

声表面波射频识别系统的阅读器微带天线设计

王昕辰, 陈智军, 付俊, 陈涛, 韩超

(南京航空航天大学 自动化学院, 江苏 南京 211106)

摘要:基于微带天线的基本理论,设计了一种适合用作声表面波射频识别系统的阅读器天线。首先,计算分析了该微带天线的基本尺寸,并利用 ADS 软件设计了有阻抗变换器功能的微带线,使天线输入阻抗达到 $50\ \Omega$;然后,利用 HFSS 软件进行了微带天线的建模仿真和参数优化,确定了天线的最终尺寸;实际制作天线并对其进行了测试,测试 results 和仿真数据吻合较好,在谐振频率处驻波比小于 2;最后,结合阅读器对标签进行了无线测试,验证了阅读器天线的可用性。

关键词:微带天线;射频识别;阻抗变换;阅读器;HFSS 软件

中图分类号:TN820

文献标识码:A

The Design of Reader Microstrip Antenna for SAW RFID System

WANG Xincheng, CHEN Zhijun, FU Jun, CHEN Tao, HAN Chao

(College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211106, China)

Abstract: A reader antenna suitable for SAW radio frequency identification system was designed based on the basic theory of the microstrip antenna. Firstly, the basic size of the microstrip antenna was analyzed and calculated. In addition, a microstrip line with impedance conversion function was designed by using the ADS software, the input impedance of antenna was up to $50\ \Omega$. Then the modeling and parameters optimization of the microstrip antenna were carried out by using the HFSS software, thus the final dimension of the microstrip antenna was determined. The antenna was manufactured and tested. The test results were in good agreement with the simulated ones, and the voltage standing wave ratio of the antenna was less than 2 at the resonant frequency. Finally the tag was wirelessly tested by combining with the reader, verifying the practicability of the reader antenna.

Key words: microstrip antenna; radio frequency identification; impedance conversion; reader; HFSS software

0 引言

射频识别(RFID)技术是近年来在自动识别领域出现的若干革命性技术之一,与广泛采用的条形码等自动识别技术相比,其具有读取距离远、穿透力强、抗污染、效率高及信息量大等特点^[1]。声表面波射频识别系统包括阅读器和标签,两者都需要天线来实现信号收发和能量传输^[2]。因此,本文设计了一款微带天线,该天线用作声表面波射频识别系统的阅读器天线,有着体积小、定向性好和成本低等优点,适合手持式阅读器使用。

1 微带天线参数设计

1.1 天线尺寸计算

微带天线的介质基板采用 FR4 环氧树脂,厚度

$h=1.6\text{ mm}$,介质的介电常数 $\epsilon_r=4.4$,结构如图 1 所示。图中, W_0 为高效率辐射贴片的宽度, ΔL 为等效辐射缝隙长度, L_0 为辐射贴片的长度。

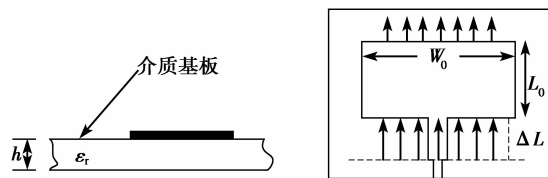


图 1 微带天线结构示意图

由于天线的工作频率 $f=920\text{ MHz}$,可得

$$W_0 = \frac{c}{2f} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} = \frac{3.0 \times 10^8}{2 \times 920 \times 10^6} \times \left(\frac{4.4 + 1}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} \approx 99.2(\text{mm}) \quad (1)$$

收稿日期:2015-07-30

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51475240);航空科学基金资助项目(2014ZD52053);江苏高校优势学科建设工程基金资助项目

作者简介:王昕辰(1991-),男,安徽芜湖人,硕士生,主要从事声表面波射频识别相关研究。陈智军,男,副教授,硕士生导师。E-mail: zjchen@nuaa.edu.cn。

介质的有效介电常数为

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{W_0} \right)^{-\frac{1}{2}} = \frac{4.4 + 1}{2} + \frac{4.4 - 1}{2} \times \left(1 + 12 \times \frac{1.6}{99.2} \right)^{-\frac{1}{2}} \approx 4.257 \quad (2)$$

