

文章编号: 2095-2163(2020)06-0059-04

中图分类号: TN926

文献标志码: A

基于阶跃阻抗谐振器的 RFID 无芯片标签

孙海静, 陈强, 杨娇, 周玲, 朱俊涛

(上海工程技术大学 电子电气工程学院, 上海 201600)

摘要: 为降低射频标签成本, 提升编码容量, 采用幅值和频率位置混合编码的方法, 设计了一种由多个长度不等的铜质阶跃阻抗谐振器, 一条微带主传输线和两个收发正交的微带标签天线构成的无芯片电子标签。通过大量的电磁仿真计算, 最终确定了标签的最优结构, 仿真结果表明: 所设计的标签在 1.4~2.6 GHz 频段上得到了 6 bit 的编码容量, 进行混合编码后得到 18 bit 的编码容量, 混合编码后的标签频点偏移误差小于 10 MHz, 保证了谐振点的准确识别, 实现预设的编码功能。这种无芯片标签编码容量大, 制作简便, 有利于加速物联网的建设。

关键词: 无芯片; 阶跃阻抗谐振器; 混合编码; 物联网

RFID chipless tag based on step impedance resonator

SUN Haijing, CHEN Qiang, YANG Jiao, ZHOU Ling, ZHU Juntao

(School of Electric and Electrical Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201600, China)

[Abstract] In order to reduce the cost of RFID tag and improve the coding capacity, a chip free electronic tag composed of multiple copper step impedance resonators with different lengths, a microstrip main transmission line and two microstrip tag antennas with orthogonal transmission and reception is designed by using the method of amplitude and frequency position hybrid coding. Through a large number of electromagnetic simulation calculation, the optimal structure of the tag is finally determined. The simulation results show that the designed tag has 6 bit encoding capacity in the frequency band of 1.4 GHz~2.6 GHz, and 18 bit encoding capacity after mixed encoding. The frequency offset error of the mixed encoding is less than 10MHz, which ensures the accurate identification of resonance point and realizes the preset encoding function. This kind of chip free label has large coding capacity and is easy to make, which is conducive to accelerating the construction of the Internet of things.

[Key words] chipless; step impedance resonator; hybrid coding; Internet of things

0 引言

近二十年来, 自动识别技术在各领域得到广泛应用, 其作用主要是在传输过程中为用户端和物品端之间提供信息交换和通讯, 以实现信息提取、识别、追踪定位等功能^[1]。在物联网(the internet of things, IoT)的建设过程中, 射频识别技术作为一种信息传递与获取的核心技术应用于整个传输系统中^[2]。在射频系统对标签的数量要求较多, 因此单个标签的成本直接决定着整个系统的成本, 因此无芯片标签被越来越多的研究人员所关注。无芯片标签由于不含标签芯片, 与传统标签相比成本大幅降低, 且通过谐振电路替代标签芯片, 结构也较为简单。

基于目前公开的文献, 无芯片射频识别标签主要分为 3 个大类: (1) 基于时域反射的无芯片电子标签^[3-6]。(2) 基于频域特征的无芯片电子标签^[7-9]。(3) 基于空间域的无芯片电子标签^[10-11]。基于时域的声表面波标签的压电晶体较为昂贵且本

身采用集成电路工艺, 对比传统硅芯片标签成本并没有降低。基于频域的贴片自谐振标签体积较小, 但是对读写器的灵敏度要求较高。基于空间域的 V 型无芯片标签目前可实现 3 bit 的编码容量, 编码容量较小。

1 工作原理

整个射频识别系统是由用于收发并解码信息的读写器和用于存储信息的电子标签组成, 其工作原理如图 1 所示。无芯片电子标签是由两个收发正交的超宽带标签天线和用于编码信息的谐振电路组成。谐振电路由 50 Ω 的微带主传输线和耦合在主传输线两侧的阶跃阻抗谐振器(stepped impedance resonators, SIR)组成。读写器产生的多频访问信号滤波放大后, 由读写器发射天线辐射至自由空间, 由标签的接收天线接收, 并改变由读写器发出的功率频谱均匀的频谱结构。每一个谐振单元在频谱上对应特定谐振频率, 该谐振频率在频率响应曲线上的谐振峰对应逻辑编码“1”。当去掉或者短路该谐振

