇到的每一个新概念都可以不同方式来思考,有兴趣的读者以后可以去发掘其深奥的含义。通过在每章中提供的许多脚注,为书中的陈述提供进一步的注解和评价,为精选概念和应用的深入分析提供参考文献,由此鼓励这种对加深理解知识概念的学术性探索。全书11章共有550多个脚注,这些脚注并不妨碍重要主题的概念和进化的流程,而是提供了在非常规层次上一本教材不同寻常的完整性,这些有趣的、有时带有启发性的内容使得主题思想更加具有吸引力。

工程中的电磁学与电磁波

本书的特殊构成及其源于实验和物理层面的基本原理是受到了我们考量工程课程体系中的电磁学现状的启示,对电磁学的理解及其应用的评估相比电气工程专业的学生所遇到的其他主题普遍需要一种更高水平的抽象能力。初级电气工程师要学会如何处理在电路元件上出现的电压或在路径中流过的电流,这些电压与

电流之间的关系由电路元件的特性和基尔霍夫电流电压定律来确定。在集总参数电路中的电压与电流是仅作为时间函数发生变化的标量,也容易测得,读者可以通过他们以往的经验去联系它们,而这些参量之间的关联(即基尔霍夫定律)则是相对比较简单的代数方程或普通的微分方程。相反,电场和磁场是三维矢量,一般在时间和空间中都会发生变化,并且通过较为复杂的矢量偏微分方程或矢量积分方程相关联。即使理解了电场和磁场的物理本质,对场及其相互之间的影响的可视化仍然普遍需要较强的抽象思维能力。大部分学生是在上大学物理时首次接触到电磁学的,此时电学与磁学是以实验为基础来进行讨论的,引用物理定律(如库仑定律)并将其应用到相对比较简单和对称的结构中,此处场量表现为标量,控制方程简化至一阶积分或微分关系的代数方程。大学物理提供给学生对场和波及其一些可测得事件的最初经验,例如电力和磁力、电磁感应(法拉第定律)以及棱镜对光的折射等。

在选修矢量微积分课程后,大部分学生所接触到的电磁学的第一门课程旨在对麦克斯韦方程的拓展和理解,需要运用完整的三维矢量形式的场及其关系。正是这非常关键的一步使得电磁学科目对于许多学生来说显得高不可攀并丧失了兴趣,特别是再加上缺少对物理基本定律的重要应用和物理(以及实验)基础的讲解和讨论。许多作者和教师期望通过各种不同的主题构成去克服此困难,包括从麦克斯韦方程作为公理开始到首先从其实验基础去展开等等。

由于电磁学是一门非常成熟的基础学科,在介绍性教材中所涵盖的主题都已得到很好的设置,所以各种教材的主要区别在于这些主题的组织方式以及涵盖的范围和深度。《电磁学教学》曾是《IEEE 教育汇刊》的一个特刊(1990年2月第33卷),由 J. R. Whinnery 所撰写的一篇受邀文章中很好地总结了这方面所孕育的许多挑战和机遇。^① 其中,挑战包括:

(1) 对回到最初基本原理的需求(而不是依赖于所推导出的概念知识),特别是考虑到许多新涌现出来的应用,即那些运用材料非寻常特性和那些依赖非常规器件概念^②、次毫米波传输线^③以及光电波导^④的应用;

(2) 对保持学生学习兴趣的需求,尽管电磁学科目的普及性在减弱并被誉困难抽象的学科。^⑤ 机遇是无处不在的,特别是当工作在电子行业的工程师发现随着器件变得越来越小、越来越快,电路理论不足以去描述系统性能或促进设计

① J. R. Whinnery, 电磁学教学. IEEE Trans. on Education(IEEE 教育汇刊), 33(1), pp. 3-7, 1990. 2.

② D. Goldhaber-Gordon, M. S. Montemerlo, J. C. Love, G. J. Opitck, J. C. Ellenbogen, 纳米电子器件, Proc. IEEE, 85(4), pp. 521-540, 1997. 4.

③ L. P. B. Katehi, 用于亚毫米区间的新型传输线, Proc. IEEE, 80(11), pp. 1771-1787, 1992. 11

④ R. A. Soref, 硅基光电子学, Proc. IEEE(论文集), 81(12), 1993. 12.

⑤ M. N. O. Sadiku, 本科生学习电磁学遇到的问题, IEEE Trans. Education, 29(1), pp. 31-32, 1986. 2.

