

超高频射频识别标签灵敏度测试

上海聚星仪器有限公司

摘要: 介绍了超高频射频识别(RFID)标签灵敏度测试的原理、参数和实践。其中详细分析了灵敏度测试各项指标的物理意义和测试方法,给出了典型测试条件下发射功率、传输损耗、接收功率等参数的典型值。还提供了实际测试案例。

1 引言

超高频标签是指840~960 MHz无源射频识别标签。这个波段的标签起源于EPCglobal Class 1 Generation 2标准。其中EPCglobal是电子产品编码标准组织,第一类第二代RFID标准经常被缩写为C1G2。这个标准规定了超高频860~960 MHz范围的射频识别协议。这个协议的特点是通过 μs 级的读写器-标签应答和较科学的防碰撞机制,实现快速、几十米距离的标签读写。理想情况下每秒盘点标签可达两三百个,识读距离可以达到30 m左右,曾经一度被热捧为下一代智能物流的标准。其后ISO组织接受这个标准,转为ISO 18000-6C标准。近年来我国也在这个技术上发展革新,推出了自有标准GB/T 29768,其频率规定在840~845 MHz和920~925 MHz,开避了临近的GSM业务波段。

目前这些协议被统称为800~900 MHz超高频射频识别。而这些协议都继承了高速应答、快速盘点、读写距离较远的特点,这些热门协议产品的性能成为使用的关键。其中尤其

是标签,处于竞争激烈的中心。射频识别标签单价较低,但是用量很大,对于设计制造就要求更高。由于标签设计技术和生产工艺的缺陷和不稳定,就必须由性能测试来把关。

而这个标签灵敏度测试由于是非接触射频测量,又有各种技术问题需要克服。本文着重介绍其中的方法理论和实践情况。

2 超高频射频标签灵敏度测试方法

2.1 基本设置

超高频标签测试往往在微波暗箱或暗室进行,也可以在半暗室和干扰较小的野外场地进行。但是由于超高频标签的频率较高,波长只有1/3 m左

右,对暗室尺寸要求不太高,经济消耗比较容易承受。关于标签测试的物理设置,有双天线和单天线两种主要方法。为了最大性能,EPCglobal、ISO倡导了双天线法。这个方法采用一对左右圆极化天线,一发一收,达到最大收发隔离,使得测试系统可以用高功率发射、高灵敏度接收,从而应对更差灵敏度的标签。为了方便起见,也有用环行器将双天线合并为收发双工的单天线配置,由于天线反射特性,总体系统性能低于双天线配置。

2.2 表示单位

标签灵敏度通常可以用功率或场强表示。EPCglobal比较实用,采用了RIPTUT,亦即标签接收到的单极子辐

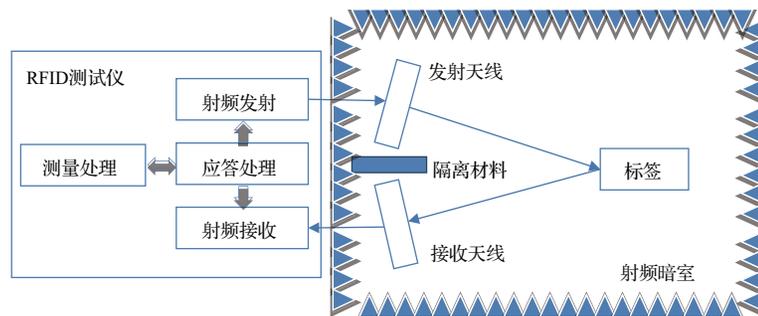


图1 双天线标签测试配置示意

射功率。用通俗的话讲，就是标签刚好可以工作的射频场强用理想单极子天线接收到的功率，它的单位是dBm。

ISO测试用场强表示，也就是使得标签正常工作的最小场强，它的单位是V/m。

这两个测试结果看上去不同，但实际上都是通过测试仪发射功率计算来的。

EPCglobal标签接收单极子功率计算公式：

$$RIP = EIRP - PL \quad (1)$$

$$EIRP = P + G_{Tx} \quad (2)$$

式中： $EIRP$ 为仪器发射等效单极子辐射功率，单位是dBm； PL 为仪器发射天线到标签的自由空间传输损耗，单位是dB； P 为发射天线输入功率，单位是dBm； G_{Tx} 为发射天线增益，单位是dB。