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_e + 0.3)(W_0/h + 0.264)}{(\epsilon_e - 0.258)(W_0/h + 0.8)} = 0.412 \times 1.6 \times \frac{(4.257 + 0.3) \times (99.2/1.6 + 0.264)}{(4.257 - 0.258) \times (99.2/1.6 + 0.8)} \approx 0.75(\text{mm}) \quad (3)$$

取 $L_0 = \lambda_e/2$, 介质内的导波波长^[3]为

$$\lambda_e = \frac{c}{f \sqrt{\epsilon_e}} = \frac{3.0 \times 10^8}{920 \times 10^6 \times \sqrt{4.257}} \approx 0.159(\text{m}) = 159(\text{mm}) \quad (4)$$

考虑到边缘缩短效应, 实际上 L_0 应为

$$L_0 = \frac{c}{2 \times f \sqrt{\epsilon_e}} - 2\Delta L = 79.5 - 2 \times 0.75 = 78(\text{mm}) \quad (5)$$

1.2 微带线阻抗匹配

由已知尺寸可计算出微带天线的边缘阻抗为

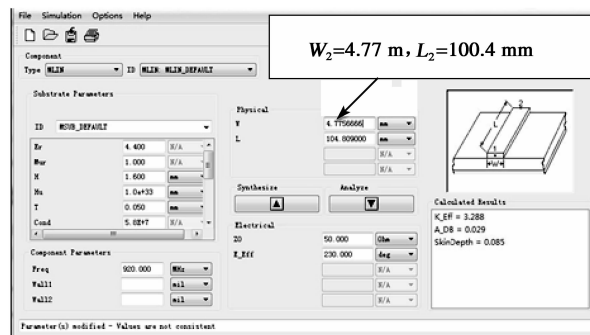
$$Z_{in} = \frac{120\pi^2 \times \cos^2(\beta z)}{2 \times \int_0^\pi \sin^2\left(\frac{k\omega}{2} \cos \theta\right) \tan^2 \theta \sin \theta d\theta} \approx 300.9(\Omega) \quad (6)$$

式中: z 为馈电点到辐射贴片边缘拐角处的距离; β 为介质中的相位常数^[4]; ω 为辐射贴片宽度, k 为自由空间相位常数。

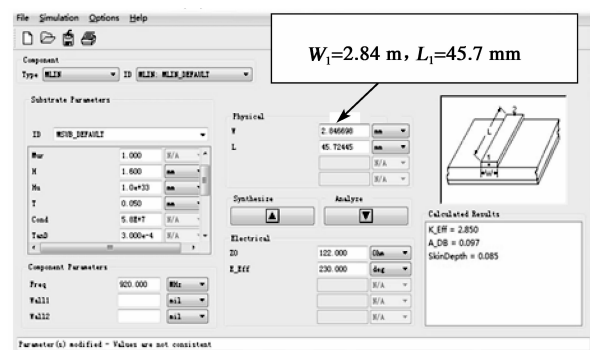
由于微带天线的边缘阻抗为 300.9Ω , 与阅读器的输入阻抗 50Ω 并不匹配, 所以在设计微带线馈电的矩形微带天线时, 可加上一段 $1/4$ 波长阻抗转换器, 使微带天线的边缘阻抗与 50Ω 阻抗达成匹配^[5]。假设天线的边缘阻抗为 Z_L , 微带线特性阻抗为 Z_0 , $1/4$ 波长阻抗转换器的特性阻抗为 Z_1 。阻抗匹配的条件为

$$Z_1 = \sqrt{Z_0 Z_L} = \sqrt{50 \times 300.9} \approx 122.6(\Omega) \quad (7)$$

$1/4$ 波长阻抗转换器的线宽和线长可通过电磁仿真软件 ADS 的微带线计算工具 lineCalc 来计算, 如图 2 所示。当 $Z_0 = 50 \Omega$ 时, 微带馈线宽 $W_2 = 4.77 \text{ mm}$, 长 $L_2 = 100.4 \text{ mm}$; 当 $Z_1 = 122 \Omega$ 时, 计算得到作为阻抗匹配变换器的微带传输线宽 $W_1 = 2.84 \text{ mm}$, 线长 $L_1 = 45.7 \text{ mm}$ 。



