

# 一个紧凑的梯形领结无芯 RFID 标签的设计

胥磊,黄卡玛

(四川大学电子信息工程学院,四川成都 610064)

**摘要:**提出了一种紧凑、低成本、可完全印制的缝隙加载领结型无芯射频识别标签的设计。标签由2个梯形金属贴片组成,2组谐振频率邻近的缝隙谐振器分别加载在2个贴片上。在不增加缝隙间相互耦合的前提下,标签在超宽带频段内容纳的数据位数提高了1倍,在35 mm×33 mm的合理尺寸内,12个缝隙谐振器对应12位数据。仿真给出了标签的雷达散射截面曲线,实测是在双站天线配置下进行,在频域内测出了传输系数 $s_{21}$ 。实测和仿真结果一致,验证了本设计的合理性。该标签具有高数据位数和低成本,因其只需1个导电层,所以能被直接印刷在ID卡甚至纸张上。

**关键词:**射频识别(RFID);超宽带(UWB);雷达散射截面(RCS);无芯标签

**中图分类号:**TN384 **文献标识码:**A

## Design of Compact Trapezoidal Bow-tie Chipless RFID Tag

XU Lei, HUANG Kama

(School of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

**Abstract:** This article presents a novel compact design of a low-cost fully printable slot-loaded bowtie chipless RFID tag. The tag consists of two trapezoidal metallic patches loaded with multiple slot resonators. Slots with adjacent resonant frequencies are loaded alternately on two patches to double the number of data bits within the UWB frequency band without increasing the mutual coupling between slots. A coding capacity of 12 bits is obtained with 12 slots within a reasonable size of 35 mm×33 mm. RCS curve of the tag has been given by simulation. Measurements have been done using a bi-static radar configuration in the frequency domain and transmission coefficient  $s_{21}$  is measured. The agreement between the simulation and measurement validates this new concept of design. This tag has high data capacity and low cost and can be directly printed on product such as personal ID, credit cards, paper because it needs only one conductive layer.

**Key words:** radio frequency identification devices(RFID); ultra wide band(UWB); radar cross section(RCS); chipless tag

### 0 引言

射频识别(RFID)是一种利用电磁波来提取远程标签上的编码数据的自动识别技术<sup>[1]</sup>。射频识别标签相对于目前主流的光学条形码而言,在阅读距离、非视距读写和自动识别与跟踪方面具有一定优势,因而有潜力作为条形码的替代品<sup>[2]</sup>。然而,包含硅芯片和天线的传统射频标签成本较高,使其难以与低成本的条形码技术竞争。因此,研究方向转向了另外一个有前景的替代品即无芯射频标签。这种射频标签不需芯片和通信协议,能像条形码那样使用。射频条形码的概念首先由 Jalay 等提出<sup>[3]</sup>,后来在全球范围内得到推广。一个无芯标签能同时具有发射天线、接收天线和滤波器的功能。然而,这种无芯

标签不利于编码高容量的数据。增加数据位数,增强鲁棒性,减小尺寸和成本是目前无芯标签设计所面临的挑战。目前研究的各种无芯射频标签可根据其编码方法来分类。一些标签在时域编码<sup>[3-4]</sup>,另外一些则在频域编码<sup>[5-6]</sup>。基于频域的标签具有更高的数据密度,比基于时域的标签更易实现小型化。一种3位的开槽椭圆偶极子标签在文献[7]中提出,基于极点的编码方法被首次运用在射频标签上,但由于其编码效率太低而只能局限于实验室环境内使用。无芯标签的混合编码技术在文献[8]中提出,其数据容量达到了23位,但在其所要求的频率分辨率下难以实现数据编码。文献[9]提出了一个16位的

收稿日期:2015-01-06

基金项目:国家“九七三”基金资助项目(2013CB328705)

作者简介:胥磊(1972-),男,四川射洪人,助教,博士生,主要从事微波无源器件的研究。黄卡玛(1964-),男,重庆人,博士生导师,长江学者,主要从事电磁场微波工程及微波化学的研究。