时。传输线概念不仅在微波和毫米波应用中显得重要,由于现代化的吉赫兹时钟速率和纳米尺度的制造技术发展,这些概念在高速数字电子学、微电子学、机场电路、互连^①以及封装应用^②中也显得非常必要。此外,诸如电磁干扰(EMI)和电磁兼容(EMC)这些问题的出现限制了系统级、板级和片级设计的性能,静态电荷现象对集成电路的设计和性能也有很大影响。^③ 光纤应用爆炸性地扩张,甚至达到100Gb/s^④的极高数据传输速率,加强了对了解电磁波及其导波传播基本概念的需求。传统的基于铜的传输线中所存在的基本带宽和功率限制问题正在驱动着光互连的发展,其以每个通道超过10Gb/s的速率应用于高性能计算中。^⑤ 在生物^⑥医学^⑦领域也涌现出很多重要的应用,需要更好地去了解电磁场。

在组织本书的材料过程中,我们很大程度得益于对斯坦福大学的电磁课程教学计划的审查(是由作者之一于1990年的春季期间主导的)。详细的分析由本科生课程和研究生课程构成,这些课程来自斯坦福大学和其他挑选出来的一些学校,此外还向挑选出的一些企业特别是航空航天部门做了调查工作。基于这些来自同行的反馈,并基于我们在斯坦福大学两个季度系列教学中所积累的经验,最终决定将重点放在基本原理和直观洞察力方面,而相关主题的传统排序将是最适宜的。另外确定了传输线理论及其应用可以很自然地放在场和波之前进行学习,从而让已具备了电路和系统经验的典型电气工程专业学生得到一个平滑过渡,同时也强调这些概念在高速电磁学和计算机应用领域中的重要性。

本版的新内容

在本书中,我们尽力去融合吸收来自我们以前的两本教材:《工程电磁学》^⑧和《电磁波》^⑨中最重要概念内涵,一些来自这两本书的高等级主题内容,如传输线用作谐振电路和圆柱形波导,则移至网络增编(参见后面的“在线增补”)部分。通过这些部分移至网络,可以更好地让读者将注意力集中在传输线、电磁学和电磁

① S. H. Hall, L. H. Heck, 用于高速数字设计的先进信号集成, John Wiley & Sons, 2011.

② H. B. Bakoglu, VLSI 的电路、互连和封装, Addison Wesley, 1990.

③ J. E. Vinson, J. J. Liou, 半导体器件中的静态放电, Proc. IEEE, 86(2), pp. 399-418, 1998, 2.

④ N. Cvijetic, D. Qian, J. Hu, 基于光正交频分复用的100Gb/s光接入技术, Communication Magazine (通信杂志), IEEE 48(7), pp. 70-77, 2010.

⑤ L. Chrostowski, K. Iniewski, 高速光子学互连(第13卷), CRC出版社, 2013.

⑥ R. H. Funk, T. Monsees, N. Ozkucur, 电磁效应——从细胞生物学到医学, Progress in Histochemistry and cytochemistry(组织化学和细胞化学中的进展), 43(4), 177-264, 2009.

⑦ E. J. Bond等, 用于乳腺癌早期检测的基于时空波束形成的微波成像, Antennas and Propagation, IEEE Trans, on(天线与传播汇刊), 51(8), pp. 1690-1705, 2003.

⑧ U. S. Inan, A. S. Inan, 工程电磁学, Addison Wesley Longman, 1999.

⑨ U. S. Inan, A. S. Inan, 电磁波, Prentice Hall, 2000.

波的核心内容上。我们也引入了两个新章节,是关于越来越显得重要的现代化主题思想的:微机电系统(MEMS)和人工电磁材料。这些虽然属于相对先进的主题,但某些支撑着两个领域活跃的研究和发展的基础物理直接与本书所表述的核心概念相连,从而也说明电磁学和电磁波的扎实基础对于现代技术来说仍然是多么重要的具体实例。

下面总结了在第二版引入的变化和增补内容:

将两个首版教材的主题合并成为单本书籍,同时涵盖了工程电磁学与电磁波;

增加了两个新章节:微机电系统(4.14节)和超材料(11.3节);

为泊松方程增加了一个证明唯一性定理的附录(附录B);

将两个首版教材中的几个先进主题内容移至网络可获取的独立增编章节;

进行了大量编辑以增加清晰度和改进一些更具有挑战性的主题的表述;