(a) 50 Ω 微带馈线尺寸计算



(b) $1/4$ 波长阻抗变换器尺寸计算

图 2 ADS 计算微带线参数

2 微带天线仿真及优化

计算了矩形微带天线的结构尺寸后, 通过电磁仿真软件 HFSS 对天线进行建模仿真, 定义变量来表示矩形天线的结构尺寸。变量的定义及天线的结构尺寸如表 1 所示。

表 1 微带天线结构尺寸及变量

介质基片	辐射贴片		$1/4$ 波长阻抗转换器		50 Ω 微带线	
h/mm	L_0/mm	W_0/mm	L_1/mm	W_1/mm	L_2/mm	W_2/mm
1.6	78.0	99.2	45.7	2.84	100.4	4.77

矩形微带天线的 HFSS 设计模型如图 3 所示, 参考地和辐射贴片使用理想薄导体来代替, 给其分配为理想导体边界条件。

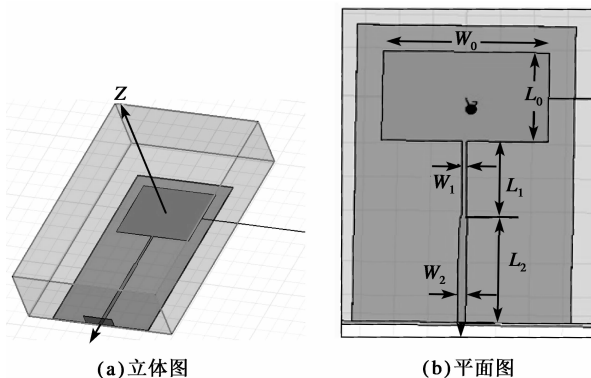


图 3 微带天线 HFSS 模型

设置辐射边界距微带天线的距离为 80 mm,求解频率为天线的中心频率 920 MHz,扫频范围为 700 MHz~1.2 GHz,使用快速扫频。根据表 1 中的天线结构尺寸,仿真得到天线的回波损耗参数 S_{11} 如图 4 所示。由图可以看出,天线在中心频率 910 MHz 处回波损耗最大,可以达到 -35.099 dB,满足通信系统中反射系数小于 -10 dB 的要求。