作者简介: 孙海静(1993-), 男, 硕士, 主要研究方向: 射频前端、滤波器; 陈强(1965-), 男, 博士, 教授, 主要研究方向: 物联网与云计算技术的结合应用、电磁探测仪器设备研发与应用、城市管网探测理论与方法等研究工作。

收稿日期: 2020-02-25

器后,在频率相应曲线上该谐振频率消失,对应频率编码“0”,由于每一个标签都拥有不同结构的谐振器,即具有唯一的频谱特征,即唯一的编码。

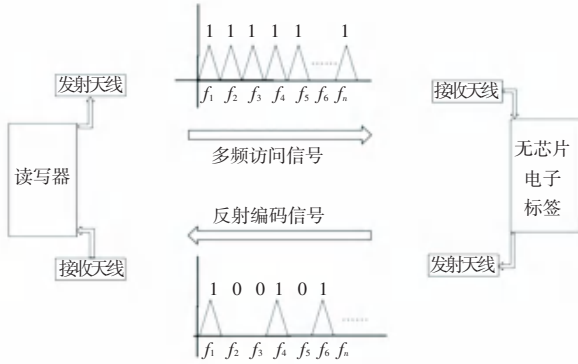


图1 无芯片电子标签工作原理图

Fig. 1 Schematic diagram of chipless tag

2 阶跃阻抗谐振器分析

本文提出的基于阶跃阻抗谐振器的无芯片电子标签,这种二分之一波长型 SIR 谐振器的主要优点在于设计的灵活性,图2为其结构示意图,该结构由高阻抗和低阻抗交替级联组成,可通过控制其阻抗比 R_Z 来确定谐振频率。

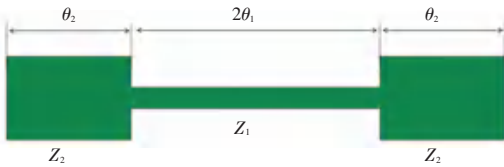


图2 阶跃阻抗谐振器基本结构

Fig. 2 Basic structure of SIR

Z_1 和 Z_2 为该谐振器的特征阻抗, θ_1, θ_2 为其电长度。因此,阶跃阻抗谐振器的总电长度 $\theta_r = 2(\theta_1 + \theta_2)$ 。由开路端看过去输入导纳 Y_i 为:

$$Y_i = jY_2 \frac{2(R_Z \tan \theta_1 + \tan \theta_2)(R_Z - \tan \theta_1 \tan \theta_2)}{R_Z(1 - \tan^2 \theta_1)(1 - \tan^2 \theta_2) - 2(1 - R_Z^2) \tan \theta_1 \tan \theta_2} \quad (1)$$

取得谐振的条件为 $Y_i = 0$, 即:

$$R_Z = \frac{Z_2}{Z_1} = \tan \theta_1 \tan \theta_2. \quad (2)$$

3 谐振电路设计及编码分析

由于工程上各仪器各线缆的参考阻抗均为 50Ω , 为防止微带主传输线与外接线缆连接时造成阻抗不匹配, 可通过式(3), 式(4), 将微带主传输线的特征阻抗也设计为 50Ω 。

$$Z_0 = \frac{Z_f}{\sqrt{\epsilon_{eff} \left[1.393 + \frac{w}{h} + \frac{2}{3} \ln \left(\frac{w}{h} + 1.444 \right) \right]}}, \quad (3)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{w} \right)^{-1/2}. \quad (4)$$

