



物联网

高建良 贺建飏 编著

RFID原理与技术

- ◎ 本书分为射频理论、识别技术和典型应用三个部分
- ◎ 本书的各个部分相对具有独立性，可满足不同的教学需求
- ◎ 本书配有教学课件，方便教学使用



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

013048458

F253.9
82

国家级特色专业（物联网工程）规划教材

物联网 RFID 原理与技术

高建良 贺建飏 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry



北航

C1656512

F253.9

82

013048422

内 容 简 介

本书是依托中南大学国家级特色专业(物联网工程)的建设,结合国内物联网工程专业的教学情况编写的。本书从一个全新的体系介绍物联网 RFID 的原理与技术,全书分为三个部分,共 12 章。从射频识别的“射频”(包括传输线理论、谐振电路、天线基础),到射频识别的“识别”(包括 RFID 系统的读写器和电子标签,以及读写器与电子标签之间的通信技术:编码与调制技术、防碰撞技术和安全技术),最后以“应用”结尾(包括 RFID 技术广泛应用的前提——标准化,基于 RFID 的典型物联网架构——EPC 系统,以及 RFID 技术在四个不同领域的应用实例)。这三部分内容自底向上自成体系,不仅可以高屋建瓴地从全局角度掌握 RFID 技术,也可以方便地对每个具体的知识点进行深入的学习。

本书可作为普通高等学校物联网工程及相关专业的教材,也可供从事物联网及相关专业的人士参考。

本书配有教学课件,读者可登录华信教育资源网(www.hxedu.com.cn)免费下载。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

物联网 RFID 原理与技术/高建良,贺建飏编著. —北京:电子工业出版社,2013.7

国家级特色专业(物联网工程)规划教材

ISBN 978-7-121-20650-4

I. ①物… II. ①高… ②贺… III. ①射频—无线电信号—信号识别—教材 IV. ①TN911.23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 122948 号

责任编辑:田宏峰 特约编辑:牛雪峰

印 刷:三河市鑫金马印装有限公司

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×980 1/16 印张:13.75 字数:306 千字

印 次:2013 年 7 月第 1 次印刷

印 数:3 000 册 定价:39.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

出版说明

物联网是通过射频识别 (RFID)、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器等信息传感设备,按约定的协议,把任何物品与互联网相连接,进行信息交换和通信,以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络概念。物联网是继计算机、互联网和移动通信之后的又一次信息产业的革命性发展。物联网产业具有产业链长、涉及多个产业群的特点,其应用范围几乎覆盖了各行各业。

2009年8月,物联网被正式列为国家五大新兴战略性产业之一,写入“政府工作报告”,物联网在中国受到了全社会极大的关注。

2010年年初,教育部下发了高校设置物联网专业申报通知,截至目前,我国已经有100多所高校开设了物联网工程专业,其中有包括中南大学在内的9所高校的物联网工程专业于2011年被批准为国家级特色专业建设点。

从2010年起,部分学校的物联网工程专业已经开始招生,目前已经进入专业课程的学习阶段,因此物联网工程专业的专业课教材建设迫在眉睫。

由于物联网所涉及的领域非常广泛,很多专业课涉及其他专业,但是原有的专业课的教材无法满足物联网工程专业的教学需求,又由于不同院校的物联网专业的特色有较大的差异,因此很有必要出版一套适用于不同院校的物联网专业的教材。

为此,电子工业出版社依托国内高校物联网工程专业的建设情况,策划出版了“国家级特色专业(物联网工程)规划教材”,以满足国内高校物联网工程的专业课教学的需求。

本套教材紧密结合物联网专业的教学大纲,以满足教学需求为目的,以充分体现物联网工程的专业特点为原则来进行编写。今后,我们将继续和国内高校物联网专业的一线教师合作,以完善我国物联网工程专业的专业课程教材的建设。

电子工业出版社

教材编委会

编委会主任：施荣华 黄东军

编委会成员：（按姓氏字母拼音顺序排序）

董 健 高建良 桂劲松 贺建飏
黄东军 刘连浩 刘少强 刘伟荣
鲁鸣鸣 施荣华 张士庚

射频识别 (Radio Frequency Identification, RFID) 技术是一种利用射频信号在空间耦合实现无接触的信息传输, 并通过所传输的信息自动识别目标对象的技术。RFID 系统如同物联网的触角, 使得自动识别物联网中的每一个物体成为可能, 是构建物联网的基础。各高等院校也都将射频识别技术列为物联网工程等相关专业的核心课程, 可见物联网 RFID 技术的重要性。