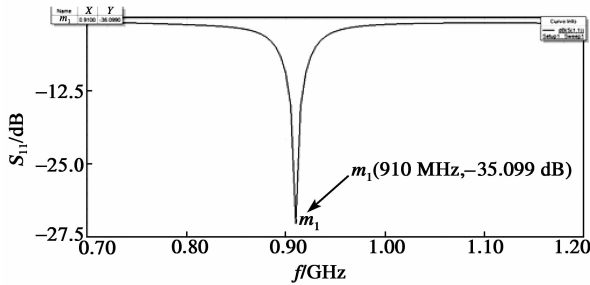


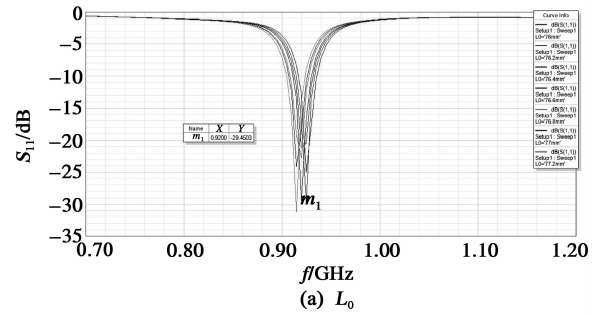
图4 天线 S_{11} 参数仿真

对微带天线的各结构尺寸参数进行优化,优化结果如图 5 所示。首先考虑 L_0 对 S_{11} 的影响,设置 L_0 为线性参数扫描,范围在 76~78 mm,步长为 0.2 mm,得到 S_{11} 的仿真结果如图 5(a)所示。天线的谐振频率 f 随 L_0 的增大而降低,当 $L_0 = 76.6$ mm 时, $f = 920$ MHz,且 $S_{11} = -29.450$ dB 很理想,所以确定 $L_0 = 76.6$ mm。对 W_0 进行优化,设置参数扫描范围为 98.6~99.4 mm,步长为 0.2 mm,得到 S_{11} 的仿真结果如图 5(b)所示。当 $W_0 = 99.0$ mm 时,天线的 $S_{11} = -36.35$ dB,说明反射损耗非常小,所以确定 $W_0 = 99$ mm。对 50 Ω 微带线的 L_2 进行优化,设置参数扫描范围为 100.2~100.8 mm,步长为 0.2 mm,得到 S_{11} 的仿真结果如图 5(c)所示。当 $L_2 = 100.4$ mm 时,天线的 $S_{11} = -41.4$ dB,反射损耗非常小,确定 $L_2 = 100.4$ mm。对 50 Ω 微带线的 W_2 进行优化,设置参数扫描范围为 4.75~4.85 mm,步长为 0.01 mm,得到 S_{11} 的仿真结果如图 5(d)所示。当 $W_2 = 4.81$ mm 时,天线的 $S_{11} = -38.8$ dB,反射损耗小,所以确定 $W_2 = 4.81$ mm。

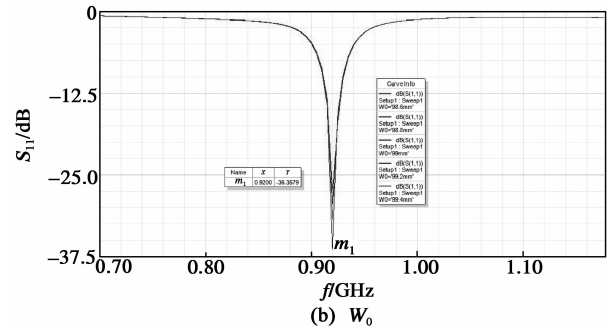
经过优化设计,确定了微带天线的最佳结构参数,如表 2 所示。

表2 微带天线优化尺寸

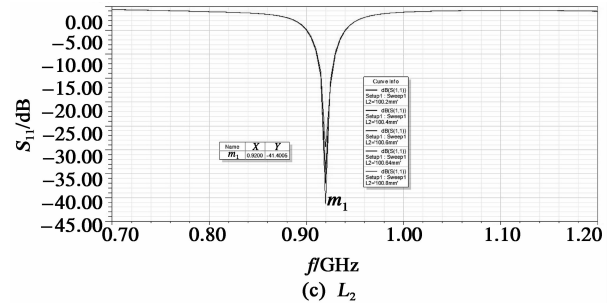
h/mm	L_0/mm	W_0/mm	L_1/mm	W_1/mm	L_2/mm	W_2/mm
1.6	76.6	99	45.7	2.84	100.4	4.81



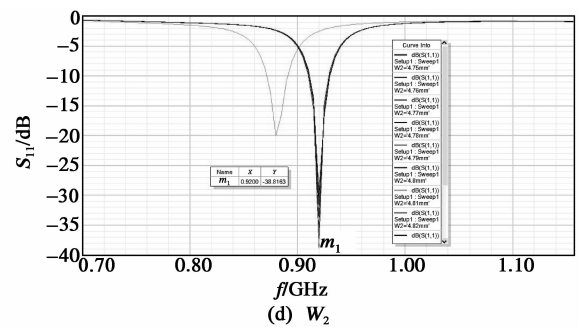
(a) L_0



(b) W_0



(c) L_2



(d) W_2

图5 天线结构尺寸参数优化

采用最优结构尺寸的天线仿真结果如图 6 所示。由图 6(a)可以看出,天线在中心频率 920 MHz 处 $S_{11} = -29.45$ dB,回波损耗达到最大。由图 6(b)可以看出,中心频率处驻波比 (VSWR) 为 1.069 7, $VSWR \approx 1$,说明天线的阻抗匹配得很好。由图 6(c)可以看出,在中心频率 920 MHz 处的归一化阻抗 $R_x \approx 1$,输入阻抗接近 50 Ω ,表明天线的端口匹配良好。