ISO标签处场强计算公式：

$$E = \frac{\sqrt{P + G_{Tx}}}{R} * 5.477 \quad (3)$$

式中： P 为发射功率，单位是W； G 是发生天线增益； R 为发生天线到标签距离，单位是m。

这些公式是由自由空间传输损耗公式和天线增益定义推导而来。

2.3 计算和推算

单极子天线射频传输公式：

$$P_{Rx} = P_{Tx} \frac{Ae}{4\pi R^2} \quad (4)$$

$$Ae = \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (5)$$

式中： P_{Rx} 是接收功率， P_{Tx} 是发生功率， Ae 是天线等效孔径面积， R 是收发天线距离。这个公式描述了理想单

极子天线间远场传输损耗和距离的关系。下面给出几个典型样本频点，在典型测试距离上的自由空间传输损耗，单位是dB。

表1 自由空间传输损耗和距离、频率的关系

频率/MHz	距离/m		
	0.80	1.00	3.00
840.0	-28.99	-30.93	-40.47
842.5	-29.01	-30.95	-40.50
915.0	-29.73	-31.67	-41.21
922.5	-29.80	-31.74	-41.28
960.0	-30.15	-32.09	-41.63

要注意的是，上述数据是远场球面波模型下推算的，收发距离太近会使得计算结果偏离。EPCglobal规定在0.8~1 m 距离，ISO 18046-3规定最近测试距离

$$R > \frac{2L^2}{\lambda} \quad (6)$$

式中： R 是测试距离， L 是发射天线最大边长(直径)。下面给出典型天线尺寸和典型频率下ISO对测试距离的要求。

表2 ISO最短测试距离和天线尺寸、频率的关系

频率/MHz	天线长边/m	
	0.25	0.40
840.0	0.35	0.90
842.5	0.35	0.90
915.0	0.38	0.98
922.5	0.38	0.98
960.0	0.40	1.02

3 多种测试项目

3.1 正向连接距离

在标签灵敏度测试当中，经常听到询问标签读写距离。读写距离和标签灵敏度、标签反射功率有关，但是实际应用当中又和读写器性能有关。所以在测试中假设读写器用35 dBm

功率通过理想单极子天线发射，可以读写的距离。那么问题来了，超高频标签读写距离很远，是否要装备超大的射频暗室呢？非也。在上述远场条件测量标签最小工作功率，减去发射天线增益，得到等效单极子辐射功率 $EIRP_{Tx}$ 然后根据空间传输衰减和距离平方成正比的原理，可以推算出读写距离：

$$Range = R * 10^{\frac{[35 - EIRP_{Tx}]}{20}} \quad (7)$$

正向连接距离(forward link range)也称为读取距离，取决于标签开启工作所需要的场强。

3.2 反向连接距离

标签反射的功率大小决定了读写器可以在多远读到，所以可从标签反射功率推算反向连接距离(reverse link range)。反向连接距离就是反射功率被天线增益5 dB、接收灵敏度-70 dBm的阅读器识读的距离。EPCglobal标准提供了计算方法，且结果通常大于正向连接距离。

$$Rnge_{RL} = (10^{K/10})^{1/4} * R \quad (8)$$

$$K = 110 + P_{Rx0} - EIRP_{Tx0} - G_{Rx} \quad (9)$$

$$EIRP_{Tx0} = EIRP_{Tx} + 2 \quad (10)$$

式中： $EIRP_{Tx0}$ 是反向连接灵敏度需要的发射等效单极子功率，定义为正向连接灵敏度加2 dB； P_{Rx0} 是 $EIRP_{Tx0}$ 发射条件下接收到的标签反射功率； G_{Rx} 是接收天线增益。

