

射频识别 (RFID) 技术

—— 无线电感应的应答器和
非接触IC卡的原理与应用

[德] Klaus Finkenzeller 著

陈大才 编译

王卓人 审校



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

射频识别(RFID)技术

——无线电感应的应答器和
非接触 IC 卡的原理与应用
(第二版)

(德) Klaus Finkenzeller

陈大才 编译

王卓人 审校

 电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry

内 容 简 介

本书主要介绍无线电感应的应答器和非接触 IC 卡(即射频识别)技术的基本作用原理和物理基础。全书列举了如:订票、公交、安检、商业、图书馆、体育比赛、动物识别、容器识别、工业自动化等方面的应用示例。

本书适合于研究、开发各种非接触感应型器件和电路的工程师们阅读,以及有关专业的大专院校师生们作教学参考。

图书在版编目(CIP)数据

射频识别(RFID)技术——无线电感应的应答器和非接触 IC 卡的原理与应用/

(德)芬肯泽勒(Finkenzeller, K.)著;

陈大才编译. —北京:电子工业出版社, 2001.6

书名原文:RFID Handbuch(2. Auflage)

ISBN7-5053-4576-1

I. 射... II. ①芬... ②陈... III. 射频—无线电信号—信号识别—技术

IV. TN911.23-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 037298 号

Copyright© 2000 respectively Copyright© for the 2nd edition Carl Hanser Verlag, Munich/FRG

All rights reserved

Authorized translation from the original German language edition published by Carl Hanser Verlag, Munich/FRG.

本书中文简体专有翻译出版权由德国 Carl HANSER Verlag 授予电子工业出版社,该专有出版权受法律保护。

书 名:射频识别(RFID)技术——无线电感应的应答器和非接触 IC 卡的原理与应用(第二版)

著 者:(德) Klaus Finkenzeller

编 译 者:陈大才

审 校 者:王卓人

责任编辑:王惠民

印 刷 者:广州市恒远彩印有限公司

出版发行:电子工业出版社 URL: <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编:100036 发行部电话:(010)68214070

经 销:各地新华书店经销

开 本:787×1092 1/16 印张:21.5 字数:350 千字

版 次:2001 年 6 月第 1 版 2001 年 6 月第 1 次印刷

印 数:1~5000 册

书 号:ISBN 7-5053-4576-1/TN·1133

定 价:42.00 元

著作权合同登记号 图字:01-2000-1230

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换。

版权所有·翻印必究

第二版前言

这本书是面向广大读者的。它首先是面向那些第一次接触射频识别技术的大学生和工程师的。对他们来说,关于射频识别技术的作用原理和物理基础以及数据处理技术等章节是基本的内容。此外,这本书也是面向那些有实际工作经验的人们的。他们作为应用者希望或必须尽可能全面而集中地了解到各种射频识别技术,法定的边界条件或应用的可能性。

此间,虽然在这个题目范围内有大量的论文。但是,正如为写这本书进行的调查研究所证实的那样,当要将这些“分散”的信息收集在一起时,确是很辛苦和很费时间的。因此,这本书在提供关于射频识别系统参考文献方面填补了一个空白。

本书使用了大量的图表,对射频识别技术作了最直观的描绘,本书的特殊意义还在于结合实际。为此,对第一版原“应用举例”一章增加了大量的实例。

射频识别技术领域的发展如此迅速,本书仅能够成为该技术的基础知识,但要成为反映最新趋势的图书还是不够的。因此,我在这里对各界,特别是来自工业界的提示和建议,表示衷心感谢。我相信本书的基本知识和物理基础是理解现实发展的良好前提。

我在这里还要对为本书获得成功而友好地提供大量技术数据、报告原稿和照片的公司表示诚挚的感谢。

Klaus Finkenzeller

1999 年秋于慕尼黑

本书采用的缩写

μP	微处理器
μS	微秒(10^{-6} 秒)
ABS	丙烯腈丁二烯苯乙烯
AFC	自动收费(电子车票)
AFI	识别器的应用系列(参见 ISO 14443 - 3)
AM	振幅调制
APDU	应用数据单元
ASCII	美国信息交换标准代码
ASIC	专用集成电路
ASK	振幅键控
ATR	复位应答
ATQ	对请求的应答(ATQA, ATQB; 参见 ISO 14443 - 3)
BAPT	联邦邮政电信局
Bd	波特, 传输速度(比特/秒)
BGT	数据块保护时间
BMBF	联邦教育和科研部(以前的 BMFT; 联邦科研和技术部)
BP	带通滤波器
C	电容(电容器的容量)
CCITT	国际电话、电报咨询委员会
CEN	欧洲标准委员会
CEPT	欧洲邮政、电信会议
CICC	密耦合 IC 卡
CLK	时钟脉冲(时钟信号)
CRC	循环冗余码校验
dBm	对数功率计量单位, 与 1mW 高频一功率有关($0\text{dBm} = 1\text{mW}$, $30\text{dBm} = 1\text{W}$)
DBP	差动双相编码
BIN	德国工业标准
EAN	欧洲工商品条型号
EAS	电子防盗器
EC	欧洲支票或电子现场
EEPROM	电可擦、可编程序的只读存储器
EMV	电磁兼容性
EOF	帧结束
ERP	车的等效发射
ETCS	欧洲铁路控制系统
ETS	欧洲电信标准

· X ·

ETSI	欧洲电信标准研究所
EVC	欧洲活力计算机(欧洲火车控制系统的组成部分)
EVU	能量供应企业
FCC	联邦通信委员会
FDX	全双工
FM	频率调制
FRAM	铁电随机存取存储器
FSK	频移键控
GSM	全球移动通信系统(以前的特殊移动组)
I ² C	集成电路内总线
HDX	半双工
HF	高频(3 ~ 30MHz)
ICC	IC 卡(集成电路卡)
ID	识别
ISM	工业医学科学
ISO	国际标准化组织
L	感应线圈
LAN	计算机局域网
LF	低频(30 ~ 300kHz)
LPD	小功率无线电装置
LRC	纵向冗余码校验
LSB	最低有效位
MAD	MIFARE® 应用指南
MSB	最高有效位
NAD	节点地址
NOmL	地区非官方移动无线电(工业无线电、运输企业无线电、出租汽车无线电)
NRZ	不归零制编码
NTC	负温度系统(热敏电阻)
NVB	有效位的编号(参见 ISO 14443)
OCR	光学符号识别(清晰文字的识别)
OEM	初始设备制造商
OFW	表面波
OPNV	公众个人近距离通信
OTP	一次可编程序
PC	个人计算机
PCD	疏耦合设备(参见 ISO 14443)
PICC	疏耦合 IC 卡(参见 ISO 14443)
PP	塑料包装
PPS	聚苯硫化

PSK	相移键控
PUPI	伪单一PICC 识别器(参见 ISO 14443—4)
PVC	聚氯乙烯
RADAR	无线电探测和测距
RAM	随机存取存储器
RCS	雷达横截面(有效反射面, 散射面)
REQ	请求
RFID	射频识别
RFU	留作备用
RTI	道路运输信息系统
RWD	读写装置
SAM	安全鉴别模块
SCL	串行时钟脉冲(I ² C - 总线接口)
SDA	串行数据地址输入、输出(I ² C - 总线接口)
SEQ	时序系统
SMD	表面固定装置
SNR	串行编号
SOF	帧开始
SRAM	静态随机存取存储器
TR	技术规程
UHF	超高频(300MHz ~ 3GHz)
UPC	通用产品条形码
VDE	联邦德国电工协会
VCD	遥耦合设备(参见 ISO15693)
VICC	遥耦合 IC 卡(参见 ISO 15693)
XOR	“异或”
ZV	允许使用的规范
MIFARE [®]	飞利浦电子产品注册商标
LEGIC	卡巴安全保险系数股份公司的注册商标
MICROLOG [®]	Idesco 公司的注册商标
TIRIS [®]	得克萨斯仪器公司的注册商标
TROVAN [®]	通用电气公司识别系统的注册商标

目 录

本书采用的缩写

第一章 导论	(1)
第一节 自动识别系统	(1)
一、条型码系统	(1)
二、光学符号识别	(3)
三、生物计数测量法	(3)
1. 语音识别	(3)
2. 指纹法(指纹鉴定法)	(3)
四、IC 卡	(4)
1. 存储器卡	(4)
2. CPU 卡	(4)
五、射频识别(RFID)系统	(5)
第二节 各种识别系统的比较	(5)
第三节 射频识别(RFID)系统的组成	(6)
第二章 射频识别(RFID)系统的区别特征	(9)
第一节 基本区别特征	(9)
第二节 应答器的构造形式	(11)
一、盘形	(11)
二、玻璃外壳	(11)
三、塑料外壳	(12)
四、工具和气体瓶子的识别	(13)
五、钥匙和钥匙扣	(13)
六、手表	(15)
七、ID-1 型非接触 IC 卡	(15)
八、智能标签	(17)
九、片上线圈	(18)
十、其他的构造形式	(18)
第三节 频率、作用距离和耦合	(19)
一、密耦合	(19)
二、遥耦合	(19)
三、远距离系统	(20)
四、系统特性	(20)
1. 只读系统构成低档系统的下端	(20)
2. 中档部分	(21)

3. 系统的高档部分	(21)
第三章 基本作用原理	(23)
第一节 1 比特应答器	(23)
一、射频	(24)
二、微波	(26)
三、分频器	(27)
四、电磁法	(28)
第二节 全双工和半双工	(30)
一、电感耦合	(31)
1. 无源应答器的能量供应	(31)
2. 应答器至阅读器的数据传输	(34)
二、电磁反向散射耦合	(36)
1. 应答器的能量供应	(36)
2. 应答器至阅读器的数据传输	(37)
三、密耦合	(38)
1. 应答器的能量供应	(38)
2. 应答器至阅读器的数据传输	(39)
四、阅读器至应答器的数据传输	(39)
第三节 时序法	(40)
一、电感耦合	(40)
1. 应答器的供电	(40)
2. 全双工、半双工和时序系统的比较	(40)
3. 应答器至阅读器的数据传输	(41)
二、表面波应答器	(42)
第四章 射频识别系统的物理基础	(45)
第一节 磁场	(46)
一、磁场强度 H	(46)
1. 导体回路中的场强曲线 $H(x)$	(47)
2. 最佳天线直径	(49)
二、磁通量和磁通密度	(49)
三、感应系数 L	(50)
四、互感系数 M	(51)
五、耦合系数 k	(53)
六、感应定律	(54)
七、谐振	(56)
八、应答器的电源	(60)
1. 应答器的供电	(60)
2. 电压调节	(61)
九、动作磁场强度 H_{min}	(62)

十、应答器——阅读器系统	(66)
1. 应答器的阻抗 Z_T' 变换	(68)
2. 影响 Z_T' 的变量	(71)
3. 负载调制	(77)
十一、系统参数的测量	(82)
1. 耦合系数 k 的测量	(82)
2. 应答器谐振频率的测量	(83)
十二、磁性材料	(85)
1. 磁性材料和铁氧体的性质	(85)
2. 低频应答器内的铁氧体天线	(86)
3. 金属周围的铁氧体屏蔽	(86)
第二节 电磁波	(87)
一、电磁波的产生	(87)
二、电磁波的反射	(89)
三、天线的散射横截面	(90)
四、调制的散射截面	(93)
五、有效长度	(93)
六、微波应答器天线的结构形式	(93)
1. 缝隙天线	(94)
2. 平面型天线	(94)
3. 天线参数一览表	(94)
第三节 表面波	(94)
一、表面波的形成	(94)
二、表面波的反射	(96)
三、表面波应答器的功能结构	(96)
四、传感器效应	(99)
1. 反射延迟线	(100)
2. 谐振传感器	(101)
3. 阻抗传感器	(103)
五、转换传感器	(103)
第五章 频率范围和允许使用的无线电规范	(105)
第一节 使用的频率范围	(105)
一、频率范围 9 ~ 135kHz	(106)
二、频率范围 6.78MHz	(107)
三、频率范围 13.56MHz	(107)
四、频率范围 27.125MHz	(107)
五、频率范围 40.680MHz	(108)
六、频率范围 433.920MHz	(108)
七、频率范围 869.0MHz	(108)

八、频率范围 915.0MHz	(108)
九、频率范围 2.45GHz	(109)
十、频率范围 5.8GHz	(109)
十一、频率范围 24.125GHz	(109)
十二、电感耦合射频识别系统的适用频率选择	(109)
第二节 允许使用的国际规范	(111)
一、CEPT/ERC 70-03 欧洲邮政、电信会议/电子研究中心	(111)
二、EN300330:9kHz~25GHz	(112)
1. 第1类发送器载波功率极限值	(112)
2. 第2类发送器载波功率极限值	(113)
3. 调制频带宽度	(114)
4. 寄生发射	(114)
三、EN 3000220-1, EN300220-2	(114)
四、EN 3000440	(115)
第三节 允许使用的国家规范——德国	(116)
一、17 TR 2100	(116)
1. 载波功率的极限值	(116)
2. 调制频带宽度	(116)
3. 寄生发射	(117)
二、BAPT 222 ZV125	(117)
三、BAPT 211ZV037/2050	(117)
四、BAPT 211ZV045——欧洲点状数据传输系统	(117)
第四节 允许使用的国家规范——美国	(117)
第六章 编码和调制	(119)
第一节 基带中的编码	(119)
第二节 数字调制法	(121)
一、振幅键控(ASK)	(122)
二、2-FSK(频移键控)	(124)
三、2-PSK(相移键控)	(126)
四、使用副载波的调制法	(126)
第七章 数据的完整性	(129)
第一节 校验和法	(129)
一、奇偶校验	(129)
二、纵向冗余校验(LRC)法	(130)
三、循环码冗余校验(CRC)法	(130)
第二节 多路存取法——反碰撞法	(132)
一、空分多路(SDMA)法	(134)
二、频分多路(FDMA)法	(135)
三、时分多路(TDMA)法	(136)

四、反碰撞法举例	(138)
1. ALOHA 法	(138)
2. 时隙 ALOHA 法	(140)
3. 二进制搜索算法	(143)
第八章 数据的安全性	(151)
第一节 互相对称的鉴别	(151)
第二节 用导出密钥的鉴别	(152)
第三节 加密的数据传输	(153)
第九章 标准化	(157)
第一节 动物识别	(157)
一、国际标准 ISO 11784—代码结构	(157)
二、国际标准 ISO 11785—技术准则	(157)
1. 需求	(158)
2. 全双工/半双工系统	(159)
3. 时序系统	(159)
第二节 非接触智能卡	(160)
一、国际标准 ISO 10536—密耦合 IC 卡	(160)
1. 第 1 部分—物理特性	(161)
2. 第 2 部分—耦合区的尺寸和位置	(161)
3. 第 3 部分—电信号和复位过程	(161)
4. 第 4 部分—复位应答和传输协议	(163)
二、国际标准 ISO 14443—近耦合 IC 卡	(163)
1. 第 1 部分—物理特性	(163)
2. 第 2 部分—射频接口	(164)
3. 第 3 部分—初始化和反碰撞	(167)
三、国际标准 ISO 15693—疏耦合 IC 卡(VICC)	(174)
1. 第 1 部分—物理特性	(174)
2. 第 2 部分—空间接口和初始化	(174)
四、国际标准 ISO 10373—IC 卡的测试方法	(178)
1. 第 4 部分:密耦合 IC 卡的测试方法	(179)
2. 第 6 部分:近耦合 IC 卡的测试方法	(179)
3. 第 7 部分:疏耦合 IC 卡的测试方法	(181)
第三节 德国工业标准/国际标准 DIN/ISO 69873—工具和夹具用 的数据载体	(181)
第四节 国际标准 ISO 10374—集装箱识别	(182)
第五节 德国工程师协会规范 VDI 4470—货物安全系统	(183)
一、第 1 部分—闸门系统对顾客检查规范	(183)
1. 错误报警率的测定	(183)
2. 检出率的测定	(183)

3. 规范 VDI 4470 中的表格	(184)
二、第 2 部分—去活化设备的检查规范	(184)
第十章 电子数据载体的结构	(187)
第一节 具有存储功能的应答器	(187)
一、高频界面	(188)
1. 线路举例—用副载波的负载调制	(188)
2. 线路举例—根据国际标准 ISO 14443 应答器的高频接口	(189)
二、地址和安全逻辑	(191)
三、存储器结构	(193)
1. 只读应答器	(193)
2. 可写入的应答器	(194)
3. 具有密码功能的应答器	(194)
4. 分段存储器	(196)
5. MIFARE [®] —应用目录	(198)
6. 双端口 EEPROM	(201)
第二节 微处理器—复合卡	(204)
一、双界面插件	(205)
第三节 存储器技术	(207)
一、RAM	(208)
二、EEPROM	(208)
三、FRAM	(209)
四、FRAM 和 EEPROM 的性能比较	(211)
第四节 物理参数的测量	(211)
一、具有传感器功能的应答器	(211)
二、用微波应答器进行测量	(212)
三、表面波应答器的传感器效应	(213)
第十一章 阅读器	(217)
第一节 应用系统中的数据流	(217)
第二节 阅读器的组成	(218)
一、高频接口	(219)
1. 电感耦合系统(FDX/HDX)	(219)
2. 微波系统(HDX)	(220)
3. 时序系统(SEQ)	(221)
4. 用于(SAW)表面波应答器的微波系统	(222)
二、控制单元	(223)
第三节 低成本结构的 IC 卡阅读器 U2270B	(224)
第四节 天线的连接	(226)
一、电感式系统的天线	(226)
1. 利用电流匹配来进行连接	(226)

2. 通过同轴电缆馈接	(227)
3. 品质因数 Q 的影响	(231)
二、微波系统的天线	(232)
第五节 阅读器的结构形式	(233)
一、OEM 阅读器	(233)
二、工业用读取设备	(233)
三、便携式阅读器	(234)
第十二章 应答器和非接触芯片的制造	(235)
第一节 玻璃和塑料应答器	(235)
一、模块制造	(235)
二、应答器半成品	(237)
三、整合成品	(237)
第二节 非接触 IC 卡	(238)
一、线圈制造	(238)
1. 绕制工艺	(238)
2. 布线工艺	(240)
3. 丝网印刷工艺	(240)
4. 蚀刻工艺	(242)
二、连接工艺	(242)
三、层压工序	(243)
第十三章 应用示例	(245)
第一节 非接触 IC 卡	(245)
第二节 公共交通	(247)
一、开始的形势	(247)
二、要求	(247)
1. 交易时间	(247)
2. 天气适应性、使用寿命、操作便利性	(248)
3. 使用射频识别系统的优势	(248)
四、电子车票的收费模式	(249)
1. 价目表模式 1	(249)
2. 价目表模式 2	(250)
3. 价目表模式 3	(250)
4. 最优票价结算	(250)
五、市场潜力	(250)
六、项目示例	(251)
1. 韩国汉城	(251)
2. 德国: 吕纳堡、奥尔登堡	(252)
3. 欧盟的“ICARE”和“CALYPSO”项目	(253)
第三节 票务应用	(256)

