

UHF RFID 标签谐振特性非接触测试 方法的研究与实现*

李 帅 张雪凡 任秀方 孟春阳

(上海大学通信与信息工程学院 特种光纤与光接入网省部共建重点实验室 上海 200072)

摘要: 针对 UHF RFID 标签贴附在介质表面时,标签的谐振特性用接触式测量方法存在较大的误差问题,通过建立标签的接收功率模型,分析标签芯片获取到的能量与频率之间的关系,提出非接触式测试 UHF RFID 谐振特性的方法。详细描述了利用频率和距离关系测试标签谐振特性的原理,说明了非接触式测试方法硬件测试平台的搭建方法和测试软件的编写思想,并完整地实现了该平台。实测实验证明,该测试方法和平台能有效地测试标签的谐振特性。在实际应用中,可以根据标签的谐振特性设计适合不同物体的标签。

关键词: UHF RFID;谐振特性;测试平台;频点偏移

中图分类号: TN 06 文献标识码: A 国家标准学科分类代码: 510.1020

Research on and realization of contactless testing method of UHF RFID tags' resonance characteristics

Li Shuai Zhang Xuefan Ren Xiufang Meng Chunyang

(School of Communication and Information Engineering, The Key Laboratory of Specialty Fiber Optics and Optical Access Networks Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: While UHF RFID tags being attached to the surface of various materials, there will be great errors when we adopt the traditional method of cable connection test to get the tag's resonance characteristics. In this paper, we formed a model of tag's power-receiving, analyzed the relationship between the energy obtained by tag chip and frequency, and then proposed a contactless method to get the resonance characteristics of UHF RFID tags. This paper detailed the principle of using the relationship between frequency and distance to test the resonance characteristics, illustrated the design concept of testing software, built and completely implemented the contactless hardware test platform. Measurement results demonstrated that the proposed method and platform can test the tag's resonance characteristics effectively. In practical applications, tags for different materials can be designed according to the resonance characteristics.

Keywords: UHF RFID; resonance characteristics; test platform; frequency offset

1 引言

无线射频识别(radio frequency identification, RFID)是目前广泛应用的一种身份识别的技术,UHF(ultra high frequency) RFID 标签是基于雷达反射调制原理进行工作的,具有免接触、识别距离远等优点。UHF RFID 标签工作频率在 900 MHz 附近,属于超高频频段,外部环境对 UHF RFID 标签存在较大的影响。在实际应用中,当 RFID 标签粘附在塑料、玻璃甚至金属介质上时,其谐振特性就会发生很大的改变,造成标签读取性能的下降。标签的谐振特性是

指标签芯片与标签天线整体对频率的响应特性。在标签的设计过程中,通过测试其谐振特性可以为天线的优化提供参考;在标签的应用中,通过测试标签谐振特性的改变,有助于分析标签性能下降的原因和指导标签的设计。

目前,获得 UHF RFID 标签特性的方法主要有馈线连接测试^[1-2]和仿真^[3-4]2 种方法。馈线连接测试的方法是将标签芯片和天线分离开来,分别接上引线或馈线,使用信号发生器、网络分析仪、频谱分析仪、示波器等设备进行直接测试^[1-2]。馈线连接测试的方法是一种常用的方法,但是,

收稿日期:2014-11-10

* 基金项目:上海市科委重点支撑(12510500600)项目

由于 UHF RFID 标签的体积非常小,天线与芯片的匹配很严格,仪器馈线直接与天线相连接时线缆本身也会成为天线的一部分,这样就有可能会改变天线原来的特性。此外,采用馈线的方式^[1]连接标签天线也存在另外一个问题,因为与传统的天线不同的是,标签天线的端口阻抗是与芯片直接匹配,并非为馈线连接而设计为标准的 50Ω ,因此这种连接方式会因为不匹配而存在较大的误差。