3.3 不同标签工作模式的灵敏度

标签在被识读ID号、读取寄存器信息、写入寄存器信息的工作模式下需要消耗的功率不同，也就是这3个工

作模式的灵敏度是不一样的。这也就有了识别、读取、写入灵敏度3个测试模式。上述工作最低功率、最小场强、前向和反向读取距离,都有这3种工作模式下的指标,且各不相同。

3.4 EIRP和ERP

在诸多标准里面用等效单极子发射功率较多,但是也有用ERP的。ERP在2013年发布的国家电网公司标准里面是指等效偶极子天线发射功率。理想的偶极子天线增益是2.2 dB左右,所以两者就差了这么一个常量。

4 参数举例

假设发射和接收天线增益都是6 dB,测试距离1 m,标签天线增益2 dB,标签反射损耗5 dB,当仪器发射频率915 MHz,功率为 P_{Tx} 时,标签接收到功率

$$P_{Tag} = P_{Tx} + 6 - 31.7 + 2 = P_{Tx} - 23.7 \quad (11)$$

假设标签反射功率是接收功率的1/3,大约-5 dB。那么测试仪接收机接收到的功率如下:

$$P_{Rx} = P_{Tag} - 5 + 2 - 31.7 + 6 = P_{Tag} - 28.7 \quad (12)$$

根据这两个公式计算不同发射功率对应芯片和接收机接收到的功率,如表3所示。

表3 典型条件发射功率和标签芯片接收功率对应关系

		功率/dBm			
P_{Tx}		30	20	10	5
P_{Tag}		6.3	-3.7	-13.7	-18.7
P_{Rx}		-22.4	-32.4	-42.4	-47.4

也就是说在较理想情况,1 m距离测试超高频标签接收到的标签反射功率比发射功率小大约52 dB。目前最

好的标签可以达到-18 dBm左右的开启功率,所以,测试仪接收到的标签信号功率一般在-47.4 dBm以上。实际情况,由于标签天线设计,使得其增益小于2或者阻抗匹配带来衰减,标签反射比-5 dB小一些。考虑到这些因素,假设不超过10 dB影响,接收功率在-60 dBm以上。因此EPCglobal建议测试仪器接收灵敏度为-70 dBm已经足够。

所以RFID标签灵敏度测试并不要求测试仪器像读写器那样有极低的灵敏度,反而,测试精度和计量校准是最关键的指标。简单来说,仪器是在保证量值传递的条件下精确测量的工具,比的是精度,不像被测标签比的是灵敏度和读写距离。

5 测试实例

使用聚星仪器的第二代RFID综

合测试仪,在暗箱环境测试了两款超高频标签的灵敏度。其中一个被测标签是EPC C1G2,另一个是国标800/900 MHz标签。每一个标签测试10遍,得到其重复精度。

如图2所示为重复度测试的曲线。

其中图2(a)是EPCglobal C1G2 UHF样品标签的识别功率,图2(b)是国标800/900 MHz标签样品的识别功率。可以看到这组样品中,国标标签灵敏度优于EPC标签,而国标标签在临界功率下能否启动有更大随机性,所以其标准差略大于EPC样本标签。总之,在这个实验中展示了仪器重复度优于0.1 dB的重复度。而通常低端用读写器芯片或类似技术组装的测试设备重复精度远差于本仪器的性能,从而给计量准确性带来较大问题。

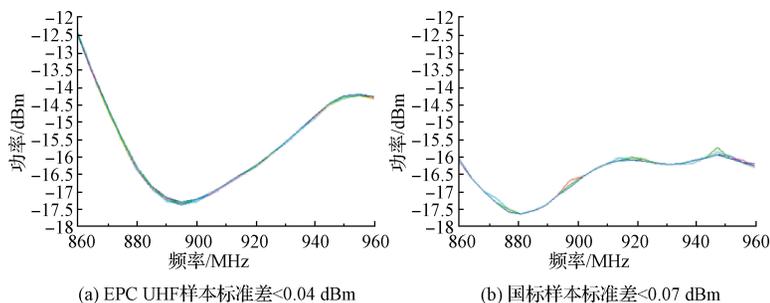


图2 两种标签的识别最小开启功率

在计量校准方面,国家计量院体系已经具备RFID测试仪校准方法和设施,同时也具备了天线增益测量的设备。笔者送检4个RFID测试天线,测试其增益,并且和实验室两天线对射验证,达到很高的一致性和重复精度。