一、汉莎航空公司的 Miles & More 卡	(256)
二、订滑雪票	(258)
第四节 门禁控制	(259)
一、在线系统	(259)
二、离线系统	(260)
三、应答器系统	(261)
第五节 交通系统	(262)
一、Eurobalise S21	(262)
二、国际集装箱运输	(264)
第六节 动物识别	(265)
一、牛的饲养	(265)
二、信鸽竞赛	(270)
第七节 电子闭锁防盗装置	(272)
一、闭锁防盗装置的功能	(273)
1. 检查单独的序列号	(274)
2. 变换编码方法(滚动编码)	(274)
3. 利用固定密钥的加密法(确证身份)	(274)
二、近期成绩回顾	(275)
三、未来展望	(276)
第八节 容器识别	(277)
一、贮气瓶和化学容器	(277)
二、垃圾清除	(278)
第九节 体育活动	(280)
第十节 工业自动设备	(283)
一、工具识别	(283)
二、工业化生产	(286)
1. 使用射频识别系统的好处	(287)
2. 适用的射频识别系统的选择	(288)
3. 项目示例	(289)
第十四章 市场概览	(293)
第一节 选择标准	(293)
一、工作频率	(293)
二、作用距离	(293)
三、安全要求	(294)
四、存储容量	(295)
第二节 系统概览	(295)
第十五章 附录	(307)
第一节 联系地址和展览会	(307)
一、工业协会	(307)

二、专业杂志	(308)
三、展览会	(309)
四、因特网上的射频识别系统	(310)
第二节 相关的标准和规范	(310)
一、相关的标准和规范	(310)
二、标准及规范的获取来源	(313)
第三节 参考文献	(313)
第四节 印制版布线	(321)
一、符合 ISO 14443 标测的测试卡	(321)
二、场发生器线圈	(325)

第一章 导 论

近年来,自动识别方法在许多服务领域、在货物销售与后勤分配方面、在商业部门、在生产企业和材料流通领域得到了快速的普及和推广。自动识别方法的任务和目的是提供关于个人、动物、货物和商品的信息。

几年前,条型码——纸带在识别系统领域引起了一场革命并得到了广泛应用。今天,这种条型码——纸带在越来越多的情况下已经不能满足人们的需求了。条型码虽然很便宜,但它的不足之处是存储能力小以及不能改写。

一种技术上最佳的解决方案是将数据存储在一块硅芯片里。在日常生活中,具有触点排的 IC 卡(电话 IC 卡、银行卡等)是电子数据载体的最普遍的结构。然而,对 IC 卡来说,在许多情况下,机械触点的接通是不可靠的。数据载体与一个所属的阅读器之间的数据进行非接触传输将灵活得多。电子数据载体工作时所需要的能量通过阅读器非接触地传输来获取。根据使用的能量和数据传输方法,我们把非接触的识别系统称作射频识别系统(RFID - Radio Frequency Identification)。

根据从事射频识别系统开发并使产品适合市场需求的公司数量的增多,说明了这种产品的市场一定会不断地扩大。估计 20 世纪末年射频识别系统的世界总销售额可达到 20 亿美元以上。目前,射频识别系统产品市场是无线电工业增长最快的部门,包括了手机和无绳电话[isd]。

近年来,非接触识别已经逐步发展成为一个独立的跨学科的专业领域。这个专业领域与任何传统学科都不相同。它将大量来自完全不同专业领域的技术综合到一起:如高频技术、电磁兼容性、半导体技术、数据保护和密码学、电信、制造技术和许多专业应用领域。

将在下面介绍各种自动识别系统(Auto ID - Automatic Identification Systems)的概况,它们与射频识别系统的功能比较相似。

第一节 自动识别系统

一、条型码系统

近 20 年来,条型码同其他的识别系统相比获得了越来越多的认可。20 世纪 90 年代开始,根据专家们的估计,条型码系统在西欧的销售量为 30 亿德国马克[vmich]。

条型码是一种二进制代码。这种代码以平行排列的线条和分隔的间隙组成了数据。这些条型码是按照事先规定的图序排列的,并表示相关字符的数据元素。由宽的和窄的线条或间隙组成的序列可以用数字或字母来解释。通过激光扫描读出,就是说,通过照射在黑色线条和白色间隙上的激光的不同反射来读出[ident 1]。虽然它们的物理结构相同,但是在今天使用的大约十种类型的条型码的代码结构之间却存在着明显的区别。

— 1 —

在这方面,广泛推广使用的条形码是欧洲商品条形码。这种条形码是 1976 年为了保护食品行业的利益而专门设计的。欧洲商品条形码是美国通用产品条形码的进一步发展。美国在 1973 年已经采用了通用产品条形码。今天,通用产品条形码只是欧洲商品条形码的一个子集。因此,两种条形码可以兼容[vinich]。

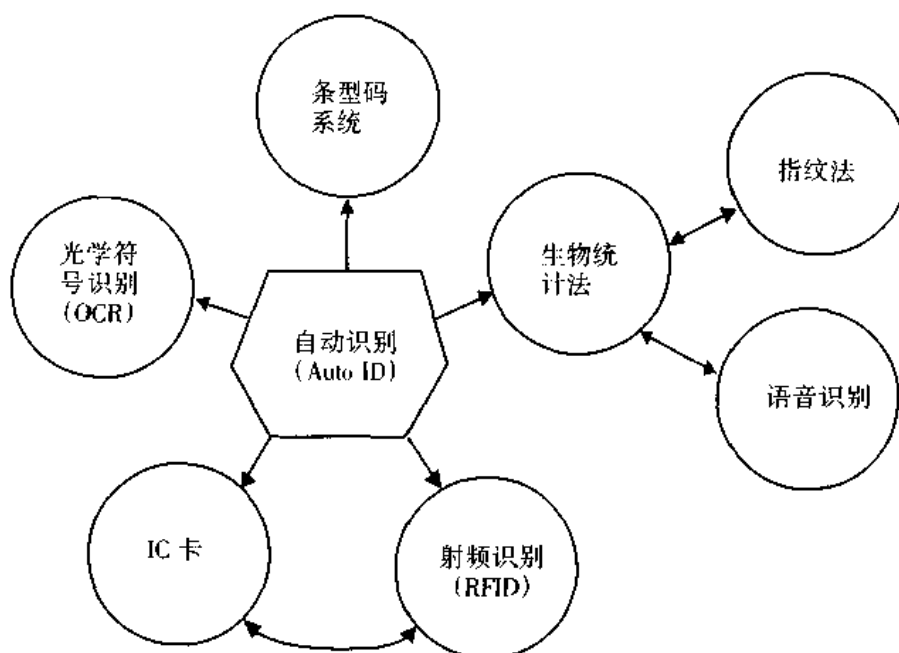


图 1.1 自动识别方法综合示意图

欧洲商品条形码由 13 个数字组成:国家标记、联邦统一的企业编号、厂商的商品编号以及一个校验数字(见图 1.2;图 1.3)。

国家标记		联邦统一的企业编号					生产者的个人商品编号					校验码
4	0	1	2	3	4	5	0	8	1	5	0	9
BRD 联邦德国		厂址: 依登特大街 1 号 80001 号,慕尼黑					巧克力 100g					

图 1.2 欧洲商品条码的编码结构举例

除了欧洲商品条码代码外,以下条码在其他领域也有着广泛的应用。

- 条码 Cobabar: 医学临床应用,安全要求很高的领域。
- 条码 2/5 interleaved(交错的): 汽车工业、商品仓库、产品品种、船舶集装箱和重工业。
- 条码 39: 加工工业、后勤、大学和图书馆。



图 1.3 该条码含有 ISBN 号

二、光学符号识别

早在 20 世纪 60 年代就已经开始使用光学符号识别器 (OCR—Optical Character Recognition) 了。为此,发明了一种字体(风格特殊的字符)。人们可以按照正常方式来阅读,也可以由机器自动地来检测。光学符号识别系统最主要的优点是:信息密度高,在紧急情况下也可以用眼睛阅读数据[vimich]。

今天,光学符号识别系统的应用领域是:生产领域、服务和管理领域、以及银行部门。银行用于登记支票。^① 然而,光学符号识别系统的推广由于价格昂贵以及同其他识别方法相比较阅读器较为复杂而受到限制。

三、生物计数测量法

在杜登外来语词典中,将 Biometrie 一词解释为“生物体计数与(身体)测量的科学”。在识别系统意义上,生物体计数测量法是通过不会混淆的某种人体特征的比较来识别不同个人的方法。在实践中,是指手印法和指纹法、语音识别法以及眼底视网膜识别法。

1. 语音识别

近来,为了识别个人,发展了一种能从支票最下面一行的符号中找出说话人的个人数据的识别方法。其原理为:说话人使用一个与计算机相连接的麦克风说话,计算机将说话人话音转变成数字信号,再由识别软件检测这些数字信号。

识别说话人的目的是:根据他的语音特征审查他本人所表明的身分。将其声音特征与已存储的参考式样作比较。在情况相符时,能引起一种反应(例如:“开门”)。

2. 指纹法(指纹鉴定法)

在刑事侦查中,人们早在世纪之交为识别犯罪分子已经使用了指纹法。在这方面涉及到指尖的乳突与皮嵴的比较(它们不但可以从手指本身获得,也可以从嫌疑人所接触过的物体上获得)。

用指纹法识别时,大多是为了出入检查,要将指尖放在一台特殊的阅读器上。阅读系统根据读入的图形计算出一组数据,并将这些数据与存储的参考图形相比较。现代指纹识别系统用不到半秒钟就能识别和验证出指纹的真伪。指纹识别系统甚至能够识别出提供的手指是不是活人的[schmidhausler]。

① 在支票的最下面一行,可以查找到个人数据(如姓名、帐号)。这些数据是作为光学符号识别字体印在上面的。

四、IC 卡

人们所说的 IC 卡(芯片卡)是一种数据存储器系统,必要时,还可具有附加的计算能力(CPU 卡)。为了使用方便,人们将这种电子数据存储器装入一个像信用卡大小的塑料卡片内。1984 年,第一张 IC 卡开始作为预付电话费的存储卡使用。工作时,将 IC 卡插入阅读器,阅读器的接触弹簧与 IC 卡的触点产生电流接触,阅读器通过接触点给 IC 卡提供能量和定时脉冲,阅读器与 IC 卡之间的数据传输是通过双向串行接口(I/O 口)进行的。根据 IC 卡的内部结构区分为两种基本类型:存储器卡和微处理器卡(统称 IC 卡)。

IC 卡的最主要的优点之一是:可防止其内部存储的数据被恶意地存取和处理。IC 卡能使几乎所有与信息或现金交易相关的服务变得更加简便、安全和经济。因此,1992 年全世界发售了 2 亿张 IC 卡(其中,仅德国就占了 20%!)。1995 年,已有 6 亿张 IC 卡,其中有 5 亿张存储卡和 1 亿张 CPU 卡。可以看出,IC 卡市场是增长最快的微电子技术市场之一。

接触式 IC 卡的缺点是:触点对腐蚀和污染缺乏抵抗能力。这样,经常会使阅读器由于发生故障而增加维护费用。另外,自由开放的阅读器(如小的电话间)无法防止被污损或破坏。

1. 存储器卡

对存储器卡来说(见图 1.4),是经时序逻辑电路对存储器(大多是一个电可擦写的只读存储器—EEPROM)进行存取的。使用这一系统还能集成一些简单的安全算法,例如数据流密码(Stream cipher)。存储器卡的功能大多数是针对某些特殊的应用的,使用的灵活性受到较大限制。但是存储器卡的价格非常便宜,因此,存储器卡首先在对价格敏感的公众场合使用[rank1]。这方面的例子是:在政府退休金系统中使用的全国保险卡[lemme]。

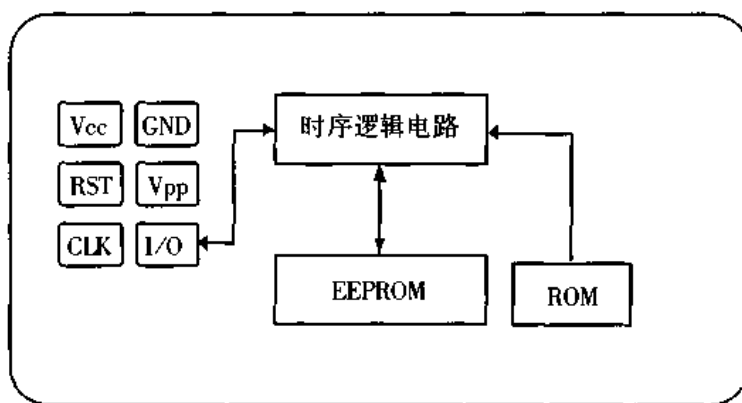


图 1.4 具有安全算法的逻辑电路存储器卡的典型结构

2. CPU 卡

CPU 卡包含有如图 1.5 所示的微处理器。这个微处理器与一个分段存储器(ROM 段、RAM 段和 EEPROM 段)相连接。

掩模编程的只读存储器(ROM)中包含有微处理器的操作系统,是在芯片制造过程中装入的。只读存储器的容量和功能在生产时已决定,使用中也不能重写。

在芯片的 EEPROM 中有应用数据和专用的程序代码。其存储范围只能在操作系统控制下进行读写。

随机存取存储器(RAM)是微处理器的暂时的工作存储器。存储的数据在断开电源后消失。

CPU 卡是非常灵活的,现代 IC 卡操作系统也能够使各种应用集成在一张卡里(多功能卡)。专用的应用程序是在 IC 卡生产后才装入其 EEPROM 中的,通过操作系统进行初始化。

CPU 卡首先应用于安全敏感领域。这方面的一个例子是全球移动通信系统(GSM)手机的 IC 卡或新的欧洲支票或电子现金卡。此外,CPU 卡的编程特性使其可以很快适应新开辟的应用领域[rank1]。

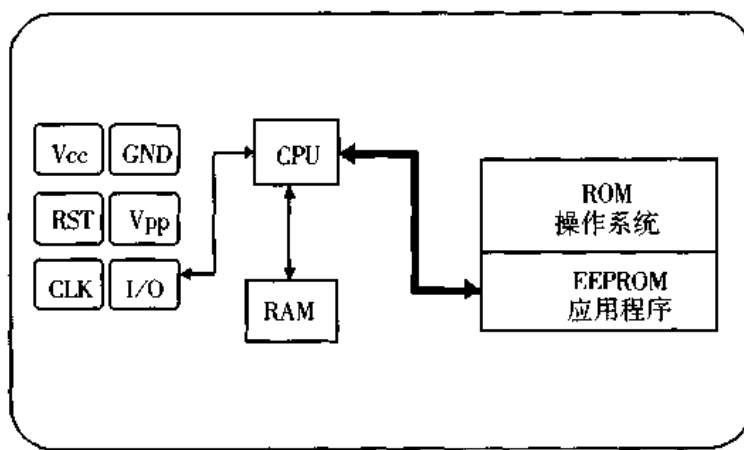


图 1.5 CPU 卡的典型结构

五、射频识别(RFID)系统

射频识别系统与上述的 IC 卡有着密切的关系。数据存储的电子数据载体(称应答器)之中。然而,应答器的能量供应以及应答器与阅读器之间的数据交换不是通过电流的触点接通而是通过磁场或电磁场,这方面采用了无线电和雷达技术。射频识别是无线电频率识别的简称,即通过无线电波进行识别。

同其他识别系统相比,射频识别系统具有许多优点。因此,射频识别系统开始占领了巨大的销售市场。这方面的例子是:用非接触 IC 卡作短距离公共交通工具。

第二节 各种识别系统的比较

有关识别系统之间的比较(表 1.1),表明了射频识别系统与其他系统的弱点和优点。这里还表明了接触 IC 卡与射频识别系统之间的密切的关系,但对后者来说,避免了与触点接通易受干扰的缺点(破坏、污染、只有一个插接方向、插入费时等等)。

表 1.1 各种识别系统优缺点的比较

参 数 \ 系 统	条形码	光学符号识别	语音识别	生物计数测量法	IC 卡	射频识别系统
典型的数据量/字节	1 ~ 100	1 ~ 100	-	-	16 ~ 64K	16 ~ 64K
数据密度	小	小	高	高	很高	很高
机器阅读的可读性	好	好	费时间	费时间	好	好
个人阅读的可读性	受制约	简单容易	简单容易	困难	不可能	不可能
受污染/潮湿影响	很严重	很严重	-	-	可能(接触)	没有影响
受光遮盖影响	全部失效	全部失效	-	可能	-	没有影响
受方向和位置影响	很小	很小	-	-	一个插入方向	没有影响
用坏/磨损	有条件的	有条件的	-	-	接触	没有影响
购置费/电子阅读设备	很少	一般	很高	很高	很少	一般
工作费用(例如:打印机)	很少	很少	无	无	一般(接触)	无
未经准许的复制/修改	容易	容易	可能*(录音带)	不可能	不可能	不可能
阅读速度(包括数据载体的使用)	低 ~ 4s	低 ~ 3s	很低 > 5s	很低 > 5 ~ 10s	低 ~ 4s	很快 ~ 0.5s
数据载体与阅读器之间的最大距离	0 ~ 50cm	< 1cm (扫描器)	0 ~ 50cm	直接 接触**	直接接触	0 ~ 5m 微波

* 使用随机发生器来选择一段要说的文字,可以减少“重放”的风险,因为事先不知道哪些文字必须说

** 这仅仅适用于指纹识别。在利用眼睛视网膜或虹膜的情况下,直接接触是不必要或不可能的。

第三节 射频识别(RFID)系统的组成

射频识别系统(见图 1.6;图 1.7)一般由以下两部分构成:

·**应答器**:应答器应放置在要识别的物体上;

·**阅读器**:^① 阅读器可以是读或写/读装置,取决于所使用的结构和技术。

一台典型的阅读器包含有高频模块(发送器和接收器)、控制单元以及与应答器连接的耦合元件。此外,许多阅读器还都有附加的接口(RS 232, RS 485 等),以便将所获得的数据进一步传输给另外的系统(个人计算机、机器人控制装置等)。