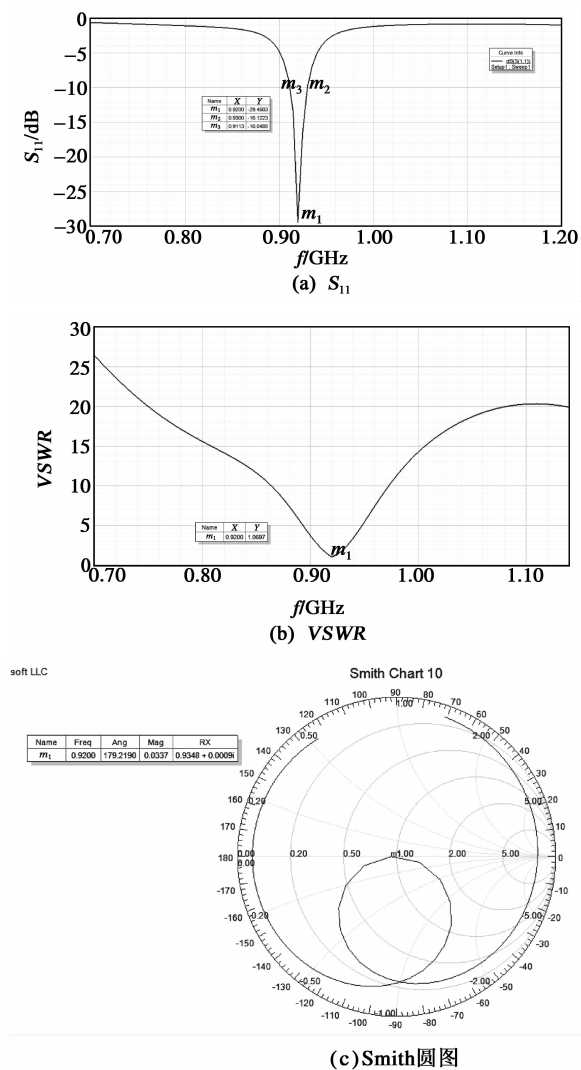


图6 采用最优结构尺寸的天线仿真结果

仿真得到的增益方向图如图7所示。由图可看出,天线在空间 $\theta=0^\circ$ 和 $\alpha=0^\circ$ 方向上辐射功率最大,增益有 -0.0335 dB,符合定向性阅读器天线的性能要求。

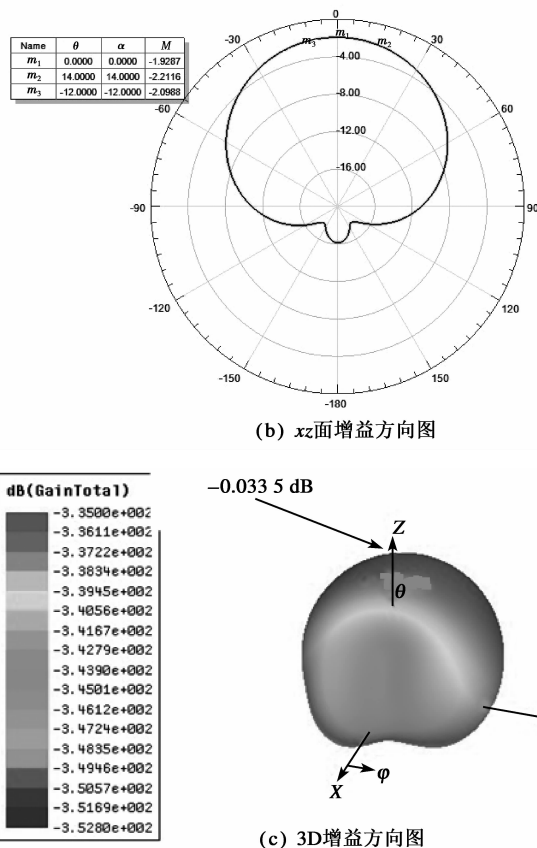
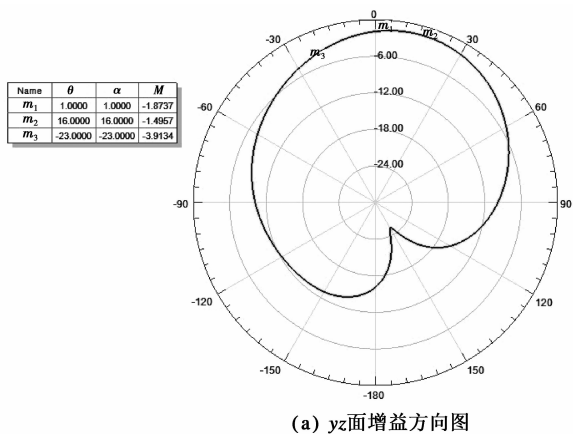