分析 UHF RFID 标签特性的另外一种方法是仿真,很多仿真软件将天线分解成多个部分后进行叠加计算,从而得出天线模型的特性曲线。仿真的优点在于可以方便地调整天线的形状,也可以利用软件自动优化天线的设计,快速地得出优化结果。但是,仿真的不足在于难以精确地建立与实际相一致的模型,也难以准确模拟复杂变化的外部环境。目前,有很多文献采用仿真的方法来设计标签天线^[3-4],但是它们都没有用实际的测试来证明所设计标签与仿真相符合,也无法证明设计的正确性。因此,仿真只能分析标签的理论特性,如果结合实际测试实验,将更加具有说服力。将采用仿真的方法来佐证实际测试的谐振曲线的正确性。

针对前述方法的不足,通过改变阅读器发出的载波频率和功率,获取标签在不同频率下的最大阅读距离,从而间接地测试标签的谐振特性。该方法具有以下优点:1) 采用非接触的方式,可以避免馈线对标签的干扰和影响,更适合现场的测试。2) 不仅能测试标签在正常工作频率下的性能,也可以测试标签在工作频率附近的一个较宽频带内的其他频点的性能,因此可以分析标签性能随频率变化的趋势。3) 通过调节读取功率的大小,可以获取标签在不同功率下的特性,并可得到标签在不同频率下的最大阅读距离。4) 整个系统由软件自动控制,可以在无人工干预情况下自动完成测试。

2 UHF RFID 标签模型分析

UHF RFID 属于无源标签,不需要外部供电,标签通过对阅读器发射的电磁波进行调制反射,将自身的信息发送给阅读器。标签主要由标签天线和标签芯片组成,标签天线是

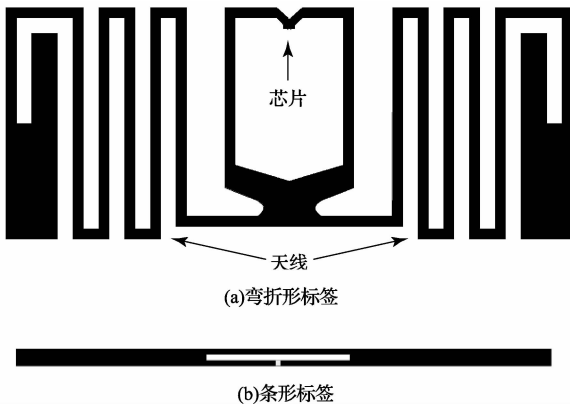


图1 2个常用 UHF RFID 标签形状

一个变形的偶极子天线,天线接收到的能量一部分用于标签工作;另一部分向四周反射。图1是2个典型的标签外形。

信息的反射是通过调节芯片的阻抗实现的,芯片通过调节自身的阻抗,使芯片与天线处于匹配或失配状态,从而改变天线反射能量的多少。在匹配的状态下,标签天线接收的大部分能量被芯片吸收,阅读器接收到的反射信号较少,这时阅读器识别为‘0’,在失配情况下,标签反射的能量较多,这时阅读器识别为‘1’,标签通过这样不断地匹配与失配将自身的信息以二进制的方式发送给阅读器。UHF RFID 标签芯片主要呈现容性,这是因为制造工艺的限制,与之匹配的天线则呈感性。标签等效电路图如图2所示。

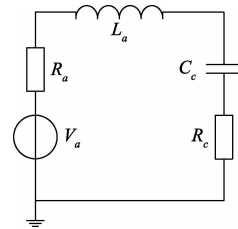


图2 UHF RFID 标签等效电路

图2中, Z_a 代表天线的阻抗, Z_c 表示标签芯片的阻抗, Z_a 、 Z_c 都是一个复阻抗, $Z_a = R_a + jX_a$, $Z_c = R_c + jX_c$,其中 X_a 、 X_c 分别是天线的整体感抗和芯片的容抗,若分别用电容和电感来表示,则 $X_a = \omega L_a$, $X_c = -\frac{1}{\omega C_c}$ 。图2中, V_a 代表天线接收阅读器电磁波而产生的电压,为整个标签工作提供能量。设芯片的端口电压为 V_c ,则:

$$V_c = V_a \left(\frac{Z_c}{Z_a + Z_c} \right) \quad (1)$$

根据功率的计算公式,芯片获取到的功率为:

$$P_c = \frac{1}{2} |V_c|^2 R_c \left\{ \frac{1}{Z_c} \right\} \quad (2)$$

将式(1)和 Z_a 、 Z_c 的表达式都代入式(2)中可得:

$$P_c = \frac{|V_a|^2 R_c}{2 \left[(R_a + R_c)^2 - \frac{2L_a}{C_c} + \left(\omega^2 L_a^2 + \frac{1}{\omega^2 C_c^2} \right) \right]} \quad (3)$$

式中:在 P_c 随频率 ω 的变化过程中,可以看出,当 $\omega = \frac{1}{\sqrt{L_a C_c}}$, P_c 取得最大值,这表明,当标签工作在谐振频率下时,标签芯片获取到的能量最多。

标签不能被读取可能存在两方面的原因^[5],一方面是芯片没有获取到足够的能量而激活工作;另一方面可能是标签反射信号的强度太弱,不能被阅读器识别。已有的研究成果证明,标签不能被识别是因为标签芯片不能被激活,原因是天线获取的能量太少或者天线传输给芯片的能量太少^[6-7]。因此,在同样的距离下,通过分析标签芯片获取能量的比例即可推知标签的阅读距离,进一步可知,标签的读取距离与谐振特性的好坏相一致。

在实际中, C_0 通常是固定的, 由生产工艺决定, L_a 由标签天线的形状和大小决定。在应用中, 当标签天线靠近其他介质时, 天线的电感 L_a 会发生变化。根据电感量的计算公式, 当有磁性介质靠近电感线圈时, 线圈的电感量会增大, 因此天线的电感 L_a 也会增大, 从而造成谐振频率的改变, 芯片获取的能量减小, 读取距离下降。

3 标签谐振特性测试方法研究

3.1 最大读取距离的测试方法

最大读取距离是标签性能的一个重要指标, 反映了标签的谐振特性的好坏。为了测试标签的最大读取距离, 一个直接的方法是在空旷的地方通过移动标签测试, 但是为了避免外部干扰和测试的准确性, 通常在微波暗室中测量。UHF RFID 标签的读取距离一般在几米以上, 这就要求暗室的体积比较大, 为了节省空间和测试方便, 宜采用较小的暗室, 通过减小阅读器的输出功率的方法进行间接测量。假设读写器天线为理想天线, 无功率损耗, 天线的增益为 G_r , 标签天线的增益为 G_t , 标签的功率传输系数为 τ , 标签芯片的灵敏度为 P_{th} , 在标签与阅读器天线距离为 R_0 的情况下, 根据标签读取距离方程可得^[8-9]:

$$R_0 = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_0 G_r G_t \tau}{P_{th}}} \quad (4)$$

式中: P_0 表示与阅读器天线的距离为 R_0 时标签的最小读取功率, λ 为电磁波的波长。设读写器标准输出功率为 P_{max} , 则其最大阅读距离为:

$$R_{max} = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_{max} G_r G_t \tau}{P_{th}}} \quad (5)$$

由式(4)(5)可得在标准输出功率下标签的最大读取距离为:

$$R_{max} = R_0 \sqrt{\frac{P_{max}}{P_0}} \quad (6)$$

根据 dBm 的定义, $1 \text{ dBm} = 10 \lg(1 \text{ mW})$, 代入式(6)可得:

$$R_{max} = R_0 10^{(d_0 - d_{max})/20} \quad (7)$$

式中: d_0 表示标签距阅读器天线为 R_0 时的最小读取功率, d_{max} 表示阅读器的标准输出功率, d_0 、 d_{max} 的单位都是 dBm。

式(7)即可计算出标签在标准阅读功率下的最大读取距离。这种间接的计算方法不仅可以在较小的暗室中得到准确的数据, 而且在测试的过程中标签位置是固定的, 这就避免了人工操作带来的误差。