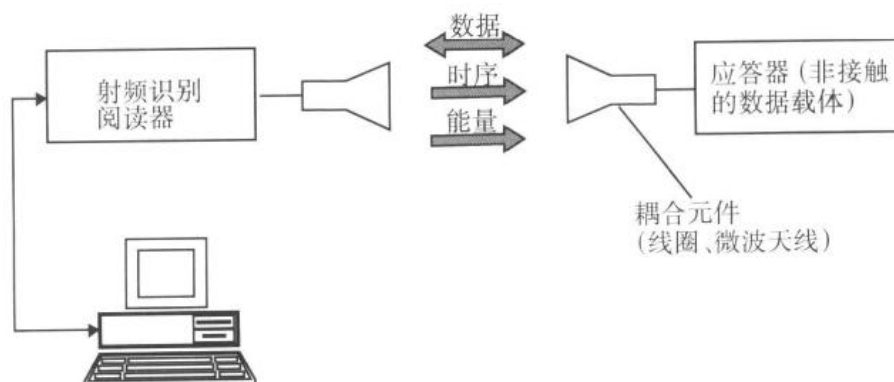


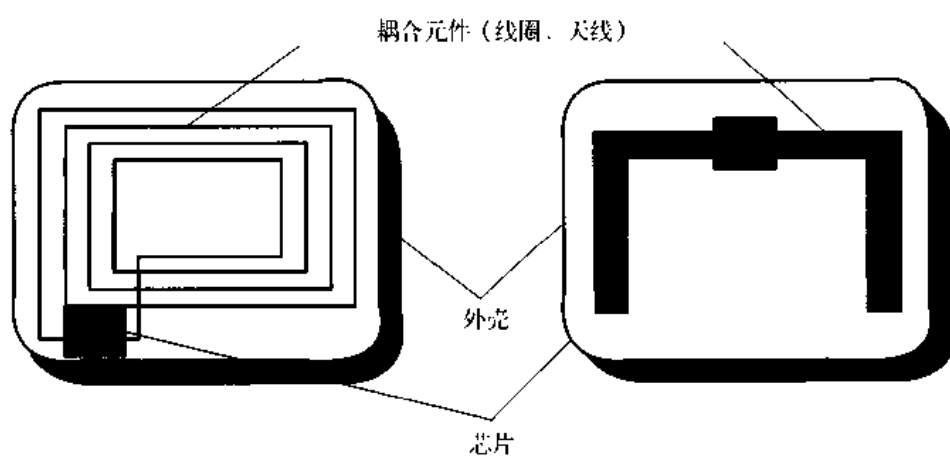
图 1.6 阅读器和应答器是各种射频识别系统的基本组成部分



图 1.7 一个实际应用的射频识别阅读器和非接触 IC 卡(应答器)

应答器是射频识别系统真正的数据载体。通常,应答器由耦合元件以及微电子芯片组成(见图 1.8)。在阅读器的响应范围之外,应答器处于无源状态。通常,应答器没有自己的供电电源(电池)。只是在阅读器的响应范围之内,应答器才是有源的。应答器工作所需的能量,如同时钟脉冲和数据一样,是通过耦合单元(非接触的)传输给应答器的。

^① 在本书中,数据捕获装置通常称作阅读器,与是否用它只是读还是读/写数据无关。



带有天线线圈的电感耦合应答器(左)

带有偶极子天线的微波应答器(右)

图 1.8 射频识别的数据载体——应答器的基本结构

第二章 射频识别(RFID) 系统的区别特征

第一节 基本区别特征

射频识别系统包含了许多不同改型品种,由众多厂家生产。为了了解射频识别系统的全貌,需要找出能把各种射频识别系统相互区别开来的特征(见图 2.1)。

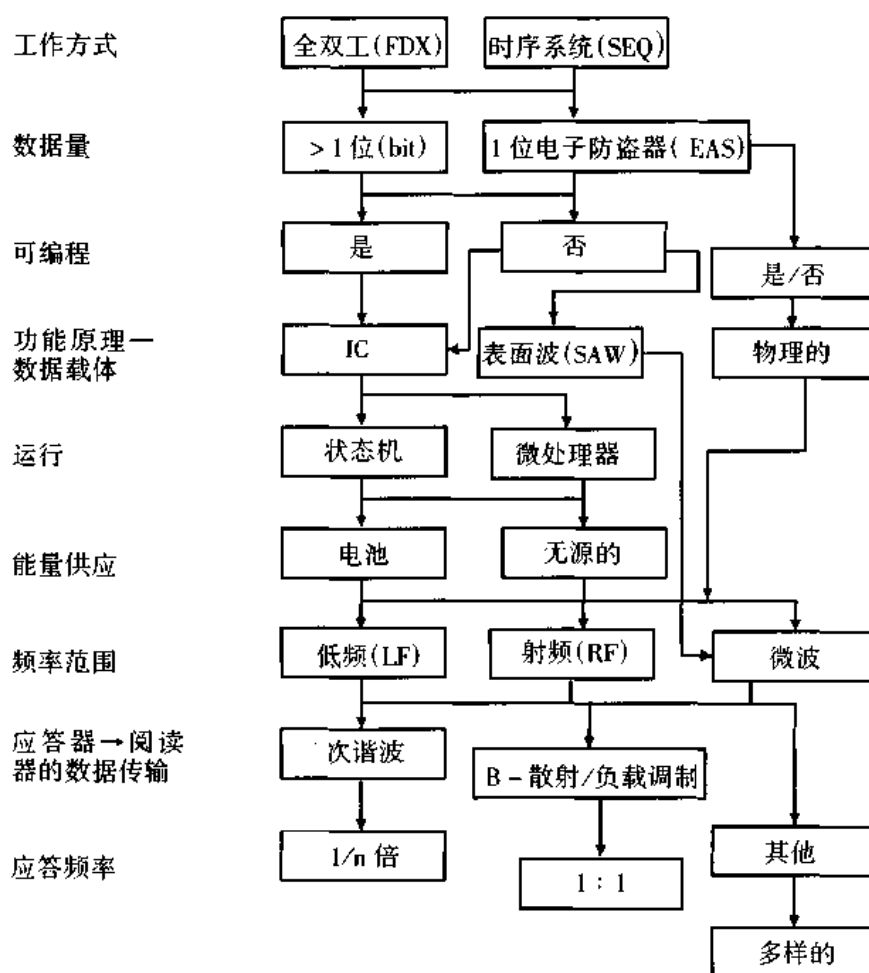


图 2.1 射频识别系统的各种区别特征[isd]

就射频识别系统的基本工作方式来说,分为全双工(FDX)和半双工(HDX)系统以及时序(SEQ)系统。

在全双工和半双工系统中,应答器的应答响应是在阅读器接通高频电/磁场的情况下发

送出去的。因为与阅读器本身的信号相比,应答器的信号在接收天线上是很弱的,所以必须使用合适的传输方法,以便把应答器的信号与阅读器的信号区别开来。在实践中,人们对从应答器到阅读器的数据传输使用负载调制,有副载波的负载调制,还有阅读器发射频率的谐波。

时序方法则与之相反,阅读器的电/磁场短时间周期地断开。这些间隔被应答器识别出来,并被用于从应答器到阅读器的数据传输。时序方法的缺点是:在阅读器发送间歇时,应答器的能量供应中断,这就必须通过装入足够大的辅助电容器或辅助电池进行补偿。

射频识别应答器的数据量通常在几个字节到几千个字节之间。但是,有一个例外,这就是1比特应答器。它有1比特的数据量就足够了,使阅读器能发出两种状态的信号:“在电磁场中有应答器”或“在电/磁场中无应答器”。这对于实现简单的监控或信号发送功能是完全足够的。因为生产1比特应答器不需要电子芯片,所以用不到一芬尼(德国货币)的钱就能生产一个1比特应答器。由于这个原因,大量的1比特应答器在百货商场和商店中用于商品防盗系统(EAS)。当带着没有付款的商品离开百货商场时,安装在出口的阅读器就能识别出“在电/磁场中有应答器”的状况,并引起相应的反应。对按规定已付款的商品来说,1比特应答器在付款处被除掉或者去活化。

能否给应答器写入数据是区分射频识别系统的另外一个因素。对很简单的系统来说,应答器的数据组大多是很简单的(序列)号码,是在加工芯片时集成进去的,以后不能改变。与此相反,可写入的应答器通过阅读器写入数据。为了存储数据,主要使用三种方法:对电感耦合的射频识别系统来说,使用电可擦可编程只读存储器(EEPROM)是主要的方法。然而,使用这种方法的缺点是:写入过程中的功率消耗很大,使用寿命最高为写入100,000次。最近,也有个别厂家使用所谓的铁电随机存取存储器(FRAM)。与电可擦可编程只读存储器相比,铁电随机存取存储器的写入功率消耗减少100倍,写入时间甚至减少1000倍。然而,铁电随机存取存储器生产中的问题至今仍阻碍着这种产品赢得广阔市场。

特别是,对微波系统来说,还使用静态随机存取存储器(SRAM)存储数据。这种存储器能很快写入数据。为了永久保存数据,需要用辅助电池作不中断的供电。

对可编程序系统来说,必须由数据载体的“内部逻辑”控制对存储器的写读操作以及对写/读授权的请求。在最简单的情况下,可以由一台状态机来完成(详见第十章“电子数据载体的结构”),使用状态机,可以完成很复杂的过程。然而,状态机的缺点是:对修改编程的功能缺乏灵活性,这意味着要设计制造新的芯片,由于这些变化需要修改硅芯片上的电路,因而要花费大量钱财。

微处理器的使用明显的改善了这种情况。在芯片生产时,将用于管理应用数据的操作系统,通过掩膜方式集成到微处理器中,这种修改花费不多。此外,软件还能调整以适合各种专门应用。

为了与非接触IC卡一致起见,人们把用状态机控制的可写入数据载体也称作“存储器卡”,以便和“CPU卡”区分开来。

我们还将提及利用各种物理效应存储数据的应答器,其中包括只读的表面波应答器和通常能去活化(写入“0”)以及极少的可以重新活化(写入“1”)的1比特应答器。

射频识别系统的一个重要的特征是应答器的供电。无源的应答器自己没有电源。因此,无源的应答器起作用的所有能量必须从阅读器的电磁场中取得。与此相反,有源的应答

器包含一个电池,为微型芯片的工作提供全部或部分(“辅助电池”)能量。

射频识别系统的另一重要特征是系统的工作频率和作用距离。通常把阅读器发送时使用的频率称作射频识别系统的工作频率。不考虑应答器的发送频率。在大多数情况下,把它叫做阅读器发送频率(负载调制、反向散射)。然而,在任何情况下,应答器的“发射功率”会比阅读器的发射功率低几十个百分点。

各种发送频率基本上划归三个范围:低频(30kHz ~ 300kHz)、高频或射频(3MHz ~ 30MHz)和超高频(300MHz ~ 3GHz)或微波(> 3GHz)。根据作用距离,射频识别系统的附加分类是:密耦合(0 ~ 1cm)、遥耦合(0 ~ 1m)和远距离系统(> 1m)。

按应答器回送到阅读器的数据传输的各种方法可以分为三类:应用反射或反向散射(反射波的频率与阅读器的发送频率一致即频率比为 1:1)或负载调制(阅读器的电/磁场受应答器的影响→频率比为 1:1),分谐波(1/n 倍)以及应答器中产生的高次谐波(n 倍)。

第二节 应答器的构造形式

一、盘形

最常见的构造形式是所谓的盘形。应答器放在一个圆形的丙烯腈丁二烯苯乙烯喷铸的外壳里,直径从几毫米到 10cm。在中心处大多有一个用于固定螺丝的圆孔。也可以使用聚苯乙烯或者环氧树脂代替丙烯腈丁二烯苯乙烯,前者适用于更大的温度范围(见图 2.2)。



装入外壳之前的应答器线圈和芯片(右上方)

阅读器天线的不同构造形式(左)

图 2.2 盘形应答器的各种构造形式

二、玻璃外壳

人们研制了玻璃应答器,将其植入到动物的皮下(参见第十三章“应用示例”)以识别动

物。

在这个只有 12~32mm 长的小玻璃管里,有一个装在载体(印刷电路板)上的微芯片以及用于稳定所获得的供应电压的芯片电容器。应答器线圈是由 0.03mm 粗的线材绕在铁氧体磁芯上。为了保持机械稳定,其内部组成部分都嵌入一种软粘胶剂中(见图 2.3;图 2.4)。

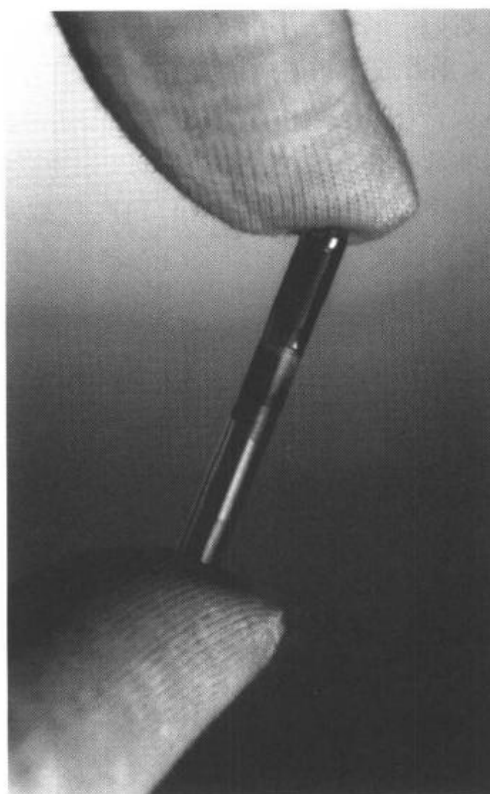


图 2.3 一个 32mm 的玻璃应答器(用于识别动物或进一步加工成其他形式)

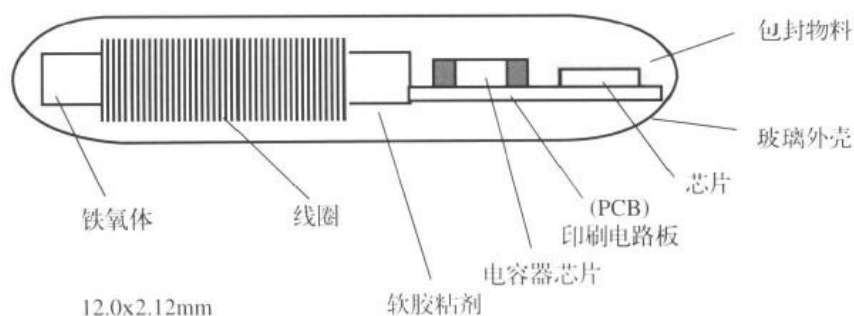


图 2.4 玻璃应答器的机械结构

三、塑料外壳

为了满足对机械要求很高的应用,人们研制了塑料外壳(塑料包装 PP)。这种塑料外壳(见图 2.5;图 2.6)也很容易与其他的构造形式结合成整体,例如集成到电子停车系统的电

子钥匙中。

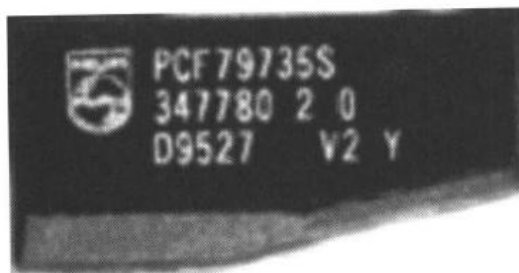


图 2.5 塑料外壳应答器

由包封物料(集成电路的浇注材料)构成的斜面长方体几乎与玻璃应答器的组成完全一样。但是,它较长的线圈具有更远的作用范围。其他的优点是:能容纳较大的微型芯片以及正如汽车工业所要求的对机械振动的高承载能力。塑料外壳应答器也能满足其他的质量要求,例如温度循环或冲击试验[bruhnke]。

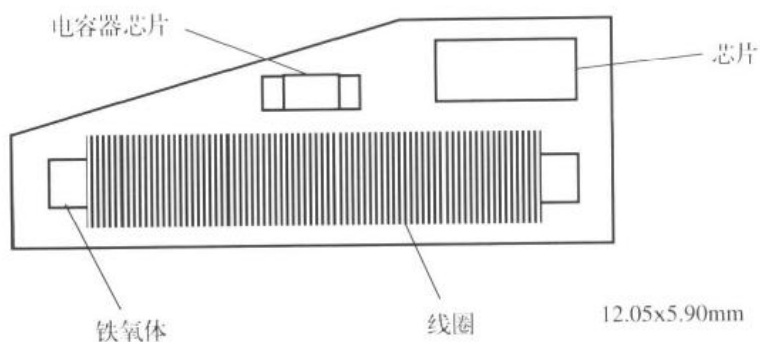


图 2.6 塑料外壳应答器的机械结构(外壳厚度正好 3mm)

四、工具和气体瓶子的识别

为了将电感耦合的应答器安装在金属外壳里,开发了特殊形式的结构(见图 2.7)。这就是将应答器线圈绕在铁氧体的壳式铁芯上。应答器芯片装在铁氧体壳式铁心的背面,并与应答器线圈触点接通。

为了获得足够的机械稳定、耐振动和耐热性能,将应答器芯片和铁氧体壳式磁芯用环氧树脂浇注在一个 PPS 的凹形壳中[link]。为了装入一个用于工具识别的拉紧螺栓或突锥柄里,应答器的外部尺寸要符合 DIN/ISO 69873 标准。为了进行气体瓶子的识别,也可以使用与此不同的构造设计(见图 2.8)。

五、钥匙和钥匙扣

应答器也可集成到用于自动停车的号码器或安全要求很高的门锁系统的机械钥匙中。这些应用通常都是塑料外壳的应答器的,它们被浇注或注入到钥匙扣里(见图 2.9)。

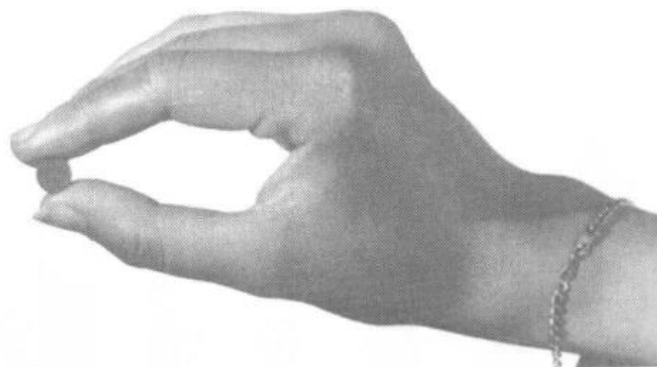


图 2.7 按照国际标准 DIN/ISO 69873 的构造形式
(制造业用的应答器装入数控设备的一个螺栓里)