本书从一个全新的体系介绍物联网 RFID 的原理与技术。全书分为三个部分, 共 12 章。从射频识别的“射频”, 到射频识别的“识别”, 最后以“应用”结尾。这三部分内容自底向上自成体系, 不仅可以高屋建瓴地从全局角度掌握 RFID 技术, 也可以方便地对每个具体的知识点进行深入的学习。

第一部分包含第 1~3 章, 讲述射频识别中的“射频”部分。本书首次将射频电路知识(传输线理论、谐振电路和天线基础)作为射频识别的基础进行了介绍, 这将使得没有射频电路基础的读者也可以很好地理解射频识别。

其中, 第 1 章为传输线理论, 介绍射频电路中的基本概念——传输线, 这一章是本书中独立性最大的一章, 读者可以根据实际情况决定是否学习本章内容。第 2 章为谐振电路, 主要介绍串联谐振和并联谐振, 是后续章节介绍 RFID 通信过程的理论基础。第 3 章为天线基础, 介绍 RFID 系统常用的天线及天线的电参数。

第二部分包含第 4~9 章, 讲述射频识别中的“识别”部分, 重点介绍射频识别系统的主要组成部分(电子标签、读写器), 以及读写器与电子标签的通信技术(编码与调制技术、防碰撞技术和安全技术)。

其中, 第 4 章为物联网 RFID 系统概述, 讲述 RFID 系统的基本概念和分类。第 5 章和第 6 章分别为电子标签和读写器, 介绍它们的基本构成和工作原理。第 7 章介绍读写器与电子标签之间进行通信的重要步骤——编码与调制。第 8 章和第 9 章分别讲述 RFID 通信中的关键问题——防碰撞技术和安全技术。

第三部分包含第 10~12 章, 讲述射频识别技术的应用。

其中, 第 10 章为 RFID 标准, 介绍 RFID 技术广泛应用的前提——标准化。第 11 章介绍物联网的典型架构——EPC 系统, 该系统可在 RFID 的基础上, 构建一个全球互联的物联

网。第 12 章介绍 RFID 在四个不同领域的典型应用实例。

本书在编写过程中力求深入浅出、重点突出、简明扼要，尽可能方便不同专业背景和知识层次的读者阅读。本书配套的课件资料可从 www.hxedu.com.cn（华信教育资源网）免费下载。

中南大学信息科学与工程学院研究生康雪丹、崔文成、刘仕谦、夏伟、文国军、张玲玉，以及中南大学首届物联网工程专业的学生侯翔宇、代隽杰、谢敏、郑艺超等人为本书提供了大量编写素材，以及在内容录入、排版、绘图方面等做了大量工作。在此，谨对上述人士表示诚挚的谢意。

特别感谢中南大学黄东军教授、吴敏教授、王建新教授、王伟平教授、金瓯教授、施荣华教授，他们在本书的编写过程中给予编者极大的鼓励和帮助，否则编者不可能将本书的编写付诸实施。感谢电子工业出版社，特别是田宏峰编辑在本书的编写中付出的辛勤劳动。

另外，本书部分内容参考了大量公开资料和网络上的资源，对他们的工作致以深切的谢意。需要指出的是，物联网工程专业是一个全新的专业，因此要编写一本完美的物联网 RFID 教材绝非易事。由于水平有限，书中难免存在疏漏或者错误，希望广大读者不吝赐教。如有任何建议、意见或者疑问，请及时联系作者，以期在后续版本中改进和完善。

编 者

2013 年 5 月

第 1 章 传输线理论	1
1.1 认识传输线	2
1.1.1 长线的含义	2
1.1.2 传输线的构成	2
1.1.3 传输线举例	3
1.2 传输线等效电路表示法	4
1.3 传输线方程及传输线特征参数	5
1.3.1 一般传输线方程——基尔霍夫定律表示式	5
1.3.2 特性阻抗	7
1.3.3 传播常数	8
1.4 均匀无耗传输线工作状态分析	8
1.5 本章小结	9
思考与练习	10
第 2 章 谐振电路	11
2.1 串联谐振电路	12
2.1.1 串联谐振电路的谐振条件	12
2.1.2 串联谐振电路的谐振特性	13
2.1.3 串联谐振电路的谐振曲线和通频带	16
2.1.4 串联谐振电路的有载品质因数	17
2.1.5 串联谐振电路在 RFID 中的应用	18
2.2 并联谐振电路	18
2.2.1 并联谐振电路的组成	18
2.2.2 并联谐振电路的谐振条件	19
2.2.3 并联谐振电路的谐振特性	19
2.2.4 并联谐振电路的谐振曲线和通频带	20
2.2.5 并联谐振电路的有载品质因数	21