3.2 阅读频率和功率的变化对标签接收能量的影响

一个典型的 UHF RFID 芯片的串联等效内阻为 27Ω , 串联等效电容是 0.87 pF 。标签天线的等效电阻为 27Ω , 等效电感为 35 nH 。代入式(6)中可得:

$$P = \frac{1}{2} |V_a|^2 \frac{27}{\left(5 \times 10^{-14} f^2 + \frac{3.3 \times 10^{22}}{f^2}\right) - 77 \ 544} \quad (8)$$

由式可知, 当阅读器工作在频率 920 MHz , 频率的变化量为 10 MHz 时, 芯片接收到的功率大约改变 5% 。因此, 实际测试时, 可采用 10 MHz 的频率间隔。由于标签接收到的功率与阅读器发射功率成正比, 因此当阅读器发射功率变化时, 标签芯片接收到的功率以同样的比例变化, 本文测试时的发射功率变化间隔为 1 dBm 。

4 标签谐振特性测试平台的设计

4.1 测试硬件平台的设计

普通的阅读器设备只能工作在一段较窄的频段内, 因此无法用于测试标签在不同频率下的谐振特性。根据前文分析, 标签在靠近介质时性能下降的原因是谐振频点会发生偏移, 我国规定 UHF RFID 标签工作在 $840 \sim 845 \text{ MHz}$ 和 $920 \sim 925 \text{ MHz}$ 2 个频段内, 其带宽只有 5 MHz , 远远不能满足谐振特性的测试需要, 因此测试平台需要专用的宽频带载波信号发生模块。测试平台的结构框图如图 3 所示, 包括信号发生部分、功率控制与调节部分、接收电路以及计算机软件控制部分。

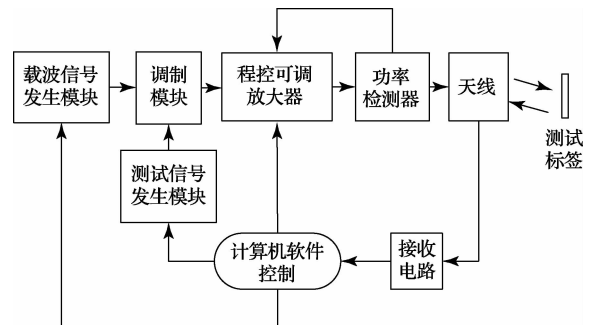


图 3 UHF RFID 标签谐振特性测试平台

下面详细介绍各个模块的作用。载波信号发生模块: 模块的主要功能是产生一个精确可调的宽频带载波信号, 主要由一个压控振荡器(VCO)和锁相环(PLL)电路组成, 计算机软件通过控制 VCO 的分频系数, 可以精确调节模块的输出频率。载波信号发生模块的输出频率设计为 $800 \text{ MHz} \sim 1 \text{ GHz}$, 覆盖了 UHF RFID 标签的所有工作频点, 可以满足谐振特性的测试需要。调制模块: 调制模块主要负责把测试的基带信号调制在载波上。测试信号发生模块: 用来产生测试标签的基带信号, 测试信号符合 ISO/IEC 18000-6C 标准。普通阅读器读取到一个标签以后就不再读取, 不适合用来测试标签。与普通阅读器命令不同的是, 测试信号可以连续地读取某一个特定的标签, 得到大量的统计数据。功率控制部分: 此部分包括程控可调放大器和功率检测器, 用来准确地调节测试平台的输出功率。放大器的放大倍数可以通过程序进行控制。功率检测器检测输出功率

并反馈,可以保证输出功率的稳定^[10]。接收电路:用来接收标签的反射信号并进行识别,识别信息在计算机软件上进行显示。整个系统的频率、功率以及测试信号都可以通过计算机软件进行自动地控制,标签的测试结果如读取率、谐振特性曲线可以直接在计算机上显示,系统的测试数据配合数据库系统进行保存和处理,实现自动化地测量。