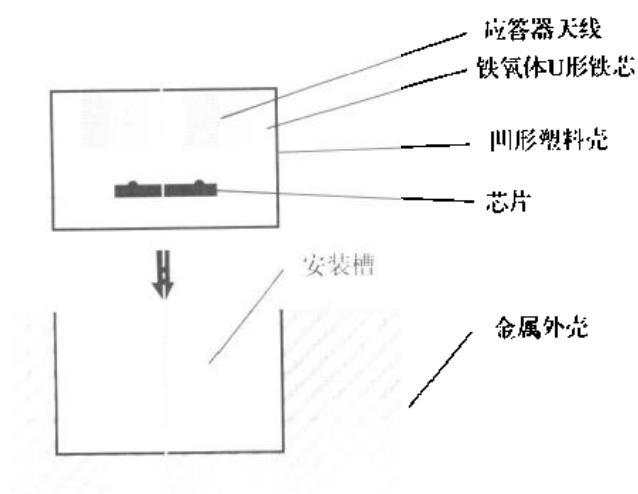


图 2.8 装入金属外壳的应答器的机械结构:将应答器线圈绕在 U 形铁氧体铁芯上,然后将线圈浇注在凹形塑料壳中(装入时 U 形铁芯的开口向上)

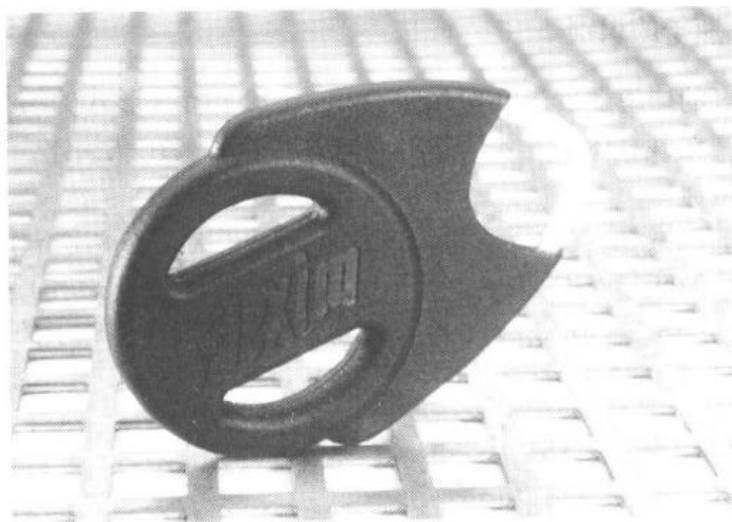


图 2.9 一种出入系统使用的钥匙扣式应答器

这种钥匙扣式应答器的设计非常适用于办公室或工作间的出入系统。

六、手表

这种结构形式是在 20 世纪 90 年代初期由奥地利滑雪数据公司研制成功的,作为滑雪通行证使用。这种“非接触的手表”最早也在出入检查系统中使用。手表内有一个印在一块薄印刷电路板上少量匝数的框形天线。电路板与线圈外壳靠得很紧,使得被天线线圈覆盖的面积尽可能的大(从而使作用距离增加)(见图 2.10)。

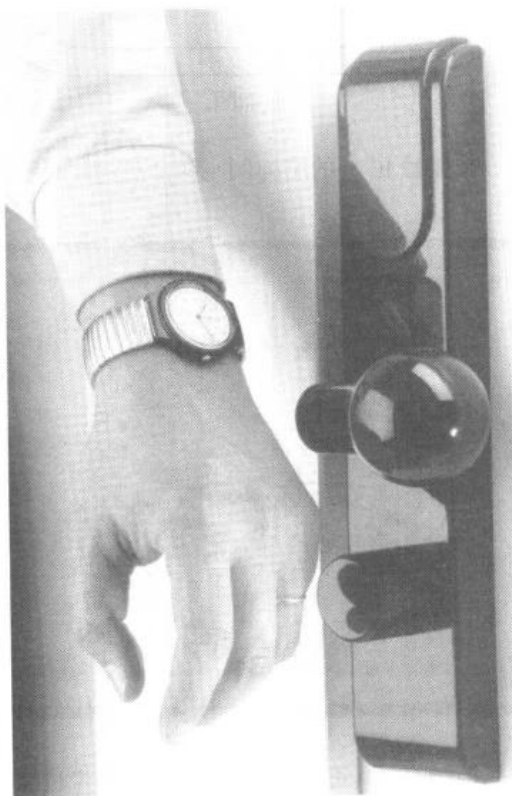


图 2.10 与应答器一体化的手表作为非接触的出入许可证

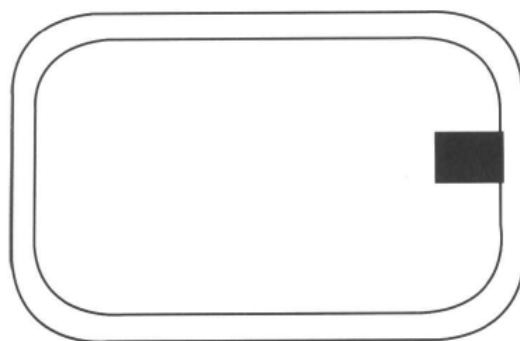
七、ID-1 型非接触 IC 卡

像信贷卡和电话卡那样的 ID-1 型卡是小形的塑料卡($85.72\text{mm} \times 54.03\text{mm} \times 0.76\text{mm} \pm$ 容许偏差)。就射频识别系统而言, ID-1 型卡对非接触 IC 卡的意义越来越大。

对电感耦合的射频识别系统来说,这种结构的优点是:线圈面积大。增加了 IC 卡的作用范围。

非接触的 IC 卡是在四层 PVC(聚氯乙烯)薄膜之间粘合一个应答器而构成的(见图 2.11;图 2.12)。在高压和 100°C 温度的条件下,将这些单层薄膜烘压而成一个整体(在第十二章“应答器和非接触芯片的制造”中,对非接触 IC 卡的生产作了详细的说明)。

ID-1 型的非接触 IC 卡特别适合用作广告载体,就像电话 IC 卡那样,表面可加印上图文广告。



正面图

图 2.11 非接触 IC 卡的结构(卡上有应答器芯片和天线)



图 2.12 半透明的非接触 IC 卡(可以清楚地看出,沿着卡边缘的是应答器天线)

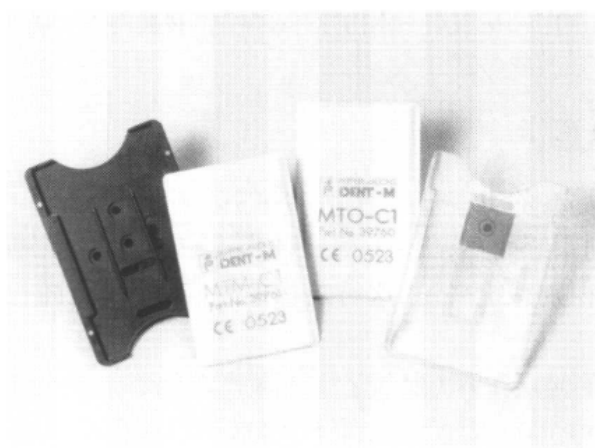


图 2.13 塑料外壳半封装的微波应答器

当然,也不必总是遵从 ISO 7810 对 ID-1 型卡所要求的最大为 0.8mm 的厚度。因

为,微波应答器(见图 2.13)需要一种较厚的结构形式。大多是在两个半封装的 PVC 塑料外壳之间粘贴应答器或者用喷铸 ABS 塑料的方法把应答器包起来。

八、智能标签

人们把“智能标签”理解为一种薄膜型构造的应答器。通过丝网印刷或蚀刻技术将应答器线圈安放到只有 0.1mm 厚的塑料薄膜上。这种薄膜往往与一层纸胶合在一起,并在背面涂上粘胶剂。这样,将应答器作成自粘性标签成卷供应。这种标签既薄又灵活,可以将它粘贴在行李、包裹和各种商品上。在贴标签之前,将条型码数据存储在应答器内(见图 2.14)。

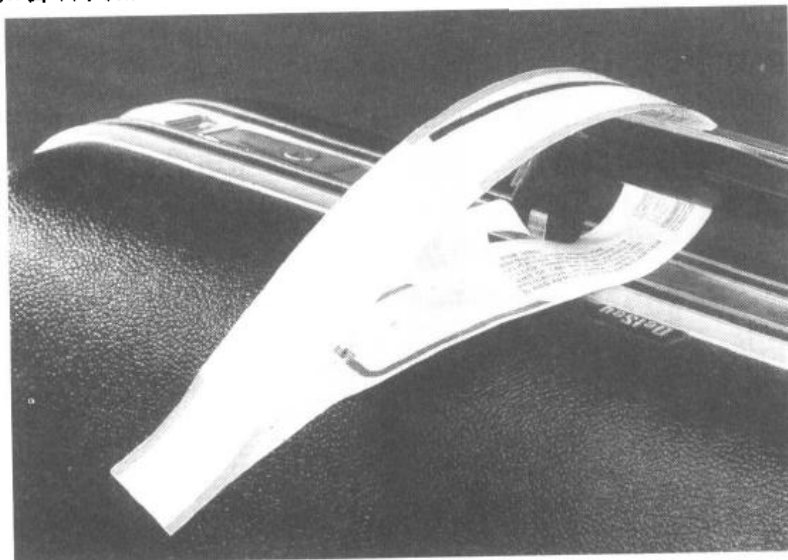


图 2.14 智能标签应答器既薄又灵活,可作为自粘性标签粘贴在空运的行李上。

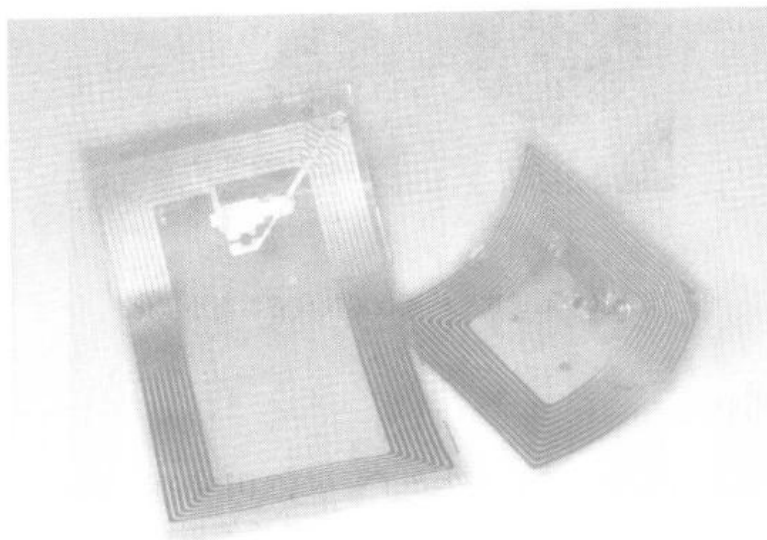


图 2.15 智能标签是由一张薄纸膜或塑料膜构成的(应答器线圈和应答器芯片被安放到这张薄纸膜或塑料膜内)

九、片上线圈

前面所介绍的结构形式,一般应答器是由一个分离的线圈(起天线作用)和一个芯片制成的(混合技术)。在这种情况下,应答器线圈和芯片是以常规的方式被焊接成一体的。

为了进一步微型化,可将线圈与芯片结合成整体,即所谓的片上线圈(coil-on-chip)。它是通过一种特殊的微型电镀过程来实现的(见图 2.15)。这种微型电镀过程可以在普通的互补金属氧化物半导体晶片上进行。这里,线圈作平面螺旋线直接排列在绝缘的硅芯片上,并通过钝化层中的掩膜孔开口与其下的电路触点接通[jurisch-95, jurisch-98]。这样,可得到宽度为 $5 \sim 10\mu\text{m}$ 的导线。层的厚度为 $15 \sim 30\mu\text{m}$ 。为了保证线圈与芯片结合体中的非接触存储器组件的机械承载能力,最后要用聚酰胺进行钝化。

硅芯片和与此有关的整个应答器的尺寸是: $3 \times 3\text{mm}^2$ 。为了方便,把应答器包装在一个塑料壳中。这种应答器的大小为 $\Phi 0.6\text{mm} \times 1.5\text{mm}$ 是市场上可供应的、最小的射频识别应答器(见图 2.16)。

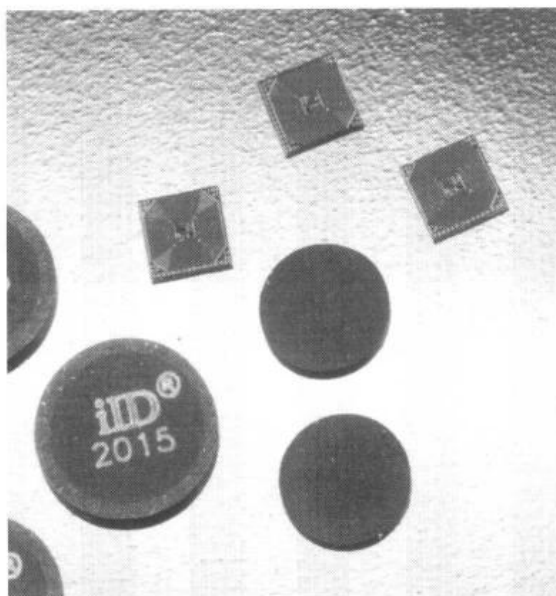


图 2.16 通过片上线圈技术使应答器超小型化

十、其他的结构形式

除了以上这些主要的结构形式外,还生产了一些专门应用的特殊结构形式。例如“信鸽应答器”或者运动计时用的“冠军卡”。凡是顾客希望的应答器结构形式都能生产制造。在这方面,最先考虑的是把玻璃应答器或塑料包装应答器加工成其它结构形式。

第三节 频率、作用距离和耦合

一、密耦合

具有很小作用距离的射频识别系统,典型的范围从 0 到 1cm,人们把这种系统称作密耦合系统,即紧密耦合系统。必须把应答器插入阅读器中,或者放置在阅读器为此设定的表面上。

密耦合系统可以用介于直流和 30MHz 交流之间的任意频率进行工作,因为应答器工作时不必发射电磁波。数据载体与阅读器之间的紧密耦合能够提供较大的能量,甚至可供电流消耗较大的微处理器进行工作。密耦合系统应用于安全要求较高,但不要求作用距离的设备中。例如:电子门锁系统或带有计数功能的非接触 IC 卡系统。目前,密耦合应答器只作为 ID-1 格式的非接触 IC 卡使用。

二、遥耦合

把写和读的作用距离增至 1m 的系统称作遥耦合系统。所有遥耦合系统在阅读器和应答器之间都是电感(磁)耦合。因此,人们也把这些系统称作电感无线电装置。所有出售的射频识别系统的 90~95% 都属于电感(磁)耦合系统(见图 2.17)。

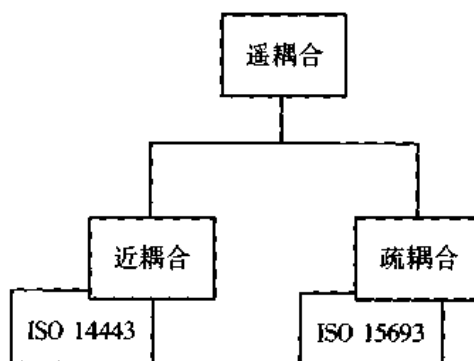


图 2.17 对非接触 IC 卡来说,近耦合(典型距离为 15cm)与疏耦合(大约距离为 1m)是有区别的

作为发送频率,使用 135kHz 以下的频率,或使用 6.75MHz、13.56MHz 以及 27.125MHz 频率。按应答器到阅读器的距离来说,通过电感耦合可传输的能量是很小的,以致往往只使用耗电很少的只读数据载体。使用微处理器应答器的高档系统也属于电感耦合系统的范围之内。

本书对分类只使用“电感(耦合)系统”这个概念,以避免与易混淆的作用距离数据相联系。

三、远距离系统

远距离系统典型的作用距离是从 1m 到 10m, 个别的系统也有更远的作用距离。所有远距离系统都是在微波范围内用电磁波工作的, 发送频率通常为 2.45GHz, 众所周知, 也有些系统使用的频率为 915MHz(在欧洲是不允许的), 5.8GHz 和 24.125GHz。

使微型芯片进行工作, 要对应答器供应足够的能量, 光靠传输的能量是绝对不够用的。因此, 远距离系统(从表面波应答器来看)具有一个辅助电池。这个辅助电池并不是为应答器和阅读器之间的数据传输提供能量, 而是只给微型芯片提供能量, 为读/写存储数据服务的。

为了应答器和阅读器之间的联系, 只能使用高频能量, 该能量由阅读器接收。因此, 把反向散射方法作为由应答器到阅读器的数据传输的标准方法。

为避免与易混淆的作用距离数据相联系。本书对分类只使用微波系统或反向散射系统这个概念。

四、系统特性

射频识别系统的另一种分类是: 按系统的功能和特性分类。如果人们把市场上所有的射频识别系统按其功能分类: 就是说, 按数据载体的存储能力、处理速度、作用距离和密码功能等分类, 可从低档到高档构成整个谱系。

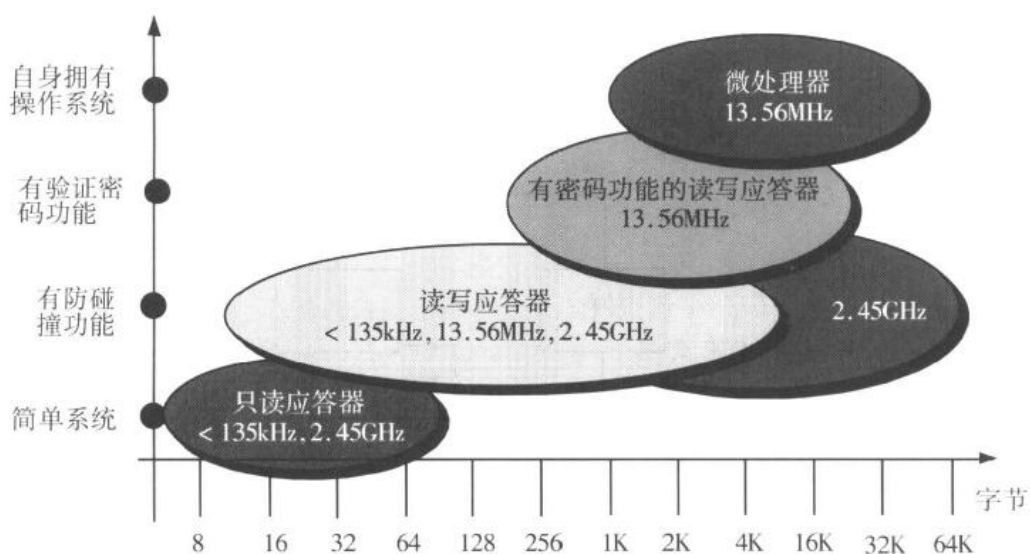


图 2.18 射频识别系统可以划分成低档系统和高档系统

1. 只读系统构成低档系统的下端

只读意味着: 数据载体上的数据虽然能读, 但不能重写。只读芯片的数据通常只由唯一的串行多字节数据组成。如果把一个只读应答器放入某阅读器的高频场, 那么应答器就开始连续发送它本身的序列号。通过阅读器启动只读应答器是不可能的。只有从应答器到阅读器的单向数据流在进行。此外, 在只读系统的工作中, 必须注意: 阅读器的工作范围内只