完全可印制的缝隙加载的双极化无芯标签,借助于一对双极化天线其编码效率得到了改善。

本文提出了一个梯形的领结型无芯射频识别标签。它包括2个对称的梯形金属贴片,在其上加载的12对缝隙谐振腔对应于12位数据。加载在贴片上的缝隙谐振腔具有渐变的长度,可获得高的数据容量。这个紧凑的标签具有35 mm×33 mm的尺寸,工作在超宽带频段。

### 1 基本原理

#### 1.1 开槽谐振腔的基本原理

一个加载若干个缝隙谐振腔的金属贴片会在特定频率点产生具有明显波峰和波谷的雷达散射截面(RCS),利用这些波谷和波峰能实现一定频率范围内的数据编码。

本文提出的标签所加载的缝隙谐振器是长为L,间隙为g的平面微带结构,如图1(a)所示。图中,L=0.85 mm,w=1.5 mm,g=0.5 mm。谐振器的一端短路,另一端开路。采用垂直极化的电磁波垂直照射缝隙谐振器,当L=λ/4(λ为电磁波波长)时,就激发出λ/4的驻波模式,此时在开路端有最小的表面电流,而在短路端有最大的表面电流。相应的幅频响应和相频响应分别如图1(b)、(c)所示。缝隙谐振器两臂间的电容效应会增加谐振器的品质因数。而当入射电磁波是水平极化波时,谐振器不会激励出窄带的响应。另外,相对于谐振而言,由于场在空间的相互抵消会产生反谐振,这个反谐振与激励波的极化和入射方向有关<sup>[10]</sup>。谐振器的内在结构特性决定了在其频谱上有一个谐振的波峰和反谐振的波谷,利用这个波峰和波谷可对数据进行编码。

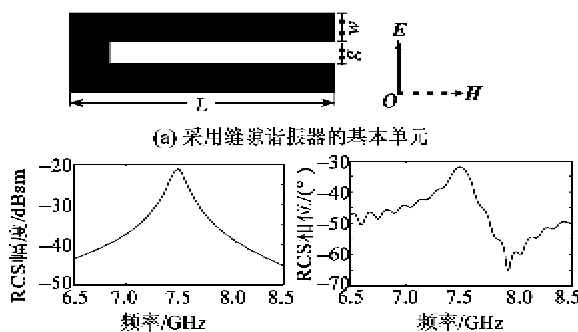


图1 缝隙谐振器的基本单元及缝隙谐振器的响应

缝隙谐振器的谐振频率 $f_r$ <sup>[11]</sup>为

$$f_r = \frac{c}{2L\sqrt{1+\epsilon_r}} \quad (1)$$

式中:c为光速; $\epsilon_r$ 为介质的相对介电常数。

另外,g对于 $f_r$ 也有影响。综合考虑这两个因素,缝隙谐振器的 $f_r$ 与 $L+g/2$ 有关,品质因数则正比于 $L+g$ 。因而,通过调节缝隙长度L和缝隙间距g调节谐振频率和品质因数。1个金属贴片上可加载1个或多个缝隙谐振器,当对这些谐振器中1个或多个进行短路时,相应的谐振频率就会消失。可根据频谱上波峰或波谷的存在或消失来进行编码,本文所采用的编码规则很简单,即波谷的存在或消失分别可编码为数据位1或0。

#### 1.2 无芯 RFID 标签的原理

图2为本文所提出的 RFID 标签的基本原理。当无芯 RFID 标签受到来自于发射天线的垂直极化波的照射时,一个标签所独有的频率签名就被激发,接收天线则会接收到隐含编码信息的后向散射信号。RFID 阅读器和测量设备记录并提取这个独有的频率签名,无芯的 RFID 标签因而被识别。

