

在 GTEM 小室中测试 UHF RFID 标签的 Delta RCS

刘晓阳* 李书芳 邢曙光 洪卫军
(北京邮电大学信息与通信工程学院 北京 100876)

摘要: 该文提出了一种使用吉赫兹横电磁波传输(GTEM)小室进行被动式超高频射频识别(UHF RFID)标签 Delta Radar Cross Section (RCS)测试的方法。通过理论分析 RFID 标签工作时的等效电路及其散射特性,推导出 GTEM 小室中和自由空间中 UHF RFID 标签 Delta RCS 测试的等效性。并通过 GTEM 小室和全电波暗室的对比实验,验证了使用 GTEM 小室进行 UHF RFID 标签 Delta RCS 测试的可行性及实用性。

关键词: 吉赫兹横电磁波传输室;超高频射频识别标签;标签 Delta 雷达散射截面(RCS)

中图分类号: TN87

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2012)05-1268-03

DOI: 10.3724/SP.J.1146.2011.00930

Using GTEM Cell to Measure Delta RCS of UHF RFID Tag

Liu Xiao-yang Li Shu-fang Xing Shu-guang Hong Wei-jun
(Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: This paper presents a new method of testing Delta Radar Cross Section (RCS) of Ultra High Frequency Radio Frequency Identification (UHF RFID) tag using Giga-hertz Transverse ElectroMagnetic (GTEM) cell. Through the theoretical analysis of RFID tag's equivalent circuit and its scattering characteristics, the paper demonstrates that the Delta RCS of UHF RFID tag tested in GTEM cell is consist with that tested in free space. Also, the contrast experiments in GTEM cell and anechoic chamber are taken to validate the feasibility and practicability of using GTEM cell to do the Delta RCS test of passive RFID tag.

Key words: Giga-hertz Transverse ElectroMagnetic (GTEM) cell; Radio Frequency Identification (RFID) tag; Delta Radar Cross Section (RCS) of tag

1 引言

射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)技术是一类非接触类型的自动识别和数据采集技术,起源于上个世纪40年代。目前,RFID技术已经广泛应用到生产制造、物流管理、公共安全、教育、医疗等各个领域,并作为中国物联网事业的重要支柱技术之一,受到各行业的普遍关注^[1]。UHF频段的被动式RFID系统属于远距离识别系统,标签天线一方面接收电磁能量,另一方面通过反向散射电磁波将标签内存储的信息反馈给读写器。Delta雷达放射截面(Radar Cross Section, RCS)作为标签通信时的一个重要参数,能够较完整地表征RFID标签的性能^[2]。

ISO IEC标准推荐RFID标签反向散射性能测试标准场地为全电波暗室^[3,4]。测试时,必须保持标签与读写器发射和接收天线等高,且被置于两天线方向交点上,并朝向最优场强接收方向;读写器收发两天线间的残余耦合信号应低于45 dB。在实际

的RFID标签测试过程中,一方面全电波暗室场地造价昂贵,较难得到;另一方面,全电波暗室中测试要求的细节复杂,准确程度受测试过程影响较大。

针对传统UHF RFID标签Delta RCS测试方法的缺陷,本文提出了一种用GTEM小室代替全电波暗室测试UHF RFID标签Delta RCS的新方法,此方法测试场地造价低廉,占地面积小,且测试过程简单,受外界噪声的干扰小。本文通过对比实验验证了此方法的可行性。

2 使用GTEM室进行RFID标签Delta RCS测试的基本理论

本文提出一种用GTEM小室测试UHF RFID标签Delta RCS的新方法:将标签置于GTEM小室中,如图1所示。读写器通过环形器连接GTEM小室端口,通过测量GTEM小室端口电压反射系数 Γ ,即可由式(1)计算得到标签的Delta RCS:

$$\Delta\sigma = 4\pi \left(\frac{60k_0}{e_{0y}^2} \Gamma \right)^2 \quad (1)$$

式中 $k_0 = 2\pi f/c$, f 为读写器发送信号的载频频率, c 为光速。 e_{0y} 是位于标签原点处的零阶模式场:

2011-09-06收到,2011-12-29改回

国家自然科学基金(60971069)资助课题

*通信作者: 刘晓阳 bupt009@gmail.com

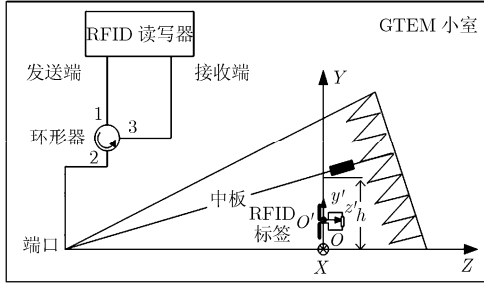


图 1 GTEM 室中的 RFID 标签 Delta RCS 测试图

$$e_{0y} = \frac{2}{a} Z_0^{1/2} \sum_{n=1,3,5,\dots} \left[\frac{\cosh(Ny_1)}{\sinh(Nh)} \right] \sin(Na) J_0(Ng),$$

$$N = \frac{n\pi}{2a} \quad (2)$$

y_1 为辐射体局部坐标原点离 GTEM 小室底板的高度， a 和 h 分别为 GTEM 小室辐射体局部坐标原点正下方底板的半宽度和中板到底板的高度， g 为该处中板与侧板的间隙距离， Z_0 为 GTEM 小室的特性阻抗。 Γ 为读写器返回功率与输出功率之比的平方根。