4.2 测试软件的设计

测试软件运行在计算机上,用来控制测试的过程以及进行测试数据的处理,测试软件通过 USB 接口控制测试硬件。如图 4 所示测试软件的流程。

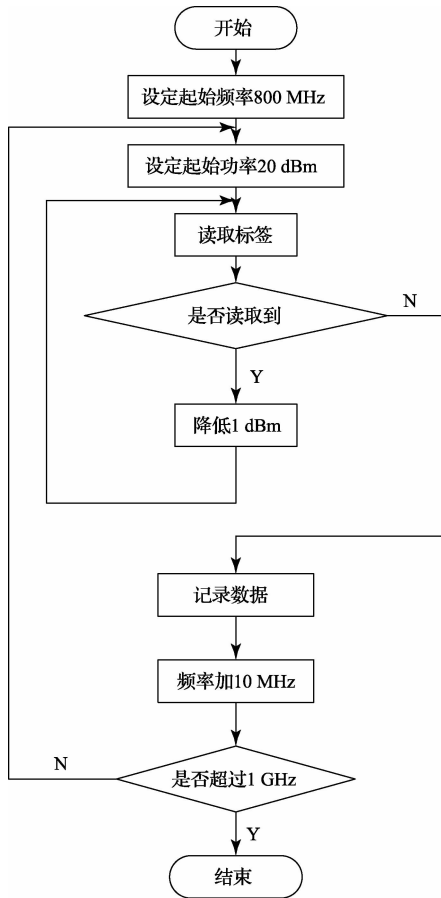


图 4 测试软件流程

如图 4 中所示,测试的频率范围是 800 MHz~1 GHz,频率变化间隔为 10 MHz。测试开始时设定起始频率为 800 MHz,阅读器输出功率为 20 dBm。为保证测试的准确性,每次测试时连续读取 100 次标签,如果能够读到标签的信号,则表示读取成功。在读取成功的情况下,程序将功率下调 1 dBm 并再次读取,直到读取不到,此时记录前一次读取成功时的功率即可获得这个频点的最小读取功率。每测完一个频点后将频率增加 10 MHz 并重复这个过程。通过上述的测试方法可以得出 800 MHz~1 GHz 中 21 个频点的最小读取功率,再利用式(7)可以计算每个频点的最大

读取距离。

4.3 测试平台

由于标签反射信号十分微弱,外部环境的电磁干扰会对测试结果产生较大的影响,因此,实验时测试标签与阅读天线都放置在微波暗室中,能够有效地避免外界干扰。如图 5 所示,硬件电路位于暗室外,并通过 USB 电缆与计算机相连接,测试时标签与测试天线的距离固定为 s ,本文中 s 取为 1 m,整个测试过程由计算机软件自动控制。