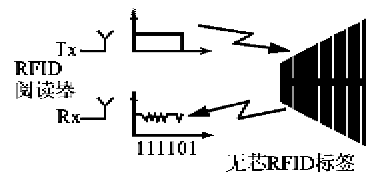
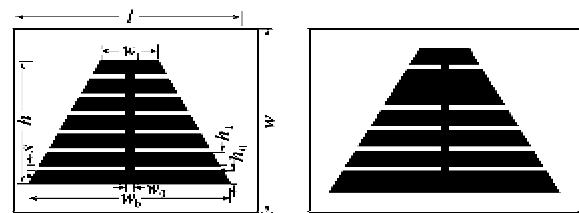


图2 RFID 标签的工作原理

### 2 无芯 RFID 标签的设计和仿真

本文所设计的梯形无芯 RFID 标签 I、II 的结构和尺寸如图3所示。



(a) 加载六对缝隙谐振器的ID为“111111”的梯形标签I (b) 加载五对缝隙谐振器的ID为“111101”的梯形标签II

图3 梯形无芯 RFID 标签 I、II 的结构和尺寸

梯形金属贴片的下底宽为 $w_2$ ,上底宽为 $w_1$ ,高为 $h$ ,贴片将作为缝隙谐振腔的载体。共有6对 $\lambda/4$ 的尺寸为 $L_i$ ( $i=1,2,\dots,6$ )的开路缝隙谐振器加载在梯形金属贴片上。这6对具有不同尺寸的缝隙谐振器在频谱上产生的6个波峰和6个波谷分别对应于6个谐振频率,6对 $\lambda/4$ 谐振器尺寸从最长到最短对应的频率由低到高分别为4.1 GHz,4.8 GHz,5.8 GHz,6.5 GHz,8.3 GHz和10.5 GHz。为方便加工,各个谐振器的 $g=0.5$  mm。仿真结果如图4所示。

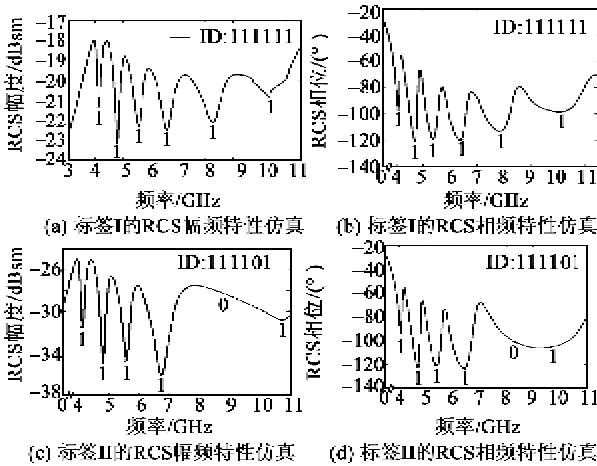


图 4 仿真结果

标签的编码原理很简单。每个谐振频率在频谱上都有 1 个波峰和波谷，其中波谷被用于编码 1 位数据。ID 为“111111”的标签在幅频响应上的 6 个波谷对应于 6 个 1，而 ID 为“111101”的标签在幅频响应上的 5 个波谷对应于 5 个 1，波谷消失的地方对应于 0。ID 为“111111”的标签在相频响应上可看到有 6 个相位跳变，而 ID 为“111101”的标签在 0 出现时无相位跳变。相频响应和幅频响应可相互验证和对照。

虽然通过加载更多的缝隙谐振器可获得更高的数据率，但当这些谐振器靠得太近时会产生较大的相互耦合。因而，为使数据率加倍而又不增加邻近的谐振器间的互耦，于是在介质基片上对称地放置 2 个相同的金属贴片。在右边的金属贴片的上面部分加载的 6 个谐振器尺寸和位置都保持不变，尺寸为  $L_i (i=1, 2, \dots, 6)$ ，其下面部分加载的 6 个谐振器是将原来的 6 个谐振器整体向右移动 1 mm 而获得，尺寸为  $L_i (i=7, 8, \dots, 12)$ 。左边的金属贴片则是与右边金属贴片呈左右对称的镜像。图 5 为所设计的偶极子无芯 RFID 标签 III 和标签 IV 的结构。这 12 对具有不同长度的谐振器会产生 12 个  $\lambda/4$  的谐振，尺寸从最长到最短对应于 12 个由低到高的频率。

