

无源超高频

RFID

系统设计与优化

Jari-Pascal Curty
(瑞士) Michel Declercq 著
Catherine Dehollain
Norbert Joehl

陈力颖 毛陆虹 译



科学出版社
www.sciencep.com

TN911.23
KED

无源超高频 RFID 系统设计与优化

[瑞士] Jari-Pascal Curty Michel Declercq 著
Catherine Dehollain Norbert Joehl
陈力颖 毛陆虹 译



科学出版社

北京

图字: 01-2008-1070 号

内 容 简 介

本书对用于远距离应用的无源超高频 RFID 系统的分析、设计与优化进行探讨。主要包括:无线功率传输、标签到阅读器的反向散射通信、阅读器与标签的架构及标签芯片设计。对采用整流器(基本的标签组成模块)的无线功率传输进行研究,并对反向散射调制进行理论分析,讨论了标签一侧阻抗调制测量的实验过程,以及对阅读器信号的影响。最后,提出2.45GHz (4W EIRP)下阅读距离达12m的完整标签设计。在写入数据操作时,本书所设计的结果优于许多 IC 标签。

本书既可供研究、开发 RFID 系统、各种非接触感应器件和电路专业领域的工程师阅读,也可作为高等院校相关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

无源超高频 RFID 系统设计与优化/(瑞士)Jari-Pascal Curty 等著;
陈力颖,毛陆虹译. —北京:科学出版社,2008

ISBN 978-7-03-022714-0

I. 无… II. ①J… ②陈… ③毛… III. 超高频-芯片-系统设计
IV. TN43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 119866 号

责任编辑:刘红梅 杨 凯 / 责任制作:魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:朱 平

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双 青 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 9 月第 一 版 开本: B5(720×1000)
2008 年 9 月第一次印刷 印张: 10 1/4
印数: 1—4 000 字数: 138 000

定 价: 35.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈双青〉)

译者序

射频识别(Radio Frequency IDentification, RFID)技术是 20 世纪 90 年代开始兴起的一种自动识别(Auto Identification, Auto-ID)技术,作为一种新兴的识别技术,其发展正如火如荼,并日益深入到我们生活的方方面面,不断影响和改变着我们的日常生活。近年来,RFID 在许多服务领域,诸如在货物销售与后勤分配、商业物流贸易、生产制造加工和安全控制等领域获得了快速普及和推广。与条形码、磁卡、接触式 IC 卡等技术相比,RFID 具有无与伦比的优势。

本书是有关超高频(UHF)RFID 系统设计的很有特色的专业书籍,不同于以往注重应用的 RFID 技术类书籍,本书着重于超高频 RFID 系统,尤其是标签芯片的设计,并给出了系统测量的实验过程。本书内容精练,结构严谨,循序渐进。对整流器相关模型和理论的阐述由浅入深,逐步进行分析。对超高频 RFID 标签芯片电路的设计在着重理论分析的同时,给出了具体的电路结构,并在本书最后给出了实测的数据结果。

本书由陈力颖和毛陆虹合译。在本书的翻译过程中,熊正东协助翻译并整理了前言、第 1 章、第 3~5 章,毛旭瑞协助翻译并整理了第 2 章,肖新东协助翻译并整理了第 5 章的部分内容,黄晓宗协助翻译并整理了第 6~9 章,在此对他们的工作表示衷心的感谢。

由于时间仓促,译者水平所限,译稿难免存有不妥之处,恳请读者指正。

译者

前 言

射频识别(RFID)是一种自动识别技术,通过采用被称为 RFID 标签或应答器的器件,利用数据存储和远程读取数据来实现识别过程。RFID 标签体积很小,可以附着在或注入到产品、动物或人体上。RFID 标签包括用来对 RFID 阅读器或问询器发出的射频(RF)问询信号进行接收和作出响应的天线。无源标签无需内部电源,而有源标签则需要电源。

迄今为止,无处不在的计算和环境感知智能设备已遍布世界。为了将其加以实现,需要一系列关键技术。简而言之,这些技术必须具有灵敏度高、响应迅速、互联化、融合性、透明性和智能性等特点。RFID,尤其是无源 RFID,就是这样一种技术。然而,要达到可以实现环境感知智能所要求的必要特性,还需要解决一些挑战性的关键技术。