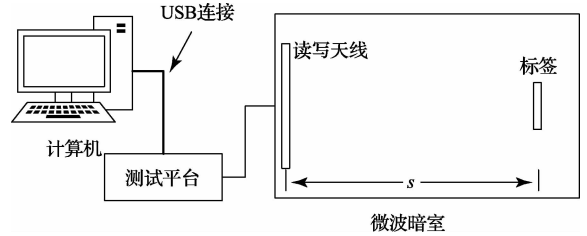


图 5 测试平台示意

5 标签谐振特性的测试结果

5.1 标签贴在介质上的测试

图 6 是利用图 5 所示平台测得标签最大读取距离随读取频率变化的曲线,采用图 1 中(a)所示弯折形的标签,测试介质采用厚度为 1 cm 的聚乙烯塑料板。

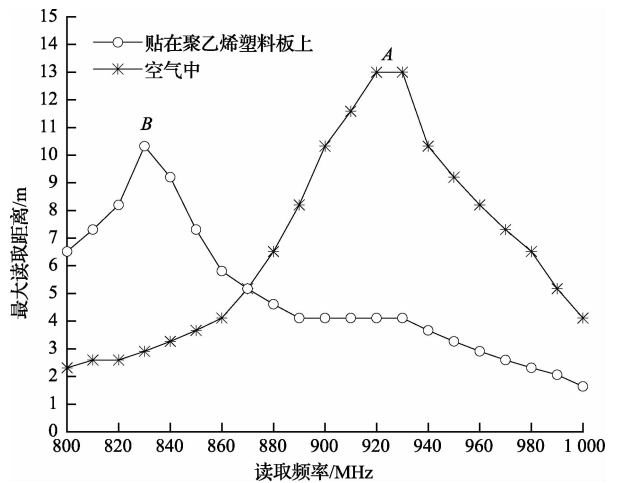


图 6 聚乙烯板对标签读取距离的影响

从图 6 中可以看出,在标签没有贴在任何介质上的测试中,标签在 A 点 925 MHz 左右达到最大的读取距离,约为 13 m。随着频率偏离 925 MHz,标签的读取距离逐渐下降,说明标签芯片在中心频率 925 MHz 处获取能量最多,此时谐振特性最好。当标签贴在介质上以后,标签在 B 点 830 MHz 左右达到了最大的读取距离,标签的中心谐振频率从 925 MHz 偏移至了 830 MHz。

图 7 是利用图 5 所示平台测得图 1 中(b)所示类型的标签读取距离随频率的变化曲线。从图 7 中可以看出,当标签处于空气中时,其在 A 点 890 MHz 左右的读取距离达到最大,而贴在厚度为 1 cm 的木板上后,读取距离最远的频点已经偏移到了 B 点 860 MHz 左右。由于介质和标签类型的不同,图 7 中谐振频点偏移的大小与图 6 中有所差异,但是其向低处偏移的趋势是一致的。

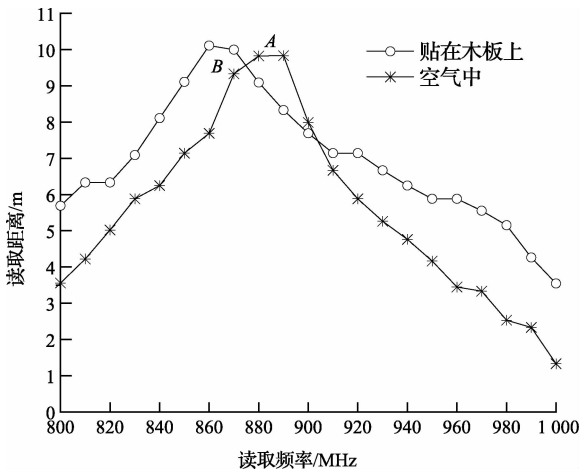


图 7 木板对标签读取距离的影响

从图 6 和图 7 的测试数据可以看出,介质会使标签的谐振频点发生偏移,造成了芯片获取能量的减小,正常工作频点的阅读距离下降。在实际应用中,可以采用预偏移的方法使标签的谐振频点人为向高处偏移,以抵消介质对标签谐振特性的影响。为了进一步验证介质对标签谐振特性的影响,下面采用仿真软件仿真了标签靠近介质时谐振特性的变化。

5.2 标签靠近介质时谐振特性的仿真实验

标签靠近介质时的特性曲线也可以用软件仿真得到,这就能够从另一个侧面来验证测试平台测试的正确性。软件仿真中难以直接仿真标签的最大读取距离,但是根据标签的阻抗匹配原理,可以通过仿真标签的 S 参数的方法来观察标签谐振特性^[11]。S 参数的表达式如式(9)所示:

$$S = \frac{Z_a - Z_c}{Z_a + Z_c} \quad (9)$$

将 Z_a 和 Z_c 的表达式代入式(9)中可得:

$$|S| = \sqrt{1 + \frac{\frac{4L_a}{C_c} - 4R_a R_c}{(R_a + R_c)^2 + \left(\omega L_a - \frac{1}{\omega C_c}\right)^2}} \quad (10)$$

