

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

（第2版）



高建良 贺建飏 编著

本书配有教学课件，从一个全新的体系介绍物联网RFID的原理与技术，涉及从射频识别的“射频”到射频识别的“识别”，最后以“应用”结尾。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。



中国工信出版集团



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

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

（第2版）

高建良 贺建飏 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

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,涉及从射频识别的“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, 贺建鹰编著. —2 版. —北京: 电子工业出版社, 2017.1

国家级特色专业(物联网工程)规划教材

ISBN 978-7-121-30361-6

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 276009 号

责任编辑: 田宏峰

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: 13.25 字数: 300 千字

版 次: 2013 年 7 月第 1 版

2017 年 1 月第 2 版

印 次: 2017 年 1 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, 88258888。

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

本书咨询联系方式: tianhf@phei.com.cn。

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新兴产业之一,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，构建一个全球互连的物联网。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。

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

2016 年 11 月



第 1 章 传输线理论	(1)
1.1 认识传输线	(1)
1.1.1 长线的含义	(1)
1.1.2 传输线的构成	(2)
1.1.3 传输线举例	(2)
1.2 传输线等效电路表示法	(3)
1.3 传输线方程及传输线特征参数	(4)
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	(10)
思考与练习	(10)
第 2 章 谐振电路	(11)
2.1 串联谐振电路	(11)
2.1.1 串联谐振电路的谐振条件	(11)
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	(21)
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	(22)
2.3 传输线谐振电路概述	(24)
2.4 本章小结	(24)



思考与练习	(26)
第3章 天线基础	(28)
3.1 天线概述	(28)
3.1.1 天线的定义	(28)
3.1.2 天线的分类	(29)
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	(32)
3.3.1 天线的效率	(32)
3.3.2 输入阻抗	(33)
3.3.3 频带宽度	(33)
3.3.4 方向图	(33)
3.3.5 天线的增益	(35)
3.3.6 极化特性	(35)
3.4 RFID系统常用天线	(36)
3.4.1 对称振子天线	(36)
3.4.2 引向天线	(37)
3.4.3 微带天线	(38)
3.5 不同频段的RFID天线技术	(39)
3.5.1 低频和高频RFID天线技术	(39)
3.5.2 微波RFID天线技术	(40)
3.6 本章小结	(41)
思考与练习	(42)
第4章 物联网RFID系统概论	(43)
4.1 自动识别技术简介	(43)
4.1.1 条形码	(43)
4.1.2 生物特征识别技术	(45)
4.1.3 射频识别(RFID)	(45)
4.2 射频识别系统组成	(47)
4.3 RFID系统的分类	(48)
4.4 RFID系统使用的频率	(50)
4.5 本章小结	(52)
思考与练习	(52)



第 5 章 电子标签	(53)
5.1 智能卡与电子标签	(53)
5.1.1 磁卡	(53)
5.1.2 IC 卡	(54)
5.1.3 电子标签	(55)
5.2 电子标签的类别	(56)
5.2.1 工作方式类别	(56)
5.2.2 可读写性类别	(57)
5.2.3 工作频率类别	(58)
5.3 电子标签的组成结构	(60)
5.3.1 电子标签的天线	(60)
5.3.2 电子标签的芯片	(63)
5.4 电子标签的封装	(66)
5.4.1 电子标签的封装加工	(66)
5.4.2 电子标签的封装形式	(66)
5.5 一种典型的电子标签 (S50 卡)	(69)
5.5.1 内部结构与工作过程	(69)
5.5.2 存储器组织与访问控制	(71)
5.6 RFID 电子标签的问题及趋势	(73)
5.7 本章小结	(75)
思考与练习	(76)
第 6 章 RFID 读写器	(77)
6.1 读写器的基本原理	(77)
6.1.1 读写器的基本功能	(77)
6.1.2 读写器的工作过程	(78)
6.2 读写器的基本构成	(79)
6.2.1 射频模块	(79)
6.2.2 逻辑控制模块	(81)
6.2.3 天线模块	(81)
6.3 读写器的结构形式	(82)
6.3.1 固定式读写器	(82)
6.3.2 便携式读写器	(84)
6.4 读写器管理技术	(85)
6.4.1 读写器管理协议	(85)
6.4.2 多读写器组网技术	(86)