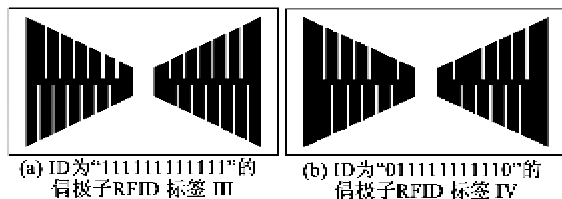


图 5 不同 ID 的偶极子 RFID 标签 IV

为配置标签，可根据编码的数据确定每一个谐

振器的是否短路，给定频带的存在和消失分别表示数据 1 和 0。当所有谐振器都未被填满时，12 位标签就表示为 ID1:111111111111，如图 5(a) 所示。当其中一些谐振器被短路时，对应的频率就会消失。如当尺寸为  $L_1$  和  $L_{11}$  的谐振器被短路时，标签就表示为 ID2:0111111111101，如图 5(b) 所示。设计中未用接地板，标签结构的整体尺寸为 35 mm × 33 mm。图 6 为标签 III、IV 的幅频特性仿真。

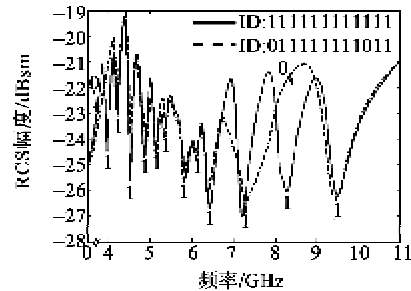
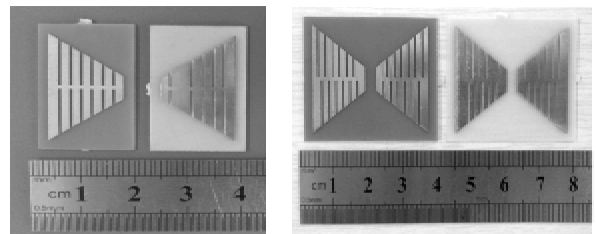


图 6 标签 III、IV 的幅频特性仿真

### 3 加工和测量

为测量和比较，加工了 4 个具有不同 ID 的标签。加工的标签如图 7 所示，其尺寸如表 1 所示。标签采用的介质材料为低成本的 FR-4，其介电常数为 4.4，损耗正切为 0.023，厚 0.5 mm，加工采用蚀铜工艺。



(a) 标签 I 和标签 II 的加工实物图 (b) 标签 III 和标签 IV 的加工实物图

图 7 加工的标签

表 1 标签加工尺寸

| 标签  |    | $l/mm$   | $w/mm$   | $h/mm$   | $h_0/mm$ |
|-----|----|----------|----------|----------|----------|
| I   | II | 33       | 18       | 14       | 1.5      |
| III | IV | 35       | 33       | 14       | 1.5      |
| 标签  |    | $w_b/mm$ | $w_t/mm$ | $w_s/mm$ | $s/mm$   |
| I   | II | 1        | 6        | 28       | 0.5      |
| III | IV | 1        | 6        | 28       | 0.5      |

测量可在微波暗室内或有桌椅、墙壁和各种无线设备的办公环境下进行，采用一个双站的雷达系统来探测无芯标签中的编码数据。测量系统包括一个矢网仪 AV3629D，在整个测量频带内其输出功率为 0，与其相连的是 2 个相同的 UWB 喇叭天线，

在 3.1~10.6 GHz 的频带内具有最小 10 dB 的增益。2 个天线间距为 10 cm,待测标签与天线间距为 15 cm,测试系统如图 8 所示。发射天线激励标签中的谐振器,而接收天线接收标签反射的电磁签名。