本文选用相对介电常数为 2.55, 损耗角正切为 0.001 9 的 Taconic TLX-8 高频介质板作为制备此多阻带谐振电路的基板。图3是图2变形后的阶跃阻抗谐振器的结构示意图, 其 W_f 为微带主传输线的宽度, W_2 为构成谐振器的两臂的宽度, L_1 为首个谐振器的长度, D_1 为首个谐振器的单臂长度, L_i 为第 i 个谐振器的长度, D_i 为第 i 个谐振器的单臂长度, W_1 为所有谐振器的宽度, C 为构成谐振器的两臂之间的间距, gap 为谐振器和主传输线之间的耦合间隙。

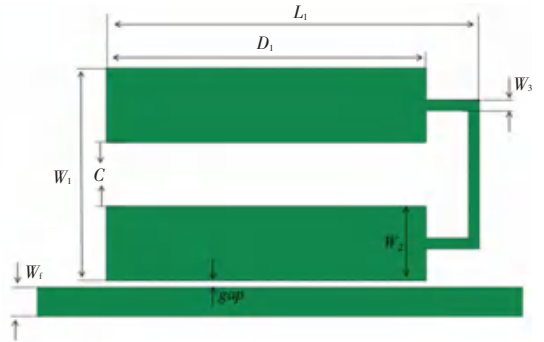


图3 阶跃阻抗谐振器的结构示意图

Fig. 3 Structure diagram of SIR

图4为阶跃阻抗谐振器的等效电路模型, L_1 为微带主传输线上的等效电感, C_{1i} 为第 i 个谐振器与微带主传输线之间的耦合电容, C_{2i} 和 L_{2i} 为第 i 个谐振器的等效电感和等效电容, 主要体现其带阻特性, 谐振器的谐振频率可主要通过式(5), 即等效电路模型中呈现带阻特性的 L_{2i} 和 C_{2i} 决定。

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L_{2i} C_{2i}}}. \quad (5)$$

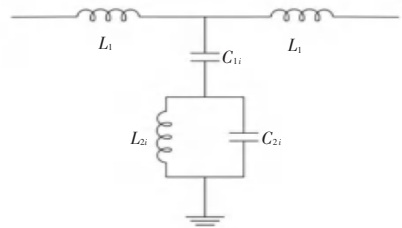


图4 阶跃阻抗谐振器的等效电路模型

Fig. 4 Equivalent circuit model of SIR

为降低谐振电路面积, 将谐振单元放置在主传输线两侧, 经过 HFSS 的仿真优化, 最终确定的结构参数值如表1所示。

以编码 ID-111111 的标签作为其他标签的参考标签, 选取 3 组典型编码状态进行仿真, 分别为 ID-111111, ID-000110, ID-000000, 得到如图5所

示的不同编码组合的谐振曲线。

表 1 结构参数值

Tab. 1 Structure parameter value

参数	mm	参数	mm	参数	mm
W_f	1.36	L_3	17.5	L_1	21.5
W_1	10	D_3	15	L_2	19.5
W_2	3.5	L_4	15.5	D_2	16.5
W_3	0.5	D_4	13	L_6	11
C	3	L_5	13	D_6	9.5
gap	0.3	D_5	11		