图7 微带天线的增益方向图

3 阅读器天线测试

3.1 天线参数测试

根据仿真得到的最优结构参数制作的阅读器天线,如图8所示。为了验证制作好的阅读器天线性能,使用矢量网络分析仪对阅读器天线进行测试,设置矢量网络分析仪的扫频范围为 $876\sim 936$ MHz,输出功率为 -10 dBm,测试得到的 S_{11} 曲线、VSWR曲线、Smith圆图如图9所示。

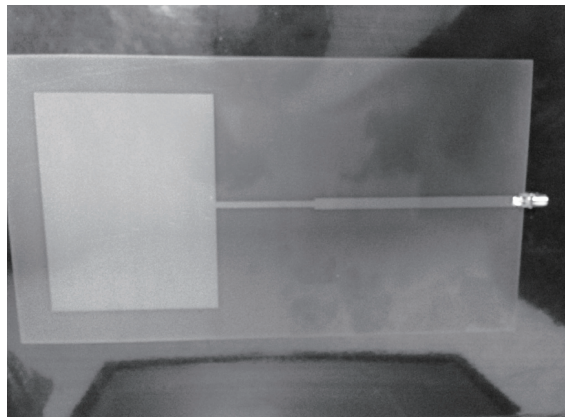


图8 实际制作的阅读器天线

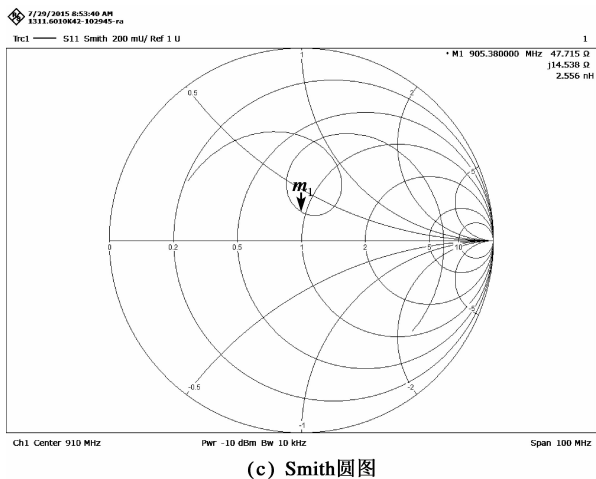
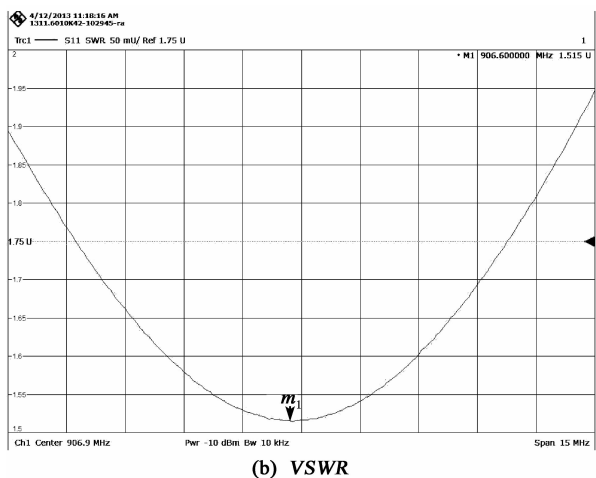
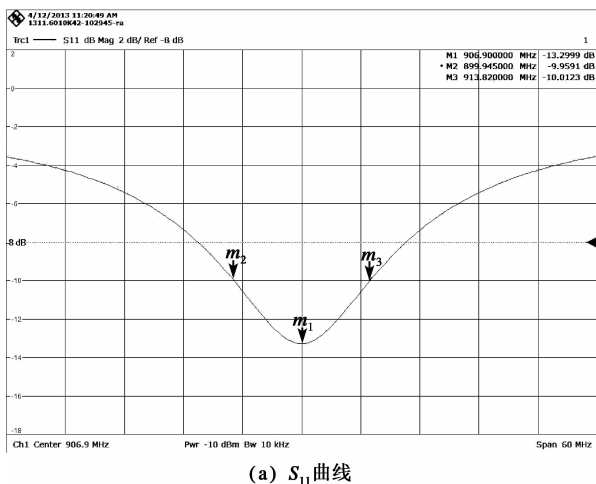