6 总结

超高频射频识别标签测试是通过高精度仪器和天线,在计量校准保证下实现的高精度可溯源测试。仪器通过空中接口指令与被测标签应答,

(下转第5页)

5 案例：可扩展的微波开关矩阵

对于包含多个测试对象的微波测试系统，开关矩阵结构可以最大程度保障系统的灵活性。如图2所示为可扩展的微波矩阵内部结构。

构建20 GHz微波开关矩阵的基础器件为SP6T多路复用开关，每个单元的前4通道用于相互连接建立信号通路；另外两个通道，其一用于连接端接器，保护信号源；其二用作扩展端，可以与相同结构的产品进行连接，构建更大的开关系统，该通道默认断开，起到缩短信号通路，提高系统带宽的作用。

开关系统在射频与微波测试领

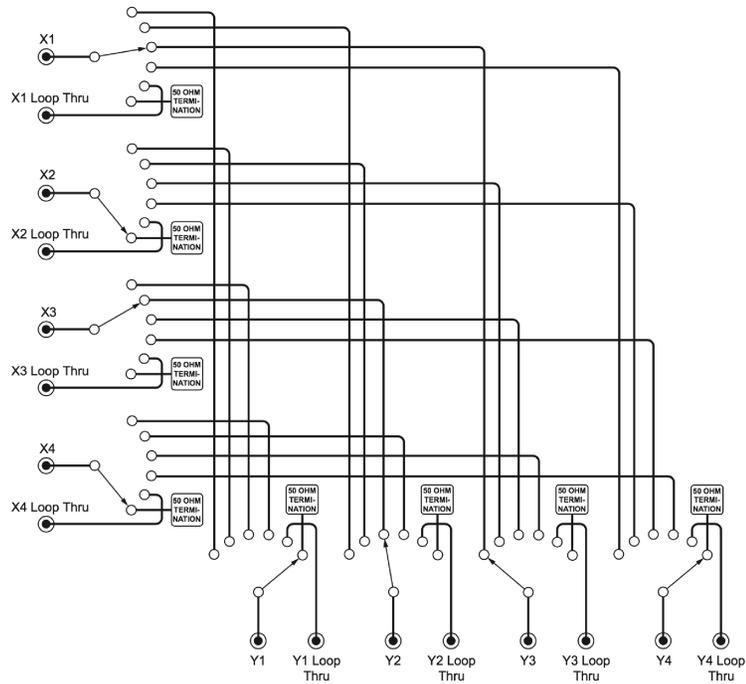


图2 微波开关矩阵

域，各种新产品和新思路层出不穷，随着技术进步，在可以期待的未来，开关

系统还将在集成度、切换速度、承载功率等方面得到更进一步的发展。

(上接第3页)



图3 聚星仪器RFID综合测试仪和微波暗室测试现场

在标准的距离测试标签识别、读取、和写入需要的入射最小功率，和标签反射功率。然后根据这个最小工作功率计算标签的等效单极子天线接收功率灵敏度、前向连接距离；根据功率灵敏度和反射功率计算反向连接距离。

对于测试条件和测量单位，EPCglobal和ISO有不同规定。EPCglobal采用等效功率和距离，ISO采用场强和雷达反射截面变化率。前

者更接近使用场景，后者更接近物理原理，但是两者实际上都是相同物理量测量的推算结果，没有优劣之分。

根据各项标准规范，标签测试距离大多在1 m以内，发射功率在0~30 dBm，接收信号功率大多在-60 dBm以上。

在测量仪器方面，高精度的仪器是基础，精确计量和校准包括仪器射频收发和天线增益是精度保障。目前高端仪器测量精度可达0.3 dB，而重复度可优于0.1 dB。