2.2.6	并联谐振电路在 RFID 中的应用	21
2.3	传输线谐振电路概述	23
2.4	本章小结	23
	思考与练习	25
第 3 章	天线基础	27
3.1	天线概述	28
3.1.1	天线的定义	28
3.1.2	天线的分类	28
3.2	基本振子的辐射	29
3.2.1	电基本振子的辐射	29
3.2.2	磁基本振子的辐射	31
3.3	天线的电参数	31
3.3.1	天线的效率	31
3.3.2	输入阻抗	32
3.3.3	频带宽度	32
3.3.4	方向图	33
3.3.5	天线的增益	34
3.3.6	极化特性	34
3.4	RFID 系统常用天线	35
3.4.1	对称振子天线	35
3.4.2	引向天线	36
3.4.3	微带天线	37
3.5	不同频段的 RFID 天线技术	38
3.5.1	低频和高频 RFID 天线技术	38
3.5.2	微波 RFID 天线技术	39
3.6	本章小结	40
	思考与练习	41
第 4 章	物联网 RFID 系统概论	43
4.1	自动识别技术简介	44
4.1.1	条形码	44
4.1.2	生物特征识别技术	45
4.1.3	射频识别 (RFID)	46
4.2	射频识别系统组成	47
4.2.1	读写器 (Reader)	48

4.2.2	电子标签 (Tag)	48
4.2.3	上层管理系统	48
4.3	RFID 系统的分类	48
4.3.1	按照工作方式进行分类	49
4.3.2	按照电子标签的数据量进行分类	49
4.3.3	按照读取信息手段进行分类	50
4.4	RFID 系统使用的频率	50
4.4.1	低频	50
4.4.2	高频	51
4.4.3	超高频	51
4.4.4	微波	52
4.5	本章小结	52
	思考与练习	53
第 5 章	电子标签	55
5.1	智能卡与电子标签	56
5.1.1	磁卡	56
5.1.2	IC 卡	57
5.1.3	电子标签	58
5.2	电子标签的类别	59
5.2.1	工作方式类别	59
5.2.2	可读写性类别	60
5.2.3	工作频率类别	61
5.3	电子标签的组成结构	62
5.3.1	电子标签的天线	62
5.3.2	电子标签的芯片	65
5.4	电子标签的封装	68
5.4.1	电子标签的封装加工	68
5.4.2	电子标签的封装形式	69
5.5	一种典型的电子标签 (S50 卡)	71
5.5.1	内部结构与工作过程	71
5.5.2	存储器组织与访问控制	72
5.6	RFID 电子标签的问题及趋势	75
5.6.1	RFID 电子标签存在的问题	75
5.6.2	RFID 电子标签的发展趋势	76

5.7	本章小结	77
	思考与练习	77
第6章	RFID 读写器	79
6.1	读写器的基本原理	80
6.1.1	读写器的基本功能	80
6.1.2	读写器的工作过程	81
6.2	读写器的基本构成	82
6.2.1	射频模块	83
6.2.2	逻辑控制模块	83
6.2.3	天线模块	84
6.3	读写器的结构形式	85
6.3.1	固定式读写器	85
6.3.2	便携式读写器	86
6.4	读写器管理技术	87
6.4.1	读写器管理协议	87
6.4.2	多读写器组网技术	89
6.4.3	读写器发展趋势	89
6.5	本章小结	90
	思考与练习	90
第7章	编码与调制	91
7.1	RFID 系统的通信过程	92
7.2	RFID 信源编码方法	94
7.3	差错控制编码（信道编码）	97
7.3.1	差错控制编码的相关概念	97
7.3.2	常用的差错控制编码	99
7.4	RFID 系统调制方法	103
7.4.1	振幅键控	104
7.4.2	频移键控	105
7.4.3	相移键控	106
7.4.4	副载波调制	107
7.5	RFID 系统的耦合方式与调制	109
7.5.1	电感耦合与负载调制	109
7.5.2	电磁反向散射耦合与调制	112
7.6	本章小结	113