文献[5]最先提出了 GTEM 小室用于测量电小尺寸的金属散射体的 RCS。本文将通过理论证明 UHF RFID 标签作为特殊的散射天线，其 Delta RCS 参数同样适用于 GTEM 小室中的测试。

根据标签的能量供给方式，RFID 标签可分为主动式、被动式和半主动式。被动式 UHF RFID 标签是依靠反向散射原理来工作的：读写器发射已调制的射频信号，标签通过天线接收到的 RFID 信号激活标签中的芯片，芯片根据读写器发送的信息改变其输入阻抗，以此来实现对标签散射信号的幅度调制^[6]。在标签的散射过程中，标签既具有一般散射体的特性，又有由标签与芯片失配而重新发射能量的性质。

图 2 所示是标签工作时的等效电路，等效电路中芯片的阻抗 Z_1 或 Z_2 是由读写器信号控制。设 V_0 为标签被载频信号激起的开路电压，对应阻抗 Z_1 或 Z_2 ，等效电路中的电流为

$$I_{1,2} = \frac{V_0}{Z_A + Z_{1,2}} \quad (3)$$

电流 I_1 与 I_2 通过标签天线的重新辐射将形成标签的散射场。两种不同电流状态之间的变化规律，形成了满足 RFID 协议的标签返回信号的‘1’或者‘0’编码，从而完整地实现标签和读写器之间的通信。

根据标签 Delta RCS 的定义式^[7]：

$$\Delta\sigma = G\Delta P/S_i \quad (4)$$

其中 S_i 为入射到标签的功率流密度， G 为标签天线

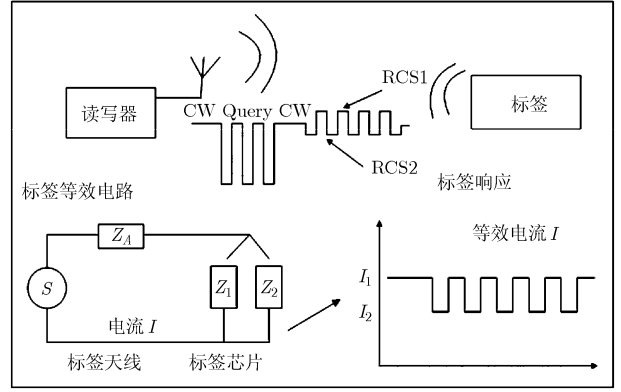


图 2 被动式 UHF RFID 系统工作原理图

增益， ΔP 为标签等效电路重新发射的功率，相当于在标签电路中以电流矢量差 $(I_1 - I_2)$ 通过标签天线重新辐射回去的功率，即

$$\Delta P = \frac{1}{2} |I_1 - I_2|^2 R_a G \quad (5)$$

如果读写器在 GTEM 小室和自由空间给散射体施加相同幅度及相同调制规律的入射场 E_i ，标签天线将产生相同的电流 $(I_1 - I_2)$ 。类似于参考文献[5]的推导过程， $(I_1 - I_2)$ 使标签天线等效为电偶矩为 P 的电偶极子和磁偶矩为 M 的磁偶极子之组合。在自由空间，有^[9]

$$|E_y^s| = \frac{30k_0}{R} |jP \cos\theta - k_0 M \cos\psi| \quad (6)$$

式中 θ 为 P 与 y 轴的夹角， ψ 为 M 与 x 轴的夹角， E_y^s 为读写器接收天线处散射场的垂直分量， R 为读写器与标签的距离。自由空间坐标及标签天线的定向与在 GTEM 小室中相同(见图 1)。

而在 GTEM 小室中，端口返回电压为^[5]

$$U_{re} = \frac{e_{0y} \sqrt{Z_0}}{2} |P \cos\theta + jk_0 M \cos\psi| \quad (7)$$

由 $E_i = \frac{U_0 e_{0y}}{\sqrt{Z_0}}$ ，并联立式(6)，式(7)，可得

$$\Delta\sigma = 4\pi R^2 \left| \frac{E_y^s}{E_i} \right| = 4\pi \left(\frac{60k_0}{e_{0y}^2} \cdot \frac{U_{re}}{U_0} \right)^2 \quad (8)$$

代入 $\Gamma = U_{re}/U_0$ ，则得到式(1)。至此则证明了 GTEM 小室可用于测量被动式 UHF RFID 标签的 Delta RCS。

3 实验

根据上文中的结论，分别在全电波暗室^[8]和 GTEM 室^[9]当中进行验证性的实验。实验中使用完整的 RFID 测试系统(基于 National Instrument 的硬件平台)。该测试系统能够根据 RFID 测试的要求产生 RFID 读写器信号并与测试标签通信，在通信