标签的远距离供电可能是最为重要的挑战。有关天线-标签接口以及整流器设计的问题是最优先考虑的,首先,实现了将 RF 信号转换为直流(DC)电源。其次,应该对通信链路和阅读器进行优化。由于含有标签数据的 RF 信号随着标签与阅读器之间距离的四次方衰减,所以,阅读器的灵敏度和标签反向散射的能量效率都必须实现最大化。为此,实现远距离供电以及足够好的通信质量是本文的设计原则。

本书提出了一种 N 级改进型 Greinacher 全波整流器的线性二端口模型。预测了低功耗水平下的总转换效率,得出二极管工作在阈值电压附近。计算得出整流器的输出电学特性是其接收功率和天线参数的函数。此外,仅利用实测的单个二极管 I - V 和 C - V 特性,就可以计算出完整 N 级整流器电路给定输入电压和输出电流下的二端口参数值。



本书还给出了测量标签端阻抗调制如何影响阅读器信号的实验过程。该方法使标签设计师可以有效预测系统级调制器设计的影响,并提供了有用的仪器来选择最适合的阻抗。

最后,提出了工作在 2.45GHz 的全集成远距离供电可寻址 RFID。得出阅读器在有效全向辐射功率(EIRP)为 4W 时,标签可达到的最大工作距离为 12m。该集成电路(IC)采用 $0.5\mu\text{m}$ 硅蓝宝石工艺实现,并采用最新的整流器设计为标签供电。电感匹配和折叠偶极子天线是实现这一性能的关键器件。

目 录

第 1 章 绪 论

- 1.1 本书的目的 2
- 1.2 本书的结构 3

第 2 章 无线功率传输

- 2.1 无线功率传输的历史 6
- 2.2 硅整流二极管天线 8
- 2.3 整流器组成模块 9
 - 2.3.1 钳位电路 9
 - 2.3.2 整流器电路 10
 - 2.3.3 电压倍增器 10
 - 2.3.4 全波整流器 11
 - 2.3.5 全波倍压整流器 11
- 2.4 天 线 12
 - 2.4.1 损耗电阻 13
 - 2.4.2 辐射电阻 13
 - 2.4.3 天线-整流器接口 14
 - 2.4.4 数值示例 15
 - 2.4.5 WPT 目前和将来的可能应用 17
- 2.5 结 论 18

第3章 改进型倍压整流器分析

3.1	匹配方法	20
3.2	整流器的等效电路	22
3.3	分析方法	23
3.4	理想状态	23
3.4.1	理想整流器的稳态解	24
3.4.2	确定 R_i	26
3.5	实际状态	26
3.5.1	稳态解	27
3.5.2	确定 C_i	28
3.5.3	确定 R_i	29
3.5.4	确定 R_{out}	31
3.5.5	整流器的效率	32
3.6	结果与比较	33
3.7	设 计	35
3.7.1	折 中	35
3.7.2	电容器设计	36
3.7.3	天线和匹配问题	37
3.8	结 论	38

第4章 RFID 简介

4.1	引 言	40
4.2	标签的类型	40
4.3	低频系统	41
4.4	高频系统	43
4.5	标 准	43
4.5.1	EPC 标准	43
4.5.2	ISO 标准	44
4.6	规 范	45



4.6.1 功率规范	45
4.7 雷达截面	46
4.8 反向散射调制技术	46
4.9 链路预算	47
4.10 环境影响	49
4.11 数据完整性	49
4.11.1 标签驱动方式	50
4.11.2 阅读器驱动方式	50
4.12 结 论	51

第5章 反向散射架构和调制类型的选择

5.1 调制类型	54
5.2 调制器架构	54
5.3 ASK 调制器	55
5.4 PSK 调制器	57
5.5 分析方法	58
5.6 ASK 串联-并联模式	59
5.6.1 电压分析	59
5.6.2 功率分析	60
5.6.3 通信分析	62
5.7 PSK 串联-串联模式	65
5.7.1 电压分析	67
5.7.2 功率分析	68
5.7.3 通信分析	69
5.8 ASK 与 PSK 比较	71
5.9 基于 ASK 的 PSK 与伪 PSK	72
5.10 伪 PSK	73
5.10.1 通信分析	73
5.11 无线功率传输与通信优化	75
5.12 结 论	76