思考与练习	114
第 8 章 RFID 防碰撞技术	115
8.1 RFID 系统中的碰撞与防碰撞	116
8.1.1 RFID 系统中的碰撞	116
8.1.2 RFID 系统中防碰撞算法分类	117
8.2 ALOHA 算法	119
8.2.1 纯 ALOHA 算法	120
8.2.2 时隙 ALOHA 算法	121
8.2.3 帧时隙 ALOHA 算法	121
8.2.4 动态帧时隙 ALOHA 算法	122
8.3 二进制树型搜索算法	123
8.3.1 二进制树型搜索	123
8.3.2 动态二进制树型搜索	128
8.3.3 基于随机数和时隙的二进制树搜索	130
8.4 本章小结	131
思考与练习	132
第 9 章 RFID 系统的安全	133
9.1 RFID 系统面临的安全攻击	134
9.2 RFID 系统安全解决方案	135
9.2.1 物理方法	135
9.2.2 逻辑方法	136
9.3 智能卡的安全问题	139
9.3.1 影响智能卡安全的基本问题	139
9.3.2 物理安全	139
9.3.3 逻辑安全	140
9.4 本章小结	143
思考与练习	143
第 10 章 物联网 RFID 标准	145
10.1 RFID 标准概述	146
10.1.1 RFID 国际标准化机构	146
10.1.2 RFID 标准体系	147
10.1.3 RFID 标准多元化的原因	149
10.2 ISO/IEC 的相关标准	150
10.2.1 ISO/IEC 的标准体系	150

10.2.2	非接触式 IC 卡国际标准 (ISO/IEC 14443)	150
10.2.3	空中接口通信协议标准 (ISO/IEC 18000)	155
10.3	EPC 的相关标准	158
10.3.1	EPCglobal 的 RFID 标准体系	158
10.3.2	EPCglobal 与 ISO/IEC RFID 标准之间的关系	161
10.4	本章小结	162
	思考与练习	162
第 11 章	物联网的典型架构——EPC 系统	163
11.1	RFID 系统应用类型	164
11.1.1	开放式 RFID 应用系统	164
11.1.2	非开放式 RFID 应用系统	165
11.1.3	基于 EPC 的开放式 RFID 应用系统	165
11.2	EPC 系统的组成	165
11.2.1	EPC 系统与物联网	165
11.2.2	EPC 系统构成	166
11.2.3	EPC 系统的特点	168
11.3	EPC 编码体系	168
11.3.1	EPC 编码原则	168
11.3.2	EPC 编码的结构	169
11.3.3	EPC 编码的类型	171
11.4	EPC 信息网络系统	173
11.4.1	Savant 中间件	173
11.4.2	对象名称解析服务 ONS	174
11.4.3	EPC 信息服务	177
11.5	本章小结	178
	思考与练习	178
第 12 章	RFID 的应用实例	181
12.1	RFID 在防伪领域的应用	182
12.1.1	RFID 在票券防伪中的应用	182
12.1.2	RFID 在贵重商品防伪中的应用	184
12.2	RFID 在公共安全领域的应用	187
12.2.1	基于 RFID 技术的智能门禁系统	187
12.2.2	RFID 在矿井安全中的应用	188
12.2.3	RFID 在食品安全中的应用	189

12.3	RFID 在医疗卫生领域的应用	191
12.3.1	RFID 在医疗卫生行业中的应用概述	191
12.3.2	基于 RFID 技术的智能医护系统	192
12.4	RFID 在智能交通领域的应用	194
12.4.1	基于 RFID 技术的不停车收费系统	194
12.4.2	基于 RFID 技术的智能公交系统	196
12.5	本章小结	198
	思考与练习	198
	参考文献	200

第 1 章

传输线理论



射频识别 (Radio Frequency Identification, RFID), 是 20 世纪 80 年代发展起来的一种自动识别技术, RFID 利用射频信号的空间耦合实现无接触信息传输并通过所传输的信息进行目标识别。射频识别包括射频 (Radio Frequency, RF) 与识别 (Identification, ID) 两个部分。其中“射频”部分主要指电子标签和读写器中的射频电路即射频前端和天线, 是实现射频识别的基础。

本章将引入射频电路设计中的基本概念——传输线。随着工作频率的升高, 波长不断减小, 当波长可以与电路的几何尺寸相比拟时, 传输线上的电压和电流将随着空间位置而变化, 这一点与低频电路完全不同。在射频频段, 基尔霍夫定律不再适用, 必须使用传输线理论取代低频电路理论。