能有一个应答器,否则,两个或多个应答器的同时发射必然发生数据冲突。因而,阅读器不能识别逻辑的数据。

尽管有这些限制,只读应答器还是有许多用途的,特别适用于只需读出一个确定的数字的情况。由于只读应答器的功能简单,可以使芯片的面积很小。从而,芯片耗费的功率很小,也降低了生产成本。只读系统在频率小于 135kHz 或在 2.45GHz 范围内工作。由于微型芯片耗费功率很小,可达到较大的作用距离。

只读系统在功能上能取代条码系统,例如,用在控制货物流、识别产品品种、集装箱、玻璃瓶等方面。

2. 中档部分

由许多带有可写数据存储器的系统组成射频识别系统的中档部分。这些系统存储量的变化范围介于 16 字节至 16 千字节以上的 EEPROM 或 SRAM 之间。在此范围内,系统类型是多种多样的,以致难于给出确切的数量来。

这些系统用所有可供射频识别系统使用的频率进行工作,特别是 135kHz、13.56MHz、27.125MHz 和 2.45GHz。

3. 系统的高档部分

由具有密码功能(即有验证和数据流密钥)的系统组成。微处理器系统属于高档系统。使用微处理器使得密码学和验证的复杂算法得以实现。当然,用“固定布线”的状态机也是能完成的。

高档系统主要用 13.56MHz 频率进行工作。因为电感耦合的射频识别应答器的时钟频率是从阅读器的发送频率派生出来的,所以当发射频率为 135kHz 时,使用的时钟频率为发射频率的 100 倍。因此,再复杂的验证和数据流编码算法都能以合理的时间来实现。

供高档系统使用的存储容量有几个字节到 16 千字节的 EEPROM 就够用(见图 2.18)了。

第三章 基本作用原理

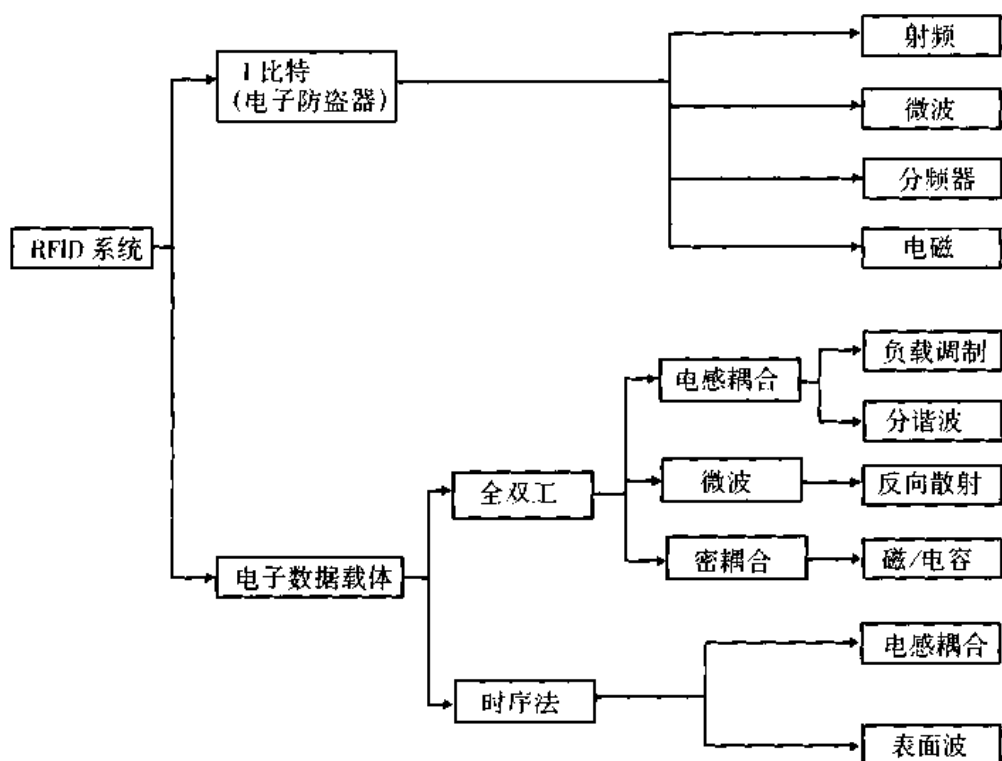


图 3.1 射频识别系统的工作原理(本章内容结构)

本章介绍应答器和阅读器之间的基本协同,特别是应答器的供电和从应答器到阅读器的数据传输。我们将在“第四章:射频识别系统的物理基础”深入论述其物理意义以及电感耦合或反向散射系统的数学模型。

第一节 1 比特应答器

1 比特(bit)是可表示的最小信息单位,且仅需识别两种状态:“1”或“0”。对具有 1 比特应答器的系统来说,意味着只有两种可表示状态:“响应范围内有应答器”或者“响应范围内无应答器”。虽然功能简单,但 1 比特应答器的使用范围还是非常广泛的。它的主要应用领域是在商场里的电子防盗器(EAS)。

电子防盗器由以下几部分构成:一个“阅读器”或检测器的天线、安全保密设备或标签以及一种可选的在付款后使标签无效的去活化器。对现代系统来说,商品的标签在其登录价码的同时就失效了。有一些系统还使用另一种活化器,用这种活化器可以将去活化后的标

签重新活化成为可以再次使用的[gillert]。所有系统的主要功能特性是:识别率或检测率与通道宽度(应答器和检波器天线之间的最大距离)有关。

在联邦德国工程师协会规范 VDI 4470 的“货物安全系统规范”中,规定了对所安装的货物安全系统进行检查和测试的过程,该规范包含计算检测率和错误报警率的一些定义和测试过程。这个规范可以作为零售业中签定销售合同的基础,或用于对安装的系统在运行过程中的性能监视。对厂商来说,顾客检查规范为安全项目的综合解决方案的优化和发展提供了有效的评价基准[nach VDI 4470]。

一、射频

射频(RF)法是运用 L-C 振荡回路工作的(见图 3.2)。该振荡回路调到一个规定的谐振频率 f_R 。早期的方案是用焊接在塑料壳(硬标签)中的电容和卷绕的漆包线电感。现代系统中采用在商品名牌薄膜的导体上蚀刻应答器线圈的方法。为了使阻尼电阻不过大而使振荡回路的品质因数变差,在 $25\mu\text{m}$ 厚的聚乙烯薄膜上的铝导体厚度必须小于 $50\mu\text{m}$ [jörn]。

生产电容器片须使用 $10\mu\text{m}$ 厚的中间薄膜。如果人们将振荡回路移入到交变磁场附近,那么,能量便通过振荡回路的线圈感应出交变磁场能量(感应定律)。如果交变磁场的频率 f_G 与振荡回路的谐振频率 f_R 相符合,振荡回路就激发了谐振振荡。此振荡过程从交变磁场取得能量。因而,振荡线圈上的振荡过程,可以根据交变磁场中振荡线圈的短时电压变化或电流变化得到。这种线圈电流的短时上升(或者线圈电压下降)被直观地称作降落(Dip)(见图 3.3)。

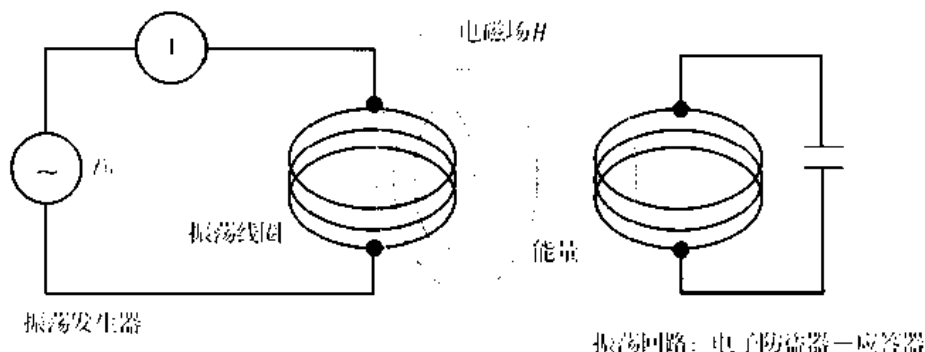


图 3.2 电子防盗器的射频作用原理

这种 Dip 的相对强度取决于两个线圈的距离,受激的振荡回路(在应答器里)的品质因数。尤其是取决于两个线圈接近的速度,就是说,应答器的振荡回路以怎样的速度接近振荡器线圈,后者的磁场当距离增加时减弱。对防盗设备(电子防盗器)来说,通过设备的结构限定了两个线圈的最大距离。同样,使用的材料也决定了振荡回路的品质因数。

设计者不能对进入振荡器磁场的进入速度 V 施加限制,只能考虑以无限小的速度接近振荡回路时所产生的一种无限小的 Dip。

为了保证可靠地识别粘贴在产品上的 1 比特应答器振荡回路,需要获得一个尽可能明显的 Dip。这是通过一个小技巧来实现的:使产生磁场的频率不是恒定的,而是“扫频”的。

此时,振荡器频率不断扫过最大和最小频率之间的范围。 $8.2\text{MHz} \pm 10\%$ 的频率范围供“扫频”系统使用[jörn]。

如果扫频的振荡器频率正好命中了(在应答器里振荡回路)谐振频率,则振荡回路就开始起振,并由此在振荡器线圈的电源电流中产生一个明显的 Dip。对扫频系统来说,在应答器的谐振频率的位置上的 Dip 取决于扫频速率(频率变化速度),而不是应答器的运动速度,并可调整到最佳的识别率。应答器的频率容许偏差受制造容许偏差或金属环境限制,但是,对识别的可靠性来说是没有问题的。

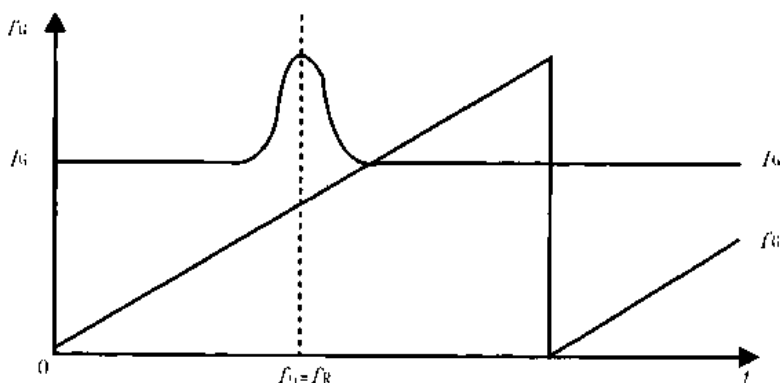


图 3.3 在谐振频率处产生了“Dip”,振荡器的频率 f_G 在两个截止频率之间持续地扫描。
振荡器场中的 RF 标签在它的谐振频率 f_R 上产生一明显的 Dip

如果在付款处不揭下标签,就必须改变标签以防止启动电子防盗器。为实现这一目的,收银员收款后将被保护的产品放到一个装置上,即去活化器。它产生一个足够强的磁场,其感生电压能破坏应答器的薄膜电容。电容器设有固定的短路点,即所谓的浅凹(Dimples)。因为,电容器的击穿是不可逆转的,并严重地破坏了振荡回路,以致于回路不再能被扫频信号激活。

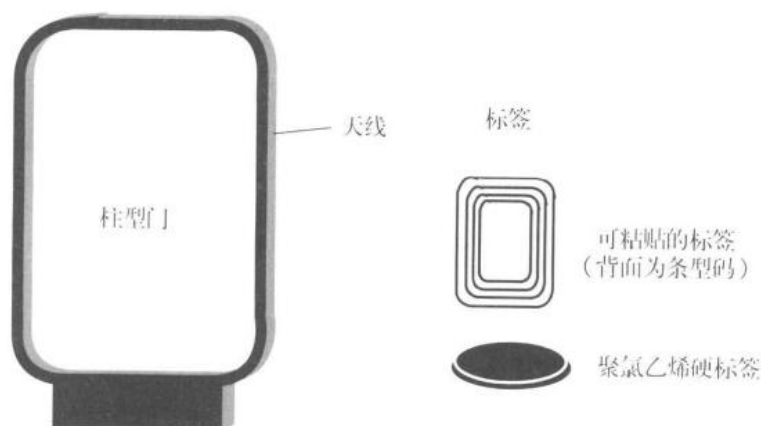


图 3.4 射频系统典型的框形天线(高度 1.20 ~ 1.60m)(左);标签的结构形式(右)

为了产生所需的交变磁场,应该使用大面积的框形天线。柱型的框形天线与通道闸门组合在一起,典型的结构形式如图 3.4(左)所示,在较大的百货商场部可以看到这种结构形式。使用射频系统时,闸门宽度可达 2m。对相当低的检出率(大约 70%)[giller]来说,被检商品材料有着相当大的影响。例如金属(如罐头)影响标签的谐振频率和检波器线圈的耦合,从而降低了检出率。为了达到以上所说的闸门宽度和检出率,必须使用 $50 \times 50\text{mm}$ 的标签。

对系统生产者一个很大挑战是:不仅有各种产品的材料性能问题,还有谐振频率问题(例如电缆卷)。如果它们的谐振频率正处于 $8.2\text{MHz} \pm 10\%$ 的扫频范围内,那么必定引起错误报警。

表 3.1 典型的系统参数[plotzke]

	设备 1	设备 2	设备 3	设备 4
频率/MHz	1.86 ~ 2.18	7.44 ~ 8.73	7.30 ~ 8.70	7.40 ~ 8.60
扫频范围/Hz	141	141	85	85

二、微波

微波范围内的电子防盗器系统(见图 3.5)利用在非线性元件(例如二极管)上产生的谐波。给定频率 f_A 的正弦电压 A 的谐波是正弦电压 B,其频率 f_B 是频率 f_A 的整数倍。频率 f_A 的谐波是频率 $2f_A$ 、 $3f_A$ 、 $4f_A$ 等等。在无线电工程中,人们把输出频率的 N 倍称作 N 次谐波,把输出频率称作载波或第一谐波。

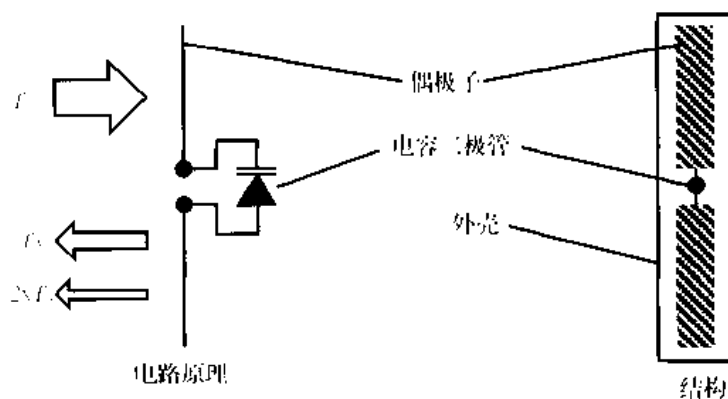


图 3.5 微波标签基本电路和典型的结构

原则上,每个具有非线性特征的二端网络都能产生载波的谐波。然而,对非线性电阻来说,能量被消耗了,只有小部分第一次谐波的功率转变成谐波振荡。在有利条件下,当 f 扩大到 $n \cdot f$ 倍时,效率 $\eta = 1/n^2$ 。如果使用非线性能量存储器来倍增频率,那么在理想情况下没有功率损失[Heckner]。

为了扩大频率,电容二极管非常适合作非线性能量存储器。产生谐波的数量和强度取决于电容二极管的掺杂分布和特性曲线的斜率。斜率的计量单位(等于电容电压特性曲线)

是指数 n (也用 γ)。这个指数对平面扩散二极管来说是 0.33 (例如: BA110), 对合金二极管来说是 0.5, 对有突变 PN 结的调谐二极管来说大约是 0.75 (例如: BB141) [itt75]。

合金电容二极管的电容—电压特性曲线呈正方形。因此, 最适合于倍频。用平面扩散电容二极管可以产生较高的谐波 [fleckner]。

产生谐波的 1 比特应答器的构造极其简单: 在调整到载波频率的偶极子的底部连一个电容二极管。在载波频率为 2.45GHz 的情况下, 偶极子的总长为 6cm。一般使用的载波频率为 915MHz (欧洲以外地区)、2.45GHz 或 5.6GHz。如果应答器处在发射器的发射范围内, 二极管内的电流产生并回射载波的谐波。按所用二极管的类型, 可获得非常明显的二倍或三倍载波频率的信号。

为了保证纺织品不受损伤, 首先使用这种结构形式的塑料浇注应答器 (硬标签)。在付款处付款时把标签揭下来, 还可以重新使用。



图 3.6 在一个检波器的响应范围内的微波标签

图 3.6 中, 将一个应答器放入具有 2.45GHz 的微波发送器的发射范围内。在应答器的二极管特性曲线上产生的 4.90GHz 的二次谐波被反向发射, 并由一个正好调整到这个频率的接收器检测到, 用第二次谐波频率产生的信号能使一个报警设备起动。

如果对载波的振幅或频率进行调制 (振幅键控 ASK, 频移键控), 那么所有的谐波也都有着相同的调制。由此可用于区别“干扰”信号和“有用”信号, 以防止由于外来信号造成的错误报警。

在上述例子中, 用 1kHz 的信号调制载波的振幅 (100% ASK)。它在应答器上产生的二次谐波也被 1kHz 进行了调制 (ASK)。信号在接收器接收后被解调, 然后送往 1kHz 检测器。此时如果干扰信号碰巧处于 4.90GHz 的接收频率不会触发错误报警, 因为它们没有被正常调制。

三、分频器

这种方法在 100 ~ 135.5kHz 的长波范围内进行工作。安全标签包含有半导体电路 (微型芯片) 以及漆包线的振荡回路线圈 (见图 3.7)。用外接的电容, 使电子防盗器系统的谐振电路在工作频率处产生振荡, 应答器以硬标签 (塑料) 形式使用并且在买到东西时去掉。

应答器中微型芯片的能量供应来自安全装置的磁场 (见“本章下节应答器的能量供应”)。振荡回路线圈上的频率被微型芯片一分为二 (DIV2) 后送回安全装置。只有原频率一半的信号经一抽头送回谐振线圈。

用低频触发安全装置的磁场(经 ASK 调制)可以提高检测率。与谐波的产生过程类似, 载波的调制(ASK 或 FSK)保持在原频率的半频波(分谐波)中。这可用来区别“干扰”信号和“有用”信号, 这种系统几乎完全排除了错误报警。