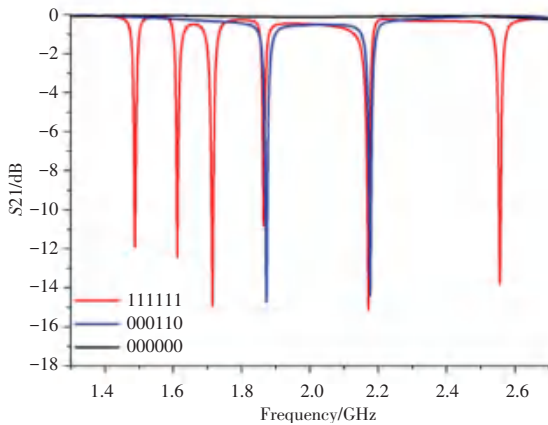


图 5 不同编码状态下的谐振曲线

Fig. 5 Resonance curves in different coding states

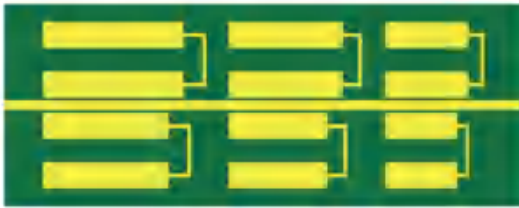


图 6 无芯片标签的结构示意图

Fig. 6 Flow chart of improved TLD algorithm

表 2 不同编码状态下的谐振点参数

Tab. 2 Resonance point parameters in different coding states

谐振点	ID-111111		ID-000110	
	频点	幅值	频点	幅值
1	1.49	-11.88	—	—
2	1.61	-12.41	—	—
3	1.71	-14.92	—	—
4	1.86	-10.80	1.87	-14.91
5	2.17	-15.14	2.18	-14.78
6	2.55	-13.79	—	—

可以看出:以编码 ID-111111 的标签作为其他标签的参考标签,其余两编码的偏移量在 10 MHz 以内,在 1.4 ~2.6 GHz 的频带内实现了 6 bit 编码。

增加编码容量最直接的方法是增加谐振器的个

数,但是谐振器个数的增加,会造成标签面积过大。从单谐振器的等效电路可以看出影响谐振频率的主要参数为谐振器的等效电感 L_{2i} 和等效电容 C_{2i} , 其余参数对于谐振频率的影响较小,基于这些显著的特征,可通过调节谐振器与微带主传输线间的耦合间隙,改变谐振器等效电路模型中耦合电容 C_{1i} 的大小,从而改变对应谐振频率下的幅值大小,图 7 为不同耦合间隙下的谐振曲线。可以看出,随着耦合间隙的增加,谐振器的谐振频率几乎不发生改变,但幅值随着耦合间隙的增加而不断减小,3 种耦合间隙对应 3 种不同的幅值,结合频率位置编码,在 1.4 GHz ~ 2.6 GHz 的频带内可实现 18 bit 的编码容量。

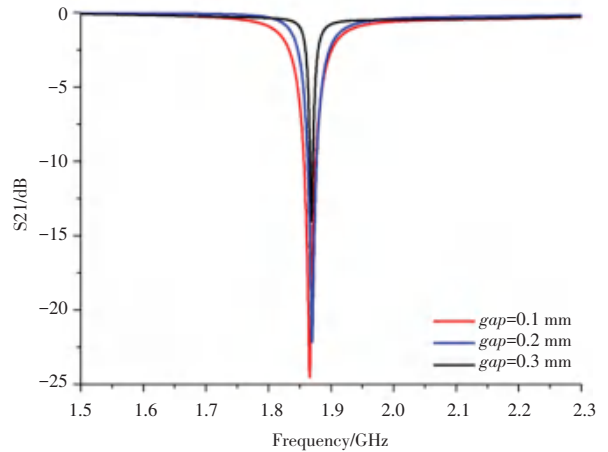


图 7 不同耦合间隙下的谐振曲线

Fig.7 Resonance curves under different coupling gaps

4 结束语

提出了一种基于阶跃阻抗谐振器的无芯片射频识别标签,将阶跃阻抗谐振器耦合至微带主传输线的边侧,通过调节谐振器的阻抗比来进行频率位置编码;通过调节谐振器与微带主传输线的耦合间隙来进行幅值编码,将二者结合而成的混合编码可增加编码容量,这种无芯片标签成本低,能够应用于物联网的建设中。

参考文献

[1] 陈海明,崔莉,谢开斌. 物联网体系结构与实现方法的比较研究[J]. 计算机学报. 2014(01)

[2] AONO K, LAJNEF N, FARIDAZAR F, et al. Infrastructural health monitoring using self-powered internet-of-things[C]// 2016 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS). Montreal: IEEE, 016:2058-2061

[3] HARTMANN S. A global SAW ID tag with large data capacity[C]//In 2002 IEEE Ultrasonics Symposium, 2002. Proceedings, 2002:65-69 vol.1.

[4] HARMA S, PLESSKY V P, HARTMANN C S, et al. Z-path saw RFID tag [J]. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 2008, 55(1): 208-213.

(下转第 65 页)