更新、改进或增补了100多个新的章后习题;

更正了自首版教材出版以来所发现的所有错误。

推荐的课程内容

鉴于此单卷本涵盖的主题较宽广,教师可以根据课程的期限来裁剪课程内容。表1和表2分别列出了针对单个课程和两个序列课程所推荐的内容组织,每个表详细列出了基于季度系统(每个季度每门课程32学时)和学期系统(每个学期每门课程42学时)所推荐的内容组织。在“覆盖范围”一栏下标出的章节是为了完整覆盖内容(包括说明性例子)所建议的,而那些“略读”一栏下标出的章节则建议粗略带过(虽然所提供的材料在学生想要更深入涉猎的情况下显得更完整)。一个学期课程体系为学生提供如下内容:

- (1) 传输线的工作机理;
- (2) 基于物理的稳固背景和对麦克斯韦方程及其实验基础扎实的理解;
- (3) 电磁波的介绍。

除了传输线章节更深入的涵盖内容和麦克斯韦方程的拓展,两个学期课程体系还提供给学生有关电磁波现象及其应用方面的运作知识。

表1 推荐的课程内容:单个季度或单个学期

章	季度课程 (32学时)		学期课程 (42学时)	
	覆盖范围	略读	覆盖范围	略读
1	所有节		所有节	
2	2.1~2.4	2.7	2.1~2.5	2.7
3	3.1~3.3		3.1~3.6	

续表

章	季度课程 (32 学时)		学期课程 (42 学时)	
	覆盖范围	略读	覆盖范围	略读
4	4.1~4.9	4.10	4.1~4.10	4.12
5	5.1~5.5		5.1~5.5	5.7
6	6.1~6.7	6.8	6.1~6.7	6.10
7	7.1, 7.2, 7.4	7.3, 7.5	7.1, 7.2, 7.4	7.3, 7.5
8	8.1, 8.2		8.1~8.4	
9				
10				
11				

表 2 推荐的课程内容：两个季度或两个学期

章	两个季度课程 (64 学时)		两个学期课程 (84 学时)	
	覆盖范围	略读	覆盖范围	略读
1	所有节		所有节	
2	所有节		所有节	
3	3.1~3.36		所有节	
4	4.1~4.12		4.1~4.13	4.14
5	5.1~5.7	5.8	所有节	
6	6.1~6.9		所有节	
	季度休息		学期休息	
7	所有节		所有节	
8	8.1~8.6		所有节	
9	9.1~9.3, 9.5~9.7		所有节	
10	所有节		所有节	
11	11.1, 11.2		11.1, 11.2	11.3

教师手册

我们坚定地相信实践是学习的关键,并且作业和测验是教学的所有工具——虽然一时可能得不到学生的认同。在我们讲授的课程中,我们很自豪可以给学生提供作业和测试题的详细解答,而不是简略的答案。为了协助选择使用本书的教师,我们采用与在章节中举例类似的逐步详细的方式,精心准备了解决方案手册,描述每一章后习题的求解方法。教师可以通过 www.pearsonhigered.com 申请获

得这本教师手册,有关此手册的补充信息和勘误表也可以在网上 www.pearsonhigered.com/inan 获取。

作为此书的作者,我们期待与其使用者包括学生和教师进行互动,从而收集并回复他们的意见、问题和更正,通过 inan@stanford.edu (<http://vlf.stanford.edu/>)、uninan@ku.edu.tr (<http://www.ku.edu.tr/en/about-ku/president>)、ainan@up.edu (faculty.up.edu/ainan/)以及 ryan.said@vaisala.com 这些电子邮件可以方便地联系到我们。

在线增补

书中的主题通过仔细挑选来给学生提供一个有关传输线、麦克斯韦方程以及电磁波传播和导波的坚实基础,本书的目的是让读者更直观地理解这些基本概念,由此使学生很好地学会将这些原理用来求解新的难题,将他/她的学习推广到更高级的主题。由于每个主题讨论的广度,为了便于进行,把一些来自首版的较高级主题作为在线增补内容,此增补包括表 3 列出的章节,可以在 www.pearsonhigered.com/inan 网上免费获取。