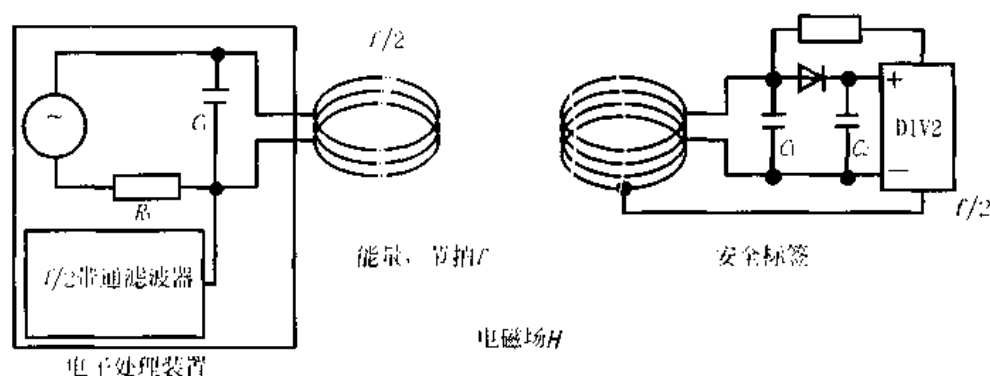


图 3.7 电子防盗器分频过程的电原理图: 安全标签(应答器)和检测器

正如射频系统已经使用的那样, 用框形天线作传感器天线。

表 3.2 典型的系统参数[plotzke]

频率	130kHz
调制方式	100% 的振幅键控
调制频率/信号	12.5Hz 或 25Hz, 矩形 50%

四、电磁法

电磁法用 10Hz 至大约 20kHz 的低频范围内的强磁场进行工作。安全标签为一条具有陡峭的磁滞回线的坡莫合金软磁条(参见第四章“射频识别系统的物理基础”)。磁条位于强交变磁场中时, 其极性被周期地反向磁化。磁条中的磁通密度 B 在所加磁场强度 H 跨越零的附近的跳跃变化(非线性的特征: 参见本节“微波”一段)产生频率为安全装置基频的谐波, 这些谐波可以由安全装置接收和处理。

电磁法可以通过将附加的高频信号加到主信号上进行优化。磁条磁滞曲线显著的非线性不仅产生谐波, 也产生所提供信号的和频与差频的信号。假设主信号频率 $f_H = 20\text{Hz}$, 附加信号频率 $f_1 = 3.5\text{kHz}$ 和 $f_2 = 5.3\text{kHz}$, 将产生以下信号(第一级):

$$f_1 + f_2 = f_{1+2} = 8.80\text{kHz}$$

$$f_1 - f_2 = f_{1-2} = 1.80\text{kHz}$$

$$f_H + f_1 = f_{H+1} = 3.52\text{kHz} \text{ 等等。}$$

这里, 安全装置对基本频率的谐波没有反应, 而是对附加信号的和频与差频有反应。

标签作成几厘米至 20cm 长的自动粘贴带形式。由于工作频率极低, 电磁系统是惟一适用于含有金属商品的系统。然而, 这种标签的缺点是对位置的依赖性: 为了可靠地检测, 安

全装置的磁力线必须垂直通过坡莫磁条。

标签四周包有一个可轻度磁化的金属外壳以实现去活化的目的,该外壳在付款处被强永久磁铁磁化[plotzke]。由于这种永久性的预磁化,坡莫磁条通过安全装置的弱交变场时不会再被反复磁化,因而也检测不到。

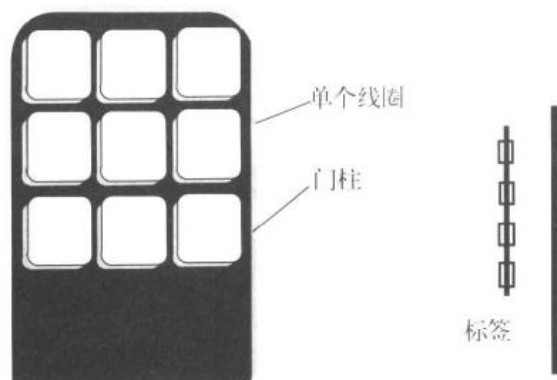


图 3.8 安全装置的典型天线结构形式(高度大约 1.40m)(左)
标签的构造形式(右)



图 3.9 使用中的电磁标签

通过去磁化,标签随时都可以重新活化。去磁化和活化过程往往是可随意进行的。因此,电磁商品标签主要用于图书馆外借。由于标签小(最小为 32mm 长的磁条)而便宜,该系统也越来越多地用于食品零售业(见图 3.8;图 3.9)。

为了能达到使坡莫磁条反复磁化时所需的场强,从两个门柱型线圈系统通道的两侧产生磁场(见图 3.10)。在两个门柱里有若干个单个线圈,典型的是 9~10 个,这些单独的线圈在中心产生弱磁场,在外部产生较强的磁场[plotzke]。所以,用这种方式的闸门可达宽度为

1.50m,检出率达到 70% [gillert]。

表 3.3 典型的系统参数[Plotzke]

	设备 1	设备 2
频率	215Hz	21Hz + 3.3kHz + 5kHz
单个线圈数目	9	12
最大磁通量密度 B (单个线圈)	1037 μ T	118 μ T

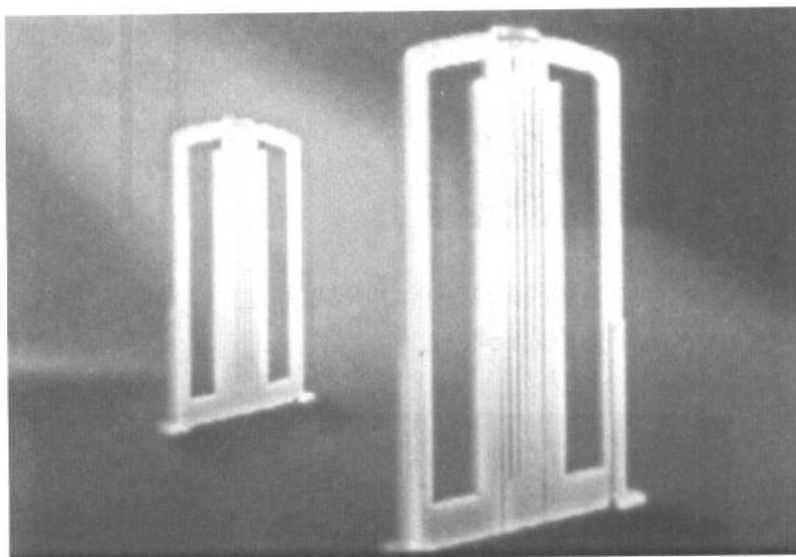


图 3.10 商品安全系统用天线的实际结构

第二节 全双工和半双工

1 比特应答器大多通过应用简单的物理效应(振荡过程、由二极管激发谐波或者在金属的非线性磁滞回线上激发谐波)来实现其功能。与 1 比特应答器相反,在本节和下一节中介绍的应答器是用一个微型芯片来作数据载体的。在这个数据载体上,存储的数据量可达数千字节。为了读出或写入数据,必须在应答器和阅读器之间能够传输数据。数据传输使用了两种基本不同的方法:全双工和半双工。在这一节里专门介绍这两种方法。而在下一节则介绍时序法。

在半双工法(HDX)中,从应答器到阅读器的数据传输与从阅读器到应答器的数据传输是交替进行的。当频率在 30MHz 以下时常常使用负载调制的半双工法,有没有副载波都无所谓,电路也很简单。与此很相近的方式是来源于雷达技术的调制反射截面的方法,工作频率在 100MHz 以上。负载调制和调制反射截面直接影响由阅读器产生的磁场或电磁场,因此被称作“谐波”处理法。

在全双工法(FDX)中,数据在应答器和阅读器之间的双向传输是同时进行的。其中包

括应答器发送数据,所用频率为阅读器的几分之一,即采用“分谐波”,或是用一种完全独立的“非谐波”频率。

这两种方式的共同点是:从阅读器到应答器的能量传输是连续的,与数据传输的方向无关。与此相反,在使用时序系统(SEQ)的情况下,从阅读器到应答器的能量传输总是在限定的时间间隔内进行的(脉冲操作→脉冲系统)。从应答器到阅读器的数据传输是在应答器的能量供应间歇时进行的(见图 3.11)。

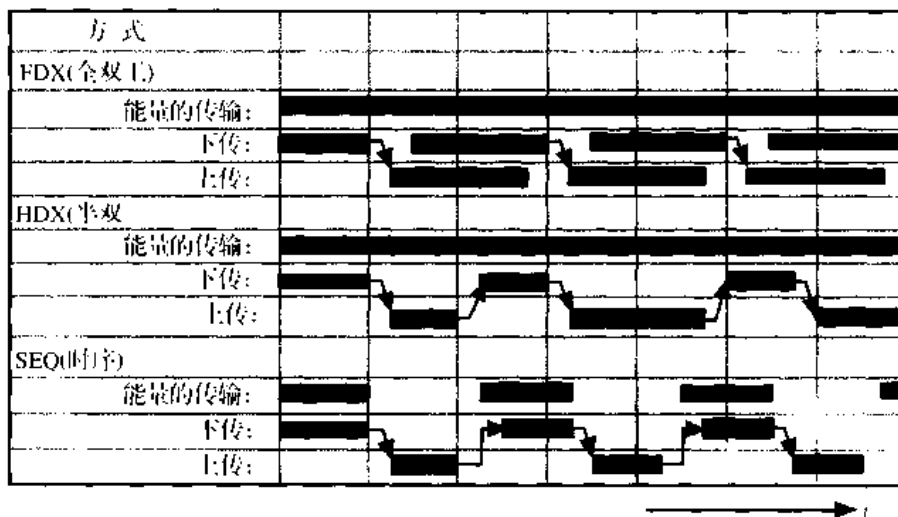


图 3.11 全双工系统、半双工系统和时序系统的时间过程说明

遗憾地是,在有关射频识别系统的文献中,人们对这些不同的系统还没有给出统一的表述术语。相反地,到处流行着对全双工和半双工系统的不统一的分类。所以,人们也经常把脉冲系统称作半双工系统,从数据传输角度看是正确的。同时,又错误地把所有非脉冲系统划归为全双工系统。因此,在这本书中,我们把脉冲系统称作时序系统(SEQ),目的是与其他方法以及大多数射频识别文献(!)区别开来。

在图中,人们把从阅读器到应答器的数据传输称作下传,把从应答器到阅读器的数据传输称作上传。

一、电感耦合

1. 无源应答器的能量供应

电感耦合应答器由一个电子数据载体,通常是由单个微型芯片以及用作天线用的大面积的线圈等组成(见图 3.12;图 3.13)。

电感耦合应答器几乎都是无源工作的。这意味着:微型芯片工作所需要的全部能量必须由阅读器供应。高频的强电磁场由阅读器的天线线圈产生,这种磁场穿过线圈横截面和线圈周围的空间。因为使用频率范围($< 135\text{kHz}$; 2400m , 13.56MHz ; 22.1m)内的波长比阅读器天线和应答器之间的距离大好多倍,可以把应答器到天线的距离间的电磁场当作简单的交变磁场来对待(详见第四章“射频识别系统的物理基础”)。

发射磁场的一小部分磁力线穿过距阅读器天线线圈一定距离的应答器天线线圈。通过感应,在应答器的天线线圈上产生一个电压 U_i 。将其整流后作为数据载体(微型芯片)的电

源。将一个电容器 C_r 与阅读器的天线线圈并联, 电容器电容的选择依据是: 它与天线线圈的电感一起, 形成谐振频率与阅读器发射频率相符的并联振荡回路。该回路的谐振使得阅读器天线线圈产生非常大的电流, 这种方法也可用于产生供远距离应答器工作所需要的场强。

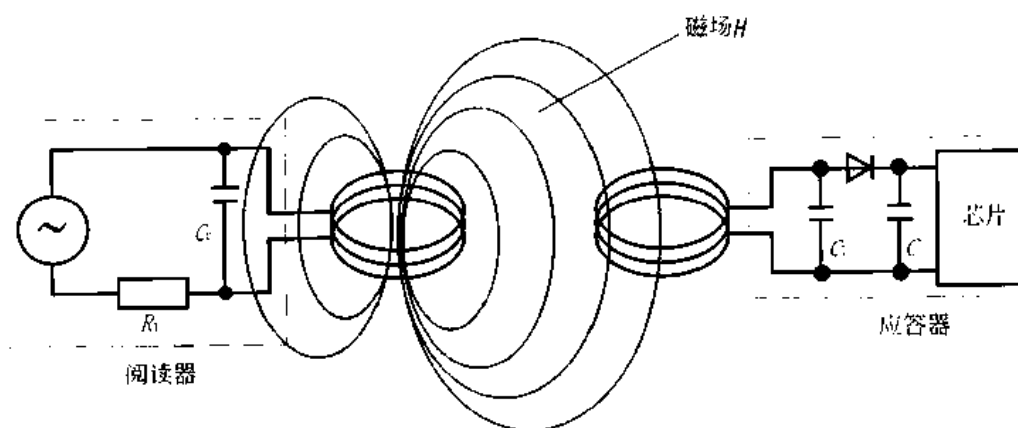


图 3.12 电感耦合应答器的供电来自阅读器产生的交变磁场的能量

应答器的天线线圈和电容器 C_1 构成振荡回路, 调谐到阅读器的发射频率。通过该回路的谐振, 应答器线圈上的电压 U 达到最大值。

这两个线圈的结构也可以解释作变压器(变压器的耦合), 变压器的两个线圈之间只存在很弱的耦合。阅读器的天线线圈与应答器之间的功率传输效率与工作频率 f 、应答器线圈的匝数 n 、被应答器线圈包围的面积 A 、两个线圈的相对角度以及它们之间的距离成比例。

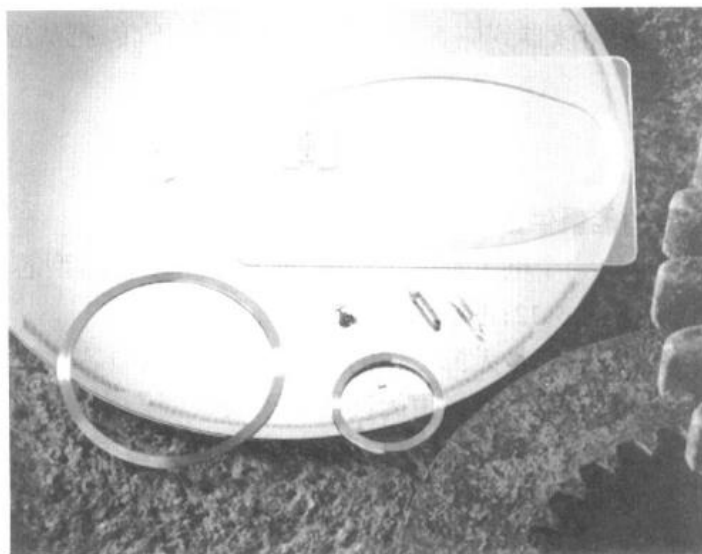


图 3.13 电感耦合应答器的各种部件(图为应答器的半成品, 即喷铸到塑料壳之前的应答器)

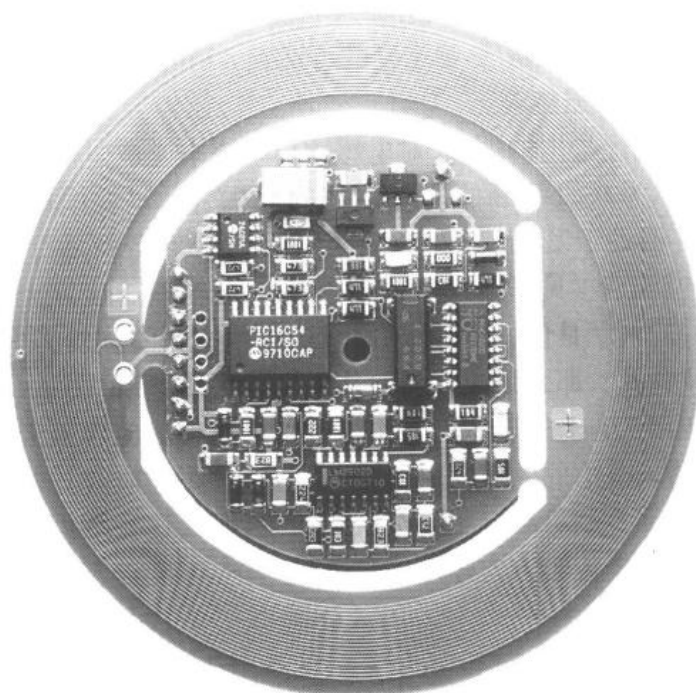


图 3.14 在 < 135kHz 的频率范围内的电感耦合应答器的阅读器(有集成天线)

表 3.4 ATMEL 公司各种射频识别使用的特殊集成电路的电流消耗一览表 * *

芯片名称	存储器/字节	写/读距离	电流消耗	频率	应用
ASIC # 1	6	15cm	10 μ A	120kHz	动物识别
ASIC # 2	32	13cm	600 μ A	120kHz	商品流通, 出入检查
ASIC # 3	256	2cm	6mA	128kHz	公共交通
ASIC # 4	256	0.5cm	< 1mA	4MHz*	商品流通, 公共交通
ASIC # 5	256	< 2cm	~ 1mA	4/13.56MHz	商品流通
ASIC # 6	256	100cm	500 μ A	125kHz	出入检查
ASIC # 7	2048	0.3cm	< 10mA	4.91MHz*	非接触 IC 卡
ASIC # 8	1024	10cm	~ 1mA	13.56MHz	公共交通
ASIC # 9	8	100cm	< 1mA	125kHz	商品流通
ASIC # 10	128	100cm	< 1mA	125kHz	出入检查

* 密耦合系统

* * 表中列出的微型芯片的最小供电电压为 1.8V, 最大容许供电电压为 10V。

随着频率的增加, 所需的应答器线圈的电感, 表现为线圈匝数“ N ”的减少(135kHz: 典型为 100 ~ 10000 匝, 13.56MHz: 典型为 3 ~ 10 匝)。因为应答器中的感应电压是与频率成比例的(参见第四章“射频识别系统的物理基础”), 在较高频率的情况下, 线圈匝数较少对功率传

输效率几乎没有影响。

因为电感耦合系统的效率不高,所以只适用于低电流电路。只有功耗极低的只读应答器($< 135\text{kHz}$)可用于 1m 以上的距离。具有写入功能和复杂安全算法的应答器的功率消耗较大,因而一般的作用距离为 15cm , 尽管个别的可达到 80cm (见图 3.14)。