6.4.3 读写器发展趋势	(87)
6.4 本章小结	(88)
思考与练习	(88)
第7章 编码与调制	(89)
7.1 RFID系统的通信过程	(89)
7.2 RFID信源编码方法	(91)
7.3 差错控制编码(信道编码)	(95)
7.3.1 差错控制编码的相关概念	(95)
7.3.2 常用的差错控制编码	(96)
7.4 RFID系统调制方法	(101)
7.4.1 振幅键控	(102)
7.4.2 频移键控	(104)
7.4.3 相移键控	(105)
7.4.4 副载波调制	(106)
7.5 RFID系统的耦合方式与调制	(107)
7.5.1 电感耦合与负载调制	(108)
7.5.2 电磁反向散射耦合与调制	(110)
7.6 本章小结	(112)
思考与练习	(113)
第8章 RFID防碰撞技术	(114)
8.1 RFID系统中的碰撞与防碰撞	(114)
8.1.1 RFID系统中的碰撞	(114)
8.1.2 RFID系统中防碰撞算法分类	(115)
8.2 ALOHA算法	(117)
8.2.1 纯ALOHA算法	(118)
8.2.2 时隙ALOHA算法	(119)
8.2.3 帧时隙ALOHA算法	(120)
8.2.4 动态帧时隙ALOHA算法	(121)
8.3 二进制树形搜索算法	(122)
8.3.1 二进制树形搜索	(122)
8.3.2 动态二进制树形搜索	(127)
8.3.3 基于随机数和时隙的二进制树形搜索	(129)
8.4 本章小结	(131)
思考与练习	(131)



第 9 章 RFID 系统的安全	(132)
9.1 RFID 系统面临的安全攻击	(132)
9.2 RFID 系统安全解决方案	(133)
9.2.1 物理方法	(134)
9.2.2 逻辑方法	(134)
9.3 智能卡的安全问题	(137)
9.3.1 影响智能卡安全的基本问题	(137)
9.3.2 物理安全	(138)
9.3.3 逻辑安全	(139)
9.4 本章小结	(142)
思考与练习	(142)
第 10 章 物联网 RFID 标准	(143)
10.1 RFID 标准概述	(143)
10.1.1 RFID 国际标准化机构	(143)
10.1.2 RFID 标准体系	(145)
10.1.3 RFID 标准多元化的原因	(146)
10.2 ISO/IEC 的相关标准	(147)
10.2.1 ISO/IEC 的标准体系	(147)
10.2.2 非接触式 IC 卡国际标准 (ISO/IEC 14443)	(147)
10.2.3 空中接口通信协议标准 (ISO/IEC 18000)	(153)
10.3 EPC 的相关标准	(155)
10.3.1 EPCglobal 的 RFID 标准体系	(155)
10.3.2 EPCglobal 与 ISO/IEC RFID 标准之间的关系	(158)
10.4 本章小结	(159)
思考与练习	(160)
第 11 章 物联网的典型架构——EPC 系统	(161)
11.1 RFID 系统应用类型	(161)
11.1.1 开放式 RFID 系统	(162)
11.1.2 非开放式 RFID 系统	(162)
11.1.3 基于 EPC 的开放式 RFID 系统	(162)
11.2 EPC 系统的组成	(163)
11.2.1 EPC 系统与物联网	(163)
11.2.2 EPC 系统构成	(164)
11.2.3 EPC 系统的特点	(166)
11.3 EPC 编码体系	(166)



11.3.1	EPC 编码原则	(166)
11.3.2	EPC 编码的结构	(167)
11.3.3	EPC 编码的类型	(169)
11.4	EPC 信息网络系统	(171)
11.4.1	Savant 中间件	(171)
11.4.2	对象名称解析服务	(172)
11.4.3	EPC 信息服务	(175)
11.5	本章小结	(177)
	思考与练习	(177)
第 12 章	RFID 的应用实例	(178)
12.1	RFID 在防伪领域的应用	(178)
12.1.1	RFID 在票券防伪中的应用	(179)
12.1.2	RFID 在贵重商品防伪中的应用	(180)
12.2	RFID 在公共安全领域的应用	(183)
12.2.1	基于 RFID 技术的智能门禁系统	(183)
12.2.2	RFID 在矿井安全中的应用	(184)
12.2.3	RFID 在食品安全中的应用	(186)
12.3	RFID 在医疗卫生领域的应用	(187)
12.3.1	RFID 在医疗卫生行业中的应用概述	(188)
12.3.2	基于 RFID 技术的智能医护系统	(189)
12.4	RFID 在智能交通领域的应用	(191)
12.4.1	基于 RFID 技术的不停车收费系统	(191)
12.4.2	基于 RFID 技术的智能公交系统	(193)
12.5	本章小结	(195)
	思考与练习	(195)
	参考文献	(196)

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; “识别”部分则包含读写器和电子标签, 以及它们之间的通信技术 (编码与调制技术、防碰撞技术和安全技术等)。

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, 当波长减小到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。在低频传输线中, 电流几乎均匀地分布在导线内部, 低频电路中的导线属于传输线的一种特例。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，以及传输线上阻抗变化的规律。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，只须考虑传输信号幅度，而无须考虑相位，称为集总参数电路。在低频电路中常常忽略元件连接线的分布参数效应，认为电场能量全部集中在电容器中，而磁场能量全部集中在电感器中，电阻元件是消耗电磁能量的。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。随着频率的提高，电路元件的辐射损耗，导体损耗和介质损耗增加，电路元件的参数也随之变化。当频率提高到其波长和电路的几何尺寸可相比拟时，电场能量和磁场能量的分布空间很难分开，而且连接元件的导线的分布参数已不可忽略。