的过程中可以自动分析读写器及标签的信号,计算出标签的返回功率值等^[10]。实验中使用国家无线电监测与检验中心的全电波暗室和4mGTEM室。实验中使用的标签为Alien9562标签。

实验在GTEM小室和全电波暗室对同一标签的Delta RCS分别进行测试。为了使GTEM小室和全电波暗室测试的标签处于完全等同的状态,测试时都使用标签有响应的临界发送功率值。分别从测试频率(测试频段885-960 MHz,步进5 MHz)及测试角度(选择频率925 MHz时绕Y轴旋转180°,步进10°)两个方面验证。

图3为频率变化测试结果。实验结果表明:在885-960 MHz频率范围内,两种场地测试结果dB差值均在3 dB以下,而差值在2 dB以下的比率也达到了81.25%;从图3可以看出,测试数据随频率的变化特性也基本是一致的。

图4为角度变化测试结果。实验结果表明:标签在各个角度方向上的Delta RCS测试值与全电波暗室测试结果dB差值均在1.5 dB以内,吻合程度

很好。以上两个实验结果验证了GTEM小室中测量UHF RFID标签Delta RCS的可行性。

在实际的实验过程中发现,用GTEM小室进行测试比起在全电波暗室测试有以下明显的优点:(1)GTEM小室中的测试更为简单和快捷,不需要考虑标签与读写器绝对等高等测试条件;(2)在GTEM小室中测试返回信号强,数据更稳定,也不用考虑读写距离的问题。结合GTEM小室廉价,易拆卸、搬迁的优点,可以认为GTEM小室做UHF RFID标签Delta RCS测试是一种实用性很强的方法。

4 结论

本文提出了GTEM室做UHF RFID标签Delta RCS测试的新方法,并通过理论的推导和实验验证,证明了该方法的可行性和有效性。实验结果表明该方法与传统的全电波暗室中测试的结果是一致的,而且相比传统的RFID标签测试方法而言,使用GTEM室测试更为简单、高效、结果更稳定,成本更低,具有很强的实用性。

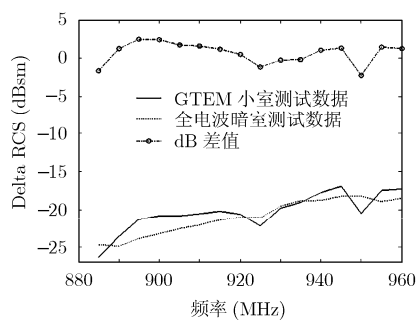


图3 频率变化测试对比图

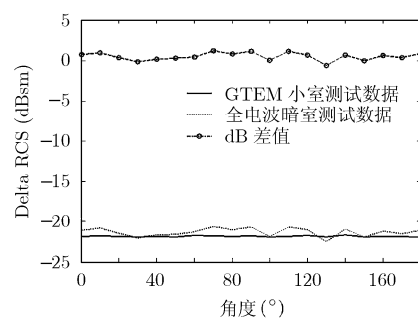


图4 角度变化测试对比图

参考文献

- [1] Landt J. The history of RFID[J]. *IEEE Potentials*, 2005, 24(4): 8-11.
- [2] Nikitin P V and Rao K V S. Antennas and propagation in UHF RFID systems[C]. *IEEE International Conference on RFID*, Las Vegas USA, April 16-17, 2008: 277-288.
- [3] ISO/IEC FCD 18046-3. Information technology — radio frequency identification device performance tests methods — Part 3: test methods for tag performance[S]. 2006.
- [4] ISO/IEC FCD 18046-1. Information technology-automatic identification and data capture techniques-radio frequency identification device performance test methods [S]. 2006.
- [5] Xing Shu-guang, Li Shu-fang, Hong Wei-jun, *et al.* Using GTEM cell to measure RCS of electrically small scatterers[J]. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2011, 10: 596-598.
- [6] She Kai, He Yi-gang, Li Bing, *et al.* Theory and measurement of Delta RCS for RFID tag on various materials[C]. *Wireless Communications Networking and Mobile Computing (WiCOM)*, Shanghai China, Sept. 23-25, 2010: 1-4.
- [7] Nikitin P V, Rao K V S, and Martinez R D. Differential RCS of RFID tag[J]. *Electronics Letters*, 2007, 43(8): 431-432.
- [8] Pouzin A, Vuong T P, Tedjini S, *et al.* Bench test for measurement of differential RCS of UHF RFID tags[J]. *Electronics Letters*, 2010, 46(8): 590-592.
- [9] Sidney D K, Divya C, Srikant C, *et al.* RFID tag characterization in a GHz transverse electromagnetic cell [C]. *IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI)*, Philadelphia USA, 2007: 1-6.
- [10] Nikitin P V and Rao K V S. LabVIEW-based UHF RFID tag test and measurement system[J]. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2009, 56(7): 2374-2381.

- 刘晓阳: 男, 1987年生, 硕士生, 研究方向为RFID测试技术、虚拟仪器技术及GTEM小室相关研究。
李书芳: 女, 1963年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为电磁兼容及相关测试技术。
邢曙光: 男, 1987年生, 博士生, 研究方向为GTEM小室相关研究、电磁兼容、RFID天线设计等。