1.1 认识传输线

1.1.1 长线的含义

传输线是传输电磁能量的一种装置, 在低频电路中的导线属于传输线的一种特例。导线属于低频传输线, 在低频传输线中, 电流几乎均匀地分布在导线内部。随着工作频率的升高, 波长不断减小, 电流集中在导体表面, 导体内部几乎没有能量传输。传输线上的电压和电流随着空间位置不同而变化, 电压和电流呈现出波动性。下面引入长线的概念来区分它们。

长线是指传输线的几何长度和线上传输电磁波的波长的比值 (即电长度) 大于或接近于 1; 反之, 则称为短线。可见, 长线和短线是相对的概念, 取决于传输线的电长度而不是它的几何长度。在射频电路中, 传输线的几何长度有时只不过几厘米, 但因为这个长度已经大于工作波长或与工作波长差不多, 仍称它为长线; 而输送市电的电力线, 即使几何长度为几千米, 但与市电的波长 (如 6 000 km) 相比, 还是小得多, 所以仍然只能将它看作短线。传输线理论是针对长线而言的, 用来分析传输线上电压和电流分布, 以及传输线上阻抗的变化规律。传输线理论是电路理论与电磁场波动理论的结合, 可以认为它是电路理论的扩展, 也可以认为它是电磁场波动方程的解。

在传统的低频电路中, 连接元件的导线是理想的短路线, 只需考虑传输信号幅度, 而无须考虑相位, 称之为集总参数电路。而在射频电路中, 长线上每一点都分布有电阻、电感、电容和电导, 导致沿线的电流、电压随时间和空间位置不同而变化, 称为分布参数电路。

1.1.2 传输线的构成

从传输模式上看, 传输线上传输的电磁波可以分为三种类型。

(1) TEM 波 (横电磁波): 电场和磁场都与电磁波传播方向相垂直。

(2) TE 波 (横电波): 电场与电磁波传播方向相垂直, 传播方向上只有磁场分量。

(3) TM 波 (横磁波): 磁场与电磁波传播方向相垂直, 传播方向上只有电场分量。

TEM 波模型如图 1-1 所示, 电场 (E) 与磁场 (H) 与电磁波传播方向 (V) 垂直。TEM 传输线上电磁波的传播速度与频率无关。本书射频电路只涉及 TEM 传输线。

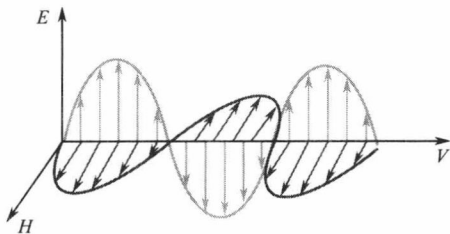


图 1-1 TEM 波模型

► 1.1.3 传输线举例

TEM 传输线有很多种类, 常用的有双线传输线、同轴线、带状线和微带线 (传输准 TEM 波), 用来传输 TEM 波的传输线一般由两个 (或两个以上) 导体组成。

1. 同轴线

当频率高达 10 GHz 时, 几乎所有射频系统或测试设备的外接线都是同轴线。如图 1-2 所示, 同轴线由内圆柱导体 (半径为 a)、外导体 (半径为 b) 和它们之间的电解质层组成。通常, 外导体接地, 电磁场被限定在内外导体之间, 所以同轴线基本没有辐射损耗, 也几乎不受外界信号干扰。同轴线的工作频带比双线传输线宽, 可以用于大于厘米波的波段。

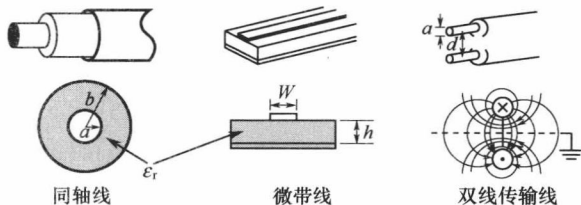


图 1-2 常见传输线

2. 微带线

多数电子系统通常都是采用平面印刷电路板作为基本介质实现的。当涉及实际的射频电路时, 必须考虑蚀刻在电路板上的导体的高频特性。1965 年, 固体器件和微带线相结合, 出现了第一块微波集成电路。在射频电路中平面型传输线得到了广泛的应用, 多数射频电路是由微带线实现的。图 1-2 为微带线结构, 它是在厚度为 h 的介质基片一面制作宽度为 W 、厚度为 t 的导体带, 另一面制作接地导体平板而构成, 整体厚度只有几毫米。