第 6 章 反向散射调制分析

6.1 引 言	80
6.2 理论分析	81
6.3 实验特性	82
6.3.1 实际流程	82
6.3.2 结 果	84
6.4 对 RFID 系统的影响	86
6.5 图形解释	88
6.6 对无线功率传输的影响	91
6.7 结 论	92

第 7 章 RFID 标签设计

7.1 UHF 和微波 RFID 电路目前的技术水平	94
7.2 标签指标	95
7.3 技术问题	99
7.4 工作原理	101
7.4.1 通信协议	101
7.5 标签架构	105
7.6 标签组成模块	105
7.6.1 整流器和限压电路	105
7.6.2 上电复位电路	107
7.6.3 检波器、数据分割器和解码器	108
7.6.4 移位寄存器和逻辑单元	111
7.6.5 IF 振荡器	113
7.6.6 调制器	114
7.6.7 电流参考源	115
7.7 天 线	117
7.7.1 标签输入阻抗	117

7.7.2 天线的选择	117
7.8 实验结果	118
7.9 结 论	120

第 8 章 高频阅读器的结构与分析

8.1 引 言	122
8.2 通信协议	122
8.3 阅读器架构描述	122
8.4 直接耦合	124
8.4.1 系统输入 IP3	124
8.4.2 直接耦合补偿	126
8.4.3 DC 成分抑制	127
8.5 相位噪声	128
8.5.1 对下变频的影响	128
8.5.2 相互混频	130
8.6 天线噪声温度	131
8.7 接收器设计	132
8.8 IF 调制频率	133
8.9 IF 处理	134
8.10 结 论	134

第 9 章 结 论

参考文献	139
附 录	143
专业术语中英文对照	145

第1章

绪论





自动化产业的趋势正朝着高速与实时识别方向发展,实现连续识别和监测要求进一步提高精度水平,这种实时识别通常被称为环境智能。实现这一可行概念的技术之一被称为射频识别(Radio Frequency IDentification)或简称为RFID。公司、个人及政府都能从这项技术中获益。该技术有着众多应用,包括后勤补给、门禁控制、交通运输、宠物管理、防伪、电子档案(生物技术护照)等。同其他新技术一样,这些优势也要与保护个人隐私之间维持好平衡。与其他新技术不同,RFID 不仅为我们打开了新的应用前景,也给立法者带来了新的反思。

无源(无内置电源)RFID 标签由电子集成电路(IC)构成,电路中通常包括数据和天线。由阅读器为 IC 供电,同时与标签进行通信从而获得其中的数据(通常只有几百比特)。系统的一般构成如图 1.1 所示。

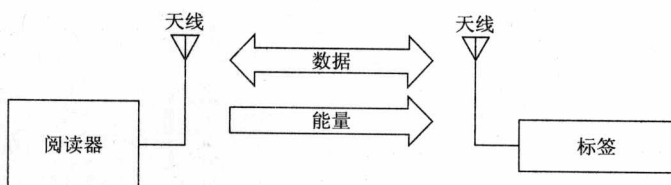


图 1.1 RFID 系统的一般构成

1.1 本书的目的

本书的目的是在超高频(UHF)和微波频段的无源 RFID 系统的优化设计中实现折中。在这些频率¹⁾(VHF: 433MHz; UHF: 900MHz 或 2.45GHz²⁾)下,识别应答器(下文中也称标签或应答器)工作在天线远场区。远场区就是指发生平面波传播的区域。远场区开始于与天线之间的距离大约为发射信号波长的位置。RFID 市场的 95%(2004 年数据^[1])在低频段(LF:13.56kHz; HF:13.56MHz 或 27.12MHz)。这类标签工作在近场区,采用电感耦合的工作方式。相对于工作在 VHF、UHF 和微波频段的标签,