2. 应答器至阅读器的数据传输

(1)负载调制:正如已经指出的那样,对电感耦合系统来说是一种变压器耦合型,即作为初级线圈的阅读器和作为次级线圈的应答器之间的耦合。只要线圈之间的距离不大于 0.16λ (波长),并且应答器处于发送天线的近场之内,变压器耦合就是有效的(对近场和远距离场的定义的进一步说明请参见第四章“射频识别系统的物理基础”)。

如果把谐振的应答器(就是说,应答器的固有谐振频率与阅读器的发送频率相符合)放入阅读器天线的交变磁场中,那么该应答器就从磁场取得能量(见图 3.15)。从供应阅读器天线的电流在阅读器内阻 R_i 上的降压可以测得此附加功耗。应答器天线上的负载电阻的接通和断开促使阅读器天线上的电压发生变化,实现用远距离应答器对天线电压进行振幅调制。如果人们通过数据控制负载电压的接通和断开,那么这些数据就能够从应答器传输到阅读器。人们把这种数据传输方式称作负载调制。

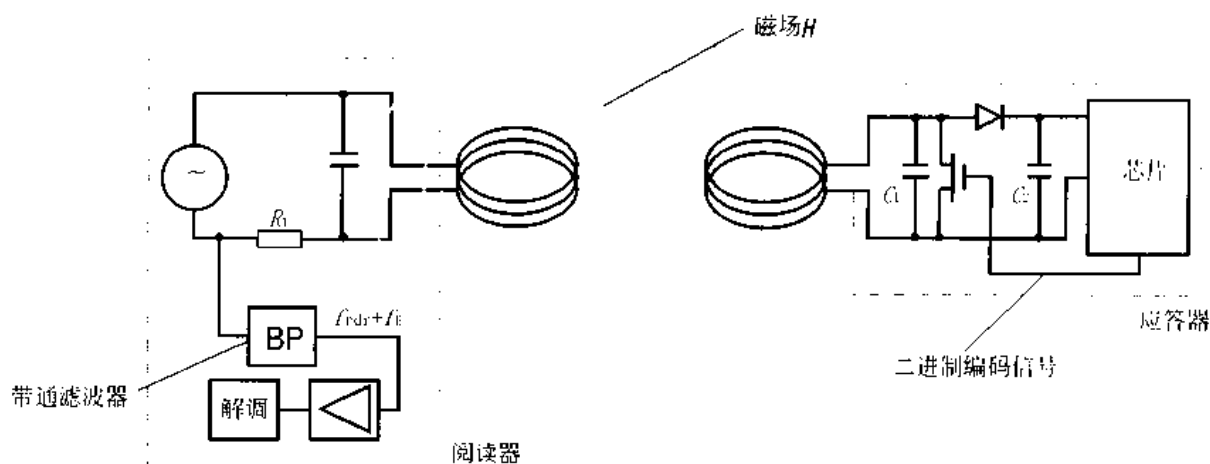


图 3.15 通过芯片上场效应晶体管源-漏电阻的变换在应答器中产生负载调制
(图中阅读器是为检测副载波设计的)

为了在阅读器中回收数据,需要对在阅读器天线上测得的电压进行整流。这意味着对经过振幅调制的信号进行解调。电路举例可参见第十一章阅读器的第三节。

(2)使用副载波的负载调制:由于阅读器天线与应答器天线之间的耦合很弱,阅读器天线上表示有用信号的电压波动在数量级上比阅读器的输出电压小。实践中,对 13.56MHz 的系统来说,当天线电压大约为 100V (通过谐振使电压升高!)时,只能得到大约为 10mV 的有用信号(等于 80dB 有用信号/“干扰信号”之比)。因为检测这些很小的电压变化需在电路上花费巨大开销,所以人们利用由天线电压振幅调制所产生的调制波边带。

如果应答器的附加负载电阻以很高的时钟频率 f_H 接通或断开,那么在阅读器发送频率

$\pm f_H$ 的距离上产生两条谱线, 它们是容易检测到的(然而, 必须是 $f_H < f_{\text{阅读器}}$)。在无线电技术的术语中, 把这种新的基本频率称作副载波。数据传输是及时在数据流中通过振幅键控(ASK)、频移键控(FSK)或相移键控(PSK)调制来完成的, 这就是副载波的振幅调制(见图 3.16)。

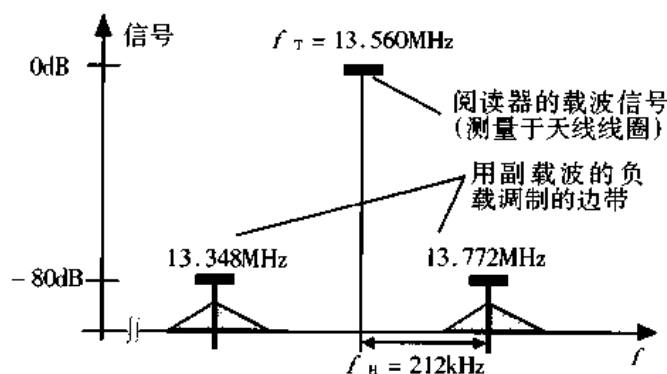


图 3.16 通过使用副载波的负载调制, 在阅读器的发送频率两侧相距副载波频率 f_s 处产生两条波边带(真实的信息在两条副载波的边带中, 副载波的边带是通过自身的调制而产生的)

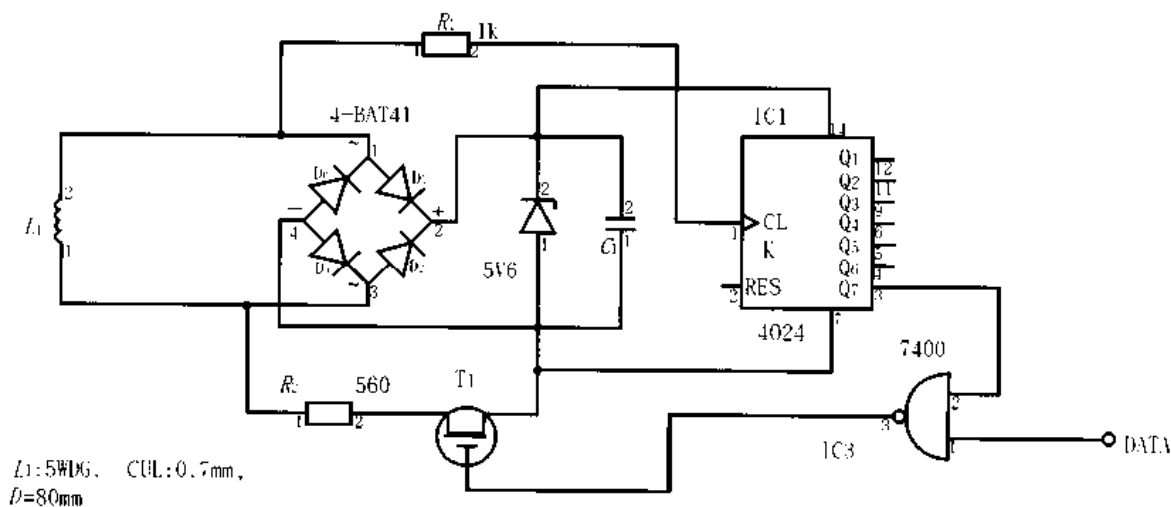


图 3.17 在电感耦合应答器中产生使用副载波的负载调制的电路举例

图 3.17 为使用副载波的负载调制应答器电路实例。设计该电路的工作频率为 13.56MHz, 并产生 212kHz 的副载波。

通过使用副载波的负载调制, 在阅读器天线上和在工作频率两侧副载波频率 $f_{\text{阅读器}} \pm f_H$ 的距离上, 产生两条调制波边带。通过两个频率 $f_{\text{阅读器}} \pm f_H$ 之一的带通滤波器(BP), 这两条调制波边带可以与阅读器的较强的信号分开, 在放大后, 可以很容易地解调副载波信号。

由于副载波的传输所需带宽宽, 这种方法只能适用于工业科学医药(ISM)频率范围: 6.78MHz、13.56MHz 和 27.125MHz(参见第五章“频率范围和允许使用的无线电规范”)。

(3)电路举例——使用副载波的负载调制:通过阅读器的交变磁场在天线线圈 L_1 上感应的电压用桥式整流器 ($D_1 \sim D_4$) 整流,并由电路进一步稳压后作供电电源使用。当应答器接近阅读器天线时,用并联稳压管 (ZD5V6) 来阻止供应电压的无限上升。

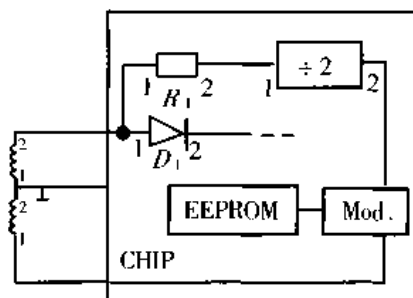


图 3.18 使用分谐波返回频率的应答器的电路原理图(将接收的时钟信号二分频后,用数据调制并被输入到应答器线圈的抽头中)

部分天线高频电压 (13.56MHz) 经串联电阻 (R_1) 送到分频器 (IC1) 的时钟输入 (CLK), 并为应答器产生内部节拍信号。在进行 $2^6 (= 64)$ 分频之后, 得到了 212kHz 的副载波节拍信号在出口 Q7 可供使用。将副载波节拍信号传给开关 (T_1), 数据输入 (DATA) 由一个连续的数据流控制。如果数据输入 (DATA) 有逻辑 HIGH 信号, 那么就将副载波节拍信号传给开关 (T_1)。然后, 负载电阻 (R_2) 在副载波频率的节拍中接通和断开。

对电路来说, 最好把电容同线圈 L_1 并联, 以便使 13.56MHz 的应答器振荡回路产生谐振。这样, 可以使这种“小型应答器”的作用距离明显地扩大。

(4)分谐波法: 人们把具有规定频率 f_A 的正弦电压 A 的分谐波理解为一种正弦电压 B, 其频率 f_B 是通过整除频率 f_A 派生出来的。频率 f_A 的分谐波是频率 $f_A/2, f_A/3, f_A/4, \dots$ 。

在分谐波传输过程中, 二分频后得出的第二次分谐波频率为 f_B , 通常减小为原来的二分之一, 是从应答器上测得的阅读器发射频率 f_A 中获得的。该分频器的输出信号 f_B 现在可以用应答器的数据流进行调制。然后, 调制好的信号经过输出驱动器被反馈回应答器的天线 (见图 3.18)。

分谐波系统经常使用的工作频率是 128kHz, 则应答器上产生 64kHz 的频率, 应答器天线由具有中心抽头的线圈组成, 电源从其一端接入, 应答器的返回信号输入到线圈的第二个接点。

二、电磁反向散射耦合

1. 应答器的能量供应

阅读器与应答器之间的作用距离在 1m 以上的射频识别系统被称作远距离系统。在欧洲, 这些系统用 433MHz 和 5.6GHz 之间的频率进行工作。在欧洲之外 (澳大利亚、北美洲), 个别系统也用 47MHz 或 158MHz 左右的频率进行工作。

这些频率范围的短波波长使人们能设计尺寸较小、效率较高的天线, 使用的频率范围可以是小于 135kHz 和 13.56MHz。通过远距离场随距离的衰减的计算, 可以估计从阅读器到

应答器的功率传输效率。当工作频率为 2.45GHz 而发送天线和接收天线之间的距离为 10m 时,线路衰减大约为 60dB。现在举一个简单的只读应答器例子,如果我们假设微型芯片的功率消耗大约为 $10\mu\text{W}$ (可以用一个功能相同的电感耦合的应答器的功率消耗作比较[sickert]),那么在阅读器上发射的功率必须是 10W(等于 $10\mu\text{W} + 60\text{dB}$)等效发射功率(ERP)。可惜,欧洲的法律规范只允许最大发射功率为 25mW 的等效发射功率。为供应答器微型芯片工作的能量,而上述功率在给定作用距离要求的情况下又绝对不能使用,因此,微波系统中集成了一个对数据载体供应能量用的附加电池(见图 3.19)。为了防止电池消耗在不必要的负载上,通常微型芯片有一个省电的“低功耗”或“备用”工作模式。在“低功耗”模式中芯片的电流消耗最大为几 μA 。

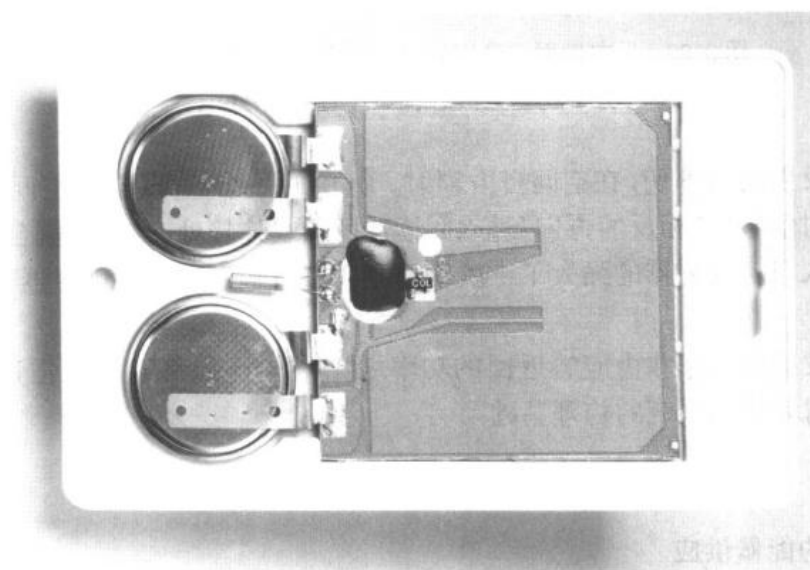


图 3.19 适用于 2.45GHz 频率范围的有源应答器(用两个锂电池为数据载体供应能量,应答器的微波天线做成 U 形平面装在卡上)

如果应答器离开阅读器的场区,芯片自动进入省电的“低功耗”模式。直到从阅读器收到一个足够强的信号,使芯片重新被激活,并开始正常工作。

2. 应答器至阅读器的数据传输

调制的反射横截面——从雷达技术中得知:电磁波被大小超过波长一半的物体所反射。一个物体反射电磁波的效率是通过其反射横截面来说明的。物体同到达它的波前产生谐振时,其反射横截面尤其大,这正是处于适当的频率的天线所用的场合。

功率 P_1 是从阅读器天线发射出来的,它的一小部分(自由空间衰减)到达应答器的天线。到达应答器的功率 P_1' 作为 HF 电压在天线接口处供使用,经二极管 D_1 和 D_2 整流后,可作为操作电压以去活化/活化省电的“低功耗”模式。这里使用的二极管是低阻挡层肖特基二极管,这种二极管具有极低的门槛电压。所获得的电压足够用于短作用距离的能量供应。到达的功率 P_1' 一部分被天线反射,返回功率为 P_2 。天线的反射性能(等于反射横截面)会受连接到天线的负载变化的影响。为了从应答器到阅读器传输数据,与天线并联的附加负载电阻 R_L 的接通和断开要和传输的数据流一致,从而完成对由应答器反射的功率 P_2

振幅的调制(调制后的反向散射)(见图 3.20)。

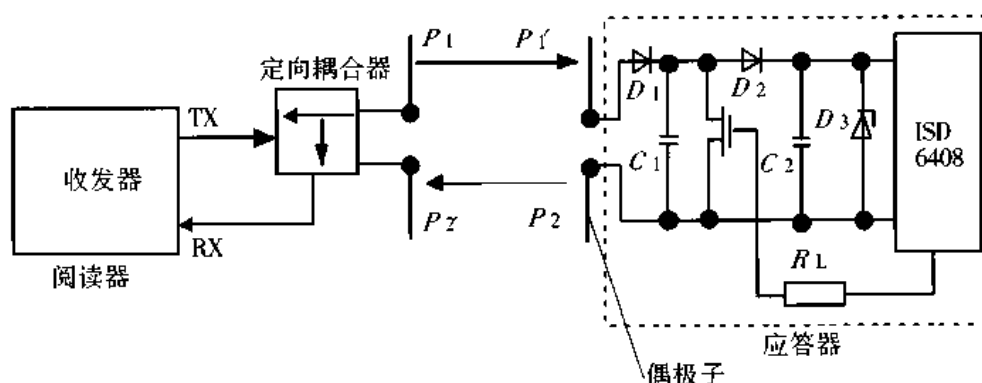


图 3.20 反向散射应答器的作用原理(通过芯片上的场效应晶体管的换接“调制”芯片的阻抗)[isd]

由应答器反射的功率 P_2 在空间自由辐射。其中的一小部分(自由空间衰减)被阅读器天线接收。反射信号以“相反的方向”进入阅读器的天线连接处,被定向耦合器解耦后,送到阅读器的接收入口。发射器的强大了十次幂的“前进”信号通过定向耦合器在很大程度上受到了抑制。

由阅读器发射的功率和由应答返回的功率之比(P_1/P_2')可以根据雷达方程进行估算(详见第四章“射频识别系统的物理基础”)。

三、密耦合

1. 应答器的能量供应

密耦合系统是为从 0.1cm 到最大 1cm 的作用距离设计的。因此,工作时需将应答器插入阅读器之中(见图 3.21),或放到一个有标记的表面上(“touch & go”)。

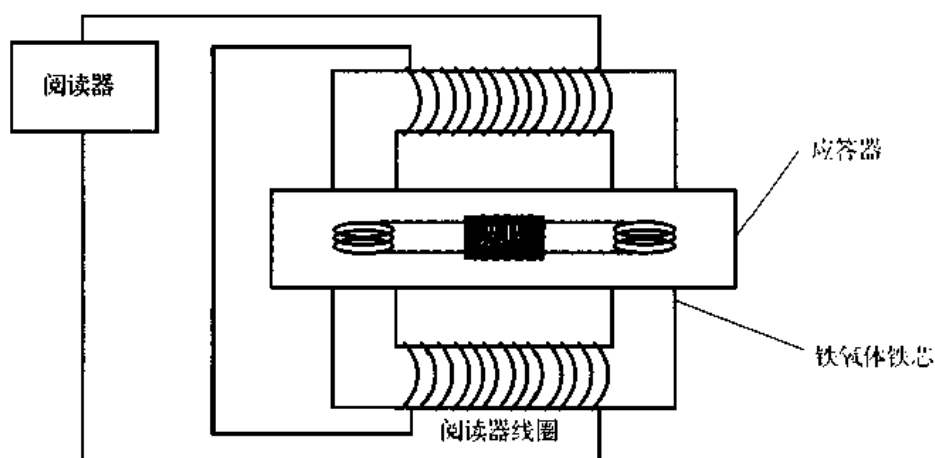


图 3.21 在一个具有磁耦合线圈的插入式阅读器中的密耦合应答器

应答器插入阅读器之中或放到使应答器线圈能在环形铁芯或 U 形铁芯的能准确定位的缝隙中。应答器线圈和阅读器线圈的功能结构相应于变压器。阅读器线圈相当于变压器的初级线圈, 应答器线圈相当于变压器的次级线圈。通过初级线圈的高频交流电, 在这样安排的铁芯和气隙中产生高频磁场。这种高频磁场也穿过应答器线圈, 并在应答器线圈中感应出频率相同的交流电压。对此电压整流, 可获得供芯片使用的电源电压。