图9 天线实际测试结果

天线在中心频率处的回波损耗为 -13.2999 dB,回波损耗达到最大,与仿真结果接近。中心频率处的驻波比为 1.515 ,符合工程上小于 2.0 的使用要求。天线在中心频率处的阻抗为 $(47.715 + j14.538) \Omega$,接近馈线的特性阻抗 50Ω ,说明天线与馈线匹配得较好。由以上测试可以看出,制作的阅

读者天线性能与仿真分析较为一致。

3.2 标签识别无线测试

将微带天线连在阅读器上,对标签进行测试,所用标签为脉冲幅度编码方式^[6],如图10所示。通过示波器读出^[7]的标签回波信号如图11所示,图中CH3、CH4通道分别为回波的I路和Q路,中间为两路信号的平方和。由于标签制作时其反射栅和叉指换能器(IDT)中间有一定距离,所以,回波信号在时域上存在一定的时延,第一条反射栅从 $1.5 \mu\text{s}$ 开始,可以读出此声表面波标签的编码为11100011。

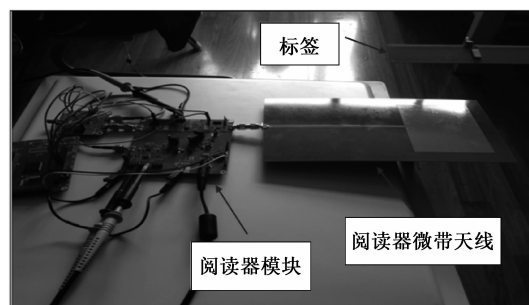


图10 SAW 标签无线测试图

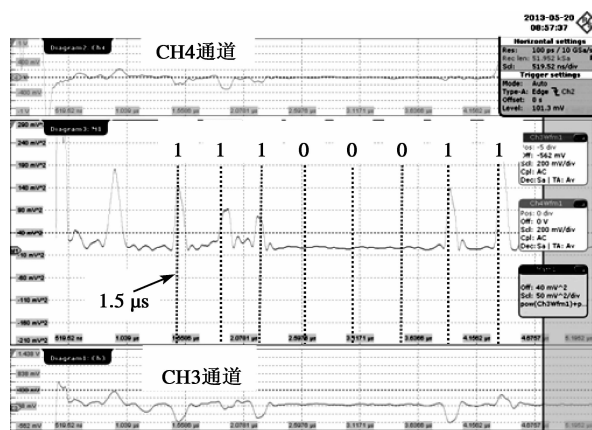


图11 SAW 标签无线测试结果

4 结束语

通过 HFSS 电磁仿真软件设计了声表面波射频识别系统^[8]的阅读器天线——微带天线,根据仿真得到的参数制作出微带天线并对其进行了测试,天线性能符合系统使用要求。利用微带天线对标签进行了无线测试,通过示波器可读出回波,进而得出标签的编码信息。本文设计的微带天线完全适合作为声表面波标签识别的阅读器天线使用,且天线的小型化可实现阅读器手持的功能,使用更方便。

参考文献:

- [1] 李庆亮. 声表面波射频辨识标签与系统研究[D]. 上海:上海交通大学,2008.

(下转第624页)