从式(10)中可以看出, ω 越接近 $\frac{1}{\sqrt{L_a C_c}}$, S 参数的数值

越小,即标签的谐振特性越好。图 8 是图 1 中(a)所示弯折形标签在空气中和贴在聚乙烯板上时的 S 参数曲线图。

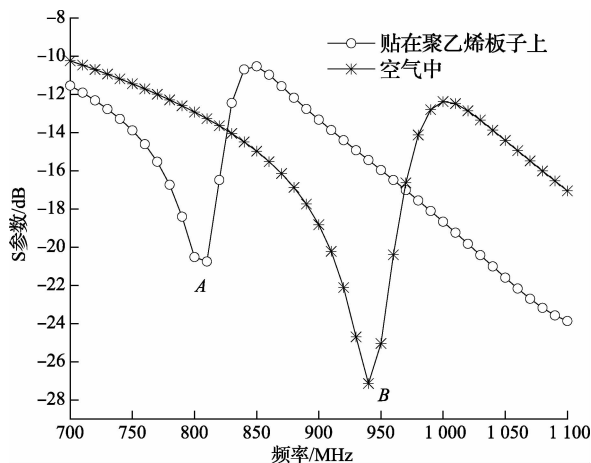


图 8 聚乙烯板对标签 S 参数的影响

从图 8 中可以看出,当标签没有贴附任何介质时,其 S 参数在 B 点 930 MHz 左右达到最小值,由式(10)可知此时标签的谐振特性最好。若标签贴在聚乙烯塑料板上,其最佳谐振点偏移至 A 点 800 MHz 附近,这与测试中得出的结论基本相同。

图 9 是木板对图 1 中(b)所示条形标签 S 参数的影响曲线。从图中可以看出,当标签贴在木板上以后,其谐振频点从 A 点 900 MHz 偏移到 B 点 860 MHz 左右,这与图 7 所测数据的变化情况一致,证实了实验结果的正确性。

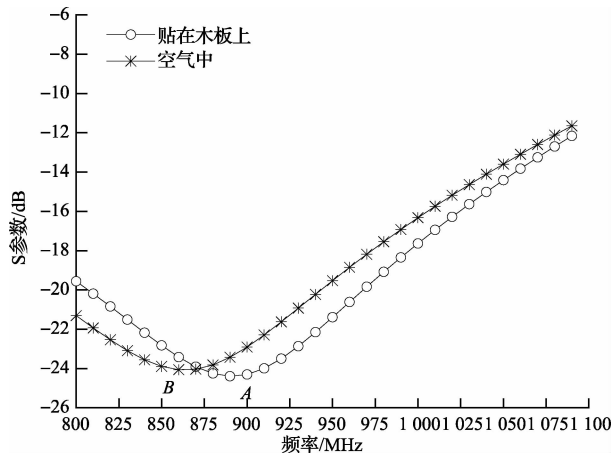


图 9 木板对标签 S 参数的影响

6 结 论

首先建立了 UHF RFID 的电路模型,分析了标签天线和芯片的功率传输特性,得出了标签芯片获取到的功率与阅读频率的关系,在此基础上提出了非接触测试标签谐振特性的方法,克服了传统使用馈线连接测试方法的不足。根据最小读取功率和最大阅读距离的测试原理,搭建了标签谐振特性的测试平台,测试结果表明,当 UHF RFID 标签贴附在介质上时,标签谐振频点会向低频处偏移,这与仿真及理论计算得出的结论一致。在实际应用中,通过测试

标签的读取距离随频率的变化情况,直观地描绘出 UHF RFID 标签的谐振特性,可以找出标签读取距离最大时的谐振频点,不仅可以用于评估介质对标签的影响情况,也可以参考谐振频点的偏移情况,设计出适合不同介质的标签。