1) LF:低频;HF:高频;VHF:甚高频;UHF:超高频。

2) 根据 DIN40015 标准,尽管 2.45GHz 下的工业、科学和医疗(ISM)频段是 UHF 频段的一部分,但本书中仍将其称为“微波”频段。



LF 和 HF 标签只在较小的工作范围之内。本书只讨论 UHF 和微波系统。参考文献[2]和[3]则深入讨论了 LF 和 HF 系统。

1.2 本书的结构

UHF 或微波系统的开发中存在三个关键问题。首先是无线功率传输 (Wireless Power Transmission, WPT) 问题。第 2 章和第 3 章将着重讨论整流器架构的选择, 天线设计与集成电路工艺。这些章节是在参考文献[4]的基础上所作的进一步探讨。

标签到阅读器的通信是第二个关键问题, 将在第 4 和第 5 章进行研究, 其中会对可能的信号调制进行完整研究。第 6 章提出实验方法来量化任何天线反向散射功率的相位与幅度。在第 7 章, 我们利用先前章节的结论, 来设计全集成无源标签, 该标签工作在 900MHz~5GHz, 这还有赖于天线的尺寸。在 2.45GHz 下, 阅读距离达到 12m。这一章是参考文献[5]的扩充。

第三个限制 RFID 系统性能的问题是阅读器的设计。第 8 章主要阐述这方面的问题, 提出阅读器中 RF 和基带系统的构架。

最后, 第 9 章通过所获得的研究结果以及新的研究思想对本书所介绍的研究工作进行全面总结。

第2章

无线功率传输

本章回顾从Tesla提出无线功率传输到硅整流二极管天线的无线功率传输(WPT)的历史,然后介绍基本的整流器、其组成模块以及全波改进型倍压整流器^[4]。天线及其WPT问题将说明所发生的基本折中。最后,通过WPT的定量实例给出本章的结论。

2.1 无线功率传输的历史

无线功率传输(WPT)最早由 Nikola Tesla 在 1899 年提出并进行研究。在一次会议上, Tesla 宣布:他实现了无线功率传输的梦想。他尝试在 1 亿伏电压下,传输 1 万马力的功率(约 7350kW)。他宣称:“这些能量将通过遍布全球的细小能量来搜集,范围从 1 马力的几分之一到几马力。其主要的用途之一就是独立家庭的照明。”

Tesla 于 1899 年在科罗拉多州的科罗拉多泉进行了他的实验(图 2.1)。在纽约市 Waldorf-Astoria 旅店老板 John Jacob Astor 上校 3 万美元(1900 年价值)的资助下, Tesla 在一个大的方型建筑内建立了一个巨大线圈,在线圈的顶部树立了一个 60m 高的天线,在天线的顶部,还有一个直径为 1m 的铜球。线圈的谐振频率是 150kHz,由科罗拉多泉电力公司向线圈提供 300kW 的低频功率。当 RF 输出提供给天线时,球的顶端就产生 1 亿伏的 RF 电压^[6]。其部分实验还由当时的记者进行了报道。Tesla 用这一方法点亮了距离基站 42km 的 200 盏 50W 白炽灯。

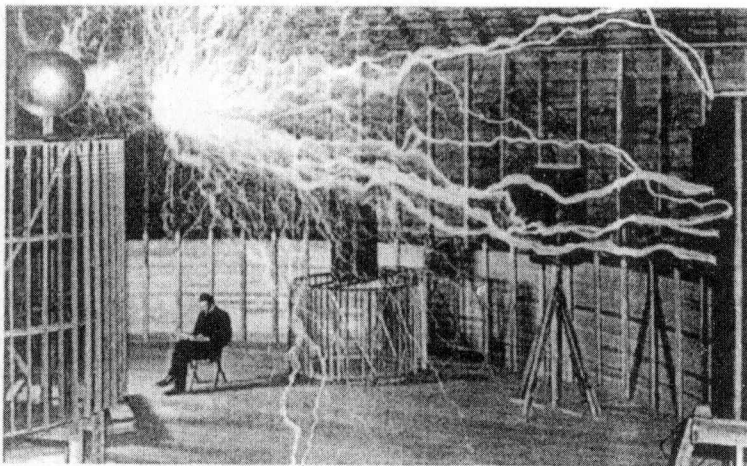


图 2.1 Tesla 在其科罗拉多泉实验室

Tesla 不仅认为地球是一个良好的导体,而且适当高度的大气层也是优良的导体。因此,他想证明在利用这些大气层将大量电能传输到任意距离