增补章节涵盖扩展本书核心内容的高级主题,增补 A 包括挑选出的传输线高级主题,涉及有耗传输线上的瞬态和传输线用作谐振电路方面的内容,增补 A 的应用实例呈现的是可以接着第 2 章和第 3 章后面进一步阅读的内容。其他增补章节则涵盖与来自本书最后 4 章相关的先进材料。增补 B 扩展了在第 8 章和第 9 章中介绍的两个高级主题:非平面波的例子与良导体在斜入射情况下的反射。增补 C 是将来自第 10 章的平面波导处理情况扩展到二维限制的情况。增补 D 介绍腔体谐振,其处理情况自然遵循在增补 C 中涉及的二维波导。增补 E 拓展了在 11.1 节和 11.2 节中遇到的场与物体之间相互作用的主题。增补 F 介绍电磁辐射和基元天线,这部分内容将第 8~11 章中所学到的电磁场与它们的发射源联系起来。

表 3 增补:高级主题(可在线获取)

增补 A	传输线:高级主题
增补 B	杂波主题
增补 C	圆柱波导
增补 D	腔体谐振器
增补 E	场与物体之间的相互作用:高级主题
增补 F	电磁辐射与基元天线

致谢

衷心感谢那些对此书的成功完成做出了巨大贡献的人们!这里要感谢斯坦福

大学的 J. W. Goodman 教授,他在担任系主任整个期间为我们的教材写作给予了无私的支持;还要特别感谢斯坦福大学的 Gordon Kino 教授和 Timothy F. Bell 博士,他们协助我们对第一版的初级文稿进行了课堂测试;非常感谢众多的同行和以前的学生找出本书存在的错误和提出修改意见;感谢 Jun-Hua Wang 夫人协助第一版的打印工作和一些说明的拟稿;感谢斯坦福大学的 Robert Marshall 博士协助准备用于单行综合本的两个首版文稿,以及 Gunes Aydindogan 协助排版了大部分解题手册。我们特别感谢第一版的审稿者们提出了宝贵的意见和建议,包括得克萨斯大学阿灵顿分校的 J. Bredow、新墨西哥州立大学的 S. Castillo、北卡罗莱纳大学夏洛特分校的 R. J. Coleman、加州大学戴维斯分校的 A. Dienes、科罗拉多大学的 J. Dunn、普渡大学的 D. S. Elliott、路易斯安那州立大学的 R. A. Kinney、菲尔莱狄更斯大学的 L. Rosenthal、新墨西哥大学的 E. Schamiloglu、奥本大学的 T. Shumpert、爱荷华州立大学的 D. Stephenson、佛罗里达大学的 E. Thomson、密歇根大学的 J. Volakis 和俄勒冈州立大学的 A. Weisshaar。

非常感谢 Pearson 公司的执行主编 Scott Disanno 和他的团队为本书所做出的努力,包括 Michelle Bayman、William Opaluch、Joanne Manning 和 Julie Bai。还要感谢 Laserwords 公司的 Haseen Khan 和他的团队在本书的版面设计和制作细节方面所给予的奉献精神和关注度。

我们将此书献给我们的父母 Mustafa & Hayriye Inan,感谢他们对我们教育事业的无私奉献;献给我们的妻子 Elif 和 Belgin,感谢她们一如既往的支持和理解,此项工作远远超出了我们最初的期望并且占用了我们太多的时间;还要献给我们的孩子 Ayse、Ali、Baris 和 Cem 以及孙子女 Ayla 和 Nisa,感谢他们给我们生活带来的快乐。

Umran S. Inan

Aziz S. Inan

我要感谢 Umran Inan 和 Aziz Inan 教授给我提供此机会参与此书的编辑工作。当我还是斯坦福大学刚入学的研究生时,就有幸从构成此第二版基础的两个最初版本教材来学习电磁学。很荣幸有机会来协助整编一本综合版书籍,它涵盖了我十年前就有幸承担的相关课程的所有内容。我要将此书献给我的父母 James 和 Connie,为了他们培育我对科学的热情;还要献给我的姐姐 Amirah,为了她给予我坚定不移的精神支持。

Ryan K. Said

作者简介

Umran S. Inan 是土耳其伊斯坦布尔 Koc 大学的校长、电气工程与物理学系的教授,也是斯坦福大学电气工程系的教授(荣誉)并指导了 60 位博士的论文。Inan 是 IEEE、美国地球物理联合会和美国物理协会的会士,曾获得 URSI 皇家协会的阿普尔顿奖、斯坦福大学的 Allan Cox 奖、土耳其科学与技术研究协会的科学特别奖、斯坦福大学的 Tau Beta Pi 教学杰出奖,以及众多的 NASA 和 ESA 团队成就奖。