参考文献

- [1] JALAL A S A, ISMAIL A, ALHAWARI A R H, et al. Miniaturized metal mount Minkowski fractal RFID tag antenna with complementary split ring resonator [J]. Progress in Electromagnetics Research C, 2013, 39: 25-36.
- [2] SOLIMAN E A, SALLAM M O, DE RAEDT W, et al. Miniaturized RFID tag antenna operating at 915 MHz [J]. Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE, 2012, 11: 1068-1071.
- [3] GUAN Y, ZHOU Z, LI Y, et al. A novel design of compact dipole antenna for 900 MHz and 2.4 GHz RFID tag applications[J]. Progress in Electromagnetics Research Letters, 2014, 45: 99-104.
- [4] ZHANG J, LONG Y. A miniaturized via-patch loaded dual-layer RFID tag antenna for metallic object applications[J]. Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE, 2013, Volume 12:1184-1187.
- [5] 余开, 何怡刚, 李兵, 等. 无源超高频 RFID 系统链路预算分析 [J]. 仪器仪表学报, 2010, 31(5): 974-979.
- [6] GOUDOS S K, SIAKAVARA K, SAHALOS J N. Modified spiral RFID tag antenna optimal design using Artificial Bee Colony optimization [C].

Microwave Conference (EuMC), 2013 European. IEEE, 2013: 1255-1258.

- [7] YOJIMA H, TANAKA Y, UMEDA Y, et al. Analysis of read range for UHF passive RFID tags in close proximity with dynamic impedance measurement of Tag ICs [C]. Radio and Wireless Symposium (RWS), 2011. IEEE, 2011: 110-113.
- [8] 谢晶晶, 赵东东. UHF Passive RFID 标签最大阅读距离的研究 [J]. 电子测量技术, 2012, 35(3): 45-49.
- [9] 左中梁, 李书芳. 在 GTEM 小室中测试 UHF RFID 系统读写距离 [J]. 电子测量技术, 2011, 34(1): 115-118.
- [10] 黎恒. 超高频 RFID 读写器射频前端的设计 [J]. 国外电子测量技术, 2010, 29(5): 87-90.
- [11] 刘洋, 滕建辅. 新型贴片偶极子 UHF RFID 标签天线的设计 [J]. 电子测量技术, 2013, 36(6): 97-99.

作者简介

李帅, 硕士研究生。主要研究方向为 UHF RFID 标签测试方法及测试平台的搭建。

张雪凡(通讯作者), 高级工程师, 主要研究方向为无线通信。

E-mail: 10002461@shu.edu.cn

任秀方, 硕士研究生。主要研究方向为 UHF RFID 标签建模及仿真。

孟春阳, 硕士研究生。主要研究方向为 UHF RFID 标签和阅读器天线的设计。

是德科技延长新产品和停产产品的仪器服务与保修期

广泛服务范围专注于客户长期成功

2015年6月3日,北京——是德科技(NYSE:KEYS)日前宣布延长了多款已经停产的热门产品的服务周期,大大超越了行业服务标准。新的延长服务期(ESP)计划满足了客户常见的需求,保证关键测试设备在长达数十年的项目寿命期内正常运行。另外,是德科技目前还提供多年维修保证方案,使最终用户获得长达十年的仪器最高性能。

ESP 解决方案着眼于在仪器停产后继续为客户提供是德科技、安捷伦和惠普测试设备的服务。是德科技提供了一系列标准服务(包括多年期维修协议在内),并将与客户共同开发定制解决方案以保证长期项目的成功与顺利进行,直到客户所在企业为过渡到新技术做好准备。

是德科技维修保证方案将业界领先的三年标准保修服务扩展到五年、七年乃至十年。维修保证方案可在最初购买仪器时获得,是一种成本极低、方便有效的方法:一方面既能确保设备性能,又能最小化对客户业务的中断,另一方面还能减少繁琐的审批手续和保证优先服务。

维修保证方案和 ESP 是是德科技仪器生命周期解决方案(ILS)的一部分,可以满足客户在整个产品寿命周期内的持续服务要求。除此之外,ILS 还包含标准服务周期解决方案,确保仪器在保修期后的持续稳定性能。这些解决方案提供是德科技卓越的校准和维修服务,优化客户预算和测试系统正常运行时间。