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。

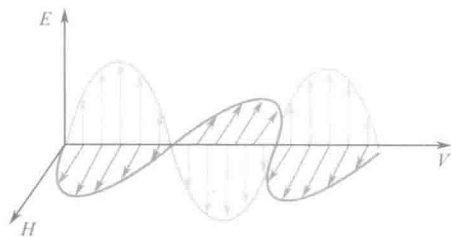


图 1-1 TEM 波模型

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 (a) 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。

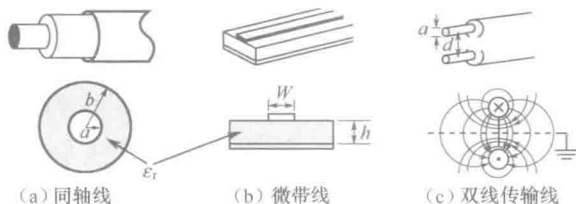


图 1-2 常见传输线

2. 微带线

多数电子系统通常采用平面印制电路板作为基本介质实现。当涉及射频电路时,必须考虑蚀刻在电路板上导体的高频特性。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 (b) 所示为微带线结构,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。

3. 双线传输线

双线传输线由两根圆柱形导线构成,如图 1-2 (c) 所示。双线传输线是开放的系统,当工作频率升高时,其辐射损耗会增加,同时也会受到外界信号的干扰。相隔固定距离的双导线上由导体发射的电和磁力线可以延伸到无限远,并影响线附近的电子设备。由于导线系统像一个大天线,辐射损耗很高,所以双线是有限制地应用在射频领域。

1.2 传输线等效电路表示法

电路工作频率的提高意味着波长的减小。当频率提高到超高频时,相应的波长范围为 10~100 cm;当波长与电路元件的尺寸相当,电压和电流不再保持空间不变,不能再通过基尔霍夫电压和电流定律对宏观的传输线传输特性进行分析,而必须用波的特性来分析它们。可以对传输线进行分割,当传输线被分割成足够小的线段时,即可以用分布参量来描述,在微观尺度上也遵循基尔霍夫定律。如图 1-3 所示的等效电路,将均匀传输线分割成许多微分段 Δz ($\Delta z \ll \lambda$, λ 为波长),这样每个微分段可看作集总参数电路,整个传输线的等效电路是无限多的微分段单元电路的级联。

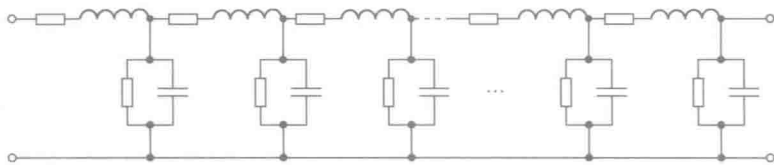
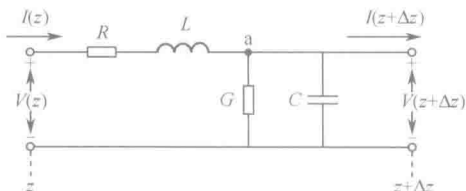


图 1-3 双线传输线的等效表示

图 1-4 所示的是用双线传输线建立的一个单元模型。由于长线上每一点都分布有电阻、电感、电容和电导，我们把双线传输线分为长度为 Δz 的线段。这种分割到微观的表示法主要的优点是：能够引入分布量描述，在微观尺寸上的分析可以遵循基尔霍夫定律，同时也提供了一个更直观的图形。在位置 z 和 $z+\Delta z$ 之间的小段传输线上，每个导体（两根传输线）是用电阻 R 和电感 L 的串联来描述的。另外，由两导体电荷分离引出的电容效应可用 C 表示，考虑到所有介质都有损耗，还必须包含电导 G 。在 Δz 长度内的分割单元满足集总参量分析如图 1-4 所示。

图 1-4 在 Δz 长度内满足集总参量分析

在上述等效模型中，传输线的线路中有着四个分布参数：分布电阻 R 、分布电导 G 、分布电感 L 和分布电容 C ，它们的数值均与传输线的种类、形状、尺寸及导体材料和周围媒质特性有关。分布参数定义如下：

- 分布电阻 R ——传输线单位长度上的总电阻值，单位为 Ω/m ；
- 分布电导 G ——传输线单位长度上的总电导值，单位为 S/m ；
- 分布电感 L ——传输线单位长度上的总电感值，单位为 H/m ；
- 分布电容 C ——传输线单位长度上的总电容值，单位为 F/m 。

均匀传输线是指传输线的几何尺寸、相对位置、导体材料及导体周围媒质特性沿电磁波的传输方向不改变的传输线，即沿线的分布参数是均匀分布的。本章只关注均匀传输线。

1.3 传输线方程及传输线特征参数

在射频电路中，传输线上的电压和电流将随空间位置而变化。为了能够得到传输线上指定位置电压和电流值，本节引入了一般传输线方程并得到该方程的通解，再由方程推出