由于在应答器线圈中感应的电压 U 与激励电流的频率 f 成正比, 所以应当为能量传输选择尽可能高的频率。在实践中, 使用从 1 ~ 10MHz 范围的频率。为了使变压器铁芯中的损耗很小, 必须选用合适的铁氧体作铁芯材料。

与电感耦合系统或微波系统相反, 密耦合系统从阅读器到应答器的功率传输效果很好。特别适合于需要较高能量进行工作的芯片。例如微处理器约需要几十毫瓦的功率进行工作 [sickert]。因此, 市场上供应的密耦合 IC 卡系统, 都带有微处理器。

非接触的密耦合芯片卡的机械参数和电气参数在国际标准 ISO 10536 中, 有相应的规定。至于其他的设计, 其工作参数可以自由设定。

2. 应答器至阅读器的数据传输

(1) 磁耦合: 为了从应答器到阅读器进行磁耦合数据传输, 在密耦合系统中也使用有副载波的负载调制。对密耦合 IC 卡来说, 在国际标准 ISO 10536 中规定了副载波频率及其调制。

(2) 电容耦合: 由于阅读器和应答器之间的距离很小, 在密耦合系统中也使用电容耦合来进行数据传输。这里, 平板电容器由互相绝缘的耦合平面构成, 当应答器插入时, 应答器耦合平面和阅读器的耦合平面之间完全互相平行 (见图 3.22)。

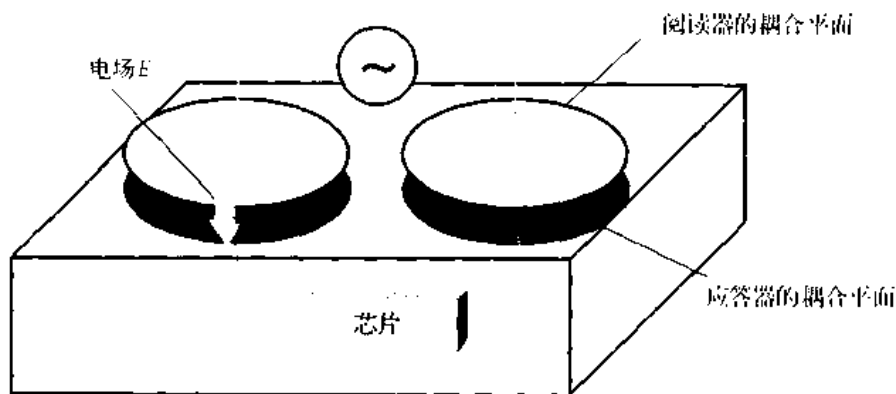


图 3.22 密耦合系统的电容耦合是在两个平行的、相互距离很小的金属平面之间完成的

密耦合 IC 卡也使用这种方法。国际标准 ISO 10536 中规定了这些卡的机械性能和电气性能。

四、阅读器至应答器的数据传输

在全双工系统和半双工系统中, 所有已知的数字调制方法都可用于从阅读器到应答器的数据传输, 而与工作频率或耦合方式无关。大致可以区分为以下三种基本方法:

- ASK:振幅键控
- FSK:频移键控
- PSK:相移键控

为了便于解调,多数系统使用振幅键控调制。

第三节 时序法

如果从阅读器到数据载体的数据传输和能量传输与从应答器到阅读器的数据传输在时间上是交叉进行的,这就是时序法。

在前面的“全双工和半双工”一节中,已经对时序系统与其他系统之间的区别特征作了说明。

一、电感耦合

1. 应答器的供电

用电感耦合的时序系统只适合在 135kHz 的以下的频率范围内工作。在阅读器线圈和应答器线圈间存在着变压器耦合作用。通过阅读器交变场的作用在应答器线圈中感应的电压被整流,可作供应电压使用。

为了达到高效传输能量,必须使应答器的谐振频率与阅读器的频率一致,而且还必须实现应答器线圈的高品质因数。所以,应答器含有一个“片上微调电容器”。该电容器用于补偿谐振频率的容差。

与全双工系统和半双工系统相反,在时序系统中,阅读器的发送器不是连续工作的。在传输过程中传给发送器的能量用于使电容器充电,以存储能量。在充电过程中,应答器的芯片切换到省电或备用模式,从而使接收到的能量几乎完全用于充电电容器的充电。在固定的充电时间结束后,将阅读器的发送器重新断开。

在应答器中存储的能量用于对阅读器发送响应信号。根据所需要的工作电压和芯片的功率消耗可以计算出充电电容器的最小值:

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{I \cdot t}{[V_{\max} - V_{\min}]} \quad [3.1]$$

式中:

$V_{\max}$: $V_{\min}$ 工作电压的极限值,不允许超出这个极限值

I :在工作过程中,芯片的电流消耗

t :从应答器的到阅读的数据传输所需要的时间

例如:当要求 $I = 5\mu A$, $t = 20ms$, $V_{\max} = 4.5V$ 和 $V_{\min} = 3.5V$ 时可得出充电电容器的电容值 $C = 100nF$ [schurmann 93]。

2. 全双工、半双工和时序系统的比较

因为在全双工系统中从阅读器到应答器的能量传输与数据的双向传输是同时进行的,

所以芯片永远处于工作模式。应答器天线(电流源)与作为负载的芯片(电流消耗)间的功率匹配是最优化的利用所传输的能量的理想途径。然而,如果实现精确的功率匹配,只有电源电压(等于线圈的开路电压)的一半供芯片使用。为了提高供使用的工作电压,只有增大芯片阻抗(等于负载电阻),而这也意味着功率消耗的降低。

当设计全双工系统时,在功率匹配(即 $U_{\text{芯片}} = \frac{1}{2} U_0$ 时的最大功耗 $P_{\text{芯片}}$)和电压匹配(即最大电压 $U_{\text{芯片}} = U_0$ 时的最小功耗 $P_{\text{芯片}}$)之间必须找到一个折衷方案。

时序系统的情况是完全不同的:充电过程中,芯片处于备用模式或低功耗模式,这意味着芯片好像没有消耗功率。

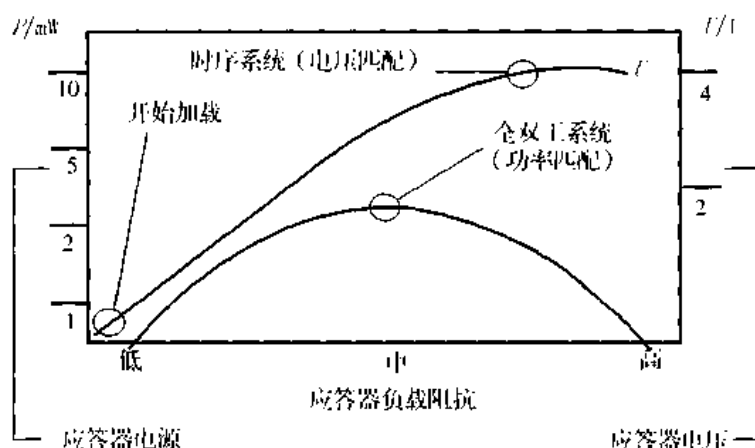


图 3.23 全双工、半双工和时序系统应答器感应电压的比较 [Schümann - 93]

充电电容器在充电过程开始时已经完全放电。因此,对电压源呈现为很低的负载电阻(见图 3.23:开始加载)。在这种情况下,最大电流流入充电电容器,而电压接近零(等于电流匹配)。随着充电电容器的进一步充电,充电电流按照指数函数下降。当电容器完全充电时,充电电流变为零。充电电容器的状况与应答器线圈的电压匹配状况相符。

时序系统与全双工系统、半双工系统相比,可得出这种情况下芯片能量供应的优点如下:

- 应答器线圈的全部电源电压供芯片工作使用。因此,供使用的工作电压达到相比的全双工和半双工系统的工作电压的两倍。

- 供芯片使用的能量是由充电电容器电容以及充电时间决定的。从理论上(!)说,这两个可能选择的值是任意大的。对全双工系统和半双工系统来说,芯片的最大功率消耗受功率匹配点(就是说,通过线圈几何图形和场强 H)的限制。

3. 应答器至阅读器的数据传输

在时序系统中,一个完整的读出周期由两个阶段构成:充电阶段和读出阶段(见图 3.24;图 3.25)。

充电阶段的结束是由“脉冲串结束探测器”探测到的。该检测器监视应答器线圈上的电压曲线,并识别阅读器场断开的时刻。随着充电阶段的结束,芯片上的振荡器被激活。该振

荡器使用由应答器线圈构成的振荡回路作为决定频率的因素。应答器线圈产生的弱交变磁场,能被阅读器接收。与全双工系统和半双工系统相比,可改善的信号干扰的状况,典型的有 20dB。这对其时序系统的作用距离产生积极的影响。

应答器的发送频率与应答器线圈的谐振频率相符。它在制造时就调整为阅读器的发射频率。

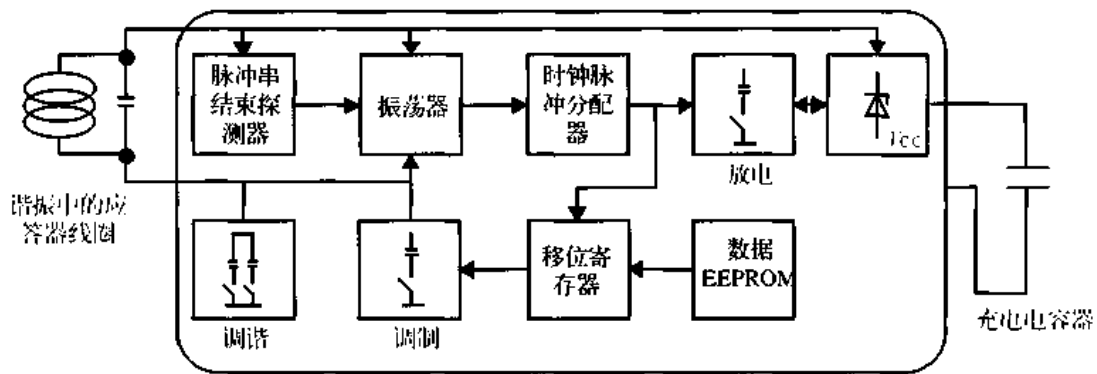


图 3.24 得克萨斯仪器厂生产的 TIRIS® 系统,使用电感耦合的时序应答器的方框图

为了能调制在无电源供给情况下产生的高频信号,在数据流动的同时,将一个附加的调制电容器与谐振回路并联起来。由此得出的谐振频率的频移键控提供了双频键控[2-FSK]调制。

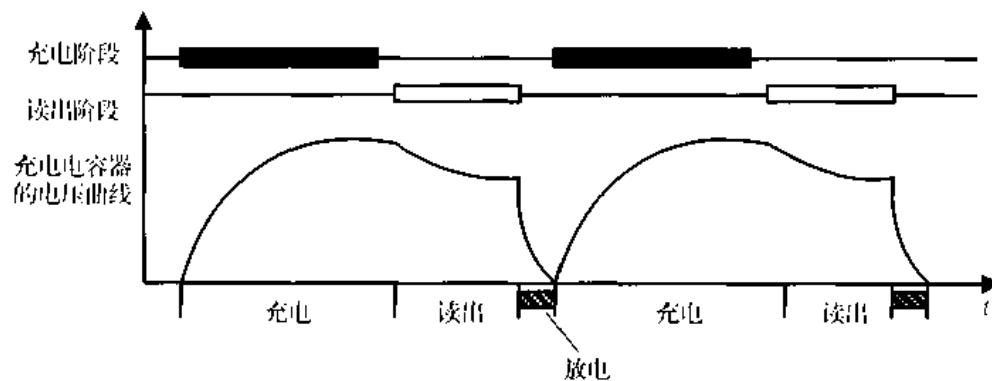


图 3.25 电感耦合时序应答器的充电电容器在工作过程中的电压波形

当所有的数据发送完后,激活放电模式,以便使充电电容完全放电。由此可以保证在下一个充电周期时为完全的电源复位。

二、表面波应答器

表面声波元件(SAW)是以压电效应^① 和与表面弹性相关的低速传播的声波为依据的。

^① 如果一个(离子-)晶体在确定的方向上弹性变形,那么晶体就出现表面电荷和电压(应用:压电打火机)。反之,在晶体上导入的表面电荷会导致晶体产生弹性变形(应用:压电蜂鸣器)。

表面声波装置工作在微波频率,通常在 2.45GHz 的工业医学科学范围内进行工作。

用压电基片按照平面电极结构制作电声转换器(内部数字转换器)和反射器。为此,通常用铌酸锂或钽酸锂作基片。电极结构是用光刻法完成的,正如在微电子技术中生产集成电路时使用的方法那样。

表面波应答器的基本结构如图 3.26 和图 3.27 所示。长长的一条压电基片的端部有指状电极结构:内部数字转换器。在压电基片的导电板上附有符合工作频率的偶极子天线。用内部数字转换器作电信号与声表面波之间的转换。

由于电极(手指)之间的压电效应,加在导电板上的电脉冲会引起基片表面发生机械变形。这种变形作为表面波(rayleigh 雷利波)的形式向两个方向传播。对常用的基片来说,传播速度介于 3000 和 4000m/s 之间。反之,由于压电效应,进入转换器的表面波在内部数字转换器的导电板上形成了电脉冲。

把单独的电极放在表面波应答器的剩余长度上。电极边缘形成了反射带,并反射一小部分入射的表面波。反射带通常由铝制成,蚀刻成槽纹形状的反射带[meinke]。

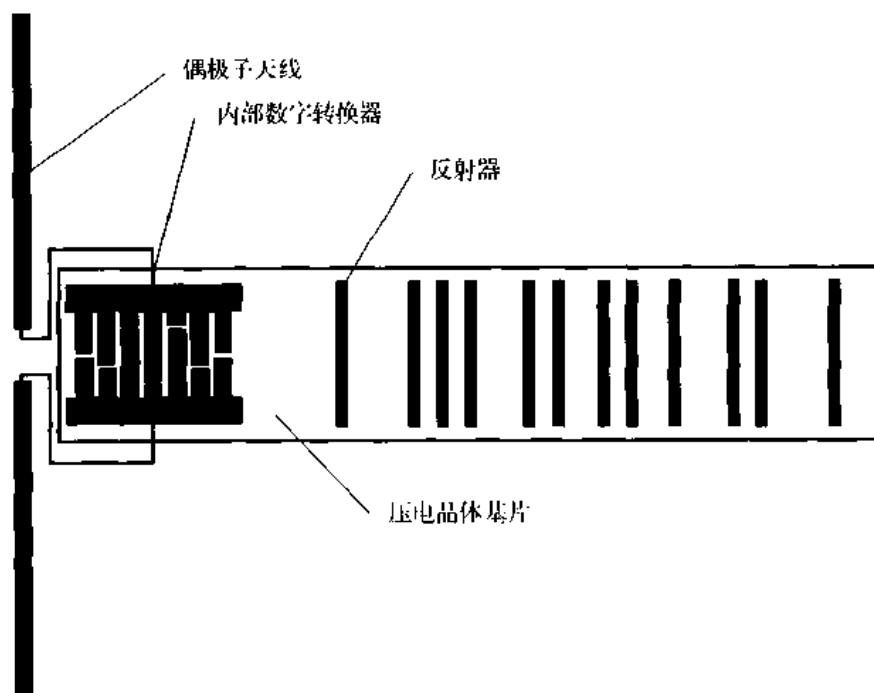


图 3.26 表波应答器的基本结构(在压电晶体上放有内部数字转换器和反射器)

把阅读器产生的高频扫描脉冲从应答器的偶极子天线输送到内部数字转换器中,并转换成声表面波^①。这种表面波纵向通过基片。一部分表面波被每个分布在基片上的反射带所反射,而剩余部分则到达基片的终端,在那里被吸收。

一部分反射波返回到内部数字转换器,在那里转换成高频脉冲序列,并被偶极子天线反

^① 表面波频率与扫描脉冲的载波频率相同(例如 2.45GHz)! 因此,反射的和返回的应答脉冲载波频率与扫描脉冲的发送频率相同。

射回来。这种脉冲能被阅读器接收。接到的脉冲数量与基片上的反射带数量相符。单个脉冲之间的时间间隔与基片上的反射带的空间间隔成比例,从而通过反射带的空间布局可以表示一个二进制的数字序列。

由于基片上的表面波传播速度缓慢,在阅读器的扫描脉冲发送后经过 1.5ms 的滞后时间,第一个应答脉冲才到达。这对脉冲的接收来说是关键性的优点。

在所处环境中的金属表面上反射的扫描脉冲以光速回到阅读器天线上。例如在与阅读器相距 100m 处,反射信号在阅读器天线发射之后 0.6ms 时就能到达阅读器(运转时间往复不停,信号衰减 > 160dB)。因此,当应答器信号在 1.5ms 后到达时,阅读器周围的所有反射早已消失,所以不会使脉冲序列产生错误[dziggel]。

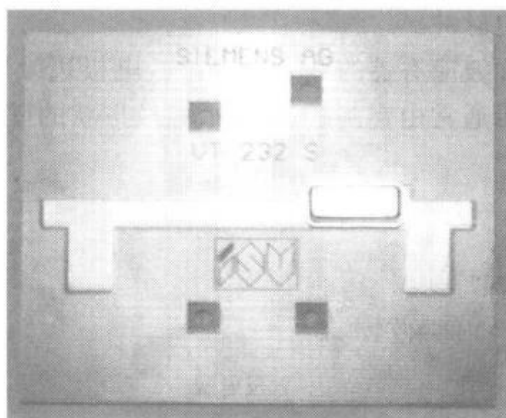


图 3.27 用微带线路作天线的,适用于 2.45GHz 的频率范围的表面波应答器
(为了防止环境影响,将压电晶体放在一个另外的金属壳里)

表面波应答器的数据存储能力和数据传输速度取决于基片的尺寸以及其反射带之间所能实现的最短间隔。实际上,16 ~ 32 比特(bit)的数据传输率为 500kbit/s。

表面波系统的作用距离主要取决于扫描脉冲的发射功率,可以按照雷达方程式(见第四章)进行估算。在 2.45GHz 工业医学科学频率范围内,发射功率允许的前提下,其作用距离可达到 1 ~ 2m。



Think Different!

Powered by XiaoGuo's publishing Studio

QQ:8204136

Website: www.mcuzone.com

2005