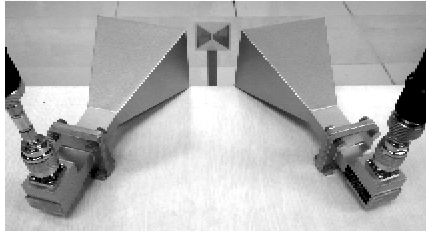


图 8 采用双站天线结构的测试系统

图 9 为测量所得传输系数  $s_{21}$  与频率的关系。由于加工和测量误差,测量得到的谐振频率和仿真得到的谐振频率有偏移,频率偏移在  $\pm 200$  MHz 的范围内,因此,二进制的 ID 仍能从 4 个标签中正确提取出来。这和仿真结果一致,进一步验证了本文提出的无芯 RFID 标签设计方案的可行性。

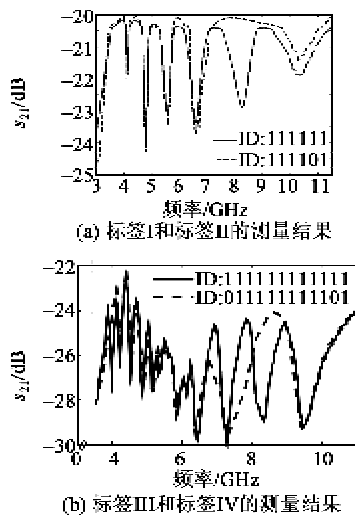


图 9 测量所得的传输系数  $s_{21}$  与频率的关系

#### 4 结束语

本文给出了一个在金属贴片上赋值和提取多位数据的系统方法。在一个平面的梯形领结型无芯 RFID 标签的超宽带结构上,通过加载缝隙谐振器产生多个频率点。就数据容量而言,虽然本文的标签只编码了 12 位数据,但通过调节谐振器的间隙宽度,更高的数据容量也能在相同的面积上获得。仿

真结果表明,这些频率能在 RCS 频谱中恢复,测量结果和仿真结果一致。这个低成本的、单面的、紧凑的无芯 RFID 标签能直接印刷在很多物品上,因而能用在很多产品如 IC 卡、纸张或纺织品上。

#### 参考文献:

- [1] FINKENZELLER K. RFID handbook: fundamentals and applications in contactless smart cards, radio frequency identification and near-field communication [M]. NY, USA: Wiley, 2010.
- [2] D'HONT S. The cutting edge of RFID technology and applications for manufacturing and distribution [J]. Texas Instruments White Paper, 2009: 52-56.
- [3] JALALY I, ROBERTSON I. RF barcodes using multiple frequency bands [J]. IEEE MTT-S Int Microw Symp, 2005: 1-4.
- [4] MANDEL C, SCHUSSLER M, MAASCH M, et al. Novel passive phase modulator based on LH delay lines for chipless microwave RFID applications [J]. IEEE MTT-S Int Microw Wireless Sens, Local Positioning, RFID, 2009: 1-4.
- [5] NAIR R, PERRET E, TEDJINI S. Temporal multi-frequency encoding technique for chipless RFID applications [J]. IEEE MTT-S Int Microw Symp, 2012: 1-3.
- [6] PRERADOVIC S, KARMAKAR N. Design of fully printable planar chipless RFID transponder with 35-bit data capacity [J]. Eur Microw Conf, 2009: 13-16.
- [7] BLISCHAK A T, MANTEGHI M. Embedded singularity chipless REID tags [J]. IEEE Trans Antenna Propag, 2011, 59(11): 3961-3968.
- [8] VENA, A, PERRET E, TEDJINI S. Chipless RFID tag using hybrid coding technique [J]. IEEE Trans Microw Theory Techn, 2011, 59(12): 3356-3364.
- [9] ISLAM A, KARMAKAR N. Design of a 16-bit ultra-low cost fully-printable slot-loaded dual-polarized chipless RFID tag [J]. Asia Pacific Micro Conf, 2011: 5-8.
- [10] VENA A, PERRET E, TEDJINI S. A fully printable chipless RFID tag with detuning correction technique [J]. IEEE Microwave and Wireless Components, 2012, 22(4): 209-211.
- [11] DISSANAYAKE T, ESSELLE K P. Prediction of the notch frequency of slot loaded printed UWB antennas [J]. IEEE Trans Antenna Propag, 2007, 55(12): 3320-2235.