Aziz S. Inan 是波特兰大学电气工程系的教授,并担任系主任,曾获得学校的教学奖,主要研究电磁波在导体和非均匀介质中的传播。他是 Tau Beta Pi 和 IEEE 的成员。

Ryan K. Said 在斯坦福大学电气工程系获得博士学位,他在 Vaisala 有限公司作为一名研究者和系统工程师,主要工作是防雷检测技术及其应用开发。他曾获得年轻工程师的 HMEI 奖,并且是美国地球物理联合会的成员。

第 1 章 概述	1
1.1 集总参数电路与分布参数电路	5
1.1.1 上升时间与行进时间	7
1.1.2 周期与行进时间	8
1.1.3 元件尺寸与波长	10
1.2 电磁元件	12
1.3 麦克斯韦方程组和电磁波	13
1.4 小结	15
习题	16
第 2 章 传输线的瞬态响应	20
2.1 传输线性能和电路模型的启发式讨论	21
2.1.1 传输线性能的启发式讨论	22
2.1.2 传输线的电路模型	23
2.2 传输线方程组和波动求解	25
2.2.1 传输线方程组	26
2.2.2 有耗传输线的行进波求解	27
2.3 在不连续处的反射	32
2.3.1 反弹图	34
2.3.2 反射过程	36
2.3.3 开路和短路传输线	38
2.4 带阻性终端的传输线瞬态响应	43
2.4.1 带阻性阻抗的单根传输线	43
2.4.2 传输线之间的连接点	50
2.5 电抗性负荷传输线的暂态响应	54
2.6 时域反射仪	63

2.7	传输线参数	67
2.8	小结	70
	习题	71
第3章	传输线上的稳态波	89
3.1	采用相量的波求解法	90
3.2	带短路或开路终端的传输线上的电压和电流	93
3.2.1	短路传输线	95
3.2.2	开路传输线	99
3.2.3	作为电抗性电路元件的开路和短路传输线	101
3.3	端接任意阻抗的传输线	103
3.3.1	电压和电流驻波图形	105
3.3.2	传输线阻抗	111
3.3.3	V^+ 的计算	120
3.4	传输线上的功率流	122
3.5	阻抗匹配	130
3.5.1	利用集总电抗性元件的匹配法	130
3.5.2	利用串联或并联短截线的匹配法	134
3.5.3	四分之一波转换匹配	138
3.6	史密斯圆图	144
3.6.1	复阻抗映射至复 Γ	145
3.6.2	利用史密斯圆图的例子	149
3.6.3	来自史密斯圆图的电压和电流幅度	153
3.7	有耗线的正弦稳态特性	155
3.7.1	无限长或已匹配的传输线	156
3.7.2	有耗负载传输线	161
3.8	小结	168
	习题	171
第4章	静态电场	186
4.1	电荷	188
4.1.1	法拉第金箔验电器	190
4.1.2	电荷及原子结构	191
4.2	库仑定律	192

4.2.1	库仑及其实验	196
4.2.2	库仑定律的准确性和有效性	198
4.3	电场	200
4.3.1	多电荷下的电场	202
4.3.2	电荷连续分布时的电场	204
4.3.3	这就是静电学的全部吗	208
4.3.4	电场的可视化: 电场线	209
4.4	电势	212
4.4.1	移动一检验电荷所要做的功: 静电势	212
4.4.2	静电势和电场	217
4.4.3	多个点电荷产生的静电势	222
4.4.4	电荷连续分布时的静电势	224
4.5	电通量和高斯定理	227
4.5.1	电位移和电通密度 D	228
4.5.2	高斯定理	231
4.5.3	高斯定理的应用	233
4.6	散度: 高斯定理的微分形式	238
4.7	金属导体	245
4.7.1	宏观与微观领域	246
4.7.2	金属导体表面电场	248
4.7.3	导体感应电荷	250
4.7.4	静电屏蔽和平方反比定律的检验	254
4.7.5	金属导体力	256
4.8	泊松方程和拉普拉斯方程	258
4.9	电容	263
4.10	介电材料	270
4.10.1	极化率	270
4.10.2	介电常数概念	275
4.10.3	介质击穿	280
4.11	静电边界条件	285
4.12	静电能	290
4.12.1	电荷和电势角度下的静电能	291
4.12.2	电场角度下的静电能	293
4.13	静电力	299